

パキスタン国
連邦洪水委員会（FFC）

パキスタン国
洪水管理アドバイザー業務
業務完了報告書

第2巻：
Preliminary Feasibility Study 編

2023年9月

独立行政法人 国際協力機構（JICA）

株式会社 建設技研インターナショナル

環境
JR
23-091

パキスタン国
連邦洪水委員会（FFC）

パキスタン国
洪水管理アドバイザー業務
業務完了報告書

第2巻：
Preliminary Feasibility Study 編

2023年9月

独立行政法人 国際協力機構（JICA）

株式会社 建設技研インターナショナル

業務完了報告書の構成

第 1 巻:主報告書

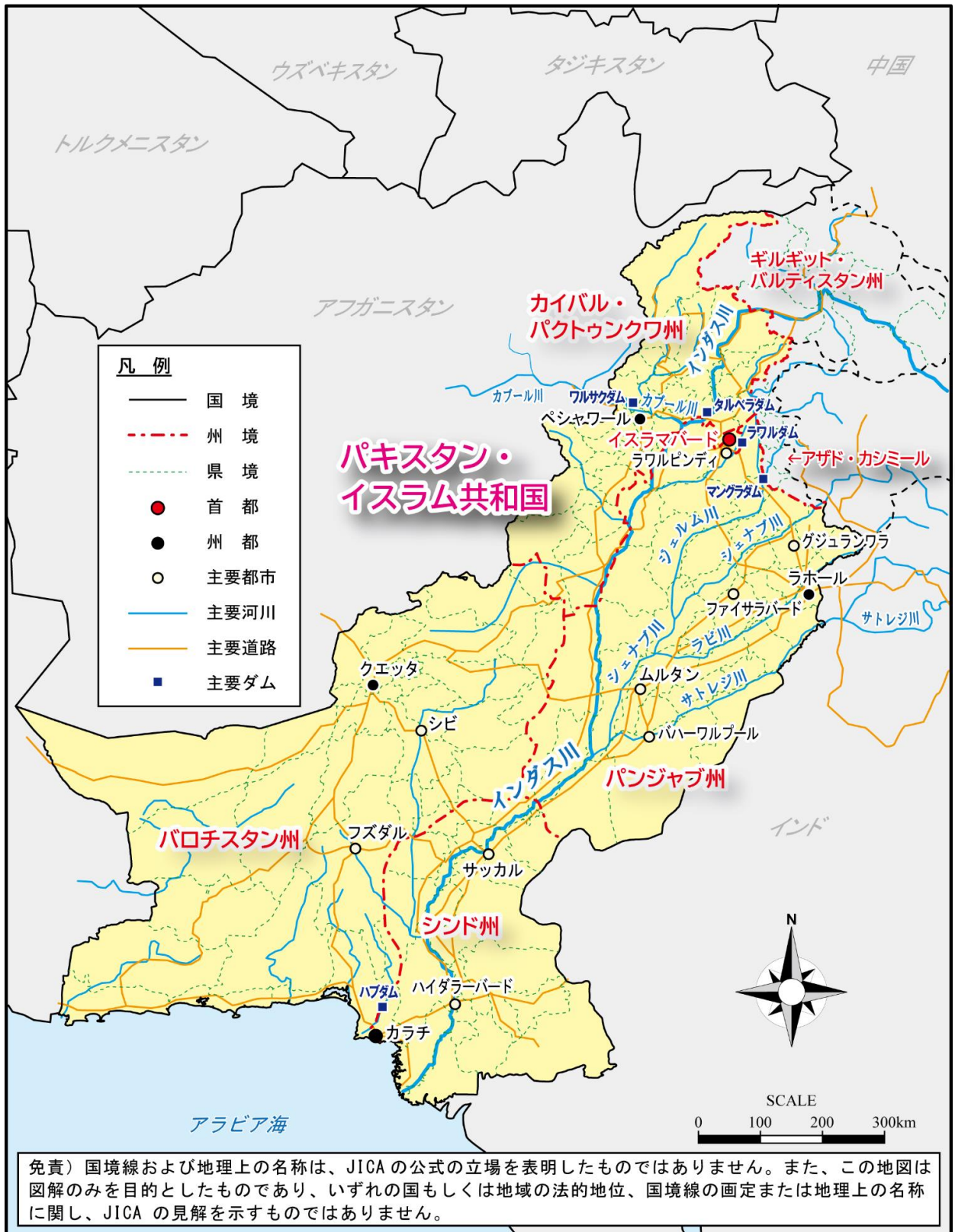
第 2 巻:Preliminary Feasibility Study 編

本報告書で使用された為替レート

1USD=303.094PKR=146.164JPY

1PKR=0.482240JPY

2023 年 9 月時点



業務対象地域位置図

パキスタン国 洪水管理アドバイザー業務
業務完了報告書
第 2 巻: Preliminary Feasibility Study 編
目 次

調査対象地域位置図

	ページ
第 1 章 Preliminary Feasibility Study (Pre-F/S)の概要	1-1
1.1 Pre-F/S の背景.....	1-1
1.1.1 対象地域選定.....	1-1
1.2 Pre-F/S の目的.....	1-1
1.3 Pre-F/S の内容.....	1-2
1.3.1 Hill Torrent 管理に関する調査のレビュー及び更新	1-2
1.3.2 Indus 川本川堤防建設/強化及び Manchar 湖の排水能力強化.....	1-2
1.4 設計方針（計画規模、社会経済的状況、建設/調達、パキスタンの会社への適応性、実施機 関における運用・維持、実施スケジュール）	1-2
1.4.1 計画規模.....	1-2
1.4.2 社会経済条件.....	1-2
1.4.3 民間会社の建設及び調達能力	1-3
1.4.4 実施機関の維持管理能力.....	1-4
1.4.5 施工計画・実施において留意すべき事項	1-4
第 2 章 Hill Torrent 管理プロジェクトに関する情報の更新	2-1
2.1 Master-Feasibility Study 報告書の概要	2-1
2.2 Hill Torrent 地域の分類.....	2-2
2.3 1998 年 M/F Study の進捗と状況.....	2-3
2.3.1 Hill Torrent 地域治水整備のこれまでの動向	2-4
2.4 D.G Khan Hill Torrent 地域.....	2-5
2.4.1 D.G Khan Hill Torrent 地域の地形・洪水特性.....	2-5
2.4.2 Punjab-D.G. Khan における 1998 年当時の計画と現況	2-6
2.5 Kachhi 及び Khirthar Hill Torrent 地域並びに RBOD 地区	2-9
2.5.1 対象地域の地形及び洪水特性.....	2-9
2.5.2 1998 年当時の計画内容と進捗.....	2-9
2.5.3 現時点での計画立案状況.....	2-9
2.6 D.I. Khan Hill Torrent 地域.....	2-11
2.6.1 D.I. Khan Hill Torrent 地域の地形・洪水特性	2-11
2.6.2 KPK 州の D.I. Khan における 1998 年当時の計画と現況	2-12
2.7 FFC による Hill Torrent 地域への治水整備の動向	2-14
2.7.1 Hill Torrent-M/P 策定への動き	2-14
2.7.2 各 Hill Torrent 地域での M/P 策定	2-14
第 3 章 堤防強化プロジェクト	3-1

3.1	Indus 川・Sukkur から Manchar 湖区間の特徴	3-1
3.1.1	衛星画像分析	3-1
3.1.2	堤内地の開発状況	3-15
3.1.3	右岸側の浸水時の被害想定	3-31
3.2	Indus 川の堤防の状況	3-37
3.2.1	既存堤防の概況	3-37
3.2.2	既存堤防の脆弱箇所	3-40
3.3	Indus 川の運用管理	3-53
3.3.1	パキスタンでの治水施設の考え方	3-53
3.3.2	パキスタンにおける現在の実情	3-53
3.4	進行中の河川改修業務	3-56
3.5	Indus 川の水文条件	3-57
3.5.1	Indus 川の確率規模別流量	3-57
3.5.2	検討地域における確率規模別の雨量	3-60
3.6	堤防強化の提案	3-64
3.6.1	堤防強化スキームの候補	3-64
3.6.2	施工スケジュール	3-88
3.6.3	堤防強化における施工単価	3-94
3.6.4	計画堤防強化スキームの施工費用	3-97
3.7	堤防強化プロジェクトの評価	3-99
3.7.1	推奨するプロジェクトの評価	3-99
3.7.2	既存堤防の脆弱箇所が破堤した場合の被害想定	3-99
第4章	Manchar 湖の排水システム強化プロジェクト	4-1
4.1	RBOD 流域・排水域及び周辺における河川・水路	4-1
4.1.1	概要	4-1
4.1.2	既存水路	4-3
4.1.3	Indus 川に接続する既存水路	4-3
4.1.4	Manchar 湖周辺の水収支	4-5
4.2	Manchar 湖湖岸堤及び水門の状況	4-10
4.3	湖岸堤・水門・水路の運用・維持管理	4-19
4.3.1	水路の運用・維持管理	4-19
4.3.2	水門・堰の運用・維持管理	4-20
4.3.3	湖岸堤の運用・維持管理	4-21
4.4	Manchar 湖の洪水管理の概要	4-21
4.5	Manchar 湖における進行中または関連事業	4-23
4.6	Manchar 湖及びその流域の水文解析	4-25
4.6.1	水文解析の検討方針	4-25
4.6.2	2022 年洪水時の状況整理	4-26
4.6.3	目標とする確率規模の設定	4-45
4.6.4	排水能力向上策の検討	4-70

4.7	Manchar 湖排水システム強化のための対策案	4-89
4.7.1	対策案の抽出	4-89
4.7.2	各対策案の評価	4-93
4.8	提案するプロジェクト	4-95
4.8.1	プロジェクトの特徴	4-95
4.8.2	施工スケジュール	4-96
4.8.3	施工費用	4-99
4.8.4	推奨するプロジェクトの評価	4-100

図一覧

図 2.1.1	各州の Hill Torrent 事業提案状況	2-1
図 2.2.1	Hill Torrent 地域の分類	2-2
図 2.2.2	全 Hill Torrent 地域位置図	2-2
図 2.2.3	IRB Hill Torrent 地域のうち Indus 川に直接注ぐ地域の位置図	2-3
図 2.4.1	D.G. Khan Hill Torrent 地域の状況	2-5
図 2.4.2	D.G. Khan Hill Torrent 地域での Hill Torrent 流域区分	2-6
図 2.4.3	D.G.Khan Hill Torrent 地域の排水ネットワーク（現存及び計画）	2-7
図 2.4.4	D.G.Khan Hill Torrent 地域での統合管理の例	2-8
図 2.5.1	RBOD 地区周辺	2-9
図 2.5.2	対象地域での Balochistan 側からの提案	2-10
図 2.6.1	D.I. Khan 周辺の地形	2-11
図 2.6.2	D.I. Khan 地域の都市・町村の水制工や堤防による防護	2-12
図 2.6.3	D.I. Khan 地域の 1998 年当時の計画（副事業：洪水のための構造物対策）	2-13
図 3.1.1	抽出された脆弱箇所の位置図	3-3
図 3.1.2(1)	Indus 川の Sukkur から Manchar 湖区間の衛星画像	3-3
図 3.1.3(1)	脆弱箇所の周辺地図と標高図	3-7
図 3.1.4	Sindh PID が把握する脆弱箇所の位置図	3-11
図 3.1.5(1)	Old Abad Bund 付近の衛星画像（2003 年 6 月時点）	3-12
図 3.1.6(1)	Old Abad Bund 付近の広域衛星画像（2003 年 6 月時点）	3-13
図 3.1.7(1)	Sukkur 周辺で破堤が発生した場合に浸水が懸念される District	3-15
図 3.1.8	Tehsil 単位の人口密度分布（Sindh 低平地）	3-20
図 3.1.9	検討対象地域内の都市の人口（Sindh 低平地）	3-22
図 3.1.10	Tehsil 単位の人口密度分布（D.I.Khan 及び D.G.Khan）	3-23
図 3.1.11	都市の人口（D.I. Khan 及び D.G. Khan）	3-25
図 3.1.12	本検討における破堤想定地点	3-31
図 3.1.13	破堤想定地点付近の標高	3-32
図 3.1.14	検討地域の地盤高	3-32
図 3.1.15	検討地域の標高図と 2022 年洪水時の浸水実績図の重ね合わせ	3-33
図 3.2.1	Sukkur Barrage Right Bank Region の索引図	3-37

図 3.2.2	堤防標準断面の例 (1)	3-38
図 3.2.3	堤防標準断面の例 (2)	3-39
図 3.2.4	PID-Sindh により抽出された堤防脆弱箇所の位置	3-43
図 3.2.5	地点 53 周辺の状況	3-44
図 3.2.6	地点 56 周辺の状況	3-45
図 3.2.7	地点 59 周辺の状況	3-47
図 3.2.8	地点 60 周辺の状況	3-48
図 3.2.9	地点 61 周辺の状況	3-49
図 3.2.10	Akil Link Bund 周辺の状況	3-50
図 3.2.11	衛星画像分析に基づく堤防脆弱箇所の位置	3-51
図 3.2.12	地点 1 付近の状況	3-52
図 3.5.1	Indus 川流域内の流量観測所の位置図	3-58
図 3.5.2	50 年確率洪水における各流量観測地点の流量	3-59
図 3.5.3	検討地域の雨量観測所の位置図	3-63
図 3.5.4	50 年確率洪水における各雨量観測地点の 7 日雨量	3-63
図 3.6.1	対策箇所位置図	3-65
図 3.6.2	浸透対策工下流端付近の河岸侵食状況	3-66
図 3.6.3	浸透対策工範囲	3-66
図 3.6.4	Akil Link Bund 標準断面図	3-70
図 3.6.5	ドレーン工断面諸元の考え方	3-71
図 3.6.6	川表遮水工法の基本的な構造	3-72
図 3.6.7	浸透対策箇所標準断面図	3-76
図 3.6.8	侵食による堤防破壊の模式図	3-79
図 3.6.9	侵食対策工上流端付近の河岸侵食状況	3-79
図 3.6.10	侵食対策工範囲	3-80
図 3.6.11	水制工一般図	3-84
図 3.6.12	侵食対策箇所標準断面図	3-85
図 3.6.13	浸透対策箇所標準断面図	3-88
図 3.6.14	浸透対策箇所への運搬ルート	3-89
図 3.6.15	浸透対策工のストックヤード	3-90
図 3.6.16	侵食対策箇所標準断面図	3-91
図 3.6.17	侵食対策箇所への運搬ルート	3-92
図 3.6.18	浸透対策工のストックヤード	3-93
図 3.7.1	Akil Link Bund 周辺の地盤高と堤防の状況	3-101
図 3.7.2	Akil Link Bund 周辺の地図	3-101
図 3.7.3	Akil Link Bund 付近における氾濫域拡大の想定 (地盤高)	3-102
図 3.7.4	Akil Link Bund 付近における氾濫域拡大の想定 (周辺地図)	3-102
図 3.7.5	Akil Link Bund が破堤した場合の最大被害範囲	3-103
図 3.7.6	Old Abad Bund 周辺の地盤高と堤防の状況	3-107
図 3.7.7	Old Abad Bund 周辺の地図	3-107

図 3.7.8	Old Abad Bund 付近における氾濫域拡大の想定（地盤高）	3-108
図 3.7.9	Old Abad Bund 付近における氾濫域拡大の想定（周辺地図）	3-108
図 3.7.10	Old Abad Bund が破堤した場合の最大被害範囲	3-109
図 4.1.1	Manchar 湖位置図	4-1
図 4.1.2	RBOD-I, II, III の位置関係	4-2
図 4.1.3	Indus 川と接続する既設水路の位置	4-4
図 4.1.4	Aral Tail と Indus 川合流点付近の状況	4-4
図 4.1.5	Manchar 湖周辺の現況の水収支	4-7
図 4.1.6	Manchar 湖周辺の将来の水収支	4-8
図 4.1.7	Manchar 湖の水質改善のための対策案（2017 年 F/S Report）の位置図	4-9
図 4.2.1	Manchar 湖周辺の堤防の状況	4-10
図 4.2.2	Aral Bund と MCB の現況堤防高	4-11
図 4.2.3	Danister Head Regulator 一般図	4-12
図 4.2.4	Danister Tail Regulator 一般図	4-14
図 4.2.5	既設 Aral Head Regulator 一般図	4-15
図 4.2.6	新 Aral Head Regulator 一般図	4-17
図 4.2.7	Aral Tail Regulator 一般図	4-18
図 4.4.1	Manchar 湖の日水位（2022/8/1～2022/11/24）	4-22
図 4.4.2	MCB の現況断面図	4-22
図 4.6.1	水文解析の検討方針	4-25
図 4.6.2	2022 年 8 月 4 日（左）及び 28 日（右）の洪水範囲の比較	4-27
図 4.6.3	Main Nara Valley Drain（MNVD）における流入量	4-27
図 4.6.4	Hill Torrent 流域と周辺の観測所	4-28
図 4.6.5(1)	Manchar 湖周辺の雨量観測所の時系列図	4-29
図 4.6.6	Manchar 湖流域の流域平均雨量の時系列図	4-31
図 4.6.7	Manchar 湖周辺の各 Regulator の位置図	4-32
図 4.6.8	Aral Head Regulator、Aral Tail Regulator の水位と放流量の時系列図	4-33
図 4.6.9	2022 年洪水時の水収支	4-34
図 4.6.10	Manchar 湖の HAV（水位・表面積・容量）関係図	4-35
図 4.6.11	Manchar 湖への直接流入量	4-36
図 4.6.12	Manchar 湖における蒸発量	4-37
図 4.6.13	Manchar 湖における水収支バランス	4-38
図 4.6.14	流入量の推定	4-39
図 4.6.15	推定流入量の精査	4-40
図 4.6.16	Manchar 湖の修正前の水位と修正後の水位	4-41
図 4.6.17	修正後の推定流入量	4-41
図 4.6.18	人為的破堤による溢水量の推定	4-42
図 4.6.19	流出率の算出	4-43
図 4.6.20(1)	確率規模算出の詳細（Khuzdar 雨量観測所・7 日雨量）	4-47
図 4.6.21	目標とする流入量波形（50 年確率規模・2022 年洪水波形）	4-51

図 4.6.22	各確率規模における流入量波形.....	4-52
図 4.6.23	Aral Head Regulator における水位差 ΔH と流速 V の散布図.....	4-54
図 4.6.24	Aral Head Regulator の Type1 の関係式算出.....	4-54
図 4.6.25	Aral Head Regulator の Type2 の関係式算出.....	4-55
図 4.6.26	Aral Head Regulator の関係式の検証計算.....	4-55
図 4.6.27	Aral Tail Regulator における水位差 ΔH と流速 V の散布図.....	4-56
図 4.6.28	Aral Tail Regulator の関係式算出.....	4-57
図 4.6.29	Aral Tail Regulator の関係式の検証計算.....	4-57
図 4.6.30(1)	Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・5年確率雨量）.....	4-59
図 4.6.31	Aral Head Regulator 改修（ALT0）の位置図.....	4-63
図 4.6.32(1)	Manchar 湖の計算結果（ALT0・5年確率雨量）.....	4-65
図 4.6.33	Irrigation Manual の記載内容.....	4-69
図 4.6.34	排水能力向上策の概要.....	4-70
図 4.6.35	新設水路の増設（ALT1）の位置図.....	4-71
図 4.6.36	新設水路の増設（ALT1）における断面設定方法.....	4-72
図 4.6.37	新設水路の増設（ALT1）における縦断図.....	4-73
図 4.6.38	新設水路の増設（ALT1）における横断図.....	4-73
図 4.6.39	既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）の位置図.....	4-74
図 4.6.40	既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）における断面設定方法.....	4-75
図 4.6.41	既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）における縦断図.....	4-76
図 4.6.42	既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）における横断図.....	4-76
図 4.6.43	既設水路（Aral Tail のみ）の拡幅（ALT3）.....	4-77
図 4.6.44	既設水路（Aral Tail のみ）の拡幅（ALT3）における断面設定方法.....	4-78
図 4.6.45	既設水路（Aral Tail のみ）の拡幅（ALT3）における縦断図.....	4-79
図 4.6.46	既設水路（Aral Tail のみ）の拡幅（ALT3）における横断図.....	4-79
図 4.6.47	Manchar 湖の計算結果（ALT1・50年確率雨量・川幅 100m）.....	4-81
図 4.6.48	Manchar 湖計算の縦断図（ALT1・50年確率雨量・川幅 100m）.....	4-82
図 4.6.49	Manchar 湖の計算結果（ALT2・50年確率雨量・川幅 70+40=110m）.....	4-84
図 4.6.50(1)	Manchar 湖計算の縦断図（ALT2・50年確率雨量・Aral Tail 川幅 70m）.....	4-85
図 4.6.51	Manchar 湖の計算結果（ALT3・50年確率雨量・川幅 100m）.....	4-87
図 4.6.52	Manchar 湖計算の縦断図（ALT3・50年確率雨量・川幅 100m）.....	4-88
図 4.7.1	新設放水路案.....	4-90
図 4.7.2	既設水路拡幅案 1（Aral Tail + RBOD-II）.....	4-91
図 4.7.3	既設水路拡幅案 2（Aral Tail）.....	4-92
図 4.8.1	既設水路拡幅案 2（Aral Tail）.....	4-95
図 4.8.2	水路拡幅範囲.....	4-96
図 4.8.3	水門全面改修及び橋梁架替え位置.....	4-96
図 4.8.4	セーワンと水路拡幅等位置.....	4-97

表一覧

表 1.1.1	パキスタン国での JICA の支援方針案.....	1-1
表 1.4.1	各地域の人口・代表的な都市・人口密度.....	1-3
表 1.4.2	事業費規模と入札参加企業資格.....	1-3
表 2.3.1	更新 FPSP-III の治水整備目標.....	2-5
表 2.4.1	1998 年当時の優先事業一覧.....	2-7
表 2.5.1	Balochistan から Punjab 州に敷設される FCC.....	2-10
表 2.5.2	Balochistan が提案するその他の事業.....	2-10
表 2.6.1	一般的な予算配分.....	2-13
表 2.6.2	KPK-PID によるダム提案.....	2-14
表 3.1.1	抽出された脆弱箇所一覧.....	3-2
表 3.1.2	Old Abad Bund と New Abad Bund の状況の変化.....	3-8
表 3.1.3	Sindh PID が把握する脆弱箇所の一覧.....	3-9
表 3.1.4	District 単位の総面積及び人口 (Sindh 低平地).....	3-18
表 3.1.5	Tehsil 単位の総面積及び人口 (Sindh 低平地).....	3-19
表 3.1.6	検討対象地域内の都市の人口 (Sindh 低平地).....	3-21
表 3.1.7(1)	District 単位の総面積及び人口 (D.I. Khan).....	3-23
表 3.1.8(1)	都市の人口 (D.I. Khan).....	3-24
表 3.1.9	検討地域の家屋資産額.....	3-26
表 3.1.10	検討地域の世帯数.....	3-26
表 3.1.11	Province 毎の 1 世帯当たりの人数.....	3-27
表 3.1.12	パキスタンにおけるクロッピングパターン.....	3-27
表 3.1.13(1)	各農作物の農地面積 (ha) ①.....	3-28
表 3.1.14	各農作物の収穫量 (kg).....	3-29
表 3.1.15	各農作物の資産額 (PKR).....	3-30
表 3.1.16	各農作物の単位農地面積当たりの収穫量 (kg/ha).....	3-30
表 3.1.17	各農作物の市場価格単価 (PKR/kg).....	3-30
表 3.1.18	家屋の被害想定額.....	3-34
表 3.1.19	治水経済調査マニュアルにおける被害率.....	3-34
表 3.1.20	Tehsil 単位の浸水面積・人口・世帯数の算定.....	3-35
表 3.1.21	農作物の被害想定額.....	3-36
表 3.1.22	浸水時の被害想定額.....	3-36
表 3.2.1	Sukkur Barrage Right Bank Region, Larkana における堤防脆弱箇所の一覧.....	3-41
表 3.2.2	Sukkur Barrage Right Bank Region, Larkana で 早急に補修が必要とされている脆弱箇所の一覧.....	3-43
表 3.2.3	抽出箇所における現状と対策の緊急性.....	3-52
表 3.3.1	パキスタンの堤防延長及び沿川人口.....	3-54
表 3.3.2	堤防と河川補強工事に対する年間維持管理予算.....	3-56

表 3.4.1	RBOD 地区で進行中の河川改修工事(1)	3-56
表 3.4.2	RBOD 地区で進行中の河川改修工事(2)	3-56
表 3.4.3	RBOD 地区で進行中の河川改修工事(3)	3-57
表 3.5.1	Indus 川流域内の各流量観測所の確率規模別流量	3-57
表 3.5.2(1)	検討地域の各雨量観測所の確率規模別雨量 (1 日雨量)	3-60
表 3.6.1	主要な浸透対策工法(堤防強化工法)	3-68
表 3.6.2	基本諸元	3-70
表 3.6.3	川表遮水工の種類と特徴を整理	3-72
表 3.6.4	侵食に対する堤防強化工法の例	3-81
表 3.6.5	基本諸元	3-81
表 3.6.6	水制工諸元	3-83
表 3.6.7	シンド州ラルカ(ナ県の総合工事単価)	3-94
表 3.6.8	打ち込み費用	3-95
表 3.6.9	鋼材単位価格	3-95
表 3.6.10	鋼材価格	3-95
表 3.6.11	鋼材単位重量	3-95
表 3.6.12	運搬費	3-96
表 3.6.13	管敷設費	3-96
表 3.6.14	型枠費(組立て含む)	3-96
表 3.6.15	消波ブロック製作費	3-97
表 3.6.16	運搬、据え付け費	3-97
表 3.6.17	堤防強化施工工事費	3-97
表 3.6.18	浸透対策堤防強化施工工事費	3-98
表 3.6.19	浸食対策堤防強化施工工事費	3-98
表 3.7.1	堤防補強プロジェクトの評価	3-99
表 3.7.2	家屋の被害想定額 (Akil Link Bund 破堤時)	3-103
表 3.7.3	Tehsil 単位の浸水面積・人口・世帯数の算定	3-104
表 3.7.4	農作物の被害想定額 (Akil Link Bund 破堤時)	3-105
表 3.7.5	Akil Link Bund 破堤時の被害想定額	3-105
表 3.7.6	家屋の被害想定額 (Old Abad Bund 破堤時)	3-109
表 3.7.7	Tehsil 単位の浸水面積・人口・世帯数の算定	3-110
表 3.7.8	農作物の被害想定額 (Old Abad Bund 破堤時)	3-111
表 3.7.9	Old Abad Bund 破堤時の被害想定額	3-111
表 4.1.1	Manchar 湖周辺の現況及び将来の水収支	4-5
表 4.1.2	Manchar 湖の水質改善のための対策案 (2017 年 F/S Report)	4-6
表 4.2.1	Danister Head Regulator 諸元	4-12
表 4.2.2	Danister Tail Regulator 諸元	4-13
表 4.2.3	既設 Aral Head Regulator 諸元	4-15
表 4.2.4	新 Aral Head Regulator 諸元	4-16
表 4.2.5	Aral Tail Regulator 諸元	4-18

表 4.3.1	Manchar 湖の主な水路、水門、湖岸堤.....	4-19
表 4.4.1	各施設のゲート運用記録 (2022/8/1~2022/11/24)	4-22
表 4.5.1	緊急洪水対策工事のパッケージ数.....	4-23
表 4.5.2	緊急洪水対策工事の工事延長.....	4-24
表 4.6.1	Hill Torrent 流域内における各雨量観測所の概要	4-28
表 4.6.2	Manchar 湖周辺の各 Regulator の諸元.....	4-32
表 4.6.3	流出率の算出.....	4-43
表 4.6.4	2022 年洪水の確率規模 (Manchar 湖流域の雨量観測所・7 日雨量)	4-45
表 4.6.5(1)	年最大雨量 (Khuzdar 雨量観測所・7 日雨量)	4-45
表 4.6.6	洪水時の Manchar 湖の問題点.....	4-50
表 4.6.7	目標とする流入量波形に対する検討内容.....	4-50
表 4.6.8	各確率規模における総雨量及び最大流入量.....	4-51
表 4.6.9	計算条件 (現況排水能力)	4-58
表 4.6.10	計算結果のまとめ (現況排水能力)	4-58
表 4.6.11	Aral Head Regulator 改修 (ALT0) の内容	4-63
表 4.6.12	計算条件 (ALT0)	4-64
表 4.6.13	計算結果のまとめ (ALT0)	4-64
表 4.6.14	新設水路の増設 (ALT1) における断面設定方法.....	4-72
表 4.6.15	既設水路 (Aral Tail 及び RBOD-II) の拡幅 (ALT2) における断面設定方法.....	4-75
表 4.6.16	既設水路 (Aral Tail のみ) の拡幅 (ALT3) における断面設定方法.....	4-78
表 4.6.17	各排水能力向上策の計算結果まとめ.....	4-80
表 4.6.18	計算条件 (ALT1)	4-80
表 4.6.19	計算結果のまとめ (ALT1)	4-81
表 4.6.20	計算条件 (ALT2)	4-83
表 4.6.21	計算結果のまとめ (ALT2)	4-84
表 4.6.22	計算条件 (ALT3)	4-86
表 4.6.23	計算結果のまとめ (ALT3)	4-87
表 4.7.1	対策案の一次選定.....	4-89
表 4.7.2	必要施設一覧 (新設放水路案)	4-90
表 4.7.3	必要施設一覧 (既設水路拡幅案 1 (Aral Tail + RBOD-II))	4-91
表 4.7.4	必要施設一覧 (既設水路拡幅案 2 (Aral Tail))	4-92
表 4.7.5	Manchar 湖排水システム改善対策案比較表.....	4-94
表 4.8.1	必要施設一覧 (既設水路拡幅案 2 (Aral Tail))	4-95
表 4.8.2	Manchar Lake 排水システム改善対策施工工事費.....	4-99
表 4.8.3	Manchar 湖排水能力強化プロジェクトの評価.....	4-100

写真一覧

写真 3.2.1	堤防上に置かれた備蓄資材	3-38
写真 3.2.2	既存堤防の状況 (1) (S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P))	3-45
写真 3.2.3	既存堤防の状況 (2) (S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P))	3-45
写真 3.2.4	既設堤防の状況 (Moria Loop Bund)	3-46
写真 3.2.5	既設水制工の状況 (Moria Loop Bund)	3-46
写真 3.2.6	既設堤防前面の状況 (Old Abad Bund)	3-47
写真 3.2.7	既設堤防背後地の状況 (Old Abad Bund)	3-47
写真 3.2.8	既設堤防の状況 (L.S Bund 16/0 to 17/0 (Hakra Point))	3-48
写真 3.2.9	既設水制工の状況 (L.S Bund 16/0 to 17/0 (Hakra Point))	3-48
写真 3.2.10	既設堤防の状況 (L.S Bund Mile 22/0 to 22/4 Opposite Moen Jo Daro (V.P))	3-49
写真 3.2.11	既設水制工の状況 (L.S Bund Mile 22/0 to 22/4 Opposite Moen Jo Daro (V.P))	3-49
写真 3.2.12	既設堤防の状況 (Akil Link Bund)	3-51
写真 3.2.13	既設堤防法尻漏水の状況 (Akil Link Bund)	3-51
写真 3.6.1	Stone Pitching 上端付近の状況 (1)	3-73
写真 3.6.2	Stone Pitching 上端付近の状況 (2)	3-73
写真 3.6.3	Stone Pitching 上端付近の状況 (3)	3-73
写真 3.6.4	Stone Pitching 上端付近の状況 (4)	3-73
写真 3.6.5	川裏側法面の状況 (1)	3-74
写真 3.6.6	川裏側法面の状況 (2)	3-74
写真 3.6.7	Sand Filled Mattress	3-78
写真 3.6.8	堤防前面の矢板護岸事例 (フィリピン)	3-82
写真 3.6.9	コンクリートブロックによる水制事例 (フィリピン)	3-83
写真 4.2.1	MCB の天端及び湖側の状況	4-11
写真 4.2.2	MCB の堤内側の状況	4-11
写真 4.2.3	Danister Head Regulator の状況(1)	4-13
写真 4.2.4	Danister Head Regulator の状況(2)	4-13
写真 4.2.5	Danister Tail Regulator の状況(1)	4-14
写真 4.2.6	Danister Tail Regulator の状況(2)	4-14
写真 4.2.7	既設 Aral Head Regulator (1)	4-16
写真 4.2.8	既設 Aral Head Regulator (2)	4-16
写真 4.2.9	新設 Aral Head Regulator (1)	4-17
写真 4.2.10	新設 Aral Head Regulator (2)	4-17
写真 4.2.11	Aral Tail Regulator (1)	4-18
写真 4.2.12	Aral Tail Regulator (2)	4-18

略語集

ADB	Asian Development Bank
ADP	Annual Development Programme
AJ & K	Azad Jammu and Kashmir
D.G. Khan	Dera Ghazi Khan
D.I. Khan	Dera Ismail Khan
DRR	Disaster Risk Reduction
FATA	Federally Administrated Tribal Areas
FFC	Federal Flood Commission
FP	Flood Protection
FPSP	Flood Protection Sector Project
FPW	Flood Protection Works
GB	Gilgit-Baltistan
GIS	Geographical Information System
HFL	High Flood Level
HSSEU	Hydraulic Structures Safety Evaluation Unit
HWL	High Water Level
IRB	Indus River Basin
JICA	Japan International Cooperation Agency
KPK	Khyber Pakhtunkhwa
MCB	Manchar Containing Bund
MNVD	Main Nara Valley Drain
MoPS	Ministry of Planning, Development and Spatial Initiative
NDMP	National Disaster Management Plan
NFPP	National Flood Protection Plan
NGO	Non-Governmental Organization
NHA	National Highway Authority
NSL	Normal Surface Level
O&M	Operation and Maintenance
PC	Planning Commission
PDNA	Post Disaster Needs Assessment
PID	Provincial Irrigation Department
PIMU	Project Information Management Unit
PMD	Pakistan Meteorological Department
PRF	Project Readiness Financing
PSDP	Public Sector Development Program
RBOD	Right Bank Outfall Drain
SOP	Standard Operating Procedure
SFERP	Sindh Flood Emergency Rehabilitation Project
SLSC	Standard Least Squares Criterion
TOR	Terms of Reference
WAPDA	Water and Power Development Authority
WB	World Bank

第1章 Preliminary Feasibility Study (Pre-F/S)の概要

1.1 Pre-F/S の背景

1.1.1 対象地域選定

本調査では 2022 年の大規模洪水の被害を分析するために、アドバイザーチームは PDNA (Post Disaster Needs Assessment) 調査に参画している。この PDNA 調査の結果や、過去の被災履歴、Indus 川水系の自然及び社会特性等におけるボトルネックを分析した上で (本編 2.4.2 節参照)、事前投資による DRR (Disaster Risk Reduction) 効果が非常に高い地域をリスク削減の対象地域として選定した。対象地域は、2022 年洪水時に最も被害が大きかった Sindh 州の Indus 川右岸の低平地である。この地域は、周辺の Hill Torrent (季節急流河川) の多くの Nullah からの流出、Indus 川本川堤防の破堤による溢水、局所豪雨による内水氾濫等のハザードに曝され、人口・産業が集積していることと相まって、氾濫被害リスクが高い地域であると認識されている。なお、以上の Pre-F/S 対象地域の選定経緯については、表 1.1.1 に示す JICA (Japan International Cooperation Agency) 方針に則っている。

表 1.1.1 パキスタン国での JICA の支援方針案

項目	内容
大方針	Indus 川流域において治水対策による災害リスク削減を通じて、パキスタンの経済損失低減に資する支援を展開する。
事業形成方針	【項目】 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 経済発展に着目した仙台防災枠組みへの対応 ➢ 最も大きな Indus 川本川の災害リスクに応じた集中的な展開 ➢ 既存アセットを活用した洪水リスクの削減 ➢ 洪水発生メカニズムに応じた協力展開
	【内容】 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 仙台防災枠組を通じて、災害リスク削減を開発イシューとしてとらえることは重要であることから、経済被害に着目した支援の展開が重要。 ➢ このためには、今年(2022年)の出水と2010年洪水の被害実態を踏まえ、保護すべき資産の集積が多く、被災時の災害リスクが大きいと考えられる Indus 川本川に着目した支援を集中的に展開することの妥当性は高い。 ➢ JICA は、パキスタンにおいて、洪水リスクの削減を優先し、従来プログラムを展開している。そのため、昨年度より治水プロファイにおいて、マクロ経済インパクトの大きい流域について概略調査を実施し、技術協力「国家防災計画更新」、「洪水管理アドバイザー」を開始済であることから、これらアセットも活用する。 ➢ パキスタンにおいては、上流、中流、下流において、被害発生の原因・メカニズムが異なるため、それに合わせた協力展開を検討する。

出典：アドバイザーチーム

1.2 Pre-F/S の目的

最も洪水被害を受けやすい Indus 川本川沿線の人口集積低平地の洪水被害の軽減を目的とする。パキスタン国の経済成長を促すための洪水 DRR 施策の一環として行い、Pre-F/S の結果によって将来展開及び水平展開が望めるような事業を提案する。また、これら Indus 川右岸低平地に洪水をもたらす Hill Torrent 地域の対策実施状況について、連邦洪水委員会 (Federal Flood Commission : FFC) が 1998 年に実施した“Master Feasibility Studies For Flood Management of Hill Torrents of Pakistan (以降「M/F Study 1998」と称す)”のレビューを通じて更新する。

1.3 Pre-F/S の内容

1.3.1 Hill Torrent 管理に関する調査のレビュー及び更新

M/F Study1998 のレビューを行う事により、Hill Torrent 地域の特性を理解し、さらに対策の実施状況についてアップデートを実施する。具体的には、M/F Study 1998 で計画されていた事業の進捗を確認し、2022 年洪水後の治水施策の現状を把握した上で、現段階で FFC 及び州灌漑局（Provincial Irrigation Department : PID）が実施すべき事項について提言する。また、FFC 及び PID と協議した上で、本業務において実施する Pre-F/S の対象地域を設定した。

1.3.2 Indus 川本川堤防建設/強化及び Manchar 湖の排水能力強化

2022 年洪水を踏まえ、将来の Indus 川本川堤防の破堤リスクを想定し、Indus 川堤防の概略的な現況を把握するためのインベントリー調査を実施した上で、課題及び重点区間を整理する。インベントリー調査は Indus 川堤防に関する既存資料、衛星画像及びパキスタンによる脆弱性調査等に基づき実施するものとする。アウトプットイメージとして、Indus 川堤防の短中期的な対応が必要な箇所毎に現況の課題、対策の必要性及び緊急性、対策案、投資効果をとりとまとめ、ロングリスト及び位置図で整理するものとする。また、周辺での被害が顕著であった Manchar 湖付近の排水能力強化に向けた対策の初期的検討及び Pre-F/S を行う。具体的な対策案として将来的な豪雨によるリスクを加味し、Manchar 湖下流端の排水能力の増強を目的とした構造物を検討するものとする。結果は、JICA 無償資金協力を前提とした対策のコンセプト、方式、規模、箇所及び概算事業費を整理する。

1.4 設計方針（計画規模、社会経済的状況、建設/調達、パキスタンの会社への適応性、実施機関における運用・維持、実施スケジュール）

1.4.1 計画規模

NFPP-IV (National Flood Protection Plan)では、大河川の治水整備規模を 100 年としているが、その他の河川については、州に付託している。M/F Study 1998 によると Hill Torrent エリアにおける治水対策は 25 年洪水確率規模で計画されているが、主要 4 州の PID にヒアリングしたところ、最近では、25~40 年となっており、より人口が多いところでは 40 年を使用している。また、低平地の灌漑施設については、50 年確率規模での整備が Irrigation Manual（Punjab 州監修）で指示されている。

1.4.2 社会経済条件

本調査では治水対策の経済的評価を行わないが、その効果を、対策実施前後のハザードエリアの人口及び資産の分布から定性的に評価する。人口及び資産の情報は、2017 年センサスのデータ（Pakistan Bureau of Statistics より引用）を使用している。農地については、Economic Survey 2021-2022 のデータを使用している。

洪水時に特に被害が大きくなると想定される Sindh 低平地、D.I.Khan (Dera Ismail Khan)、D.G.Khan (Dera Ghazi Khan)の人口・代表的な都市・人口密度を表 1.4.1 にまとめる。Sindh 低平地の人口は D.I.Khan 及び D.G.Khan より多く、人口 50,000 人以上の都市も多数存在している。全域の人口密度は山間部等を多く含む地域がありどの地域も同程度であるが、Tehsil ごとの人口密度の最大値及び 200 人/km²以上の Tehsil 数で比較すると Sindh 低平地が D.I.Khan 及び D.G.Khan より大きくなる。

表 1.4.1 各地域の人口・代表的な都市・人口密度

地域名	人口	代表的な都市	Tehsil 単位の人口密度
Sindh 低平地	11,409,933	Larkana(488,006), New Sukkur(268,942) Sukkur(231,459), Shikarpur(196,158) Jacobabad(191,098), Dadu(171,319) Shahdad kok(118,935), Kamber(100,970) ※人口 100,000 人以上の都市のみ抽出 人口 50,000 以上の都市は 18 都市存在する	全域：248 人/km ² 最大：1,766 人/km ² 200 人/km ² 以上の Tehsil 数：18
D.I.Khan	1,625,088	Dera Ismail Khan(212,324), Paharpur(66,745) ※人口 50,000 人以上の都市のみ抽出	全域：220 人/km ² 最大：326 人/km ² 200 人/km ² 以上の Tehsil 数：3
D.G.Khan	4,868,670	Dera Ghazi Khan(397,362), Rajanpur(99,097) Taunsa(97,193), Jampur(87,857) Fazalpur(76,809), Kot Chhutta(51,666) ※人口 50,000 人以上の都市のみ抽出	全域：201 人/km ² 最大：547 人/km ² 200 人/km ² 以上の Tehsil 数：5

出典：JICA 提供の基礎データ及び Pakistan Bureau of Statistics よりアドバイザーチームが作成

1.4.3 民間会社の建設及び調達能力

パキスタンでは、公共工事の入札に際して事業費規模毎に参加可能な業者資格基準がある。標準的な事業費規模別企業資格を表 1.4.2 に示す。

表 1.4.2 事業費規模と入札参加企業資格

Category	Project Cost limit (RS. in Millions)	Enlistment/Renewal Authority
C-A	No limit	Administrative Secretary
C-B	UP to 2,000 M	Administrative Secretary
C-1	UP to 1,000 M	Administrative Secretary
C-2	UP to 500 M	Administrative Secretary
C-3	UP to 250 M	Administrative Secretary
C-4	UP to 100 M	Administrative Secretary
C-5(Class-B)	UP to 30 M	Chife Engineer /DC
C-6(Class-C)	UP to 15 M	S.E/Director
Class-D	UP to 2 M	S.E/Director
Class-E	UP to 1 M	S.E/Director

出典：Punjab 州入札基準

一般的に公共工事の業者選定は、事業費規模によって該当担当部署が公募して入札を行う。入札に際しては、業者の資格基準、工事实績、経験及びコストに基づき評価を行う。一般河川工事を実施していることより、調達能力、施工能力に大きな問題はない。ただし、設計時の構造等の脆弱性、施工時の施工精度にばらつきが見られる。

今後、入札に際して入札基準の明確化、選考、技術基準等のマニュアル整備が必要となる。また、施工計画・管理の基準化が必要となる。

1.4.4 実施機関の維持管理能力

現在、公共工事の技術審査は、FFC で行い、問題なければ各州の PID が発注主体となり業務を行う。FFC は、設計段階の審査を行う。実際の工事発注、施工監理、工事検査は PID が行う。完成した水路、水門・堰、堤防の維持管理は、PID 主体で行う。水門・堰については、24 時間体制で運用操作を行っている。施設点検は、随時行っている。施設については、老朽化などが進み適切な維持管理が難しくなっている。統一的な維持管理点検マニュアル、劣化診断マニュアルの作成と適切な実施、管理体制の充実により、安全度評価の向上が図れ、緊急時の対応が円滑になる。一方、予算の裏付けも必要となる。

1.4.5 施工計画・実施において留意すべき事項

大きな課題は、安全性の高い強固な水路、水門・堰、堤防を作ることである。設計段階より、地域特性に対応した施設を作る必要がある。強固な水路、水門・堰、堤防等を作るための工事時の課題を示す。

- ・ 資材の品質；設計基準を満たしたコンクリート、捨石、護岸石の使用他
- ・ 機材の機能性；仕様に基づいた工種に適合した重機、運搬車両の使用他
- ・ 技術者、職人の能力；実績のある人材の配置他
- ・ 無理のない施工計画；非作業日、モンスーン時期を考慮した工程作成他
- ・ 基準に基づいた施工精度の維持；設計基準、施工基準の順守他
- ・ 安全管理；日々の安全確認、工程での危機管理他

最終的には、現場での施工精度が施設の安全度評価に大きく影響する。関係機関が施工業者と連絡を密にとり、現場を訪れて状況把握を行うことで良質な工事を行うことができる。

第2章 Hill Torrent 管理プロジェクトに関する情報の更新

2.1 Master-Feasibility Study 報告書の概要

M/F-Study1998 年に行われた“Master Feasibility Studies For Flood Management of Hill Torrents of Pakistan (FFC, 1998)”（以降、M/F Study1998 とする）では、図 2.1.1 に示すように、州毎に Hill Torrent 事業が纏められている。事業は水保全及び洪水対策の両方或いは片方を目的とした施設対策の提案が主であり、それぞれの州にてコア事業とサブ事業に分類されている。これらの Hill Torrent 管理事業は、パキスタン州政府及びドナー資金によって実施されてきたが、2023 年現在において Punjab 州及び Sindh 州で提案されたコア事業はほぼ実施され、他の Hill Torrent 管理事業の提案は非常に曖昧でありかつその進捗は小さいか或いは適切に管理されていない。これは、Hill Torrent 地域の特質から費用効果が低い事業が多いということが原因だと考えられる。費用対効果が高い地域は、主に Indus 本川右岸沿川の灌漑エリア（低平地）に注ぐ Hill Torrent 地域である。2022 年出水による公共施設の損壊を含めた氾濫被害を受けて、Hill Torrent 地域及びその下流部低平地への洪水対策が注視されている。

FEDERAL AREAS	NORTH WESTERN FRONTIER PROVINCE (NWFP)	PUNJAB PROVINCE	SINDH PROVINCE	BALUCHISTAN PROVINCE
CORE PROJECT - Nothing	CORE PROJECT - DI Khan Area	CORE PROJECT - DG Khan Area	CORE PROJECT - Khirthar Range Area	CORE PROJECT - Indus Basin Component including Quetta Region
SUB PROJECTS - Northern Areas - FATA - AJK	SUB PROJECTS - Hazara, Kabul & Bannu Basins - FATA	SUB PROJECTS - Pothwar Area - Rachna and Chaj Doabs	SUB PROJECTS - Karachi Area - Sehwan & Petaro Area	SUB PROJECTS - Kharan Closed Desert Basin - Mekran Coastal Area

出典: M/F Study in 1998

図 2.1.1 各州の Hill Torrent 事業提案状況

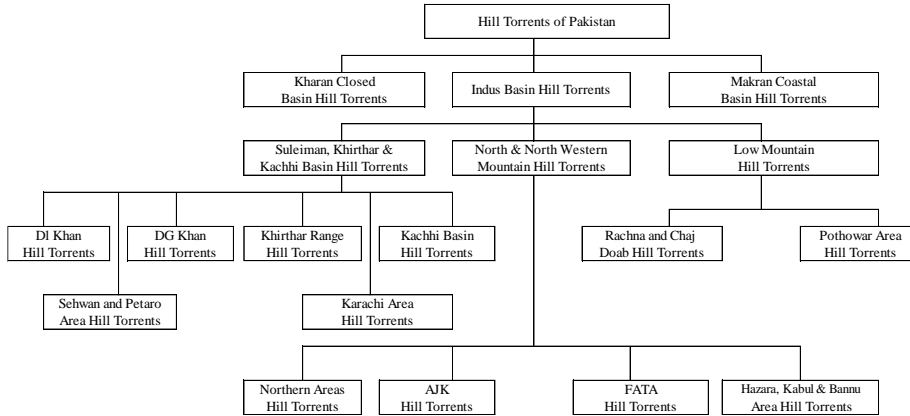
殆どの Hill Torrent 地域では、水保全・利用・洪水対策のために以下の構造物が建設されている。これらの構造物からの流水は水路、カレーズ、掘り抜き井戸等を通じて水利用されている。よく見られる水利用手法は、水を囲い込まれた土地に引き込んで 1.0m ほど湛水させて、その後播種や栽培を行う方法である。なお、括弧内はレポート内で使用されている名称である。

- 分流工 (Dispersion Structure)
- 分水/導流堤 (Diversion Embankment)
- 洪水放水路 (Flood Carrier Channel)
- 排水路網 (Drainage Network)
- 洪水調節ダム (Delay Action Dam)
- 貯水池/ダム (Storage Dam/Pond)
- 洪水擁壁 (Flood Wall)
- 扇状地堀込池 (Depression)

2.2 Hill Torrent 地域の種類

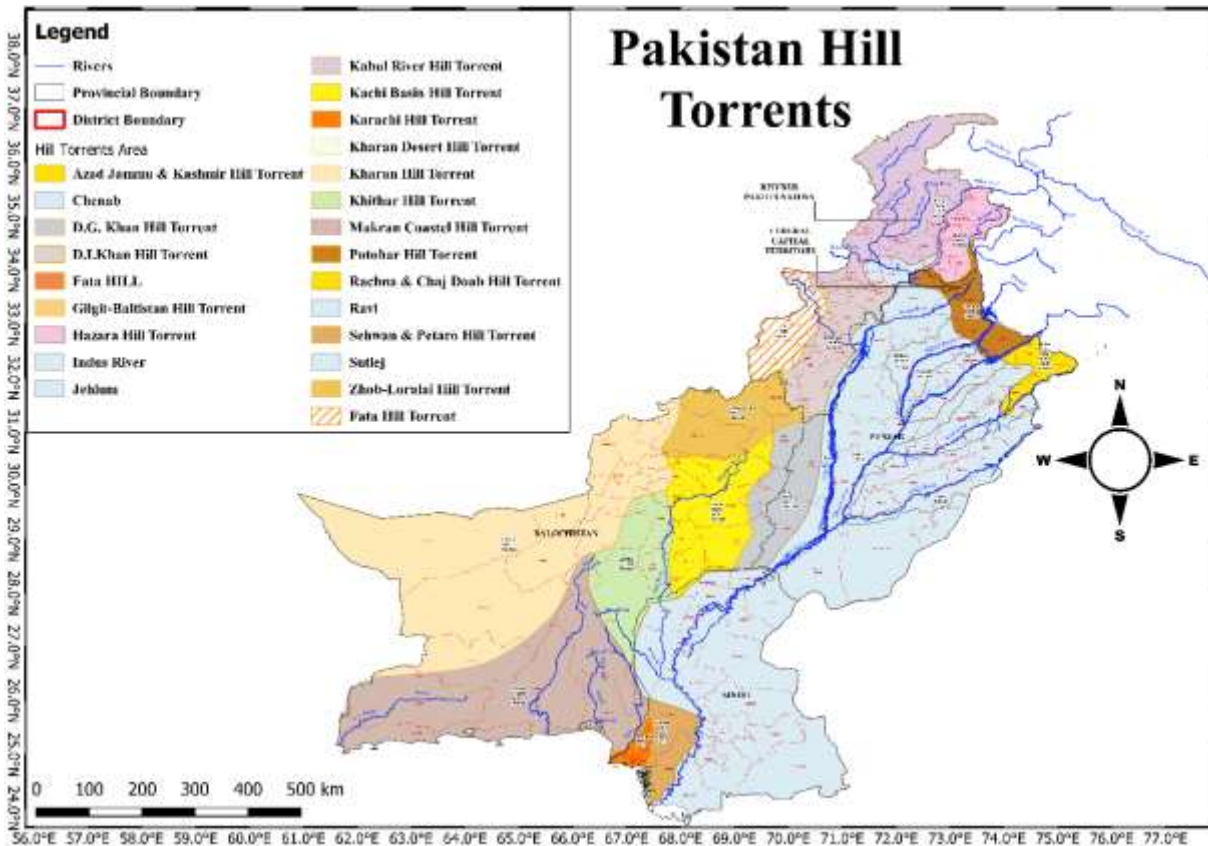
Hill Torrent 地域は、図 2.2.1 に示すように、その地域の地形的特徴と洪水の流出先から大きく以下の3つに分類されている。また、全ての Hill Torrent 地域及び、Indus River Basin (IRB) のうち Indus 川に直接注ぐ地域を、それぞれ図 2.2.2 及び図 2.2.3 に示す。

- Indus River Basin Hill Torrents.
- Kharan Closed Basin Hill Torrents, and
- Makran Coastal Basin Hill Torrents.



出典: M/F Study 1998

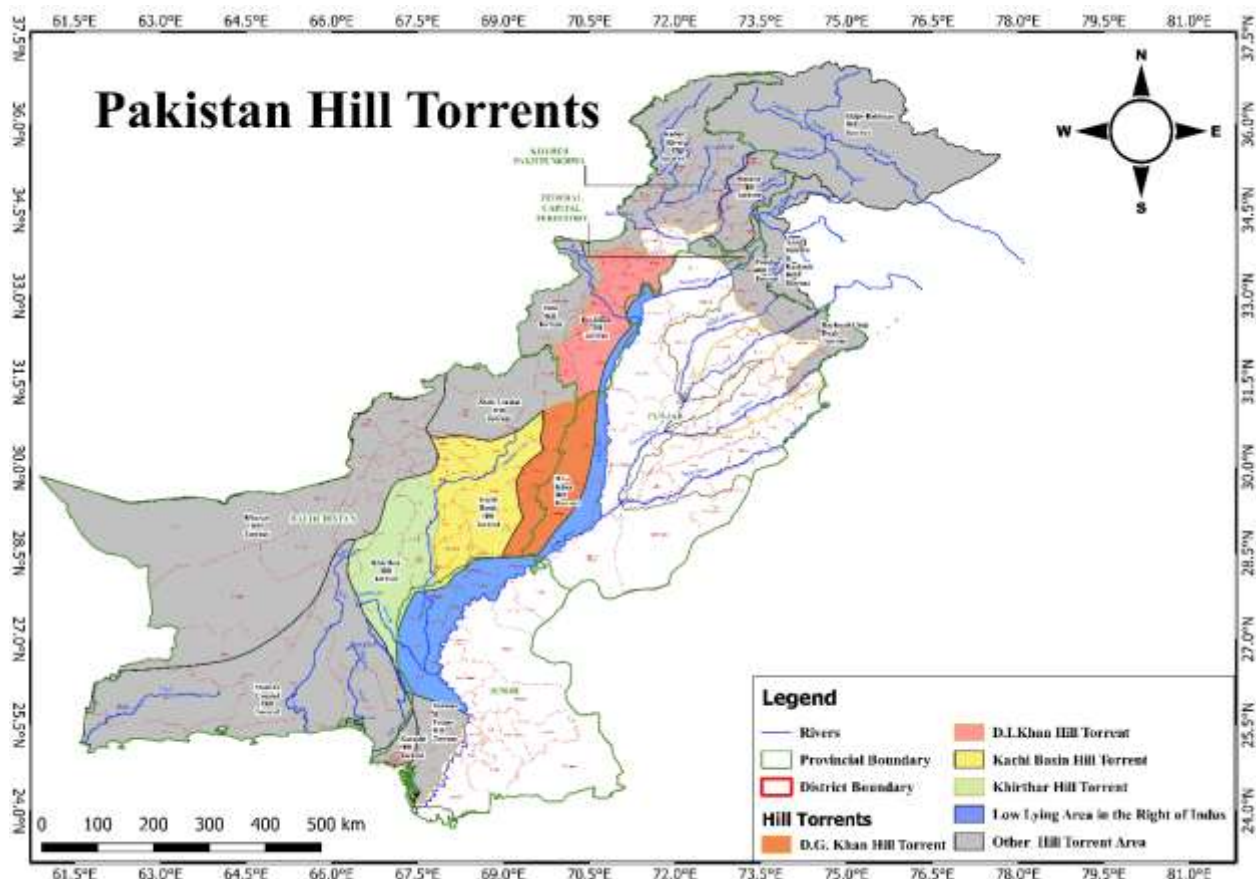
図 2.2.1 Hill Torrent 地域の種類



出典: M/F Study 1998 と Survey of Pakistan を基に調査団作成

図 2.2.2 全 Hill Torrent 地域位置図

Indus River Basin (IRB) Hill Torrent の出水は、最終的に Indus 川に流入し、他の殆どはアラビア海に直接注いでいる。特に IRB Hill Torrent 地域及びそれらの出水によって経年的に被害を受けてきた Indus 川右岸の低平地を、図 2.2.3 に提示した。



出典: M/F Study 1998 と Survey of Pakistan を基に調査団作成

図 2.2.3 IRB Hill Torrent 地域のうち Indus 川に直接注ぐ地域の位置図

氾濫被害の頻度が比較的多い Indus 川右岸（西部）の人口・資産が集積している低平地は、2022 年豪雨による洪水やその他の洪水時に、Indus 川西部の IRB Hill Torrent 地域、即ち、Khyber PakhtunKwha (KPK) 州の D.I. Khan、Punjab-Balochistan 州の D.G. Khan 地域及び Sindh-Balochistan 州の Kachhi、Khirthar Hill Torrent 地域からの出水を受けている。

2.3 1998 年 M/F Study の進捗と状況

基本的に各州の洪水対策、灌漑、発電を目的とする構造物対策が主となった計画である。IRB Hill Torrent 地域、即ち、Punjab-Balochistan 州の D.I. Khan、D.G. Khan 地域及び Sindh-Balochistan 州の Kachhi、Khirthar Hill Torrent 地域等の進捗と状況について整理する。全ての州でコア事業と副事業群が提案されている。特に上記 3 地域については、コア事業はほぼ完了しているが、副事業の進捗は州組織として周知されていないため、状況の把握は困難であった。

2.3.1 Hill Torrent 地域治水整備のこれまでの動向

(1) M/F Study 1998 提案の Hill Torrent 事業の実施状況

FFC 及び PIDs に遠隔及び面談でヒアリングし、更に事業進捗の情報提供を依頼したが、FFC 及び PIDs はそれらを明確に把握していない。PIDs 内にも事業管理に関する問題が見られる。Asian Development Bank (ADB) はこのような場合、Project Readiness Financing (PRF) 調査を実施し、F/S 及び D/D を行い、事業を進めるようである。FFC によると、一般的には、これまで Hill Torrent 事業は予算不足により、ほとんど実施されてこなかったとのことである。ただし、収集した情報・資料によると Core 事業は、ほぼ完了していると考えられる。

(2) NFPP-IV(2018 年)時点の国家による Hill Torrent 整備に関する動向

Planning Commission (MoPS-PC) の「第 11 次五カ年計画」には「National Flood Protection Plan-IV (NFPP-IV)」の策定への全面的支援が述べられている。NFPP-IV は、洪水堤防、堰、洪水予測および早期警告システムを通じて、公共および私的なインフラおよびその他の社会経済的資産を保護することを目的としている。しかしながら、NFPP-IV は、2018 年に策定されたため、2022 年洪水規模相当を想定した状況での Hill Torrent 事業があまり提案されていない。具体的には、降水量が比較的多く、急流河川を有する北部 KPK 州の Hill Torrent 事業が提案されているが他州については国家計画として具体化されていなかった。

(3) 2022 年洪水後の動き

2022 年 8 月 29 日に、首相は「2017 年の NFPP-IV を更新し、洪水や山岳地帯の急激な洪水に対する保護措置を計画に含める」と指示した。この指示に基づいて、FPSP-III (Flood Protection Sector Project)が更新及び承認 (2023 年 6 月) され、加えて FPSP-IV も策定される予定である。更新された FPSP-III は国家洪水対策計画 (NFPP-IV) 策定の調査過程で提案されていた優先サブプロジェクトを含み、2022 年洪水被害に基づき、関係機関 (PIDs、Federal Line Agencies (FLAs)、Water and Power Development Authority (WAPDA) 及び Pakistan Meteorological Department (PMD) 等) の緊急要件を満たす新事業が反映されたものである。

一方で、2022 年洪水後、開発ドナーとパキスタン政府は 2022 年 9 月から Post Disaster Needs Assessment (PDNA) 調査を開始し、その後、MoPS は、回復、再生、復興を強調した 4RF (Resilient, Recovery, Rehabilitation & Reconstruction) フレームワークレポートを 2023 年初頭に作成した。特に、そのレポートは仙台防災枠組みで提唱された Build Back Better (BBB) を財政要件として強調している。これに基づき開発ドナーは、PID や関係機関に資金を融資し、復旧・復興事業を実施している。

(4) 更新 FPSP-III(2022 年 6 月)で提唱された Hill Torrent 地域への対策

更新 Flood Protection Sector Project-III (FPSP-III) の治水整備目標は、表 2.3.1 示すように再設定された。この 12 項目の治水整備目標を見ると、2022 年洪水特性を踏まえ急流河川/流域への構造物及び非構造物対策が目立っている。本業務の Pre-F/S の対象となっている Sindh 州の排水対策の改善も項目として組み込まれている。

なお、後に記載するが、Sindh 州の低平地を代表とする、特に Indus 川右岸の低平地周辺において

は、周囲の Hill Torrent 地域での対策及び本川堤防の強化実施後には、低平地内部における洪水時の水バランスを考慮した内水処理問題に取り組む必要があると考える。

表 2.3.1 更新 FPSP-III の治水整備目標

<ol style="list-style-type: none"> 1. 既存の少数の洪水防止施設を追加/新規介入を通じて強化すること。 2. シンド州の排水ネットワークの改善（排水路等の修復と改修）。 3. 国内の全ての川/小河川/流路を主要、二次、三次のレベルに応じた規模で観測し、正確で堅牢な河川洪水の予測と警告に役立つ洪水遠隔観測ネットワークの設置。 4. 洪水監視用の固定/移動式の気象レーダーの設置、特に現在の予測を通じた急激な洪水への対応。 5. クエッタ、カラチ、ハイデラバード、ペシャワール、ギルギット、ムルタン、ムザファラバードに洪水早期警告センターの設立。 6. FPSP-III および NFPP-IV の実施のための PIMU (Project Information Management Unit)の設立を含む機関の強化と能力構築。 7. Nature Based ソリューションと最新技術を導入し、水分散/水転流構造物、浸透対策等を通じた Koh-e-Suleiman および Kirther Range の山岳地帯の洪水総合管理。 8. Hill Torrents (D.G. Khan, Rajanpur& Kirther Range) に沿った洪水遠隔測定の設定。 9. Hill Torrents における貯水および洪水分散構造物の建設。 10. 主要都市の洪水耐性の向上に向けた研究と構造物対策、既存の洪水防止施設/情報の改修。 11. 都市洪水に対処するための対策（地下水涵養と雨水貯留・浸対策含む）。 12. 既存の運河、排水路/川のシステムを通じた都市洪水の経路案内のためのガイドライン/ SOP (Standard Operating Procedure)の開発。
--

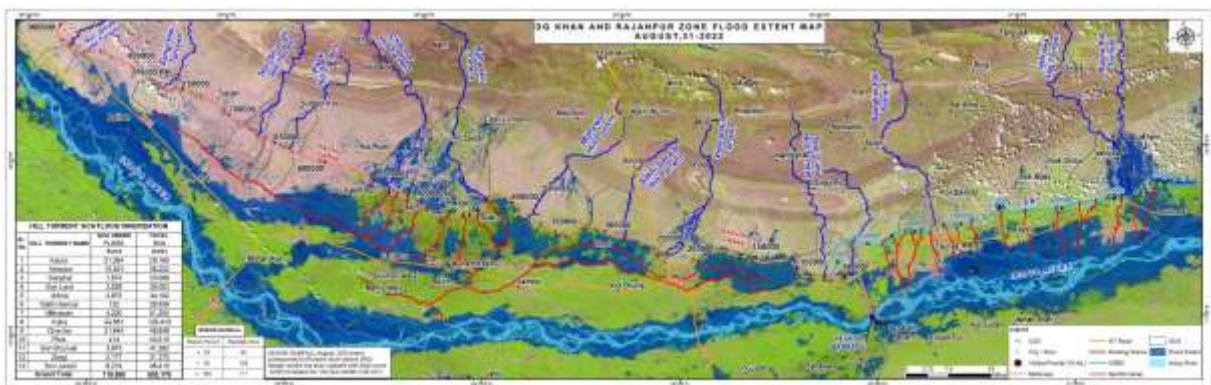
出典:更新 FPSP-III レポート(Jun. 2023)

2.4 D.G Khan Hill Torrent 地域

2.4.1 D.G Khan Hill Torrent 地域の地形・洪水特性

D.G. Khan Hill Torrent 地域は、南北に伸びる低平地に民家や灌漑エリア等産業が集積している。Indus 川左岸の D.G. Khan 低平地の標高は、一般的に Indus 川よりも高いため、上流 Hill Torrent 地域の表流水は自然流下で排水されている。また、D.G.Khan の低平地では、市町村の都市、町或いは集落周辺に上流 Hill Torrent からの流出に対して防御する形で築堤されている。なお、D.G. Khan 地域の下流側（南側）に隣接する Rajaput 地区近傍では、Indus 側に沿いに堤防が建設されている。

なお、パキスタンに存在する二つの原子力発電所のうちの 하나가 D.G. Khan Hill Torrent 地域の Chashma 地区に建設されている。



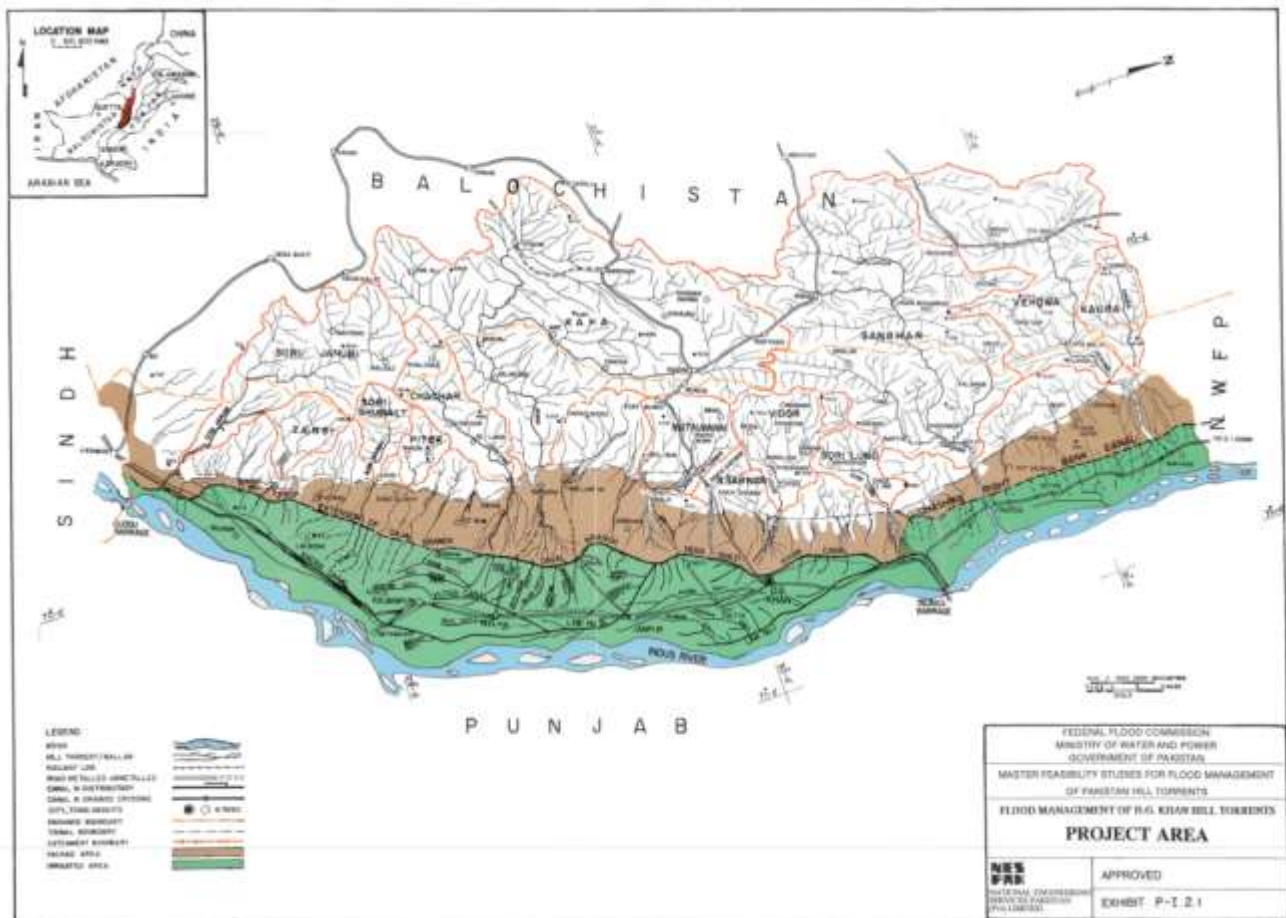
出典:Punjab-PID (2023)

図 2.4.1 D.G. Khan Hill Torrent 地域の状況

2.4.2 Punjab-D.G. Khan における 1998 年当時の計画と現況

2.4.2.1 1998 年当時の計画内容

D.G. Khan Hill Torrent 地域は 13 の主要な Hill Torrent 流域に分かれており（図 2.4.2 参照）、総面積は 24,500km² である。当時は 15 の Diversion/Dispersion システムが建設されていた。この Diversion/Dispersion システムは、堰と灌漑地へ続く水路から成り、水利権を満たすために適宜建設される。当地では Flood irrigation という伝統的な灌漑手法も行われており、河川に土の Bund を流れてに直角に配置して、低水期に河川水を農地に振り分けている。その中には Flood Diversion 機能を有する構造物もあり、洪水対策及び水利用施設として用いられてきた。



出典: M/F Study 1998

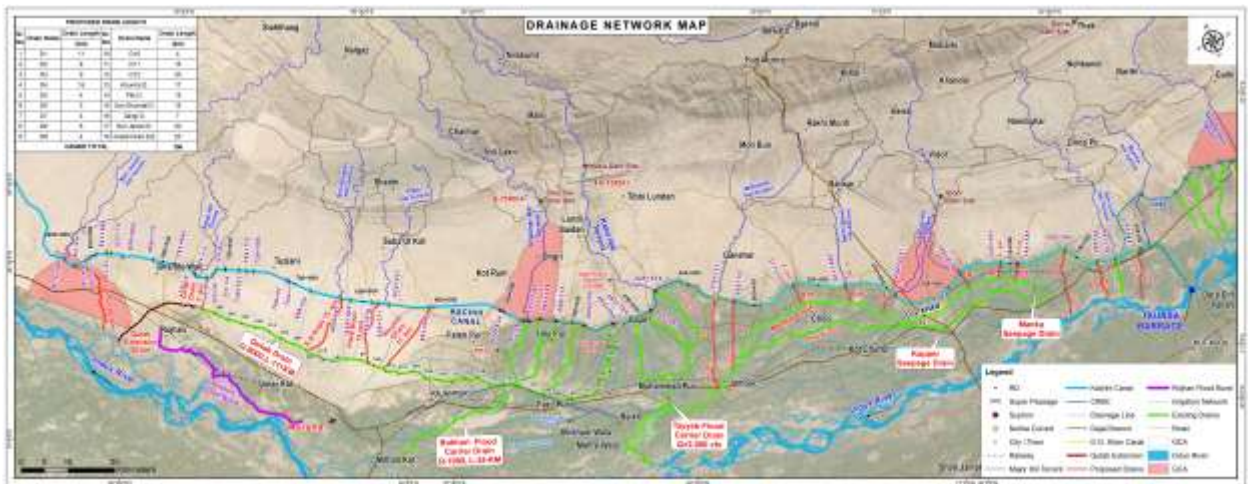
図 2.4.2 D.G. Khan Hill Torrent 地域での Hill Torrent 流域区分

当時の D.G. Khan Hill Torrent 地域のコア事業は、全ての Hill Torrent 地域の中で最も効果の高い治水・利水施設の建設事業として提案されており、開発ドナーによる融資が可能であると判断されていた。事業は 11 の流域で提案されており詳細設計も行われていた。具体的には当時で約 1.1 bil. PKR で 25 の堰及び dispersion/diversion 施設を設置することとなっていた（表 2.4.1 参照）。なお、FFC 及び Punjab-PID ではこの事業の進捗を明確には把握していなかったが、進捗は非常に遅いとのことであった。

表 2.4.1 1998 年当時の優先事業一覧

S.No	Hill Torrent	Cost						Total
		Land Acquisition	Civil Works		Total Civil Works Cost including Physical Contingency	Detail Dsg. & Const Supervision @ 5% of Civil Works	Engg. and Admin. @ 3% of Civil Works	
Flood management Structures	Flood Carrier Channels							
1	Kaura	2	40	-	44	2	1.2	49.2
2	Vehowa	4	67	-	73.7	3.35	2.01	83.06
3	Sanghar	3	68	-	74.8	3.4	2.04	83.24
4	Sori Lund	8	75	8	91.3	4.15	2.49	105.94
5	Vidore	7	180	30	231	10.5	6.3	254.8
6	Sakhi Sarwar	4	40	12	57.2	2.6	1.56	65.36
7	Chachar	6	68	20	96.8	4.4	2.64	109.84
8	Pitok	7	Nil	65	71.5	3.25	1.95	83.7
9	Sori Shumali							
10	Zangi	5	52	30	90.2	4.1	2.46	101.76
11	Sori Janubi	4	60	20	88	4	2.4	98.4
Total		50	650	185	918.5	41.75	25.05	1035.3
Provision for purchase of maintenance equipment								20
GRAND TOTAL								1055.3

出典: M/F Study 1998



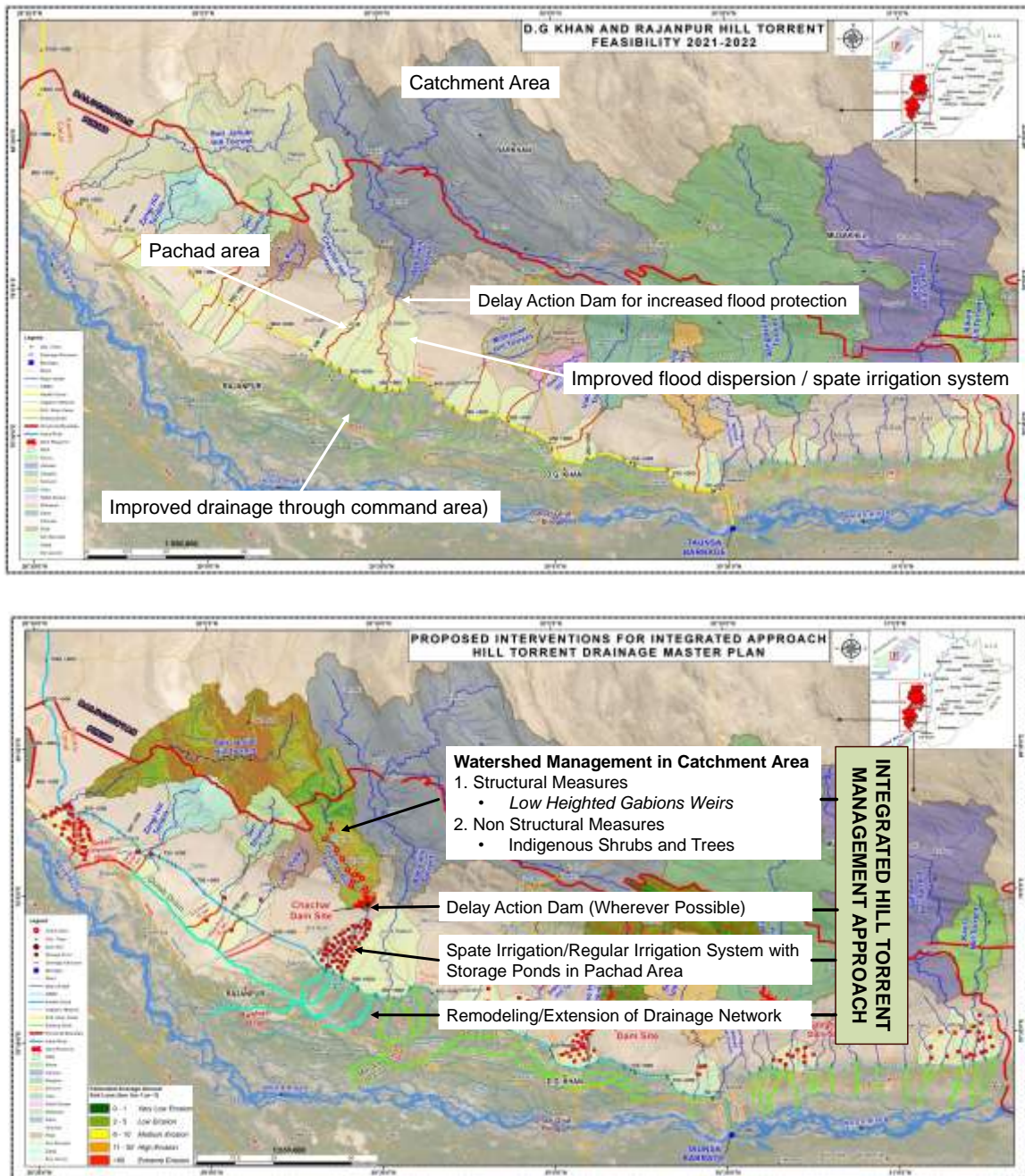
出典 : Punjab -PID (2023)

図 2.4.3 D.G.Khan Hill Torrent 地域の排水ネットワーク（現存及び計画）

2.4.2.2 現時点での計画立案状況

Punjab-PID は 2023 年 7 月時点では図 2.4.4 のような Hill Torrent 地域の総合治水コンセプトを示した。全体的な Hill Torrent 管理計画はないが、開発ドナーの資金を基に、適宜調査を行い、事業の計画・実施を進めている様である。具体的には、Punjab-PID は Hill Torrent 管理のための“ADB 資金により Project Readiness Financing (PRF) 調査 (2024 年 12 月まで) を実施しており、D.G. Khan 及び Rajanpur 県における実現可能性のある事業を割り出している。この調査では 7-8 の F/S 調査と 4-

5 件の詳細設計を行い、さらに、当該地域の Koh-e-Sulaiman 山地の排水問題を統合的に解決するスコープを追加する予定である。



出典：Punjab -PID (2023)

図 2.4.4 D.G.Khan Hill Torrent 地域での統合管理の例

2.5 Kachhi 及び Khirthar Hill Torrent 地域並びに RBOD 地区

2.5.1 対象地域の地形及び洪水特性

対象地域は、概ね Balochistan 州の Hill Torrent 山岳地（図 2.5.1 の Kachhi Plain 及び Kirthar Hill Torrent を構成する Mula River Basin 及び GAJ 地区）及び Sindh 州の低平地に分けられる。Balochistan-Hill Torrent 山岳地での洪水は、Sindh 州の低平地に流れ込むこととなる。厳密には GAJ 地域下流に Nari 川流域があり、二つを合わせて Gaj-Nari Hill Torrent と呼ばれている。

Sindh 州側では、Hill-Torrent 山麓に沿って Flood Protection (FP) -Bund を南北に建設し、西部 Hill Torrent 山岳からの出水を山麓周辺で貯留させ、FP-Bund で低平地最下流の Manchar 湖に導流している。その後洪水は Manchar 湖から水門及び放水路を通じて Indus 川本川に放流される。

この地域での 2010 年及び 2022 年洪水の情報から、低平地の氾濫の自然的原因は、①本川破堤による河川からの溢水、②Hill Torrent からの出水、③豪雨、等と言える。また、この氾濫に対して、現在（2023 年）の Manchar 湖からの排水能力は Irrigation Manual 等で設定されている 50 年洪水確率を下回っている。また、Hill Torrent からの出水はこれまで度々 FP-Bund 等を損壊させている。Manchar 湖からの溢水や FP-Bund の損壊が発生すると、Sindh 州の居住地及び灌漑エリアに大きな被害を与える。そのため、Balochistan 州の Hill Torrent 側の出水の対策は、Sindh 州低平地の洪水時の水バランスや排水能力を考慮して実施すべきである。

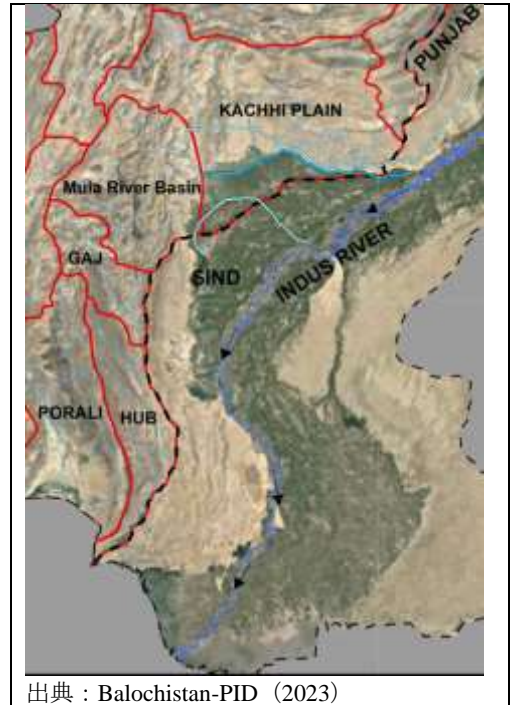


図 2.5.1 RBOD 地区周辺

2.5.2 1998 年当時の計画内容と進捗

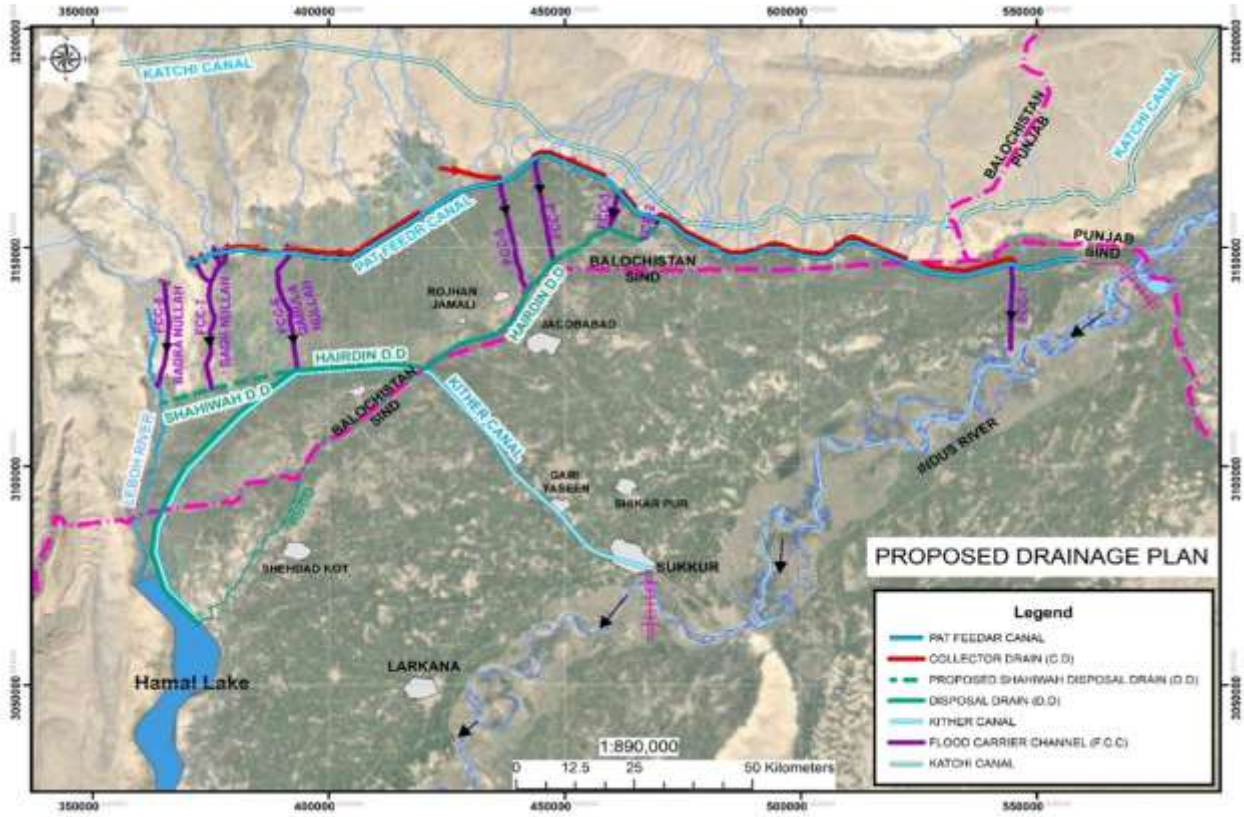
Right Bank Outfall Drain (RBOD) 低平地周辺の Hill Torrent 洪水対策は、1998 年当時では提案されていなかった。この理由は Balochistan にとって、経済的観点から比較的優先順位が低いためだと推察できる。Sindh 州では、灌漑水路、FP-Bund、Manchar 湖の排水・取水システムに関する事業等を実施してきたが、今後の Balochistan 州からの洪水の処理、気候変動による影響、将来の土地利用等という点からは、これまで十分に検討されていない。

2.5.3 現時点での計画立案状況

Balochistan 州によると、Hill Torrent 地域の洪水を複数の Flood Carrier Channel (FCC) 水路（表 2.5.1 参照）で直接 Indus 川や、Sindh 州内の灌漑水路に流入させるコンセプトを打ち出している。Balochistan 州は、FCC を含め Sindh 州に影響する表 2.5.2 及び図 2.5.2 に示す事業を提案している。

殆どの洪水は灌漑水路から Hamal 湖及び最終的には Manchar 湖に流入する。Inter-Provincial な課題として、FCC のステアリングによる総合的な計画が必要である。また、Pat Feeder Canal に流入或いは

越流する北部 Hill Torrent 地域からの出水の処理についての検討も必要になる。



出典：Balochistan-PID (2023)

図 2.5.2 対象地域での Balochistan 側からの提案

表 2.5.1 Balochistan から Punjab 州に敷設される FCC

No.	FCC 水路	延長(km)	流下能力(m ³ /s)	幅(m)	深さ(m)
1	FCC-01	17.4	340	106.68	1.2
2	FCC-02	2.2	170	68.58	1.0
3	FCC-03	8.3	170	68.58	1.0
4	FCC-04	23.9	396	137.16	1.1
5	FCC-05	26.4	512	137.16	1.3
6	FCC-06	30.1	349	121.92	1.1
7	FCC-07	34.7	641	182.88	1.2
8	FCC-08	26.5	116	45.72	1.0

出典：Balochistan-PID (2023)

表 2.5.2 Balochistan が提案するその他の事業

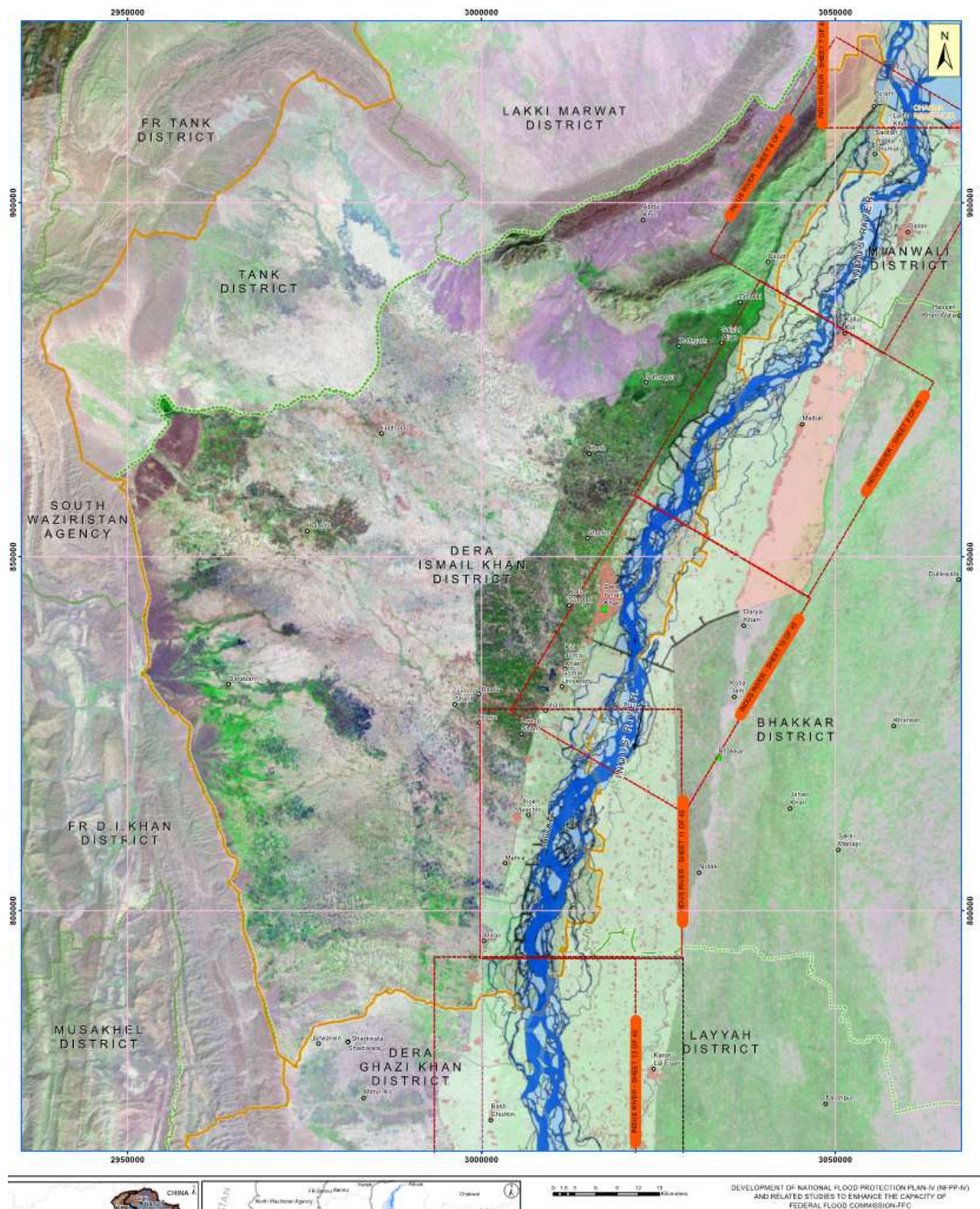
1. 山岳地域の小ダム
2. Kacchi 川と Pat Feeder Canal の横断排水構造物。
3. Kacchi 川と Pat Feeder Canal の右岸（北側）での堤防。
4. Pat Feeder Canal の右岸側からの FCC 建設
5. Pat Feeder Canal の配水灌漑地における FCC 建設
6. Hairdin 地下排水路を洪水の排水路に転用
7. Lebohu 川に Shaihwah 排水路を接続

出典：Balochistan-PID (2023)

2.6 D.I. Khan Hill Torrent 地域

2.6.1 D.I. Khan Hill Torrent 地域の地形・洪水特性

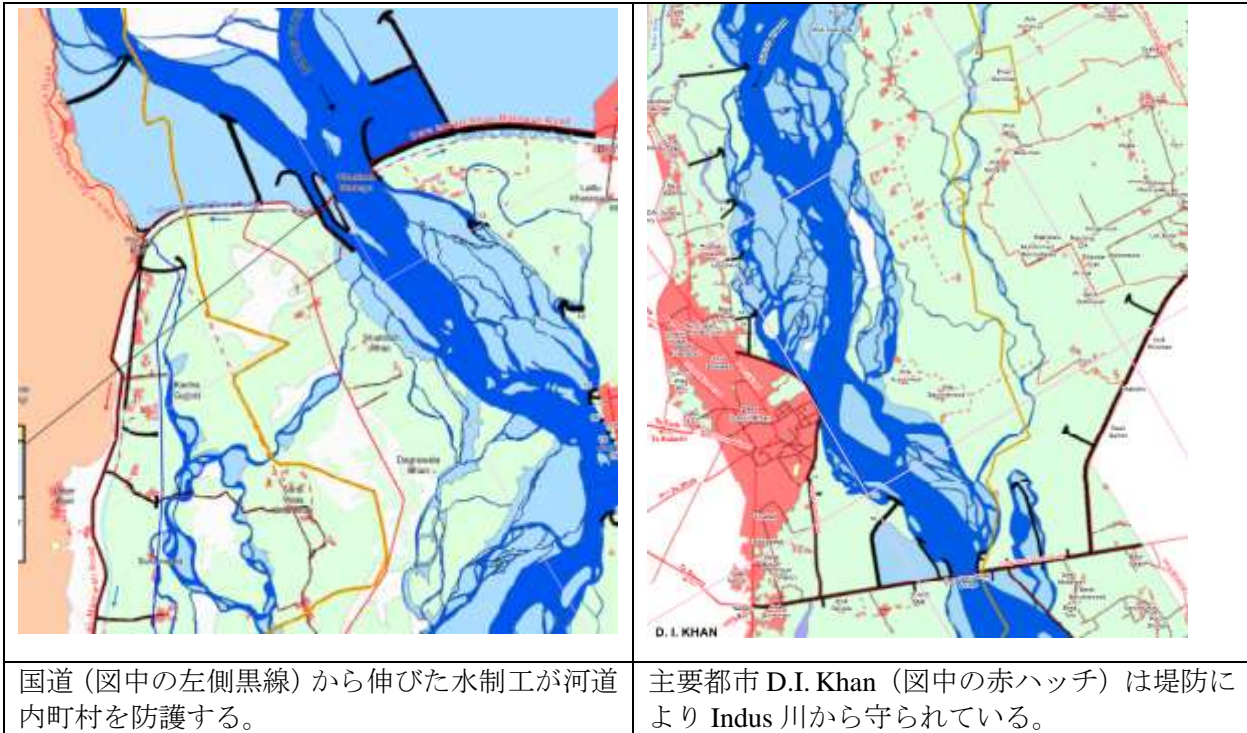
D.I. Khan Hill Torrent も概ね D.G. Khan Hill Torrent と同様の地形特性を有しているため、洪水特性も同様であると類推される。この地域の主要都市である D.I Khan（下図中央部付近の赤ハッチ）を含め多くの市町村は Indus 川河道内氾濫原（下図の Indus 川沿線の薄緑）に位置している。



出典：NFPP-IV

図 2.6.1 D.I. Khan 周辺の地形

河道と低平地の境界には国道（Dera Ismael Khan-Mainwari Road）が南北に走り、国道から Indus 川に向かって延ばした水制工により、河道内のその他の都市を洪水から防護しているようである。一方で、この地域の中心地である都市 D.I. Khan のみ輪中堤のような形態の堤防で防護されている。国道から西部には灌漑地（図中の濃い緑）が広がっており、その灌漑地の西端には、延長約 270km の Chashma Right Bank Canal（CRBC）用水路が設置されている（Chashma Barrage から取水）。



出典：NFPP-IV

図 2.6.2 D.I. Khan 地域の都市・町村の水制工や堤防による防護

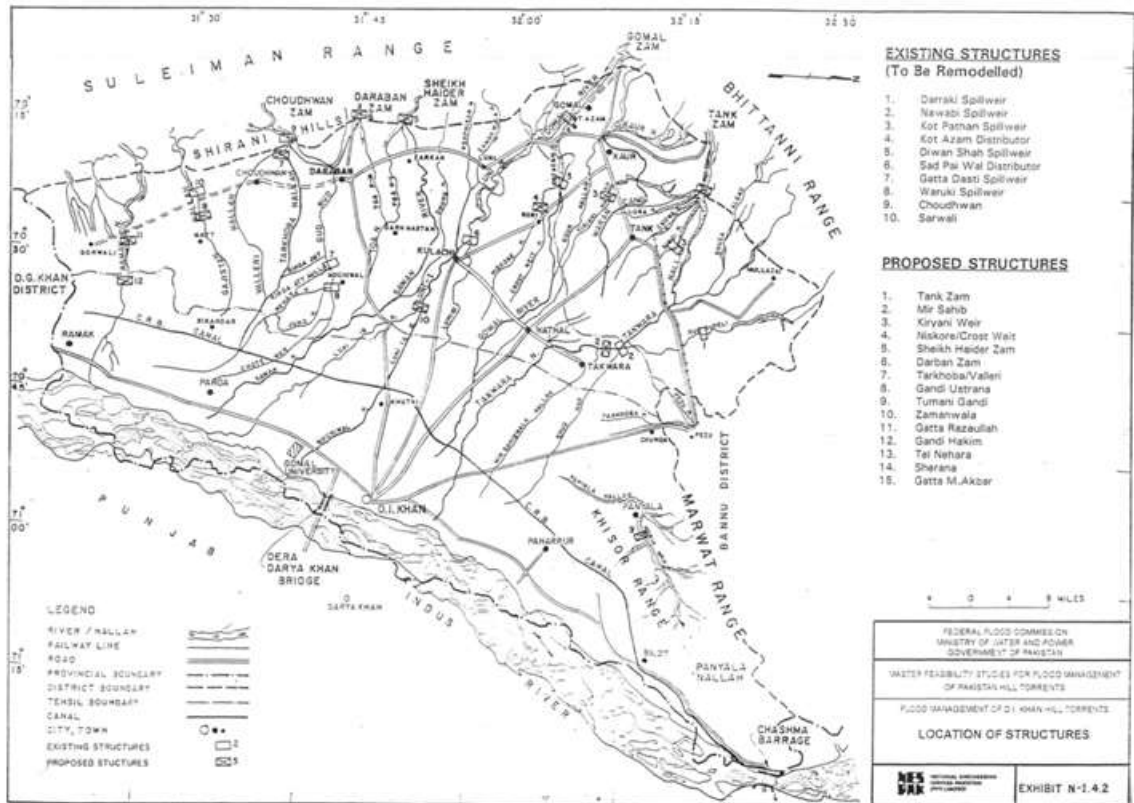
2.6.2 KPK 州の D.I. Khan における 1998 年当時の計画と現況

2.6.2.1 1998 年当時の計画内容と進捗

1998 年当時は、2 件のコア事業が提案されているが内容の詳細は記載されていない。後に纏められた資料及び WEB サイトによると、コア事業は、72 県を横断する約 274km の CRBC（Indus 本川の Chashma 堰から取水する重力式用水路）の建設と、総貯水容量 1.4 BCM を有する Gomal zam dam（Gomal 川流域の治水・発電・灌漑目的の重力式コンクリートダム）の建設である。前者は ADB による 450mil.USD 融資により既に構造物が完成し（2003 年 12 月にローン期限終了）、後者は USAID 及び Public Sector Development Program（PSDP）資金の下 KPK 州が約 12 億 PKR で 2011 年に建設した。

