

2.6 土質・地質調査

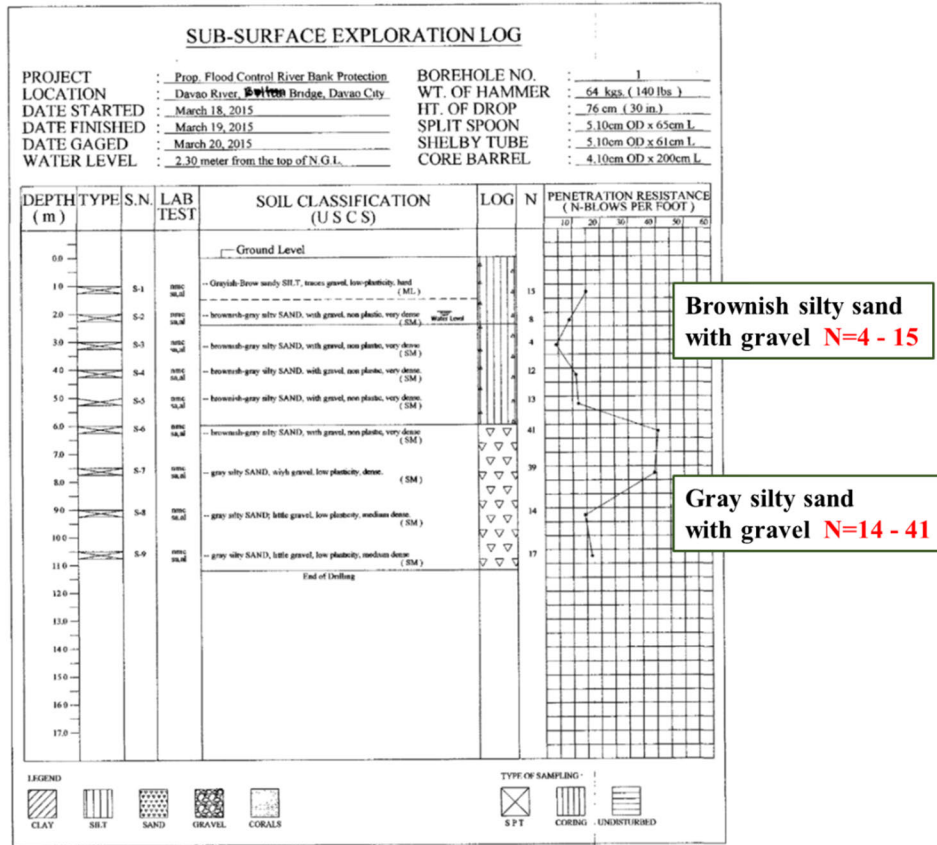
本プロジェクトの対象地域では、DPWH-ROによる道路・橋梁工事およびDPWH-DEOによる堤防および護岸工事が実施されており、それぞれの工事において地質調査が実施されている。実施された調査の一部については、地質調査結果（標準貫入試験、粒度分析試験、液塑性限界試験、含水比試験）が地質調査報告書の形で取りまとめられているが、多くの場合においては、地質調査結果は設計図書に基礎地盤に関する情報や柱状図・想定横断図に反映されているのみである。また設計図書中の地盤情報に関しても、全く異なる設計区間で同一の断面図が使用される等、データの錯綜が見られるほか、孔口標高が不明なものも多く、調査結果が適切に活用されていないことが懸念される。

2.6.1 ダバオ川

上述の既存資料におけるデータの錯綜により、正確な地質状況の把握は困難であるが、ダバオ川における地質の傾向として、以下のことが推察される。

- ✓ 支持層（N値30以上の砂層もしくはN値20以上の粘性土層）の深さはほとんどの区間で10m以下である。例外として、河口から3.0kmまでの区間では支持層の深さが10m未満のデータと15~25m程度のデータが混在している。
- ✓ 支持層の上部に存在する軟弱な粘性土層の層厚はほとんどの区間で5m未満である。例外として、1.5km付近左岸でのみ10m以上の層厚が既存データに示される。

参考に、0+800k付近（右岸）の地質データを示す。表層約6mにN値4~13の緩いシルト質砂、その下約5mはN値14~41の中位~硬いシルト質砂層が見られる。本柱状図は河口部の設計図面においても2+200k付近（右岸）の地盤情報として示されているが、柱状図に記載された地点名（Bolton Bridge）より、当該地点近傍の地質情報と判断する。

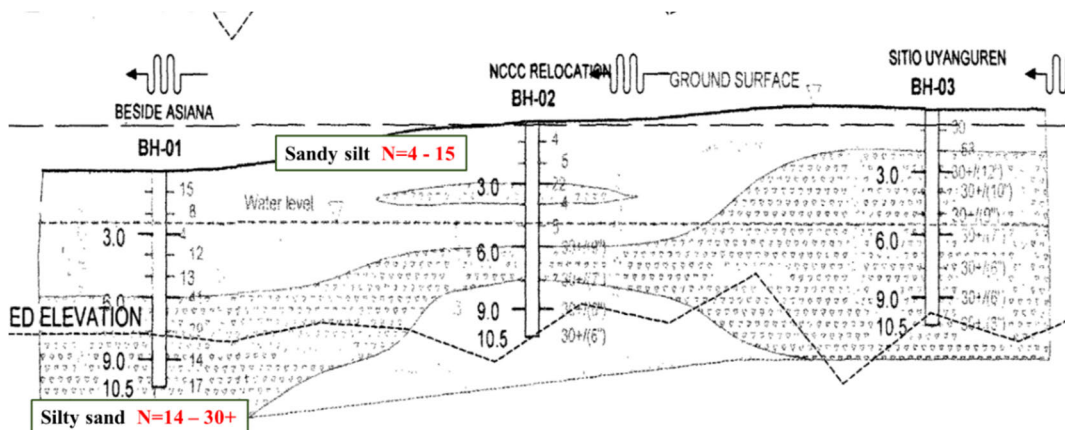


出典：DPWH DEO の資料にプロジェクトチームが追記

図 2.6.1 ダバオ川の基礎地盤の状況 (2+200k 付近)

2.6.2 タロモ川

タロモ川の 2+700~2+900k (左岸) の想定地質横断面図を図 2.6.2 に示す。表層 2~6m は N 値 4~15 程度の軟らかい~中位の砂質シルト、その下は N 値 14~30 以上の中位~密なシルト質砂である。

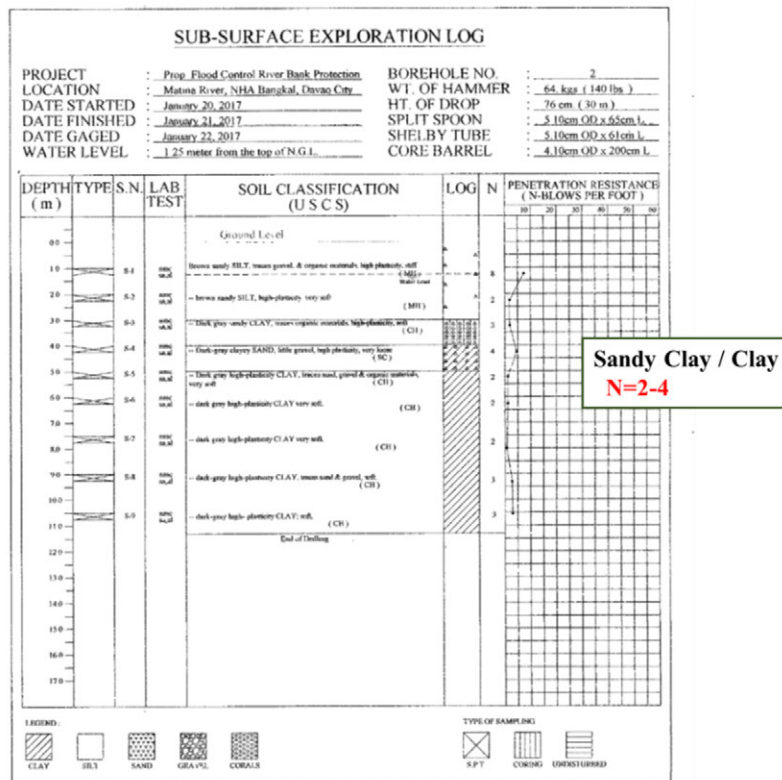


出典：DPWH DEO の資料にプロジェクトチームが追記

図 2.6.2 タロモ川の基礎地盤の状況 (2+700 - 2+900k 付近)

2.6.3 マティナ川

0+800k 付近（右岸）においては N 値=2~4 の軟弱な粘土層が調査深度の 11m まで連続的に見られる。2k より上流の設計図書においても、同様の軟弱地盤が想定されているが、異なる設計区間で同一の図面が示されており、調査位置の把握が困難である。



出典：DPWH DEO の資料にプロジェクトチームが追記

図 2.6.3 マティナ川の基礎地盤の状況 (0+800k 付近)

2.6.4 現況の地質調査における課題

(1) 地質調査の実施状況における課題

対象3 河川においては、DPWH-DEO による堤防・護岸工事が進行中であり、それに伴う地質調査が実施されているが、地質調査箇所が限定的であることに加え、データの錯綜や転用が多く見られる。また一部調査で作成された報告書においても、地質調査の位置や土質試験結果の記載が不足している。

このため、適切な地質調査の実施および設計への反映が大きな課題である。

(2) 対象地域の地盤条件における課題

ダバオ川、タロモ川およびマティナ川のいずれの河川においても表層 5m 程度には軟弱地盤（マティナ川では 10m 以上）が存在することが想定され、構造物対策の設計において軟弱地盤対策が必要となる可能性がある。

2.7 河川洪水に係る分析

2.7.1 洪水氾濫と被害（外水）

(1) 洪水の記録

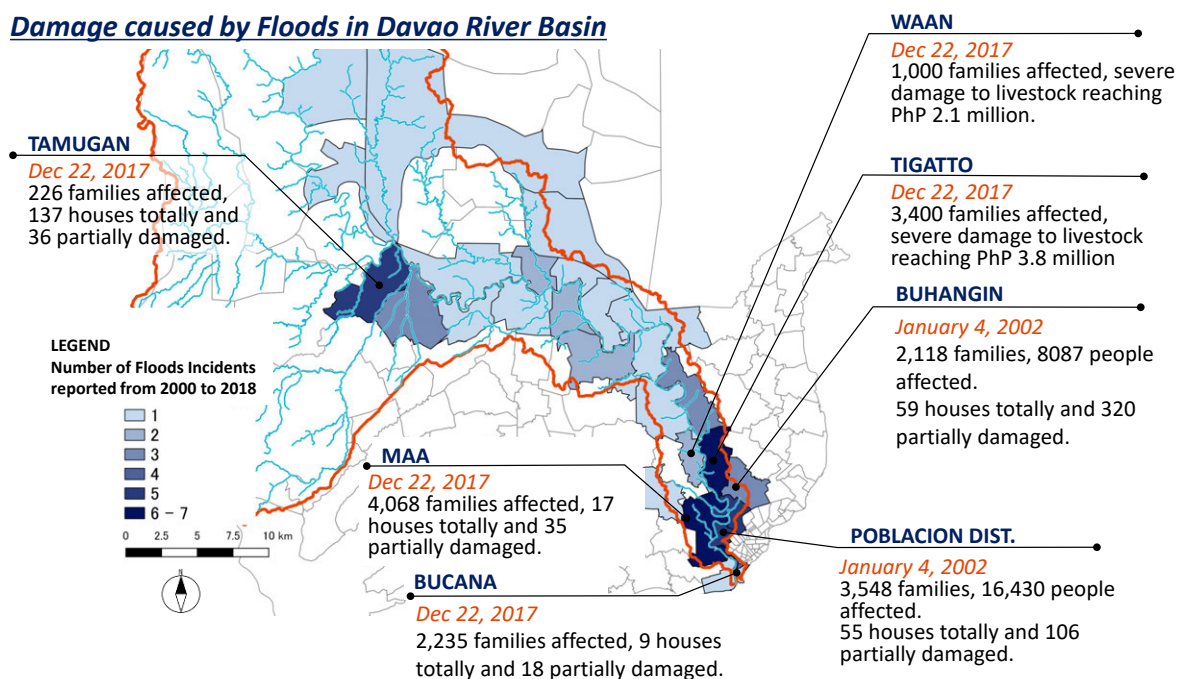
ダバオ川流域においては、大規模洪水が 2002 年と 2017 年に発生したと記録されており、タロモ川流域では 2000 年と 2002 年に、マティナ川流域では 2002 年と 2011 年に大規模洪水が記録されている。2017 年 12 月には、台風 Vinta によって、特にダバオ川において甚大な被害が生じた。

以下に各流域の外水による被害記録の概要を示す。

1) ダバオ川流域

ダバオ市の CDRRMO 提供の 2000-2018 年の災害記録（洪水）を基にダバオ川流域の外水による洪水被害の概要を整理した。2017 年 12 月の Vinta の被災世帯数（21,768 世帯）は全体（30,503 世帯）の 3 分の 2 を占めている。その報告件数が多いものの（2000 年以降 30 件）、洪水による死者数は 7 名と少なく、また被災世帯の記録も少ない。

ダバオ川では、下流市街地のバラングイ Ma-a や Tigatto、BRGY2、BRGY5 で最も多くの洪水報告がある。図 2.7.1 は、ダバオ川下流部における、バラングイの被災頻度とその規模を示したものである。2000 年以降の洪水のうち、1,000 世帯以上が被災した洪水についてはその概要を示している。なお、Tamugan の台風 Vinta 時の被災世帯数は 1,000 以下であるものの、中流部の被害事例として示している。当該図によると、Tamugan など中流部においても洪水が多く報告されているバラングイもあるが、洪水報告は市街地が位置するダバオ川流域下流部に集中する。



出典：CDRRMO 提供データをもとにプロジェクトチームが作成

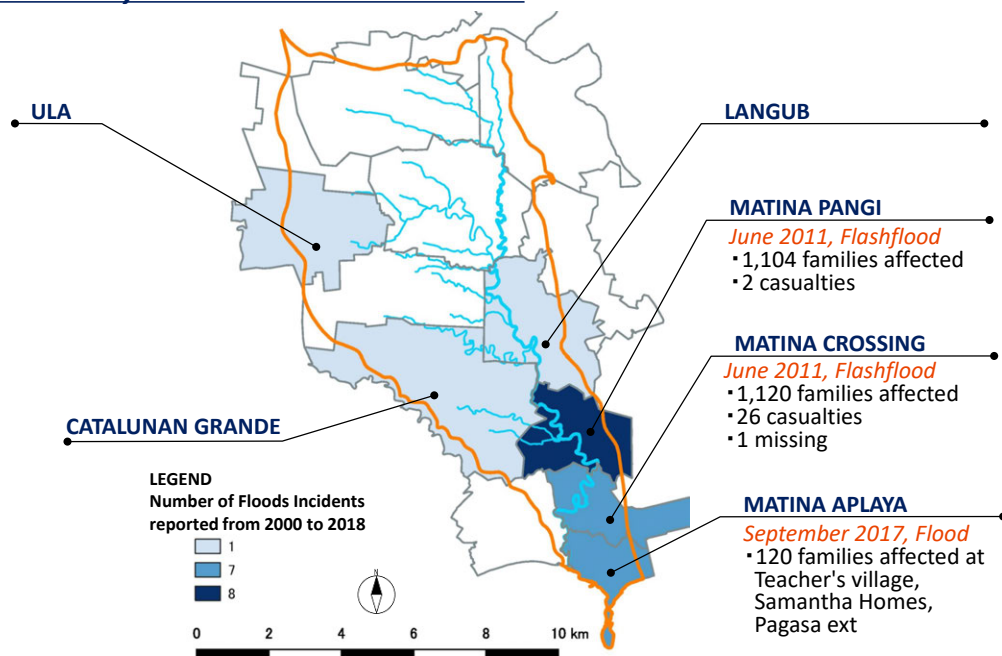
図 2.7.1 ダバオ川流域下流バラングイの洪水発生頻度（2000-2018）と被害事例

2) マティナ川流域

ダバオ川流域と同様に、ダバオ市の CDRRMO より受領した 2000 年から 2018 年までの災害記録（洪水）を基に、マティナ川流域の洪水被害の概要を整理した。マティナ川においては、2000 年と 2011 年に被災世帯数の多い洪水が発生した。ダバオ川やタロモ川に比べて、マティナ川流域全体における被災世帯数の記録が少ないが、下流の Matina Pangí、Matina Aplaya と Matina Crossing の 3 つのバラングイにおいては洪水の報告件数が多い。

図 2.7.2 では、マティナ川流域におけるバラングイ毎の洪水記録の件数と 2000 年以降に洪水発生 の報告が最も多い 3 つのバラングイ（Matina Pangí、Matina Aplaya と Matina Crossing）の被災事例 を示している。マティナ川においては一番被害をもたらした洪水は 2011 年の鉄砲水であり、Matina Crossing で 26 名（溺死）、Matina Pangí で 2 名の計 28 名（2000 年以降に報告されている総数の 31 名の約 9 割に該当）の死亡が報告されている。

Damage caused by Floods in Matina River Basin



出典：CDRRMO 提供データを基にもとにプロジェクトチームが作成

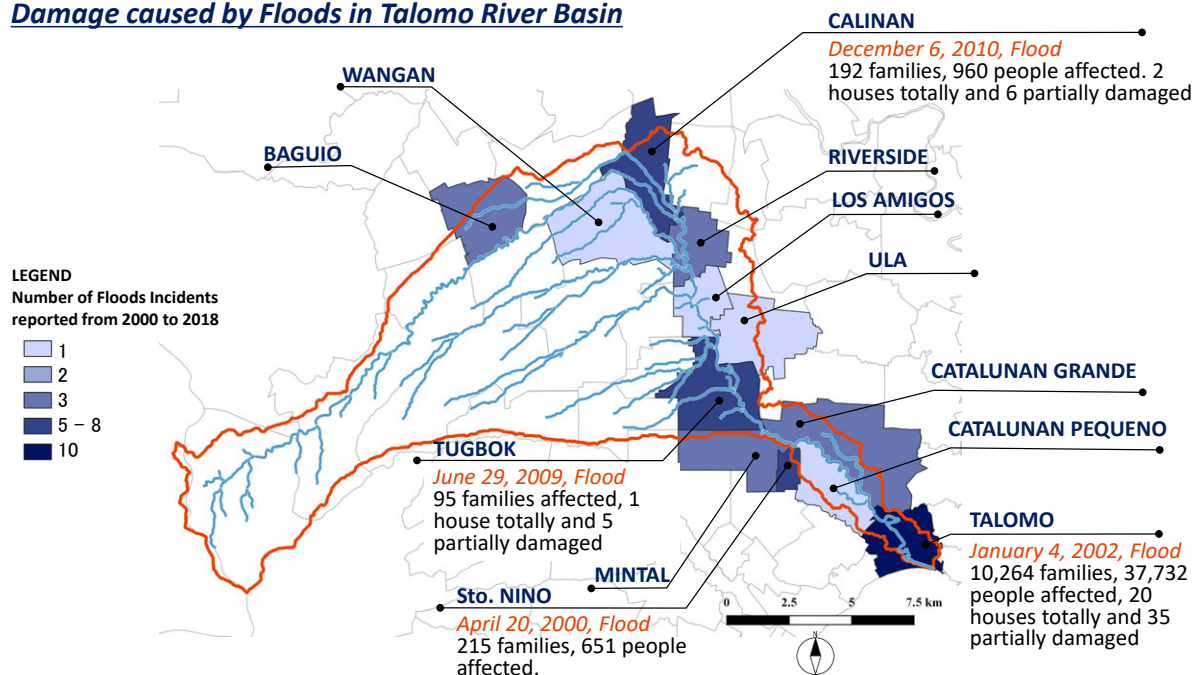
図 2.7.2 マティナ川流域のバラングイごとの洪水発生頻度（2000-2018）と被害事例

3) タロモ川流域

ダバオ川流域、マティナ流域と同様に、ダバオ市の CDRRMO より提供を受けた 2000 年から 2018 年までの災害記録（洪水）を基にタロモ川流域の洪水被害の概要を整理した。2000 年以降 32 件の洪水が報告されており、被災世帯数から見た洪水被害は 2002 年 1 月のものが突出しており、2000 年以降の合計 18,053 世帯の約 60%に相当する 10,315 世帯が被災した。2010 年以降に報告されている洪水は 22 件あり、2000 年以降の総数 32 件の約 70%に相当するものの、被災世帯数は 1,013 と 2000 年以降の総被災世帯数の 6%にしか満たない。

図 2.7.3 は、タロモ川流域内の各バラングイで報告されている洪水の回数と、2000 年以降に 5 回以上被災したバラングイの被害概要を記している。タロモ川流域では、下流のみならず中流までの広い範囲で洪水の被害が報告されている。特に最下流の Talomo バラングイでは最も洪水の報告件数が多く（10 件）、2002 年 1 月洪水時の被災世帯数は 10,264 世帯と流域内の 2000 年以降の被災世帯総数 18,053 の約 6 割に相当する。

Damage caused by Floods in Talomo River Basin



出典：CDRRMO 提供データをもとにプロジェクトチームが作成

図 2.7.3 タロモ川流域のバラングイごとの洪水発生頻度と被害事例（2000-2018）

(2) 大規模洪水と洪水被害の特徴

1) ダバオ川流域での台風 Vinta による洪水被害（2017 年 12 月 22 日）

ダバオ川流域での近年の最大洪水は 2017 年 12 月の台風 Vinta による洪水である。台風 Vinta は中心気圧 990hPa で流域北部を通過し、台風通過時の最大日雨量は 2017 年 12 月 21 日に記録され、PAGASA の Davao City 観測所で 39.4mm、Malaybalay 観測所で 112.4mm、Tagum 観測所で 114.5mm であった。Vinta 洪水は、既往最大クラスの洪水であり、超過確率 40 年程度（本プロジェクトチームによる水位／流量データを用いた統計解析結果）の大規模洪水であった。被害が大きかったバラングイは、Waan、Tigatto、Maa、Poblacion (district)、Bucana であり、特に Tigatto 地区では、既存堤防が排水を阻害したこともあり、長時間（インタビュー調査結果によると最大 2 日程度）にわたって湛水した。本洪水による Davao 市の被害額は、CDRRMO のデータによると、農作物被害で約 79 百万ペソ、家畜被害で約 9 百万ペソ、インフラ被害で約 116 百万ペソ、合計で約 204 百万ペソと算定されている。

なお、ダバオ川流域での本洪水発生時、マティナ川流域及びタロモ川流域では被害世帯の記録はなく、洪水の発生は確認できなかった。

2) マティナ川流域での代表的な洪水被害 (2011年6月29日)

2011年の洪水は、マティナ川の下流部分に大きな被害をもたらし、Matina Crossing では26名の死者(溺死)が出ている。住民へのインタビューによると、本洪水では、旧 Matina-Pangi Bridge II の上流側で流下物による堰上げが起こり、最終的に橋梁が流出した際に生じた急激な流出が下流に大きな被害をもたらしたとのことであった。災害後、当該橋梁は3m程度かさ上げした形で架け替えられている。本洪水発生時および発生前の降雨状況として、PAGASA の Davao City 観測所での日雨量は、6月27日で0.6mm、6月28日で8.0mm、6月29日で3.8mmといずれも10mm以下であり、Davao City 観測所では捉えられない雨域の降雨による洪水であったと考えられる。

なお、マティナ川流域での本洪水発生時、ダバオ川流域では Barangay Ma-a で被害世帯497軒の洪水が発生しており、タロモ川流域では被害世帯の記録はなく洪水の発生は確認できなかった。

3) タロモ川流域での代表的な洪水被害 (2002年1月4日)

2002年の洪水は、タロモ川の最下流のバランガイで1万家族を超える被害をもたらした。本洪水発生時および発生前の降雨状況として、PAGASA の Davao City 観測所で、1月2日に5.0mm、1月3日に89.2mm、1月4日に0.0mmが観測されている。

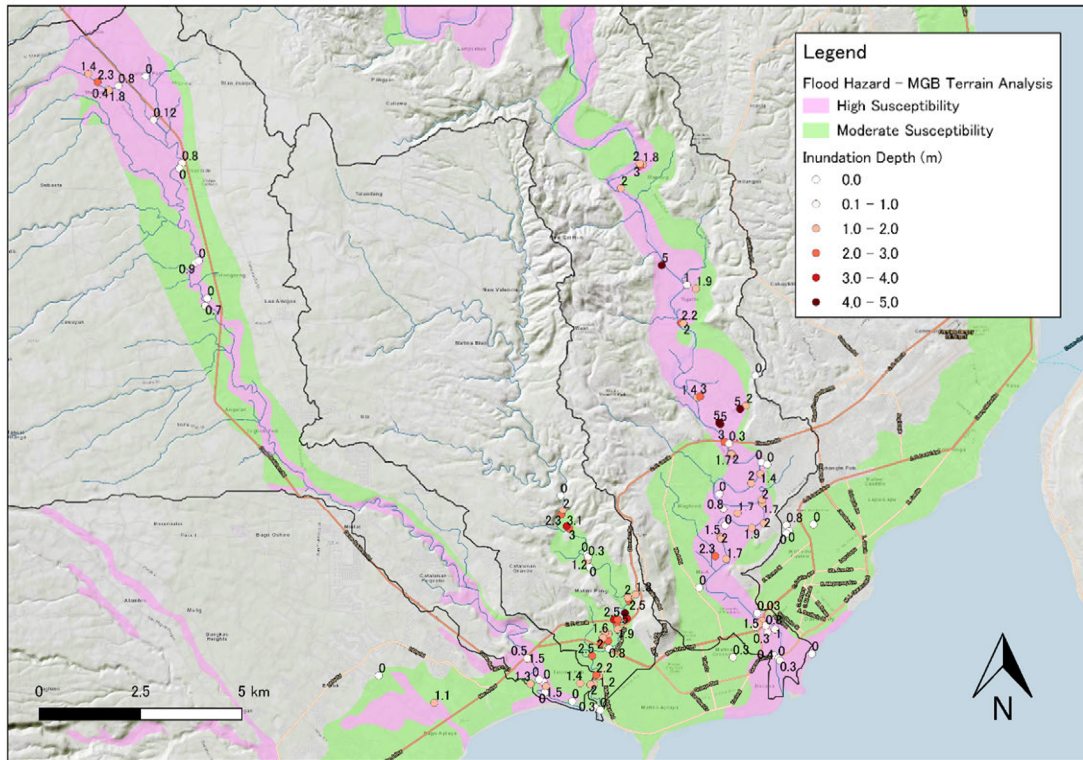
なお、タロモ川流域での本洪水発生時、ダバオ川流域では被害世帯5744軒の洪水が発生している。マティナ川流域では被害世帯の記録はないが、タロモバランガイの一部がマティナ川流域にかかっているためタロモ川流域の被害世帯数に含まれている可能性がある。

(3) 住民情報による洪水特性・洪水被害の特徴

外水による洪水被害を受けているバランガイキャプテンを招いて2019年1月29日に開催した調整会議において、各流域の洪水被害の特徴を議論した。バランガイキャプテンからの情報に基づいて、各流域の洪水特性と洪水被害の特徴および期待される対策について整理した。

(4) 洪水痕跡調査結果による洪水特性・洪水被害の特徴

対象3河川の洪水の状況として、浸水深や浸水時間を住民へのインタビューによって確認した。調査結果のひとつとして、図2.7.4に過去の洪水による最大浸水深を示す。結果的に、ダバオ川沿いについては2017年の台風Vinta時、マティナ川沿いについては2011年の洪水時の状況を示すデータとなっている。



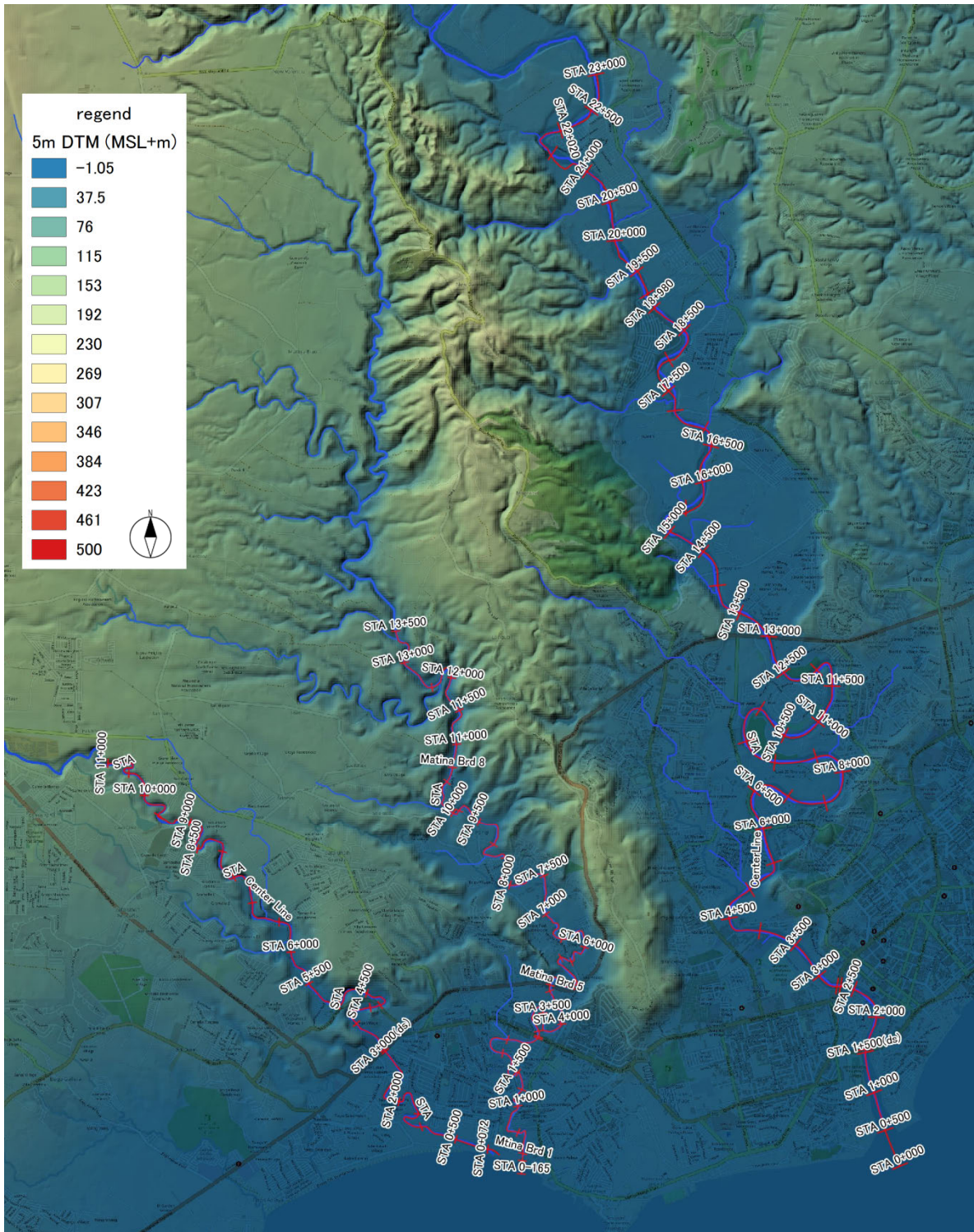
出典：プロジェクトチーム

図 2.7.4 洪水痕跡調査による洪水発生時の既往最大浸水深

2.7.2 氾濫原の地形

本調査では、IFSAR および LiDAR データを元にした地形図の作成（以下、“主題図”と呼ぶ）、及び、河川縦横断測量を実施した。主題図より生成した DEM と横断測量実施地点を図 2.7.5 に示す。また、各対象河川の河川縦断図を出典：プロジェクトチーム

図 2.7.6～図 2.7.8 に示す。



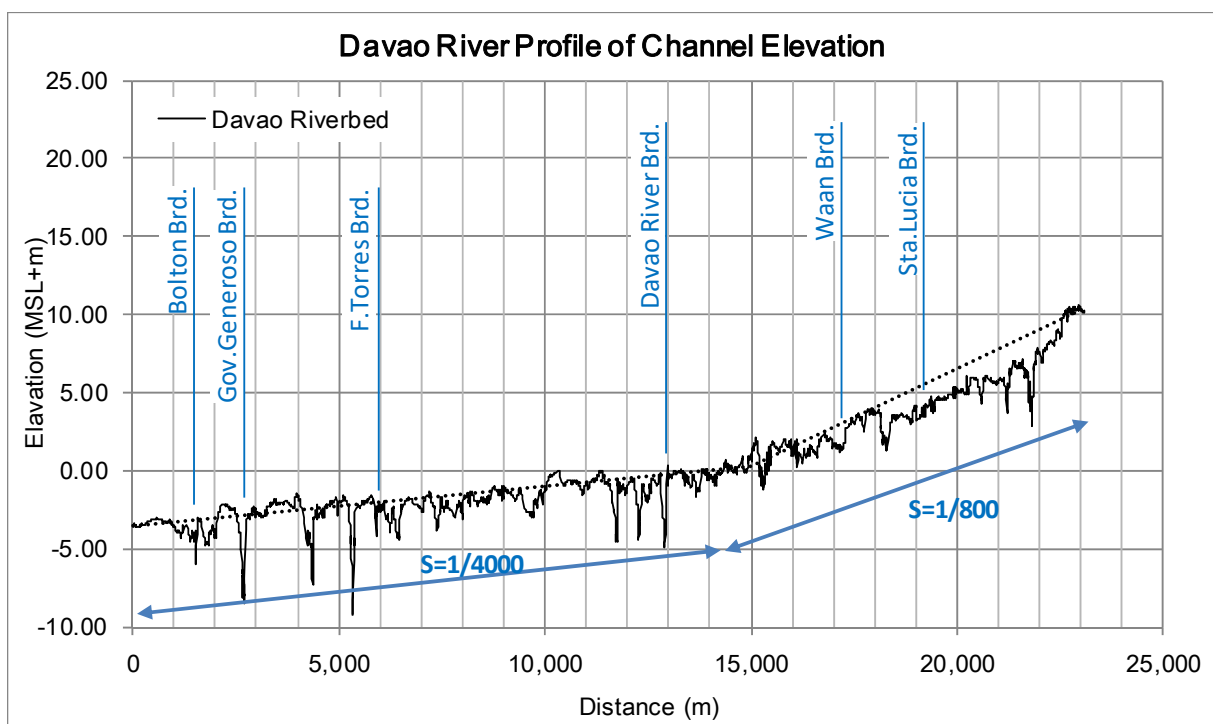
出典：プロジェクトチーム

図 2.7.5 対象氾濫原地形及び河川横断測量位置図

氾濫解析の対象となる各河川における河川横断測量実施区間上流端から河口までの地形的特徴を以下に述べる。

(1) ダバオ川

河川横断測量実施区間上流端は山地河川からの出口付近に辺り、河川の浸食作用によって形成されたと考えられる谷底平野を流下している。河口から約 15km の付近で河川勾配が変化しており、ダバオ市街が形成されている比較的なだらかな平野を流下して海へ注いでいる。勾配変化点上流の氾濫原は河川沿いの幅 1.5km から 2.0km 程度の谷底平野で形成されており、氾濫流は流下型氾濫形態であると考えられる。勾配変化点下流では、地形勾配から拡散型の氾濫形態を有するものと推察されるが、3km から 8km 区間の左岸側は丘陵地が形成されており、これにより氾濫の拡散は抑制されるものと考えられる。また、河口から 13km、Davao City Diversion Road 付近で氾濫原が狭まっており上流における氾濫流が河道に戻ると推察され、直下の 6km から 13km 区間での蛇行の進展に影響していることが考えられる。

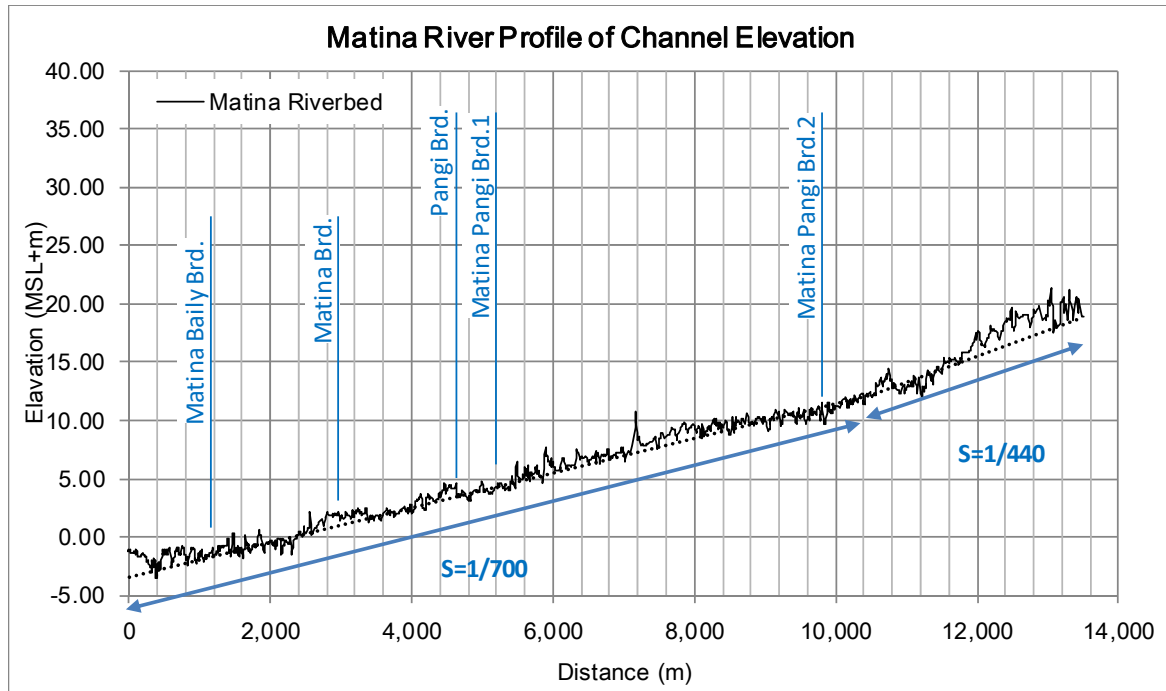


出典：プロジェクトチーム

図 2.7.6 ダバオ川河川縦断図

(2) マティナ川

上流端から河口まで比較的急勾配であるが、河口から概ね 10km 付近で勾配が変化している。勾配変化点より上流は狭隘な谷地形であり、下流は底幅が 500m から 1km 程度の谷底平野の様相を呈する。河口から約 4km より下流は、堆積平野と考えられ市街地が形成されている。平野へ出るまでは河川沿いに氾濫域が形成される流下型氾濫であり、河口付近は拡散型の氾濫形態が考えられるが、河口付近においても勾配が 1/700 程度であるため、下流の平野部においても氾濫の拡散は限定的で、一気に河口へと氾濫流が流下すると推察される。

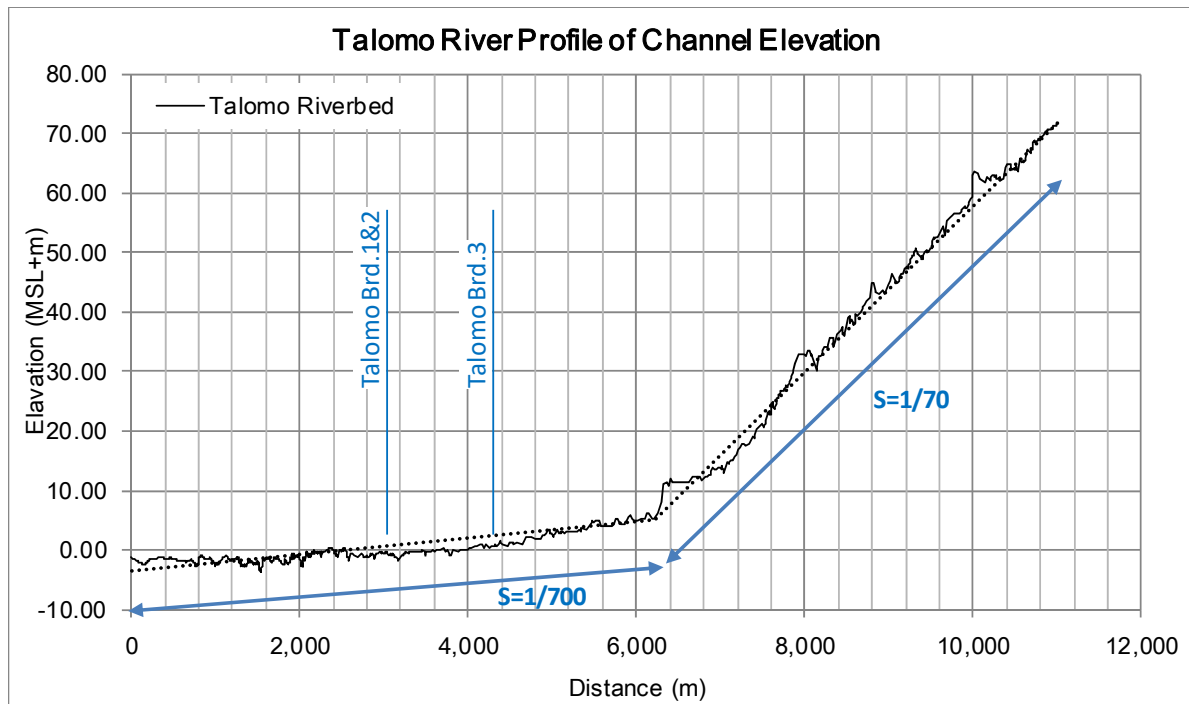


出典：プロジェクトチーム

図 2.7.7 マティナ川河川縦断面図

(3) タロモ川

河口から約 6.5km を境に勾配が急変する。勾配変化点より上流は狭隘な谷地形であり、下流は底幅が 500m から 1km 程度の谷底平野の様相を呈する。マティナ川と同様に、河口から約 4km より下流は、堆積平野と考えられ市街地が形成されている。氾濫形態は、上流から 3km 付近までが流下型氾濫であり、河口付近は拡散型の氾濫形態が考えられるが、マティナ川と同様に、河口付近においても勾配が 1/700 程度であるため、氾濫流は一気に河口へと流下すると推察される。



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.8 タロモ川河川縦断図

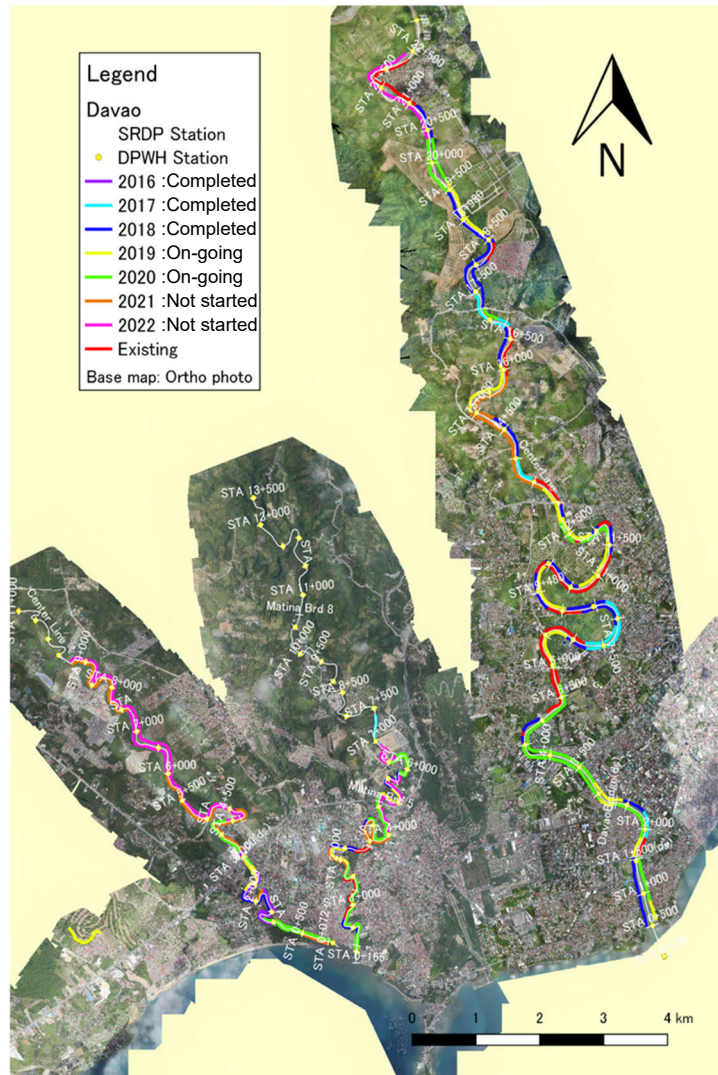
2.7.3 既往の洪水対策（外水）

(1) 既往の洪水対策の特徴

対象3河川では、過去に部分的な洪水対策としてコンクリート堤防の建設などが実施されていた。また、2017年より、蛇籠製の護岸及び堤防が2022年までの予定で、DPWH DEO(I)によって、図2.7.9に示す年度ごとに計画した区間ごとに、建設が進められている。図中で Existing で示された区間が、過去にコンクリート堤防などが建設されていた区間である。

DEO(I)による外水を対象とした洪水対策工事は、2017年には工事件数として合計10件、工事金額の合計348百万ペソの工事が実施された。2018年には工事件数として合計41件、工事金額の合計1,989百万ペソの工事が実施されており、41件の工事中、ダバオ川関連の工事が23件、タロモ川は1件、マティナ川は4件で、護岸・堤防の建設工事が大半である。

洪水対策実施後の各断面の状況として、本プロジェクトで測量を行った個所での評価結果としての各断面での流下能力を2.7.4項に示した。



出典：プロジェクトチーム

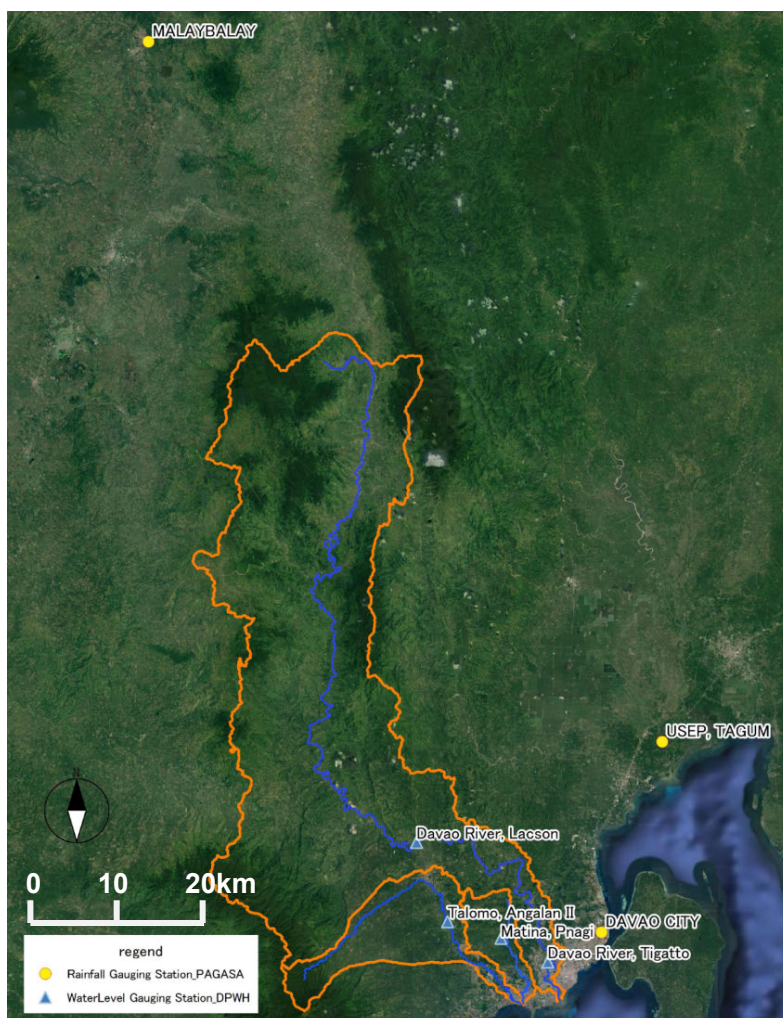
図 2.7.9 対象 3 河川での既往洪水対策と DPWH DEO による護岸・堤防建設計画

2.7.4 基礎解析

洪水マスタープランの策定に係る調査・分析を進めるにあたり、基礎資料となる水文資料（降雨および水位/流量資料）の収集整理を行うと共に、統計解析を実施した。

(1) 気象・水文データ

水文水理解析の基礎資料となる雨量データ、水位/流量データの収集を行った。図 2.7.10 に水文観測位置図を示す。本調査の対象 3 河川流域内およびその周辺には、表 2.7.1 に示すとおり PAGASA が管理する 3 箇所の雨量観測所がある。PAGASA の観測所が公表しているデータは日雨量観測記録のみであるが、既往洪水時、および、各観測所における年最大日雨量観測日については、別途、一部ではあるが PAGASA より時間雨量データの提供を受けた。



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.10 雨量観測所及び水位観測所位置図

対象3河川の水位/流量観測状況は、表 2.7.2 に示す通りである。観測データは日平均値であるが、既往洪水時の一部については、DPWH BOD および RO より最大水位/流量データが得られた。

なお、2017年に台風 Vinta により甚大な被害を被ったが、ダバオ市は低緯度に位置するため、基本的に台風による洪水の発生は非常に稀である。1951年以降、ダバオ市中心地から150kmを通過した台風は3台風のみである（図 2.7.11 参照）ため、台風の経路と洪水被害の発生を関連付けるには資料が不足するが、台風 Vinta の経路を見ると、勢力を保ったままダバオ川流域の上流部を通過した場合に甚大な被害が発生していることがわかる。

表 2.7.1 対象地域近傍雨量観測所諸元

STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVATION	Period of Observation	collected period	Type of Data
DAVAO CITY	07°07'40.41"N	125°39'17.43"E	17.29m	1961 - 2018	1961 - 2018	Daily Data
TAGUM	07°20'48"N	125°43'30"E	21.70m	2001 - 2017*	2001 - 2017	Daily Data
MALAYBALAY	08°09'04.80"N	125°08'02.04"E	627.00m	1961 - 2018	1961 - 2018	Daily Data

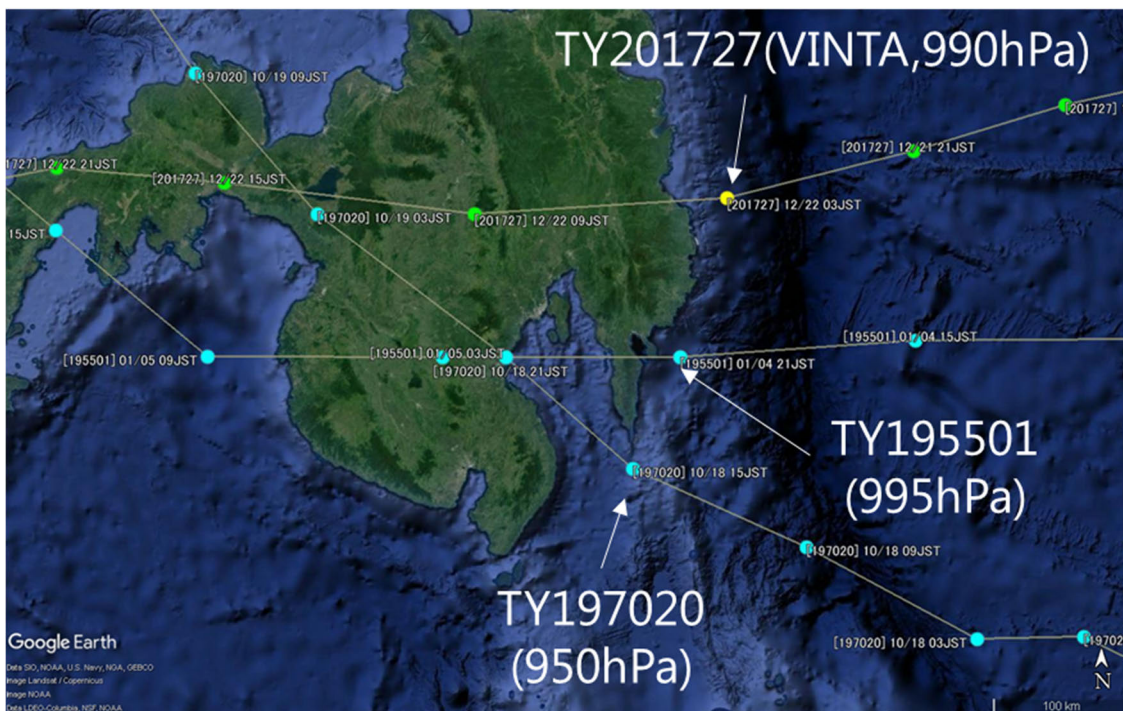
* Data of Tagum sta. From 2007 to 2010 is missing.

出典：PAGASA

表 2.7.2 対象地域近傍水位観測所諸元

River	Gauging Station	Latitude	Longitude	C.A. (km2)	Height (m)	Gauge Type	Period of Observation	Collected period	Observed by	Remarks
Davao	Lacson	07-13'-53"	125-26'-32"	1469	10.502	Staff Gauge	2001 -	2001 - 2017	BRS,DPWH	
	Tigatto	07-05'-38"	125-35'-35"	1683	20.000	Staff Gauge	1984 - 1999	-	BRS,DPWH	old station
Matina	Pangi	07-07'-16"	125-32'-21"	48	5.890	Staff Gauge	1959 - 1970	-	BRS,DPWH	
Talomo	Angalan II (Tugbok)	07-08'-25"	125-28'-40"	165	13.235	Staff Gauge	1986 -	1986 - 2017	BRS,DPWH	

出典：DPWH



出典：Google Earth、デジタル台風

図 2.7.11 ダバオ市に近接した台風経路

(2) 降雨解析（含む流域平均雨量、統計解析）

1) 日雨量統計解析（ティーセン分割法による）

降雨解析の対象は、流域近傍において長期間にわたり観測資料が得られる Davao City、Tagum、Malaybalay の 3 観測所を選定する。前記の雨量観測所資料を用いて、ティーセン分割法により流域平均雨量を算出し、各年の年最大流域平均日雨量の抽出を行った。算定した 2001 年から 2018 年の年最大流域平均日雨量を用いた統計解析を実施し、生起確率年毎の雨量を試算した結果、50 年確率で 154mm/日、100 年確率で 171mm/日となった。

ここで、算出した流域平均雨量と過去の洪水による被害記録とを比べたところ、洪水被害の大小と流域平均雨量とに不整合が認められた。また、被災世帯数 21,768 を記録した台風 Vinta の際の流域平均雨量は 82.7mm/日であり、これは再現期間で評価すると 3 年程度となる。(表 2.7.3 参照)

このように、過去の洪水における被災状況とティーセン分割法により算出した流域平均雨量との間に相関性が認められなかった。この原因として、適用可能な観測所によるティーセン分割法では、流域降雨の空間分布を捉えられていない事が考えられる。今回雨量資料が得られる観測所がいずれも流域外に位置していることに加え、ダバオ川の流域面積は 1,700km² を超えていることから、これらを用いて流域平均雨量を算出する場合、降雨統計解析に適用される PAGASA 雨量観測網を鑑みて、降雨の空間分布補完が必要と考えられる。

表 2.7.3 既往洪水における流域平均雨量と被災数量

Date of flood	Average rainfall by PAGASA	Affected population	Affected family	Affected house	Estimated return period
2002/1/4	122.2		18,110		13.1 year
2005/7/25	7.4	140		19	0.1 year
2006/3/5	12.4		1,047		0.1 year
2006/5/5	10.5	5,230			0.1 year
2011/1/17	29.9		1,317		0.3 year
2011/4/5	59.6		889		1.0 year
2011/5/4	51.0		620		0.7 year
2011/7/28	10.7	548		264	0.1 year
2012/12/4	58.5		798		1.0 year
2013/1/20	85.3		7		2.9 year
2013/2/9	27.0		1,075		0.3 year
2013/6/5	16.5		311		0.2 year
2013/7/20	10.0	2,595		10	0.1 year
2014/8/21	12.7	96	146		0.1 year
2016/6/21	47.0	170	20	2	0.6 year
2017/2/23	64.4	1,577		20	1.2 year
2017/12/22	82.7		21,768		2.6 year

出典：CDRMO、OCD/NDRRMC、UN-OCHA をもとにプロジェクトチームが作成

2) GSMaP による降雨空間分布の補完

流域内降雨の空間分布をより正確に捉えられるように、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の地球観測研究センター（EORC）が提供する人工衛星により取得された降雨データを合成して開発された全球降水マップ（GSMaP: Global Satellite Mapping of Precipitation）を用いて流域降雨の空間分布の補完を試みることにした。

検討の結果、PAGASA 観測雨量に対し GSMaP を用いた空間分布補完を実施する事により、特に過去大規模洪水において、被災数量と流域平均雨量との間の不整合が改善されたことから(表 2.7.4 参照)、空間分布補完を行った PAGASA 観測雨量を用いて降雨解析を行うこととする。

表 2.7.4 既往洪水における被災数量と補正流域平均雨量

Date of flood	Average rainfall by PAGASA	Affected population	Affected family	Affected house	Flooding Date	Corrected Rain data (7day moving ave.)
2002/1/4	122.2	0	18,110	0	2002/1/3	100.1
2005/7/25	7.4	140	0	19	2005/7/23	7.6
2006/3/5	12.4	0	1,047	0	2006/3/8	111.3
2006/5/5	10.5	5,230	0	0	2006/5/2	11.3
2011/1/17	29.9	0	1,317	0	2011/1/16	23.7
2011/4/5	59.6	0	889	0	2011/4/5	60.2
2011/5/4	51.0	0	620	0	2011/5/3	48.7
2011/7/28	10.7	548	0	264	2011/7/25	5.2
2012/12/4	58.5	0	798	0	2012/12/3	35.2
2013/1/20	85.3	0	7	0	2013/1/19	105.7
2013/2/9	27.0	0	1,075	0	2013/2/9	28.5
2013/6/5	16.5	0	311	0	2013/6/5	17.7
2013/7/20	10.0	2,595	0	10	2013/7/22	26.6
2014/8/21	12.7	96	146	0	2014/8/20	22.7
2016/6/21	47.0	170	20	2	2016/6/21	50.7
2017/2/23	64.4	1,577	0	20	2017/2/23	38.2
2017/12/22	82.7	21,767	0	0	2017/12/21	81.9

出典：プロジェクトチーム

GSMaP による空間分布補完を行った観測雨量から算定される年最大流域平均日雨量を用いて、統計解析により生起確率毎の流域平均雨量を算出した。

統計解析は各種の分布形を考慮するものの、各年最大値を対象としている事から、極値理論に基づく Gumbel 分布、一般化極値分布 (GEV)、平方根指数型最大値分布の内、適合性が良い分布を優先的に取り扱うこととした。検討の結果、ダバオ川では、極値理論に基づく分布形の適合性が良くなく SLSC(Standard Least Squares Criterion)値が 0.04 以下となる分布形がないため、解析を行った分布形の中で SLSC 値が最小となる一般極値分布 (GEV) を適用する事とした。マティナ川では一般極値分布 (GEV) が SLSC 値 0.04 以下を満足しており、タロモ川では、Gumbel 分布と一般化極値分布 (GEV) が SLSC 値 0.04 以下を満足しているため、SLSC 値がより小さい Gumbel 分布を適用する事とした。各河川の統計解析結果の SLSC の値、相関係数やジャック・ナイフ推定値および同推定誤差を表 2.7.5 から表 2.7.7 に示す。

表 2.7.5 流域平均雨量統計解析結果（ダバオ川）

Davao River	1-day Basin Mean Rainfall			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
X-COR(99%)	0.973	0.967	0.976	0.979
P-COR(99%)	0.902	0.97	0.964	0.973
SLSC(99%)	0.047	0.056	0.051	0.046
Log Likelyhood	-74.2	-78	-78.5	-78.2
pAIC	152.4	159.9	161	162.4
X-COR(50%)	0.983	0.978	0.982	0.983
P-COR(50%)	0.959	0.957	0.951	0.963
SLSC(50%)	0.051	0.108	0.097	0.068

Davao River	Probability (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	72.5	76.0	77.0	74.2
5-yr	93.3	94.5	100.5	92.4
10-yr	109.0	106.8	117.7	106.3
15-yr	118.2	113.8	127.9	114.9
25-yr	129.8	122.3	141.2	126.4
50-yr	145.5	133.8	159.8	143.3
80-yr	156.2	141.6	173.0	155.7
100-yr	161.2	145.3	179.4	161.9

Davao River	Jackknife Estimate (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	72.5	76.0	76.6	74.0
5-yr	93.3	94.5	100.2	92.9
10-yr	109.0	106.8	117.3	107.3
15-yr	118.2	113.8	127.5	116.1
25-yr	129.8	122.3	140.7	127.5
50-yr	145.5	133.8	159.4	143.6
80-yr	156.2	141.6	172.5	154.8
100-yr	161.2	145.3	178.9	160.2

Davao River	Jackknife Error (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	4.0	4.5	4.2	3.0
5-yr	8.4	8.7	4.7	6.6
10-yr	12.5	11.9	5.1	11.5
15-yr	15.1	13.8	5.3	15.1
25-yr	18.3	16.2	5.5	20.7
50-yr	22.7	19.4	5.8	30.4
80-yr	25.7	21.6	6.0	38.5
100-yr	27.1	22.6	6.1	42.9

出典：プロジェクトチーム

表 2.7.6 流域平均雨量統計解析結果（マティナ川）

Matina River	1-day Basin Mean Rainfall			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
X-COR(99%)	0.988	0.969	0.983	0.992
P-COR(99%)	0.988	0.985	0.991	0.994
SLSC(99%)	0.032	0.053	0.053	0.028
Log Likelyhood	-85.2	-88.1	-86.9	-86.8
pAIC	174.3	180.2	177.9	179.5
X-COR(50%)	0.98	0.976	0.981	0.986
P-COR(50%)	0.979	0.978	0.972	0.974
SLSC(50%)	0.05	0.1	0.105	0.05

