

No. 2

パキスタン国
タウンサ堰灌漑システム改修計画
事前 (S/W協議) 調査報告書

平成9年6月

JICA LIBRARY



J 1141627 (8)

国際協力事業団

農 調 農
J R
97-063

パキスタン国
タウンサ堰灌漑システム改修計画
事前 (S/W協議) 調査報告書

平成9年6月

117
833
AFA
RARY

パキスタン国
タウンサ堰灌漑システム改修計画
事前（S/W協議）調査報告書

平成9年6月

国際協力事業団



1141627(8)

序 文

日本国政府は、パキスタン国政府の要請に基づき、同国のパキスタン国タウンサ堰灌漑システム改修計画にかかる調査を実施することを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施することとなりました。

当事業団は、本格調査に先立ち、本調査の円滑かつ効果的な実施を図るため、平成9年4月5日から4月18日までの14日間にわたり、社団法人農村環境整備センター 石坂邦美氏を団長とする事前調査団を現地に派遣しました。

同調査団は、パキスタン国政府関係者との協議並びに現地踏査を行い、要請背景・内容等を確認し、本格調査に関する実施細則（S/W）に署名しました。

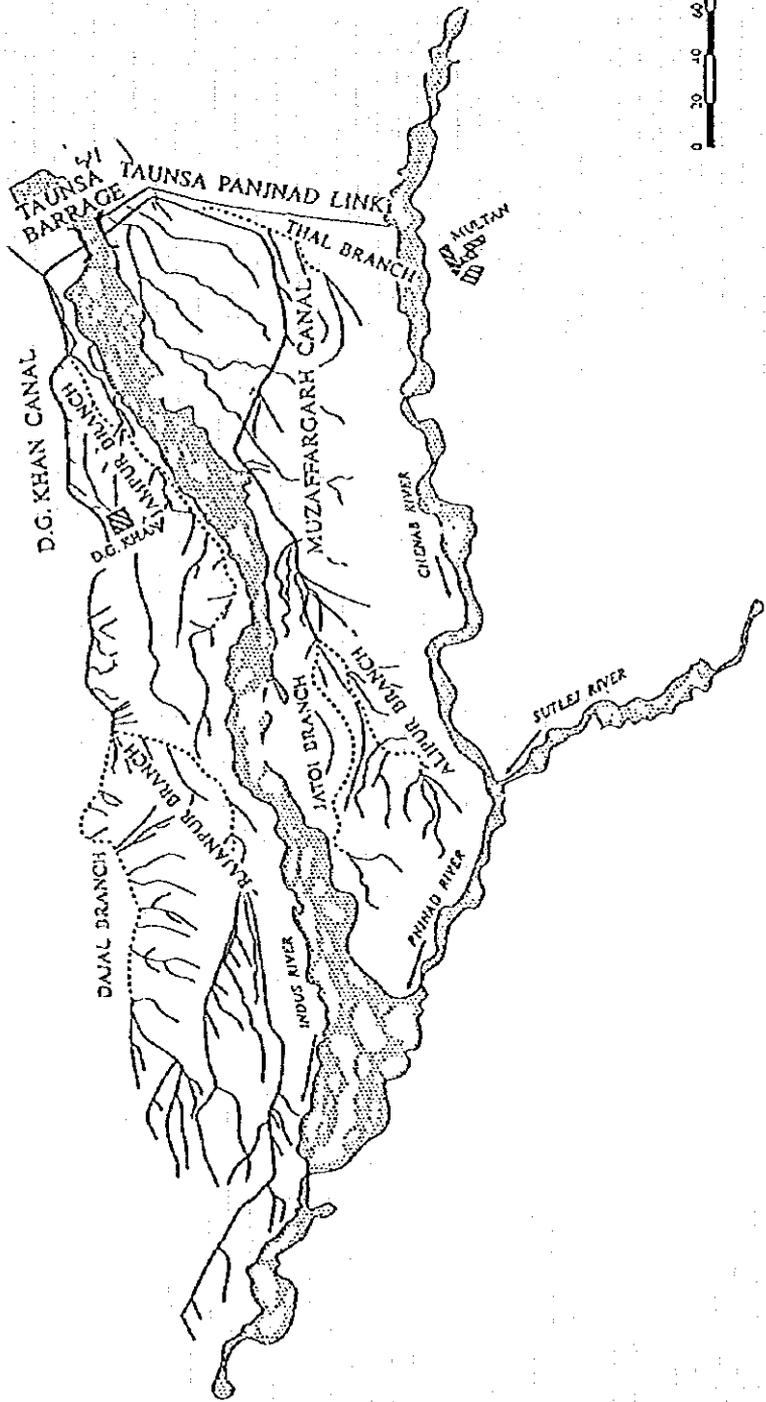
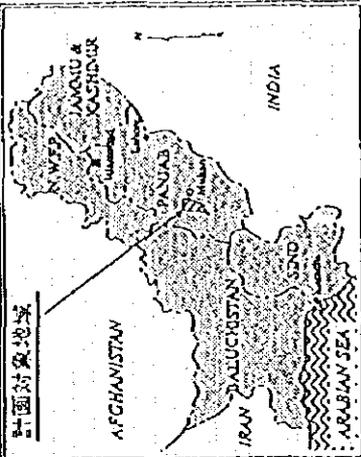
本報告書は、本格調査実施に向け、参考資料として広く関係者に活用されることを願い、とりまとめたものです。

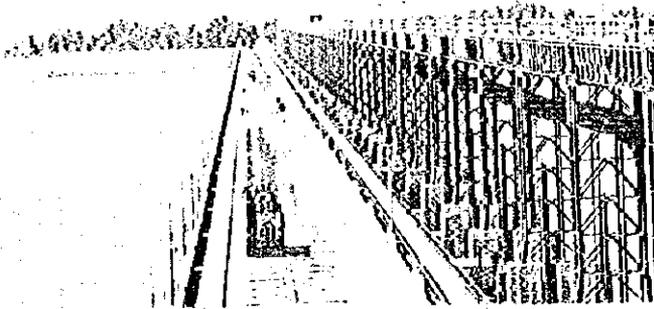
終わりに、本調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成9年6月

国際協力事業団
理事 亀若 誠

パキスタン國タウンスア堰灌溉システム改修計画
調査位置図

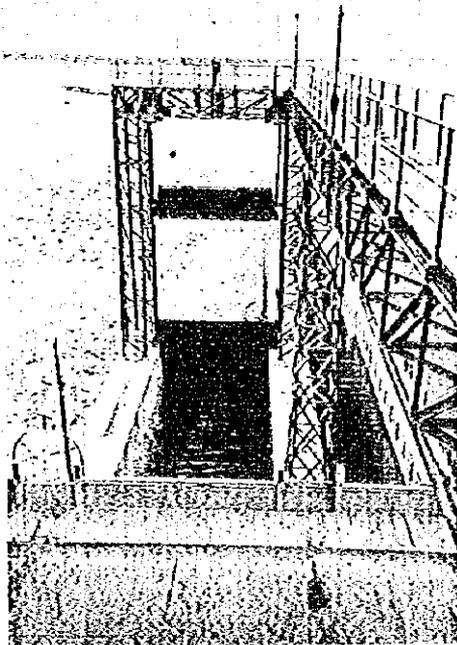




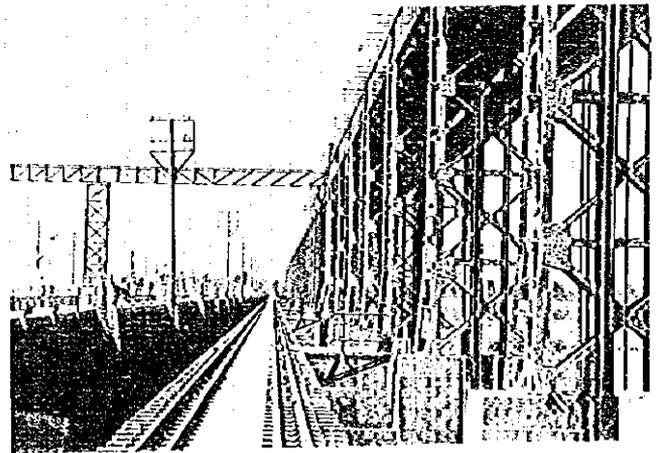
タウンサ堰全影 (左岸側から)



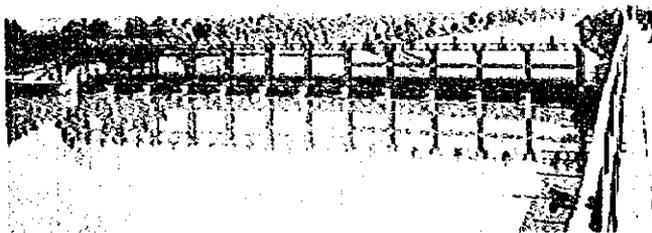
タウンサ堰下流



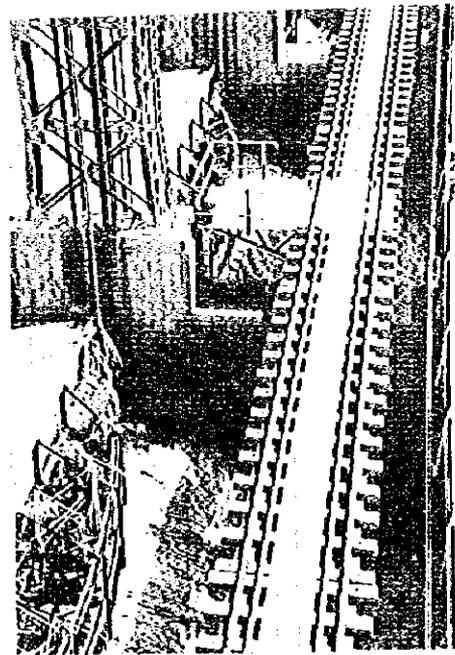
船通し (上流側から)