その他の事業としては、図 2.6.3 に示す 10 の堰のリハビリ及び 15 の Distributer（配水路等）の建設を計画していた。総事業コストは、354 mil. PKR であったが、その進捗については FFC 及び KPK 州は明確な情報を持ち合わせていなかった。FPSP-III には KPK 州の Hill Torrent 事業は掲載されていない。これは急を要する国家事業としては、それほど認知されていないということでもある。一方で、NFPP-IV には D.I. Khan 周辺の Indus 川本川の Spur Dike や一部の堤防の建設等の事業が 10 件程度提

案されている。



出典：NFPP-IV

図 2.6.3 D.I. Khan 地域の 1998 年当時の計画（副事業：洪水のための構造物対策）

2.6.2.2 現時点での計画立案状況

KPK 州では FFC の NFPP-IV 及び独自の計画に基づき、WAPDA、PMD、PIDs 等によって非構造物対策（Early Warning System（EWS）及び河川管理のため）等が進められているものの、1998 年以降の Hill Torrent 地域の治水対策施設は、これまでの予算投資規模から、他州に比べて比較的小さい規模であると類推される（表 2.6.1 参照）。NFPP-IV においては、D.I. Khan 地域では Gomal を含む 4 河川及びその支川の洪水対策事業（サブ事業）が、合計事業費 4.6 bil PKR でまとめて提案されているが、2023 年 6 月時点の更新 FPSP-III には取り上げられていない。

表 2.6.1 一般的な予算配分

No.	州/地域	分配率
1.	Punjab	45%
2.	Sindh	31%
3.	Khyber Pakhtunkhwa	11%
4.	Balochistan	08%
5.	Gilgit-Baltistan	01%
6.	Merged Area (Ex-FATA(Federally Administrated Tribal Areas))	03%
7.	Azad Jammu & Kashmir	01%

出典：FFC(November 2021)

2022年洪水以降、ADB及びJICA等の開発ドナーの支援等により、洪水被害を受けた河川構造物の復旧が進められている。しかしながら、1998年以降に、KPK州のD.I.Khan Hill Torrent地域で、具体的に明示された提案は上記NFPP-IVの1件である（詳細はNFPP-IVに記載されていない）。一方で、今回のヒアリングにより、KPK州は治水、利水及び発電を目的として、下記12ダムの建設計画を見直しているところである。そのうち3ダムはD.I.Khan地域に位置する。

表 2.6.2 KPK-PIDによるダム提案

Name	Sh. Haider Zam	Tank Zam	Chowdwan Zam	Surkhawai	Sher Dara	KORA nullah	Sumari Payan	Barwasa	Shaheed Banda	Nakai	Torawari	PANJTAR
Location District	D.I.Khan	Tank	D.I.Khan	Mardan	SWABI	D.I.Khan	Kohat	Haripur	Charsada	Noshera	Hangu	Bunir
Type	Earth core Rock fill	Zoned Embankment	Rockfill	Earth core Rock fill	RCC	Roller compact concrete	Earth core Rockfill	Earth core Rockfill	Roller compact concrete	Earth core Rockfill	Earth core Rock fill	Earth core Rock fill
Gross storage Acr ft.	89,910	345,000	51,835	2,214	3,107	15,733	6,218	1,111	1,168	835	7,369	8,574
Live storage Acr Ft	62,856	295,000	41,361	1,800	2,754	9,885	5,507	821	1,045	733	6,323	7,234
Dead Storage Acr ft.	27,832	50	10,474	414	353	5,848	710	290	123	102	1,046	1,340
Dam Height Ft.	190	292	2,000	133	219	120	71	105	151	110	160	115
Dam Crest Length ft.	1,536	1,600	1,936	1,073	781	583	2,066	716	680	643	1,464	510
Dam Crest Level asl	1,257	2,297	1,319	1,620		1,000	1,825	1,505	105	2,085	3,880	1,444
Command area Acres	19,398	70,000	17,300	1,622	1,600	6,500	2,200	1,110	1,000	650	7,000	1,600
Reservoir Catchment area Sq.mile		840	394	11	7	192	36	5	4	5	37	51
Cost (mil. PKR)	53	10,282	14,000	2,142	2,611	640	1,968	1,253	1,065	1,315	4,406	3,802

出典：KPK-PID(2023)

2.7 FFCによるHill Torrent地域への治水整備の動向

2.7.1 Hill Torrent-M/P策定への動き

本業務では、M/F調査1998（FFC）レビューを通じて、主要対象地域の治水事業の状況及び進捗を調査したが、各州はこれをあまりフォローアップしていないということが判る。NFPP-IVもそうであるが、予算確保が目的の調査であったため、M/F調査1998年終了後には、各州は、各州の事業情報に基づいて活動し、M/F調査1998にはフィードバックしていなかったと思われる。

このような状況の解決を意図して、FFCは、2023年7月及び8月に“Master Plan of Drainage”をテーマとしたFlood Management Committee（FMC）会議を開催し、全国のHill-Torrent地域の治水M/Pを作成することをFMCにて協議した。現在は現地コンサルタントを通じて各Hill Torrent地域のM/P策定に向けたTerms of Reference（TOR）を作成している。本業務のアドバイザーは両方の会議にFFCアドバイザーとして参画し、第2回目の協議にはJICA Pakistan事務所を含めWB（World Bank）、ADB等の開発パートナーも招待され参加していた。なお、FFC会議室でFFC議長は非公式的に、JICAパキスタン事務所に、M/Pへの参画を要請している。

2.7.2 各Hill Torrent地域でのM/P策定

Hill Torrent地域の治水整備については、National Disaster Management Plan（NDMP, 2012）の優先事

業として挙げられている。NDMP に基づいて策定された NFPP-IV (2018) では、国家事業として、①北部の Kabul 川流域の Flood Protection Work (FPW) 及び Hill Torrent 地域のマネージメント事業、②2022 年で深刻な洪水被害が発生した Chitral、Swat 流域の FPW 及び Hill Torrent 地域のマネージメント事業、③D.I. Khan 地域の複数の Hill Torrent 流域における FPW (FCC 含む)、等の Hill Torrent 地域における治水対策が提案されていた。

2022 年洪水後、4RF に基づく事業、FPSP-III に基づく事業が提案及び実施されつつある。しかしながら、今回の本調査では以下のような行政及び技術的な課題が明確となった。

- ① FFC 及び PIDs による Hill Torrent 事業の形成・実施・管理において、合理的なシステムを整備し、優先事業の選択の効率を向上させる必要がある。例としては、FPSP-III で上げられた事業が世銀の別の事業で実施されていたり、過去の事業の進捗・ステータスを適切に答えられない、等がある。ADB は、その都度、Project Readiness Financing (PRF) 調査を実施し、新規事業を形成・実施し、部分最適化を行っている。
- ② Inter-Provincial な課題を有する Hill Torrent 地域において、特に洪水が発生する山地と、洪水の受け手となる低平地の双方を考慮して、課題を解決する必要がある。例としては、IRB Hill Torrent 地域における出水側の Balochistan 州と受け手側の Sindh 州及び Punjab 州での統合的な課題の解決である。また、Hill Torrent 地域やその地域の構成流域を包括的に管理するための基本的な計画が存在しない。

FFC はこれらの課題を解決すべく、①については、FPSP-III に FFC 組織の能力・機能の向上を提案し、②については各 Hill-Torrent M/P の形成に向けて TOR を作成している。FFC はこの両事業について、日本の参画を要請している。

第3章 堤防強化プロジェクト

3.1 Indus 川・Sukkur から Manchar 湖区間の特徴

3.1.1 衛星画像分析

3.1.1.1 衛星画像分析による脆弱箇所の把握

本項では衛星画像による河道の変遷を確認し、その結果から考えられる脆弱箇所について整理を行った。Indus 川の Sukkur から Manchar 湖区間について、1984 年から 2020 年までの 1 年ごとの衛星画像（毎年 12 月撮影：Google Earth により取得）に基づいて、現在または過去に河道の主流線と堤防が接近している脆弱箇所を抽出した。抽出した脆弱箇所一覧を表 3.1.1 に、脆弱箇所の位置図を図 3.1.1 に、衛星画像を上流側から順に図 3.1.2 に、周辺地図と標高図を上流から順に図 3.1.3 に示す。

抽出された 8 箇所の脆弱箇所のうち、堤内地に Sukkur や Larkana を含む都市が存在し、人口密集地である右岸側地域（No.1~6）を対象とした。

No.1 から No.3 は Larkana より上流に位置する脆弱箇所であり、他にも周辺に Ratodero、Qamber 等の都市が存在し、堤防付近より地盤高が低いところが存在するため、破堤した場合には浸水による被害が想定される。No.1 及び No.3 は常に堤防と主流線が近い状態であり、No.2 はかつて堤防と主流線が近い状態であった。No.1 には水制があり、No.2 及び No.3 は 2 重堤防となっているが、第 2 線堤防は道路や本川堤防ほどの強化が施されていないことには注意すべきである。

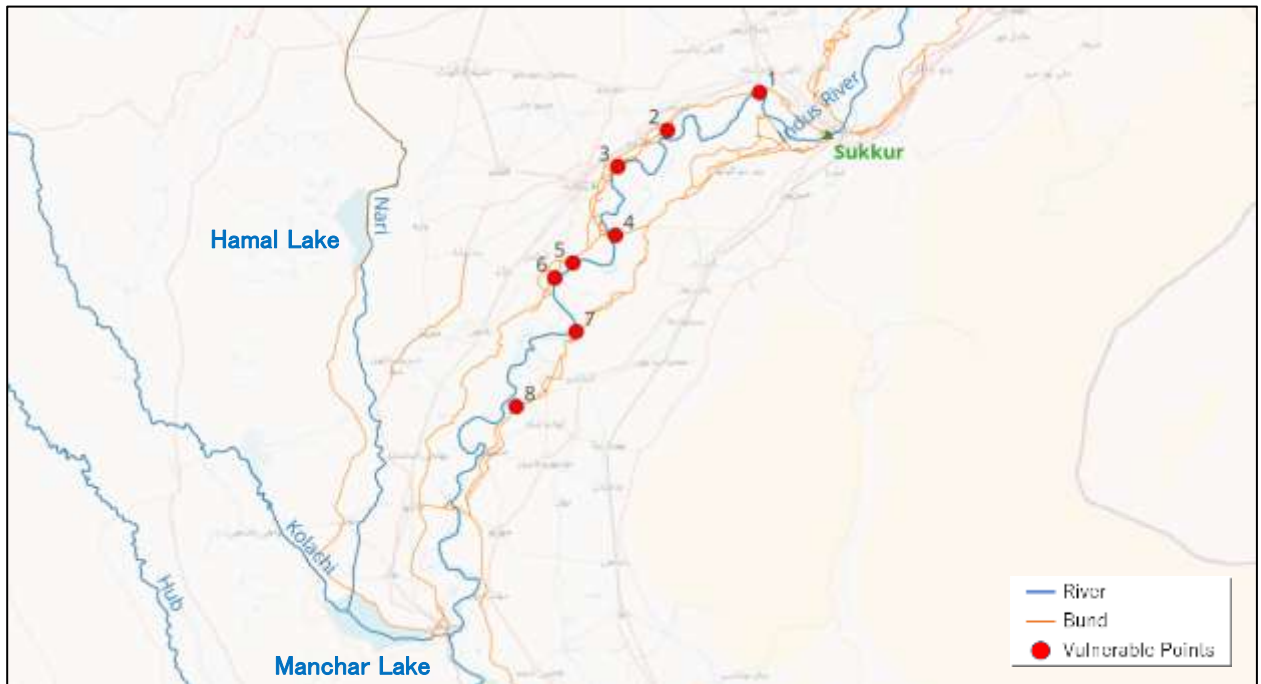
No.4 は Larkana Khairpur Bridge 上に存在する堤防であり、破堤した場合に Indus 川の左岸と右岸の交通に影響を与えると考えられる。堤防設置により主流線の位置が変化しており、かつての主流線上に堤防があるため、脆弱箇所として抽出した。

No.5 から No.6 は Larkana より下流に位置する脆弱箇所であり、周辺に Dokri、Badar、Mehar 等の都市が存在し、堤防付近より地盤高が低いところが存在するため、破堤した場合には浸水による被害が想定される。どちらの地点も常に堤防と主流線が近い状態であるため、脆弱箇所として抽出された。また、どちらの地点も 2 重堤防となっているが、第 2 線堤防は道路や本川堤防ほどの強化が施されていないことには注意すべきである。

表 3.1.1 抽出された脆弱箇所一覧

No	主流線と堤防の位置関係	堤防等の状況	近隣の都市	緯度	経度
1	常に主流線が堤防に接近している。	水制が存在する。	Larkana, Ratodero, Qamber	27.790	68.669
2	1984年から2013年について、主流線が堤防に接近している。	2重堤防が存在する。	Larkana, Ratodero, Qamber	27.693	68.433
3	常に主流線が堤防に接近している。	2重堤防が存在する。	Larkana, Ratodero, Qamber	27.600	68.305
4	堤防が設置されたことにより、主流線の位置が変化した。	-	-	27.423	68.299
5	常に主流線が堤防に接近している。	2重堤防が存在する。	Dokri, Badar, Mehar	27.353	68.190
6	常に主流線が堤防に接近している。	2重堤防が存在する。	Dokri, Badar, Mehar	27.314	68.144
7	1995年以降について、主流線が堤防に接近している。	2重堤防が存在する。	Kandiaro, Tharu Shah	27.175	68.198
8	1992年から1999年について、主流線が堤防に接近している。	-	Kandiaro, Tharu Shah	26.983	68.045

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 3.1.1 抽出された脆弱箇所の位置図

Date : 1984/12/31



Date : 2020/12/31



○：脆弱箇所 (Vulnerable Points)

出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.2(1) Indus 川の Sukkur から Manchar 湖区間の衛星画像

Date : 1984/12/31



Date : 2020/12/31



○ : 脆弱箇所 (Vulnerable Points)
○ : この時点では主流線が堤防に接近していない。
出典 : Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.2(2) Indus 川の Sukkur から Manchar 湖区間の衛星画像

Date : 1984/12/31



Date : 2020/12/31



○ : 脆弱箇所 (Vulnerable Points)
出典 : Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.2(3) Indus 川の Sukkur から Manchar 湖区間の衛星画像

Date : 1984/12/31



Date : 2020/12/31



- : 脆弱箇所 (Vulnerable Points)
 - : この時点では主流線が堤防に接近していない。
- 出典 : Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.2(4) Indus 川の Sukkur から Manchar 湖区間の衛星画像

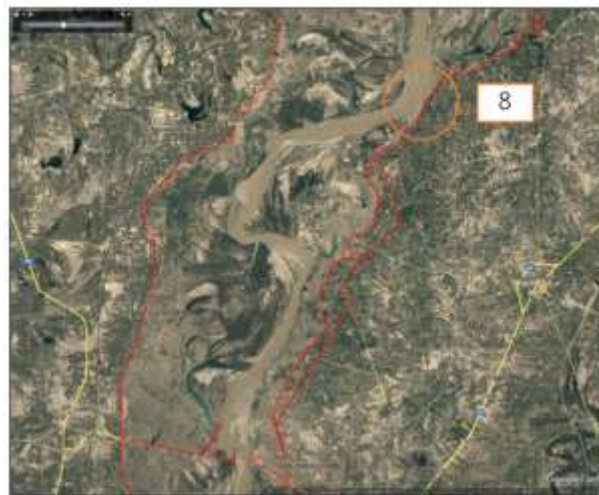
Date : 1984/12/31



Date : 2020/12/31



Date : 1998/12/31



- : 脆弱箇所 (Vulnerable Points)
 - : この時点では主流線が堤防に接近していない。
- 出典 : Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.2(5) Indus 川の Sukkur から Manchar 湖区間の衛星画像

Date : 1984/12/31



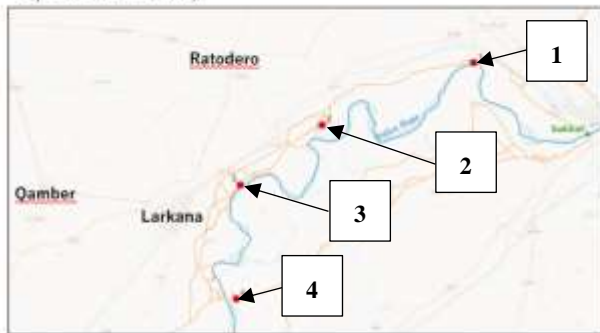
Date : 2020/12/31



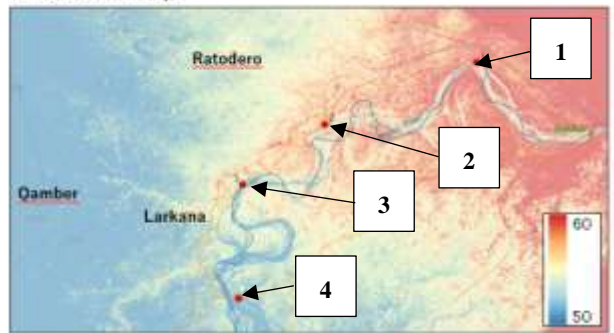
※この区間に脆弱箇所 (Vulnerable Points) はない
出典 : Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.2(6) Indus 川の Sukkur から Manchar 湖区間の衛星画像

Open Street Map



Elevation Map

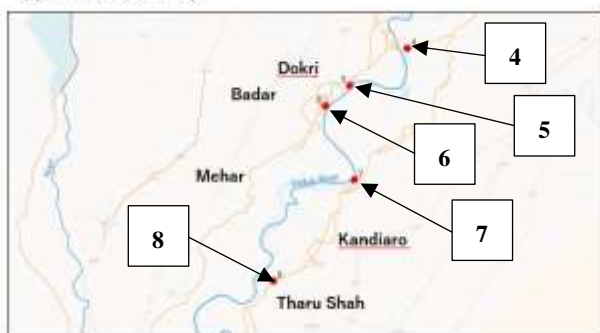


● : 脆弱箇所 (Vulnerable Points)

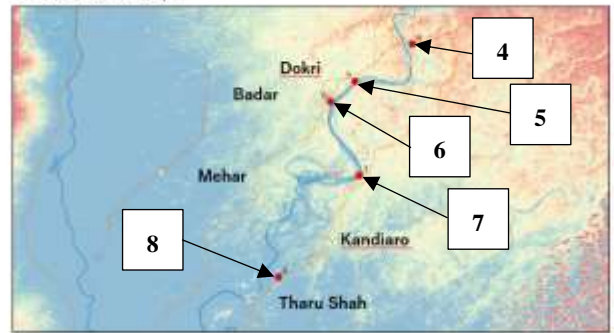
出典 : Open Street Map、Mapzen Global Terrain よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.3(1) 脆弱箇所の周辺地図と標高図

Open Street Map



Elevation Map



● : 脆弱箇所 (Vulnerable Points)

出典 : Open Street Map、Mapzen Global Terrain よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.3(2) 脆弱箇所の周辺地図と標高図

3.1.1.2 Old Abad Bund 付近の河道の変遷

Sindh PID が把握する Indus 川の脆弱箇所一覧を表 3.1.3 に、脆弱箇所の位置図を図 3.1.4 に示す。

このうち、Old Abad Bund は 2003 年から 2023 年にかけて、河道が大きく変化したことにより、脆弱箇所も変化した。Old Abad Bund 付近の 2003 年～2023 年の衛星画像を図 3.1.5 に、より広域の衛星画像を図 3.1.6 に示す。

図 3.1.5 の衛星画像を確認すると、Old Abad Bund と New Abad Bund の状況は表 3.1.2 のようにまとめることができ、近年では Old Abad Bund の脆弱性が増大していることがわかる。これは 2003 年～2013 年の間に J-head Spur が設置されたことが影響していると考えられる。加えて、より広域の衛星画像（図 3.1.6）を確認すると、上流側の主流線は 2003 年～2013 年、2013 年～2023 年の各 10 年間で大きく変化しており、こうした変化も Old Abad Bund 付近の河岸侵食に影響を与えていると考えられる。

表 3.1.2 Old Abad Bund と New Abad Bund の状況の変化

年	Old Abad Bund	New Abad Bund
2003	浸食発生無し	浸食進行
2013	浸食進行	浸食状況改善
2023	浸食がさらに進行	浸食状況がさらに改善

出典：アドバイザーチーム

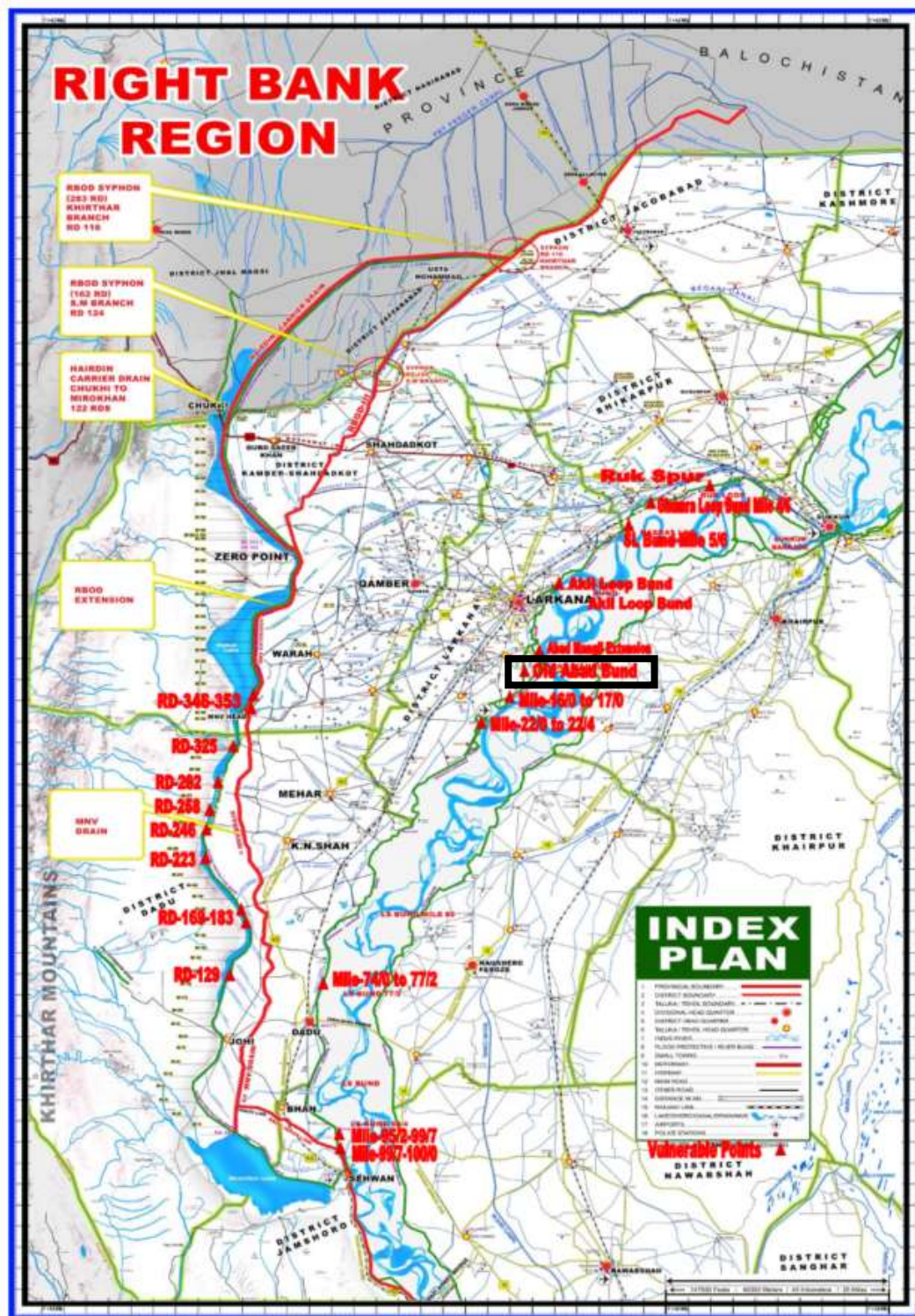
表 3.1.3 Sindh PID が把握する脆弱箇所の一覧

No. in NFPP-IV	No in SID Contingency Plan 2023	Name	Detailed Location on MAPs (Co-ordinates/ Landmark, etc.)	Verification	Remarks
214	53	S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P)	27°43'39.87"N 68°45'45.36"E	There is no any past History of this reach, but during flood 2022 the leak and seepage has been observed.	This reach is needed proper treatment and raising and widening of Bund.
251	54	Ghumra Loop Bund Mile 4/6 (V.P)	27°47'38.74"N 68°40'48.48"E	During 1960-61 as there was active erosion opposite Ghumra Loop Bund, and the reach of Ghumra Loop Bund Mile 4/6 to 6/3 became de-commissioned as such Ruk Loop Bund is acting as 1 st Line of defence since then	During flood 2022, River Indus was striding towards this reach very rapidly. So the scheme has been initiated for construction stone apron along this reach.
216	55	Ruk Spur, mile 0/5, 1/1, 1/6 & 2/3 (V.P)	27°47'39.05"N 68°40'42.44"E	During flood 1976 heavy erosion was observed along Ruk Loop Bund, these four spurs was constructed in 1978-79.	During flood 2022 the river became very active against ruk loop bund mile 0/0. The new scheme for construction new T-Head Spur has been initiated at this reach.
106	56	Moria Loop Bund Mile 0/0 To 1/0 (M.V.P)	27°37'7.12"N 68°20'55.52"E	During flood 2017 heavy scouring and erosion was observed and controlled by flood fighting works.	The scheme was approved for construction of river training works viz: spurs, stone apron, which was completed. During flood and rain 2022, this reach is again affected, which need proper treatment.
223	57	Akil Loop Bund Mile 0/0 To 0/7 (V.P)	27°34'39.06"N 68°17'23.41"E	These bunds are historically coming under the direct hit of River Indus at right angle, since 30 years these bunds faces erosion and heavy scouring. Many river training works carried out along this bund, in which spurs, stone apron, stone pitching and widening of the bund.	During flood 2015 some river raining works was disturbed, for which scheme is intimated which is in progress.
232	58	Abad Mangli Extension Mile 0/0 To 1/5 (V.P)	27°26'37.99"N 68°15'28.85"E	This reach is located immediately at up stream of Khairpur Larkana bridge and huge river training works was carried out as allied structures of above bridge.	This bund was un-safe / vulnerable up to 2019. At present this bund is quite safe.

No. in NFPP-IV	No in SID Contingency Plan 2023	Name	Detailed Location on MAPs (Co-ordinates/Landmark, etc.)	Verification	Remarks
	59	Old Abad Bund (V.P)	27°27'15.75"N 68°15'41.33"E	The river have remained very active along Old Abad / New Abad bund since last half century, but specially after construction of Khairpur Larkana bridge. This reach was over topped in flood 2010 and 2022, the river water was cordoned by Abad Manguli Bund.	The old / new bund is needed immediate repair and rehabilitation work.
233	60	L.S Bund 16/0 To 17/0 (Hakra Point) (M.V.P)	27°21'49.93"N 68°11'43.53"E	In flood 2015 the river came near at 200 ft so in 2017 the scheme was initiated for construction of T-Head spur and Stone apron along this reach.	The earthen shank of newly constructed T-Head Spur at Mile 16/1 is need to be raising and providing stone pitching.
233	61	L.S Bund Mil 22/0 To 22/4 Opposite Moen Jo Daro (V.P)	27°18'46.07"N 68°8'36.84"E	The reach remained in direct hit of River since last three decade. In eighties river training works viz: spurs, stone pitching and stone apron were constructed.	During flood 2017, this reach and T-Head Spur at L.S Bund 22/0 was in direct hit, which caused heavy damages. Which need to be recouped.
-	-	S.L Bund Mile 0/2 To L.S Bund Mile 36/5	-	During heave rains in 2022 whole reach has been affected badly. The side slopes were slipped down.	These 86 miles of river bund need raising, strengthening and Stone pitching along earthen river side slopes.

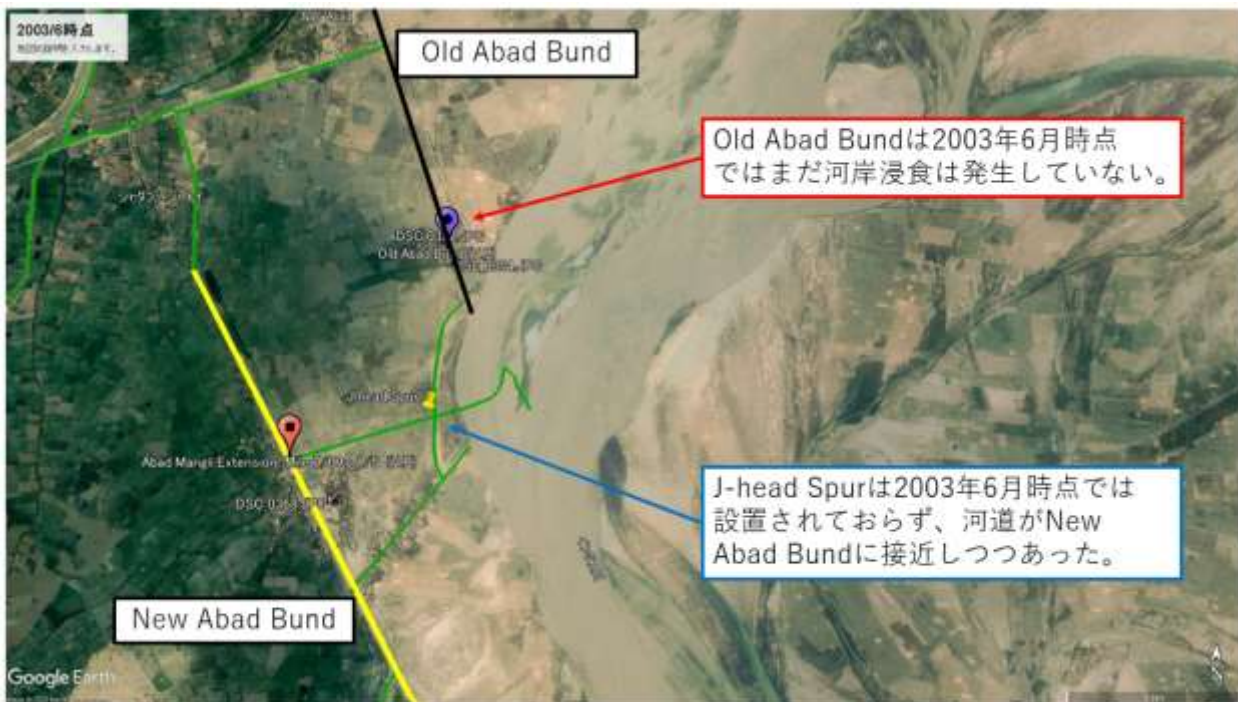
□ : 今回対象とする脆弱箇所

出典 : Sindh PID



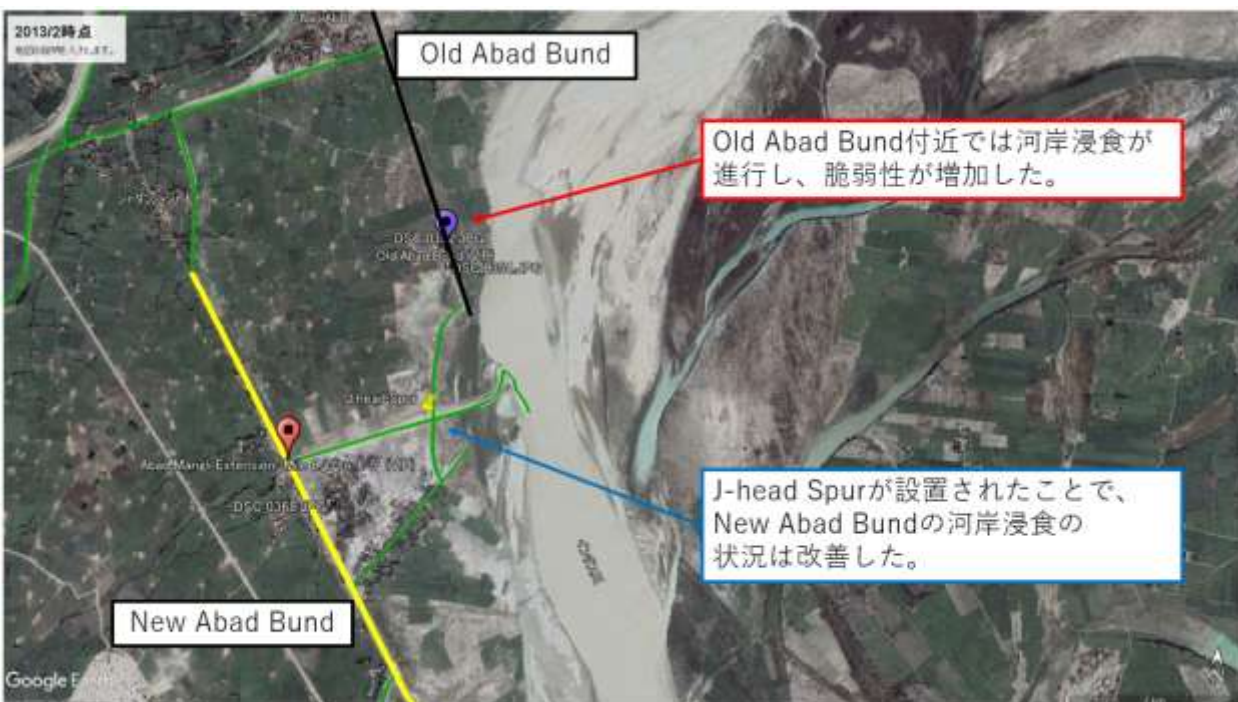
□ : 今回対象とする脆弱箇所
 出典 : Sindh PID

図 3.1.4 Sindh PID が把握する脆弱箇所の位置図



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.5(1) Old Abad Bund 付近の衛星画像 (2003 年 6 月時点)



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.5(2) Old Abad Bund 付近の衛星画像 (2013 年 2 月時点)



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.5(3) Old Abad Bund 付近の衛星画像（2023 年 4 月時点）



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.6(1) Old Abad Bund 付近の広域衛星画像（2003 年 6 月時点）



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.6(2) Old Abad Bund 付近の広域衛星画像 (2013年7月時点)

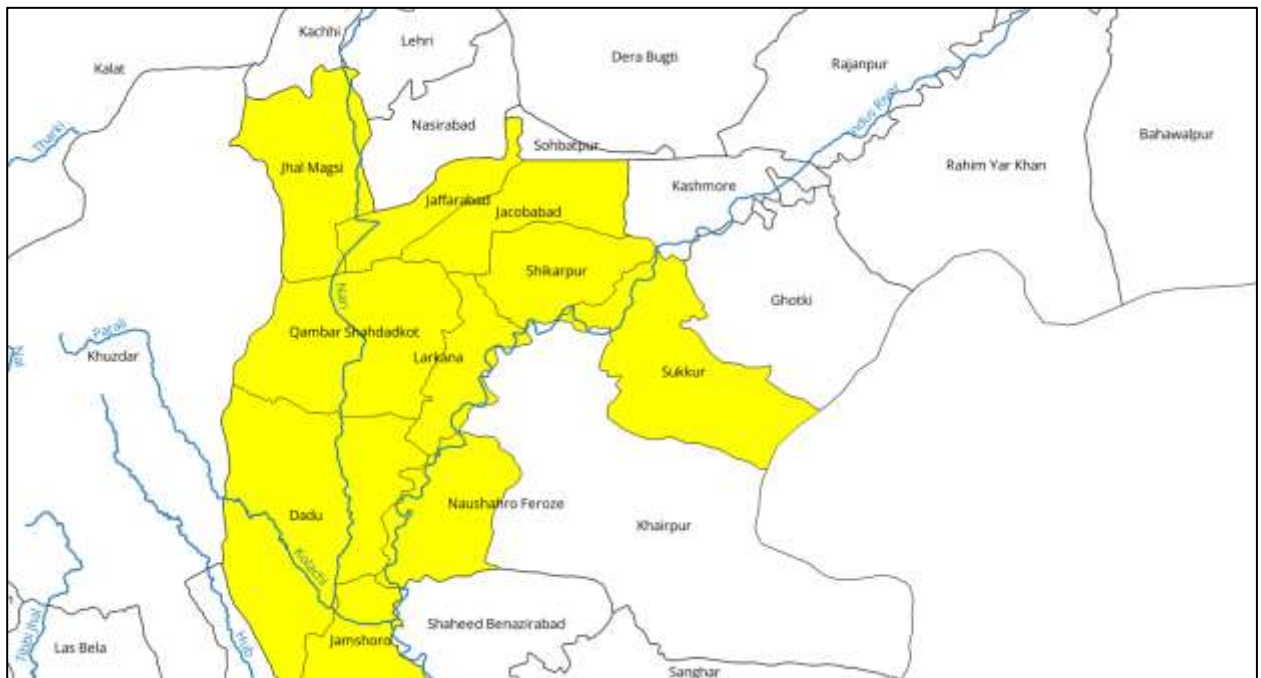
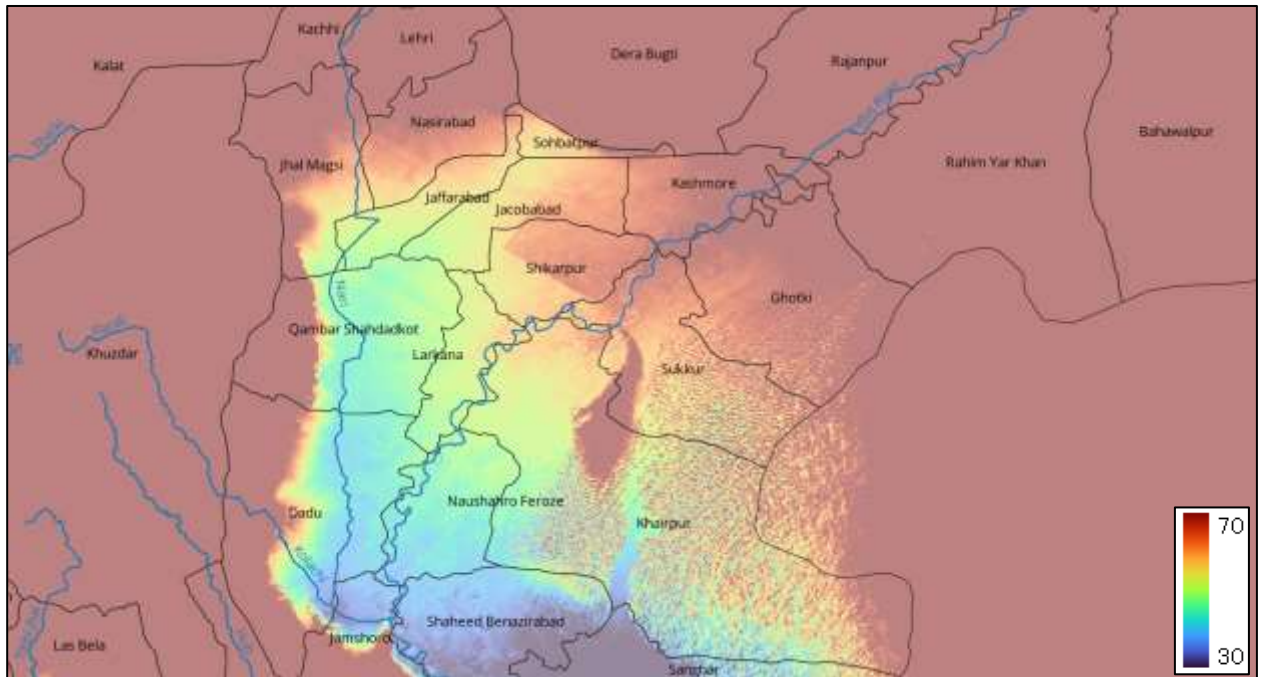


出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.6(3) Old Abad Bund 付近の広域衛星画像 (2023年4月時点)

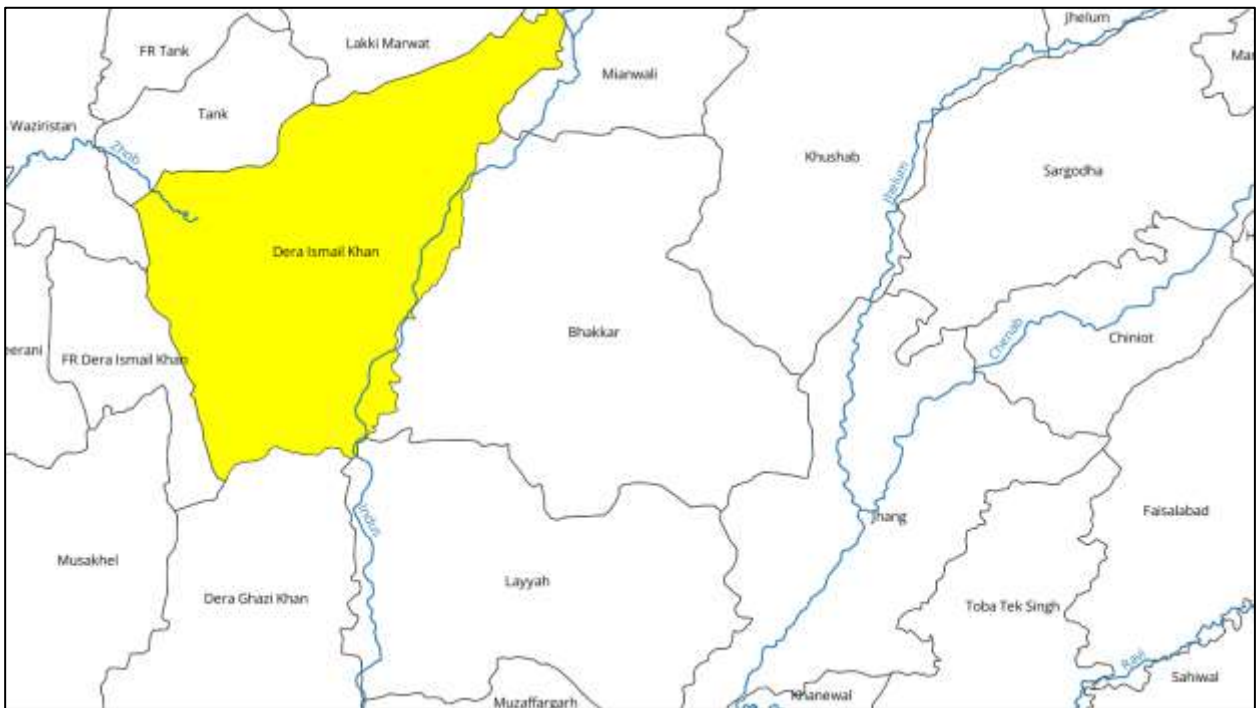
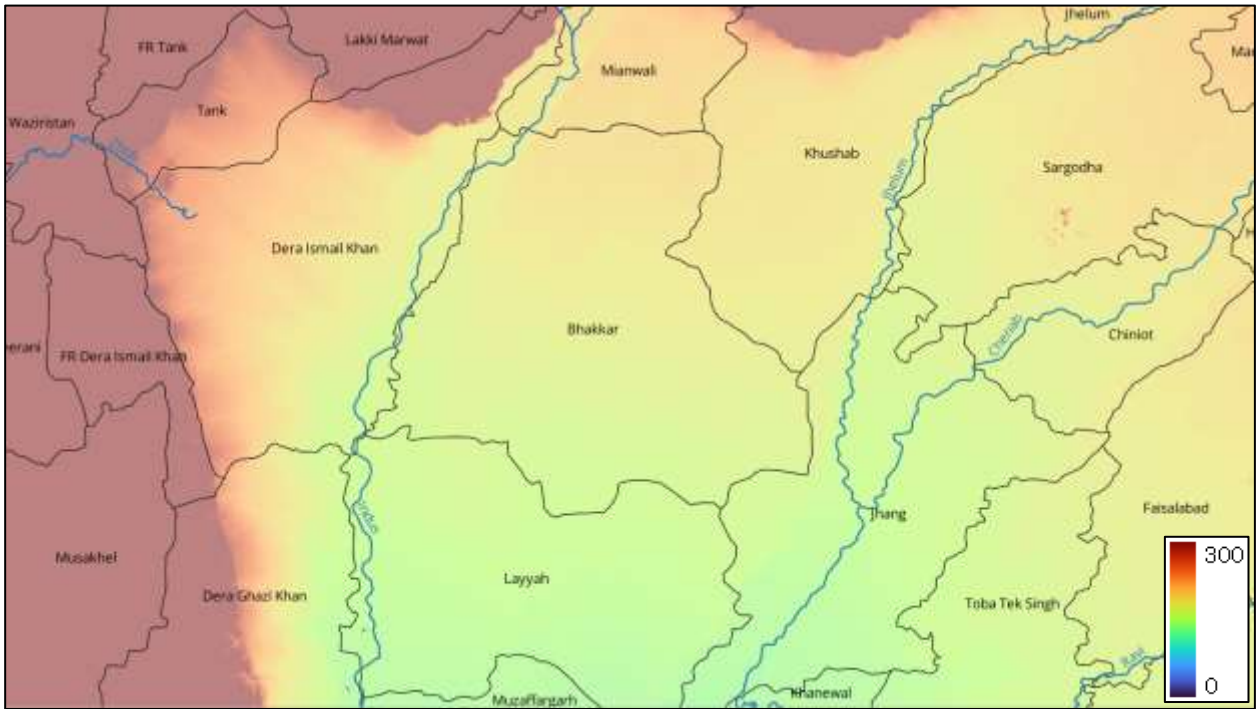
3.1.2 堤内地の開発状況

本項では Indus 川の Sindh 低平地（Sukkur から Manchar 湖区間の右岸地域）において、堤内地の開発状況として、面積、人口、堤内地の資産状況（家屋及び農作物）の状況を整理する。なお、整理を行う地域は右岸が破堤した場合に浸水が懸念される District 及び Tehsil のみを対象とする（図 3.1.7 参照）。また、参考として D.I. Khan、D.G. Khan 周辺についても整理する。



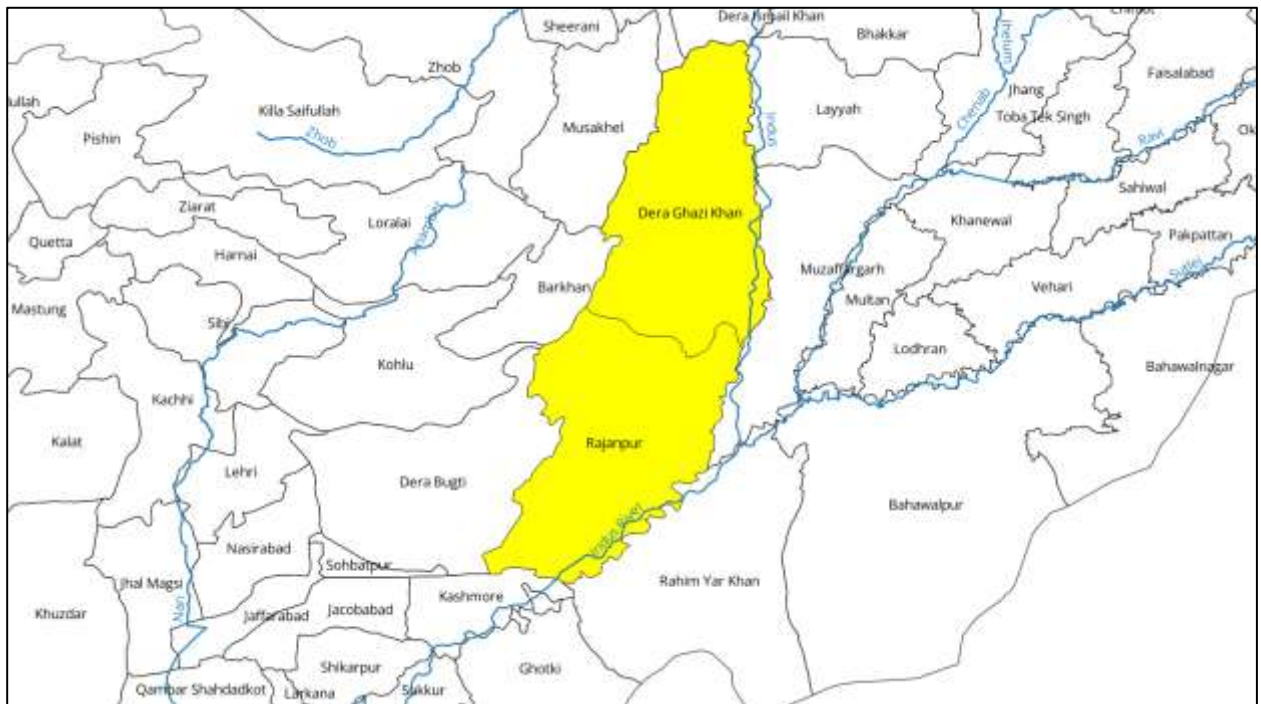
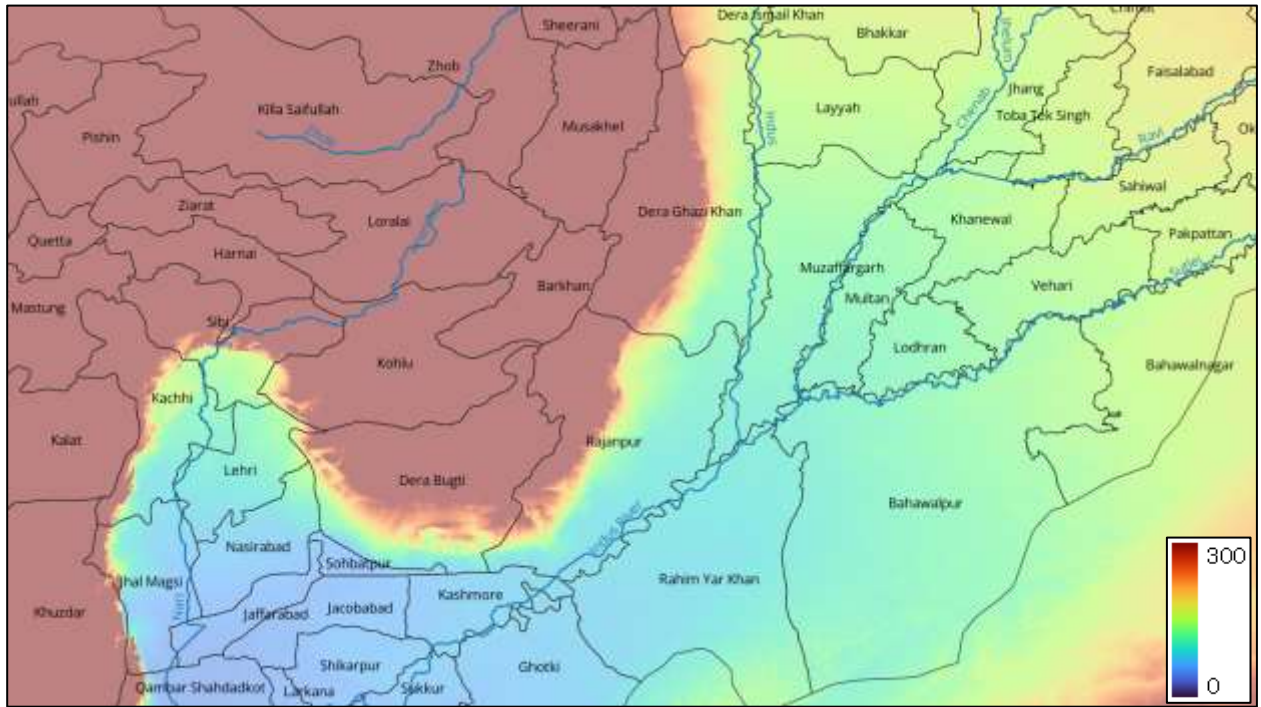
■ : Sukkur 周辺で破堤が発生した場合に浸水が懸念される District
 出典：アドバイザーチーム

図 3.1.7(1) Sukkur 周辺で破堤が発生した場合に浸水が懸念される District



■ : D.I. Khan 周辺の河川が破堤した場合に浸水が懸念される District
出典：アドバイザーチーム

図 3.1.7(2) D.I. Khan 周辺の河川が破堤した場合に浸水が懸念される District



■ : D.I. Khan 周辺の河川が破堤した場合に浸水が懸念される District

出典：アドバイザーチーム

図 3.1.7(3) D.G. Khan 周辺の河川が破堤した場合に浸水が懸念される District

3.1.2.1 総面積及び人口の整理

JICA 提供の基礎データ（ポリゴンデータ）に基づき、総面積及び人口を整理した。District 単位の総面積及び人口を表 3.1.4 に、Tehsil 単位の総面積及び人口を表 3.1.5 表 3.1.5 に示す。また、人口密度は図 3.1.8 に示すような分布となる。また、検討対象地域内の都市は表 3.1.6 及び図 3.1.9 のようにまとめることができる。

さらに参考のため、同様の整理を D.I. Khan、D.G. Khan についても実施し、表 3.1.7～表 3.1.8 及び図 3.1.10～図 3.1.11 に示した。

表 3.1.4 District 単位の総面積及び人口（Sindh 低平地）

Province	District	総面積(km2)	総面積(mi2)	人口
Sindh	Qambar Shahdadkot	5,608	2,165	1,341,042
	Jacobabad	2,771	1,070	1,006,297
	Shikarpur	2,577	995	1,231,481
	Sukkur	5,205	2,010	1,487,903
	Larkana	1,910	737	1,524,391
	Dadu	7,994	3,086	1,550,266
	Naushahro Feroze	3,036	1,172	1,612,373
	Jamshoro	11,264	4,349	993,142
Balochistan	Jhal Magsi	3,841	1,483	149,225
	Jaffarabad	1,796	693	513,813
Total		46,001	17,761	11,409,933

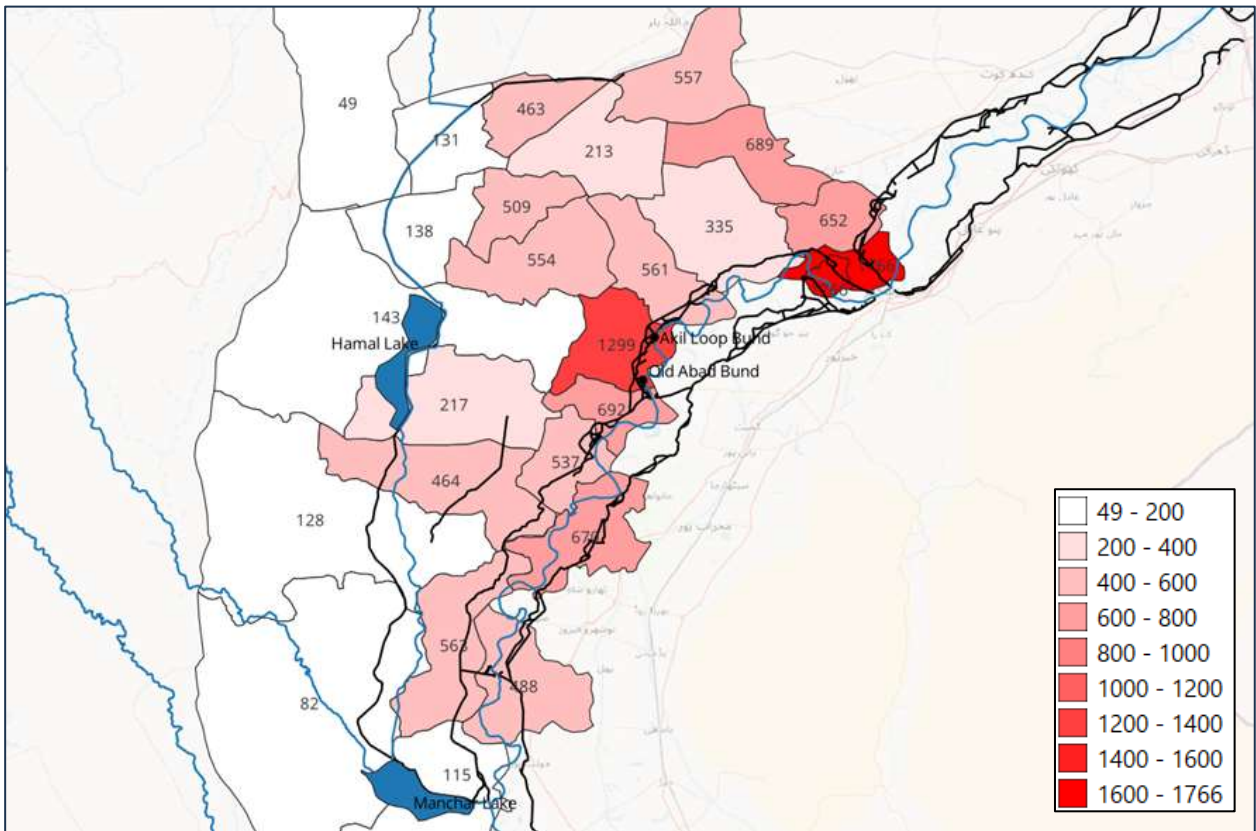
出典：JICA 提供の基礎データ

表 3.1.5 Tehsil 単位の総面積及び人口 (Sindh 低平地)

Province	District	Tehsil	総面積(km2)	総面積(mi2)	人口
Sindh	Qambar Shahdadkot	Qubo Saeed Khan	623	241	85,970
		Shahdadkot	398	154	202,745
		Miro Khan	772	298	427,150
		Kambar Ali Khan	2,755	1,064	395,206
		Warah	1,059	409	229,971
	Jacobabad	Garhi Khairo	744	287	158,360
		Jacobabad	686	265	382,513
		Thul	1,341	518	465,424
	Shikarpur	Garhi Yasin	943	364	315,883
		Shikarpur	568	219	391,172
		Lakhi	685	264	248,143
		Khanpur	381	147	276,283
	Sukkur	Sukkur	312	121	551,357
		Pano Aqil	900	347	435,823
		Rohri	1,049	405	371,104
		Salehpat	2,943	1,136	129,619
	Larkana	Ratodero	591	228	331,584
		Larkana	568	219	738,069
		Bakrani	332	128	229,444
		Dokri	419	162	225,294
	Dadu	Mehar	993	384	460,679
		Khairpur Nathan Shah	2,605	1,006	334,258
		Dadu	818	316	460,481
		Johi	3,577	1,381	294,848
	Naushahro Feroze	Kandiaro	666	257	446,079
		Moro	755	292	368,789
		Mehrabpur	484	187	—
		Bhiria	398	154	424,684
		Naushahro Feroze	733	283	372,821
	Jamshoro	Sehwan	2,342	904	269,291
		Thano Bula Khan	5,275	2,037	145,450
		Manjhand	2,429	938	140,840
Kotri		1,218	470	437,561	
Balochistan	Jhal Magsi	Jhal Magsi	1,806	697	88,575
		Gandawa	2,035	786	60,650
	Jaffarabad	Gandakha	572	221	74,976
		Usta Muhammad	402	155	186,226
		Jhat Pat	822	318	252,611
Total			46,001	17,761	11,409,933

※Mehrabpur Tehsil の人口データがないが、想定する浸水範囲外であるため検討に影響はない。

出典：JICA 提供の基礎データ



出典：JICA 提供の基礎データに基づきアドバイザーチームが作成

図 3.1.8 Tehsil 単位の人口密度分布 (Sindh 低平地)

表 3.1.6 検討対象地域内の都市の人口 (Sindh 低平地)

Province	District	都市	人口	Province	District	都市	人口
Sindh	Larkana	Larkana	488,006	Sindh	Qamber Shahdadkot	Qubo Saeed Khan	27,623
Sindh	Sukkur	New Sukkur	268,942	Sindh	Sukkur	Salehpat	26,925
Sindh	Sukkur	Sukkur City	231,459	Sindh	Naushahro Feroze	Padidan	25,301
Sindh	Shikarpur	Shikarpur	196,158	Sindh	Shikarpur	Khanpur	24,919
Sindh	Jacobabad	Jacobabad	191,098	Sindh	Naushahro Feroze	Bhiria Road	24,741
Sindh	Dadu	Dadu	171,319	Sindh	Sukkur	Pano Aqil Cantonment	24,094
Sindh	Qamber Shahdadkot	Shahdad kot	118,935	Sindh	Shikarpur	Lakhi	23,405
Sindh	Qamber Shahdadkot	Kambar	100,970	Sindh	Naushahro Feroze	Halani	23,380
Sindh	Naushahro Feroze	Moro	95,448	Sindh	Naushahro Feroze	Tharushah	23,259
Balochistan	Jaffarabad	Dera Allah Yar	80,958	Sindh	Larkana	Dokri	22,164
Balochistan	Jaffarabad	Usta Muhammad	76,753	Sindh	Qamber Shahdadkot	Miro Khan	21,270
Sindh	Sukkur	Pano Aqil	76,015	Sindh	Qamber Shahdadkot	Behram	21,042
Sindh	Jacobabad	Thul	70,245	Sindh	Larkana	Arija	20,608
Sindh	Sukkur	Rohri	69,944	Sindh	Shikarpur	Madeji	19,817
Sindh	Larkana	Ratodero	67,502	Sindh	Shikarpur	Garhi Yasin	16,120
Sindh	Jamshoro	Sehwan	66,898	Sindh	Sukkur	Kandhra	15,798
Sindh	Dadu	Mehar	56,200	Sindh	Qamber Shahdadkot	Wagan	15,763
Sindh	Naushahro Feroze	Mehrabpur	53,608	Sindh	Qamber Shahdadkot	Gaji Khuhawar	15,455
Sindh	Larkana	Naudero	48,983	Sindh	Shikarpur	Chak	14,688
Sindh	Dadu	Khair Pur Nathan Shah	41,320	Sindh	Dadu	Thari Mohabat	14,282
Sindh	Larkana	Badah	40,038	Sindh	Naushahro Feroze	Bhiria City	14,089
Sindh	Naushahro Feroze	Kandiaro	38,869	Sindh	Jacobabad	Garhi Khairo	12,619
Sindh	Naushahro Feroze	Naushahro Feroze	38,204	Sindh	Jacobabad	Sohrab Khan Sarki	12,525
Sindh	Qamber Shahdadkot	Warah	37,926	Sindh	Naushahro Feroze	Darya Khan Marri	11,942
Sindh	Qamber Shahdadkot	Nasirabad	37,819	Sindh	Larkana	Garello	11,597
Sindh	Jamshoro	Bhan	37,452	Sindh	Dadu	Phulji	11,261
Sindh	Dadu	Sita Road	31,093	Sindh	Jacobabad	Mirpur Burriro	10,731
Sindh	Naushahro Feroze	Mithiani	30,392	Sindh	Shikarpur	Rustam	9,334
Sindh	Dadu	Johi	29,031	Sindh	Sukkur	Bagerji	7,629
Sindh	Dadu	Radhan	28,900				

- : 人口 200,000 人以上
- : 人口 100,000 人以上 200,000 人未満
- : 人口 50,000 人以上 100,000 人未満
- : 人口 25,000 人以上 50,000 人未満
- : 人口 25,000 人未満

出典 : Pakistan Bureau of Statistics よりアドバイザーチームが作成



赤字: District 名、黒字: 都市名

- : 人口 200,000 人以上
- : 人口 100,000 人以上 200,000 人未満
- : 人口 50,000 人以上 100,000 人未満
- : 人口 25,000 人以上 50,000 人未満
- : 人口 25,000 人未満

出典: Pakistan Bureau of Statistics よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.9 検討対象地域内の都市の人口 (Sindh 低平地)

表 3.1.7(1) District 単位の総面積及び人口 (D.I. Khan)

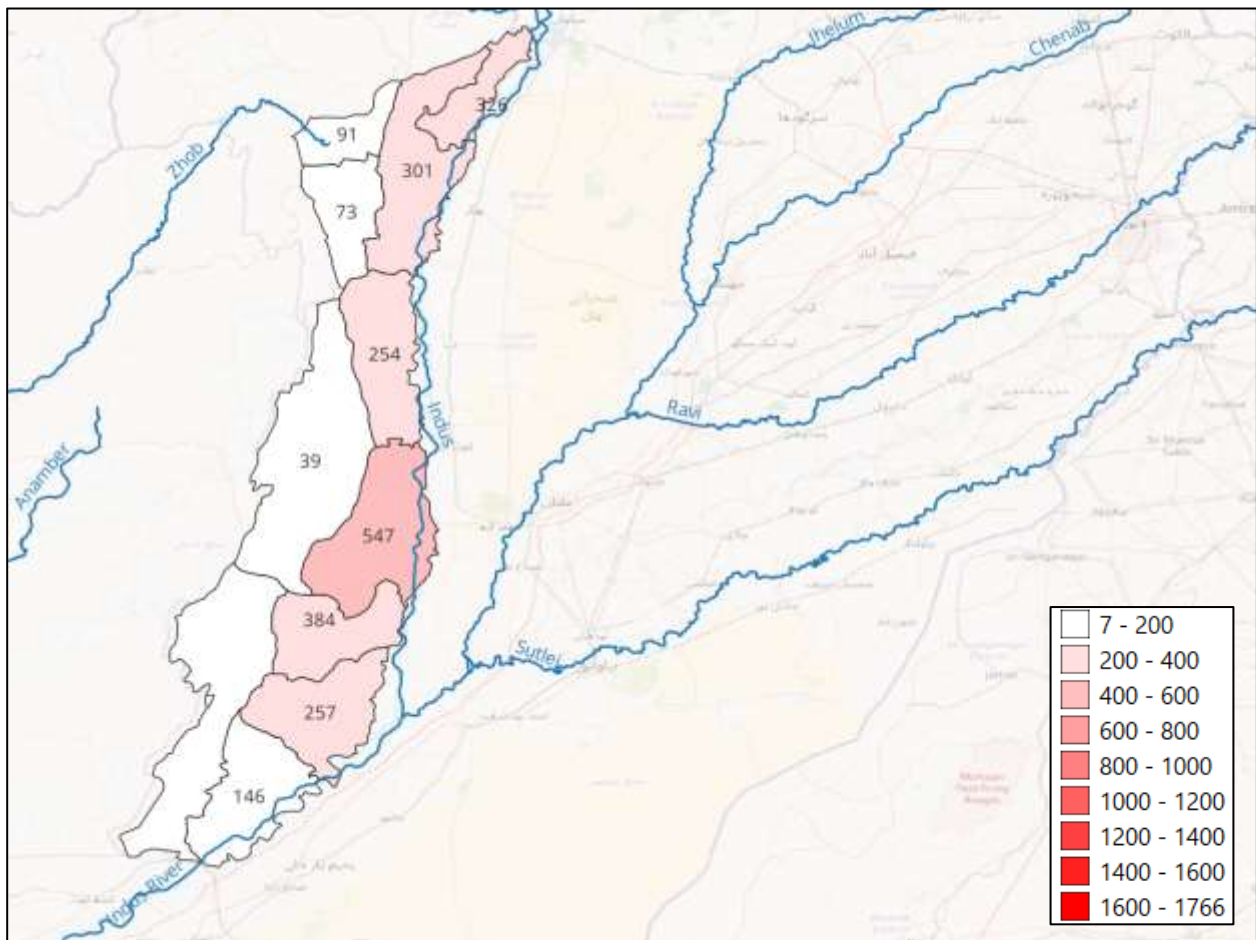
Province	District	Tehsil	総面積(km2)	総面積(mi2)	人口
Khyber Pakhtunkhwa	Dera Ismail Khan	Paharpur	1,169	451	381,086
		Dera Ismail Khan	3,384	1,306	1,017,792
		Kulachi	1,120	432	101,892
		Daraban	1,708	660	124,318
Total			7,381	2,850	1,625,088

出典：JICA 提供の基礎データ

表 3.1.7(2) District 単位の総面積及び人口 (D.G. Khan)

Province	District	Tehsil	総面積(km2)	総面積(mi2)	人口
Punjab	Dera Ghazi Khan	Taunsa	2,665	1,029	677,785
		Dera Ghazi Khan	3,622	1,398	1,982,194
		De-excluded Area D.G.Khan	5,404	2,086	212,652
	Rajapur	Jampur	2,213	854	849,389
		Rajapur	2,745	1,060	706,770
		Rojhan	2,774	1,071	405,689
		De-excluded Area Rajapur	4,797	1,852	34,191
Total			24,221	9,352	4,868,670

出典：JICA 提供の基礎データ



出典：JICA 提供の基礎データに基づきアドバイザーチームが作成

図 3.1.10 Tehsil 単位の人口密度分布 (D.I.Khan 及び D.G.Khan)

表 3.1.8(1) 都市の人口 (D.I. Khan)

Province	District	都市	人口
Khyber Pakhtunkhwa	Dera Ismail Khan	Dera Ismail Khan	212,324
Khyber Pakhtunkhwa	Dera Ismail Khan	Paharpur	66,745
Khyber Pakhtunkhwa	Dera Ismail Khan	Paroa	39,881
Khyber Pakhtunkhwa	Dera Ismail Khan	Kulachi	24,753
Khyber Pakhtunkhwa	Dera Ismail Khan	Panyala	10,821
Khyber Pakhtunkhwa	Dera Ismail Khan	Dera Ismail Khan Cantonment	5,694

- : 人口 200,000 人以上
- : 人口 100,000 人以上 200,000 人未満
- : 人口 50,000 人以上 100,000 人未満
- : 人口 25,000 人以上 50,000 人未満
- : 人口 25,000 人未満

出典 : Pakistan Bureau of Statistics よりアドバイザーチームが作成

表 3.1.8(2) 都市の人口 (D.G. Khan)

Province	District	都市	人口
Punjab	Dera Ghazi Khan	Dera Ghazi Khan	397,362
Punjab	Rajanpur	Rajanpur	99,097
Punjab	Dera Ghazi Khan	Taunsa	97,193
Punjab	Rajanpur	Jampur	87,857
Punjab	Rajanpur	Fazalpur	76,809
Punjab	Dera Ghazi Khan	Kot Chhutta	51,666
Punjab	Rajanpur	Kot Mithan	36,755
Punjab	Rajanpur	Dajal	22,233
Punjab	Rajanpur	Rojhan	14,545

- : 人口 200,000 人以上
- : 人口 100,000 人以上 200,000 人未満
- : 人口 50,000 人以上 100,000 人未満
- : 人口 25,000 人以上 50,000 人未満
- : 人口 25,000 人未満

出典 : Pakistan Bureau of Statistics よりアドバイザーチームが作成



- 赤字: District 名、黒字: 都市名
- : 人口 200,000 人以上
- : 人口 100,000 人以上 200,000 人未満
- : 人口 50,000 人以上 100,000 人未満
- : 人口 25,000 人以上 50,000 人未満
- : 人口 25,000 人未満

出典: Pakistan Bureau of Statistics よりアドバイザーチームが作成

図 3.1.11 都市の人口 (D.I. Khan 及び D.G. Khan)

3.1.2.2 家屋の資産額

検討地域の家屋資産額は表 3.1.9 に示すように約 16 tri. PKR である。ここで、家屋資産額は「1 件当たりの家屋評価額×世帯数」として算定した。

1 件当たりの家屋評価額については、Modern Diplomacy の 2023 年 4 月 17 日発行の「House price inflation in Pakistan」の記事より、住宅購入時の平均ローン額が 2 mil.~8 mil. PKR であるという記述があり、本検討では 8 mil. PKR と設定した。

世帯数については、表 3.1.10 に示すように「対象地区の人口÷1 世帯当たりの人数」で算定した。ここで、Salient Features of Final Results Census 2017 に基づき、1 世帯当たりの人数は Sindh 州では 5.55 人、Balochistan 州では 6.87 人と設定した。(表 3.1.11 参照)

表 3.1.9 検討地域の家屋資産額

項目	金額	単位
1件当たりの家屋評価額	8,000,000	PKR
世帯数	2,032,890	-
家屋資産額	16,263,120,000,000	PKR

出典：アドバイザーチーム

表 3.1.10 検討地域の世帯数

Province	District	総面積(km2)	総面積(mi2)	人口	1世帯当たりの人数	世帯数
Sindh	Qambar Shahdadt	5,608	2,165	1,341,042	5.55	241,629
	Jacobabad	2,771	1,070	1,006,297	5.55	181,315
	Shikarpur	2,577	995	1,231,481	5.55	221,888
	Sukkur	5,205	2,010	1,487,903	5.55	268,091
	Larkana	1,910	737	1,524,391	5.55	274,665
	Dadu	7,994	3,086	1,550,266	5.55	279,327
	Naushahro Feroze	3,036	1,172	1,612,373	5.55	290,518
	Jamshoro	11,264	4,349	993,142	5.55	178,945
Balochistan	Jhal Magsi	3,841	1,483	149,225	6.87	21,721
	Jaffarabad	1,796	693	513,813	6.87	74,791
Total		46,001	17,761	11,409,933	—	2,032,890

出典：アドバイザーチーム

表 3.1.11 Province 毎の 1 世帯当たりの人数

POPULATION DENSITY AND HOUSEHOLD SIZE BY ADMN UNITS				
ADMN UNIT	POPULATION (MILLION)	POPULATION DENSITY (SQ. KM)	HOUSEHOLD SIZE 1998	HOUSEHOLD SIZE 2017
PAKISTAN	207.68	260.88	6.8	6.39
KP	30.51	409.40	8.0	7.83
FATA	4.99	183.43	9.3	8.60
PUNJAB	109.99	535.63	6.9	6.38
SINDH	47.85	339.60	6.0	5.55
BALUCHISTAN	12.34	35.53	6.7	6.87
ICT	2.00	2211.22	6.2	5.86

出典：Salient Features of Final Results Census 2017

3.1.2.3 農作物の資産額

(1) 主要な農作物

パキスタンにおけるクロッピングパターン（作物別作付様式）を表 3.1.12 に示す。今回の検討では、パキスタンで洪水が発生しうる 5 月～9 月に栽培されている農作物を検討対象とする。また、各農作物の District 単位での農地面積を表 3.1.13 に示す。今回の検討では、農地面積が District の作付面積の 10%以上であるものを対象とする。

上記の条件に合致する農作物は Cotton、Rice、Wheat の 3 種類であり、これらの農作物の資産額及び洪水時の被害想定額を算定する。

表 3.1.12 パキスタンにおけるクロッピングパターン

Crops Name	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	Rice					■	■	■	■	■	■	■	■											
Sugarcane					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cotton					■	■	■	■	■	■	■	■												
Millat					■	■	■	■	■	■	■	■												
Maize					■	■	■	■	■	■	■	■												
Pulses					■	■	■	■	■	■	■	■												
Barley					■	■	■	■	■	■	■	■												
Vegetables					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Wheat					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Vegetables	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Animal Fodder	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■：想定する季節（5月～9月）

出典：Sindh PID

表 3.1.13(1) 各農作物の農地面積 (ha) ①

Province	District	Kharif											Total
		Cotton	Rice	Sugarcane	Maize	Sorghum	Groundnut	Sunflower	Sesame	Mashbean	Mungbean	O.K.Pulses	
Sindh	N. Feroze	36208.4	9395.0	21723.8	70.7	469.3	0.0	125.0	1889.7	0.0	83.8	0.0	178390.9
	Jacobabad	0.0	73020.0	152.0	0.0	217.0	0.0	1005.0	0.0	0.0	0.0	120687.0	
	Shikarpur	41.6	107171.0	339.8	2.7	13.0	0.0	933.0	28.7	0.0	0.0	149946.5	
	Larkana	1373.2	98009.0	610.8	0.0	75.7	0.0	116.0	1599.7	0.0	0.0	159366.3	
	Qamber	0.0	80929.0	126.0	0.0	855.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	136422.2	
	Dadu	11196.2	44731.0	4865.2	49.7	485.7	0.0	1530.0	1139.0	0.0	7.7	144116.2	
	Jamshoro	15604.4	441.0	653.2	83.0	472.3	0.0	66.0	559.7	16.0	10.7	62901.6	
Balochistan	Jafferabad	2.6	110500.0	42.0	0.7	85.0	0.0	0.0	37.0	0.0	2.3	258337.1	
	Jhal Magsi	21.8	59.0	0.0	0.0	5275.0	0.0	105.0	4797.0	60.0	338.0	93990.0	

■ : 農地面積が 10%を超えている農作物

出典 : Cropping Pattern Zonation of Pakistan より作成

表 3.1.13(2) 各農作物の農地面積 (ha) ②

Province	District	Rabi													Total
		Wheat	Rapeseed & Mustard	Chickpea	Barley	Potatoe	Onion	Lentil	Tobacco	Garlic	Green peas	O.R Pulses	Corriander	Lin-seed	
Sindh	N. Feroze	105878.6	893.0	197.0	12.8	180.8	879.0	47.2	5.8	10.6	293.4	0.0	27.0	0.0	178390.9
	Jacobabad	31356.8	4409.0	2133.0	161.8	0.0	839.0	430.8	0.0	0.0	6927.4	0.0	27.0	8.2	120687.0
	Shikarpur	37988.8	995.0	1818.0	26.0	33.4	199.0	76.6	0.0	11.4	43.4	0.0	181.3	43.8	149946.5
	Larkana	48642.4	3998.0	838.0	1005.0	0.0	611.0	0.0	0.0	70.6	424.8	0.0	266.3	1725.8	159366.3
	Qamber	51863.2	409.0	154.0	118.6	0.0	264.0	196.8	0.0	0.0	993.2	0.0	0.0	513.4	136422.2
	Dadu	74046.4	1594.0	590.0	114.6	38.8	3285.0	0.0	0.0	65.4	347.0	0.0	30.5	0.0	144116.2
	Jamshoro	37408.4	577.0	927.0	114.0	4.2	5594.0	81.6	4.2	99.6	98.0	0.0	83.5	0.0	62901.6
Balochistan	Jafferabad	112550.8	6535.0	22250.0	10.0	0.0	1270.0	6.4	0.0	32.2	4573.3	0.0	439.8	0.0	258337.1
	Jhal Magsi	82187.0	677.0	0.0	195.0	0.0	72.0	0.0	86.2	0.0	0.0	0.0	87.6	0.0	93990.0

■ : 農地面積が 10%を超えている農作物

出典 : Cropping Pattern Zonation of Pakistan より作成

(2) 農作物の資産額

前項で対象とした Cotton、Rice、Wheat の 3 種類について、各農作物の収穫量を表 3.1.14 に、各農作物の資産額を表 3.1.15 に示す。これらの表より、検討地域の農作物収穫量は約 3.06 bil. kg であり、農作物資産額は約 222 bil. PKR と見積もることができる。

ここで、各農作物の収穫量は「各農作物の農地面積×各農作物の農地面積 ha 当たりの収穫量」で算定し、各農作物の資産額は「各農作物の収穫量×各農作物の市場価格単価」で算定した。

なお、文献“Economic Survey 2021-2022”の情報から、2017 年から 2022 年までの 5 年間の収穫量の平均値をとり、各農作物の農地面積 (ha) 当たりの収穫量は表 3.1.16 のように見積もることができる。また、Pakistan Bureau of Statistics の情報から、2010 年前後の各農作物の市場価格単価と物価上昇率を確認して、2021-2022 年の市場価格単価に換算したものを表 3.1.17 に示す。

表 3.1.14 各農作物の収穫量 (kg)

Province	District	農作物	Cotton	Rice	Wheat	Total
		収穫量(kg/ha)	677	2,547	2,892	
Sindh	N. Feroze		24,527,570	23,929,065	306,222,087	354,678,722
	Jacobabad		0	185,981,940	90,690,137	276,672,077
	Shikarpur		28,180	272,964,537	109,871,207	382,863,924
	Larkana		930,206	249,628,923	140,683,549	391,242,678
	Qamber		0	206,126,163	149,998,747	356,124,910
	Dadu		7,584,306	113,929,857	214,156,998	335,671,161
	Jamshoro		10,570,421	1,123,227	108,192,574	119,886,222
Balochistan	Jafferabad		1,761	281,443,500	325,519,424	606,964,685
	Jhal Magsi		14,767	150,273	237,701,241	237,866,282
Total			43,657,211	1,335,277,485	1,683,035,965	3,061,970,661

出典：アドバイザーチーム

表 3.1.15 各農作物の資産額 (PKR)

Province	District	農作物	Cotton	Rice	Wheat	Total
		単価(PKR/kg)	111.40	81.34	64.55	
Sindh	N. Feroze		2,732,322,905	1,946,440,081	19,765,894,497	24,444,657,483
	Jacobabad		0	15,128,159,098	5,853,828,824	20,981,987,922
	Shikarpur		3,139,179	22,203,505,049	7,091,920,491	29,298,564,718
	Larkana		103,623,077	20,305,337,510	9,080,782,580	29,489,743,167
	Qamber		0	16,766,732,233	9,682,056,048	26,448,788,281
	Dadu		844,876,706	9,267,292,312	13,823,315,857	23,935,484,874
Balochistan	Jafferabad		196,199	22,893,201,593	21,011,490,881	43,904,888,672
	Jhal Magsi		1,645,050	12,223,519	15,343,039,774	15,356,908,344
Total			4,863,327,102	108,614,257,023	108,635,897,755	222,113,481,880

出典：アドバイザーチーム

表 3.1.16 各農作物の単位農地面積当たりの収穫量 (kg/ha)

年	Kharif					Rabi					
	Cotton	Rice	Sugarcane	Maize	Mashbean	Wheat	Rapeseed	Barley	Potatoe	Onion	Tobacco
2017-2018	753	2,568	62,096	4,718		2,851					
2018-2019	707	2,563	60,956	4,968		2,806					
2019-2020	618	2,444	63,841	5,614		2,868					
2020-2021	578	2,525	69,534	6,305	627	2,996	1,321	1,000	25,066	14,992	3,055
2021-2022	731	2,635	70,314	6,436	763	2,940	1,354	1,077	25,293	14,956	3,055
平均	677	2,547	65,348	5,608	695	2,892	1,338	1,038	25,180	14,974	3,055

出典：Economic Survey 2021-2022 より作成

表 3.1.17 各農作物の市場価格単価 (PKR/kg)

農作物	データ取得年	40kg当たりの 市場価格単価 (データ取得年)	1kg当たりの 市場価格単価 (データ取得年)	換算年	物価上昇率	1kg当たりの 市場価格単価 (換算年)	対象地域
Cotton	2008-2009	1465	36.63	2021-2022	3.04	111.40	Pakistan
Rice	2010-2011	1269.4	31.74	2021-2022	2.56	81.34	Sukkur
Sugarcane	2010-2011	127	3.18	2021-2022	2.56	8.14	Sindh
Maize	2010-2011	805.5	20.14	2021-2022	2.56	51.62	Hyderabad
Wheat	2010-2011	1007.31	25.18	2021-2022	2.56	64.55	Hyderabad

出典：Pakistan Bureau of Statistics より作成

3.1.3 右岸側の浸水時の被害想定

3.1.3.1 氾濫域の想定

本項では、Sukkur 付近の右岸堤防が破堤した場合の被害（対象地域の最上流堤防の破堤による最大被害額）について検討する。破堤想定地点としては、図 3.1.12 に示す主流線と堤防が近い脆弱箇所からの破堤を仮定する。（衛星画像分析における脆弱箇所 No.1）

破堤想定地点付近の標高は、Google Earth（図 3.1.13 参照）で確認すると、最低で約 58m 程度であり、この標高よりも地盤高が低い地域が浸水すると考えられる。また、図 3.1.14 に検討地域の標高図を示すが、多くの地域で Indus 川の堤防付近より地盤高が低く、浸水時に堤防を越えてしまうと被害が広範囲に広がりやすい状況である。

図 3.1.15 に検討地域の標高図と 2022 年洪水時の浸水実績図を重ね合わせたものを示す。この図から標高 58m 未満の右岸側の地域と、2022 年洪水時の浸水実績がある地域はほとんど同じ領域である。そのため、Sukkur 付近の右岸側の堤防が破堤した場合の浸水範囲の最大領域は、2022 年洪水時の浸水範囲と同程度であると考えられる。したがって、本検討では 2022 年洪水時の浸水範囲を氾濫域と想定した。



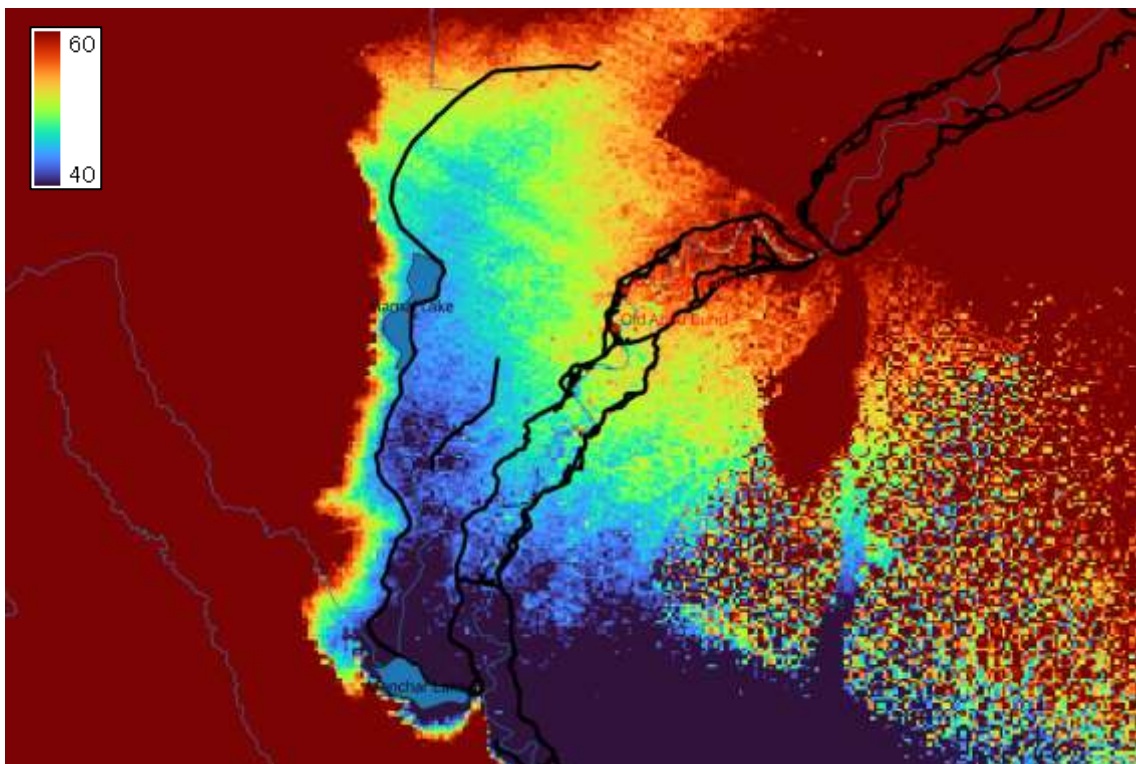
出典：JICA 提供の基礎データ

図 3.1.12 本検討における破堤想定地点



出典：Google Earth より作成

図 3.1.13 破堤想定地点付近の標高



出典：アドバイザーチーム

図 3.1.14 検討地域の地盤高



出典：JICA 提供の基礎データ

図 3.1.15 検討地域の標高図と 2022 年洪水時の浸水実績図の重ね合わせ

3.1.3.2 家屋の被害想定額

検討地域の家屋の被害想定額は表 3.1.18 に示すように約 3.6 tri. PKR と見積もることができる。ここで、家屋の被害想定額は「1 件当たりの家屋評価額×被災世帯数×被害率」として算定した。それぞれの計算項については以下の通り設定した。

- 1 件当たりの家屋評価額は、前項で設定した額と同様に 8 mil. PKR と設定する。
- 被災世帯数は、Tehsil ごとに以下のように算定した。算定結果は表 3.1.20 の通りであり、約 763,000 世帯が被災すると想定される。
 - ・ 浸水割合 = 浸水面積 ÷ 総面積
 - ・ 被災人数 = 人口 × 浸水割合
 - ・ 被災世帯数 = 被災人数 ÷ 1 世帯当たりの人数
- 被害率は、浸水深を 2m と仮定して、治水経済調査マニュアルに準拠して設定した。治水経済調査マニュアルの記述を表 3.1.19 に示す。地盤勾配 1/1000 未満であるので A グループ、浸水深は 2m と仮定しているため、被害率は 0.592 である。

表 3.1.18 家屋の被害想定額

項目	金額	単位
1件当たりの家屋評価額	8,000,000	PKR
世帯数	763,021	-
家屋資産額	6,104,168,000,000	PKR
被害率	0.592	-
家屋被害額	3,613,667,456,000	PKR

出典：アドバイザーチーム

表 3.1.19 治水経済調査マニュアルにおける被害率

浸水深 地盤勾配	床下	床上					土砂堆積（床 上）	
		50cm 未満	50～ 99	100～ 199	200～ 299	300cm 以上	50cm 未満	50cm 以上
Aグループ	0.047	0.189	0.253	0.406	0.592	0.800	0.43	0.785
Bグループ	0.058	0.219	0.301	0.468	0.657	0.843		
Cグループ	0.064	0.235	0.325	0.499	0.690	0.865		

A：1/1000 未満、B：1/1000～1/500、C：1/500 以上

注：1. 平成5年～平成29年災のうち利用可能な「水害被害実態調査」やハウスメーカー等へのヒアリングに基づき設定した被害率。（ただし、土砂堆積は従来の被害率）

2. 家屋の全半壊についても考慮した数値である。

出典：治水経済調査マニュアル

表 3.1.20 Tehsil 単位の浸水面積・人口・世帯数の算定

Province	District	Tehsil	総面積(km2)	総面積(mi2)	浸水面積(km2)	浸水面積(mi2)	浸水率(%)	人口	1世帯当たりの人数	世帯数	被災人口	被災世帯数	
Sindh	Qambar Shahdadkot	Qubo Saeed Khan	623	241	476	184	76.35	85,970	5.55	15,490	65,637	11,826	
		Shahdadkot	398	154	395	152	99.17	202,745	5.55	36,531	201,062	36,227	
		Miro Khan	772	298	770	297	99.82	427,150	5.55	76,964	426,397	76,828	
		Kambar Ali Khan	2,755	1,064	640	247	23.22	395,206	5.55	71,208	91,756	16,533	
		Warah	1,059	409	863	333	81.46	229,971	5.55	41,436	187,343	33,755	
	Jacobabad	Garhi Khairo	744	287	735	284	98.80	158,360	5.55	28,533	156,454	28,190	
		Jacobabad	686	265	58	22	8.45	382,513	5.55	68,921	32,309	5,821	
		Thul	1,341	518	0	0	0.00	465,424	5.55	—	—	—	
	Shikarpur	Garhi Yasin	943	364	734	283	77.86	315,883	5.55	56,916	245,933	44,312	
		Shikarpur	568	219	32	12	5.68	391,172	5.55	70,481	22,221	4,004	
		Lakhi	685	264	0	0	0.00	248,143	5.55	—	—	—	
		Khanpur	381	147	0	0	0.00	276,283	5.55	—	—	—	
	Sukkur	Sukkur	312	121	131	50	41.84	551,357	5.55	99,344	230,679	41,564	
		Pano Aqil	900	347	0	0	0.00	435,823	5.55	—	—	—	
		Rohri	1,049	405	0	0	0.00	371,104	5.55	—	—	—	
		Salehpat	2,943	1,136	0	0	0.00	129,619	5.55	—	—	—	
	Larkana	Ratodero	591	228	569	220	96.25	331,584	5.55	59,745	319,164	57,507	
		Larkana	568	219	537	207	94.56	738,069	5.55	132,985	697,904	125,748	
		Bakrani	332	128	332	128	100.00	229,444	5.55	41,341	229,444	41,341	
		Dokri	419	162	410	158	97.75	225,294	5.55	40,594	220,233	39,682	
	Dadu	Mehar	993	384	746	288	75.12	460,679	5.55	83,005	346,044	62,350	
		Khairpur Nathan Shah	2,605	1,006	393	152	15.09	334,258	5.55	60,227	50,451	9,090	
		Dadu	818	316	550	212	67.19	460,481	5.55	82,970	309,400	55,748	
		Johi	3,577	1,381	0	0	0.00	294,848	5.55	—	—	—	
	Naushahro Feroze	Kandiario	666	257	185	71	27.79	446,079	5.55	80,375	123,972	22,337	
		Moro	755	292	185	71	24.48	368,789	5.55	66,448	90,264	16,264	
		Mehrabpur	484	187	0	0	0.00	—	5.55	—	—	—	
		Bhiria	398	154	0	0	0.00	424,684	5.55	—	—	—	
		Naushahro Feroze	733	283	0	0	0.00	372,821	5.55	—	—	—	
	Jamshoro	Sehwan	2,342	904	151	58	6.46	269,291	5.55	48,521	17,393	3,134	
		Thano Bula Khan	5,275	2,037	0	0	0.00	145,450	5.55	—	—	—	
		Manjhand	2,429	938	0	0	0.00	140,840	5.55	—	—	—	
		Kotri	1,218	470	0	0	0.00	437,561	5.55	—	—	—	
	Balochistan	Jhal Magsi	Jhal Magsi	1,806	697	20	8	1.13	88,575	6.87	12,893	1,001	146
			Gandawa	2,035	786	0	0	0.00	60,650	6.87	—	—	—
		Jaffarabad	Gandakha	572	221	326	126	56.98	74,976	6.87	10,914	42,721	6,219
			Usta Muhammad	402	155	362	140	89.99	186,226	6.87	27,107	167,585	24,394
			Jhat Pat	822	318	0	0	0.00	252,611	6.87	—	—	—
	Total			46,001	17,761	9,600	3,706	20.87	11,409,933	—	1,312,949	4,275,367	763,021

出典：アドバイザーチーム

3.1.3.3 農作物の被害想定額

検討地域の農作物の被害想定額は表 3.1.21 に示すように約 83 bil. PKR と見積もることができる。ここで、農作物の被害想定額は「農作物資産額×浸水割合」として、District ごとに農作物の被害想定額を算定した。

表 3.1.21 農作物の被害想定額

Province	District	浸水率(%)	Cotton	Rice	Wheat	Total
Sindh	N. Feroze	12.18	332,796,930	237,076,402	2,407,485,950	2,977,359,281
	Jacobabad	28.62	0	4,329,679,134	1,675,365,810	6,005,044,943
	Shikarpur	29.74	933,592	6,603,322,402	2,109,137,154	8,713,393,147
	Larkana	96.73	100,234,602	19,641,352,974	8,783,840,990	28,525,428,566
	Qamber	56.06	0	9,399,430,090	5,427,760,621	14,827,190,710
	Dadu	21.13	178,522,448	1,958,178,865	2,920,866,641	5,057,567,954
	Jamshoro	1.34	15,778,821	1,224,299	93,579,822	110,582,943
Balochistan	Jafferabad	38.27	75,085	8,761,228,250	8,041,097,560	16,802,400,895
	Jhal Magsi	0.53	8,719	64,785	81,318,111	81,391,614
Total		-	628,350,197	50,931,557,200	31,540,452,657	83,100,360,054

出典：アドバイザーチーム

3.1.3.4 浸水時の被害想定額

浸水時の被害想定額は、前項の家屋の被害想定額と農作物の被害想定額を合計して、表 3.1.22 のように計上することができる。

表 3.1.22 浸水時の被害想定額

項目	金額	単位
家屋被害額	3,613,667,456,000	PKR
農作物被害額	83,100,360,054	PKR
総被害額	3,696,767,816,054	PKR

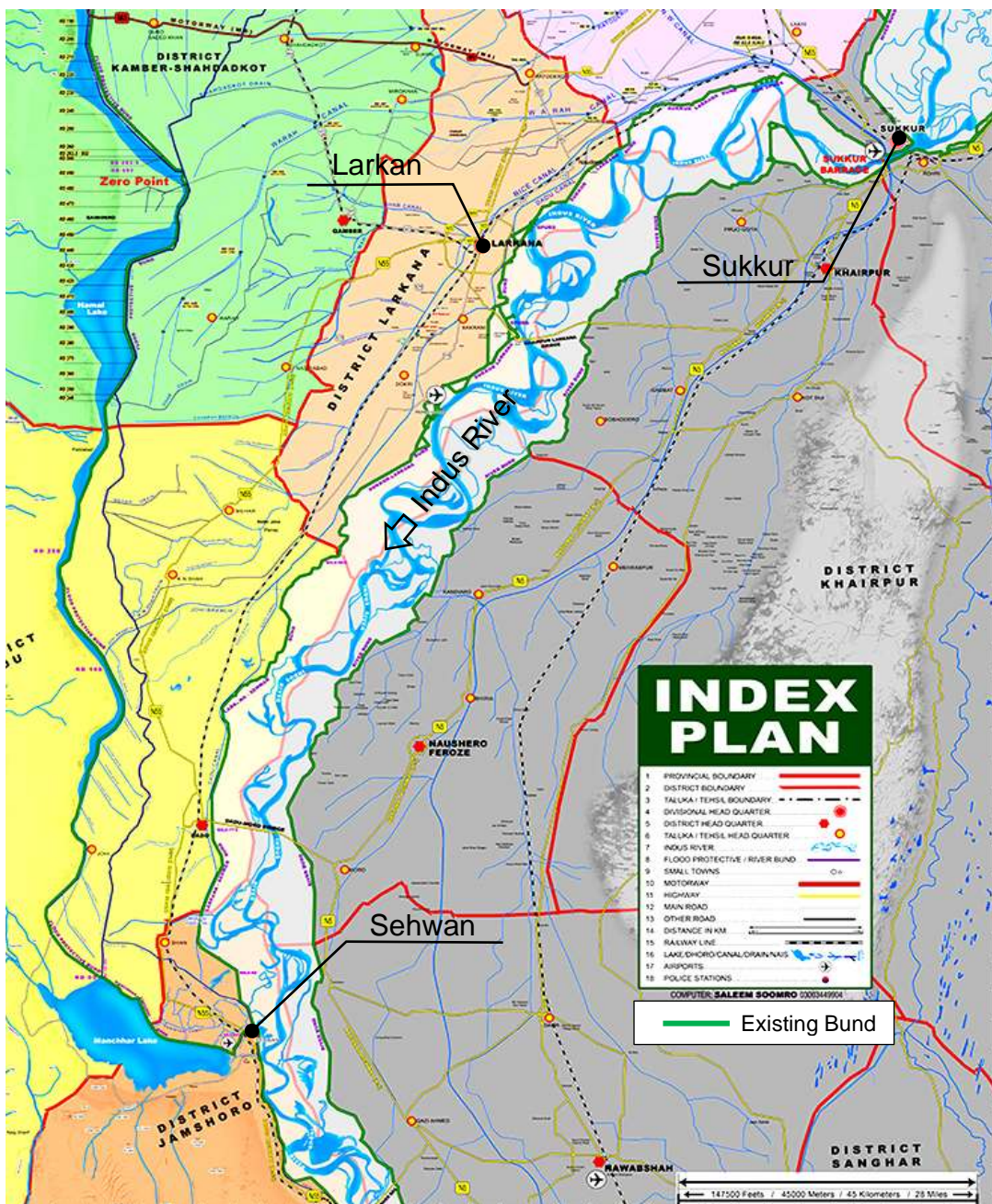
出典：アドバイザーチーム

3.2 Indus 川の堤防の状況

3.2.1 既存堤防の概況

(1) 堤防整備状況

本検討で対象としている Sukkur-Larkana Region の Indus 川右岸側では、概ね堤防整備が進んでおり、本川堤防の後背地に道路や用水路の盛土が建設されている場所が多い。NFPP-IV に基づく情報や Sindh PID によると、基本的に堤防が全く未整備の箇所は残されていない（図 3.2.1 参照）。



出典：Sukkur Barrage Right Bank Region Index Map, Sindh PID に追記

図 3.2.1 Sukkur Barrage Right Bank Region の索引図

(2) 基本諸元（堤防高、天端幅等）

1) 堤防高

堤防高については、2010年の計画高水位（HFL）に対し、必要な余裕高を確保して整備されている。ただし、余裕高については、5~6ft (1.52~1.83m)と場所によってばらつきがある様子である。

2) 天端幅

天端幅は、同じ Indus 川の堤防でも計画値が 20ft~30ft (6.01~9.15m)とばらつきがあり、現況では 20ft 以下の箇所も残されているようである。特に侵食の影響を受けやすい箇所では、備蓄資材として捨石（Riprap）が堤防天端に用意されており、そのような箇所では堤防天端が広がっている（写真 3.2.1 参照）。

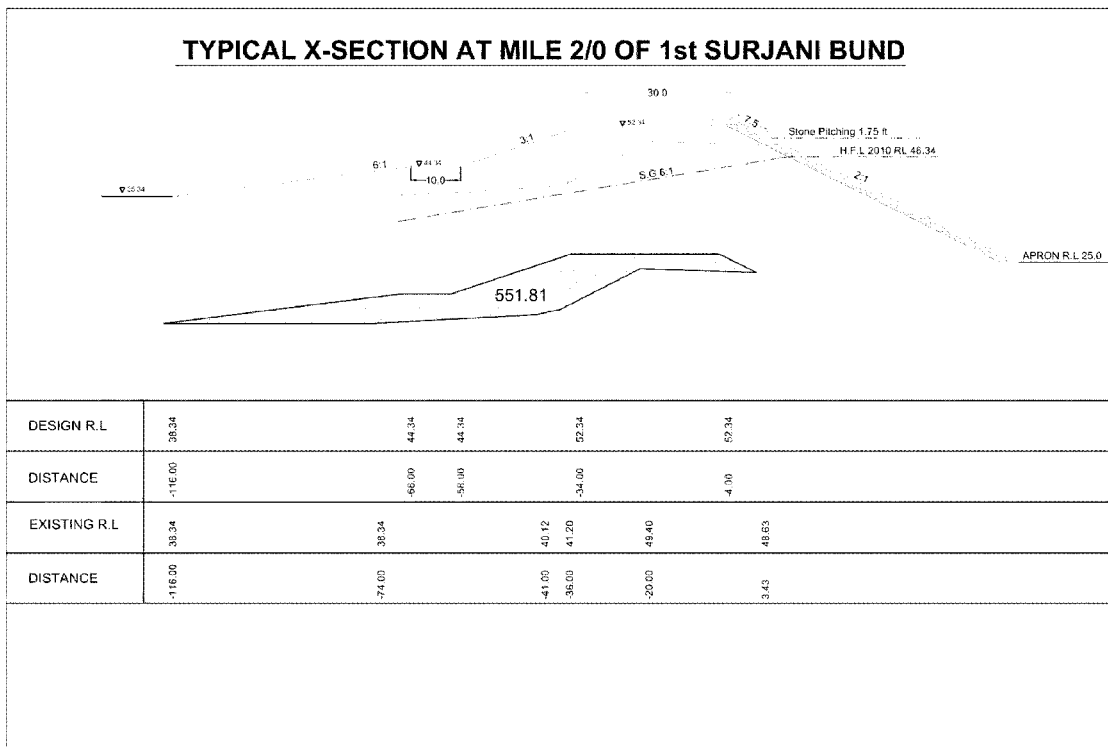


出典：Sindh-PID

写真 3.2.1 堤防上に置かれた備蓄資材

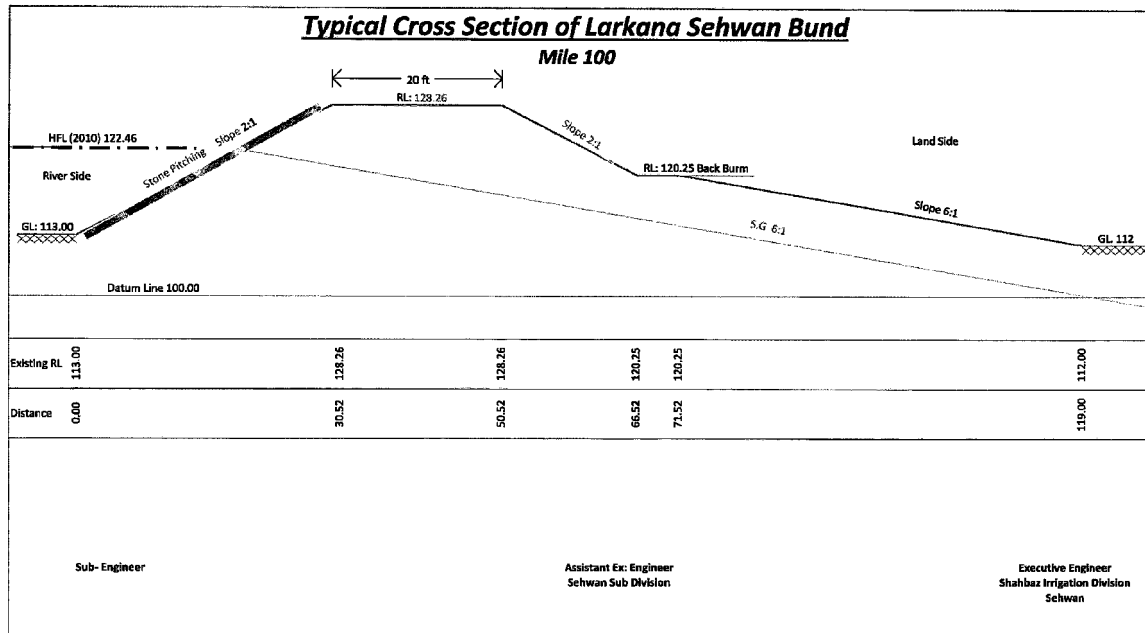
3) 法勾配

計画法勾配は、川表側 2割~3割、川裏側 3割或いは、2割で小段あり（幅 5~10ft）と、ばらつきがある。現況堤防の法面勾配は 2割の箇所が多いようである。



出典：Sindh PID

図 3.2.2 堤防標準断面の例（1）



出典：Sindh PID

図 3.2.3 堤防標準断面の例（2）

(3) 共通する課題

2023年8月2日から8月4日までの間、Sindh PIDのエンジニアとの合同現地踏査を実施した。現地踏査結果より、現況堤防については以下のような共通課題を挙げることができる。

- ・ 堤防天端が舗装されていない箇所が多く、凹凸が多く車両の走行性が悪い箇所が多い。このような状況は、円滑な堤防及び河川の巡視を妨げる一因となる。
- ・ 川表法面は Stone Pitching で被覆されている箇所がほとんどであるが、吸出防止材が敷設されていないため、川表法面から堤体が吸出しを受けている箇所が多くある。
- ・ 川裏法面は被覆されていない。侵食を考慮して必要な堤防断面に対して腹付けをしている様子はないため、必要な断面が雨水によって徐々に削られている状況である。
- ・ 法肩の保護が不十分であるため、法肩付近が崩れている箇所が多い。

3.2.2 既存堤防の脆弱箇所

(1) 地元政府により抽出された脆弱箇所

「Contingency Plan 2023, Government of Sindh PID」には、既存堤防の脆弱箇所の一覧が掲載されている。表 3.2.1 にリストアップされている箇所は、Sukkur Barrage から Larkana での右岸堤防について指定された脆弱箇所である。また、図 3.2.4 に Indus 川右岸堤防沿いの各脆弱箇所の位置図を示す。

Sindh PID からの情報によると、リストアップされた箇所が脆弱点として特定された主要な理由¹は次のとおりである。

1. 過去に破堤または損傷した履歴がある
2. 影響を受ける人口、または敷地に沿って居住する人口の総数が多い
3. 周辺に大きな公共または民間の重要なインフラがある
4. 既存の地盤条件、及び利用可能な洪水対策工事の内容
5. 地下水位。
6. 主要な道路網
7. 堤防の断面、上面、天端高、法面、堤体を構成する土質等の堤防の状態

表 3.2.1 には 22 箇所の脆弱箇所がリストアップされている。これらのうち 17 箇所が Indus 川沿いの堤防上の脆弱箇所（地点 53～地点 68）であり、残り 5 箇所は Hill Torrent 洪水からの防護を目的とした FP Bund もしくは Superio Bund 上である。

また、表 3.2.1 の Opinion の列において赤字で示したものは、Indus 川沿いの 17 の脆弱箇所のうち、本検討における Sindh 州のエンジニアからの合同現地踏査（2023 年 8 月 3 日より実施）の前において、早期の復旧や補修の必要性が認識されていながらも未対応となっていた箇所であり、そのような箇所が 5 箇所あった。そのため、現地踏査においてはこれら 5 箇所を重点箇所と考えて訪問する方針とした。

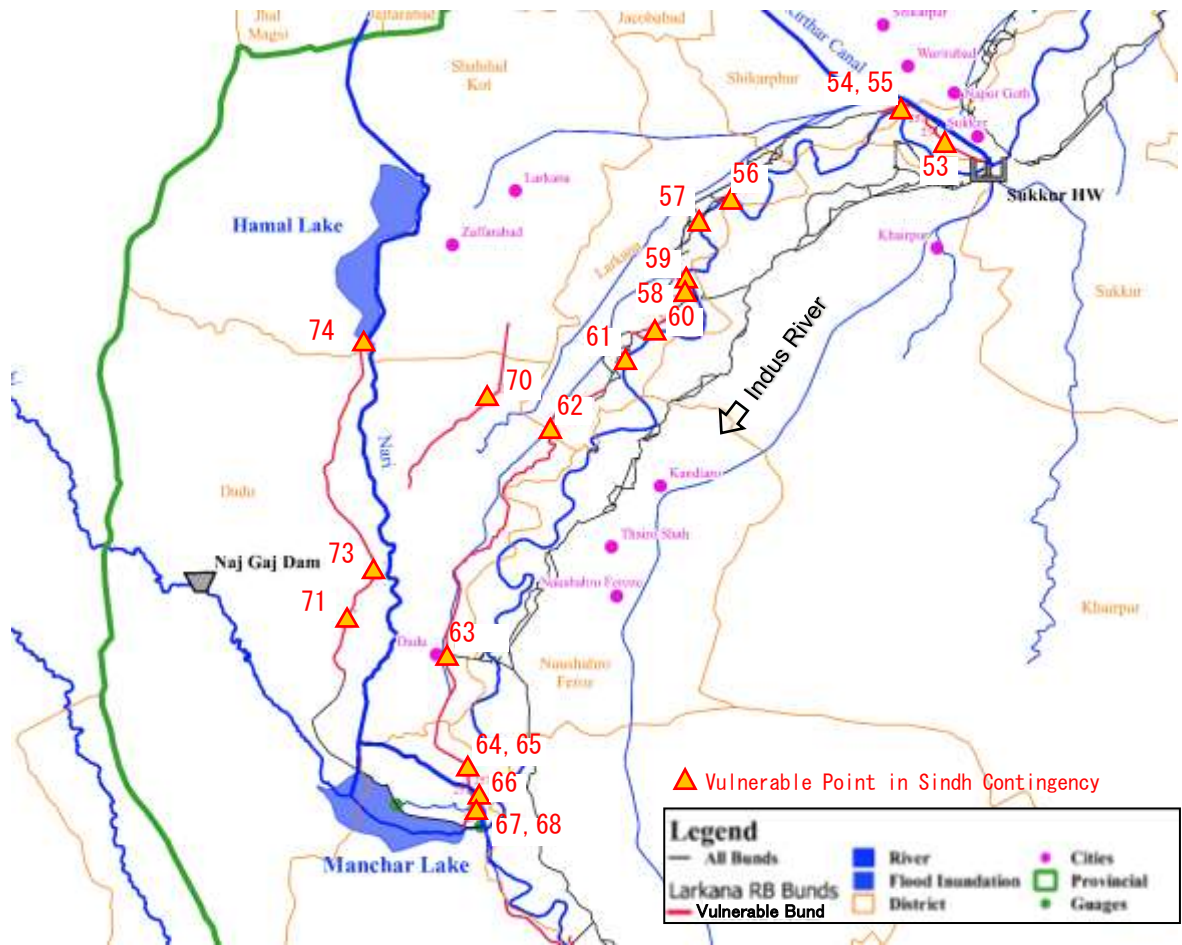
¹ Sindh PID からの聞き取りに基づく

表 3.2.1 Sukkur Barrage Right Bank Region, Larkana における堤防脆弱箇所の一覧

No.		脆弱箇所の名称	選定理由	Sindh-PID による意見
NFPP-IV 上の番号	Sindh Contingency Plan 上の番号			
214	53	S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P)	There is no any past History of this reach, but during flood 2022 the leak and seepage has been observed.	This reach is needed proper treatment and raising and widening of Bund.
251	54	Ghumra Loop Bund Mile 4/6 (V.P)	During 1960-61 as there was active erosion opposite Ghumra Loop Bund, and the reach of Ghumra Loop Bund Mile 4/6 to 6/3 became decommissioned as such Ruk Loop Bund is acting as 1st Line of defense since then	During flood 2022, River Indus was striding towards this reach very rapidly. The scheme has been in initiated for construction stone apron along this reach.
216	55	Ruk Spur, mile 0/5, 1/1, 1/6 & 2/3 (V.P)	During flood 1976 heavy erosion was observed along Ruk Loop Bund, these four spurs was constructed in 1978-79.	During flood 2022 the river became very active against Ruk Loop Bund mile 0/0. The new scheme for construction New T-Head Spur has been initiated at this reach.
106	56	Moria Loop Bund Mile 0/0 to 1/0 (M.V.P)	During flood 2017 heavy scouring and erosion was observed and controlled by flood fighting works.	The scheme was approved for construction of river training works viz: spurs, stone apron, which was completed. During flood and rain 2022, this reach is again affected, which need proper treatment.
223	57	Akil Loop Bund Mile 0/0 to 0/7 (V.P)	These bunds are historically coming under the direct hit of River Indus at right angle, since 30 years these bunds faces erosion and heavy scouring. Many river training works carried out along this bund, in which spurs, stone apron, stone pitching and widening of the bund.	During flood 2015 some river training works was disturbed, for which scheme is intimated which is in progress.
-	58	Abad Mangli Extension Mile 0/0 to 1/5 (V.P)	This reach is located immediately at up stream of Khairpur Larkana bridge and huge river training works was carried out as allied structures of above bridge.	This bund was un-safe / vulnerable up to 2019. At present this bund is quite safe.
233	59	Old Abad Bund (V.P)	The river have remained very active along Old Abad / New Abad bund since last half century, but specially after construction of Khairpur Larkana bridge. This reach was over topped in flood 2010 and 2022, the river water was cordoned by Abad Mangli Bund.	The old / new abad bund is needed immediate repair and rehabilitation work.