Matina River	Probability (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	90.5	97.0	94.4	91.9
5-yr	128.7	131.1	124.0	124.4
10-yr	157.7	153.7	145.6	151.3
15-yr	174.6	166.4	158.5	168.7
25-yr	195.9	182.2	175.2	192.8
50-yr	224.8	203.4	198.7	230.3
80-yr	244.4	217.6	215.3	259.3
100-yr	253.7	224.4	223.4	274.2

Matina River	Jackknife Estimate (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	90.5	97.0	93.7	91.5
5-yr	128.7	131.1	123.4	125.3
10-yr	157.7	153.7	145.0	153.5
15-yr	174.6	166.4	157.9	171.5
25-yr	195.9	182.2	174.5	195.9
50-yr	224.8	203.4	198.0	232.3
80-yr	244.4	217.6	214.6	259.1
100-yr	253.7	224.4	222.7	272.4

Matina River	Jackknife Error (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	6.8	8.0	7.2	7.7
5-yr	15.6	16.2	12.8	14.0
10-yr	23.1	22.1	17.5	21.2
15-yr	27.6	25.4	20.5	27.2
25-yr	33.3	29.6	24.3	37.3
50-yr	41.1	35.3	30.0	56.6
80-yr	46.4	39.1	34.1	74.1
100-yr	48.9	41.0	36.1	83.9

出典：プロジェクトチーム

表 2.7.7 流域平均雨量統計解析結果 (タロモ川)

Talomo River	1-day Basin Mean Rainfall			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
X-COR(99%)	0.976	0.989	0.986	0.989
P-COR(99%)	0.976	0.991	0.992	0.992
SLSC(99%)	0.043	0.028	0.043	0.029
Log Likelyhood	-75.1	-78.5	-78.9	-78.5
pAIC	154.2	161.1	161.8	163
X-COR(50%)	0.969	0.974	0.969	0.973
P-COR(50%)	0.969	0.967	0.97	0.966
SLSC(50%)	0.062	0.05	0.083	0.051

Talomo River	Probability (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	73.7	77.4	78.3	77.1
5-yr	95.5	96.9	102.1	96.6
10-yr	112.1	109.8	119.4	109.8
15-yr	121.8	117.1	129.7	117.3
25-yr	134.0	126.1	143.0	126.8
50-yr	150.5	138.2	161.7	139.6
80-yr	161.7	146.4	175.0	148.3
100-yr	167.1	150.3	181.4	152.5

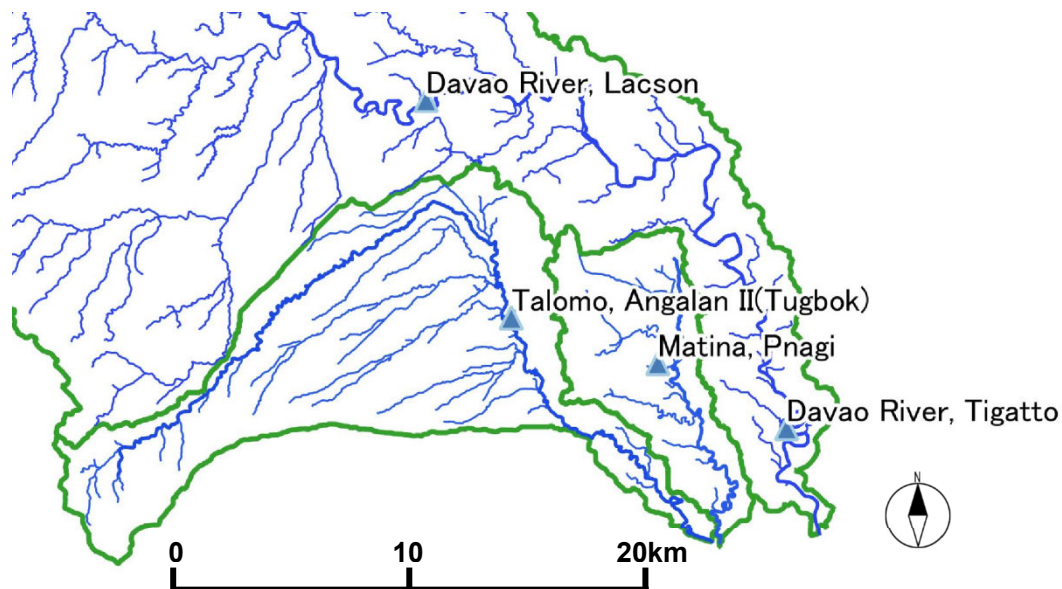
Talomo River	Jackknife Estimate (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	73.7	77.4	78.0	77.0
5-yr	95.5	96.9	101.7	96.9
10-yr	112.1	109.8	119.0	110.3
15-yr	121.8	117.1	129.3	117.8
25-yr	134.0	126.1	142.6	127.1
50-yr	150.5	138.2	161.3	139.4
80-yr	161.7	146.4	174.5	147.4
100-yr	167.1	150.3	181.0	151.1

Talomo River	Jackknife Error (mm)			
	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
2-yr	4.2	4.6	4.1	5.6
5-yr	6.8	7.0	4.6	7.7
10-yr	9.3	9.0	5.0	9.1
15-yr	10.9	10.1	5.1	10.2
25-yr	12.9	11.6	5.4	12.2
50-yr	15.7	13.6	5.7	16.2
80-yr	17.6	15.0	5.9	19.9
100-yr	18.5	15.7	6.0	21.9

出典：プロジェクトチーム

(3) 水位、流量解析 (含む統計解析)

対象流域における水位/流量観測所を図 2.7.12 に示す。表 2.7.2 に示した通りダバオ川 (Lacson 観測所)、タロモ川 (Angalan II (Tugbok) 観測所) については、それぞれ 17 年間と 32 年間 (うち 2 年は欠測) にわたる水位データが DPWH から提供されている。



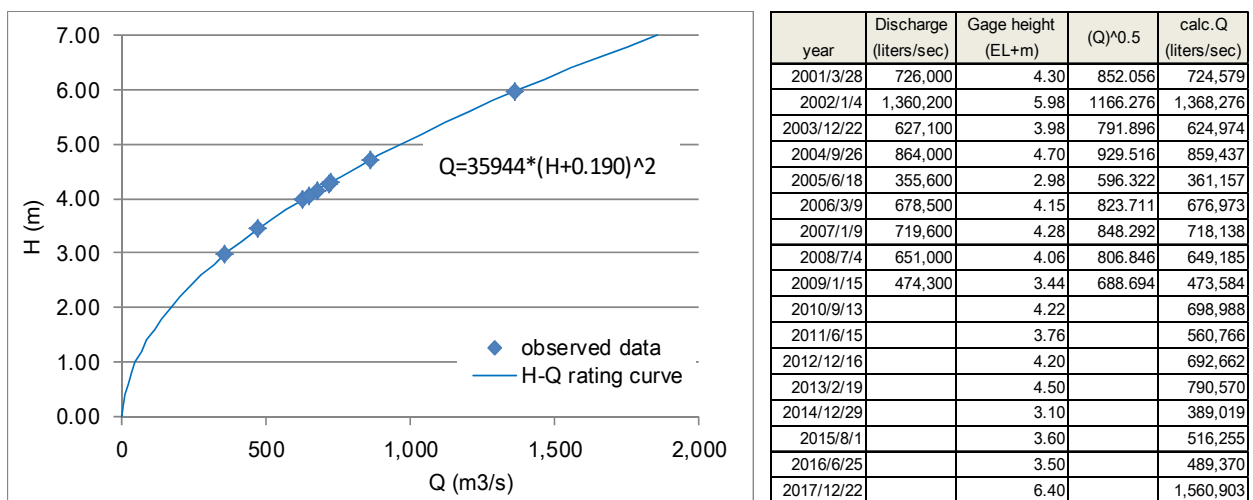
出典：プロジェクトチーム

図 2.7.12 検討対象流域における水位/流量観測所位置図

Lacson 観測所において観測された 2001 年から 2017 年の年最大流量を図 2.7.13 に示す。ここで、2001 年から 2009 年までは、水位流量資料が得られるが、2010 年以降は水位データのみの記録しか

ないため、2010年以降の年最大流量は2009年までの観測資料から作成したH-Q関係を用いて算出した流量である。なお、2017年の台風Vintaにおける最高水位は、DPWHの記録では5.0mとされているが、これはLacson観測所で観測可能な最高水位を超えたためであり、観測員にインタビュー調査を行った結果、最高水位は観測可能範囲を超えて上昇し6.4mまで上昇したと判断された。

図 2.7.13 に示す HQ 関係を用いて算出した年最大水位/流量を用いて統計解析を行った結果を表 2.7.8 に示す。上記の統計解析の結果より、台風 Vinta において Lacson 観測所における最高水位の再現期間は 40 年程度と推定される。



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.13 Lacson 観測所における H-Q 関係

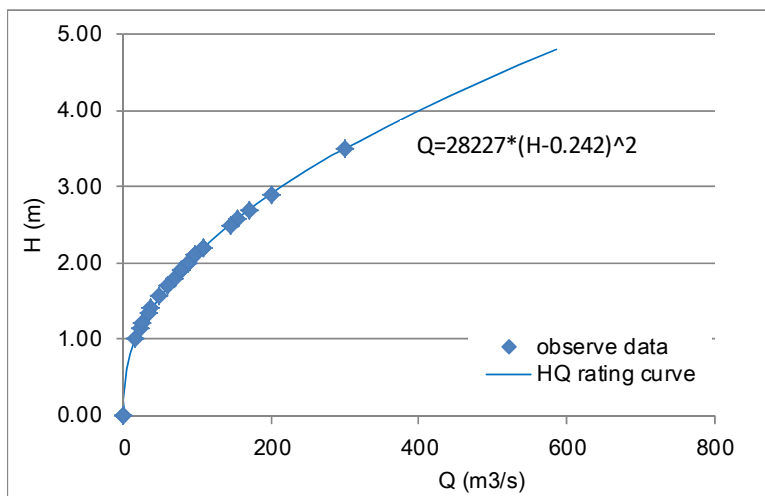
表 2.7.8 Lacson 観測におけるダバオ川の確率別水位/流量

return period	gauge height (m)	flow discharge (m³/s)
2	4.00	627
5	4.80	887
10	5.37	1,099
25	6.11	1,415
30	6.25	1,484
Vinta	6.40	1,561
50	6.65	1,686
80	7.01	1,886
100	7.18	1,985
200	7.69	2,310

出典：プロジェクトチーム

ダバオ川と同様に、タロモ川(Angalan II (Tugbok)観測所)について、年最高水位及び年最大流量を整理し、統計解析を実施した結果を表 2.7.9 に示す。タロモ川において台風 Vinta による降雨を確率評価すると 2 年確率未満となり、台風 Vinta はタロモ川流域での降雨量は比較的少なかったものと

判断される。一方、資料収集期間(1986-2017)での最高水位は 2009 年 6 月末の洪水によるものであり、この洪水の再現期間は 80 年程度と評価される。



year	Discharge (liters/sec)	Gage height (EL+m)	(Q) ^{0.5}	calc. Q (liters/sec)
1986/3/10	78,000	1.90	279.28	77,579
1987/2/5	69,000	1.80	262.68	68,502
1988/8/17	37,000	1.40	192.35	37,840
1989/2/27	78,000	1.90	279.28	77,579
1990/11/9	16,400	1.00	128.06	16,211
1991/6/29	87,000	2.00	294.96	87,220
1992/1/1	-	-	-	-
1993/3/1	48,200	1.56	219.54	49,021
1994/9/16	23,120	1.14	152.05	22,753
1995/8/15	78,000	1.9	279.28	77,579
1996/1/1	-	-	-	-
1997/12/18	26,000	1.20	161.25	25,896
1998/1/6	33,700	1.34	183.58	34,020
1999/12/12	157,000	2.58	396.23	154,274
2000/2/16	205,000	2.90	452.77	199,398
2001/1/1	87,000	2.00	294.96	87,220
2002/1/4	175,000	2.70	418.33	170,518
2003/12/22	97,000	2.10	311.45	97,426
2004/5/9	108,000	2.20	328.63	108,197
2005/1/24	60,000	1.70	244.95	59,990
2006/3/5	108,000	2.20	328.63	108,197
2007/12/11	97,000	2.10	311.45	97,426
2008/3/10	145,000	2.50	380.79	143,896
2009/6/29	285,500	3.50	534.32	299,588
2010/12/6	78,000	1.90	279.28	77,579
2011/4/21		2.10		97,426
2012/2/12		2.80		184,676
2013/6/5		3.00		214,685
2014/1/11		2.51		145,173
2015/6/25		1.36		35,271
2016/5/23		1.28		30,403
2017/2/16		2.26		114,930

出典：プロジェクトチーム

図 2.7.14 Angalan II (Tugbok)観測所における H-Q 関係

表 2.7.9 Angalan II (Tugbok)観測におけるタロモ川の水位/流量統計解析結果

return period	gauge height (m)	flow discharge (m3/s)
Vinta	1.26	29
2	1.98	89
5	2.54	148
10	2.86	187
15	3.02	209
20	3.12	225
25	3.19	236
30	3.25	246
50	3.40	273
Historical MAX	3.50	300
80	3.53	298
100	3.58	309
200	3.73	346

出典：プロジェクトチーム

マティナ川については、統計解析に用いる事の出来る水位/流量観測資料が無いが、2011年6月の洪水を受けてDEOがDPWH本省と協働で「ダバオ市都市排水及び洪水対策事業（1998）」の見直しを行っている。この調査において確率別雨量に対する流出解析を行い、確率別流量が算定されている(表 2.7.10 参照)。確率別流量は、フィリピン国内の地域別比流量による推定(Creager's Formula)、合理式、単位図法により検討しており、単位図法による結果を適用している。この調査において、2011年6月洪水は、資料の不足により包括的な検討が行えないことから、対策を検討するため50年確率と設定されている。

表 2.7.10 マティナ川の確率別流量

return period	gauge height (m)	flow discharge (m3/s)
2	-	325.8
5	-	446.0
10	-	504.5
25	-	586.1
30	-	-
50(Historical MAX?)	-	623.5
80	-	-
100	-	658.5
200	-	-

出典：Review and Assessment of Flood Control Master Plan for Davao City

2.7.5 河道流下能力評価

次に、対象河川の河道流下能力評価を行う。河道流下能力評価は、一次元不等流計算により流量—水位関係を把握した上で、各断面における評価高に相当する流量を算定するものとする。以下に、検討条件を示す。

(1) 適用断面

検討に用いる河道形状は、表 2.7.11 において得られる測量成果を適用する。

表 2.7.11 河道流下能力評価検討適用河道測量成果

River	River Station of calculate reach	Reach length (km)	Number of Cross-section	Survey date
Davao	sta.0+000 ~ sta.23+000	23.09	52	Apr.2019
Matina	sta.0-165 ~ sta.13+500	13.68	37	Mar.2019
Talomo	sta.0+072 ~ sta.11+000	10.84	25	Feb.2019

出典：プロジェクトチーム

(2) 粗度係数

粗度係数は、河道の特徴（自然河川、改修河川、氾濫原）に応じて Manning’s n 値を設定する。粗度係数の設定に当たっては、DGCS に示されている粗度係数の標準を参考に、2.7.6 水文・水理モデルにおいて詳述する Vinta における氾濫区域を再現できるように設定する。

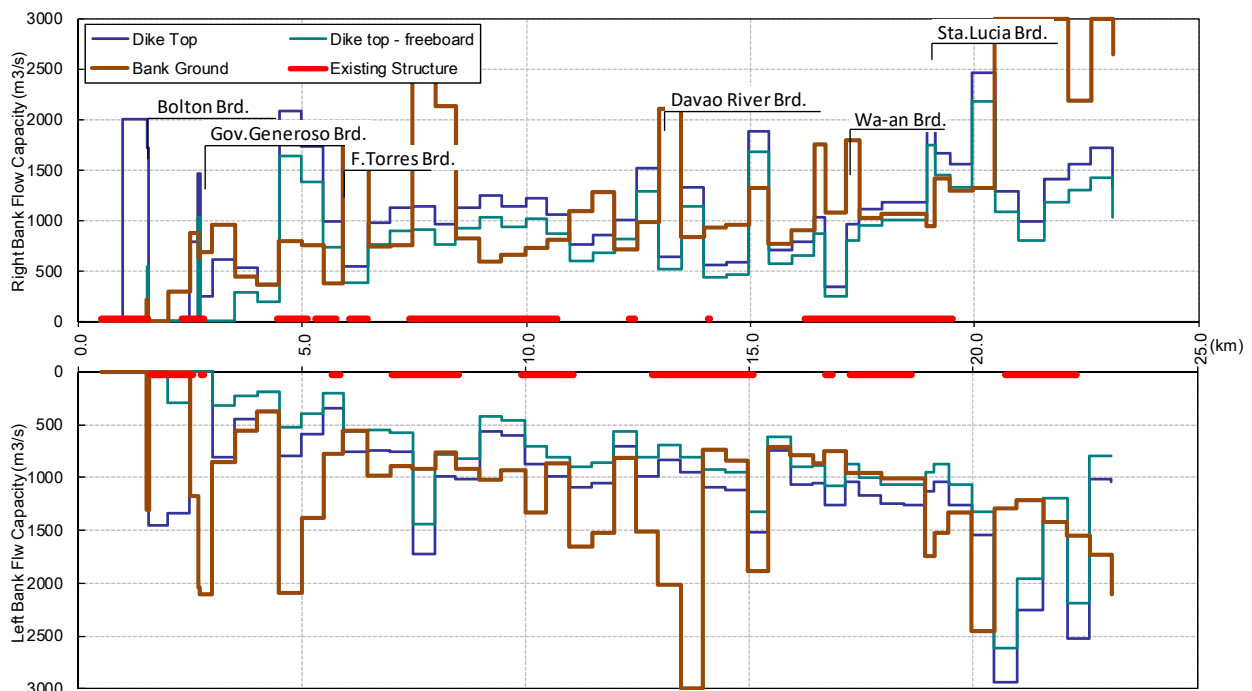
(3) 出発水位

出発水位は計算区間下流端に初期条件として与える水位であり、特に緩勾配河道の場合には流下能力に大きく影響する。本検討の対象河川の計算区間下流端はいずれも河口であることから、河口潮位を出発水位として与える事となる。ここで、流下能力検討において与えられる河口潮位は、一般に高潮と洪水は、それぞれ独立事象として扱われる事から、平均満潮位 (MHHW) を適用する事とする。平均満潮位 (MHHW) は、2.10 節の海岸災害に係る分析を踏まえ、出発水位を MSL+0.981m とする。

(4) 橋梁による水位上昇

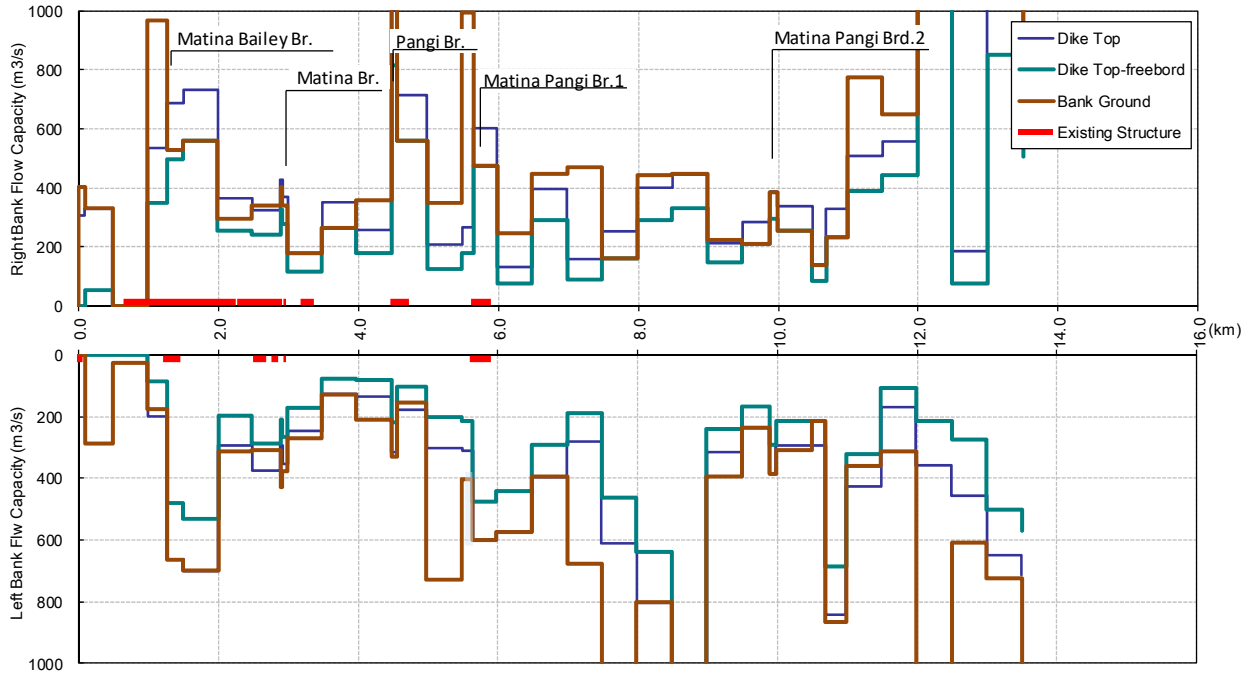
橋梁による水位上昇を適切に加味するため、橋梁上下流の急縮/急拡によるエネルギー損失、橋脚等支障物による損失を考慮する。

上述の条件により水位計算を実施し、河道流下能力評価を行った結果を以下に示す。



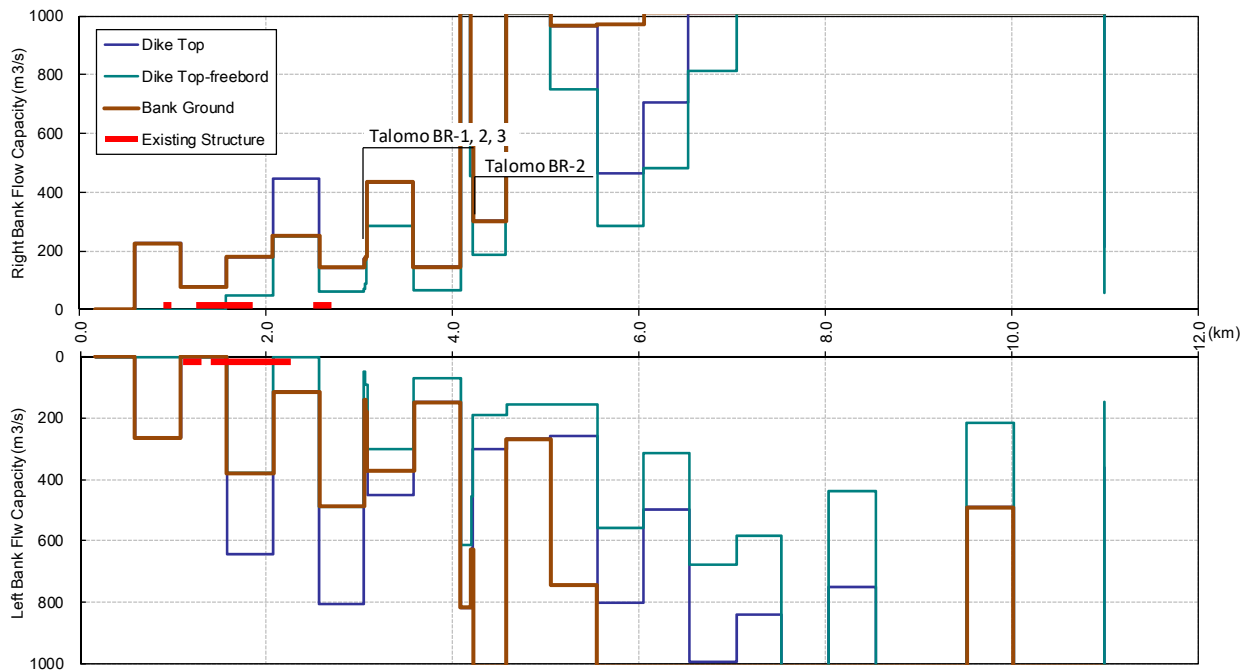
出典：プロジェクトチーム

図 2.7.15 ダバオ川流下能力図



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.16 マティナ川流下能力図



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.17 タロモ川流下能力図

2.7.6 水文・水理モデル

当該プロジェクトにおいては、DPWH 職員の洪水対策計画の策定能力強化が期待される成果として挙げられている事から、DPWH 職員自身が OJT により流出解析を実施できるように、フィリピン国内における適用実績が多く、また無償提供されていることを鑑みて、Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System(HEC-HMS)を適用する事とした。

(1) 降雨・流出モデル

HEC-HMS による流出解析モデルは、浸透・蒸発散による損失量を算定するための損失モデル、有効雨量から直接の流出量を算定する流出変換モデルと地下水流出に対応する基底流出モデルの 3 つで構成される流域モデルと河道モデルが組み込まれている。当該プロジェクトにおいては、対象河川の水文資料存在状況や流出解析において対象とする事象、これまでの適用実績を踏まえて、下表に示すモデルを適用する事とした。

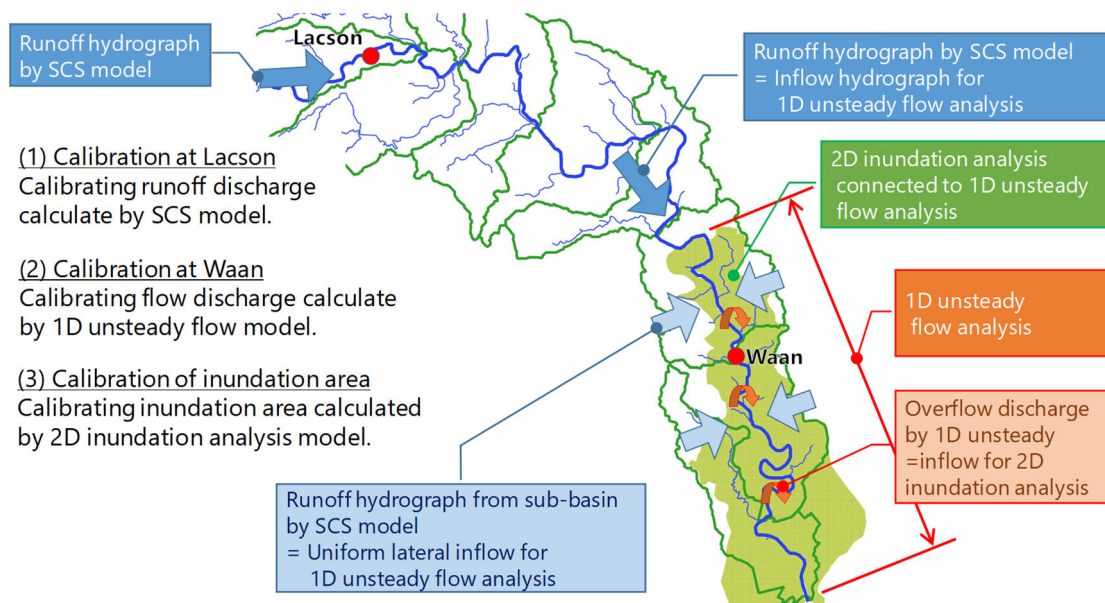
表 2.7.12 適用モデル一覧

流域モデル	損失モデル	SCS CN モデル
	流出変換モデル	SCS モデル
	基底流出モデル	逓減曲線モデル
河道モデル	Lag-time モデル	

出典：プロジェクトチーム

(2) 水理モデル（氾濫モデル）

ダバオ川における水理モデルは、図 2.7.18 に示すとおりであり、河道改修の対象となり得る当該プロジェクトにおける測量区間については、河道による貯留効果を考慮して、一次元不定流モデルにより河道水位および流量を算出する。また、当該河川区間については、2次元氾濫原モデルと連結させて氾濫解析が実施可能である。



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.18 ダバオ川解析モデル模式図

(3) 流出モデルの検証

流出モデルの定数は、毎時の降雨-流量/水位データセットによって検証されることが望ましい。ダバオ川においては、Waan-Bridge 観測所と Lacson 観測所を検証地点とし、検証洪水は、2017 年 12 月 22 日洪水(台風 Vinta)とする。

Lacson 観測所は、日データのみで時間データが記録されていないが、ピーク前後のデータが得られるため、降雨流出モデルの定数検証に用いる。Vinta を検証洪水として、流出モデルの SCS CN 及び河道の遅れ時間を調整した結果を表 2.7.13、表 2.7.14 に示す。

表 2.7.13 適用 SCS CN

Landcover	Hydrologic Soil Group				referring CN category *
	A	B	C	D	
Annual Crop	70	79	84	88	Row Crops, contured, Poor
Brush/Shrubs	57	73	82	86	Woods-grass combination, Poor
Built-up	61	75	83	87	Residential districts by average lotsize 1/4 acre
Closed Forest	36	60	73	79	Woods, Fair
Grassland	76	85	90	93	Fallow, Crop residue cover
Inland Water	100	100	100	100	
Open Forest	45	66	77	83	Woods, Poor
Open/Barren	77	86	91	94	Fallow, Bare soil
Perennial Crop	39	61	74	80	Pasture, grassland, or range, Good

* "National Engineering Hnadbook by Natural Resources Conservation Service", USDA

出典：プロジェクトチーム

表 2.7.14 ダバオ川流域モデルの SCS CN

No.	Name	Area (km2)	Initial Abstraction (mm)	potential maximum retention (S)	Curve Number	Impervious (%)	No.	Name	Area (km2)	Initial Abstraction (mm)	potential maximum retention (S)	Curve Number	Impervious (%)
1	D-B1	28.47	47.19	235.97	51.8	0.0	28	D-B21	19.33	14.89	74.44	77.3	0.0
2	D-B2	8.88	25.14	125.70	66.9	0.0	29	D-B22-1	35.50	38.59	192.93	56.8	0.0
3	D-B3	16.89	25.25	126.23	66.8	0.0	30	D-B22-2	27.05	33.48	167.41	60.3	0.0
4	D-B4	29.98	48.08	240.42	51.4	0.0	31	D-B22-3	17.77	25.24	126.19	66.8	0.0
5	D-B5	18.55	25.50	127.52	66.6	0.0	32	D-B23	28.79	25.60	127.99	66.5	0.0
6	D-B6	34.87	23.97	119.86	67.9	0.0	33	D-B24	50.67	26.65	133.23	65.6	0.0
7	D-B7	7.83	22.39	111.94	69.4	0.0	34	D-B25-1	71.03	18.20	91.01	73.6	0.0
8	D-B8-1	36.44	85.15	425.77	37.4	0.0	35	D-B25-2	12.45	16.92	84.59	75.0	0.0
9	D-B8-2	43.68	35.70	178.49	58.7	0.0	36	D-B26-1	36.51	29.00	145.00	63.7	0.0
10	D-B9	20.04	38.28	191.38	57.0	0.0	37	D-B26-2	42.58	50.25	251.25	59.3	0.0
11	D-B10	27.17	22.66	113.31	69.2	0.0	38	D-B26-3	54.61	34.74	173.71	59.4	0.0
12	D-B11	30.46	20.17	100.84	71.6	0.0	39	D-B26-4	29.70	56.75	283.77	47.2	0.0
13	D-B12	75.29	34.06	170.29	59.9	0.0	40	D-B26-5	21.52	39.40	196.99	56.3	0.0
14	D-B13	18.63	42.91	214.56	54.2	0.0	41	D-B26-6	31.82	42.03	210.14	54.7	0.0
15	D-B14	38.93	29.39	146.95	63.4	0.0	42	D-B26-7	20.78	27.82	139.08	64.6	0.0
16	D-B15-1	59.97	38.10	190.52	57.1	0.0	43	D-B27-1	101.95	47.99	239.96	51.4	0.0
17	D-B15-2	34.77	39.60	198.01	56.2	0.0	44	D-B27-2	46.69	24.45	122.25	67.5	0.0
18	D-B15-3	47.49	29.04	145.21	63.6	0.0	45	D-B28	21.91	27.54	137.72	64.8	0.0
19	D-B15-4	46.56	31.70	158.52	61.6	0.0	46	D-B29	50.71	23.92	119.58	68.0	0.0
20	D-B16	15.92	31.49	157.46	61.7	0.0	47	D-B30	26.83	27.01	135.06	65.3	0.0
21	D-B17	13.32	35.10	175.52	59.1	0.0	48	D-B31	33.46	25.24	126.21	66.8	0.0
22	D-B18	5.90	34.87	174.37	59.3	0.0	49	D-B32	23.86	22.77	113.84	69.1	0.0
23	D-B19-1	28.47	16.99	84.96	74.9	0.0	50	D-B33	28.25	21.50	107.50	70.3	0.0
24	D-B19-2	16.11	24.36	121.80	67.6	0.0	51	D-B34	30.87	18.44	92.19	73.4	0.0
25	D-B19-3	36.52	29.62	148.12	63.2	0.0	52	D-B35	24.94	11.91	59.56	81.0	0.0
26	D-B19-4	25.74	31.40	157.01	61.8	0.0	53	D-B36	21.98	9.94	49.70	83.6	0.0
27	D-B20	74.99	27.70	138.49	64.7	0.0	54	D-B37	12.14	10.75	53.73	82.5	0.0

出典：プロジェクトチーム

Lacson 観測所での検証結果を元に、Waan 橋において流出モデル定数及び河道粗度係数の検証を行う。ここでは、当該プロジェクトにおいて実施した洪水痕跡・聞き取り調査の結果を用いて、台風 Vinta における想定浸水区域を作成すると共に、氾濫解析による浸水区域が洪水痕跡・聞き取り調査から推定される浸水区域と同等となる様にモデル定数の調整を行う。

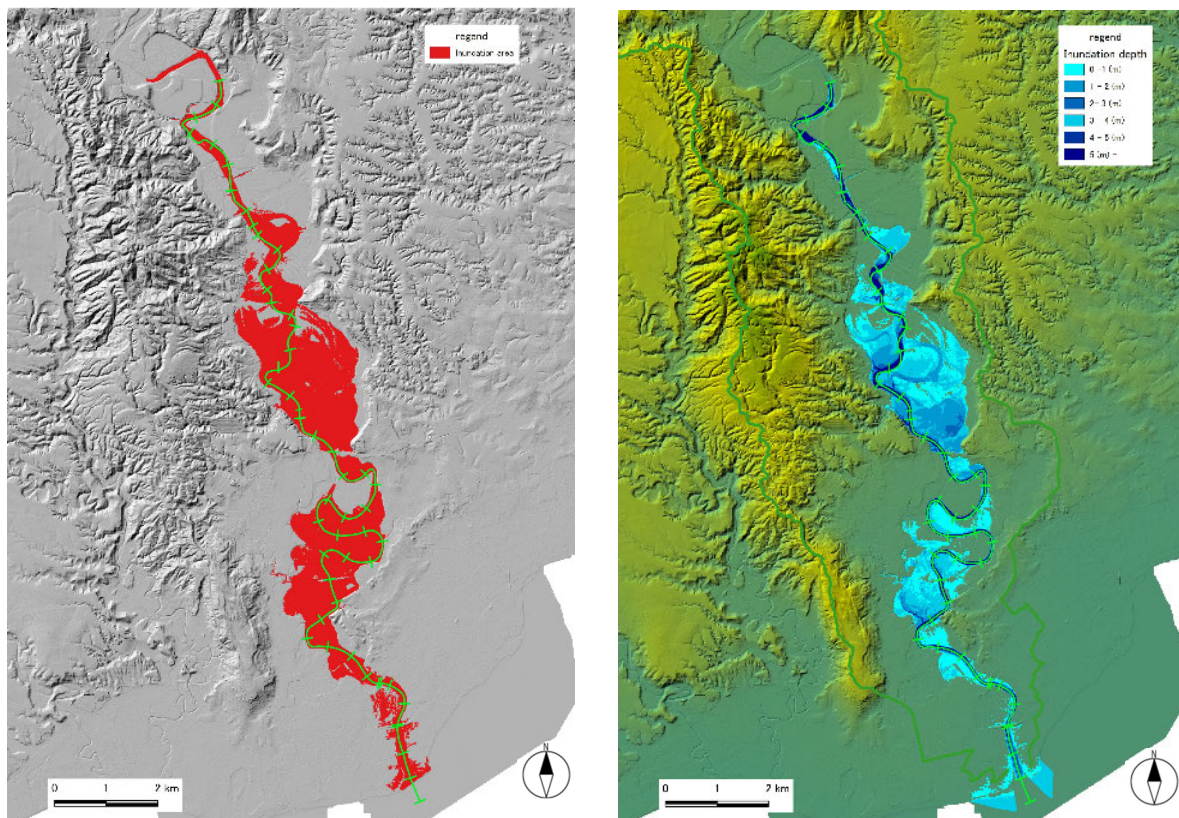
洪水痕跡・聞き取り調査による浸水区域の推定は、洪水位が比較的精度良く得られる橋梁地点における調査結果をもとに縦断的な浸水位を設定した上で、DTM を用いて氾濫原における拡散状況の推定を行った。(図 2.7.19 参照)

水理モデルにおける Vinta のシミュレーション計算条件を下表に示す。下表の条件に基づく氾濫シミュレーションの結果、洪水痕跡・聞き取り調査から推定される浸水区域と同等の浸水区域が再現された。

表 2.7.15 氾濫解析計算条件

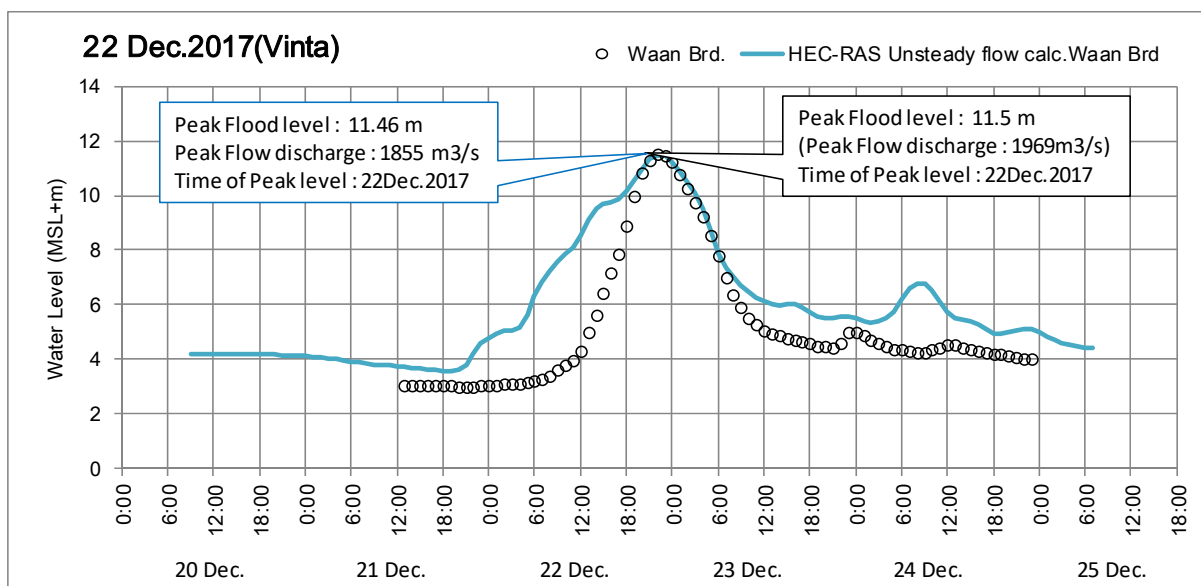
項目	適用手法/適用値	備考
河道水位計算	一次元不定流計算	境界条件は実績値を適用
氾濫原計算	二次元不定流計算	
計算メッシュサイズ	50m	5m メッシュ DTM より作成
氾濫原粗度係数	0.06	

出典：プロジェクトチーム



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.19 洪水痕跡・聞き取り調査に基づく Vinta による想定浸水区域 (左) 及び、氾濫シミュレーションによる想定浸水区域(右)



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.20 一次元不定流モデル算定結果 (Waan 橋)

マティナ川、タロモ川においては、検証に適用可能な水文データが整備されていないため、ダバオ川流域において設定した SCS CN を準用する。また、流域規模及び河川縦断形状から、降雨・流出解析において、河道の一次元不定流計算による貯留効果は見込まない事とした。

2.7.7 超過確率洪水ハイドログラフ (外水)

(1) 確率別雨量及び流量

各河川の確率別雨量及びピーク流量一覧を表 2.7.16 に示す。確率別流量ハイドログラフ及びピーク流量は、2.7.6 節において定数検証を行った流出モデルを用いて算定した。確率別ハイトグラフは、詳細については後述するが、各確率雨量を用いて作成した。

表 2.7.16 確率別雨量及び流量一覧

T (yrs)	Davao			Matina			Talomo		
	Probable Rainfall (mm/24hr)	+ Climate Change (mm/24hr)	Probable Discharge (m3/s)	Probable Rainfall (mm/24hr)	+ Climate Change (mm/24hr)	Probable Discharge (m3/s)	Probable Rainfall (mm/24hr)	+ Climate Change (mm/24hr)	Probable Discharge (m3/s)
	GEV	110%	Wa-an Br.	RIDF	110%	MatinaPangi Br.	RIDF	110%	Mintal
2	84.50	92.95	821	77.18	84.90	113	69.06	75.96	82
5	105.50	116.05	1387	100.65	110.72	190	90.06	99.07	178
10	119.80	131.78	1831	115.66	127.23	246	103.49	113.84	259
25	138.00	151.80	2439	134.61	148.07	320	120.45	132.49	376
50	151.10	166.21	2904	148.26	163.09	377	132.66	145.93	474
100	163.60	179.96	3367	162.31	178.54	435	145.23	159.75	577

出典：プロジェクトチーム

(2) モデルハイトグラフ

モデルハイトは、いくつかの既往洪水の実績降雨波形を、統計分析によって得られる確率降雨量まで引き伸ばすことによって作成される。

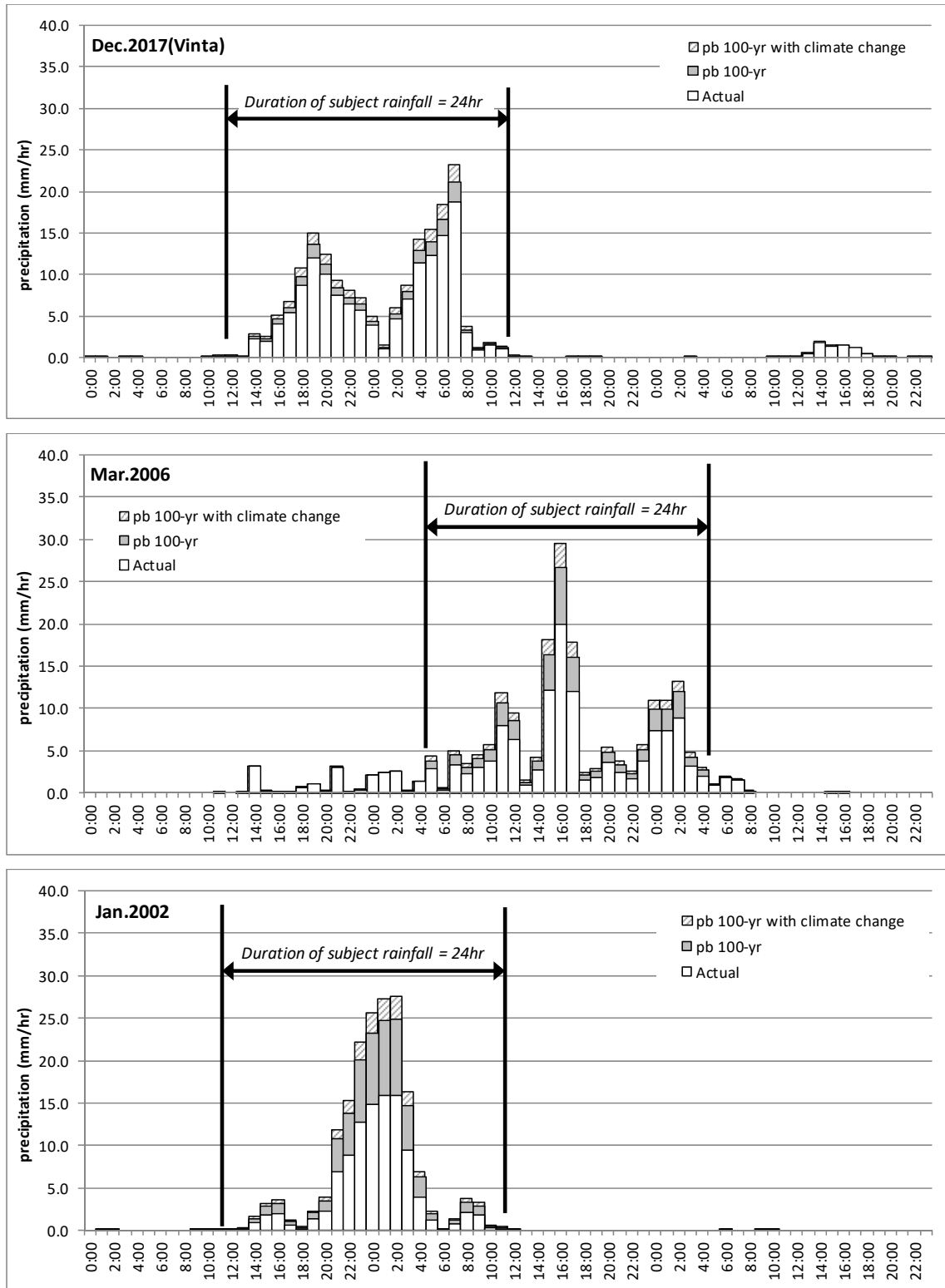
計画降雨波形は、日雨量データを元に、GSMaPによる降雨空間分布補完が可能となる2001年以降について、主要洪水を選定した。選定した洪水のほとんどは降雨継続時間が24時間程度以下であることから、降雨の引き伸ばしの対象は24時間とする。

計画降雨波形は、計画降雨量への引き伸ばしを行った際に、降雨波形が実現性の乏しいものとならないように、比較的確率規模の大きい以下の3洪水とした。ここで、計画降雨量は、2.7.9項において詳述する気候変動を考慮し、10%の増加を見込むものとした。

表 2.7.17 ダバオ川 計画降雨波形一覧

Typical Rainfall Pattern	Rainfall (mm/24hr)	Expand coefficient	Note
Dec.2017 (Vinta)	145.1	1.24	100-yr rainfall amount = 163.60 (mm/24hr)*110% = 179.96 (mm/24hr)
Mar.2006	121.8	1.48	
Jan.2002	104.4	1.72	

出典：プロジェクトチーム

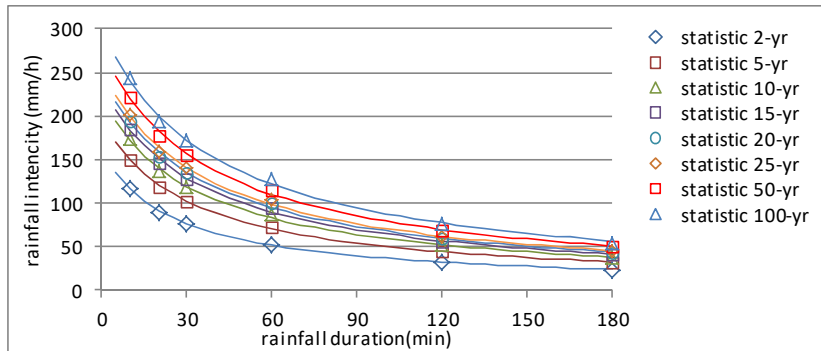


出典：プロジェクトチーム

図 2.7.21 ダバオ川 計画降雨波形

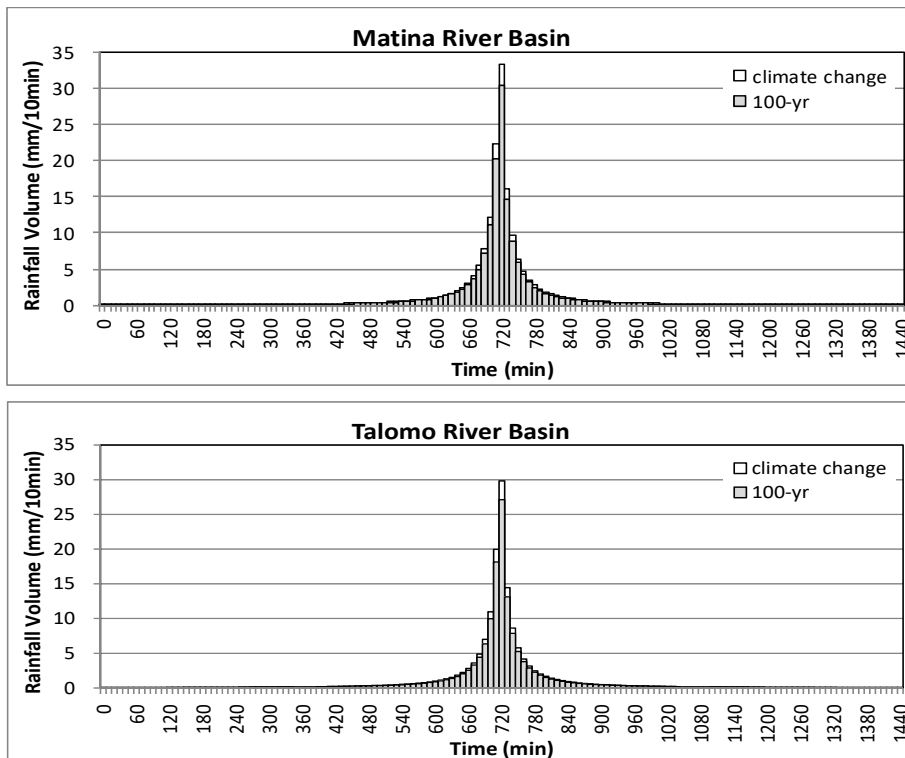
マティナ川及びタロモ川については、それらの流域規模から、Davao City 観測所の降雨強度を用いた中央集中型降雨波形を計画降雨波形とする。なお、ダバオ川と同様に気候変動による影響を考慮し、10%の増加を見込むものとした。

T	10	20	30	1	2	3	6	12	24
(yrs)	min	min	min	hr	hr	hr	hr	hr	hr
2	117.0	90.0	76.4	53.2	32.6	23.9	13.4	7.2	3.8
5	150.6	117.9	102.0	73.2	44.4	32.1	18.1	9.6	5.0
10	172.8	136.2	118.8	86.5	52.3	37.6	21.3	11.2	5.9
15	185.4	146.7	128.4	94.0	56.7	40.7	23.0	12.1	6.3
20	194.4	153.9	135.2	99.3	59.8	42.9	24.3	12.7	6.6
25	201.0	159.6	140.2	103.3	62.1	44.5	25.2	13.2	6.9
50	222.0	177.0	156.2	115.8	69.5	49.7	28.1	14.7	7.7
100	243.0	194.1	171.8	128.1	76.8	54.7	31.1	16.2	8.4



出典：PAGASA 資料をもとにプロジェクトチームが作成

図 2.7.22 Davao City 降雨強度

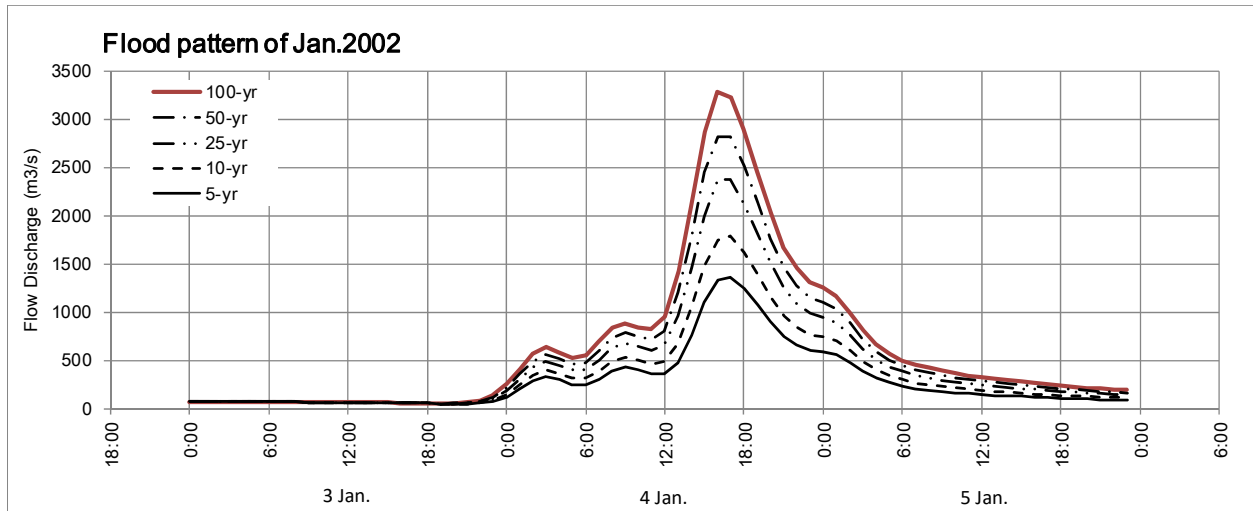


出典：プロジェクトチーム

図 2.7.23 計画降雨波形（上：マティナ川、下：タロモ川）

(3) 基本高水

各計画降雨波形について 100 年確率降雨（179.96mm/24hr）まで引き伸ばしを行った降雨を外力として流出解析を行った。解析の結果、100 年確率降雨における最大ピーク流量は、2002 年 1 月型で、Waan 橋において 3,367(m³/s)となった。2002 年 1 月型降雨波形の確率別流量ハイドロを、図 2.7.24 に示す。

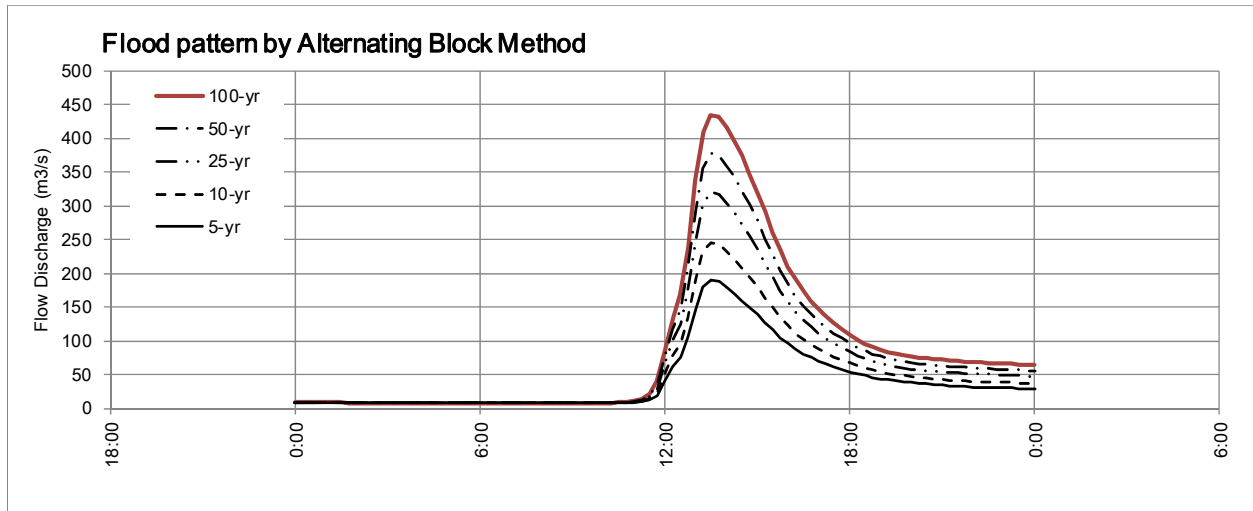


出典：プロジェクトチーム

図 2.7.24 ダバオ川 確率規模別計画ハイドログラフ

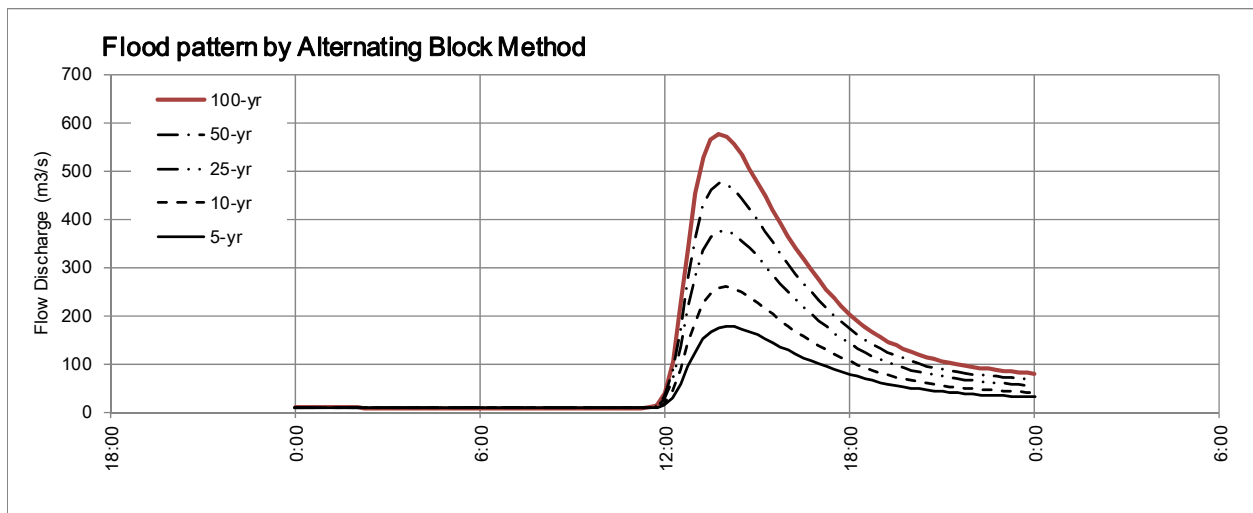
上記ハイドログラフはダバオ川の基準点である Waan 橋（Tigatto 観測所）での値となる。ダバオ川では Waan 橋下流において 10km² 程度未満の流域面積を持った支川が複数流入しているが、支川の流量のピークは本川に先んじて生じるため、支川からの流入は Waan 橋下流の本川のピーク流量にはほとんど影響を与えない。よって、Waan 橋の下流から河口部区間におけるピーク流量は Waan 橋のピーク流量と同等程度となっている。

ダバオ川と同様に、マティナ川、タロモ川の確率規模別ハイドログラフを図 2.7.25、図 2.7.26 にそれぞれ示す。100 年確率降雨におけるピーク流量は、マティナ川で 435(m³/s)、タロモ川で 577(m³/s)と算定される。



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.25 マティナ川 確率規模別計画ハイドログラフ



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.26 タロモ川 確率規模別計画ハイドログラフ

上記マティナ川とタロモ川のハイドログラフはそれぞれの基準点である Angalan II (Tugbok) 観測所と Matina Pangí 橋 (Pangí 観測所) での値となる。マティナ川とタロモ川は流域面積が小さく、基準点下流の支川及び残流域からの流出ハイドロが本川ピーク流量に影響することから、基準点下流のピーク流量は基準点のそれより大きくなる。マティナ川、タロモ川それぞれの河口部において、100年確率降雨におけるピーク流量は、マティナ川で 550(m³/s)、タロモ川で 690(m³/s)と算定される。

2.7.8 洪水氾濫シミュレーション及び洪水リスク分析

当該プロジェクトにおいて、河川洪水対策の対象とする区間について、洪水氾濫シミュレーションを実施する。また、ダバオ川上流については、開発による洪水リスクの増加を抑制するため、想定浸水区域の設定を行う。

(1) 洪水氾濫シミュレーション

1) 検討対象区間

検討対象区間は、それぞれ本プロジェクトにおいて河川測量を実施した以下の区間とする。

表 2.7.18 氾濫シミュレーション検討対象区間

River	River Station of calculate reach	Reach length (km)	Number of Cross-section	Survey date
Davao	sta.0+000 ~ sta.23+000	23.09	52	Apr.2019
Matina	sta.0-165 ~ sta.13+500	13.68	37	Mar.2019
Talomo	sta.0+072 ~ sta.11+000	10.84	25	Feb.2019

出典：プロジェクトチーム

2) 検討対象流量

河道計画は計画規模を100年と想定していることから、5年、10年、25年、50年、100年の5ケースの確率流量を検討対象とし、降雨流出解析モデルによって算定された検討対象区間上流端流量及び検討対象区間における分割流域流出量を考慮して河道1次元不定流解析を実施し、氾濫流量は2次元不定流解析を実施する。