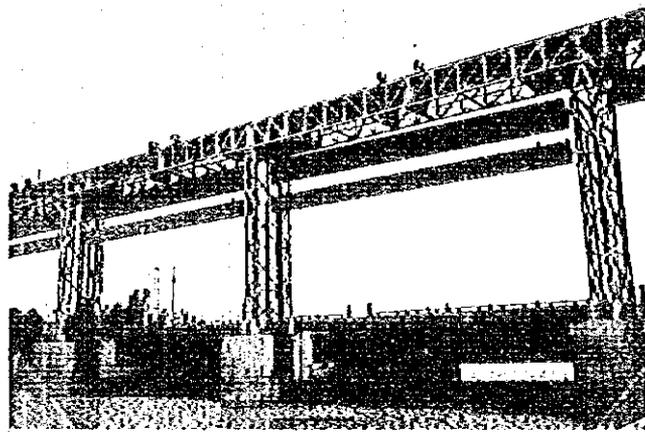
鉄道部 (左岸側から)



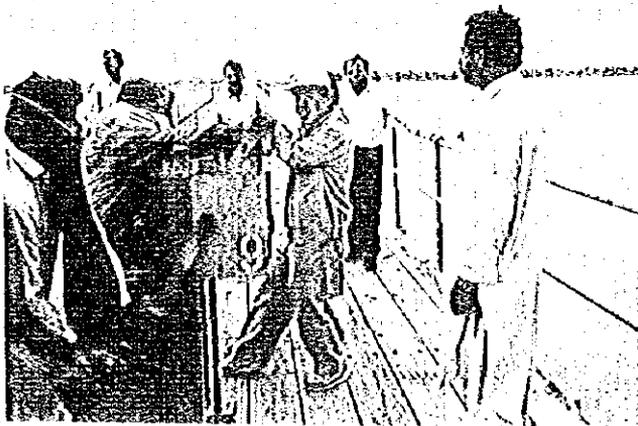
T.P.リンク水路(左側)、ムザファルガー水路(右側)



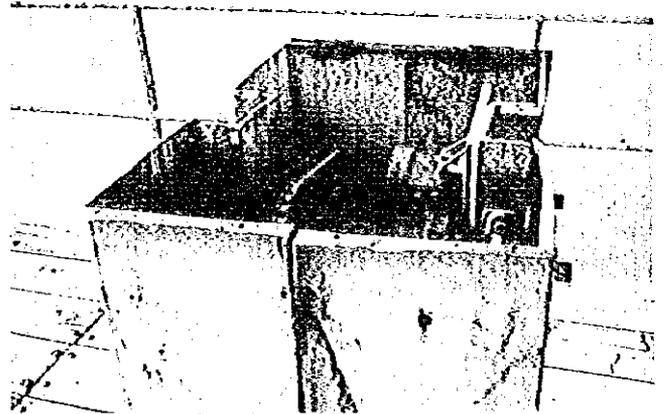
ゲート部全影



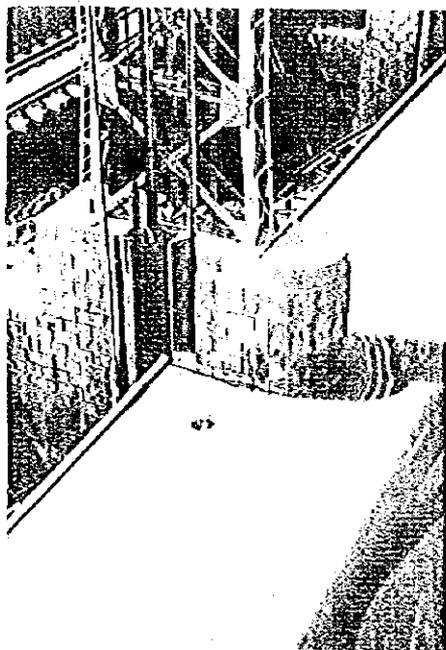
ゲート部全影



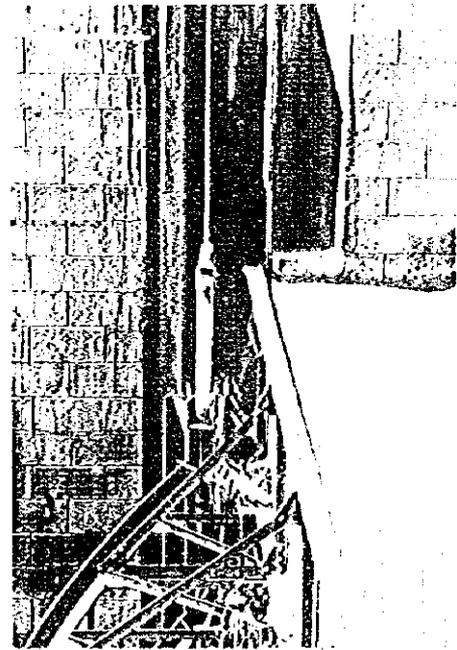
巻上機 (人力)



巻上機機械部老朽化状況



漏水によるウズ流発生状況



ゲート側部構造

目 次

序文

調査位置図

写真

第1章 調査団とその目的	1
1-1 調査目的	1
1-2 調査団構成	1
1-3 調査日程	2
1-4 主要面会者	2
1-5 S/W協議概要	4
第2章 要請背景	7
2-1 要請の背景・意義・位置づけ	7
2-2 地域の農業開発経過	7
第3章 調査対象地域の現況	9
3-1 自然環境	9
3-2 社会経済	9
3-3 農業	9
3-3-1 概要	9
3-3-2 土地利用及び作付体系	10
3-3-3 作付面積及び生産量	11
3-3-4 栽培品種	12
3-3-5 農業用機械	12
3-3-6 用水管理	13
3-3-7 農業支援体制	13
3-4 灌漑計画	13
3-4-1 取水路内堆砂の問題	13
3-4-2 堰上げ水位不足（堰構造）の問題	18
3-5 施設機械	19
3-5-1 クウンサ堰のゲート設備構成	19

3-5-2	堰ゲートの構造	19
3-5-3	調査の概要	21
3-6	環境	23
3-6-1	地下水位上昇	23
3-6-2	塩類集積	23
第4章	本格調査の実施上の留意点	25
4-1	調査結果の総括	25
4-1-1	先方の意向	25
4-1-2	調査範囲と時期	25
4-1-3	その他	26
4-2	灌漑計画	26
4-2-1	実施調査方針	26
4-2-2	実施調査時に収集すべきデータ	28
4-3	施設機械	32
4-4	農業	33
4-5	環境	33
付属資料		
1.	要請書 (T/R)	37
2.	実施細則 (S/W)	61
3.	協議議事録 (M/M)	69
4.	ムザファルガー区灌漑事業所組織図	73
5.	第8次5カ年計画 (1993~1998年) 農業分野抜粋	75
6.	第9次5カ年計画 (1998~2003年) 農業分野抜粋	109
7.	収集資料リスト	113

第1章 調査団とその目的

1-1 調査目的

パキスタン国政府の要請に基づき、同国パンジャブ州西部に位置する灌漑用取水堰であるタウンサ堰灌漑システム（灌漑面積約90万ha、受益農家約350万人）の改修計画を策定するもので、今回は実施調査のS/Wを協議、署名することを目的とする。

（プロジェクト名）

日本名：タウンサ堰灌漑システム改修計画

英名：Feasibility Study on Taunsa Barrage Irrigation System Rehabilitation Study

（相手国受け入れ機関）

日本名：パンジャブ州灌漑電力局

英名：Irrigation and Power Department, Government of the Punjab

1-2 調査団構成

調査団員氏名	担当業務	所 属
石坂 邦美 ISHIZAKA Kuniyoshi	総括 Leader	社団法人農村環境整備センター 部長 Director, First Study Department Japanese Center for Rural Environment Promotion
長嶋 慈則 NAGASHIMA Shigenori	施設機械 Construction Equipment Engineering (Pump, Gate and Valve)	農林水産省構造改善局建設部設計課施設機械企画係 係長 Chief, Construction Equipment Section Design Div. Construction Department Agricultural Structure Improvement Bureau Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
常住 直人 TSUNEZUMI Naoto	灌漑計画 Irrigation Engineering	農林水産省農業工学研究所水工部水源施設水理研究室 主任研究官 Senior Researcher, Laboratory of Dams & Headworks Hydraulics, Department of Hydraulic Engineering Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
野口 智司 NOGUCHI Tomoshi	農業 Agriculture	農林水産省北陸農政局生産流通部農産普及課農産機械係 係長 Chief, Crop Production & Machinery Section, Agricultural Production and Extension Div. Agricultural Production and Marketing Department Hokuriku Regional Agricultural Administration Bureau Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
北中 真人 KITANAKA Makoto	調査企画/ 環境 Coordinator/ Environment	JICA農林水産開発調査部農業開発調査課 Agricultural Development Study Div. Agriculture, Forestry and Fisheries Development Study Dept. Japan International Cooperation Agency

1-3 調査日程

日順	月日	曜	調査日程	宿泊地
1	4/5	土	東京→JL717→バンコク着	バンコク
2	6	日	バンコク→PK897→イスラマバード	イスラマバード
3	7	月	10:00 JICA打合せ 11:00 日本大使館表敬 14:00 OECF表敬 15:00 EAD表敬 15:30 灌漑電力省表敬	イスラマバード
4	8	火	10:00 ADB表敬 移動(イスラマバード→ラホール)	ラホール
5	9	水	10:00 パンジャブ州企画局表敬 11:00 PID表敬 15:00 灌漑研究所視察	ラホール
6	10	木	移動(ラホール→ムルタン) 11:00 ムルタン地区灌漑事務所打合せ 陸路移動(ムルタン→タウンサ) 15:00 現地視察打合せ	タウンサ
7	11	金	現地調査 陸路移動(タウンサ→ムルタン)	ムルタン
8	12	土	移動(ムルタン→ラホール) 14:00 PID協議	ラホール
9	13	日	資料整理	ラホール
10	14	月	9:30 S/W協議、M/M作成 13:30 S/W、M/M署名 移動(ラホール→イスラマバード)	イスラマバード
11	15	火	10:00 JICA報告 14:15 世界銀行表敬 14:15 大使館報告(川上大使)	イスラマバード
12	16	水	タルベラダム視察	イスラマバード
13	17	木	イスラマバード→PK892→(機中)	
14	18	金	バンコク→TG640→成田着	

1-4 主要面会者

EAD (大蔵省援助窓口)

Mr. S.M. Hasan Zaidi

Deputy Secretary

灌漑電力省

Mr. Faiz Ahmed Zaidi

Joint Secretary

ADB (アジア開発銀行)