No.		脆弱箇所の名称	選定理由	Sindh-PID による意見
NFPP-IV 上の番号	Sindh Contingency Plan 上の番号			
233	60	L.S Bund 16/0 to 17/0 (Hakra Point) (M.V.P)	In flood 2015 the river came near at 200 ft so In 2017 the scheme was initiated for construction of T-Head spur and Stone apron along this reach.	The earthen shank of newly constructed T-Head Spur at Mile 16/1 is need to be raising and providing stone pitching.
257	61	L.S Bund Mile 22/0 to 22/4 Opposite Moen Jo Daro (V.P)	The reach remained in direct hit of River since last three decade. In eighties river training works viz: spurs, stone pitching and stone apron were constructed.	During flood 2017, this reach and T-Head Spur at L.S Bund 22/0 was in direct hit, which caused heavy damages. Which need to be recouped.
257	62	LS Bund mile 38/6 to 58/0 & 62/0 (V.P)	River Course Direct hits this Point	Proper watching and vigilance during floods.
257	63	LS Bund, mile 74/0 to 77/2 (V.P)	Leakage in Flood 1976	Same as above.
257	64	LS Bund, mile 95/2to 99/7 (V.P)	River Course Direct hits this Point	Same as above.
257	65	LS Bund, mile 95/2 (V.P)	Breach Accord in Flood 1976	Same as above.
257	66	LS Bund, mile 99/7(V.P)	Relief cut points for Drains Manchar Flood water from Barrage area of Taluka Sehwan.	Same as above.
257	67	LS Bund, mile 100/0 (V.P)	River Course Direct hits this Point	Same as above.
191	68	Sehwan Protective Bund mile 0/0 (V.P)	When Manchar Flood Water Drains through Aral Head Regulator the water hits this point.	Same as above.
261	69	Sann Veehdari Bund mile 11/6 (V.P)	Hill torrents Direct hits to this Point	Same as above.
258	70	Superio Bund RD 49 (PUO)	Breach Point during flood 2010. The whole reach of Suprio Bund always over topped after occurring of breach in F.P Bund.	Same as above.
-	71	FP Bund RD 129 (PUO)	Hill torrents Direct hits to this Point	Same as above.
-	72	FP Bund RD 223, 246, 258, 282 and 325 (PUO)	Direct hit of Hamal Lake.	Same as above.
-	73	FP Bund RD 169 to 183 (PUO)	Hill torrents Direct hits to this Point	Same as above.
-	74	FP Bund RD 346 to 353 (PUO)	Direct hit of Hamal Lake	Same as above.

出典: Contingency Plan 2023, Government of Sindh PID と PID-Sindh からの聞き取り



出典: Sindh PID からの情報を基に JICA アドバイザーチームが整理

図 3.2.4 PID-Sindh により抽出された堤防脆弱箇所的位置

ここで、表 3.2.2 に前述の 5 箇所を改めて整理する。Sindh PID によると、表 3.2.2 に示す 5 箇所
で早期の補修及び改築の必要性が認識されている。地点 60 と 61 では、既存の水制の補修が必要と
あると考えられている。一方、地点 53、56、59 では既存堤防本体の補修が必要と考えられている。

表 3.2.2 Sukkur Barrage Right Bank Region, Larkana で
早急に補修が必要とされている脆弱箇所の一覧

No.		脆弱箇所の名称	位置	Necessary Work by 必要な対策 (Sindh PID による)
NFPP-IV 上の番号	Sindh Contingency Plan 上の番号			
214	53	S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P)	27°43'39.87"N, 68°45'45.36"E	Countermeasure against Seepage
106	56	Moria Loop Bund Mile 0/0 to 1/0 (M.V.P)	27°37'7.12"N, 68°20'55.52"E	Countermeasure against Scouring & Erosion
233	59	Old Abad Bund (V.P)	27°27'15.75"N, 68°15'41.33"E	Rehabilitation of the Bund
233	60	L.S Bund 16/0 to 17/0 (Hakra Point) (M.V.P)	27°21'49.93"N, 68°11'43.53"E	Rehabilitation of Spurs
257	61	L.S Bund Mile 22/0 to 22/4: Opposite Moen Jo Daro (V.P)	27°18'46.07"N, 68° 8'36.84"E	Same as Above

出典: Sindh PID からの情報を基に JICA アドバイザーチームが抽出

1) 地点 53 : S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P)

図 3.2.5 に地点 53 付近の状況を示す。

平常時の主流路は堤防から離れており、主流路の方向は既存堤防の線形とほぼ平行となっている。「Contingency Plan 2023, Government of Sindh PID」によると、2022 年の洪水時にこの場所で漏水と浸透流が観測されたということであった。

当該箇所の堤防は 1 重で、その川裏に Sukkur 空港がある。したがって、この区間での堤防の破壊や崩壊は Sukkur 周辺の輸送に悪影響を与えるリスクがある。

一方、2023/8/2 から 2023/8/4 までの間、Sindh PID のエンジニアとの合同現場踏査を実施した。Sindh PID のエンジニアによると、現時点で弱点となる懸念はなく、この地点は無視できるとのことであった。

したがって、この地点は安全であると考え、この地点に関するさらなる検討はこれ以上行わないこととする。



出典: Google Earth

図 3.2.5 地点 53 周辺の状況



出典: アドバイザーチーム

写真 3.2.2 既存堤防の状況 (1)

(S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P))



出典: アドバイザーチーム

写真 3.2.3 既存堤防の状況 (2)

(S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P))

2) 地点 56 : Moria Loop Bund Mile 0/0 to 1/0 (M.V.P)

図 3.2.6 に地点 56 付近の状況を示す。

平常時の主流路は既存堤防の前面にある。堤防は主流路の急カーブの外側に位置する。このような状況のため、川岸の侵食や洗掘が深刻な問題となっており、2022 年の洪水でも被害を受けた。

ここでは堤防は二重以上になっており、この区間で破堤が発生しても、Indus 川の氾濫による浸水はすぐには大きく拡大しない可能性があるが、一線堤と二線堤の間には宅地が存在する。なお、二線堤の背後には人口集中地等は近接していない。

2023/8/2 から 2023/8/4 までの間、 Sindh Irrigation Department のエンジニアとの合同現場踏査を実施した。その際、既存の水制の改修工事が進行中であった。



出典: Google Earth

図 3.2.6 地点 56 周辺の状況



出典: アドバイザーチーム

**写真 3.2.4 既設堤防の状況
(Moria Loop Bund)**



出典: アドバイザーチーム

**写真 3.2.5 既設水制工の状況
(Moria Loop Bund)**

3) 地点 59 : Old Abad Bund (V.P)

図 3.2.7 に地点 59 付近の状況を示す

平常時の主流路は既存堤防の前面にあり、堤防は主流路の急カーブの外側に位置している。

下流側に J 形水制があり、下流側ではその効果により主流路と既存堤防との距離を一定以上に保つことができています。

当該箇所の堤防は二重となっており、表 3.2.1 において Abad Mangli Extension は安全であると評価されている。したがって、この区間で破堤が発生しても、Indus 川の氾濫による浸水は一旦第二線堤の前で留まる可能性がある。しかしながら、2010 年規模の洪水が迫った場合、第一線堤防と同等の強度・耐性を有しない第二線堤防が破堤する可能性がある。

一線堤と二線堤防の間は農地として利用されている。二線堤の背後の入流側には人口集中地等は近接していないものの、Larkana の市街地が 10km 程度上流側に位置している。簡易な水理解析結果によると第二選定が破堤すると氾濫流は主要都市 Larkana 及びその他の都市にも及び、後背地に大きな被害を与える。

2023 年 8 月 2 日から 8 月 4 日までの間、Sindh PID のエンジニアとの合同現場踏査を実施した。当該箇所の堤防は堤内地盤より 1m 程度の高さを有し、接続する上下流の堤防と比較して著しく高さが低い状況であった。また、波浪による既設堤防侵食防止のためワラや木材を用いた保護工が堤防前面に設置されていた。



出典: Google Earth

図 3.2.7 地点 59 周辺の状況



出典: アドバイザーチーム

写真 3.2.6 既設堤防前面の状況
(Old Abad Bund)



出典: アドバイザーチーム

写真 3.2.7 既設堤防背後地の状況
(Old Abad Bund)

4) 地点 60 : L.S Bund 16/0 to 17/0 (Hakra Point) (M.V.P)

図 3.2.8 に地点 59 付近の状況を示す

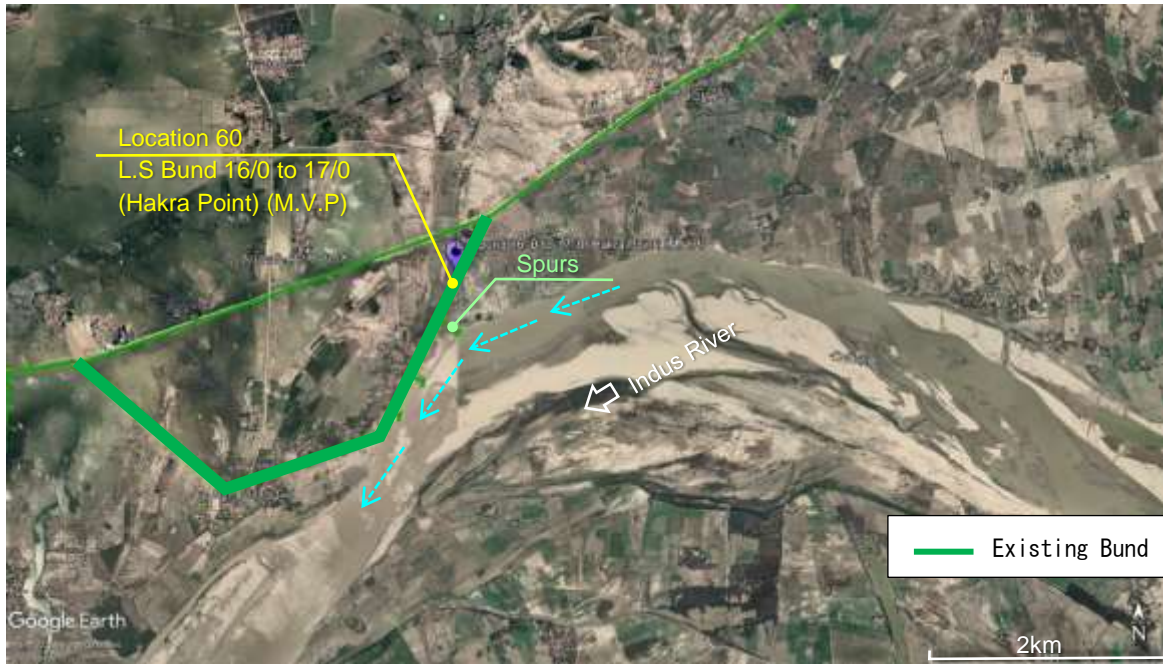
平常時の主流路は既存堤防の前面にあり、堤防は主流路の急カーブの外側に位置する。また、主流路の流向はこの地点の堤防上流側に当たる方向となっている。

当該箇所には 3 つの水制があるが、衛星写真では下流側にある水制付近の地盤がはっきりと確認できず、水制の効果が不十分に発揮されていないと思われる。また、Sindh PID によって水制補修の必要性が認識されている（表 3.2.1 参照）。

当該箇所の堤防は二重になっている。したがって、この区間破堤が発生しても、Indus 川の氾

濫による浸水はすぐには大きく拡大しない可能性がある。一線堤と二線堤防の間には宅地が存在する。なお、二線堤の背後には人口集中地等は近接していない。

2023/8/2 から 2023/8/4 までの間、Sindh PID のエンジニアとの合同現場踏査を実施した。当該箇所では Sindh PID の情報によると、既設水制工の前面の補修が必要とのことであったが、現地を確認したところ、現状で目立った損傷はなく、すでに補修済みの様子であった。



出典: Google Earth

図 3.2.8 地点 60 周辺の状況



出典: アドバイザーチーム

写真 3.2.8 既設堤防の状況
(L.S Bund 16/0 to 17/0 (Hakra Point))



出典: アドバイザーチーム

写真 3.2.9 既設水制工の状況
(L.S Bund 16/0 to 17/0 (Hakra Point))

5) 地点 61 : L.S Bund Mile 22/0 to 22/4 Opposite Moen Jo Daro (V.P)

図 3.1.15 に地点 61 付近の状況を示す。

平常時の主流路は既存堤防の前面にあり、堤防は主流路のカーブの外側に位置している。水制工の効果により既存堤防と主流路との距離は確保されている。水制工のない区間では、主流路が

既存の堤防の近くに位置している。当該箇所では侵食と洗掘が激しいと推察できる。既存水制工の修復の必要性は Sindh PID にも認識されている。

当該箇所の堤防は二重以上になっている。したがって、この区間で破堤が発生しても、Indus 川の氾濫による浸水はすぐには大きく拡大しない可能性がある。一線堤と二線堤防の間には宅地が存在する。なお、二線堤の背後には人口集中地等は近接していない。

2023/8/2 から 2023/8/4 までの間、Sindh PID のエンジニアとの合同現場踏査を実施した。Sindh PID の情報によると、既設水制工の前面側（エプロン部）が洗掘により破損しており、補修が必要とのことであった。



出典： Google Earth

図 3.2.9 地点 61 周辺の状況



出典： アドバイザーチーム

写真 3.2.10 既設堤防の状況
(L.S Bund Mile 22/0 to 22/4 Opposite Moen Jo Daro (V.P))



出典： アドバイザーチーム

写真 3.2.11 既設水制工の状況
(L.S Bund Mile 22/0 to 22/4 Opposite Moen Jo Daro (V.P))

(2) 合同現地踏査結果より抽出した脆弱箇所

1) Akil Link Bund

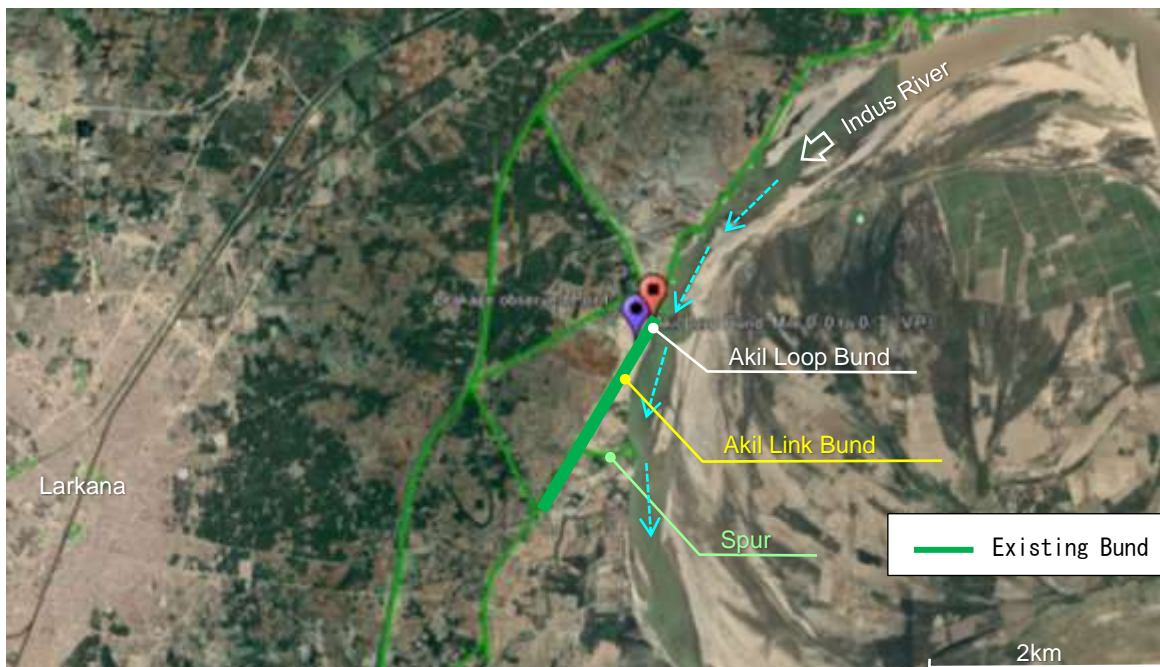
2023年8月2日から2023年8月4日までの間、Sindh PIDのエンジニアとの合同現地踏査を実施した。隣接するAkil Loop Bundは脆弱箇所としてSindh PIDのリストに挙げられており、侵食に対し脆弱箇所となっていた。Akil Loop Bundに隣接するAkil Link Bundでは、堤防裏法尻付近で漏水の発生を確認した。現地踏査時はMedium Floodと判断される状況で、堤防前面の高水敷がおおむね浸水している程度の状況であった。

ここで、図3.2.10にAkil Link Bund付近の状況を示す。

平常時の主流路は既存堤防の前面にあり、堤防は主流路のカーブの外側に位置している。下流側にある水制工の効果により、Akil Loop Bundと接続する上流端付近以外では既存堤防と主流路との距離を確保されている。

当該箇所の堤防は二重になっている。したがって、この区間で破堤が発生しても、Indus川の氾濫による浸水は一旦第二線堤の前で留まる可能性がある。しかしながら、2010年規模の洪水が迫った場合、第一線堤防と同等の強度・耐性を有しない第二線堤防が破堤する可能性がある。

簡易な水理解析結果によると第一及び二線堤が破堤すると氾濫流は主要都市Larkana及びその他の都市にも及び、後背地に大きな被害を与える。



出典： Google Earth

図 3.2.10 Akil Link Bund 周辺の状況



出典: アドバイザーチーム

**写真 3.2.12 既設堤防の状況
(Akil Link Bund)**



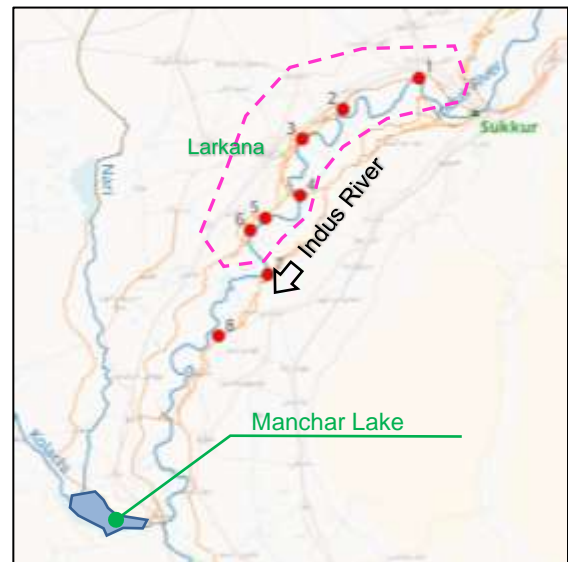
出典: アドバイザーチーム

**写真 3.2.13 既設堤防法尻漏水の状況
(Akil Link Bund)**

(3) 衛星画像分析に基づく堤防脆弱箇所

「3.1.1 衛星画像分析」で行った衛星画像分析に基づき、Sukkur~Larkana 区間の Indus 川右岸側の地域では、図 3.2.11 に示す 6 箇所(No.1~6)を脆弱箇所と考える。脆弱箇所は次の点を考慮して抽出している。

1. 水路と堤防との距離が近い、または水路が既存堤防に近づいている
2. 水路の流下方向が既存の堤防にぶつかっている
3. 既存の外岸側の背後に開発が進んだ箇所がある
4. 陸側の標高が比較的 low、開発が進んだ地域に河川水が流れ込みやすい



出典: アドバイザーチーム

図 3.2.11 衛星画像分析に基づく堤防脆弱箇所の位置

6 箇所それぞれの地点の堤防の名称は下記の通りである。

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. S.L Bund~Ghumra Loop Bund | → Sindh 州により対策の必要性を認識し、対策済(継続中)、緊急性が低い |
| 2. S.L Bund | → 緊急性が低い |
| 3. Moria Loop Bund | → Sindh 州により対策の必要性を認識 |
| 4. Old Abad Bund | → 同上 |
| 5. L.S Bund (16/0 Mile to 17/0 Mile) | → 同上 |
| 6. L.S Bund (22/0 Mile to 22/4 Mile) | → 同上 |

上記 6 箇所のうち、地点 2 を除く 5 箇所は、前述した地元政府により抽出された脆弱箇所でもリストアップされている。

地点 2 に関しては、過去の衛星写真では主流路が既設堤防前面に接近していたが、2013 年以降、主流路が左岸側へ遷移していったため、2023 年 8 月現在、脆弱性は低くなっており、対策の緊急性

は低いと考える。

また、衛星画像による分析では、地点 No.1 のみ外岸側の堤防が一重のみとなっており、他の地点 No.2～6 に比べて脆弱性が高いように見える。(図 3.2.12 参照)ただし、当該箇所では後述の表 3.2.1 の地点 54、55 での整理に示す通り、これまでに Sindh 州による対策工が継続して実施されてきており、一定の効果は得られている。

その他の地点 3～6 に関しては、Sindh 州により対策の必要性が認識されている。これら 4 箇所の状況については前述のとおりである。



出典 : Google Earth (The image is as of 4/20/2023)

図 3.2.12 地点 1 付近の状況

(4) まとめ

以上より、本検討で抽出した脆弱箇所とその 2023 年 8 月現在の状況を踏まえた対策の緊急性について表 3.2.3 に整理する。表 3.2.3 より、Old Abad Bund (V.P)と Akil Link Bund では、現時点で補修や対策工が実施または計画されておらず、他の箇所と比較して緊急性が高いといえる。なお、これら 2 箇所以外では、河道の変遷や現在対策工が実施中であること、被害が堤防本体ではなく前面の水制工のみであることなどから対応の緊急性は相対的に低いと考えている。

表 3.2.3 抽出箇所における現状と対策の緊急性

抽出元 ¹⁾	脆弱箇所の名称	位置	現状	堤防補修および強化の緊急性
1,3	S.L Bund ~ Ghumra Loop Bund	27°47'38.74"N 68°40'48.48"E	Rehabilitation of the existing spurs were on-going.	Low
3	S.L Bund	27°41'27.91"N 68°25'57.76"E	Less Vulnerable	Low
1	S.L Bund Mile 5/6 Near Bachal Shah Miani (V.P)	27°43'39.87"N, 68°45'45.36"E	Not Vulnerable	None
1,3	Moria Loop Bund Mile 0/0 to 1/0 (M.V.P)	27°37'7.12"N, 68°20'55.52"E	Rehabilitation of the existing spurs were on-going.	Low

抽出元 ¹⁾	脆弱箇所の名称	位置	現状	堤防補修および強化の緊急性
1,3	Old Abad Bund (V.P)	27°27'15.75"N, 68°15'41.33"E	Not yet Rehabilitated	High
1,3	L.S Bund 16/0 to 17/0 (Hakra Point) (M.V.P)	27°21'49.93"N, 68°11'43.53"E	Rehabilitation of the existing spurs were completed.	Low
1,3	L.S Bund Mile 22/0 to 22/4 Opposite Moen Jo Daro (V.P)	27°18'46.07"N, 68° 8'36.84"E	Rehabilitation of the existing spurs(Only apron) are needed.	Low
2	Akil Link Bund	27°34'31.09"N 68°17'15.03"E	Not yet Improved	High

1) 1: Sindh Contingency Plan 2023, 2: Site Inspection in Aug. 2023, 3: Analysis from Satellite Image

3.3 Indus 川の運用管理

3.3.1 パキスタンでの治水施設の考え方

治水施設は、特に後背地の洪水被害リスクを軽減するために建設される構造物である。治水施設とそれに付随する水路は、人々やその他の社会基盤を保護するために、洪水を持続的に排水できるように設計される。治水施設の一つである堤防は、洪水を河道内で制御することで、堤内地を浸水から保護する役割がある。量及び質的に適切な堤防は洪水によるハザードを軽減するだけではなく、洪水被害リスクをゼロにする機能性を有する。ただし、堤体は一般的に土質材料で構成されているため、長期に亘り、かつ水撃の大きな洪水に対しては、堤体の損壊を防ぐために相応の措置が必要となる。

NFPP-IV では Indus 川本川堤防の整備規模は、100 年確率規模が計画及び設計条件として設定されている。PIDs によると、100 年規模相当として理解されている 2010 年洪水の水位に基づいて FWL を設定している。特に Indus 川の堰周辺の導流堤は 100 確率規模相当で設計されている。現在、その他、洪水に対して脆弱な地域の堤防は 50 年確率規模で設計されており、フラッシュフラッドが頻発する Hill Torrent 地域では、25 年から 40 年確率規模での治水整備が行われている。

3.3.2 パキスタンにおける現在の実情

(1) 堤防に関する基準及び管轄機関

一般的に FFC は、FMC を通じた事業照査の役割を有することから、治水工事の設計条件を監理していると言える。PIDs は基本的に FFC の技術的提言に従っている。一方で、Sindh 州では、独自の Indus River Commission により定められた Sindh Bund Manual のようなガイドラインに従い堤防の設計条件を設定しているが、FFC の提言がこの設計条件と相反することはない。

(2) 河道整流工²及び堤防の延長と沿川人口

2010 年と 2022 年の洪水後に設置された洪水防御施設と河川施設を表 3.3.1 に示す。

堤防と河道整流工 (River Training Works) は、河道の浸食に対する第一防御として河川構造物を保

² パキスタンにおいて River Training Works と呼ばれているもので、水制工、導流堤、分流堤、ガイドウォールなど河道の流れを一定の範囲内に収めて、河岸や堤防の浸食を防ぐ目的で設置される構造物。本報告書では河道整流工と定義する。

護する役割を果たすため、慎重かつ適切な注意を払って設計及び維持管理を行う必要がある。不十分な設計や不適切な維持管理が為されている場合、堤体やその付帯施設に損傷が生じる可能性があるため、以下のような対応が必要である。

- ・ 主流線の流向の制御
- ・ 雨水及び河川洪水からの堤体保護
- ・ 河道内の洪水をスムーズに通過させる誘導措置
- ・ 洪水がスムーズに流下するような河道内敷地の正整

表 3.3.1 パキスタンの堤防延長及び沿川人口

	州	堤防		河道整流工 (水制工等)	
		箇所数	延長 (km)	箇所数	延長 (km)
1	PUNJAB	405	2966	878	590
2	SINDH	120	1490	160	570
3	KPK	75	75	390	97
4	Baluchistan	-	-	-	-
5	AJ & K (Azad Jammu and Kashmir)	15	1.68	-	-
6	GB (Gilgit-Baltistan)	32	29.6	-	-
7	FATA	65	51.5	-	-
8	Pak Railway	23	24	-	-
9	NGOs (Non-Governmental Organization)	197	270	-	-
	合計	932	4907.78	1428	1257

出典：各州からの情報に基づき整理

(3) 洪水防御工事 (FPW) の必要性

パキスタンでは、昔から灌漑施設を保護し、隣接する農地や人々の居住地を洪水の被害から守るために、洪水防御対策が進められてきた。基本的に、このような対策は、短期的な対策（洪水対策）と長期的な対策（河道整流工）に分類される。最適な結果を得るには、PIDs が適切な検討方針に基づいて計画地点間の洪水防御施設を詳細に計画及び設計することが重要となる。しかし、残念ながら、財政上の制約により、ほとんどの洪水防御事業の有効性が制限されている。PIDs は、既存の洪水防御施設の適切な維持管理、洪水対策、洪水監視、モンスーン期後の洪水被害の洪水復旧を担当している。

(4) 堤防の維持管理

1) 堤防の被災要因

パキスタンで考えられている堤防の主要な被災要因は下記通りである。

- ・ 設計諸元の不備による越流
- ・ 堤防付近の局所的な障害物によるせき上がりの発生
- ・ 河川の形態の変化による水位上昇
- ・ 堤防本体の浸透
- ・ 流水による侵食
- ・ 堤防土の長期にわたる飽和に係る沈下

- ・ 古い木の根と堤体土との間の水みちの形成
- ・ パイピング現象
- ・ 河川と並行方向の堤防法面沿った流れによる浸食
- ・ 風波の作用による浸食。
- ・ 堤防本体の液状化を引き起こす可能性のある地震
- ・ 強雨による法面の浸食
- ・ 堤体の亀裂と斜面崩壊

2) 全体監視

パキスタンでは河道整流工の土質材料により構成される部分は、ほとんどの期間（年間約 9 か月間、9 月 15 日から 6 月 15 日まで）乾燥状態にあり、この間に施設の弱点が発生する傾向がある（特に多いものはモグラ穴など小動物によるもの）。したがって、その安全性を確保するには、十分な定期検査と適切かつタイムリーな保守作業を含む効果的な監視が必要である。

上記の監視に基づき、現状は年間を通して PID により選ばれたチームによって、ランダムな時期に簡易的な検査を実施することが十分であると考えられている。しかし、洪水対策工事の重要性を考慮すると十分ではなく、毎年 3 月から 4 月にかけて、専門家チームによる徹底した詳細な検査が行われるべきであり、チームの調査結果に基づいて必要な保守作業を 6 月 15 日までに完了する必要がある。

洪水前後の検査において、専門家チームは次の情報を収集する。

- ・ 堤防の縦横断面図
- ・ 天端高、天端幅、法面勾配、複数の洪水時の水位。
- ・ 堤防の両側の通常の地表面標高(NSL: Normal Surface Level)
- ・ 堤防天端と法面への不必要な植生の侵入
- ・ 被覆された水制工の場合、損傷した捨石と前面被覆
- ・ 堤防天端の沈下

3) 堤防の維持管理

堤防の維持管理に関して下記の事項を考慮する。

- ・ 堤防計画断面の維持
- ・ 通常風、局所的な輪荷重、不法侵入、交通量の多さによる天端の沈下、及び雨による天端と法面からの土砂の洗い流しを考慮した堤防の耐候性
- ・ ネズミ穴とヤマアラシ穴は洪水時の堤防の破壊の原因となりうること
- ・ 川表法面への矢板敷設

各州の PID から収集した堤防と河道整流工事に対する年間維持管理予算を表 3.3.2 に示す。

表 3.3.2 堤防と河川補強工事に対する年間維持管理予算

	州	排水および洪水対策のための年間維持管理予算 (Million PKR)		
		2021-22	2022-23	2023-24
1	Punjab	2,200	2,700	3,000
2	Sindh	1,500	1,700	2,000
3	KPK	Not Obtained	Not Obtained	Not Obtained
4	Balochistan	Not Obtained	Not Obtained	Not Obtained

出典：各州からの情報に基づき整理

3.4 進行中の河川改修業務

「Sindh Contingency Plan 2023」、「Flood Contingency Plan - 2022」及び「Sindh Flood Emergency Rehabilitation Project (Irrigation Component)」より、Right Bank of Drainage (RBOD) 地区で進行中の河川改修工事を表 3.4.1 及び表 3.4.2 に整理する。なお、各プロジェクトの進捗に関する詳細は 2023 年 8 月時点で入手できていない。

表 3.4.1 RBOD 地区で進行中の河川改修工事(1)

出典元における番号	事業名
	<u>Revised List of Schemes of Sindh for The Umbrella PC-I of Flood Protection Sector Project-III (FPSP-III)</u>
17	Construction of New T-Head Spur along Ruk Loop Bund at Mile 0/0+20, Providing Stone Pitching, Stone Apron along Ruk Loop Bund Mile 0/0 to 0/5 and Ghumra Loop Bund Mile 4/6 and Providing Stone Pitching and Apron at Remaining Portions of T-Spur Mile 0/5, 1/1, 1/6 and 2/3. (Western Sindh Circle)
18	Raising and strengthening and stone pitching along L.S Bund from mile 36/5 to 77/2 in Southern Dadu Division Dadu
19 (Indus 川沿いではない)	Strengthening / Earth work from RD.) to 20.0 and RD 75.0 to 220.0 & stone pitching from RD.0.0 to 20.0 & RD.75.0 to 220.0 along F.P bund in Southern Dadu Division Dadu.
20	Restoration Works along S.L Bund mile 38/0 to 40/5, Akil Link Bund, Ilyas loop bund, Recoupment of damaged apron of J-SPUR Akil Link Bund and Construction of Protection Wall between Phulpota Minor and first defense line of River Bund and Reconstruction of Gauge Pillars in Northern Dadu Division Larkana.
21	Recoupment damaged stone apron along L.S Bund Mile 22/3 to 22/4, damaged apron of T-SPUR at L.S Bund Mile 22/0 and raising strengthening of Hassan Wahan loop and Moen-Jo-Daro protection bund and providing stone pitching along Gaji Derolind bund Northern Dadu Division Larkana.
22	Restoration of old/new Abad Bund Mile 0/0 to 1/3 + 410, Providing Stone Pitching and Stone Apron along Old / New Abad Bund and Abad Ring Bund Mile 2/0 in Northern Dadu Division Larkana.

出典：Sindh Contingency Plan 2023

表 3.4.2 RBOD 地区で進行中の河川改修工事(2)

出典元における番号	Name of Scheme
1	Providing stone apron, stone pitching and earth work along L.S Bund Mile 18/0 to 20/0 in Northern Dadu Division, Larkana (ADP (Annual Development Programme) No.1157).
2	Recoupment of Damaged T-Head Spur along Agani Akil Loop Bund 2/6+250, Mole of 0/4 and 0/7 Mole Spur and 09 Nos. Stone Studs in Larkana Sub-division (ADP No: 1158/2021-22).
3	Providing stone apron, stone pitching and earth work along L.S Bund Mile 16/7 to 17/2 in Northern Dadu Division, Larkana (Non ADP).
4 (Indus 川沿いではない)	Retaining Wall along Gaj Diversion Bund in Southern Dadu Division
5 (Indus 川沿いではない)	Strengthening / Earth work from RD-20.0 to 75.0 & Stone Pitching from RD-20.0 to 75.0 along F.P Bund in Southern Dadu Division Dadu

出典：Flood Contingency Plan - 2022

表 3.4.3 RBOD 地区で進行中の河川改修工事(3)

出典元 における 番号	Name of Scheme
	Emergent Rehabilitation Works Under SFERP (Sindh Flood Emergency Rehabilitation Project)
17	Rehabilitation of Karampur Ring Bund
20	River Training Works at Ruk Loop Bund (Indus River)

出典: Sindh Flood Emergency Rehabilitation Project (Irrigation Component), June 2023

3.5 Indus 川の水文条件

3.5.1 Indus 川の確率規模別流量

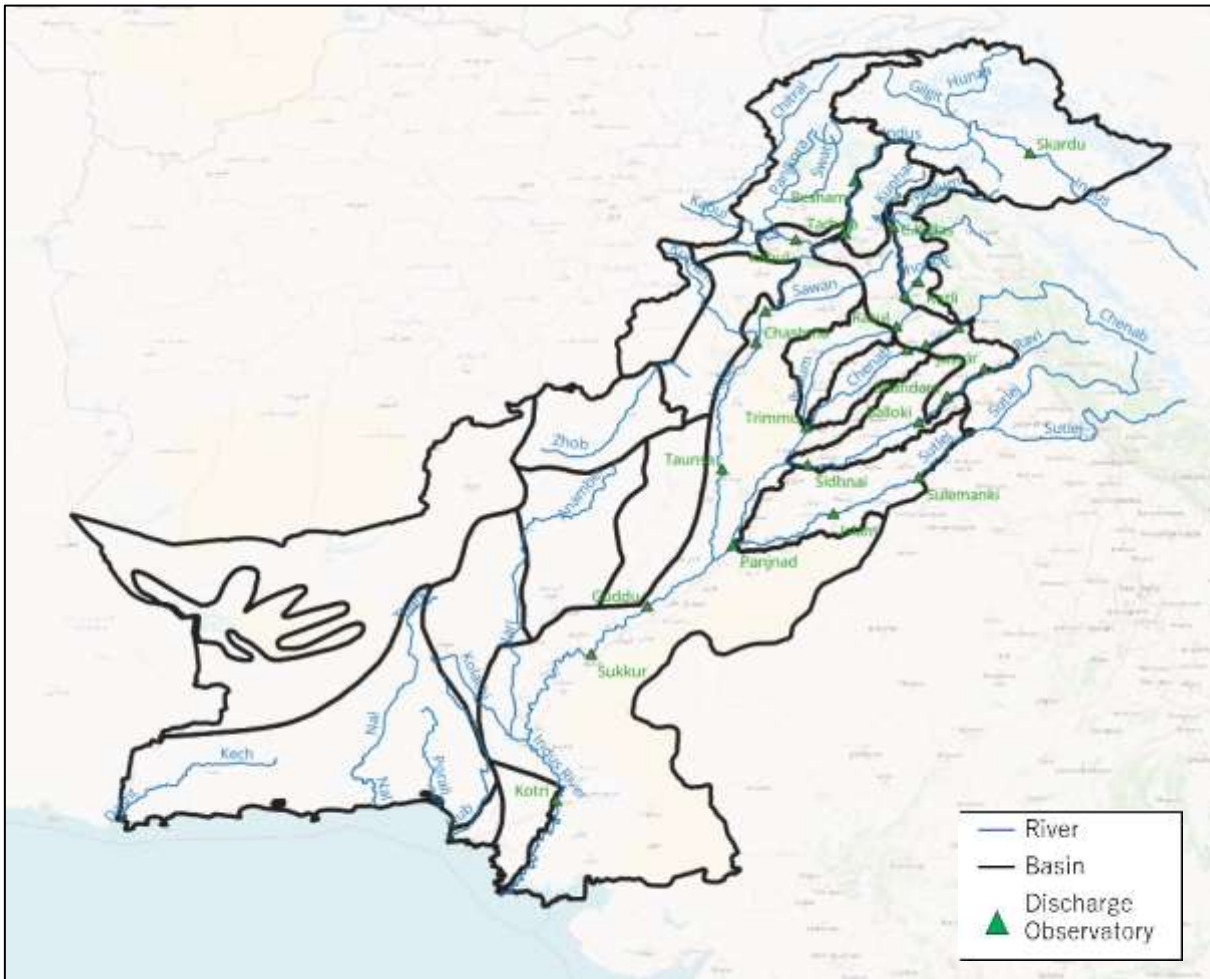
Indus 川流域内の各流量観測所の確率規模別流量を表 3.5.1 に、各流量観測所の位置図を図 3.5.1 に、50 年確率洪水時の各流量観測所の流量を図 3.5.2 に示す。

堤防強化プロジェクトで対象としている地域は Indus 川の Sukkur 観測所下流の地域であり、50 年確率洪水時には約 34,000m³/s の流量となる。ただし、本確率計算に用いた流量データは 2010 年洪水時に Guddu 堰等の Sukkur 上流で溢水が起きた状態のものであるため、氾濫戻し流量で算定した場合、Sukkur 観測所の 50 年確率流量は、34,000 m³/s 以上になる可能性がある。

表 3.5.1 Indus 川流域内の各流量観測所の確率規模別流量

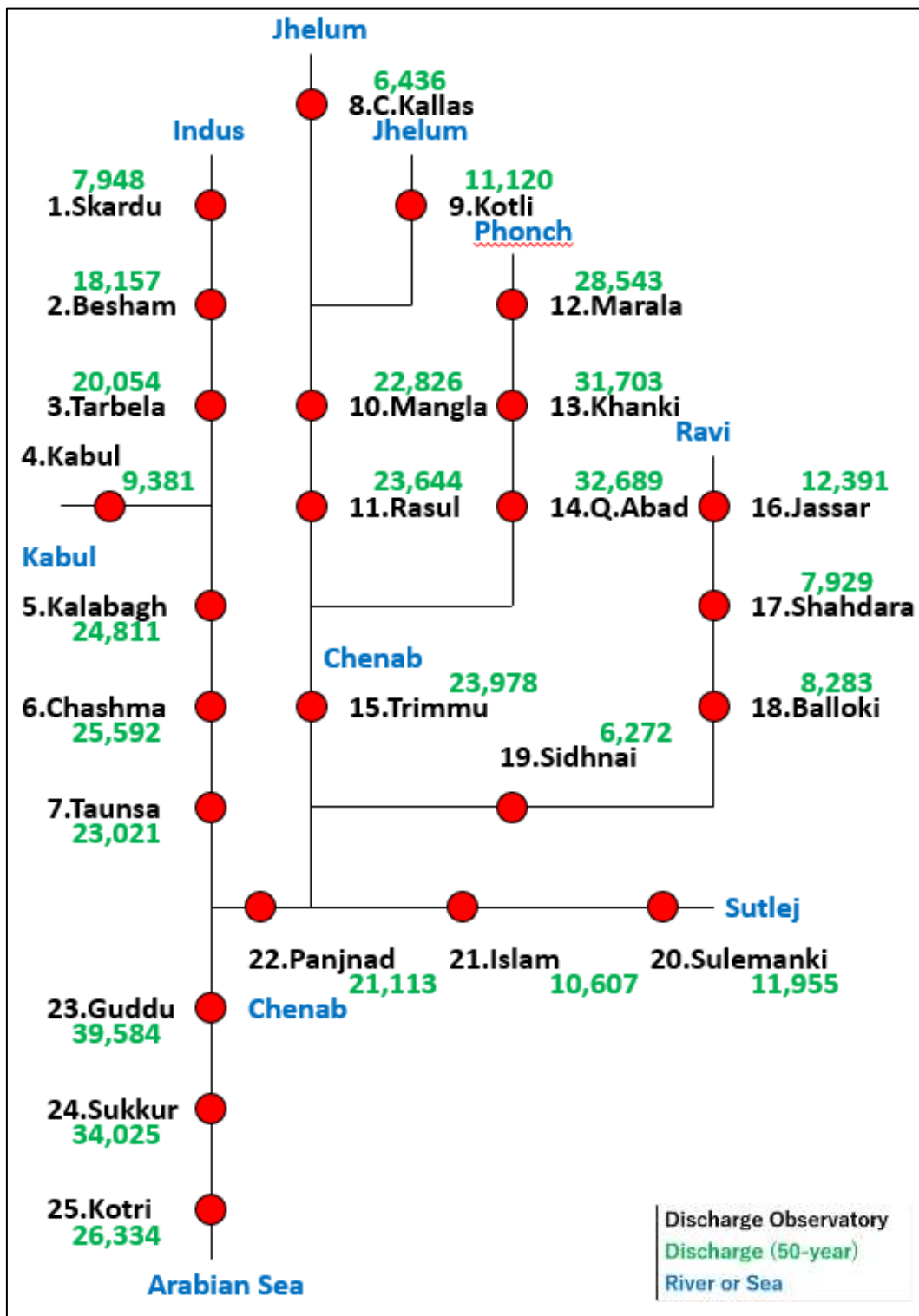
No	河川	観測所名	解析結果		確率流量(m ³ /s)						
			解析年数	確率分布	5年	10年	20年	30年	50年	80年	100年
1	Indus	Skardu	35	Gumbel	6,029	6,629	7,204	7,535	7,948	8,328	8,509
2	Indus	Besham	35	SqrtEt	12,640	14,263	15,905	16,888	18,157	19,354	19,932
3	Indus	Tarbela	49	Gev	12,371	14,255	16,463	17,947	20,054	22,262	23,415
4	Kabul	Kabul	37	Gev	4,703	5,881	7,235	8,130	9,381	10,675	11,341
5	Indus	Kalabagh	95	Gumbel	17,168	19,555	21,846	23,163	24,811	26,317	27,031
6	Indus	Chashma	52	SqrtEt	16,455	19,111	21,829	23,466	25,592	27,611	28,594
7	Indus	Taunsa	63	Gumbel	15,557	17,890	20,127	21,413	23,021	24,494	25,193
8	Jhelum	C.Kallas	10	LN3Q	2,665	3,574	4,664	5,400	6,436	7,507	8,056
9	Phonch	Kotli	10	Gev	2,050	3,491	5,794	7,742	11,120	15,478	18,100
10	Jhelum	Mangla	96	Gev	8,291	11,562	15,656	18,547	22,826	27,515	30,035
11	Jhelum	Rasul	97	Gev	7,323	10,840	15,387	18,675	23,644	29,206	32,241
12	Chenab	Marala	97	Gev	12,244	16,183	20,858	24,018	28,543	33,320	35,820
13	Chenab	Khanki	97	Gev	12,609	17,083	22,517	26,264	31,703	37,545	40,637
14	Chenab	Q.Abad	53	LN3Q	13,646	18,612	24,199	27,793	32,689	37,582	40,042
15	Chenab	Trimmu	93	Gev	10,800	14,240	18,080	20,563	23,978	27,442	29,203
16	Ravi	Jassar	74	Gev	4,550	6,448	8,696	10,217	12,391	14,688	15,888
17	Ravi	Shahdara	95	Gev	2,857	3,964	5,383	6,400	7,929	9,628	10,551
18	Ravi	Balloki	97	Gev	3,381	4,508	5,895	6,864	8,283	9,820	10,639
19	Ravi	Sidhnai	97	Gev	2,251	3,135	4,262	5,066	6,272	7,611	8,334
20	Sutlej	Sulemanki	97	Gumbel	6,162	7,971	9,707	10,706	11,955	13,096	13,637
21	Sutlej	Islam	97	LogP3	5,125	7,082	8,772	9,639	10,607	11,389	11,723
22	Chenab	Panjnad	97	Gev	11,689	14,654	17,480	19,097	21,113	22,953	23,823
23	Indus	Guddu	53	Gev	23,092	28,229	33,170	36,019	39,584	42,851	44,403
24	Indus	Sukkur	92	Gev	22,574	26,490	29,948	31,814	34,025	35,939	36,811
25	Indus	Kotri	91	Gev	16,489	19,824	22,795	24,409	26,334	28,011	28,775

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 3.5.1 Indus 川流域内の流量観測所の位置図



出典：アドバイザーチーム

図 3.5.2 50年確率洪水における各流量観測地点の流量

3.5.2 検討地域における確率規模別の雨量

検討流域における各雨量観測所（マニュアル観測所）の確率規模別雨量（1日雨量、2日雨量、3日雨量、5日雨量、7日雨量、1月雨量）を表 3.5.2 に、各雨量観測所の位置図を図 3.5.3 に示す。

また、例として、50年確率洪水時の各雨量観測所の7日雨量を図 3.5.4 に示す。検討地域では、Indus 川沿いの雨量観測所は、ほかの雨量観測所と比較して雨量が多い傾向がある。

表 3.5.2(1) 検討地域の各雨量観測所の確率規模別雨量（1日雨量）

流域	No	観測所名	解析結果		確率雨量(mm)						
			解析年数	確率分布	5年	10年	20年	30年	50年	80年	100年
Indus River	1	Bahawalpur	31	Gev	56.3	66.0	74.4	78.8	84.0	88.4	90.4
	2	Khanpur	31	Gev	74.6	103.7	136.1	157.1	185.9	215.2	230.0
	3	Rohri	31	Gev	62.0	89.2	121.5	143.3	174.6	207.6	224.9
	4	Sukkur	23	Gev	51.1	76.3	107.4	129.2	161.3	196.3	215.0
	5	Jacobabad	31	Gev	66.0	103.7	153.6	190.4	246.8	311.0	346.3
	6	Larkana	31	LogP3	71.5	107.3	145.4	168.4	197.9	225.4	238.5
	7	Mjo_Daro	30	Gev	57.4	80.5	106.3	122.9	145.9	169.1	180.9
	8	Padidan	31	Gev	79	125	186	230	298.9	376.8	419.6
	9	Nawabshah	31	Gev	69.9	94.7	120.9	137.1	158.4	179.3	189.6
	10	Chhor	31	Gev	108.8	139.9	171.4	190.3	214.8	238.0	249.4
	11	Badin	31	Gev	105.1	139.2	175.6	198.4	228.8	258.8	273.7
	12	Hyderabad	16	Gev	109.8	142.4	175.0	194.5	219.6	243.2	254.7
D.G. Khan Hill	13	Barkhan	31	Gev	63.5	77.6	91.7	100.1	110.7	120.7	125.6
Kacchi Basin Hill	14	Sibbi	31	LN3Q	58.7	71.3	82.8	89.3	97.2	104.3	107.7
Khithar Hill	15	Khuzdar	31	Gev	49.6	67.6	91.9	110.2	138.6	171.5	189.8
Kharan Closed Desert Hill	16	Kalat	31	SqrtEt	55.5	77.4	101.1	116.0	135.8	155.2	164.8
Karachi Area Hill	17	Karachi	31	Gev	88.6	111.5	132.6	144.4	158.7	171.5	177.4
	18	Lasbela	16	Gev	44.4	62.1	83.4	98.1	119.3	141.9	153.9

出典：アドバイザーチーム

表 3.5.2(2) 検討地域の各雨量観測所の確率規模別雨量（2日雨量）

流域	No	観測所名	解析結果		確率雨量(mm)						
			解析年数	確率分布	5年	10年	20年	30年	50年	80年	100年
Indus River	1	Bahawalpur	31	LogP3	67.1	78.1	86.6	90.8	95.3	98.9	100.5
	2	Khanpur	31	Gev	89.4	131.3	182.0	216.8	267.3	321.3	349.8
	3	Rohri	31	Gev	74.5	108.9	150.4	178.9	220.2	264.3	287.5
	4	Sukkur	23	Gev	64.1	97.4	139.4	169.1	213.4	262.0	288.3
	5	Jacobabad	31	Gev	78.4	126.3	192.2	242.1	320.5	412.0	463.4
	6	Larkana	31	LogP3	91.5	143.3	200.7	236.5	283.5	328.4	350.1
	7	Mjo_Daro	30	Gev	69.7	105.0	149.2	180.2	226.0	276.1	302.9
	8	Padidan	31	Gev	97	160	249	318	426.6	555.5	628.6
	9	Nawabshah	31	SqrtEt	90.5	129.6	172.5	199.5	235.6	271.0	288.5
	10	Chhor	31	Gev	146.6	193.5	243.6	274.9	316.8	358.0	378.6
	11	Badin	31	SqrtEt	136.9	187.1	241.5	275.5	320.7	364.7	386.5
	12	Hyderabad	16	SqrtEt	136.8	190.4	248.7	285.3	334.0	381.6	405.2
D.G. Khan Hill	13	Barkhan	31	SqrtEt	82.2	104.1	127.3	141.5	160.3	178.4	187.3
Kacchi Basin Hill	14	Sibbi	31	Gev	69.9	87.9	105.2	115.2	127.8	139.3	144.8
Khithar Hill	15	Khuzdar	31	Gev	63.9	87.8	118.6	140.8	174.2	211.5	231.7
Kharan Closed Desert Hill	16	Kalat	31	SqrtEt	68.7	95.9	125.6	144.2	169.0	193.3	205.3
Karachi Area Hill	17	Karachi	31	Gev	117.4	145.5	170.7	184.3	200.7	214.9	221.4
	18	Lasbela	16	Gev	56.9	84.5	121.6	149.3	192.3	241.7	269.2

出典：アドバイザーチーム

表 3.5.2(3) 検討地域の各雨量観測所の確率規模別雨量 (3日雨量)

流域	No	観測所名	解析結果		確率雨量(mm)						
			解析年数	確率分布	5年	10年	20年	30年	50年	80年	100年
Sutlej	1	Bahawalpur	31	Gev	72.5	87.5	101.3	109.1	118.5	127.0	130.9
Indus River	2	Khanpur	31	Gev	92.9	138.2	194.2	233.5	291.2	354.1	387.6
	3	Rohri	31	Gev	80.0	116.6	160.5	190.4	233.4	279.1	303.1
	4	Sukkur	23	LN2LM	79.9	136.1	211.2	265.6	346.5	434.8	481.9
	5	Jacobabad	31	Gev	86.1	137.2	206.1	257.5	337.4	429.4	480.5
	6	Larkana	31	Gev	93.5	141.1	199.1	239.1	297.2	359.7	392.8
	7	Mjo_Daro	30	Gev	77.9	121.8	179.5	221.7	286.0	358.9	398.9
	8	Padidan	31	Gev	102	171	268	344	464.7	609.0	691.2
	9	Nawabshah	31	SqrtEt	99.2	142.4	189.8	219.7	259.8	299.0	318.4
	10	Chhor	31	Gev	162.0	214.4	269.9	304.4	350.3	395.3	417.7
	11	Badin	31	SqrtEt	151.6	207.7	268.4	306.3	356.9	406.1	430.4
	12	Hyderabad	16	LN3Q	137.7	174.8	210.3	230.7	256.4	280.0	291.2
D.G. Khan Hill	13	Barkhan	31	Gev	87.2	106.5	125.6	136.7	150.9	164.1	170.4
Kacchi Basin Hill	14	Sibbi	31	Gev	74.7	95.5	116.4	128.9	145.0	160.3	167.6
Khithar Hill	15	Khuzdar	31	LN3Q	77.8	106.7	139.6	160.9	190.2	219.5	234.4
Kharan Closed Desert Hill	16	Kalat	31	SqrtEt	76.7	107.3	140.6	161.6	189.5	216.9	230.4
Karachi Area Hill	17	Karachi	31	Gev	124.8	157.1	187.0	203.7	224.1	242.3	250.8
	18	Lasbela	16	Gev	61.3	92.7	136.3	169.4	221.9	283.5	318.2

出典：アドバイザーチーム

表 3.5.2(4) 検討地域の各雨量観測所の確率規模別雨量 (5日雨量)

流域	No	観測所名	解析結果		確率雨量(mm)						
			解析年数	確率分布	5年	10年	20年	30年	50年	80年	100年
Sutlej	1	Bahawalpur	31	Gev	77.1	93.8	109.6	118.5	129.5	139.5	144.2
Indus River	2	Khanpur	31	Gev	104.5	155.7	219.0	263.1	328.0	398.4	435.9
	3	Rohri	31	Gev	87.9	129.6	180.2	215.1	265.7	319.9	348.6
	4	Sukkur	23	LN2LM	84.4	145.9	229.1	289.7	380.7	480.7	534.2
	5	Jacobabad	31	Gev	88.4	143.0	218.1	275.1	365.0	469.9	528.9
	6	Larkana	31	Gev	100.6	160.2	239.0	296.9	385.6	486.4	541.9
	7	Mjo_Daro	30	Gev	84.6	139.1	216.0	275.2	369.9	482.1	545.8
	8	Padidan	31	Gev	111	189	302	391	534.9	709.4	809.8
	9	Nawabshah	31	LN3Q	111.8	166.7	229.9	271.2	328.2	385.8	415.1
	10	Chhor	31	Gev	174.1	232.0	294.0	332.8	384.8	436.0	461.6
	11	Badin	31	Gev	165.1	215.5	266.9	297.8	337.9	376.2	394.8
	12	Hyderabad	16	LN3Q	152.9	194.0	233.3	255.8	283.9	309.7	322.0
D.G. Khan Hill	13	Barkhan	31	Gev	99.4	119.1	138.0	148.8	162.5	174.9	180.8
Kacchi Basin Hill	14	Sibbi	31	Gumbel	80.2	100.3	119.5	130.6	144.5	157.2	163.2
Khithar Hill	15	Khuzdar	31	Gev	87.2	120.9	161.8	190.0	231.0	275.1	298.5
Kharan Closed Desert Hill	16	Kalat	31	Gev	81.2	108.0	136.3	153.7	176.9	199.4	210.6
Karachi Area Hill	17	Karachi	31	Gev	136.3	169.2	198.4	214.2	233.1	249.5	256.9
	18	Lasbela	16	LogP3	82.6	128.3	188.8	232.9	299.6	373.8	413.9

出典：アドバイザーチーム

表 3.5.2(5) 検討地域の各雨量観測所の確率規模別雨量（7日雨量）

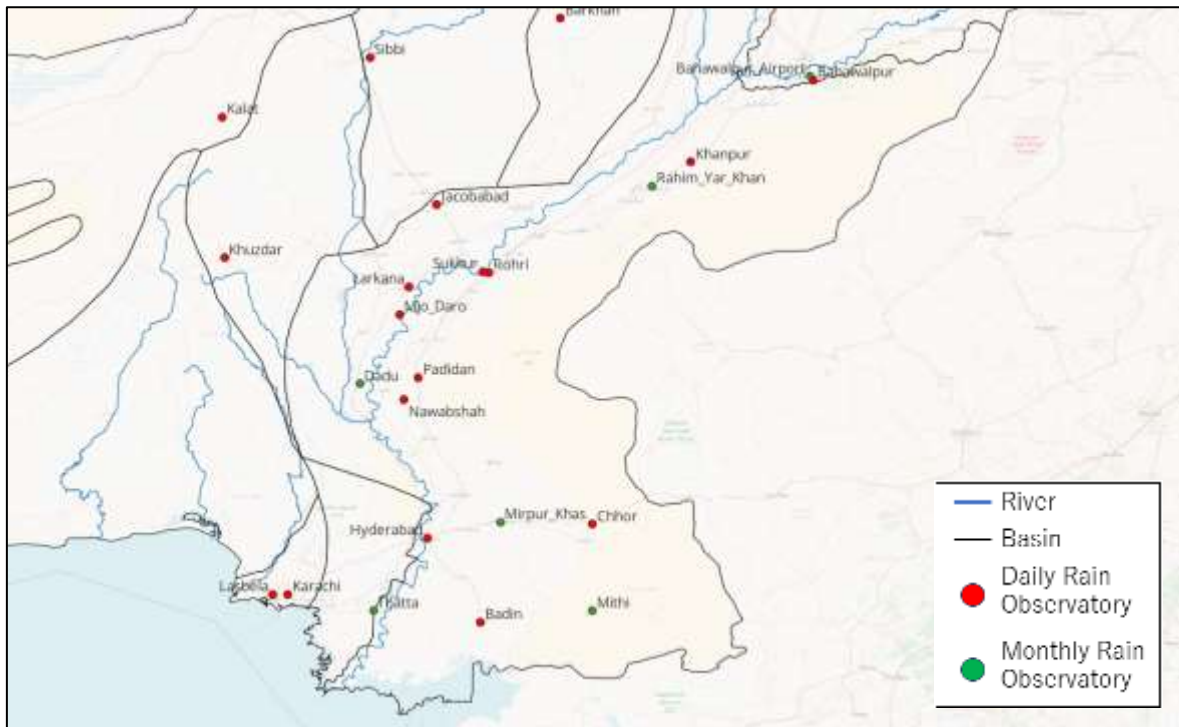
流域	No	観測所名	解析結果		確率雨量(mm)						
			解析年数	確率分布	5年	10年	20年	30年	50年	80年	100年
Sutlej	1	Bahawalpur	31	Gumbel	82.9	101.9	120.1	130.6	143.7	155.7	161.4
Indus River	2	Khanpur	31	LogP3	114.7	176.8	249.0	296.2	360.8	425.5	457.9
	3	Rohri	31	Gev	90.1	134.9	190.8	229.9	287.7	350.8	384.6
	4	Sukkur	23	Gev	80.4	126.8	187.8	232.5	300.8	378.1	420.6
	5	Jacobabad	31	Gev	98.3	159.1	242.5	305.6	404.6	520.0	584.7
	6	Larkana	31	LogP3	114.4	193.3	291.2	357.5	450.5	545.6	594.0
	7	Mjo_Daro	30	Gev	88.2	146.3	229.1	293.3	396.6	519.8	590.0
	8	Padidan	31	Gev	116	198	317	411	565.7	753.1	861.1
	9	Nawabshah	31	Gev	129.3	195.2	276.2	332.5	414.9	504.1	551.6
	10	Chhor	31	Gev	186.6	247.8	313.2	354.0	408.7	462.4	489.2
	11	Badin	31	Gev	175.5	228.8	282.7	315.1	356.8	396.5	415.7
	12	Hyderabad	16	LN3Q	158.3	201.2	242.1	265.6	294.9	321.9	334.7
D.G. Khan Hill	13	Barkhan	31	Gumbel	106.3	126.7	146.3	157.5	171.6	184.5	190.6
Kacchi Basin Hill	14	Sibbi	31	Gev	85.9	109.0	131.9	145.4	162.7	178.9	186.7
Khithar Hill	15	Khuzdar	31	Gev	95.2	133.8	181.6	215.2	264.5	318.3	347.0
Kharan Closed Desert Hill	16	Kalat	31	Gev	92.6	129.8	172.6	200.9	240.5	281.4	302.5
Karachi Area Hill	17	Karachi	31	Gev	143.1	177.9	208.8	225.5	245.5	262.8	270.7
	18	Lasbela	16	Gev	78.7	119.3	175.6	218.4	286.0	365.2	409.8

出典：アドバイザーチーム

表 3.5.2(6) 検討地域の各雨量観測所の確率規模別雨量（1月雨量）

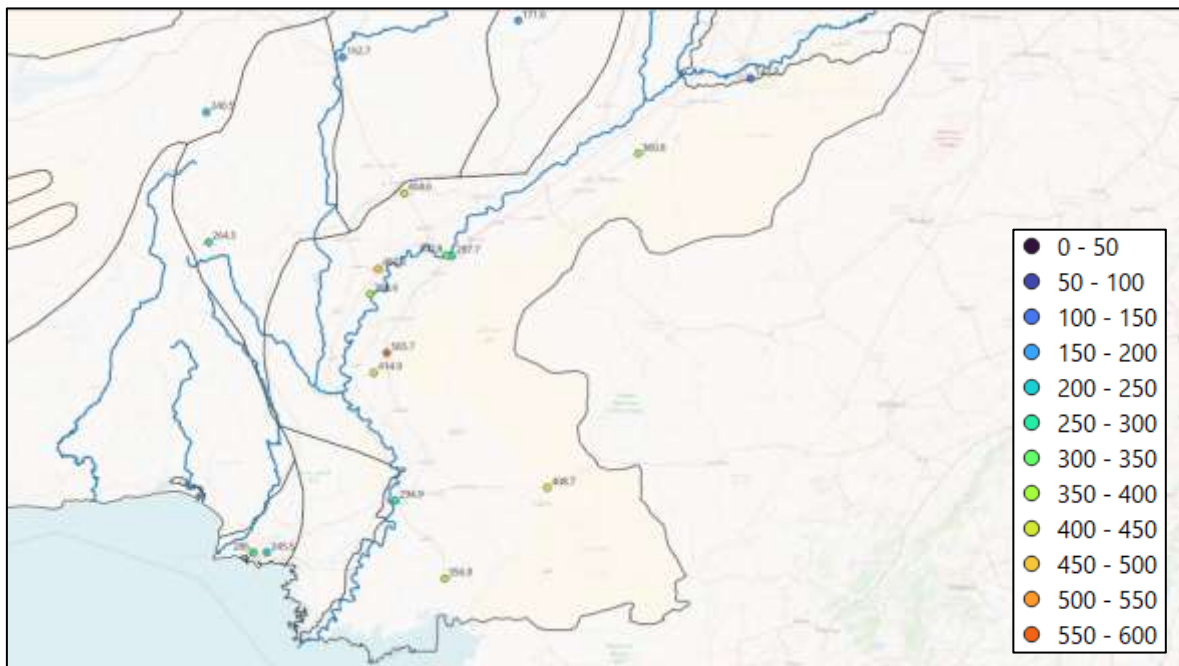
流域	No	観測所名	解析結果		確率雨量(mm)							
			解析年数	確率分布	5年	10年	20年	30年	50年	80年	100年	
Sutlej	1	Bahawalpur	31	Gev	106.6	133.8	161.3	177.8	199.1	219.4	229.2	
	2	Bahawalpur_Airport	13	Gumbel	140.4	173.4	205.0	223.2	245.9	266.7	276.6	
Indus River	3	Dg_Khan	19	Gev	127.1	156.9	185.5	201.8	222.3	241.0	249.9	
	4	Khanpur	31	LogP3	129.3	195.6	272.3	322.3	390.9	459.6	494.2	
	5	Rahim_Yar_Khan	13	LN2LM	146.2	214.2	293.6	346.0	418.7	492.8	530.5	
	6	Rohri	31	Gev	99.1	151.1	219.1	268.7	344.2	429.3	476.0	
	7	Sukkur	23	Gev	98.0	150.0	216.5	264.1	335.7	415.2	458.4	
	8	Jacobabad	31	LogP3	134.7	236.8	371.9	468.0	608.8	759.3	838.2	
	9	Larkana	31	Gev	123.5	201.5	309.7	392.2	522.6	675.7	761.9	
	10	Mjo_Daro	31	Gev	98.0	162.2	256.4	331.3	454.2	604.1	690.7	
	11	Dadu	19	Gev	134.3	187.4	248.0	287.9	343.5	400.7	430.1	
	12	Padidan	31	LogP3	154.6	276.7	437.1	550.0	713.4	885.7	975.1	
	13	Nawabshah	31	Gev	154.9	231.8	324.4	387.8	479.4	577.3	628.9	
	14	Chhor	31	Gev	238.5	320.7	408.9	464.3	538.7	612.2	648.9	
	15	Mithi	19	SqrtEt	239.1	332.7	434.5	498.4	583.6	666.7	707.8	
	16	Mirpur_Khas	19	Gev	181.3	279.5	406.3	497.8	635.9	790.3	874.4	
	17	Badin	31	Gumbel	214.7	276.3	335.3	369.3	411.8	450.6	469.0	
	18	Hyderabad	16	Gumbel	192.0	247.2	300.2	330.6	368.7	403.6	420.1	
	D.G. Khan Hill	19	Barkhan	31	Gumbel	171.2	202.2	232.0	249.1	270.5	290.1	299.3
	Kacchi Basin Hill	20	Sibbi	31	LN3Q	118.5	148.5	177.1	193.4	213.9	232.6	241.5
Khithar Hill	21	Khuzdar	31	Gev	127.0	175.8	234.7	275.1	333.5	396.0	428.9	
Kharan Closed Desert Hill	22	Kalat	31	Gev	114.0	153.3	198.3	227.8	269.1	311.6	333.5	
Sehwan & Petaro Area Hill	23	Thatta	19	Gev	208.4	251.3	287.9	307.2	329.5	348.5	357.0	
Karachi Area Hill	24	Karachi	31	Gumbel	199.3	260.9	320.0	354.0	396.5	435.4	453.8	
	25	Lasbela	16	LogP3	104.8	167.4	258.5	330.0	445.4	583.4	662.1	

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 3.5.3 検討地域の雨量観測所の位置図



出典：アドバイザーチーム

図 3.5.4 50年確率洪水における各雨量観測地点の7日雨量

3.6 堤防強化の提案

3.6.1 堤防強化スキームの候補

(1) 対策箇所候補地

表 3.2.3 での整理から、堤防本体の補修や補強の緊急性が高いのは、Old Abad Bund と Akil Link Bund と考える。

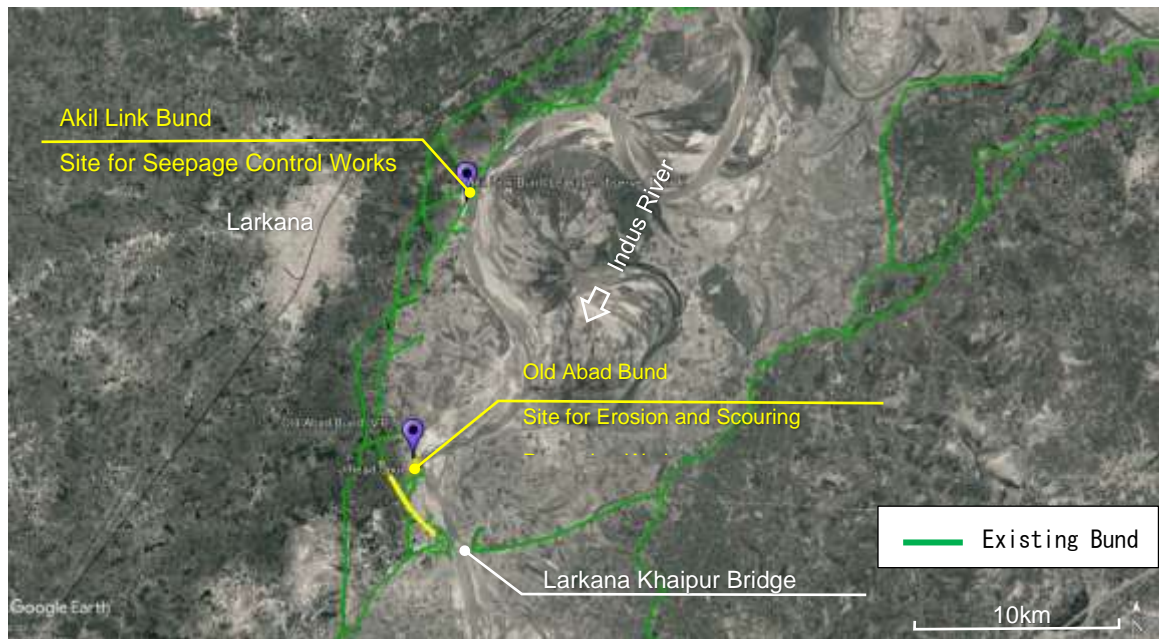
Old Abad Bund に関して、表 3.2.2 と現地踏査結果によると、既存の Indus 川堤防の補修・改修が必要なのは、地点 56 : Moria Loop Bund Mile 0/0 to 1/0、地点 59 : Old Abad Bund であると考えられる。これら 2 箇所のうち、既設堤防が最も大きな損傷を受けているのは地点 59 : Old Abad Bund である。なお、堤防損傷の主たる要因は侵食であり、当該箇所では侵食対策を考慮した堤防補修が必要となる。

一方、Akil Link Bund に関して、Sindh PID のエンジニアとともに実施した合同現地踏査時において漏水の発生を確認した。現地踏査時は Medium Flood と判断される状況で、堤防前面の高水敷がおおむね浸水している程度の状況であった。Indus 川で発生する洪水は、水位の高い状態が長く継続することとなるため、築堤区間における浸透流への対策は課題の一つと言える。日本には浸透流対策に関する多くの経験と知識が蓄積されており、技術移転の観点からも浸透流対策を実施することは好ましいといえる。

上述した 2 か所を図 3.6.1 に示す。2 か所ともに人口集中地である Larkana の近傍であり、既存堤防が破堤した場合には、Larkana の市街地に影響を与えるリスクがある。

以上の状況を考慮し、下記 2 か所を対象候補地として選定する。

- 【浸透対策】 Akil Link Bund
- 【侵食対策】 Old Abad Bund



出典：Google Earth

図 3.6.1 対策箇所位置図

(2) 浸透対策工の検討（主に Aki Link Bund）

1) 被災要因の推察と必要な対処

現地踏査では、Akil Link Bund の堤内側法尻付近において漏水を確認した。当該箇所の現地状況から堤防を挟んで川表側の地盤高と比較して、川裏側の地盤高の方がやや低くなっていると推察できるため、漏水は主として基礎地盤が砂地盤であることに起因していると考えられる。そのため、以下の点を考慮した対策を推奨する。

- ✓ 洪水期間中の堤体内の水位を下げる
- ✓ 洪水期間中の堤体内の動水勾配を下げる
- ✓ 基礎地盤の浸透流を抑制する

2) 対策工の範囲

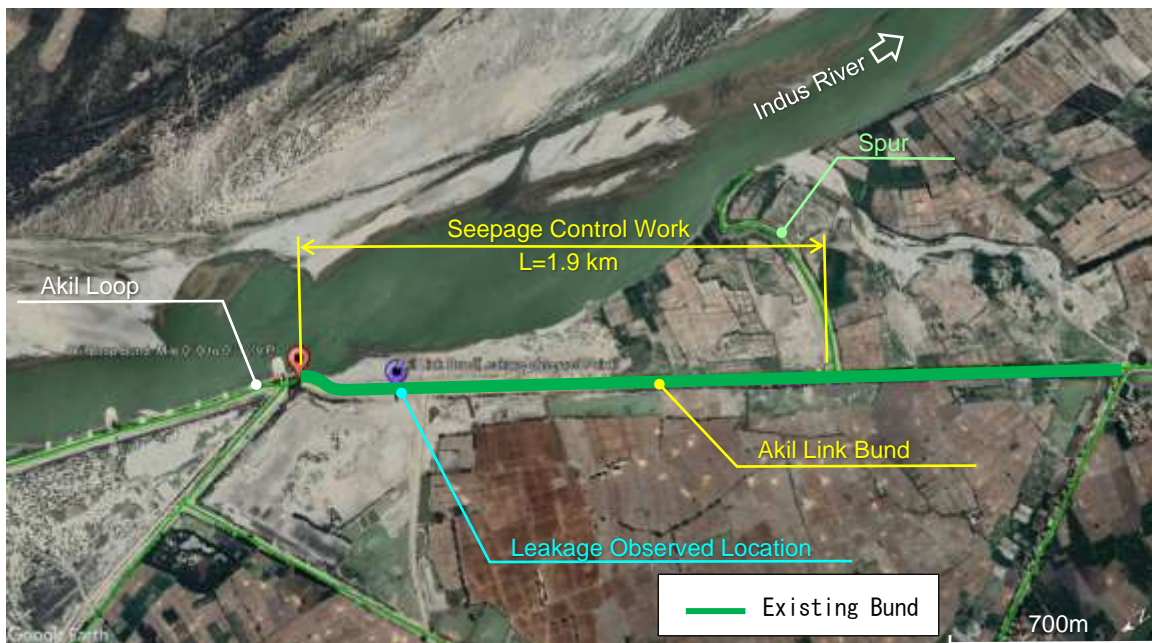
対策の上流端は Akil Loop Bund との交点とし、下流端は既設の水制の根元付近の Stone Pitching へ接続する箇所までとする（図 3.6.2 参照）。対策工の延長は約 1.9km となる。図 3.6.10 に浸透対策を実施する範囲を示す。

最終的な対策範囲は、今後の F/S 段階以降において、現地状況を詳細に確認し、浸透に対する安定性を確認の上で設定する必要がある。



出典: Google Earth

図 3.6.2 浸透対策工下流端付近の河岸侵食状況



出典: Google Earth

図 3.6.3 浸透対策工範囲

3) 対策工の抽出

表 3.6.1 に浸透対策を目的とした主要な堤防強化工法の一覧を示す。堤体を強化する工法と基礎地盤の対策工に大別することができる。これらの工法は日本ではこれまで用いられてきたもので多くの実績がある。

上述した目的を考慮し、表 3.6.1 より以下に示す対策工法が当該箇所への適用性が高いと考えることができる。

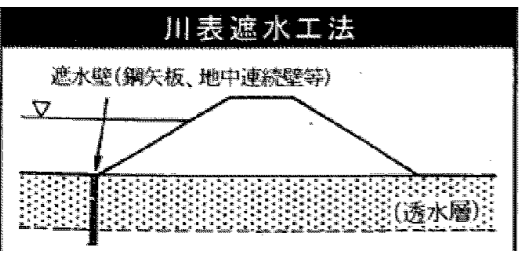
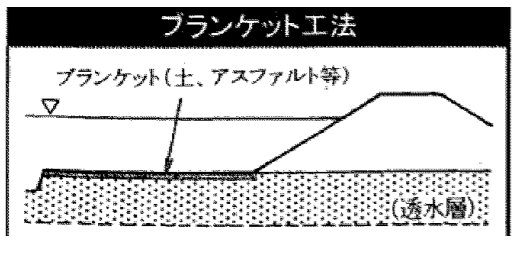
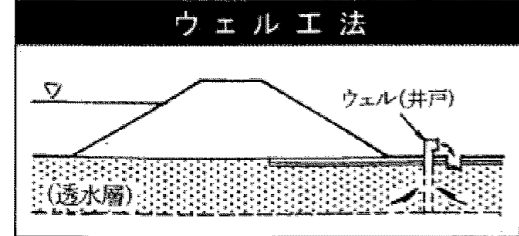
1. 断面拡大法
2. ドレイン工法
3. 遮水壁工法

表 3.6.1 主要な浸透対策工法(堤防強化工法)

	代表的な工法	強化の原理・効果	計画・設計上の留意点	施工上の留意点	維持管理上の留意点	その他	パイピング	斜面安定	適用性
堤体を対象とした強化工法	<p>断面拡大工法</p>	<ul style="list-style-type: none"> 堤防断面を拡大することにより浸透路長の延長を図り、平均動水勾配を減じて堤体の安全性を増加させる。 のり勾配を緩くすることによりすべり破壊に対する安全性を増加させる。 川裏のり尻近傍の基礎地盤のパイピングを防止する押え盛土としての機能も兼ねる。 	<ul style="list-style-type: none"> 川表側および川裏に用地を必要とする。この場合、川表については河積の確保、川裏については用地の確保に留意する。 川表側の拡大では既設堤体よりも難透築堤材料は、水性の材料、川裏側の拡大では既設堤体より高透水性の材料を使用する。 基礎地盤が軟弱地盤の場合には、既設堤防への影響(天端のクラック等)について検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 築堤材料の容易に入手できることが望ましい。 既設堤体とのなじみをよくするため段切等を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 軟弱地盤では堤体が沈下することが考えられるため、天端の沈下量を継続的に計測し、天端高の確保、クラック等の発生等を管理する。 	<ul style="list-style-type: none"> 他の強化工法と併用しやすい。 有効上載圧が増加するためある程度の液状化防止効果が期待でき、また緩傾斜化により地震時の安定性は向上する。 	○	◎	高 堤体内の動水勾配を下げるのに効果的である。
	<p>ドレーン工法</p>	<ul style="list-style-type: none"> 堤体の川裏のり尻を透水性の大きい材料で置き換え、堤体に浸透した水を速やかに排水する。 堤体内浸潤面の上昇を抑制し、堤体のせん断抵抗力の低下抑制する。 のり尻部をせん断強度の大きいドレーン材料で置き換えるため安定性が増加する。 	<ul style="list-style-type: none"> 堤体の透水係数が 10⁻³~10⁻⁴ cm/sec のオーダーの場合に特に有効である。 堤脚水路が必要である(用地を確保する必要がある)。 ドレーン工の厚さは 0.5m 以上とし、幅(奥行)は平均動水勾配が 0.3 以上とならないよう設定する。 ドレーン材料には礫または粒調碎石を用い、フィルター材料(通常は人工材料)で被覆する。 	<ul style="list-style-type: none"> 堤体との間およびフィルター材料の継目に隙間が生じないように留意する。 重機等によりフィルター材料(人工材料)を損傷しないよう留意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 効果の長期的な安定性を確認するため堤体およびドレーン工内に水位観測孔を設置することが望ましい 出水時や多量の降雨時には排水の状況を観察し、出水後は土砂の流出等の有無を点検する。 	<ul style="list-style-type: none"> 緑化のために覆土する場合には、ドレーン内への土砂の流入防止に注意する。 間隙水圧を消散するため液状化の防止にもある程度有効である。 	◎	◎	高 堤体内の排水を促進するのに最も優れている。
	<p>表のり面被覆工法</p>	<ul style="list-style-type: none"> 表のり面を難透水性材料(土質材料あるいは人工材料)で被覆することにより高水位時の河川水の表のりからの浸透を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 透水性の大きい礫質土や砂質土の堤体で効果が期待される。 被覆材料(土質材料または遮水シート等の人工材)のすべりに対する安定性の検討が必要である。 遮水シートを用いる場合には、覆土やコンクリートブロック等によりシートの残留水圧による浮き上がりや劣化を防止する。 難透水性地盤の場合は排水対策を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> 土による被覆の場合には、既設堤体とのなじみをよくするため段切を行う。 遮水シートの継目、および端部の施工に留意する。 覆土は十分に締め固める。 	<ul style="list-style-type: none"> 土を用いる場合は、乾燥によるクラックの発生に留意する。 遮水シートを用いる場合には、杭打ちや草木等の根の発育による損傷に留意する。 表のり尻付近に浸透水が滞留しやすい点に留意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 遮水シートを用いた場合は地震後に変形や損傷の有無を確認する必要がある。 	○	○	中 川表側法面からの河川水の浸透を抑えるのに適している
	<p>全面被覆工法</p>	<ul style="list-style-type: none"> 堤体全体を難透水性材料(土質材料あるいは人工材料)で被覆することにより、降雨および高水位時の河川水の堤体への浸透を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆材料(土質材料または遮水シート等の人工材料)のすべりに対する安定性を検討する。 遮水シートを用いる場合には、覆土やコンクリートブロック等によりシートの残留水圧による浮き上がりや劣化を防止する。 排水不良による堤体の湿潤化を防止するための排水対策や空気圧の増大を防止するための排気対策を考慮する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 質材料を用いる場合には、既設堤体とのなじみをよくするため段切を行う。 遮水シートの継目、および端部の施工に留意する。 覆土は十分に締め固める。 	<ul style="list-style-type: none"> 土質材料を用いる場合は、乾燥によるクラックの発生に留意する。 遮水シートを用いる場合には、杭打ちや草木等の根の発育による損傷に留意する。 表のり尻付近に浸透水が滞留しやすいので、のり尻付近のはらみ出し留意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 天端や小段を被覆するだけでも降雨浸透を抑制する効果が期待できる。 遮水シートを用いた場合は地震後に変形や損傷の有無を確認する必要がある。 	○	○	中 堤体内の排気が必要となる。

凡例:◎、より効果的; ○、効果的; △、あまり効果的ではない
出典: 河川堤防構造検討の手引き, 2012.2 に追記

表 3.6.1 主要な浸透対策工法(堤防強化工法)

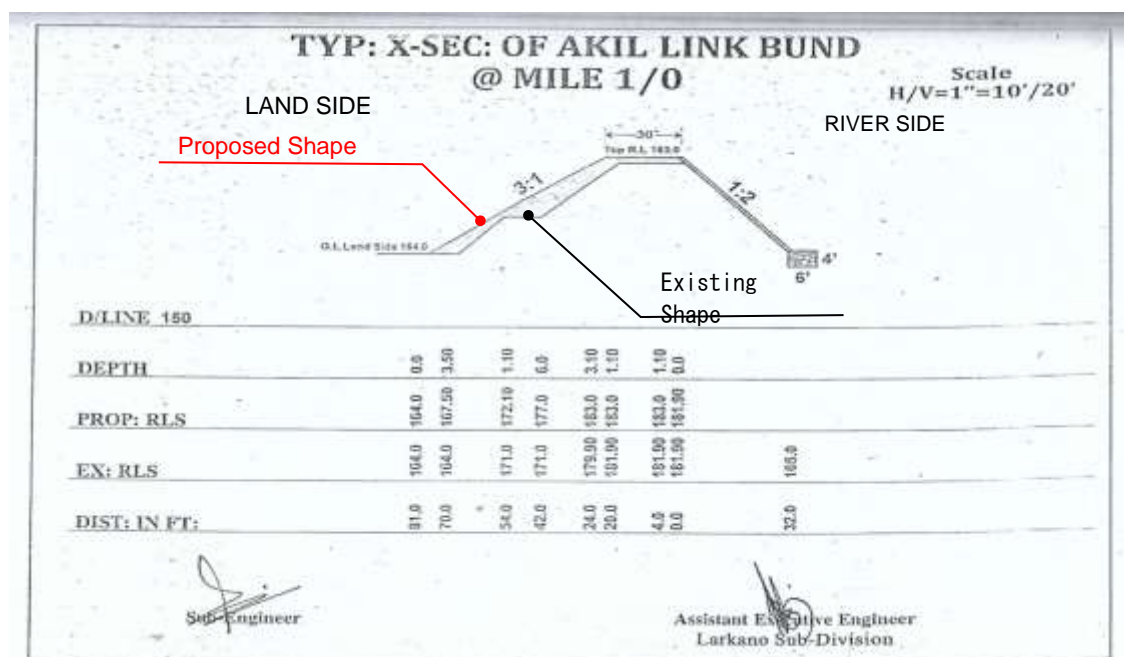
	代表的な工法	強化の原理・効果	計画・設計上の留意点	施工上の留意点	維持管理上の留意点	その他	パイピング	斜面安定	適用性
急地盤を対象とした強化工法	<p>川表遮水工法</p>  <p>遮水壁(鋼矢板、地中連続壁等)</p> <p>(透水層)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 川表のり尻に止水矢板等により遮水壁を設置することにより、基礎地盤への浸透水量を低減する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水壁の材料としては、鋼矢板、軽量鋼矢板、薄型鋼板や連続地中壁が用いられる。 浸透水量を半減させるためには、止水壁を透水層厚の 80~90%まで貫入させる必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水壁の打設法は周辺の環境に配慮して選定する。 止水壁の接合部の施工に留意する。 既設堤体と止水壁頭部の接合部の処理に留意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 土中に止水壁を設置するので、基本的には維持管理を必要としない 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水流を遮断するので、周辺への影響を検討する必要がある。 側方を拘束するため、川表側の液状化による変形に対してはある程度の効果が期待できる。 	○	△	<p>高</p> <ul style="list-style-type: none"> 河川水が基礎地盤を浸透するのを防ぐのに適している
	<p>ブランケット工法</p>  <p>ブランケット(土、アスファルト等)</p> <p>(透水層)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高水敷を難透水性材料(主として土質材料)で被覆することにより、浸透路長を延伸させ、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。 	<ul style="list-style-type: none"> 高水敷が礫質土や砂質土の場合に効果が期待される。 ブランケット長は30m以上である程度の効果が期待できる。 土質材料(良質土)を用いる場合は洗掘防止のため厚さは 50cm 以上とし、張芝で被覆する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 土質材料を用いる場合には、止水性を高めるために十分な締め固めを行う。 既設堤体とブランケットの接合部の処理に留意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 土質材料を用いる場合は、乾燥によるクラックの発生に留意する。 表のり尻付近に浸透水が滞留しやすい点に留意する。 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震性の向上にはつながらない。ただし、高水敷が新設される場合には川表側の上載圧が増加し、液状化に対するある程度の効果が期待できる。 	○	△	<p>低</p> <ul style="list-style-type: none"> 土質材料を用いる場合、乾燥によるクラックが発生する可能性が高い
	<p>ウェル工法</p>  <p>ウェル(井戸)</p> <p>(透水層)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤からの浸透水を裏のり尻に設置した減圧井戸等で排水することにより、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。 	<ul style="list-style-type: none"> 井戸および堤脚水路を設置する必要がある。そのための用地が必要である。 短期的、応急的な対応として、天井川や扇状地河川で適用を考えるとよい。 	<ul style="list-style-type: none"> 井戸等は目詰まりを生じない構造とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 土砂の流出やフィルター材料の目詰まりに留意する。 ポンプの稼動を制御する施設が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。 	○	△	<p>低</p> <ul style="list-style-type: none"> 応急的対策の場合のみに用いられる