3) 粗度係数

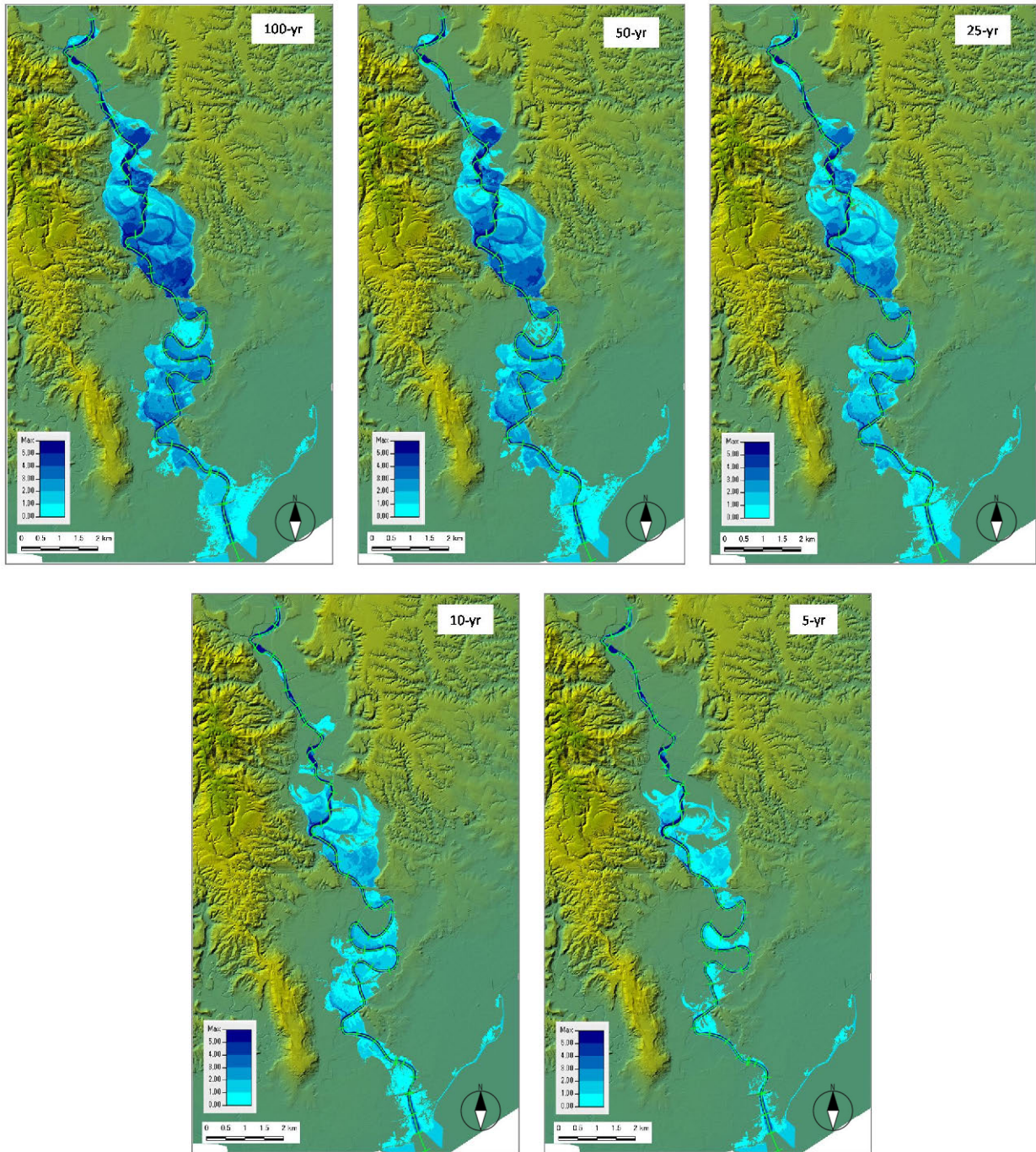
河道1次元不定流解析に適用する粗度係数は、流出モデルの検証において検証洪水における氾濫区域の再現性を確保出来る様に0.030~0.036の値を設定した。氾濫原については、一般値である0.06を適用した。

4) 河口水位

計画降雨波形に対する河口潮位変動を定めることは出来ないため、解析における河口水位は一律気候変動の影響を加味したMHHWL (MSL+0.981m)を与える。

5) 氾濫解析結果

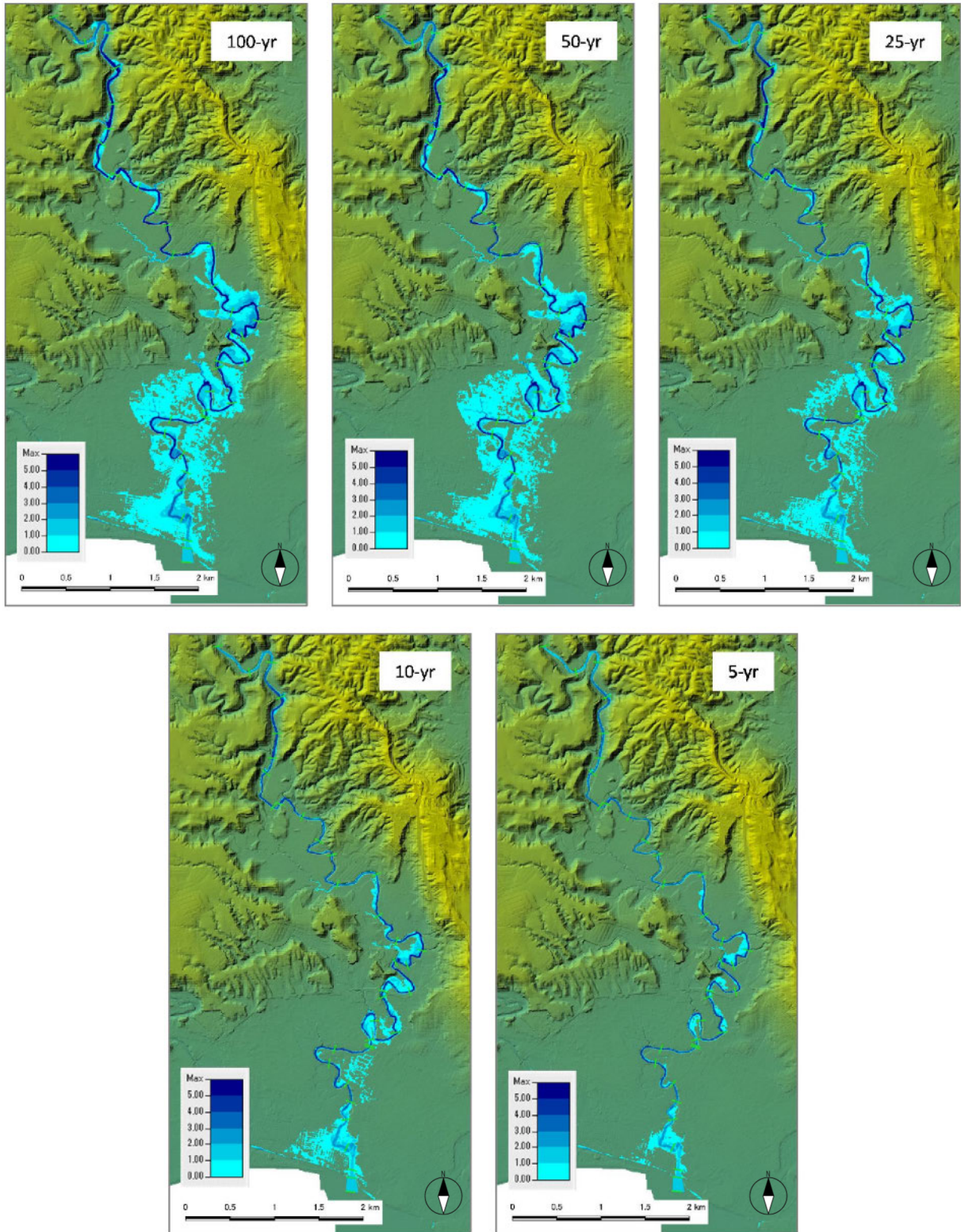
超過確率洪水毎の氾濫解析結果を図2.7.27から図2.7.29に示す。



出典：プロジェクトチーム

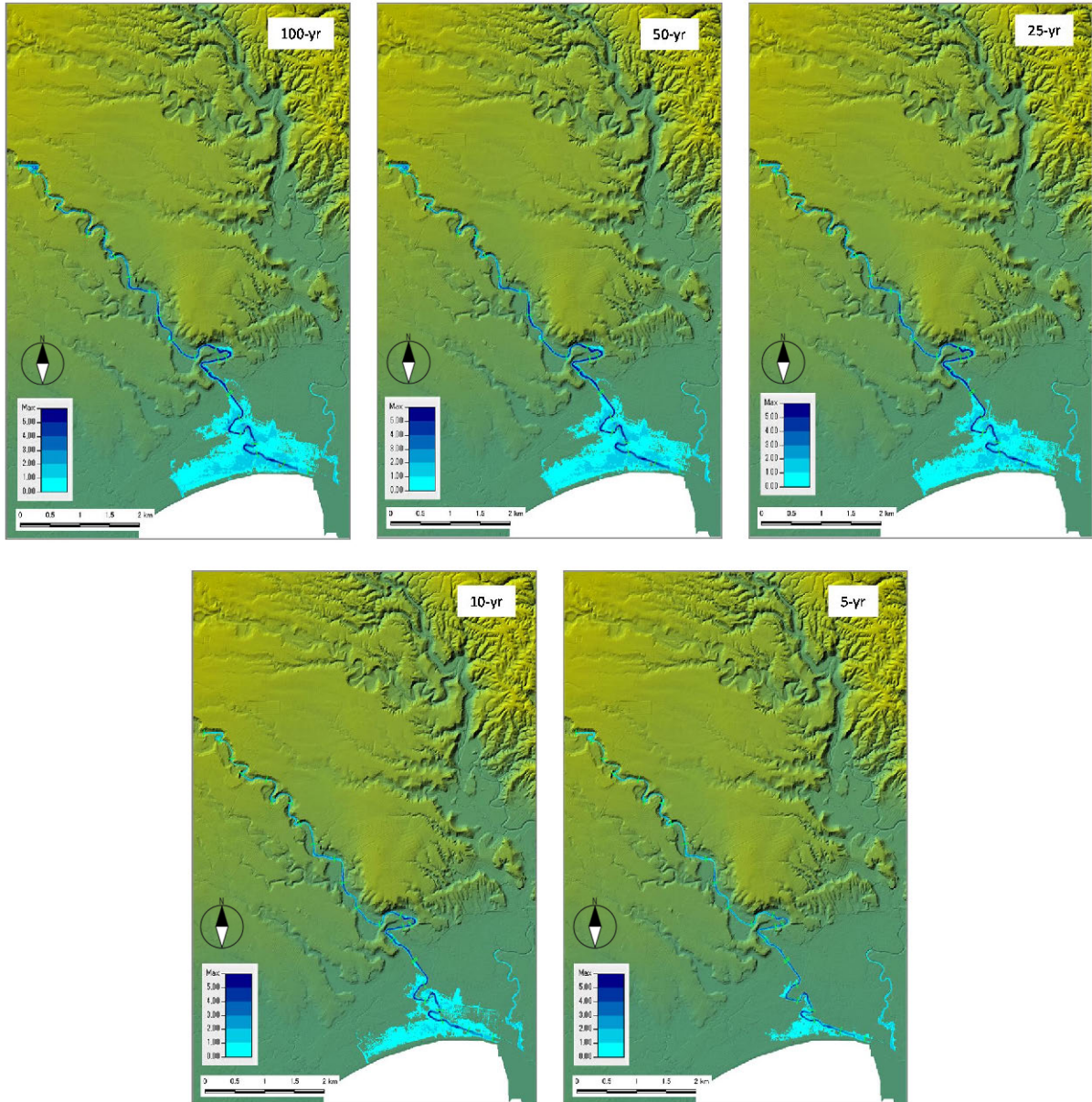
図 2.7.27 ダバオ川超過確率別氾濫解析結果

氾濫解析結果から、Crocodile Park の上流において河川洪水リスクが高い事が分かる。既存住宅地である Jade Valley は、標高が低く浸水常襲区域となっている他、今後開発が予定されている区画が数多く有ることから、洪水対策は不可欠である



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.28 マティナ川超過確率別氾濫解析結果



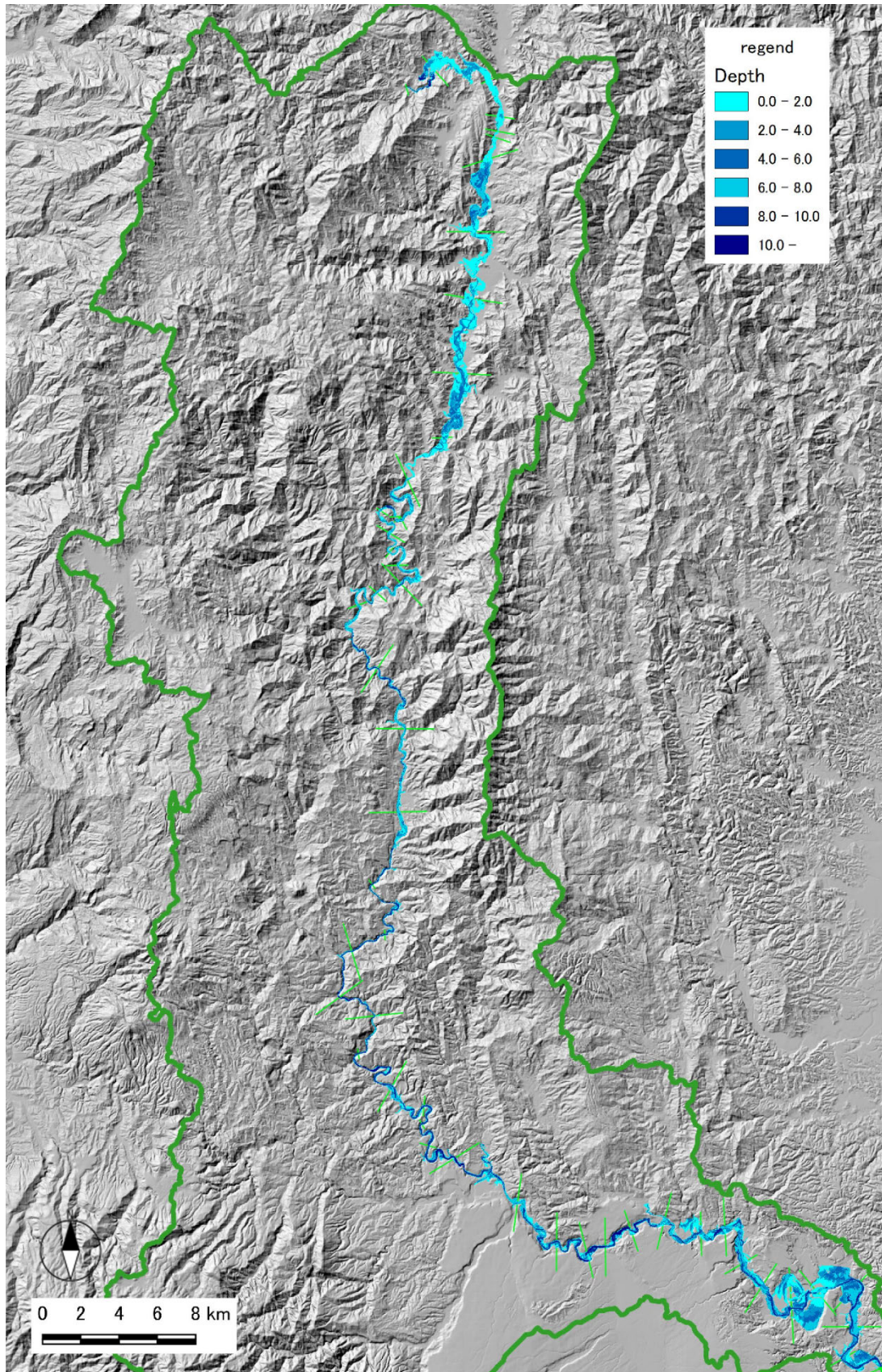
出典：プロジェクトチーム

図 2.7.29 タロモ川超過確率別氾濫解析結果

マティナ川、タロモ川では、10年から25年確率で既存市街地に浸水が予想されることから、これらの浸水被害の解消が求められる。

(2) ダバオ川上流洪水リスク

ダバオ川上流は、現時点で大規模な開発予定は無いものの、事前に河川洪水リスクの高い区域を保全区域として指定することで、将来的に河川洪水リスクを増加させない開発が望まれる。このような観点から、当該区間の想定浸水区域の設定を行った。100年確率洪水による想定浸水区域を図2.7.30に示す。解析の結果、流端から25km程度までは、谷底平野が形成されており、浸水の発生が想定されるため、開発は抑制されるべきであると判断される。保全区域の設定に関しては、3章において詳述する。



出典：プロジェクトチーム

図 2.7.30 ダバオ川上流想定浸水区域（100年確率洪水）

2.7.9 気候変動影響分析

フィリピン国は島嶼国であり沿岸地域に人口資産が集中していることから、特に海水面の上昇に対して大きな影響を受ける。気候変動リスクに対して、フィリピン国政府は2009年に共和国法第9729号 気候変動法を制定し、政府機関の政策・計画に気候変動への対策を含めるよう定めた。この法令に基づき、気候変動に関する政策のモニター・評価を目的とした気候変動委員会（CCC）が設立された。また地域社会と生態系システムの適応力強化を目標とした国家気候変動枠組戦略（NFSCC, 2010-2022）、そして実現可能な適応策と緩和策と統合し、国家戦略に基づく行動プログラムを具体化することを目標とした国家気候変動行動計画（NCCAP, 2011-2028）が策定された。

さらに、豊かで強靱な地域社会の構築を目指すフィリピン開発計画（2017-2022）においても、適応と緩和に言及しながら、それぞれのセクターごとの気候変動に対する対応策を示している。洪水を含む防災セクターでは対応策として、ハザードマップの整備や洪水・排水 M/P 整備、防災関連機関の能力強化、設計・維持管理の工学的基準の見直し、インフラ・家屋のレジリエンス強化を挙げている。ここでは、フィリピン国における気候変動に対する取組を整理すると共に、本プロジェクトにおける気候変動による影響の取り扱いを検討する。

(1) フィリピン国における気候変動に係る過去の研究

フィリピンでは過去65年(1951-2015)で年平均気温が0.68℃上昇している。年最高気温と年最低気温もそれぞれ0.33℃、0.98℃上昇しており、今後さらなる気温上昇が予想される。降雨予測では、極端な気象現象の増加や季節別降雨量の大きな変化が見込まれるが、ミンダナオ島中心部の降雨量減少を除けば、フィリピン国全体での予測中央値は自然の降雨量変動幅に収まる。海面水位については、1993年から2015年にかけてフィリピンの一部地域では、世界平均のほぼ2倍のスピードで上昇している⁵。

また、フィリピン国では、英国 Hadley Centre が開発した 25km 解像度の Providing Regional Climates for Impacts Studies (PRECIS) model 等を用いて DOST-PAGASA が気候変動による影響を予測している。表 2.7.19 に DOST-PAGASA によるフィリピン国全体の気候変動の影響予測内容をまとめる。

表 2.7.19 PAGASA による気候変動影響予測

影響予測の内容
<ul style="list-style-type: none"> 2050 年頃には年平均気温が 0.9-1.9℃ (RCP4.5) または 1.2-2.3℃ (RCP8.5) 上昇、2080 年頃には 1.3-2.5℃ (RCP4.5) または 2.5-4.1℃ (RCP8.5) 上昇する。 フィリピン国内の多くの地域で、より極端な傾向を示す RCP8.5 シナリオにおいて、季節別予想降水量が最大乾燥ケース*では約-40%、最大湿潤ケース**では約 40%増加する。 予想降水量の中央値のケース***では、フィリピン全土で年間降水量が減少する傾向にあり、特にミンダナオ島では減少が顕著である。 ミンダナオ島においては、最大湿潤ケースでは 12-2 月の降水量が 20%程度増加し、最大乾燥ケースでは 9-11 月の降水量が約 40%減少する。 熱帯低気圧の発生頻度は維持もしくは減少するものの、勢力は強くなる。 2100 年までに最大約 0.7m の平均海面上昇が予想される。

*モデル予想の 10 パーセンタイルの値で、最も降水量が少なくなるケース

**モデル予想の 90 パーセンタイルの値で、最も降水量が多くなるケース

***モデル予想の 50 パーセンタイルの値で、予想降水量の中央値を示したケース

出典：DOST-PAGASA, Observed Climate Trends and Projected Climate Change in the Philippines を元に作成

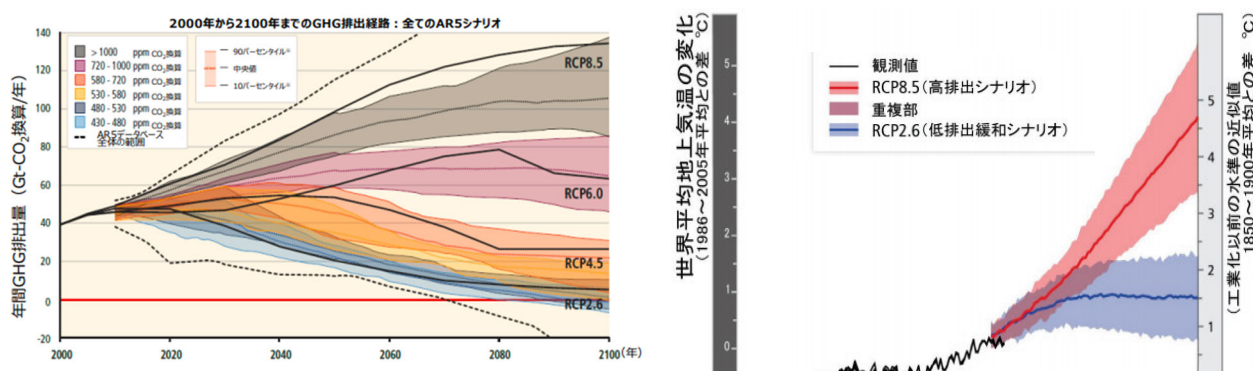
⁵ Observed Climate Trends and Projected Climate Change in the Philippines, DOST-PAGASA, 2018

気候変動影響予測は IPCC 第 5 次報告書の RCP シナリオに基づいて行われている。表 2.7.20 に示す 4 つのシナリオは、それぞれ異なる将来の温室効果ガス (GHG) 濃度の安定化レベルと、そこに至るまでの経路により分類されている。また、図 2.7.31 はシナリオごとの温室効果ガス排出量と平均地上気温の変化を表す。DOST-PAGASA では 4 シナリオのうち RCP4.5 と RCP8.5 の 2 つのシナリオを選定し影響予測を行っている。

表 2.7.20 気候変動予測における RCP シナリオ

シナリオ名称	2100 年における温室効果ガス濃度 (CO ₂ 濃度に換算)	濃度の推移
RCP 2.6	低位安定化シナリオ 2100 年以前に約 490ppm でピーク、その後減少	ピーク後減少
RCP 4.5	中位安定化シナリオ 約 650ppm (2100 年以降安定化)	安定化
RCP 6.0	高位安定化シナリオ 約 850ppm (2100 年以降安定化)	安定化
RCP 8.5	高位参照シナリオ 約 1,370ppm を超える	上昇が続く

出典：環境省 IPCC Report Communicator



出典：環境省 IPCC Report Communicator

図 2.7.31 温室効果ガス (GHG) 排出量と平均地上気温の変化

(2) 対象地域周辺での気候変動の影響予測

1) 平均気温

21 世紀中頃 (2036~2065 年) における、対象流域のまたがる 3 州の予想平均気温変化量を表 2.7.21 に示す。予想平均気温は、20 世紀終わり (1971~2000 年) と比べて 3 州において RCP4.5 シナリオで年平均 1.2 - 1.3°C の上昇、RCP8.5 シナリオで 1.6 - 1.7°C の上昇と予測されている。

表 2.7.21 予想平均気温変化量

Projected Mean Temperature (2036-2065)											
Scenario	Province	DJF		MAM		JJA		SON		Average	
		Change	Projected value	Change	Projected value	Change	Projected value	Change	Projected value	Change	Projected value
Moderate Emission (RCP4.5)	Davao del Sur	1.2	28.1	1.2	29.0	1.2	28.1	1.2	28.3	1.2	28.4
	Davao del Norte	1.2	27.9	1.2	29.0	1.2	28.6	1.2	28.6	1.2	28.5
	Bukidnon	1.3	26.4	1.3	27.8	1.2	27.0	1.2	26.9	1.3	27.0
High Emission (RCP8.5)	Davao del Sur	1.6	28.5	1.7	29.5	1.6	28.5	1.6	28.7	1.6	28.8
	Davao del Norte	1.6	28.3	1.7	29.5	1.6	29.0	1.6	29.0	1.6	29.0
	Bukidnon	1.7	26.8	1.8	28.3	1.6	27.4	1.6	27.3	1.7	27.5

出典：DOST-PAGASA, Observed Climate Trends and Projected Climate Change in the Philippines を元に作成

2) 降水量

21 世紀中頃（2036～2065 年）における、3 州の予想降水量変化を表 2.7.22 に示す。予想降水量は 20 世紀終わり（1971～2000 年）の観測値と比べて、年間降水量で、RCP4.5 シナリオで 97.4 - 297.7mm の減少、RCP8.5 シナリオで 18.4 - 136.5mm の減少と予測されている。加えて、RCP4.5 シナリオでは年間を通じて減少傾向にあり、9 月～11 月では 14.5～26.5%と減少幅が大きい。RCP8.5 シナリオでも Davao del Sur の 3 月から 8 月において 2.1～4.4%の増加が予測されるのみで、そのほかは、いずれも減少傾向を示す結果となっている。

また、台風については、頻繁に台風が通過する地域において発生頻度は減少するが、より強度が高くなると予測されている。

表 2.7.22 予想降雨変化量

Projected Total Rainfall (2036-65)											
Scenario	Province	DJF		MAM		JJA		SON		Annual Total	
		Percent change	Projected value	Percent change	Projected value	Percent change	Projected value	Percent change	Projected value	Percent change	Projected value
Moderate Emission (RCP4.5)	Davao del Sur	-3.6	277.9	-4.1	332.9	-1.8	485.3	-14.5	378.1	-6.2	1474.2
	Davao del Norte	-3.3	616.1	-4.6	473.4	-9.4	485.1	-20.4	442.8	-9.3	2017.4
	Bukidnon	-3.2	319.2	-9.7	303.1	-16.3	547.4	-26.5	411.2	-15.8	1580.9
High Emission (RCP8.5)	Davao del Sur	-0.9	285.6	2.1	354.2	4.4	515.6	-10.1	397.8	-1.2	1553.2
	Davao del Norte	-2.1	623.6	-2.4	484.5	-2.8	520.4	-11.0	495.2	-4.6	2123.7
	Bukidnon	-7.4	305.3	-6.7	313.1	-4.4	625.1	-10.9	498.6	-7.3	1742.1

*DJF は 12 - 2 月、MAM は 3 - 5 月、JJA は 6 - 8 月、SON は 9 - 11 月を、それぞれ示す。

出典：DOST-PAGASA, Observed Climate Trends and Projected Climate Change in the Philippines を元に作成

3) 短期降雨強度

本プロジェクトでは、PAGASA より、PAGASA が実施した RCM モデルの出力結果について、Davao 観測所地点のバイアス補正済みデータセットの年最大日雨量データ（未公開）を入手した。バイアス補正済みデータではあるが、異常値を含む場合があり、統計解析にあたっては異常値を棄却検定して使用した。

最大 11 モデルによるバイアス補正済み RCM 出力結果それぞれについて統計解析を行って確率雨量を推定し、そのモデル毎の結果のアンサンブル平均結果を表 2.7.23 に示す。さらに、過去気象（1971-2000）の計算値に対する将来気象の推定値の比を表 2.7.24 に示す。

表 2.7.23 年最大日雨量の確率雨量の推定結果

Return Period (year)	Probable Rainfall (mm/day)										
	2	3	5	10	20	30	50	80	100	150	200
Observed 1971-2000	99.0	112.4	127.3	146.1	164.1	174.4	187.3	199.2	204.8	215.0	222.2
Historical 1971-2000	95.1	108.0	122.3	140.3	157.6	167.5	179.9	191.3	196.7	206.5	213.4
RCP45 2036-2065	91.7	107.7	125.5	147.9	169.4	181.7	197.2	211.3	218.0	230.1	238.7
RCP45 2070-2099	92.4	108.3	125.9	148.1	169.3	181.6	196.9	210.9	217.5	229.5	238.0
RCP85 2036-2065	94.3	108.7	124.9	145.1	164.5	175.7	189.6	202.4	208.5	219.5	227.3
RCP85 2070-2099	97.0	112.4	129.6	151.1	171.8	183.8	198.7	212.3	218.7	230.4	238.7

出典：PAGASA 提供のデータを基にプロジェクトチーム作成

表 2.7.24 年最大日雨量の確率雨量の過去気象の計算値に対する将来気象の推定値の比

Return Period (year)	Probable Rainfall (mm/day)										
	2	3	5	10	20	30	50	80	100	150	200
Historical 1971-2000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RCP45 2036-2065	0.96	1.00	1.03	1.05	1.07	1.08	1.10	1.10	1.11	1.11	1.12
RCP45 2070-2099	0.97	1.00	1.03	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.11	1.12
RCP85 2036-2065	0.99	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06
RCP85 2070-2099	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.12	1.12

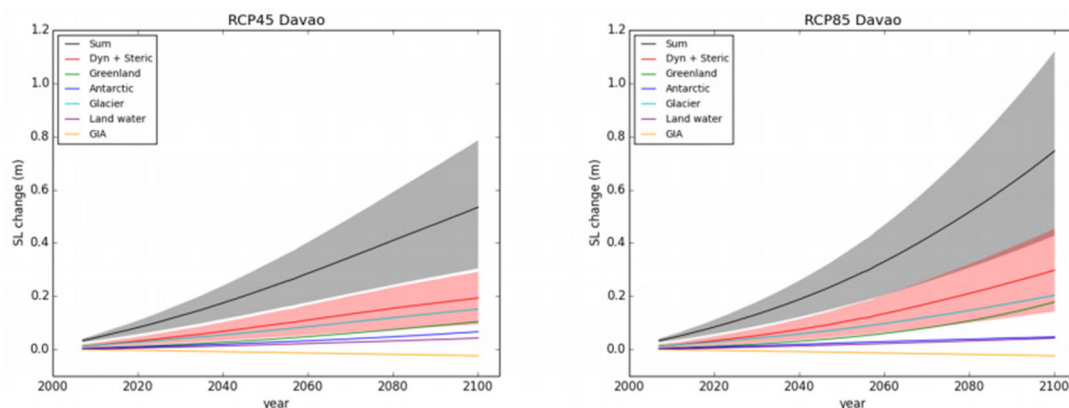
出典：PAGASA 提供のデータを基にプロジェクトチーム作成

過去気象に対する将来気象の確率雨量の推定値は増加傾向にあり、リターンペリオドが大きい極端事象ほど増加率は大きくなる傾向にある。RCP4.5、RCP8.5 シナリオともに、21 世紀中頃（2036～2065 年）及び 21 世紀終わり（2071～2100 年）で、2 年確率では増加率ゼロ、100 年確率で 10% 増程度となる。

4) 平均海面水位

ダバオにおける平均海面水位変化を図 2.7.32 に示す。2036～2065 年において、平均海面水位は RCP4.5、RCP8.5 の両方のシナリオで、2000 年頃と比較して 0.2m 程度の上昇が予想されている。また、2100 年には RCP4.5 シナリオで約 0.5m、RCP8.5 シナリオで約 0.7m の海面上昇が予想されている。

なお、上記の内平均海面の上昇量については、本項での分析結果を参照しつつ、海岸災害を取り扱う 2.10 節で更なる検討を行っている。



出典：Met Office, Projections of mean sea level change for the Philippines

図 2.7.32 平均海面水位変化

(3) 本プロジェクトにおける気候変動の想定

本プロジェクトにおける M/P 計画目標年として想定される 2045 年、及び計画目標年までに整備される施設の効果発現期間を考慮して、21 世紀中頃(2036～2065 年)における気候状況への配慮が必要と考えられる。

2036 年～2065 年における気候変動による影響については、主として PAGASA による検討結果を用いた分析結果として、中位安定化の RCP4.5 シナリオを基に、以下のように想定する。

- ✓ 平均気温は、2000年頃の気候状況と比べて平均1.2℃上昇するものと想定する。
- ✓ 降水量は、気候変動予測結果で減少傾向を示すが、豪雨時の降雨強度としては増加傾向にある。降水量については、2019年現在の降雨状況から年最大日雨量の確率雨量が10%増加するものと想定する。
- ✓ 平均海面水位は、2000年頃の気候状況と比べて0.2m、2019年時点と比べて0.1m上昇するものと想定する。

2.7.10 河川洪水における主要課題

基礎調査における、現地踏査、洪水痕跡調査、水文水理解析、関係者へのインタビュー、ワークショップのアウトプット等をもとに抽出された河川洪水の改善に係る主要課題を以下に示す。

(1) 断続的かつ不統一な設計条件で進められている対策整備状況の改善

対象 3 河川では、過去に部分的な洪水対策として一部区間で堤防・護岸の建設が実施され、2017 年より DPWH の地方事務所による大規模な堤防・護岸工事が進行中であるが、これらの工事では、基準面の標高が工事区間ごとに設定され、縦断的に堤防高の連続性が確保できない状況となっており、統一した基準高および設計条件による対策整備が必要である。

(2) 大規模出水に対する不十分な流下能力の増強

対象 3 河川の現況流下能力は 2 年確率程度以下であり、十分な流下能力を持っておらず、その増強が求められている。

(3) 減少しつつある自然の遊水機能の保全・回復

対象 3 河川の下流域では都市開発が急速に進んでおり、河川沿いの低平地や流域内の湿地や窪地の開発により、流域内の自然の遊水機能は減少傾向にある。自然の遊水機能を保全しつつ、遊水機能の確保と増強のための人工的な貯留施設の導入が必要である。

(4) 河川沿いおよび周辺の開発と調和した都市計画的な視点での対策の実施

対象 3 河川の下流域では都市開発が急速に進んでいる。ダバオ市では洪水氾濫想定地域での開発にあたって土地のかさ上げを条件として開発許可を与えるなどの活動を行っているものの、一部の土地のかさ上げが他の地域での排水不良や遊水効果の低下を招き洪水リスクを増大させることも考えられる。他方、河川蛇行部のショートカット対策を実施し、実施後の旧河道を移転地として活用するなど、洪水対策を行うと共に新たな土地の整備を進めることも可能と考えられる。洪水リスク削減の視点のみならず、ダバオ市の開発計画と調和した対策が必要である。

(5) 土地利用変化および気候変動の影響による流出増加の可能性の考慮

2018 年に実施された JICA 支援によるダバオ市のインフラ開発計画は 2045 年を計画目標年とし、2045 年時点の将来土地利用図を想定しており、対象 3 河川の保全対象となる下流区間では流出係数が増加することが想定される。また、2.7.9 節に示されるように、気候変動の影響により、21 世紀中頃（2036 年～2065 年）では降雨強度は現在気候よりも 10%程度増加することが想定される。

このような土地利用変化と気候変動の影響により流出量が増加することが想定され、これを踏まえた対策の立案が必要となる。構造物対策としては、こうした想定される変化を踏まえた洪水流量の設定を行って、対策を検討する必要がある。

(6) 洪水リスクエリアにおける開発規制

対象 3 河川の河川沿いでは、洪水リスクが高いにもかかわらず、開発圧力にさらされている。ダバオ市の土地利用計画においては、河川周辺の洪水リスクエリアについては、洪水リスクを踏まえた土地利用計画が提案されてきており、開発の許認可でも洪水リスクを踏まえた審査が行われている。本 M/P における土地利用の変化や気候変動を踏まえた計画条件での洪水リスクエリアは既存の範囲とは異なってくるのが考えられ、また段階的な対策の実施による将来的な洪水リスクの変化も考えられる。本 M/P の計画条件での洪水氾濫リスクエリアの特定と洪水リスクマップの作成（既存の洪水リスクマップの更新）および周知、加えて特定された洪水リスクエリアや対策の実施が想定される地域での開発規制や土地利用規制が必要である。

(7) 洪水関連情報の共有

対象 3 河川では、小規模のものを含めると毎年のように洪水が発生している。ダバオ市では市の災害リスク削減・管理局（ダバオ CDRMO）が PAGASA のダバオ川洪水予警報センターとの協力の

下で住民（バランガイ）に洪水関連情報の伝達を行っているものの、観測所の数が十分でなく精度は十分ではない。また、洪水ハザードマップが作成されているが、複数の機関が異なる手法や精度で作成したものとなっており、バランガイ事務所に配布されているものの十分に活用されていない状況にある。洪水関連情報の改善・更新および情報の提供・共有体制の強化が求められている。

(8) 違法伐採や不法投棄・不法居住などの人為的な要因の考慮

対象流域では近年開発に伴う森林伐採が問題視され、また、河川への不法投棄や河川沿いへの不法居住は洪水リスクを高める要因として認識されている。これらの人為的要因を踏まえた対策検討が必要である。

(9) 不十分な計画検討能力の改善

堤防・護岸工事が異なる設計条件・計画高水流量で工事区間ごとに計画・施工され、よって堤防の法線や天端高が一定しないなど、現地では、流域を俯瞰した水系一貫の計画検討の視点およびそのような計画を策定する能力が不十分であり、計画能力の改善が必要と考えられる。

(10) 不十分な維持管理活動の改善

蛇籠堤防の部分的な沈下や吸出しによる堤防背面土の陥没あるいは蛇籠護岸前面部の部分崩壊といった状態が長期間にわたって放置されているなど、構造物の補修および補修の必要性を把握するための巡回といった維持管理活動が十分に行われていない状況が散見される。維持管理活動の改善が必要である。

(11) 用地取得や移転交渉・移転地整備を含む事業の実施体制を踏まえた関係機関の調整

フィリピン国では、住民移転に関わる恒久的な監督機関は設置されておらず、基本的に実施機関（本事業では DPWH）と地方政府（ダバオ市およびバランガイ）が中心的役割を果たし、その他、住宅開発では国家住宅公社が、非正規住民の移転、生計回復に関しては、大統領の直轄機関他が関与する。対象 3 河川の事業では、用地取得や住民移転が実施にあたっての重要課題になることが想定され、移転地の整備を含め、確実な事業実施のための関係機関の調整が必要である。

2.8 流域の生産・流出土砂量

2.8.1 概説

河道改修施設の治水機能の維持の観点から、対象河川の長期的な河床変動傾向を把握するため、流域の生産・流出土砂量に関する調査を行う。現時点までにおいて DPWH RO や DEO 等の河川管理者から、河床変動による護岸等河川管理施設の機能損失に関する情報は聞かれないが、ダバオ川下流など河床材料が細かく、上流域からの生産・流出土砂量の増減の影響を受けやすい区間では、橋脚基礎が露出している橋梁も見られる。また、河口付近では現在でも定期的な維持浚渫が実施されているが河道改修により流出土砂量が増加する場合には、河口閉塞が顕著となる事が懸念される。M/P 策定に当たっては、これら流域の生産・流出土砂量に係る問題を踏まえる事が肝要である。

2.8.2 対象流域の土砂生産状況に関する既往調査

対象流域の土砂生産状況に関する既往調査として、ダバオ湾における土砂流出量に関して 2003 年の実績から平均 5.3kg/s という調査結果が得られている⁶。また、DPWH RO の記録によると 2001 年から 2004 年のダバオ川の流出土砂量は、最大で 70kg/s、平均では 10kg/s と推定されている。

DPWH RO では、過去にダバオ市内を流れる河川を対象に流送土砂量の観測を実施しており、対象 3 河川のうちダバオ川とタロモ川で観測が行われている。表 2.8.2 に 2000 年から 2003 年の調査結果を示す。この観測結果を元に流量 (Q) と流砂量 (Qs) との関係性を求めた結果を図 2.8.1 に示す。ここで、送流砂の比重は河床材料調査の結果より、2.8 (g/cm³) とした。流送土砂量観測結果より推定される Q-Qs 関数を表 2.8.1 に示す。

表 2.8.1 流送土砂量観測結果から推定した Q-Qs 関数

河川	流送土砂量
ダバオ川	$Q_s = 4.765E-07Q^{1.9705}$
タロモ川	$Q_s = 5.418E-07Q^{1.8303}$

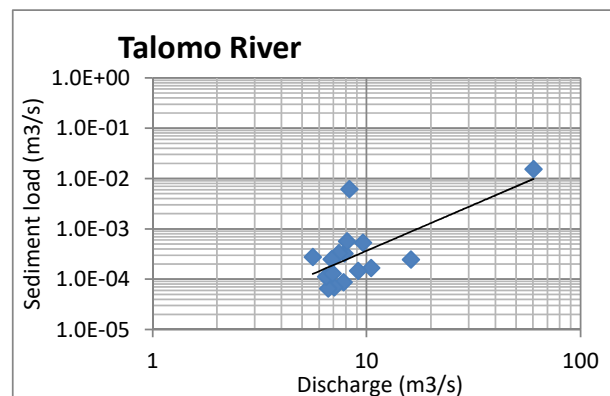
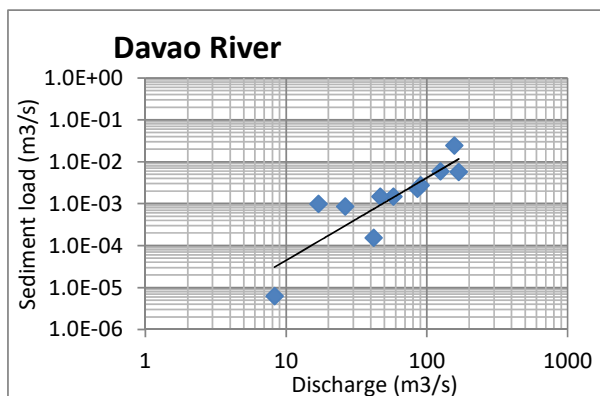
出典：プロジェクトチーム

⁶ Orient Integrate Development Consultants, INC., “Formulation of Davao River Basin Management and Development Plan”, Feb.2015,

表 2.8.2 流送土砂量観測結果

Date	River	Location	Discharge measurement (m3/s)	Wt. of Sample (g)	Wt. of Sediment (g)	Concentration by Weight (ppm)
2000/01/11	Talomo	Talomo	7.80	385	0.012	31.169
2001/06/27	Talomo	Tugbak	9.62	247	0.038	153.846
2001/07/18	Davao	Lacson	156.43	254	0.110	433.071
2001/08/08	Davao	Lacson	16.97	253	0.041	162.055
2001/08/08	Talomo	Tugbak	7.87	253	0.029	114.625
2001/09/04	Davao	Lacson	41.94	388	0.004	10.309
2001/09/04	Talomo	Tugbak	5.61	377	0.052	137.931
2001/10/07	Talomo	Tugbak	7.06	476	0.013	27.311
2001/10/11	Davao	Lacson	8.31	476	0.001	2.101
2001/11/07	Davao	Calinan	57.78	474	0.034	71.730
2001/11/07	Talomo	Tugbak	8.31	477	0.981	2056.604
2002/02/20	Talomo	Marilog	60.21	475	0.340	715.789
2002/02/20	Talomo	Marilog	16.15	472	0.020	42.373
2002/03/13	Talomo	Marilog	6.61	474	0.013	27.426
2002/07/12	Talomo	Tugbak	6.47	474	0.023	48.523
2002/08/29	Talomo	Tugbak	10.51	472	0.021	44.492
2002/08/30	Davao	Lacson	125.01	474	0.063	132.911
2002/09/24	Davao	Lacson	168.33	474	0.045	94.937
2002/09/24	Talomo	Tugbak	6.92	478	0.025	52.301
2002/10/16	Davao	Lacson	85.75	473	0.035	73.996
2002/10/16	Talomo	Tugbak	8.10	472	0.092	194.915
2002/11/20	Davao	Lacson	90.28	472	0.040	84.746
2002/11/20	Talomo	Tugbak	7.43	469	0.058	123.667
2002/12/23	Davao	Lacson	46.70	473	0.042	88.795
2002/12/23	Talomo	Tugbak	6.88	473	0.048	101.480
2003/04/25	Davao	Lacson	26.22	472	0.043	91.102
2003/04/25	Talomo	Tugbak	9.14	473	0.021	44.397

出典：DPWH RO-XI



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.1 流量 (Q) - 流送土砂量 (Qs) 曲線推定図

ダバオ川およびタロモ川について、観測結果より得られた Q-Qs 関係を用いて流送土砂量の推定を行った。表 2.8.1 で示した関数を用いて 2002 年から 2009 年までの日平均流量データから、各年の推定流送土砂量を算出すると共に、各河川の年平均流送土砂量を算出した。

表 2.8.3 推定年間流送土砂量

year	Flow volume (mil.m3/yr)		Sedimentload (ton/yr)	
	Davao	Talomo	Davao	Talomo
2002	3,323	283	732,172	34,305
2003	3,095	321	532,313	39,476
2004	2,927	272	478,423	28,895
2005	2,116	259	210,825	25,379
2006	2,565	260	391,174	31,261
2007	2,439	225	337,083	21,797
2008	3,144	260	593,785	29,379
2009	3,624	308	658,303	42,248
average	2,904	274	491,760	31,593

出典：プロジェクトチーム

参考として、ダバオ市の環境天然資源局 (CENRO) が管理する商業土砂採取管理情報を元に、2018 年における土砂採取量を整理した。ここで、土砂採取許可申請量と実際の採取量の差異は、最小土砂採取許可量が 10,000m³/年である事に加え、許可申請したものの実際には採取を行わなかった事業者がいるためである。

CENRO から土砂採取の許可を得るためには、許可申請者が DPWH 及び DEO に対して土砂採取地において採取によって影響を受ける河川管理施設が無いことを証明する必要がある。そのため、許可申請者は、申請する土砂採取量を採取しても河道及び河川管理施設が適切に維持される旨を示した鉱山技師による調査報告書を提出することが義務づけられている。

表 2.8.4 2018 年における商業土砂採取量

River Name	Number of Permittee	Approved Volume (m3)	Extracted Volume (m3)	Extracted Volume (ton)
Davao River	61	596,200	267,109	747,905
Matina River	4	40,000	2,691	7,535
Talomo River	1	10,000	8,828	24,718

出典：CENRO

調査報告書では、河床材料の採取可能量は、次式によって推定されている。

$$v = A \times T$$

ここで、v = 推定堆積量、A = 採取面積、T = 堆積厚である。堆積厚は鉱山技師が現地調査によって推定する。

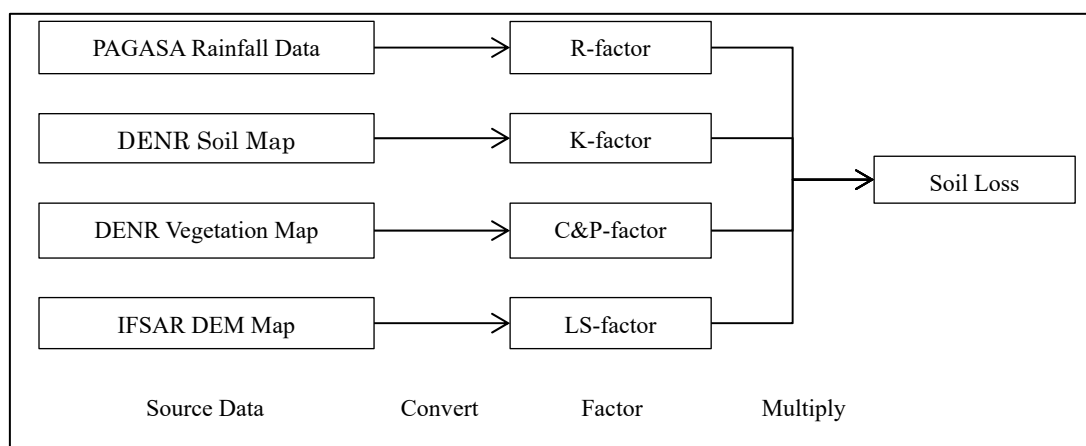
2.8.3 対象流域の生産・流出土砂量の推定

(1) 流出土砂量推定法 (USLE 式)

本調査では、生産・流出土砂量の推定にあたり、広く一般に用いられている USLE 式(Universal Soil Loss Equation)を用いる。USLE 式は、対象地域の降雨、地形・地質、植生から流出土砂量を推定する経験式であり、次式によって与えられる。

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

ここで、A は年間土壌流出予測量 (ton/ha/year)、R は降雨係数、K は土壌係数、LS は地形係数、C は作物係数、P は保全係数である。USLE 式による流出土砂量推定の概念図を図 2.8.2 に示す。



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.2 USLE 式を用いた流出土砂量推定

1) 降雨係数 (R)

降雨による土壌侵食は降雨係数(R)で表される。降雨係数(R)は連続降雨（無降雨時間 6 時間以内）の降水量が 12.7mm 以上、または 15 分当たりの降雨強度が 6.35mm 以上と定義される侵食性降雨の運動エネルギー (E) とその降雨の最大 30 分間降雨強度 I30 の積 E*I30 の年間合計値である。しかし、本調査では日雨量のみが利用可能であったため、日雨量資料による降雨係数(R)の推定を行える David の経験式⁷にしたがい降雨係数(R)を求めた。

$$R = a \cdot \sum_{i=1}^n DP_i^m$$

ここで DPi は 25mm 以上の日雨量、i は日数、a、m は経験的係数 (a=0.002, m=2) である。

⁷ Soil and Water Conservation Planning: Issues and Recommendations, David, W.P, Journal of Pilipine Development, No.26, Vol.XV, No.1, 1988

対象流域周辺の3つのPAGASA雨量観測所(Davao City、Tagum、Malaybalay)における2001年から2018年のデータを用いて降雨係数(R)を算出した。ダバオ川流域に関しては3観測所のデータからティーセン法による流域平均値を適用した。マティナ川、タロモ川流域に関しては、近傍観測所によるティーセン法において占有率が1.00となるDavao City観測所のデータを用いた。算定の結果、降雨係数(R)はそれぞれ、ダバオ川流域で71.6、マティナ川、タロモ川流域で113.1となった。

2) 土壌係数 (K)

土壌係数(K)は土壌の浸食をうける程度を表す。本調査ではDENRの土壌分布図をもとに、表2.8.5に示した各係数をそれぞれの土壌に適用した。対象流域内における土壌係数の分布を図2.8.3に示す。

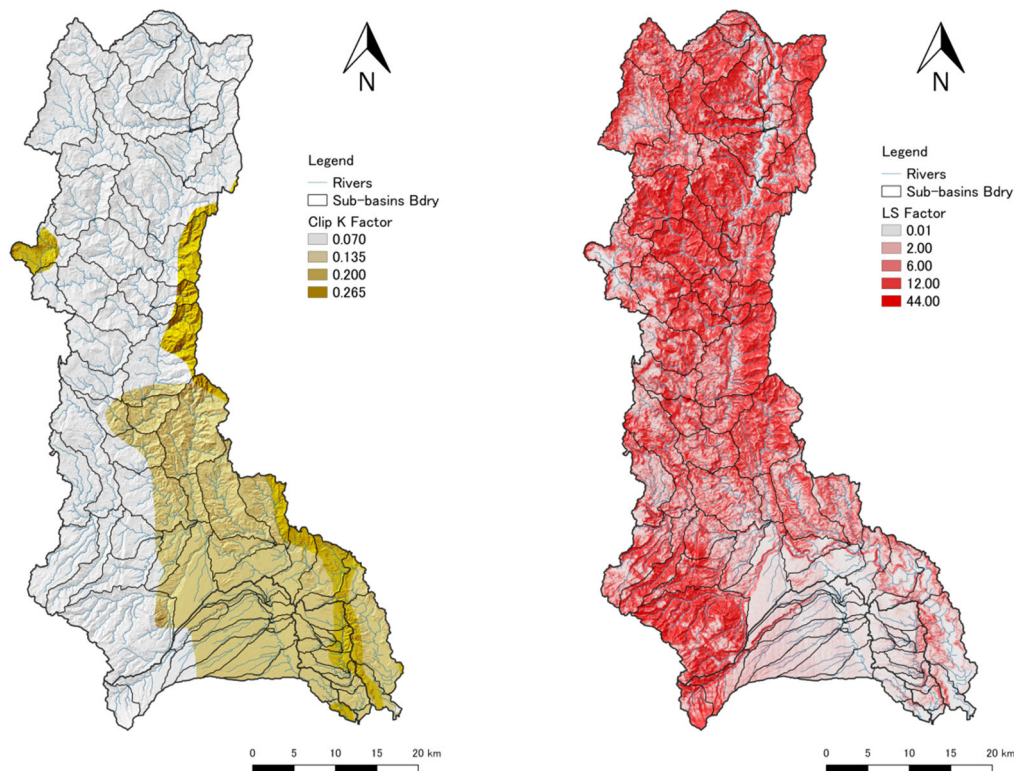
表 2.8.5 土壌分類と土壌係数

種類	DENRによる分類	土壌係数
ローム質の微砂	Mountain Soil (undifferentiated)	0.070
砂質ローム	Camasan Sandy clay loam	0.265
ローム	-	0.368
泥質ローム	-	0.420
粘土質ローム	La Castellana clay loam, Minta clay loam	0.253
泥質粘土ローム	San manuel silty clayloam	0.315
泥質粘土	-	0.230
砂質粘土	-	0.145
粘土	Mtina Clay, Tugbok Clay	0.183

出典 : David, W.P.: Soil and Water Conservation Planning: Issues and Recommendations, Journal of Philippine Development, No.26, Vol.XV, No.1, 1988.

3) 地形係数 (LS)

地形係数(LS)は斜面長Lと勾配Sによって求められる。本調査では、地形係数はIFSARのデジタル標高モデル(DEM)データを元に作成した90mメッシュのDEMをもとにGISの拡張機能(Desmet & Govers, 1996)を用いて求めた。図2.8.3に対象流域内における地形係数の分布を示す。



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.3 土壌係数(K)および地形係数(LS)の分布

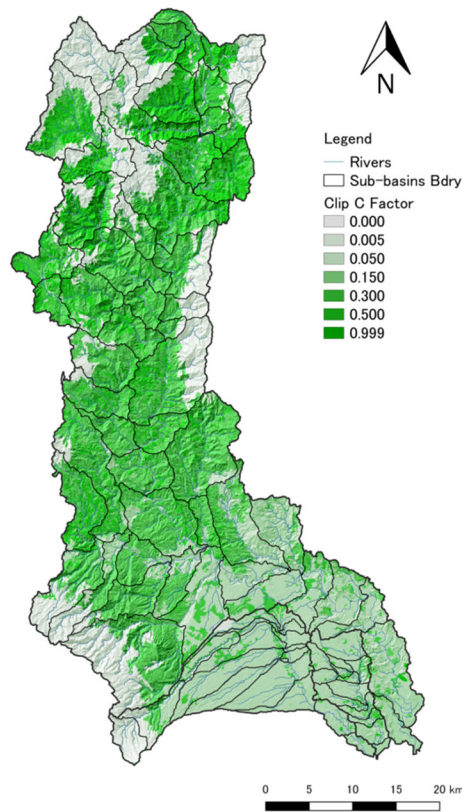
4) 作物係数 (C)

作物係数(C)は地表面被覆が土壌浸食に与える影響を表す。作物係数は植被率が極めて高い点では C=0、裸地で C=1 と設定される。本調査では DENR の植生分布図をもとに表 2.8.6 に示した各係数をそれぞれの植生に用いた。図 2.8.4 に対象流域内における地形係数の分布を示す。

表 2.8.6 地表面被覆と作物係数

地表面被覆	NAMRIA による分類	作物係数
一年生作物	Other land, cultivated, annual crop	0.300
裸地	Other land, natural, barren land	1.000
建物密集地	Other land, built-up area	0.100
休閑地	Other wooden land, fallow	0.300
森林	Open forest, broadleaved	0.005
	Closed forest, broadleaved	
	Closed forest, mixed	
	Bamboo/palm formation	
草原	Other land, natural grassland	0.500
混合植生	Other wooden land, wooden grassland	0.050
	Other land, cultivated, perennial crop	
低木林	Other wooden land, shrubs	0.150
水域	Inland water	0.000
	Other land, fishpond	
湿地	Mangrove forest	0.000

出典：David, W.P.: Soil and Water Conservation Planning: Issues and Recommendations, Journal of Philippine Development, No.26, Vol.XV, No.1, 1988.