Mr. S.B. Chua

Chief, Resident Mission

世界銀行

Mr. Usman Qamar

Project Advisor (Irrigation)

PID (パンジャブ州灌漑電力局)

Mr. Suleman Ghani

Secretary

Mr. Tahir Ahmed Malik

Chief Engineer

Mr. Mian Yousaf Ali

Chief Engineer (Development)

Mr. Qazi Anwar Ali

S.B. Mechanical Circle

Mr. Muhammad Irfan

Mr. Ch. Irshad-ul-Haque

在パキスタン日本大使館

川上大使

山田一等書記官

OECFパキスタン事務所

佐藤所長

JICAパキスタン事務所

中川所長

永友所員

Sohail所員

S.E. Muzaffargarh Canal Circle

Deputy Secretary

1-5 S/W協議概要

対処方針どおりの内容で、S/W、M/Mを署名した（付属資料参照）。協議において、以下の6点が確認された（M/M記載事項）。

- ① ゲート部の機械的改修を最優先事項とする。
- ② D.G.カーン取水口の改修をセカンドプライオリティーとする。
- ③ ワークショップの機能向上を含めた堰の維持管理をサードプライオリティーとする。
- ④ 水路工、河川工は本格調査に含めないが、堰前後の堆砂・洗掘は堰改修の一部として含める。
- ⑤ ゲートの開閉は電動方式とする（ただし、コンピュータ制御は行わない）。
- ⑥ 調査第1フェーズで初期環境評価（IEE）をウォーターロギングと塩害を中心に行う。

また、先方から以下の要望が出された（M/M記載事項）。

- ① D.G.カーン取水口の堆砂問題への対応について要望があり、日本政府にこの旨伝えることを約束した（調査団は堆砂を堰システムの問題と捉え調査に含めることが適切と判断する）。
- ② フェーズ2調査におけるゲート1門の試験的改修の要望があり、日本政府にこの旨伝えることを約束した（調査団は試験的施工、維持管理体制の強化及び技術移転効果から判断し、意義あるものと判断する）。
- ③ 設計水位（10m）までの水の堰上げの要望があり、日本政府にこの旨伝えることを約束した（現行は、基礎の問題もあり、7m。調査団は冬期の灌漑面積の拡大につながるものとして調査に含めることが望ましいと判断する）。
- ④ カウンターパート研修の要請。日本でのカウンターパート研修について要望があり、日本政府にこの旨伝えることを約束した。
- ⑤ 調査用車輛、コピー機、ゲート開閉調査用エンジンの提供依頼があり、同国の経済状況を考慮し日本政府にこの旨伝えることを約束した。

なお、懸案事項として下記が挙げられる。

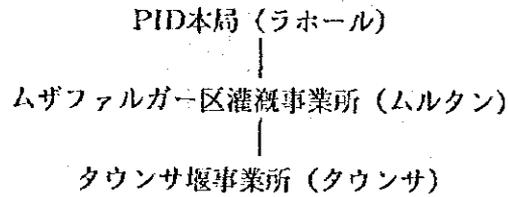
- ① ゲート1門改修を実施するとした場合、第1フェーズでパーツ類の仕様等を確定することとなるが、ローラー部のステンレス鋼を含め、全品現地調達とする必要があるか。
- ② 改修はゲート全開時の3週間（1/1～1/21）に限られているため、調査団の派遣時期等、タイミングを計ることが絶対条件となる。

その他として下記の点を報告する。

① カウンターパート機関について

PID (パンジャブ州灌漑電力局) が主カウンターパート機関となりS/W等の署名、全体調整を行うが、調査の際はクワンサ堰事業所 (クワンサ堰、T.P.リンク、ムザファルガー水路堰から 8 km、D.G.カーン水路堰から 8 kmを所管) が中心となる。

なお、堰の機械部の調査については灌漑電力局からのMechanical Engineerがカウンターパートとなる予定である。



② 調査スケジュールについて

上記懸案事項のとおり、ゲート1門改修を実施するとした場合は、改修はゲート全開時の3週間 (1/1~1/21) を念頭に、調査団の派遣時期を合わせる必要がある。

③ 堆砂・洗掘のための大規模模型実験は実施しない。

④ 本調査は、PID内における調整・協力で実施可能であるため、ステアリングコミッティーは設置しない (要請背景、経緯)。

第2章 要請背景

2-1 要請の背景・意義・位置づけ

パキスタン国政府は、第8次5カ年計画（1993～1998年）において同国の基幹産業である農業の生産性向上、多様化、高付加価値化促進を重点施策として実施してきている。

パキスタン国の農業は林業、水産業も含めるとGDPの24%（1992/1993統計）、全就業人口の47%（1992/1993統計）、農村居住人口は全人口の68%を占め、また加工品を含めると総輸出額の約77%（1991/1992統計）を農産物関連品目が占める。しかし、インダス河流域が、高い潜在的農業生産力を有するにもかかわらず、小麦、綿花等の主要農産物の単位面積当たりの生産量は世界平均の70%程度となっており、主食の小麦は自給も達成できず、人口増加率が2.9%と高いことから将来の食糧供給の不足が大きな課題となっている。

パンジャブ州は、同国の主要農産物である小麦73%、綿花66%、サトウキビ73%、米47%を生産する農業地域であるが、灌漑施設の老朽化や不効率な水利用のため、ほ場に到達するまでに用水の60%以上が損失しているといわれており、農業の生産性向上の制約要因の1つとなっている。

タウンサ堰は、インダス河にある16の堰の1つであるが、1958年に完成し築後39年を経て老朽化が著しく、その機能低下のため受益地への効率的な配水のみならず、洪水時のゲート操作に支障をきたし、洪水被害拡大の一因となっている。

これらを踏まえ、パキスタン国政府は平成8年1月、我が国に対しタウンサ堰灌漑システム改修計画の策定にかかる技術協力を要請してきた。

2-2 地域の農業開発経過

「緑の革命」によって、パキスタン国の穀物生産は増大したが、この増加の大部分がパンジャブ州で生みだされたものであった。

パンジャブ州の全生産に占める割合は、小麦72%、米44%、メイズ36%、綿花82%、サトウキビ39%、ヒヨコ豆76%であり、これら主要作物の作付面積は全体の69%（1990/1991年統計）を占める。パンジャブ州の人口が全人口の約56%で、耕作面積が約59%であることを考慮しても、この州への生産集中は否めない。パンジャブ州への生産集中は、英領インド期の灌漑投資による良好な生産基盤にある。灌漑水路網は19世紀中頃から20世紀前半にかけて完成したもので、英領インド期の投資基準は投資収益性の高さにあり、これにより膨大な灌漑投資がパンジャブ州を中心とする地域に集中した。

独立後の灌漑投資は、インダス水利協定の調整措置としてタルベラ、マーングラなどのダムと導水路（リンクチャナル）の建設、タウンサ堰を含む16の取水堰の建設及び動力揚水機

を装備した深井戸の形態を取った。食糧自給の早期達成が政策目標であったことと、投資資金が返済を要する有償援助の形を取ったため、必然的に投資は収益性の高い地域に向かわざるを得ず、この過程でも英領インド期に等閑視された北西辺境州やパロチスタン州は無視され続けた。私的資本による動力揚水機への投資もまた、用水路灌漑地の水不足を補う役割を果たすことにより、高い収益性をもつ用水路灌漑地に集中した。

このような投資の重層性によってパンジャブ州の農業生産基盤はますます強化された。

公共投資として灌漑排水などの生産基盤投資が行われる場合、その地域の農家は以下のような便益を得ている。

- ① 生産性の向上と収量の安定
- ② 地代の上昇
- ③ 私的投資の収益性の増加
- ④ 投入財（水利費）への補助
- ⑤ 農家所得の増加
- ⑥ 地価の高騰

第3章 調査対象地域の現況

3-1 自然環境

本調査対象地域はパンジャブ州にあり、「パンジャブ州支線水路改修計画調査報告書(1997.7)」の調査対象地域の現況とほぼ同様であるため、同報告書を参照されたい。

3-2 社会経済

本調査対象地域はパンジャブ州にあり、「パンジャブ州支線水路改修計画調査報告書(1997.7)」の調査対象地域の現況とほぼ同様であるため、同報告書を参照されたい。

3-3 農業

3-3-1 概要

調査対象地区の位置するパンジャブ州は、総面積は20.63百万ha、うち12.14百万ha(総面積の約59%)が耕作地として利用されて、パキスタン国全体の耕作面積の約57%を占めており、同国の主要農産物の生産量の過半数以上を生産する同国中で屈指の穀倉地帯である。

表3-1に示すとおり年間の降水量は、調査対象地区に近いムルタンで200mm程度、比較的降水量の多いラホールで600mm程度の乾燥～亜乾燥地帯であるが、地形は平坦でインダス河及びその支流が貫流し、イギリス植民地時代から行われたインフラ投資により、灌漑施設が整備され、耕地面積の約90%で灌漑農業が行われている。

表3-1 30年間平均 月別平均降水量、平均最高気温、平均最低気温

	ムルタン			ラホール		
	降水量(mm)	最高気温(°C)	最低気温(°C)	降水量(mm)	最高気温(°C)	最低気温(°C)
1月	7.2	20.1	4.5	23.0	19.8	5.9
2月	9.5	23.2	7.6	28.6	22.0	8.9
3月	19.5	28.5	13.5	41.2	27.1	14.0
4月	12.9	35.5	19.5	19.7	33.9	19.6
5月	9.8	40.4	24.4	22.4	38.6	23.7
6月	12.3	42.3	28.6	36.3	40.4	27.4
7月	61.3	39.2	28.7	202.1	36.1	26.9
8月	32.6	38.0	28.0	163.9	35.0	26.4
9月	10.8	37.2	24.9	61.1	35.0	24.4
10月	1.7	34.6	18.2	12.4	32.9	18.2
11月	2.3	28.5	10.9	4.2	27.4	11.6
12月	6.9	22.7	5.5	13.9	22.0	6.8
年間	186.8			628.8		