凡例:◎. より効果的; ○. 効果的; △.あまり効果的ではない
 出典: 河川堤防構造検討の手引き, 2012.2 に追記

4) 対策工の決定

(a) 基本諸元

2023/8 現在、検討対象となる Akil Link Bund の測量断面図は得られていない。一方、Typical Section に関する資料が Sindh PID から提供されているため、これを参考に現況の地盤高や計画の堤防高を設定する（図 3.6.4 参照）。



出典：Sindh PID 提供資料に追記

図 3.6.4 Akil Link Bund 標準断面図

表 3.6.2 基本諸元

項目	諸元	設定根拠
現況堤防の天端高	RD.181.9ft (55.44m)	Akil Link Bund の標準断面図（図 3.6.4）を参考に設定
計画堤防の天端高	RD.183.0ft (55.79m)	同上
天端幅	30 ft (9.15m)	同上
法面勾配	川表：2.0:1 川裏：3.0:1	同上

出典：Sindh PID の情報を基にアドバイザーチーム作成

当該箇所では、これまでに法面の安定が問題とはなっていないことから、本検討では現在の計画断面以上の断面拡大は行わないこととする。

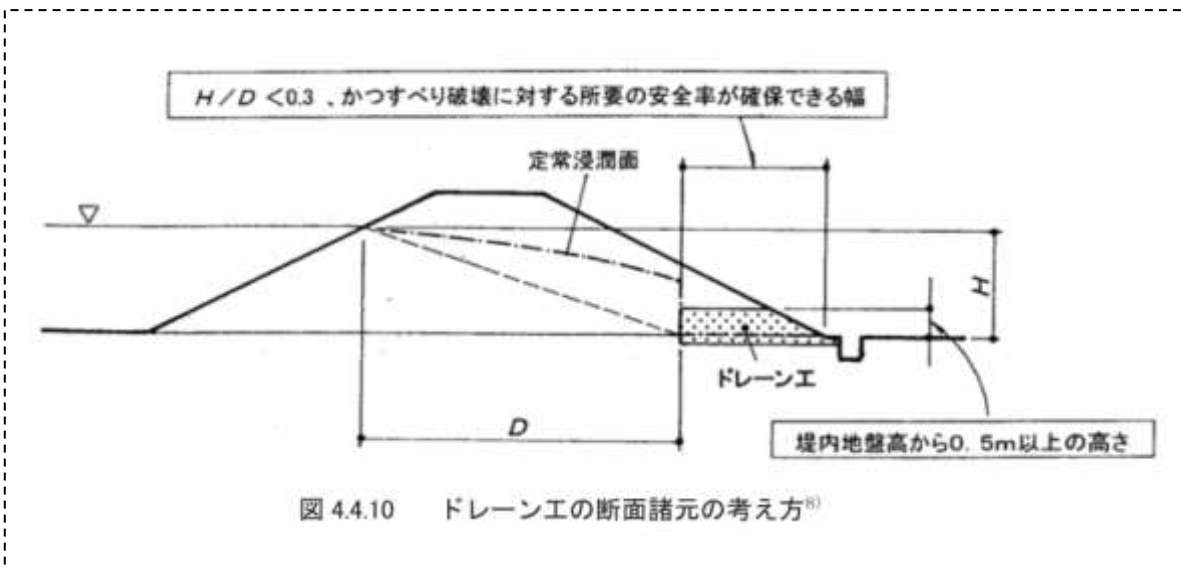
(b) ドレーン工

裏法の先端部にドレーン工を設けることで、洪水時に堤防本体の水位を効率的に下げることができる。日本ではドレーン工にはふとんかごがよく使われる。ここでは、単粒度碎石とふとんかごを使用してドレーン工を構成する。なお、ふとんかごはパキスタンでもよくつかわれる素材であり、入手も容易である。

ドレーン工の推奨サイズは、高さ 0.5m 以上、堤防の幅 1/10 及び平均動水勾配が 0.3 を超えない範囲である。図 3.6.5 にドレーン工諸元決定の考え方を示す。ここでは、ドレーン工の規模は日本での実績を考慮して $B \times H = 0.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ に設定する。

なお、ドレーン工及び法面からの表面水の排水のため、川裏法尻には U 字溝（堤脚水路）を設置する。

最終的なドレーン工断面形状は、設計水位や設計降雨量等の外力条件を考慮した浸透流解析結果を考慮し、F/S 以降の段階で決定するものとする。



出典：河川堤防構造検討の手引き, 2012.2

図 3.6.5 ドレーン工断面諸元の考え方

(c) 遮水工

遮水工は堤防の川表側法尻付近の基礎地盤に遮水壁を設置し、河川から基礎地盤に浸透する水量と水圧を軽減し、パイピング破壊の防止を図る工法である。基礎地盤の透水性が高い場合に適用するが、透水層が厚く堆積している場合、遮水工の根入れ長が長くなり、経済性や施工性の面で課題となる場合がある。

パキスタンにおいても、堤体に矢板等の遮水壁を設置する対策が執られることがある。しかし、堤体内に土質材料以外の異物を設置することは、異なる材料間の境界付近で水みちが発生してしまう懸念があること、堤防が損傷した場合の補修が土質材料のみの場合と比較して容易ではなくなることを考慮し、図 3.6.6 に示すように日本の基準に倣い川表法尻付近に遮水工を設置することを提案する。

表 3.6.3 に遮水工の種類と特徴を整理する。表 3.6.3 に示す各工法より、材料の市場性、施工性、既往の実績と現状では透水層の厚さが不明であることを考慮し、最も一般的に使用されている鋼矢板工法を選定する。

最終的な遮水壁の鉛直長さは、対象箇所地質調査を実施した上で、設計水位や設計降雨量

等の外力条件を考慮した浸透流解析結果を考慮し、F/S 以降の段階で決定するものとする。

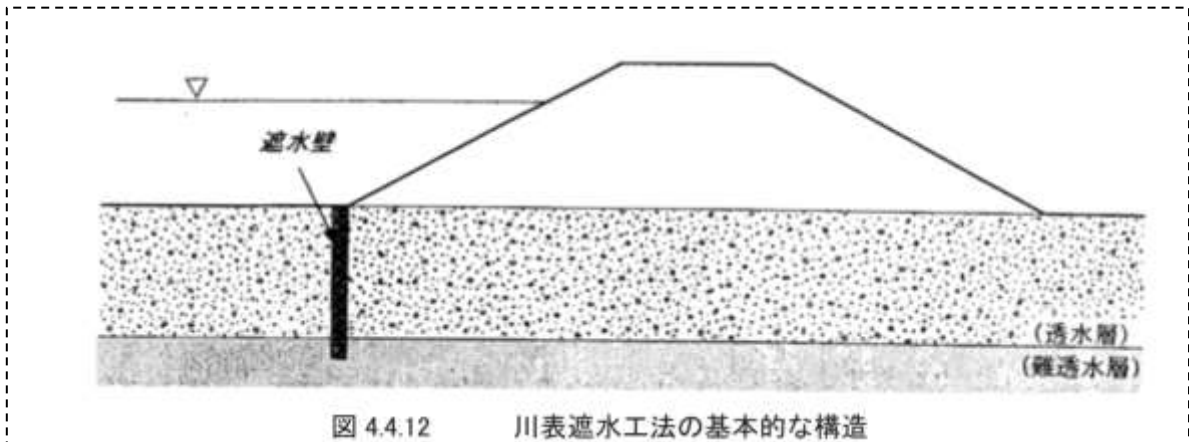


図 4.4.12 川表遮水工法の基本的な構造

出典：河川堤防構造検討の手引き, 2012.2

図 3.6.6 川表遮水工法の基本的な構造

表 3.6.3 川表遮水工の種類と特徴を整理

分類	工法	特徴
矢板工	鋼矢板工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工性に優れ、多用されている。 ・ 継ぎ目からの漏水があり、特に礫質土を対象とした場合は継ぎ目が開口し、効果が半減することがある。
	コンクリート矢板工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ RC 矢板や PC 矢板がある。長さは 5m 以内に限り使用実績は少ない
	薄型鋼矢板止水壁工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 幅広の薄型鋼板をパイプロハンマとウォータージェットを併用して打設し、継ぎ目にグラウト材を充填して止水性を確保する。 ・ 鋼矢板に比較して経済性と止水性に優れているが、薄型のため無理な貫入ができず、地盤によって施工性が問題になる。
連続地中壁工	スラリートレンチ工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤にトレンチを掘削し、掘削土にベントナイトとセメントを加えた混合液で埋め戻して遮水壁をつくる ・ スラリートレンチ内に止水材として軟質塩化ビニルシートを挿入し、止水性を高める工法も開発されている。 ・ 海外ではふいりだむや河川堤防の遮水壁としての実績はある。国内での実績はほとんどないが、経済的で施工性の良く、多様な地盤に適用できることに利点がある。
	コンクリート壁工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ トレンチを利用してコンクリート壁を構築するものであるが、経済性や施工性から河川ではほとんど実績はない。
グラウト工	セメント系グラウト工法 薬液注入工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎地盤にセメントミルクや止水性の薬液を圧入するもので、施工は用意であるが、止水効果や耐久性について不明な点がある。

出典：河川堤防構造検討の手引き, 2012.2

(d) その他の対策工

(i) 川表側法面保護（護岸工）

既存堤防の川表側法面保護工としては、Stone Pitching（石張り）が一般的に用いられている。現地踏査時に既存の堤防を確認したところ、複数の箇所下記のような問題が生じていること

が確認された。写真 3.6.1～写真 3.6.4 に現地踏査時の状況を示す。

- ・ Stone Pitching に用いられている石のサイズや質に場所によってばらつきがあり、流水により容易に流されるような小さな粒径のものも含まれている。
- ・ Stone Pitching 背後の法面が吸出を受けて空洞が発生している箇所があり、Stone Pitching と法面とのフィルター材がうまく機能していない、もしくは設置されていないと推察できる。
- ・ Stone Pitching が法肩までで止まっている箇所では、法肩付近の法崩れが生じている。



出典: アドバイザーチーム



出典: アドバイザーチーム

写真 3.6.1 Stone Pitching 上端付近の状況 (1)

写真 3.6.2 Stone Pitching 上端付近の状況 (2)



出典: アドバイザーチーム



出典: アドバイザーチーム

写真 3.6.3 Stone Pitching 上端付近の状況 (3)

写真 3.6.4 Stone Pitching 上端付近の状況 (4)

以上のような状況に加え、本検討で対象としている箇所は、これまで侵食による被害を度々受けている Akil Loop Bund の直下流側であり、Indus 川の低水路から 50~100m 程度の離隔しかない状況である。洪水時には乱流による影響を受ける可能性が高いことから、既設堤防法面に一般的に施工されている Stone Pitching に代わる法面保護工を検討する。

本検討においては下記事項を考慮し、法面をコンクリートフェーシングで被覆することを提案する。

- ・ 高温な気候のため、練張 (Wet Stone Masonry) の場合、石とコンクリートの熱膨張率の

違いから、ひび割れが生じる可能性が高く、ひび割れから堤体土の吸出しが生じる懸念がある。

- ・ パキスタンでは、厚さの薄いふとんかごは流通しておらず、日本で用いられているようなかごマット張りは一般的ではないため、鉄線かごが特注となりコスト高となる可能性がある
- ・ パキスタンでは、日本で用いられるコンクリートブロック張りは一般的ではない。

護岸工の工種は、対象箇所的设计流速や洪水時の流況を考慮し、他の適用可能な工種や材料を調査の上、F/S以降の段階で最終決定するものとする。

(ii) 川裏側法面保護（法覆工）

既存堤防の川裏側法面には特に保護工が設置されていない状況である。現地踏査時に既存の堤防を確認したところ、ほとんどの箇所で、雨水による法面の侵食が発生しているとともに、法肩に保護工がないことに起因して法崩れが発生している状況であった（写真 3.6.5、写真 3.6.6 参照）。

この状況に至った主要因は、川裏側法面を保護せずに放置しているためであるが、パキスタンでは乾燥した気候から、日本の堤防法面のような張芝による被覆が難しいのも実情である。

雨水による法面の侵食は、すぐに破堤に結びつくような重大な損傷ではないものの、法面が削られることにより、必要となる堤防断面に対し少しずつ堤防の断面が不足することになること、これを防ぐために定期的に法面補修工事を行わなければならないこと、等の課題がある。Indus 川の堤防の延長は 4,500km 以上もあり、全ての堤防の近傍に市街地が隣接しているわけではないため、堤防の巡視が頻繁に行われない箇所があると推察する。また、維持管理を担当する PID の人員や予算にも限りがある。



出典: アドバイザーチーム

写真 3.6.5 川裏側法面の状況 (1)



出典: アドバイザーチーム

写真 3.6.6 川裏側法面の状況 (2)

上述のような状況から、張芝等の植生による被覆に代わる、低廉な法面保護工の設置を推奨する。

本検討においては、雨水侵食を多少受けたとしても、計画上必要な堤防断面が確保されるよ

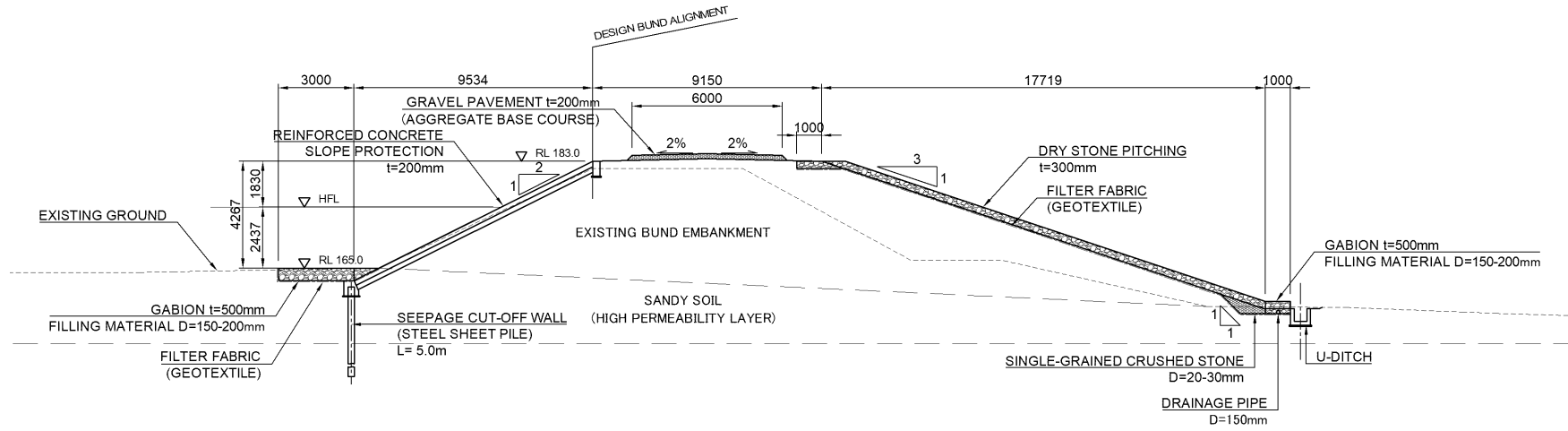
うに、計画断面の外に Stone Pitching を設置することを提案する。なお、法肩部の保護を目的に、Stone Pitching を法肩より堤防中心方向に 1m 延長する。さらに、浸透対策工の一部として、Stone Pitching と堤体の間には吸出防止材を設置する。F/S 段階以降の検討において浸透流解析を実施し、堤体内の浸潤線が裏法に達しない場合には、吸出防止材を外すことも可能である。

Stone Pitching は現地で広く使われている工法であり、材料の入手も比較的容易である。また、植生による被覆の場合、設置後に散水等を行う必要があるが、Stone Pitching の場合そのような手間が不要である。また、雨水侵食を考慮し、計画上必要な断面よりも裏法側を太くしておく方法も一案であるが、定期的な法面補修の手間が発生することになるため、裏法側を太くする方法は採用しないこととした。

なお、裏法面の保護工種は、他の適用可能な工種や材料を調査の上、F/S 以降の段階で最終決定するものとする。現時点では、Stone Pitching 及びジオテキスタイルを提案している。

5) 標準断面図

次ページに浸透対策対象箇所標準断面図を示す。



出典：アドバイザーチーム

図 3.6.7 浸透対策箇所標準断面図

6) 今後の段階で必要となる検討

(a) 地形測量及び土質調査

現況の堤防断面形状の把握のため、対象箇所地形測量を行う必要がある。地形測量では既設堤防の横断測量をとともに、堤防前面に流れる主水路についても現況河岸から 20~30m 程度の距離まで測量範囲に含めることを推奨する。これは現況河岸付近で深掘れ等が発生していないかを確認する目的である。

地質調査は堤体及び基礎地盤の土質定数を把握するために実施する。物理試験に不かく乱試料がサンプリング可能な土質の場合には、力学試験を行う。また、浸透に対する安定性を評価するため、堤体土及び基礎地盤の現場透水試験と、粒度試験を必ず行うことを推奨する。

(b) 最新版の Bund Manual の確認と反映

本調査の中では、最新版の Sindh 州の Bund Manual を入手することができていない。そのため、Sindh 州政府より、最新版の Bund Manual を入手し、堤防天端幅や法勾配等が基準に準拠しているか確認し、必要な場合計画断面を修正する必要がある。

(c) 浸透流解析の実施

河川水位と周辺観測所における雨量の情報を入手し、浸透流解析で与える外力波形を設定の後、地形測量や地質調査結果から得られる条件を踏まえ、浸透流解析を実施する。浸透流解析により堤体内の地下水位や地下水の動きを確認するとともに、すべり計算やパイピング照査を行い、既設堤防及び計画堤防断面の安全性を照査する必要がある。

(d) 対策工諸元の決定

本検討で提案している対策工は、測量図や地盤条件等基礎情報が得られていない状況で設定したものである。よって、地形測量、地質調査結果及び上記の浸透流解析結果を踏まえ、必要な対策工の諸元を決定する必要がある。

(e) 護岸工及び法面被覆材料の調査及び検討

前述のとおり、既存堤防では川表側の護岸工として Stone Pitching を用いることが主流であるが、背後の土砂吸出しが発生する等の問題が発生している。また川裏側の法面は気候の影響から植生による保護が難しく、特に被覆されずに放置されており、雨水による侵食が発生している。

川表側法面の護岸に関しては、コンクリートフェーシング以外の護岸工種で適用可能なものを比較検討の上で最適な護岸工種を決定する必要がある。例えば、下記のような工種を候補として挙げるができる。

- ・ 石張り（空張・練張）

→使用する石のサイズの管理の徹底や吸出防止材の敷設をすれば使用可能

- ・ かご平張り

→厚み 30cm~50cm の鉄線かごが安価で入手可能であれば使用可能

- ・ **コンクリートブロック張り、連節ブロック張り**
→日本では一般的な工法。コンクリートブロックが普及していないため、パキスタンでは採用は難しいと考えるが、コンクリートフェーシングと比較して安価となるようであれば、適用の可能性はある
- ・ **ジオテキスタイルを用いた被覆材**
→Sand Filled Mattress と呼ばれる材料で、ジオテキスタイル製のシート状の袋の中に砂を充填して、護岸として使用するものである（写真 3.6.7 参照）。第3国からの輸入材料となるが、流速のある箇所でも使用可能であり、表面の色が植生に近い色とすることができるので、コンクリートフェーシングと比較して明度を抑えることができる。ただし、中に充填する砂が必要となる。



出典：メーカー資料

写真 3.6.7 Sand Filled Mattress

川裏側法面の被覆工に関しては、本検討で提案している Stone Pitching の使用以外に、下記のような材料について調査や適用性の検討が必要である。

- ・ **張芝に代わる乾燥に強い植物を使用した種子吹付工**
→パキスタンのような乾燥地域でも、生育可能でかつ根浅い植物を調査し、堤防法面の被覆材としての適用性を検証する。検証の上、適用可能であれば種子吹付により、盛土または切土法面に施工する方法が適用可能である。
- ・ **侵食防止シート**
→植生を期待せずに、法面に侵食防止するシートを敷設する方法。過去にパキスタン国内でも施工されたことがあるようだが、盗難に遭ってしまったようである。また、第3国からの輸入となり、低廉な材料とならない可能性が高い。

(3) 侵食対策工の検討（主に Old Abad Bund）

1) 被災要因の推察と必要な対処

図 3.6.8 に侵食による堤防破壊の模式図を示す。堤防の安定性に影響を与える侵食には下記の2つがある。

1. 堤防表法面、法尻表面の直接侵食
2. 主流路からの側方侵食

既往の衛星画像によると、本検討対象箇所では、2003年頃には堤防前面に十分な高水敷幅があったものの、2013年頃より主流路からの側方侵食により堤防前面の高水敷が削られて行き、2023

年現在、堤防前面に主流路が位置している状況に至っている様子が読み取れる (p3-8 参照)。

また、当該箇所では現在、のり面及び河岸の保護工がない状態であり、Indus 川の水位が上昇した時には、法面や法尻が直接侵食を受けている状況にあると考えられる。さらに、現況堤防高は既存の堤内地盤高から 1~1.5m 程度であり、上下流で接続する既設堤防と比較して、極端に低くなっているため、Indus 川の水位が高いときには越流が発生し、水位低下時には、Indus 川の方向へ落ち込む流れが発生していると考えられる。

以上より、当該箇所に必要な対処は、堤防高を上下流と同等まで復旧するとともに、川表法面及び法尻への直接侵食対策と主流路による側方侵食に対応することである。

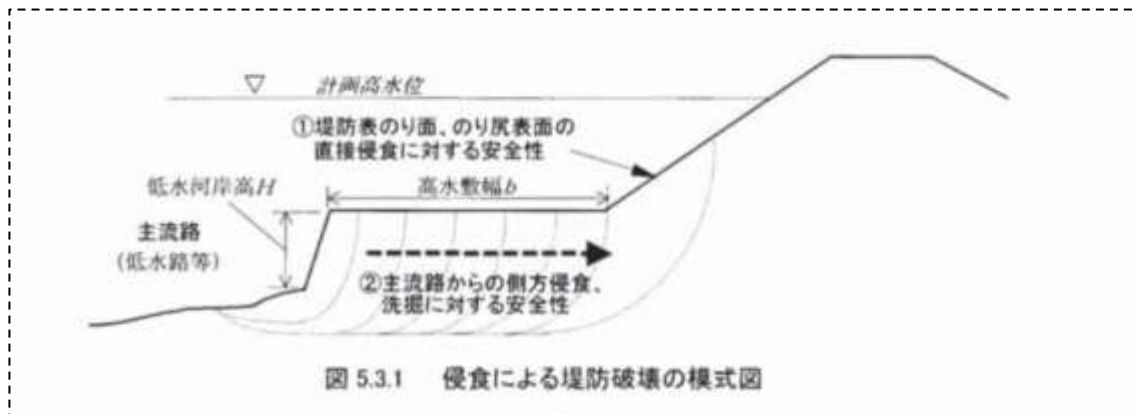


図 5.3.1 侵食による堤防破壊の模式図

出典：河川堤防構造検討の手引き, 2012.2

図 3.6.8 侵食による堤防破壊の模式図

2) 対策工の範囲

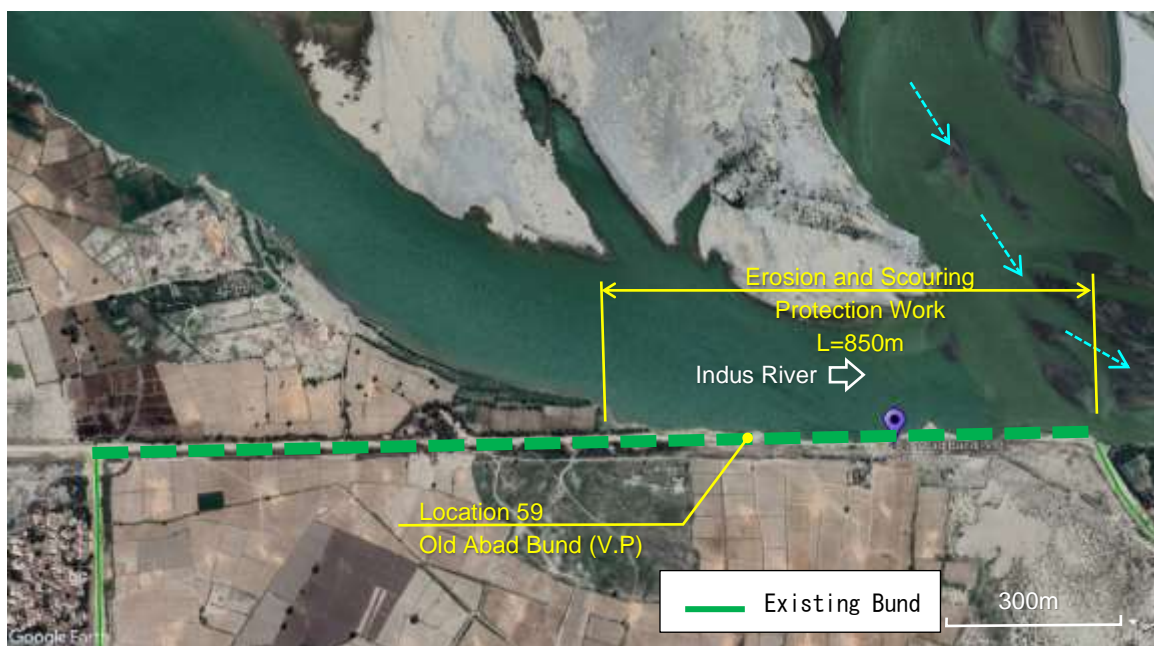
対策の上流端は、過去の衛星画像を参考に、2020 年以降侵食があまり進行していない地点 (図 3.6.9) とし、下流端は既設堤防との接続点とする。対策工の延長は約 850m となる。図 3.6.10 に侵食対策を実施する範囲を示す。

最終的な対策範囲は、今後の F/S 段階以降において、現地状況を詳細に確認の上設定する必要がある。



出典: Google Earth

図 3.6.9 侵食対策工上流端付近の河岸侵食状況



出典: Google Earth

図 3.6.10 侵食対策工範囲

3) 対策工の抽出

侵食に対する堤防の安全性は、河道の形状（平面及び縦横断面形）、堤防前面の河岸の状況、堤防近傍の洪水時における流況、堤体の土質条件、堤防及び河岸を保護する構造物の状況に関係する。本検討では、侵食の影響を受ける既存堤防の補強に主眼に置いているが、本来であれば、検討対象箇所において上述したような現地条件を勘案の上、河道掘削や水制工の設置による対応を含め、幅広い方策を検討する必要がある。

よって、ここで検討する対策工案は、同様の特性を有する地域での展開は可能であるが、その他の地域では、特性を吟味した上でこの工案の活用を判断すべきものである。

表 3.6.4 に侵食に対する堤防強化工法の例を示す。本検討対象箇所では現況で護岸がないことから耐力の強化として護岸の設置、侵食外力の軽減として流速減少効果を期待する水制工の設置を提案する。なお、側方侵食への対応として護岸基礎工には鋼矢板を設置し、護岸前面には根固め工を併用する。

耐力の強化に関して、すでに堤防前面まで主流路が接近していることから高水敷の保護、新設や腹付けは現時点では困難であり、主流路の近傍であることから侵食防止シートでは流速に十分耐えることは困難である。

表 3.6.4 侵食に対する堤防強化工法の例

表 5.4.1 安全性の照査結果と堤防強化工法の関係の例

安全性の照査結果		堤防強化的方法	
		①耐力の強化	②侵食外力の軽減
護岸工がない	堤防表のり面、のり尻の直接侵食	<ul style="list-style-type: none"> 高水護岸の新設 侵食防止シートの敷設 堤防植生管理の徹底 	<ul style="list-style-type: none"> 流速減少効果を期待する水制工設置 置換工法による埋め戻し 法線形の修正 水はね効果を期待する水制工の設置 ベーン工法
	主流路(低水路等)からの側方侵食、洗掘	<ul style="list-style-type: none"> 低水護岸、堤防護岸の新設 (埋め込み)水制工設置 上下流に影響を及ぼさない高水敷の新設、腹付け 縦工水制の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 置換工法による埋め戻し 法線形の修正 水はね効果を期待する水制工の設置 ベーン工法
護岸工がある	のり覆工の厚さ不足	<ul style="list-style-type: none"> 護岸工の改築 のり覆工の腹付け 空石張り工の練石張り工化 空ブロック張り工の練ブロック張り工化 	<ul style="list-style-type: none"> 流速減少効果を期待する水制工設置 置換工法による埋め戻し 法線形の修正 水はね効果を期待する水制工の設置 ベーン工法
	基礎工の根入れ不足	<ul style="list-style-type: none"> 護岸工の改築 基礎の根礎ぎ 根固工の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 根固工の設置 置換工法による埋め戻し 法線形の修正 水はね効果を期待する水制工の設置 ベーン工法
	重量不足	<ul style="list-style-type: none"> 根固工の改築 根固めブロックの一体化(連結や確実な層積み) 根固めブロックの追加投入 	<ul style="list-style-type: none"> 流速減少効果を期待する水制工設置 置換工法による埋め戻し 法線形の修正 水はね効果を期待する水制工の設置 ベーン工法
	根固工 敷設不足	<ul style="list-style-type: none"> 根固工の改築 根固めブロックの追加投入 	<ul style="list-style-type: none"> 流速減少効果を期待する水制工設置 置換工法による埋め戻し 法線形の修正 水はね効果を期待する水制工の設置 ベーン工法

注) は河道計画に併せて検討すべき方策

出典：河川堤防構造検討の手引き, 2012.2

4) 対策工の決定

(a) 基本諸元

本検討箇所は、現況の測量図、計画の標準断面等の堤防の基本諸元にする情報が得られていないことから以下に示す通り想定する。

表 3.6.5 基本諸元

項目	諸元	設定根拠
現況堤防の直高	4m 程度	Google Earth より近傍の堤防を基に想定
天端幅	30 ft (9.15m)	浸透対策工で参照した Akil Link Bund の標準断面図 (図 3.6.4) を参考に設定
法面勾配	川表：2.0:1 川裏：3.0:1	同上

出典：Sindh PID の情報を基にアドバイザーチーム作成

(b) 護岸工

前述の「浸透対策工の検討」の中においても記述の通り、現地で一般的に用いられている Stone Pitching による川表側法面の保護には課題がある。また、本検討で対象としている侵食対策箇所は、主流路の直背後に位置しているとともに、水衝部になっており（主流路がほぼ 90 度に折れている）、洪水時には複雑な流れが発生していると推察する。よって、法面を被覆する法覆工は強固な構造である必要があることから、コンクリートフェーシングにより被覆すること提案する。



出典：アドバイザーチーム

**写真 3.6.8 堤防前面の矢板護岸事例
(フィリピン)**

さらに、主流路による側方侵食に対応するため、堤防法面の前面に鋼矢板護岸を設置する。現状で既設堤防前面は、平常時でも主流

路となっているため、低水路工事を行う場合、締切工が必要となるが、鋼矢板護岸の場合、締切工を設置せずに施工可能である。写真 3.6.8 に堤防前面の矢板護岸事例を示す。

(c) 根固工

護岸前面には根固め工を設置する。上述のとおり、既設堤防前面は平常時でも主流路となっているため、締切工を用いずに設置可能な捨石工 (Riprap) による根固め工とする。捨石のサイズに関しては、今後の F/S 以降の段階で、当該箇所の設計流速を設定し、流況を踏まえた上で決定する必要がある。ここでは、複雑な流れが発生することが予想されるため、ある程度の重量のある捨石が必要となることを想定し、Class C (80kg/個) 相当を考慮しておくこととする。

(d) 水制工

2013 年以降の河道の変遷の状況から、主流路の位置は現在の堤防前面位置で固定化される傾向であると考えられることができる。流路の固定化により堤防前面の洗堀が進行すれば、堤防前面の洪水時の流速はさらに上昇することになる。また、上述のようにコンクリート材料による法覆工を提案していることから、護岸近傍の粗度が低く抑えられることになり、堤防付近の流速を上げる影響を与えることになる。

以上のような状況から、堤防及び護岸近傍の流速低減を目的として、堤防前面に水制工を設置することを提案する。

既存の水制工で一般的に用いられているのは、捨石工 (Riprap) である。既設水制工は損傷と補修を繰り返しながら運用されているところであるが、次のような問題点があると考えられる。

- ・ 水制工の被覆材料として用いられている捨石工 (Riprap) の大きさの管理が不十分であり、耐流速性能が十分ではない小さな石が混在している場合が多い
- ・ 水制工の周辺では、主流路の方向や非常に緩い河川縦断勾配に起因して、渦を巻くよう

な複雑な流れが発生している箇所が多く、そのような箇所では局所的に流速が早くなっている

以上のような状況から、一定以上の重量を確実に確保できるような材料の使用が望ましいといえるため、本検討ではコンクリートブロックを用いることを提案する。施工は、締切工なしでも施工可能な乱積みとする。コンクリートブロックの必要重量は、今後 F/S 以降の段階において、設計流速や流況を勘案の上決定する必要がある。ここでは、1t 型のブロックを使用する。写真 3.6.9 にコンクリートブロックによる水制事例を示す。

水制工の諸元は日本の「河川砂防技術基準（案）設計編 I」の記述に準じて表 3.6.6 の通り設定する。なお、長さ 25m 程度であれば、堤防位置からクレーンを用いて投入可能な範囲であるため、水上施工は不要である。



出典：アドバイザーチーム

図 3.6.11 に水制工の一般図を示す。

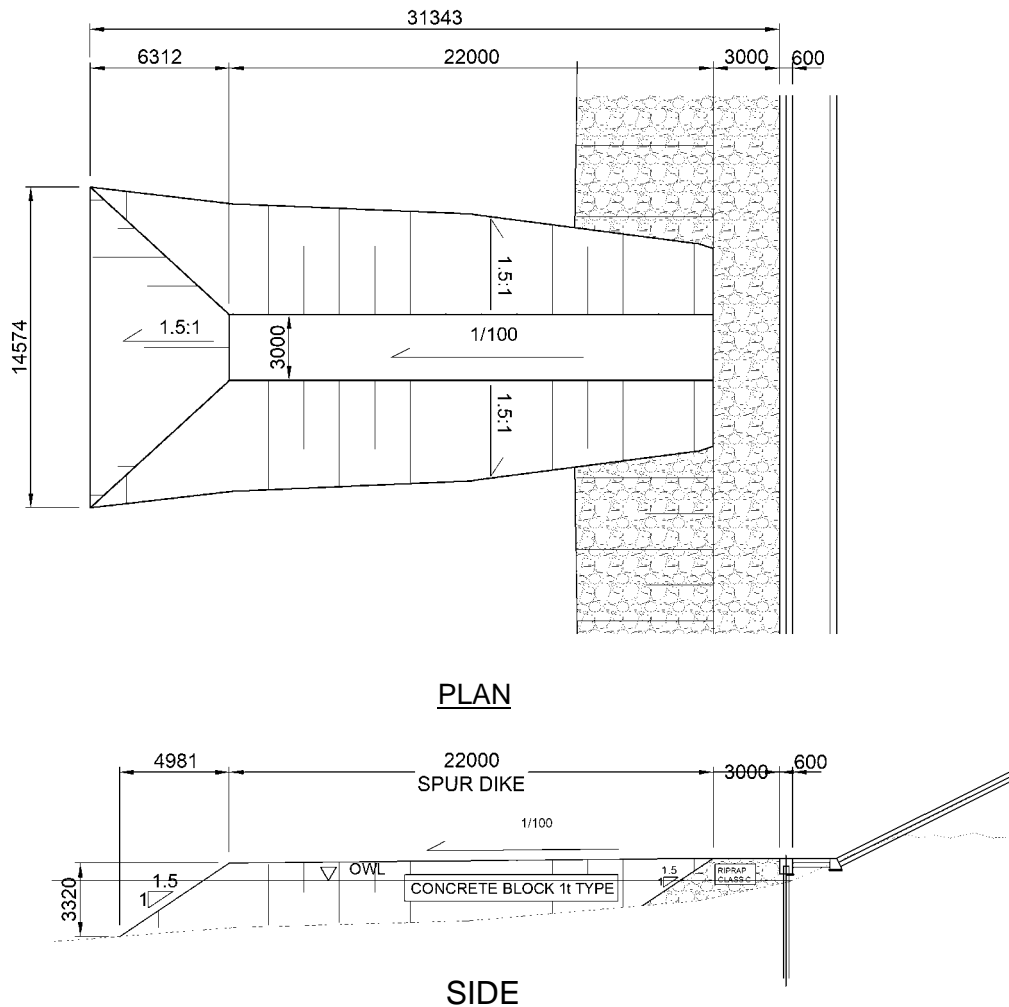
写真 3.6.9 コンクリートブロックによる水制事例（フィリピン）

表 3.6.6 水制工諸元

項目	諸元	設定根拠
使用材料	コンクリートブロック 1t 型	
長さ	25m	主流路幅の 10% 程度 ¹⁾
天端幅	3.0m	コンクリートブロック 3 個並べ程度 ²⁾
天端高	矢板護岸天端と同じ高さ 縦断勾配 1/100	平水位+1.0m 程度 ¹⁾
設置間隔	50 m	長さの 2 倍 ¹⁾

出典：1) 河川砂防技術基準（案）設計編 I

2) メーカー資料



出典：アドバイザーチーム

図 3.6.11 水制工一般図

(e) その他の対策工

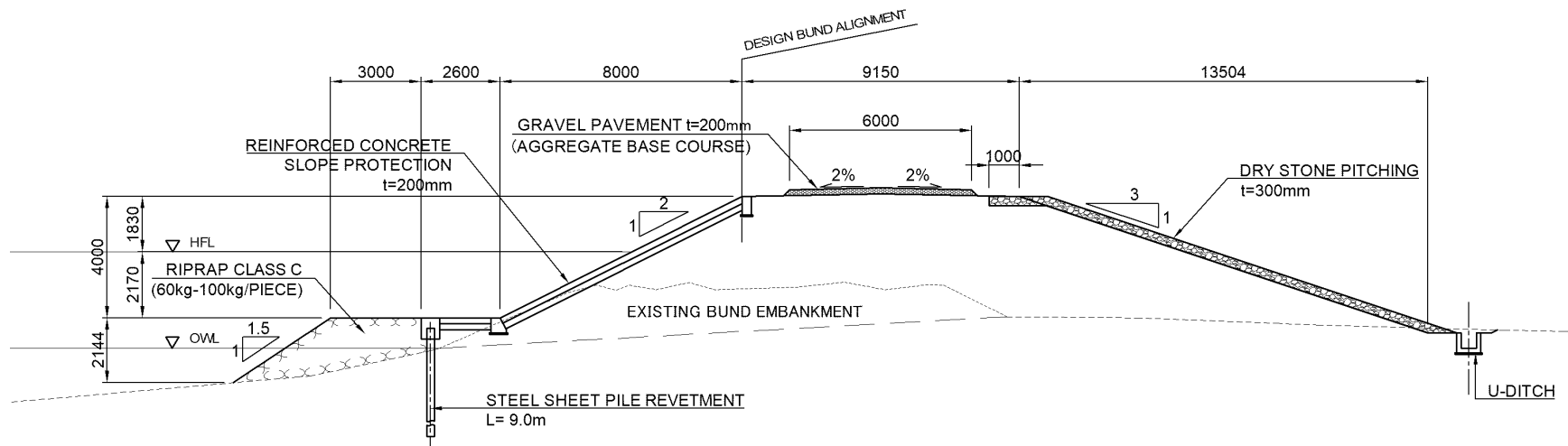
(i) 川裏側法面保護（法覆工）

前述の浸透対策工の検討においても記述した通り、既設堤防の川裏側法面は被覆されておらず、雨水による侵食を受けており、堤防の必要断面の確保及び維持管理の面で課題がある状況である。

侵食対策の対象となる、Old Abad Bund においても状況は同じであることから、浸透対策工の場合と同様に Stone Pitching による法面保護を提案する。

5) 標準断面図

次ページに侵食対策対象箇所標準断面図を示す。



出典：アドバイザーチーム

図 3.6.12 侵食対策箇所標準断面図

6) 今後の段階で必要となる検討

(a) 地形測量及び土質調査

現況の堤防断面形状の把握のため、検討対象箇所での地形測量を行う必要がある。地形測量では既設堤防の横断測量をとともに、堤防前面に流れる主水路も横断測量範囲に含める。これは現況河道の深さを把握し、護岸の設計流速を算出する基礎資料するためである。また、深掘れ等が発生していないかを確認する目的である。

地質調査は堤体及び基礎地盤の土質定数を把握するために実施する。物理試験に不かく乱試験がサンプリング可能な土質の場合には、力学試験を行う。

(b) 最新版の Bund Manual の確認と反映

本調査の中では、最新版の Sindh 州の Bund Manual を入手することができていない。そのため、Sindh 州政府より、最新版の Bund Manual を入手し、堤防天端幅や法勾配等が基準に準拠しているか確認し、必要な場合計画断面を修正する必要がある。

(c) 設計流速の算出

前述の、主水路の横断測量結果より設計水深を設定し、マンニングの公式より平均流速を算出し、湾曲補正等を考慮して設計流速を算出する。

可能であれば洪水時に、検討対象箇所近傍で流量観測を行う。測定された流速と、計算式により算出された設計流速を比較し、計算式により算出する設計流速の妥当性を確認できることが望ましい。

(d) 護岸工種の検討

護岸に関しては、コンクリートフェーシング以外の護岸工種で適用可能なものを比較検討の上で最適な護岸工種を決定する必要がある。例えば、下記のような工種を候補として挙げるができる。ただし、本検討で対象としている箇所は、水衝部となっていることに注意して適用可能な護岸工種を抽出する必要がある。

- ・ 石張り（空張・練張）
→使用する石のサイズの管理の徹底や吸出防止材の敷設をすれば使用可能
- ・ かご平張り
→厚み 30cm～50cm の鉄線かごが安価で入手可能であれば使用可能
- ・ コンクリートブロック張り、連節ブロック張り
→日本では一般的な工法。コンクリートブロックが普及していないため、パキスタンでは採用は難しいと考えるが、コンクリートフェーシングと比較して安価となるようであれば、適用の可能性はある

(e) 川裏側法面保護の検討

川裏側法面の被覆工に関しては、本検討で提案している Stone Pitching の使用以外に、下記のような材料について調査や適用性の検討が必要である。

- ・ **張芝に代わる乾燥に強い植物を使用した種子吹付工**
→パキスタンのような乾燥地域でも、生育可能でかつ根浅い植物を調査し、堤防法面の被覆材としての適用性を検証する。検証の上、適用可能であれば種子吹付により、盛土または切土法面に施工する方法が適用可能である。
- ・ **侵食防止シート**
→植生を期待せずに、法面に侵食防止するシートを敷設する方法。過去にパキスタン国内でも施工されたことがあるようだが、盗難に遭ってしまったようである。また、第3国からの輸入となるため、低廉な材料とはいえない可能性が高い。

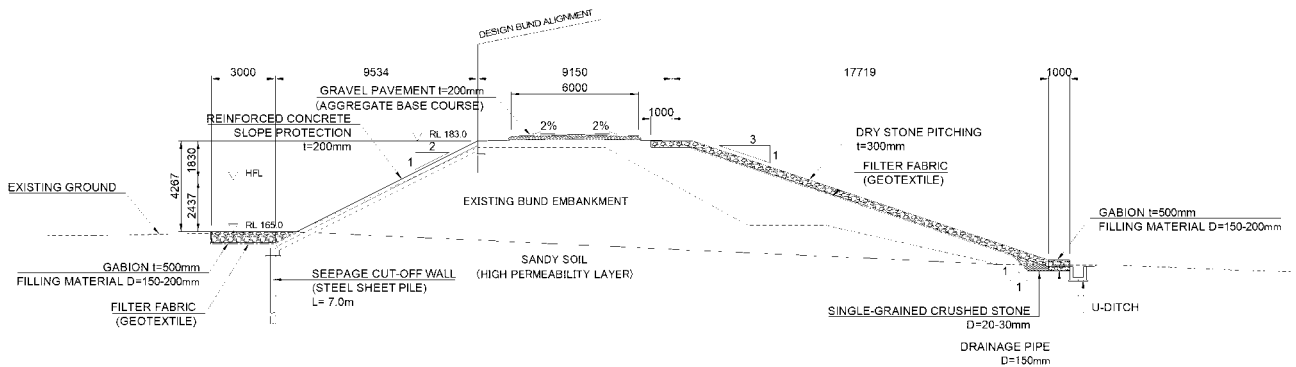
(f) 護岸等直接的な対策以外の可能性の検討

本検討対象箇所では 2013 年以降、主流路が右岸堤防前面に位置しており、流路が固定化していく傾向がみられる。よって、堤防前面の流速低減や深掘れの進行を防ぐため、主流路の対岸側砂州の掘削等の可能性も併せて検討することを推奨する。ただし、Indus 川は規模が大きく、河道掘削を行う範囲が非常に広範囲となり、コストが高くなる懸念があるため注意が必要である。

3.6.2 施工スケジュール

(1) 浸透対策堤防強化

3.6.1 で検討した堤防浸透対策の施工工法による施工工程を設定する。施工概要の標準断面図を図 3.6.13 に示す。



出典：アドバイザーチーム

図 3.6.13 浸透対策箇所標準断面図

設定された浸透対策工を以下に示す。

1. 基盤の透水層遮水対策；遮水矢板打設
2. 表法面浸透に対する法面保護工；コンクリート張工+裏込め砕石
3. 裏法面浸透に対する法面保護工；割石張工+吸出し防止材+ドレーン+U型側溝

1) 施工工程の設定

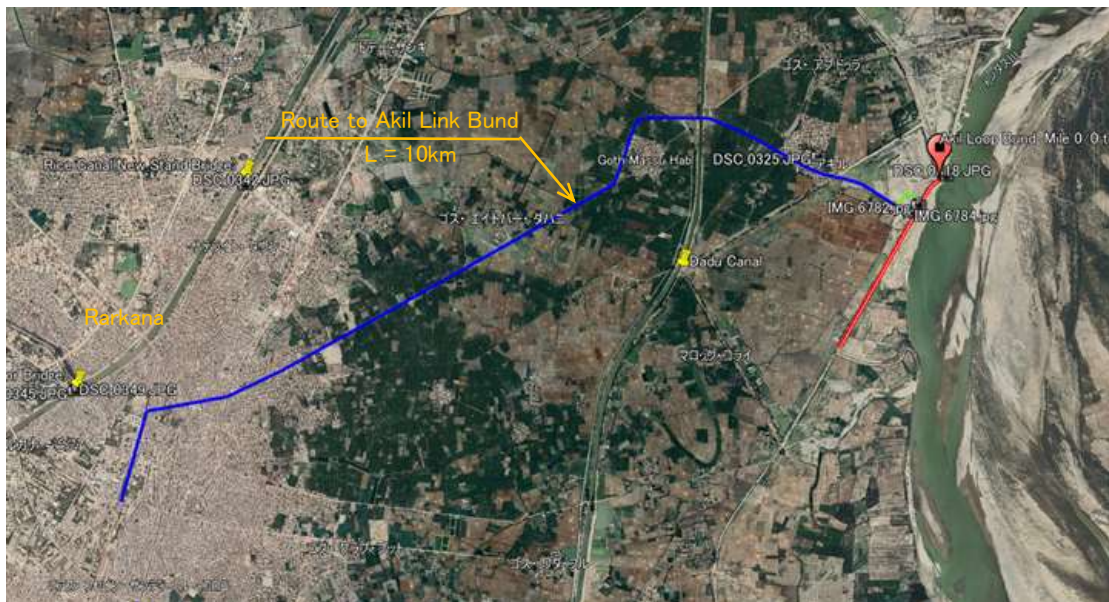
施工条件、施工工程を設定する。

(a) 施工条件

施工は、10月から6月のIndus川の水位の低い時期にドライの状態で行う。施工の基本条件を以下に示す。

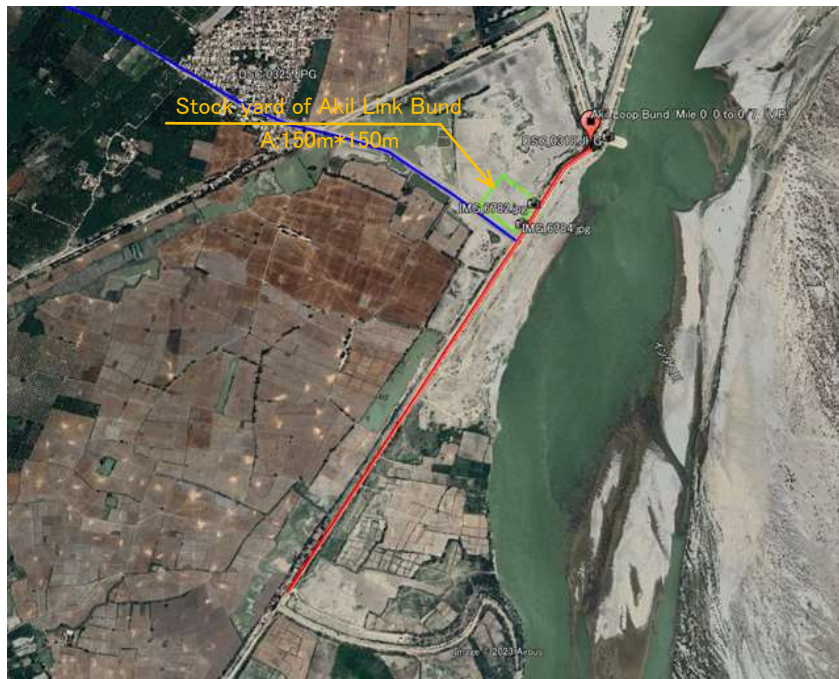
- ・ 基本、締切工は施工しない。
- ・ 施工現場には、西北から進入する。進入口付近の堤防内側の平地にストックヤード(資機材置き場)を設置する。
- ・ 工事用道路は、既設堤防を利用する。
- ・ 資機材は、基本的にラルカナ(Larkana; L=10km)で調達する。

以上の条件で設定した運搬ルートを図 3.6.14 に、ストックヤード(資機材置き場)を図 3.6.15 に示す。ストックヤードは、150m×150m 程度を確保する。



出典: Google Earth

図 3.6.14 浸透対策箇所への運搬ルート



出典: Google Earth

図 3.6.15 浸透対策工のストックヤード

(b) 施工手順

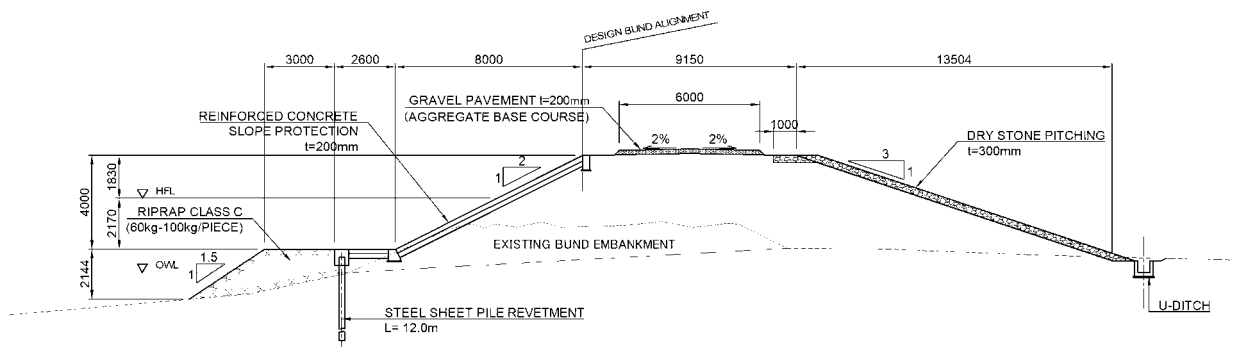
施工条件に基づいて、施工工程を検討する。施工は、土工を先行させ築堤を行って盛土を安定させてから浸透対策工を行う。大型重機を使用する鋼矢板打設を先行させ随時川表及び川裏の法面保護工を施工する。法面保護工施工と共に、川裏側の浸透対策工を行う。全体の施工工程は、以下の通りとなる。

- ① 準備工；事務所設置、ストックヤード整地、他
- ② 撤去工；既設護岸、構造物撤去
- ③ 盛土工；設定高までの締固め盛土
- ④ 掘削工；基礎工、U型側溝のための掘削、他
- ⑤ 遮水矢板打設工；大型重機搬入による遮水矢板打設(ドライ)
- ⑥ 基礎工；法面保護工の基礎
- ⑦ コンクリート張工；川表の法面保護工
- ⑧ 天端工；コンクリート張工の天端工
- ⑨ 割石張工(空張)；川裏の法面保護工
- ⑩ U型側溝工；川裏の排水路
- ⑪ 透土工(透水管+カゴマット)；川裏側法尻の集水
- ⑫ 根固工(カゴマット)；川表側基礎の洗堀対策
- ⑬ 天端舗装工(碎石舗装)；管理通路の天端舗装

施工工程の具体的な検討は、詳細な施工範囲、施工工種の決定後に行う。

(2) 浸食対策堤防強化

3.6.1 の検討結果の堤防浸食対策の施工工法による堤防強化の標準断面図を図 3.6.16 に示す。



出典：アドバイザーチーム

図 3.6.16 浸食対策箇所標準断面図

検討結果の浸食対策工を以下に示す。

1. 築堤工；堤防盛土
2. 洗堀対策工；捨石工+鋼矢板打設+コンクリート張工
3. 表法面保護工；コンクリート張工+裏込め砕石
4. 裏法面保護工；割石張工+U型側溝

1) 施工工程の設定

施工条件、施工工程を設定する。

(a) 施工条件

施工は、浸透対策工と同様に 10 月から 6 月の Indus 川の水位の低い時期にドライの状態で行う。施工の基本条件を以下に示す。

- ・ 基本、締切工は施工しない。
- ・ 施工現場には、北側から進入する。進入口付近の堤内側の平地にストックヤード(資機材置き場)を設置する。
- ・ 工事用道路は、既設堤防を利用する。
- ・ 資機材は、基本的にラルカナ(Larkana;14km)で調達する。

以上の条件で設定した運搬ルートを図 3.6.17、ストックヤードを図 3.6.18 に示す。ストックヤードは、150m×150m 程度確保する。



出典: Google Earth

図 3.6.17 浸食対策箇所への運搬ルート



出典: Google Earth

図 3.6.18 浸透対策工のストックヤード

(b) 施工工程

施工条件に基づいて、施工工程を検討する。施工は、浸透対策工と同様に土工を先行させ築堤を行って盛土を安定させてから浸食対策を行う。大型重機を使用する鋼矢板打設を先行させそのあと川表の捨石工、基礎工を施工する。その後、川表、川裏の法面保護工を施工する。法面保護工施工後、川裏側のU型側溝を施工する。全体の施工工程は、以下の通りとなる。

- ① 準備工；事務所設置、ストックヤード整備、他
- ② 盛土工；定規断面まで締め盛土
- ③ 掘削工；基礎工、U型側溝施工のため掘削
- ④ 鋼矢板打設工；大型重機搬入による遮水矢板打設、ドライ
- ⑤ 基礎工；川表側、法面保護工の基礎
- ⑥ 法尻コンクリート張工；遮水矢板、法面保護工基礎の間のコンクリート平張
- ⑦ 捨石工；遮水矢板前面の基礎保護工、水制の施工
- ⑧ コンクリート張工；川表の法面保護工
- ⑨ 天端工川表の法面保護工の天端コンクリート
- ⑩ 割石張工(空張)；川裏の法面保護工
- ⑪ U型水路工；法尻の排水路
- ⑭ 天端舗装工(碎石舗装)；管理通路の天端舗装

施工工程の具体的な検討は、詳細な施工範囲、施工工種の決定後に行う。

3.6.3 堤防強化における施工単価

堤防強化の対象州である Sindh 州の公表総合工事単価表及び市場価格を調査して各工種の施工単価を設定する。

施工単価設定の参考にした主な図書は、以下の通りである。

- 「Composite Schedule of Rates 2022 (7th July 2022);Larkana」 Standing Rates Committee Sindh, Karachi
- 「Composite Schedule of Rates 2022 (Sindh May 2022)」
- National Highway Authority/Ministry of Communications Government of Pakistan
- 「Schedule of Rates for Public Health Engineering Works Finished Items(7th July 2022)」 Volume-III Part-II, Government of Sindh

(1) 施工単価

1) Sindh 州 Larkana 県の総合工事単価表より設定した施工単価

総合工事単価表には、工種別の人件費、機械使用費、材料費、損料それらの合計施工単価がまとめられている。最新 2022 年の施工単価表を使用する。対象となる工種を抽出して、表 3.6.7 に示す。

表 3.6.7 シンド州ラルカ(ナ県の総合工事単価

(単位 : Rs)

Item No.	Description	Unit	Manpower	Equipment	Material	OH-Profit	Rate (Rs)
101	CLEARING AND GRUBBING	Sq.m	1.73	19.64	-	5.34	26.71
107a	STRUCTURAL EXCAVATION IN COMMON MATERIAL	Cu.m	28.08	277.11	-	76.3	381.49
107e	COMMON BACK FILL	Cu.m	88.46	125.55	11.7	56.43	282.14
202ii	AGGREGATE BASE COURSE (WITH GRADER)	Cu.m	55.94	405.24	1,285.00	436.55	2,182.73
401a3ii	CONCRETE CLASS "A3" (ON GROUND)	Cu.m	1,097.72	2,666.66	9,684.27	3,362.16	16,810.81
401f	LEAN CONCRETE	Cu.m	919.2	999.71	4,568.29	1,621.80	8,109.00
404 b	REINFORCEMENT AS per AASHTO M-31 GRADE 60	Ton	5,030.68	815.77	187,073.25	48,229.93	241,149.63
507a	STEEL WIRE MESH (9 SWG) FOR GABIONS	Kg	16.19	-	243.26	64.86	324.3
507b	ROCK FILL IN GABIONS	Cu.m	307.68	-	733.23	260.23	1,301.14
509c	RIP RAP CLASS "C"	Cu.m	1,067.27	50.32	838.6	489.05	2,445.24
509h	FILTER LAYER OF GRANULAR MATERIAL	Cu.m	162.58	278.85	1,232.78	418.55	2,092.76
509h'	FILTER LAYER OF GEITEXTAL MATERIAL	sq.m	32.52	55.77	1,000.00	83.71	1,172.00
511a2	DRY STONE PITCHING (20-25 cm THICK)	Sq.m	294.5	81.88	180.76	139.28	696.41

出典: Composite Schedule of Rates 2022 (7th July 2022); Larkana

2) 鋼矢板打設施工単価

鋼矢板打設の施工単価は、National Highway Authority(NHA)の打ち込み費用、鋼矢板の市場単価よりもとめる。打ち込み費用、鋼材単価価格は、それぞれ表 3.6.8、表 3.6.9 に示す。根拠となる鋼材価格、鋼材単位重量をそれぞれ表 3.6.10、表 3.6.11 に示す。

表 3.6.8 打ち込み費用

	Description	Unit	Rate (Rs)		Unit	Rate (Rs)		Specification	Remarks.
			Labour	Composite		Labour	Composite		
3	Driving steel piles 25' to 30' (7.5 to 9M)	P.Sft.	80.44	-	P.Sqm.	865.88	-	Do	Rate includes laying and removing of track and also carriage of piles machine, to average distance of 3.0 chains.
4	Driving steel piles more than 15' (4.5M) and less than 25' (7.5M).	P.Sft.	77.22	-	P.Sqm.	831.22	-	Do	These rates are for trackle gang only supplied by contractors mechanical staffion machine will be supplied by Government T-Piles and adjustable junction piles will be counted as 2 piles.

出典: Composite Schedule of Rates 2022 (Sindh May 2022); NHA

表 3.6.9 鋼材単価

Item	cost	
Composite Rate MRS 2022 Bi-Annual	303,740.0	Rs per ton
SP- II	36,448.8	Rs per sqm
SP- III	45,561.0	Rs per sqm

出典：アドバイザーチーム

表 3.6.10 鋼材価格

Item	Composite Rate MRS 2022 Bi-Annual
Steel Grade 60	303,740/- per Ton
Steel Grade 40	291,590/- per Ton

出典：No. MRS/FD/4-2/NOTIFICATION/2021-22 ; Government of Khyber Pakhtunkhwa Finance Department

表 3.6.11 鋼材単位重量

Item	number	Unit	Note
SP- II	48	kg/m	400 mm
	120	kg/sqm	2.5 n
SP- III	60	kg/m	400 mm
	150	kg/sqm	2.5 n

出典：製品カタログ

3) ドレーンパイプ敷設単価

ドレーンパイプ敷設単価は、Public Health Engineering Works のパイプ敷設単価表より設定する。今回、敷設予定の径 150mm の敷設単価を表 3.6.12 に示す。敷設単価は、材料費、手間込みの単価である。

表 3.6.12 運搬費

S.#	Description	S.I Units	
		Units	Rate in Rs.
	(f) 150 mm 6" dia.		
	1 st mile (0. to 1.6 km)	% RM	125.7
	2 nd mile (1.61 to 3.2 km)	% RM	31.37
	3 rd mile (3.21 to 4.8 km)	% RM	25.69
	4 th mile (4.81 to 6.4 km)	% RM	23.72
	5 th mile (6.41 to 8.0 km)	% RM	21.92
	6 th mile (8.01 to 9.6 km)	% RM	20.44
	7 th & subsequent mile 9 th & subsequent Km	% RM	19.23

出典：「Schedule of Rates for Public Health Engineering Works Finished Items(7th July 2022)」 Volume-III Part-II, Government of Sindh

表 3.6.13 管敷設費

S #	Description.	Unit	S.I Unit.	
			Rates in Rs.	
			Labour	Composite
a)	80 mm (3" dia)	R.M	---	780.88
b)	100 mm (4" dia)	R.M	---	1158.19
c)	125 mm (5" dia)	R.M	---	1814.39
d)	150 mm (6" dia)	R.M	---	2224.52
e)	200 mm (8" dia)	R.M	---	3389.27
f)	250 mm (10" dia)	R.M	---	5206.95
g)	300 mm (12" dia)	R.M	---	7260.85

出典：「Schedule of Rates for Public Health Engineering Works Finished Items(7th July 2022)」 Volume-III Part-II, Government of Sindh

4) 型枠組立単価

コンクリート型枠の組立単価は、市場価格調査を行い設定する。市場価格調査の結果を表 3.6.14 に示す。

表 3.6.14 型枠費(組立て含む)

cost	Unit	Note
100	sqft	
1,076.43	sqm	0.0929

出典：アドバイザーチーム

5) 消波ブロック設置単価

消波ブロックの設置単価については、国内の積算基準に準じて製作費、設置据え付け費に分けて設定する。製作費については、材料単価及び手間より設定する。設置据え付け費については、国内の積算基準を参考に設定する。結果を表 3.6.15、表 3.6.16 に示す。

表 3.6.15 消波ブロック製作費

ConcreteBlock Hexapod 1t Type	Unit	cost per piece	unit cost	Note
Concrete : V= 0.44	cum/piece	7,397	16,810.81	401a3ii
FormWork : A= 3.86	sqm/piece	4,155	1,076.43	market preece
Reinforce W= 8.4	kg/piece	1,997	237.78	404a
Production fee 100%		13,549		
Total		27,098		

出典 : Composite Schedule of Rates 2022 (7th July 2022); Larkana

表 3.6.16 運搬、据え付け費

Item	Unit	unit cost
Transportation & installation	piece	10,000

出典 : Japanese construction results

3.6.4 計画堤防強化スキームの施工費用(Mr.Ono)

設定した施工単価より、各対策の施工工事費を算定する。用地買収、家屋移転等の補償費は、含まない。2件の堤防強化施工工事費は、3,724百万Rs. となり日本で18億円程度となる。全体結果を表 3.6.17 に示す。工種別の施工工事費を表 3.6.18、表 3.6.19 に示す。詳細結果は、付属資料にまとめる。

表 3.6.17 堤防強化施工工事費

区間名	工事延長(m)	施工工事費(百万 PKR)	備考
Akil Link Bunk	1,900	1,761	浸透対策堤防強化
Old Abad Bund	850	1,963	浸食対策堤防強化

出典 : アドバイザーチーム

表 3.6.18 浸透対策堤防強化施工工事費

Item	Project Cost (million Rs)
Clearing and Grubbing	2.0
Earth Work	31.8
Sloop Protection ; Concrete	243.1
Protection Work ; Gabion, Dry Stone Pitching	67.2
Piling Work	1,325.1
Drain Work	84.5
Pavement Work	7.5
Total	1,761.2

出典：アドバイザーチーム

表 3.6.19 浸食対策堤防強化施工工事費

Item	Project Cost (million Rs)
Clearing and Grubbing	0.9
Earth Work	21.2
Sloop Protection ; Concrete	140.3
Protection Work ; Riprap, Dry Stone Pitching	25.8
Piling Work	1,329.8
Pavement Work	3.3
Spur Length : 25m, 50 m interval	441.7
Total	1,963.0

出典：アドバイザーチーム

3.7 堤防強化プロジェクトの評価

3.7.1 推奨するプロジェクトの評価

本検討において推奨する 2 か所の堤防補強を含むプロジェクトの各種特徴に関する評価及び妥当性を図 3.7.1 に整理する。図 3.7.1 の整理から、本検討で推奨するプロジェクトの実施は十分妥当であるといえる。

表 3.7.1 堤防補強プロジェクトの評価

項目	浸透対策 Akill Link Bund	侵食対策 Old Abad Bund	備考
施工延長	L=1.9 km	L=0.85 km	
被害軽減効果	既設堤防強化の緊急性が高く、かつ背後に人口集中地 (Larkana) が近接していることから、実施による被害軽減効果は十分。 ○	既設堤防の補修と強化の緊急性が高く、かつ背後に人口集中地 (Larkana) が近接していることから、実施による被害軽減効果は十分。 ○	後背地特性をみると、上流が氾濫したほうが被害額は大きいですが、脆弱性×被害でリスクを考える。
環境社会影響	プロジェクト影響範囲に家屋密集地域、農地や自然保護対象となる区域はなく、影響はほとんどない。 ○	同左 ○	
施工性・難易度	現地で調達可能な材料や一般的な工法で施工可能。 ○	同左 ○	鋼矢板に関しては第3国からの輸入となるが、パキスタン国内市場では流通している。
コスト	無償資金協力で実施できる規模である。 1.76 Billion PKR	無償資金協力で実施できる規模である。 1.96 Billion PKR	
妥当性	妥 当		

凡例:◎. より優れる; ○. 十分である/問題はない; △.課題がある
出典:アドバイザーチーム

3.7.2 既存堤防の脆弱箇所が破堤した場合の被害想定

3.7.2.1 Akil Link Bund

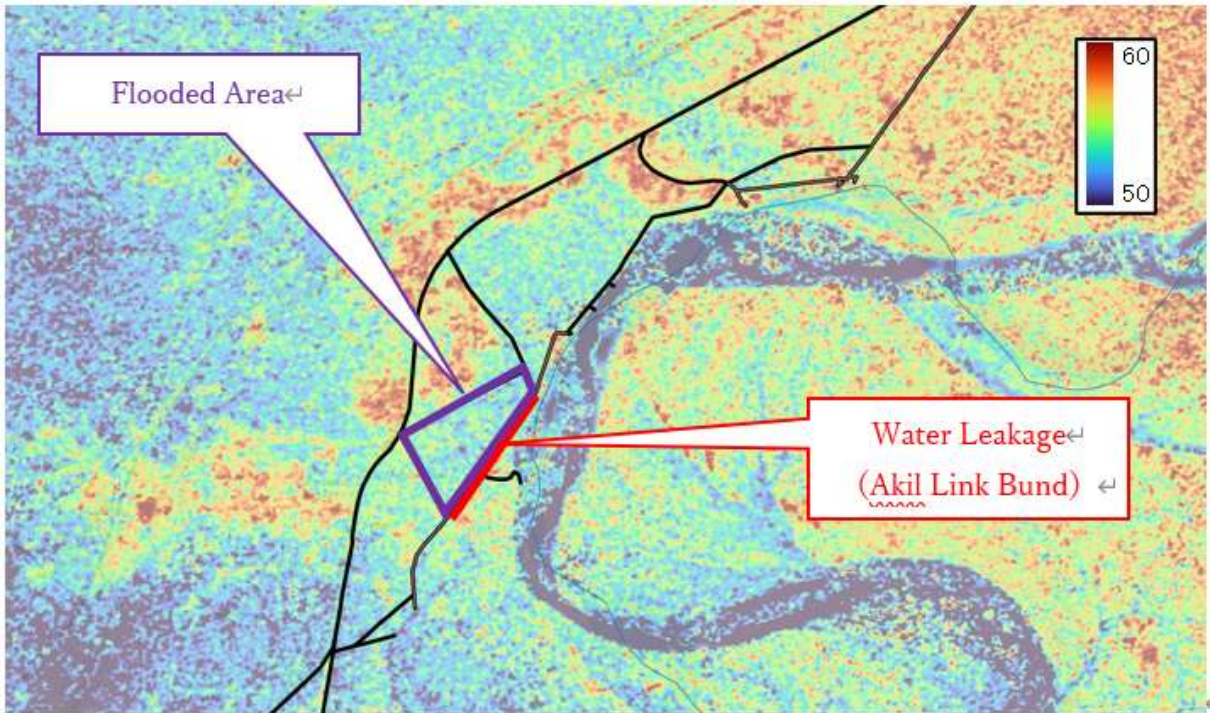
(1) 脆弱箇所周辺の状況と氾濫域

脆弱箇所である Akil Link Bund 周辺の地盤高と堤防の状況を図 3.7.1 に、Google Earth による Akil Link Bund 周辺の地図を図 3.7.2 に示す。Akil Link Bund で漏水が発生した場合、すぐに氾濫発生危険性があるのは、堤防で囲まれた紫色で囲った地域であり、同地域には住宅地はなく、田畑のみ存在するため、被害は限定的と考えられる。

しかし、後方の堤防で氾濫が防げなかった場合、堤防付近の地盤高 55m(=180.45ft)よりも地盤高が低い地域に氾濫域が拡大する可能性がある。Akil Link Bund 付近における氾濫域拡大の想定を図 3.7.3 (地盤高) 及び図 3.7.4 (周辺地図) に示す。

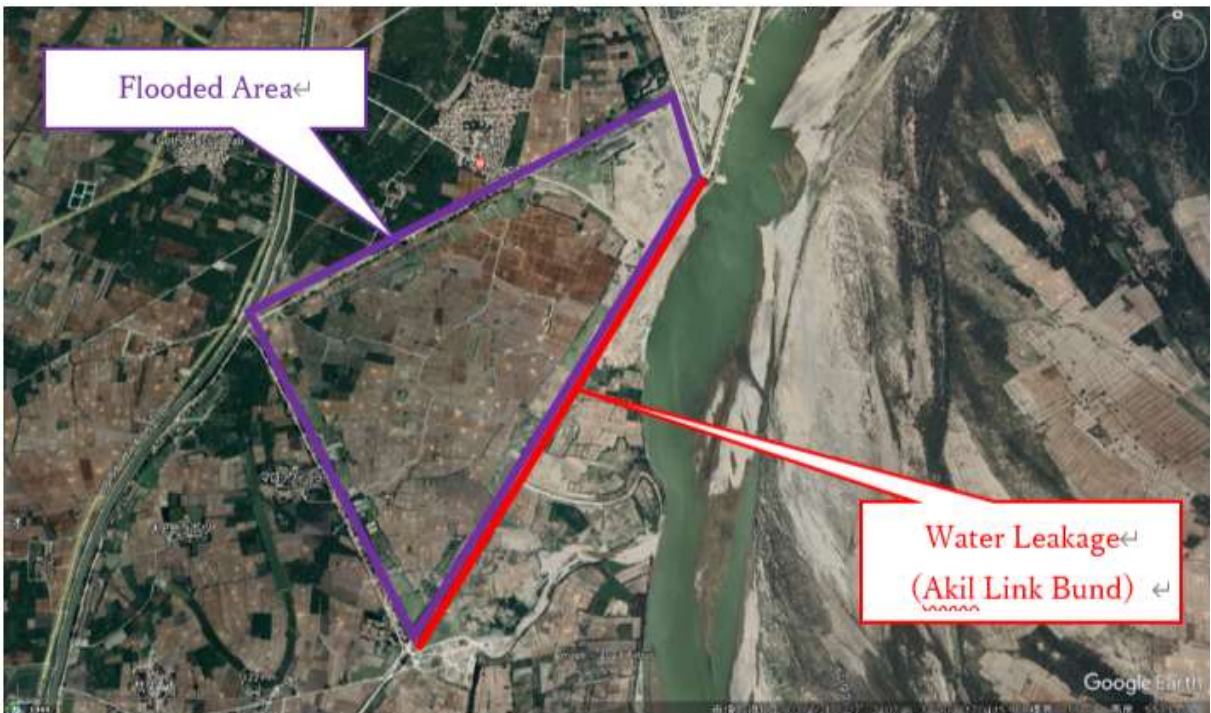
Indus 川の右岸側は堤防付近の地盤高 55m(=180.45ft)より地盤高が低い地域が多く、地盤高が低い

地域の全域が浸水すると仮定すると、この堤防が破堤した場合の最大の被害想定範囲は図 3.7.5 のように設定することができる。



出典：アドバイザーチーム

図 3.7.1 Akil Link Bund 周辺の地盤高と堤防の状況



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.7.2 Akil Link Bund 周辺の地図



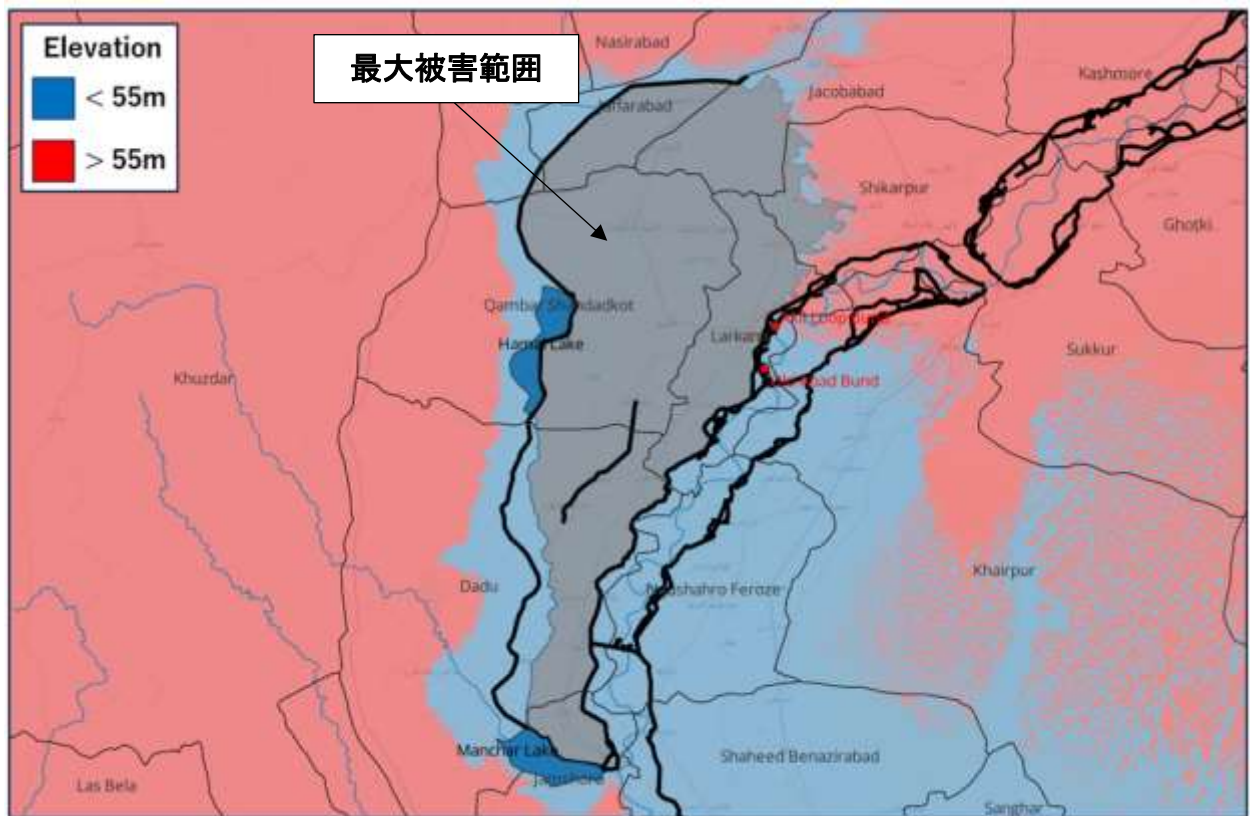
出典：アドバイザーチーム

図 3.7.3 Akil Link Bund 付近における氾濫域拡大の想定（地盤高）



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.7.4 Akil Link Bund 付近における氾濫域拡大の想定（周辺地図）



出典：アドバイザーチーム

図 3.7.5 Akil Link Bund が破堤した場合の最大被害範囲

(2) 家屋の被害想定額

3.1.3 節で行った方法と同様の方法を用いて、Akil Link Bund が破堤した場合の家屋の被害想定額を算出すると、表 3.7.2 に示すように約 2.8 tri. PKR と見積もることができる。なお、被災世帯数の算出は Tehsil ごとに表 3.7.3 のように算出した。

表 3.7.2 家屋の被害想定額 (Akil Link Bund 破堤時)

項目	金額	単位
1件当たりの家屋評価額	8,000,000	PKR
世帯数	597,959	-
家屋資産額	4,783,672,000,000	PKR
被害率	0.592	-
家屋被害額	2,831,933,824,000	PKR

出典：アドバイザーチーム

表 3.7.3 Tehsil 単位の浸水面積・人口・世帯数の算定

Province	District	Tehsil	総面積(km2)	総面積(mi2)	浸水面積(km2)	浸水面積(mi2)	浸水率(%)	人口	1世帯当たりの人数	世帯数	被災人口	被災世帯数
Sindh	Qambar Shahdadkot	Qubo Saeed Khan	623	241	483	187	77.54	85,970	5.55	15,490	66,664	12,012
		Shahdadkot	398	154	398	154	100.00	202,745	5.55	36,531	202,745	36,531
		Miro Khan	772	298	772	298	100.00	427,150	5.55	76,964	427,150	76,964
		Kambar Ali Khan	2,755	1,064	707	273	25.67	395,206	5.55	71,208	101,430	18,276
		Warah	1,059	409	828	320	78.19	229,971	5.55	41,436	179,810	32,398
	Jacobabad	Garhi Khairo	744	287	744	287	100.00	158,360	5.55	28,533	158,360	28,533
		Jacobabad	686	265	132	51	19.27	382,513	5.55	68,921	73,719	13,283
		Thul	1,341	518	0	0	0.00	465,424	5.55	—	—	—
	Shikarpur	Garhi Yasin	943	364	284	110	30.15	315,883	5.55	56,916	95,254	17,163
		Shikarpur	568	219	37	14	6.52	391,172	5.55	70,481	25,500	4,595
		Lakhi	685	264	0	0	0.00	248,143	5.55	—	—	—
		Khanpur	381	147	0	0	0.00	276,283	5.55	—	—	—
	Sukkur	Sukkur	312	121	0	0	0.00	551,357	5.55	—	—	—
		Pano Aqil	900	347	0	0	0.00	435,823	5.55	—	—	—
		Rohri	1,049	405	0	0	0.00	371,104	5.55	—	—	—
		Salehpat	2,943	1,136	0	0	0.00	129,619	5.55	—	—	—
	Larkana	Ratodero	591	228	419	162	70.96	331,584	5.55	59,745	235,285	42,394
		Larkana	568	219	450	174	79.25	738,069	5.55	132,985	584,917	105,390
		Bakrani	332	128	180	70	54.36	229,444	5.55	41,341	124,722	22,472
		Dokri	419	162	249	96	59.34	225,294	5.55	40,594	133,685	24,087
	Dadu	Mehar	993	384	681	263	68.52	460,679	5.55	83,005	315,670	56,878
		Khairpur Nathan Shah	2,605	1,006	392	151	15.03	334,258	5.55	60,227	50,241	9,052
		Dadu	818	316	593	229	72.45	460,481	5.55	82,970	333,625	60,113
		Johi	3,577	1,381	41	16	0.00	294,848	5.55	—	—	—
	Naushahro Feroze	Kandiario	666	257	0	0	0.00	446,079	5.55	—	—	—
		Moro	755	292	0	0	0.00	368,789	5.55	—	—	—
		Mehrabpur	484	187	0	0	0.00	—	5.55	—	—	—
		Bhiria	398	154	0	0	0.00	424,684	5.55	—	—	—
		Naushahro Feroze	733	283	0	0	0.00	372,821	5.55	—	—	—
	Jamshoro	Sehwan	2,342	904	305	118	13.00	269,291	5.55	48,521	35,021	6,310
		Thano Bula Khan	5,275	2,037	0	0	0.00	145,450	5.55	—	—	—
		Manjhand	2,429	938	0	0	0.00	140,840	5.55	—	—	—
Kotri		1,218	470	0	0	0.00	437,561	5.55	—	—	—	
Balochistan	Jhal Magsi	Jhal Magsi	1,806	697	21	8	1.19	88,575	6.87	12,893	1,053	153
		Gandawa	2,035	786	0	0	0.00	60,650	6.87	—	—	—
	Jaffarabad	Gandakha	572	221	328	126	57.30	74,976	6.87	10,914	42,958	6,253
		Usta Muhammad	402	155	372	144	92.60	186,226	6.87	27,107	172,454	25,102
		Jhat Pat	822	318	3	1	0.00	252,611	6.87	—	—	—
Total			46,001	17,761	8,419	3,251	18.30	11,409,933	—	1,066,782	3,360,262	597,959

出典：アドバイザーチーム

(3) 農作物の被害想定額

3.1.3 節で行った方法と同様の方法を用いて、Akil Link Bund が破堤した場合の農作物の被害想定額を算出すると、表 3.7.4 に示すように約 68 bil. PKR と見積もることができる。

表 3.7.4 農作物の被害想定額 (Akil Link Bund 破堤時)

Province	District	浸水率(%)	Cotton	Rice	Wheat	Total
Sindh	N. Feroze	0	0	0	0	0
	Jacobabad	31.63	0	4,785,036,723	1,851,566,057	6,636,602,780
	Shikarpur	12.47	391,456	2,768,777,080	884,362,485	3,653,531,020
	Larkana	67.99	70,453,330	13,805,598,973	6,174,024,076	20,050,076,380
	Qamber	56.86	0	9,533,563,947	5,505,217,069	15,038,781,016
	Dadu	21.34	180,296,689	1,977,640,179	2,949,895,604	5,107,832,472
	Jamshoro	2.7	31,793,148	2,466,872	188,556,358	222,816,377
Balochistan	Jafferabad	39.11	76,733	8,953,531,143	8,217,594,084	17,171,201,960
	Jhal Magsi	0.56	9,212	68,452	85,921,023	85,998,687
Total		-	283,020,568	41,826,683,369	25,857,136,756	67,966,840,692

出典：アドバイザーチーム

(4) 総被害想定額

Akil Link Bund が破堤した場合の被害想定額は、前項の家屋の被害想定額と農作物の被害想定額を合計して、表 3.7.5 のように想定することができる。

表 3.7.5 Akil Link Bund 破堤時の被害想定額

項目	金額	単位
家屋被害額	2,831,933,824,000	PKR
農作物被害額	67,966,840,692	PKR
総被害額	2,899,900,664,692	PKR

出典：アドバイザーチーム

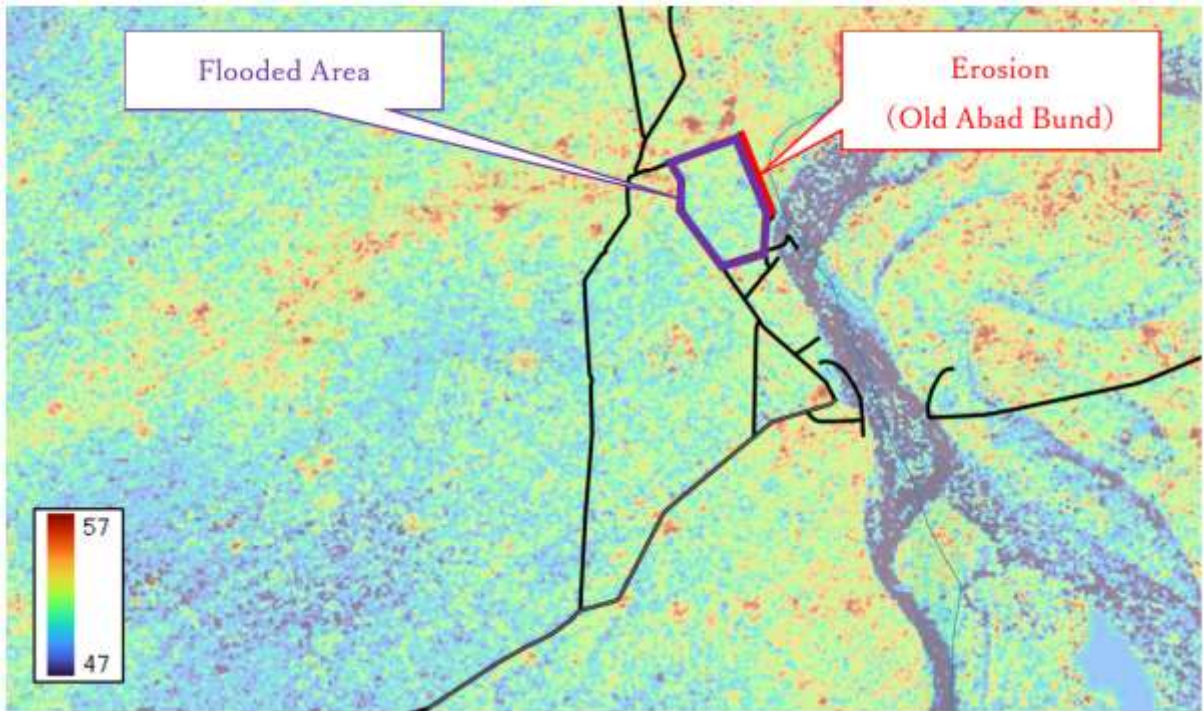
3.7.2.2 Old Abad Bund

(1) 破堤地点と氾濫域

脆弱箇所である Old Abad Bund 周辺の地盤高と堤防の状況を図 3.7.6 に、Google Earth による Old Abad Bund 周辺の地図を図 3.7.7 に示す。Old Abad Bund で浸食が発生した場合、すぐに氾濫発生の危険性があるのは、堤防で囲まれた紫色で囲った地域であり、同地域には住宅地はなく、田畑のみ存在するため、被害は限定的と考えられる。

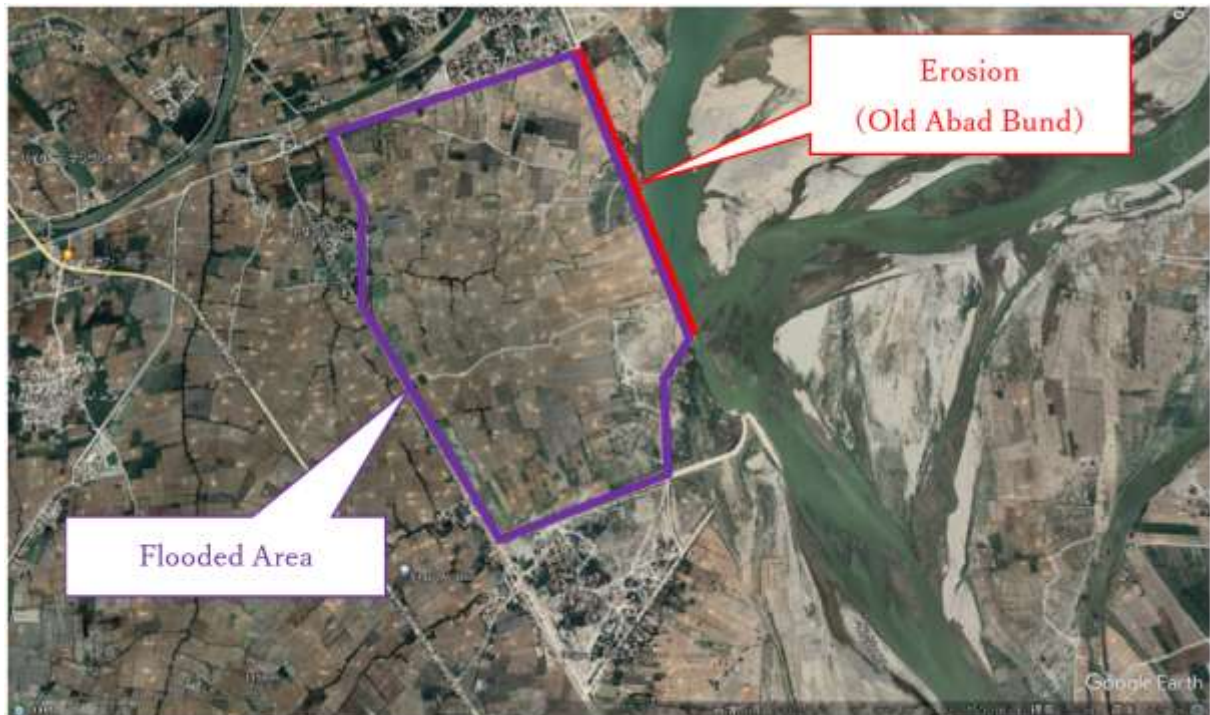
しかし、後方の堤防で氾濫が防げなかった場合、堤防付近の地盤高 52m(=170.60ft)よりも地盤高が低い地域に氾濫域が拡大する可能性がある。Old Abad Bund 付近における氾濫域拡大の想定を図 3.7.8 (地盤高) 及び図 3.7.9 (周辺地図) に示す。

Indus 川の右岸側は堤防付近の地盤高 52m(=170.60ft)より地盤高が低い地域が多く、地盤高が低い地域の全域が浸水すると仮定すると、この堤防が破堤した場合の最大の被害想定範囲は図 3.7.10 のように設定することができる。



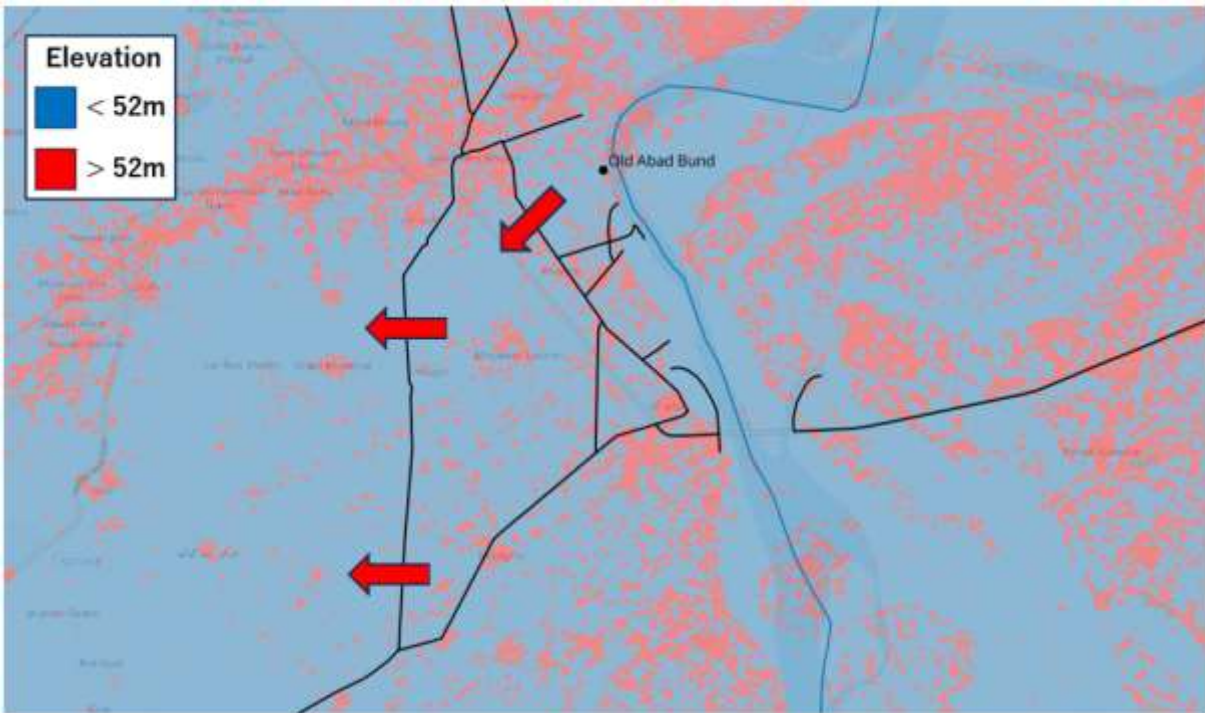
出典：アドバイザーチーム

図 3.7.6 Old Abad Bund 周辺の地盤高と堤防の状況



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.7.7 Old Abad Bund 周辺の地図



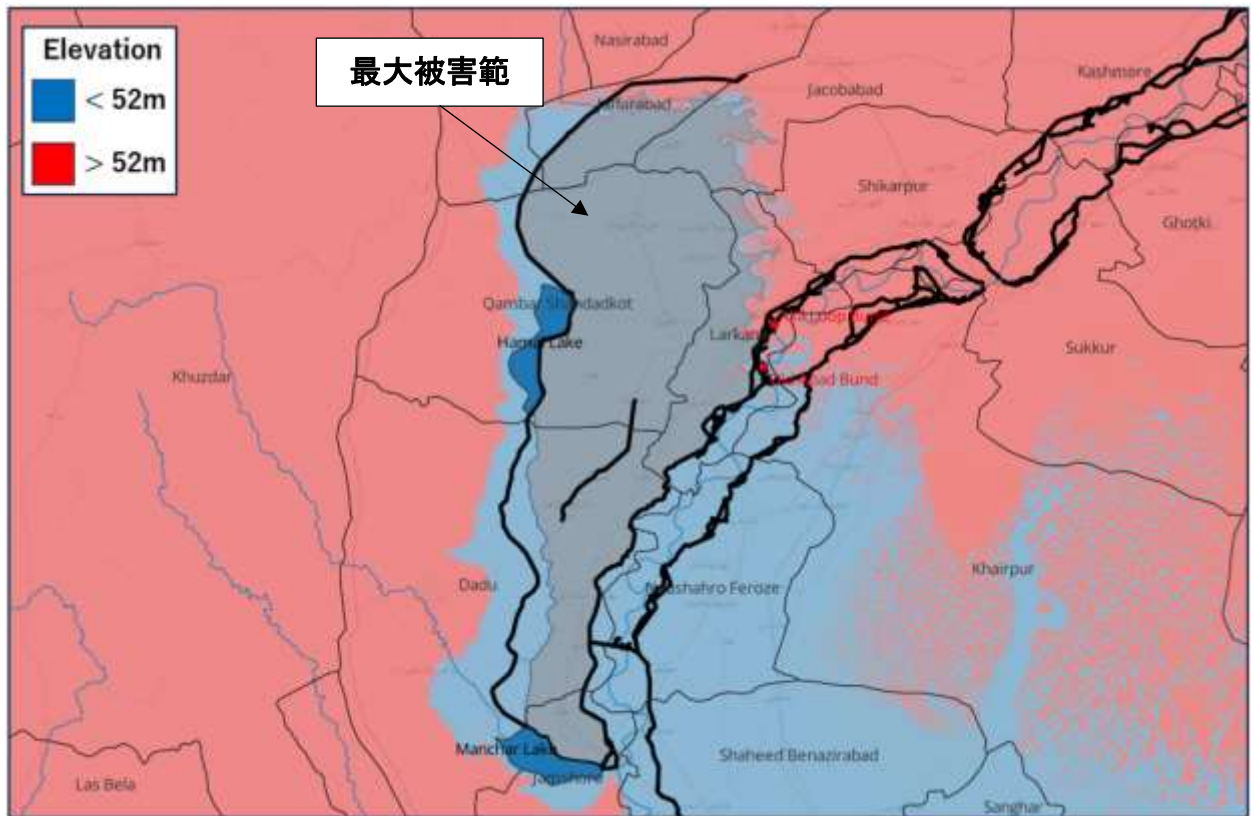
出典：アドバイザーチーム

図 3.7.8 Old Abad Bund 付近における氾濫域拡大の想定（地盤高）



出典：Google Earth よりアドバイザーチームが作成

図 3.7.9 Old Abad Bund 付近における氾濫域拡大の想定（周辺地図）



出典：アドバイザーチーム

図 3.7.10 Old Abad Bund が破堤した場合の最大被害範囲

(2) 家屋の被害想定額

3.1.3 節で行った方法と同様の方法を用いて、Old Abad Bund が破堤した場合の家屋の被害想定額を算出すると、表 3.7.6 に示すように約 2.4 tri. PKR と見積もることができる。なお、被災世帯数の算出は Tehsil ごとに表 3.7.7 のように算出した。

表 3.7.6 家屋の被害想定額 (Old Abad Bund 破堤時)

項目	金額	単位
1件当たりの家屋評価額	8,000,000	PKR
世帯数	497,133	-
家屋資産額	3,977,064,000,000	PKR
被害率	0.592	-
家屋被害額	2,354,421,888,000	PKR

出典：アドバイザーチーム

表 3.7.7 Tehsil 単位の浸水面積・人口・世帯数の算定

Province	District	Tehsil	総面積(km2)	総面積(mi2)	浸水面積(km2)	浸水面積(mi2)	浸水率(%)	人口	1世帯当たりの人数	世帯数	被災人口	被災世帯数
Sindh	Qambar Shahdadkot	Qubo Saeed Khan	623	241	483	186	77.46	85,970	5.55	15,490	66,593	11,999
		Shahdadkot	398	154	398	154	100.00	202,745	5.55	36,531	202,745	36,531
		Miro Khan	772	298	772	298	100.00	427,150	5.55	76,964	427,150	76,964
		Kambar Ali Khan	2,755	1,064	707	273	25.66	395,206	5.55	71,208	101,408	18,272
		Warah	1,059	409	828	320	78.19	229,971	5.55	41,436	179,818	32,400
	Jacobabad	Garhi Khairo	744	287	484	187	64.98	158,360	5.55	28,533	102,909	18,542
		Jacobabad	686	265	12	5	1.82	382,513	5.55	68,921	6,958	1,254
		Thul	1,341	518	0	0	0.00	465,424	5.55	—	—	—
	Shikarpur	Garhi Yasin	943	364	5	2	0.51	315,883	5.55	56,916	1,613	291
		Shikarpur	568	219	0	0	0.00	391,172	5.55	—	—	—
		Lakhi	685	264	0	0	0.00	248,143	5.55	—	—	—
		Khanpur	381	147	0	0	0.00	276,283	5.55	—	—	—
	Sukkur	Sukkur	312	121	0	0	0.00	551,357	5.55	—	—	—
		Pano Aqil	900	347	0	0	0.00	435,823	5.55	—	—	—
		Rohri	1,049	405	0	0	0.00	371,104	5.55	—	—	—
		Salehpat	2,943	1,136	0	0	0.00	129,619	5.55	—	—	—
	Larkana	Ratodero	591	228	143	55	24.26	331,584	5.55	59,745	80,447	14,495
		Larkana	568	219	367	142	64.59	738,069	5.55	132,985	476,693	85,891
		Bakrani	332	128	194	75	58.37	229,444	5.55	41,341	133,928	24,131
		Dokri	419	162	248	96	59.25	225,294	5.55	40,594	133,486	24,052
	Dadu	Mehar	993	384	681	263	68.54	460,679	5.55	83,005	315,768	56,895
		Khairpur Nathan Shah	2,605	1,006	392	151	15.04	334,258	5.55	60,227	50,259	9,056
		Dadu	818	316	593	229	72.51	460,481	5.55	82,970	333,886	60,160
		Johi	3,577	1,381	41	16	0.00	294,848	5.55	—	—	—
	Naushahro Feroze	Kandiaro	666	257	0	0	0.00	446,079	5.55	—	—	—
		Moro	755	292	0	0	0.00	368,789	5.55	—	—	—
		Mehrabpur	484	187	0	0	0.00	—	5.55	—	—	—
		Bhiria	398	154	0	0	0.00	424,684	5.55	—	—	—
	Jamshoro	Naushahro Feroze	733	283	0	0	0.00	372,821	5.55	—	—	—
		Sehwan	2,342	904	304	118	13.00	269,291	5.55	48,521	35,001	6,306
		Thano Bula Khan	5,275	2,037	0	0	0.00	145,450	5.55	—	—	—
		Manjhand	2,429	938	0	0	0.00	140,840	5.55	—	—	—
		Kotri	1,218	470	0	0	0.00	437,561	5.55	—	—	—
	Balochistan	Jhal Magsi	Jhal Magsi	1,806	697	22	8	1.21	88,575	6.87	12,893	1,070
Gandawa			2,035	786	0	0	0.00	60,650	6.87	—	—	—
Jaffarabad		Gandakha	572	221	314	121	54.99	74,976	6.87	10,914	41,233	6,002
		Usta Muhammad	402	155	204	79	50.68	186,226	6.87	27,107	94,386	13,739
		Jhat Pat	822	318	0	0	0.00	252,611	6.87	—	—	—
Total			46,001	17,761	7,193	2,777	15.64	11,409,933	—	996,301	2,785,352	497,133

出典：アドバイザーチーム

(3) 農作物の被害想定額

3.1.3 節で行った方法と同様の方法を用いて、Old Abad Bund が破堤した場合の農作物の被害想定額を算出すると、表 3.7.8 に示すように約 52 bil. PKR と見積もることができる。

表 3.7.8 農作物の被害想定額 (Old Abad Bund 破堤時)

Province	District	浸水率(%)	Cotton	Rice	Wheat	Total
Sindh	N. Feroze	0	0	0	0	0
	Jacobabad	17.9	0	2,707,940,478	1,047,835,360	3,755,775,838
	Shikarpur	0.19	5,964	42,186,660	13,474,649	55,667,273
	Larkana	49.86	51,666,466	10,124,241,283	4,527,678,195	14,703,585,943
	Qamber	56.85	0	9,531,887,274	5,504,248,863	15,036,136,138
	Dadu	21.36	180,465,664	1,979,493,638	2,952,660,267	5,112,619,569
	Jamshoro	2.7	31,793,148	2,466,872	188,556,358	222,816,377
Balochistan	Jafferabad	28.85	56,603	6,604,688,660	6,061,815,119	12,666,560,382
	Jhal Magsi	0.57	9,377	69,674	87,455,327	87,534,378
Total		-	263,997,223	30,992,974,538	20,383,724,137	51,640,695,898

出典：アドバイザーチーム

(4) 総被害想定額

Old Abad Bund が破堤した場合の被害想定額は、前項の家屋の被害想定額と農作物の被害想定額を合計して、表 3.7.9 のように想定することができる。

表 3.7.9 Old Abad Bund 破堤時の被害想定額

項目	金額	単位
家屋被害額	2,354,421,888,000	PKR
農作物被害額	51,640,695,898	PKR
総被害額	2,406,062,583,898	PKR

出典：アドバイザーチーム

第4章 Manchar 湖の排水システム強化プロジェクト

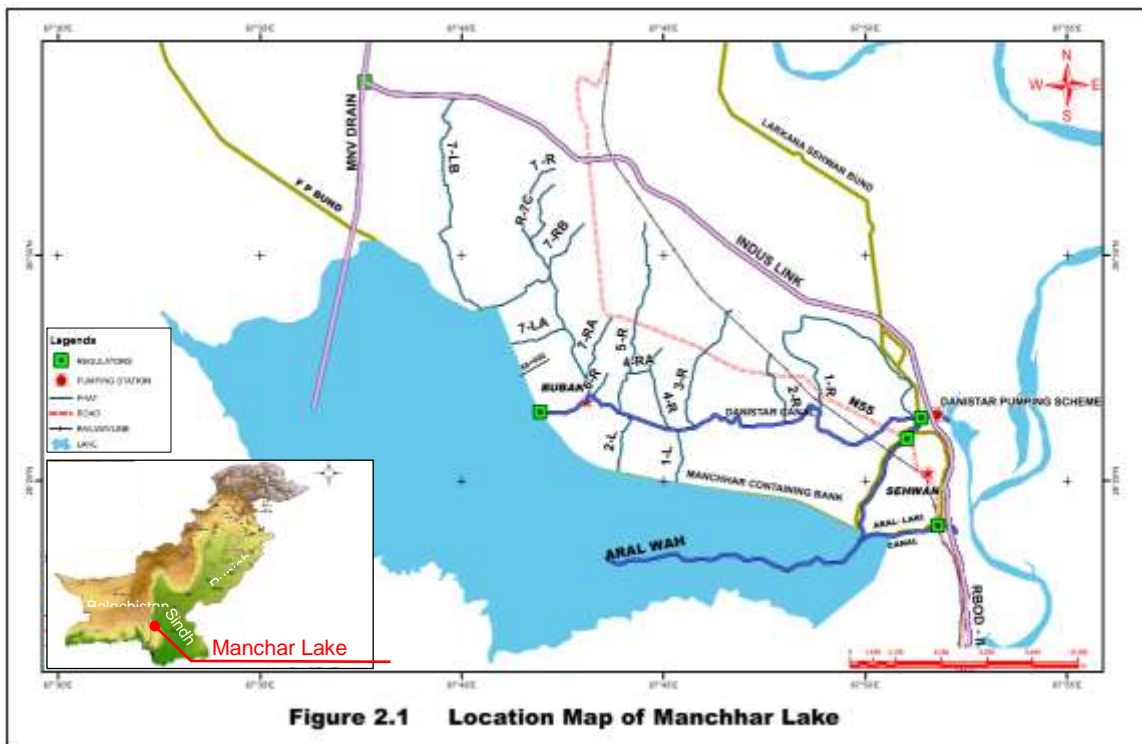
4.1 RBOD 流域・排水域及び周辺における河川・水路

4.1.1 概要

Manchar 湖はパキスタン最大の浅水自然湖で、Sehwan から西方に 18km の距離にあり、Sindh 州 Jamshoro District の Sehwan 近くに位置している。西は Kirthar 丘陵、南は Laki 丘陵、東は Indus 川に面している。Manchar 湖は、浅い皿状の湖で、湖面積は流入量に応じて 50~270 km² に変化し、その水源は、Indus 川と Kirthar 丘陵等の Hill Torrent 地域である。図 4.1.1 に Manchar 湖の位置図を示す。

基本的に、湖水は Hill Torrent 地域と Indus 川からの流入によってもたらされる。さらに、Main Nara Valley Drain (MNVD) も主な水源である。MNVD の目的は主に、Hill Torrent 地域からの洪水と灌漑水路の流れを Manchar 湖に流下させることであった。RBOD-II がまだ完成していないため、後に RBOD-I と RBOD-III の農業排水及び塩水（発生源は Hill Torrent 地域及び塩分を含んだ地下水であると類推される）を流下させるために改良が行われ、その結果 MNVD は Manchar 湖に直接流入し、湖の汚染に影響を与え、自然湿地の生態系及び湖面で生活する「船の人」にも深刻な影響を与えている。

なお、RBOD-I の上流側に RBOD-III が計画されており、その対象地域は Hamal 湖より上流～州境界までである。RBOD-I, II, III それぞれの位置関係を図 4.1.2 に示す。



出典: Draft Feasibility Report on Feasibility Study/ Planning for Supplying Economical Flows in Manchar Lake, September 2017.