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.4 作物係数(C)の分布

5) 保全係数 (P)

保全係数(P)は土壌浸食を防ぐことを目的とした対策を評価する係数であり、土壌浸食対策が行われていない条件下では $P=1$ となる。本調査の対象流域内では特に対策は行われていないものと想定し $P=1$ とした。

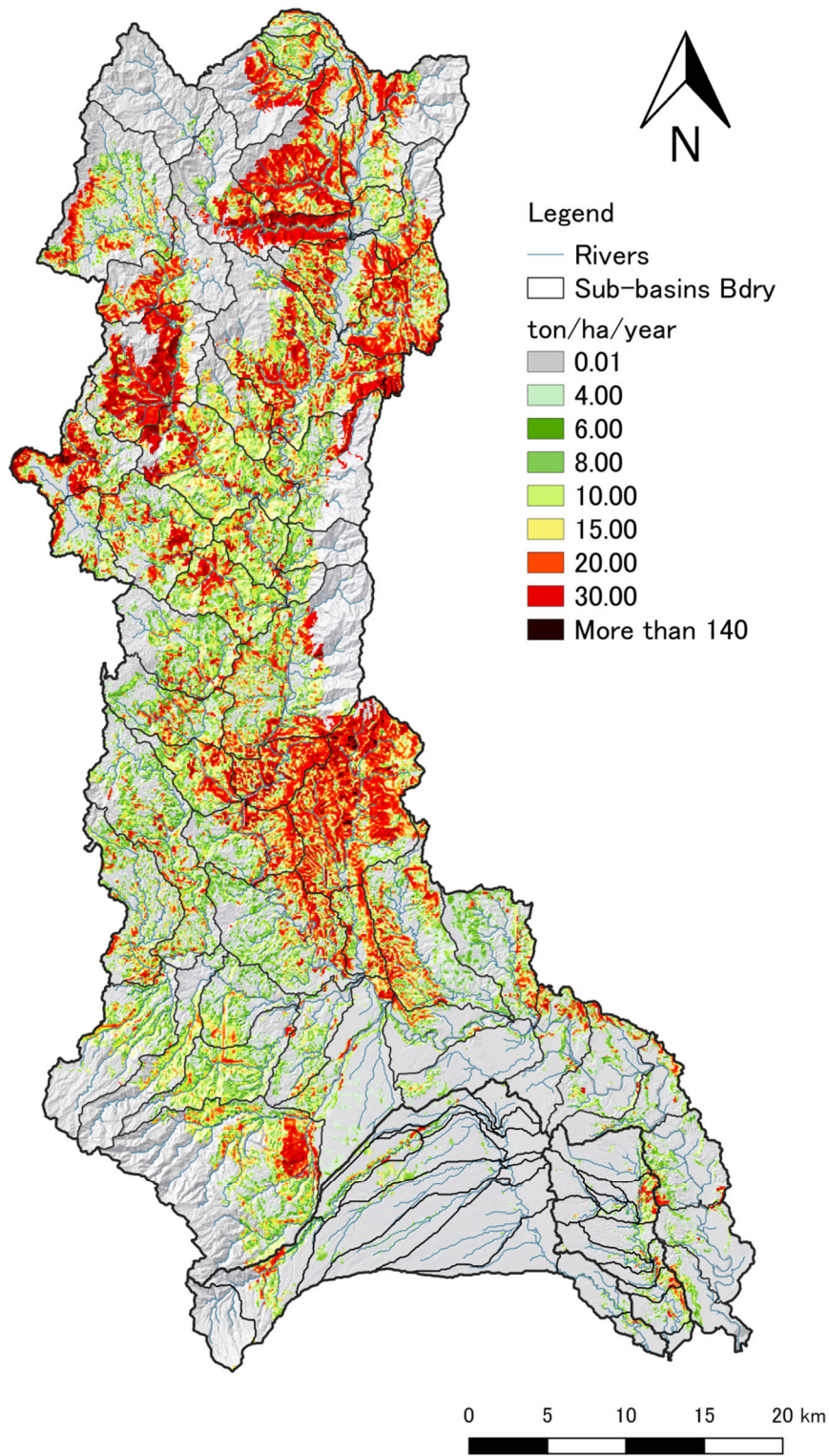
(2) 推定土砂生産量

各係数をもとに USLE 式で対象流域内の土砂生産量を算出した結果を表 2.8.7 に示す。算出の結果、対象地域全体では 1,781.63 千 ton/年、ダバオ川流域では 1,720 千 ton/年、マティナ川流域では 41 千 ton/年、タロモ川流域では 20 千 ton/年となった。

表 2.8.7 対象流域における推定土砂生産量

Basin	SB ID	Area(km ²)	Sediment Yield		Basin	SB ID	Area(km ²)	Sediment Yield	
			ton/ha/year	thousand ton/year				ton/ha/year	thousand ton/year
Davao	D-B1	28.5	8.56	24.37	Davao	D-B30	50.7	9.82	49.80
	D-B2	8.9	9.83	8.73		D-B31	26.8	1.67	4.49
	D-B3	16.9	11.28	19.05		D-B32	33.5	5.66	18.94
	D-B4	30.0	7.19	21.54		D-B33	23.9	4.92	11.75
	D-B5	18.5	9.79	18.15		D-B34	28.2	3.70	10.46
	D-B6	34.9	18.81	65.58		D-B35	19.4	3.48	6.76
	D-B7	7.8	8.74	6.84		Downstream	47.3	2.77	13.09
	D-B8-1	36.4	0.10	0.36		Estuary	12.9	2.39	3.07
	D-B8-2	43.7	14.48	63.24		Davao River Catchment	1755.0	9.56	1720.25
	D-B9	20.0	9.30	18.63		Talomo	TSB-1	14.9	0.14
	D-B10	27.2	14.02	38.09	TSB-2		20.5	4.73	9.69
	D-B11	30.5	19.04	57.99	TSB-3		11.7	4.34	5.07
	D-B12	75.3	14.10	106.14	TSB-4		19.4	3.01	5.84
	D-B13	18.6	8.18	15.24	TSB-5		28.8	1.84	5.29
	D-B14	38.9	8.28	32.22	TSB-6		18.7	1.71	3.21
	D-B15-1	60.0	6.26	37.56	TSB-7		9.7	1.83	1.77
	D-B15-2	34.8	7.44	25.87	TSB-8		14.8	0.98	1.44
	D-B15-3	47.5	20.33	96.53	TSB-9		29.3	1.27	3.73
	D-B15-4	46.6	15.07	70.17	TSB-10		3.5	4.87	1.70
	D-B16	15.9	11.27	17.95	TSB-11		5.2	0.65	0.34
	D-B17	13.3	4.56	6.07	TSB-12		2.7	0.28	0.08
	D-B18	5.9	8.02	4.74	TSB-13		5.5	0.35	0.20
	D-B19-1	28.5	20.52	58.42	TSB-14		3.1	0.85	0.26
	D-B19-2	16.1	10.20	16.43	TSB-15		1.2	0.76	0.09
	D-B19-3	36.5	11.53	42.08	TSB-16		10.6	1.23	1.30
	D-B19-4	25.7	13.59	34.97	TSB-17		4.6	2.21	1.02
	D-B20	75.0	8.84	66.32	Talomo River Catchment	204.2	1.83	41.23	
	D-B21	19.3	27.78	53.68	Matina	MSB-1	15.0	1.31	1.97
	D-B22-1	35.5	6.86	24.35		MSB-2	5.6	0.58	0.32
D-B22-2	27.0	7.87	21.27	MSB-3		5.2	9.37	4.90	
D-B22-3	17.8	14.39	25.56	MSB-4		2.5	1.32	0.33	
D-B24	28.8	13.46	38.75	MSB-5		1.6	2.40	0.39	
D-B25	50.7	9.35	47.37	MSB-6		4.2	1.14	0.48	
D-B26-1	71.0	24.94	177.11	MSB-7		1.9	2.83	0.55	
D-B26-2	12.4	16.16	20.11	MSB-8		8.2	2.57	2.10	
D-B27-1	36.5	7.02	25.63	MSB-9		7.7	1.74	1.35	
D-B27-2	42.6	4.14	17.65	MSB-10		4.8	3.53	1.70	
D-B27-3	54.6	6.95	37.94	MSB-11		3.6	6.65	2.39	
D-B27-4	29.7	3.45	10.25	MSB-12		7.7	4.50	3.45	
D-B27-5	21.5	6.05	13.03	MSB-13		1.9	1.18	0.23	
D-B27-6	31.8	6.59	20.97	Matina River Catchment	70.0	3.01	20.14		
D-B27-7	20.8	4.71	9.79	Study Area	2029.2	6.95	1781.63		
D-B28-1	101.9	5.76	58.75						
D-B28-2	46.7	3.93	18.33						
D-B29	21.9	3.68	8.05						

出典：プロジェクトチーム



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.5 推定土砂生産量の分布

2.8.4 河床変動

(1) 河床変動に関する検討

1) 河口部堆砂の現状

対象河川の河口部について航空写真から経年的な変化を推定する。ダバオ川河口については、図 2.8.6 に示すとおり河口付近のデルタの伸長傾向は認められない。一方、マティナ川、タロモ川の河口部は、2000 年頃に比べ特にマティナ川河口左岸付近で河口砂州の伸長が見られる。



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.6 ダバオ川河口部経年写真



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.7 マティナ川、タロモ川河口部経年写真

2) 河口部の河道掘削について

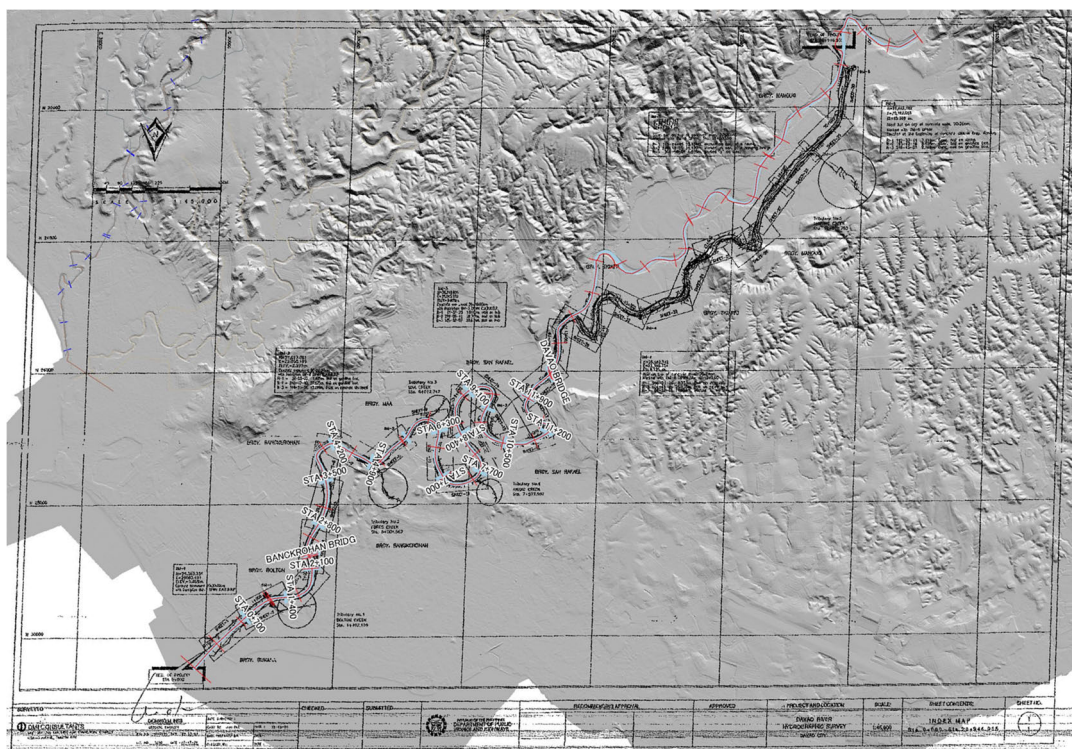
河道の掘削と浚渫は河道の通水能力を向上させる構造物対策代替案の一つである。しかし、河口部の河道掘削は潮位や漂砂の影響を受け、掘削による水位低下効果が小さく、築堤案に比べ経済性に劣る。また、河川の深堀は堆砂による浚渫部の埋没を引き起こすことから、その断面を維持することが難しい。従って、本マスタープランにおいては、計画高潮位を勘案のうえ、適切な計画断面を設定する。河口付近の計画河道断面については第 3 章において詳述する。

3) 河口付近の下流河道の維持管理浚渫・掘削の必要性

上述したように、下流河道の浚渫・掘削は効果が限定されるが、マティナ川、タロモ川河口付近の下流河道は河床上昇の傾向が指摘されており、河道流下能力の維持を目的とした適切な浚渫が求められる。従って、河川縦横断測量や流砂量観測を継続し、河川の土砂の流入・流出量、堆砂量の把握に努めるべきである。

4) 河川測量比較による河床変動傾向

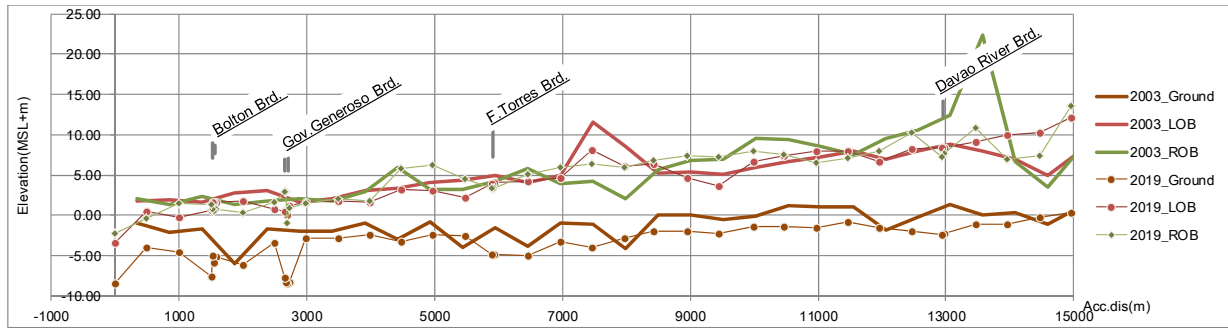
河川の経年的な河床変動傾向を検討するにあたり、ダバオ川については、過去の河川測量成果として2003年の測量成果がある。2003年測量平面図を今回作成した主題図に重ねて表示したところ、Davao River Bridgeより上流区間は河道線形が大きく異なるため(図2.8.8参照)、Davao River Bridgeより下流区間について2003年測量成果と今回(2019年)測量成果の比較を行う。



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.8 ダバオ川 2003年測量平面図

Davao River Bridgeより下流区間の縦断比較図を図2.8.9に示す。これによると8.5kmから14km付近での河床低下が顕著であり、2m～2.5m程度の低下が見られるが、2002年に大規模な洪水があったことから、この2003年測量時の河床形状が洪水による一時的なものであった可能性も考えられる。また、今回の測量成果をみると、橋梁部において局所的な洗掘が認められる。ダバオ川の長期的な河床変動傾向の把握には、今後の河川測量の蓄積が必要であるが、現存の資料からは、河床は低下傾向にあり、特に橋梁周辺での局所洗掘が顕著であるといえる。



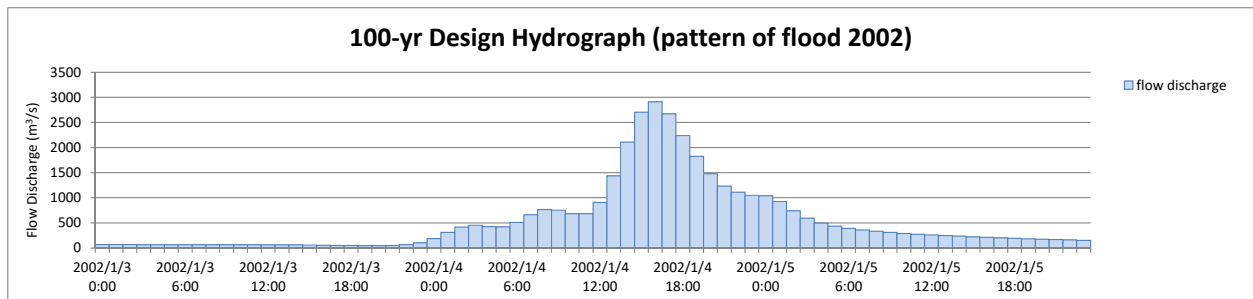
出典：プロジェクトチーム

図 2.8.9 ダバオ川 経年測量縦断比較図

(2) 河床変動解析

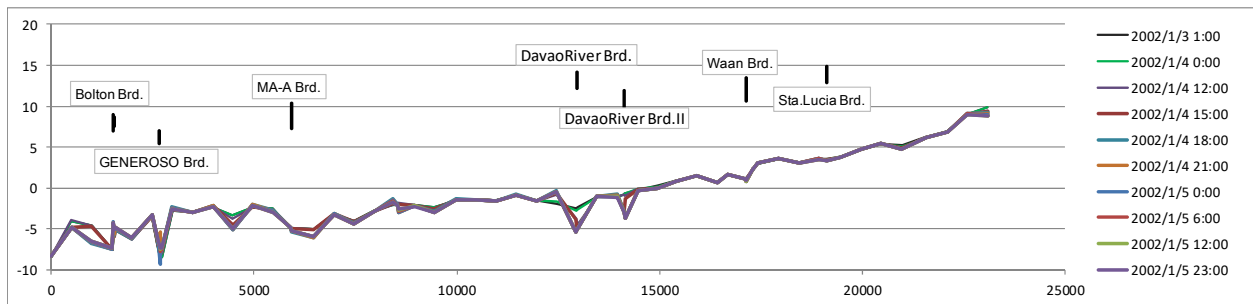
河床材料調査結果を用いて対象河川の河床変動傾向を把握するため、河床変動解析モデルを構築する。河床変動解析に使用する水理計算モデルは、前述した氾濫解析と同じ HEC-RAS 1 次元水理モデルである。上流からの流砂量については、2.8.2 対象流域の土砂生産状況に関する既往調査において推定された流量-流砂量関係より設定する。流量境界条件およびその他の境界条件は、氾濫解析時における計算条件と同様とする。

河床変動解析の結果、流入ハイドロピーク付近から、橋梁地点において河床洗掘が認められた。例えば、Davao River Bridge では、現地踏査においても橋脚周辺の洗掘が認められたため、河道改修において橋梁架け替えの必要が生じた際には洗掘対策を検討する必要がある。また、橋梁部以外では、目立った洗掘が発生しておらず縦断形は安定しているものと推察される。



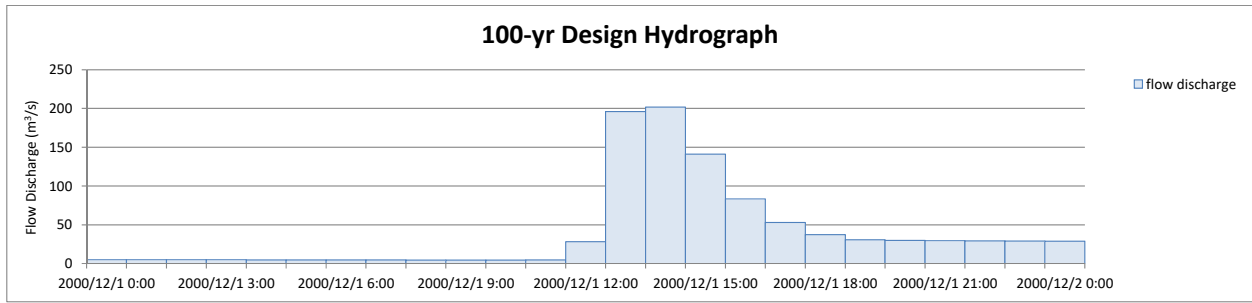
出典：プロジェクトチーム

図 2.8.10 河床変動解析対象ハイドログラフ（ダバオ川）



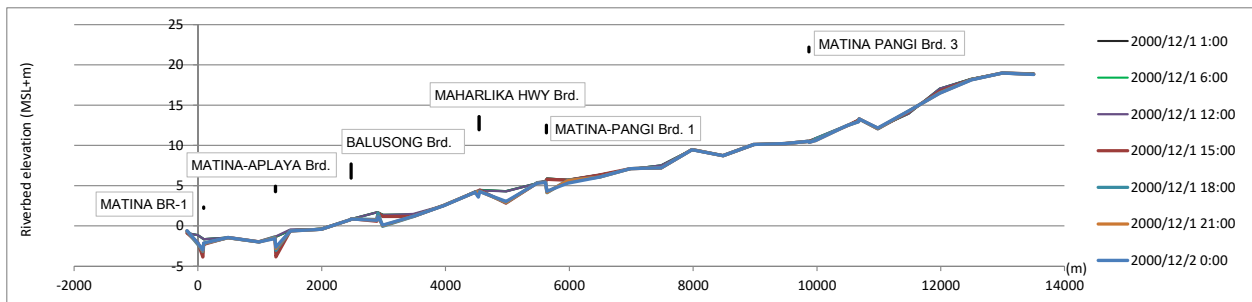
出典：プロジェクトチーム

図 2.8.11 河床変動解析の計算結果（ダバオ川）



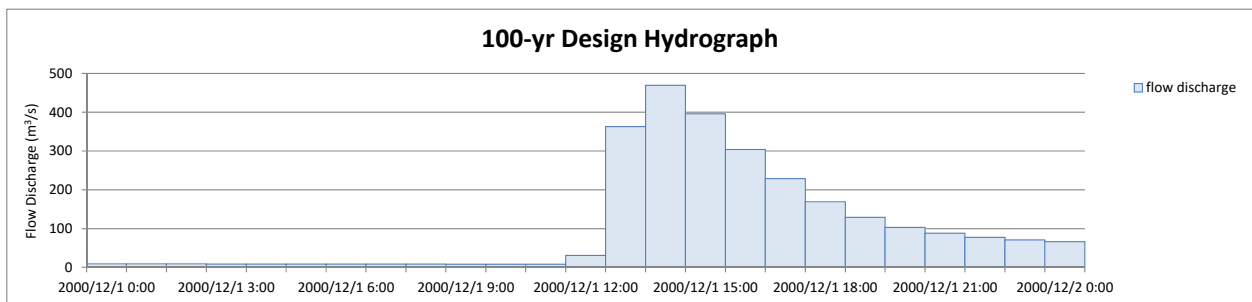
出典：プロジェクトチーム

図 2.8.12 河床変動解析対象ハイドログラフ（マティナ川）



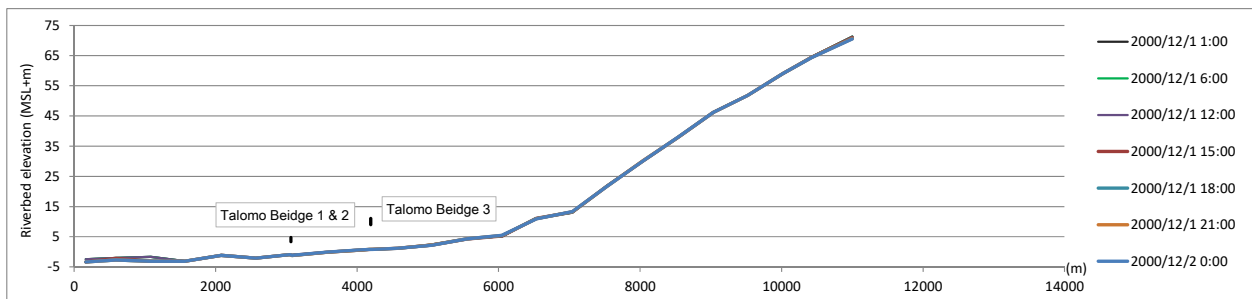
出典：プロジェクトチーム

図 2.8.13 河床変動解析の計算結果（マティナ川）



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.14 河床変動解析対象ハイドログラフ（タロモ川）



出典：プロジェクトチーム

図 2.8.15 河床変動解析の計算結果（タロモ川）

今回実施した河床変動解析は、現時点において取得可能なサンプリングデータから流砂量 - 流量関係式を推定したものであり、経年的な河川測量成果による検証が実施されていないことから、長期的な河床変動傾向を把握するには限界があると判断される。今後、この式の精度を高めるためにも、出水期間中の土砂サンプリングも含めた流砂量観測を継続し、定期的な河川横断測量を実施していくことを提言する。

2.9 内水氾濫に係る分析

2.9.1 内水氾濫と被害

ダバオ市では、これまでの雨水排水対策に関わる長年の努力にもかかわらず、依然として内水氾濫が頻発している。

DPWH 及びダバオ市 CEO (DCCEO) の資料によれば、毎年のように生じる内水氾濫は一部の地区を除いて、浸水深 0.5m 程度、浸水継続時間数時間程度であるが、都市部において頻発する浸水は交通・経済活動を麻痺させるため、その改善が求められている。例えば、La Verna 地区は空港とダバオ市中心部を結ぶ主要道路の Diversion Road が窪地を通過している場所に位置しており、頻繁に浸水が生じて空港へのアクセスを著しく阻害しており、早急な改善が求められている。

2.9.2 既往の雨水排水対策

(1) 雨水排水対策

ダバオ市では、これまでに、1982 年に策定された雨水排水マスタープランをベースとして、雨水排水対策が実施されてきた。表 2.9.1 にこれまでの雨水排水対策の経緯をまとめた。

表 2.9.1 ダバオ市における雨水排水対策の経緯

年代	概要
1982 年	世銀プロジェクト The Regional Cities Development Project (RCDP)の一部として、ダバオ市の主要排水路を対象とする雨水排水マスタープランの策定。 対象排水区： <ul style="list-style-type: none"> • Roxas Drainage Main • Agdao Drainage Main (Agdao 及び Dacudao) • Jerome Drainage Main (Lanang) • Insular Creek (Mamay Creek) 排水路の整備水準：2 年確率
1980 年代	世銀プロジェクト The Regional Cities Development Project (RCDP)により排水路改修の実施
1998 年	Storm Drainage Master Plan for Davao City の策定 (1982M/P 対象地区を含む 25 優先事業の詳細設計、1982M/P 対象地区以外の 6 地区において M/P の策定) M/P の対象排水区： <ul style="list-style-type: none"> • Lizada • Dumoy • Matina Aplaya • Ma-a • Buhangin Proper (Insular Creek の上流域) • Panacan (流域全体ではなく、海への直接流出地区のみ) 排水路の整備水準： 幹線排水路 25 年確率、ラテラル排水路 10 年確率を計画規模とすることを検討。実際には、多くの排水路で、M/P1982 に従い、2 年確率を採用。
2000 年	20 排水路のリハビリ実施 (事業費 0.12Billion Php)
2001 年	Task Force Drainage による主要排水路調査の実施 対象排水区： <ul style="list-style-type: none"> • Agdao Drainage Main (Obrero 地区の浸水改善を主目的として) • Jerome Drainage Main (Lanang) • Insular Creek (Mamay Creek) • Sasa Creek • Pagamican Creek (Panacan 流域の一部)

年代	概要
2004年	18か所の低平地の雨水排水事業の実施（事業費 0.25Billion Php）
2016年～	DPWH-DEOによる雨水排水改善事業の実施 2016～2020年の平均年投資額：0.46 Billion Php

出典：プロジェクトチーム

(2) 下水整備

ダバオ市では、過去から市中心部における下水道システム導入が提案されてきたもの、実施に至っていない。2018年に実施されたJICA支援によるダバオ市のインフラ開発計画に基づき、ダバオ市では下水整備の重要性が再確認され、2019年には下水整備事業の推進のためのJICAによる情報収集確認調査が実施されている。同調査では、市中心部における下水道整備として、原則として雨水と下水を分離して処理する分流式下水道整備が提案されている。

2.9.3 排水路インベントリ

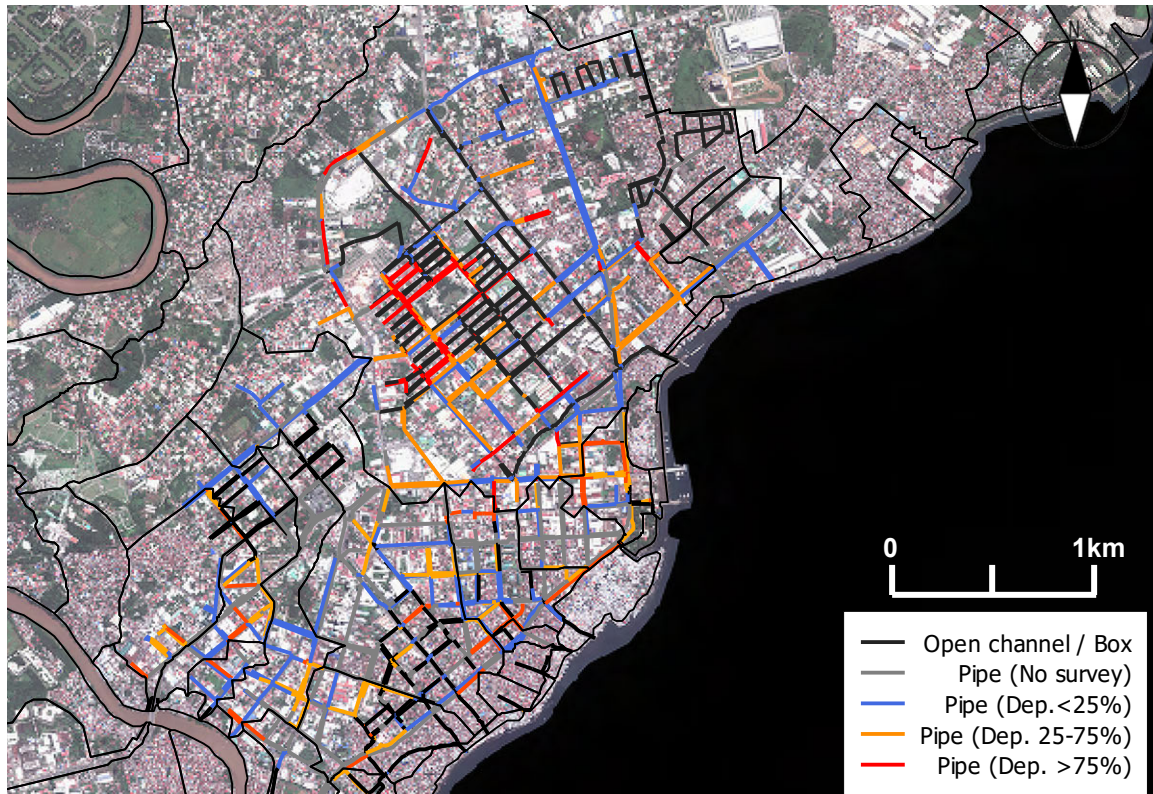
DPWH-ROでは、DCCEOと情報共有しつつ、M/P1998で推奨された排水路のインベントリとデータベース化を進めてきた。本プロジェクトでは、これをベースとして、Poblacion及びAgdao地区の排水路インベントリ調査(マンホール調査及び横断測量)を実施して、排水路データを補完した。Poblacion及びAgdao地区のデータについては、GISベースの排水路ネットワークデータ化がほぼ完了している。追加で排水路インベントリ調査を実施したダバオ川下流右岸側地区からMatina川下流左岸地区については、データベース化は未実施であり、本プロジェクトのフェーズ3完了までにはデータベース化を行う予定である。

Poblacion及びAgdao地区の排水路ネットワークデータについて、総ノード数1415、総リンク数1741となっている。リンクの総延長は131.1km（開水路22.8%、暗渠6.9%、管路70.3%）である。

管路のうち閉塞状況が確認できたものは約70%であり、管路長ベースでの閉塞状況の内訳は以下の通りである。

- 閉塞率25%以下：閉塞状況が確認できた管路総延長の33.1%
- 閉塞率25-75%：閉塞状況が確認できた管路総延長の47.9%
- 閉塞率75%以上：閉塞状況が確認できた管路総延長の19.0%

図 2.9.1 に管路の閉塞状況の空間分布を示す。



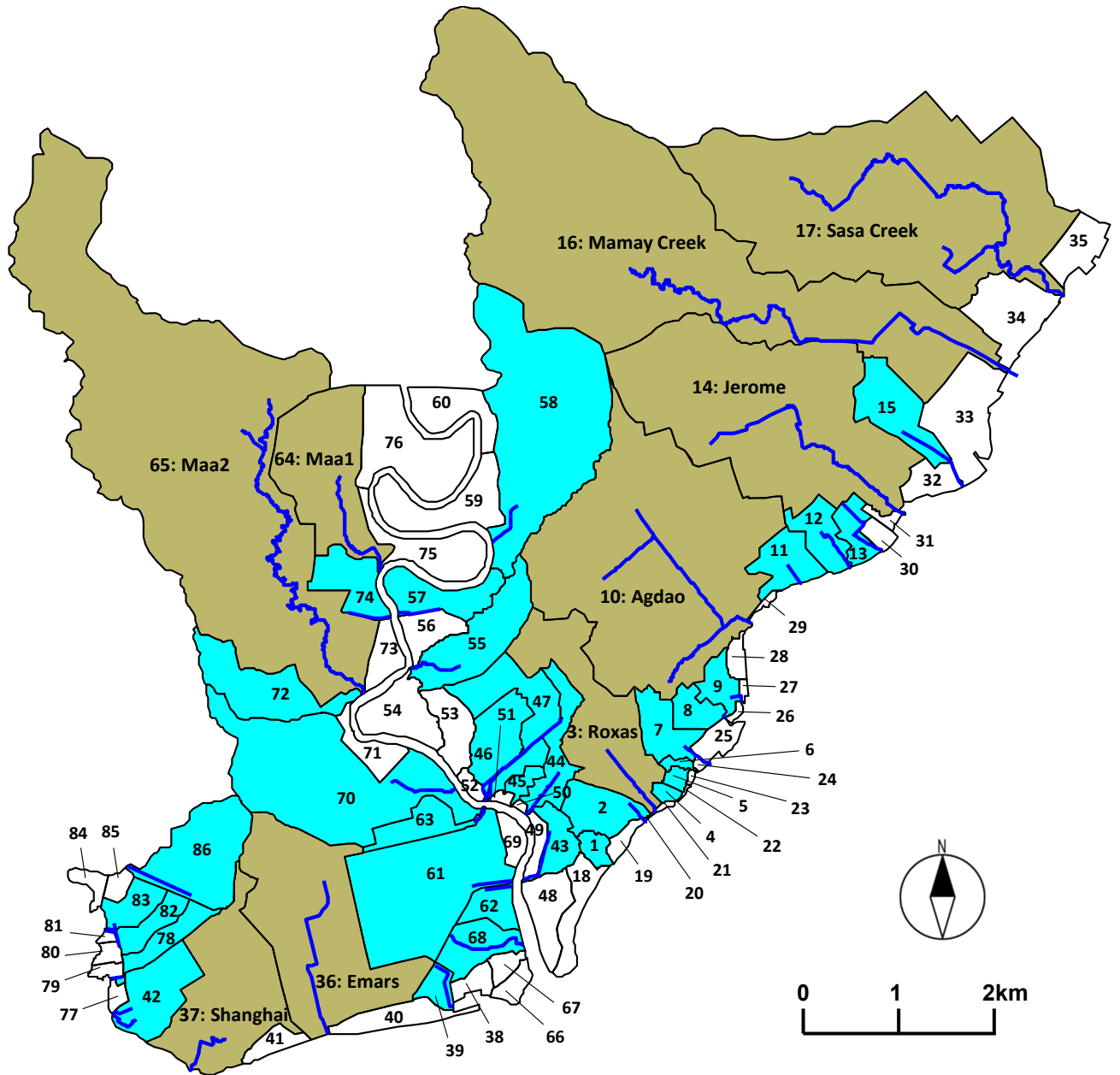
出典：プロジェクトチーム

図 2.9.1 管路の閉塞状況

2.9.4 排水区の確認・見直し

(1) 排水区分割

排水路インベントリ結果、LiDAR データによる地形情報、道路ネットワーク情報を参照して、現状における排水区境界を推定した。排水区境界の推定は、ダバオ川下流域の周辺地区で、東は Sasa Creek、西は Matina 川下流左岸地区まで行った。分割された排水区境界を図 2.9.2、排水区リストを表 2.9.2 にそれぞれ示す。



注) 図中の番号は、表 2.9.2 の SN に対応している。

出典：プロジェクトチーム

図 2.9.2 排水区分割

表 2.9.2 排水区リスト

SN	Name	Flow To	Area (ha)	Average slope (%)	Percent of urban type land use (%)	Category
1	Bucana	Davao Gulf	9.81	0.192	100	S
2	Mabini	Davao Gulf	35.61	0.171	88	S
3	Roxas	Davao Gulf	139.19	0.601	86	M
4	Jacinto	Davao Gulf	4.71	0.203	98	S
5	Fatima	Davao Gulf	5.23	0.314	99	S
6	Suzao	Davao Gulf	3.68	0.285	99	S
7	Ponce	Davao Gulf	32.01	0.121	78	S
8	Magsavsav	Davao Gulf	18.87	0.261	100	S
9	StAna	Davao Gulf	18.53	0.460	92	S
10	Agdao	Davao Gulf	514.45	1.605	88	M
11	Gotamco	Davao Gulf	33.51	0.229	95	S
12	Technotrade	Davao Gulf	29.47	0.133	96	S
13	Nagsil	Davao Gulf	19.92	0.097	98	S
14	Jerome	Davao Gulf	421.24	2.515	86	M
15	SouthBay	Davao Gulf	52.32	1.892	99	S
16	Mamay Creek	Davao Gulf	891.27	11.036	63	M
17	Sasa Creek	Davao Gulf	596.86	4.850	66	M
18	DG01	Davao Gulf	27.12	0.394	100	T
19	DG02	Davao Gulf	7.38	0.654	99	T
20	DG03	Davao Gulf	0.48	0.682	100	T
21	DG04	Davao Gulf	1.13	0.682	100	T
22	DG05	Davao Gulf	0.74	1.260	100	T
23	DG06	Davao Gulf	1.09	0.675	100	T
24	DG07	Davao Gulf	1.67	0.359	97	T
25	DG08	Davao Gulf	14.47	0.174	98	T
26	DG09	Davao Gulf	1.80	0.415	13	T
27	DG10	Davao Gulf	1.84	1.053	74	T
28	DG11	Davao Gulf	7.83	0.720	67	T
29	DG12	Davao Gulf	2.06	0.278	100	T
30	DG13	Davao Gulf	7.93	0.588	100	T
31	DG14	Davao Gulf	4.68	0.368	100	T
32	DG15	Davao Gulf	18.77	0.466	89	T
33	DG16	Davao Gulf	70.66	0.569	65	T
34	DG17	Davao Gulf	56.77	1.220	96	T
35	DG18	Davao Gulf	29.59	0.743	98	T
36	Emars	Davao Gulf	241.84	3.220	76	M
37	Shanghai	Davao Gulf	160.39	1.121	65	M
38	DG51	Davao Gulf	11.17	0.257	94	T
39	DG52	Davao Gulf	13.17	0.460	90	S
40	DG53	Davao Gulf	27.78	0.715	95	T
41	DG54	Davao Gulf	13.61	0.790	77	T
42	DG55	Davao Gulf	54.73	0.564	87	S
43	Bolton L	Davao River	23.52	0.396	82	S
44	Anda	Davao River	37.70	0.279	85	S
45	Pelavo	Davao River	8.42	0.495	98	S
46	Quirino L A	Davao River	42.30	2.431	88	S
47	Quirino L B	Davao River	63.69	2.252	79	S
48	DL01	Davao River	33.12	0.298	98	T
49	DL02	Davao River	8.85	0.885	80	T
50	DL03	Davao River	1.41	1.096	100	T
51	DL04	Davao River	2.56	1.242	100	T
52	DL05	Davao River	5.57	2.258	98	T
53	DL06	Davao River	28.84	7.206	64	T
54	DL07	Davao River	42.41	8.097	75	T
55	DL08	Davao River	72.38	6.420	69	S
56	DL09	Davao River	22.49	5.394	85	T
57	DL10	Davao River	40.71	3.907	70	S
58	DL11	Davao River	263.17	5.249	99	S
59	DL12	Davao River	56.55	2.270	38	T
60	DL13	Davao River	35.76	5.674	67	T
61	Bolton R A	Davao River	173.02	0.475	90	S
62	Bolton R B	Davao River	20.33	0.501	40	S
63	Quirino R	Davao River	28.87	1.067	83	S
64	Maa 1	Davao River	141.30	1.753	72	M
65	Maa 2	Davao River	902.68	16.378	39	M
66	DR01	Davao River	10.40	0.092	82	T
67	DR02	Davao River	8.94	0.058	94	T
68	DR03	Davao River	34.33	0.260	95	S
69	DR04	Davao River	11.70	0.568	100	T
70	DR05	Davao River	218.29	7.169	57	S
71	DR06	Davao River	20.85	1.812	75	T
72	DR07	Davao River	70.89	13.744	33	S
73	DR08	Davao River	18.93	1.133	76	T
74	DR09	Davao River	38.96	1.869	60	S
75	DR10	Davao River	45.65	1.658	30	T
76	DR11	Davao River	89.37	3.292	36	T
77	ML01	Matina River	5.34	1.501	32	T
78	ML02	Matina River	24.08	0.716	98	S
79	ML03	Matina River	5.16	0.483	68	T
80	ML04	Matina River	5.43	1.055	98	T
81	ML05	Matina River	2.11	1.860	21	T
82	ML06	Matina River	20.53	0.556	99	S
83	ML07	Matina River	22.05	0.943	77	S
84	ML08	Matina River	9.08	2.589	48	T
85	ML09	Matina River	7.49	1.430	99	T
86	ML10	Matina River	87.69	8.365	86	S

出典：プロジェクトチーム

備考：Percent of urban type and use は全排水区面積に対する 2017 年時点の residential, commercial, industrial, mixed use, road の専有面積割合

Category：M=Main（主要排水区）、S=Secondary（2次排水区）、T=Tertially（3次排水区）

(2) 排水区、排水路のカテゴリー

分割された排水区は、排水区によって排水区面積、排水区から排水する主要排水路の規模が大きく異なっている。このため、本プロジェクトでは、分割された排水区を以下のようにカテゴリー分類する。

- 主要排水区
M/P1982 及び M/P1998 において主要排水区として取り上げられた排水区
- 2次排水区
主要排水区以外で、Outfall など排水区の流末まで到達する明確な排水路を有する排水区
- 3次排水区
主要排水区、2次排水区の残流域となるその他の排水区

M/P1982 においては、おおむね 50ha 以上の集水面積を持ち、排水区の流末まで到達して排水区内の流出水の主要な部分を排水区外に排除する主要排水路を幹線排水路、その他の水路はラテラル排水路と定義した。本プロジェクトでは、排水路を以下のように定義する。

- 幹線排水路
主要排水区において、排水区の流末まで到達して排水区内の流出水の主要な部分を排水区外に排除する主要排水路
- 2次幹線排水路
2次排水区において、排水区の流末まで到達して排水区内の流出水の主要な部分を排水区外に排除する主要排水路
- ラテラル排水路
幹線排水路、2次幹線排水路以外の排水路

2.9.5 降雨解析

(1) 確率雨量

ダバオ市内において短期降雨強度を含む十分な降雨データが存在するのは、PAGASA のダバオ観測所のみである。本プロジェクトでは、PAGASA より、ダバオ観測所における最新の降雨強度に関する統計データを入手した。最新のデータは表 2.9.3 に示すとおりであり、これは、1951～2012 年の 61 年間のデータを基にしている。

表 2.9.3 ダバオ観測所における降雨強度の統計値

T	10	20	30	1	2	3	6	12	24
(yrs)	mins	mins	mins	hr	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs
2	19.5	30.0	38.2	53.2	65.2	71.6	80.3	85.8	91.4
5	25.1	39.3	51.0	73.2	88.8	96.4	108.7	114.9	121.1
10	28.8	45.4	59.4	86.5	104.5	112.8	127.5	134.1	140.7
15	30.9	48.9	64.2	94.0	113.3	122.1	138.1	145.0	151.8
20	32.4	51.3	67.6	99.3	119.5	128.6	145.5	152.6	159.5
25	33.5	53.2	70.1	103.3	124.2	133.6	151.2	158.5	165.5
50	37.0	59.0	78.1	115.8	138.9	149.0	168.8	176.5	183.9
100	40.5	64.7	85.9	128.1	153.5	164.2	186.3	194.4	202.1

出典：PAGASA

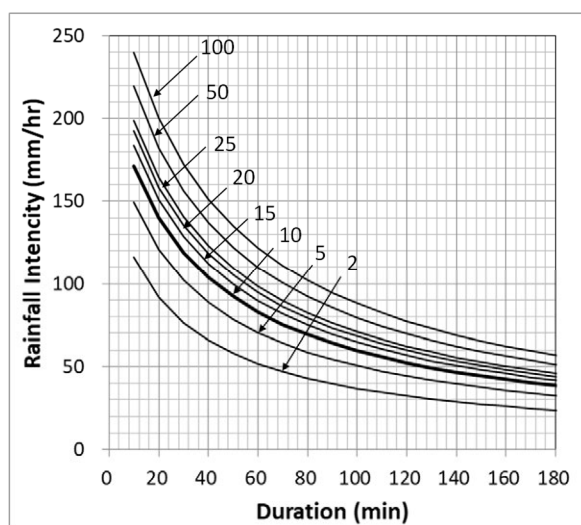
(2) 降雨強度曲線

表 2.9.3 に示される降雨強度の統計値を、以下に示す Cleaveland 型の降雨強度曲線で近似する。

$$r(mm/hr) = \frac{a}{(t^n + b)}$$

ここで、a, b, n : 係数、t : 降雨継続時間(min)である。

再現期間ごとに近似曲線の係数を二乗誤差が最小となるように選定すると、図 2.9.3 に示すとおりである。このとき、相関係数は 0.999 以上となっている。



Davao Station
provided by PAGASA
(based on 61 years data
: 1951-2012)

$$r(mm/hr) = \frac{a}{(t^n + b)}$$

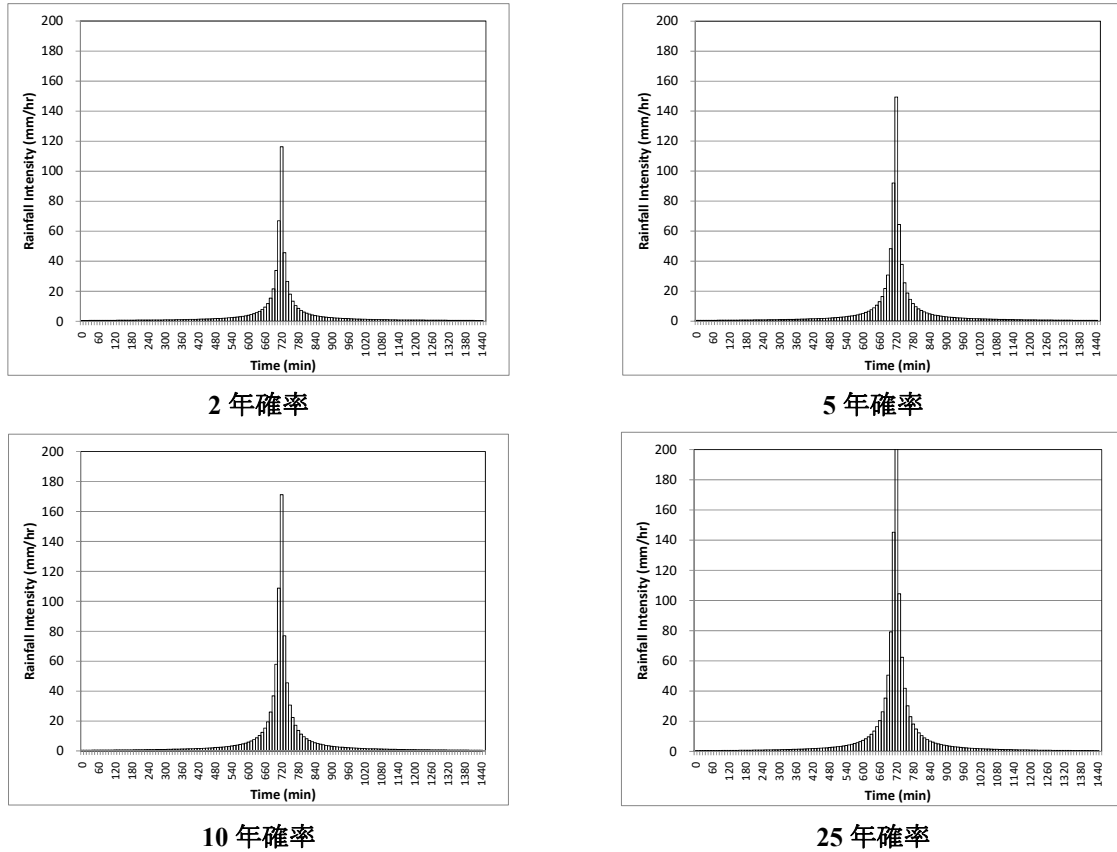
T	a	b	n	r
yr				
2	2920.67	17.260	0.895	0.9998
5	4783.01	23.593	0.926	0.9996
10	6179.89	27.341	0.942	0.9995
15	7013.70	29.297	0.949	0.9994
20	7614.52	30.601	0.954	0.9994
25	8086.05	31.570	0.958	0.9993
50	9581.49	34.372	0.968	0.9992
100	11121.43	36.900	0.976	0.9992

出典：プロジェクトチーム

図 2.9.3 降雨強度曲線

(3) モデルハイエトグラフ

雨水排水計画を議論するにあたり、(2)の降雨強度曲線を基に作成する中央集中型のモデルハイエトグラフを与える。2年確率、5年確率、10年確率、25年確率の豪雨事象に対するモデルハイエトグラフを図 2.9.4 に示す。



出典：プロジェクトチーム

図 2.9.4 モデルハイトグラフ

2.9.6 流出解析・浸水解析シミュレーション

(1) 概要

本プロジェクトでは、表 2.9.4 に示すように、主要排水区の幹線排水路の分析を行うためのマクロモデル、排水路網の水理挙動の分析を行うためのマイクロモデルを導入する。

導入するモデルは、いずれも世界各国の水文水理解析に用いられている実績のあるものであり、無償ソフトウェアもしくは比較的安価な商用ソフトウェアである。

表 2.9.4 本プロジェクトで使用する水文水理解析モデル

	分析項目	モデル	対象地区
マクロモデル	1. 幹線排水路からの越水による浸水解析 2. 幹線排水路の高水流量の算出	HEC-HMS HEC-RAS	Roxas 排水区 Agdao 排水区 Jerome 排水区 Mamay Creek 排水区 Sasa Creek 排水区 Emars 排水区 Shanghai 排水区 Maa1 排水区 Maa2 排水区

	分析項目	モデル	対象地区
マイクロモデル	排水路網の水理挙動の分析	SWMM (浸水解析は SWMM と連携した 解析が可能な Flo2D を導入)	Poblacion 地区 Agdao 地区 (Matina 地区) (排水路ネットワークデータ が存在する範囲)

出典：プロジェクトチーム

SWMM Storm Water Management Model⁸

HEC-RAS: Hydrological Engineering Center River Analysis System⁹

HEC-HMS: Hydrological Engineering Center Hydrological Analysis System¹⁰

いずれのモデルにおいても、流出解析に関しては、M/P1982 及び M/P1998 を踏襲して、降雨損失として流出係数一定モデルを採用する。

(2) 流出係数

2018 年に実施された JICA 支援によるダバオ市のインフラ開発計画では、2017 年時点の土地利用図を作成している。本プロジェクトでは、この 2017 年時点の土地利用を現況土地利用として扱う。土地利用カテゴリー毎の流出係数は、DGCS の推奨値及び M/P1998 で使用された値を参照し、表 2.9.5 に示す値を採用する。

表 2.9.5 に示す値を各排水区内の土地利用に応じて空間平均された流出係数は図 2.9.5 に示すとおりである。

表 2.9.5 土地利用カテゴリーごとの流出係数

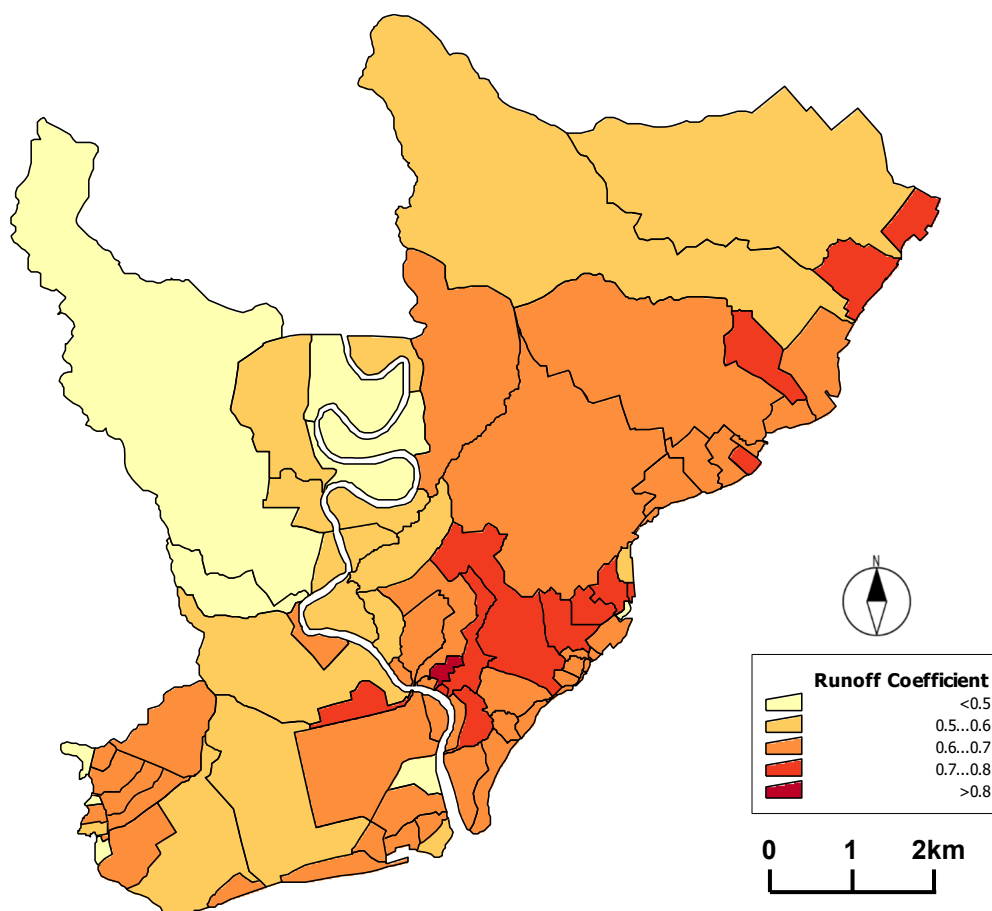
Land Use Category	採用流出係数	DGCS の推奨値	M/P1998 における採用値
Residential	0.60	高密度 0.50 - 0.75 低密度 0.30 - 0.55	一般地区 0.50 - 0.75 管理地区 0.30 - 0.65
Commercial	0.80	0.70 - 0.95 (Business district)	一般地区 0.70 - 0.95 管理地区 0.75 - 0.85
Industrial	0.80	軽工業地区 0.50 - 0.80 重工業地区 0.60 - 0.90	一般地区 0.70 - 0.90 管理地区 0.70 - 0.75
Mixed Use	0.70		
Institutional	建物密度 40%以上 0.65 建物密度 20-40% 0.40 建物密度 20%以下 0.25		一般 0.65 特殊 0.25 管理地区 0.60
Agricultural	0.40	0.30 - 0.50	
Bushland	0.40		
Forest	0.40	0.30 - 0.50	
Park / Recreational	0.25	0.20 - 0.30	
Open Space	0.25	0.20 - 0.30	0.10
Cemetery	0.25	0.20 - 0.30	
Road	0.90	0.90 - 1.00 (Paved)	0.70 - 0.95 (Paved)
Utility	0.30		0.30
Special Use	0.30		
Tourism Development Zone	0.30		0.25
Fish Pond	0.75	0.70 - 0.80 (Flooded)	
Mangrove	0.75	0.70 - 0.80 (Flooded)	
Water Body	1.00		

出典：プロジェクトチーム, DGCS, M/P1998

⁸ US-EPA (US Environmental Protection Agency) で開発された、1次元排水路網解析用フリーソフトウェア。

⁹ US-ACE (US Army Corps of Engineers) で開発された、河川の1次元解析及び氾濫解析用フリーソフトウェア。

¹⁰ US-ACE (US Army Corps of Engineers) で開発された、流出解析用フリーソフトウェア。



出典：プロジェクトチーム

図 2.9.5 排水区ごとの流出係数（現況）

(3) マクロモデル

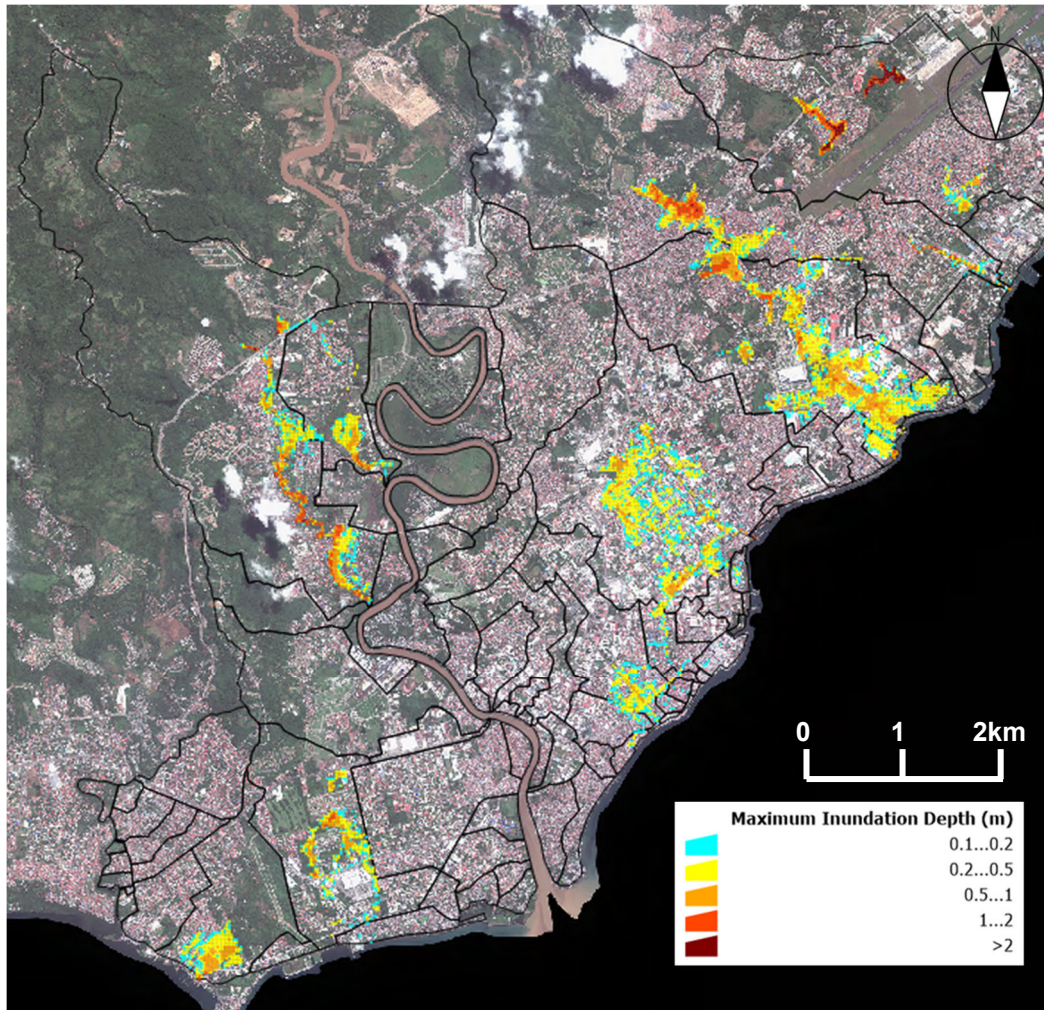
主要排水区をサブ流域に分割し、サブ流域から流出をモデル化する。サブ流域の流出モデルとして、降雨損失モデルは流出係数一定モデルとし、ハイドログラフの推定は HEC-HMS に含まれる SCS 標準ユニットハイドロモデルを使用する。SCS 標準ユニットハイドロモデルの遅れ時間 T_L は、到達時間を T_c として、 $T_L=0.6 T_c$ とする。

到達時間の推定にあたっては、DGCS に従い、都市化された流域における以下の到達時間推定式を用いる。

$$T_c = t_0 + t_g + t_d$$

ここで、 T_c =到達時間、 t_0 =地表流流入時間、 t_g =側溝流下時間、 t_d =水路流下時間である。本プロジェクトでは、側溝流下時間は水路流下時間に含めて到達時間を推定する。

水理モデルとしては、HEC-RAS による 1-2 次元カップリングモデルを用いる。排水路の水理挙動は 1 次元不定流モデルで解析し、排水路から越水した氾濫水の挙動を平面 2 次元モデルで解析する。幹線排水路からの越水による浸水状況をシミュレーションした結果の例を図 2.9.6 に示す。排水区ごとの浸水状況については 3.7 節に示している。



25年確率（気候変動考慮、将来土地利用）

出典：プロジェクトチーム

図 2.9.6 幹線排水路からの越水による浸水状況のシミュレーション結果の例

同モデルにおいて、排水路からの越水がないと仮定した場合の流量についても算出し、これをもとに基本高水流量を設定する。主要排水区ごとの基本高水流量は3.7節に示している。

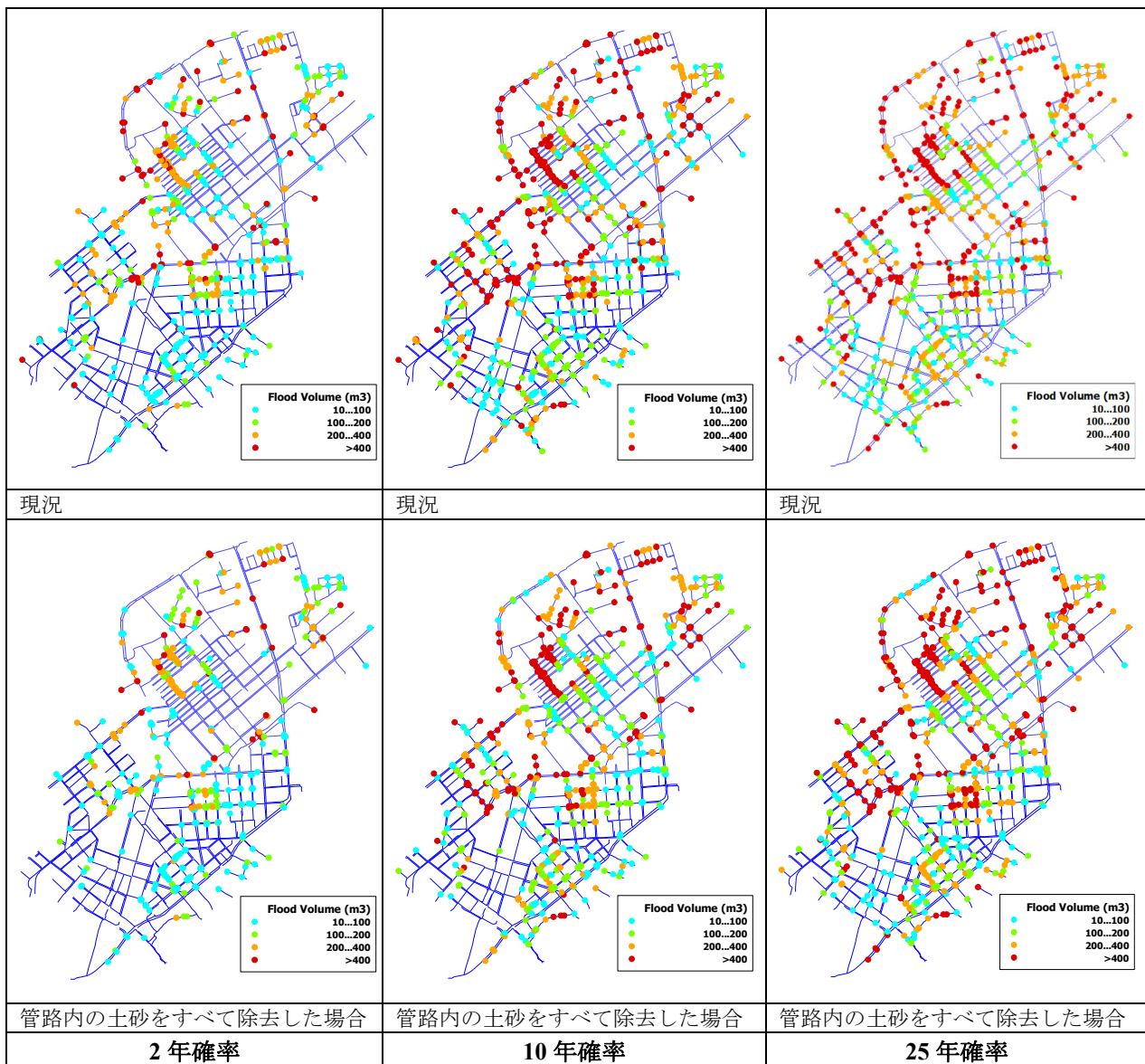
(4) ミクロモデル

2.9.3項で示したGISベースの排水路ネットワークデータをSWMMに取り込み、SWMMによる1次元排水路網解析を行う。サブ流域の流出モデルとしては、降雨損失モデルは流出係数一定モデルとし、ハイドログラフの推定はSWMMのビルトインモデルを用いる。

シミュレーション結果の例として、降雨条件は現在気候、土地利用は現在土地利用の条件とした場合の以下に示す2つのケースの結果を示す。

- ケース1：現況
- ケース2：管路内の土砂をすべて除去した場合

図 2.9.7 に、再現期間 2 年、10 年、25 年の豪雨事象に対する各ケースにおける氾濫ボリュームの分布を示す。



出典：プロジェクトチーム

図 2.9.7 SWMM による氾濫ボリュームの計算結果

表 2.9.6 に示すように、管路内の堆積土砂をすべて取り除くと、2 年確率の豪雨事象に対して、総氾濫ボリュームは約 30%減少する。しかしながら、より大きな豪雨事象に対しては、これらの減少割合は小さくなり、もともとの水路の疎通能力が氾濫ボリュームを規定する。

表 2.9.6 総氾濫ボリューム

ケース	2 年確率豪雨	10 年確率豪雨	25 年確率豪雨
1. 現況	0.125	0.293	0.392
2. 管路内の土砂をすべて除去した場合	0.083	0.237	0.329

出典：プロジェクトチーム

単位：MCM

2.9.7 主要課題

基礎調査における、現地踏査、排水路インベントリ調査、水文水理解析、関係者へのインタビュー、ワークショップのアウトプット等をもとに抽出された雨水排水改善に係る主要課題を以下に示す。

(1) 大規模出水に対する不十分な排水能力の増強

多くの排水路は、M/P1982に従って、これまでに2年確率の豪雨事象に対する排水施設の整備が行われてきており、水理解析結果によれば、極端に疎通能力の小さいボトルネック箇所改善によって、排水路の疎通能力は2年確率程度の豪雨事象に対応できる。しかしながら、より大規模な出水に対しては、全体として十分な排水能力を持っておらず、その増強が求められている。

(2) 減少した自然の遊水機能の回復

排水区内に存在する窪地は自然の遊水機能を有している。この遊水機能によって、これまで下流部の排水路の流量が抑制されてきた。しかしながら、都市開発の圧力が高まる中、こうした窪地がサブディビジョンや商業施設へと開発されるケースが増えており、自然の遊水機能が減少している。計画上、この窪地の遊水機能を明確にすることが重要であるが、土地利用計画との調整が必要である。仮に、自然遊水効果のある場所を開発し、浸水被害なしとする場合には、下流側幹線排水路の更なる流下能力増加が必須となる。しかし、大々的な水路改修は難しい可能性が高いことから、遊水機能の確保と増強のための人工的な貯留施設の導入が必要である。

(3) 都市化地区における排水路改善のためのスペース確保の困難さの考慮

雨水排水対策の対象地区の大部分はすでに都市化が進行しており、既存排水路の周辺で排水路拡幅を行うためには多くの家屋移転と既存インフラの再整備が必要となる。また、既存水路の現況川幅内で水路の改修を行う場合でも水路隣接道路や土地を一部工事用に使用しなければならないケースが考えられるが、これまでのDPWH-DEOによる雨水排水事業の経験から、そのスペースの確保も困難が予想される。こうした排水路改善のためのスペース確保の困難さを考慮した対策が必要である。

(4) 排水路の閉塞によって低下した流下能力の回復

2.9.3節で示したように既存管路の多くが閉塞している。排水路網シミュレーションの結果から、Poblacion及びAgdao地区では、管路内の堆積土砂をすべて取り除くと、2年確率の豪雨事象に対して、総氾濫ボリュームは約30%減少する。よって、定期的な排水路の清掃等により、排水路が持つ本来の流下能力の回復は重要かつ基本事項である。

(5) 浸水リスクエリアにおける開発規制とインフラ整備への防災配慮

排水区内に存在する窪地は浸水リスクが高いにもかかわらず、開発圧力にさらされている。これまで、ダバオ市の土地利用計画においては、ダバオ川等の大河川周辺の浸水リスクエリアについては、浸水リスクを特定して、それを考慮した土地利用計画が提案されてきた。しかしながら、内水氾濫に関しては詳細な浸水リスクマップが存在しないこともあり、これまで土地利用計画への配慮がなされてこなかった。内水氾濫に関しても、早急に浸水リスクエリアを特定して、土地利用上の

開発規制をかけることが望ましい。また、そうした浸水リスクエリアの一部が遊水池として計画される場合には、将来的に遊水池としての整備が可能となるような土地利用規制が必要である。