出典：Pakistan Statistical Yearbook 1991

3-3-2 土地利用及び作付体系

パンジャブ州の農業は、2つの栽培期間に大別され、雨期（カリーフ期、4～10月）と呼ばれる夏作期には米、綿花、サトウキビ等の換金性の高い作物が栽培され、乾期（ラビー期、10～4月）と呼ばれる冬作期には小麦、豆類、飼料作物等の自給性の高い作物が栽培されている。調査時点では、乾期の作物の収穫期に当たっており、作付けされている作物の大部分は小麦で、その他にはバルシームと呼ばれる豆科牧草（クローバー）が栽培されていた。

パンジャブ州の耕作面積12.14百万haに対して、全作付面積は15.55百万haで土地利用率は128%となっている。土地利用は表3-2に、主要農作物の雨期、乾期別作付割合は表3-3に示すとおりである。

調査対象地区内にあるコトアデュ地区(Kot Adu Canal Division)の作付面積を表3-4に例示すると、灌漑面積の約70%で作物栽培が行われており、全作付面積に対する作付比率は、米8%、綿花25%、サトウキビ25%、小麦32%、その他作物10%と推定される。

表3-2 土地利用

単位：100万ha

年/州	地理上の面積	報告のあった全面積 (4+5+6+7)	林地	耕作不適地	耕作可能な荒地	耕作された土地 (8+9)	休耕地	純播種地	一回以上播種地	全作付地 (9+10)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1990-1991										
Punjab	20.63	17.10	0.46	2.90	1.84	11.81	1.01	10.80	4.26	15.06
Sindh(T)	14.09	13.58	0.58	6.12	1.25	5.63	2.57	3.06	0.92	3.98
NWFP	10.17	8.33	1.33	4.07	1.03	1.90	0.35	1.55	0.53	2.08
Balochistan	34.72	18.60	1.09	11.16	4.73	1.62	0.92	0.70	★	0.70
Total	79.61	57.61	3.46	24.34	8.85	20.96	4.85	16.11	5.71	21.82
1991-1992										
Punjab	20.63	17.51	0.47	3.19	1.86	11.99	1.01	10.98	4.06	15.04
Sindh(T)	14.09	13.54	0.58	6.07	1.25	5.64	2.60	3.04	0.91	3.95
NWFP	10.17	8.35	1.33	4.06	1.04	1.92	0.42	1.50	0.56	2.06
Balochistan	34.72	18.47	1.09	11.16	4.71	1.51	0.84	0.67	★	0.67
Total	79.61	57.87	3.47	24.48	8.86	21.06	4.87	16.19	5.53	21.72
1992-1993										
Punjab	20.63	17.46	0.47	3.01	1.84	12.14	1.13	11.01	4.54	15.55
Sindh(T)	14.09	13.66	0.59	6.13	1.26	5.68	2.62	3.06	0.91	3.97
NWFP	10.17	8.34	1.33	4.05	1.04	1.92	0.41	1.51	0.54	2.05
Baloch	34.72	18.60	1.09	11.16	4.69	1.66	0.79	0.87	★	0.87
Total	79.61	58.06	3.48	24.35	8.83	21.40	4.95	16.45	5.99	22.44
1993-1991										
Punjab	20.63	17.46	0.47	3.01	1.84	12.14	1.13	11.01	4.54	15.55
Sindh(R)	14.09	13.72	0.59	6.12	1.28	5.73	2.85	2.88	0.86	3.74
NWFP	10.17	8.34	1.29	4.09	1.04	1.92	0.42	1.50	0.52	2.02
Baloch	34.72	18.60	1.09	11.16	4.68	1.67	0.84	0.83	0.01	0.84
Total	79.61	58.12	3.44	24.38	8.84	21.46	5.24	16.22	5.93	22.15

出所: Provincial Agriculture Departments
出典: Agricultural Statistics of Pakistan 1993-1994より

注: ★ = 僅少
T = 随時推定
R = 反復

表3-3 主要農産物の雨期、乾期別作付割合

単位：%

	雨期（カリーフ期）					乾期（ラビー期）		
	稲	綿	サトウキビ	トウモロコシ	その他	小麦	豆類	その他
全農場	25	28	7	8	32	73	7	20
政府農場	14	10	4	7	65	42	21	37
民間農場	25	28	7	8	32	73	7	20

出所：Census of Agriculture 1990

出典：Agricultural Statistic of Pakistan 1993-1994

表3-4 コトアデュ地区の作付面積

灌漑面積 (A)	作付率70% (A)	作付体系			平均収穫量 (t/A)	総収穫量 (t)
		作物	作付率(%)	作付面積(A)		
366,325	256,428	サトウキビ	25	64,107	9.33	598,118
		米	8	20,514	0.933	19,140
		綿	25	64,107	0.373	23,912
		小麦	32	82,057	0.746	61,214
		その他	10	25,643	0.559	14,331

1A=0.40468ha

3-3-3 作付面積及び生産量

パキスタン国及びパンジャブ州における主要作物の作付面積、収穫量及び単位収穫量は表3-5に示すとおりである。また、調査対象地域内にあるコトアデュ地区の作付面積、収穫量及び総収入を参考までに表3-6に示す。

主食である小麦のパンジャブ州における生産量はパキスタン国の約70%、米の生産量は約40%、サトウキビの生産量は約50%に達しており、パキスタン国における一大穀倉地帯を形成しているが、ほぼすべての主要作物の単位収穫量が低く、国際水準にも及ばない現状にある。

その原因は主に灌漑水の不足にあるといわれているが、用水路からの漏水によるウォーターロギングと塩類集積、施肥量の不足、農民の技術レベルの低さも原因していると思われる。

表3-5 主要農作物の作付面積、収穫量、単収(1993~1994年)

単位：千ha、千t、kg/ha

	パンジャブ州			パキスタン国			世界平均 単収
	面積	収穫量	単収	面積	収穫量	単収	
小麦	5,570.7	11,218.0	1,914	8,034.2	15,213.0	1,894	2,520
稲	1,300.6	1,588.2	1,221	2,187.1	3,994.7	1,826	2,850
サトウキビ	596.2	24,510.8	41,100	962.8	44,427.0	46,100	61,590
綿	2,249.2	6,523.0	493	2,804.6	8,041.1	488	---
綿実	2,249.2	2,219.1	987	2,804.6	2,735.5	975	---
ヒヨコ豆	844.7	286.4	339	1,045.0	410.7	393	---

出典：Pakistan Statistical Yearbook 1994より

表3-6 コトアデュ地区の作付面積、収穫量及び総収入

作付体系			総収穫量 (t)	平均収穫量 (t/ha)	t当たり単価 (Rs)	総収入 (Rs)
作物	作付率 (%)	作付面積 (A)				
サトウキビ	25	61,107	598,118	23.1	7,501	448,588,730
米	8	20,514	19,140	2.31	10,301	197,137,480
綿	25	61,107	23,912	0.922	24,129	576,996,560
小麦	32	82,057	61,214	1.84	64,381	377,218,160
その他	10	25,643	14,331	1.38	8,051	115,392,210

1A=0.40168ha

3-3-4 栽培品種

パンジャブ州における小麦の作付品種は単収の比較的高いHYV種が96%を占めており、ほぼ同一品種の作付けが行われている。また、米の作付品種は芳香性の在来品種で輸出用のBasmati種が83%、高収量のIRRI種が17%を占めている。

3-3-5 農業用機械

農業機械は、4輪の農業用トラクターが普及しており、耕起作業等への利用が主体であると思われるが、収穫物等の運搬用にも利用されている。その他の農業機械では小麦脱穀機、簡易揚水ポンプ等が利用されている。

3-3-6 用水管理

調査対象地域の農業は灌漑農業を主体としており、用水路からの取水が主体となっているが、用水量の不足等から井戸による地下水灌漑の併用あるいは地下水灌漑のみの地区もあると推定される。現地においては、土砂が堆積している用水路もみられる。

用水不足が生じている主な原因は、堰の老朽化による総取水量の不足と用水路からの漏水等ハード面での不備によると思われるが、用水路上流部での過剰取水により下流部へ用水が行き届かない等のソフト面での問題も大きいといわれている。

また、用水路の管理は、主幹用水路は州政府により管理されているが、幹線用水路からほ場までの末端用水路は農民組合が管理しており、ほ場への灌水は区画を区切って掛け流しにより行われている。

3-3-7 農業支援体制

パンジャブ州にはファイサラバートの農業大学があるとともに、州政府の農業研究機関としてファイサラバートにアユープ研究所がある。農業普及は、農業省(Agriculture Department)の農業普及局(Agriculture Extension Wing)によって現場活動が実施され、連邦政府農業省(Ministry of Food and Agriculture)はその支援を行っている。

農業改良普及員は、主任普及員(Agricultural Officer)と補助普及員(Field Assistant)に分かれる。基本的には、1名の主任普及員は約5名の補助普及員を配下において数万エーカーから数十万エーカーの地域を担当するため、担当する農家数は数千戸を越すこととなり、直接農家に接触するのは補助普及員の仕事となる。

補助普及員は、農業訓練校の中等レベルの教育で2年間の短期間の実習後の資格であり、現実の指導等は農作物の栽培技術程度で十分な指導ができない現状である。

3-4 灌漑計画

3-4-1 取水路内堆砂の問題

(1) タウンサ堰は、現況堰地点の東側(右岸側)にあったインダス河の流路変更をして築造されている。このため、堰地点では、河川本流が右岸側(D.G.カーン水路側)に偏って流れている。タウンサ堰管理所のスタッフによれば堰地点での河川流量はおおよそ4:1の割合で右岸側に偏っているとのことである。

(2) 河川本流が右岸側に偏っているため、次のような問題が生じている。

- 1) D.G.カーン水路側(堰右岸取水口)への掃流砂の集中と堆砂及びそれによるD.G.カーン水路内への掃流砂の流入、沈積

2) 堰上流右岸の導流堤防の侵食傾向

(3) 堰上流右岸側での河川侵食に対しては、スパ―（水制工）により右岸堤防の保護を行っている。スパ―による堤防保護は河川両岸で行っているが、右岸側の方が侵食が激しくスパ―の改修頻度が高いとのことである。