図 4.1.1 Manchar 湖位置図

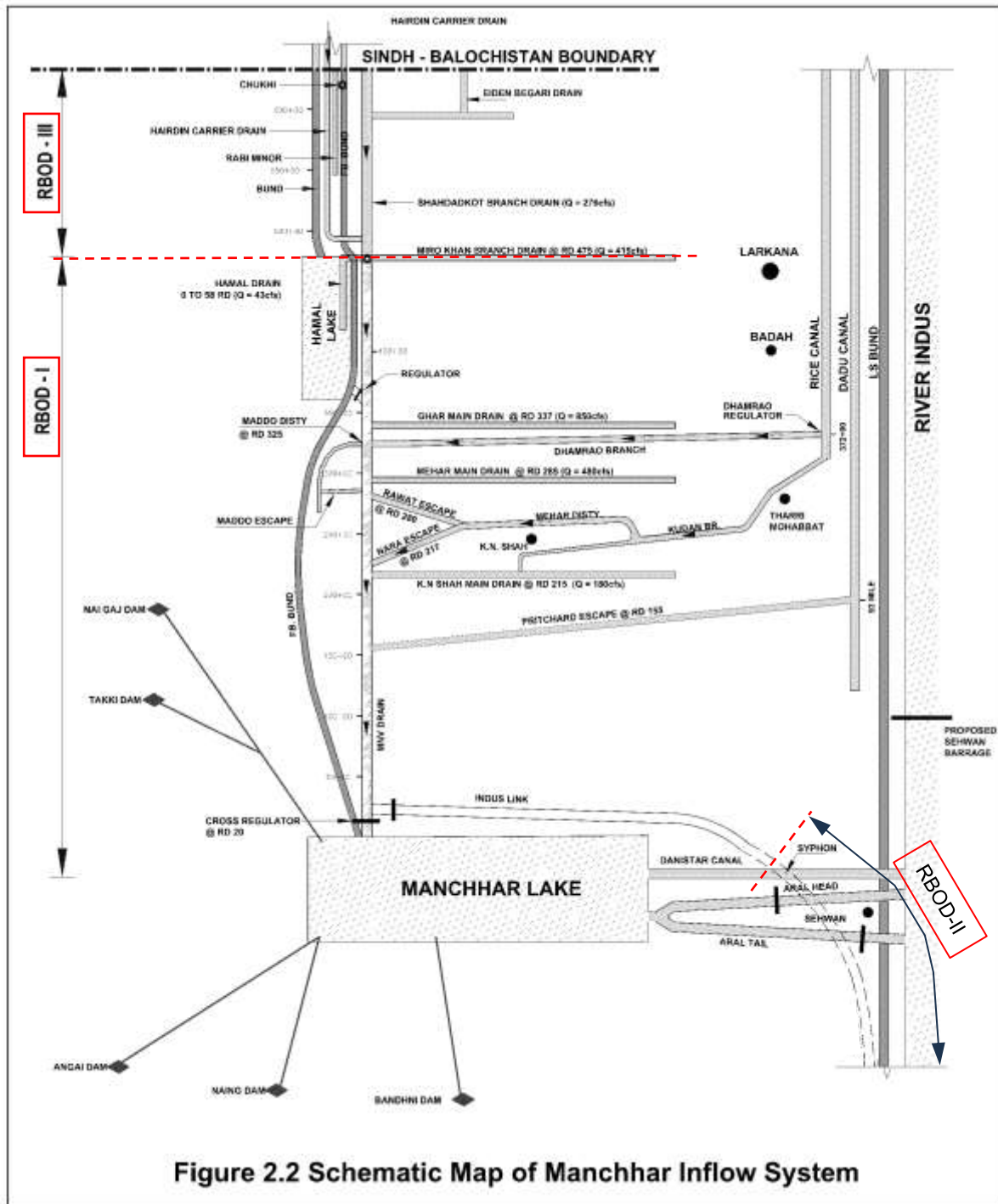


Figure 2.2 Schematic Map of Manchhar Inflow System

出典: Draft Feasibility Report on Feasibility Study/ Planning for Supplying Economical Flows in Manchhar Lake, September 2017 に追記

図 4.1.2 RBOD-I, II, III の位置関係

4.1.2 既存水路

(1) ROD Projects

1) RBOD-I プロジェクト

RBOD-I プロジェクトは、主に Sukkur 及び Guddu Barrage の右岸から排水のために構築されている。このプロジェクトで恩恵を受ける地域は 5,186km² であり、検討対象地域の主要な部分は、Sindh 州の Larkana、Kamber-Shahdadkot、Dadu、Jamshoro の District 内にある。

2) RBOD-II プロジェクト

RBOD-II (Sehwan から海に続く排水路) については、Indus 川に影響を与えることなく、Sukkur 及び Guddu Barrages の右岸から Indus 川に沿って設置することが計画されている。この排水路は、Sehwan で RBOD-I に接続され、Gharo 周辺の海域に直接放流される。対象地域内では、排水路の流量は、Khui (RD-754) まで、2,271 cfs (= 64.3 m³/s) であり、ここで K.G. Drain が RBOD と合流し、2,721 CFS (=77.1m³/s) となる。その後、将来の推定流出量を考慮し、Khui まで 3,525cfs (=99.8m³/s)、下流に計画する排水施設まで 3,975cfs (= 112.6 m³/s) を流下可能となるように拡大される。排水施設の排水能力は 4200 cfs (= 118.9 m³/s) である。

3) RBOD-III Project

RBOD-III プロジェクトは、Balochistan 州の Nasirabad District と Jafarabad District、Sindh 州の Jacobabad District と Kambar Shahdadkot に広がる Indus 川の右岸に位置している。このプロジェクトは、対象地域の様々な排水路システムの流水を集約して排水する。

(2) Main Nara Valley Drain

Main Nara Valley Drain (MNVD) は、F.P Bund (RD 364)に 1972 年に建設された Head Regulator (堰) から分岐している。F.P Bund の西側には、Hamal 湖が位置しており、Hamal 湖の排水は、MNVD へと流れ込む。

4.1.3 Indus 川に接続する既存水路

図 4.1.3 に、Indus 川に接続する既存水路を示す。2023 年 6 月の時点で、Sehwan 周辺には Indus 川に流れ込む 4 つの水路がある。

- ✓ Indus Link
- ✓ Danister Canal
- ✓ Aral Wah(Head)
- ✓ Aral Laki(Tail)

Indus Link は Manchar 湖に接続されておらず、RBOD-II と呼ばれる Indus Link を下流に延長する水路として再建設する計画である。2023 年 6 月現在、Indus Link は、Aral Tail と Indus 川の合流点付近で Indus 川へ流入している。

(1) Aral Wah(Head)

この水路は、Indus 川の水位が Manchar 湖水位より高い場合、Indus 川からの河川水を Manchar 湖に供給する。Aral Wah(Head)の Head Regulator (堰)は、Larkana Sehwan Bund (L.S Bund) から西方約 16.4km に位置している。計画最大放流量 4,370 cusecs (=123.7 m³/s) のこの堰は、水需要に応じて Manchar 湖水を排出及び供給するための両方の機能のために使用される。Aral Head Regulator の堰天端高は標高 R.L 30.57m であり、Indus 川の水位が約 R.L 105 (31.75m) に上昇し、Manchar 湖の水位が低いときには、Indus 川から河川水を流入することができる。

(2) Danister Wah (Canal)

Danister Wah は、1930 代前半に Larkana Sehwan Bund (L.S Bund) の建設により閉鎖された。Sehwan の農民からの緊急の需要によって、1972 年に計画流量 500 Cusecs (= 14.2 m³/s) として Larkana Sehwan Bund の 162.5m 西方に Head Regulator (Indus 川側の堰) を建設することで再運用された。Danister Wah (Canal) は 2010 年の洪水中に損傷を受け、2012 年から 2013 年にかけて改修が実施され、計画流量約 3,500 Cusec (= 99.1 m³ / s) となった。この水路の Tail Regulator (Manchar 湖側の堰) は、Manchar 湖の湖岸堤 (MCB: Manchar Containing Bund) RD 62 に位置しており、改築前の計画流量は 500 cusec (= 14.2 m³/s) である。

(3) Aral-Laki (Tail) Canal

Aral-Laki (Tail) Canal は、Sehwan の下流の Lal Bagh の近くに位置している。この水路の流量は、Aral Tail Regulator (堰) によって制御されている。この堰は、1995 年の洪水時に損傷を受け、洪水後、両側に 1 つの水門を追加して計画流量 25,000cusec (= 707.9 m³/s) に改築をされた。この堰は Manchar 湖への供給と排水の両方の目的で運用されている。

4.1.4 Manchar 湖周辺の水収支

Feasibility Study / Planning for Supplying Ecological Flows in Manchar Lake (以下、2017 年 F/S Report) では、Manchar 湖周辺の現況及び将来の水収支について、表 4.1.1 及び図 4.1.5～図 4.1.6 のようにまとめている。2017 年 F/S Report では Manchar 湖の水質改善のために表 4.1.2 に示す対策を実施する予定であり、これらの対策に関する位置図を図 4.1.7 に示す。

表 4.1.1 Manchar 湖周辺の現況及び将来の水収支

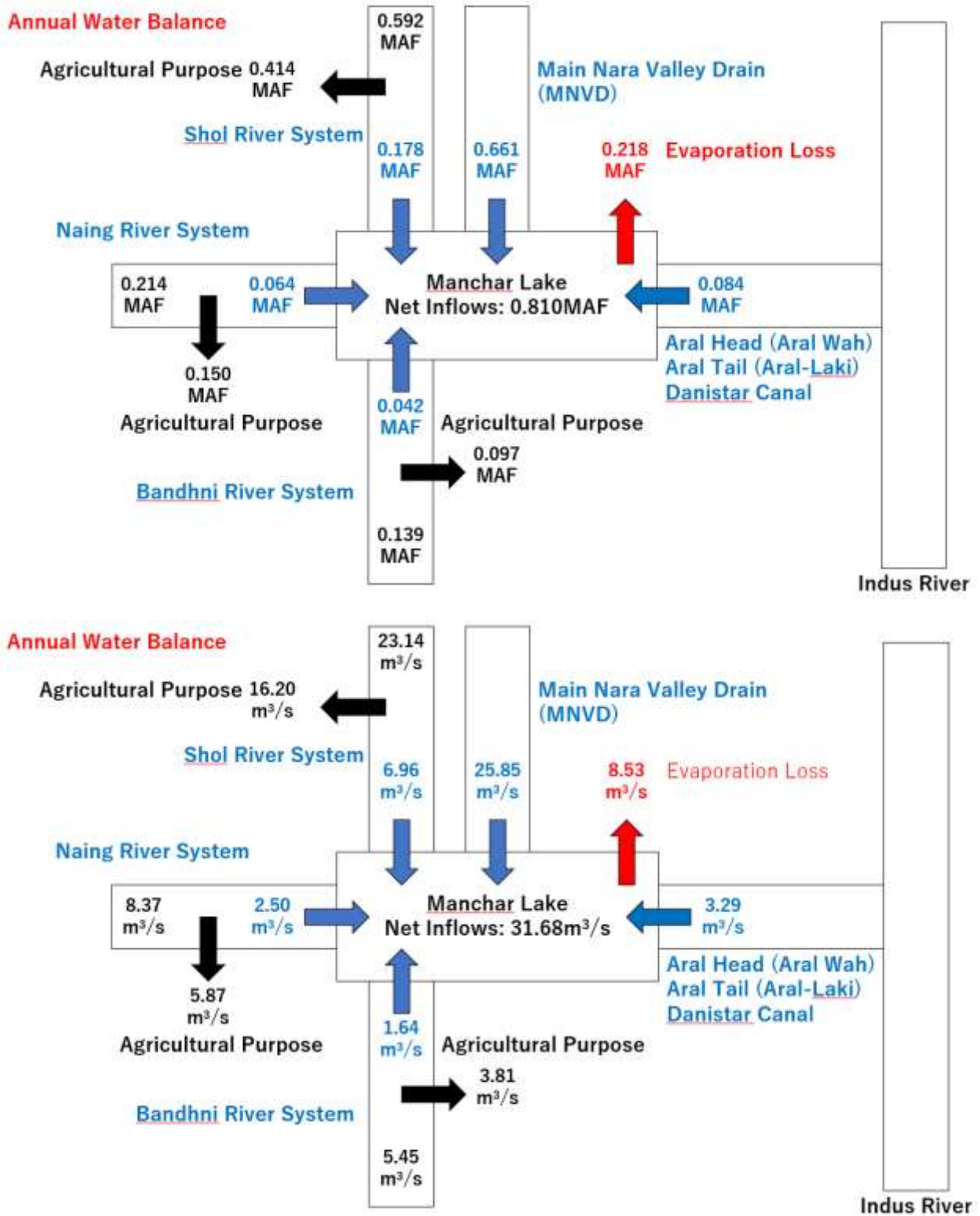
流入源	現行の水収支		将来の水収支	
	MAF	m ³ /s	MAF	m ³ /s
Shol River System	0.178	6.96	0.036	1.41
Naing River System	0.064	2.50	0.064	2.50
Bandhni River System	0.042	1.64	0.042	1.64
Indus River	0.084	3.29	0.168	6.57
Main Nara Valley Drain (MNVD)	0.661	25.85	-	-
Dhamrao Link (Proposed)	-	-	0.124	4.85
Sapna Lake (Proposed)	-	-	0.054	2.11
Total	1.029	40.25	0.488	19.09
Evaporation Loss	0.218	8.53	0.189	7.39
Net Inflows	0.810	31.68	0.299	11.69

出典：2017 年 F/S Report

表 4.1.2 Manchar 湖の水質改善のための対策案 (2017 年 F/S Report)

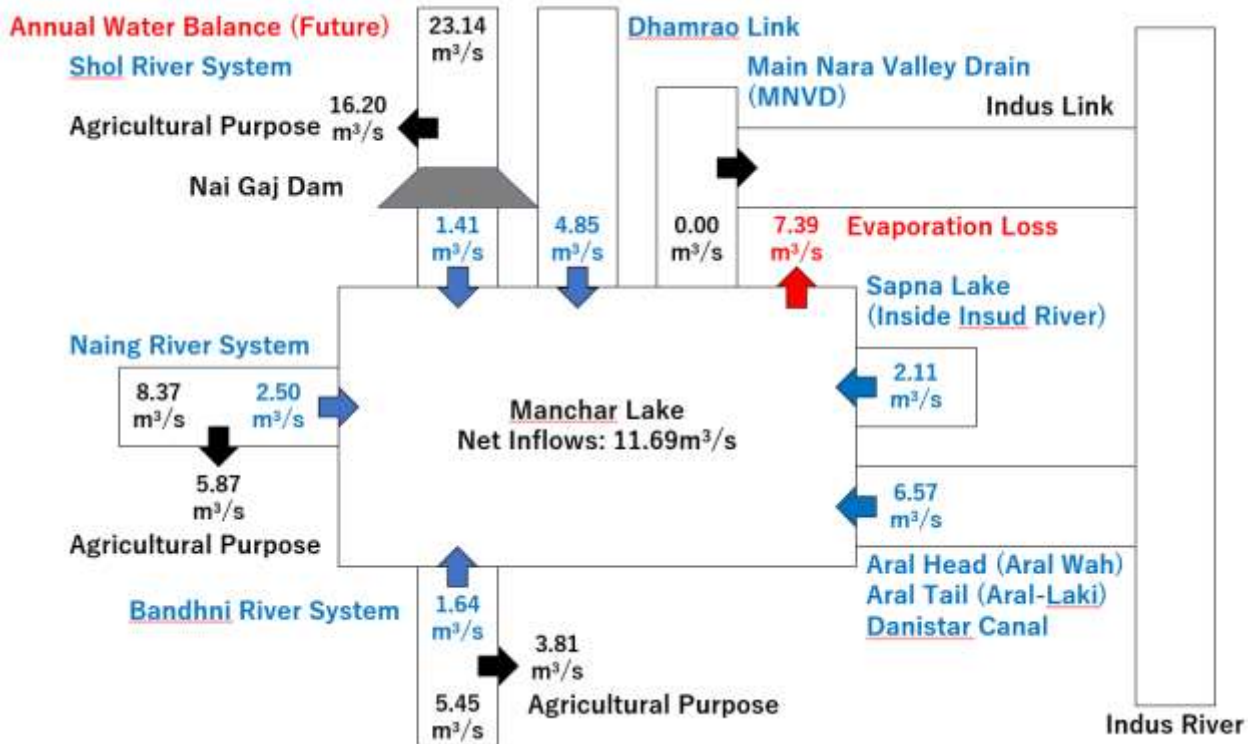
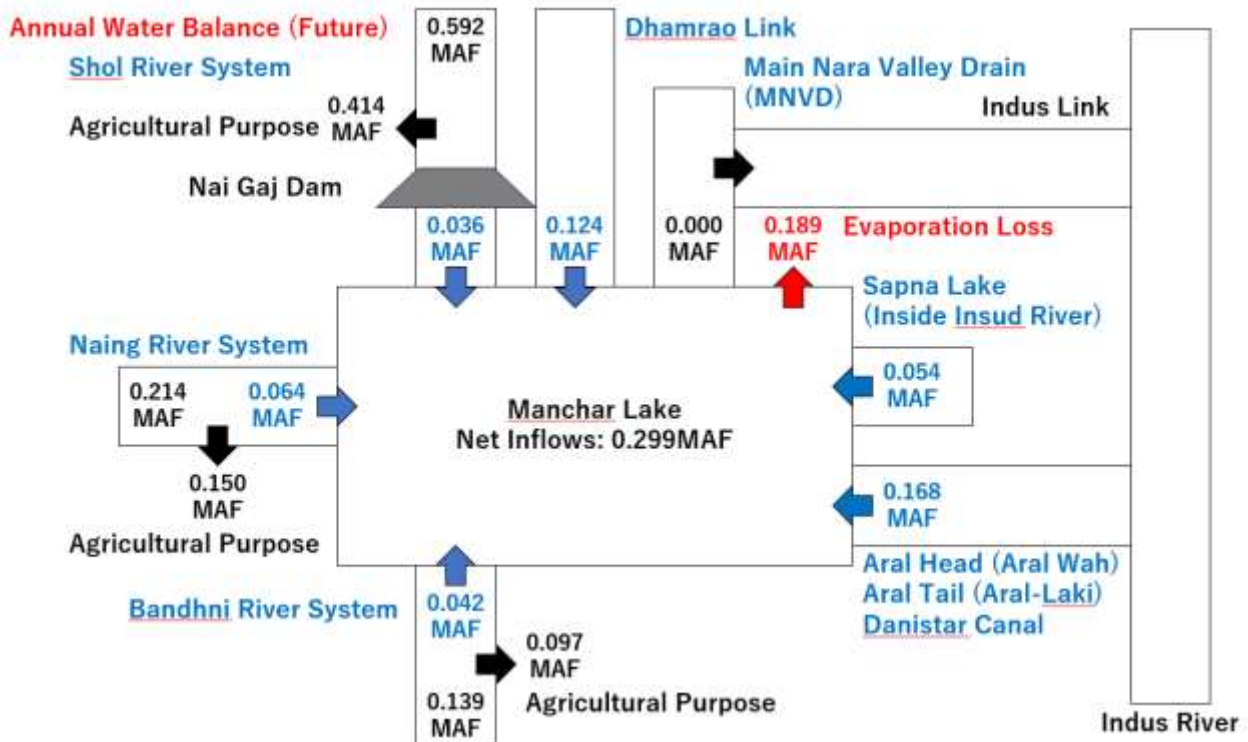
No	対策案
1	Dhamrao Link の建設
2	Nai Gaj ダムから Manchar 湖へのパイプラインの建設
3	Sapna 湖周辺のポンプ場の建設
4	Aral Wah と Aral-Laki の水路改良
5	Indus Link を通じた MNVD から Indus 川への塩水の放流
6	MNVD に流入する都市下水の排除
7	RBOD-II 水路の建設

出典：2017 年 F/S Report



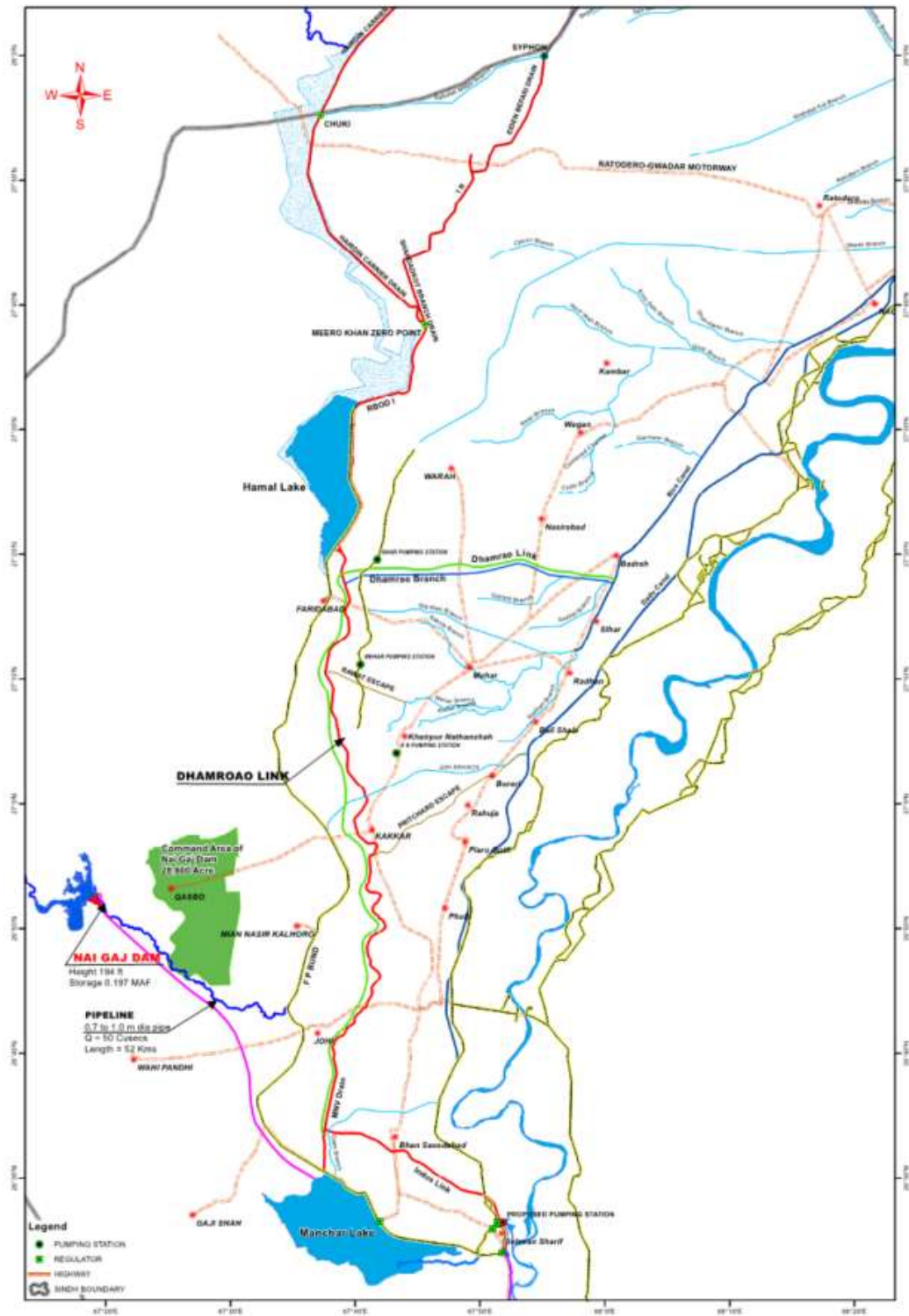
出典：2017年 F/S Report よりアドバイザーチームが作成

図 4.1.5 Manchar 湖周辺の現況の水収支



出典：2017年 F/S Report よりアドバイザーチームが作成

図 4.1.6 Manchar 湖周辺の将来の水収支



出典：2017年 F/S Report

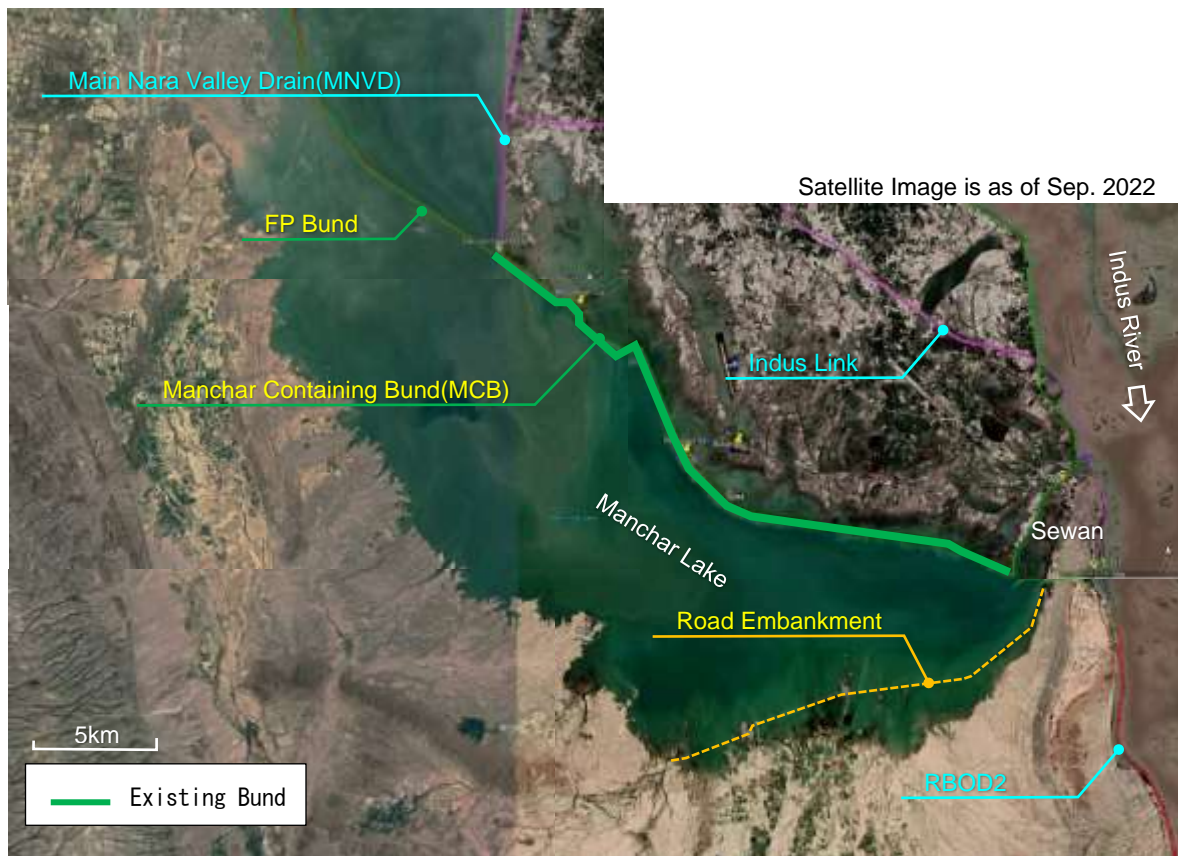
図 4.1.7 Manchar 湖の水質改善のための対策案（2017年 F/S Report）の位置図

4.2 Manchar 湖湖岸堤及び水門の状況

(1) Manchar 湖湖岸堤（MCB）の状況

Manchar 湖の北側には Manchar Containing Bund（MCB）と呼ばれる湖岸堤が配置されている。また、Main Nara Valley Drain（MNVD）の流入地点より北西側は FP Bund が湖岸堤を兼ねる形となっている。一方、湖の東側、西側、南側には堤防が配置されていない。東側、西側、南側に関しては、湖の南側に山があることや、大きな市街地がないことから、堤防は設置されていないとのことである。湖の南東側には道路盛土があり、周辺の地盤高より高くなっており、一部で堤防の機能を兼ねるような状況となっている。

図 4.2.1 に Manchar 湖周辺の堤防の状況を示す。図 4.2.1 の衛星画像は 2022.9 月撮影のもの¹であり、Sindh 州のエンジニアからの聞き取りによると、2022 年の洪水時には、FP Bund と MCB それぞれで人為破堤を行っているため、堤防背後にも浸水域が広がっている。一方、図 4.2.1 に示す状況から、南側の Road Embankment の背後にも浸水域が広がっている様子が読み取れる。Road Embankment の天端高は 2023 年 8 月現在情報が得られていないが、こちら側で人為的に既存の盛土を切り下げたという情報は得られていないことから、元々の盛土天端高は、MCB と比較して低いと推定できる。

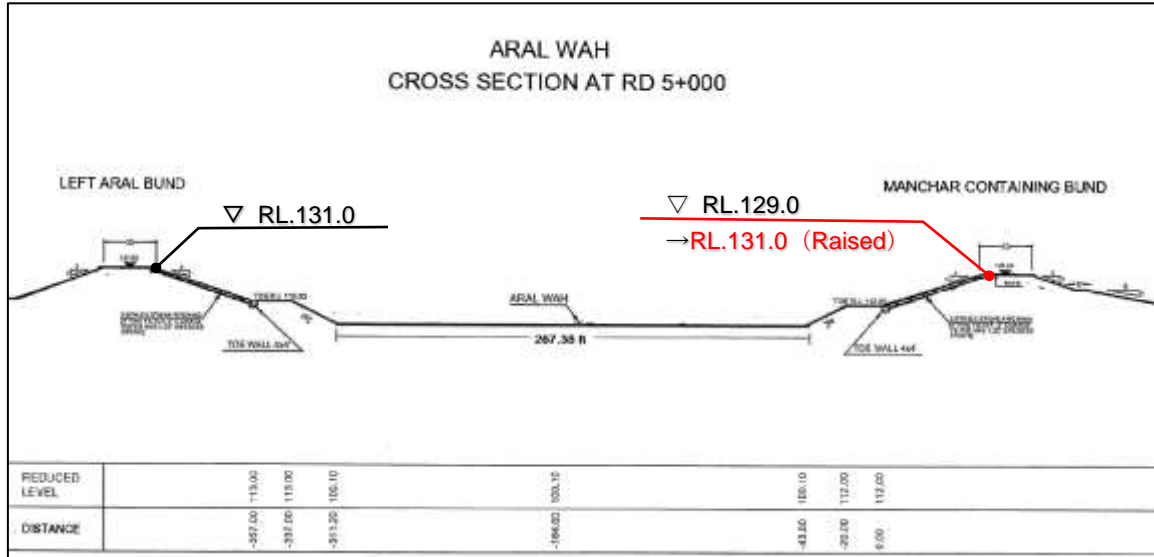


出典：Google Earth に追記

図 4.2.1 Manchar 湖周辺の堤防の状況

¹ 出典：Google Earth

MCB ではこれまで、何度か嵩上げが繰り返されており、Sindh 州のエンジニアからの聞き取りによると 2023 年 8 月現在の堤防高は標高 RL.131.0 とのことであった。これは Aral Tail の堤防高と同等である (図 4.2.2 参照)。



出典：Aral Wah Cross Section at RD 5+000 に追記

図 4.2.2 Aral Bund と MCB の現況堤防高

また、2023 年 7 時点で、既存 MCB 上での一部では法面の補修 (Stone Pitching) が行われていた。数日間降雨の続いた直後に現地踏査を行ったが、その際、堤防天端が舗装されていないことから、車両の走行に支障のある状況であった (写真 4.2.1 参照)。また、MCB の直背後は低平地になっており、2023 年 7 月の現地踏査時は、広く浸水している状況であった (写真 4.2.2 参照)。



写真 4.2.1 MCB の天端及び湖側の状況



写真 4.2.2 MCB の堤内側の状況

(2) Manchar 湖周辺の堰・水門の状況

1) Danister Head Regulator

Danister Head Regulator は Danister Canal の Indus 川側の、Aral Head との合流点付近に設置されている。表 4.2.1 に Danister Head Regulator 諸元を、図 4.2.3 に一般図を示す。また、写真 4.2.3 及

び写真 4.2.4 に 2023 年 7 月の現地踏査時の状況を示す。

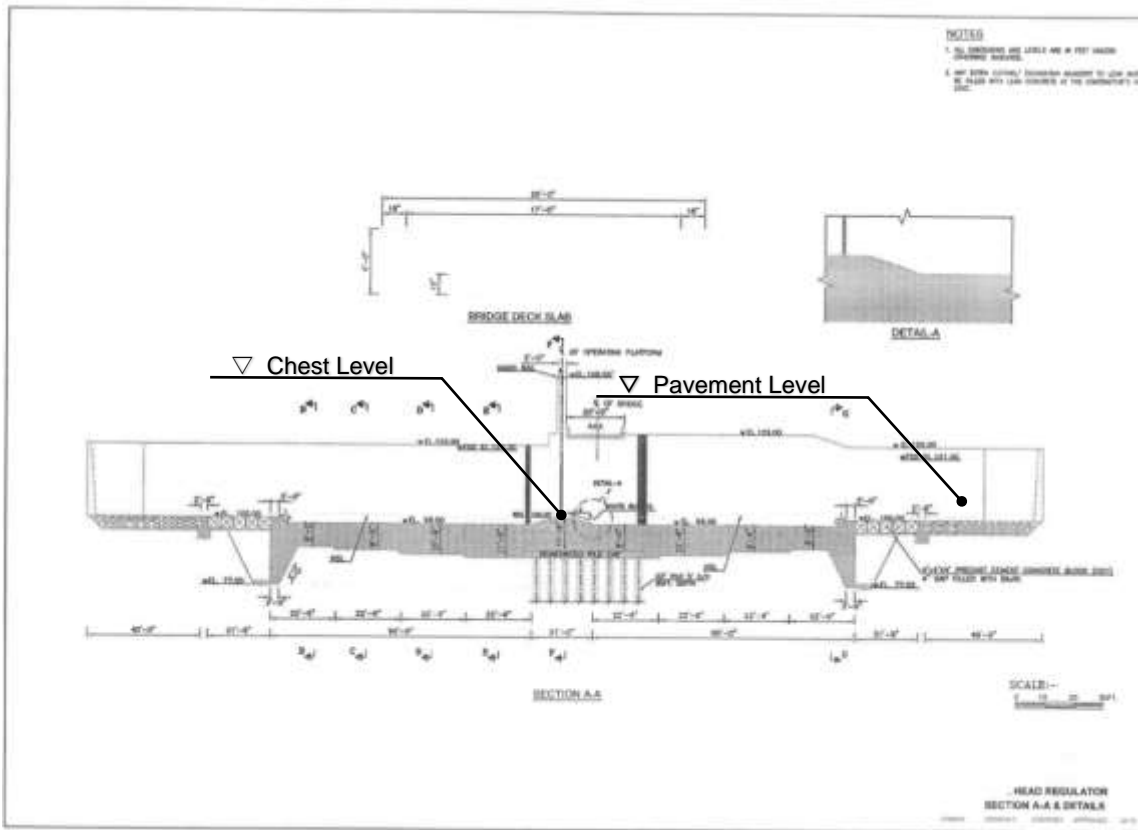
2023 年 7 月に現地踏査を行った際、設備に致命的な損傷は発生していない様子であった。直前に数日間断続的に降雨があったが、現地踏査時には通水はされていなかった。

Danister Canal は川幅 40m~50m 程度の水路であるが、Regulator 部の通水幅が 10m 程度となっている。

表 4.2.1 Danister Head Regulator 諸元

No.	項目	内容
1	No. of Gate	5 Nos.
2	Diamantine of Gate	8 x 20ft (2.44 x 6.10 m)
3	Type of Gate	Vertical Type Screw Operated
4	Discharge Capacity	3,500 cusec (99.11 m ³ /s)
5	Pavement RL	RL 100 ft (RL.30.48 m)
6	Crest RL	RL 100 ft (RL.30.48 m)
7	FSD	RL 100 ft (RL.30.48 m)

出典：Silent Features of Danister Head Regulator, PID-Sindh



出典：Silent Features of Danister Head Regulator, PID-Sindh

図 4.2.3 Danister Head Regulator 一般図



写真 4.2.3 Danister Head Regulator の状況(1) 写真 4.2.4 Danister Head Regulator の状況(2)

2) Danister Tail Regulator

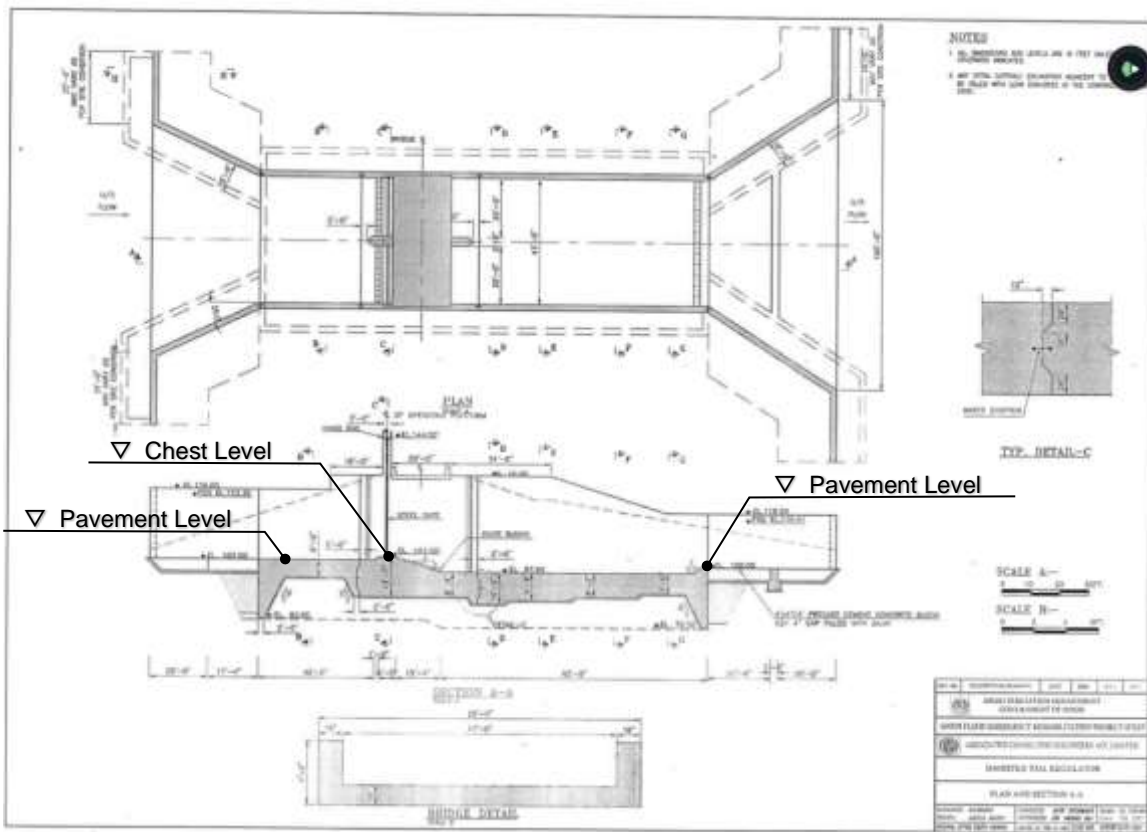
Danister Tail Regulator は Danister Canal の Manchar 湖側の、MCB との交差位置付近に設置されている。表 4.2.2 に Danister Tail Regulator 諸元を、図 4.2.4 に一般図を示す。また、写真 4.2.5 及び写真 4.2.6 に 2023 年 7 月の現地踏査時の状況を示す。

2023 年 7 月に現地踏査を行った際、既設は撤去済みで新たな Regulator の設置工事が実施中であった。Manchar 湖側に土堤による締切工を設置した上で、新設 Regulator の施工が行われていた。

表 4.2.2 Danister Tail Regulator 諸元

No.	項目	内容
1	No. of Gate	2 Nos.
2	Diamantine of Gate	20 x 24ft (6.10 x 7.32 m)
3	Type of Gate	Vertical Type Counter Balanced
4	Discharge Capacity	9,000 cusec (254.85 m ³ /s)
5	Pavement RL	Manchar Side RL 102 ft (RL.31.09 m) Land Side RL 97.90 ft (RL.29.84 m)
6	Crest RL	RL 103 ft (RL.31.39 m)
7	FSD	RL 123.3 ft (RL.37.58 m)

出典：Silent Features of Danister Tail Regulator(62) New Under Construction, PID-Sindh



出典：Silent Features of Danister Tail Regulator(62) New Under Construction, Sindh PID

図 4.2.4 Danister Tail Regulator 一般図



写真 4.2.5 Danister Tail Regulator の状況

(1)



写真 4.2.6 Danister Tail Regulator の状況

(2)

3) Aral Head Regulator

Aral Head Regulator は Aral Head の Indus 川側の、Indus Highway との交差位置付近に設置されている。

(a) 既設 Regulator

表 4.2.3 に既設 Regulator 諸元を、図 4.2.5 に一般図を示す。また、写真 4.2.7 及び写真 4.2.8 に

2023年7月の現地踏査時の状況を示す。

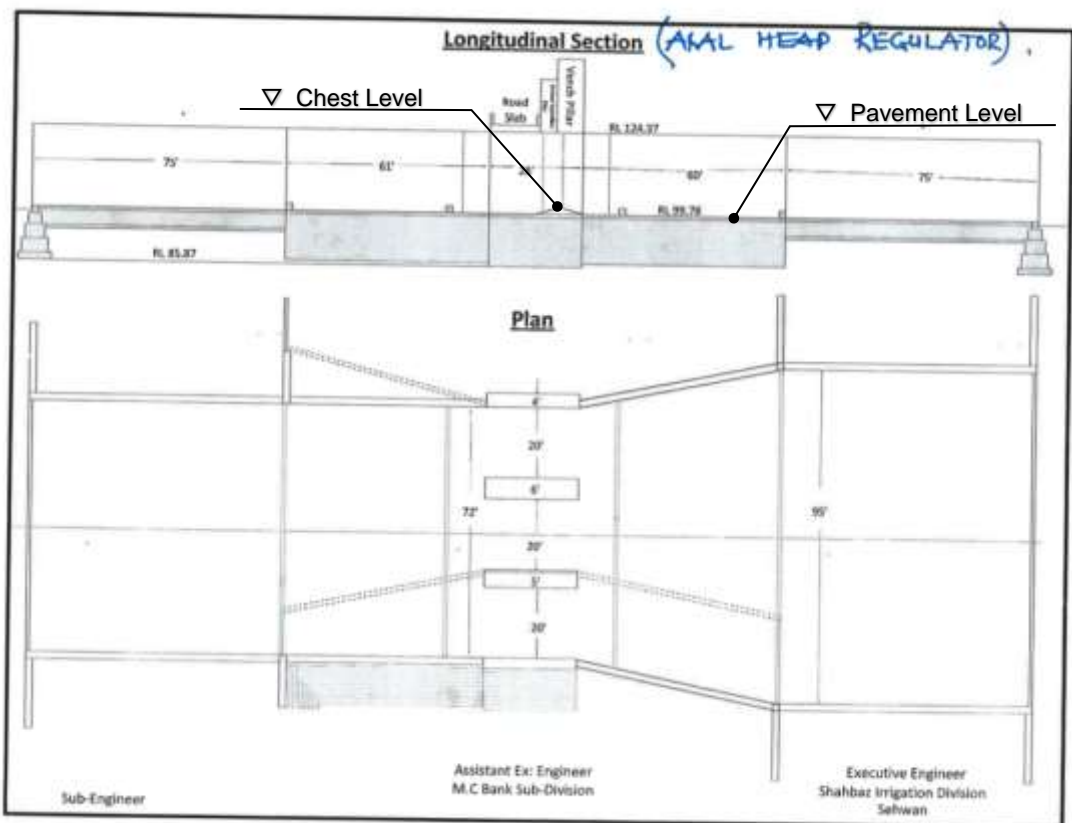
2023年7月に現地踏査を行った際、大きな損傷はない様子であった。一方、既設 Regulator の上流側では新 Regulator の設置工事が実施されており、通水はしていなかった。

Aral Head は川幅 110m～130m 程度の水路であるが、既設 Regulator 部の通水幅が 20m 程度であり、当該箇所がボトルネックとなっている。

表 4.2.3 既設 Aral Head Regulator 諸元

No.	項目	内容
1	No. of Gate	3 Nos.
2	Diamantine of Gate	20 x 22 ft (6.10 x 6.71 m)
3	Type of Gate	Vertical Type Counter Balanced
4	Discharge Capacity	10,000 cusec (283.7 m ³ /s)
5	Pavement RL	RL 99.78 ft (RL.30.41 m)
6	Crest RL	RL 101.37 ft (RL.30.90 m)
7	FSD	RL 121.5 ft (RL.37.03 m)

出典：Silent Features of Aral Head Regulator OLD, Sindh PID



出典：Silent Features of Aral Head Regulator New Designed/ Under Construction, Sindh PID

図 4.2.5 既設 Aral Head Regulator 一般図



写真 4.2.7 既設 Aral Head Regulator (1)



写真 4.2.8 既設 Aral Head Regulator (2)

(b) 新 Regulator

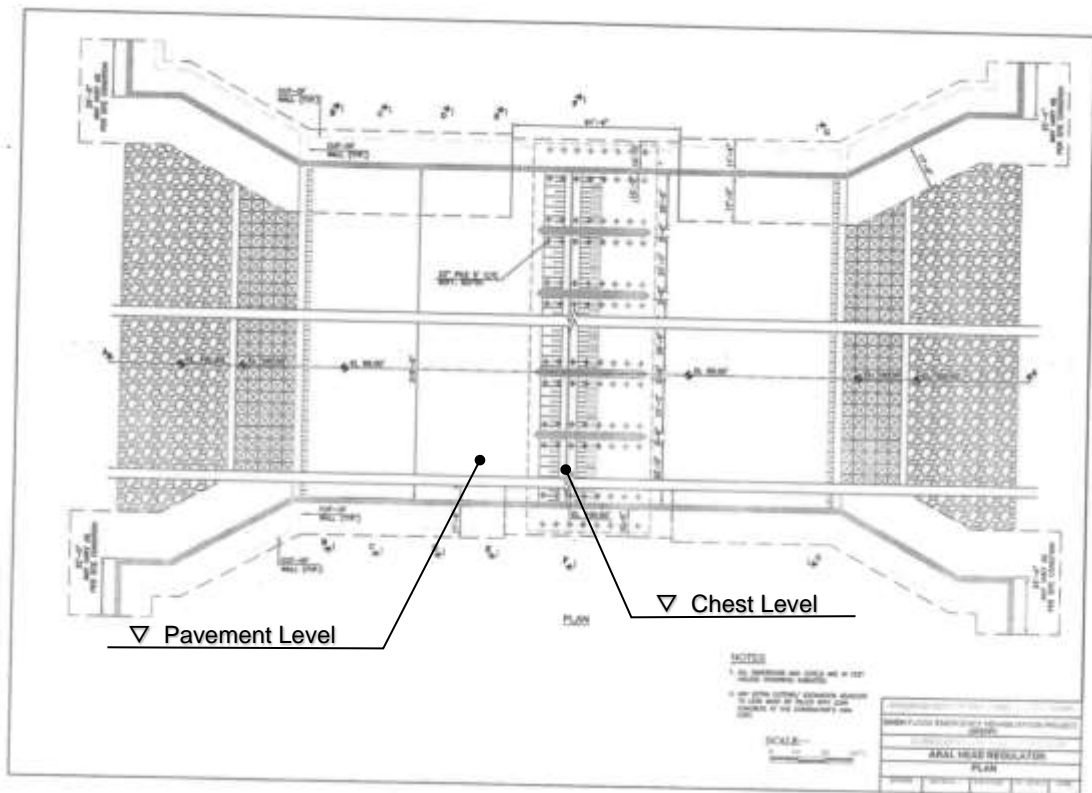
表 4.2.4 に新 Regulator 諸元を、図 4.2.6 に一般図を示す。また、写真 4.2.9 及び写真 4.2.10 に 2023 年 7 月の現地踏査時の状況を示す。

2023 年 7 月に現地踏査を行った際、新 Regulator の設置工事が実施されており、通水されていなかった。新 Regulator の位置は既設の鉄道橋梁との交差部付近となる。

表 4.2.4 新 Aral Head Regulator 諸元

No.	項目	内容
1	No. of Gate	14 Nos.
2	Diamantine of Gate	20 x 24 ft (6.10 x 7.32 m)
3	Type of Gate	Vertical Type Counter Balanced
4	Discharge Capacity	90,000 cusec (2548.52 m ³ /s)
5	Pavement RL	RL 98 ft (RL.29.87 m)
6	Crest RL	RL 100 ft (RL.30.48 m)
7	FSD	RL 123.5 ft (RL.37.64 m)

出典：Silent Features of Aral Head Regulator New Designed/ Under Construction, Sindh PID



出典：Silent Features of Aral Head Regulator New Designed/Under Construction, Sindh PID

図 4.2.6 新 Aral Head Regulator 一般図



写真 4.2.9 新設 Aral Head Regulator (1)



写真 4.2.10 新設 Aral Head Regulator (2)

4) Aral Tail Regulator

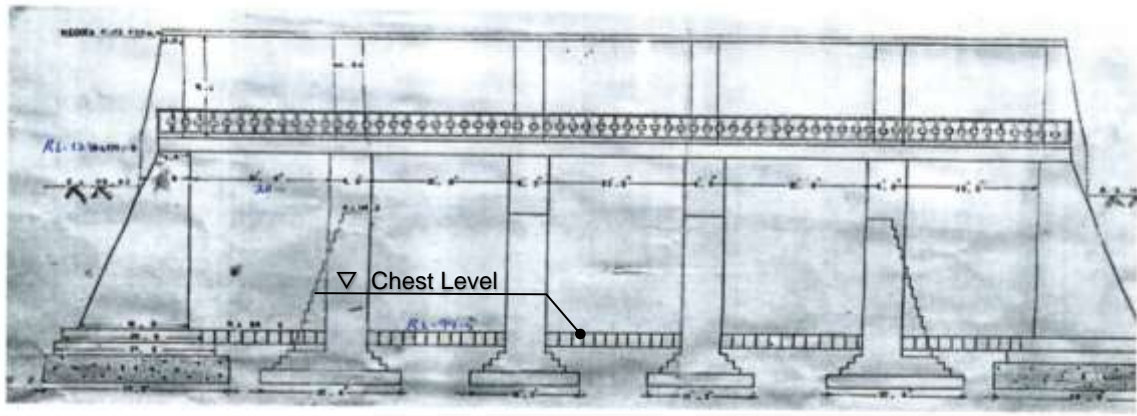
Aral Tail Regulator は Aral Tail の Indus 川側の、Indus Highway との交差部付近に設置されている。表 4.2.5 に Aral Tail Regulator 諸元を、図 4.2.7 に一般図を示す。また、写真 4.2.11 及び写真 4.2.6 に 2023 年 7 月の現地踏査時の状況を示す。

2023 年 7 月に現地踏査を行った際、特に大きな損傷は確認されなかった。Aral Tail は川幅 70m ～80m 程度の水路であるが、Regulator 部の通水幅が 30m 程度であり、当該箇所がボトルネックとなっている。

表 4.2.5 Aral Tail Regulator 諸元

No.	項目	内容
1	No. of Gate	5 Nos.
2	Diamantine of Gate	20 x 24 ft (6.10 x 7.32 m)
3	Type of Gate	Vertical Type Counter Balanced
4	Discharge Capacity	25,000 cusec (707.92 m ³ /s)
5	Pavement RL	RL 98.5 ft (RL.30.02 m)
6	Crest RL	RL 99.5 ft (RL.30.33 m)
7	FSD	RL 121.5 ft (RL.37.03 m)

出典 : Silent Features of Aral Tail Regulator, Sindh PID



出典 : Silent Features of Aral Tail Regulator, Sindh PID

図 4.2.7 Aral Tail Regulator 一般図



写真 4.2.11 Aral Tail Regulator (1)



写真 4.2.12 Aral Tail Regulator (2)

4.3 湖岸堤・水門・水路の運用・維持管理

Manchar 湖は、水質悪化及び洪水に対応するため多くの水路、水門、湖岸堤が設置されてきた。主な施設を表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 Manchar 湖の主な水路、水門、湖岸堤

Canel Name	Discharge Capacity (cusec;m3/s)	Connection Water gate
Aral Wah(Head)	2670 cusec (75.6m3/s)	Aral Head Regulator
Danister Wah(Canel)	3,500cusec (99.1m3/s)	Danister Head Regulator- Danister Tail Regulator
Aral Laki(Tail)	2500cusec (70.8m3/s)	Aral Tail Regulator
Water Gate/Weir Name	Diamantine of Gate	Installation Canel
Danister Head Regulator	8 x 20ftx 5 Nos. (2.44 x 6.10 m)	Danister Wah(Canel) ;Indus river side
Danister Tail Regulator	20 x 24ft x 2 Nos. (6.10 x 7.32 m)	Danister Wah(Canel) ;Indus river side
Aral Head Regulator	20 x 24 ft x 14 Nos. (6.10 x 7.32 m)	Aral Wah(Head) ;Indus river side
Aral Tail Regulator	20 x 24 ft x 5 Nos. (6.10 x 7.32 m)	Aral Laki(Tail) ;Indus river side
Lakeshore Embankment Name		Location
Manchar Containing Bund (MCB)		North side of Machar Lake
FP Bund		Connected to MCB
Road Embankment		South side of Machar Lake

出典：アドバイザーチーム

4.3.1 水路の運用・維持管理

Manchar 湖は、Main Nara Valley Drain(MNVD)からの排水による水質悪化で、農業、漁業、生活用水に大きな影響が出ている。また、洪水時においても湖水位が湖岸堤高近くまで上昇し、湖岸堤を人為的に切り欠く事態となった。このような状況であるため、PID は、水質改善及び洪水対策のため Indus 川と接続する 3 つの水路の運用・維持管理を行っている。各水路の以下に運用状況を示す。

1) Aral Wah (Head)

この水路は Indus 川の河川水を Manchar 湖に流入させることを主目的としている。Indus 川堤防にある Aral Head 堰の開閉により湖への用排水路としての機能を有し、水路の流量調節を行っている。水路は、灌漑水路としての運用に加え、洪水時には、Manchar 湖の水位を低下させるため Indus 川への排水路として機能する。この水路による灌漑面積は、約 10,100ha である。

2) Danister Wah (Canal)

当初は、洪水の排水路として設置されたが、現在、Manchar 湖からの排水及び灌漑水路として運用されている。用排水路及び灌漑水路としての運用は、Indus 川の Danister Head Regulator（堰）、Manchar 湖の Danister Tail Regulator の開閉によって行われている。この水路による灌漑面積は、約 14,200ha である。

3) Aral leki (Tail)

この水路は Manchar 湖と Indus 川を繋ぐ用排水路として運用されている。用排水路としての運用は、Indus 川の Danister Tail Regulator の開閉によって行われている。なお、この水路では Indus 川の土砂堆積による水路断面減少が問題となっている。

現況水路の維持管理状況及び課題を以下に列挙する。

- ・ 2022 年洪水被害のため修復中の水路が多い。
- ・ 灌漑水路については、灌漑水位は圃場より高く、排水を容易にするため水路底は圃場より低くする。
- ・ 水路及び堤防の定期点検、災害前後の被害状況点検を行う。
- ・ 計画通りの断面を確保する。
- ・ 水路の洗堀、法面の浸食等の対策をする。
- ・ 周辺の土砂の流入を防止する。
- ・ 堤防修復の盛土材、締固め度等の品質管理、施工管理を行う。
- ・ 牛の侵入対策を行う。

4.3.2 水門・堰の運用・維持管理

Manchar 湖と Indus 川間の 3 本の水路には、それぞれ灌漑及び洪水対策のための水門が設置されている。また、流入水路 MNVD、FP Bund には、排水水門がある。これらの水門の運用・維持管理を以下に示す。

各水門の運用は、適切に行われ大きな問題発生はない。ただし、2022 年洪水で Danister Wah(canal) の多くの被害により、既存水門の排水能力向上の必要性が出てきた。現在、Danister Tail Regulator 及び Danister Head Regulator が改築中である。

水門・堰には、PID スタッフが常駐して 24 時間体制で運用、維持管理を行っている。ただし、統一的な運用・維持管理及び定期点検等のマニュアルはない。今後、適切な運用・維持管理を行うために取り組むべき課題を以下に列挙する。

- ・ 定期点検、災害前後の被害状況点検を行う。
- ・ 安全度評価、劣化診断等の点検マニュアルを整備する。
- ・ 開閉機能不全等の緊急対応マニュアルの作成を行う。

ただし、現状の問題点を明確にして、実用的なマニュアルの整備が必要となる。

4.3.3 湖岸堤の運用・維持管理

Manchar 湖は、灌漑及び洪水対策に対応するため湖岸堤が設置されている。Manchar 湖北に位置する Manchar Containing Bund (MCB)は、Manchar 湖の水位維持、堤内防御のための重要な堤防である。Manchar 湖には、他に MCB につながる FB Bund、南側に Road Bund がある。また、Indus 川の氾濫防御のための Indus Link Bund、RBOD-II Bund 等がある。なお、湖岸堤は、50 年確率規模で設計されている。

湖岸堤の維持管理については、Punjab 州で Hydraulic Structures Safety Evaluation Unit (HSSEU)が設立され堤防の安全度評価を始めている。災害時などに随時点検を行っている。今後、適切な運用・維持管理を行うための課題を示す。

- ・ 標準断面図に基づいた形状、構造を確保する。
- ・ 堤防修復の盛土材、締固め度等の品質管理、施工管理を行う。
- ・ 浸透漏水対策をする。
- ・ 主要堤防(MCB)については、災害時でも通行可能な構造とする。
- ・ 堤防防御対策として、補修、水防活動に使用する資機材を近傍に保管する。
- ・ 堤防点検診断マニュアルを整備する。

4.4 Manchar 湖の洪水管理の概要

Manchar 湖の洪水管理に係る運用方法について、Sindh 州のエンジニアからの聞き取りでは、Manchar 湖と Indus 川の水位関係に応じて水門操作を行っているということであったが、2023 年 8 月現在具体的な操作手順書等の資料は得られていない。

一方で 2022 年の洪水時における、各施設のゲート運用状況に関する資料を Sindh 州より入手した。当該資料によると、2022 年 8 月から 11 月までの間の各施設におけるゲートの運用上は表 4.4.1 の通りであった。また、同じ期間における Manchar 湖の日水位を図 4.4.1 に示す。

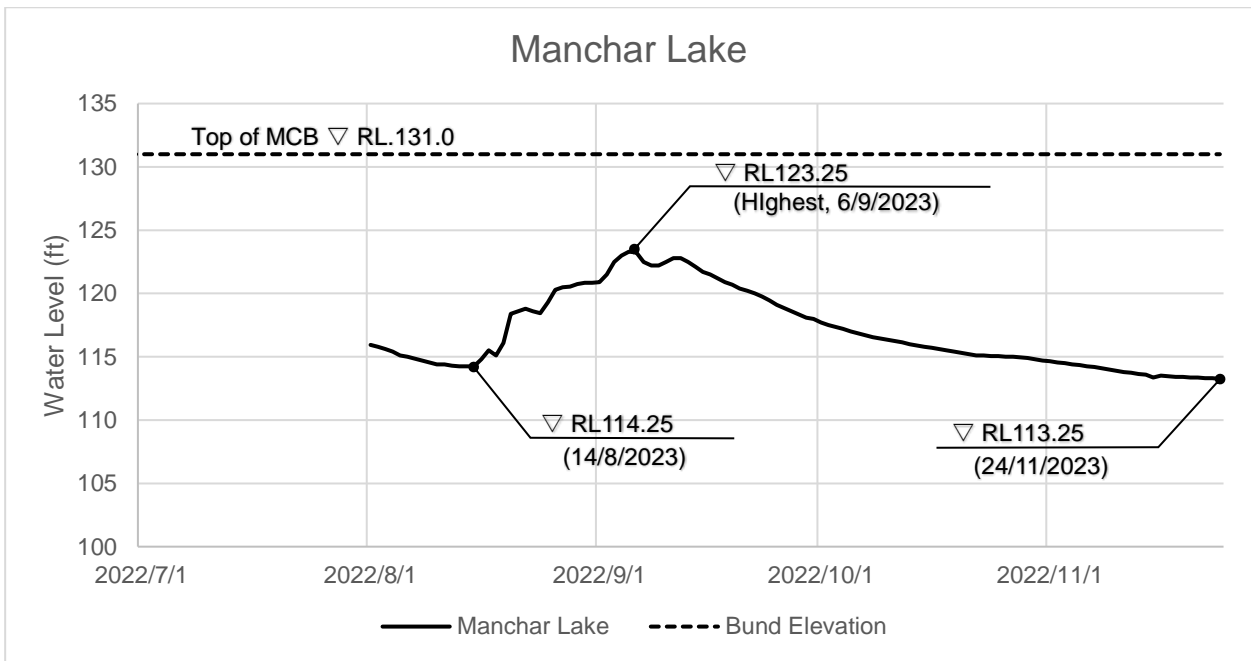
表 4.4.1 より、いつの時点でゲートを開けたのかは不明であるが、少なくとも 2022 年洪水期間中においては、Aral Head Regulator 及び Aral Tail Regulator は全開で運用されていたことがわかる。なお、この期間の水位は RL.113.25ft(=34.52 m)以上であり、かつ後述の図 4.6.8 に示す Regulator 位置の水位より、当該期間中 Manchar 湖の水位の方が Indus 川の水位よりも高い状態が継続していた。なお、RL113 は MCB の湖側小段高と同等程度である (図 4.2.2 参照)。

このような状況から、Manchar 湖の水位が高く、危険レベルと判断される状況においては、Aral Head Regulator 及び Aral Tail Regulator を全開にして Manchar 湖へ排水するという運用がされていることは推定できる。

表 4.4.1 各施設のゲート運用記録 (2022/8/1~2022/11/24)

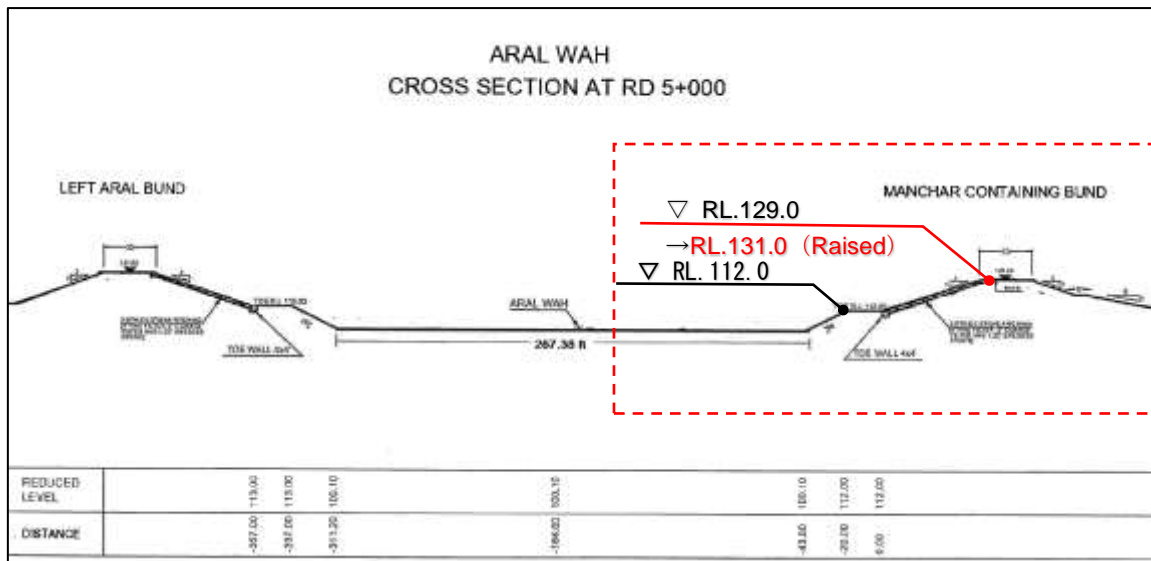
期間	Aral Head Regulator	Aral Tail Regulator	Danister Head Regulator (Indus River 側)	Danister Tail Regulator (Manchar Lake 側)
2022年8月1日~ 2022年9月9日	Full Open	Full Open	Close	Close
2022年9月9日~ 2022年9月13日	Full Open	Full Open	Full Open	Close
2022年9月13日~ 2022年11月24日	Full Open	Full Open	Close	Close

出典：Sindh PID



出典：Sindh PID

図 4.4.1 Manchar 湖の日水位 (2022/8/1~2022/11/24)



出典：Aral Wah Cross Section at RD 5+000 に追記

図 4.4.2 MCB の現況断面図

今後の F/S 段階の検討においては、ゲート運用に関するより詳細なルールを確認するとともに、より長い期間の Manchar 湖の水位及びゲートからの放流量・ゲート運用記録を入手し、放流開始及び放流終了のタイミングとなる水位設定を行う必要がある。

また、最低水位に関して、Maintaining Conservation Level above 標高 R.L.110 という記述²があり、標高 R.L.110 を利水や湖の水質維持の面から設定されている最低水位と考える。

4.5 Manchar 湖における進行中または関連事業

Manchar 湖では、2022 年の被害に対して緊急洪水対策工事が実施されている。工事は、世界銀行 (WB) 資金 (212 mil. USD) に基づき Sindh Flood Emergency Rehabilitation Project (SFERP) の元を実施される。この緊急洪水対策工事のパッケージ数を表 4.5.1、施工延長を表 4.5.2 に示す。

表 4.5.1 緊急洪水対策工事のパッケージ数

S. No	DESCRIPTION OF EMERGENT REHABILITATION PACKAGES UNDER SFERP	No. of Packages
1	Rehabilitation of Manchar Containing Bund (100RD) 30 kms	4
2	Rehabilitation of FP Bund (596RD) 180 kms	9
3	Rehabilitation of Left Aral Bund (RD0+000TOR19+000) 6 kms	1
4	Remodeling & Rehabilitation of Aral Head Regulator (MCRD0+000)	1
5	Remodeling and Rehabilitation of Aral Wah (14RD) 4 km	1
6	Rehabilitation of Danister Channel (RD0+000toRD56+434) 17 kms	2
7	Remodeling and Rehabilitation of Danister Tail Regulator and Regulator for 10 Phats (Minors) Danister Canal (Civil Works)	1
8	Rehabilitation of Gates in Aral Head Regulator, Danister Tail Regulator and 10 Phats (Minors) Regulators	1
10	Rehabilitation of Retaining Wall along Danister Canal (Bubak/Minai Town) (3RD) 1 km	1

出典：SFERP 進捗レポート 2023 年 6 月

² Feasibility Report Feasibility Study / Planning for Supplying Ecological Flows in Manchar Lake Irrigation, Department Government of Sindh

表 4.5.2 緊急洪水対策工事の工事延長

S.No	Name of work	Total Nos. of Breaches	Length of Breach Feet	Remarks
1	Plugging and Strengthening of Relief Cut along Manchar Containing Bund at RD 14	1	750	Breach Closed
2	Plugging and Strengthening of Relief Cut along Manchar Containing Bund at RD 52	1	900	Breach Closed
3	Plugging and Strengthening of Breach along FP Bund along RD 169	1	400	Breach Closed
4	Plugging and Strengthening of Breach along FP Bund along RD 215	1	600	Breach Closed
5	Plugging and Strengthening of Breach along FP Bund along RD 340	1	1,100	Breach Closed
6	Plugging and Strengthening of Breach along FP Bund along RD 432	1	880	Breach Closed, add scope will be completed soon
7	Plugging and Strengthening of Breach along FP Bund along RD 476	1	500	Breach Closed
8	Plugging, Strengthening & Stone Pitching of Relief Cut Larkana Sehwan Bund along Mile 95/6	1	195	Breach Closed
9	Plugging, Strengthening & Stone Pitching of Relief Cut Larkana Sehwan Bund along Mile 97/2	1	895	Breach Closed
10	Plugging, Strengthening & Stone Pitching of Relief Cut Larkana Sehwan Bund along Mile 99/3	1	1,980	Breach Closed
11	Plugging and Strengthening of Breaches along Indus Link Drain	10	5,070	
12	Plugging and Strengthening of Breach along Main Nara Valley (MNV) Drain at RD 2+318	1	780	Breach Closed
13	Plugging and Strengthening of Breach along Main Nara Valley (MNV) Drain at RD 8+068	1	700	Breach Closed
14	Plugging and Strengthening of Breach along Main Nara Valley (MNV) Drain at RD 210	2	550	Breach Closed
15	Plugging and Strengthening of Breach along Main Nara Valley (MNV) Drain at RD 280	1	700	Breach Closed
16	Plugging and Strengthening of Breach along Main Nara Valley (MNV) Drain at RD 330	1	250	Breach Closed
17	Plugging and Strengthening of Breaches along Indus Link Drain	10	5,070	Work in progress
18	Rehabilitation of Manchar Containing Bund (100 RD) 30 kms	4	Not available	Work in progress
19	Rehabilitation of FP Bund (596 RD) 180 kms	9	Not available	Work in progress
20	Rehabilitation of Left Aral Bund (RD 0+000 TO RD 19+000) 6 kms	1	Not available	Work in progress
21	Remodeling & Rehabilitation of Aral Head Regulator (MC RD 0+000)	1	Not available	Work in progress
22	Remodeling and Rehabilitation of Aral Wah (14 RD) 4 km	1	Not available	Work in progress
23	Rehabilitation of Danister Channel (RD 0+000 to RD 56+434) 17 kms	2	Not available	Work in progress
24	Remodeling and Rehabilitation of Danister Tail Regulator and Regulator for 10 Phats (Minors) Danister Canal (Civil Works)	1	Not available	Work in progress
25	Rehabilitation of Gates in Aral Head Regulator, Danister Tail Regulator and 10 Phats (Minors) Regulators	1	Not available	Work in progress
26	Rehabilitation of Retaining Wall along Danister Canal (Bubak/ Minai Town) (3 RD) 1km	1	Not available	Breach Closed

出典 ; SFERP 進捗レポート 2023 年 6 月

4.6 Manchar 湖及びその流域の水文解析

4.6.1 水文解析の検討方針

水文解析の検討方針を図 4.6.1 に示す。各節の水文解析の検討内容を以下に整理する。

- 4.6.2 節では、2022 年洪水についてデータ整理を実施し、Manchar 湖の実績水位や各 Regulator の放流量等の実績データから推定流入量や溢水量を算出した。
- 4.6.3 節では、目標とする流入量波形を、2022 年洪水の確率規模、現在の排水能力、Aral Head 改修後（ALT0）の排水能力、Irrigation Manual の記述、排水能力向上策の実現可能性から総合的に判断して決定した。
- 4.6.4 節では、各排水能力向上策において、必要となる水路幅について、不等流計算等を用いて検討した。



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.1 水文解析の検討方針

4.6.2 2022 年洪水時の状況整理

4.6.2.1 2022 年洪水時の観測データの整理

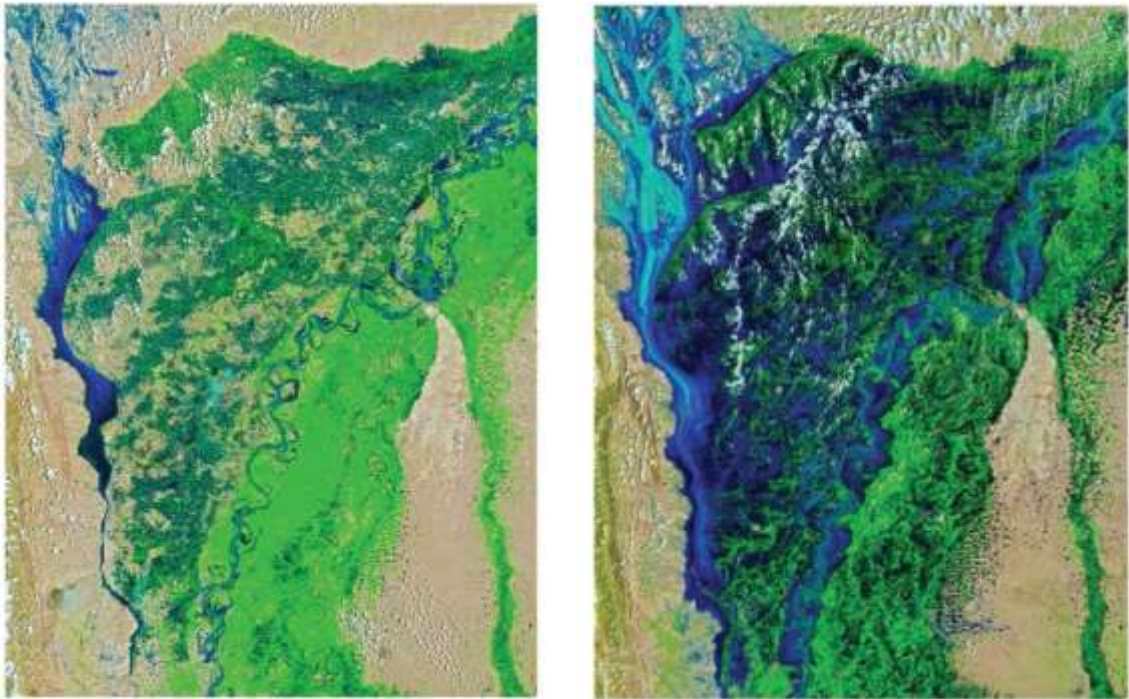
(1) 雨量観測所

Manchar 湖流域の水源は、Hill Torrent 流域（Shol River System、Naing River System、Bandhni River System）、北部の灌漑水路である MNVD(Main Nara Valley Drain)、Indus 川の 3 つである。このうち、Indus 川について洪水時は Manchar 湖からの流出となり、後述する 2022 年洪水時の Regulator のデータを確認してもほぼ常に Manchar 湖からの流出となっていた。

また、MNVD については流域図、関係水路のネットワーク、2022 年洪水時の流入量等の重要なデータが得られなかった。図 4.6.2 に示すように、2022 年洪水時に上流域の各地で浸水が発生している状況であった。さらに、図 4.6.3 に示すように、数年間の観測においても流入量は最大 $2,400\text{ft}^3/\text{s}(=68\text{m}^3/\text{s})$ 程度であり、2022 年洪水が最大 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度であることを考慮すると、MNVD が洪水時に与える影響は限定的であると判断した。そのため、本検討では Hill Torrent 流域からの流入のみを対象と考えることとする。

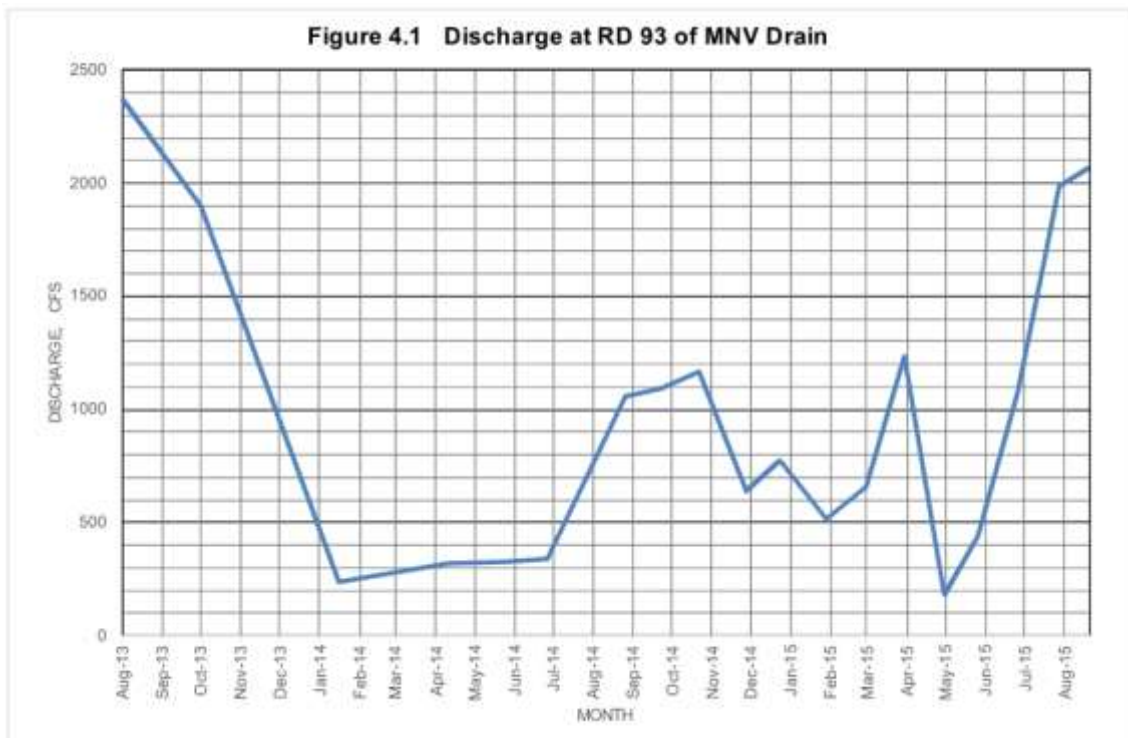
Hill Torrent 流域と周辺の雨量観測所を図 4.6.4 に示す。ただし、この図では各雨量観測所によるティーセン分割を行っている。また、Manchar 湖流域内における各雨量観測所の概要を表 4.6.1 に示す。基本的には流入量の検討はティーセン分割に基づいて実施するが、Hyderabad 雨量観測所においては降雨特性が異なるため、この雨量観測所のデータは使用しないこととした（Nawabshah 雨量観測所のデータを使用した）。また、Nawabshah 雨量観測所のデータに欠測がある場合、近隣の Padidan 雨量観測所のデータで補完した。

各雨量観測所の 2022 年 8 月～2022 年 9 月の雨量データを図 4.6.5 に示す。また、ティーセン分割領域の面積で重み付けした流域平均雨量を図 4.6.6 に示す。



出典： “Pakistan Floods 2022, Post Disaster Needs Assessment, Main Report”

図 4.6.2 2022年8月4日（左）及び28日（右）の洪水範囲の比較



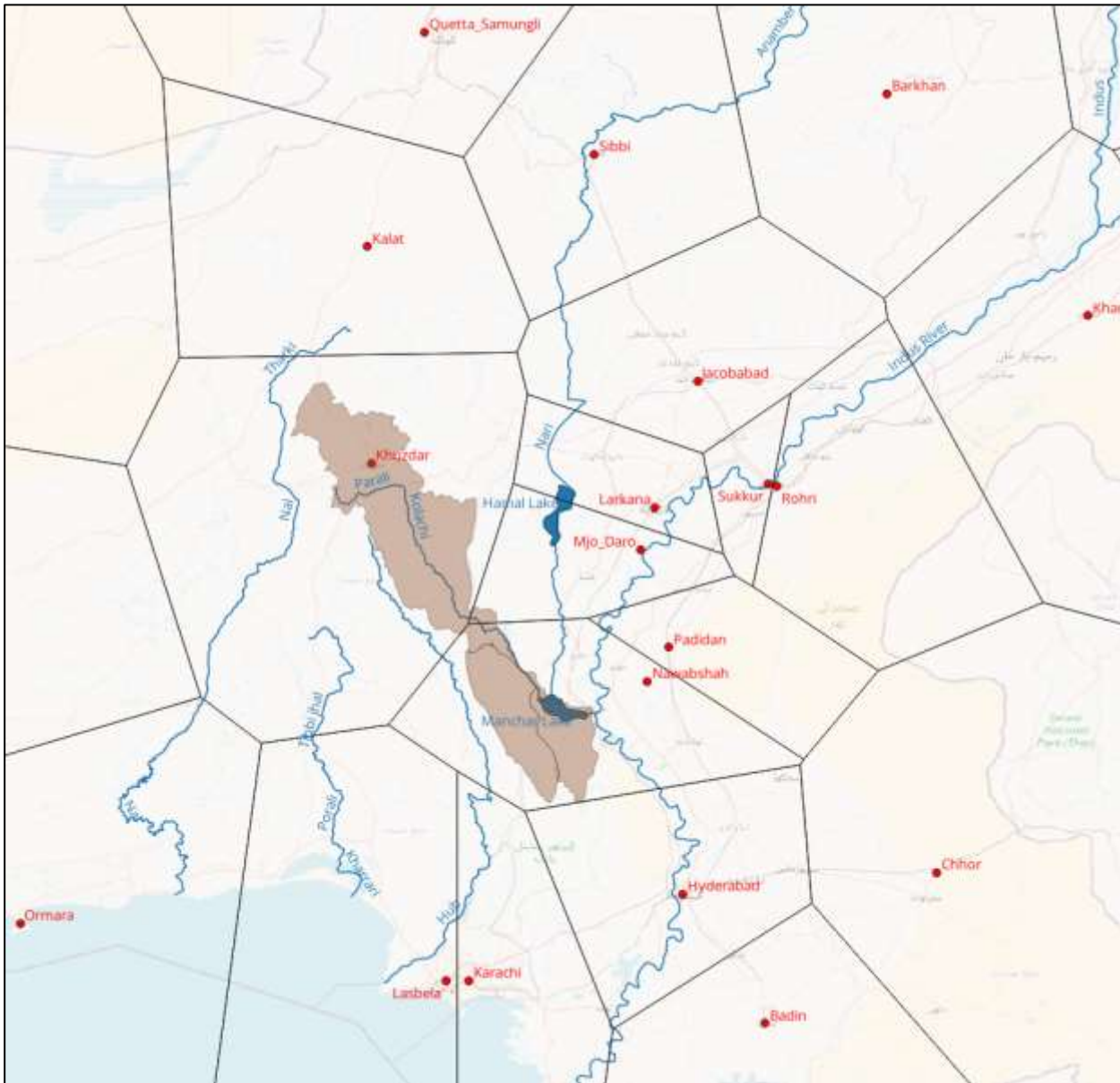
出典：2017年 F/S Report

図 4.6.3 Main Nara Valley Drain (MNVD) における流入量

表 4.6.1 Hill Torrent 流域内における各雨量観測所の概要

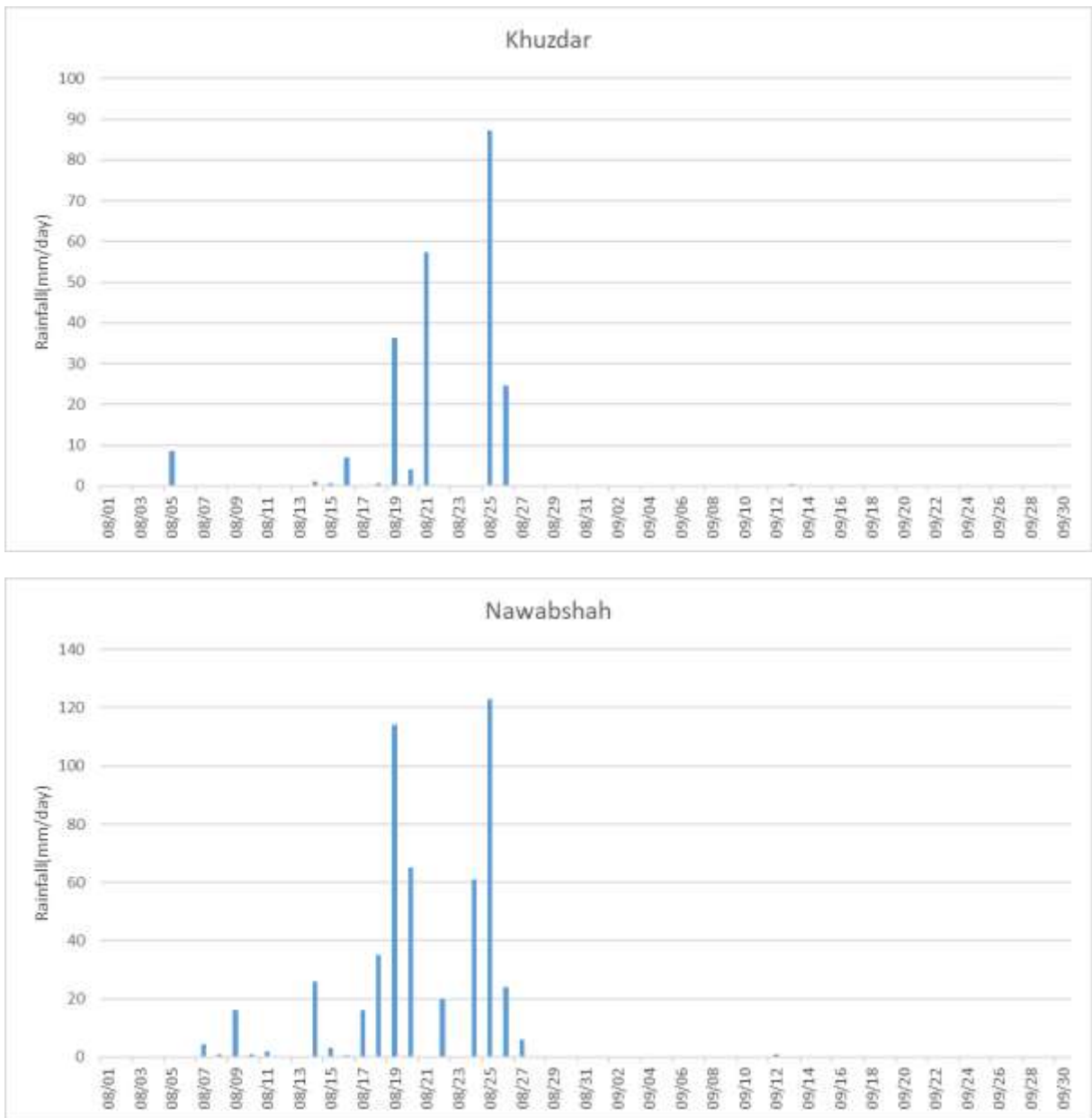
観測所名	流域面積 (km ²)	流域面積 (mi ²)	使用目的	備考
Khuzdar	6,753	2,607	流入量の推定	-
Nawabshah	4,149	1,602	流入量の推定	-
Mjo Daro	126	49	流入量の推定	-
Padidan	-	-	データ補完	Nawabshah が欠測のときに補完する。
Hyderabad	1	0	-	異なる降雨特性のため使用しない。

出典：アドバイザーチーム



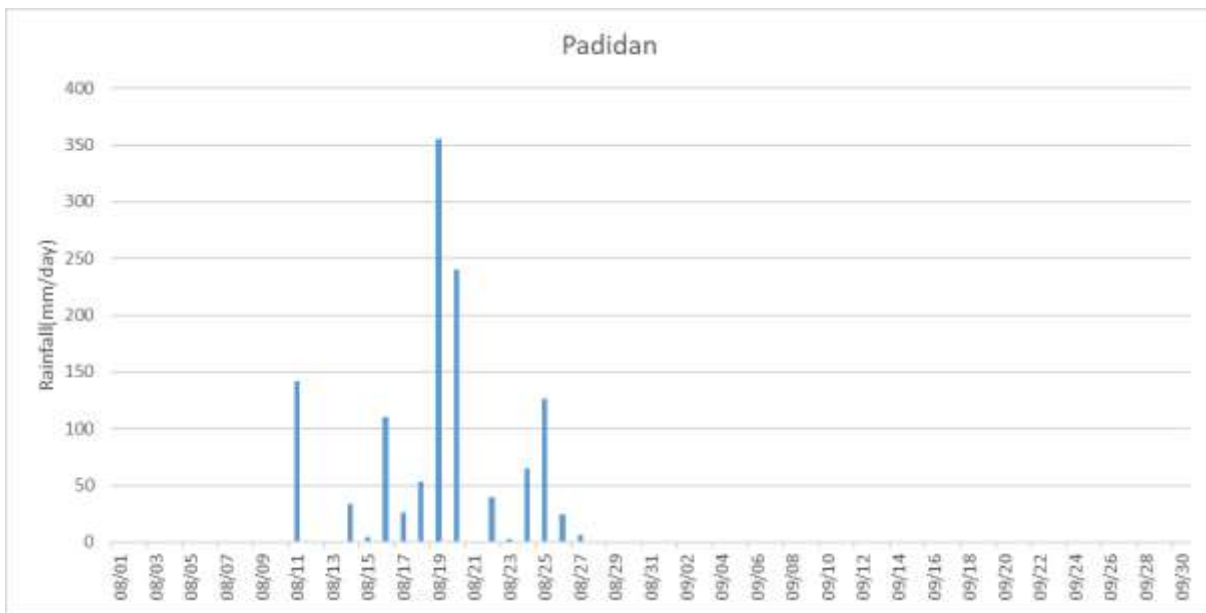
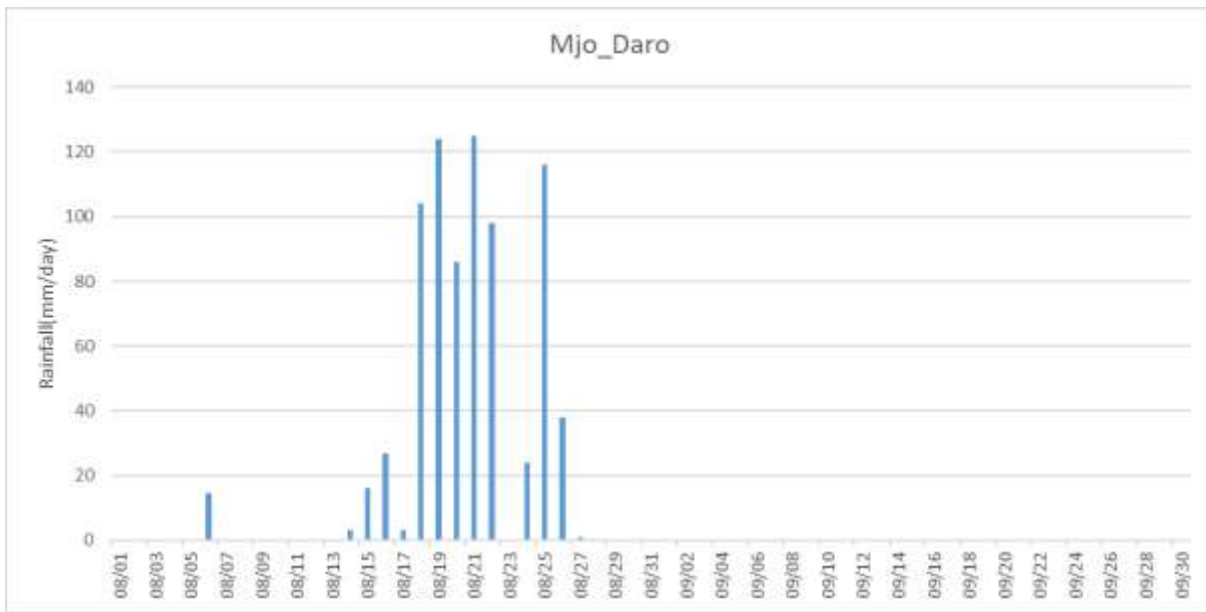
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.4 Hill Torrent 流域と周辺の観測所