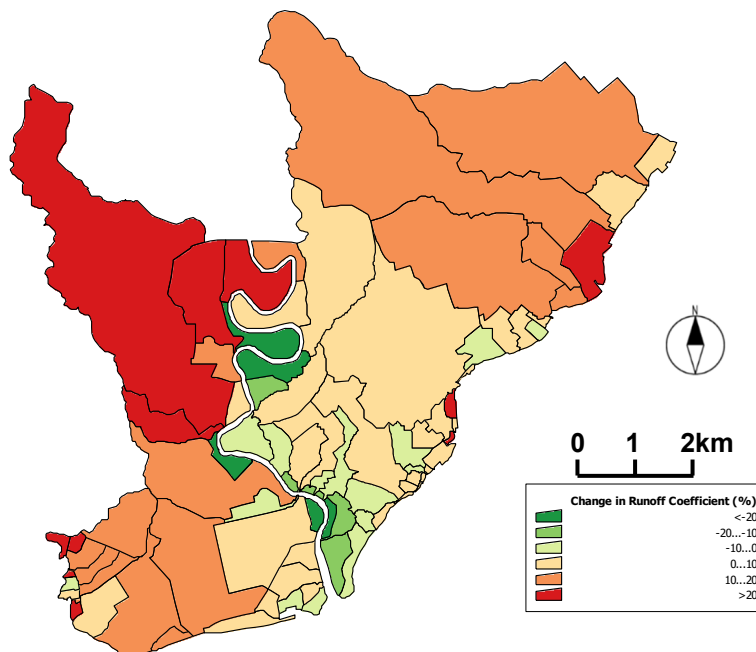
仮に浸水が発生した場合でも都市機能を確保できるよう配慮したインフラ整備のためにも、浸水リスクエリアの特定と浸水リスクマップの作成と周知は重要である。

(6) 浸水情報の共有

毎年のように生じる内水氾濫は一部の地区を除いて、浸水深 0.5m 程度、浸水継続時間数時間程度であるが、交通障害を引き起こすなどの都市機能の低下をもたらしている。多くのステークホルダーが浸水実態をリアルタイムで共有することができれば、浸水地区を迂回する、近づかないなどの行動を促進して、浸水による被害を軽減することができるものと期待される。現在は、ソーシャルネットワークやメディアを通じての市民の間での浸水情報の共有が行われているが、公的な支援として、浸水状況のモニタリングと情報発信を強化することが考えられる。

(7) 土地利用変化および気候変動の影響による流出増加の可能性の考慮

2018 年に実施された JICA 支援によるダバオ市のインフラ開発計画は 2045 年を計画目標年とし、2045 年時点の将来土地利用図を想定している。この将来土地利用図に基づき、排水区ごとの流出係数の変化を示したのが図 2.9.8 である。Jerome、Mamay Creek、Sasa Creek 排水区ならびにダバオ川右岸地区において流出係数が大きく増加することが想定される。



出典：プロジェクトチーム

図 2.9.8 将来土地利用計画による流出係数の変化

一方、2.7.9 項に示されるように、気候変動の影響により、21 世紀中頃（2036 年～2065 年）では降雨強度は現在気候よりも 10%程度増加することが想定される。

このような土地利用変化と気候変動の影響により流出量が増加することが想定され、これを踏まえた対策の立案が必要となる。構造物対策としては、こうした想定される変化を踏まえた洪水流量の設定を行って、対策を検討する必要がある。加えて、これらの変化の不確定要素に柔軟に対応するためにも、流出抑制対策のより一層の促進が望ましい。

(8) 不十分な建設技術の改善

ダバオ市内では現在多くの雨水排水事業が実施されているが、一部工事においては、適切な施工がなされていない箇所も散見される。図 2.9.9 は DPWH-RO によって報告された不適切な管路接合の事例である。



出典：DPWH-RO

図 2.9.9 不適切な管路接合の事例

DPWH-DEO では、計画部門において事業費確保と業者選定のための設計を行い、その後は建設部門が工事監理を行う。一般に、工事中に発生する設計変更は計画部門と建設部門で共有されず、竣工図面についても計画部門では把握できていないことから、計画部門では当初計画されたものが実際に作られたかどうかの詳細な確認ができていない。計画、設計、施工の一連のプロセス全体の管理が不十分である可能性がある。

これらを踏まえ、雨水排水事業の計画、設計、施工の一連のプロセス全体の管理を含む、施工及び施工監理の改善が必要と考えられる。

(9) 排水施設の設計等の改善による維持管理活動の改善

排水路、特に管路の適切な維持管理のためには、維持管理活動が容易となるマンホールの設置と維持が重要である。現在のダバオ市内のマンホールは、マンホール設置間隔が長かったり、開閉が困難な構造となっている場合が多くみられる。また、道路整備を行う際にマンホールを埋めてしまう場合も散見される。こうしたマンホールの設計面の改善等により、管路の維持管理活動の改善が必要である。

(10) 複雑な雨水排水対策の実施体制を踏まえた関係機関の調整

雨水排水改善に係る事業は、原則的に、事業実施、維持管理ともに、国道沿い排水路については DPWH、それ以外についてはダバオ市 CEO の分担となっている。しかしながら、DPWH に予算が付く場合には、国道沿い排水路以外でも DPWH が事業を実施するケースが増えている。

DPWH 内部であっても、DEO が雨水排水事業として排水施設整備単独で実施するケースと、道路事業の一部として RO が道路付帯構造物として排水路を整備するケースがある。

ダバオ市の条例に従って、サブディビジョン開発に伴い雨水調整池を設置する必要があるが、民間開発業者の裁量で下流排水路の流量低減に大きく貢献できる比較的大規模な雨水調整池を設置している事例がある。こうした施設は、ダバオ市 CEO の許可を得て建設されるもので、ダバオ市 CEO の管理下にあるといえる。

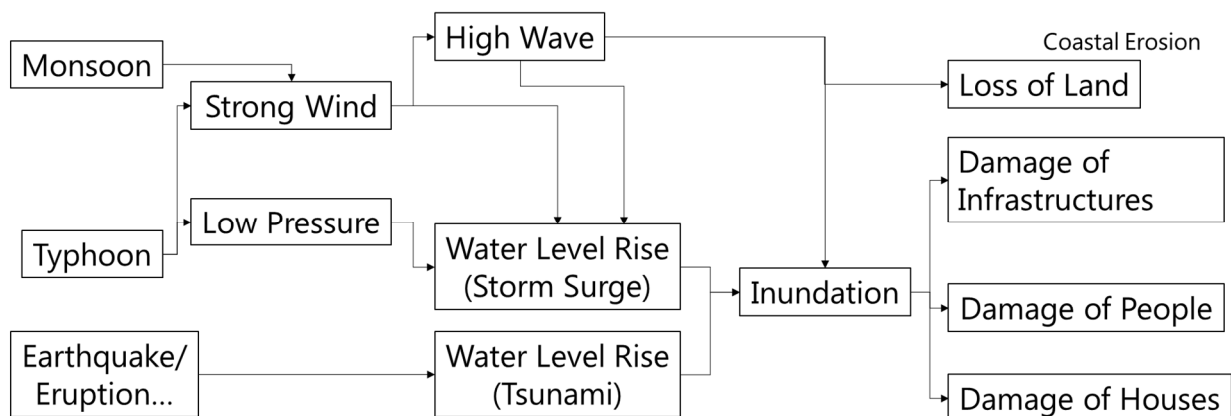
このような複雑な雨水排水対策の実施体制を踏まえ、事業間の重複や相反を避けた効率的な事業実施のための関係機関の調整が必要である。

2.10 海岸災害に係る分析

2.10.1 海岸災害概要と被害

(1) 海岸災害の定義

本項では、海岸で発生する災害について概説する。一般的に海岸で発生する災害には、高波災害、高潮災害、津波災害、海岸侵食等が挙げられる。それぞれの災害と発生要因の関係図は図 2.10.1 に示す通りである。高波浪、高潮、津波が沿岸部の地盤高あるいは施設高を超えると浸水被害が発生し、公共施設や人、住居等の資産への被害が発生する。基本的な浸水被害のメカニズムは、天文潮位に高潮や波浪成分が重なり、陸地への浸水被害は発生することとなる。



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.1 海岸災害とその要因の関係図

(2) 海岸関連の既往被災事例

DCDRMO より入手した、2005 年以降のダバオ市沿岸の海岸災害事例データを表 2.10.1 に示すが、2005 年以降、合計 54 事例発生しており、2012 年は多く、1 年間に 24 件発生しており、被害額は 2006 年、2012 年の被災事例で多く発生している。次に、被害発生の多くは、7 月～10 月に集中している。この理由の詳細は後に詳述するが、ダバオ市が有する地形的、気候的特徴に起因していると推察できる。

表 2.10.1 海岸被災事例の発生数（2005 年以降）

Year	2005	2006	2012	2014	2015	2017	2018	Total
No. of Incidents	1	4	24	11	1	6	7	54
No. of Affected Families	28	166	113	20	0	2	16	-
No. of Casualties	0	0	0	0	0	0	0	-
Estimated Economic Loss (Php 1,000)	217	3,074	2,695	593	16	55	553	-

出典：DCDRMO

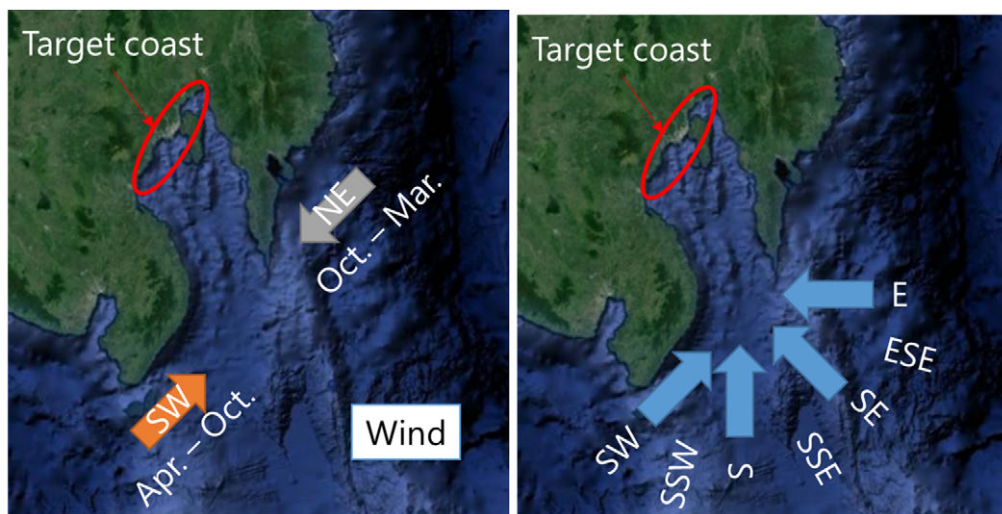
(3) 高潮位

海水面は常に変動しているが、特異なイベントがない場合、月および太陽の引力、地球の自転によって引き起こされる天文潮位として説明できる。ダバオでの潮位観測記録から年間の月別の潮位変動量から、平均潮位の振れ幅自体は、年間を通じて、大きな変化はないが、平均的には6月～10月に高くなる傾向があり、前述の海岸被災事例の出現特性の一要因となっている。

(4) モンスーン波

ダバオを始めとするミンダナオ島はモンスーンの影響を大きく受ける。図 2.10.2 左に示すように、モンスーンは、年間を通じて定期的に吹く風であり、ダバオ近傍では、4月～10月はSWからの風、一方、10月～3月は反対にNEからの風が吹く。ダバオ湾は、NE-SW方向には40～50km程度であり、大きな波浪は発達しにくい地形的特性がある。そのため、図 2.10.2 右に示すように、ダバオ市沿岸に到達する主要な波浪は、ダバオ湾外においてモンスーン風によって発達した波浪がダバオ湾内に進入しているものと推定できる。また、ダバオ湾はSSE方向に開けた形状をしているため、外部から到達する波浪はE～SWの7波向に限られる。

ダバオ湾外の波浪状況について、特にダバオ海岸に到達すると想定される波向SW～Eに絞った場合、8月をピークとして、5月～10月に発生している。これも前述の海岸被災事例の出現特性の一要因となっていることがわかる。



出典：プロジェクトチーム、Google Earth

図 2.10.2 モンスーン風（左）とダバオ海岸に到達する波向（右）

(5) 台風

ダバオは低緯度であるため、基本的には台風が直撃することは少ない。1951年以降、ダバオ市中心部から150kmを通過した台風を抽出すると、3台風のみである。2017年に台風27号 Vinta は、大雨をもたらしたが、高波や高潮は発生させていない。また、1955年の1号台風は、ダバオ湾を通過しているが、中心気圧が995hPaで非常に勢力が弱いため、顕著な高潮や高波を発生させたとは想像しがたい。ここ約70年間で、ダバオ湾に高潮をもたらす可能性がある台風は1970年20号台風(TY197020)であり、沖波波浪は10m程度の波高であったことが推定されている(後に詳述)。

(6) 海岸侵食・堆積

ダバオ市沿岸における海岸侵食および堆積について、ダバオ市の DCDRMO が海岸侵食・堆積マップを作成している。DCDRMO は、1950 年 6 月、2014 年 7 月、2017 年 11 月の汀線を把握し、それらを比較することによって、侵食、堆積を判定している。基本的な傾向として、主要な河川（ダバオ川、マティナ川、タロモ川等）の河口部付近には、土砂供給が多く、堆積傾向である。また、主たる波浪は南から作用するため、沿岸流は北東から東方向に流れ、漂砂の移動方向となっている。そのため、侵食エリアの東側および北東、北側で堆積傾向が強い特性となっている。

(7) 既往の海岸被災のまとめ

ダバオ沿岸の海岸関係の既往被災事例によると、7 月～10 月に頻発しており、その要因は以下の通りである。

- 高潮位：潮位は平均的には 6 月～10 月に高くなる傾向
- モンスーン波：4 月～10 月は SW 系の波浪、10 月～3 月は NE 系の波浪が主。
- 湾形状：湾内では波浪が発達しにくく、湾が開いた SSE 系の波浪が湾外から到達
- 沖波発生分布：波向 SW～E の発生分布は 8 月をピークとして、5 月～10 月に発生。
- 台風：近傍を通過する希な台風によって 10 月、11 月に高波浪が発生
- 侵食・堆積：河口部は堆積。S 系の波浪を受けて、漂砂は北東方向へ移動。

2.10.2 沿岸域の既存施設/家屋の現況分析

沿岸域の既存施設及び家屋の現況分析のために、現地踏査を実施した。実施箇所は図 2.10.3 に示す通りである。



出典：Google Earth、プロジェクトチーム

図 2.10.3 現況施設状況把握の調査位置

(1) Coastal Road Projects

ダバオ Coastal Road プロジェクトは 2017 年から開始し、2021 年までの計画で施工が進められている。2017 年区間は工事が開始し、着実に施工が進行しており、2018 年区間も工事を開始している。本道路にはいくつか橋梁がかけられており、その下部にはギャップがあるため、高潮時にはその開口部から水が回り込むため、本道路のみで高潮や高潮位を完全に防ぐことはできない。

(2) Talomo & Matina River Mouth

タロモ川とマティナ川の河口について、砂州が形成されており、その形状は変化しやすい。また、河口の勾配はかなり緩やかである。2000 年～2018 年までの航空写真から、2014 年頃から河口閉塞の傾向が見受けられる。

(3) Davao River Mouth

ダバオ川の河口砂州の形状は比較的安定している。河口の勾配はかなり緩やかである。ダバオ川右岸側河口部は新たな護岸が建設されている。また、ダバオ川河口は、維持浚渫が実施されていた経緯がある。

(4) Coastal Local Road

地域海岸道路には、0.8m 程度のパラペットが設置されている。インタビューによると、パラペット設置以来、パラペットを越えるような事象は発生していない、とのことである。しかし、排水孔があり、高潮時にはそれを通じて海水が進入してくることが想像される。海底勾配は比較的急であり、1/10～30 程度とみられ、海岸侵食が発生していると想定される。

(5) Santa Ana Port

Santa Ana 港は、現在、Samal 島等へのフェリーで利用されている。施設は 2 つの栈橋で、敷地は埋立で形成されている。本港は海岸堤防も併設されており、隣接する Magsaysay 公園にも直立のパラペットが設置されている。

(6) Houses

沿岸部に集積する既存家屋の状況を調査するために、UAV を用いて、沿岸部の航空写真撮影を実施した。特に密に集積している地区が 3 つある。1 つ目は、タロモ川の左岸側およびマティナ川の右岸側、あるいはマティナ川の左岸側である。ここでは、漁民等の集落がいくつか形成されており、特に沿岸部では高床式の家屋として高潮位時の浸水を防いでいる。2 つ目はダバオ川の河口（図 2.10.4）で、特に左岸側では大規模な集落があり、多数の人が暮らしている。沿岸部は同様に高床式の家屋を採用しており、地盤高から 1～2m 程度のところに床となるように家を築いている。3 つ目は Santa Ana 港の南北に広がる地域である。この地域は比較的大きな水路があり、現在、その海岸際に内水排水用のポンプ場の建設が進められている。他の地区と同様に沿岸部は漁業者が多く、高床式家屋を採用して船を活用している。



出典：プロジェクトチーム

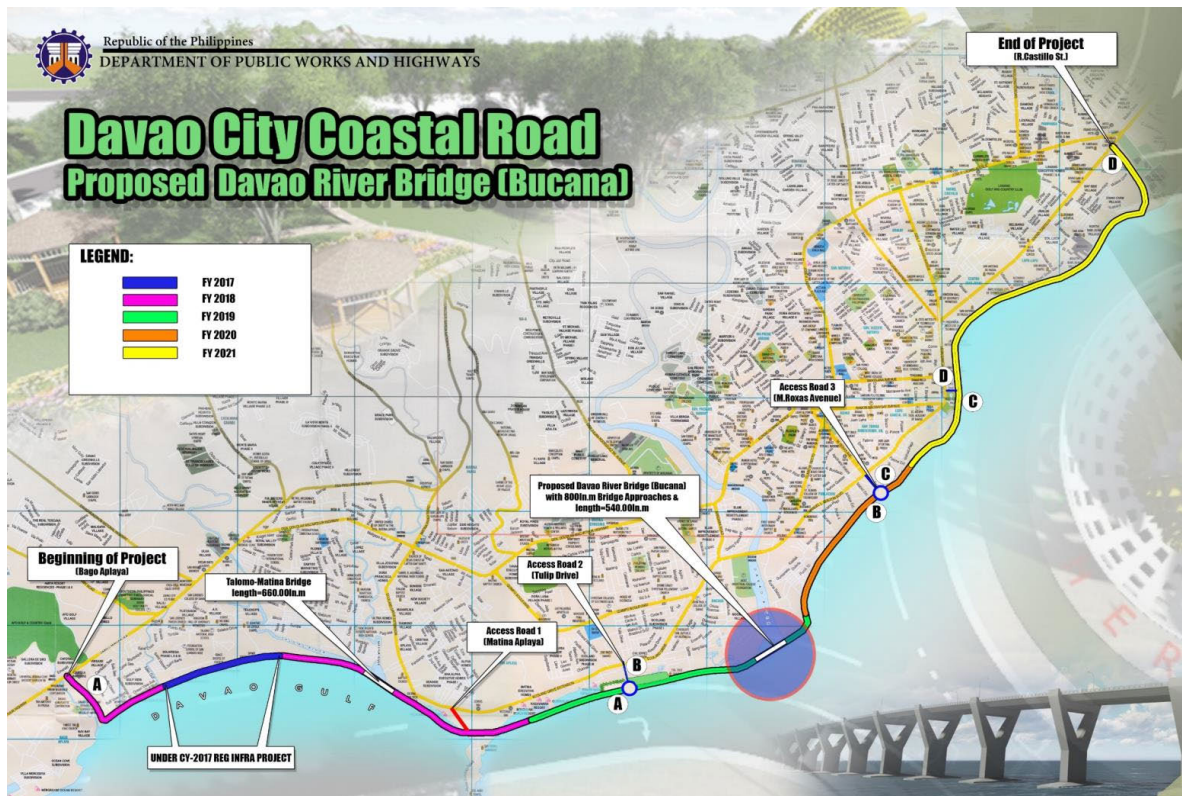
図 2.10.4 沿岸部の既存家屋状況（ダバオ川河口）

2.10.3 既往の高潮・海岸侵食対策

過去、大規模な高潮・海岸侵食対策は実施されていないが、ダバオ海岸の高潮・海岸侵食に影響を及ぼす事業について以下に記載する。

(1) ダバオ市 Coastal Road

前述のように、ダバオ Coastal Road プロジェクトは 2017 年から開始し、2021 年完了の計画で建設が進められている。図 2.10.5 の線形と施工計画図の中で 2017、2018 年区間は着工し概成しているが、2019 年区間は未着手であり、2020、2021 年区間の設計が概ね完了している段階である。前述のように Coastal Road は高潮対策施設ではなく、ダバオ川、マティナ・タロモ川河口部には大規模な橋梁が計画され、その他、陸側住民の海へのアクセス用の小規模な橋梁がいくつも設置される計画となっており、施設全体として、高潮防護機能は有しておらず、開口部の特性に併せて、開口部の遮蔽や背後への堤防設置等の対策が必要である。しかし、波浪に対する効果はかなり大きく、開口部を除いて、Coastal Road の陸側に作用する波浪は著しく低減する。これを受けて侵食傾向にある海岸であってもこれ以上の侵食は発生しないと考えられる。



出典：DPWH RO

図 2.10.5 ダバオ市 Coastal Road の線形と施工計画

(2) 突堤

ダバオ海岸には一部、砂留用の突堤が建設されている地域が散見される。また、フェリー用の栈橋が杭形式ではなく、地盤までの構造物となっているものもあり、結果として侵食、堆積の原因となっている構造物も見受けられる。構造物近傍では、漂砂の上手側に堆積し、下手側に侵食が発生する。海岸侵食や堆積の問題が顕著な地域では、漂砂方向を詳細に調べる必要がある。

2.10.4 潮位分析

潮位を分析することは、設計水位の計画規模や天文潮位等を把握、決定する上で非常に重要である。設計水位は地形・地域特性が影響を及ぼすため、対象海岸特有の条件を考慮する必要がある。

(1) 天文潮位

天文潮位に関して、天文潮位の代表的な諸元を把握し、海岸構造物設計等に反映させる必要がある。フィリピン全土において、潮位関係を管理している NAMRIA によると、ダバオにおける公式潮位は 1970 年～1988 年シリーズのデータに基づいており、その値は表 2.10.2 に示す通りである。

表 2.10.2 ダバオにおける天文潮位諸元 (NAMRIA 公式潮位)

	NAMRIA
Series	1970-1988
MHHW	0.78
MHW	0.65
MSL	0.00
MLW	-0.65
MLLW	-0.76

出典：NAMRIA

(2) 観測データ

ダバオ近傍の潮位観測データに関して、NAMRIA が 1948 年～現在まで潮位観測を実施している。本検討では、1948 年～2017 年までの観測データを NAMRIA から提供を受け、それに基づいて、分析を実施した。観測データの取得率は 1993 年～2009 年の取得率にばらつきが多い。また、1972、1973、1999 年の取得率はほぼゼロである。

(3) 潮位基準

NAMRIA よりダバオの潮位基準面は 1970～1988 年シリーズで算出された MSL を唯一の基準としていると通達され、現地測量に用いている BM 等も同 MSL を用いていることが確認されたため、本検討の MSL は NAMRIA の 1970～1988 年シリーズのものを用いることとする。なお、潮位観測基準面 (Zero tide staff) 等との関係は図 2.10.6 に示す通りである。

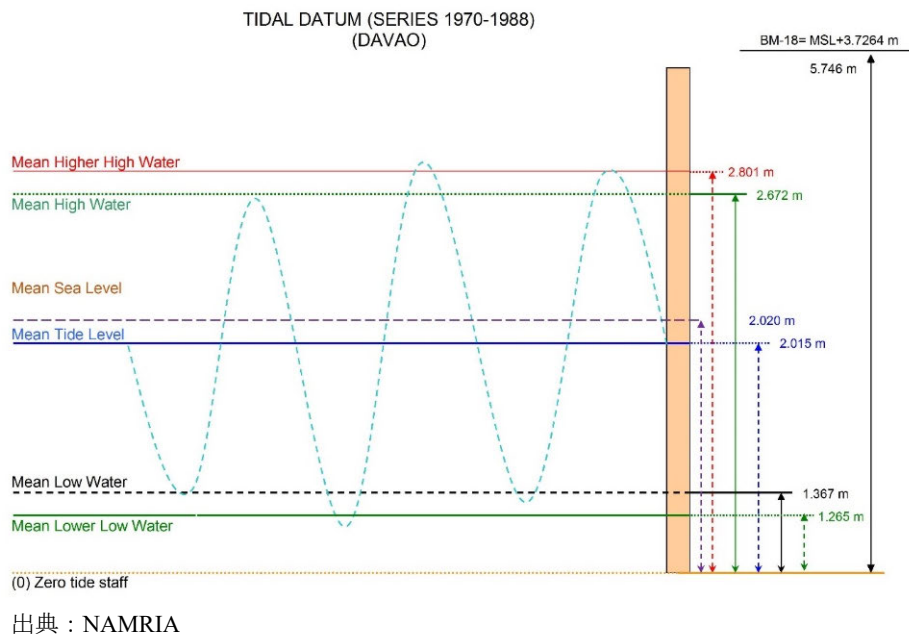
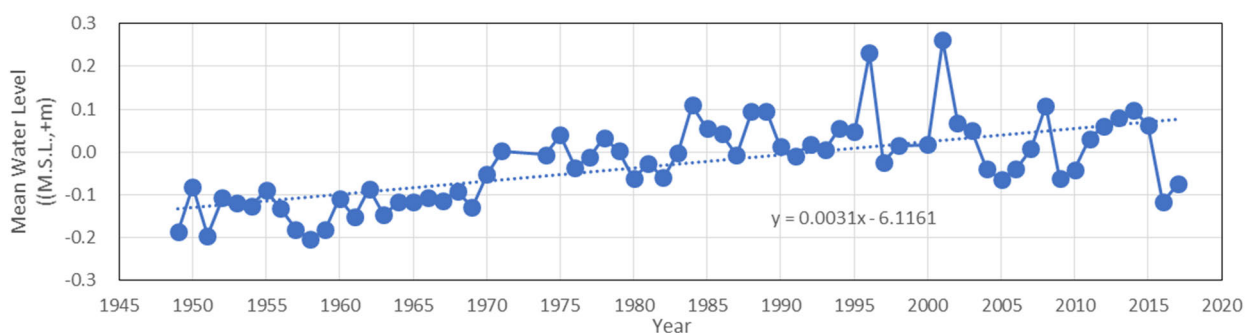


図 2.10.6 潮位の基準面

(4) 既往データの特性

NAMRIA から提供を受けた 1948 年～2017 年の観測データ特性を分析する。まず、対象期間中の年平均海面を算出し、図 2.10.7 に示す。図から年平均海面は年変動を伴いながら観測期間中に上昇していることがわかる。また、その割合は 0.0031m/year であった。年間のばらつきが $\text{MSL}\pm 0.2\text{m}$ 程度あるが、平均潮位としては NAMRIA の観測データが概ね妥当に観測されていることを確認した。

次に、提供データを基に、本検討においても、潮位諸元を算出した。対象期間としては、NAMRIA の公式データと同じ、1970～1988 年、1998～2017 年（直近 20 年相当）、1989～2017 年（直近 30 年相当）の 3 シリーズを用いた。その結果、今回計算の 1970～1988 年の結果を見ると、NAMRIA の公式天文潮位との差は 2cm 以下であり、NAMRIA の天文潮位の妥当性が確認された。

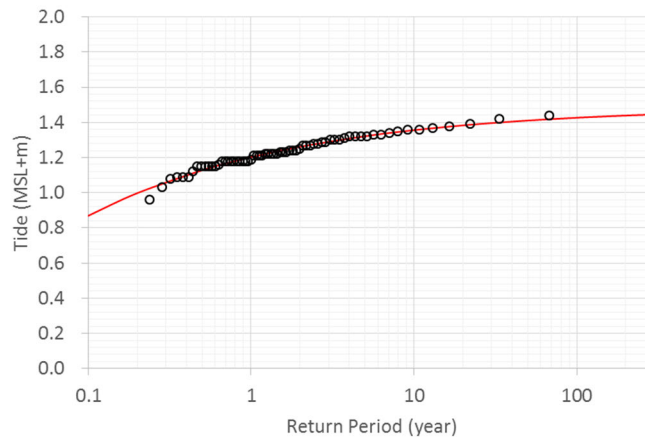


出典：プロジェクトチーム

図 2.10.7 年平均海面の変化

(5) 確率統計解析

計画規模の設計水位を設定するために、観測された潮位データに基づいて、確率統計解析を実施し、ダバオにおける特定の再現期間に対する確率潮位を算出する。算出に当たっては、3 つの極値分布を统一的に記述する一般化極値分布を用いた。確率統計解析には、ダバオ潮位観測所での 1948 年～2017 年の年最大潮位を用いた。この年最大潮位データを用いて、一般化極値分布に当てはめ、最小自乗法によって最適なパラメータを決定した結果、再現期間と確率潮位の関係は図 2.10.8 の通りである。また、特定の再現期間毎の確率潮位は表 2.10.3 に示す通りであり、50 年確率で $\text{MSL}+1.41\text{m}$ 、100 年確率で $\text{MSL}+1.43\text{m}$ と、両者の差は 2cm と非常にわずかであった。



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.8 潮位の確率統計解析結果

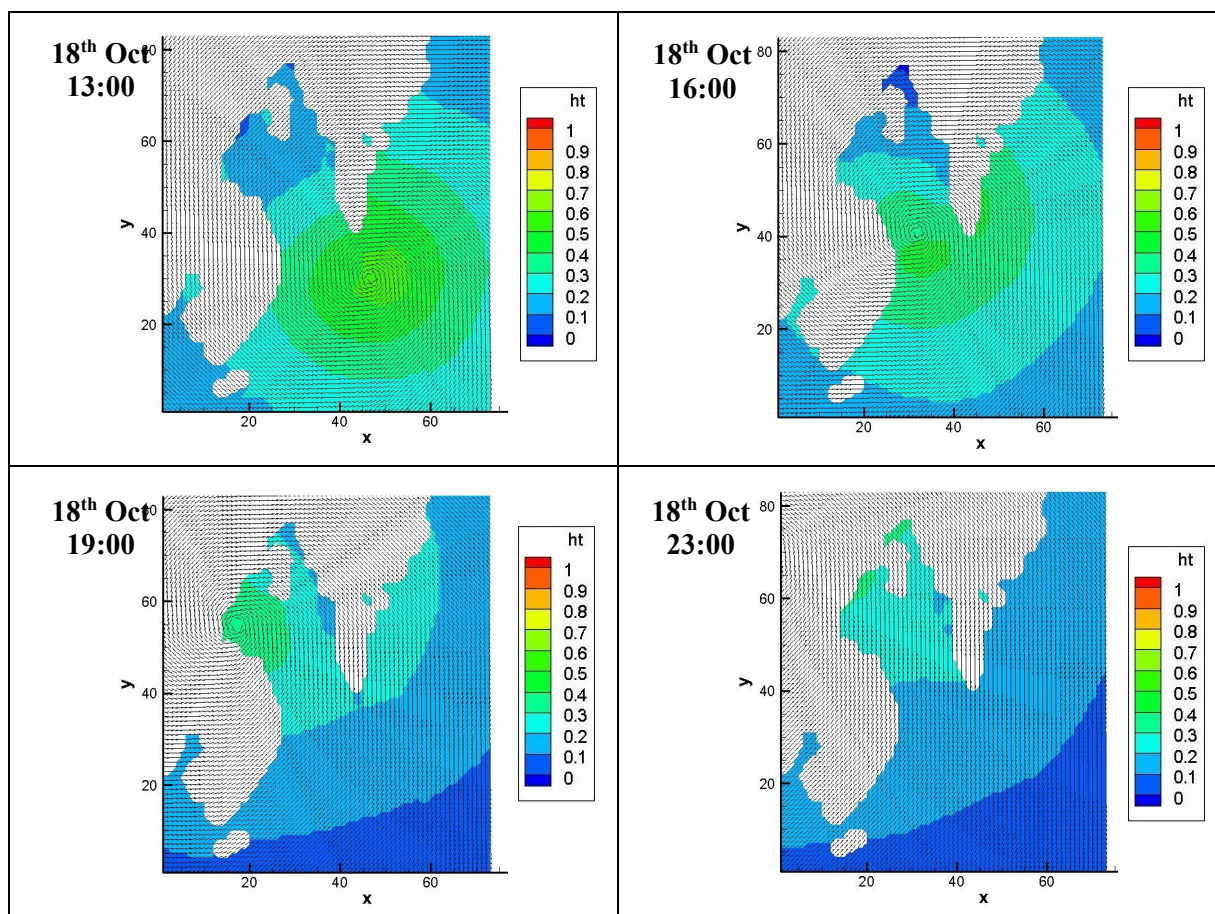
表 2.10.3 再現期間毎の確率潮位

Return period(year)	1	10	25	50	100
Tide(MSL+m)	1.20	1.36	1.39	1.41	1.43

出典：プロジェクトチーム

(6) 高潮偏差の影響

前述したように、ダバオ潮位計の観測データ（1948年～2017年）の中で、台風1970年20号来襲時の観測データが欠測していた。そのため、上記の確率統計解析はそのデータを含んでいないため、過少評価している可能性がある。よって、台風1970年20号時の高潮シミュレーションを実施し、台風による高潮偏差の発生状況を把握し、必要に応じてその偏差を考慮した確率統計解析を実施する。台風1970年20号の高潮シミュレーション結果を図2.10.9に示す。台風の吸い上げ、吹き寄せによって台風の目を中心に数10cmの高潮偏差が発生し、ダバオ湾内において高潮を発生させている。しかし、10月18日16時のスナップショットを見ると、ダバオ市対岸の半島によって、外海からの高潮の流入が防がれていることが分かる。台風1970年20号の中心気圧は950hPa程度と低く、ダバオ市を直撃したが、対岸半島によって大きな高潮が遮られるコースだったため、高潮偏差自体は比較的小さいものしか発生していなかったことが推定される。



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.9 台風 1970 年 20 号の高潮偏差シミュレーション結果

台風 1970 年 20 号の高潮シミュレーション結果として、ダバオ潮位計近傍での高潮偏差の時系列変化から、高潮偏差は台風接近に伴い上昇し、18 日 20 時頃、最大値 0.34m となった。当時は満潮に近く、天文潮位のみで MSL+1m を超えていたが、それに高潮偏差が加わって、最大潮位は、MSL+1.35m と推定された。台風 1970 年 20 号の高潮シミュレーション結果を反映して、潮位の確率統計解析を実施したが、台風 1970 年 20 号の高潮状況を考慮した年最大潮位は MSL+1.35m であり、台風 20 号を考慮しない場合、1970 年の最大潮位は MSL+1.33m であり、その差はわずかであり、結果に変化はなかった。

2.10.5 波浪分析

波浪を分析することは、設計波浪の計画規模や設計波等を把握、決定する上で非常に重要である。設計波浪は地形・地域特性が影響を及ぼすため、対象海岸特有の条件を考慮する必要がある。計画規模の設計波浪を設定するにあたっては、潮位の場合と同様に、検討対象年数（例えば、50 年や 100 年）の観測データがあると、推定精度は向上するが、少なくとも 30 年以上の観測データが必要となる。しかし、ダバオ近傍では波浪観測が実施されておらず、NAMRIA がミンダナオ島北部の Surigao で 2018 年から観測開始したばかりである。ダバオ沿岸の設計波を設定するには、数 10 年規模の一連の波浪データが必要となる。本検討では、次項に詳述するが、再解析気象データ (JRA-

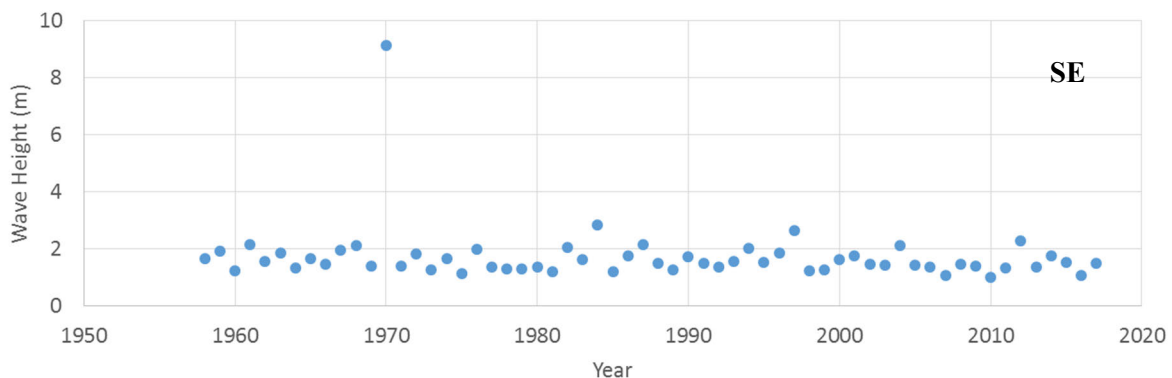
55、JMA) を用いて、京大防災研が実施した長期波浪再解析データを使用して、当該海岸の波浪状況を分析することとする。

(1) 波浪再解析データ

前述のように、本検討では、長期波浪観測データの代わりに、波浪推算値を用いる。本来、この推算値は、ある一定期間、近傍の波浪観測結果との整合性を確認する必要があるが、ミンダナオ島周辺およびフィリピン周辺においても波浪観測データがないため、本検討では、波浪推算値をそのまま用いることとする。

(2) 既往データの特徴

既往データの特徴として、1970年に大きな波高が発生していることが分かる。これは、台風1970年20号による波浪である。台風1970年20号来襲時、高潮は比較的小さかったが、ダバオ湾外での波浪は9m程度発生していたことが推定される。波向SWに関して、1964年11月と1990年11月に5m以上の比較的大きな波浪が発生している。これは、TY196431号、TY199025号がそれぞれ、ミンダナオ島北部を通過し、その強風によって通過後SWからの波浪がダバオ湾外で発達したものと考えられる。その他の年にはあまり顕著な高波浪は見受けられない。これは、潮位の傾向と同様で、極端な気象イベント等が発生していないと推定され、台風1970年20号を除いては、概ね平均的なモンスーン風による波浪で年最大波浪が決定されていると推察される。



出典：プロジェクトチーム

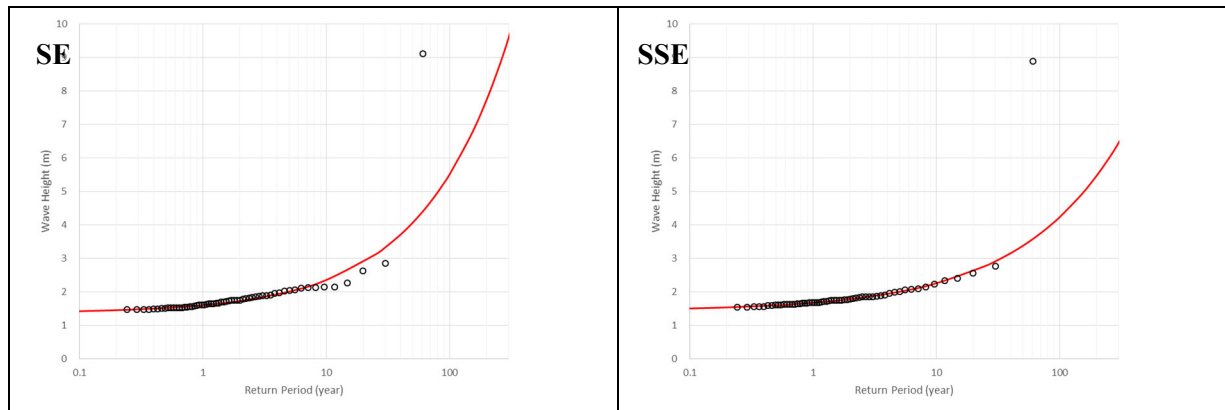
図 2.10.10 年最大波高（波向 SE）

(3) 確率統計解析

計画規模の設計波浪を設定するために、再解析波浪データに基づいて、確率統計解析を実施し、ダバオにおける特定の再現期間に対する確率波浪を算出する。算出に当たっては、確率潮位と同様に、3つの極値分布を統一的に記述する一般化極値分布を用い、波向毎に一般化極値分布を当てはめ、再現期間と確率潮位の関係はSEとSSEを例に図2.10.11の通りである。

また、特定の再現期間毎の波向別確率波高を求めた結果を表2.10.4に示す。波向毎の発生特性を踏まえて、確率波高の違いが表れていることがわかる。また、50年確率、100年確率ともESEが最も高く、それぞれ5.15m、7.67mであった。ただし、これは沖波波浪の確率統計解析結果である。

ダバオ海岸に到達する波浪の中で大きいものを特定するために、ダバオ湾外からダバオ海岸近傍までの波浪変形計算を実施する必要がある。



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.11 波浪の確率統計解析結果（波向 SE、SSE）

表 2.10.4 再現期間毎の確率沖波波高（波向 E～SE）

Return period (year)		1	10	25	50	100
Offshore Wave Height (m)	E	1.65	2.43	3.26	4.30	5.94
	ESE	1.57	2.52	3.64	5.15	7.67
	SE	1.60	2.36	3.12	4.06	5.52
	SSE	1.68	2.26	2.78	3.37	4.24
	S	1.91	2.47	3.07	3.82	5.00
	SSW	2.00	2.65	3.35	4.27	5.73
	SW	1.93	2.74	3.52	4.45	5.84

出典：プロジェクトチーム

(4) 波浪変形解析

前述のように、ダバオ沿岸での構造物設計等に用いる波浪を設定するためには、ダバオ湾外での波浪からダバオ海岸近傍での波浪状況を推定する必要がある。そのため、ダバオ湾外の沖波から波浪変形計算を実施して、ダバオ海岸での波浪を解析する。その際、沖から屈折効果と回折効果を考慮する。沖波波高 H_0 と屈折効果 K_r 、回折効果 K_d と沿岸での波高 H_n の関係は次式で表される。

$$H_n = K_r \cdot K_d \times H_0$$

このとき、 $K_r \cdot K_d$ を屈折回折係数と呼ぶ。 $K_r \cdot K_d$ を求めるために、波浪変形計算を実施した。計算モデルは浅海域での波浪変形に拡張された第3世代波浪推算モデル SWAN (TU Delft) を用い、沖側境界には京大防災研が実施した WW3 の波浪解析結果を採用し、それを入力条件として、連続的に解析する手法を採った。

計算対象は、代表期間として、以下の2年間を選定した。

1. 1970年：特異な気象イベント台風1970年20号を含む1年間
2. 2012年：観測精度等が向上した近年の代表として2012年の1年

次に検討対象の7波向について、沖側の波高に対する湾内代表地点での波高の比率を求め、ダバオ海岸近傍での設計波を求めた。算出結果は表2.10.5に示す通りである。計画規模を設定し、設定された防護水準に応じたこれらの確率波浪を設計波として選定する。

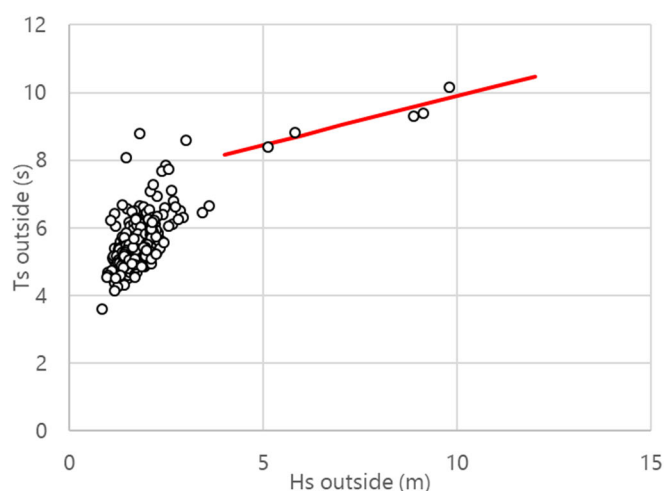
表 2.10.5 再現期間毎の沿岸での確率波高（波向 E～SE）

Return period (year)		1	10	25	50	100	Kr·Kd
Near shore Wave Height (m)	E	0.29	0.43	0.58	0.77	1.06	0.18
	ESE	0.28	0.46	0.66	0.93	1.39	0.18
	SE	0.39	0.58	0.76	0.99	1.35	0.24
	SSE	0.36	0.49	0.60	0.73	0.92	0.22
	S	0.35	0.45	0.56	0.69	0.91	0.18
	SSW	0.22	0.30	0.37	0.48	0.64	0.11
	SW	0.10	0.14	0.18	0.23	0.30	0.05

出典：プロジェクトチーム

(5) 周期の設定

ダバオ湾の特性を踏まえて、設計波高に対する周期を設定する必要があり、対象とした年最大波高と周期の関係で波高5m以上のものを対象に近似曲線 $T_s = 0.29 \times H_o + 7.0$ を設定して、周期を求めた。このとき、 T_s が設計周期であり、沖波波高 H_o との関係で設定した。



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.12 沖波波高と周期の関係

2.10.6 潮流分析

潮流に関して、本プロジェクトでは観測を実施していないが、NAMRIA から提供を受けた海図に潮流に対する情報が記載されている。ダバオ湾の潮流の特性は以下の通りである。

- ダバオ湾では北向きに上げ潮、南向きに下げ潮である。
- Samal 島とダバオ市との海峡で潮流が速くなる。(最大で 2.5kn)
- その他の海域では、顕著に速い潮流は発生していない。

以上から、湾内の一部狭窄部で最大でも 2.5kn であり、その他の海域では顕著な発生していないことから、ダバオ海岸の土砂移動に影響を及ぼすほどの潮流が発生しているとは想定しにくく、以後の海岸侵食・堆積の主要因とはならないと判断する。

2.10.7 気候変動影響分析

本項では、海岸災害に影響する気候変動の影響に関して記載する。海岸災害に影響する気候変動の影響には、海面上昇 (Sea Level Rise, SLR)、台風や低気圧、モンスーンの変化、それに伴う高潮、高波傾向の変化、それらの結果として表れる海岸侵食・堆積傾向の変化等が挙げられる。しかし、本項では、DGCS に記載されている海面上昇の取り扱いについて特化する。

(1) 参照資料

本プロジェクトで気候変動の影響を考慮する際、考慮すべき海面上昇の参照資料は 3 種類が考えられ、その内容は表 2.10.6 の通りである。1. 潮位計観測データ (図 2.10.7 参照)、2. PAGASA による将来予測 (図 2.7.32 参照)、3. DPWH で用いている DGCS である。表 2.10.6 に示す 3 種類の参照資料から、本プロジェクトでの海面上昇量を設定する。

表 2.10.6 海面上昇量の設定に関わる参照資料

Sources	Description
1. Tide Observation Data	- Practical observed data in Davao tide station from 1948-2017 - Only historical data, no prediction - Increase rate: 0.0031m/year
2. Prediction by PAGASA (Met Office)	- Met Office predicted the mean sea level change in Philippines in 2016 - 0.2m in 2045 (target year of this project)
3. DGCS	- 0.3m SLR for 2050 in the design - 0.5m SLR for 2100 - Based on IPCC (2013)

出典：プロジェクトチーム

(2) 現在までの海面上昇

現在の潮位諸元は、NAMRIA の公式潮位 1970～1988 年シリーズを用いている。そのため、将来の海面上昇を検討する前に、1988 年～現在までの海面上昇量を設定する必要がある。本プロジェク

トでは、現在までの海面上昇量をダバオ潮位計での観測データに基づいて、年平均の海面上昇量 0.0031m/year を用いて、以下のように設定する。

$$SLR (present) = 0.0031 * (2019 - 1988) = 0.0031 * 31 = 0.0961 \approx 0.1m$$

上記から、本プロジェクトの検討に用いる潮位は NAMRIA の公式潮位（1970～1988 年シリーズ）に現在までの海面上昇量 0.1m を加えた潮位とすることを提案する。

(3) 将来の海面上昇

現在までの海面上昇量に加えて、本プロジェクトで検討する将来の海面上昇量を設定する。それに併せて、DGCS に記載されている気候変動の考慮手法も併せて検討する必要がある。考慮手法は、「A: Incorporating into Present Design」、「B: Planned Upgrade」の 2 種類の方法がある。

本プロジェクトで検討する海面上昇量の候補は表 2.10.7 に示す 3 種類である。なお、ターゲット年は 2045 年を想定している。本プロジェクトは既に現在までの上昇量 0.1m を考慮することを提案しているため、その値を含んだ上昇量であることに留意が必要である。

表 2.10.7 本検討で考慮する海面上昇量の候補

Alternatives	SLR from around 2000	SLR from Present	Description
1. Historical Trend	-	0.1m in around 2045	- Increase rate: 0.0031m/year - 0.0031*27years (2045-2019)=0.084m
2. Recent Prediction	0.2m in around 2045	0.1m in around 2045	- PAGASA prediction in Davao
3. DGCS	0.3m in 2050	(0.2m in 2050)	- Following DGCS

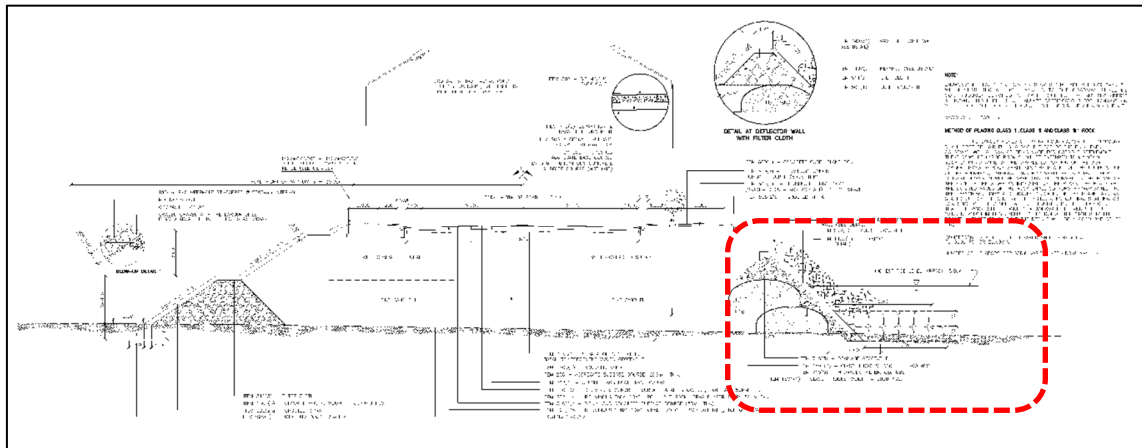
出典：プロジェクトチーム

2.10.8 沿岸域での既存事業/将来開発計画の影響評価

沿岸域において、現在、DPWH によって Coastal Road が計画され、ダバオ川よりも南西側では既に工事を着手している区間がある。ダバオ川よりも北東側では現在、細部の計画を策定している段階であり、ダバオ市等との協議が引き続き行われている。その他、DPWH およびダバオ市等によるヒアリング結果から、Coastal Road の陸側に埋立計画があるが、現在、計画を申請中であり、現時点での実施の実現性を考慮して、本プロジェクト内では考慮しないことを C/P と確認している。そのため、以下では、Coastal Road プロジェクトに関して、既に着手している既存事業および将来事業区間の影響評価を実施する。

(1) 検討対象

検討対象は、ダバオ Coastal Road の全域であり、既存着手区間および将来計画区間である。標準断面図は図 2.10.13 に示す通りであり、「3.3. 計画規模」で設定する設計条件に基づいて、道路護岸の構造・断面を評価し、計画法線の周辺への影響について考察する。



出典：DPWH RO

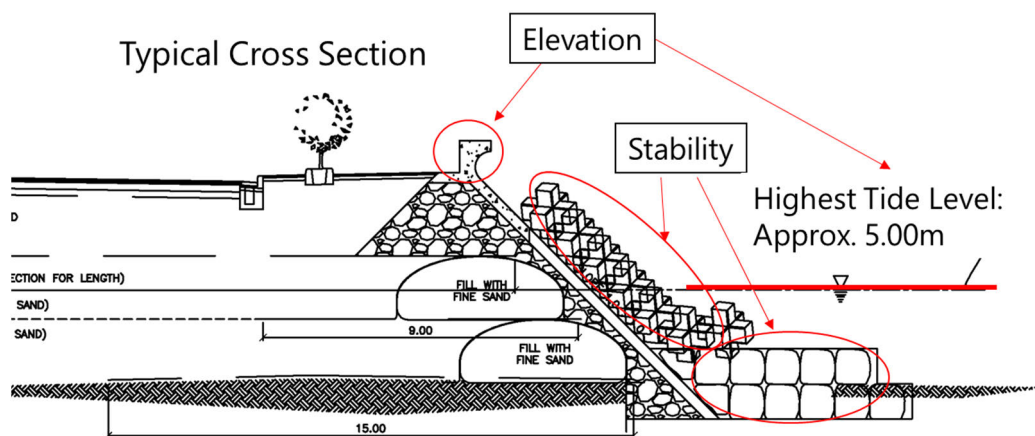
図 2.10.13 ダバオ市 Coastal Road の標準断面図

(2) 検討手法・項目

具体的な検討内容は以下の通りである。

- 検討内容：道路護岸断面が海岸構造物としての機能を有しているか、評価する。
- 検討条件：設定した設計条件（設計潮位、設計波）
- 検討基準：フィリピン DPWH の基準である DGCS を基本とし、記載のない場合は DGCS に記載されている通り PPA (2009)に準拠する。さらに記載がない場合には、本邦基準である海岸保全施設の技術上の基準・同解説および港湾施設の技術上の基準・同解説を用いることとする。

検討箇所：護岸断面の性能として、1. 護岸天端高の妥当性、2. 護岸被覆材の必要質量を評価する。具体的な検討箇所は図 2.10.14 に示すとおりである。



出典：DPWH RO

図 2.10.14 検討対象箇所位置図

(3) 設計条件の評価

Coastal Road の断面評価に先立ち、本プロジェクトで設定した計画規模に基づいた設計条件と Coastal Road 検討の際に設定された設計条件を比較し、その妥当性を評価する。

1) 設計条件の整理

本プロジェクトで採用した設計条件は以下の通りである。

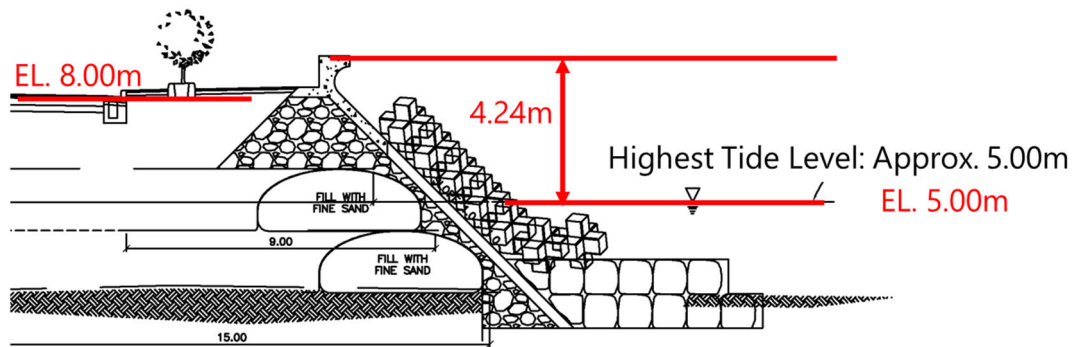
Design Water Level: MSL+1.43m (100年確率潮位)

Design Wave at Davao Coast: Wave Height=1.6m, Wave Period=9.2s, ESE

Wave Height=1.6m, Wave Period=8.6s, SE

2) 設計水位の評価

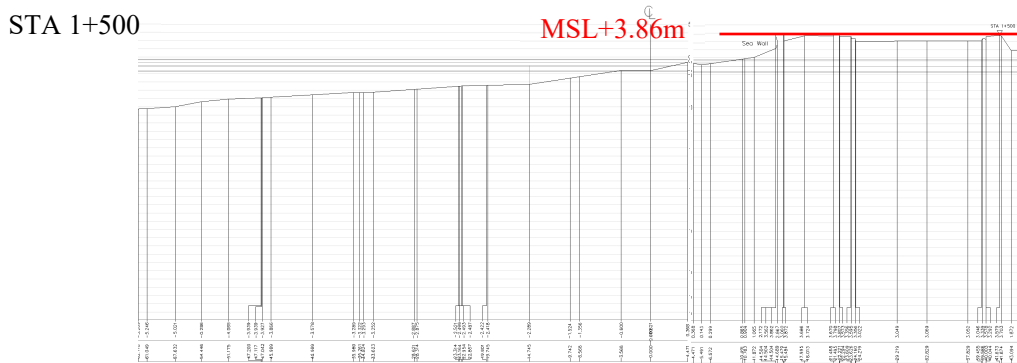
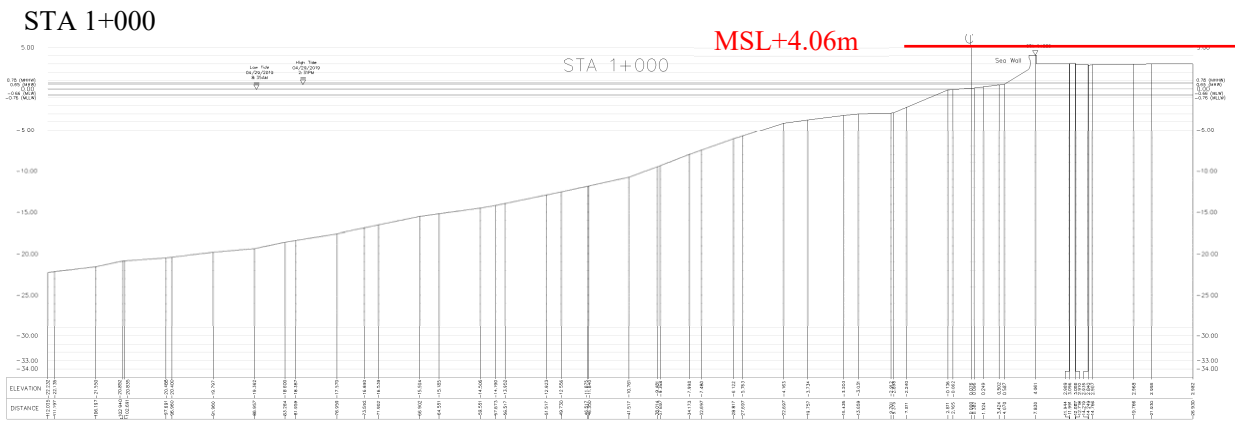
DPWH は NAMRIA 公式潮位を用いずに、独自の高さ管理をしているため、DPWH から入手した標準断面図を基に、DPWH で設定している設計水位の NAMRIA 公式潮位での高さを求めた。



出典：DPWH RO

図 2.10.15 Coastal Road の標準断面図

本プロジェクトで実施した沿岸部の横断測量結果で既に海岸道路の海岸施設が完成している箇所 (STA.1+000、1+500) の海岸施設の天端高と設計水位との関係から設計潮位の NAMRIA 公式潮位での高さを求めた。結果は表 2.10.8 に示すとおりであり、本プロジェクトで採用する設計水位より大きく下回る結果となった。



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.16 建設済み Coastal Road の横断測量結果 (Sta. 1+000, Sta. 1+500)

表 2.10.8 設計水位の評価結果

Items	Original	Evaluation	Proposal
Design Water Level	EL. 5.00m	MSL-0.24m	MSL+1.43m

出典：プロジェクトチーム

3) 設計波浪の評価

既往プロジェクトで採用されている波浪条件は以下の通りであり、DGCSに基づいて構造物設計水深での砕波限界波高により設定されている。この砕波限界波高はその水深で起こりえる最大の波高を表しており、波浪関係の情報が欠如しているフィリピンで利用されるのはやむを得ないが、極めて保守的な値となる場合が多い。本プロジェクトで採用する波浪条件は上記で整理した通りであり、両者を比較・評価すると表 2.10.9 に示す通りである。

Design Wave at Davao Coast: Wave Height=3.04m, Wave Period=4.5s

Equation 7-2	
$H_b = 0.8d_s$	
where:	
H_b	= maximum breaking wave height (m)
d_s	= design depth at the toe of the structure

出典：DGCS Vol. III

CALCULATION:			
A. DESIGN WATER LEVEL			
DWL	=	4 m	
			(DATA FROM ACTUAL CONDITION/HIGHEST TIDE)
B. DESIGN WAVE HEIGHT			
INITIAL DESIGN CASE			
SEA BED ELEVATION	=	0.100 m	
STRUCTURE DEPTH (d_s)	=	4.000 - 0.100	= 3.900 m
BREAKING WAVE HEIGHT (H_b)	=	0.780 x d_s	
		= 0.780 x 3.90	= 3.042 m

出典：DPWH RO

表 2.10.9 設計波浪の評価結果

Items	Original	Evaluation	Proposal
Design Wave Height	3.04m	Very conservative	1.6m
Design Wave Period	4.5s	Very short	8.6-9.2s

出典：プロジェクトチーム

(4) 構造断面の評価

1) 天端高

現在の設計で用いられている Coastal Road の天端高は、設計水位から以下の通りである。

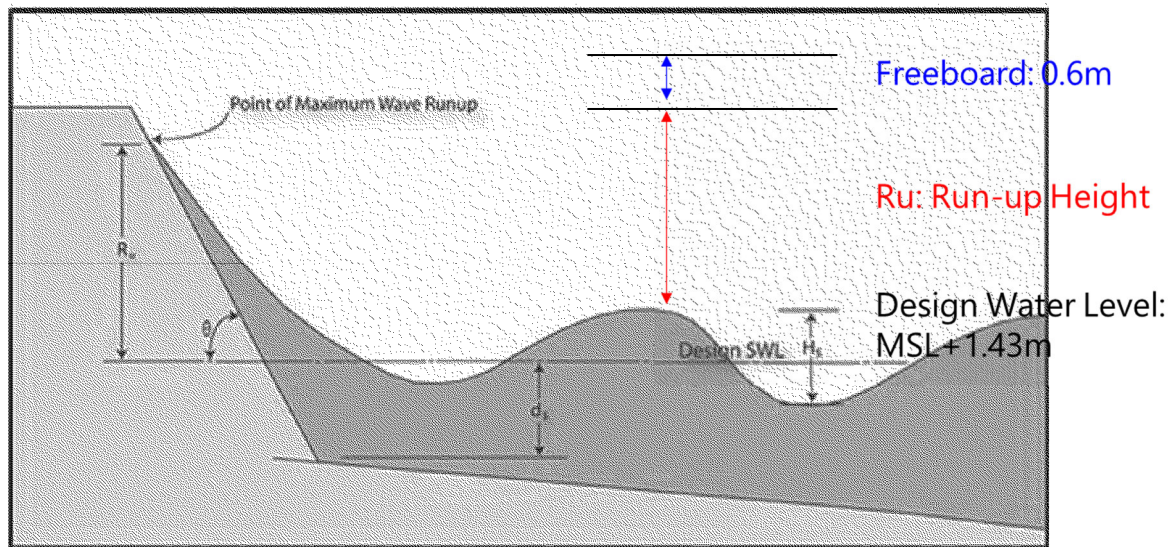
Elevation of Seawall: Around EL. 9m = MSL+4.0m

また、本プロジェクトで設定した設計条件に基づいて、海岸施設の天端高を DGCS に記載の方法で設定すると、以下の通りである。

Height of Structure

The height of the structure should be designed to prevent overtopping for the protection level identified in Section 7.1.2. A freeboard of 0.6 m should be added to design still water level plus wave runup.