(4) スパ―は蛇カゴ(Gabion)を主体とした簡易な構造であり、改修労力・コストとも、現状で問題がないとのことである。

(5) 水制工（スパ―、蛇カゴ製）により、ある程度、河川流向の制御がなされている。

(6) 河川本流は右岸導流堤沿いに湾曲して流下する。一般に湾曲凸部下流側には土砂が打ち寄せられる傾向があり、D.G.カーン水路取水口がまさにこの付近に位置すると考えられる。このため、堰ゲート開度（堰流下流量）の如何にかかわらず、D.G.カーン取水口への土砂流入が著しくなると思われる。

洪水時の堰ゲートが全開される条件、すなわち堰流下流量が大きくなる条件下においてもD.G.カーン取水口への土砂流入が著しくなる。

(7) D.G.カーン取水口側への土砂の集中を防ぐため、堰ゲートの開閉操作は、右岸側に偏った河川本流をできるだけ中央に寄せるように行っている。しかし、これによる効果はあまり期待できないとのことである。

クワンサ堰地点の河道が元々、付け替え河道であることから、河川本流を中央に寄せるには、堰ゲートの操作程度では無理と思われる。堰上流のかなり長区間にわたる河道改修（河道幅は約13km）が必要で、コスト・労力とも莫大なものになるため、十分、検討したうえで行わなければ効果が得られない可能性が高い。

(8) 洪水期間が長期にわたるため、洪水時（概して土砂流下量が多い）も常時と同じように取水を行っており、D.G.カーン水路内への土砂流入が多くなる一因である。

なお、堰の設計洪水量は約28,000 m^3/s 、観測された最大洪水は約20,000 m^3/s 、洪水時（流量不明）の浮遊砂量は概略10 g/ℓ （D.G.カーン側土砂吐水路）、1.5 g/ℓ （D.G.カーン取水工）、0.5 g/ℓ （D.G.カーン水路Sand ejector）となっている。

(9) D.G.カーン水路内への浮遊砂（粒径の小さい土砂）の流入は問題にならないとのことである。掃流砂（粒径の大きい土砂）の水路内への沈積・堆砂による取水効率の低下と水路閉塞が問題となっている。

(10) 1996年には洪水時にゲート開放操作が遅れ、D.G.カーン水路内に多量の土砂が流入・堆積して水路をつまらせ、決壊被害を生じている。

水路標高が高いこと、水路流量が日本の河川流量程度（ $330\text{m}^3/\text{s}$ ）であることから、水路とはいえかなりの決壊被害となる。

(11) 現地管理所職員の説では、インダス河本流の流速 3m/s に対し、D.G.カーン水路内流速が 1m/s のため、この流速差により河川内で浮遊状態の土砂が水路内で掃流砂と化し沈積・堆砂するとのことである。

しかし、堰ゲート全開となる洪水時は別として、常時は堰上げにより堰直上流（D.G.カーン取水口入り口）で流速低下し、流速差による浮遊砂沈積はほとんどないと思われる。常時の土砂流入は、取水口手前の土砂吐水路内（Settling Pond）の堆砂高がかなり高くなるまで排砂操作を行わない状況によると思われる。すなわち、常時は、取水口敷高から堆砂面までの落差が過小となり、これにより堆砂上面から取水口内への土砂（掃流砂）流入が多くなっていると考えられる。

(12) D.G.カーン水路取水口直上流の土砂吐水路内の堆砂は、月に1～2回、土砂吐ゲートを開放することにより排砂している。

(13) D.G.カーン水路取水口側の排砂操作は、土砂吐水路内の堆砂高が取水口敷高と同程度になった頃に行っている。

これは排砂操作回数の頻度を減らすため、言いかえると取水不能期間を短くするための措置と推測される。

(14) 排砂時は取水ゲート全閉、土砂吐ゲート全開の操作を行う。

この際、現状ではゲート操作に時間がかかり、1回の排砂操作で約3日間（72時間程度）、取水が不能になる。

(15) アンダーフロー（オリフィス流れ）では、ゲート直上流付近以外では接近流速がかなり低くなる。したがって、土砂吐ゲートを全開し、土砂吐水路内を開水路の流況としな

ければ、土砂吐水路全域、すなわち取水口全幅にわたって堆砂を除去することはできない。

このため、排砂操作時には、ある程度、堰上げ水位の低下（堰下流への無効放流）が生じることになる。特に、タウンサ堰ではゲート開放時間が長くなるので、堰上げ水位の低下が著しくなる。堰上げ水位を再度上げて取水量を回復するには、一定の時間を要することになる。

これらのことから1回の排砂操作での取水阻害（不能）期間は、実質4日間程度になると推測される。

(16) 現況のD.G.カーン水路内の堆砂高は水路側壁高のおおよそ20%に達している。このため、取水口地点で堰上げ背水を生じ取水効率（取水量）が著しく低下している。

(17) D.G.カーン水路は元々、土砂流入が起きやすい条件下にあるにもかかわらず、現況の取水管理は防砂よりも取水量（取水期間）の確保に偏ったものとなっている。このため、莫大な堆砂を生じ、取水効率の低下をきたしているといえる。

(18) 取水ゲート開度は受益地区からの要求に応じて設定している。

(19) D.G.カーン（右岸）、ムザファルガー、T.P.リンク（ともに左岸）の3取水口とも、実質、通年取水である（各々の1995～1996年の最大取水量実績値は280、220、330 m³/s）。ただし、河川流量の少なくなる低水期（冬期、12～1月頃）は3取水口でローテーション取水を行っているとのことである。低水期には河川流量は、ほとんど上流のタルベラダムからの放流水のみになる。

（なお、豊水期は7～9月、雨期は7～8月、暑期は5～6月とのことである）

(20) D.G.カーン水路側では、土砂吐水路内の堆砂高がそれほど高くないうちに排砂操作を行う必要がある。これにより常時のD.G.カーン水路内への土砂流入はかなり低下すると考えられる。

(21) 土砂吐水路内の堆砂高を低減するには、すなわち、排砂操作の頻度を高めるには、土砂吐ゲートの操作時間を現状より短くして排砂操作による取水不能期間の短縮・無効放流量の低減・堰上げ水位低下量の縮小を図る必要がある。

（洪水吐ゲートについては、現状よりも操作速度を上げる必要はないというのが現場の考えであるが、土砂吐ゲートについては操作速度を上げることが望ましい）

(22) 洪水時の土砂流入抑制には、当国で多用されている排砂トンネル(Excluder tunnels)が比較的、有効と考えられる。排砂トンネルでは取水と排砂を同時に行える利点がある。ただし、以下の点を考慮する必要がある。

1) 維持管理（トンネル閉塞など）

トンネルが常時（排砂トンネル非使用時）の流砂で完全閉塞しないように時々、末端ゲートを開けてトンネル内堆砂を除去する、等の管理を必要とする。

2) 土砂吐ゲート構造

トンネル末端ゲートは土砂吐ゲートと一体になることが多いと思われるため、その構造に留意する必要がある。

3) 取水効率の低下

排砂トンネルの高さ分だけ、取水口手前の水深が小さくなる。これにより取水効率は低下する。

(23) 排砂トンネル末端ゲートについても、操作速度を十分上げることが排砂効果の向上・無効放流の低減の点から望ましい。

(24) 排砂トンネルを採用する場合には、土砂吐ゲート構造と一体で構造・管理運用等について検討する必要がある。

(25) 取水路内堆砂をさらに低減するには、現在、取水路内に付設されているSand ejector（日本でも用いられている渦動排砂管(Vortex tube)と同じもの）をさらに増設する方法が考えられる。

Sand ejectorについても排砂トンネルと同様、維持管理（管内閉塞）の問題がある。特にSand ejectorでは閉塞を抑えるため、常にある程度通水させる必要がある。したがって、できるだけ小流量で効率よく掃流砂排砂を行えるようにその付設位置・配置・形状には十分留意する必要がある。

なお、維持管理については現状のSand ejectorでは時折、人力による排砂を行っているとのことである。

(27) 渦動排砂管については、近年、日本でも新しい研究成果が得られており、また現場用の製品化も図られている。これらのノウハウが活用できると考えられる。

(28) 土砂吐ゲート・排砂トンネル末端ゲート・渦動排砂管出口ゲートについては、操作速

度を速め、かつ管理所でも操作できるようにすることが、排砂効果や維持管理上から望ましい。

(29) 堆砂防止策については、今後、現地のデータを詳細に調査したうえでその分析結果を基に決定していく必要がある。

(30) 排砂トンネル、Sand ejectorは現地管理所側から要望されている工法である。

3-4-2 堰上げ水位不足（堰構造）の問題

(1) 堰本体が古いためと思われるが、堰上下流の水位差が大きいと漏水が著しくなる。

現状では、水位差7mで下流護床工付近の1カ所と堰柱直下の1カ所の計2カ所からボイリング(湧水)がみられ、水位差10mでは複数カ所(詳細位置不明)から砂の湧き出しが生じるとのことである。この状態では、パイピングによる堰損壊の危険が高いと思われる。

(2) 現状では上下流水位差7mを管理上の上限とし、堰上げ水位をこれ以上、上げないこととしている。

したがって、低水期(乾期)など堰下流水位がほとんどなくなる時期には堰上げ水位を十分上げられないため、取水に支障をきたすとのことである(D.G.カーン水路側では、設計取水深、約4mに対し1m程度の取水深しか確保できない)。

現地では特にD.G.カーン水路側での取水不足を問題にしていた。

(3) 堰柱直下を含め複数カ所でボイリングがみられることからエプロン部の継ぎ目やエプロン自体の損傷もかなりあると思われる。

したがって、止水矢板等の増し打ちだけではパイピングを十分防ぐことは不可能と思われる(矢板を打ち込んでもその間のエプロン割れ目からパイピングを起こすため)。エプロン継目位置を確認し補修する必要があるが、補修後、別箇所からの漏水を生じる可能性もある。エプロン全体の構造の再点検が必要と思われる。

(4) 現地では、下流に副堰(蛇カゴ製固定堰)を設けて、堰上下流水位差を小さくし、低水期の堰上げ水位を確保することを提案している。副堰は適宜、補修(増し積み)が必要であるが、その手間は問題にならないとのことである。

ただし、設計に当たっては副堰による洪水流下の阻害、本堰の敷上堆砂の問題(及び本堰土砂吐の排砂機能低下)に十分、注意する必要がある。特に堰老朽化の進行に伴

い、現状の上下流水位差7mの上限値も小さくなることが予想され、この場合には副堰高をさらに上げる必要が生じる。副堰高を上げることにより補修の手間・洪水流下の阻害・堰敷上堆砂の問題が著しくなる。