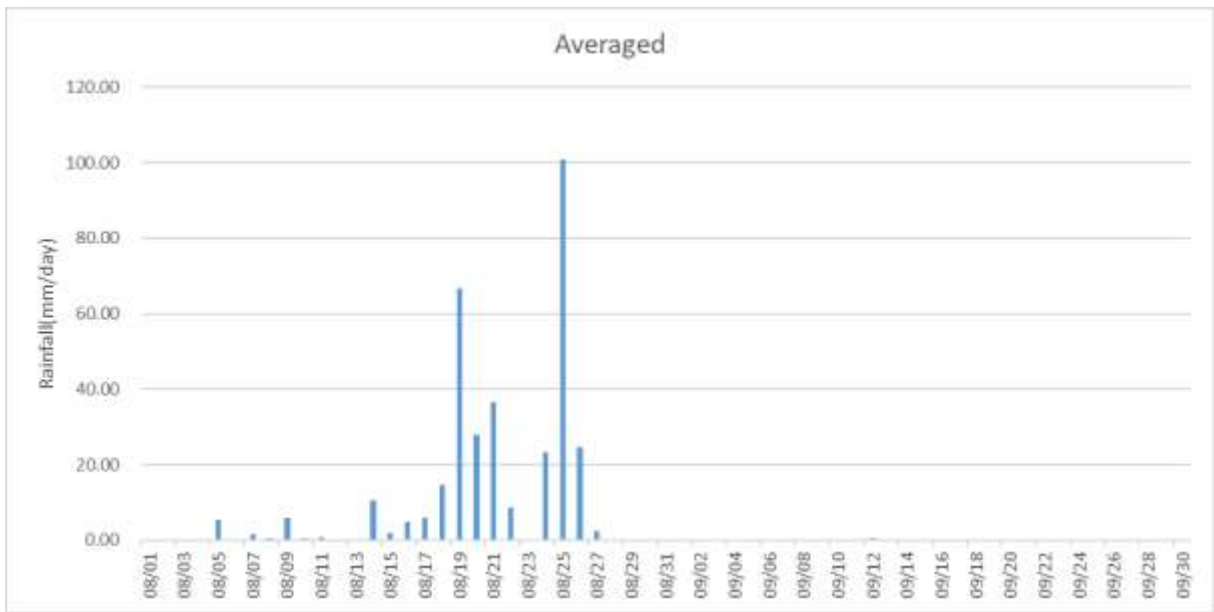
※8/26、8/27、8/29の雨量データを Padidan 雨量観測所より補完した。
 出典：PIDのデータを基にアドバイザーチームが作成

図 4.6.5(1) Manchar 湖周辺の雨量観測所の時系列図



出典：PID のデータを基にアドバイザーチームが作成

図 4.6.5(2) Manchar 湖周辺の雨量観測所の時系列図



出典：PID のデータを基にアドバイザーチームが作成

図 4.6.6 Manchar 湖流域の流域平均雨量の時系列図

(2) Manchar 湖及び各 Regulator の水位・流量

Manchar 湖周辺の各 Regulator の諸元を表 4.6.2 に示す。また、Manchar 湖の周辺の各 Regulator の位置図を図 4.6.7 に示す。さらに、2022 年 8 月～2022 年 11 月における各 Regulator の水位・流量と Manchar 湖の水位の時系列図を図 4.6.8 に示す。この期間において、Aral Head Regulator 及び Aral Tail Regulator では Manchar 湖から Indus 川への流出が主であった。また、Danister Head Regulator 及び Danister Tail Regulator はほとんどの期間で門を閉めていた (Closed) ため、2022 年洪水の検討では考慮しないものとする。

表 4.6.2 Manchar 湖周辺の各 Regulator の諸元

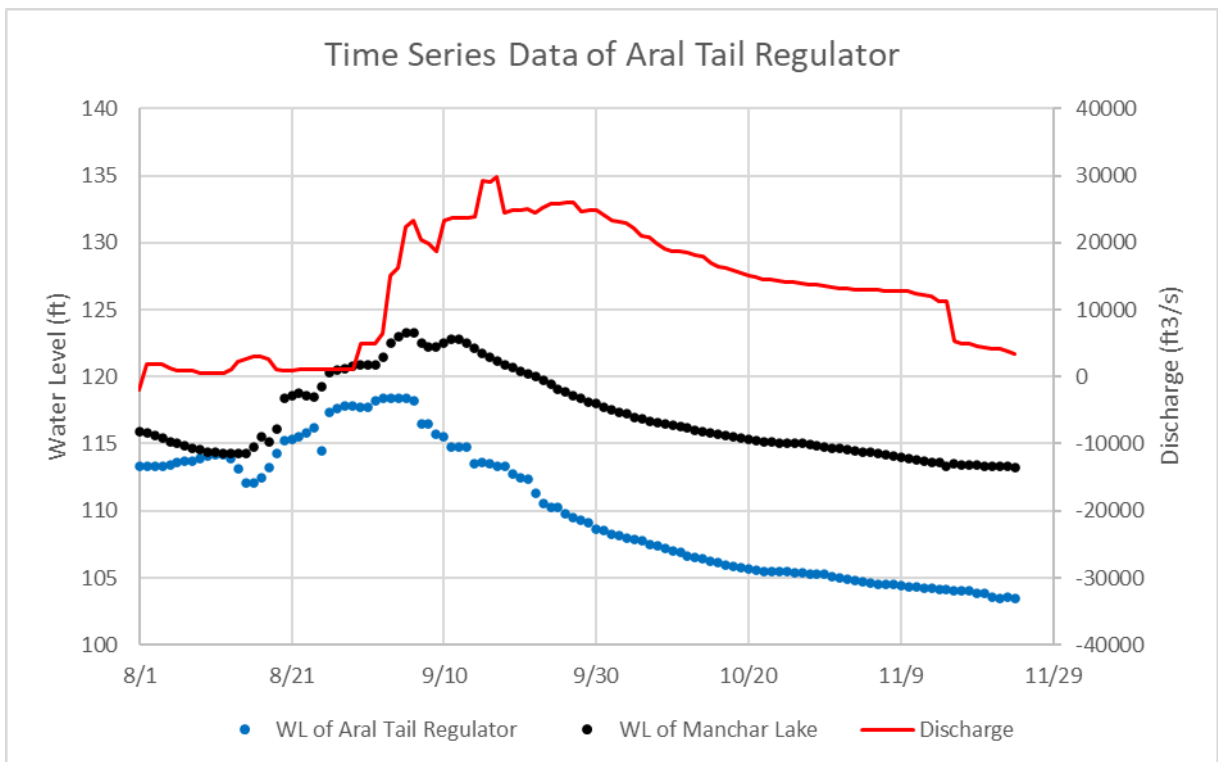
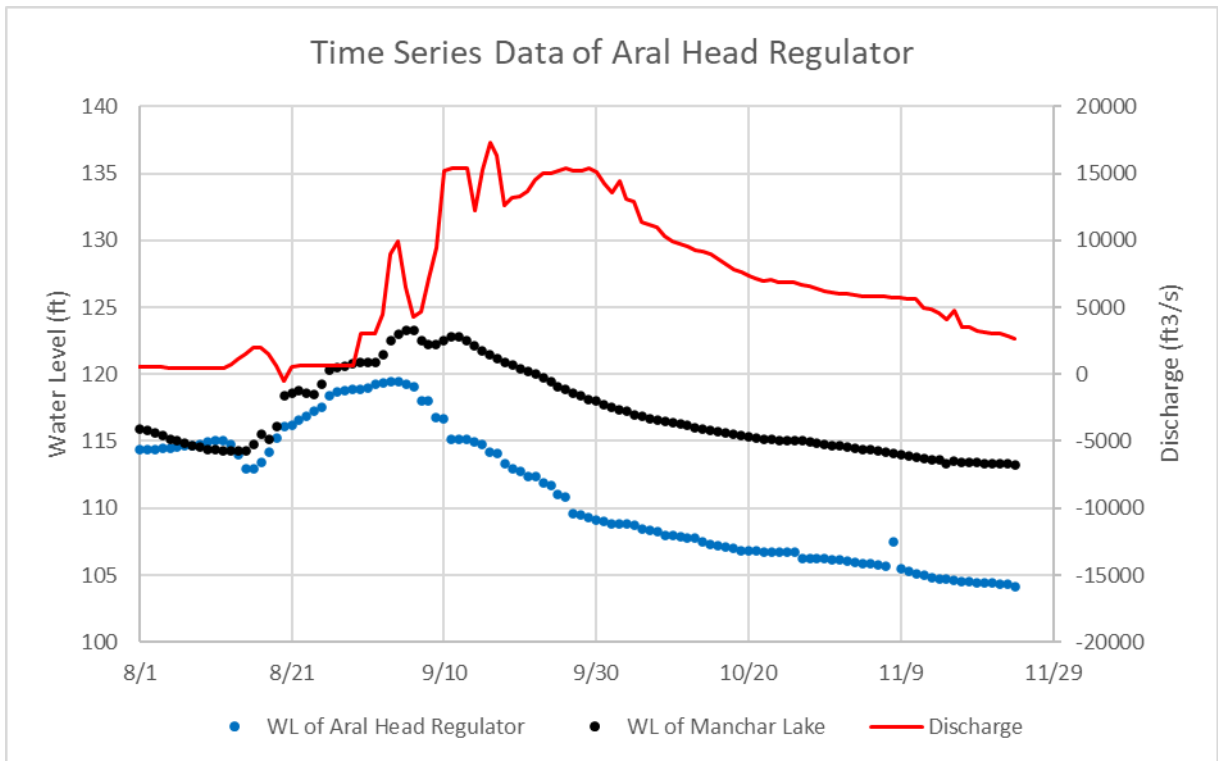
No	項目	Aral Head Regulator	Arai Tail Regulator	Danister Head Regulator	Danister Tail Regulator	単位
1	ゲート数	3	5	5	2	-
2	ゲートサイズ	20 x 22	20 x 24	8 x 10	20 x 24	ft x ft
3	ゲートタイプ	Vertical Type Cunter Balanced	Vertical Type Cunter Balanced	Vertical Type Cunter Balanced	Vertical Type Cunter Balanced	-
4	排水能力	10,000	25,000	3,500	9,000	ft ³ /sec
5	ゲート河床高	99.78	98.5	100	Manchar: 102 Indus River: 97.9	ft
6	クレスト高	101.37	99.5	100	103	ft
7	計画高水位	121.5	121.5	110	123.3	ft

出典：Sindh PID



出典：Google Earth

図 4.6.7 Manchar 湖周辺の各 Regulator の位置図



出典：Sindh PID

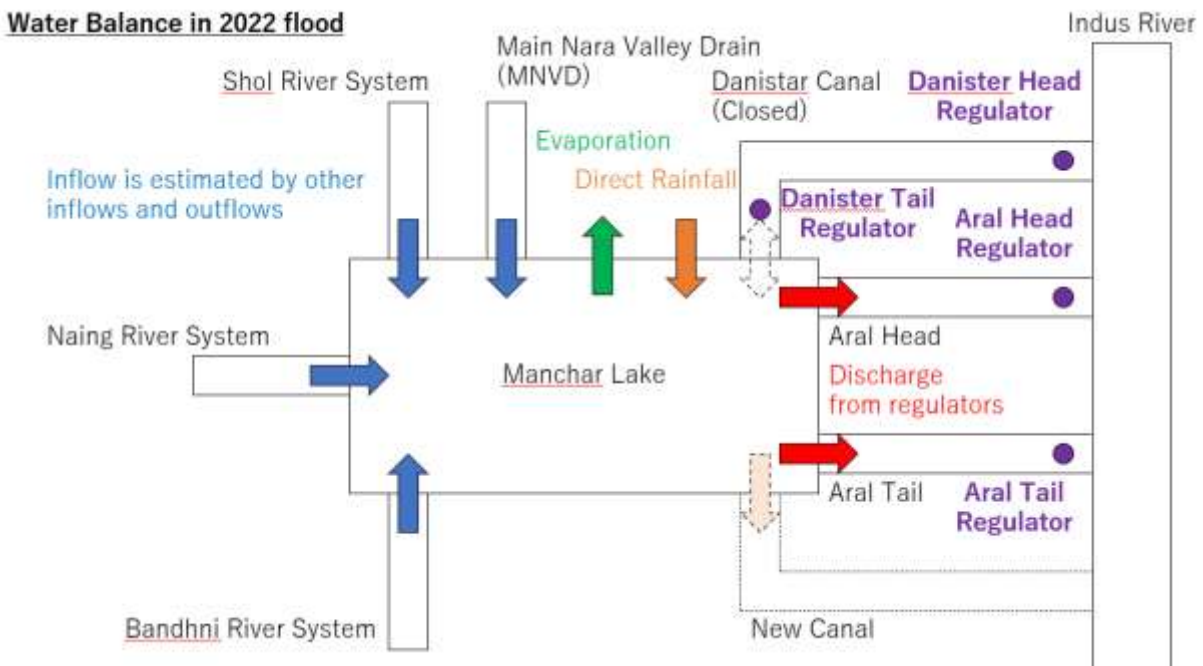
図 4.6.8 Aral Head Regulator、Aral Tail Regulator の水位と放流量の時系列図

4.6.2.2 2022 年洪水時の流入量・溢水量の推定

(1) 2022 年洪水時の流入量・溢水量の推定方針

図 4.6.9 に示す 2022 年洪水時の水収支を基として、2022 年洪水時の流入量を推定した。2022 年洪水時の各 Regulator の放流量、Manchar 湖への直接降雨量（近隣の雨量観測所データを使用）、蒸発量（PAN 蒸発量の 0.8 倍を想定）及び Manchar 湖の水位の各種時系列データから、Manchar 湖への総流入量を逆算した。このとき、算出された推定流入量の波形についても精査を行った。

また、Manchar 湖では 9 月上旬に人為的破堤を行った。この人為的破堤による溢水量も本検討では考慮して解析を行った。

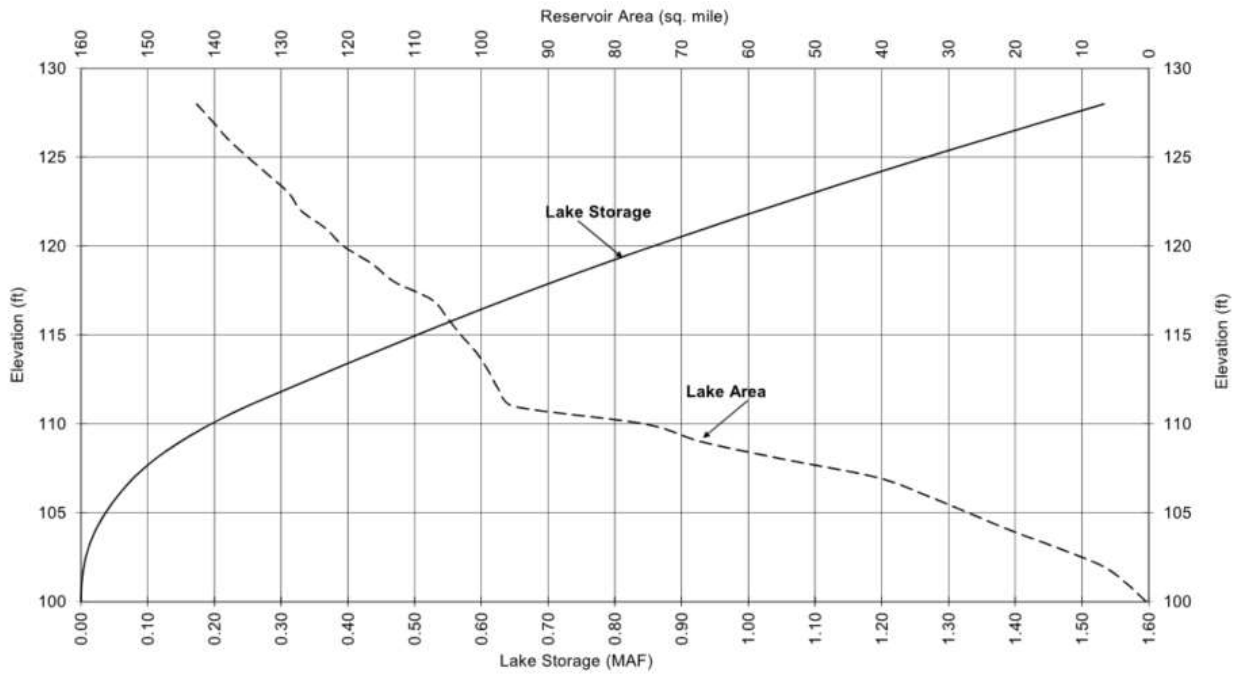


出典：2017 年 F/S Report よりアドバイザーチームが作成

図 4.6.9 2022 年洪水時の水収支

(2) Manchar 湖の水位・表面積・容量の関係

Manchar 湖の HAV（水位・表面積・容量）関係図は、図 4.6.10 に示すように 2017 年 F/S Report に掲載されている図を引用した。



出典：2017 年 F/S Report

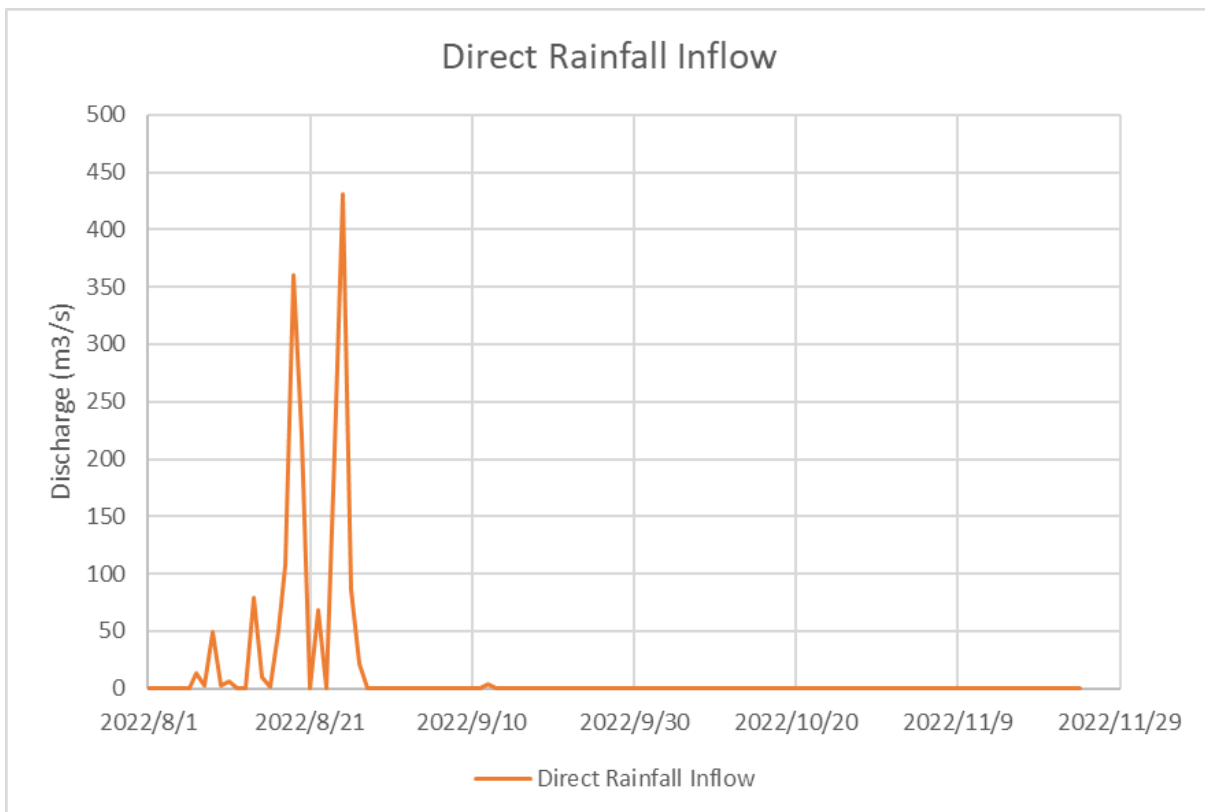
図 4.6.10 Manchar 湖の HAV（水位・表面積・容量）関係図

(3) 降雨の直接流入量の算定

Manchar 湖に直接流入する降雨量は以下の式で算出できる。算出した降雨の直接流入量を図 4.6.11 に示す。ただし、降雨の直接流入量の算出には Manchar 湖に最も近い Nawabshah 雨量観測所（ただし、一部期間を Padidan 雨量観測所で補完）の雨量データを使用している。また、Manchar 湖への流入を正とする。

$$Q_{Rain}(t) = R(t) \times S(t)$$

ここで、 Q_{Rain} は降雨の直接流入量、 R は雨量、 S は Manchar 湖の表面積、 t は時刻である。



出典：アドバイザーチーム

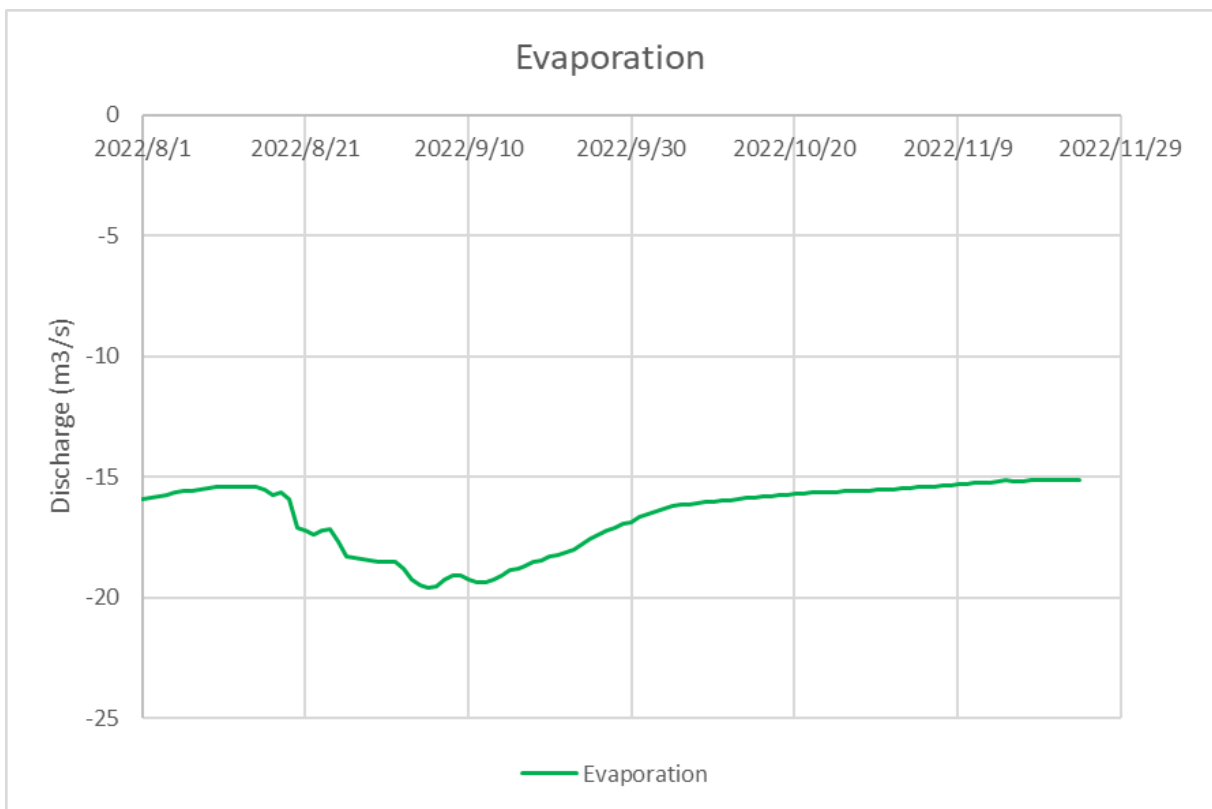
図 4.6.11 Manchar 湖への直接流入量

(4) 蒸発量の算定

Manchar 湖における蒸発量は以下の式で算出できる。算出した蒸発量を図 4.6.12 に示す。ただし、PAN 蒸発量はバロチスタン州洪水流出水開発計画予備調査（2003, JICA）及びミタウン堰建設計画基本設計調査報告書（1997, JICA）等から設定）から 2,300mm/day とし、その 0.8 倍が蒸発すると仮定した。また、Manchar 湖への流入を正とする。

$$Q_{Evaporation}(t) = 0.8 \times Pan\ Evaporation \times S(t)$$

ここで、 $Q_{Evaporation}$ は蒸発量、 $Pan\ Evaporation$ は PAN 蒸発量、 S は Manchar 湖の表面積、 t は時刻である。



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.12 Manchar 湖における蒸発量

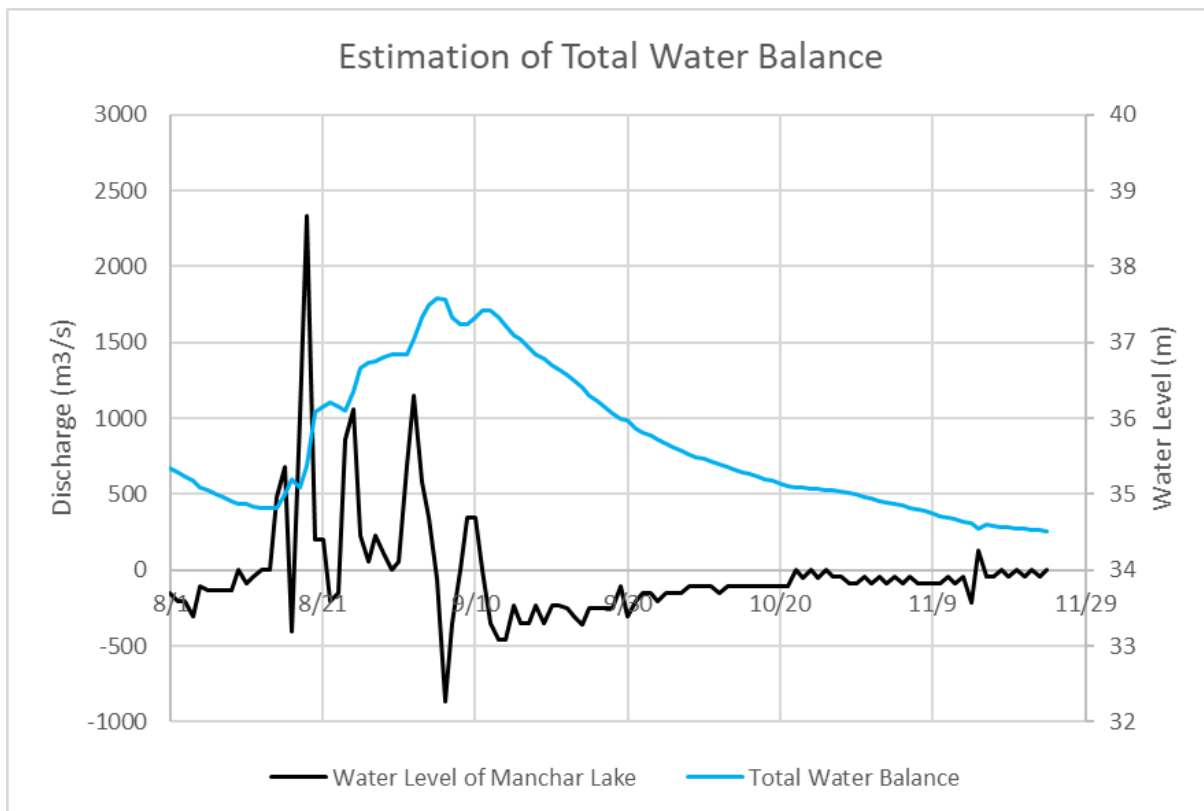
(5) Manchar 湖における水収支バランス

Manchar 湖の 2022 年の実績水位データと HV 関係から、Manchar 湖の水収支バランスは以下の式で算出できる。この水収支バランスを図化すると、図 4.6.13 のようになる。

$$Total\ Water\ Balance(t) = V_{Manchar}(t + 1) - V_{Manchar}(t)$$

$$V_{Manchar}(t) = f(H_{Manchar}(t))$$

ここで、*Total Water Balance*は Manchar 湖の水収支バランス、 $V_{Manchar}$ は Manchar 湖の容量、 $H_{Manchar}$ は Manchar 湖の水位、 t は時刻である。



出典：アドバイザーチーム

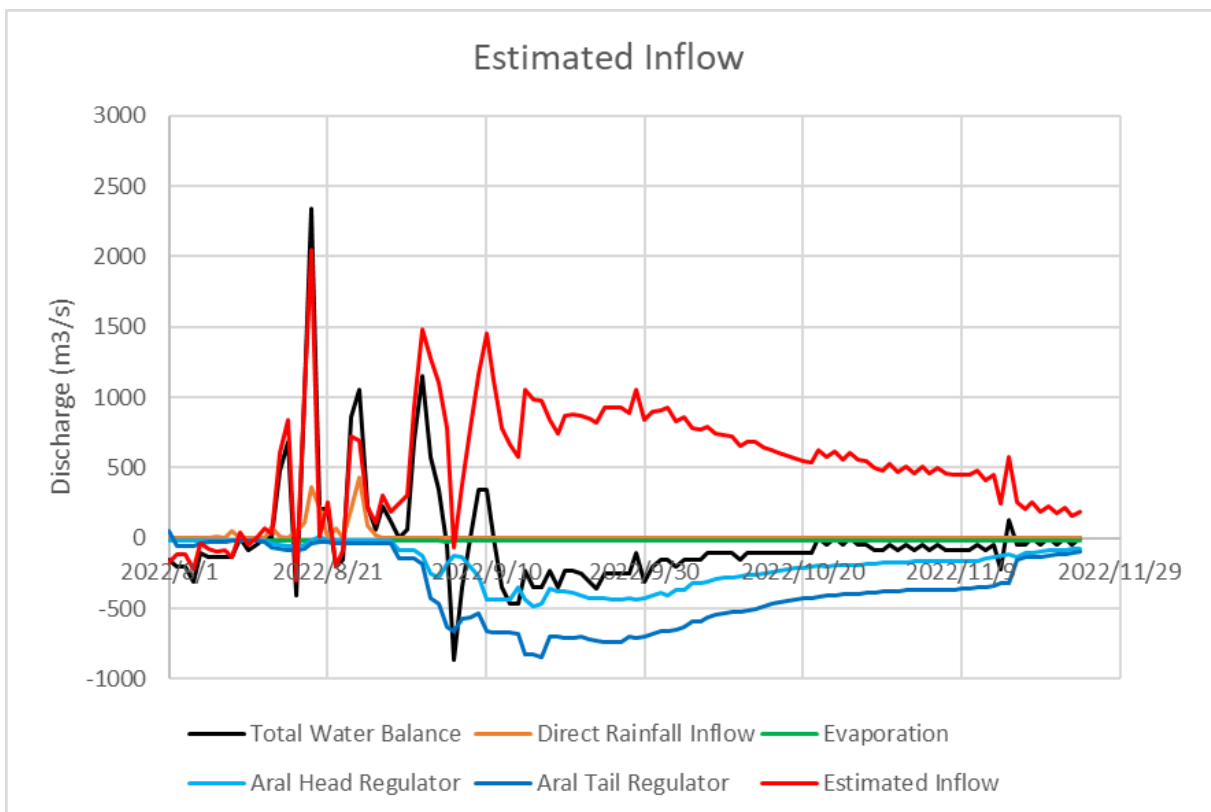
図 4.6.13 Manchar 湖における水収支バランス

(6) 流入量の推定

「各 Regulator の流量」、「降雨の直接流入量」、「蒸発量」、「Manchar 湖の水収支バランス」を基に、以下の式を用いて流入量を推定することができる。この推定流入量は図 4.6.14 のようになる。

$$Total\ Water\ Balance(t) = Q_{Aral-Head}(t) + Q_{Aral-Tail}(t) + Q_{Rain}(t) + Q_{Evaporation}(t) + Q_{Inflow}(t)$$

ここで、*Total Water Balance* は Manchar 湖の水収支バランス、*Q_{Aral-Head}* は Aral Head における流量、*Q_{Aral-Tail}* は Aral Tail における流量、*Q_{Rain}* は降雨の直接流入量、*Q_{Evaporation}* は蒸発量、*Q_{Inflow}* は推定流入量、*t* は時刻である。



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.14 流入量の推定

(7) 流入量波形の精査

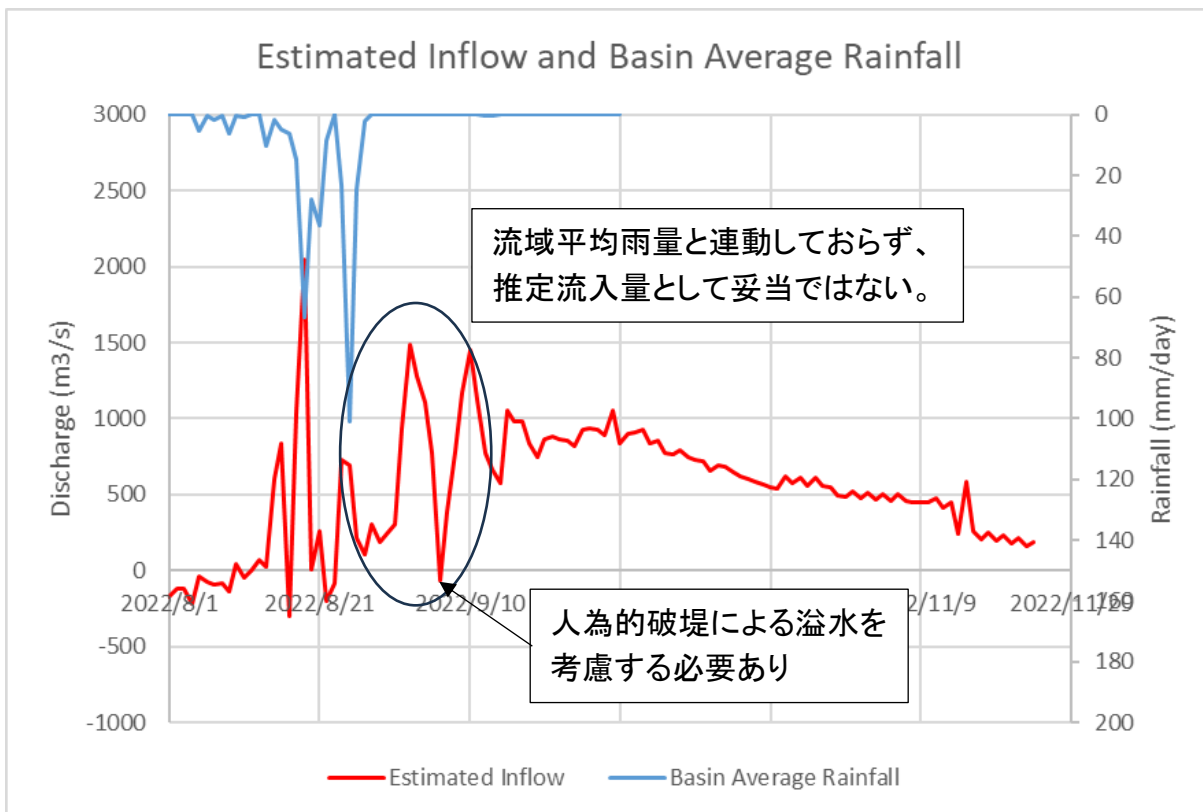
前項で算出された推定流入量が妥当なものであるかを精査する。

図 4.6.15 に推定流入量と流域平均雨量を重ね合わせたものを示す。8/19 及び 8/25 には推定流入量と流域平均雨量のピークがほぼ同時であるため妥当であると考えられる。一方で、8/26～9/10 の推定流入量の変化は、流域平均雨量と連動しておらず妥当とは言えないと考えられる。

このうち、9/6 前後で推定流入量が急激に減少するのは、人為的破堤の影響を考慮していないためであり、人為的破堤による溢水量の推定は次項で行うこととする。

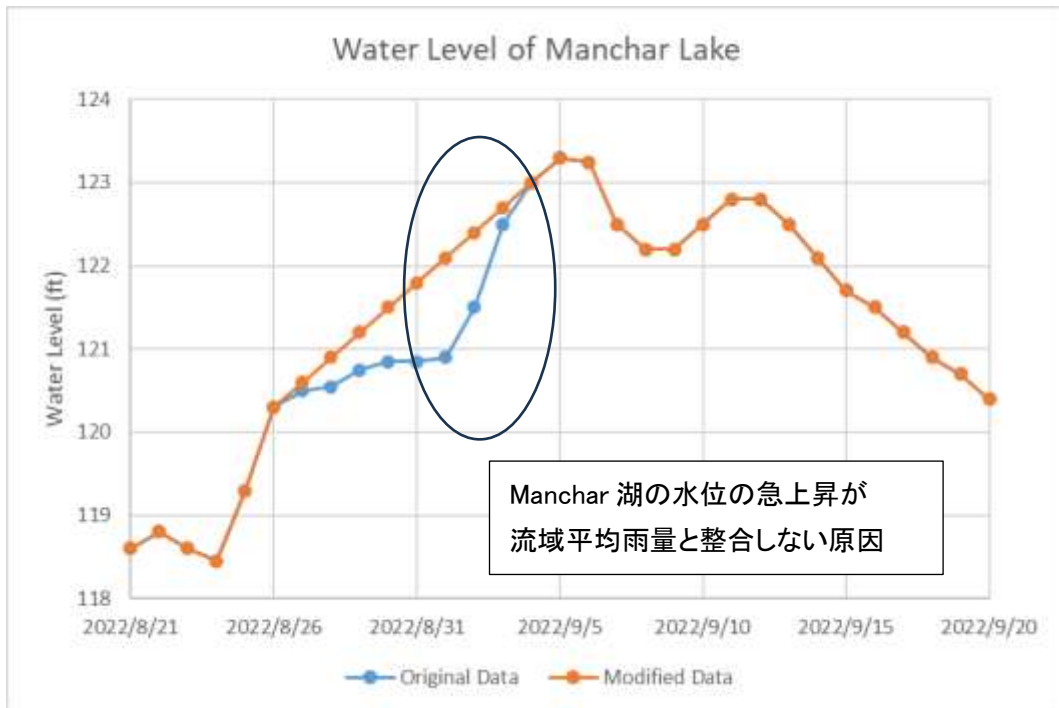
9/2 前後に推定流入量のピークは 8/25 前後の降雨の影響によるものであり、この場合推定流入量は急激な上昇にはならないと考えられる。今回の算定でこのような推定流入量になった原因として、9/2 前後の急激な Manchar 湖の水位上昇があげられる。図 4.6.16 は Manchar 湖の修正前の水位と修正後の水位を示しているが、修正前の水位を確認すると 9/1～9/5 にかけて急激な水位上昇があり、これが流域平均雨量と整合しない点である。本来であれば Manchar 湖の流域のうち山地部に降った雨がゆっくり流出してくるはずであり、その場合図 4.6.16 の修正後の水位のような水位上昇となるはずである。したがって、本検討ではこの修正後の水位を使用することとする。

この場合の推定流入量は図 4.6.17 に示すように修正される。



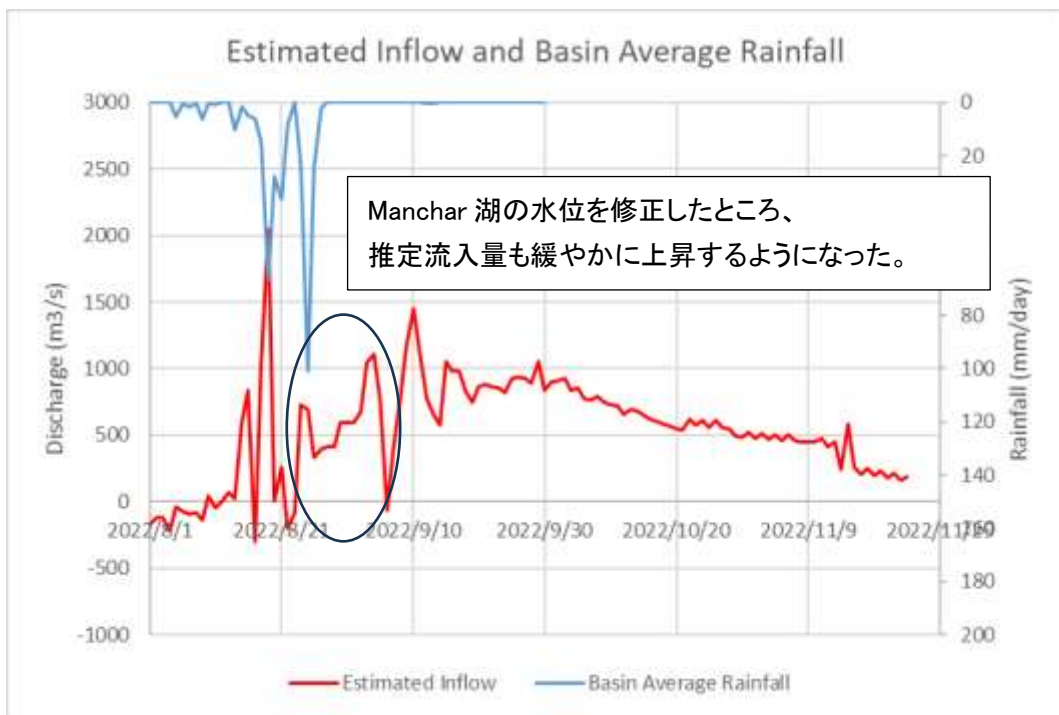
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.15 推定流入量の精査



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.16 Manchar 湖の修正前の水位と修正後の水位



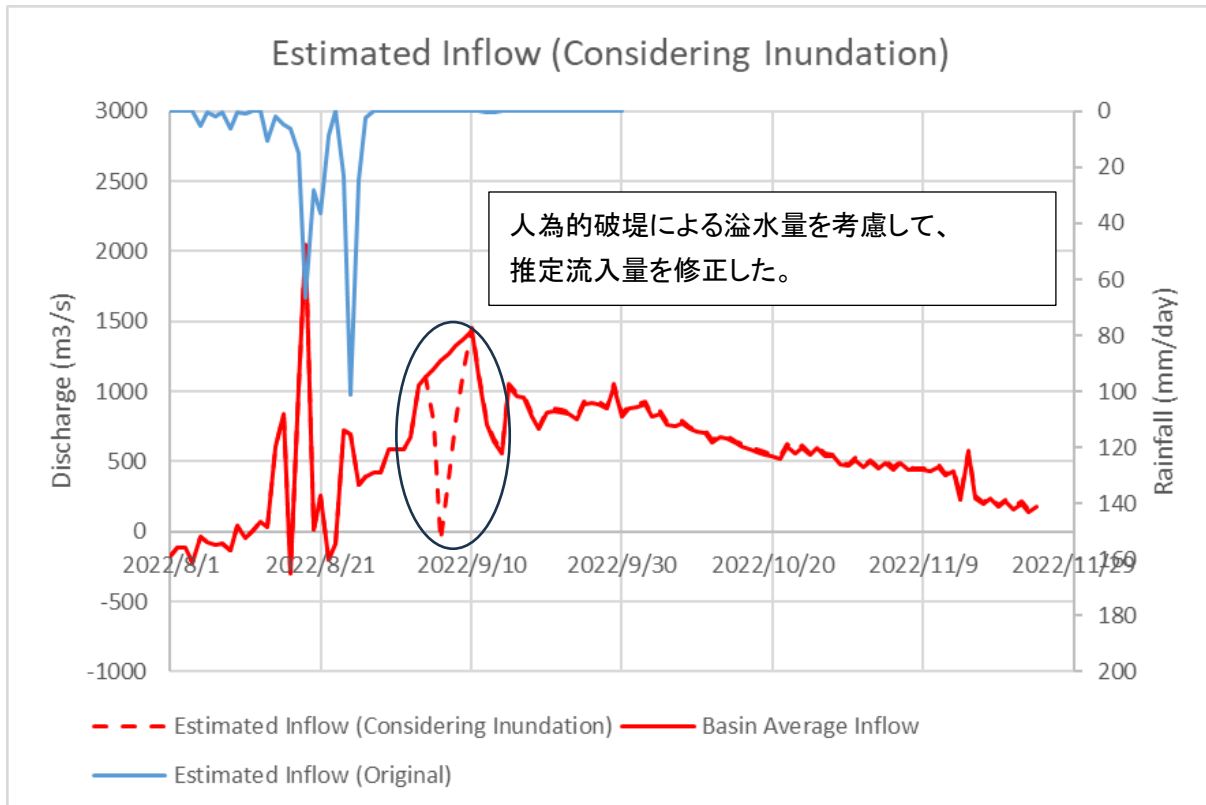
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.17 修正後の推定流入量

(8) 人為的破堤による溢水量の推定

Manchar 湖では 9 月上旬に人為的破堤を行った。人為的破堤により、人為的破堤がなかった場合と比較して水位が下がり、推定流入量もこの時期に大きく減少している。

この人為的破堤がなかった場合、推定流入量はこのように減少することはない、図 4.6.18 に示すような変化をされると考えられる。したがって、本検討では推定流入量を図 4.6.18 の実線のように設定する。なお、この溢水量を計算すると、約 2.93 mil. m³(0.237MAF)に達する。



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.18 人為的破堤による溢水量の推定

(9) 流入量波形の設定

Manchar 湖の水位データによっては推定流入量が $0\text{m}^3/\text{s}$ 未満と算出されることがある。具体的には、8/1~8/11 及び 8/17、8/22、8/23 で推定流入量が $0\text{m}^3/\text{s}$ 未満であり、これらの流入量を $0\text{m}^3/\text{s}$ とした。

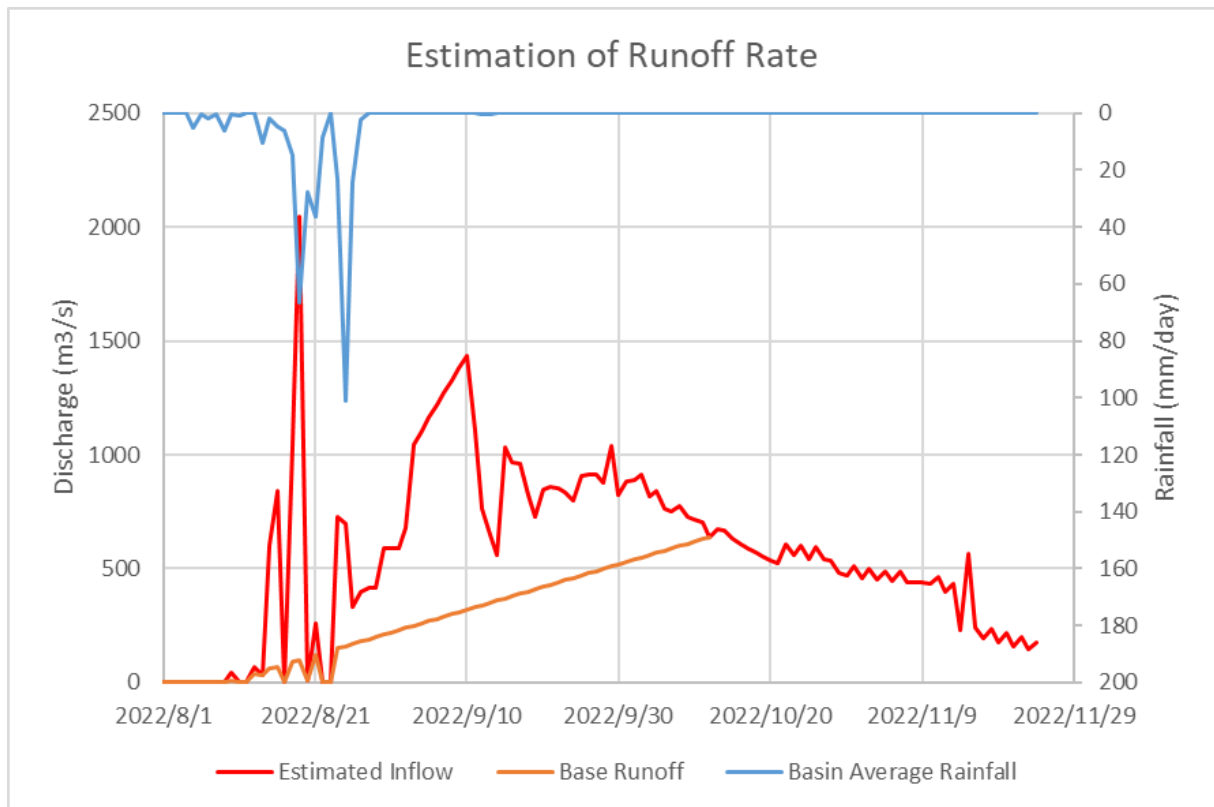
この流入量波形に対して、流出率を求めると表 4.6.3 及び図 4.6.19 のように算定でき、流出率は 0.647 となった。この流出率はやや高い値であり、それには以下の要因が考えられるが、本検討では安全側に流出率を設定するため、この流出率を採用することとする。

- ・ 人為的破堤の溢水量を過大に評価している可能性がある。
- ・ 推定流入量が $0\text{m}^3/\text{s}$ 未満である期間の流入量を $0\text{m}^3/\text{s}$ と設定した。(推定流入量が $0\text{m}^3/\text{s}$ 未満と算出されるのは水位データに問題がある可能性がある)

表 4.6.3 流出率の算出

項目	内容	単位
対象期間	2022/8/12~2022/10/12	-
総雨量	328.91	mm
流出量	2,348,235,886	m^3
流域面積	11,028	km^2
流出高	212.94	mm
流出率	0.647	-

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.19 流出率の算出

(10) Manchar 湖流域の特性と Master Plan(M/P)の必要性

本検討では 2022 年洪水の流入量や溢水量を逆算により求めた。しかし、Manchar 湖流域の流出過程は複雑であり、上流域の治水対策や開発の影響を大きく受けることになる。したがって、流域全体を考慮した Master Plan (M/P)を作成し、それに基づいた治水対策を実施していくことが必要とされる。

Manchar 湖水位に影響を与える要因には以下の項目が挙げられる。2022 年洪水でも Manchar 湖水位の降雨応答の遅れが観測データから確認できたが、これはここで挙げるような複雑な流出過程が影響していると考えられる。

- ① Hill Torrent 流域における貯留効果
- ② Hill Torrent 流域におけるダム等の操作
- ③ MNVD (Main Nara Valley Drain)流域における水路
- ④ MNVD やその上流域における溢水
- ⑤ Hamal 湖の貯留効果や Hamal 湖における Regulator 等の操作
- ⑥ Indus 川の流況

また、上流域における治水対策や開発等が Manchar 湖水位に与える影響として、以下の項目が挙げられる。

- ① 上流域または別流域の洪水を防ぐための治水対策を実施することで、Manchar 湖への流入量が増大する可能性がある。
- ② Indus 川の流下能力を築堤によって向上させることで、Indus 川の水位が上昇し、Manchar 湖から Indus 川へ排水能力が低下する可能性がある。
- ③ 上流域の開発が進む（都市化が進行する）ことで、流域内の貯留効果が下がり、Manchar 湖への洪水到達時間が短くなり、ピーク流量が大きくなる可能性がある。
- ④ Manchar 湖からの排水能力が大きくなることにより Indus 川の洪水時の流量が増加し、下流に影響を与える。

4.6.3 目標とする確率規模の設定

4.6.3.1 2022 年洪水時の確率規模

Manchar 湖流域の 3 つの雨量観測所（Khuzdar 雨量観測所、Nawabshah 雨量観測所、Mjo Daro 雨量観測所）の 2022 年洪水時の雨量データを確認すると、雨量のピークが 8/20 前後と 8/25 前後の 2 回ある波形となっており、この 2 つのピークを含んだ期間で評価するのが妥当と考えられる。そのため、7 日雨量を使って確率規模を算定した。（なお、1~3 日雨量を確認すると、7 月下旬の降雨の方が規模の大きい洪水となる。

Manchar 湖流域の雨量観測所の 7 日雨量に対する 2022 年洪水の確率規模は表 4.6.4 に示す通り、Khuzdar 雨量観測所で約 21 年確率、Nawabshah 雨量観測所で約 41 年確率、Mjo Daro 雨量観測所で約 95 年確率となった。これより、流域面積で重み平均を付けると、2022 年洪水の確率規模は約 29.4 年となる。さらに、確率規模の算出の元データとなる各観測所の年最大雨量を表 4.6.5 に示し、各雨量観測所における確率規模算出の詳細を図 4.6.20 に示す。

表 4.6.4 2022 年洪水の確率規模（Manchar 湖流域の雨量観測所・7 日雨量）

観測所名	解析結果		2022年洪水		確率雨量(mm)							
	解析年数	確率分布	雨量	確率規模	5年	10年	20年	25年	30年	50年	80年	100年
Khuzdar	31	Gev	184.70	20.8	95.2	133.8	181.6	199.5	215.2	264.5	318.3	347.0
Nawabshah	31	Gev	383.00	41.4	129.3	195.2	276.2	306.3	332.5	414.9	504.1	551.6
Mjo_Daro	29	Gev	573.01	95.0	88.2	146.3	229.1	262.7	293.3	396.6	519.8	590.0

出典：アドバイザーチーム

表 4.6.5(1) 年最大雨量（Khuzdar 雨量観測所・7 日雨量）

年	年最大7日雨量	年	年最大7日雨量	年	年最大7日雨量
1992	148.60	2003	77.00	2014	53.00
1993	26.00	2004	23.20	2015	19.00
1994	93.70	2005	81.10	2016	34.00
1995	333.00	2006	24.70	2017	33.00
1996	65.00	2007	119.20	2018	38.00
1997	58.00	2008	65.90	2019	67.00
1998	54.00	2009	57.60	2020	114.30
1999	52.00	2010	78.91	2021	26.01
2000	29.10	2011	38.70	2022	184.70
2001	56.40	2012	50.00		
2002	17.70	2013	113.30		

出典：PID のデータを基にアドバイザーチームが作成

表 4.6.5(2) 年最大雨量 (Nawabshah 雨量観測所・7日雨量)



年	年最大7日雨量	年	年最大7日雨量	年	年最大7日雨量
1992	253.00	2003	138.60	2014	9.10
1993	29.20	2004	18.70	2015	69.00
1994	277.00	2005	26.30	2016	63.00
1995	171.90	2006	98.50	2017	45.00
1996	1.20	2007	105.11	2018	2.70
1997	33.80	2008	37.02	2019	138.20
1998	29.00	2009	59.00	2020	96.41
1999	8.30	2010	72.00	2021	30.30
2000	26.00	2011	288.50	2022	383.00
2001	27.00	2012	160.00		
2002	2.00	2013	39.00		

出典：PID のデータを基にアドバイザーチームが作成

表 4.6.5(3) 年最大雨量 (Mjo Daro 雨量観測所・7日雨量)

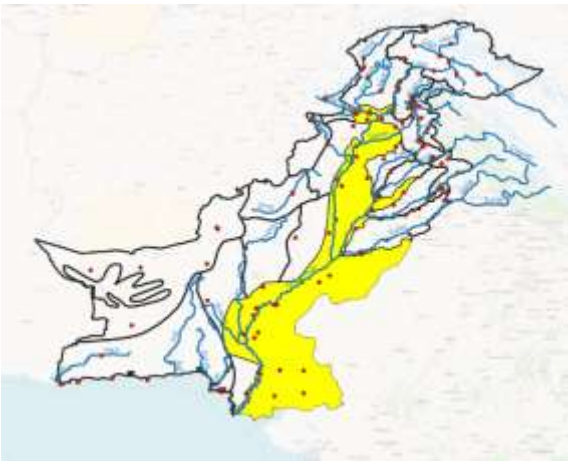

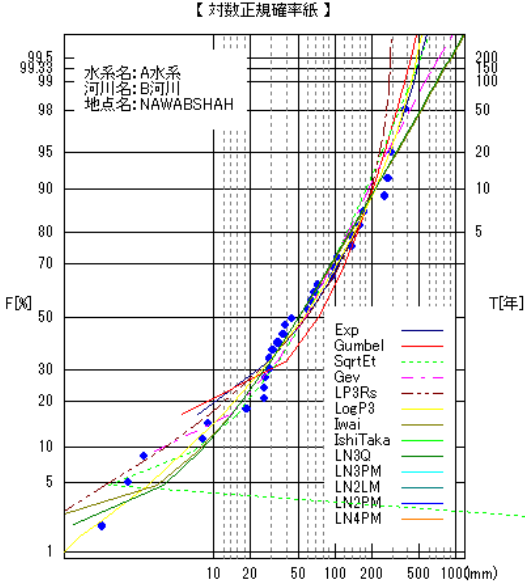
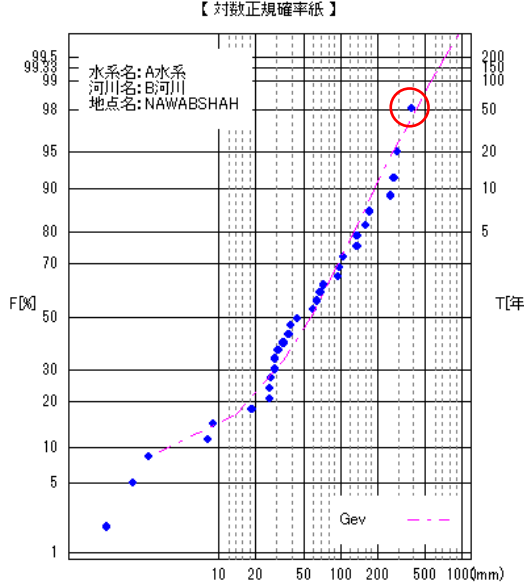
年	年最大7日雨量	年	年最大7日雨量	年	年最大7日雨量
1992	156.00	2003	75.00	2014	—
1993	26.00	2004	15.00	2015	61.00
1994	130.60	2005	45.20	2016	3.80
1995	130.60	2006	—	2017	16.00
1996	11.00	2007	31.61	2018	2.00
1997	17.00	2008	86.50	2019	10.01
1998	10.10	2009	2.00	2020	260.00
1999	15.00	2010	27.50	2021	45.00
2000	66.20	2011	63.00	2022	573.01
2001	20.70	2012	97.01		
2002	15.40	2013	51.00		

出典：PID のデータを基にアドバイザーチームが作成

雨量観測所名：Khuzdar	流域：Khirthar Hill
下流の流量観測所：Kotri (Indus)	緯度：27.810°、経度：66.610°
	
選択した確率分布：Gev	有効年数：31
SLSC 値：0.025	Jackknife 推定誤差：83.4mm
確率分布選択の判断： Gumbel、Gev、SqrtEt の中で SLSC 値が最小である Gev を選定した。(SLSC 値 0.040 以下) ※SLSC: Standard Least-Squares Criterion (標準最小二乗規準)	
全確率分布	最適な確率分布

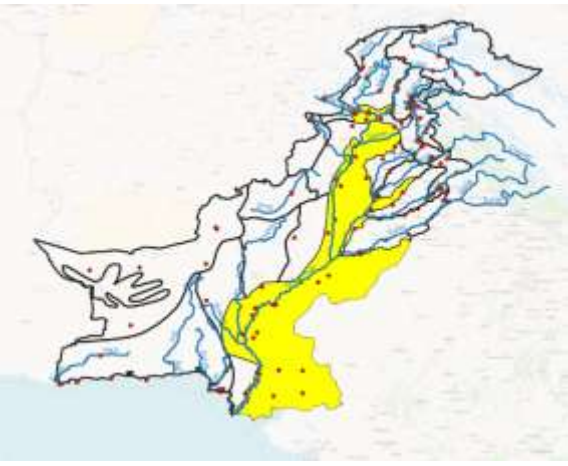

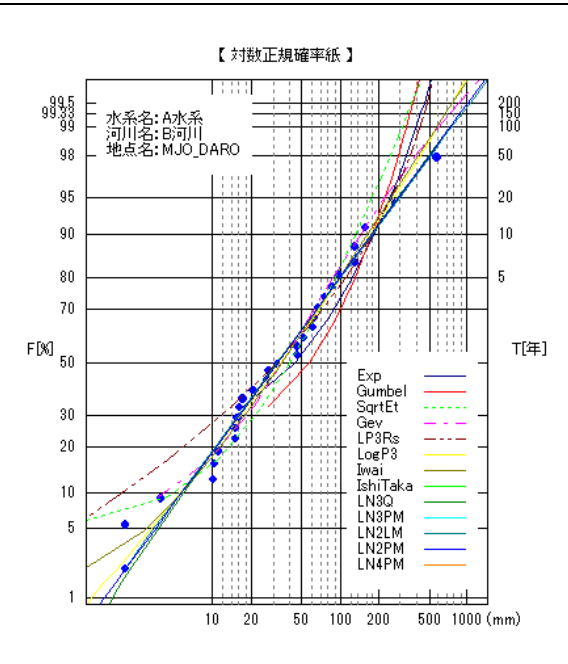
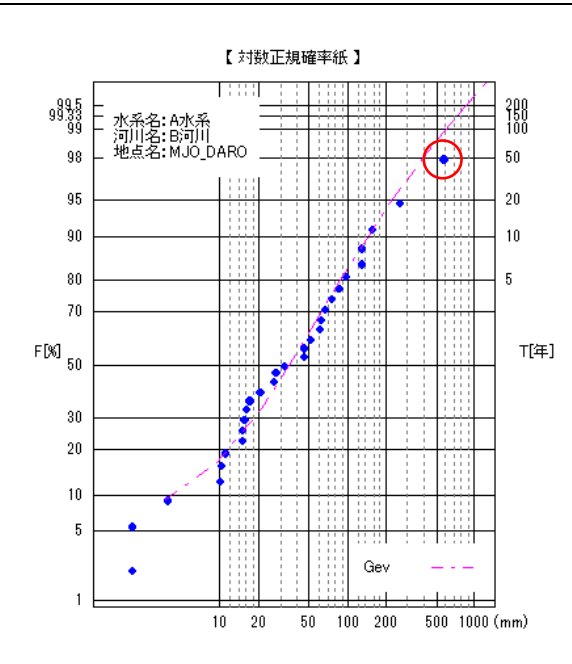
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.20(1) 確率規模算出の詳細 (Khuzdar 雨量観測所・7日雨量)

地点名：Nawabshah	流域：Indus River (Sukkur～Sea)
下流の流量観測所：Kotri (Indus)	緯度：26.580°、経度：68.166°
	
選択した確率分布：Gev	有効年数：31
SLSC 値：0.038	Jackknife 推定誤差：81.8mm
確率分布選択の判断： Gumbel、Gev、SqrtEtの中でSLSC値が最小であるGevを選定した。(SLSC値0.040以下) ※SLSC: Standard Least-Squares Criterion (標準最小二乗規準)	
全確率分布	最適な確率分布
	

出典：アドバイザーチーム

図 4.6.20(2) 確率規模算出の詳細 (Nawabshah 雨量観測所・7日雨量)

地点名：Mjo Daro	流域：Indus River (Sukkur～Sea)
下流の流量観測所：Kotri (Indus)	緯度：27.320°、経度：68.130°
	
選択した確率分布：Gev	有効年数：29
SLSC 値：0.032	Jackknife 推定誤差：158.5mm
確率分布選択の判断： Gumbel、Gev、SqrtEt の中で SLSC 値が最小である Gev を選定した。(SLSC 値 0.040 以下) ※SLSC: Standard Least-Squares Criterion (標準最小二乗規準)	
全確率分布	最適な確率分布
 <p>【対数正規確率紙】</p> <p>水系名: A水系 河川名: B河川 地点名: MJO_DARO</p> <p>Exp Gumbel SqrtEt Gev LP3Rs LogP3 Iwai IshiTaka LN3Q LN3PM LN2LM LN2PM LN4PM</p>	 <p>【対数正規確率紙】</p> <p>水系名: A水系 河川名: B河川 地点名: MJO_DARO</p> <p>Gev</p>

出典：アドバイザーチーム

図 4.6.20(3) 確率規模算出の詳細 (Mjo Daro 雨量観測所・7日雨量)

4.6.3.2 洪水時の Manchar 湖の問題点

洪水時の Manchar 湖における問題点を表 4.6.6 にまとめた。これらの問題点を解決するため、目標とする流入量波形を設定し、これに対応できる排水能力向上策を検討する。

表 4.6.6 洪水時の Manchar 湖の問題点

No	問題点
1	不十分な排水能力 現況の排水能力は 5 年確率洪水に対応可能である。 しかし Irrigation Manual では 50 年確率洪水に対応できることを目標としている。
2	2022 年洪水では人為的破堤を実行 この人為的破堤は Manchar 湖周辺の住民への浸水被害を引き起こす可能性がある。
3	各 Regulator の排水能力がネックである Aral Head Regulator は改良実行中 (ALTO) であるが、 Aral Tail Regulator には改良の予定はない。
4	Aral Head Regulator の改良のみでは不十分である Aral Head Regulator の改良 (ALTO) により 10 年確率洪水に対応可能である。
5	土砂堆積により排水能力が低下する可能性がある 水路の開削が必要となる可能性がある。

出典：アドバイザーチーム

4.6.3.3 目標とする流入量波形の設定

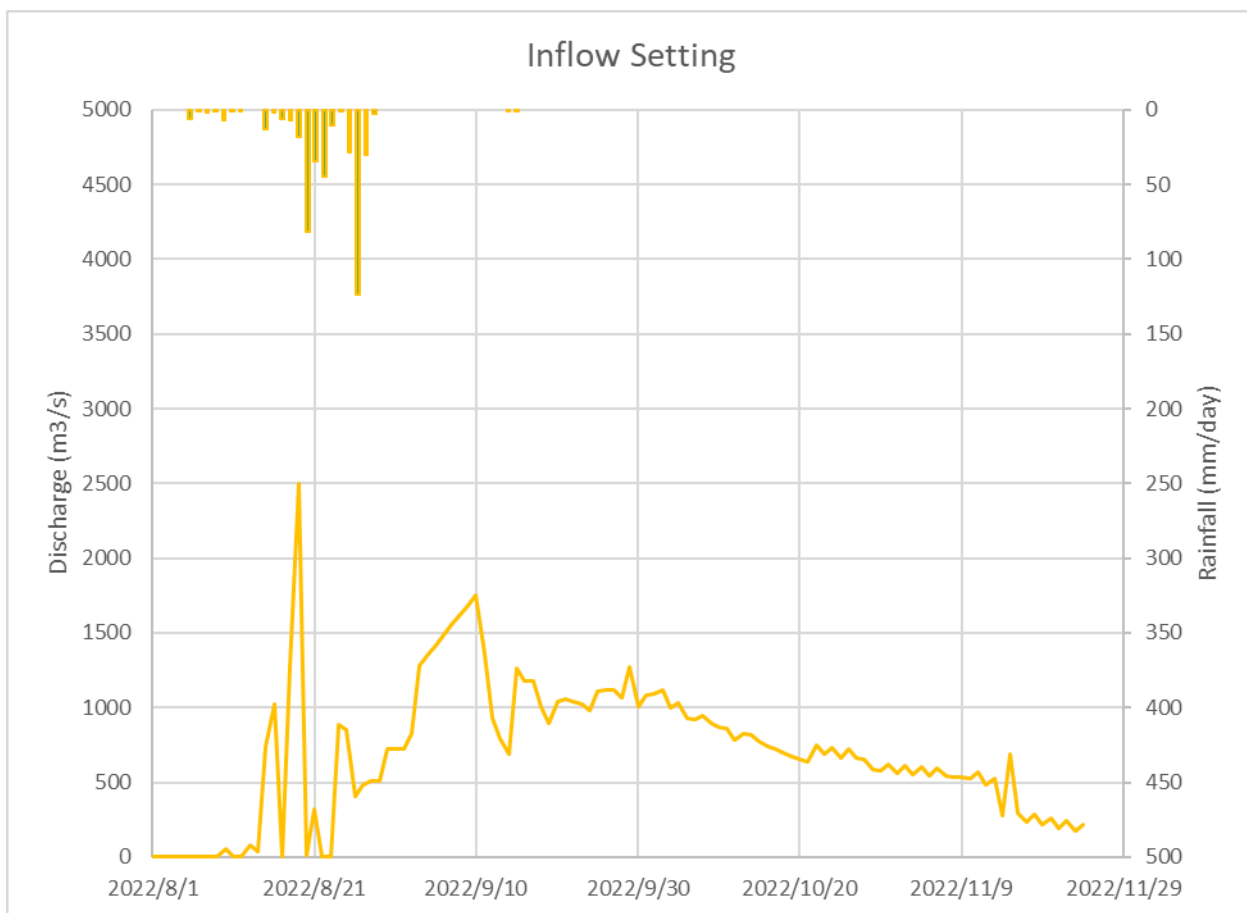
(1) 目標とする流入量波形の設定方法

目標とする流入量波形に対する検討内容を表 4.6.7 に示す。現況排水能力、Irrigation Manual の記述、改修の実現が可能かという観点から検討を行い、**50 年確率規模**を目標とした。また、流入量波形は人為的破堤を実施した 2022 年洪水を基に設定し、50 年確率規模に引き延ばしを行った。設定した流入量波形を図 4.6.21 に示す。

表 4.6.7 目標とする流入量波形に対する検討内容

項目		内容
現況排水能力	Aral Head 改良なし	5 年確率洪水に対応可能である。
	Aral Head 改良あり	10 年確率洪水に対応可能である。
Irrigation Manual の記述		50 年確率洪水に対応できることを目標とする。
排水能力向上策の実現可能性		河道拡幅や新設水路の増設により可能である。

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.21 目標とする流入量波形（50年確率規模・2022年洪水波形）

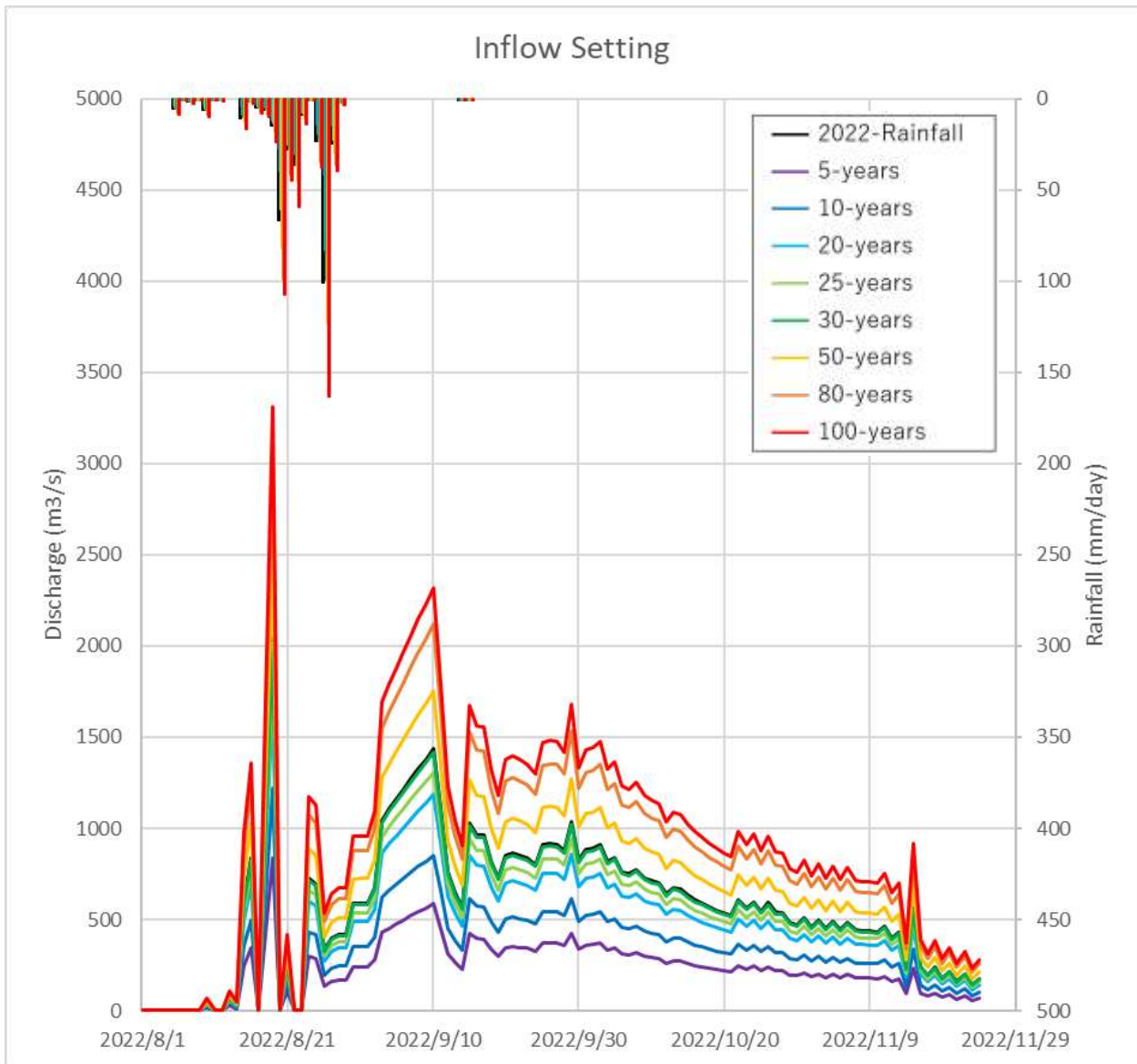
(2) 確率規模に対する流入量波形の設定

前項では、Manchar湖領域の雨量観測所の7日雨量に対する2022年洪水の確率規模を計算した結果、流域面積で重み平均を付けた場合の2022年洪水の確率規模は約29.4年となった。検討対象期間である2022/8/1～2022/10/12を対象として、2022年洪水の流入量波形を、流出率が変化しないと仮定して引き延ばしを行うと、表4.6.8及び図4.6.22のように表すことができる。

表 4.6.8 各確率規模における総雨量及び最大流入量

確率規模	7日雨量(mm)				総雨量(mm)				最大流入量 (m3/s)
	流域平均	Khuzdar	Nawabshah	Mjo_Daro	流域平均	Khuzdar	Nawabshah	Mjo_Daro	
2022年洪水	263.75	184.70	383.00	573.01	328.91	218.90	494.70	765.01	2,045.78
5年	107.95	95.20	129.30	88.20	134.62	118.72	161.25	109.99	837.32
10年	157.04	133.80	195.20	146.30	195.84	166.86	243.43	182.45	1,218.12
20年	217.74	181.60	276.20	229.10	271.53	226.47	344.44	285.70	1,688.87
25年	240.40	199.50	306.30	262.70	299.80	248.79	381.98	327.60	1,864.71
30年	260.23	215.20	332.50	293.30	324.52	268.37	414.65	365.76	2,018.45
50年	322.60	264.50	414.90	396.60	402.30	329.85	517.41	494.59	2,502.24
80年	390.51	318.30	504.10	519.80	486.99	396.94	628.65	648.22	3,029.00
100年	426.76	347.00	551.60	590.00	532.19	432.73	687.88	735.77	3,310.16

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.22 各確率規模における流入量波形

(3) 既存の水路のモデル化方針

目標とする流入量波形を設定するにあたり、現況の排水能力で対応可能な洪水規模を把握する必要がある。そのため、既存の水路について、Manchar 湖の水位と各 Regulator の水位が与えられたとき、各 Regulator における放流量を算出するための観測実績に基づく関係式（以下、関係式）を作成した。

この関係式の作成において、各 Regulator のゲートの形が決まっているので、放流量を決定するカギとなるのは Regulator 地点における流速である。基本的には Manchar 湖と各 Regulator の水位差が流速に大きく影響を及ぼすと考え、下記の位置水頭、速度水頭、摩擦損失を考慮したエネルギー保存の式から、流速は水位差の 2 次式で表せると仮定した。

$$H_X + \frac{V_X^2}{2g} + \frac{L}{n^2} \times \frac{1}{2} \left(\frac{V_X^2}{R_X^2} + \frac{V_{X+1}^2}{R_{X+1}^2} \right) = H_{X+1} + \frac{V_{X+1}^2}{2g}$$

ここで、 H_X は X 断面における位置水頭、 V_X は X 断面における流速、 g は重力加速度、 L は X 断面と X+1 断面間の区間距離、 n は粗度係数、 R_X は X 断面における径深である。

(4) Aral Head のモデル化

Aral Head における Manchar 湖と Aral Head Regulator の水位差 ΔH と Aral Head Regulator における流速 V の散布図を作成すると図 4.6.23 のようになる。この散布図を確認すると、多くのデータにおいて流速が水位差の 2 次式で表せる形となっているが、赤丸で示したデータはほかの関係式が必要である。

流速が水位差の 2 次式で表せる場合を Type1 とし、ほかの関係式が必要である場合を Type2 とした。Type1 については、図 4.6.24 に示すように、高い精度で流速が水位差の 2 次式で表すことができた。Type2 についても、図 4.6.25 に示すように、高い精度で流速が Aral Head Regulator の水深の 1 次式で表すことができた。実績データを確認する限り、Aral Head Regulator の水深が 10ft 以上の場合は Type1 の関係式が、Aral Head Regulator の水位が 10ft 未満の場合は Type2 の関係式が使用できる。

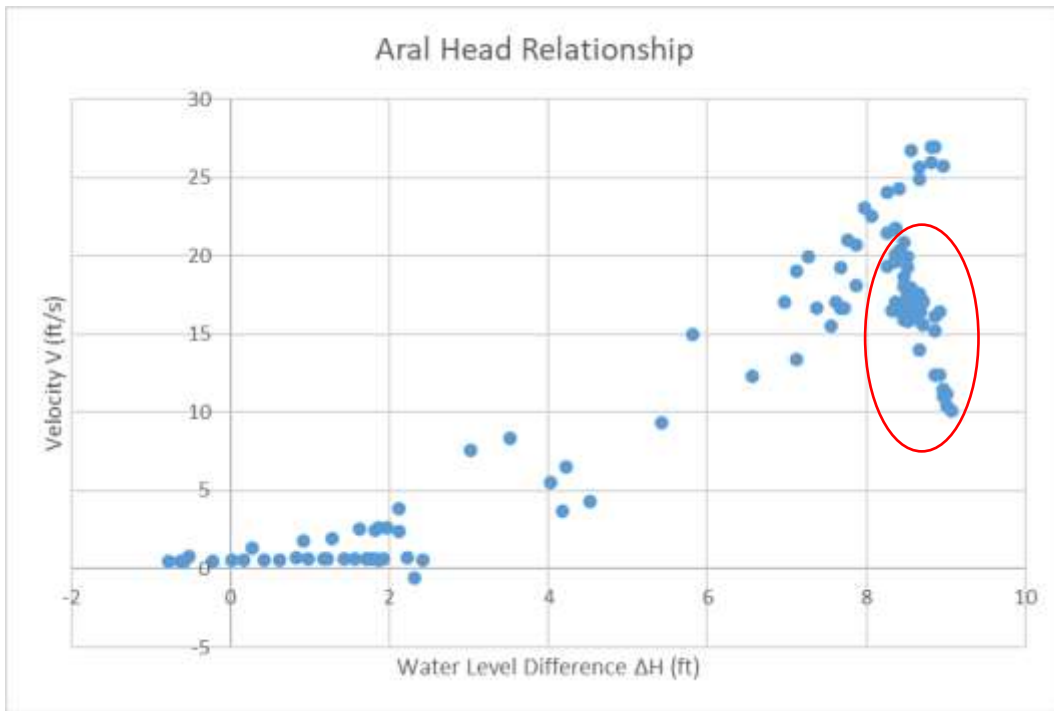
これらの結果をまとめると、Aral Head における放流量は以下の式を用いて、モデル化することができる。また、この関係式を用いた実績データによる検証計算を図 4.6.26 に示す。

$$Q_{Aral-Head} = A_{Aral-Head} V_{Aral-Head} = B_{Aral-Head} H_{Aral-Head} V_{Aral-Head}$$

$$V_{Aral-Head} = 0.2996\Delta H^2 + 0.0931\Delta H + 0.4612 \quad (H_{Aral-Head} > 10ft)$$

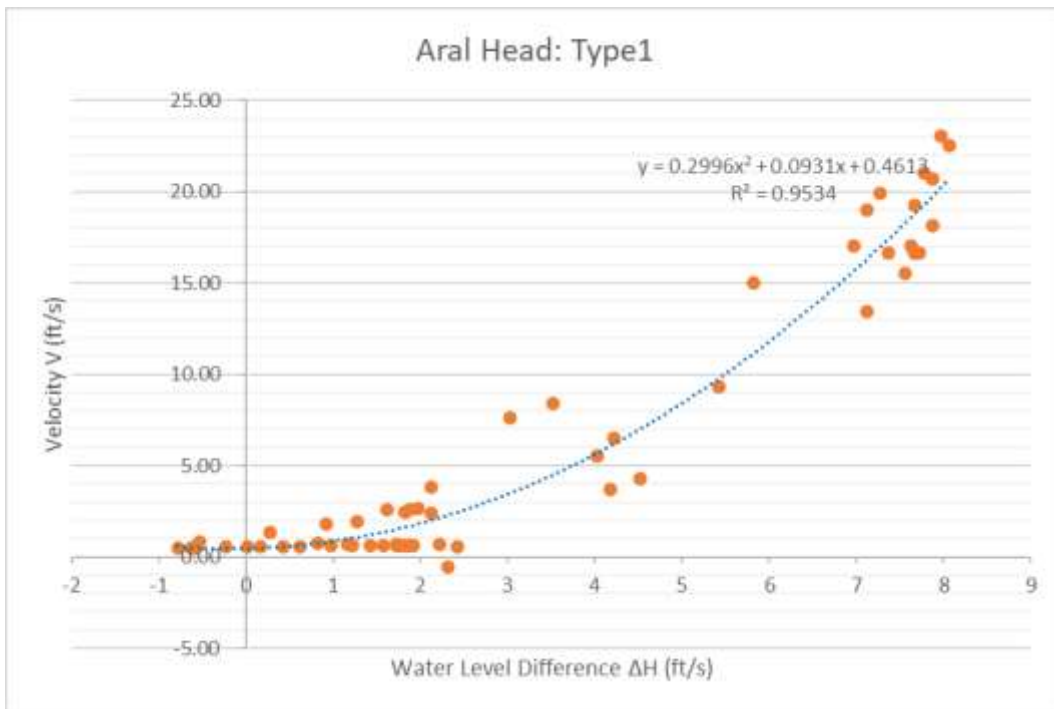
$$V_{Aral-Head} = 2.5404H_R + 0.4909 \quad (H_{Aral-Head} < 10ft)$$

ここで、 $Q_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator における放流量、 $V_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator における流速、 $A_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator の断面積、 $B_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator の水門幅（○門の合計値）、 $H_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator の水深である。



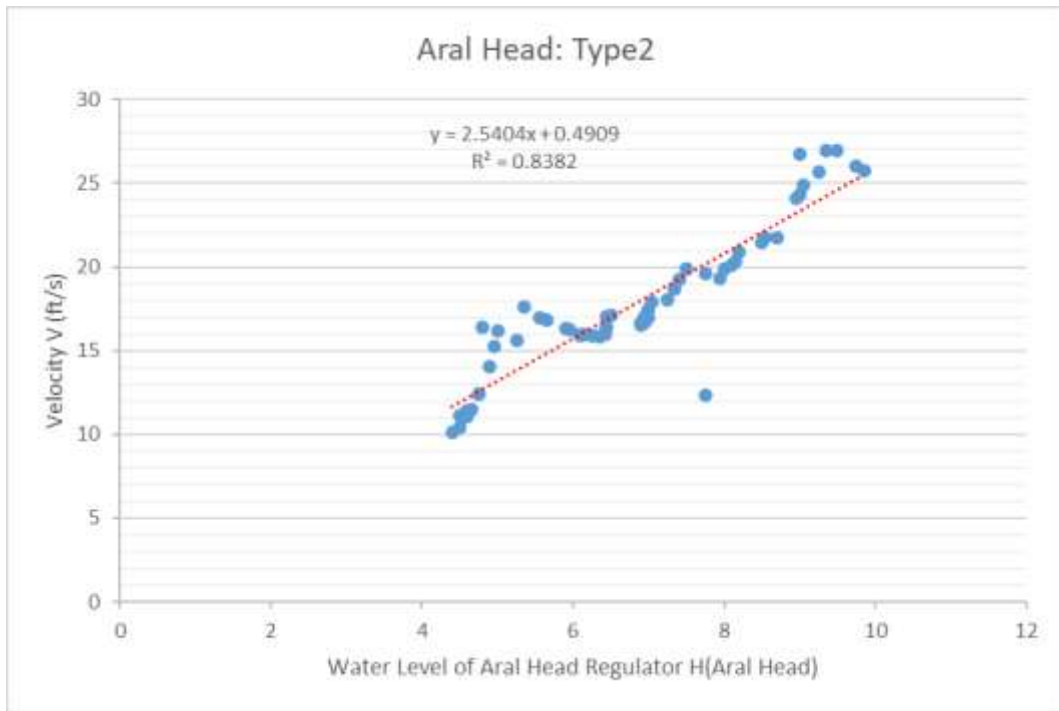
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.23 Aral Head Regulator における水位差 ΔH と流速 V の散布図



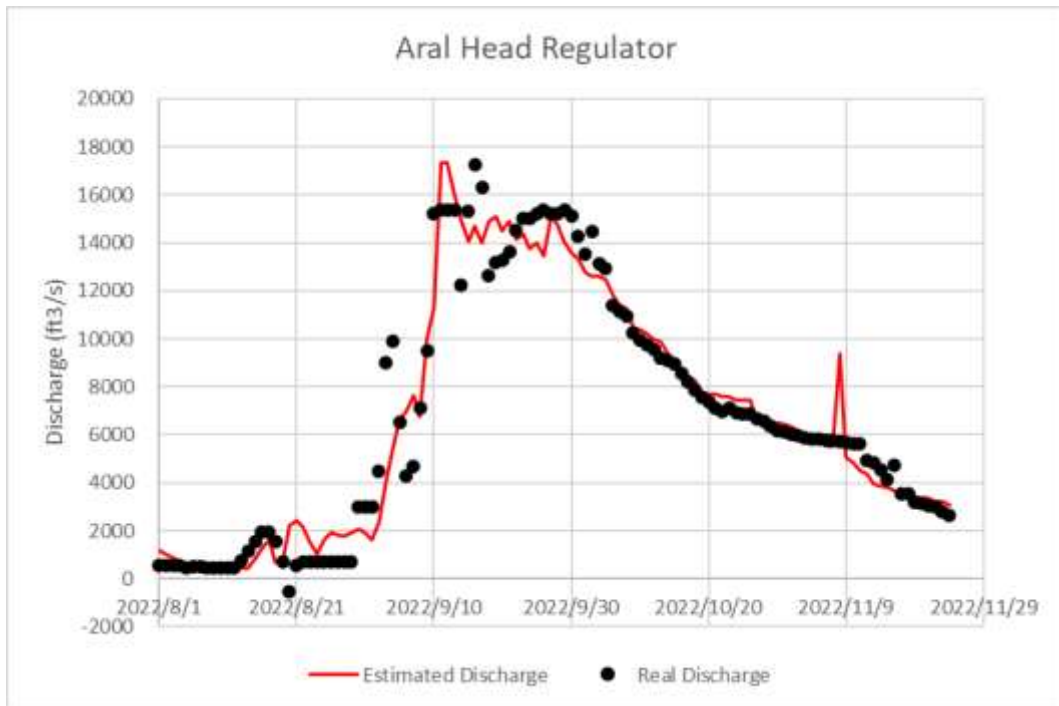
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.24 Aral Head Regulator の Type1 の関係式算出



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.25 Aral Head Regulator の Type2 の関係式算出



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.26 Aral Head Regulator の関係式の検証計算

(5) Aral Tail のモデル化

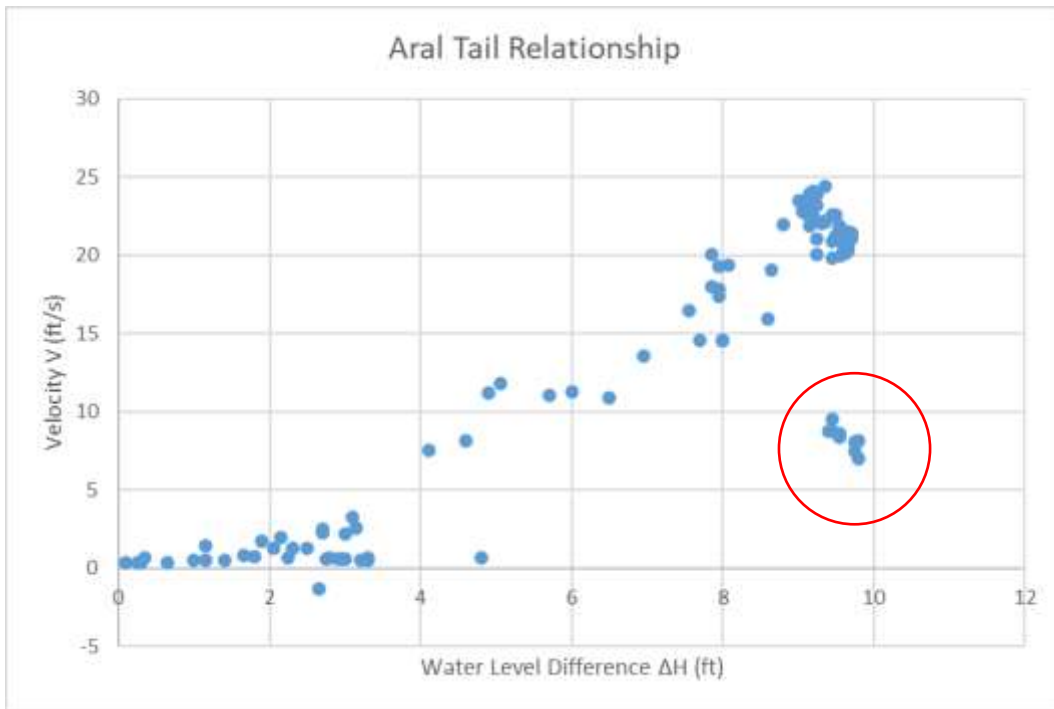
Aral Tail における Manchar 湖と Aral Tail Regulator の水位差 ΔH と Aral Tail Regulator における流速 V の散布図を作成すると図 4.6.27 のようになる。この散布図を確認すると、多くのデータにおいて流速が水位差の2次式で表せる形となっている。赤丸で示した例外はあるが、データ数が少なく、計算の対象期間外であるため、Aral Head のように場合分けして関係式を作成しないこととする。

図 4.6.28 に示すように、Aral Tail では高い精度で流速を水位差の2次式で表現することができる。この結果から、Aral Tail における放流量は以下の式を用いて、モデル化することができる。また、この関係式を用いた実績データによる検証計算を図 4.6.29 に示す。

$$Q_{Aral-Tail} = A_{Aral-Tail}V_{Aral-Tail} = B_{Aral-Tail}H_{Aral-Tail}V_{Aral-Tail}$$

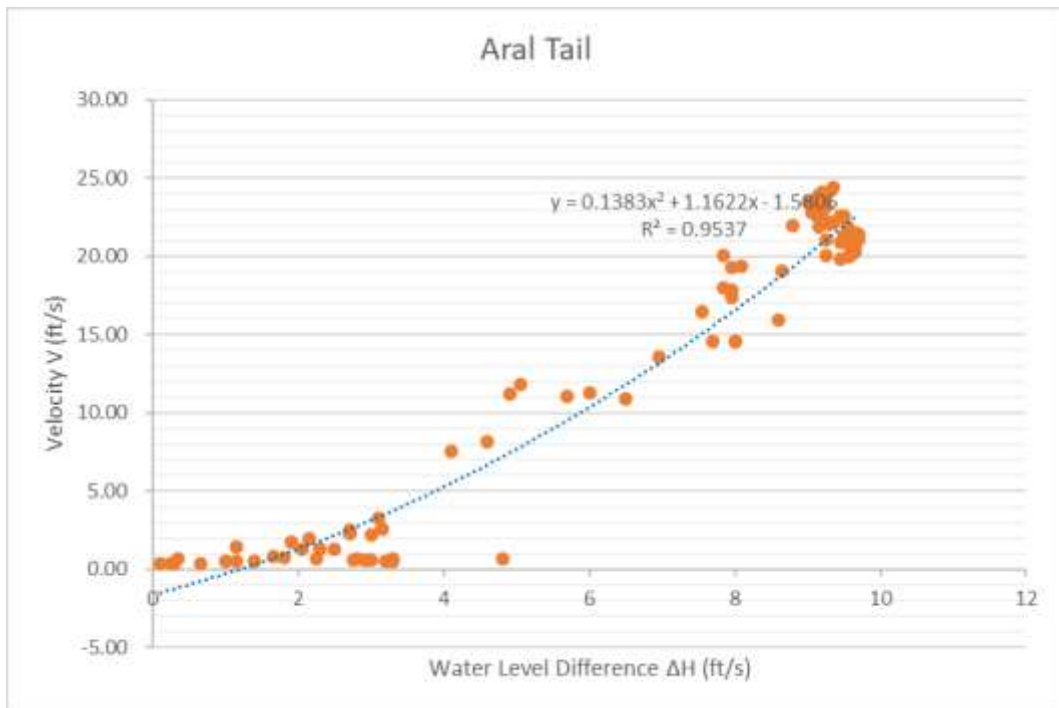
$$V_{Aral-Tail} = \max(0, 0.1383\Delta H^2 + 1.1622\Delta H - 1.5806)$$

ここで、 $Q_{Aral-Tail}$ は Aral Tail Regulator における放流量、 $V_{Aral-Tail}$ は Aral Tail Regulator における流速、 $A_{Aral-Tail}$ は Aral Tail Regulator の断面積、 $B_{Aral-Tail}$ の Aral Tail Regulator の水門幅（○門の合計値）、 $H_{Aral-Tail}$ は Aral Tail Regulator の水深である。



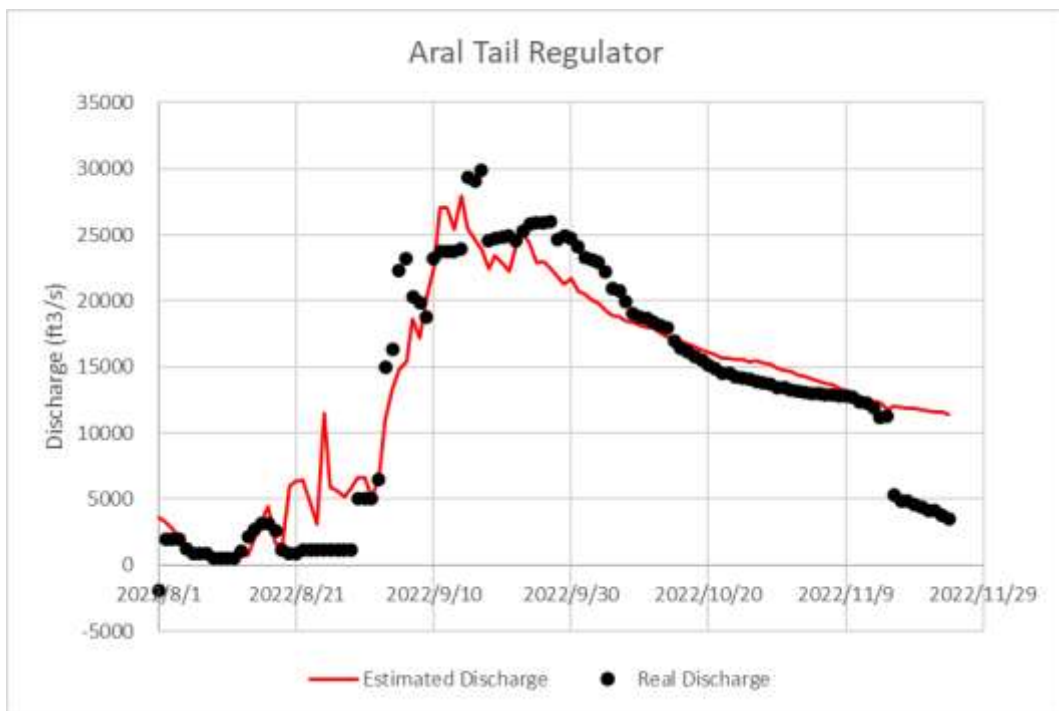
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.27 Aral Tail Regulator における水位差 ΔH と流速 V の散布図



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.28 Aral Tail Regulator の関係式算出



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.29 Aral Tail Regulator の関係式の検証計算

(6) 現況の排水能力で対応可能な洪水規模

表 4.6.9 に示す条件で現況の排水能力で対応可能な洪水規模の検討を行った。ここで、対応可能な洪水とは洪水期間中に Manchar 湖の水位が危険水位である 123ft(=37.49m)以上にならないことと定義する。検討結果は表 4.6.10 に示すように、現況の排水能力では5年確率雨量には対応できるが、10年確率雨量以上には対応できていないという状況である。また、5年確率雨量から100年確率雨量についての計算結果を図 4.6.30 に示す。

表 4.6.9 計算条件（現況排水能力）

設定項目	内容	備考
流入量の確率規模	5年～100年	
対象期間	2022/8/1～2022/10/12	
流入量と放流量	直接降雨	Nawabshah観測所のデータ
	蒸発量	0.8×2300mm/year
	Aral Head Regulator	観測実績に基づく関係式
	Aral Tail Regulator	観測実績に基づく関係式
Time Step	1日	
HAV関係式	2017 F/S Report	
下流端水位	Aral Head Regulator	2022年洪水時のデータ
	Aral Tail Regulator	2022年洪水時のデータ