Figure 7-4 Overview of Parameters for Wave Runup



Equation 7-3

$$R_u = 1.6H_s(r\xi)$$

With an upper limit of:

$$R_u = 3.2rH_s$$

where:

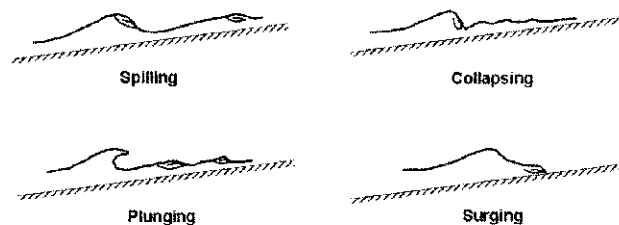
- Ru = vertical height of runup on slope (m)
- Hs = significant wave height (m)
- r = coefficient of armor roughness (= 0.55 for riprap)
- ξ = dimensionless breaker parameter from Table 7-4.

出典：DGCS Vol. III

Table 7-4 Dimensionless Breaker Parameter

$\xi < 0.5$	Spilling
$0.5 < \xi < 2.5$	Plunging
$2.5 < \xi < 3.5$	Collapsing
$\xi > 3.5$	Surging

Figure 7-5 Types of Waves



出典：DGCS Vol. III

なお、 ξ は以下の方法で算出される。

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\sqrt{H/L_o}}, \quad L_o = \frac{g}{2\pi} T^2$$

ここに、 T : wave period, θ : seabed slope である。

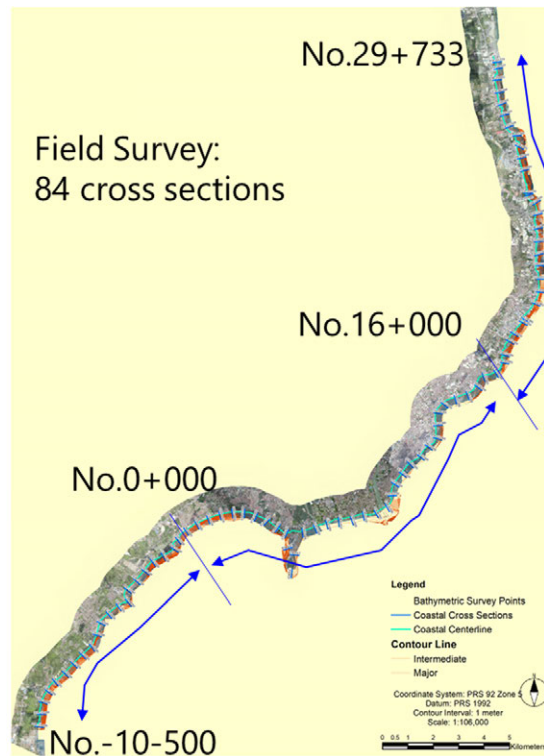
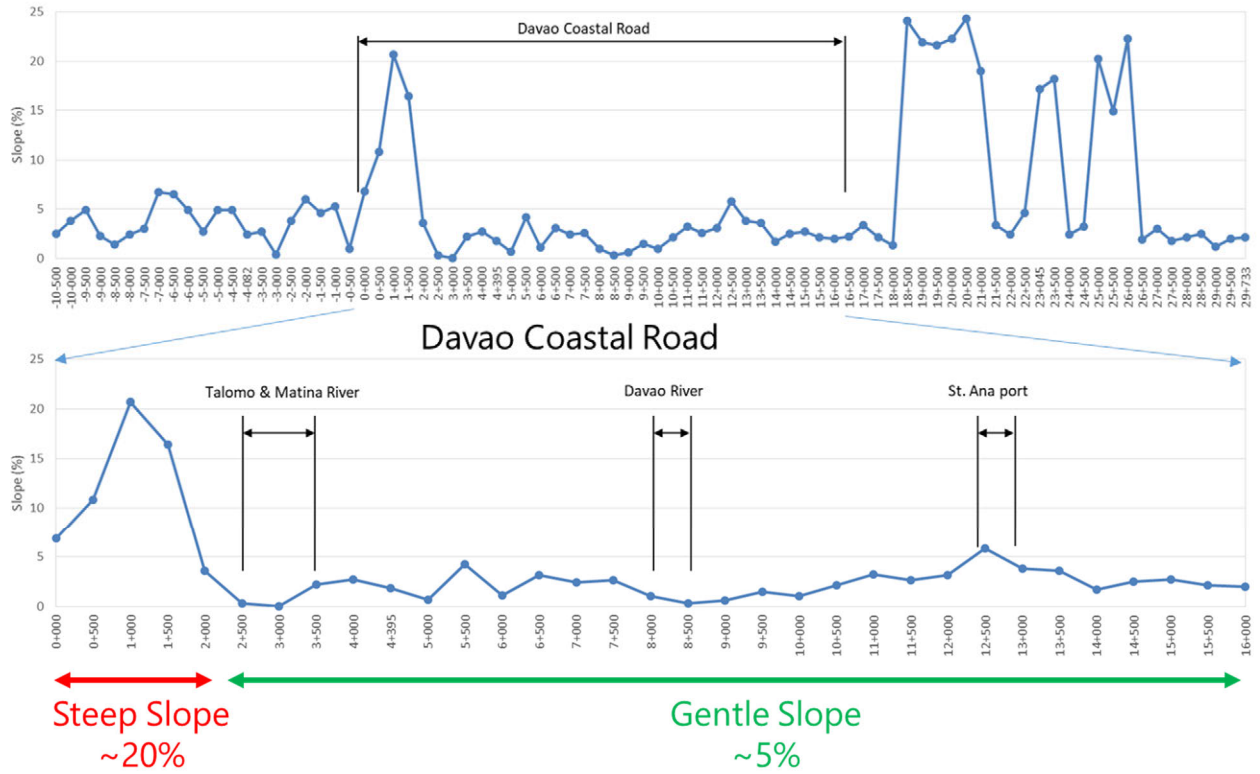
以上から、波の打ち上げ高は波高、周期、斜面の材質に加えて、勾配（海底および構造物の勾配）に依存することがわかる。

そのため、Coastal Road 区間の横断測量結果から汀線付近の海底勾配を算出し、その結果を図 2.10.17 に示す。図から、概ね 5%以下の緩い海底勾配の区間と 20%以下の比較的急な海底勾配の区間の大きく 2 つの特徴があることが判明した。

それらの海底勾配を用いて、波の打ち上げ高を算出し、余裕高を考慮した必要天端高を求めた結果を表 2.10.10 に示す。その際、海底勾配として、1%、2%、5%、10%、20%の 5 通りを用いた。また、計算には消波ブロックを設置する場合としない場合の 2 通り計算している。

計算結果を用いて、Coastal Road 区間の必要天端高を求めた結果を図 2.10.18 に示す。図より、Sta.2 以降では天端高は十分に足りているが、Sta.0~Sta.2 までの区間では、余裕高の 0.6m 分不足している結果となった。本結果を受けて、DPWH は+0.6m 以上の越波防止フェンス等の設置を検討することとしている。

天端高の評価結果をまとめると、表 2.10.11 に示すとおりである。



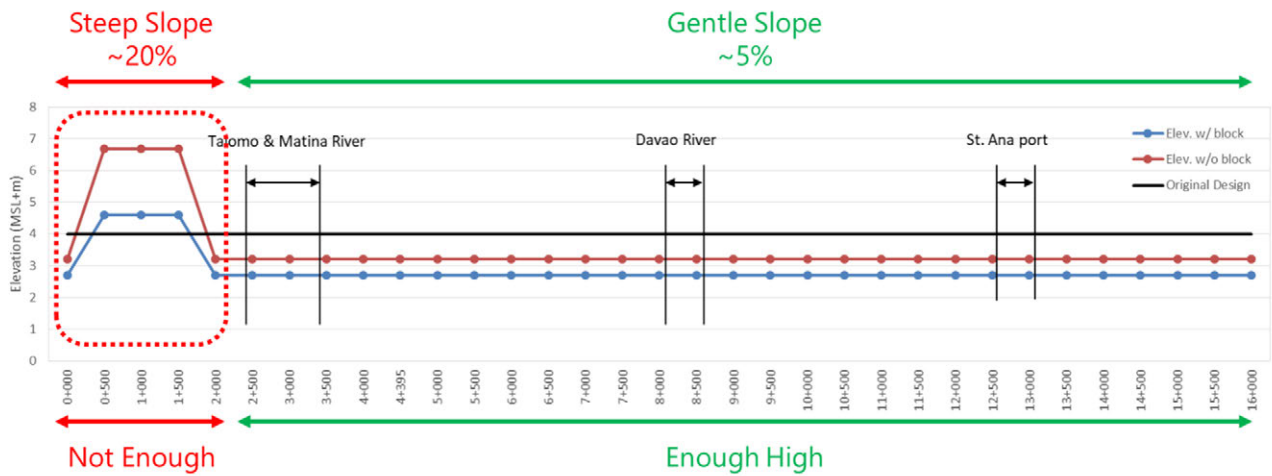
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.17 横断測量の各側線における海底勾配（上：海底勾配、下：位置図）

表 2.10.10 打ち上げ高と必要天端高の算出結果

Conditions			Slope θ (%)				
Items	Unit	Symbol	20	10	5	2	1
Breaker Parameter	(-)	ξ	1.82	0.91	0.45	0.18	0.09
Wave Height	(m)	Hs	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
Wave Period	(s)	T	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20
Wave Length	(m)	Lo	132.04	132.04	132.04	132.04	132.04
With Concrete Blocks							
Roughness coefficient	(-)	r	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Runup Height	(m)	Ru	2.56	1.28	0.64	0.26	0.13
Water Level	(MSL+m)	-	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
WL + Runup	(MSL+m)	-	3.99	2.71	2.07	1.69	1.56
Freeboard	(m)	-	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Required Elev.	(MSL+m)	-	4.60	3.40	2.70	2.30	2.20
Without Concrete Blocks							
Roughness coefficient	(-)	r	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Runup Height	(m)	Ru	4.65	2.33	1.16	0.47	0.23
Water Level	(MSL+m)	-	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
WL + Runup	(MSL+m)	-	6.09	3.76	2.60	1.90	1.67
Freeboard	(m)	-	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Required Elev.	(MSL+m)	-	6.70	4.40	3.20	2.50	2.30

出典：プロジェクトチーム



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.18 Coastal Road 区間の必要天端高

表 2.10.11 天端高の評価結果

Items	Original	Evaluation	Proposal
Elevation	MSL+4.0m (Elevation 9.m)	Not Enough for Sta.0.00 to 2.00	MSL+4.6m
		Enough for Sta. 2.00 to 16.000	Same as original

出典：プロジェクトチーム

2) 被覆材

Coastal Road の海岸施設の海側には、2種類の被覆材が使用されている。1:コンクリートブロック、2:被覆石である。DPWH側で設計された被覆材は以下の通りである。

Weight of Concrete Blocks: 2.0t/unit

Weight of Armor Rocks: 2.0t/unit

本プロジェクトで設定した設計条件に基づいて、DGCSに記載の方法で以下の通り、被覆材の必要質量を算出する。DGCSでは以下のハドソン式を用いて、波高（前述の通り H=1.6m）、単位体積重量、経験係数（ $K_D=1.0$ 、DGCSより）等を用いて、算出する。

Equation 7-1

$$W_{50} = \frac{w_r H^3}{K_D (s_r - 1)^3 \cot \theta}$$

where:

W_{50}	=	median weight of armor units
w_r	=	unit weight of armor units (kN/m ³)
H	=	design wave height (refer discussion below)
K_D	=	empirical coefficient (refer discussion below)
s_r	=	specific gravity
θ	=	slope of revetment

出典：DGCS Vol. III

コンクリートブロック、被覆石の算出結果は、それぞれ、以下の通りであり、評価結果をまとめると表 2.10.12 に示すとおりである。

For Concrete Blocks

$$W = \frac{2.3 \times 1.6^3}{8.0 \times 1.0 \times \{ (2.3 / 1.03) - 1.0 \}^3} = 0.63 \text{ t/unit}$$

For Armor Rocks

$$W = \frac{2.65 \times 1.6^3}{2.0 \times 1.0 \times \{ (2.65 / 1.03) - 1.0 \}^3} = 1.39 \text{ t/unit}$$

表 2.10.12 被覆材の評価結果

Items	Original	Evaluation	Proposal
Concrete Blocks	2.0t	> 0.63t	Same as original
Armor Rocks	2.0t	> 1.39t	Same as original

出典：プロジェクトチーム

(5) 計画法線の周辺への影響評価

本プロジェクトで設定した設計条件等では、以下のような特性がある。

- 波浪はかなり小さく、DPWH が設定した設計波浪の半分程度である。
- 一方、周期は比較的ながく、波浪が直接作用するところでは越波の可能性が高まる。
- 潮流は一部で確認できるが、区間全体を通して影響は小さい。

そのため、海象条件が計画法線によって大きく影響を与えることは基本的に小さいと判断できる。しかし、計画法線にかかわらず、閉鎖性水域を設けることに関して以下の懸念事項を記載する。

懸念事項

- Coastal Road 建設に伴い陸側の水域は、一部開口部はあるが、閉鎖性水域となり、海水交換が十分に行われるか懸念がある。
- 自然海浜を喪失することとなり、生態系への影響や住環境、眺望の悪化が危惧される。
- 沿岸部では生活排水がそのまま排出されており、海水交換が不十分の場合、生活環境がかなり悪化する恐れがある。
- 雨水排水も同様に自然に排出されている箇所があるが、Coastal Road 建設に伴い、自然に排出できるかどうかの懸念がある。

本来、このような大規模な埋立開発計画にあたっては、環境への影響がどの程度かを詳細に把握した上で、住民等のステークホルダーを巻き込んだ意思決定が必要である。しかし、Coastal Road 計画は本プロジェクトが実施される前からの計画であり、本プロジェクトでは懸念事項を示すにとどめる。

2.10.9 沿岸防護面での高潮、海岸侵食等に関する数値解析

以下では、「3.3. 計画規模」に則り、高潮、海岸侵食に関する数値解析を実施して、現在および将来の開発計画を反映した上で、ダバオ海岸の防護面の評価を行う。

ダバオ市沿岸の将来計画に関して、最も影響が大きいものは Coastal Road である。そのため、検討対象としては、Coastal Road 区間とその南側、北側と、ダバオ市沿岸部を大きく3つに分けて高潮検討および海岸侵食検討を実施する。3ゾーンの詳細は以下の通りである。また、既存事業及び将来計画の有無における影響を把握するため、既存事業なしのケース（現状）と既存事業及び将来計画ありのケースを検討する。

ゾーン 1 : ダバオ市南部～Coastal Road 始点までの区間

ゾーン 2 : Coastal Road 建設区間

ゾーン 3 : Coastal Road 終点～ダバオ市北部

(1) 高潮に関する数値解析

1) 検討概要

前述のように、ダバオ海岸において台風等による特異イベントによる高潮は発生していないことから、高潮浸水検討は通常の天文潮位および計画規模となる設計潮位に対する高潮浸水シミュレーションを実施する。検討ケースは以下のケースを実施した。まず、Coastal Road 建設前を現況として、設定した計画規模に対する浸水シミュレーションを実施して、被害状況を予測する (case1)。次に、Coastal Road 完成後の地形条件に対して、浸水シミュレーションを実施して、被害状況予測から Coastal Road の影響を把握する (case2)。その後、本プロジェクトの構造物対策の施設計画案に対する B/C 検討の基となるケースとして、現在進行中のプロジェクト (Coastal Road 建設事業および河川堤防改修事業) を反映した場合の浸水シミュレーションを実施する (case3)。Case3 に関しては、B/C の検討に用いるため、計画規模の 100 年確率潮位のみでなく、1 年、10 年、25 年、50 年と計 5 確率潮位で浸水シミュレーションを実施した。当然ながら本プロジェクトの構造物対策実施後は、資産分布地域での高潮浸水は発生しない。

1. Coastal Road 建設前 (現況)
2. Coastal Road 完成後
3. Ongoing プロジェクト完成後 (構造物対策の施設計画案の B/C 基礎検討)

2) 解析モデル

解析モデルは日本の「高潮浸水想定区域図作成の手引き」に記載されている以下の方法で実施した。本モデルは非線形長波理論を適用した運動方程式と連続式を基礎式としており、鉛直積分した浅水理論に各種効果を取り込んだモデルである。基礎式は「高潮浸水想定区域図作成の手引き」を参照されたい。

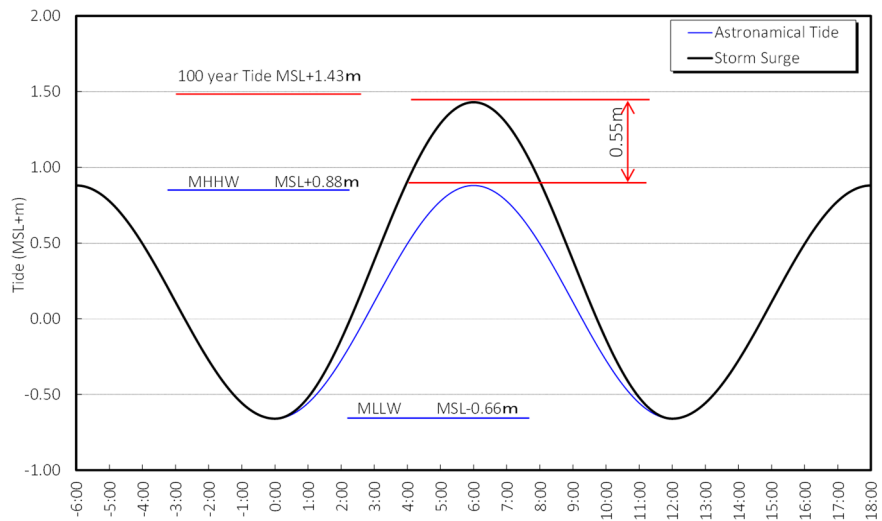
3) 解析条件

主な解析条件は表 2.10.13 に示すとおりである。検討対象潮位は 100 年確率潮位であるが、case3 のみ B/C 検討のために、1～50 年の確率潮位 (表 2.10.3 参照) に対しても浸水シミュレーションを実施した。なお、case3 は気候変動を考慮した潮位 (全ての潮位に+0.1m) に対しても実施した。地盤高データは本プロジェクトで LiDAR と IFSAR データを用いて統合したものを用いた (図 2.10.20 参照)。粗度係数は現在の土地利用区分データから「高潮浸水想定区域図作成の手引き」に基づいて表 2.10.14 のように設定した。その結果は図 2.10.21 に示すとおりである。

表 2.10.13 高潮検討の解析条件

Item	Value	Comment
Target Tide	MSL+1.43m	100 year probable tide
Duration	12 hours	Based on observations
Astronomical tide	From -0.66m to +0.88m	From MLLW to MHHW
Friction Coefficient	Based on Present Land use	
Model	Shallow Water Equations	
Grid size	dx=25m dy=25m	The topography is based on LiDAR and IFSAR
Cases	1: Before construction of Coastal Road 2: After construction of Coastal Road 3: After construction of ongoing project	

出典：プロジェクトチーム



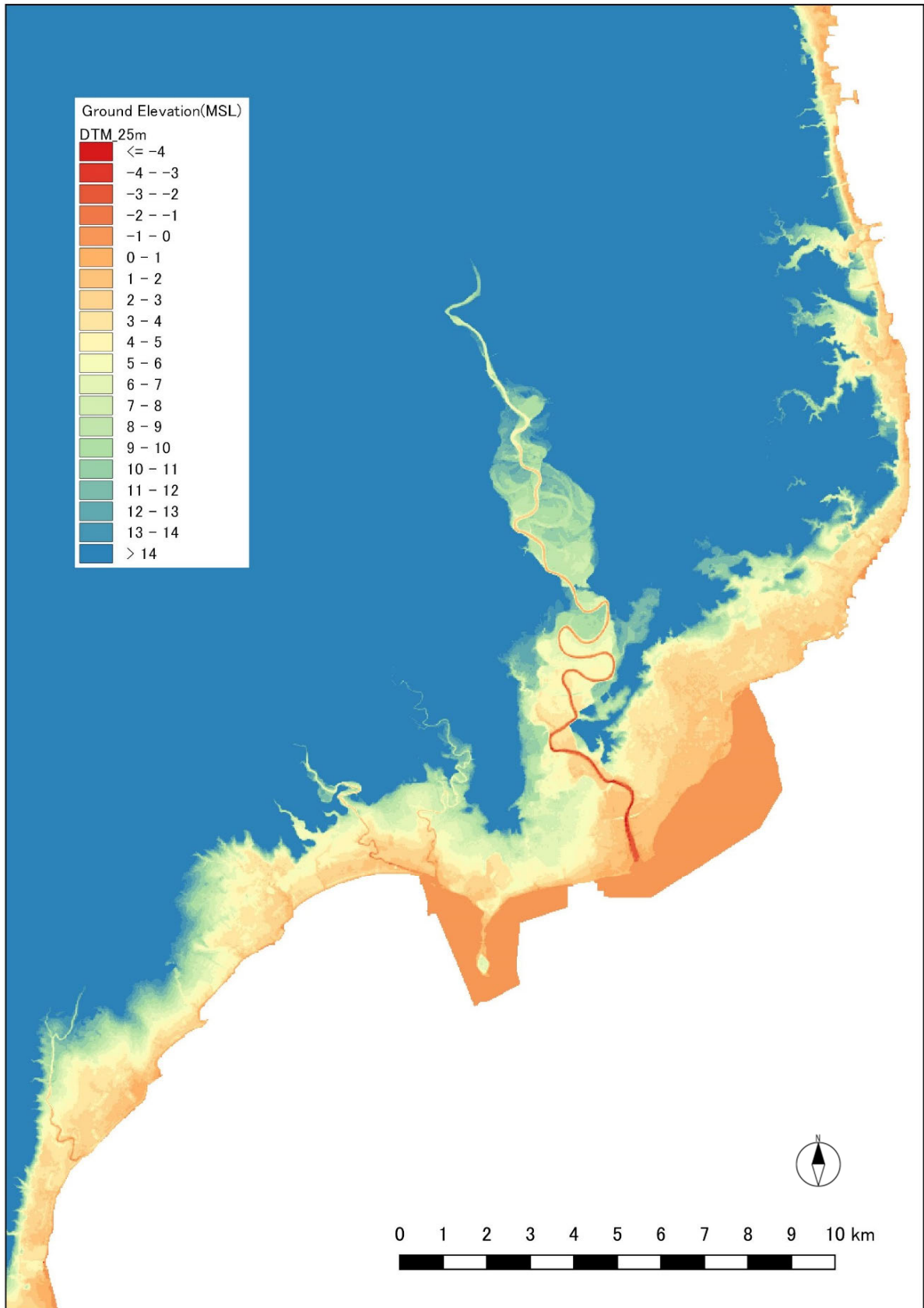
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.19 潮位カーブ

表 2.10.14 高潮検討の粗度係数

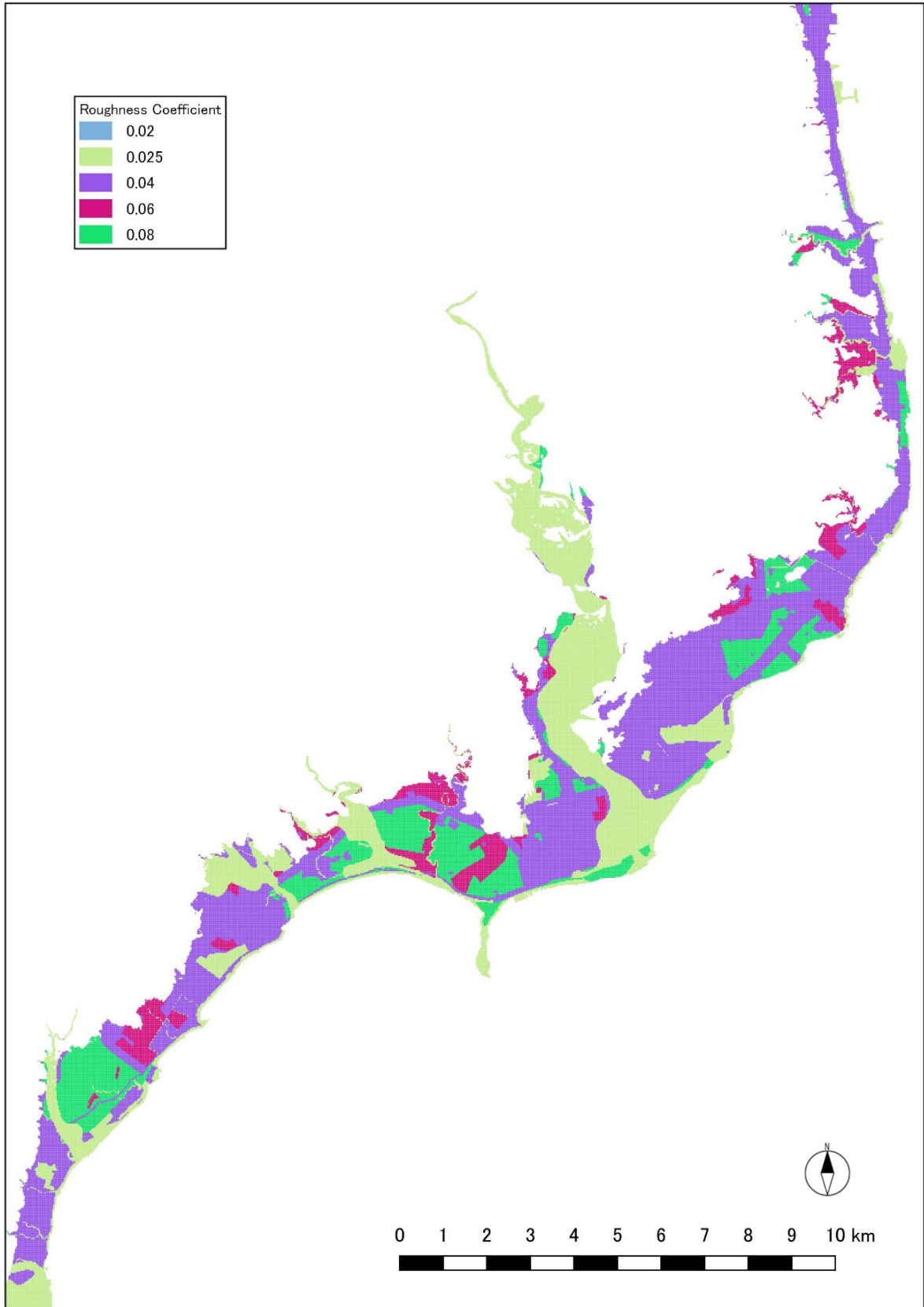
Category	Roughness Coefficient
Residential (High)	0.08
Residential (Medium)	0.06
Residential (Low)	0.04
Industrial	0.04
Water, others	0.025
Agricultural	0.02
Forest	0.02

出典：プロジェクトチーム



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.20 地盤高データ



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.21 粗度係数分布図

4) 解析結果

表 2.10.15 に示す解析ケースに対する解析結果として、各ケースの最大浸水深分布図を以下に示す。

ケース 1 (現況 : Coastal Road 建設前、100 年確率潮位) は図 2.10.23 に、ケース 2 (Coastal Road 建設後、100 年確率潮位) は図 2.10.24 に、ケース 3 (Ongoing プロジェクト完成後) は 1 年、10 年、25 年、50 年、100 年確率潮位の結果をそれぞれ、図 2.10.25~図 2.10.34 に示す。

表 2.10.15 解析ケース一覧

Case	Tide	Calculation Condition
Case 1	100 year probable tide	Before construction of Davao Coastal Road
Case 2	100 year probable tide	After construction of Davao Coastal Road
Case 3	1, 10, 25, 50 and 100 year probable tide	After completion of ongong projects (Davao Coastal Road, River Flood wall improvement)

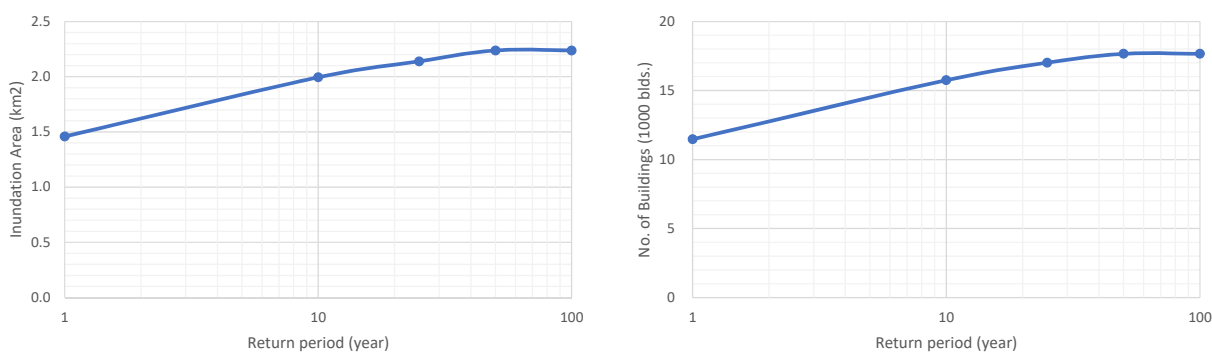
出典：プロジェクトチーム

各ケースの解析結果のまとめとして、浸水面積と被害建物数を表 2.10.16 に示す。また、Case3 に関して、各確率年に応じた浸水面積と被害建物数の変化を図 2.10.22 に示す。

表 2.10.16 解析結果のまとめ

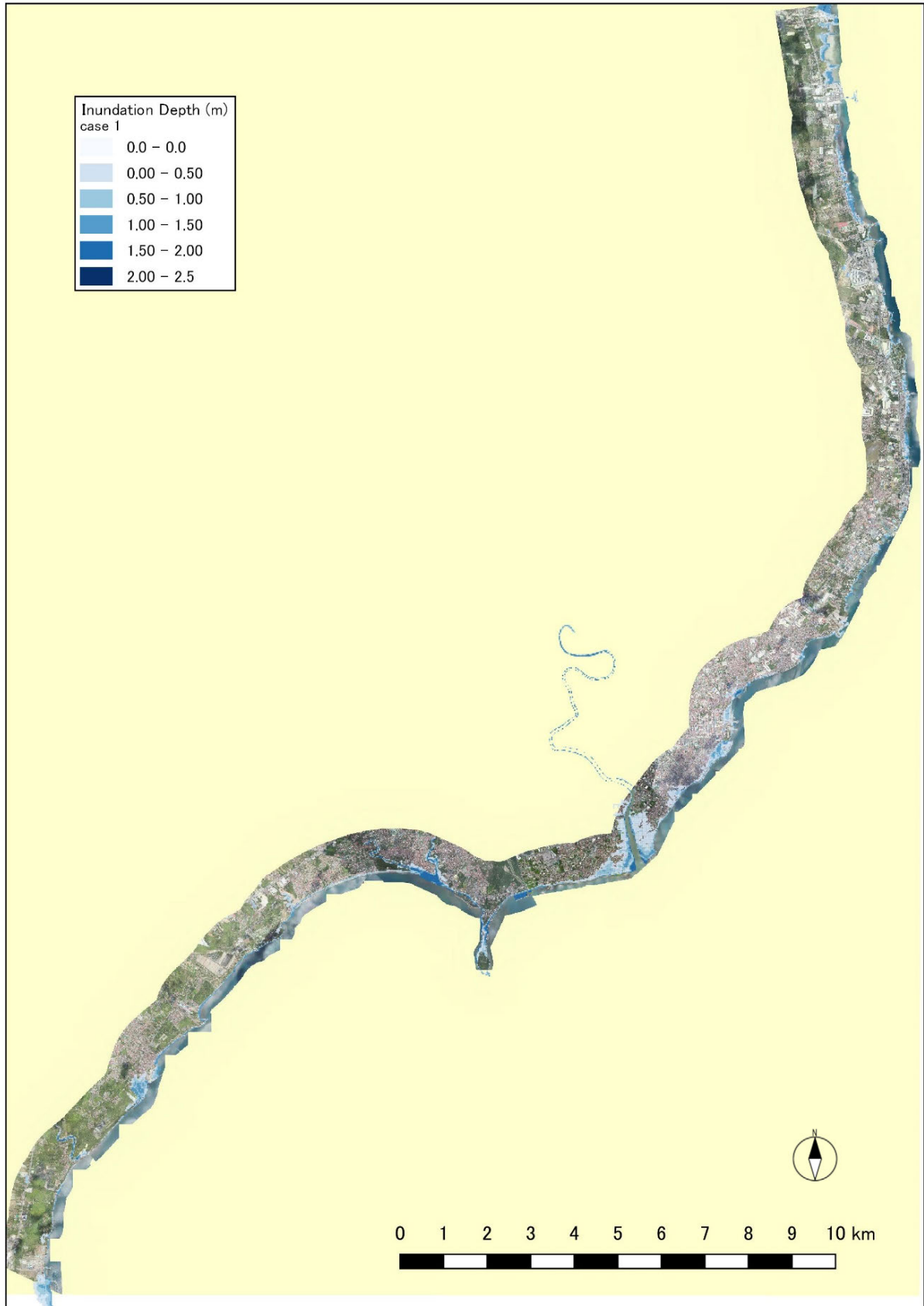
Case	Return period (year)	Inundation Area (km ²)	No. of Affected Buildings (1000 blds.)
1	100	2.2	18.2
2	100	2.2	18.2
3	1	1.5	11.5
	10	2.0	15.8
	25	2.1	17.0
	50	2.2	17.7
	100	2.2	17.7

出典：プロジェクトチーム



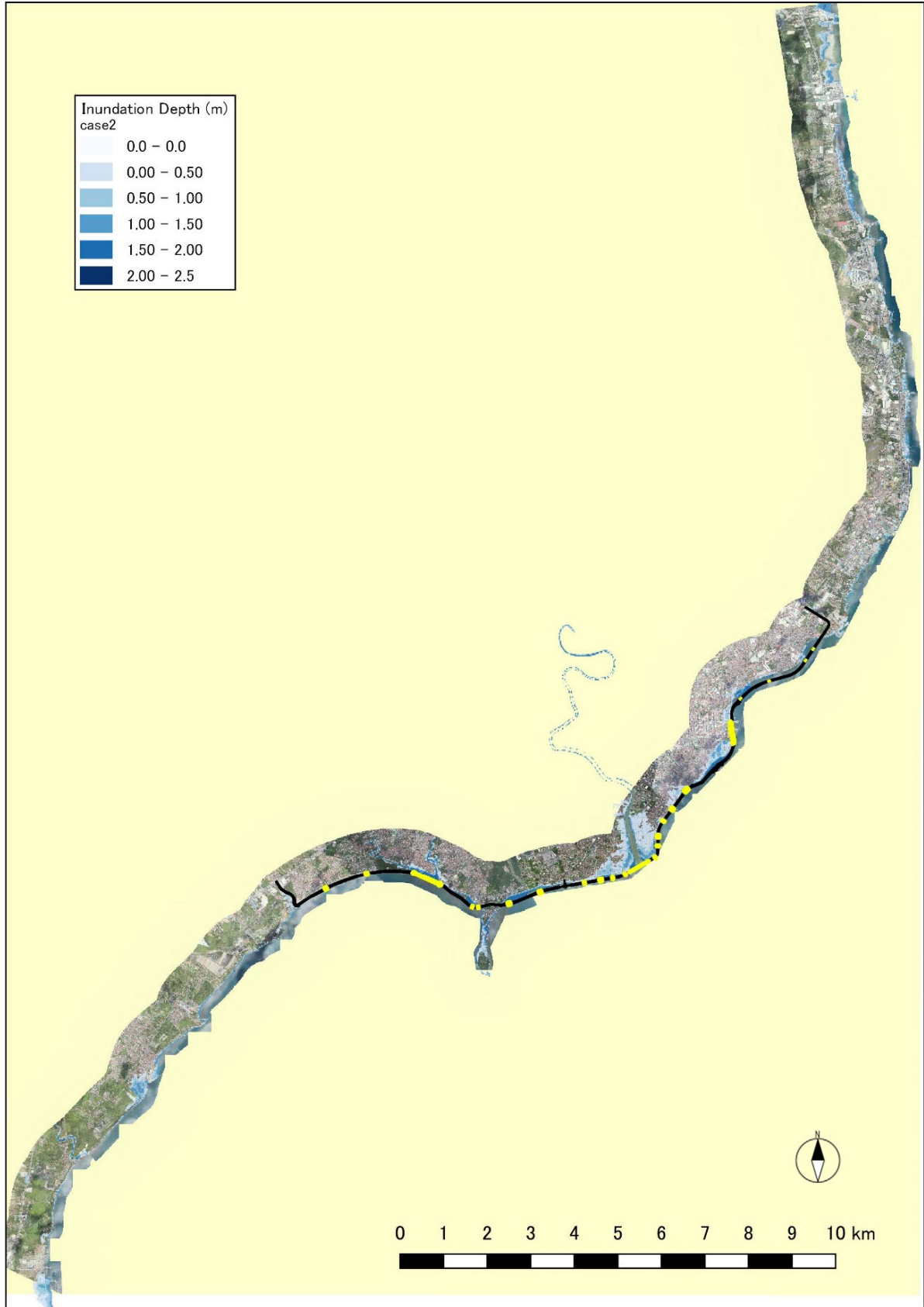
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.22 Case3 の計算結果 (左：浸水面積、右：被害建物数)



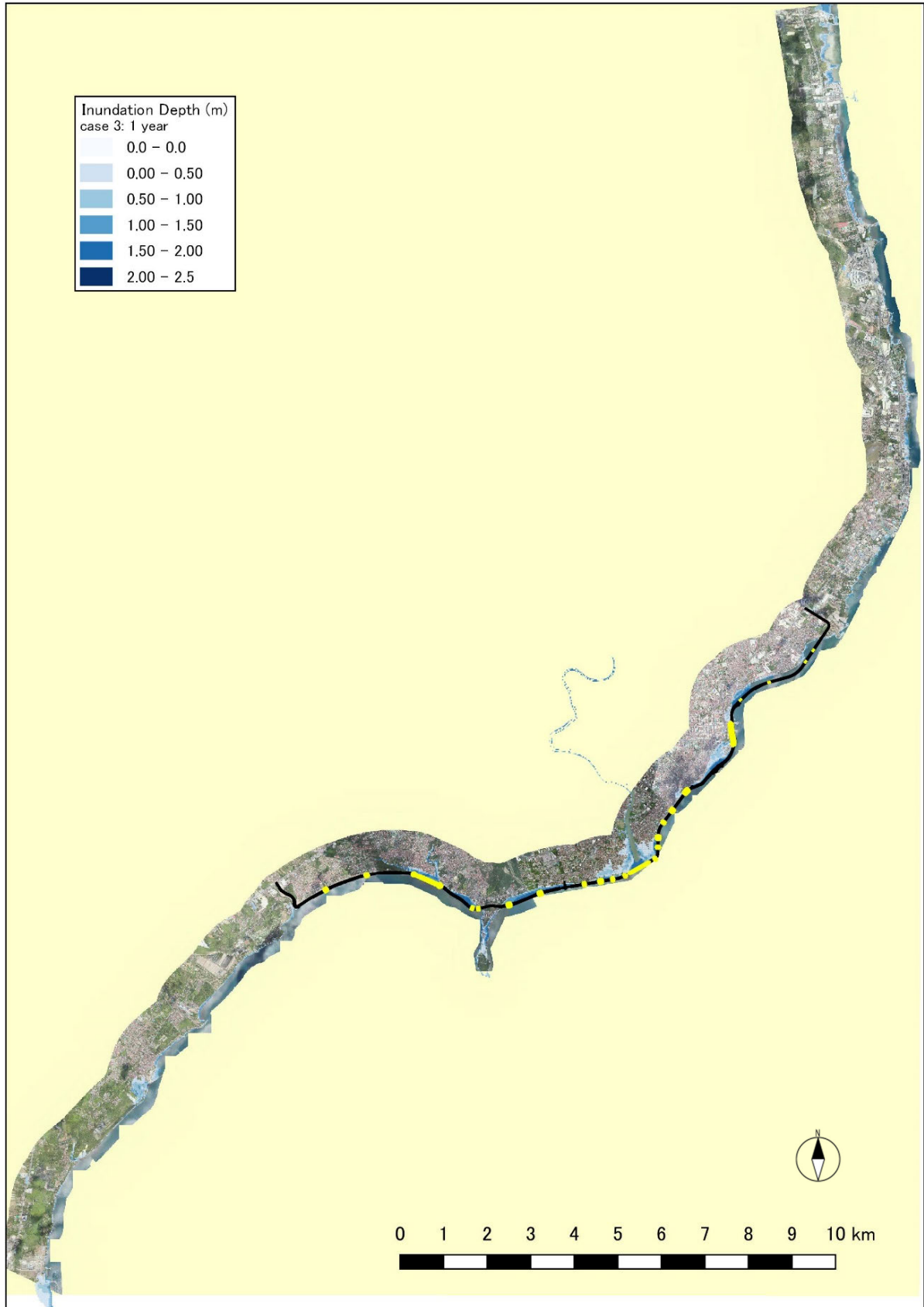
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.23 最大浸水深分布図 (case1 : 100 年確率潮位)



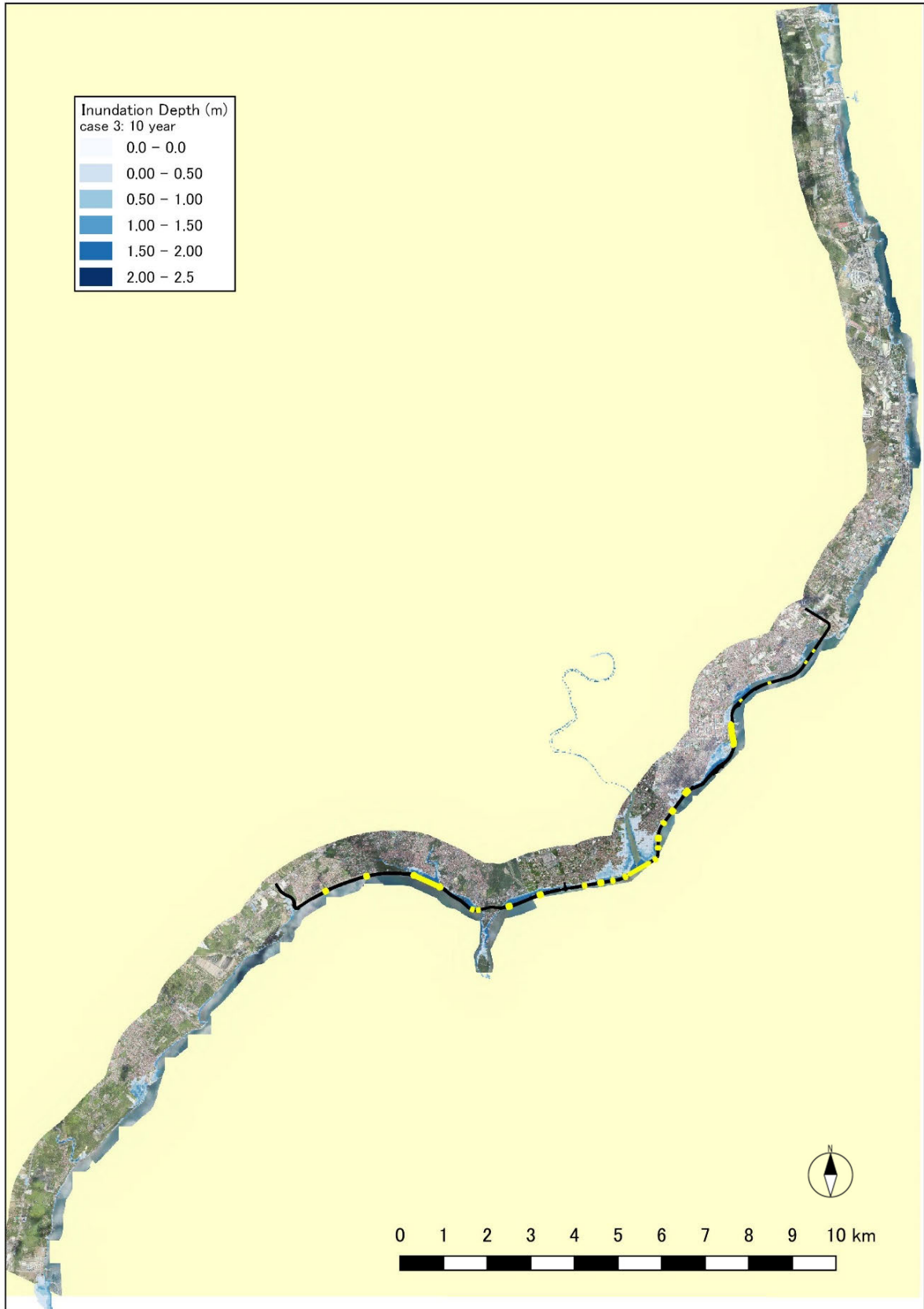
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.24 最大浸水深分布図 (case2 : 100 年確率潮位)



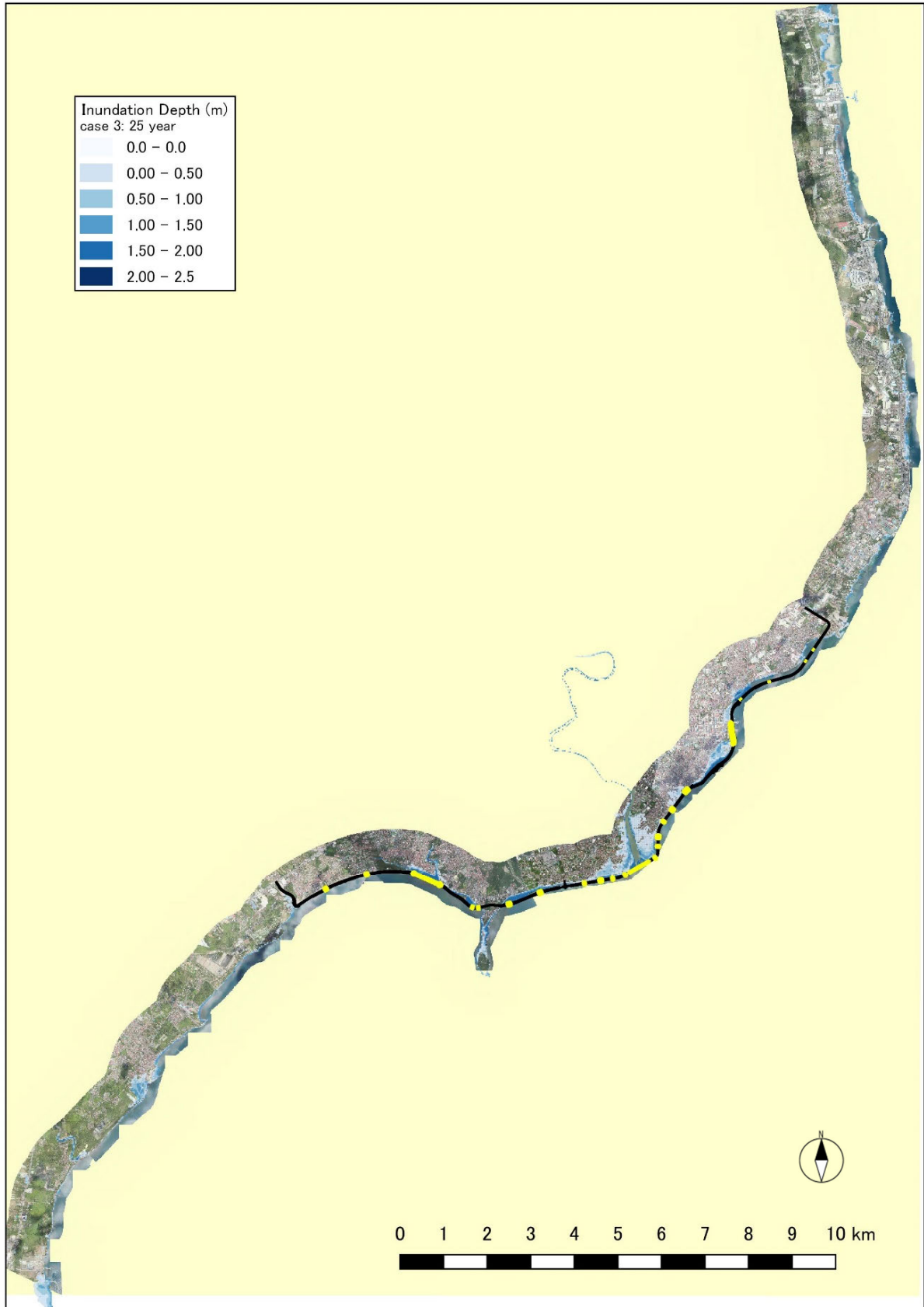
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.25 最大浸水深分布図 (case3 : 1 年確率潮位)



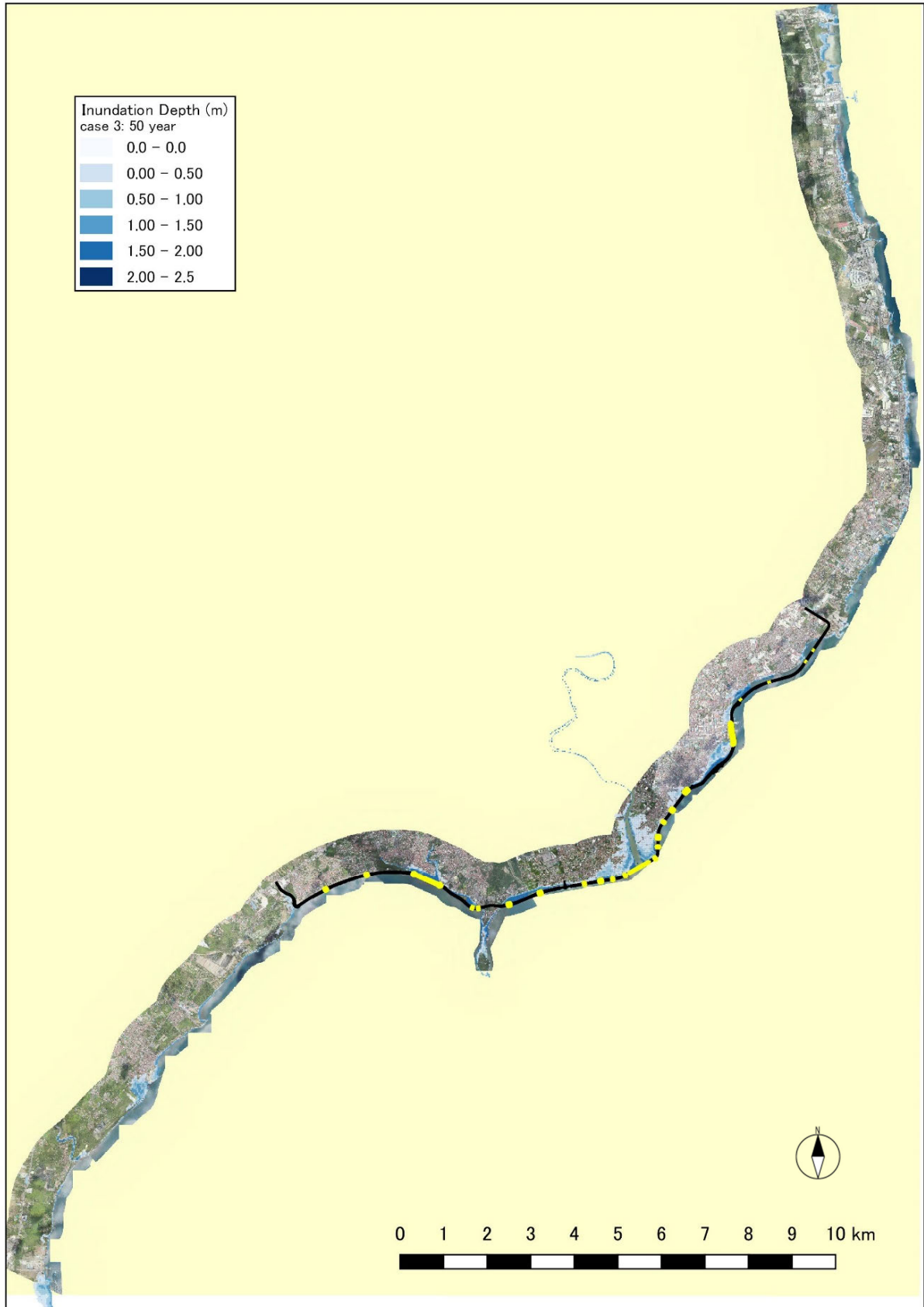
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.26 最大浸水深分布図 (case3 : 10 年確率潮位)



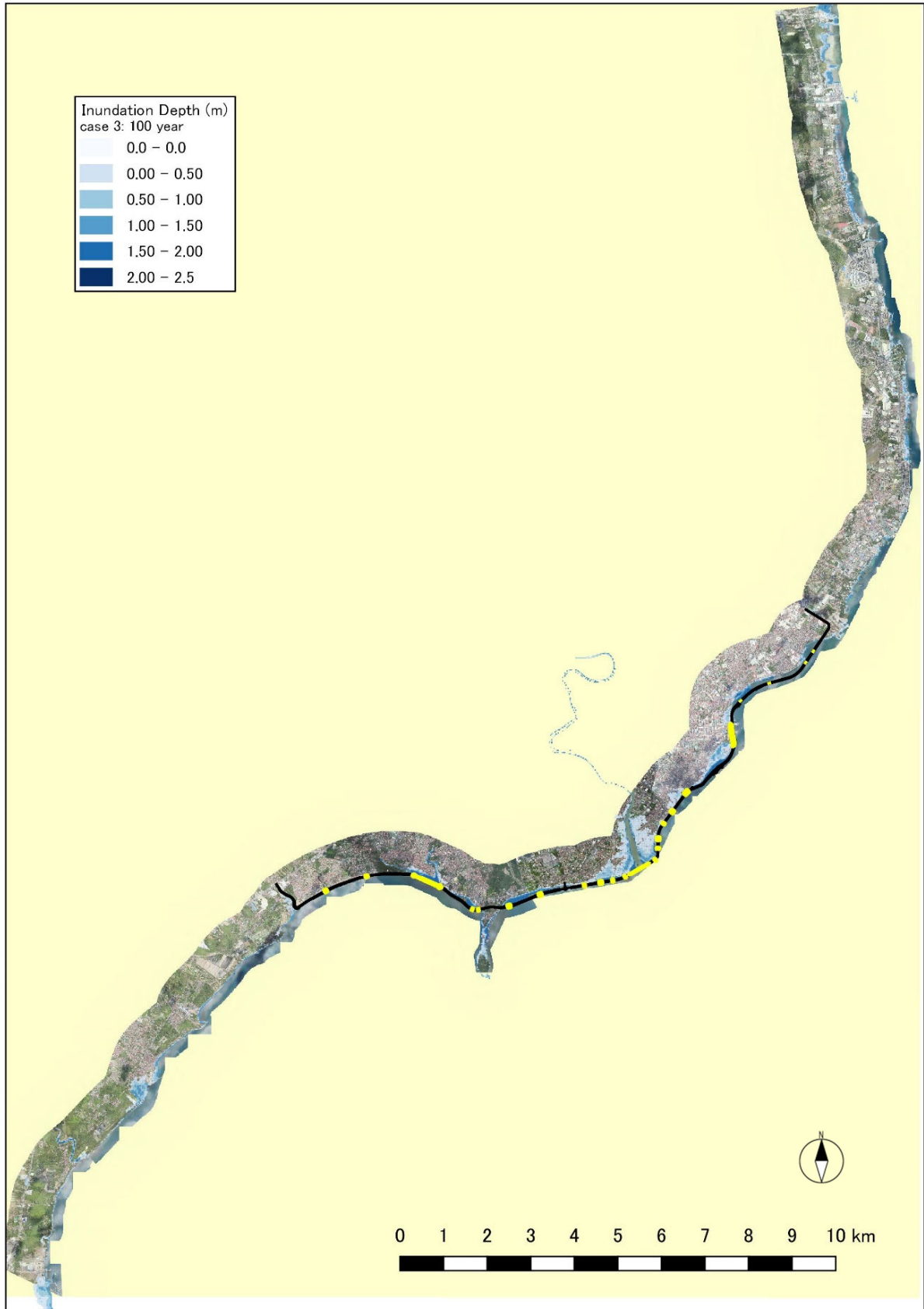
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.27 最大浸水深分布図 (case3 : 25 年確率潮位)



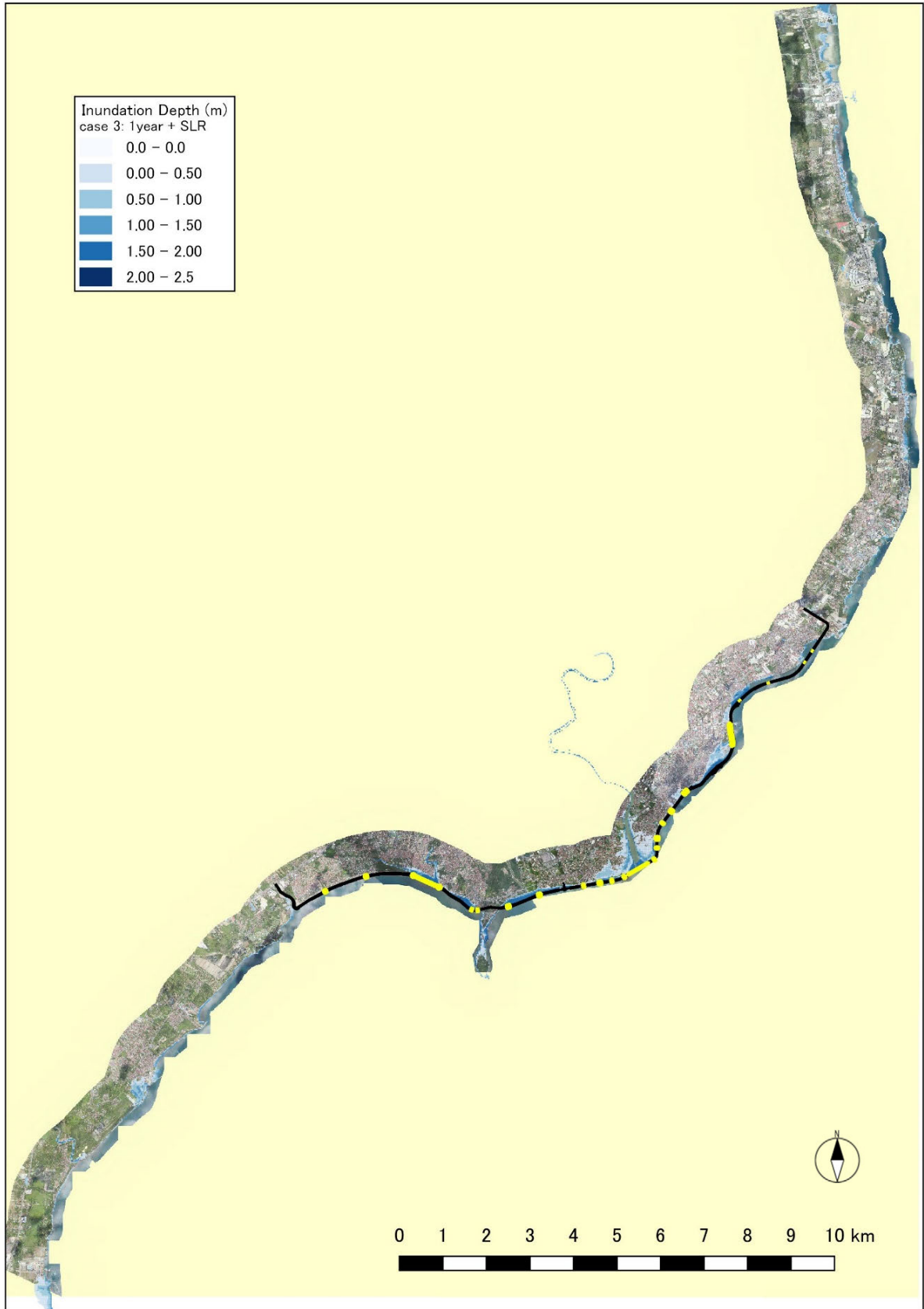
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.28 最大浸水深分布図 (case3 : 50 年確率潮位)