(5) 現状の堰上下流水位差最大7mの管理を守っていれば当面の堰損壊は防げるものと思われる。しかし、堰体の老朽化は経年的に進行していくので、堰が壊れる可能性も否定できない。また、堰が壊れなくとも上下流水位差上限値の低減、すなわち堰上げ水位のさらなる低下は避けられないものと思われる。

したがって、構造面からの調査を十分に行うべきと考える。

3-5 施設機械

3-5-1 タウンサ堰のゲート設備構成

本堰のゲート構成は、左岸側から左岸取水工ゲート（T.P.リンク水路、ムザファルガー水路）、左岸土砂吐ゲート、船通し閘門ゲート、洪水吐ゲート、右岸土砂吐ゲート、右岸取水工ゲート（D.G.カーン水路）の合計85門からなっており、両岸取水を行っている（図3-1）。

典型的な全可動堰の形態をとっており、この形態はパキスタン国内の他の堰も同様のことである。

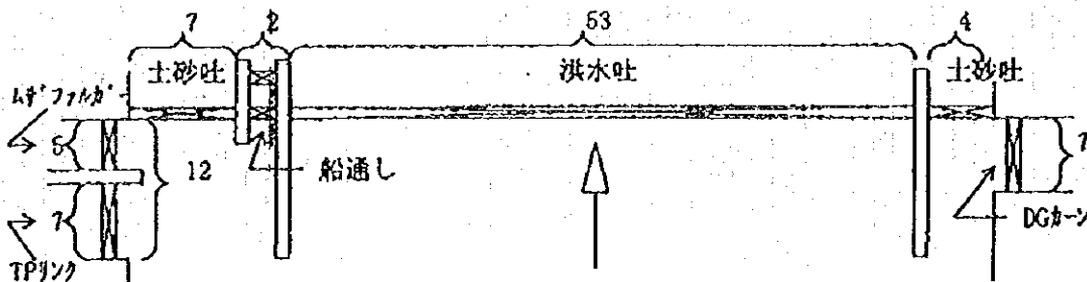


図3-1 タウンサ堰のゲート設備構成

3-5-2 堰ゲートの構造

本堰ゲート構造は、85門すべてローラーゲート構造となっている。土砂吐ゲートでは2段扉構造となっている。

(1) 扉体部

スキンプレートで受けた水圧加重はトラス構造の桁材、左右端部桁材を介し、ローラー部、堰柱（ピア）に埋め込まれた側部戸当たりへと伝達される（図3-2）。

ローラー部は、扉体に直接溶接接合されておらずピンにより可動できるように取り付けられている。これはスキンプレートのたわみを吸収し、ローラーと戸当たりの接触面の片当たりを防ぐためと思われるが、日本国内ではあまりみられない構造である。

本堰ゲートは、扉体部の許容たわみ率が聞き取り値(1/360)と日本国内の基準(1/800)よりも大きい設計となっていることから、このような構造にする必要性があったものと思われる。

なお、ロッカーアッセンブリーは、扉体本体とは別にワイヤーロープで吊り上げる構造となっている。

(2) 水密部

水密部は扉体に取り付けられたブロンズシート（青銅板）により、戸当たり部（側部、底部）との水密を保つ構造となっているが、現在では、洪水等でほとんどが流されてしまっているとのことで、漏水が著しかった（図3-2）。

(3) 戸当たり部

戸当たり材は、堰柱コンクリート内にアンカーボルト、タイロッドによって溝型鋼が埋め込まれている（図3-2）。ローラーの当たる受圧側は、日本国内の設計ではコンクリート内にH型鋼を埋め込むのが一般的であるが、本堰ではタイロッドにより取り付けられているのみであり、十分な強度が保たれているか不明である。

戸当たりでは特にローラーの当たる受圧板を均一平面に保つ必要性があることから、改修計画では受圧板の材質も含めて検討する必要がある。

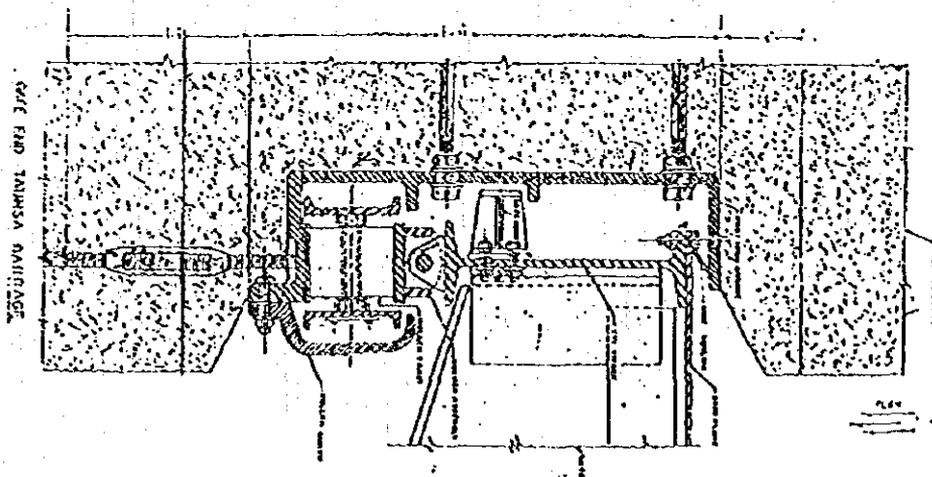


図3-2 側部水圧伝達部及び水密部構造図

(4) 開閉機構部

開閉機構は二床式構造となっており上部操作橋（木板製デッキ）の開閉操作機構（手動ハンドル操作による、チェーン構造の減速ギヤ部）から下部機械台のトルクシャフトに伝わり、両端のドラムに巻かれたワイヤーロープを巻き取る構造である（図3-3）。ワイヤーロープの端部には開閉力を減ずるためのカウンターウェイトが取り付けられている。

土砂吐ゲートでは上下二段扉構造のため、開閉機構は2セット（2門分）ある。

なお、本開閉機構部では、上部の操作橋デッキから、下部の機械台までの連絡経路が確保されていない。改修計画に当たってはドラム、ワイヤーロープ等を良好に維持管理するために、連絡経路を確保することを検討する必要がある。

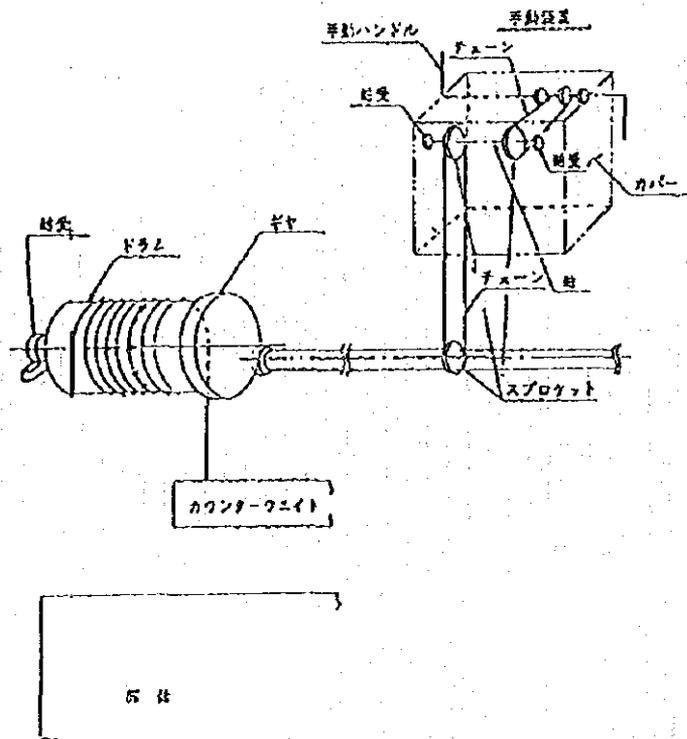


図3-3 開閉機構図

3-5-3 調査の概要

事前調査時期は取水期であったため、操作橋上からの外観調査及び一部ゲートの開閉状況（手動操作）調査ができるのみであった。その調査結果の概要を聞き取りも含めて以下に述べる。

(1) 外観調査

塗装は、タールエポキシ系が施されており、外観からは特に問題となる発錆もみられなかった。1950年代に据え付けられたゲートの状態としては極めて良好であると思われる。

ただし、水密部がほとんど機能していないことから、ゲート側部及び下部の漏水が著しい部分は塗装膜状態及び鋼材の摩耗状態を詳細に調査する必要がある。

ローラー部は、前述のように扉体に直接溶接接合されたものではなく、ロッカーアッセンブリーを介してローラートレインを固定しているため、強度的なネックになっており、一部ゲートではローラートレインそのものが脱落しているなど深刻な問題となっている。

さらに多くのゲートで水圧加重を大きく受ける下部ローラーが、その軸受け部の変形、開きにより脱落しており、早急な補修が必要であるとともに、恒久的にこのような問題が再発生しないように構造、材質の変更等根本的な対応策を講じる必要がある。

また、一部ゲートにおいてローラーアッセンブリーを吊り上げるワイヤーが切断しており、ゲートの開閉に困難をきたしている。

また、聞き取りによればローラー部の脱落、流亡等により、開閉時には戸当たり部と扉体端部とが接触状態で摺動しており、側部戸当たり下部が削られた状態になっているとのことで早急な修理が必要である。

(2) 開閉状況

開閉装置は、平歯車とチェーンの組み合わせの手動操作機構部とトルクシャフト及びワイヤードラムという単純な構成であり、開閉装置そのものの故障は起こりにくい構造である。手動力は、扉体に取り付けられたローラーが正常に機能したときに通常100N (10kgf) 以下の力で操作できる必要があるが、本堰では、前述のようにローラー部の流亡等もあり、現在では相当の開閉入力が必要となっている。聞き取りによると洪水吐ゲートで4人がかりで行う必要があり、条件の悪い土砂吐ゲートでは12人がかりで全開するまでに1日程度とのことであった。