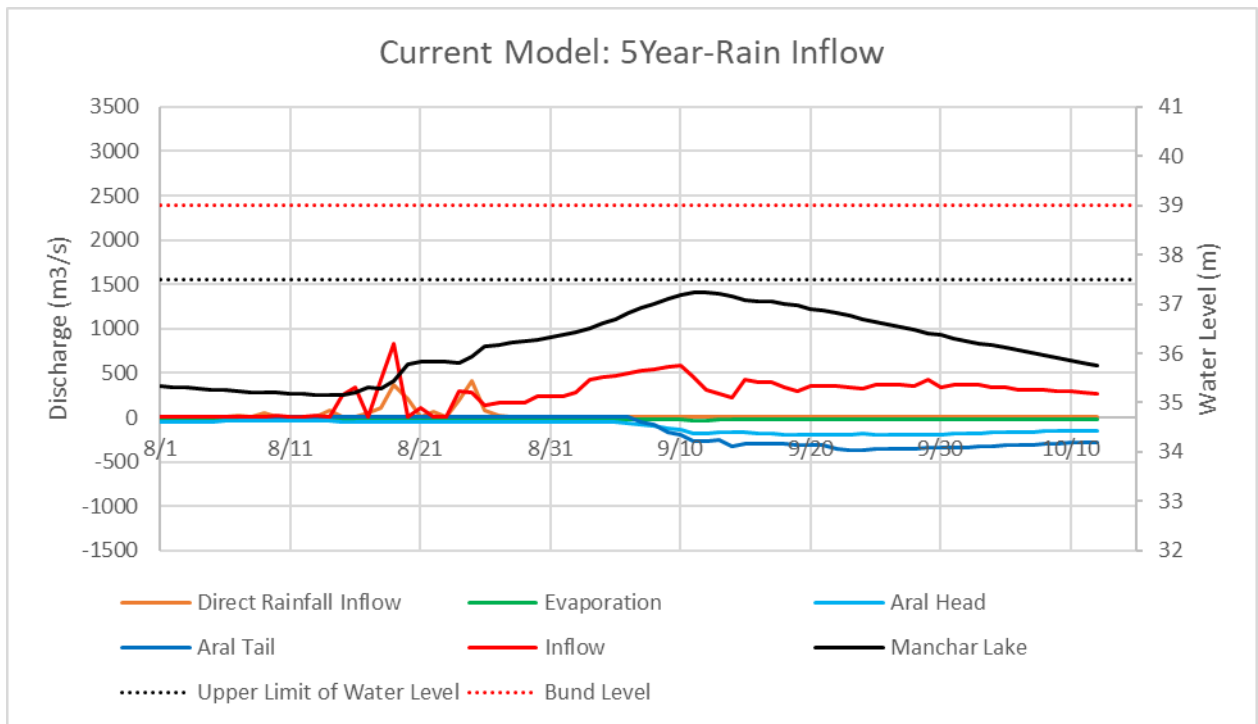
出典：アドバイザーチーム

表 4.6.10 計算結果のまとめ（現況排水能力）

確率規模	Manchar Lake				最大放流量			
	水位超過	最高水位	危険水位	堤防天端高	超過量	Aral Head	Aral Tail	Total
	m	m	m	m	m ³	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
5年	—	37.24	37.49	39.01	—	201.04	369.79	570.83
10年	0.40	37.89			131,225,767	262.76	478.39	741.15
20年	1.02	38.51			341,876,890	367.05	640.72	1007.77
25年	1.22	38.71			408,907,854	403.77	704.57	1108.34
30年	1.38	38.87			464,717,198	435.83	758.94	1194.77
50年	1.87	39.36			632,820,480	540.55	929.38	1469.93
80年	2.37	39.86			805,679,945	661.00	1115.07	1776.07
100年	2.63	40.12			894,330,557	727.79	1214.41	1942.20

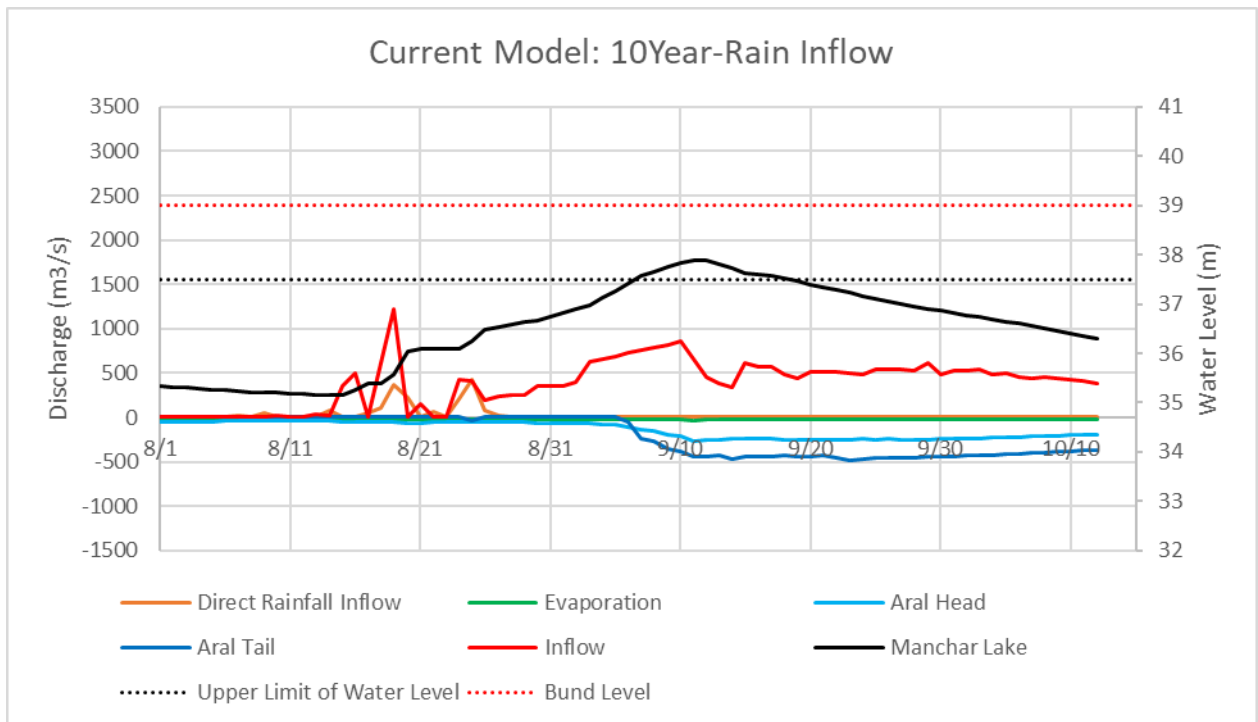
- ：危険水位を超過
- ：堤防天端高を超過

出典：アドバイザーチーム



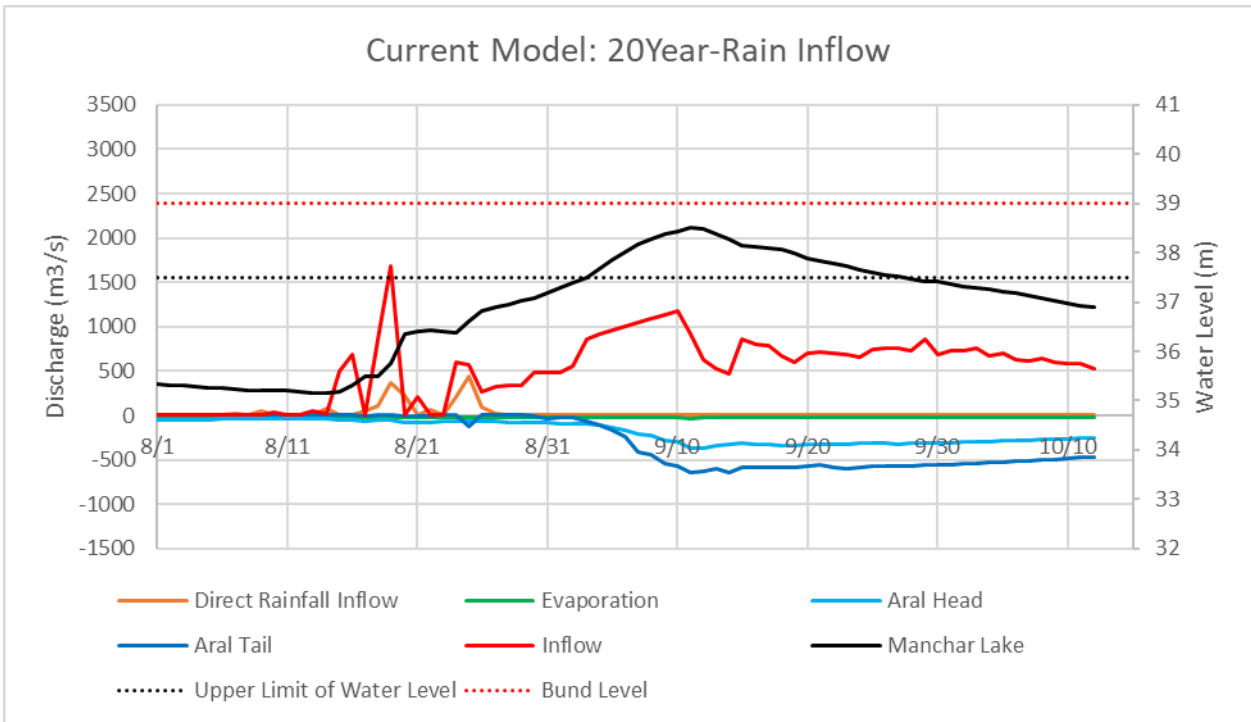
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.30(1) Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・5年確率雨量）



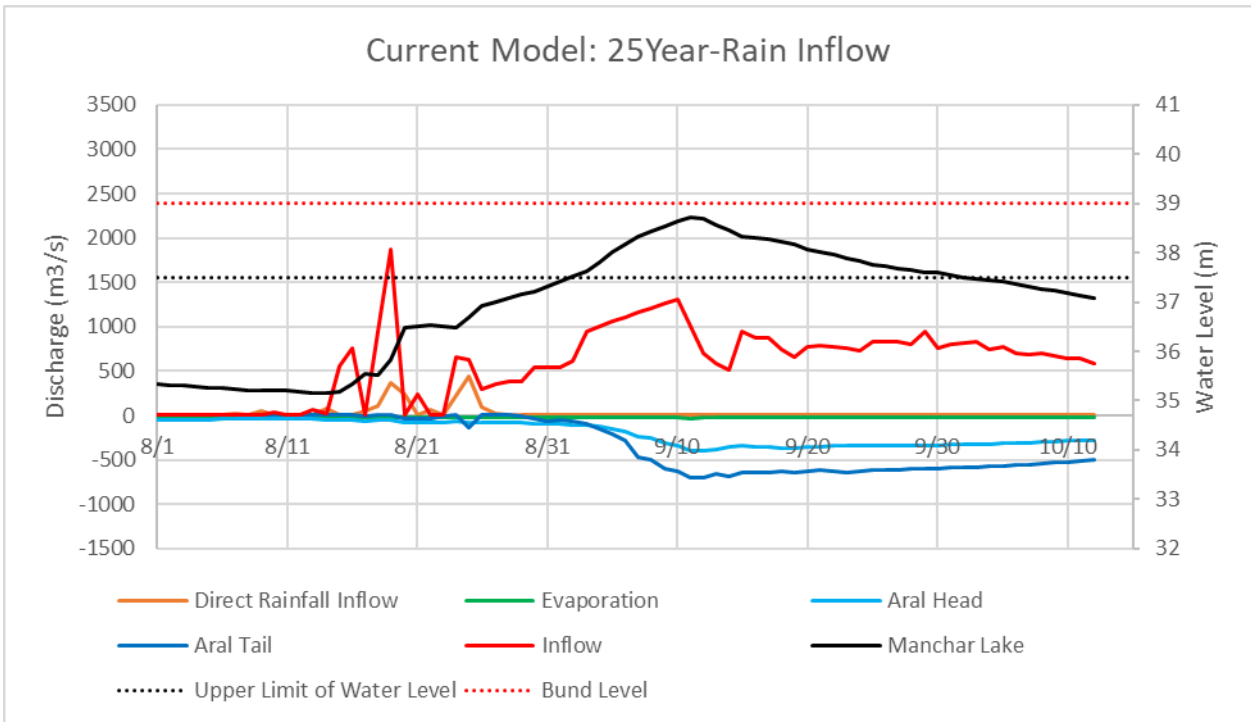
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.30(2) Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・10年確率雨量）



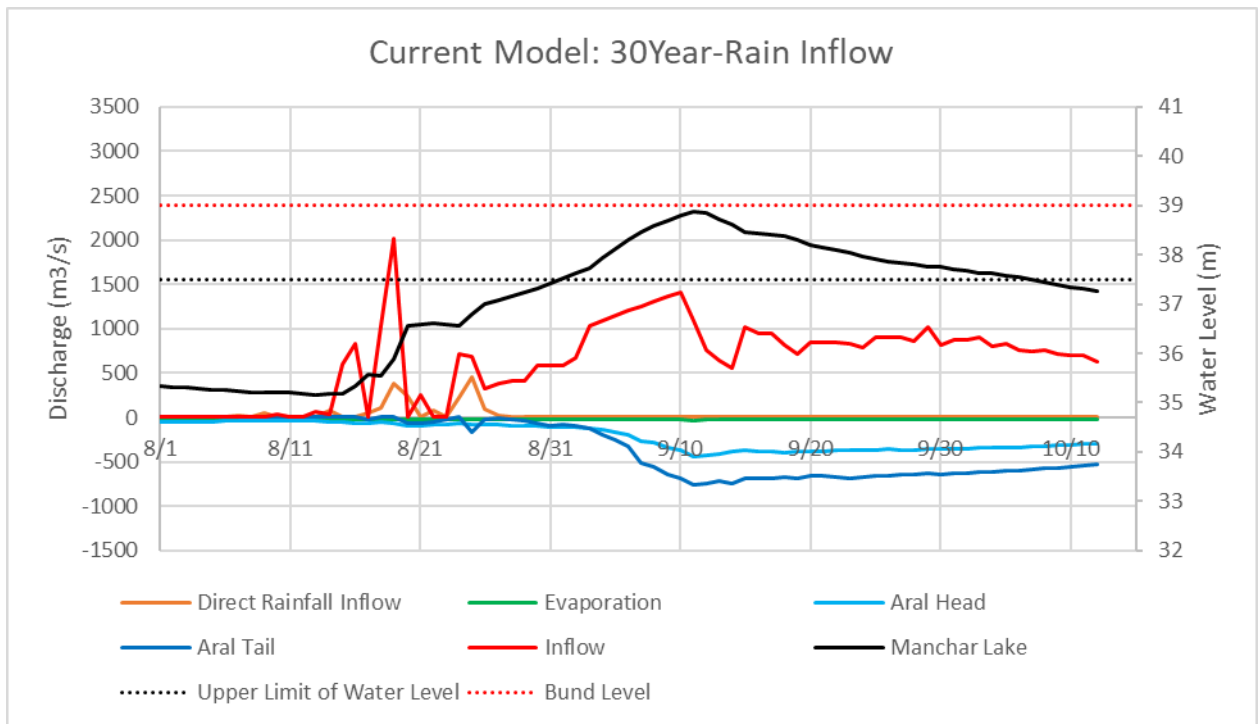
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.30(3) Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・20年確率雨量）



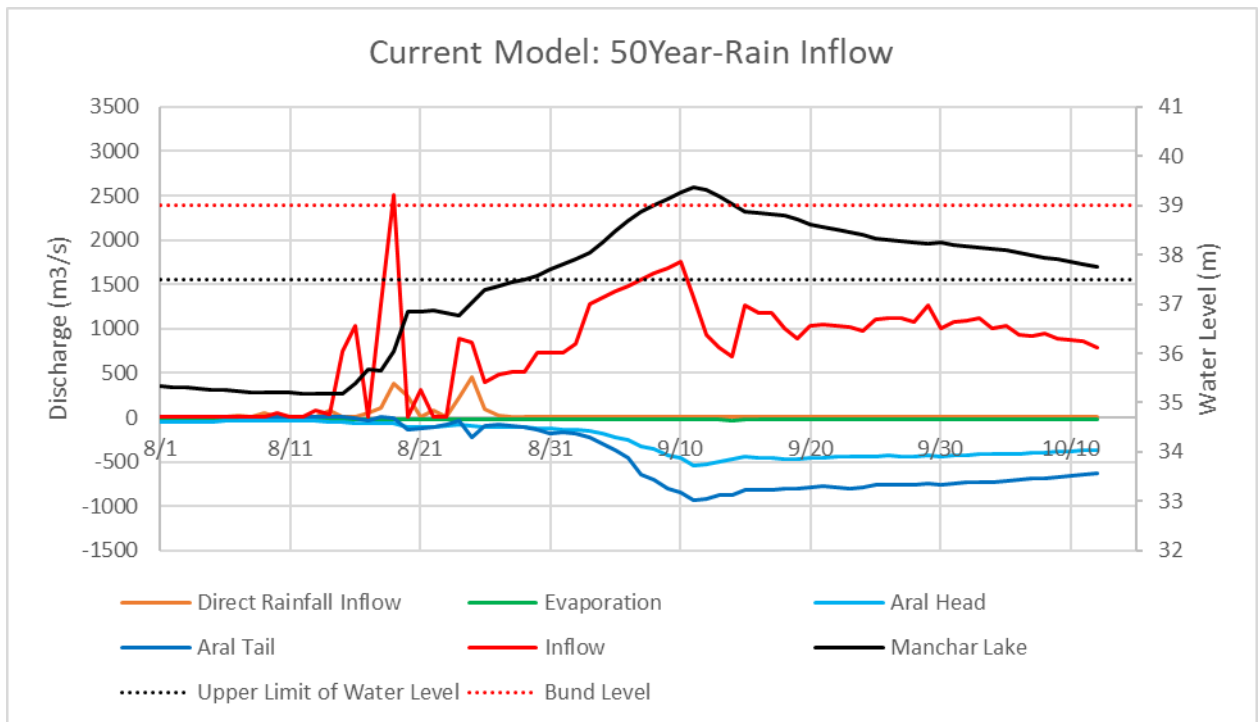
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.30(4) Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・25年確率雨量）



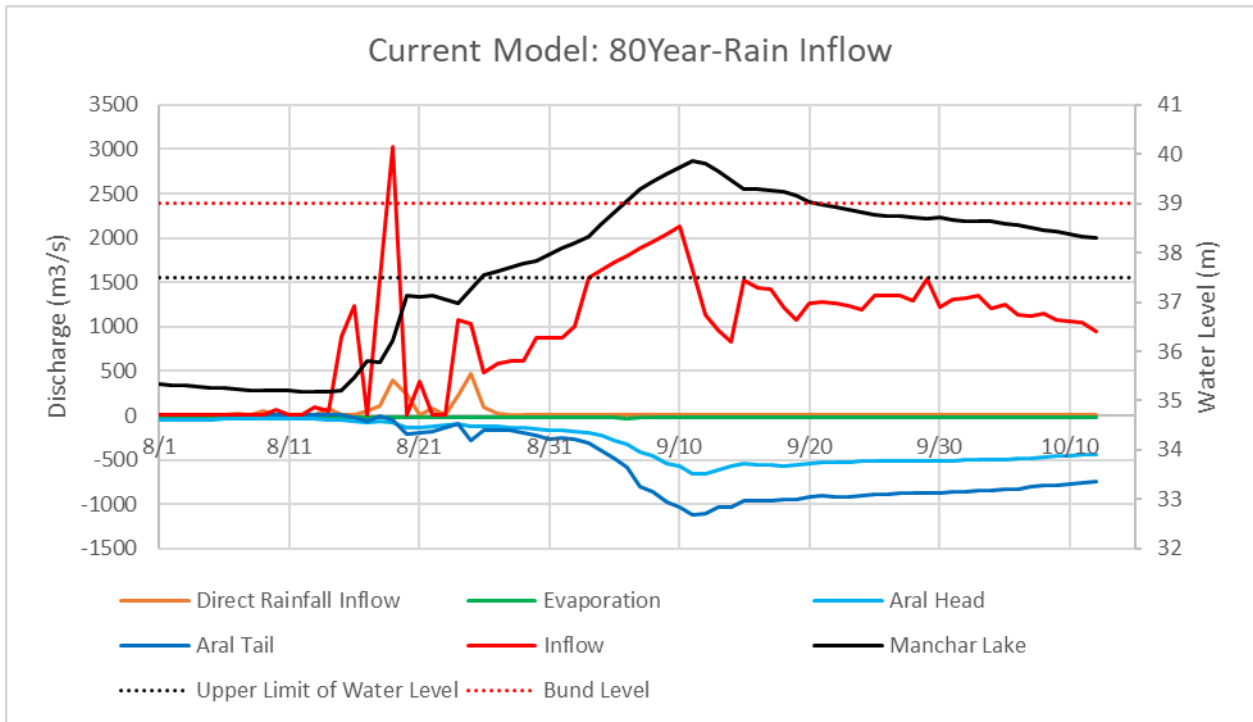
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.30(5) Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・30年確率雨量）



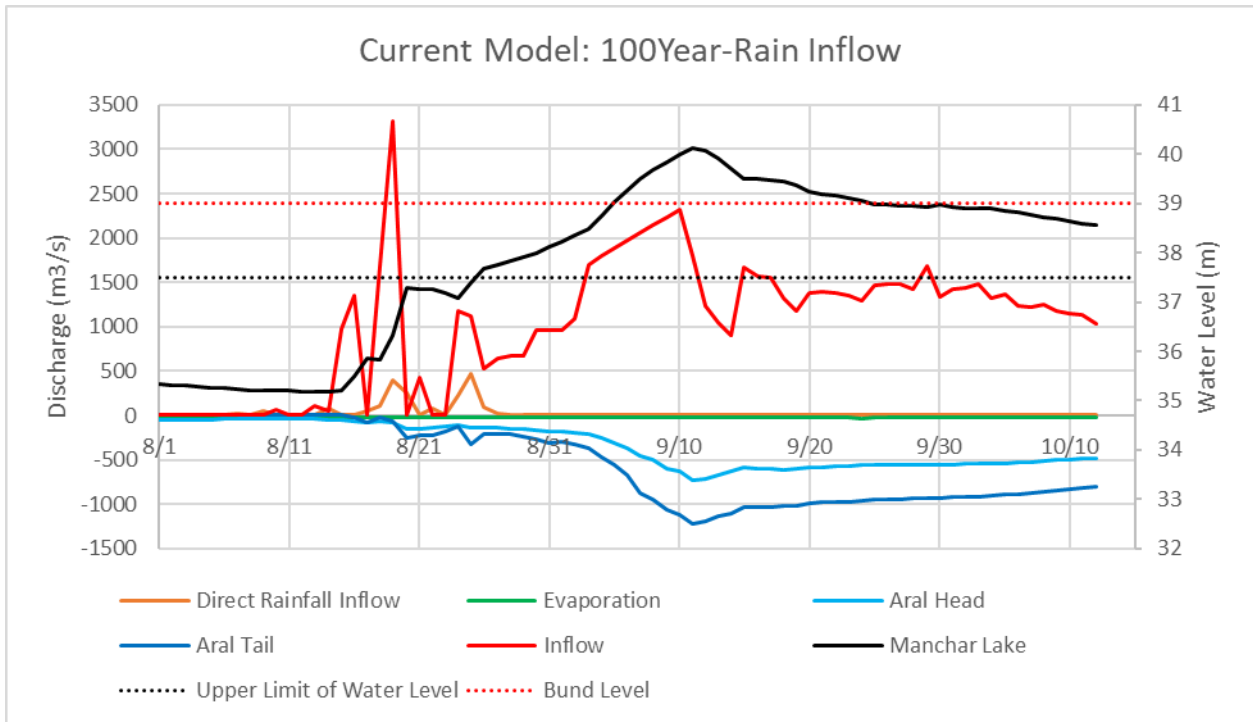
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.30(6) Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・50年確率雨量）



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.30(7) Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・80年確率雨量）



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.30(8) Manchar 湖の計算結果（現況排水能力・100年確率雨量）

(7) Aral Head Regulator の改修 (ALT0)

Sindh PID より入手した資料によると、Aral Head Regulator は 2023 年 9 月現在改修中であり、改修の内容は表 4.6.11 のようにまとめることができる。また、この改修に関する位置図を図 4.6.31 に示す。

この改修により Aral Head Regulator の放流能力は大幅に向上するが、本検討では次の式に示す Aral Head Regulator の関係式において、Aral Head Regulator の水門幅（全水門の合計値） $B_{Aral-Head}$ を 60 ft (=18.3 m) から 280 ft (=85.3 m) に変更することによって表現する。

$$Q_{Aral-Head} = A_{Aral-Head} V_{Aral-Head} = B_{Aral-Head} H_{Aral-Head} V_{Aral-Head}$$

$$V_{Aral-Head} = 0.2996\Delta H^2 + 0.0931\Delta H + 0.4612 \quad (H_{Aral-Head} > 10ft)$$

$$V_{Aral-Head} = 2.5404H_R + 0.4909 \quad (H_{Aral-Head} < 10ft)$$

ここで、 $Q_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator における放流量、 $V_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator における流速、 $A_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator の断面積、 $B_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator の水門幅（全水門の合計値）、 $H_{Aral-Head}$ は Aral Head Regulator の水深である。

表 4.6.11 Aral Head Regulator 改修 (ALT0) の内容

No	内容
1	Aral Head Regulator の更新
2	Aral Head Regulator 下流の河道拡幅
3	ゲート数の増設 (3 門から 14 門) これによりゲート幅が 60ft から 280ft に拡張
4	ゲート上流の河道幅が約 400ft であることを考慮すると、 排水能力は依然として Aral Head Regulator の排水能力に左右される

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：：Google Earth

図 4.6.31 Aral Head Regulator 改修 (ALT0) の位置図

(8) Aral Head Regulator 改修後 (ALT0) で対応可能な洪水規模

表 4.6.12 に示す条件で Aral Head Regulator 改修後 (ALT0) で対応可能な洪水規模の検討を行った。ここで、対応可能な洪水とは洪水期間中に Manchar 湖の水位が危険水位である 123ft(=37.49m) 以上にならないことと定義する。検討結果は表 4.6.13 に示すように、現況の排水能力では 20 年確率雨量には対応できるが、25 年確率雨量以上には対応できていないという状況である。また、5 年確率雨量から 100 年確率雨量についての計算結果を図 4.6.32 に示す。

表 4.6.12 計算条件 (ALT0)

設定項目	内容	備考
流入量の確率規模	5年～100年	
対象期間	2022/8/1～2022/10/12	
流入量と放流量	直接降雨	Nawabshah観測所のデータ
	蒸発量	0.8×2300mm/year
	Aral Head Regulator	観測実績に基づく関係式 ゲート数:14門(現況は3門)
	Aral Tail Regulator	観測実績に基づく関係式
Time Step	1日	
HAV関係式	2017 F/S Report	
下流端水位	Aral Head Regulator	2022年洪水時のデータ
	Aral Tail Regulator	2022年洪水時のデータ

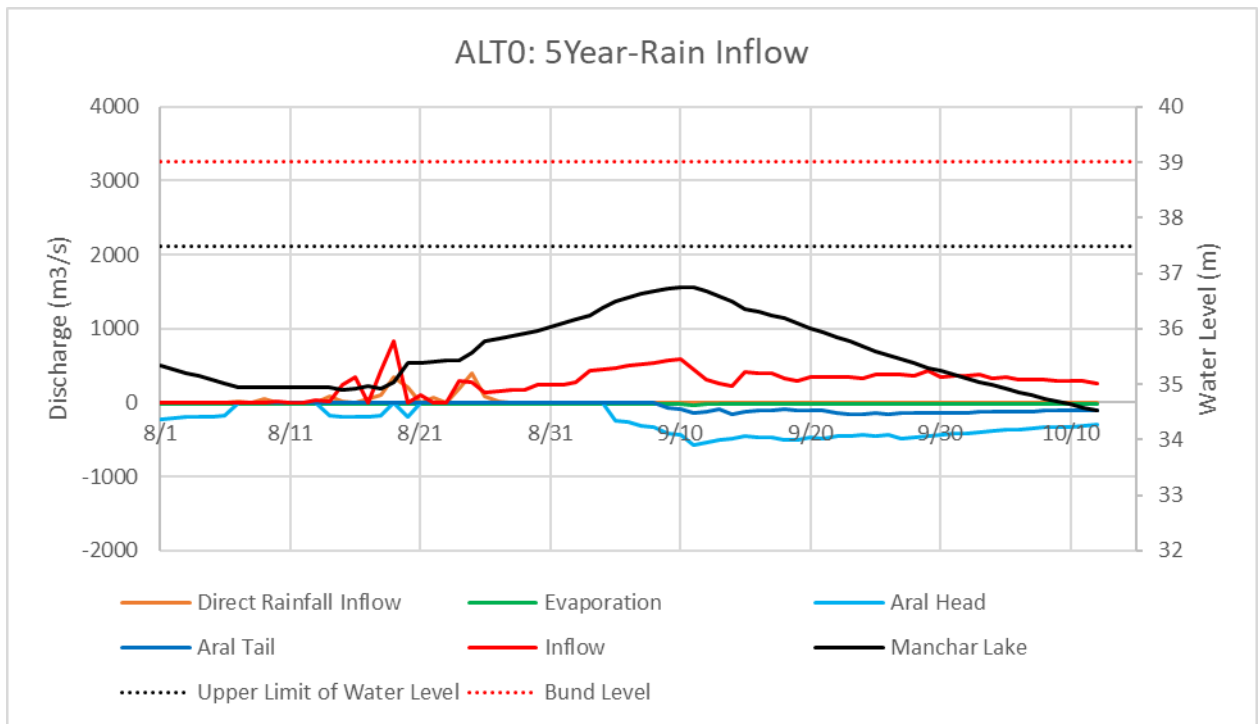
出典：アドバイザーチーム

表 4.6.13 計算結果のまとめ (ALT0)

確率規模	Manchar Lake				最大放流量			
	水位超過 m	最高水位 m	危険水位 m	堤防天端高 m	超過量 m ³	Aral Head m ³ /s	Aral Tail m ³ /s	Total m ³ /s
5年	—	36.76	37.49	39.01	—	578.02	162.92	740.94
10年	—	37.12			—	750.61	229.67	980.28
20年	0.02	37.51			8,029,497	976.77	338.25	1315.02
25年	0.19	37.68			61,878,617	1081.62	385.21	1466.83
30年	0.33	37.82			107,322,634	1175.15	425.73	1600.88
50年	0.69	38.18			228,206,573	1443.06	536.08	1979.14
80年	1.02	38.51			341,958,454	1713.09	640.80	2353.89
100年	1.19	38.68			397,735,355	1855.06	693.82	2548.88

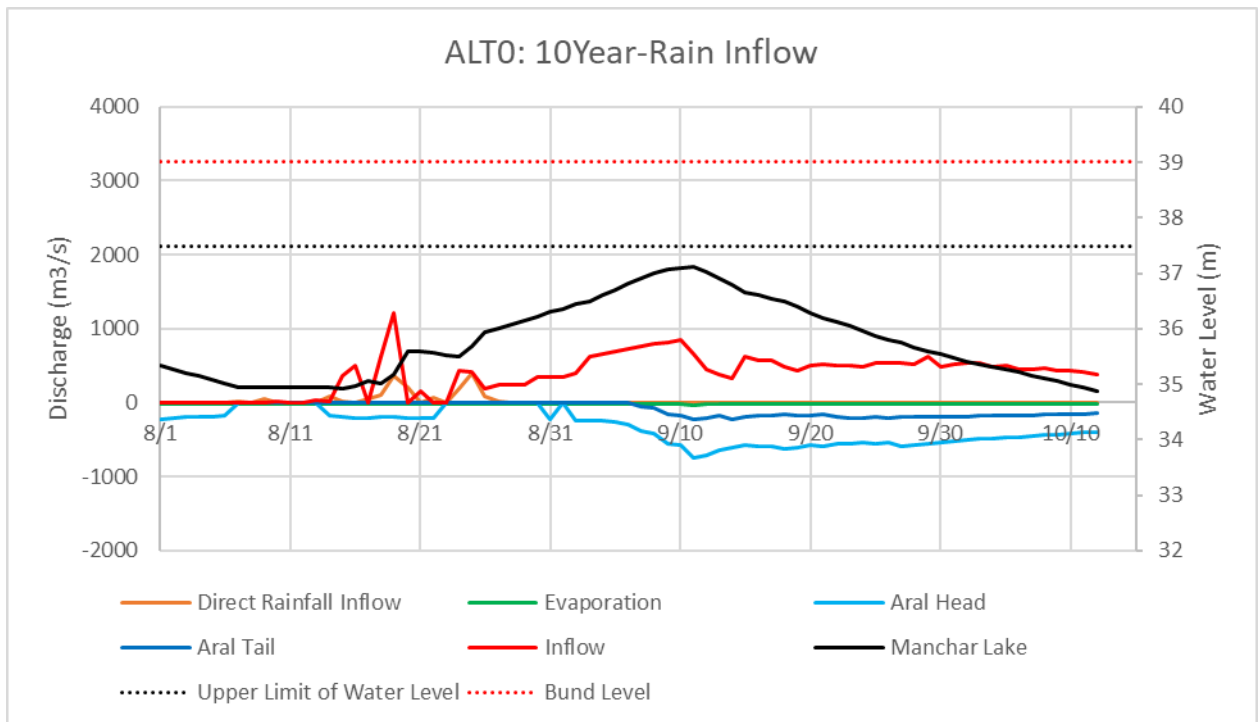
- ：危険水位を超過
- ：堤防天端高を超過

出典：アドバイザーチーム



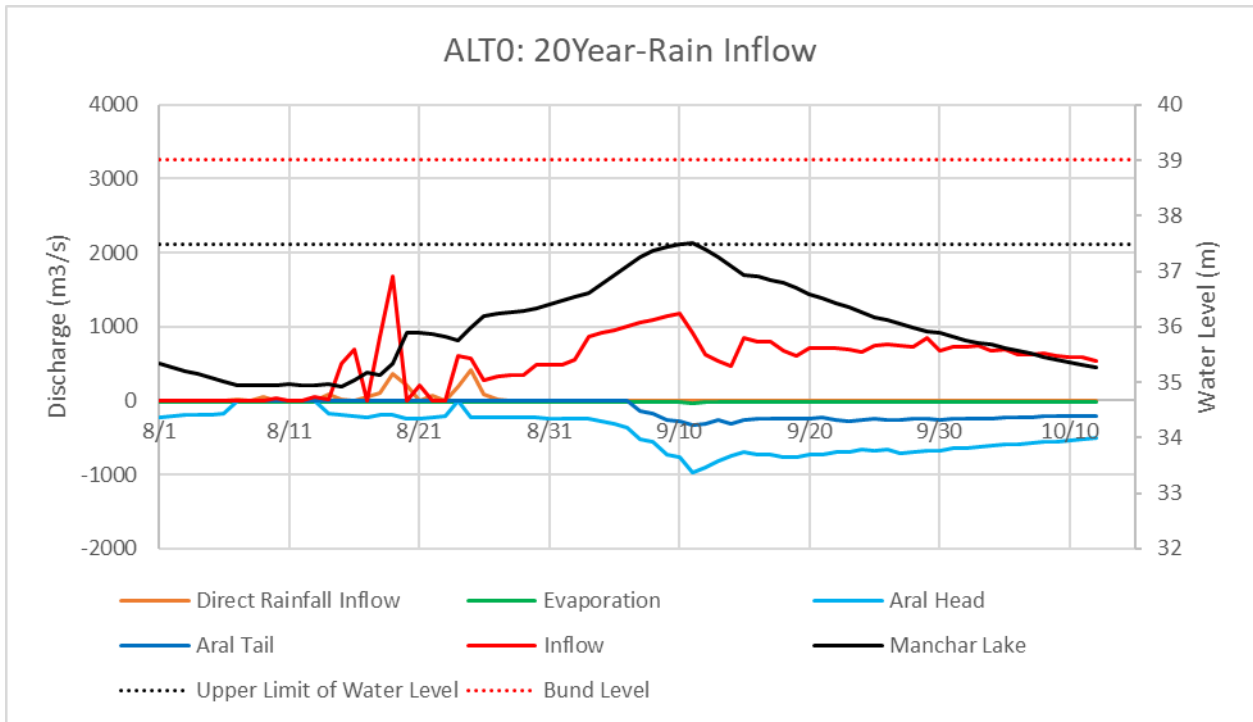
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.32(1) Manchar 湖の計算結果 (ALT0・5年確率雨量)



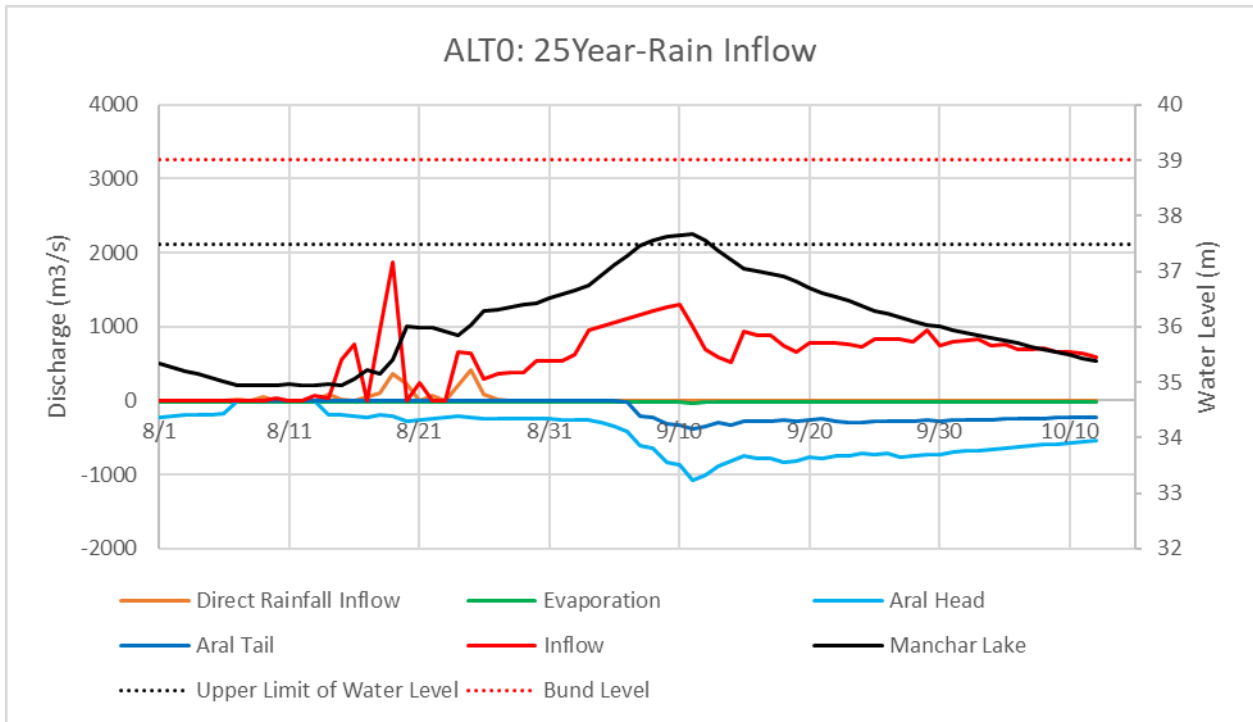
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.32(2) Manchar 湖の計算結果 (ALT0・10年確率雨量)



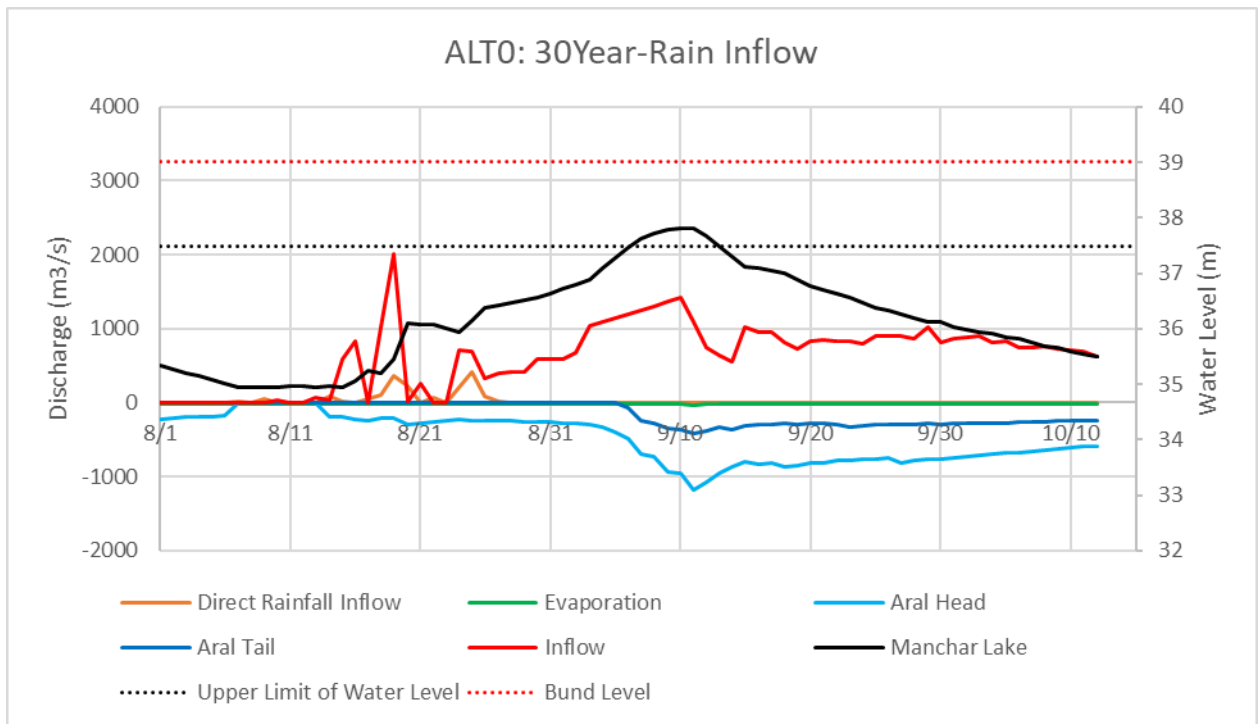
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.32(3) Manchar 湖の計算結果 (ALT0・20 年確率雨量)



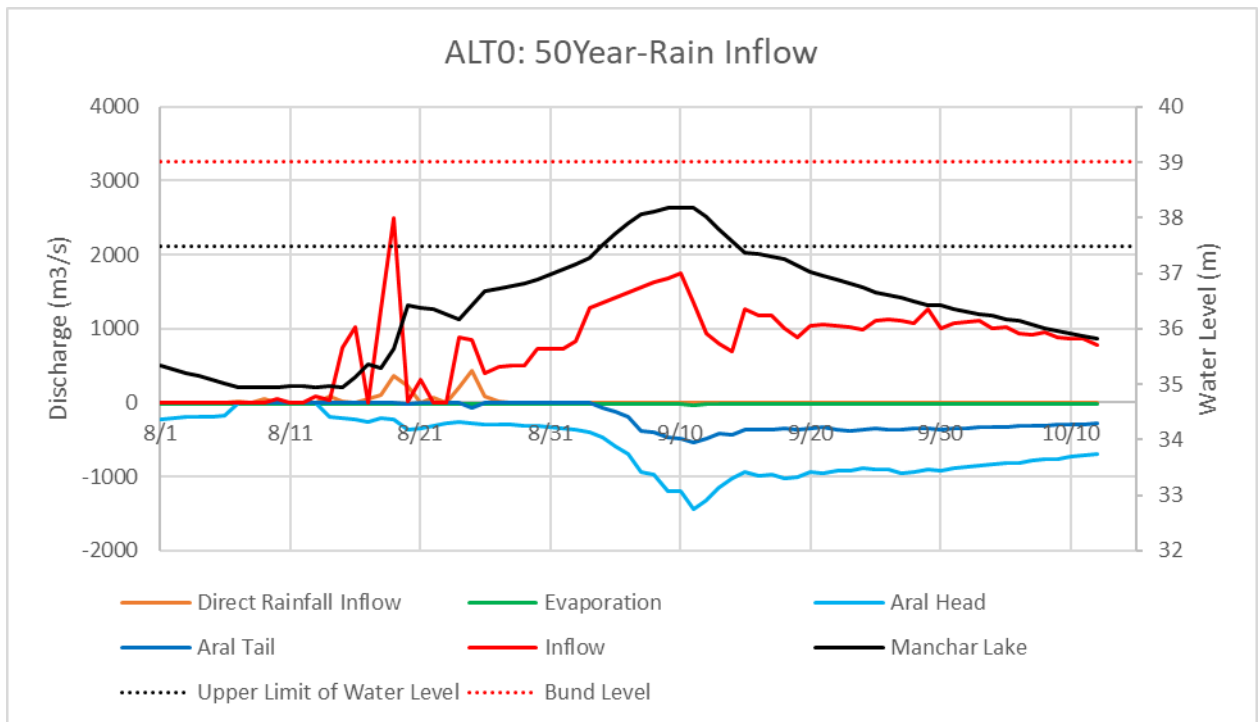
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.32(4) Manchar 湖の計算結果 (ALT0・25 年確率雨量)



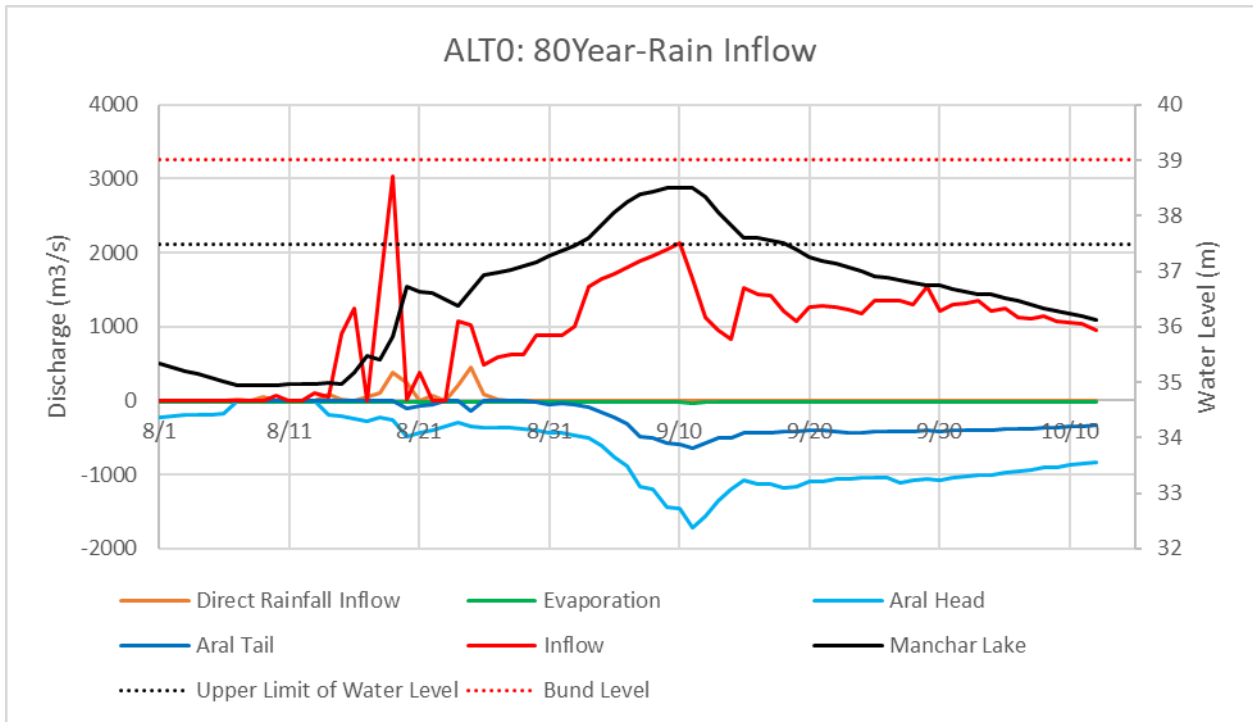
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.32(5) Manchar 湖の計算結果 (ALTO・30年確率雨量)



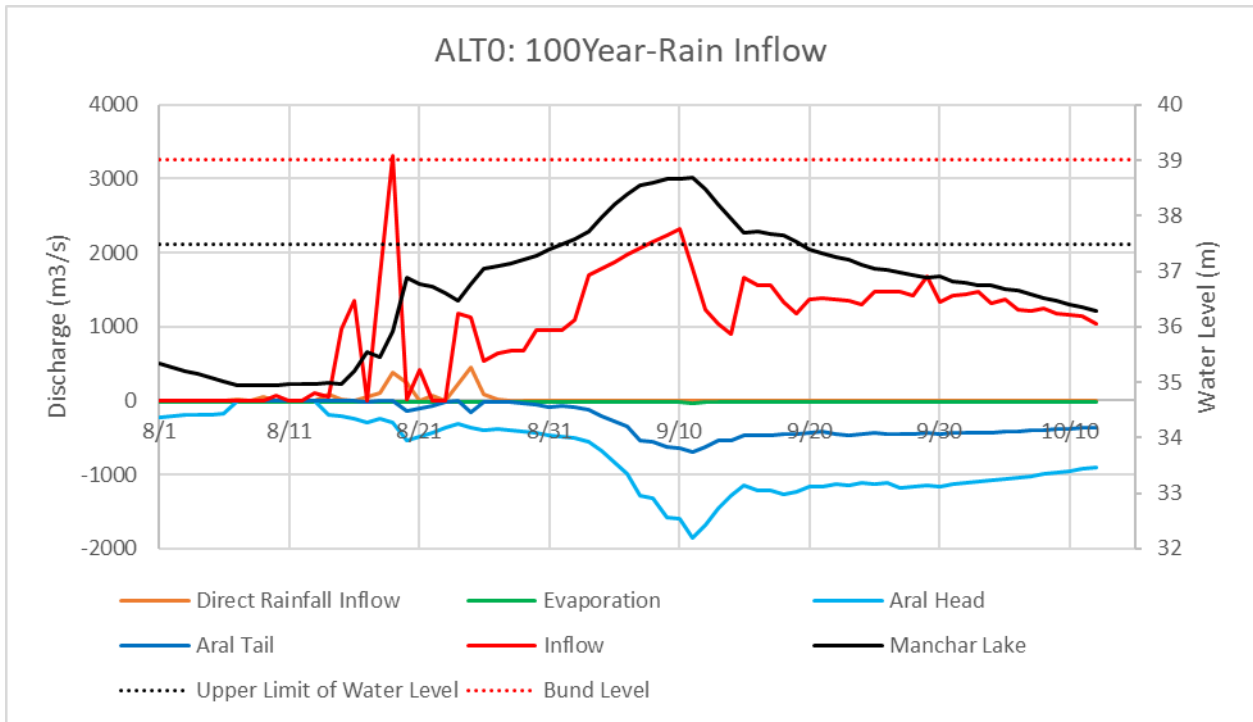
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.32(6) Manchar 湖の計算結果 (ALTO・50年確率雨量)



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.32(7) Manchar 湖の計算結果 (ALT0・80 年確率雨量)



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.32(8) Manchar 湖の計算結果 (ALT0・100 年確率雨量)

(9) 目標とする洪水規模

前項までの解析から、現況排水能力では5年確率規模まで、Aral Head Regulator を改修した場合 (ALT0) の排水能力では20年確率規模まで対応することができる。

また、図 4.6.33 に示す Irrigation Manual の記述によると、Protective Levee は50年確率規模を対象として計画されており、Manchar 湖の堤防も Protective Levee に該当すると考えると、50年確率規模を対象とすることが適切である。

次節の計算から、50年確率規模に対応できる対策として、新設の放水路設置や、既存の水路 (Aral Tail) の拡幅を行う場合、必要な川幅は100m(=328ft)程度になるため、現実的にも対応可能と考えられる。

3. FLOOD PROTECTION, CONTAINING BUNDS / LEVEES

Flood bunds are man-made structures, usually earthen embankments designed and constructed to contain, or control the flow of water so as to provide protection from inundation and are considered to act as a barrier between flood water and protected area. Flood bunds provide only a reduction in risk of flooding and cannot be expected to afford total protection with zero flood risk. It can therefore be said that bunds provide protection with some risk, the extent of risk varying with prevailing site conditions, in respect of levee health (flood worthiness) and flow conditions.

3.1. Protection Levees

Given the fact that no bund/levee can provide full 100% protection, the level of anticipated protection is decided keeping the availability of resources and flood magnitude in view:

Presently the flood bunds in vulnerable reaches are designed for a return period of 50 years, while the guide and marginal bunds of barrages are designed to provide protection against floods of 100 years return period.

- In the recent past the design of flood bunds on natural streams corresponded to a return period of 40 years.
- On hill torrents with flash flows a return period of 25 years was used.
- Due to socio-economic environmental scenarios and improvement in design methods now the flood protection bunds are being designed for a 50 year flood.
- This level of protection may further be increased to design against 100 and 200 year flood due to further developments and industrialization and climate change effects in the vicinity of flood bunds. However, the present practice of providing a freeboard of 6 ft. above the highest recorded flood levels adequately covers this return period for open reaches.

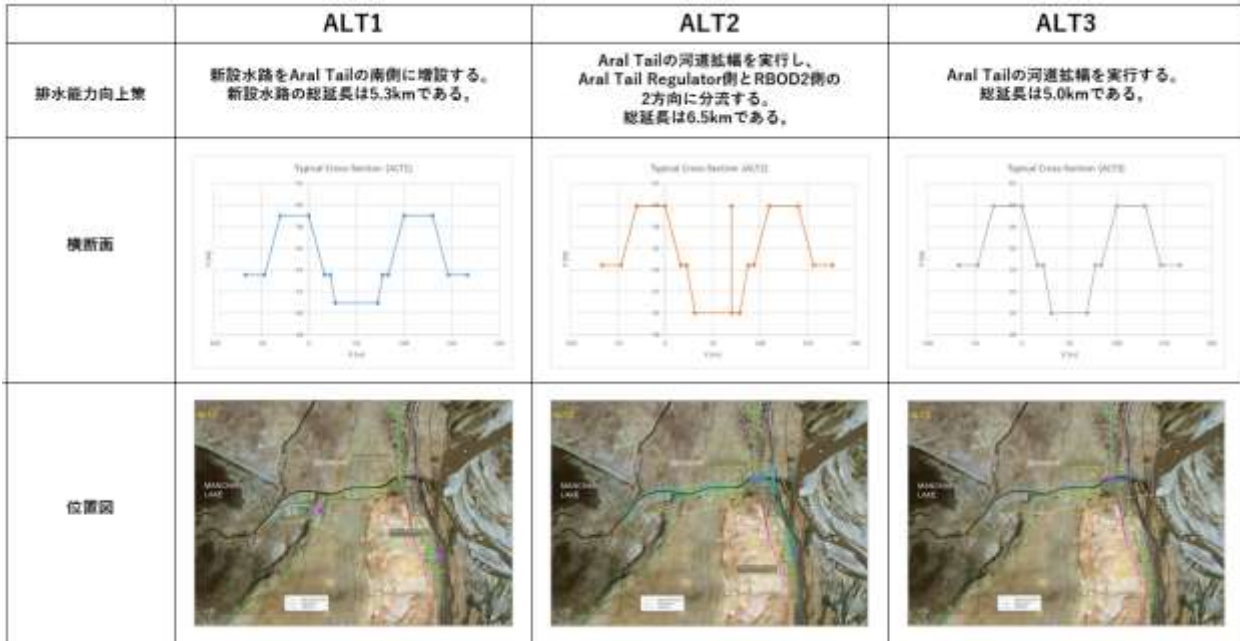
出典：Irrigation Manual

図 4.6.33 Irrigation Manual の記載内容

4.6.4 排水能力向上策の検討

(1) 検討概要

前節で決定した目標とする流入量波形に対して、これを流下できるような排水能力向上策を検討する。排水能力向上策は図 4.6.34 に示す 3 つの方法について、それぞれの方法に対して目標とする流入量波形を流下できる最小の水路幅を不等流計算により算定した。



出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：：Bing Map, Microsoft Corporation

図 4.6.34 排水能力向上策の概要

(2) 対策案のモデル化方法

新設水路の計算については不等流計算により算出した。具体的には下流端水位と上流端水位が既知であるため、下流端水位と仮の水路流量を複数与えて、以下の式の両辺の数値を逐次計算し、両辺の数値が同じようになるような水位を求め、それを水路の流量とした。

$$H_X + \frac{V_X^2}{2g} + \frac{L}{n^2} \times \frac{1}{2} \left(\frac{V_X^2}{R_X^2} + \frac{V_{X+1}^2}{R_{X+1}^2} \right) = H_{X+1} + \frac{V_{X+1}^2}{2g}$$

$$V_X = \frac{Q_{New-Canal}}{A_X}$$

$$R_X = \frac{A_X}{S_X}$$

ここで、 H_X はX断面における位置水頭、 V_X はX断面における流速、 g は重力加速度、 L はX断面とX+1断面間の区間距離、 n は粗度係数、 R_X はX断面における径深、 $Q_{New-Canal}$ は水路の流量、 A_X はX断面における断面積、 S_X はX断面における潤辺である。

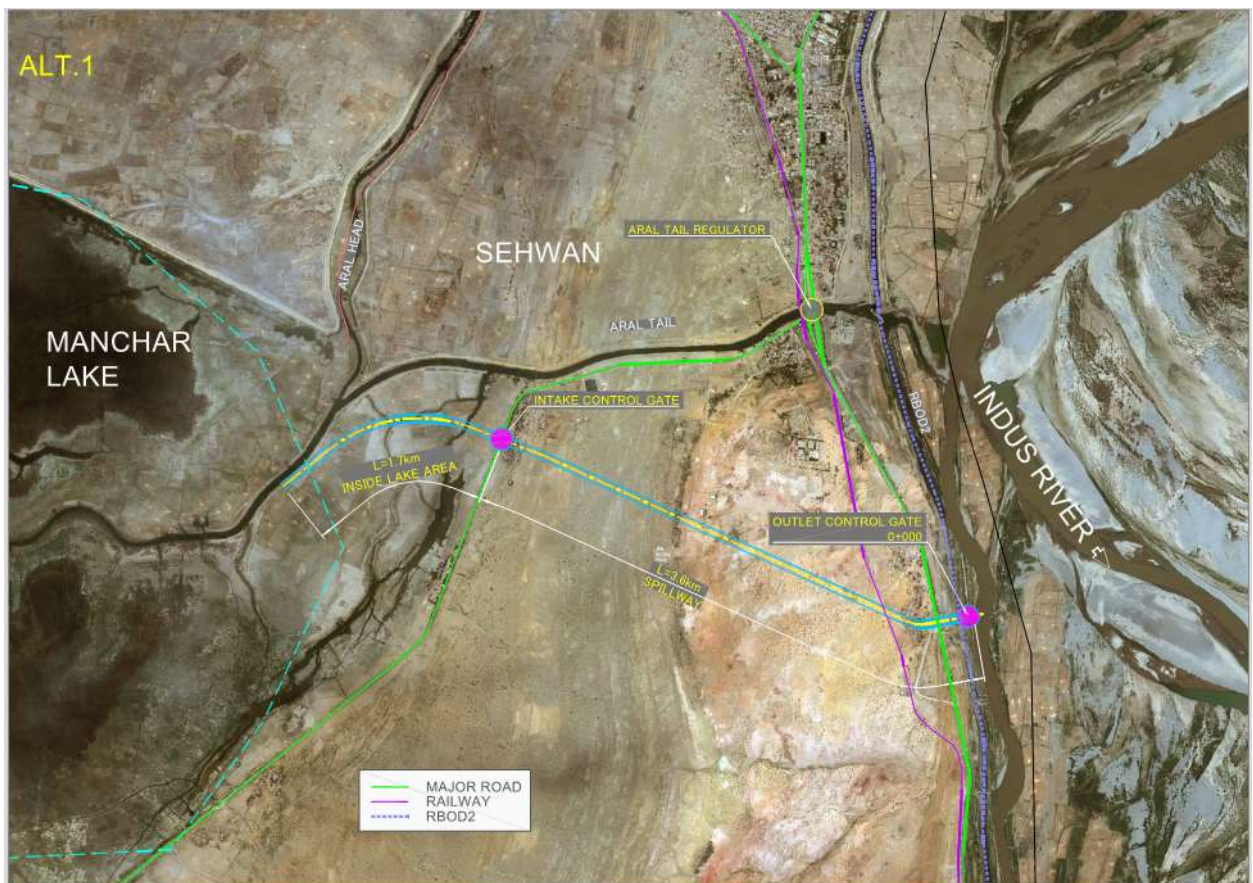
1) 新設水路の増設 (ALT1)

ALT1 では Aral Tail の南側に新設水路を増設する。図 4.6.35 に新設水路の増設 (ALT1) の位置図を示す。また、断面設定方法を表 4.6.14 及び図 4.6.36 に示す。さらに、縦断面図と横断面図を図 4.6.37 及び図 4.6.38 に示す。

ここで、断面設定について、堤防高及び高水敷の高さは Spillway の上流端において Aral Tail の現況と同じ 131ft(=39.93m)及び 113ft(=34.44m)と設定した。河床高は Aral Tail Regulator の河床高が 98.5ft(=30.02m)であり、Spillway の下流端がこの地点から Indus 川に沿って 2.5km 下流にあり、さらにこの区間の河床勾配 1/9,000 であることから、下流端における河床高を 97.58ft(=29.74m)と設定した。

新設水路内の勾配は土砂の堆積を防ぐことができ、流下能力を大幅に落とすことがないことから、これを満たす勾配 1/1,500 に設定した。また、高水敷の高さは下流端において平水時よりも高く設定する必要があるため、これを満たす勾配 1/2,000 に設定した。

なお、湖部分は Manchar 湖の水位と同じ水位として、モデル化は実施しなかった。



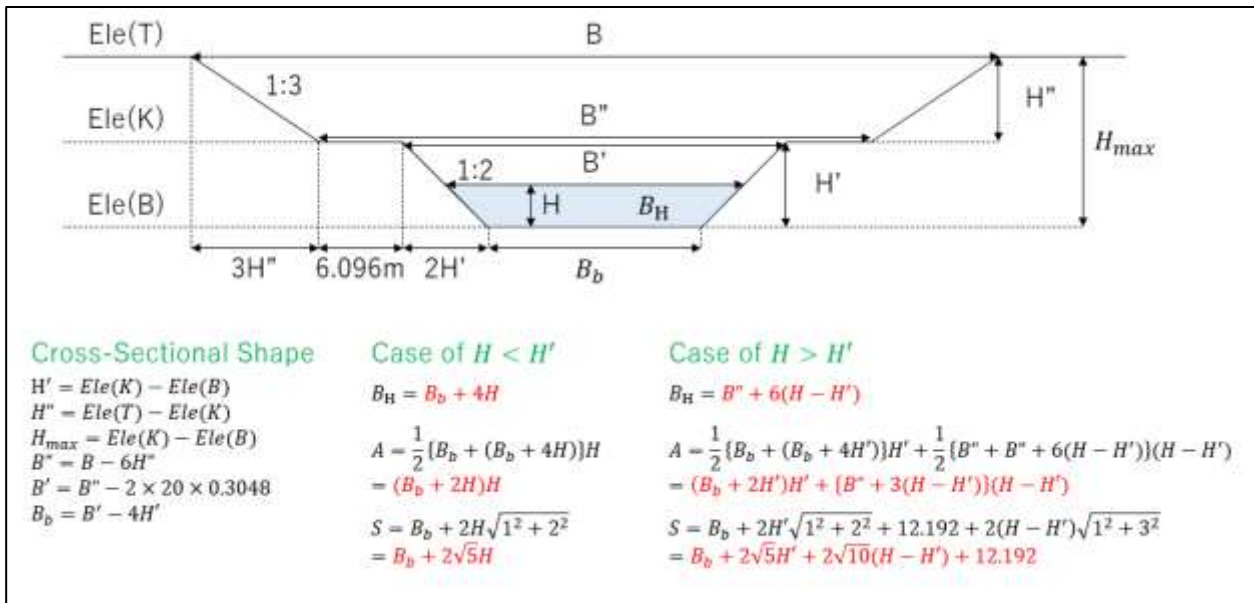
出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：：Bing Map, Microsoft Corporation

図 4.6.35 新設水路の増設 (ALT1) の位置図

表 4.6.14 新設水路の増設 (ALT1) における断面設定方法

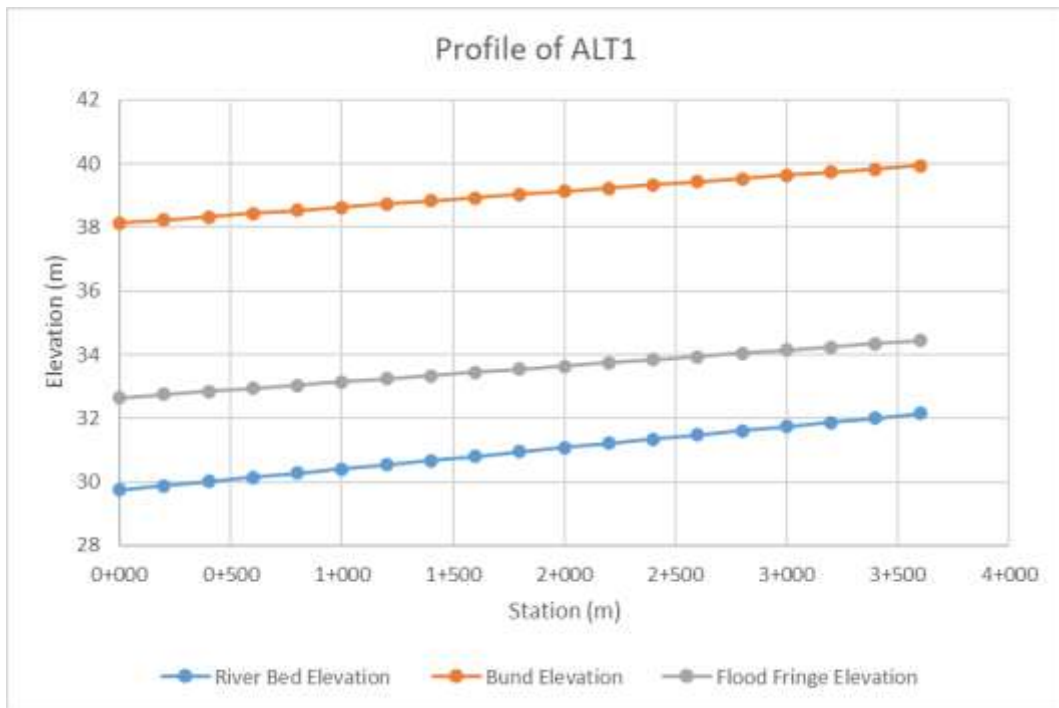
区分	区間	横断形状	
水路内	0+000~3+600	堤防高	3+600 において 131ft (39.93m) 下流に向かって勾配 1/2000 で下げる。
		高水敷の高さ	3+600 において 113ft (34.44m) 下流に向かって勾配 1/2000 で下げる。
		河床高	0+000 において 97.58ft (29.74m) 上流に向かって勾配 1/1500 で上げる。
Manchar 湖内	3+600~5+300	—	モデル化しない。 水位は Manchar 湖と同じと設定する。

出典：アドバイザーチーム



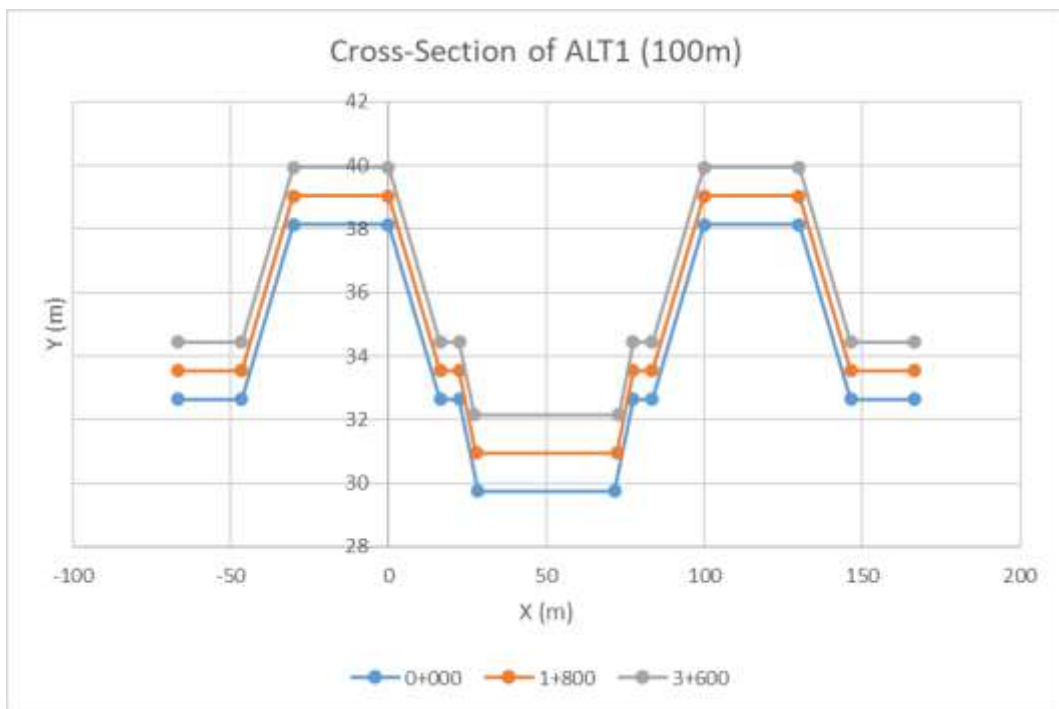
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.36 新設水路の増設 (ALT1) における断面設定方法



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.37 新設水路の増設（ALT1）における縦断面図



出典：アドバイザーチーム

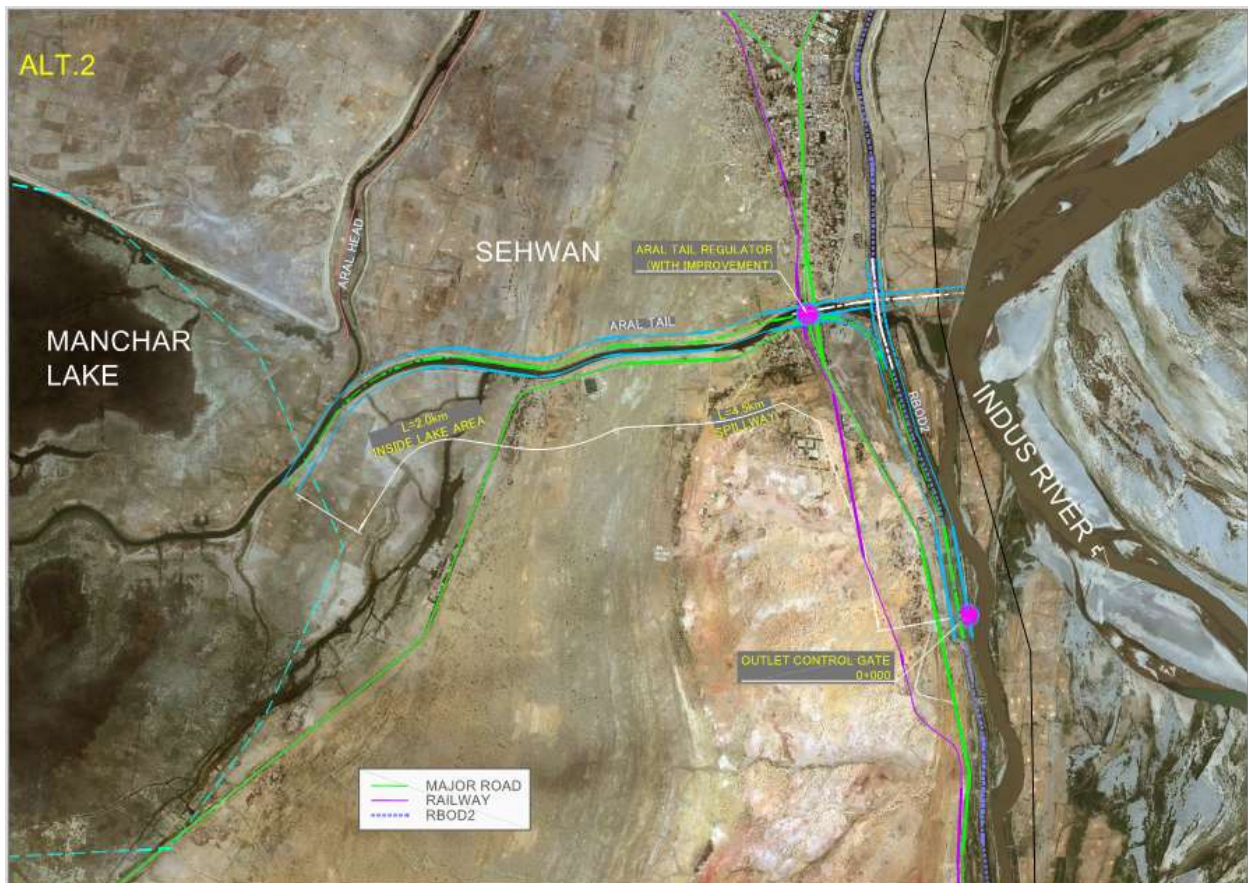
図 4.6.38 新設水路の増設（ALT1）における横断面図

2) 既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）

ALT2 では Aral Tail を拡幅するとともに RBOD-II も拡幅し、Aral Tail Regulator 付近で分派して放流を行う。ここで、本検討では Aral Tail に放流する分と RBOD-II に放流する分について、片側直壁の2つの水路として不等流計算を実施し評価を行った。図 4.6.39 に既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）の位置図を示す。また、断面設定方法を表 4.6.15 及び図 4.6.40 に示す。さらに、縦断面図と横断面図を図 4.6.41 及び図 4.6.42 に示す。

ここで、断面設定について、Aral Tail 部分においては現況と同じ設定である堤防高 131ft(=39.93m)、高水敷 113ft(=34.44m)と設定した。河床高は Aral Tail Regulator の河床高まで掘削するとして 98.5ft(=30.02m)と設定した。RBOD-II 部分においては Indus 川のこの区間における勾配 1/9,000 にしたがって設定した。

なお、湖部分は Manchar 湖の水位と同じ水位として、モデル化は実施しなかった。



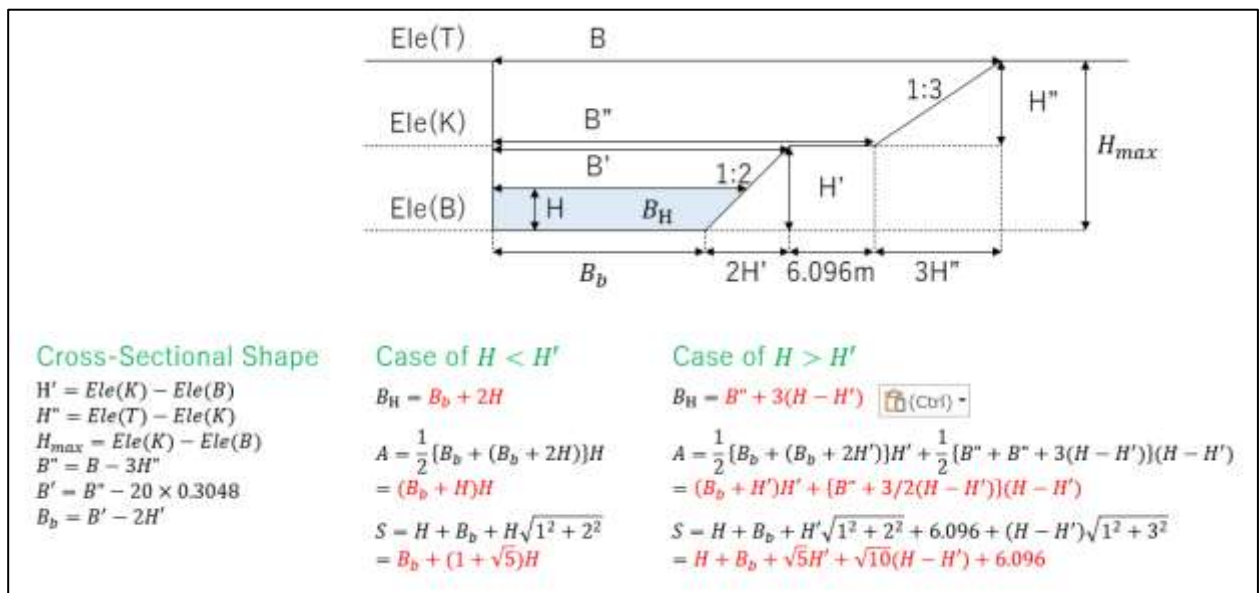
出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：：Bing Map, Microsoft Corporation

図 4.6.39 既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）の位置図

表 4.6.15 既設水路 (Aral Tail 及び RBOD-II) の拡幅 (ALT2) における断面設定方法

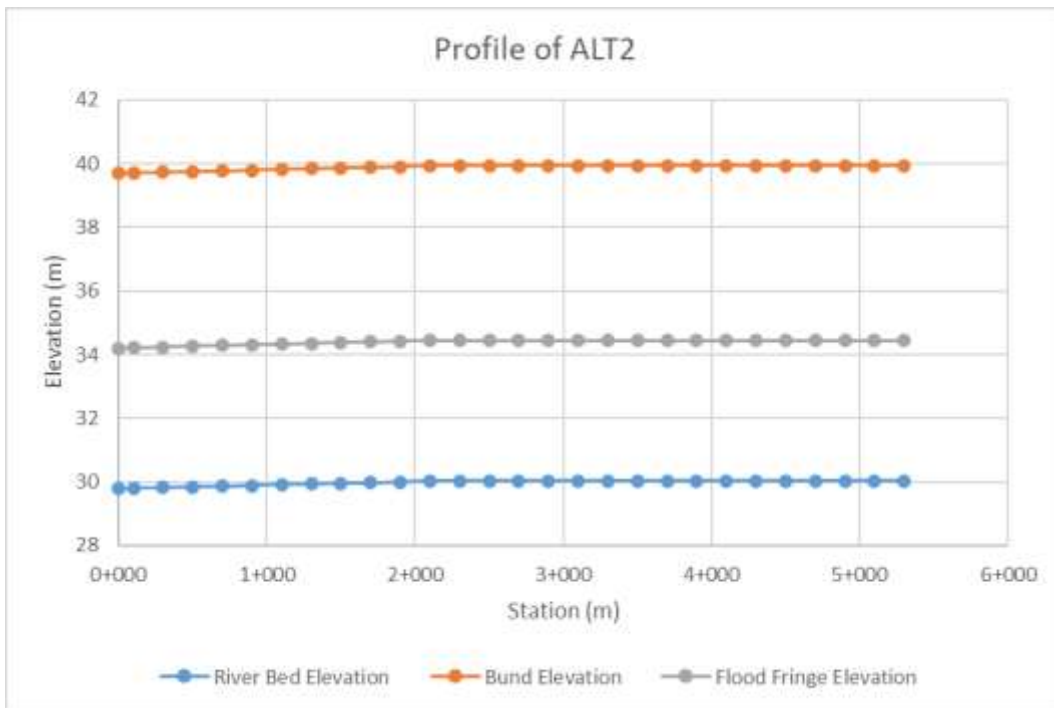
区分	区間	横断形状	
計算方法	—	—	片側直壁の2つの水路として不等流計算を実行
RBOD-II	0+000~2+100	堤防高	2+100 において 131ft(39.93m) 下流に向かって勾配 1/9000 で下げる。
		高水敷の高さ	2+100 において 113ft(34.44m) 下流に向かって勾配 1/9000 で下げる。
		河床高	2+100 において 98.5ft(29.74m) 下流に向かって勾配 1/9000 で下げる。
水路内	2+300~5+300	堤防高	131ft(39.93m) (現況高さと同じ)
		高水敷の高さ	113ft(34.44m) (現況高さと同じ)
		河床高	98.5ft(29.74m) (現況高さと同じ)
Manchar 湖内	5+500~6+500	—	モデル化しない。 水位は Manchar 湖と同じと設定する。

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.40 既設水路 (Aral Tail 及び RBOD-II) の拡幅 (ALT2) における断面設定方法



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.41 既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）における縦断面図



出典：アドバイザーチーム

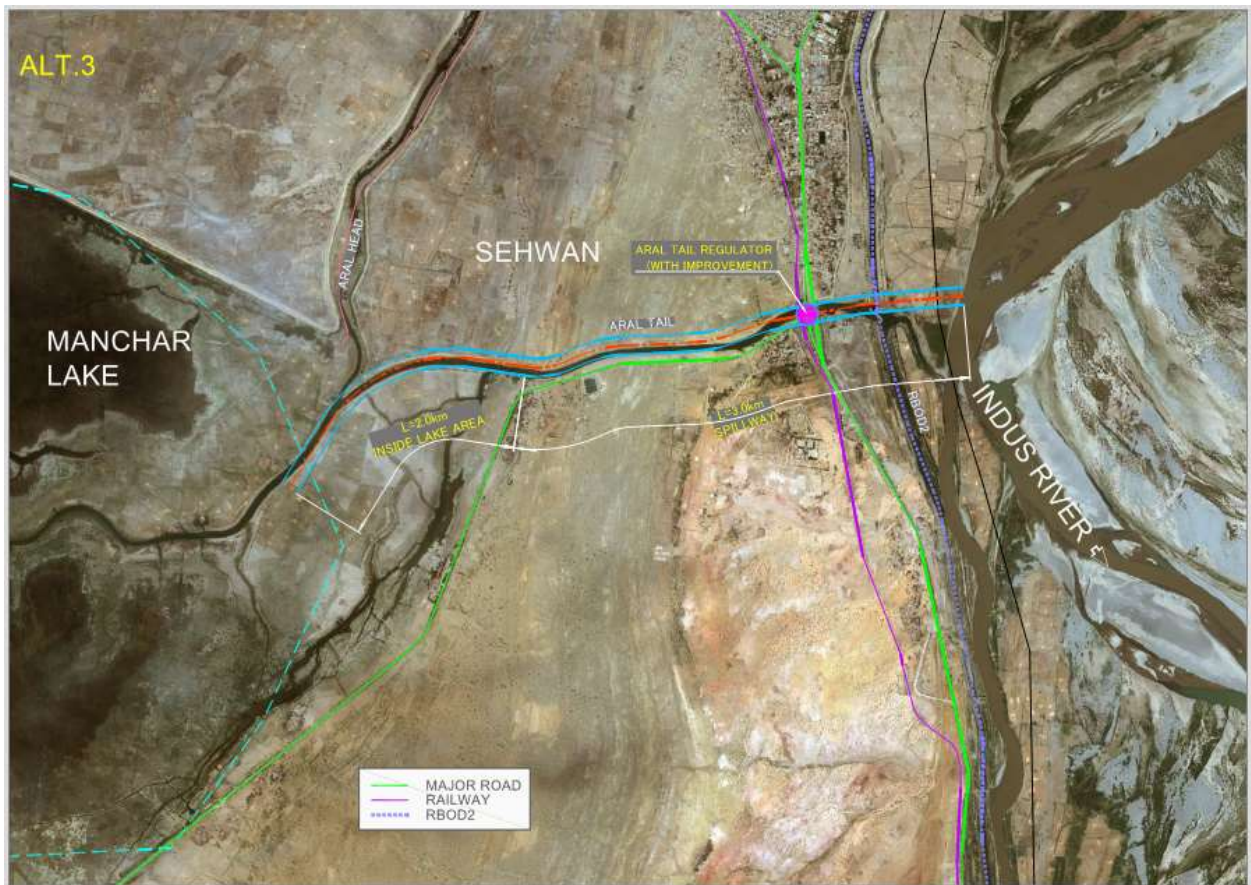
図 4.6.42 既設水路（Aral Tail 及び RBOD-II）の拡幅（ALT2）における横断面図

3) 既設水路 (Aral Tail のみ) の拡幅 (ALT3)

ALT3 では Aral Tail の拡幅を行う。ここで、本検討では改修後の Aral Tail を対象に不等流計算を実施し評価を行った。図 4.6.43 に既設水路 (Aral Tail のみ) の拡幅 (ALT3) の位置図を示す。また、断面設定方法を表 4.6.16 及び図 4.6.44 に示す。さらに、縦断面図と横断面図を図 4.6.45 及び図 4.6.46 に示す。

ここで、断面設定について、Aral Tail 部分においては現況と同じ設定である堤防高 131ft(=39.93m)、高水敷 113ft(=34.44m)と設定した。河床高は Aral Tail Regulator の河床高まで掘削するとして 98.5ft(=30.02m)と設定した。

なお、湖部分は Manchar 湖の水位と同じ水位として、Indus 川部分は Aral Tail Regulator と同じ水位として、モデル化は実施しなかった。



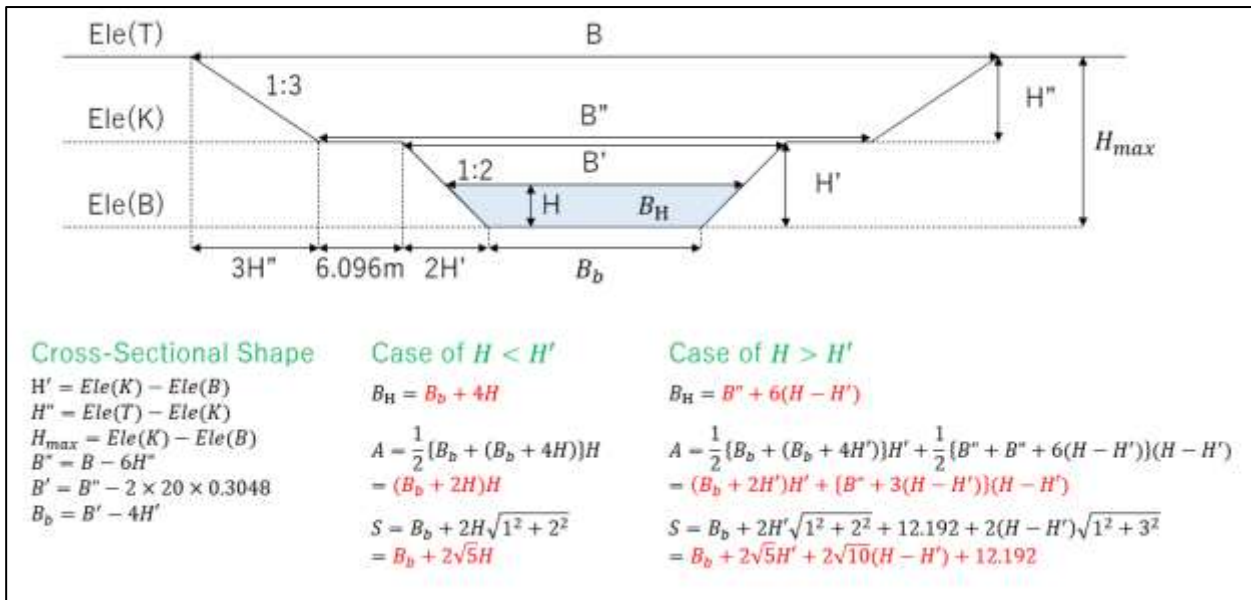
出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：Bing Map, Microsoft Corporation

図 4.6.43 既設水路 (Aral Tail のみ) の拡幅 (ALT3)

表 4.6.16 既設水路（Aral Tail のみ）の拡幅（ALT3）における断面設定方法

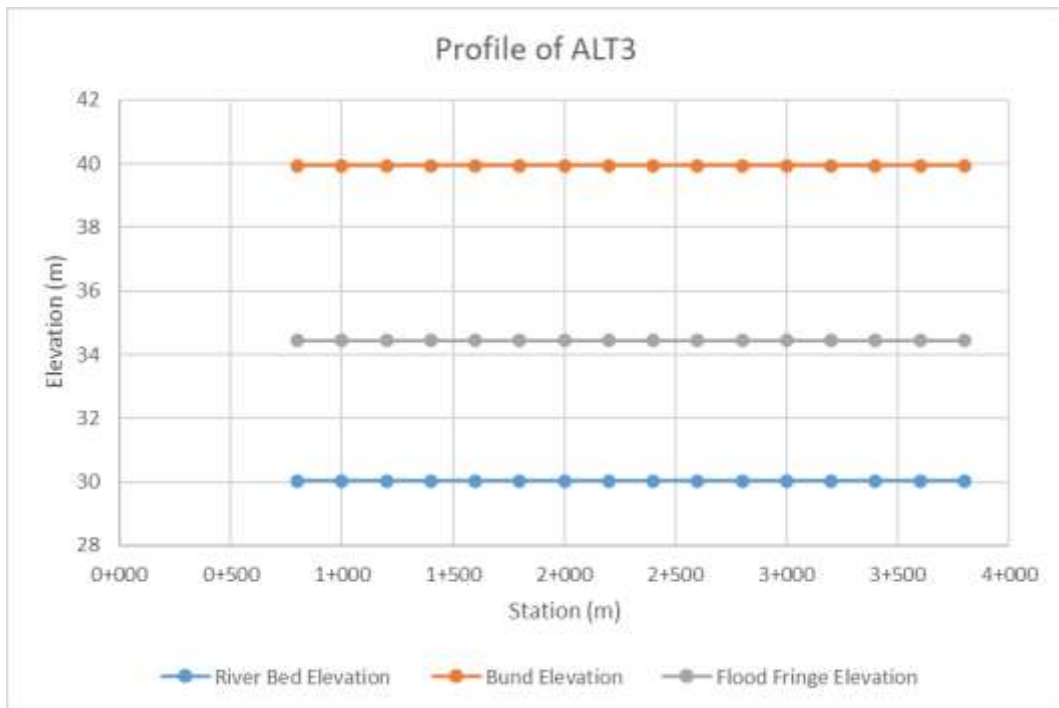
区分	区間	横断形状	
Indus 川内	0+000~0+600	—	モデル化しない。 水位は Indus 川と同じと設定する。
水路内	0+800~3+800	堤防高	131ft (39.93m) (現況高さと同じ)
		高水敷の高さ	113ft (34.44m) (現況高さと同じ)
		河床高	98.5ft (29.74m) (現況高さと同じ)
Manchar 湖内	4+000~5+000	—	モデル化しない。 水位は Manchar 湖と同じと設定する。

出典：アドバイザーチーム



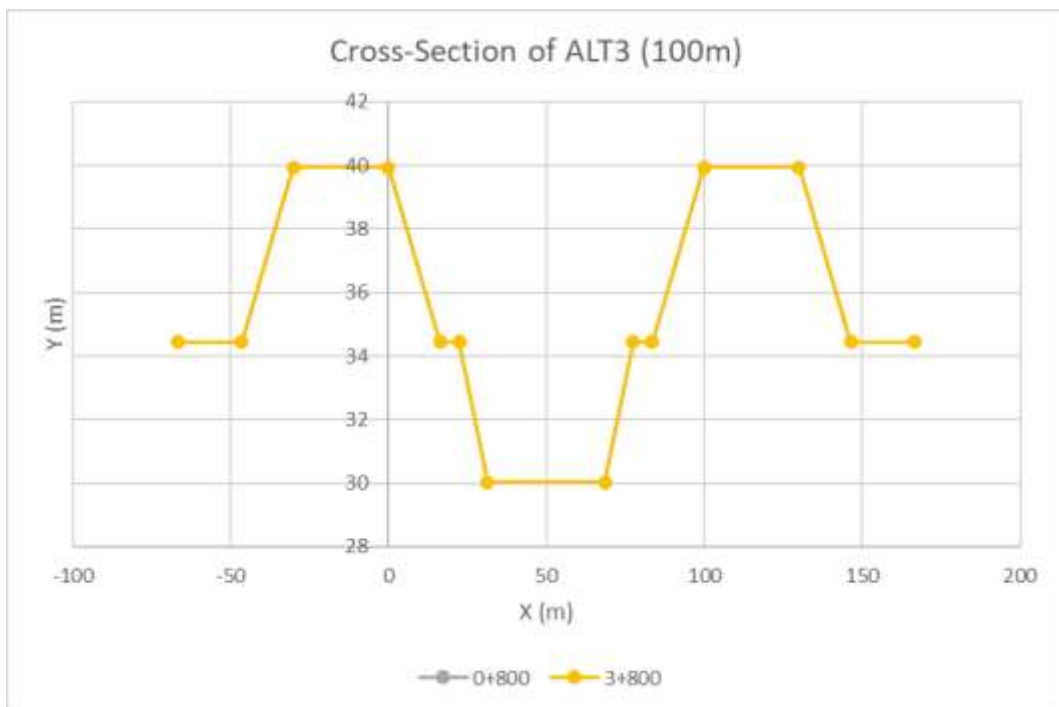
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.44 既設水路（Aral Tail のみ）の拡幅（ALT3）における断面設定方法



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.45 既設水路（Aral Tail のみ）の拡幅（ALT3）における縦断面図



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.46 既設水路（Aral Tail のみ）の拡幅（ALT3）における横断面図

(3) 各排水能力向上策の計算結果概要

各排水能力向上策の計算結果をまとめると表 4.6.17 のようになる。

表 4.6.17 各排水能力向上策の計算結果まとめ

	ALT1	ALT2	ALT3
最高水位	37.39m	37.44m	37.49m
危険水位	37.49m		
必要な水路幅	100m	110m	100m
最大放流量	Aral Head	901m ³ /s	929m ³ /s
	Aral Tail	303m ³ /s	692m ³ /s
	New Canal	706m ³ /s	159m ³ /s
備考	土砂堆積の対策あり		コストが最も低い

出典：アドバイザーチーム

1) ALT1 の計算結果

2022 年洪水を 50 年確率洪水に引き延ばした流入量波形について、排水能力向上策 ALT1 の川幅を 10m(=32.81ft)ずつ変化させていき、この洪水に対応できる最小の川幅を算出した。計算条件を表 4.6.18 に示す。ここで、対応可能な洪水とは洪水期間中に Manchar 湖の水位が危険水位である 123ft(=37.49m)以上にならないことと定義する。

計算結果のまとめを表 4.6.19 に示す。100m(=328ft)以上の川幅であれば ALT1 の排水能力向上策に対応可能となる。また、川幅 100m と設定した場合の計算結果（Manchar 湖の水位及び各流入量・放流量の時系列図）を図 4.6.47 に、最大放流量時の新設水路の縦断図を図 4.6.48 に示す。

表 4.6.18 計算条件（ALT1）

設定項目	内容	備考
流入量の確率規模	50年	
対象期間	2022/8/1～2022/10/12	
流入量と放流量	直接降雨	Nawabshah観測所のデータ
	蒸発量	0.8×2300mm/year
	Aral Head Regulator	観測実績に基づく関係式 ゲート数:14門(現況は3門)
	Aral Tail Regulator	観測実績に基づく関係式
	New Canal	不等流計算
Time Step	1日	
HAV関係式	2017 F/S Report	
下流端水位	Aral Head Regulator	2022年洪水時のデータ
	Aral Tail Regulator	2022年洪水時のデータ

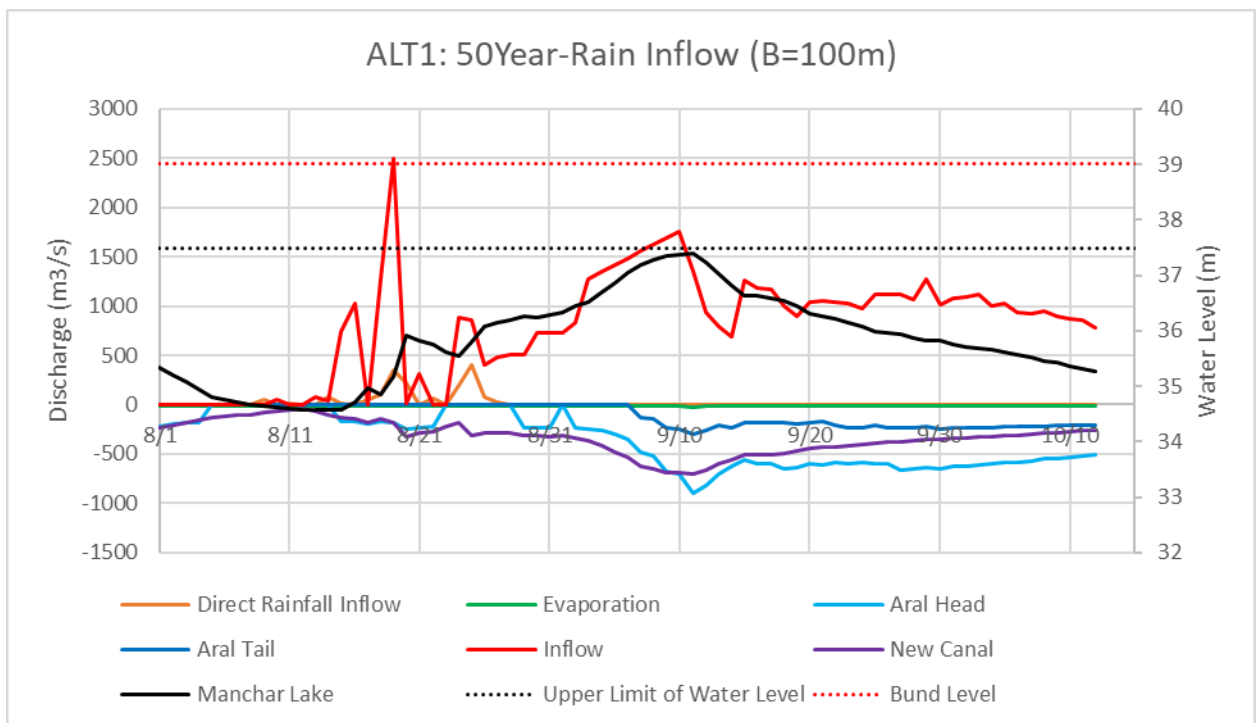
出典：アドバイザーチーム

表 4.6.19 計算結果のまとめ (ALT1)

Case	Manchar Lake				最大放流量				
	水位超過 m	最高水位 m	危険水位 m	堤防天端高 m	超過量 m ³	Aral Head m ³ /s	Aral Tail m ³ /s	New Canal m ³ /s	Total m ³ /s
ALT0	0.69	38.18	37.49	39.01	228,206,573	1443.06	536.08	—	1979.14
ALT1(B=80m)	0.14	37.63			44,767,758	1047.60	370.17	494.32	1912.09
ALT1(B=90m)	0.01	37.50			3,058,368	967.42	333.97	603.09	1904.48
ALT1(B=100m)	—	37.39			—	900.58	302.92	706.39	1909.89
ALT1(B=110m)	—	37.28			—	837.09	272.58	801.86	1911.53