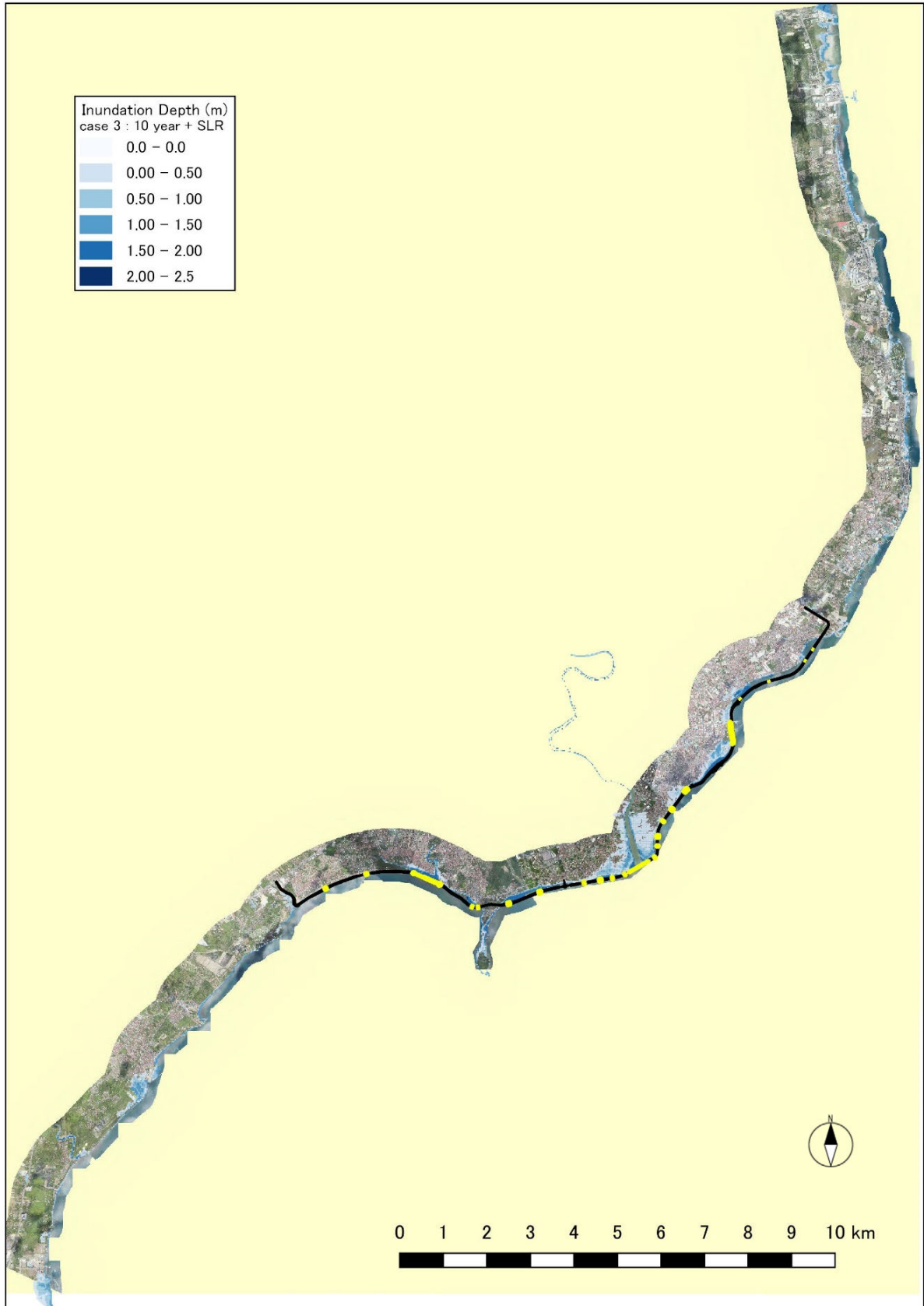
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.29 最大浸水深分布図 (case3 : 100 年確率潮位)



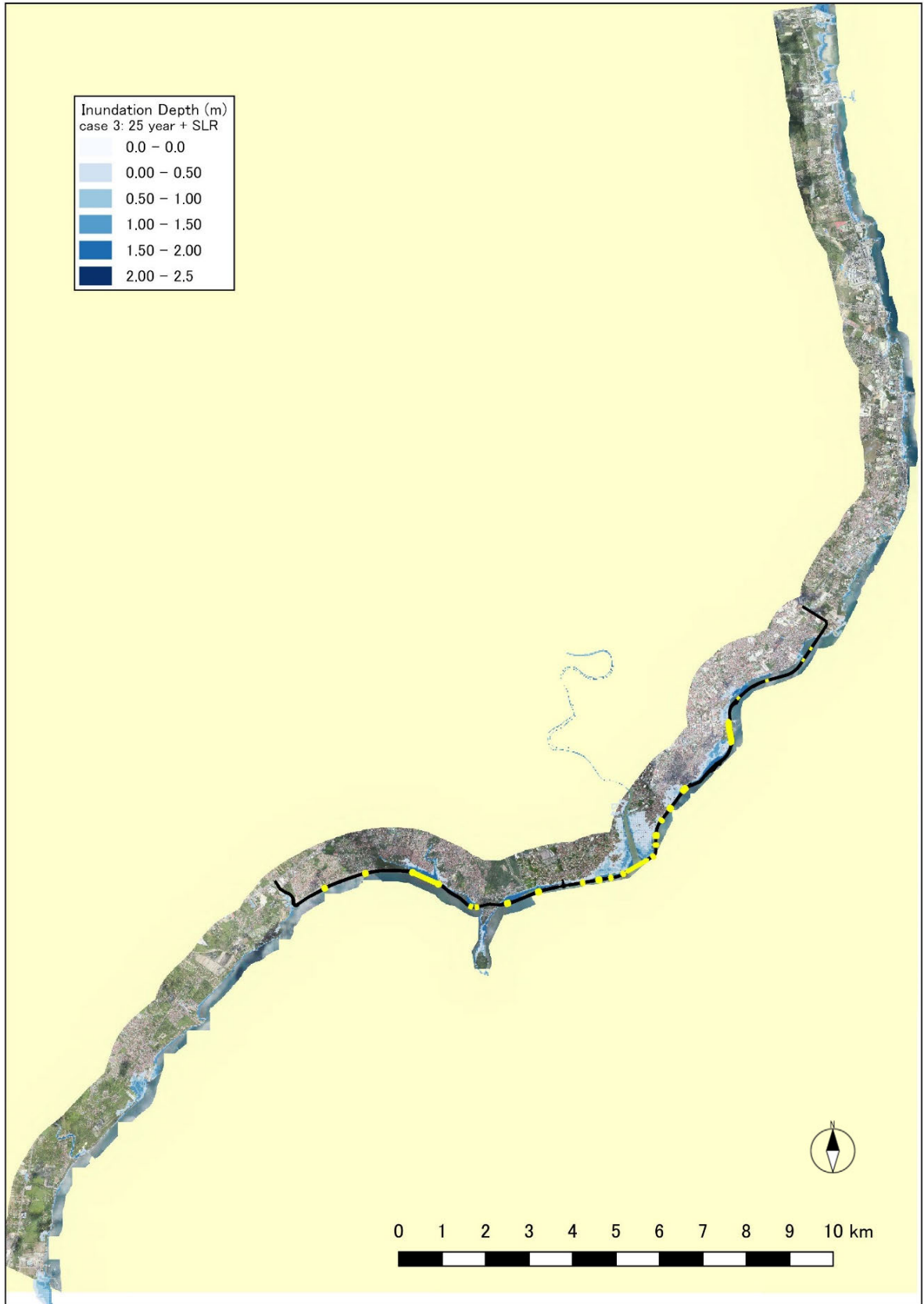
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.30 最大浸水深分布図 (case3 : 1年確率潮位 : 気候変動による海面上昇考慮)



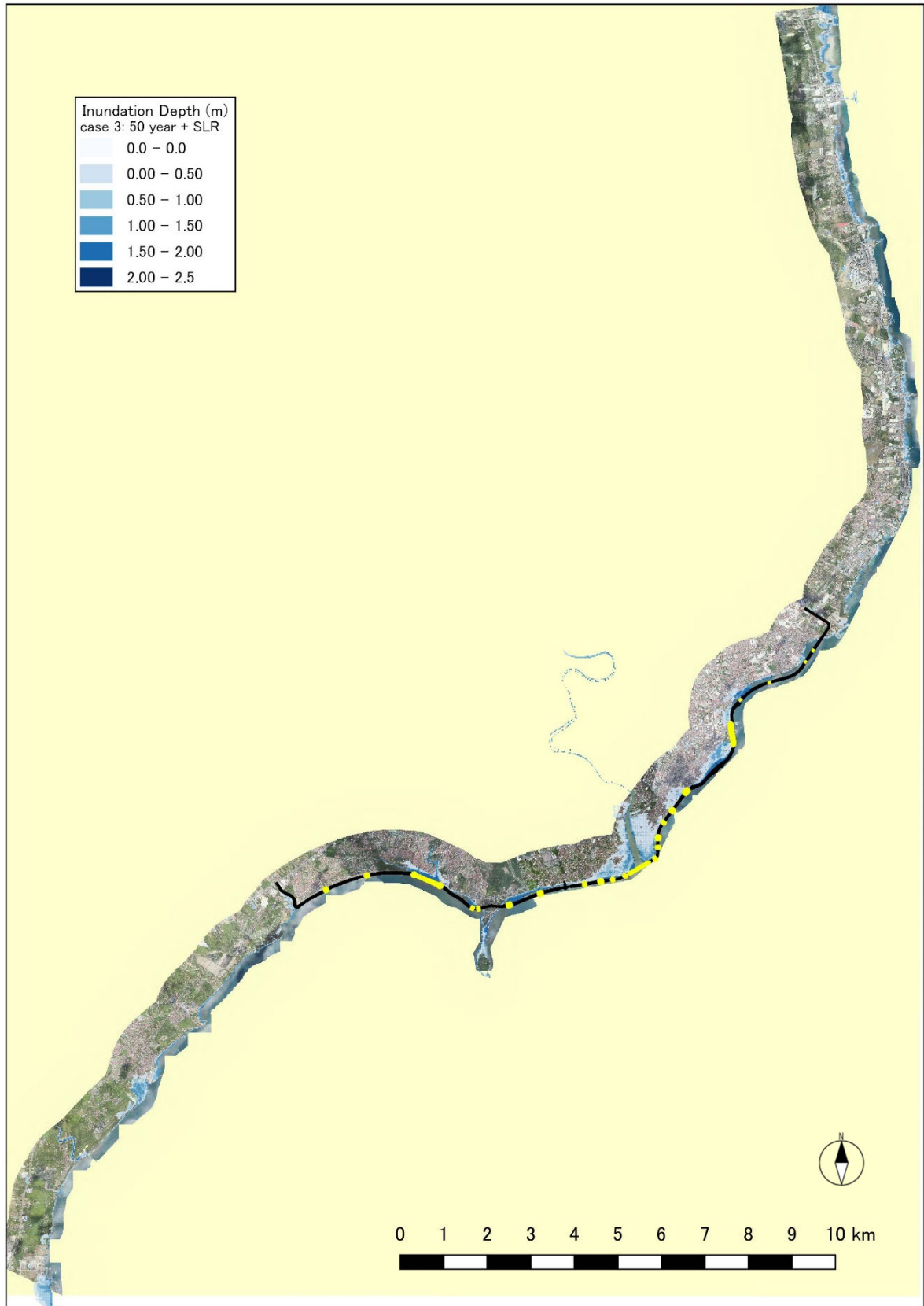
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.31 最大浸水深分布図 (case3 : 10 年確率潮位 : 気候変動による海面上昇考慮)



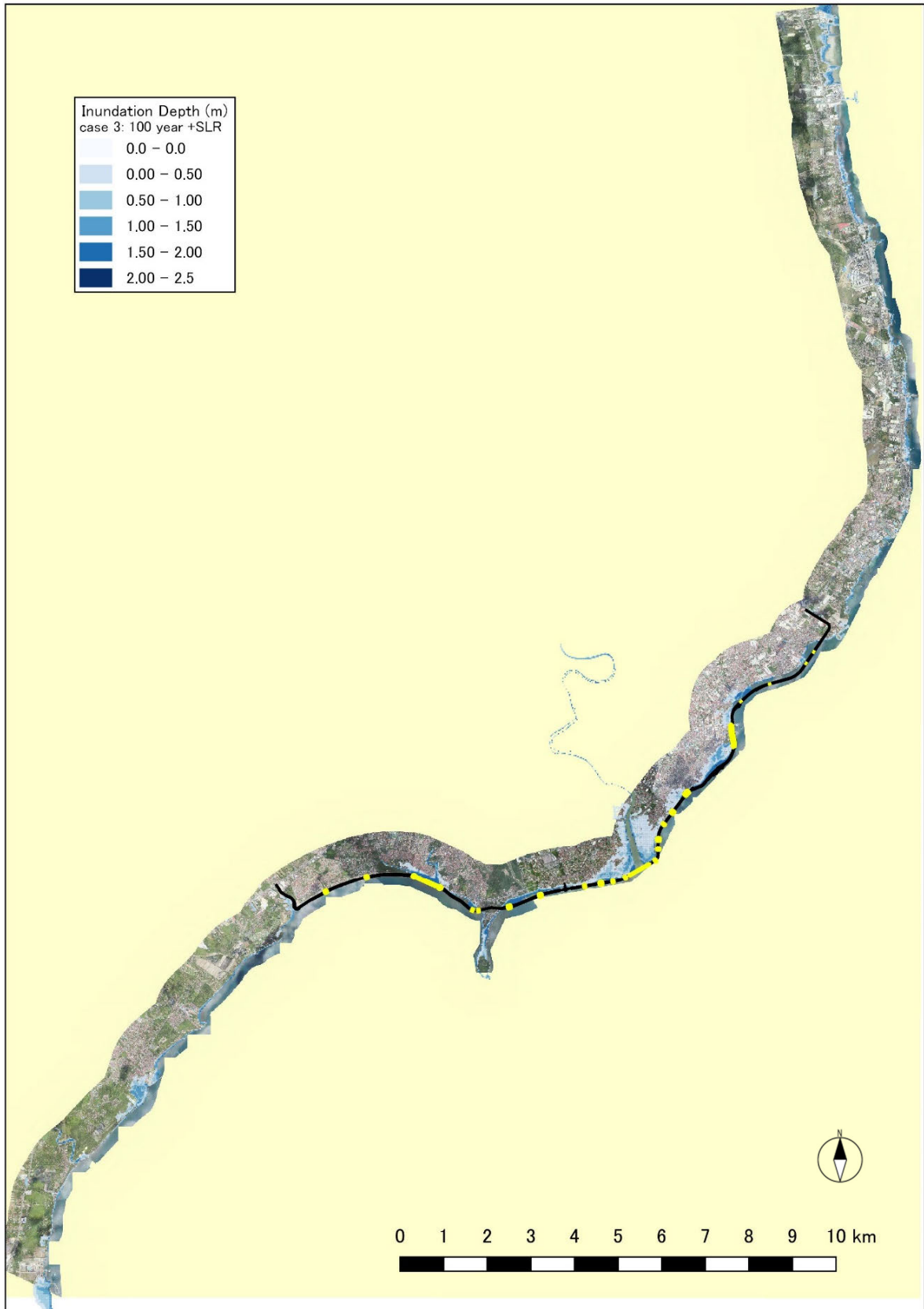
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.32 最大浸水深分布図（case3：25年確率潮位：気候変動による海面上昇考慮）



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.33 最大浸水深分布図 (case3 : 50 年確率潮位 : 気候変動による海面上昇考慮)

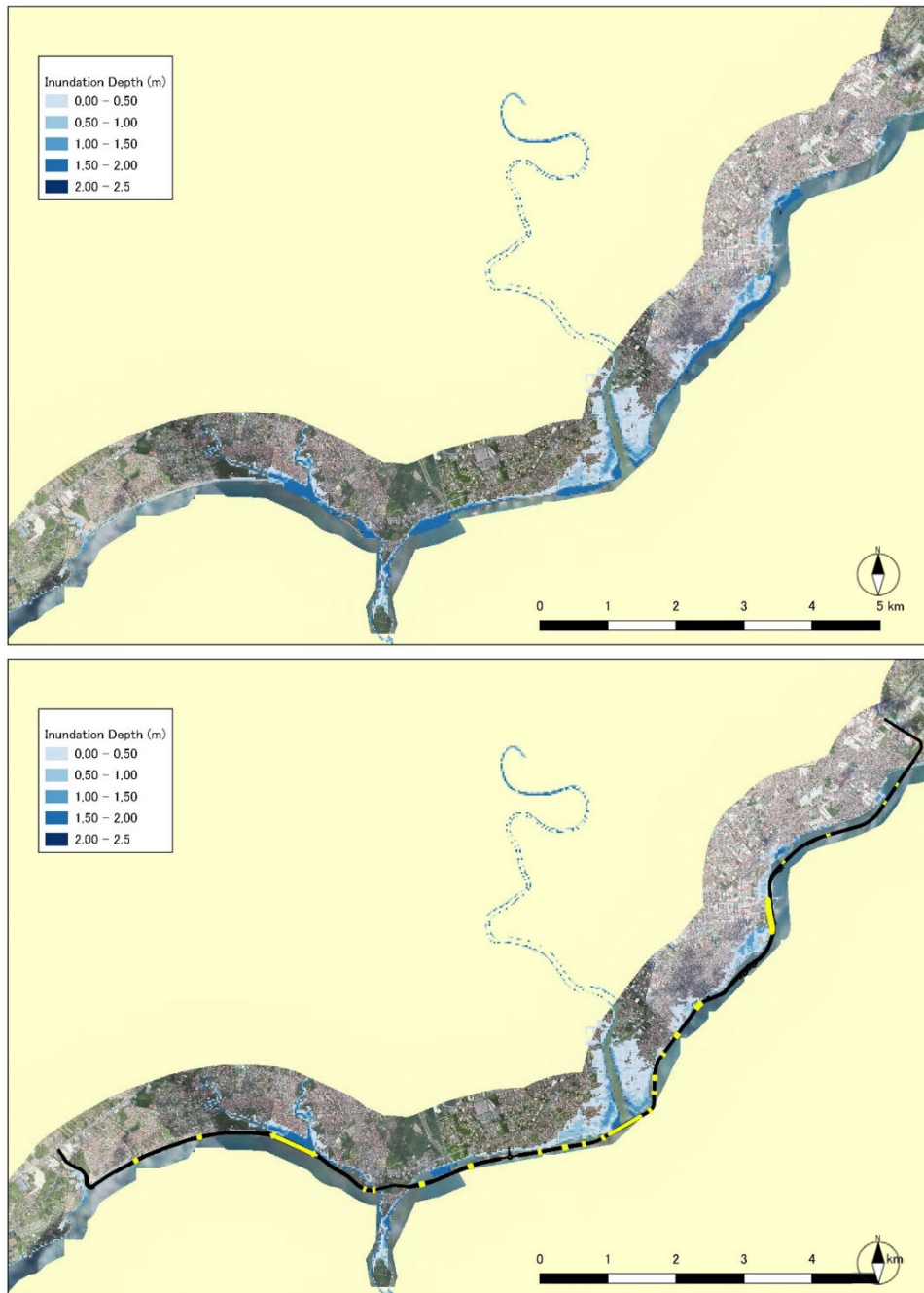


出典：プロジェクトチーム

図 2.10.34 最大浸水深分布図 (case3 : 100 年確率潮位 : 気候変動による海面上昇考慮)

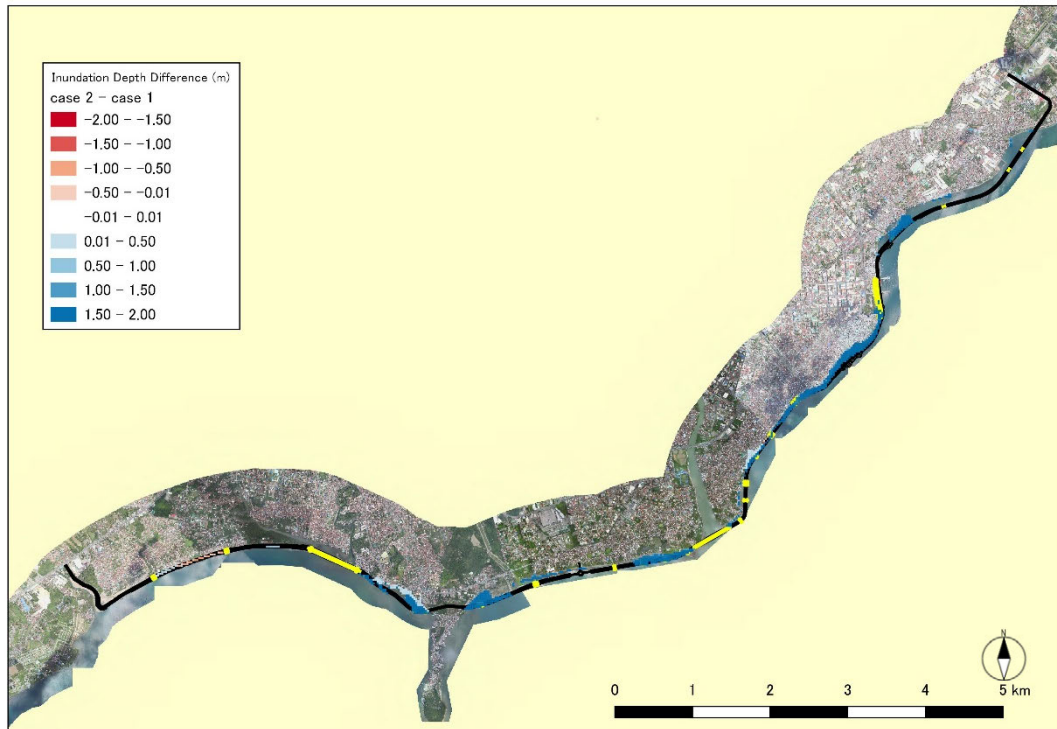
5) 影響評価

Coastal Road 建設前後による浸水状況の影響について、特に Coastal Road 区間を拡大した浸水図を図 2.10.35 に示す。Coastal Road には橋梁等の開口部があり、そこから海水が浸入するため、Coastal Road 建設後であっても浸水範囲に大きく変化がなかった。Coastal Road 建設前後での浸水深の差を図 2.10.36 に示すが、海域での浸水以外に影響はないことがわかった。そのため、ダバオ市沿岸の浸水を防護するためには、Coastal Road のみでは効果が小さく、他の対策が必要である。



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.35 Coastal Road 区間の最大浸水深分布図の比較（上：case1、下：case2）



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.36 最大浸水深差分図 (case2 - case1)

(2) 海岸侵食に関する数値解析 (汀線変化解析)

1) 検討概要

海岸侵食の検討に関して、以下の 3 ケースを実施して、現在および将来の汀線変化傾向を把握する。まず、入手した過去の汀線状況から現況 (Coastal Road 建設前) の汀線解析を実施して、モデルの構築を行う (Case 1)。その後、そのモデルを用いて、Coastal Road がいない場合の将来の汀線変化傾向を評価する (Case 2)。最後に、Coastal Road 完成後の地形条件で汀線解析を実施して、Coastal Road による汀線への影響を評価する (Case 3)。Case 2 と Case 3 を比較することで、Coastal Road 建設が与えるダバオ海岸の汀線変化への影響を把握する。各 Case において、侵食および堆積が顕著な区間を把握する。

1. 過去から現況 (Coastal Road 建設前) までの汀線変化傾向
2. Coastal Road 建設なしでの将来の汀線変化傾向
3. Coastal Road 完成後の将来の汀線変化傾向

2) 解析モデル

本検討においては、汀線変化解析モデルとして、汀線の長期変動を解析する場合に適用される 1 ラインモデルを用いた。解析モデルの概要は以下の通りである。

汀線変化モデルは、海浜変形を 1 本の代表等深線 (多くの場合が汀線) の変化として捉えるモデルであり、砂の連続式と波による沿岸漂砂量式に基づいており、基本的な仮定は次の通りである。

- i) 海浜変形の要因としては沿岸漂砂のみとする。
- ii) 砂の移動は唯一の代表移動高さで発生する。
- iii) 海浜断面について、勾配は変化せず、そのままの形状を保って、岸沖方向に平行移動する。

本汀線変化モデルは、大きく分けて次の3つの計算部分（①波の変形計算、②沿岸漂砂量の計算、③汀線変化量の計算）より構成され、①～③を繰り返すことにより、時間的な汀線変化を計算する。

① 波の変形計算

波の場の計算モデルを用いて波浪場の変形を計算し、各格子点における碎波諸量を計算する。防波堤などの沖合に構造物がある場合はこれらによる影響も考慮する。

② 沿岸漂砂量の計算

①で計算された碎波諸元および汀線の傾きを基に沿岸漂砂量式を用いて漂砂量を計算する。突堤、消波堤など、沿岸漂砂の捕捉効果のある構造物がある場合には、別途、沿岸漂砂量の低減を考慮する。

③ 汀線変化量の計算

②で計算された沿岸漂砂量を砂の連続式に代入して、各格子点における汀線変化量を計算する。堤防などの汀線の後退限界となる構造物がある場合には、別途、汀線変化量を修正するとともに、砂の連続式が満たされるように沿岸漂砂量を修正する。

3) 解析条件

本検討の解析条件は表 2.10.17 に示すとおりである。Case1 で再現計算を実施し、漂砂量係数や土砂供給量（ダバオ川とマティナ・タロモ川）の検定を実施して、モデルを構築した上で、Case2、3 の将来予測を実施した。予測計算は、概ね平衡状態に達する 10 年後をターゲットとして、長期間の汀線変化傾向を把握した。そのため、潮位は平均潮位、波浪条件は年間のエネルギー平均波（前述の再解析波浪データより設定）を用いている。Case1 と Case2 では MSL+0.0m を対象汀線として、汀線変化解析を実施したが、Case3 の Coastal Road 建設後では、MSL+0.0m に砂浜がない区間が生じるため、MSL-2.0m を対象に水深変化の検討を実施して、Coastal Road 建設の影響を検討した。

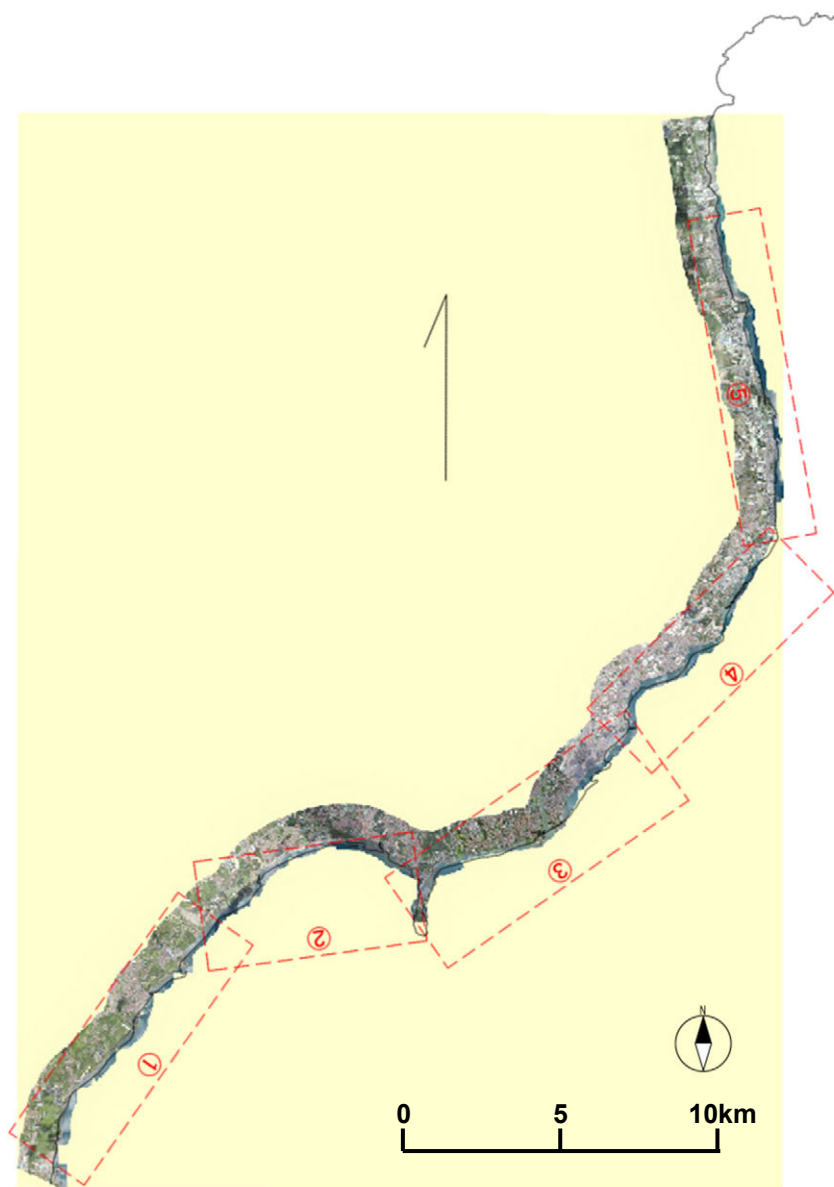
表 2.10.17 海岸侵食検討の解析条件

Item	Value	Comment
Tide	MSL+0.0m	Constant
Wave	Annual Average	Based on reanalysis wave data
Wave Height	H=0.20m	
Wave Period	T=3.2s	
Wave Direction	154 deg from N	
Duration	2017 to 2027 (10 years)	Considering the equilibrium of sediment transport

Item	Value	Comment
Sediment Discharge	Davao: 58,000 m ³ /yr Matina & Talomo: 2,100 m ³ /yr	Based on the validation results
Model	1 line model	For long term analysis
Target contour	Case1 and 2: MSL+0.0m Case 3: MSL-2m	

出典：プロジェクトチーム

対象計算エリアは図 2.10.37 に示すとおりであり、比較的直線と見なせる範囲として、ダバオ市沿岸を5つの領域に分けて計算を実施した。なお、Coastal Road 区間は Area 2~4 である。



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.37 汀線変化解析領域

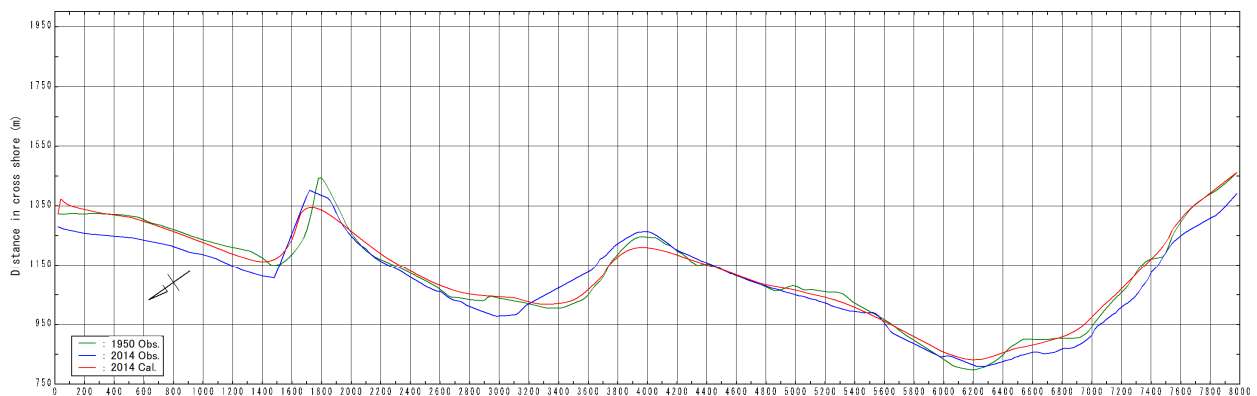
4) 解析結果：Case 1（再現解析）

Case 1 について、ダバオ市から入手した 1950 年～2014 年の海岸線を対象として、過去のダバオ市沿岸の汀線変化の再現解析を実施して、計算モデルを構築した。解析結果として、1950 年、2014 年の実際の計測結果（Obs.）と 2014 年の計算結果（Cal.）をエリア毎に図 2.10.38～図 2.10.42 に示す。解析結果のまとめを表 2.10.18 に示す。

表 2.10.18 Case 1 の解析結果

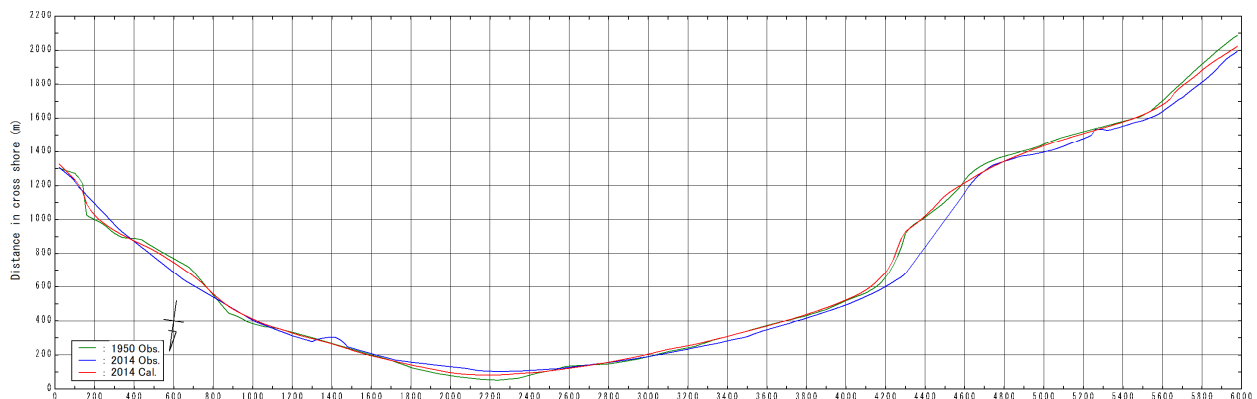
Area	Results
1	細部で量や特性の違いはあるが、No.1800 付近での汀線後退、No.5000 以降の汀線後退等、領域全体として、堆積・侵食傾向を再現している。
2	細部で量や特性の違いはあるが、領域全体として、堆積・侵食傾向を再現している。
3	細部で量や特性の違いはあるが、特に No.2800～5000 付近での堆積傾向等、領域全体として、堆積・侵食傾向を再現している。
4	細部で量や特性の違いはあるが、領域全体として、堆積・侵食傾向を再現している。
5	細部で量や特性の違いはあるが、No.2400～2600 付近での汀線後退等、領域全体として、堆積・侵食傾向を再現している。

出典：プロジェクトチーム



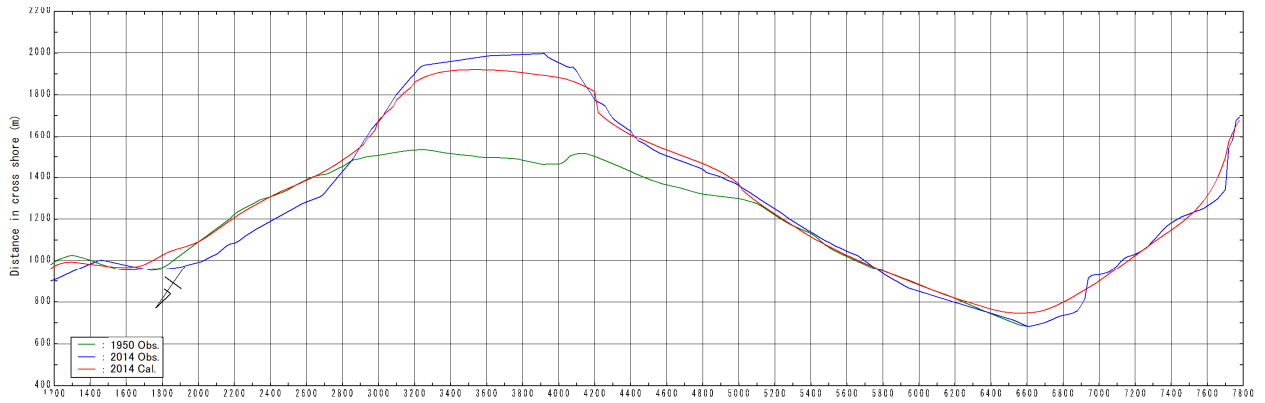
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.38 汀線変化解析結果 (case1 : Area 1)



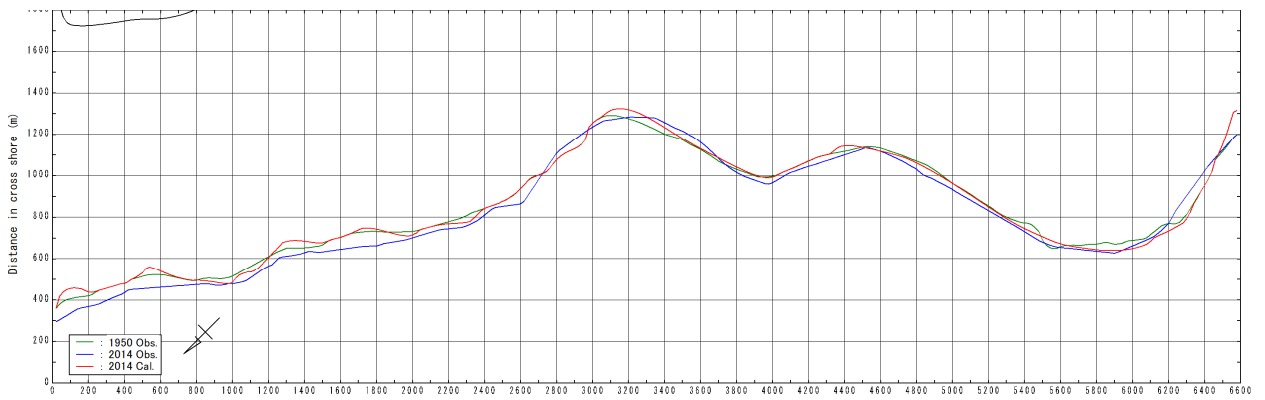
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.39 汀線変化解析結果 (case1 : Area 2)



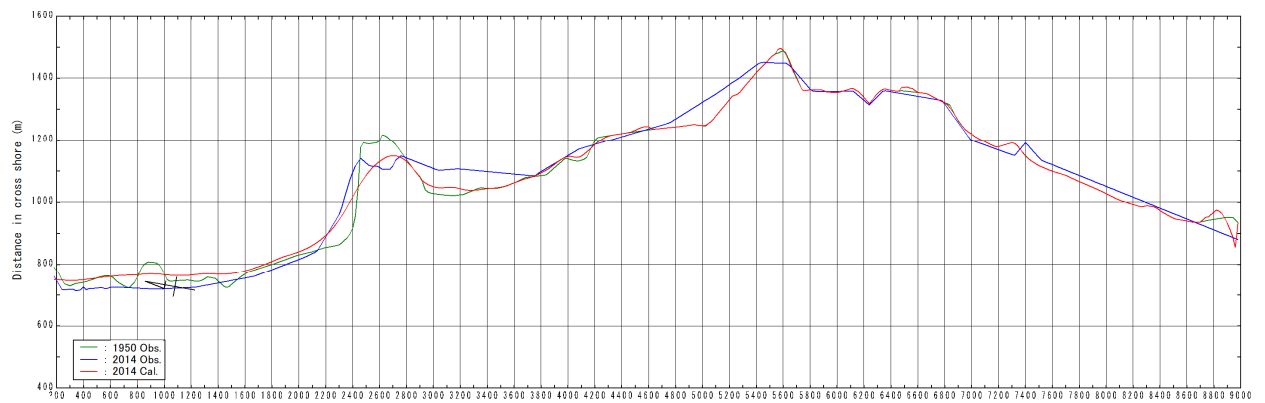
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.40 汀線変化解析結果 (case1 : Area 3)



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.41 汀線変化解析結果 (case1 : Area 4)



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.42 汀線変化解析結果 (case1 : Area 5)

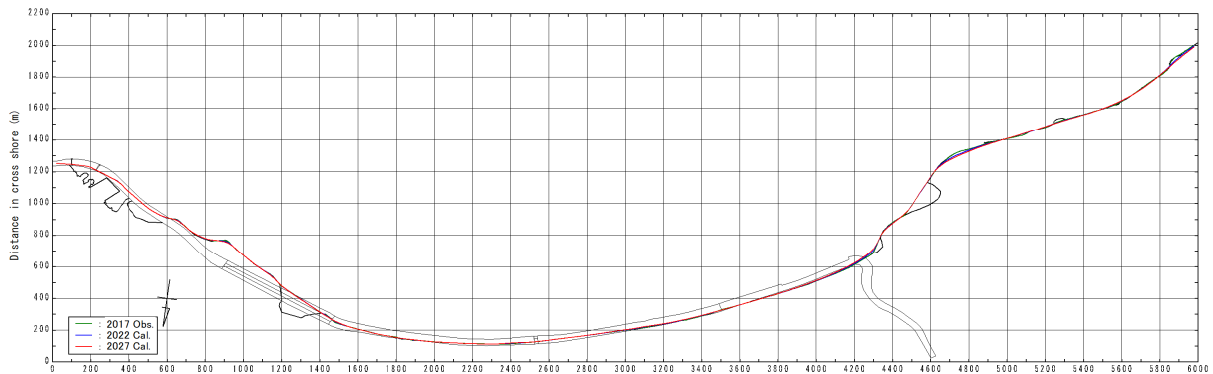
5) 解析結果：Case 2（Coastal Road 建設なしの場合の将来変化）

Case 2 の Coastal Road 建設なしの場合の汀線の将来変化解析結果（Area 2～4）を図 2.10.43～図 2.10.45 に示す。なお、本検討結果に Coastal Road を参考のために示しているが、実際の計算には反映していない。解析結果をまとめると表 2.10.20 の通りである。

表 2.10.19 Case 2 の解析結果

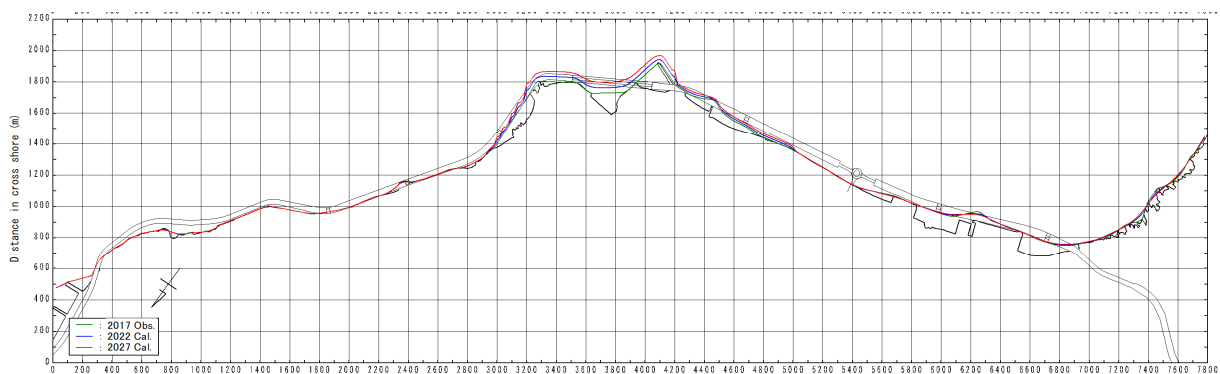
Area	Results
2	全域において、汀線に大きな変化はない。
3	ダバオ川河口部で、川からの土砂共有によって堆積が発生し、その共有土砂が東側と西側に移動している傾向がわかる。汀線の前進は河口部で 30～100m 程度である。
4	全域において、汀線に大きな変化はない。

出典：プロジェクトチーム



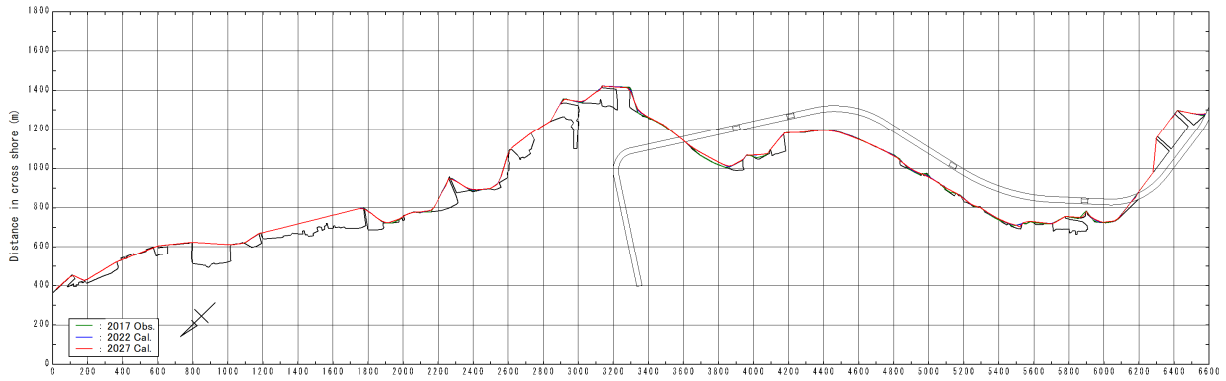
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.43 汀線変化解析結果（case2：Area 2）



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.44 汀線変化解析結果（case2：Area 3）



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.45 汀線変化解析結果 (case2 : Area 4)

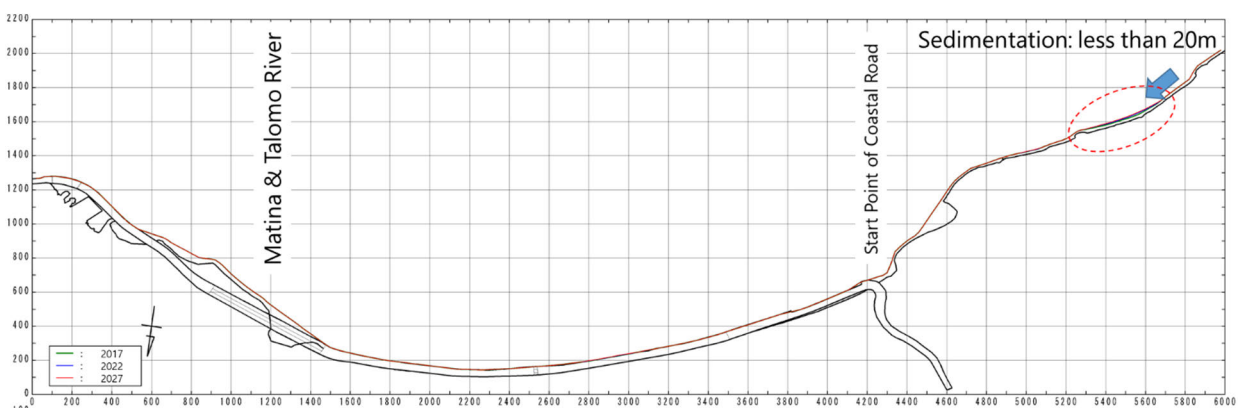
6) 解析結果：Case 3 (Coastal Road 建設後の将来変化)

Case 3 の Coastal Road 建設後の汀線の将来変化解析結果 (Area 2~4) を図 2.10.46~図 2.10.48 に示す。なお、本検討は MSL+0.0m ではなく、MSL-2.0m を対象として実施していることに留意が必要である。解析結果をまとめると表 2.10.20 の通りである。

表 2.10.20 Case 3 の解析結果

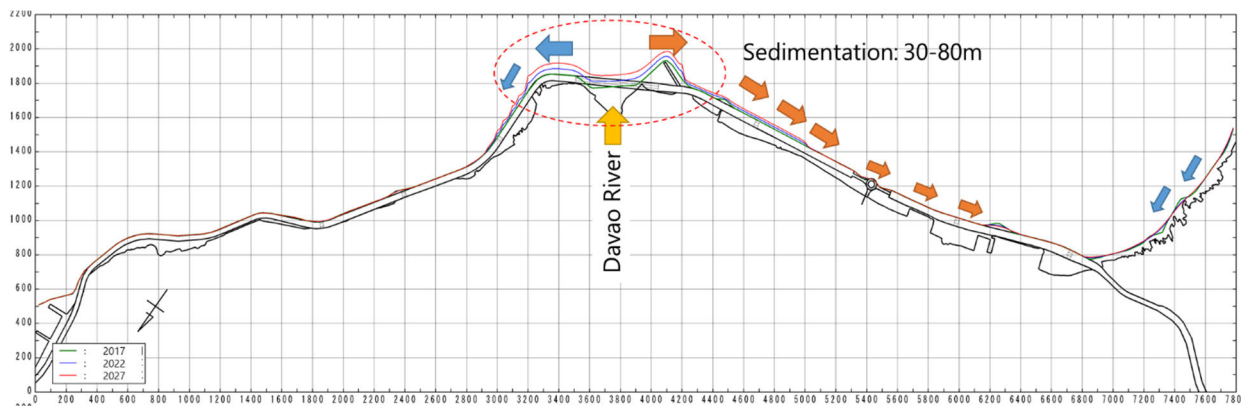
Area	Results
2	Coastal Road 区間以南で少し堆積が発生しているが大きな変化はない。
3	ダバオ川河口部で、川からの土砂共有によって堆積が発生し、その共有土砂が東側と西側に移動している傾向がわかる。汀線の前進は河口部で 30~80m 程度である。
4	全域において、汀線に大きな変化はない。

出典：プロジェクトチーム



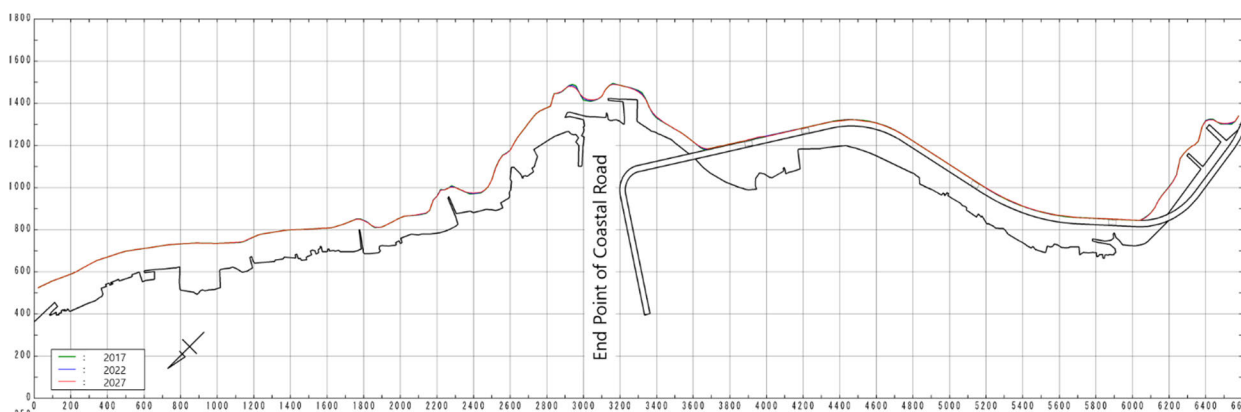
出典：プロジェクトチーム

図 2.10.46 汀線変化解析結果 (case3 : Area 2)



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.47 汀線変化解析結果 (case3 : Area 3)



出典：プロジェクトチーム

図 2.10.48 汀線変化解析結果 (case3 : Area 4)

Coastal Road 建設が与える汀線変化への影響を把握するために、Case2 と Case3 を比較すると、Area2 ～Area4 において、大きな変化はないことがわかる。Area2 および Area4 においては、汀線が概ね安定しているため、将来的に大きな変化はないと推定できる。また、Area3 に関しては、ダバオ川からの土砂供給によって汀線が前進しており、土砂供給の影響は大きいものの、Coastal Road 建設による影響はほとんどないことがわかる。

上記から、Coastal Road 建設が汀線の将来変化に与える影響は極めて小さいと判断できる。

2.10.10 海岸災害における主要課題

基礎調査、現地踏査、測量調査、数値解析、関係者へのインタビュー、ワークショップ等を通じて抽出された海岸災害に係る主要課題は以下のとおりである。

(1) 十分な浸水防護施設の整備

沿岸部の大部分では、1年確率程度の年最大潮位に対しては、住宅への浸水が発生しない状況であるが、それ以上の高潮位に対しては浸水が発生し、特に住宅が密集している地域では、大規模な浸

水被害が発生する可能性がある。そのため、計画規模の高潮に対しても浸水を防護できる施設の整備が求められている。

(2) 施設の連続性確保に伴う浸水防護能力の増強（排水路での分断、排水孔からの浸水への対応等）

沿岸部の一部地域においては、海岸堤防が構築されている場所も散見される。しかし、堤防は線として連続性が確保されて初めて高潮浸水に対する防護機能が発揮されるため、排水路等で分断されていたり、雨水排水用の排水孔がそのまま放置されていたり、等の状況では、高潮に対する防護施設としては機能しない。そのため、施設の連続性を確保して、浸水防護施設の能力を強化する必要がある。

(3) 沿岸部に密集した低地住宅に対する対策

沿岸部の低地には、高床式家屋が密集している地域がある。高床式家屋として、海面からのクリアランスを確保することで、浸水のある程度は防いでいるが、高潮浸水や波浪に対して非常に脆弱である。低地住宅に対する対策として、十分な浸水防護機能をもった構造物の建設が求められるが、それに加えて、非構造物対策（ハザードマップや避難計画、防災教育等）も考慮した総合的な対策が必要となる。

(4) 浸水リスクエリア（沿岸低地）における開発規制

ダバオ市沿岸の低地は浸水リスクエリアであるにも係わらず、住宅利用による沿岸部の開発や不法占拠等の状況が進んでいる。土地利用計画に関しても浸水リスクエリアを特定し、掲示することで河川域では開発制限がある区域もあるが、沿岸部では海岸災害のハザードマップが存在しないこともあり、制限がかかっていない地域が多い。そのため、沿岸部の浸水リスクエリアに対する将来的な開発を抑制するような土地利用規制が必要である。

(5) 浸水情報の共有

ダバオ市沿岸では高潮や高波によって年間数回程度の被害が発生している。多くの場合、天文潮位が高い時間帯に風波や降雨が重なることで浸水被害が発生していると想定される。そのため、海象、気象情報やそれに伴った浸水情報を共有することで事前に浸水に対する準備につなげることが可能である。このように公的な支援として、浸水情報や浸水に関係する情報を発信・共有することが求められている。

(6) 海岸浸水対策の実施体制の明確化

海岸災害に対する対策の責任組織が不明確である。そのため、総合的な対策ではなく、地元からの要望に対処する形で、DPWH 等が海岸堤防などの防護施設を建設してきたが、対処療法的な対応しかなく、対応が不十分である。海岸事業を推進する実施体制を明確化して、整備レベルを設定して、それに対する対策を実施していく、という流れをつくる必要がある。

(7) 海岸施設の設計技術の改善

海岸施設に関する技術に関して、ガイドラインは 14 ページしかなく、非常に脆弱であり、加えて、

海岸事業を実施した技術者も非常に少ない。経験があった場合も、別の地域で実施された断面をそのまま当該地域に当てはめただけという状況で設計技術が育っていない。体系的なガイドラインの策定と共に、それを習得し、実践できる技術者の育成が必要である。

(8) 維持管理体制や実施方法の明確化

対策実施機関が不明確であることに加えて、維持管理の責任機関が明確でなく、その実施方法が確立されていない。そのため、構造物が劣化していてもそのまま放置されている状況であり、対策、設計の技術者育成に加えて、構造物建設後の維持管理体制の確立やその実施方法のガイドラインの策定などが必要である。

(9) 気候変動の影響による浸水増加の可能性の考慮

海岸災害に関して、気候変動の影響を受ける要素は海面上昇、波浪の増大、高潮偏差の増大、それらに伴う海岸侵食の増大である。海面上昇は直接的に浸水を拡大させたり、侵食を進行させたりする。それぞれの効果に伴って、浸水リスクが増大することが懸念される。DPWHのガイドラインにおいても気候変動の影響に対して考慮する方法が示されているが、マスタープラン策定においてはどのように取り扱うべきか、C/P等と十分に議論をした上で、計画に反映させる必要がある。

2.11 構造物対策の現状

2.11.1 既存構造物の施工状況

対象 3 河川およびその流域においては、過去に洪水対策・内水氾濫対策および海岸災害対策として堤防や護岸、排水路等の整備が実施されている。本章では、洪水対策、内水氾濫対策および海岸災害対策のそれぞれについて、現地で施工されている主要な構造物のタイプ、施工状況および課題を述べるとともに、河川洪水対策については、2017 年より DPWH-DEO による堤防・護岸工事が 3 河川において大規模に進行中であることから、2019 年 7 月時点において施工が確認された工事を含めた構造物の情報を台帳に整理した。

(I) 構造物対策の施工状況および課題

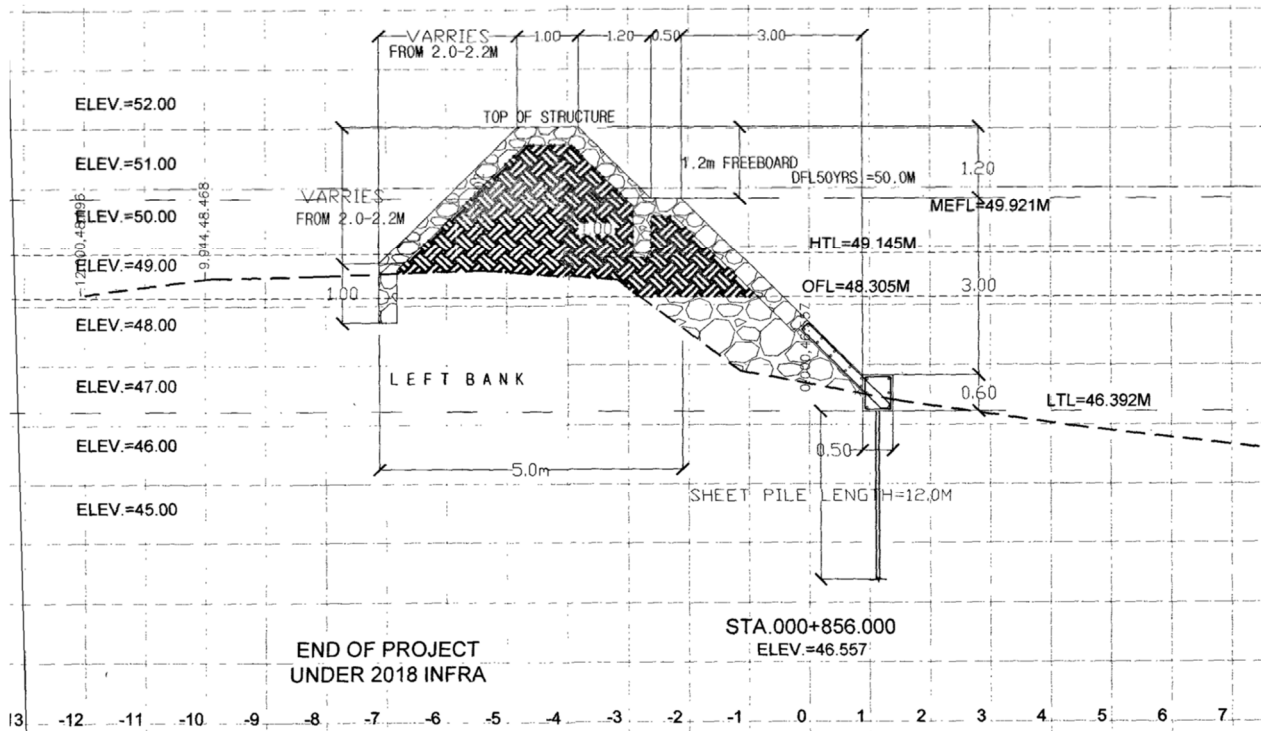
1) 河川洪水対策

対象 3 河川における河川洪水対策として、堤防・護岸が 3 河川それぞれにおいて断続的に整備されているほか、タロモ川においては洪水の流下を目的としたボックスカルバートによる地下放水路が蛇行部をショートカットする形で 1 か所設置されている。3 河川ともに既存の遊水地や水門、堰は存在しない（既存河川洪水対策の配置状況および個別構造については、後述）。

a) 堤防及び護岸（コンクリート護岸）

対象 3 河川において見られる主要な護岸構造としては、コンクリート護岸および蛇籠多段積み護岸の 2 種類があるが、コンクリート護岸については DPWH-DEO が 2017 年に着手した近年の一連の工事以前に建設された構造物において、多く採用されている。

DEO1 の工事図面より、コンクリート護岸式堤防の標準断面を図 2.11.1 に示す。ここで使用されるコンクリートは rubble concrete（玉石ベースのコンクリート）であり、また基礎工として前面に鋼矢板が打設されている。鋼矢板の根入れ長としては 12m であるが、鋼矢板は基礎地盤の支持力確保を目的としていると考えられ、自立式の応力部材としての設計はされておらず、洗堀深は考慮されていない。





出典：DPWH DEO

図 2.11.1 堤防及び護岸（コンクリート護岸）の標準断面図

以下に、コンクリート護岸式堤防について、構造物の施工状況および観察された課題を写真で示す。

表 2.11.1 堤防及び護岸（コンクリート護岸）の施工状況

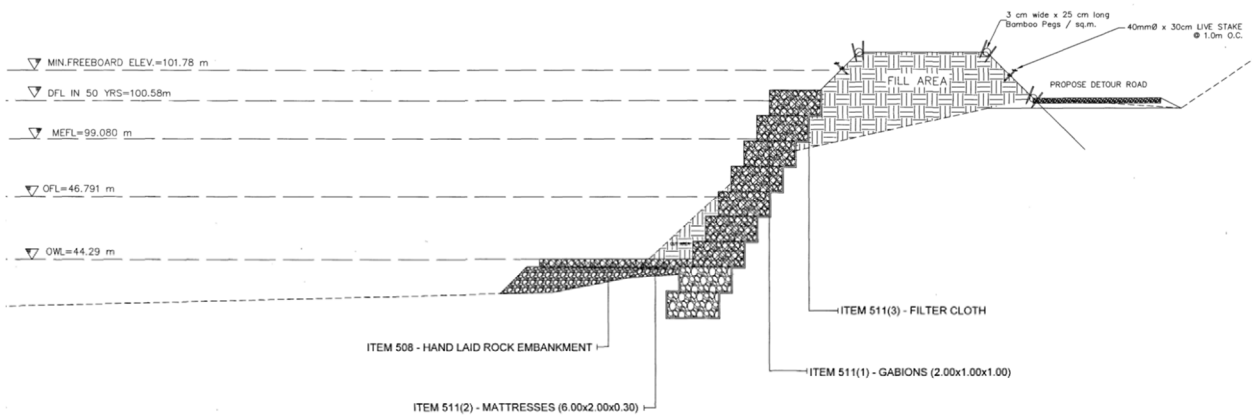
現地写真	施工状況・課題
	<p>ダバオ川右岸 13+300k 付近におけるコンクリート護岸</p> <p>コンクリート護岸の基礎工として鋼矢板が打設されている。鋼矢板は基礎地盤の支持力確保を目的としていると考えられ、自立式の応力部材としての設計はされていない。</p>
	<p>ダバオ川右岸 2+800k 付近におけるコンクリート護岸</p> <p>鋼矢板が河床面より突出している場合には、背面土圧や設計河床に対する壁高を考慮した応力部材としての照査が必要となる。（ただし本区間は施工が古く設計図書の確認ができない） また当該区間では、堤防・護岸の法線や天端高、法勾配が一定していない。</p>