本調査時において9号ゲート（洪水吐）を開閉操作（実際には開操作のみ）してみたが、4人がかりでの操作は短時間では特に重いということもないが、長時間になると疲労度も相当なものになると思われる。また、本手動操作では、操作時にブレーキ機構を解除するためにフットペダルが設けられているが、聞き取りによると開閉操作時に本ペダルの踏みはずしにより、その反力で河川に落下しこれまでに6人の死亡事故が起きているとのことであり、本機構の改善に対して特に要望が強かった。

さらに、要請では本開閉機構の電動化が強く要望されているが、本ゲート設備の開閉の容易さは堰の堆砂問題と関連が強いとみられる。

すなわち、堆砂を排除するためには適切な土砂吐ゲートの操作が必要であるが、特に土砂吐ゲートは二段扉構造で、開閉に人手と時間を要することから、洪水時等には開閉の容易なゲートから操作を開始せざるをえない状況となっている。またローラーの脱落等も相まって土砂吐ゲートの開閉は困難を極めていると想像される。

したがって、本堰の改修計画に当たっては開閉操作時の電動化も考慮しなければ改修の効果そのものが薄れるものと思われる。

3-6 環境

3-6-1 地下水位上昇

調査対象地域はインダス河によって形成された沖積平野であり、土壌は、沖積土壌で、土性は粒子の細かい砂質壤土またはシルト質壤土と思われるが、浸透性が高く、用水路からの漏水が発生している。このため、地下水位が上昇し、特に地下水位の高い雨期には地表に地下水が湧き出し、洪水状態となる地区が用水路周辺に広がっている。

3-6-2 塩類集積

洪水状態となった地区は、地下水位の下がる乾期には地下水の湧出しは止まるものの、排水されない閉鎖的な環境となっているため、天日により水分が蒸発する。このため、塩類集積が発生し、作物の栽培が不可能となっている地区が用水路周辺に散見された。

現地関係者によると、特に右岸のムザフェルガー水路側で大きな問題となっているとのことであった。

第4章 本格調査の実施上の留意点

4-1 調査結果の総括

4-1-1 先方の意向

パキスタン国では、第8次5カ年計画（1993～1998年）における農業部門政策においても農業灌漑・排水の統合管理が上げられていることを強調するまでもなく、灌漑施設は安定した農業を継続するための必須の条件であり、この維持管理には相当の予算を使用している。

タウンサ堰は、パキスタン国の独立後間もない1950年代の後半に建設され、着手以来約100年の歴史を有するパキスタン国全土の灌漑施設群の中では比較的新規の堰に属するが、約40年の歳月を経てゲート部をはじめとする老朽化が著しく、今回の改修にかかる調査を要請したものである。

この経緯には、深刻な問題を抱えていたマラーラ堰、コトリ堰がアジア開発銀行により改修されるなど基幹施設への対処が進みつつあり、現在はタウンサ堰が最悪な状況にあることが背景にある。また、タウンサ堰の管理体制そのものは比較的整備されており、堰体の現状の把握もなされており、問題への取り組み意欲も高いものと判断される。

なお、世界銀行は国内排水改良事業に積極的に取り組んでいるが、現地事務所担当者は基幹施設の維持は灌漑システムとしての根幹であり、タウンサ堰のような部分の改修の実施については評価をしていた。

4-1-2 調査範囲と時期

要請書の内容は、タウンサ堰と当該堰から取水を行うD.G.カーン及びムザファルガー水路等の灌漑システム全般にわたるものであったが、今回の協議では、タウンサ堰とその周辺に発生している構造的な問題への対応に絞って、その解決を要望した。

その内容は、以下の3点に集約される。

① ゲートの問題

老朽化、磨滅等に起因するゲート機能低下を解消するためのゲート可動部分に関連する補修、電動化等。

② 取水口部の土砂の問題

水路に堆積して、その取水能力の低下、処理のために通水の停止を引き起こす土砂の流入を減少させるためのD.G.カーン水路への取水口部分の改良。

③ 堰基礎部の問題

堰本体の基礎部分の漏水問題から乾期の取水位を計画以下に保持するための改善（計画水位30ftに対し現況22ftで操作）。

また、先方は期間の低水期（具体的には、ラマダンの前月）に、限られた時間内で施工する方法を確認するためのゲート周辺部修理の試験工事を要請した。

この試験工事は、本件調査成果をまとめるに有効であると考えられる。

4-1-3 その他

先方は、本格調査の際にも、カウンターパートとなる技術者の配置とともに調査用に灌漑発電局及び現地事務所に事務所スペースを確保するなど可能な措置を確約した。また、日本におけるカウンターパートの研修、調査用機材の提供の要請があった。

4-2 灌漑計画

4-2-1 実施調査方針

今回の調査結果から灌漑計画に関連した実施調査方針としては次の3点が必要と考えられる。

- ① D.G.カーン水路への掃流砂流入抑制工法を検討するために必要なデータの収集
- ② 低水期（堰下流水位低下時）に堰上げ水位を十分確保するための工法を検討するために必要なデータの収集
- ③ 上記2点に関する施設の適正な管理・運用法を検討するために必要なデータの収集

①については、従来、経験の少ない工法（経験のない現地条件）、もしくは新しい工法での設計になる可能性が高いため、供用後に問題なく機能させるには模型実験での検討が必要と思われる。特に排砂トンネル、渦動排砂管を用いる場合は模型実験を行うことが望ましい。

なお、パキスタン国での事業実績が十分あると思われるMRL consultantでもマラーラ堰改修に際しては、排砂施設の模型実験検討を行っている（相似性を考慮した数値実験）。

ただし、クウンサ堰の場合、排砂施設に関しては、河川全体を再現した大規模な模型実験は不要で、施設部分の局所的なもので十分と思われる。模型実験は設計業務の一環として行うことも想定される。

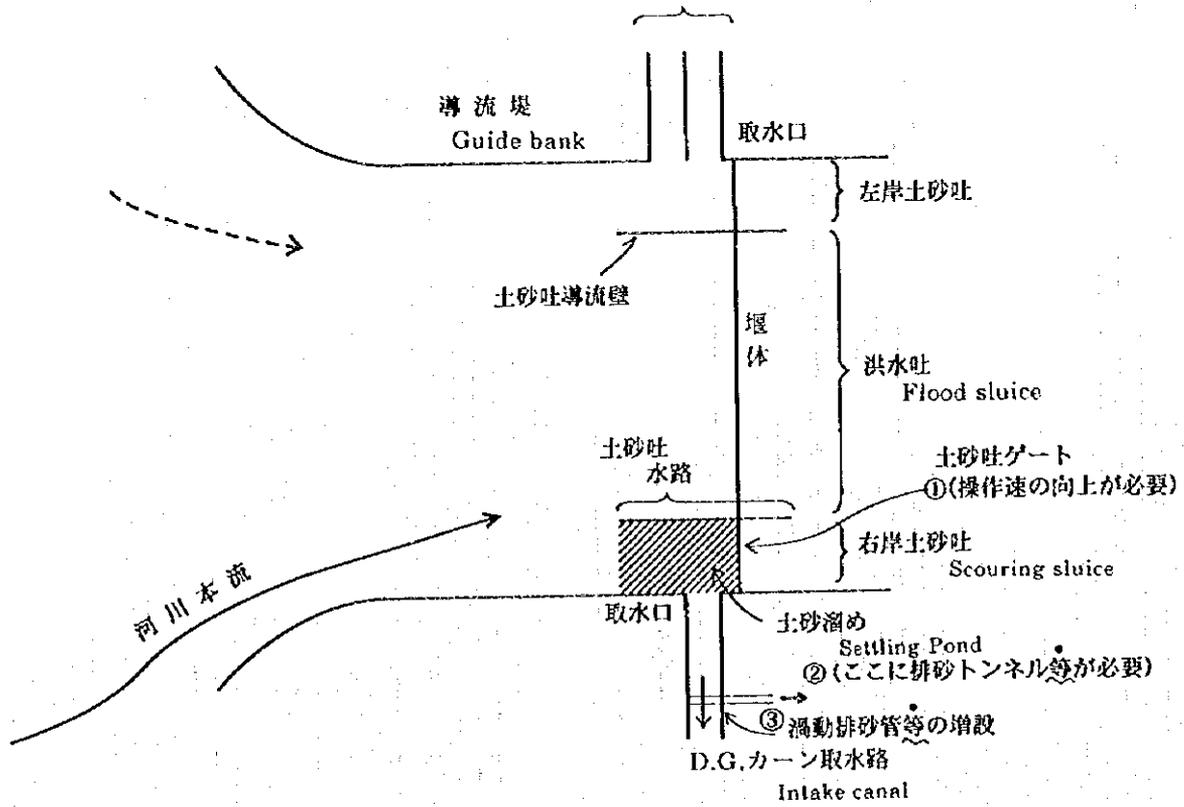
模型実験の規模、最終的に実験を行うか否かは別として、実施調査段階において、模型実験を行うことを前提としたデータ収集を行う必要がある。

なお、パンジャブ州水理研究所(Irrigation Research Institute (I.R.I.))で排砂施設の模型実験を行うとした場合の実験費用・期間について聞き取り調査をしたところ、150万ルピー（450万円）、9カ月程度とのことであった。実験期間・費用、実験精度、I.R.I.側とのコミュニケーションの手間等を考慮すれば、日本国内で実験することも検討する必要がある。

なお、パンジャブ州にはI.R.I.とHydraulic Research Stationの2カ所の実験施設があり、前者は屋内実験施設、後者は屋外実験施設で頭首工の移動床全体模型実験（河川も含む）を行っていた。

排砂システム概念図 (試案)

T.P.リンク&ムザファルガー取水路



4-2-2 実施調査時に収集すべきデータ

(1) データのほとんどはタウンサ堰管理所で収集可能と思われる。

(2) 純技術的なこと以外の問題も多くあると思われるため、現地管理所等からの収集データはそのまま利用するのではなく、可能な限り調査団自ら確認する必要がある。

(3) 収集すべきデータは次のとおり。

- ・堰平面図、立面図
- ・堰構成各部の縦断図
(洪水吐、土砂吐水路の各断面。上下流護床工部まで含む。土砂吐水路上下流の導流壁高も必要)
- ・土砂吐ゲート構造図、横断図、立面図、平面図
- ・洪水吐ゲート横断図、立面図、平面図
- ・D.G.カーン水路取水ゲート図