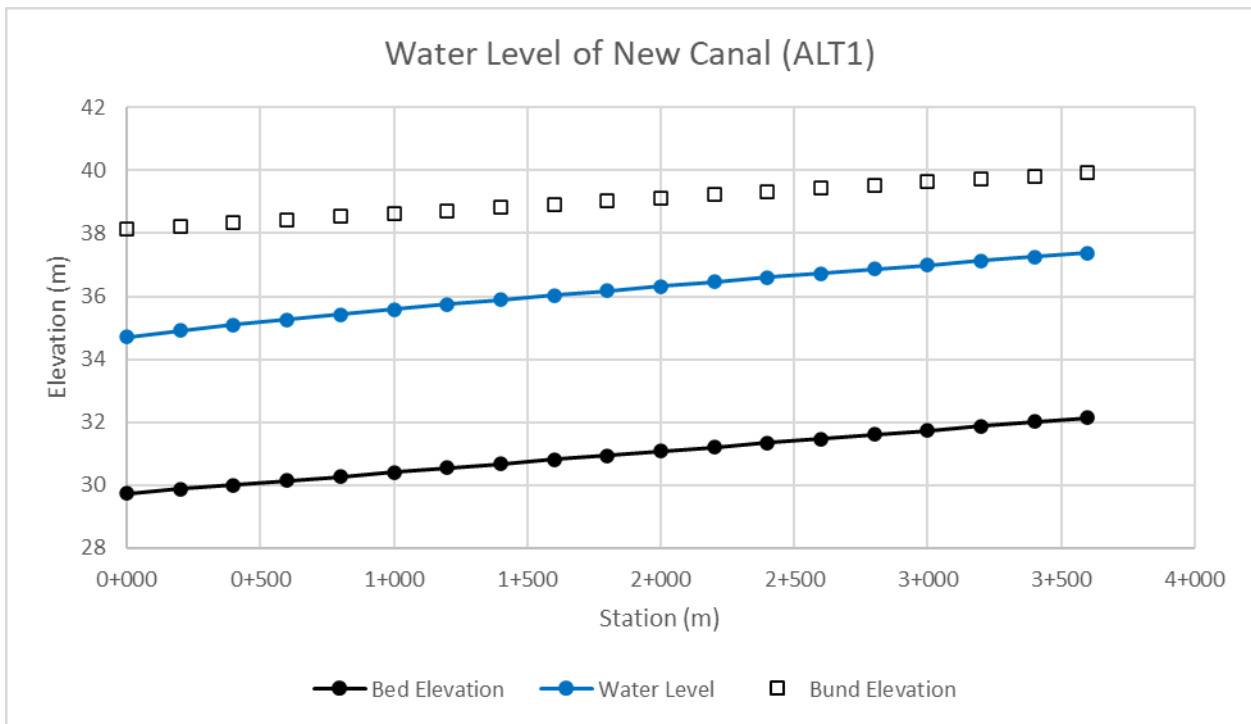
- : 危険水位を超過
- : 堤防天端高を超過

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.47 Manchar 湖の計算結果 (ALT1・50 年確率雨量・川幅 100m)



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.48 Manchar 湖計算の縦断面図 (ALT1・50年確率雨量・川幅100m)

2) ALT2 の計算結果

2022 年洪水を 50 年確率洪水に引き延ばした流入量波形について、排水能力向上策 ALT2 の川幅を 10m(=32.81ft)ずつ変化させていき、この洪水に対応できる最小の川幅を算出した。計算条件を表 4.6.20 に示す。ここで、対応可能な洪水とは洪水期間中に Manchar 湖の水位が危険水位である 123ft(=37.49m)以上にならないことと定義する。

計算結果を表 4.6.21 に示す。110m(=361ft)以上の川幅であれば ALT2 の排水能力向上策で対応可能であるものが存在し、その中で Manchar 湖の最高水位が最も低い Aral Tail 側 70m(=230ft)、RBOD-II 側 40m(=131ft)の場合を採用する。また、この場合の時系列図を図 4.6.49 に、最大放流量時の新設水路の縦断図を図 4.6.50 に示す。

表 4.6.20 計算条件 (ALT2)

設定項目	内容	備考
流入量の確率規模	50年	
対象期間	2022/8/1~2022/10/12	
流入量と放流量	直接降雨	Nawabshah観測所のデータ
	蒸発量	0.8×2300mm/year
	Aral Head Regulator	観測実績に基づく関係式 ゲート数:14門(現況は3門)
	Aral Tail	河道拡幅し、RBOD2Iに分流 (不等流計算)
Time Step	1日	
HAV関係式	2017 F/S Report	
下流端水位	Aral Head Regulator	2022年洪水時のデータ
	Aral Tail Regulator	2022年洪水時のデータ

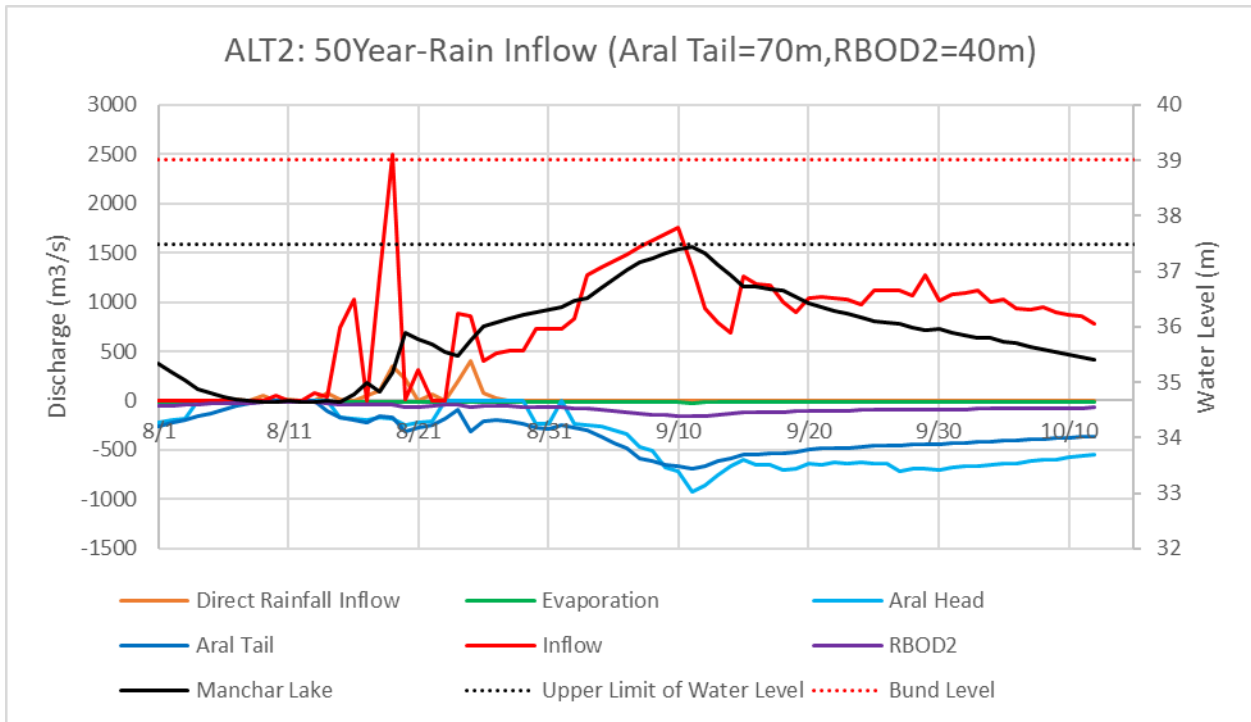
出典：アドバイザーチーム

表 4.6.21 計算結果のまとめ (ALT2)

Case	Manchar Lake				最大放流量				
	水位超過 m	最高水位 m	危険水位 m	堤防天端高 m	超過量 m ³	Aral Head m ³ /s	Aral Tail m ³ /s	New Canal m ³ /s	Total m ³ /s
ALT0	0.69	38.18			228,206,573	1443.06	536.08	—	1979.14
ALT2(Aral Tail=40m、RBOD2=40m)	0.49	37.98			159,609,919	1288.49	239.01	196.15	1723.65
ALT2(Aral Tail=50m、RBOD2=40m)	0.29	37.78			96,224,527	1151.88	399.11	182.45	1733.44
ALT2(Aral Tail=60m、RBOD2=40m)	0.10	37.59			34,113,404	1026.75	549.77	169.64	1746.16
ALT2(Aral Tail=70m、RBOD2=40m)	—	37.44			—	928.50	692.48	159.06	1780.04
ALT2(Aral Tail=40m、RBOD2=50m)	0.31	37.80			102,043,070	1164.05	223.98	329.68	1717.71
ALT2(Aral Tail=50m、RBOD2=50m)	0.14	37.63			45,719,271	1049.47	378.06	310.50	1738.03
ALT2(Aral Tail=60m、RBOD2=50m)	—	37.47			—	951.22	526.95	293.43	1771.60
ALT2(Aral Tail=70m、RBOD2=50m)	—	37.31			—	855.33	662.23	276.08	1793.64
ALT2(Aral Tail=40m、RBOD2=60m)	0.15	37.65	37.49	39.01	50,556,394	1059.04	210.91	459.83	1729.78
ALT2(Aral Tail=50m、RBOD2=60m)	—	37.49			—	959.76	359.05	435.58	1754.39
ALT2(Aral Tail=60m、RBOD2=60m)	—	37.34			—	870.72	501.57	412.96	1785.25
ALT2(Aral Tail=70m、RBOD2=60m)	—	37.19			—	786.81	632.76	390.63	1810.20
ALT2(Aral Tail=40m、RBOD2=70m)	0.02	37.51			5,894,771	972.75	199.71	584.59	1757.05
ALT2(Aral Tail=50m、RBOD2=70m)	—	37.35			—	880.94	341.67	554.36	1776.97
ALT2(Aral Tail=60m、RBOD2=70m)	—	37.22			—	803.70	479.68	527.83	1811.21
ALT2(Aral Tail=70m、RBOD2=70m)	—	37.07			—	726.45	605.69	499.88	1832.02

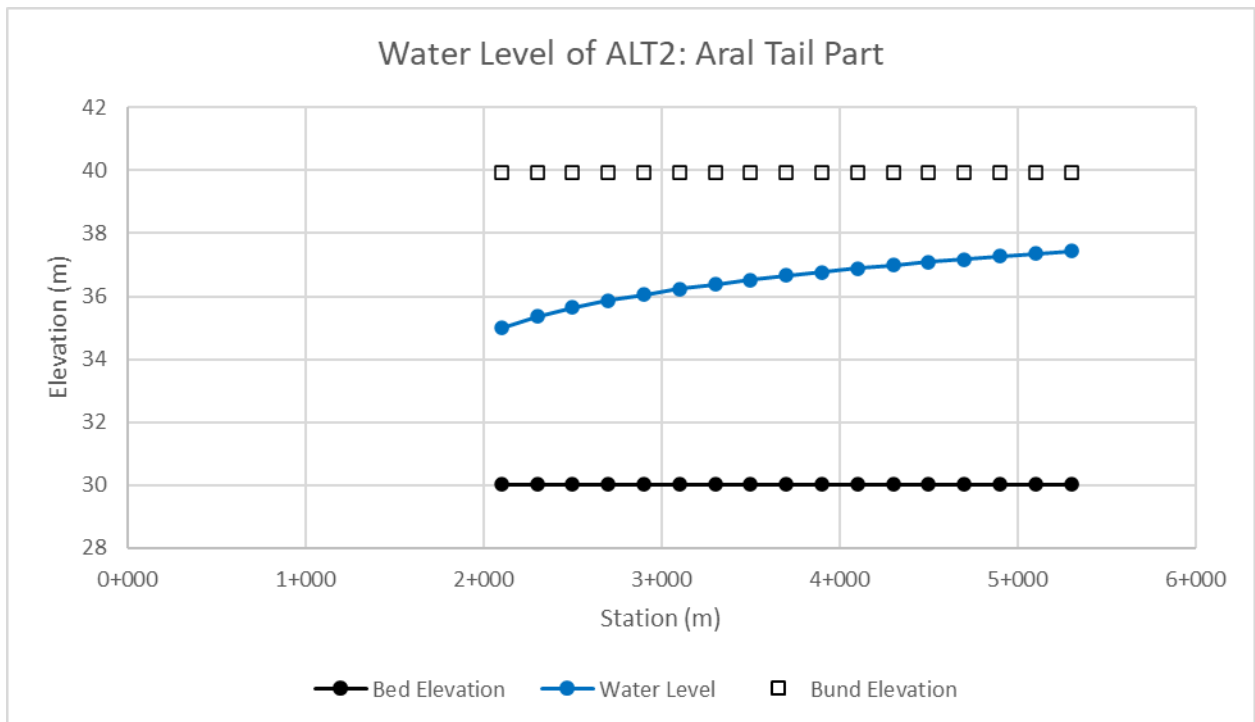
- : 危険水位を超過
- : 堤防天端高を超過

出典：アドバイザーチーム



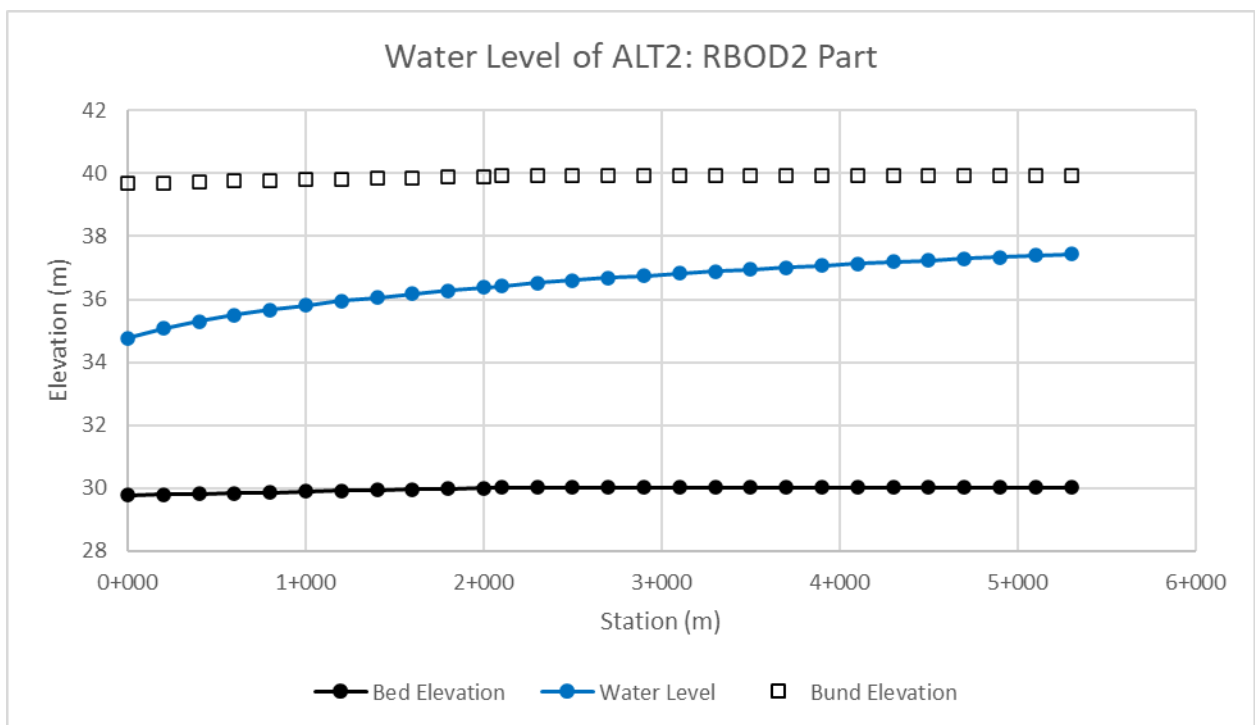
出典：アドバイザーチーム

図 4.6.49 Manchar 湖の計算結果 (ALT2・50年確率雨量・川幅 70+40=110m)



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.50(1) Manchar 湖計算の縦断図 (ALT2・50年確率雨量・Aral Tail 川幅 70m)



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.50(2) Manchar 湖計算の縦断図 (ALT2・50年確率雨量・RBOD-II 川幅 40m)

3) ALT3 の計算結果

2022 年洪水を 50 年確率洪水に引き延ばした流入量波形について、排水能力向上策 ALT3 の川幅を 10m(=32.81ft)ずつ変化させていき、この洪水に対応できる最小の川幅を算出した。計算条件を表 4.6.22 に示す。ここで、対応可能な洪水とは洪水期間中に Manchar 湖の水位が危険水位である 123ft(=37.49m)以上にならないことと定義する。

計算結果を表 4.6.23 に示す。100m(=328ft)以上の川幅であれば ALT3 の排水能力向上策で対応可能となる。また、川幅 100m(=328ft)と設定した場合の時系列図を図 4.6.51 に、最大放流量時の新設水路の縦断図を図 4.6.52 に示す。

表 4.6.22 計算条件 (ALT3)

設定項目	内容	備考
流入量の確率規模	50年	
対象期間	2022/8/1～2022/10/12	
流入量と放流量	直接降雨	Nawabshah観測所のデータ
	蒸発量	0.8×2300mm/year
	Aral Head Regulator	観測実績に基づく関係式 ゲート数:14門(現況は3門)
	Aral Tail	河道拡幅を実行 (不等流計算)
Time Step	1日	
HAV関係式	2017 F/S Report	
下流端水位	Aral Head Regulator	2022年洪水時のデータ
	Aral Tail Regulator	2022年洪水時のデータ

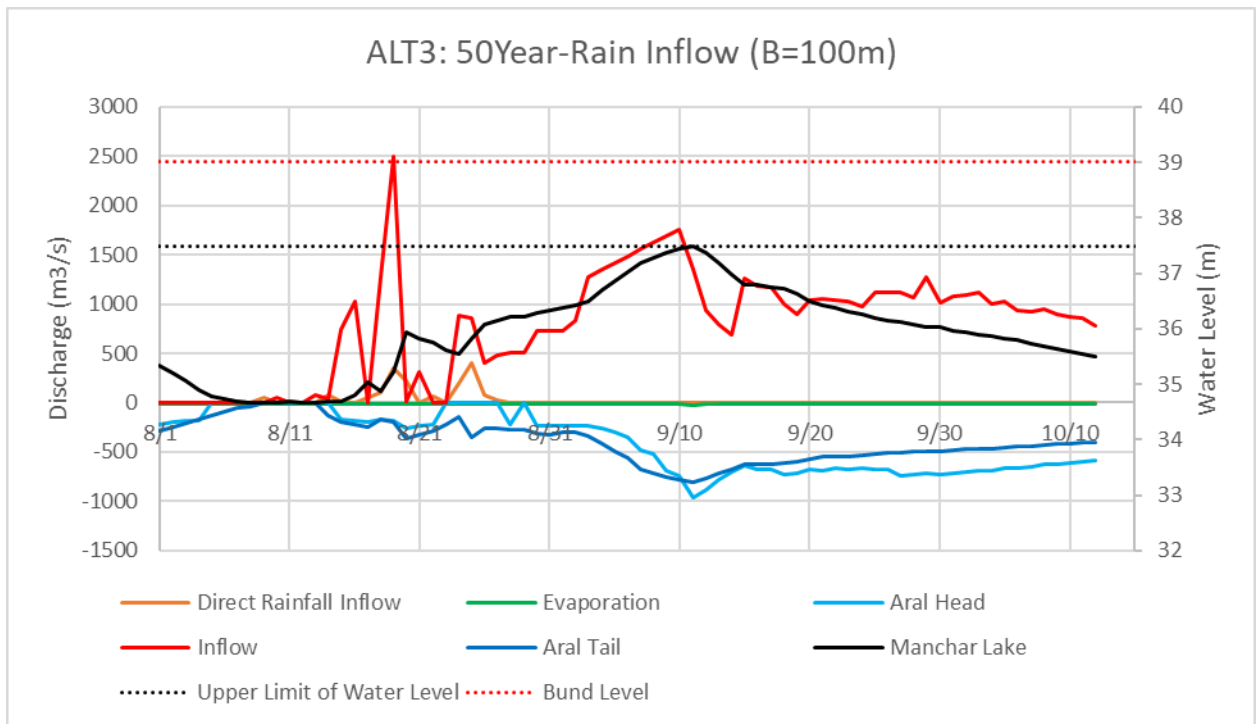
出典：アドバイザーチーム

表 4.6.23 計算結果のまとめ (ALT3)

Case	Manchar Lake				最大放流量				
	水位超過 m	最高水位 m	危険水位 m	堤防天端高 m	超過量 m ³	Aral Head m ³ /s	Aral Tail m ³ /s	New Canal m ³ /s	Total m ³ /s
ALT0	0.69	38.18	37.49	39.01	228,206,573	1443.06	536.08	—	1979.14
ALT3(B=80m)	0.37	37.86			120,914,217	1204.02	527.13	—	1731.15
ALT3(B=90m)	0.18	37.67			57,289,070	1072.43	672.24	—	1744.67
ALT3(B=100m)	—	37.49			—	959.27	805.85	—	1765.12
ALT3(B=110m)	—	37.33			—	867.36	931.63	—	1798.99

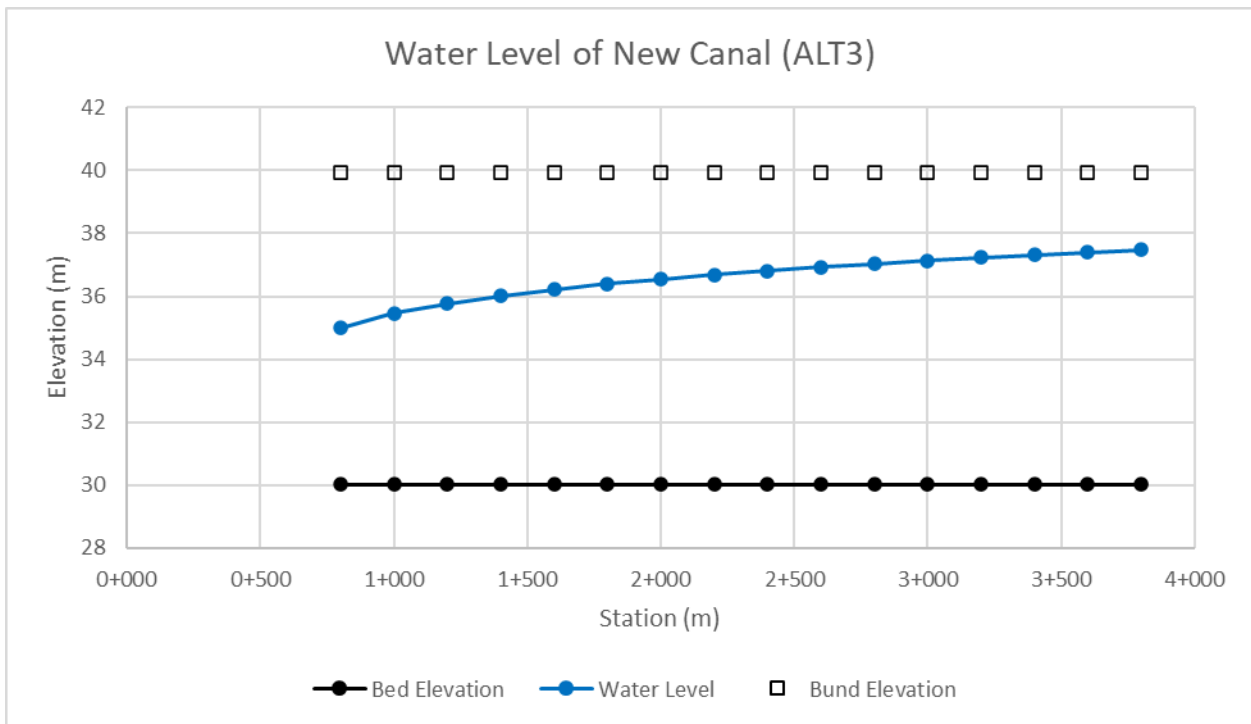
- : 危険水位を超過
- : 堤防天端高を超過

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.51 Manchar 湖の計算結果 (ALT3・50 年確率雨量・川幅 100m)



出典：アドバイザーチーム

図 4.6.52 Manchar 湖計算の縦断面図 (ALT3・50年確率雨量・川幅100m)

4.7 Manchar 湖排水システム強化のための対策案

4.7.1 対策案の抽出

4.7.1.1 対策案の一次選定

本検討の対象箇所における排水能力強化に関わる対応策としては下記のような選択肢を上げることができる。

- ・ 放水路新設
- ・ 既設水路 (Aral Head) の拡幅
- ・ 既設水路 (Aral Tail) の拡幅
- ・ 排水機場新設

また、排水能力の強化ではないが、上記に加えて、次のような対応策により湖の容量を増加させる方法もある。

- ・ Manchar 湖の堤防嵩上げ
- ・ Manchar 湖の掘削

上記に挙げた各案の特徴と Manchar 湖の場合の適用性について表 4.7.1 に整理する。

表 4.7.1 に示す整理より、「放水路新設」と「既設水路 (Aral Tail) の拡幅」が他案と比較して適用性が高いと言えるため、これら 2 つを中心に Manchar 湖の排水システム改善のための対策案を抽出し、その特性や課題等を比較検討する。

表 4.7.1 対策案の一次選定

No.	対応策 (案)	概要	適用性
排水能力強化			
1	放水路新設	既存の水路とは別に新設の放水路を設置し、Indus 川に排水する案	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存水路及び関連施設への影響が最も小さい ・ Aral Tail の南側には十分な用地がある ○
2	既設水路 (Aral Head) の拡幅	既設水路 (Aral Head) を拡幅し、排水能力を増強する案。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水路勾配と水路延長を考慮すると、<u>Aral Tail の拡幅の方が効率的</u> ・ 2023 年 8 月現在、既設堰の改築及び水路の拡幅が実施中 △
3	既設水路 (Aral Tail) の拡幅	既設水路 (Aral Tail) を拡幅し、排水能力を増強する案。	<ul style="list-style-type: none"> ・ Aral Tail Regulator の改築が必要であるが、十分可能 ○
4	排水機場新設	排水ポンプの新設により排水能力を増強する案。	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>必要な排水能力が大きく現実的ではない</u> ・ 排水機場の運用・維持管理に手間とコストがかかる △
貯水容量の増加			
5	Manchar 湖の堤防嵩上げ	対象確率規模の湖の水位を計画値として余裕高を見込んだ高さまで既存の堤防を嵩上げる案	<ul style="list-style-type: none"> ・ 堤防背後には比較的用地があるため、堤防自体の嵩上げは可能。ただし、既設水路沿い (Aral Head、Aral Tail 両方) の堤防嵩上げ、既設堰の改築が必要となり、<u>影響を受ける既存施設が最も多い</u> △
6	Manchar 湖の掘削	対象確率規模の洪水が流入しても、池の水位が計画高水位 (HFL) を超えないように池底を掘削して容量を増加させる案。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境面と利水面から、<u>池の維持水位 (RL.105ft) が設定されており、乾季の湖水位に影響を与えない</u> ×

凡例：○...適用可能、△...適用性は低い、×...適用不可

出典：アドバイザーチーム

4.7.1.2 比較検討対象となる対策案の抽出

前述の通り、「放水路新設」と「既設水路（Aral Tail）の拡幅」を中心に比較検討対象となる対策案を抽出する。

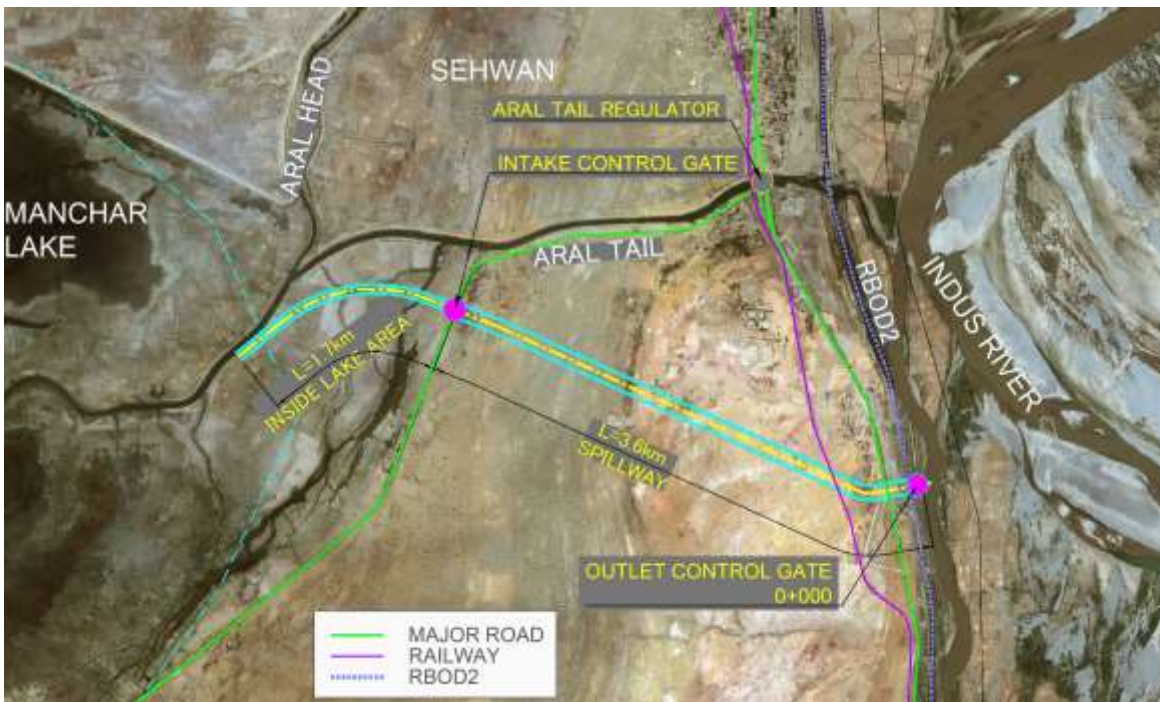
(1) 第1案 新設放水路案

- ・ Manchar 湖の東岸から Indus 川へ自然流下により直接放流する放水路を設置する案
- ・ Manchar 湖の水位が高いときのみを使用することを前提とし、流入側（Manchar 湖側）と排水側（Indus 川側）にそれぞれ水門を設ける

表 4.7.2 必要施設一覧（新設放水路案）

施設名	数量 / 諸元	備考
放水路	L=3.6km + (湖内) 1.7km 水路幅 W= 100m	Manchar 湖の東側は湖底高が高く、湿地となっているため、流入側水門より上流側においても流路確保のため掘削を行う。 湖内の延長は今後深浅測量等を実施して検討する必要がある
流入側水門	1 基 / 5 門 x 15 m x 7.8m	平常時：全閉、Manchar 湖洪水時：全開 放流開始時（洪水初期）においても一定の放流量を確保するため、越流堤方式ではなく、水門による制御を行う
排水側水門	1 基 / 5 門 x 15 m x 8.3m	平常時：全開、Indus 川洪水時：全閉 水門の代わりにバック堤とする方法もある Indus 川の計画高水位(HFL)次第では不要
鉄道橋梁	1 橋 / L=150m, W=5m	Google Earth より想定
道路橋梁	1 橋 / L=100m, W=20m	Google Earth より想定

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：Bing Map, Microsoft Corporation

図 4.7.1 新設放水路案

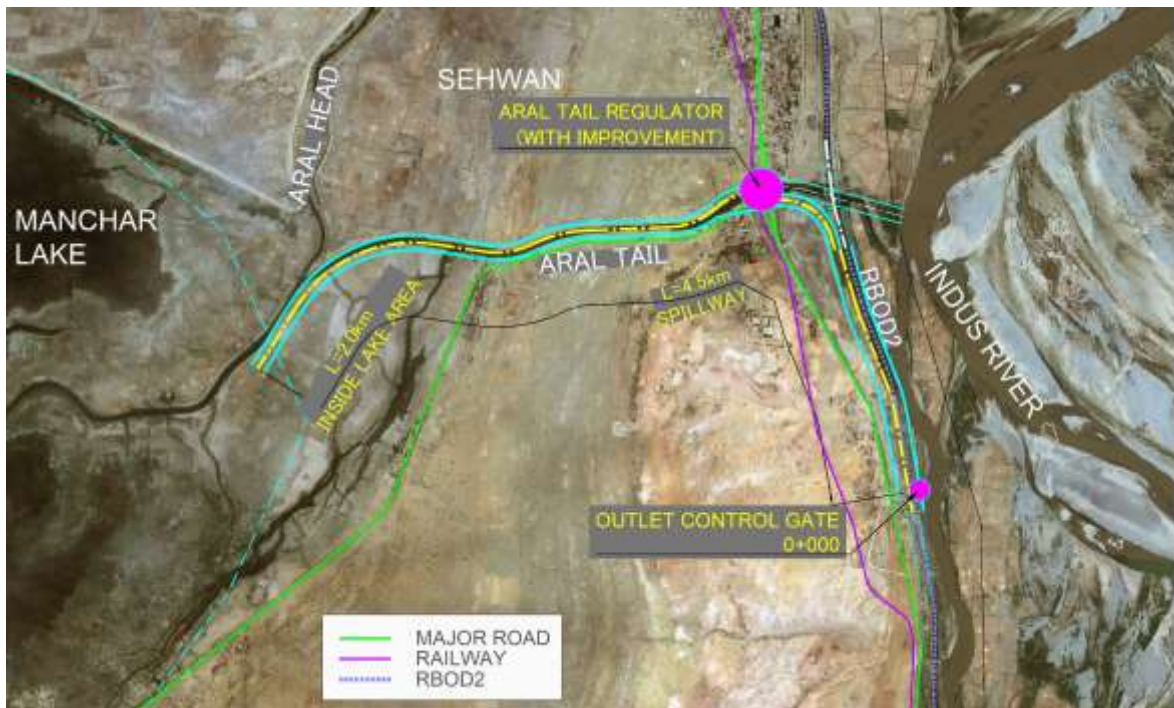
(2) 第2案 既設水路拡幅案1 (Aral Tail + RBOD-II)

- ・ Aral Tail 及び RBOD を拡幅し、Manchar 湖東岸よりのこれらの既設水路を經由して Indus 川へ自然流下により放流する案
- ・ 「第1案 新設放水路案」に対し途中の切土区間を避けること、RBOD を經由して排水先を Indus 川沿いの下流に設定することで縦断勾配を確保することを目的としている

表 4.7.3 必要施設一覧 (既設水路拡幅案1 (Aral Tail + RBOD-II))

施設名	数量 / 諸元	備考
排水路	L=4.5km + (湖内) 2.0km <Aral Tail 区間> 水路幅 W= 80 m → 110m <RBOD-II 区間> 水路幅 W= 100 m → 140m	Manchar 湖の東側は湖底高が高く、湿地となっているため、流入側水門より上流側においても流路確保のため掘削を行う。 湖内の延長は今後深淺測量等を実施して検討する必要がある。
Aral Head Regulator 改築	5 門 x 6 m x 7.3 m → 6 門 x 15 m x 7.3 m	平常時：(既設部) 全開もしくは中間開度 (増設部) 全閉 Manchar 湖洪水時：全開、Indus 川洪水時：全閉 平常時は、RBOD への流入を抑えるため増設部は全閉とする。
排水側水門	1 基 / 2 門 x 15 m x 8.3m	平常時：全閉、 Manchar 湖洪水時：全開、Indus 川洪水時：全閉 RBOD-II は堤内側にあるべき施設であるため、Indus 川からの流入は防ぐ必要がある。
鉄道橋梁	1 橋 / L=130m, W=5m	Google Earth より想定
道路橋梁	2 橋 / L=130m, W=12m	Google Earth より想定

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：: Bing Map, Microsoft Corporation

図 4.7.2 既設水路拡幅案1 (Aral Tail + RBOD-II)

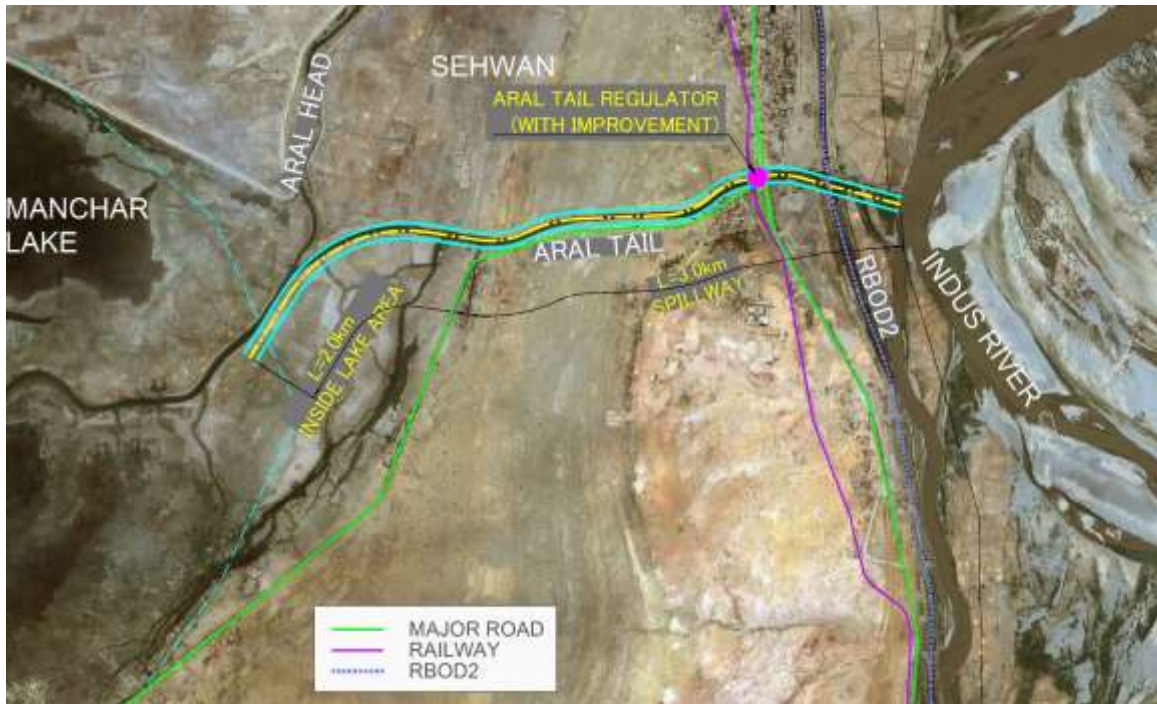
(3) 第3案 既設水路拡幅案2 (Aral Tail)

- ・ Aral Tail を拡幅し、Manchar 湖東岸よりの既設水路を經由して Indus 川へ自然流下により放流する案
- ・ 「第1案 新設放水路案」に対し途中の切土区間を避けること、既設水路の有効活用を目的としている

表 4.7.4 必要施設一覧 (既設水路拡幅案2 (Aral Tail))

施設名	数量 / 諸元	備考
放水路	L=3.0km + (湖内) 2.0km 水路幅 W= 80 m → 100m	Manchar 湖の東側は湖底高が高く、湿地となっているため、流入側水門より上流側においても流路確保のため掘削を行う。 湖内の延長は今後深淺測量等を実施して検討する必要がある
Aral Head Regulator 改築	5 門 x 6 m x 7.3 m → 5 門 x 15 m x 7.3 m	平常時：全開もしくは中間開度 Manchar 湖洪水時：全開、Indus 川洪水時：全閉 平常時は利水を考慮して開度の調整を行う必要がある (現状と同じ)。
鉄道橋梁	1 橋 / L=100m, W=5m	Google Earth より想定
道路橋梁	2 橋 / L=100m, W=12m	Google Earth より想定

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：Bing Map, Microsoft Corporation




図 4.7.3 既設水路拡幅案2 (Aral Tail)

4.7.2 各対策案の評価

前述の3案について、各案の特徴や周辺へ与える影響、経済性等の比較を行う。次ページの表 4.7.5 に各案の比較表示す。既存水路への土砂堆積には注意が必要であるが、コスト面で大きな開きがあることから、「第3案：既設水路拡幅案2 (Aral Tail)」が最有力と考える。

ただし、既存施設の構造や運用に影響を与えずに実施可能であり、土砂堆積による懸念を軽減可能な案として、コストは高いものの「第1案：新設放水路案」も検討の余地はあると考える。よって、今後のF/S段階以降においては、Aral Tailの流下断面維持のための水路掘削の費用や維持管理体制も含めて勘案の上、第1案または第3案についてさらに検討を行い、最適案を選定する必要がある。

表 4.7.5 Manchar 湖排水システム改善対策案比較表

	第1案：新設放水路案	第2案：既設水路拡幅案1 (Aral Tail + RBOD-II)	第3案：既設水路拡幅案2 (Aral Tail)																																																				
概要図 (平面図)																																																							
概要	<ul style="list-style-type: none"> Manchar 湖の東岸から Indus 川へ自然流下により直接放流する放水路を設置する案 Manchar 湖の水位が高いときのみを使用することを前提とし、流入側 (Manchar 湖側) と排水側 (Indus 川側) にそれぞれ水門を設ける 既設の Aral Tail 及び Regulator は現状のままとする 	<ul style="list-style-type: none"> Aral Tail 及び RBOD を拡幅し、Manchar 湖東岸よりのこれらの既設水路を經由して Indus 川へ自然流下により放流する案 「第1案 新設放水路案」に対し途中の切土区間を避けること、RBOD を經由して排水先を Indus 川沿いの下流に設定することで縦断勾配を確保することを目的としている 	<ul style="list-style-type: none"> Aral Tail を拡幅し、Manchar 湖東岸よりの既設水路を經由して Indus 川へ自然流下により放流する案 「第1案 新設放水路案」に対し途中の切土区間を避けること、既設水路の有効活用を目的としている 																																																				
ルート	<ul style="list-style-type: none"> Manchar 湖東岸から Aral Tail 合流点より 2.5km 下流の Indus 川右岸を結んだルート 	<ul style="list-style-type: none"> Aral Tail、RBOD-II を經由して Aral Tail 合流点より 2.5km 下流の Indus 川右岸を結んだルート 	<ul style="list-style-type: none"> Aral Tail と同じルート 																																																				
水路諸元	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>水路幅 (m)</th> <th>勾配</th> <th>延長(km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>放水路部</td> <td>100</td> <td>1/1500</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>湖内部</td> <td></td> <td>LEVEL</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>総延長</td> <td>5.3</td> </tr> </tbody> </table>		水路幅 (m)	勾配	延長(km)	放水路部	100	1/1500	3.6	湖内部		LEVEL	1.7			総延長	5.3	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>水路幅 (m)</th> <th>勾配</th> <th>延長 (km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RBOD-II 拡幅部</td> <td>140</td> <td>1/9000</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>Aral Tail 拡幅部</td> <td>110</td> <td>LEVEL</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>湖内部</td> <td></td> <td>LEVEL</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>総延長</td> <td>6.5</td> </tr> </tbody> </table>		水路幅 (m)	勾配	延長 (km)	RBOD-II 拡幅部	140	1/9000	2.0	Aral Tail 拡幅部	110	LEVEL	2.5	湖内部		LEVEL	2.0			総延長	6.5	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>水路幅 (m)</th> <th>勾配</th> <th>延長(km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aral Tail 拡幅部</td> <td>100</td> <td>LEVEL</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>湖内部</td> <td></td> <td>LEVEL</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>総延長</td> <td>5.0</td> </tr> </tbody> </table>		水路幅 (m)	勾配	延長(km)	Aral Tail 拡幅部	100	LEVEL	3.0	湖内部		LEVEL	2.0			総延長	5.0
	水路幅 (m)	勾配	延長(km)																																																				
放水路部	100	1/1500	3.6																																																				
湖内部		LEVEL	1.7																																																				
		総延長	5.3																																																				
	水路幅 (m)	勾配	延長 (km)																																																				
RBOD-II 拡幅部	140	1/9000	2.0																																																				
Aral Tail 拡幅部	110	LEVEL	2.5																																																				
湖内部		LEVEL	2.0																																																				
		総延長	6.5																																																				
	水路幅 (m)	勾配	延長(km)																																																				
Aral Tail 拡幅部	100	LEVEL	3.0																																																				
湖内部		LEVEL	2.0																																																				
		総延長	5.0																																																				
施設諸元	<table border="1"> <thead> <tr> <th>施設名</th> <th>数量 / 諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>流入側水門</td> <td>1 基 / 5 門 x 15 m x 7.8m</td> </tr> <tr> <td>排水側水門</td> <td>1 基 / 5 門 x 15 m x 8.3m</td> </tr> <tr> <td>鉄道橋梁</td> <td>1 橋 / L=150m, W=5m</td> </tr> <tr> <td>道路橋梁</td> <td>1 橋 / L=100m, W=20m</td> </tr> </tbody> </table>	施設名	数量 / 諸元	流入側水門	1 基 / 5 門 x 15 m x 7.8m	排水側水門	1 基 / 5 門 x 15 m x 8.3m	鉄道橋梁	1 橋 / L=150m, W=5m	道路橋梁	1 橋 / L=100m, W=20m	<table border="1"> <thead> <tr> <th>施設名</th> <th>数量 / 諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aral Head Regulator 改築</td> <td>1 基 / 6 門 x 15 m x 7.8m</td> </tr> <tr> <td>排水側水門</td> <td>1 基 / 2 門 x 15 m x 8.3m</td> </tr> <tr> <td>鉄道橋梁</td> <td>1 橋 / L=110m, W=5m</td> </tr> <tr> <td>道路橋梁</td> <td>2 橋 / L=110m, W=12m</td> </tr> </tbody> </table>	施設名	数量 / 諸元	Aral Head Regulator 改築	1 基 / 6 門 x 15 m x 7.8m	排水側水門	1 基 / 2 門 x 15 m x 8.3m	鉄道橋梁	1 橋 / L=110m, W=5m	道路橋梁	2 橋 / L=110m, W=12m	<table border="1"> <thead> <tr> <th>施設名</th> <th>数量 / 諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aral Head Regulator 改築</td> <td>1 基 / 5 門 x 15 m x 7.8m</td> </tr> <tr> <td>鉄道橋梁</td> <td>1 橋 / L=100m, W=5m</td> </tr> <tr> <td>道路橋梁</td> <td>2 橋 / L=100m, W=12m</td> </tr> </tbody> </table>	施設名	数量 / 諸元	Aral Head Regulator 改築	1 基 / 5 門 x 15 m x 7.8m	鉄道橋梁	1 橋 / L=100m, W=5m	道路橋梁	2 橋 / L=100m, W=12m																								
施設名	数量 / 諸元																																																						
流入側水門	1 基 / 5 門 x 15 m x 7.8m																																																						
排水側水門	1 基 / 5 門 x 15 m x 8.3m																																																						
鉄道橋梁	1 橋 / L=150m, W=5m																																																						
道路橋梁	1 橋 / L=100m, W=20m																																																						
施設名	数量 / 諸元																																																						
Aral Head Regulator 改築	1 基 / 6 門 x 15 m x 7.8m																																																						
排水側水門	1 基 / 2 門 x 15 m x 8.3m																																																						
鉄道橋梁	1 橋 / L=110m, W=5m																																																						
道路橋梁	2 橋 / L=110m, W=12m																																																						
施設名	数量 / 諸元																																																						
Aral Head Regulator 改築	1 基 / 5 門 x 15 m x 7.8m																																																						
鉄道橋梁	1 橋 / L=100m, W=5m																																																						
道路橋梁	2 橋 / L=100m, W=12m																																																						
構造面	<ul style="list-style-type: none"> 2.5km 程度の切土区間があり、現況地盤～水路天端まで 10～15m の切土が必要となり、当該箇所の原地盤が岩である場合には、掘削コストが高くなる 排水側水門付近で RBOD-II と立体交差する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 既設堰 (Aral Head Regulator) の改築が必要となる 排水側水門が RBOD-II 沿いに設置されるため、排水側水門と併せて分流施設を設けるか、RBOD-II との立体交差を設けるかの対応必要となり、構造が複雑となる 	<ul style="list-style-type: none"> 既設堰 (Aral Head Regulator) の改築が必要となる 既設の RBOD-II との立体交差部の改修 (延長) が必要となる 																																																				
維持管理面	<ul style="list-style-type: none"> 放水路の敷高を湖底高より高くしているため、放水路への土砂堆積による断面阻害の懸念は他案と比較して小さい 	<ul style="list-style-type: none"> 既設 Aral Tail を利用するため、水路敷高が湖底と同等程度となる。そのため、現況同様に水路への土砂が堆積しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 																																																				
運用面	<ul style="list-style-type: none"> 洪水時のみの運用となるため、他案と比較して単純 	<ul style="list-style-type: none"> RBOD-II と合流する場合、放流量が RBOD-II の水位の影響を受けることになり、運用が複雑 	<ul style="list-style-type: none"> 現況と同じ運用 Indus 川から Manchar 湖への取水においても能力を増強できる 																																																				
施工面	<ul style="list-style-type: none"> 排水側及び流入側水門以外はドライ施工が可能であり、他案と比較して施工性は良い 	<ul style="list-style-type: none"> Aral Tail を運用しながらの施工が必要となるため、既設堰 (Aral Tail Regulator) の改築は半川締め切りにより行う必要がある 既設橋梁の架け替え工事においても締切工が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 																																																				
社会環境面	<ul style="list-style-type: none"> 市街地から離れているため、他案と比較して影響する家屋数は少ない 	<ul style="list-style-type: none"> 既設 Aral Tail Regulator 付近において、家屋移転 (50 軒以下程度と想定) が必要となる 	<ul style="list-style-type: none"> 既設 Aral Tail Regulator 付近において、家屋移転 (50 軒以下程度と想定) が必要となる 																																																				
建設費(PKR)	建設費 43.6 billion 3	建設費 39.2 billion 2	建設費 27.1 billion 1																																																				
評価	<ul style="list-style-type: none"> 掘削土量の多さと施設規模の大きさから、他案よりもコストは高くなる (今後の検討で水門を2か所→1か所に集約できればコストを大きく下げられる可能性がある) 構造面、運用面、維持管理面で優位 <p>今後の検討対象として第3案の次に有力</p>	<ul style="list-style-type: none"> 構造も複雑で、排水量の調整が難しい 既存施設の構造や運用に与える影響が最も大きい 既存水路への土砂堆積により排水能力が影響を受けやすいので注意が必要 <p>推奨しない</p>	<ul style="list-style-type: none"> 既存の Aral Tail への影響はあるが、コストは最も低くなる 施設の運用は現状と変わらないが、既存水路への土砂堆積により排水能力が影響を受けやすいので注意が必要 <p>今後の検討対象として最有力</p>																																																				

凡例：◎...好ましい；○...問題なし；△...課題がある、数字の場合は各案の間での順位を示す。

出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：Bing Map, Microsoft Corporation

4.8 提案するプロジェクト

4.8.1 プロジェクトの特徴

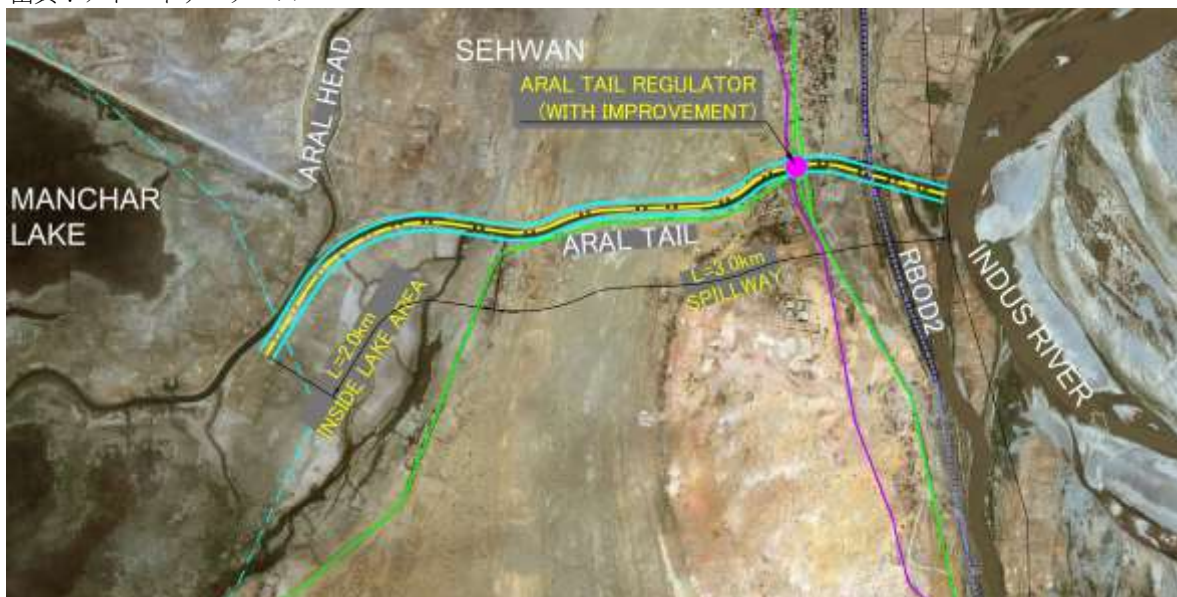
前述の表 4.7.5 に示す比較より、本検討においては「第 3 案：既設水路拡幅案 2 (Aral Tail)」が最有力と考える。最有力案の特徴を以下に再掲する。

- ✓ Aral Tail を拡幅し、Manchar 湖東岸よりの既設水路を経由して Indus 川へ自然流下により放流する
- ✓ 施設の運用は現状と変わらないが、既存水路への土砂堆積により排水能力が影響を受けやすいので注意が必要
- ✓ Aral Tail Regulator の改築と鉄道橋 1 橋、道路橋 2 橋の架け替えが必要
- ✓ Manchar 湖の東側は湖底高が高く、湿地となっているため、流入側水門より上流側においても流路確保のため掘削を行う
- ✓ 建設費：27.1 Billion PKR

表 4.8.1 必要施設一覧 (既設水路拡幅案 2 (Aral Tail))

施設名	数量 / 諸元	備考
放水路	L=3.0km + (湖内) 2.0km 水路幅 W= 80 m → 100m	湖内の延長は今後深淺測量等を実施して検討する必要がある
Aral Head Regulator 改築	5 門 x 6 m x 7.3 m → 5 門 x 15 m x 7.3 m	平常時：全開もしくは中間開度 Manchar 湖洪水時：全開、Indus 川洪水時：全閉 平常時は利水を考慮して開度の調整を行う必要がある (現状と同じ)。
鉄道橋梁	1 橋 / L=100m, W=5m	Google Earth より想定
道路橋梁	2 橋 / L=100m, W=12m	Google Earth より想定

出典：アドバイザーチーム



出典：アドバイザーチーム、衛星画像出典：: Bing Map, Microsoft Corporation

図 4.8.1 既設水路拡幅案 2 (Aral Tail)

4.8.2 施工スケジュール

(1) 施工工種

既設水路の流下能力向上を図る第3案:既設水路拡幅案2 (Aral Tail) の主な施工工種の工事手順、留意事項を以下に取り纏める。主な施工工種は、表 4.8.1 より以下の通りとする。

1) 水路拡幅 (図 4.8.2 参照)

- ・水路拡幅; 川幅 80m を 100m に拡大掘削、水路底浚渫
- ・水路堤防築造; 築堤

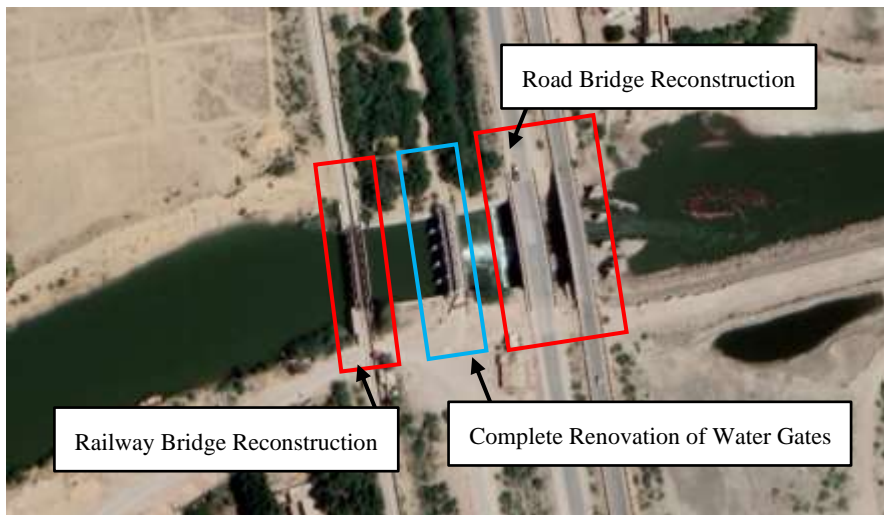


出典: アドバイザーチーム、衛星画像出典: Bing Map, Microsoft Corporation

図 4.8.2 水路拡幅範囲

2) 水門改修及び橋梁架替え (図 4.8.3 参照)

- ・水門全面改築; 基本、既設水門撤去、新設水門設置
- ・道路橋 2 橋架替え; 既設橋撤去、新設
- ・鉄道橋 1 橋架替え; 既設橋撤去、新設



出典; Google earth

図 4.8.3 水門全面改修及び橋梁架替え位置

(2) 工事工程

水路拡幅は、水門、橋梁関連工事と並行して施工する。水門、橋梁関連工事については、現場が錯綜するため施工順序を調整する。施工は、以下の条件で行う。

1) 水路拡幅

- ・基本、水位の下がっている10月から6月に工事を行う。
- ・工事範囲を区切って、締切堤を設け流路確保して施工する。
- ・工事用道路は、拡幅堤防の内側に設置する。
- ・作業ヤードは、作業区間に隣接した堤内平地に設置する。
- ・資機材は、基本的に隣接するセワン(Sehwan; L=1km)で調達する。

隣接する都市セワンと施工位置を図 4.8.4 に示す。



出典: Google Earth

図 4.8.4 セワンと水路拡幅等位置

・工事手順

施工工程の手順は、以下の通りとする。

- ① 準備工
- ② 撤去工
- ③ 掘削工
- ④ 盛土工
- ⑤ 基礎工
- ⑥ コンクリート張工
- ⑦ 天端工
- ⑧ 割石張工(堤内側；空張)
- ⑨ 天端舗装工(碎石舗装)

2) 水門拡張改修

- ・基本、水位の下がっている 10 月から 6 月に工事を行う。
- ・締切堤を設け、流路確保のため半川施工を行う。
- ・工事用道路は、既設道路を活用する。
- ・作業ヤードは、隣接した堤内平地に設置する。
- ・資機材は、基本的に隣接するセーワン(Sehwan; L=1km)で調達する。

・工事手順

施工工程の手順は、以下の通りとする。②～⑨は、半川施工とする。

- ⑩ 準備工
- ⑪ 撤去工
- ⑫ 掘削工
- ⑬ 本体工（扉体を含む）
- ⑭ 水叩き工
- ⑮ 盛土工
- ⑯ 護岸工（基礎工含む）
- ⑰ 割石張工(堤内側；空張)
- ⑱ 天端舗装工(砕石舗装)

3) 橋梁架替え

- ・水路内の橋脚施工等は、水位の下がっている 10 月から 6 月に工事を行う。
- ・基本、橋梁は別ルートに新橋を施工する。
- ・締切堤を設け、流路確保のため半川施工を行う。
- ・工事用道路は、既設道路を活用する。
- ・作業ヤードは、隣接した堤内平地に設置する。
- ・資機材は、基本的に隣接するセーワン(Sehwan; L=1km)で調達する。

・工事手順

施工工程の手順は、以下の通りとする。②～⑥は、半川施工とする。

- ① 準備工
- ② 撤去工
- ③ 掘削工
- ④ 下部工
- ⑤ 護床工
- ⑥ 盛土工
- ⑦ 上部工
- ⑧ 護岸工（基礎工含む）
- ⑨ 割石張工(堤内側；空張)
- ⑩ 天端舗装工(砕石舗装)

4.8.3 施工費用

検討した3案の施工工事費を算定し、結果を表 4.8.2 に示した。ただし、用地買収、家屋移転等の補償費は含めていない。詳細については、付属資料に整理した。

表 4.8.2 Manchar Lake 排水システム改善対策施工工事費

ケース名	工事延長(m)	水路部(m)	湖内部(m)	施工工事費 (百万 PKR)	備考
ALT 1	5,080	3,520	1,560	43,594	放水路案
ALT 2	6,380	1,920 (RBOR2)2,460	2,000	40,448	RBOR2 拡幅案
ALT 3	3,940	1,960	1,980	27,013	Aral Tail 拡幅案

出典；アドバイザーチーム

4.8.4 推奨するプロジェクトの評価

本検討において推奨する既設水路拡幅案 2 (Aral Tail) と、次の有力案である新設放水路案についての各種特徴に関する評価及び妥当性を表 4.8.3 に整理する。その結果、本検討で推奨する既設水路拡幅案 2 (Aral Tail) に実施の妥当性があるといえる。一方で、新設放水路案も今後の F/S 段階における検討案の 1 つとし、検討精度を高めた上で再度比較検討を行うことを推奨する。

表 4.8.3 Manchar 湖排水能力強化プロジェクトの評価

項目	第3案 既設水路拡幅案 2 (Aral Tail)	第1案 新設放水路案	備考
構造物 対策	放水路：L=3.0km + (湖内) 2.0km 水路幅 W= 80 m → 100m Aral Head Regulator 改築： 5 門 x 6 m x 7.3 m → 5 門 x 15 m x 7.3 m 鉄道橋梁：1 橋 /L=100m, W=5m 道路橋梁：2 橋 /L=100m, W=12m	放水路：L=3.6km + (湖内) 1.7km 水路幅 W= 100m 流入側水門：1 基 /5 門 x 15 m x 7.8m 排水側水門：1 基 /5 門 x 15 m x 8.3m 鉄道橋梁：1 橋 /L=150m, W=5m 道路橋梁：1 橋 /L=100m, W=20m	
被害軽 減効果	・ Manchar 湖の持つ流域全体に 対して浸水被害を軽減する効 果が期待できる。 ¹⁾ ○	同左 ○	
環境社 会影響	・ 家屋移転は必要ではあるが、プ ロジェクト影響範囲に家屋密 集地はない ・ 既存の Aral Tail Regulator の運 用や道路橋梁、鉄道橋梁の利 用に影響を与えるが致命的では ない ○	・ 移転対象となる家屋数は少な い ・ 既存の Aral Tail Regulator の運 用や道路橋梁、鉄道橋梁の利 用に影響を与えない ◎	
施工性・ 難易度	・ 現地で調達可能な材料や一般 的な工法で施工可能 ・ 既存の Aral Tail を運用しなが らの施工となるため、施工時 期・手及び仮設工の工夫が必要 ○	・ 現地で調達可能な材料や一般 的な工法で施工可能 ・ 新設の水路となるため、施工は しやすい ◎	ゲートはパキスタン国内 でも調達可能と推察する が、設置後の維持管理を 勘案の上、ステンレス製 ゲート(本邦または第3国 からの輸入)の使用も今 後検討する必要がある
コスト	・ 円借款となる規模である ・ 施設規模が小さいため、安価と なる 27.1 Billion PKR ○	・ 構造物対策の規模が大きいた め高コストとなる ・ 途中の丘陵地の掘削コストが 土質次第(岩掘削)で増加する 可能性がある ・ 水門を 2 か所→1 か所へ集約で できれば有力案となりうる 43.6 Billion PKR △	気候変動適応策の考慮に よりコスト増となる可能 性あり 新設放水路案における水 門数の集約の可否は、 Indus 川の洪水時における 水位・継続期間と堤内地 盤高、堤防高を考慮して、 安全面及び運用面から検 証する必要がある。
妥当性	・ 妥当 ・ 本検討での最有力案とする。	・ 費用対効果の面で劣る ・ 有力案の 1 つとすることを推 奨する。	

注記 1) 本調査では定量的な被害軽減効果や経済分析までは実施していない。

凡例:◎. より優れる; ○. 問題はない; △. 課題がある

出典：アドバイザーチーム

パキスタン国 洪水管理アドバイザー業務
業務完了報告書

第 2 巻: Preliminary Feasibility Study 編

参考資料

目 次

	ページ
第 1 章 参考資料.....	1-3
1.1 2023 年 8 月、Sukkur 堰下流の Indus 川右岸における現地調査結果.....	1-3

図一覧

図 1.1.1 August 2～4, 2023: 現地調査位置図	1-4
図 1.1.2 August 2, 2023: Sukkur Area 現地調査位置図.....	1-5
図 1.1.3 2022 年洪水時の FP Bund における Breach 箇所 (3ヶ所: RD440, 348、200)	1-7
図 1.1.4 Ruk Spur 及び Ghumra Loop Bund 周辺の 2022 年洪水時状況.....	1-8
図 1.1.5 S.L Bund、Dadu/Rice/NW Canal、Sukkur 空港周辺の状況	1-9
図 1.1.6 August 3, 2023: Larkana & Dadu Area 現地調査位置図	1-10
図 1.1.7 Moria Loop Bund 位置図	1-11
図 1.1.8 Akil Link Bund 周辺	1-12
図 1.1.9 Rice Canal, Chuharpur Regulator 位置図	1-13
図 1.1.10 Rice Canal, New Stand Bridge 位置図.....	1-14
図 1.1.11 Rice Canal, Lahori Regulator Bridge 位置図.....	1-14
図 1.1.12 Old Abad Bund 周辺.....	1-15
図 1.1.13 Larkana Khairpur Bridge 位置図.....	1-17
図 1.1.14 August 4, 2023: Larkana Area 現地調査位置図.....	1-18
図 1.1.15 Abad Mangli Extension 位置図.....	1-19
図 1.1.16 L.S. Bund, Hakra Point 位置図	1-21
図 1.1.17 L.S. Bund, Opposite Moen Jo Daro 位置図	1-23

表一覧

表 1.1.1 現地調査行程.....	1-3
表 1.1.2 Sukkur 堰の流下能力	1-5

写真一覧

写真 1.1.1 Ruk Spur (2023 年 8 月 2 日).....	1-8
写真 1.1.2 Ghumra Loop Bund (2023 年 8 月 2 日).....	1-8
写真 1.1.3 S.L Bund (2023 年 8 月 2 日).....	1-9
写真 1.1.4 Dadu Canal, Rice Canal, NW Canal (2023 年 8 月 2 日).....	1-9

写真 1.1.5	Moria Loop Bund で修復工事中の T-Head Spur Dike (2023 年 8 月 3 日).....	1-11
写真 1.1.6	Akil Link Bund (2023 年 8 月 3 日).....	1-12
写真 1.1.7	Rice Canal の Chuharpur Regulator(2023 年 8 月 3 日).....	1-13
写真 1.1.8	Rice Canal の New Stand Bridge (2023 年 8 月 3 日).....	1-14
写真 1.1.9	Rice Canal の Lahori Regulator Bridge (2023 年 8 月 3 日).....	1-15
写真 1.1.10	Old Abad Bund (2023 年 8 月 3 日).....	1-16
写真 1.1.11	Old Abad Bund での施工状況 (2023 年 8 月 3 日).....	1-16
写真 1.1.12	Larkana Khairpur Bridge (2023 年 8 月 3 日).....	1-18
写真 1.1.13	Abad Mangli Extension (2023 年 8 月 4 日).....	1-20
写真 1.1.14	L.S. Bund, Hakra Point (2023 年 8 月 4 日).....	1-22
写真 1.1.15	L.S. Bund, Opposite Moen Jo Daro (2023 年 8 月 4 日).....	1-23

第1章 参考資料

1.1 2023年8月、Sukkur 堰下流の Indus 川右岸における現地調査結果

1.1.1.1 現地調査対象箇所を選定

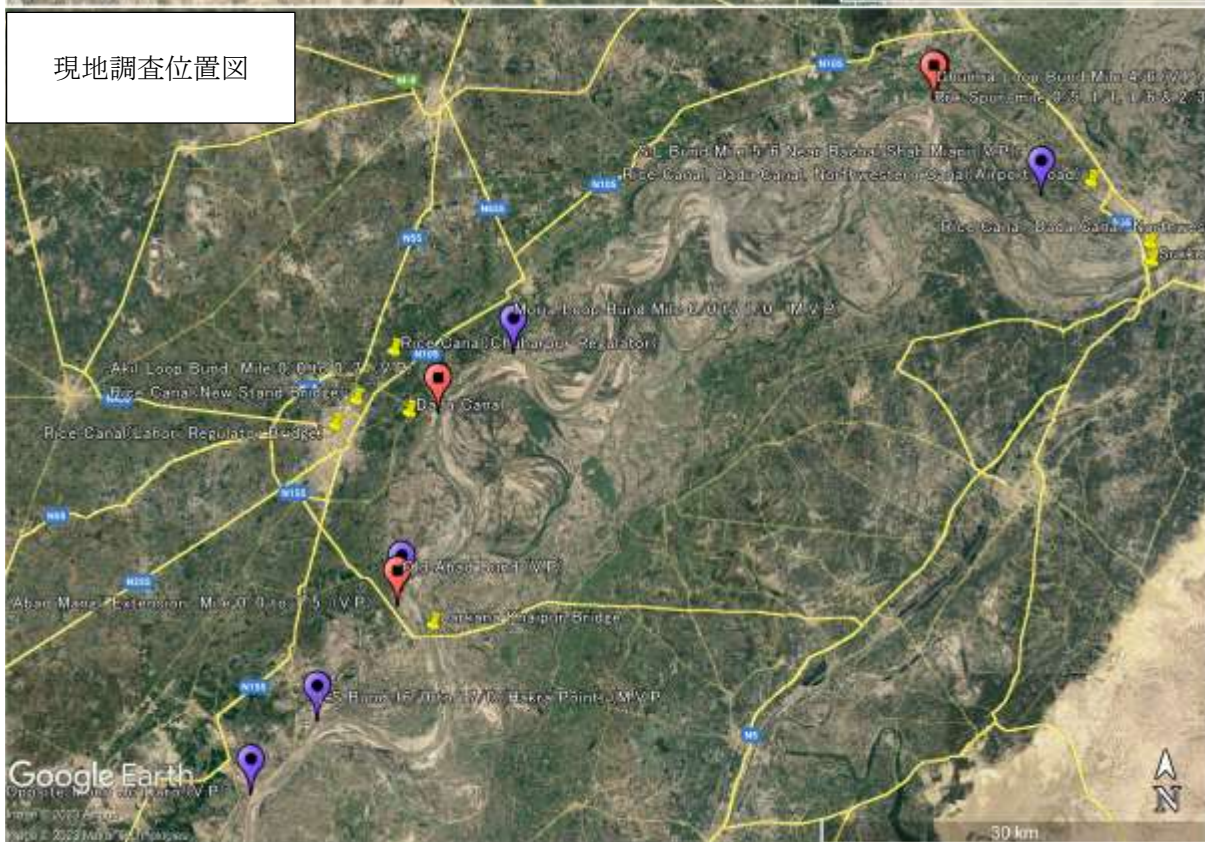
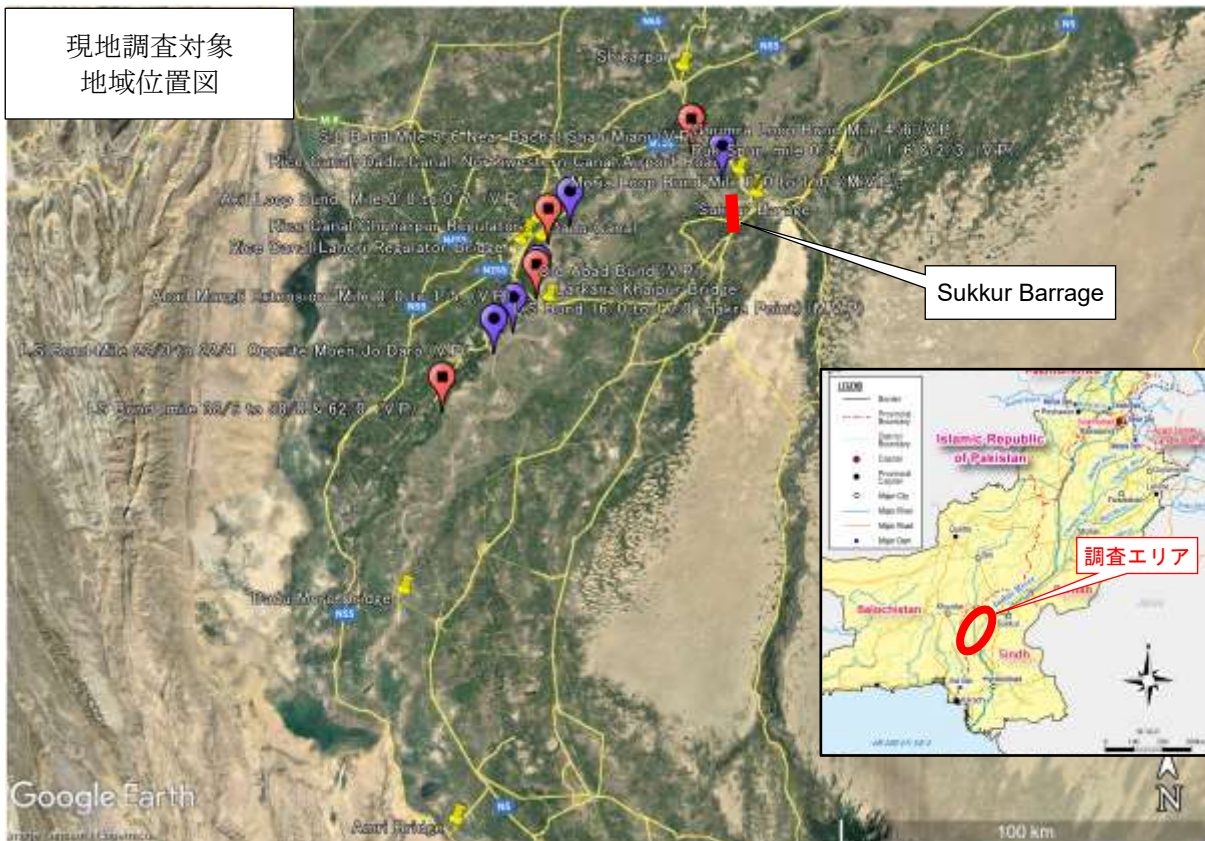
Indus 川右岸の堤防建設の Pre-F/S 調査の基礎情報の収集を目的として、現地調査を行った。調査の対象地域を、Sindh 州 Indus 川右岸の Sukkur 堰下流の低平地 RBOD 地区とし、その中から堤防の決壊リスクが高いと判断された箇所を選定した。

既存堤防の決壊リスクを分析するために、Sindh-PID の Vulnerability 調査（2023 年 Contingency Plan で実施）に上がっている脆弱性を有する堤防のリストを参照して、衛星画像解析を実施し、現地調査対象を抽出した。

表 1.1.1 現地調査行程

年月日/内容	行程
2023年8月1日（火） 移動日	イスラマバード (15:40)→[PIA 631]→サッカール (18:00)
2023年8月2日（水） 現地調査	Sukkur Area (サッカール堰、インダス川右岸) 1-1. Sukkur Barrage, Chief Engineer's Office 1-2. Ruk Spur, mile 0/5, 1/1, 1/6, 2/3 (V.P.) 1-3. Ghumra Loop Bund, mile 4/6 (V.P.) 1-4. S.L. Bund, mile 5/6 Near Bachal Shah Mianji (V.P) 1-5. Rice Canal, Dadu Canal, Northwestern Canal (Airport Road)
2023年8月3日（木） 現地調査	Larkana & Dadu Area (インダス川右岸) 2-1. Moria Loop Bund, mile 0/0 to 1/0 (M.V.P) 2-2. Akil Link Bund, mile 0/0 to 0/7 (V.P) 2-3. Rice Canal (Chuharpur Regulator) 2-4. Rice Canal (New Stand Bridge) 2-5. Rice Canal (Lahori Regulator Bridge) 2-6. Old Abad Bund (V.P) 2-7. Larkana Khairpur Bridge
2023年8月4日（金） 現地調査、移動日	Larkana Area (インダス川右岸) 3-1. Abad Mangli Extension, mile 0/0 to 1/5 (V.P) 3-2. L.S. Bund, mile 16/0 to 17/0 (Hakra Point) (M.V.P) 3-3. L.S. Bund, mile 22/0 to 22/4, Opposite Moen Jo Daro (V.P) サッカール (18:50)→[PIA 632]→イスラマバード (20:50)

Note: V.P: Vulnerable Point, M.V.P: Most Vulnerable Point



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.1 August 2~4, 2023: 現地調査位置図

1.1.1.2 August 2, 2023: Sukkur Area (サッカル堰、インダス川右岸)

- 1-1. Sukkur Barrage, Chief Engineer’s Office
- 1-2. Ruk Spur, mile 0/5, 1/1, 1/6, 2/3 (V.P.)
- 1-3. Ghumra Loop Bund, mile 4/6 (V.P.)
- 1-4. S.L. Bund, mile-5/6 Near Bachal Shah Mianji (V.P)
- 1-5. Rice Canal, Dadu Canal, Northwestern Canal (Airport Road)



出典：Google Map を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.2 August 2, 2023: Sukkur Area 現地調査位置図

(1) 1-1. Sukkur Barrage, Chief Engineer’s Office

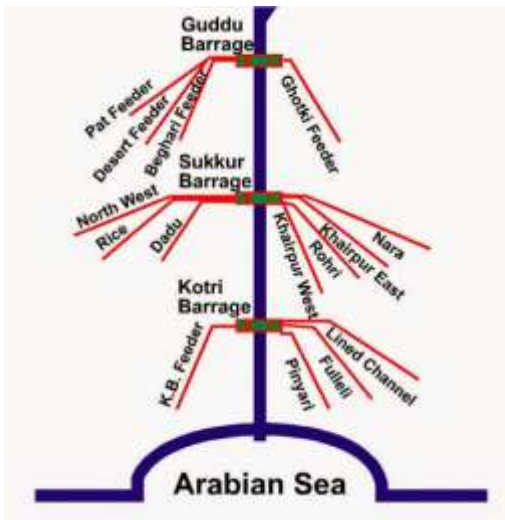
1) Sukkur Barrage

Sukkur 堰は 1932 年完成。1944 年ゲート 66 門中 10 門を閉鎖した。

表 1.1.2 Sukkur 堰の流下能力

段階	流下量
元設計	1.5 million cusec (42,450 cu.m/sec)
ゲート閉鎖後	0.9 million cusec (25,470 cu.m/sec)
2010 洪水時	1.2 million cusec (33,960 cu.m/sec)

Note: 1foot = 0.3048m = 12inch, 1cubic foot = 0.0283cubic meter



Sukkur 堰から取水している主要な灌漑水路

右岸側の灌漑水路

- NWC (Northwestern (Kirthar) Canal)
- Rice Canal
- Dasu Canal

左岸側の灌漑水路

- Nara Canal
- Rohri Canal
- KFE (Khairpur Feeder East) Canal
- KFW (Khairpur Feeder West) Canal

- Guddu 堰から Arabia 海までの標高差と距離は下記の通り。

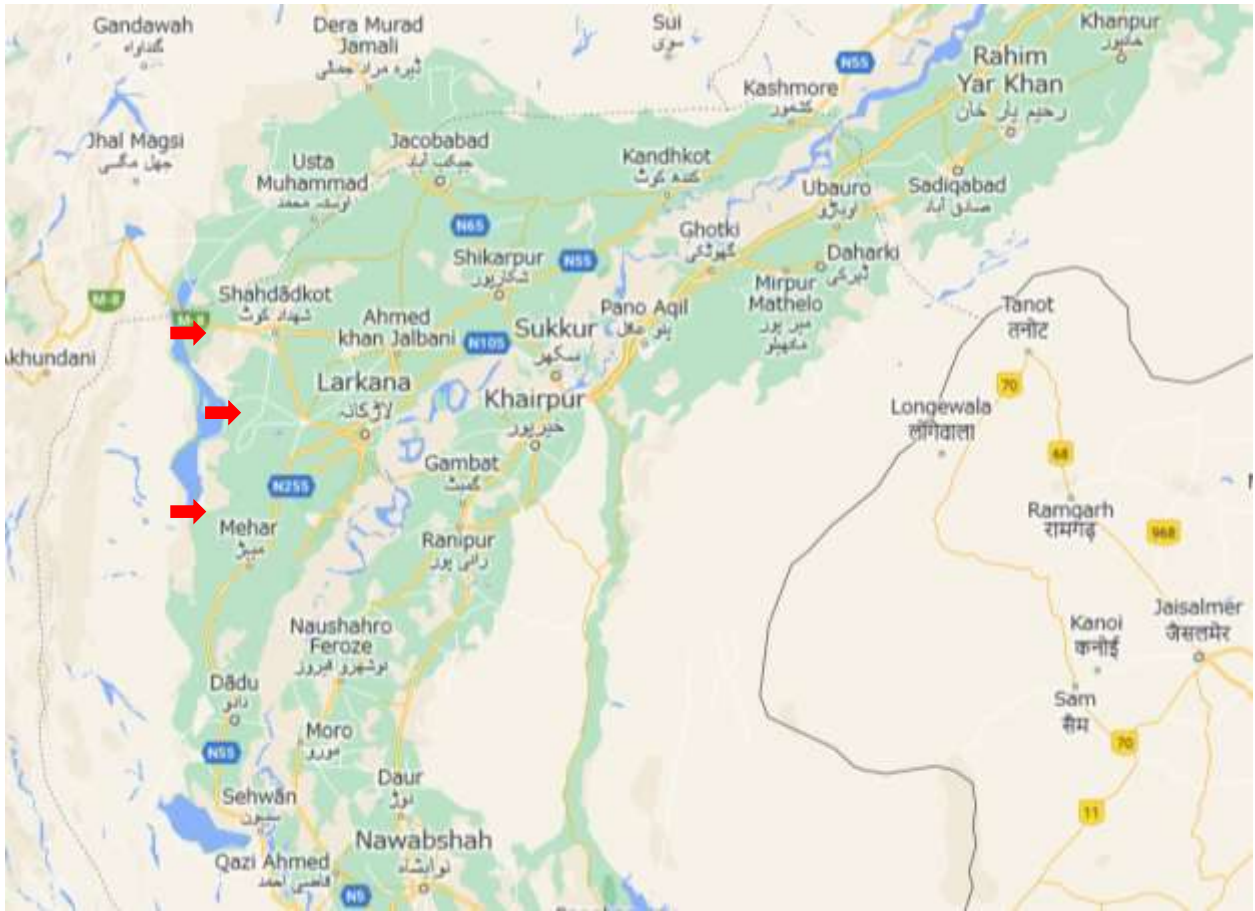
Location	Elevation	Distance
Guddu Barrage	RL 252	
	(dRL 80)	100 miles
Sukkur Barrage	RL 172	
	(dRL 105)	286 miles
Kotri Barrage	RL 67	
	(dRL 67)	143 miles
Arabian Sea	RL 0	

2) Interview at Chief Engineer’s Office, Sukkur Left Bank Region

Mr. Syed Sardar Ali Shah, Chief Engineer, Sukkur Barrage Left Bank Region

- 2023 年の 5/15～6/15 の間は水不足で、灌漑用水の給水量不足の裁判が行われるほどであった。
- 2022 年の洪水時には、Sulaiman 山地からの出水は DG Khan を通って Indus 川に流れ込んだ。(RBOD エリアには来ていない)
- 2022 年の RBOD エリアの洪水時は、
 - ① RBOD の北側のバロチスタン州内に位置する堤防でのブリーチや、Canal の溢水が発生
 - ② FP Bund で、3ヶ所 (RD440, 348、200) ブリーチ
 - ③ Manchar 湖北岸の堤防でも 3ヶ所ブリーチ (1ヶ所：自然越流、2ヶ所人為的)

1mile = 1.609344km = 1,760 yard	3feet = 1yard = 0.9144m	1RD = 5,000feet = 1,524m
1foot = 0.3048m = 12inch, 1cubic foot = 0.0283cubic meter		



出典：Google Map を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.3 2022 年洪水時の FP Bund における Breach 箇所 (3ヶ所：RD440, 348、200)

3) Mr. Shah Fayaz: Superintending Engineer, Khairpur Irrigation Circle

⇒Sukkur (Lloyd Barrage.)堰下流左岸側の Irrigation Network の管理責任者

- Sukkur から 64mile 下流左岸側の範囲には、8~10 か所ほど Vulnerable Point がある。

(2) 1-2. Ruk Spur, mile 0/5, 1/1, 1/6, 2/3 (V.P.)、 1-3. Ghumra Loop Bund, mile 4/6 (V.P.)

Ruk Loop Bund において新設の T-Head Spur Dike を建設中。建設資材である石（石灰岩）は Rohri (Sukkur の南東) の Arror 山にある採石場から持ってきている。

Ghumra Loop Bund では、法面上の Stone Pitching や、法尻部（堤脚部）への Stone Apron が必要とされている。



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.4 Ruk Spur 及び Ghumra Loop Bund 周辺の 2022 年洪水時状況



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.1 Ruk Spur (2023 年 8 月 2 日)



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.2 Ghumra Loop Bund (2023 年 8 月 2 日)

- (3) 1-4. S.L. Bund, mile-5/6 Near-Bachal Shah Mianji (V.P)、1-5. Rice Canal, Dadu Canal, Northwestern Canal (Airport Road)

S.L. Bund は、空港を洪水から防御するために重要な堤防であるとみなせる。Restoration Works が必要とのことであったが、大きな問題は見当たらなかった。



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.5 S.L Bund、Dadu/Rice/NW Canal、Sukkur 空港周辺の状況



堤外（陸）側の法面のガリ浸食

非洪水期の通行のために堤防幅が薄い部分がある

出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.3 S.L Bund (2023 年 8 月 2 日)



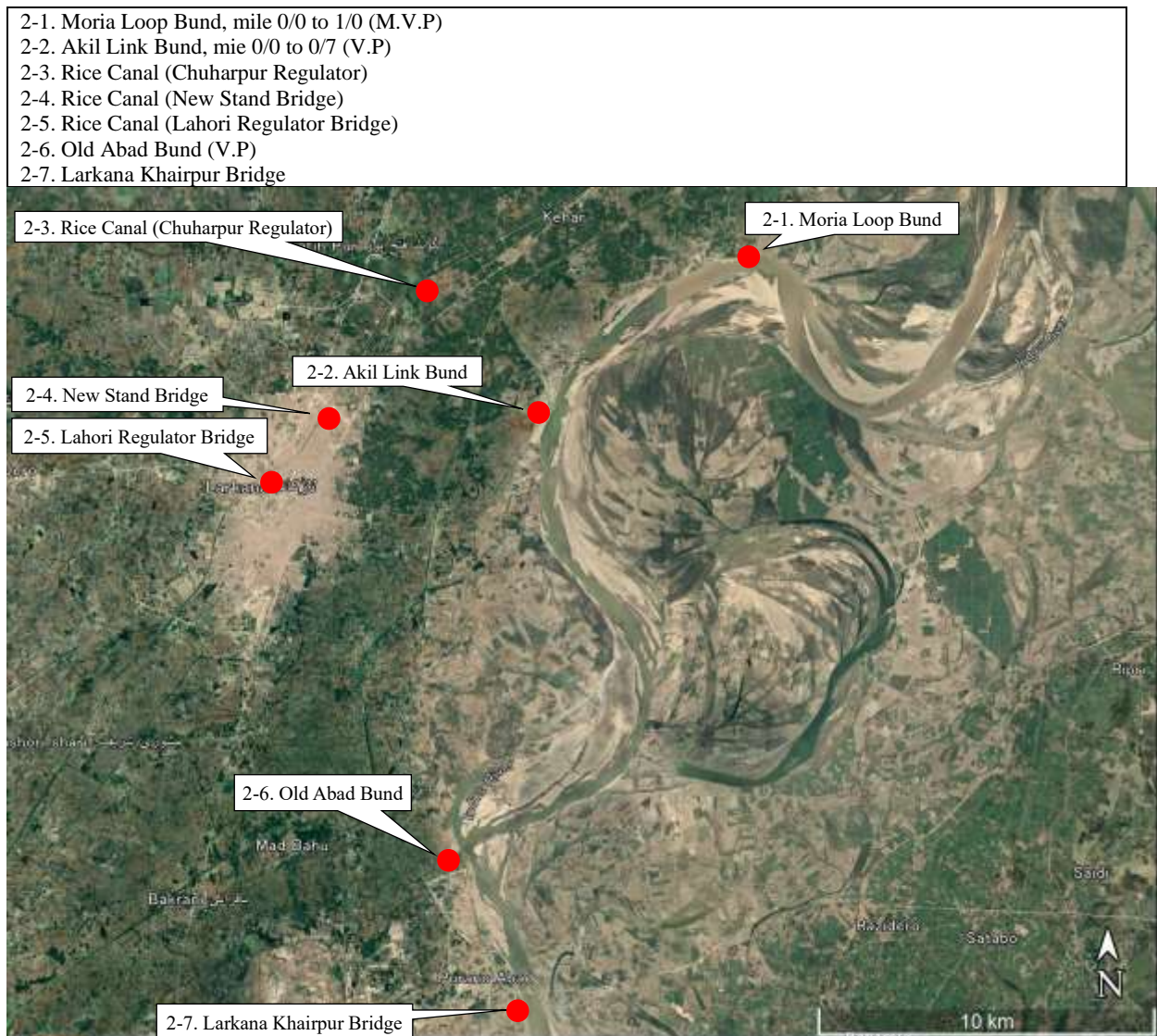
3つの主要灌漑水路を横断する橋梁

橋脚の高さが不揃い、橋台・橋脚が傾いている。

出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.4 Dadu Canal, Rice Canal, NW Canal (2023 年 8 月 2 日)

1.1.1.3 August 3, 2023: Larkana & Dadu Area (インダス川右岸)

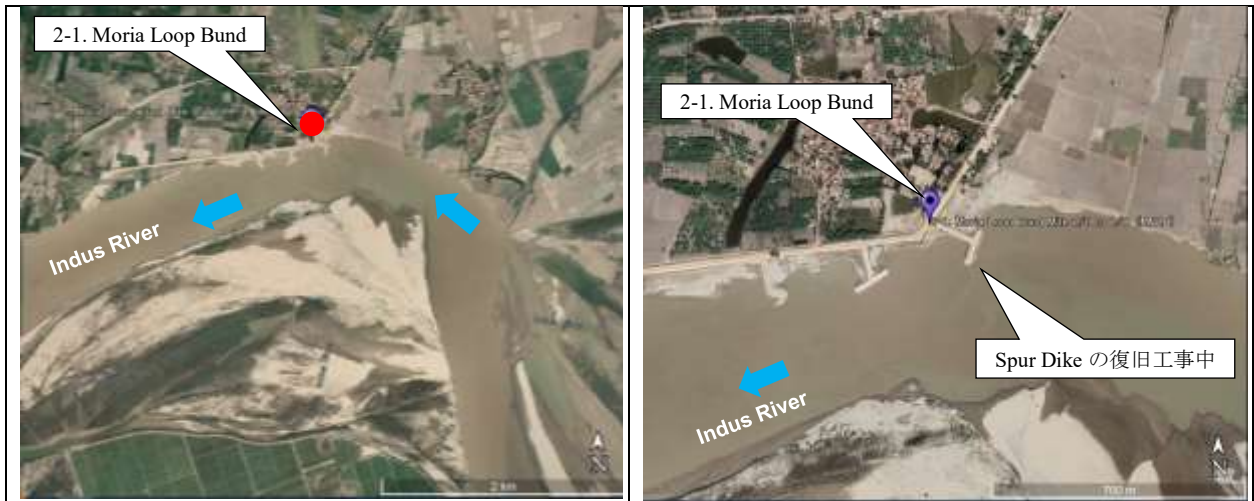


出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.6 August 3, 2023: Larkana & Dadu Area 現地調査位置図

(1) 2-1. Moria Loop Bund, mile 0/0 to 1/0 (M.V.P)

Moria Loop Bund において 2018 年に建設され、2022 年洪水で被害を受けた T-Head Spur Dike の復旧工事を実施中。



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.7 Moria Loop Bund 位置図



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.5 Moria Loop Bund で修復工事中の T-Head Spur Dike (2023 年 8 月 3 日)

(2) 2-2. Akil Link Bund, mile 0/0 to 0/7 (V.P)

Akil Link Bund では、堤防の裏法尻付近に漏水が発生している。



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.8 Akil Link Bund 周辺



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.6 Akil Link Bund (2023 年 8 月 3 日)

(3) 2-3. Rice Canal (Chuharpur Regulator)



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.9 Rice Canal, Chuharpur Regulator 位置図



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.7 Rice Canal の Chuharpur Regulator(2023 年 8 月 3 日)

(4) 2-4. Rice Canal (New Stand Bridge)



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.10 Rice Canal, New Stand Bridge 位置図



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.8 Rice Canal の New Stand Bridge (2023 年 8 月 3 日)

(5) 2-5. Rice Canal (Lahori Regulator Bridge)



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.11 Rice Canal, Lahori Regulator Bridge 位置図



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.9 Rice Canal の Lahori Regulator Bridge (2023 年 8 月 3 日)

(6) 2-6. Old Abad Bund (V.P)

Old Abad Bund では、インダス本川の主流路の水衝部となることによる洗堀および侵食が発生している。



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.12 Old Abad Bund 周辺



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.10 Old Abad Bund (2023年8月3日)



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.11 Old Abad Bund での施工状況 (2023年8月3日)

(7) 2-7. Larkana Khairpur Bridge

Larkana Khairpur Bridge は2009年に開通した。それ以前は、Sukkur Barrage と Dadu Moro Bridge 間の約150kmの区間において Indus 川を横断する交通施設がなかった。



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.13 Larkana Khairpur Bridge 位置図

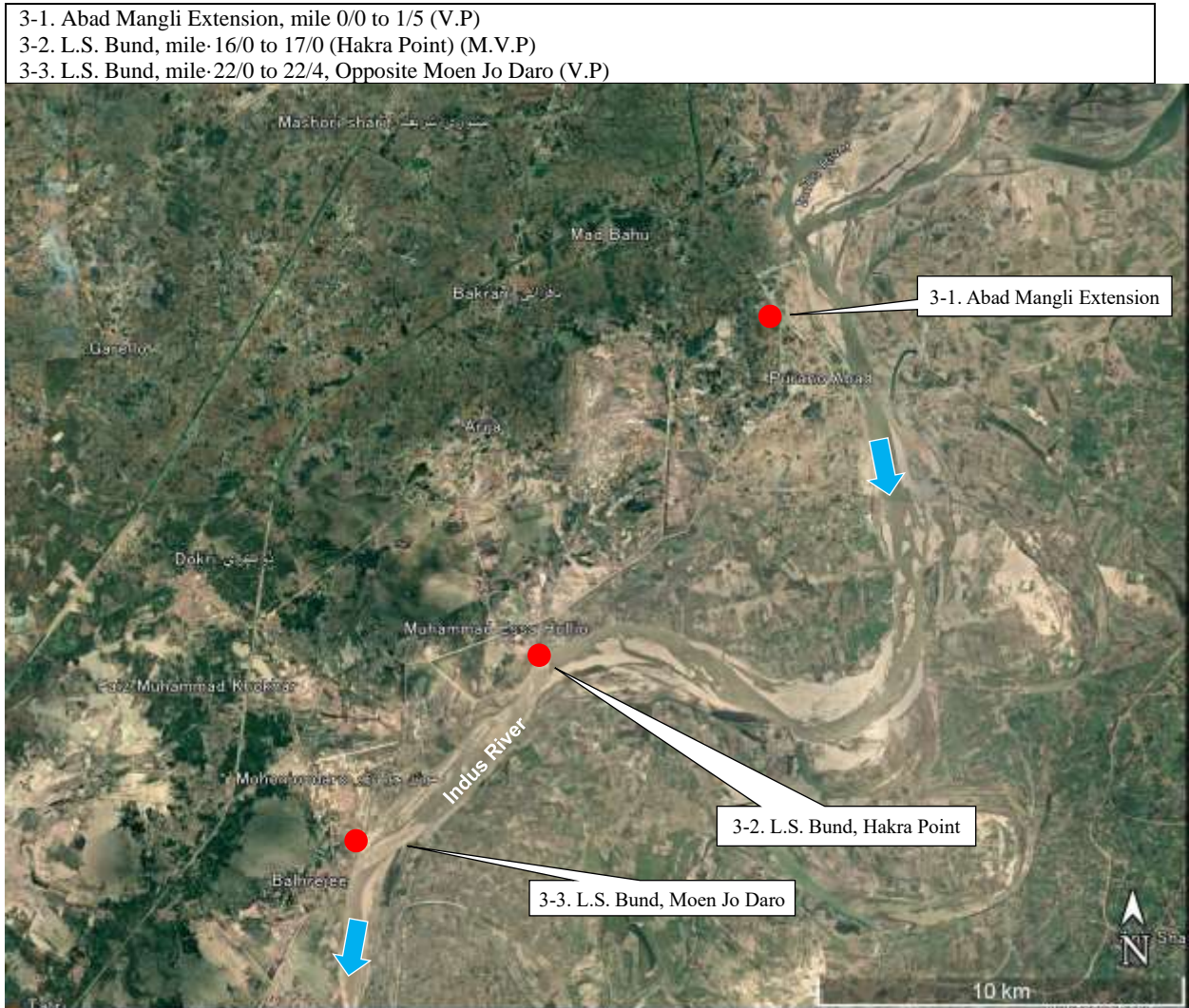




出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.12 Larkana Khairpur Bridge (2023年8月3日)

1.1.1.4 August 4, 2023: Larkana Area (インダス川右岸)



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.14 August 4, 2023: Larkana Area 現地調査位置図

(1) 3-1. Abad Mangli Extension, mile 0/0 to 1/5 (V.P)

堤防法面の捨石工及び堤脚部護工（Stone Pitching and Stone Apron）の復旧が必要とのことであったが、下流に位置する J-Head Spur の効果により、流水による浸食に対する危険度は大きくなく、復旧工事の緊急性は高くないと考えられる。



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.15 Abad Mangli Extension 位置図





出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.13 Abad Mangli Extension (2023年8月4日)

(2) 3-2. L.S. Bund, mile-16/0 to 17/0 (Hakra Point) (M.V.P)

2016年頃から堤防に Indus 川の流水が直接当たるようになり、数か所の T-Head Spur を建設して堤防の保護を図っている。Spur Dike は適切に維持管理されている。



2016年以降堤防前面（川側）の堆積物がなくなり、堤防が直接流水に晒されるようになった。

出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.16 L.S. Bund, Hakra Point 位置図





出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.14 L.S. Bund, Hakra Point (2023年8月4日)

(3) 3-3. L.S. Bund, mile-22/0 to 22/4, Opposite Moen Jo Daro (V.P)

インダス文明最大級の都市遺跡であり、世界遺産であるモヘンジョダロ遺跡から数百 m の距離にあり、遺跡とその周辺の町を守るために重要な役割を果たしている堤防である。Spur Dike には植生が根付いていることから、流出や浸食の被害を近年は受けていないことが分かる。複数の Spur Dike により Indus 川の流路がコントロールされ、L.S Bund と Indus 川が接近してはいるものの、堤防盛土は安全に守られているように見える。



出典：Google earth の衛星画像を基にアドバイザーチーム作成

図 1.1.17 L.S. Bund, Opposite Moen Jo Daro 位置図



出典：アドバイザーチーム

写真 1.1.15 L.S. Bund, Opposite Moen Jo Daro (2023 年 8 月 4 日)