- ・設計取水位
- ・堰地点河川流量変動図(特に低水期、豊水期各々の平均流量と洪水流量が必要)
- ・堰地点の各年の最大洪水量

- ・洪水吐ゲート(洪水吐敷)の放流特性(上下流水位～放流量関係)
- ・土砂吐ゲート(土砂吐敷)の放流特性(上下流水位～放流量関係)
- ・堰ゲートの操作状況(常時、洪水開始時および終息時)
- ・現況のD.G.カーン取水工側の渦動排砂管、土砂吐ゲートの運用および維持管理の状況

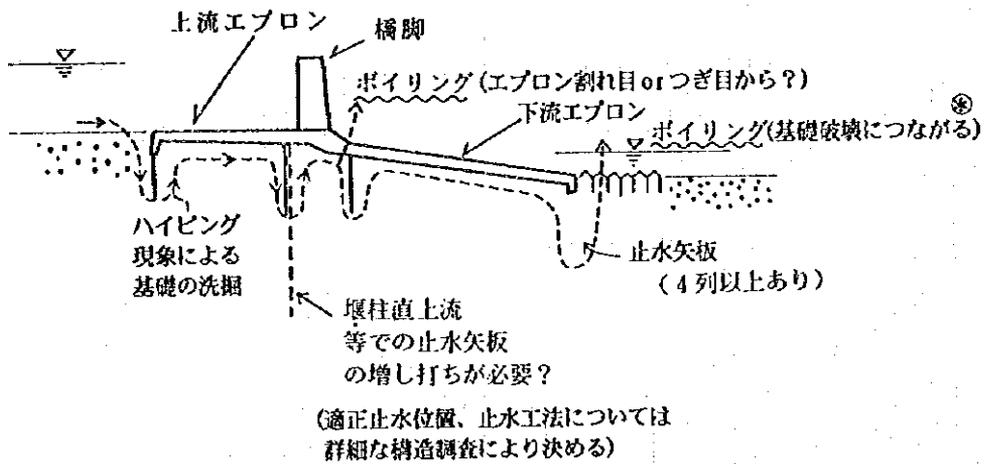
- ・堰地点河床勾配
- ・堰下流の河川の水位-流量曲線(水位-流量観測値のみでも可)
- ・または堰下流の河床勾配、河道横断図、粗度係数推定値か実測資料

- ・各取水工の期別取水量(洪水時取水量も含む)
- ・D.G.カーン取水口正面図
- ・D.G.カーン取水工側の土砂吐水路導流壁の構造図、平面図、側面図、横断図
- ・D.G.カーン取水工側の土砂吐水路の堰柱構造図、平面図、断面図、立面図

- ・ D.G.カーン取水工側の土砂吐水路内堆砂底質の粒径加積曲線と比重
 (できれば数地点で。最も大きい粒径が堆砂する時期のデータであることが望ましい)
- ・ D.G.カーン取水工側の土砂吐水路入口付近での流砂量、粒径加積曲線、比重
 (データは横断面を平均的に流速一様とみられるメッシュに分割し、その各々で採取することが望ましい。河川流量、堰ゲート・取水ゲート操作、上流水状況(土砂流出状況)によりデータは異なってくるが、取水工への土砂流入・堆砂が最もひどいと思われるデータ(粒径の大きい土砂が多量にかつ表層近くに浮遊してくる状態)やそれに近いいくつかのデータが得られれば理想的である)
- ・ D.G.カーン水路縦・横断図
 (取水口から現況の渦動排砂管のある範囲までを網羅し、それより十分下流まで)
- ・ D.G.カーン水路の粗度係数推定値もしくは実測値
- ・ 上記、D.G.カーン水路の区間から河川を含む範囲の平面図(地形図)
- ・ 現況のD.G.カーン水路内の渦動排砂管配置図
- ・ 現況のD.G.カーン水路内の渦動排砂管の構造図面(出口ゲート、下流放水路を含む)
- ・ D.G.カーン水路内堆砂状況(堆砂面の縦・横断図)
- ・ D.G.カーン水路内堆砂の粒径加積曲線・比重(複数地点で)
- ・ 水路内排砂に用いる総流量(期別)
- ・ D.G.カーン取水工内(取水口付近及び水路内)の流砂量、粒径加積曲線、流砂比重
 (データは横断面を平均的に流速一様とみられるメッシュに分割し、その各々で採取することが望ましい。河川流量、堰ゲート・取水ゲート操作、上流水状況(土砂流出状況)、土砂吐水路内堆砂状況によりデータは異なってくるが、取水工への土砂流入・堆砂が最も著しいと思われるデータ(粒径の大きい土砂が多量に流入してくる状態)やそれに近いいくつかのデータが得られれば理想的である)
- ・ パンジャブ州水理研究所の現況調査(水理研究所を利用する場合)
 - ① 研究所の人員・職種
 - ② 実験施設・機器の状況
 - ③ 最近のタウンサ堰に関する水理試験報告(水理実験のレベル)
- ・ エプロン、護床工の平面図、縦断図、構造図
- ・ 堰基礎構造図
- ・ 現況のエプロン、護床工の破損状況

- ・現況の堰柱の破損状況
- ・基礎の漏水状況調査（現場透水試験、ボーリングなど）
- ・下流河道の縦断面図、横断面図、平面図
（堰下流100m程度まで。経年的な変動が分かることが望ましい）
- ・堰上下流水位変動
- ・D.G.カーン取水工受益地区からの期別の要望取水量
- ・D.G.カーン水路周辺でのウォーターロギングの状況
- ・将来的に可能な維持管理コスト、労力
- ・施工に関する調査
 - ① 労働力の確保・コスト
 - ② 現地での建設資材の調達可否・コスト
 - ③ 現地での建設機械の調達・メンテナンスの可否・コスト
 - ④ 建設資材・機械の輸送手段、搬入路の確保と輸送コスト
 - ⑤ 工事可能期間（天候、河川流量・水位、取水量等を考慮）
- ・調査機材（必要に応じ）
 - ① 基礎調査機材（現場透水試験、ボーリングなど）
 - ② 測量機材

堰基礎状況



- ⊛ 堰基礎にはケーソンが打ち込まれているが、
基岩に接続しているわけではない。
パイピングにより基礎が洗掘されれば、さらなる
エプロンの損壊や堰体の傾き・倒壊も起こりうる。

4-3 施設機械

本事前調査では十分な調査ができなかったが、本格調査時には機械構造部分（ゲート設備）の扉体スキンプレート部、桁材部、ローラー部、水密部、戸当たり部、開閉機構部等の状態を定量的な測定方法により把握する必要がある。

聞き取りによれば、堰からの取水を中断できるのは毎年1月1日から21日で長くても1カ月程度とのことであり、詳細な調査はこの期間に集中的に行うことが必要であるとともに、改修工事そのものも主にこの期間内で行う必要がある。

本事前調査では断定的なことはいえないが、ゲートの扉体そのものは状態も比較的良好と考えられることから改修の規模は、下記が必要と思われる。

- ① ローラーアッセンブリーの交換（材質の変更含む）
- ② 水密部の修理（ゴム等への材質変更）
- ③ 開閉機構の電動機化（電源は堰直下流の橋梁に10,000Vの高圧電線路がある）
- ④ 戸当たり部の交換または補修

いずれにしても堰の規模からして大規模改修であり、短期間に行うためには綿密な施工計画を立案する必要がある。

本格調査時の方法の一案として、改修緊急度の高い任意の1門のゲートを実際に修理し、補修方法、補修パーツの構造、材質等を検討するための試験施工を実施することが有効と考えられる（相手国の提案でもある）。

本格調査時に必要と考えられる主な確認事項は以下のとおりである。

- ① 各ゲートの劣化、損傷度合いの定量的評価（状態リストの作成）
- ② 補修方法の概定（補修パーツの材質検討含む）及び詳細設計
- ③ 補修期間、概算予算の把握
- ④ 補修機材（補修パーツ）等の調達方法

上記は上述の試験施工を実施することにより、より詳細な評価が得られる。

また、堰ゲート全体の改修が終了するためには、数年間が必要であり、その間の洪水等に対して適切な操作を行うためには、人力のみでは対応できなくなっている（実際に昨年（1996年）の洪水で開扉できないゲートがあり溢水被害が生じている）ため、現在の手動開閉機構にアタッチメントで装着できる可搬エンジン動力開閉機を用意することを提案する。これは、本格調査時において、電動機の所用出力を調査するためにも有用であるとともに、タウンサ堰周辺の電力事情（停電が多い）からもぜひ本格調査時には準備することが必要である。

なお、開閉機構の電動化についての制御方法は、堰管理事務所からの遠隔操作程度の要望であり、コンピュータ制御等の要望はなかった。

<ワークショップについて>

本調査において現地ワークショップも調査した。ゲート用ローラーを年間500個製造できる能力があるとのことであり、旋盤、ボール盤等の必要機材が揃っていたが、1950年代の製品で老朽化は否めなかった。今後、堰ゲートの改修によって、補修パーツに現状よりも硬度の高いステンレス材等を用いることになることが必至と思われるため、これらの材質にも対応できるようにワークショップ機材の更新も必要と考えられる。本格調査時にはワークショップの機材についても調査することを要望する。また、ワークショップ建屋についても老朽化が激しいため修繕が必要であると思われる。

4-4 農業

堰改修に伴う農業上の最大のメリットは、乾期における作付面積の拡大であるが、当初計画では灌漑面積は約90万ha、受益農家は約350万人と膨大な規模であり、現地踏査による作付面積、作付体系等の把握は困難である。

このため、他調査の調査結果及びランドサットデータの補足的活用により、特に乾期の作付面積を把握することが望ましい。また、作付体系の改善、生産性の向上等については、農業を取り巻く各種環境が「パンジャブ州支線用水路改修計画調査（1997.7）」対象地域とほぼ同様であると考えられるので、現地踏査を踏まえ、同調査報告書の農業改善計画を参考とすることにより調査期間と経費の軽減を計る。

4-5 環境

環境面では、漏水による地下水位上昇と塩類集積が大きな問題となっている。本調査は堰の改修であり、現行以上の負の環境インパクトは予想されないが、事業化については有償協力を想定しているため、OECD環境ガイドラインを参考に環境調査を実施することが望ましい。