現地写真	施工状況・課題
	<p>ダバオ川右岸 6+200k 付近におけるコンクリート護岸（施工中の状況）</p> <p>3 河川で見られるコンクリート護岸はすべて rubble concrete（玉石ベースのコンクリート）と考えられる。法勾配は 1:1 を基本としており、これは DPWH の標準設計図に示されるものである。</p>

出典：プロジェクトチーム

b) 堤防及び護岸（蛇籠多段積み護岸）

蛇籠多段積み工法は DPWH-DEO が 2017 年に着手した一連の工事において特に多く採用されている工法である。DEO1 の工事図面より、蛇籠多段積み護岸を伴う堤防の標準断面を図 2.11.2 に示す。基礎も蛇籠形式であり、根入れ深さは 2m（2 段分）である。また護岸前面は籠マットが設置される。



出典：DPWH DEO

図 2.11.2 堤防及び護岸（蛇籠多段積み護岸）の標準断面図

以下に、蛇籠多段積み護岸式堤防について、構造物の施工状況および観察された課題を写真で示す。

表 2.11.2 堤防及び護岸（蛇籠多段積み護岸）の施工状況

現地写真	施工状況・課題
	<p>ダバオ川左岸 7+400k 付近における蛇籠多段積み護岸</p> <p>設計図面上の法勾配 1:05 に対して、より急な勾配で施工されている箇所が存在する。勾配を急にする場合には、施工勾配にみあった安定性の照査が必要となる。</p>
	<p>ダバオ川右岸 4+800k 付近における蛇籠多段積み護岸</p> <p>施工された蛇籠が部分的に沈下している箇所があり、地盤の支持力が不足している懸念がある。</p>
	<p>ダバオ左岸 9+900k 付近における蛇籠多段積み護岸</p> <p>背面土の流出防止を目的とした吸出防止材を蛇籠背面に設置する必要があり、DPWH-DEO の設計図にも示されているが、実際の施工では吸出防止材の設置が不十分な箇所があり、背面土の陥没が見られる。</p>
	<p>タロモ川右岸 1+800k 付近における蛇籠多段積み護岸（堤防）</p> <p>タロモ川下流部では背後に盛土を伴わない蛇籠多段積みだけの断面が見られる。設計図書には見られない断面であり、用地の制約からの暫定的な断面と考えるが、河川洪水対策の堤防としては成立しない構造である。</p>

出典：プロジェクトチーム

c) 地下放水路

タロモ川の左岸 2+650～1+850k 付近には洪水の流下を目的としたボックスカルバート式の地下放水路が設置されている。



出典：プロジェクトチーム

図 2.11.3 タロモ川の地下放水路位置図

表 2.11.3 タロモ川における地下放水路の施工状況

現地写真	施工状況・課題
	<p>タロモ川左岸 2+650k 付近における放水路呑口部</p> <p>放水路は3連のボックス構造であり、各ボックスの内空高は約 2.5m、幅は約 3.0m である。また頂版厚は約 0.7m であり、頂版天端が前後のコンクリート護岸の小段と連続する。背後の堤防高は約 1.6m（小段～天端）であるが、呑口部においては新設の橋梁が堤防天端を切り欠いている。平常時は河川水の流入はない。</p>
	<p>タロモ川左岸 1+850k 付近における放水路吐口部</p> <p>呑口部と同様の構造であるが、常時湛水している。呑口部と異なり、放水路上部に堤防はなく、天端頂版レベルと同じ地盤高に道路・家屋が存在する。ただし直下流（左岸 1+706k）には高さ約 3.2m の堤防があり、構造物対策の一貫性が確保されていない。</p>



出典：プロジェクトチーム

d) 横断構造物（橋梁）

対象河川においては横断構造物として複数の道路橋が河川を横過しており、特にダバオ川においては河道内に多くの橋脚・橋台、取付護岸が設置されている。河道中に設置する橋脚基礎の設計においては、DPWH の設計基準（Design Guidelines, Criteria and Standards 2015）において洗堀深を想定することが明記されており、2.4 に示した建設が計画されているダバオ川を横断する橋梁の一般図においても、100 年確率の洪水に対応する洗堀深として約 2.4m が想定されている。

しかしながら既存の橋梁に関して、ダバオ川約 6.0 km の Maa Bridge および約 13 km 付近の Pan Philippines Highway Bridge では、河床低下に伴う基礎の浮き上がりが見られる。当時の設計における洗堀深の考え方について確認できなかったが、当該区間においては設計時より最低で 2m 程度は河床が低下しているものと考えられる。

表 2.11.4 ダバオ川における河道内の橋脚の施工状況

現地写真	施工状況・課題
	<p>ダバオ川 6k 付近 Maa Bridge</p> <p>河床低下により橋脚の基礎の浮き上がりが見られる。</p>
	<p>ダバオ川 13k 付近 Pan Philippines Highway Bridge</p> <p>河床低下により橋脚基礎および取付護岸の基礎の浮き上がりが見られる。</p>

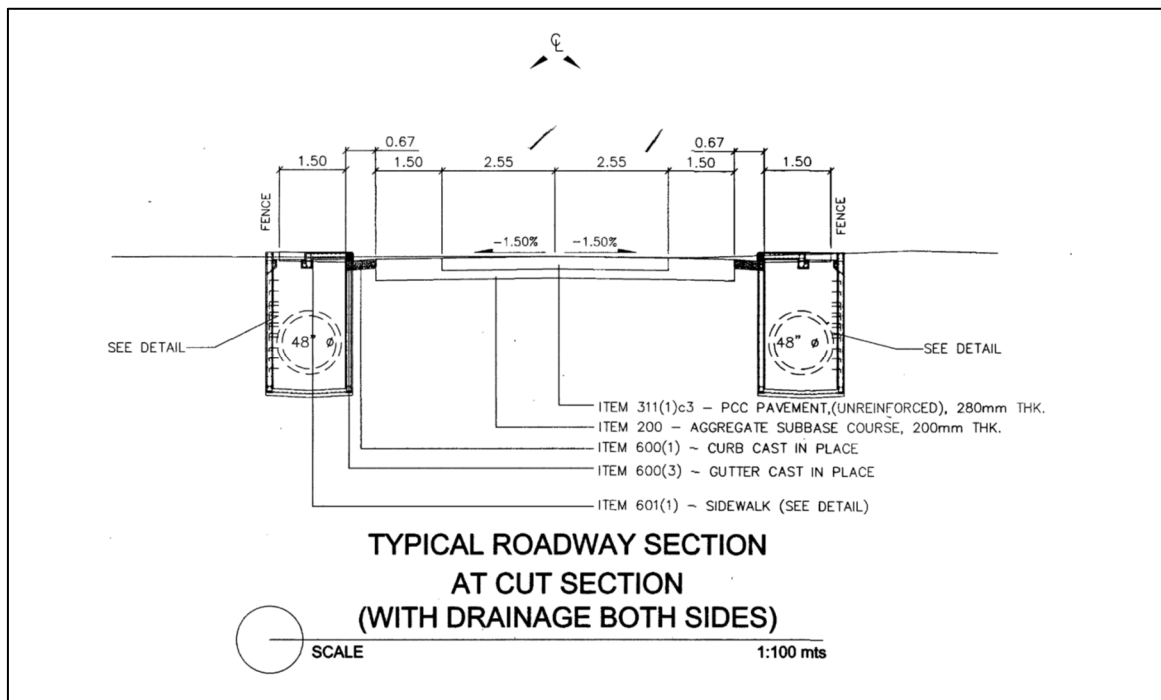
出典：プロジェクトチーム

2) 内水氾濫対策

内水氾濫対策に係る既存の構造物としては、道路沿いの側溝及び排水柵、支線および幹線排水路（管路および開水路）があり、流末となる河川・海岸との接続部において自然排水されている。しかしながら、各種構造物の整備が進んでいないことや、構造物の規模が不十分であることにより、2.9 に記す内水氾濫・被害が助長される状況となっている。以下に収集資料および現地調査において確認された構造物の状況を記す。

a) 側溝、排水樹および排水管路

DEO1 の工事図面より側溝、排水樹および排水管路（支線）を含む標準横断を図 2.11.4 に例示する。図 2.11.4 に示される通り、支線排水管としては道路両側の歩道もしくは路肩の直下にプレキャスト管路が埋設されるのが一般的であるが、幅員が 1 車線程度の道路においては道路中央部に設置されることが多い。これら構造物の仕様については、DPWH の標準設計に規定されており、DPWH-DEO の実施する設計においても、側溝・排水樹及び排水管路については、全てが標準設計に基づくものである。



出典：DPWH DEO

図 2.11.4 内水氾濫対策の標準横断（側溝、排水樹および排水管路）

以下に側溝、排水樹および排水管路について、構造物の施工状況および観察された課題を写真で示す。

表 2.11.5 側溝、排水樹および排水管路の施工状況

現地写真	説明、施工状況・課題
	<p>側溝、排水樹および排水管路（地中）が施工済の道路の例（Guerrero Street）</p> <p>DPWH の標準設計に基づく現行の設計では、排水樹（インレット）の設置間隔は 20m である。写真手前のマンホールはコンクリート製の蓋であるが、車両走行による摩耗・破損が課題となっているため、DPWH-DEO はダクタイル鋳鉄製の蓋の導入を予定している。</p>

現地写真	説明、施工状況・課題
	<p>バランガイ内の幅員の小さい道路における側溝等の設置例 (Daang Patnubay)</p> <p>側溝が連続して設置されておらず、また排水柵の設置も部分的であり、排水が道路沿いの低い個所に滞る状況となっている。ダバオ市内の幹線道路においても、排水柵の不十分な設置や側溝の不連続により、同様の箇所がある。</p>
	<p>市街地における支線排水路（地中管路）と幹線排水路（開水路）の接続 (Roxas Street)</p> <p>開水路タイプの排水路の構造としては、写真のコンクリート張りの護岸の他、練石積み護岸、蛇籠多段積み護岸も見られる。(課題は河川護岸と共通)</p>


出典：プロジェクトチーム



b) 河川・海岸との接続部（流末処理）

既存の支線・幹線排水路の流末はすべて河川・海岸への自然排水となっている。現況では流末処理を目的としたポンプ場および水門・樋門は存在しないものの、DPWH-DEOの工事計画では、内水排水を目的としたポンプ場を1か所（ダバオ川への排水）計画しているほか、海岸部への排水箇所において水門設置も計画されている。

以下に河川・海岸との接続部における構造物の施工状況および観察された課題を写真で示す。

表 2.11.6 幹線排水路の流末における構造物の施工状況

現地写真	説明、施工状況・課題
	<p>ダバオ川右岸 2+700k 付近における排水管路（パイプカルバート）の接続状況</p> <p>蛇籠多段張り護岸に支持される形でパイプカルバートが設置されている。本箇所は蛇行の外側に位置しており、護岸基礎および前面の根固めが侵食されており、パイプカルバートが浮き、底が抜けてしまっている。</p>


現地写真	説明、施工状況・課題
	<p>ダバオ川左岸 18+300k 付近における排水管路（パイプカルバート）の接続状況</p> <p>当該地点を含む多くの箇所において、管路がコンクリート護岸から突出している。管路と護岸には翼壁を設け、管路を突出させない構造が望ましい。</p>
	<p>ダバオ川左岸 2+250k 付近における排水路の接続状況（フラップゲート）</p> <p>ダバオ川において流末にフラップゲート（1.8m×1.8m）が設置されている箇所がある。戸当たり・吊り金具の施工状況および扉体前面の土砂より、スムーズな開閉ができないものと思われる。</p>



出典：プロジェクトチーム

3) 海岸災害対策

海岸災害対策に係る構造物対策としては、2.10 に記載した通り、既存構造物（海岸堤防、突堤）に加え、現在 DPWH-RO による工事が進行している沿岸道路が存在する。ただし沿岸道路は道路を波浪から保護することを目的とした表法被覆工・波返し工および根固め工が海岸側に施工されているものの、住民（漁民）のアクセス用に開口部（橋梁部）が存在する等、施設全体として高潮防護機能を有していない。以下に、海岸災害対策に係る既存の構造物の施工状況および観察された課題を写真で示す。（海岸道路の標準断面は 2.10 参照）

表 2.11.7 海岸災害対策に係る構造物の施工状況

現地写真	説明、施工状況・課題
	<p>地域海岸道路（Nogral Avenue）における海岸堤防（パラペット）の施工状況</p> <p>道路整備に伴いパラペットが整備されており、パラペット設置以来、パラペットを越えるような事象は発生していないとのことである。しかし、排水孔があり、高潮時にはそれを通じて海水が進入してくることが想像される。</p>

現地写真	説明、施工状況・課題
	<p>建設中の沿岸道路における構造物の施工状況（タロモ川河口部付近）</p> <p>沿岸道路は既存の海岸線より海側に前出しする線形となっており、波返し工や根固め工（捨石）が設置されている。海岸堤防の堤体にも一般的に捨石が使用されている。</p>
	<p>沿岸道路における住民アクセス用の開口部の施工状況</p> <p>沿岸道路沿いには住民（漁民）アクセス用に開口部が存在しており、沿岸道路全体としての高潮防護機能が確保されない状況となっている。</p>

出典：プロジェクトチーム

(2) 河川洪水対策の整備状況（構造物台帳）

対象 3 河川では、過去に部分的な洪水対策として一部区間で堤防・護岸の建設が実施されていたほか、2017年より DPWH-DEO(CEO(I))による大規模な堤防・護岸工事が進行中である。

ここでは進行中の工事を含む2019年6月時点における各河川の構造物の整備状況を整理する。また2019年6月時点で既存もしくは建設中の構造物を対象に、収集した設計図書および現地での視察をもとに標準断面および現地写真をとりまとめた台帳を作成した。なお DPWH-DEO の設計および工事においては、基準面の標高が工事区間ごとに設定されており、縦断的に堤防高の連続性が確保できない状況となっており、大きな課題である。

1) ダバオ川

表 2.11.8 および図 2.11.5 と図 2.11.6 にダバオ川における洪水対策の状況を示す。2018年6月時点における既存もしくは建設中の構造物および2019年の建設が計画されている構造物について示した。ダバオ川においては堤防および護岸のみであり、遊水地や放水路、水門は存在しない。

表 2.11.8 ダバオ川の洪水対策構造物

River	R/L	Start	End	Structure	Year	Status
Davao	R	0+512	1+550	Concrete Retevment	2018	Existing
Davao	R	1+567	1+830	Concrete Retevment	2019	Planned
Davao	R	2+300*	2+790*	Concrete Retevment	Unknown	Existing
Davao	R	2+790	3+008	Concrete Retevment	2019	Planned
Davao	R	4+450*	4+600*	Gabion Pile-up	Unknown	Existing
Davao	R	4+600*	5+100*	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	R	5+290	5+750*	Gabion Pile-up	2016	Existing
Davao	R	6+50*	6+200*	Concrete Retevment	Unknown	Existing
Davao	R	6+200*	6+450*	Gabion Pile-up	Unknown	Existing
Davao	R	7+400*	8+120*	Gabion Pile-up	2016	Existing
Davao	R	8+120	9+800*	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	R	9+800*	10+000	Boulder Riprap Wall	Unknown	Existing
Davao	R	10+000*	10+680*	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	R	10+680	11+650	Gabion Pile-up	2019	Planned
Davao	R	12+300*	12+400*	Concrete Retevment	Unknown	Existing
Davao	R	12+670	12+980	Concrete Retevment	2019	Planned
Davao	R	13+20	13+340	Concrete Retevment	2019	Planned
Davao	R	14+50	14+100	Concrete Retevment	2019	Ongoing
Davao	R	15+110	16+205	Gabion Pile-up	2019	Planned
Davao	R	16+205*	16+768	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	R	16+768	17+460	Gabion Pile-up	2016/2017	Existing
Davao	R	17+460	19+498	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	L	0+512	0+775	Concrete Retevment	2019	Planned
Davao	L	1+600	2+189	Concrete Retevment	Unknown	Existing
Davao	L	2+189	2+550	Concrete Retevment	2018	Ongoing
Davao	L	2+550	2+687	Concrete Retevment	2019	Planned
Davao	L	2+730	2+782	Concrete Retevment	Unknown	Existing
Davao	L	2+782	3+176	Concrete Retevment	2019	Planned
Davao	L	5+650*	5+850*	Gabion Pile-up	2019	Ongoing
Davao	L	6+32	6+832	Gabion Pile-up	2019	Planned
Davao	L	7+000*	7+200*	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	L	7+200*	8+000*	Gabion Pile-up	2016/2017	Existing
Davao	L	8+000*	8+490*	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	L	8+490*	9+892	Gabion Pile-up	2019	Planned
Davao	L	9+892	10+547	Gabion Pile-up	Unknown	Existing
Davao	L	10+547	11+370	Gabion Pile-up	2016	Existing
Davao	L	11+370	12+53	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	L	12+53	12+812	Gabion Pile-up	2019	Planned
Davao	L	12+812	12+980	Precast Concrete Block	2018	Existing
Davao	L	13+32	13+508	Concrete Retevment	2015-2016	Existing
Davao	L	13+508	14+8	Gabion Pile-up	2017	Existing
Davao	L	14+8	15+93	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	L	16+701	16+850*	Gabion Pile-up	2017	Existing
Davao	L	17+250	18+626	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	L	18+190	18+440	Concrete Retevment	Unknown	Existing
Davao	L	18+626	19+706	Gabion Pile-up	2019	Planned
Davao	L	20+346	20+721	Gabion Pile-up	2018	Planned
Davao	L	20+721	20+924	Gabion Pile-up	2018	Existing
Davao	L	20+924	21+24	Gabion Pile-up	2016	Existing
Davao	L	21+24	22+300	Concrete Retevment	Unknown	Existing

1 構造物位置(起終点)は DPWH-DEO の工事図面を基本とするが、確認できなかったもの及び不整合があるものについては、*印を付け、本調査で想定した。

出典：プロジェクトチーム

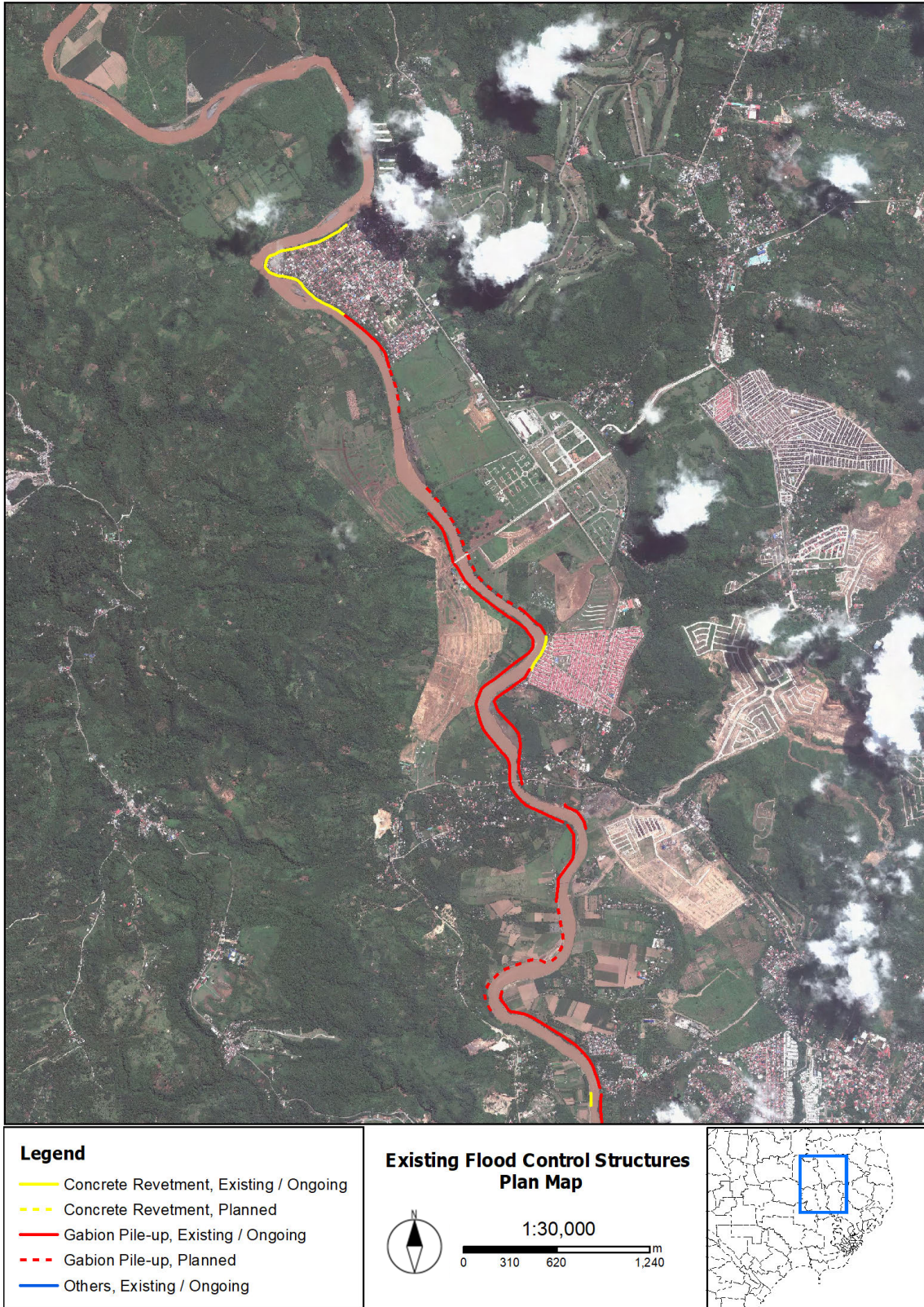
護岸の構造としては、前述の通り、コンクリート護岸と蛇籠多段積み護岸の2種類が併存しているが、図 2.11.5 および図 2.11.6 に示される通り、ダバオ川においては河口から約3 kmまでの市街地区間では既存構造物・計画構造物ともにコンクリート護岸が施工されており、約3 kmより上流部では古い市街地・住宅地周辺における既存護岸を除き、ほとんどが蛇籠多段積み護岸である。

コンクリート護岸が施工されている区間では、用地の制約（蛇籠多段積み護岸は土堤となり敷幅が大きくなる）や後背地の家屋・生活道路の存在（蛇籠多段積み護岸は荷重の制約上、天端直背面の道路や家屋の設置は出来ない）、基礎の施工性（河口部では高水敷がなく、締切ってのドライ施工が困難）により当該工法が採用されているものと考えられる。一方、蛇籠多段積み護岸の方が安価であり、上記制約のない個所においては蛇籠多段積み護岸が採用されているものとする。



出典：プロジェクトチーム

図 2.11.5 既存の洪水対策構造物の状況（ダバオ川下流部）



出典：プロジェクトチーム

図 2.11.6 既存の洪水対策構造物の状況（ダバオ川中流部）

2) タロモ川・マティナ川

表 2.11.9 および図 2.11.7 にタロモ川およびマティナ川における洪水対策の状況を示す。2018 年 6 月時点における既存もしくは建設中の構造物および 2019 年の建設が計画されている構造物について示した。タロモ川の地下放水路を除いては、全て堤防・護岸である。

表 2.11.9 タロモ川・マティナ川の洪水対策構造物

River	R/L	Start	End	Structure	Year	Status
Talomo	R	1+100*	1+300*	Gabion Pile-up	2019	Ongoing
Talomo	R	1+401	2+268	Gabion Pile-up	2018	Existing
Talomo	R	2+315	2+980	Gabion Pile-up	2019	Planned
Talomo	L	0+904	0+988	Gabion Pile-up	2015	Existing
Talomo	L	1+250*	1+418	Gabion Pile-up	Unknown	Existing
Talomo	L	1+418	1+495	Concrete Revetment	2014	Existing
Talomo	L	1+495	1+706	Gabion Pile-up	2013/unknown	Existing
Talomo	L	1+706	1+856	Concrete Revetment	2013/unknown	Existing
Talomo	L	1+850*	2+650*	Underground Floodway	Unknown	Existing
Talomo	L	2+500*	2+700*	Concrete Revetment	Unknown	Existing
Talomo	L	2+724	2+899	Gabion Pile-up	2019	Planned
Matina	R	0+240	0+650*	Gabion Pile-up	2018	Planned
Matina	R	0+650*	0+890	Gabion Pile-up	2017	Existing
Matina	R	0+890	1+860	Gabion Pile-up	2014/unknown	Existing
Matina	R	2+260	2+720	Gabion Pile-up	2018	Existing
Matina	R	2+720	2+908	Gabion Pile-up	2016	Existing
Matina	R	2+930	2+960	Concrete Revetment	Unknown	Existing
Matina	R	3+178	3+360	Gabion Pile-up	2018	Existing
Matina	R	4+450*	4+720*	Concrete Revetment	Unknown	Existing
Matina	R	4+720	5+340	Gabion Pile-up	2019	Planned
Matina	R	5+600*	5+900*	Gabion Pile-up	2018	Existing
Matina	L	0-50*	0+50*	Concrete Revetment	Unknown	Existing
Matina	L	1+200*	1+350*	Grouted Riprap / Brick	Unknown	Existing
Matina	L	1+350*	1+450*	Concrete Revetment	Unknown	Existing
Matina	L	1+890	2+490	Gabion Pile-up	2019	Planned
Matina	L	2+500	2+680	Gabion Pile-up	2018	Ongoing
Matina	L	2+750*	2+850*	Concrete Revetment	Unknown	Existing
Matina	L	2+930	2+958.5	Concrete Revetment	2014	Existing
Matina	L	5+600*	5+900*	Gabion Pile-up	2018	Existing

1 構造物位置(起終点)は DPWH-DEO の工事図面を基本とするが、確認できなかったもの及び不整合があるものについては、*印を付け、本調査で想定した。

出典：プロジェクトチーム

タロモ川およびマティナ川においても、護岸の構造としては、前述の通り、コンクリート護岸と蛇籠多段積み護岸の 2 種類が併存しており、コンクリート護岸は主にタロモ川の市街地区の既存護岸およびマティナ川における橋梁の上下流部の既存護岸で採用される一方、近年の工事では蛇籠多段積み護岸が多用されている。

両河川のコンクリート護岸が施工年代が古い（2014 年以前もしくは不明）ものが多く、市街地における用地や後背地利用の制約に加え、当事は蛇籠多段積み護岸が多く施工されていなかったことも工法選定の背景にあったと考えられる。両河川の近年の工事では、近接家屋の移転を前提として、用地の制約がない限り、蛇籠多段積み工法が採用されているものと考えられる。



図 2.11.7 既存の洪水対策構造物の状況（タロモ川・マティナ川）

2.11.2 設計基準の現状

DPWH-BOD へ確認した各構造物対策の設計における DPWH の準拠基準は表 2.11.10 および以下の記載の通りである。

表 2.11.10 DPWH の設計基準（河川洪水、内水氾濫、海岸災害）

No.	基準及びガイドライン名	河川洪水	内水氾濫	海岸災害
1	Design Guidelines, Criteria and Standards, Volume 3 Water Engineering Project, DPWH 2015 (DGCS Vol.3)	●	●	●
2	Technical Standards and Guidelines for Planning and Design, Volume 1: Flood Control, DPWH-JICA 2010	●	●	
3	Philippine Port Authority (PPA) Engineering Standards for Port and Harbor Structures – Volume II (2009)			●

出典：プロジェクトチーム

(1) 河川洪水対策

河川洪水対策の構造物設計について、DPWH-BOD が準拠する設計基準としては、Design Guidelines, Criteria and Standards, Volume 3 Water Engineering Project（以下、「DGCS Vol.3」）であるが、2015 年の DGCS 作成において参考とされた Technical Standards and Guidelines for Planning and Design, Volume 1: Flood Control (DPWH-JICA 2010) も参照することがあるとのことであった。

上記の DGCS においては、設計の基本的な考え方（例：堤防の設計では浸透の影響を考慮することや Gabion Wall や矢板の設計では安定計算を行うこと）が記されているが、解析モデルや荷重条件等の具体的な計算手法については記されていない。これら解析や計算の具体的な手法については、設計者の判断に委ねているのが現状であり、BOD で特定の解析手法・荷重条件・各種算定式・使用ソフトウェアを推奨しているものではない。

さらに DGCS に詳述のない遊水地や越流堤、ダム の設計手法についても、BOD で採用している設計手法・参照基準は存在せず、既往の類似検討事例（Parañaque 放水路等）においても、個別に提案されている状況である。

BOD としては、DGCS において記載が不足している事項については、内容の更新を図りたいとの意思があるものの、具体的な計画はない状況である。

(2) 内水氾濫対策

内水氾濫対策の構造物設計に関しても、DPWH-BOD が準拠する設計基準は上記の河川洪水対策の構造物と同じである。DGCS Vol.3 に Drainage の章が設けられており、設計の基本的な考え方が述べられている。

また側溝や排水柵、排水路（パイプカルバート、ボックスカルバート）、呑口・吐口の形状、フラップゲート等については DPWH の標準設計が存在しており、基本的な構造物については、標準設計をもとに仕様が決定されている。

(3) 海岸災害対策

海岸災害対策の構造物設計について、DPWH-BOD が準拠する設計基準としては、洪水対策の構造物設計と同様に DGCS であるが、その中に Philippine Port Authority (PPA) Engineering Standards for Port and Harbor Structures – Volume II (2009) を参照することとなっている。BOD 担当者へのヒアリングでは、まず、DGCS に準拠し、そこに記載が無い場合は PPA (2009) を参照する順序で設計するとのことである。PPA (2009) は、基本的には、日本の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の内容を踏襲している。

DGCS の海岸構造物 (第 7 章) は 14 ページしかなく、記載内容はかなり限定的である。一方、PPA (2009) は日本の港湾基準に倣っているため、数 100 ページある膨大な内容である。DPWH には海岸専門の部署がなく、海岸技術者もほとんどいない現状であり、DPWH にとって PPA (2009) を理解し、設計に適用するのは非常に困難な状況である。そのため、DPWH へのインタビューによると、実務としては、別のプロジェクトで実施した内容を流用しているケースが多いとのことである。

2.12 非構造物対策の現状

効果的な治水対策を行う上で、構造物対策の実施に加えて非構造物対策の検討を行うことは、下記の観点から重要となる。

- 構造物対策の完成までは比較的長い年月を要する一方で、非構造物対策は比較的早期に実施することができるため、早期の効果発現が期待できる。
- 構造物対策を行う上で設定する計画洪水規模を超える洪水が発生する可能性もあるため、最悪のケースを考慮した対策が必要となる。つまり、自然現象として計画洪水規模を超える洪水が発生し得ることを認識し、完成した構造物対策でもカバーしきれない洪水に対しての対策が必要となる。
- 構造物の不適切な維持管理や無秩序な開発等に伴う人的要因によって、計画する洪水外力が想定よりも増大してしまうことへの対策が必要となる。この対策の効果を定量的に図ることは簡単ではないものの、後述する市街地から河道への流出抑制等の対策は、構造物対策とともに外力の軽減に寄与し得るものである。

本節では非構造物対策の具体的な活動として、フィリピン政府やドナーによる現状の活動を取りまとめる。

なお、ダバオ市では 2017 年から 2022 年を対象に市の防災計画が策定されている。本計画では表 2.12.1 に示す通り、災害マネジメントサイクルの各フェーズに対する活動項目が挙げられており、非構造物対策として必要な活動項目が網羅されている。本基礎調査では、構造物対策との組み合わせを考慮しつつ、治水対策として重要と考えられる表 2.12.1 の下線で示す活動項目に関して、現況および課題の把握のための調査を行った。

表 2.12.1 ダバオ市防災計画 2017-2022 および本基礎調査と関連する活動項目（下線部）

抑止減災	事前準備	応急対応	復旧復興
<u>緑化プログラム</u> (4)にて記載	<u>IECプログラム</u> (3)にて記載	SOP策定	災害後ニーズアセスメント
<u>廃棄物管理</u>	DRR研修マニュアル	インシデントコマンドシステム	復旧復興計画
<u>家屋移転・規制</u> (5)にて記載	DRR研修機構	災害アセスメントチーム配置	復旧復興活動の監視・評価
<u>インフラ施設の整備</u> (6)にて記載	バランガイへのコミュニティDRRM研修	捜索救助	民間グループからの支援
<u>河道等の堆砂物除去</u> (7)にて記載	<u>防災訓練</u> (3)にて記載	安全保障管理	事業・経済継続計画
<u>リスクアセスメントおよびハザードマップ</u> (3)にて記載	市およびDRRMCsのDRRM能力強化	死者・行方不明者管理	生計機会の提供
<u>バランガイ年間投資計画への防災・気候変動の主流化</u>	伝染病への初期対応研修	救援活動確立	住民移転地域の設立
<u>観測・予警報システム</u> (1)にて記載	学校教育	インフラ等の早期回復支援	災害に強い家屋再建
<u>財務・保険スキーム</u>	CDRRMO、BDRRMCs強化	ライフライン等基本サービスの提供	移転者連合組成
<u>紛争解決仲裁</u>	バランガイLDRRMF活用		被災者財務支援
	CDRRMP、BDRRMPsの策定・実施		エコシステムの復旧復興
	BDRRMCの設立		災害に強いインフラの改善
	<u>避難施設</u> (2)にて記載		
	災害対応計画		
	コンティンジェンシープラン		
	PDNA等災害対応チームの組成		
	DRRステークホルダー間協調		
	ボランティアグループ		
	他LGUとの協調		

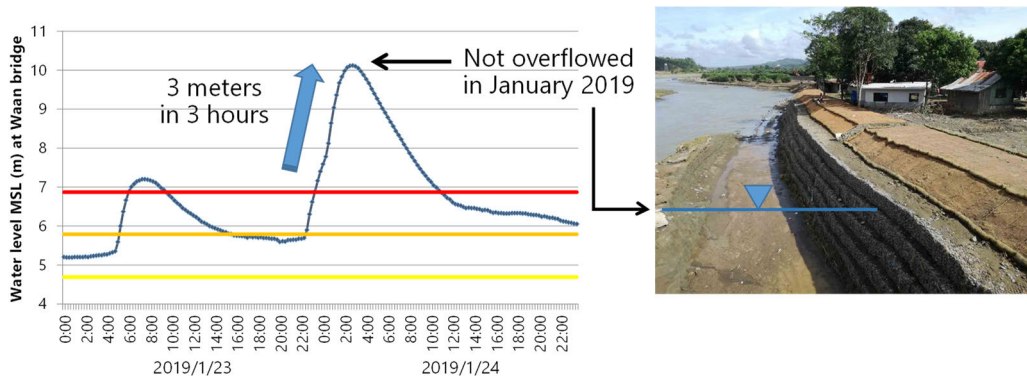
出典：ダバオ市防災計画 2017-2022 をもとにプロジェクトチームが作成

(1) 観測・予警報システム

本プロジェクトの対象流域における気象水文観測については、2018年にPAGASAのダバオ川流域洪水予警報センターが設立され、JICSの支援の下、7基の水位観測所および7基の雨量観測所が設置されている。このうち、本プロジェクトの対象河川であるダバオ川流域内には6基の水位観測所および5基の雨量観測所が設置されており、タロモ川流域内には1基の水位観測所および2基の雨量観測所が設置されており、マティナ川流域内には観測所は設置されていない。

上記の観測所データは、PAGASAのダバオ川流域洪水予警報センター（DRBFFWC）およびダバオ市災害リスク削減・管理局（ダバオCDRRMO）においてリアルタイムで監視できるシステムを構築している。これらのデータをもとに、DRBFFWCは、Flood AdvisoryやFlood Bulletinを発出し、携帯電話、有線電話、メール、メッセージングアプリ等を用いて、OCDを通じて関係政府機関に、ダバオCDRRMOを通じてバランガイに情報伝達を行っている。

一方で、2.7.3項に前述した通り、ダバオ川沿いではDPWHDEOによって、2017年から2022年の予定で河川工事が進められており、河道の状況は変化している。PAGASAによって3種の危険水位が設定された後も、河川工事は進められているため、最新の河道状況に見合っていない箇所が発生している。2019年1月大雨の際のWaan橋の水位観測所データを見ると、河道容量100%を示すはずの赤色（Critical）の水位を3m超えても、実際には越水は発生しなかったことが現地住民へのインタビューを通じて確認された。



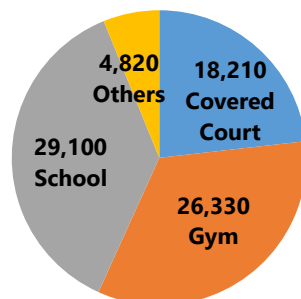
出典：プロジェクトチーム

図 2.12.1 2019年1月洪水時のWaan橋における水位変動

本プロジェクトの対象3河川それぞれの上流端から下流端までの洪水伝播時間を概観するため、SRTMによる河床勾配データ、RzhihaおよびKravenの経験式を用いて確認を行ったところ、ダバオ川では19時間、タロモ川では5時間、マティナ川では2.4時間をかけて洪水が伝播することを確認した。タロモ川やマティナ川は、ダバオ川と比較して洪水伝播時間が短く、洪水発生までに防災行動をとるまでのリードタイムが短い特徴がある。特にマティナ川においては、PAGASAの水位観測所も設置されておらず、2011年の洪水の際には30名以上の死者が出たことから、タロモ川やマティナ川のような中小河川における洪水予警報の取り組み手法について検討する余地があると言える。

(2) 避難施設

ダバオ市では現在、91 か所の施設が避難所として規定されており、合計 78,460 名を収容できると概算されている。カバード・コート、体育館、学校が主に避難所として規定されている。



出典：ダバオ CSSDO 提供データをもとにプロジェクトチームが作成

図 2.12.2 ダバオ市における避難所の収容人数内訳

また、将来の大規模災害に備えるため、新規の避難所建設も進められている。タロモ川の中流部に位置する Los Amigos 地区では、既存の避難所の拡張および新規の避難所建設が進められているほか、Ma-a 地区および Mahayag 地区においても避難所建設が予定されている。

一方で、DOST および MGB が作成したハザードマップを元に算出された地滑り及び洪水の高ハザード地域に居住する人口は約 43 万人とも試算されており、避難所の収容人数は十分ではない可能性がある。

(3) IEC プログラム、防災訓練、リスクアセスメントおよびハザードマップ

ダバオ市においては、下記の通り、既存の洪水ハザードマップが複数作成されている。一つは、MGB が地形・土質および災害履歴情報を基にハザード評価を行っており、1:10,000 のスケールのハザードマップを洪水及び地滑りに対して作成している。しかし、このハザードマップは 2017 年の既往最大洪水と推定される台風 Vinta の前に作成されたものであり、MGB は更新の必要があると認識している。もう一つは、フィリピン大学 (UP) 主導で行われた DREAM プログラムにおいて、2015 年に作成された洪水ハザードマップが存在する。HEC-MHS モデル、LiDAR による地表データを用いて、5 年、25 年、100 年確率ごとに作成されている。加えて、DOST が実施する Project NOAH においても洪水ハザードマップおよび高潮ハザードマップを整理しており、ホームページ上で閲覧可能である。

上述の通り、複数の機関が異なる手法や精度でマップを作成しており、洪水ハザードマップごとにマップの精度（縮尺）や計算条件（洪水の規模）が異なる、氾濫範囲が異なるなどがあり、加えて、作成機関による配布物（洪水ハザードマップ）に対する十分な説明がないことから、バランガイ等への配布が行われ各バランガイ事務所ではマップが保有されているものの、バランガイ事務所がどのマップを用いればよいか、どう用いればよいかの判断に惑うことがあり、避難訓練等への活用までには至っておらず、効果的な防災活動に結びついていないことは課題の一つであると考えられる。

また、住民への教育教材の配布や訓練の実施も啓発活動として有効であるが、現況として、ダバオ市が主導する地震に対する訓練は年に 1 回行われているものの、洪水に対する水防訓練は行われていない。

加えて、洪水に関する IEC 活動として、日本の ICHARM が事務局を務める IFI (International Flood Initiative) が DPWH、PAGASA、DOST XI と連携し水のレジリエンスと災害に関わるプラットフォームを構築し、活動を行っている。ダバオ市に対しては、リアルタイム洪水監視・予測と気候変動影響評価に関する知見・情報を集約し、それらを現地ステークホルダーが e ラーニングで学習することができるシステムが開発され、2021 年にはそのシステムの活用とファシリテータ育成のための e ラーニング・ワークショップが開催された。

(4) 緑化プログラム

ダバオ川流域においては、175,960 ha の流域面積のうち、76%にあたる 135,469 ha が森林地であると DENR によって確認されている。この森林地のうち、32%は上流のブキドノン州、残りの 68% は中流部および下流部のダバオ・デル・ノルテ州およびダバオ市に分布している。

また DENR は、2015 年にダバオ川流域管理・開発計画を策定し、15 年先を対象に必要な対策および資金が検討されている。本計画の中で、33,327 ha の森林保全、20,000 ha の森林回復、17,800 ha の森林造成、25 ha のマングローブ回復に係る活動が提言されている。

マングローブ保全に関しては、2.4 節で前述した通り、ダバオ市の海岸線に沿った延長距離約 12 km の道路建設プロジェクトが進行中であり、マングローブに大きな影響を与えることが懸念されている。DENR の職員の見解では、当該道路建設プロジェクトの完成を待って、改めてマングローブ保全について検討することが考えられている。また、ダバオ市によって策定された総合土地利用計画 (CLUP) においては、海岸沿いの非正規居住者の拡大が海岸沿いに分布するマングローブに被害を与えていることが課題であると言及されている。

(5) 家屋移転・規制

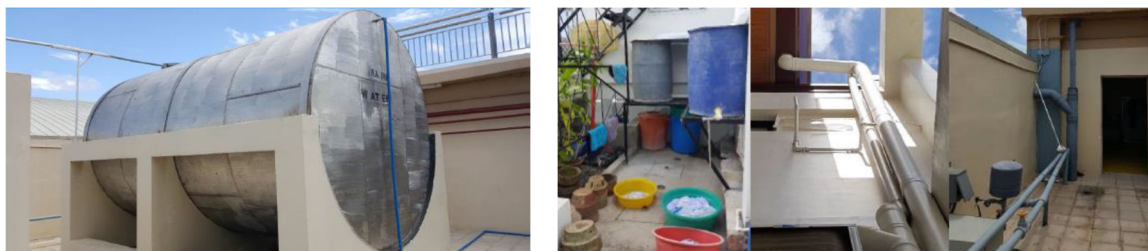
本プロジェクトの対象 3 河川では、水法で定められた規制の範囲内に明らかに不法に占有している居住者が見受けられる。現況については目視による確認であり、定量的な把握については、ステージ 2 以降の調査にて引き続き検討を行う。

(6) インフラ施設の整備

インフラ開発プロジェクトの試算によると、ダバオ市の市街地面積は 2017 年の 14,057 ha から 2045 年には 28,190 ha と約 2 倍に拡大すると考えられている。この市街地化の進行により、流域での保水・遊水機能が減少することで、洪水到達時間が速くなり、河川への流出量が増大することが懸念される。

ダバオ市では関連する施策として、2009 年に雨水の適切な採取・貯留・活用に関する条例を制定しており、洪水軽減策としても有効な雨水集水システムの設置が個人住宅、商業・工業ビル等の建築に対して規定されている。その後 2014 年には、ダバオ市から行政命令 45 号の下、上記条例の実施規則が発行された。各種施設の集水面積に応じて、必要な雨水集水システムの容量を規定するも

のであり、例えば 250m²以上の集水面積をもつ構造物は、10,000L 以上の雨水集水システムを持つ必要があること等が規定されている。本規則の発行により、雨水集水システムの設置が促進され、2015 年には 2,497 件、2016 年には 3,879 件の本システムをもつ施設に対して、ダバオ市が建築許可を発行している。一方で、アテネオ・デ・ダバオ大学らによる 2018 年の調査結果によれば、上記の条例を認識し、適切に実施されている割合は対象者の 30%程度に留まると報告されている。ダバオ市の見解として、上記条例の更なる実施促進のために、雨水集水システムの計画・設置に関する技術マニュアルの策定最終化、既存雨水集水システムを管理するデータベースの構築が必要であると考えられている。



出典：2018 Annual Report, Interfae Development Interventions

図 2.12.3 ダバオ市における雨水集水システムの例

また、ダバオ市では透水性舗装の促進に関する条例の作成・承認が進められている。本条例は未承認であるため、内容はまだ一般に公開されておらず確認はできていない。本条例の有無に関わらず、ダバオ市での民間企業等が独自に駐車場等に透水性舗装を利用している事例も確認されている。

(7) 河道等の堆砂物除去

ダバオ市は、排水路ネットワークの清掃維持および歩道空間の適切な確保を目的に、2017 年に行政命令 5 号を通じて市長室の下にアンシラリーサービスユニット (ASU) を設置している。排水路ネットワークの清掃維持に関しては、CEO の資機材および ASU 下の 200 名の人的資源をもって活動を行っている。2018 年から ASU は月次レポートを発行しており、清掃維持活動を行った箇所、日付、除去された廃棄物等の総量、清掃された排水路の総延長等が報告されている。2018 年には内水被害の大きい箇所を中心に、2,875 m³の廃棄物を除去、総延長 52,990 m の排水路が清掃されたと報告されており、引き続き活動を行っている。

加えて、ダバオ市では 2017 年 10 月から、毎第一土曜日および第三土曜日の午前中に 300 名のボランティア参加のもと、河川や海岸沿いの清掃活動を行っている。本活動は行政命令 41 号に従い行われており、ダバオ市から参加者には日当が給付されている。

一方で、ASU の見解として、上記の清掃維持活動だけでは全ての排水路を網羅することはできず、 balan gairevel から の協力や、住民への啓蒙活動が必要であると考えられている。また、建設業者による砂利・土砂等の建設資材の不法廃棄も排水路システムに大きな影響を与えており、更なる監視体制の強化が必要と考えられている。

2.13 洪水（外水、内水、高潮）に関する最近の主要な法律・条例・政令

2.13.1 主要な法律/条例/政令

(1) 国家レベル

(a) 大統領令第1067号（PD.1067、水法）

フィリピン国水法（大統領令第 1067 号）は最適な水資源の開発および合理的な利用を実現するための水資源開発、管理および保全に関する基本原則と枠組みを確立するために制定され、水利用者の権利と責務を規定する。具体的に、本法は水利権、水資源開発、水利用、保全等および土地に係る権利を規定する基本法である。

水利権の性質は、第 3 条に列挙されている下記 5 つの「根底にある原則」から成っている。

- a) すべての水は州に属する
- b) 州に属するすべての水域は、取得時効の対象とならない
- c) 州は、行政上の譲許により水の使用または開発を許可する場合がある
- d) 水資源の利用、開発、開拓、保全、保護は、国家水資源評議会（NWRC）による政府の管理と規制の対象となる
- e) 水の使用と開発における選択は、現在の使用を考慮し、国の変化するニーズに対応するものとする

表 2.13.1 に洪水リスク管理に関する水法の主な条項を示す。

表 2.13.1 洪水リスク管理に関する水法の主な条項

条項	概要
第 51 条	<p>河岸および海岸・湖岸の全延長にわたり、都市域 (Urban Areas) では 3 メートル、農村地域 (Agricultural Areas) では 20 メートル、森林区域では 40 メートルをレクリエーション、航行、漁業、引き揚げ (Salvage) 等の公共目的で使用できるように権利 (Easement) を設定する。イーズメントが設定されている区域では前述の目的を果たすために必要な時間・期間以上長く留まることを禁止する。また、如何なる構造物の建造を禁ずる。</p> <p>改訂実施運用規定細則 (Amended Implementing Rules and Regulations)</p> <p>セクション 31 : イーズメント/使用に関する権利の設定</p> <p>同法の 51 条の目的を達成するために、河川、海岸、湖沼の沿岸におけるイーズメントの設定には浸水が発生しない最高の河川水位または大潮時の潮位の高い方の水位を基準に設定される。このように設定されたイーズメントを侵害しうる全ての構造物または建造物は DPWH、LGU または中央・地方政府機関間の調整を図るために設置された委員会の命令によって撤去されなければならない。</p>
第 53 条	<p>洪水氾濫区域内の利害を最大限促進し、調整された氾濫原管理を実現するために DPWH の長官は洪水管理区域 (Flood Control Area) を指定し、それらの区域で氾濫原の管理計画を策定するための指針 (ガイドライン) を公布することができる。</p>
第 54 条	<p>洪水管理区域の指定を受けた地域では、河岸および湖岸の破損や劣化を誘発するような行為、または流水の妨げまたは自然の流下に変化を与える行為、洪水による浸水被害の増加または悪化を招くような行為を禁止または制限することができる。</p>
第 55 条	<p>洪水管理区域では、政府は必要な洪水管理対策を実施することができる。その目的を達成するために、政府は河岸に隣接し、河床および低水路の外側で法的なイーズメントを設定する。</p>
第 56 条	<p>DPWH 長官が事前に許可しない限り、河床、砂州および干潟における耕作行為は禁止される。なお、流水の妨げまたは他地域での河川水位を含み、河川水位の上昇を招く可能性のあるあらゆる耕作行為は禁止される。</p>

条項	概要
第 65 条	流域審議会（Council）の許可なくして、流域間の水移動・導水をしてはならない。流域間導水が要請されている場合、審議会は導水に係る全ての費用、導水元の流域で事業が実施されない場合に生じる可能性のある便益、事業の実施による導水先の便益、水供給の観点より実施可能な代替案等の各事項を検討しなければならない。

出典：フィリピン国水法（大統領令第 1067 号）

(b) 共和国法第10121号（RA.10121、災害リスク軽減管理法）

2010 年の共和国法第 10121 号、またはフィリピン国災害リスク軽減管理法、災害対応（Preparedness & Response）に重きを置いた防災から災害リスク軽減管理（DRRM）へのシフトを図るために制定された法律である。表 2.13.2 に RA10121 の重要な内容を示す。

表 2.13.2 災害リスク軽減管理法の重要な内容

条項	重要な内容
セクション 2 政策提言	災害リスク軽減管理（DRRM）は気候変動を含む自然災害の社会経済・自然環境への影響軽減を図るために全体論的、包括的、統合的、事前予防的（Proactive）なアプローチを採用しており、地域コミュニティを含む全ての行政レベルのセクター、関係者の関与を促進する。
セクション 4 適用範囲	同法はガバナンス、リスクアセスメント、早期警報、知識の構築、啓発、災害リスク要因の削減、効果的な災害時対応と早期復旧を実現するための事前準備等を含む全ての DRRM の側面に関係する政策・計画の整備、対策および行動の実施に係る。
セクション 5-13 組織上の枠組み	DRRM の組織上の枠組みは： 1. 国家、地方管区、州、市／町とバラングイのそれぞれの行政レベルで DRRM 審議会（DRRMC） 2. 州、市／町とバラングイのそれぞれの LGU レベルで DRRM を担当する局（LDRRMO） 3. 中央レベルの市民防衛局（OCD） 4. 災害ボランティア
セクション 21、22 予算	国家／LGU レベルで DRRM 予算（NDRRMF／LDRRMF）が設置・管理される。なお、“災害リスクを軽減管理するための活動に充てられる DRRM 予算は国家／LGU の一般年間予算の 5%以上でなければいけない”。

出典：フィリピン国災害リスク軽減・管理法（共和国法第 10121 号）

同法は内務地方自治省（DILG）に権利やジェンダーの平等に基づく持続可能な発展、国民福祉、安全の推進の観点より実施されるコミュニティの災害適用力の向上、災害リスクに脆弱なセクターのレジリエンス強化、防災の機会の最適化を実現するための指針を示す国家 DRRM 計画（NDRRMP）の策定を委任している。

国家の DRRM 枠組みに則り、NDRRMP は独立しているが相互に作用しあう 4 つの優先分野（テーマティックエリア）を取りまとめている。その 4 つの分野は (i) 災害予防・軽減、(ii) 災害準備、(iii) 災害対応、(iv) 災害復旧・復興であり、それぞれで長期目標とビジョンが設定されている。

表 2.13.3 国家災害リスク軽減管理計画（NDRRMP）の長期目標、成果

分野	長期目標	成果
(i) 災害予防・軽減	災害に対する脆弱性と暴露の削減およびコミュニティの能力強化によるハザード回避と潜在的な影響軽減を図る。	全ての災害に対するコミュニティの脆弱性と暴露を軽減する。
		コミュニティが自ら災害リスクおよび災害による影響を軽減するための能力を強化する。
(ii) 災害準備	災害や緊急事態による影響を最少とするため、コミュニティの災害予見、対応、復旧に係る能力を強化する。	ハザード、リスク、脆弱性に関するコミュニティの意識を醸成する。
		災害による負のインパクトを軽減するためにコミュニティに必要な能力を備える。
		組織の能力を強化する。
		国家と LGU レベルの災害準備に係る政策、計画、枠組みを構築する。
(iii) 災害対応	災害発生時または直後において、許容される一定の基準に基づき、生命を守り、基本的な生計活動を維持する。	災害による死者数、負傷者数の減少を図る。
		被災住民の生計回復のための基本的な物資を提供する。
		社会インフラの緊急復旧を実施する。
(iv) 災害復旧・復興	“より良い復興”の理念に基づき被災コミュニティの施設を復旧・増強、住民生計を回復および組織の能力を強化する。	被災住民の生計が回復し、経済活動が継続し、事業所が再稼働する。
		インフラやその他の公共施設を復旧する。
		被災住民の心身回復を支援する。

出典：NDRRMP

(c) 共和国法第9729号（RA.9729、気候変動法）

共和国法 9729 号、または気候変動法は、政府の政策と計画における気候変動（CC）の主流化を図るために 2009 年に制定された。同法の制定によって気候変動委員会（CCC）が設立され、気候変動に係る国家戦略の枠組み（NFSCC 2010-2022）および国家気候変動アクションプラン（NCCAP 2011 - 2028）が策定された。

これらの政策改革によって、国家から地方レベル、多様なセクターの関係機関が連携して政府の気候変動への適応策のスコープを定義した。また、NFSCC と NCCAP には気候変動への適応、緩和および災害リスク軽減（CCAM-DRR）に関する目標と目標年度が示されている。

(d) 1977年大統領令第1152号（PD. No.1152 of 1977、自然環境法）

フィリピン国環境法第 34 条は既存の法律の関連規定に加え、洪水管理に係るプログラムに関する措置を規定している。

- 河岸や湖岸、海岸の浸食管理
- 河川や湖沼の流水および洪水管理
- 水資源の保全
- 漁業、野生生物の保護、その他のレジャー等の観点からみたニーズ
- 水資源量、水質を踏まえた流水の堰き止め、迂回、取水と利用に係る施策
- 水資源および土壌の保全に関連する研究、知識の向上を促進するための施策

表 2.13.4 に上記以外の法令で洪水リスク管理に関する主なものを示す。

表 2.13.4 洪水リスク管理に関する主な関連法令

DO/EO	名称	公布機関
1978 年大統領令第 1586 号 (PD 1586 1978)	環境許認可制度	-
2018 年共和国法第 11038 号 (RA 11038 2018)	拡大国家統合保護区法	-
2016 年共和国法第 10752 号 (RA 10752 2016)	用地法	-
2018 年 DPWH 省令第 116 号 (DO 116 S2018)	DPWH インフラプロジェクトにおける樹木伐採許可申請プロセスと要件	DPWH
2017 年 DPWH 省令第 124 号 (DO 124 S2017)	DPWH 用地取得マニュアルの使用指示	DPWH
2016 年 DPWH 省令第 57 号 (DO 57 S2016)	DPWH プロジェクトにおける環境影響評価 (EIA) と樹木伐採許可申請	DPWH
2015 年 DPWH 省令第 23 号 (DO 23 S 2015)	洪水管理、排水および斜面保護に係る政策	DPWH
2014 年 DPWH 省令第 139 号 (DO 139 S2014)	洪水管理を目的とした浚渫に係るガイドライン	DPWH
2019 年 DENR 行政命令第 5 号 (AO 05 2019)	共和国法第 7586 号・第 11038 号の実施規則・規制	DENR
2017 年 DENR 行政命令第 15 号 (AO 15 2017)	フィリピン環境許認可制度下での市民参加に関するガイドライン	DENR
1992 年 DENR 行政命令第 13 号 (AO 13 1992)	森林区域におけるバッファゾーンの設置について	DENR
2006 年 DENR 実行命令第 510 号 (EO 510 2006)	河川流域管理事務所 (RBO) の設立について	DENR
2020 年覚書通達第 30 号 (MC 30 2020)	国家公衆衛生上の緊急事態におけるフィリピン環境許認可制度 (PD1586) の実施の際の市民参加に関する暫定ガイドライン	DENR EMB

出典：プロジェクトチーム

(2) LGU レベル

国家レベルの法律や規則を地域レベルで実施するために LGU はそれぞれの管理区域内で適用される条例や政策を制定する。

表 2.13.5 に洪水リスク管理および流域管理に関してダバオ市が制定している主な政策、条例を示す。

表 2.13.5 ダバオ市の洪水管理、排水に関する主な政策、条例

番号	名称
条例 第 0298-09	適切な収穫、貯水および雨水利用に関する条例
条例 第 0333-15	ダバオ市内の河川流域における河川およびその支流の土砂除去を円滑に実施するための技術作業部会（TWG）の設立
条例 第 0310-07	流域の保護、保全と管理に関する法、別称ダバオ市流域法
条例 第 0361-10	ダバオ市生態系・環境に配慮した固形廃棄物処理に関する条例
条例 第 117-01	ダバオ市水資源管理・保護に関する条例

出典：プロジェクトチーム

2.13.2 河川境界の法制度的側面

河川境界の重要な法的根拠は、フィリピンの民法（RA 386）に広く示されており、表 2.13.6 に示す民法のタイトル 2 および 4 で規定されている。これらは、それぞれタイトル 2 および 4 の下でのフィリピンの水法（PD 1067）の規定により強化され、水の所有権と管理権がそれぞれ与えられた。

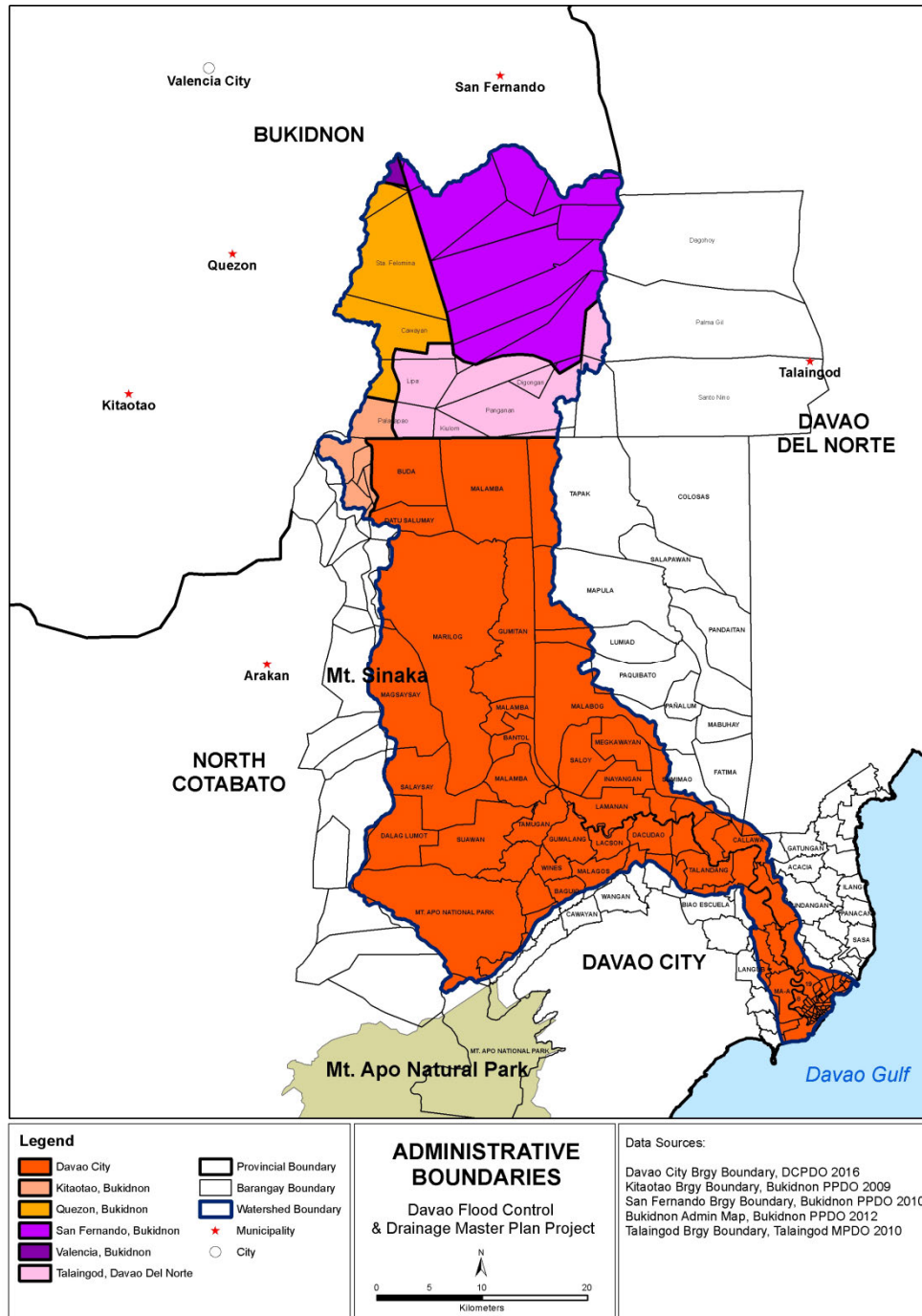
表 2.13.6 水の所有権と管理権に関するフィリピンの民法

Ref #	法律の規定
Title II. Chapter 1: 所有権の概要	
Art 461	水路の自然な変化によって放棄された河床は、失われた面積に比例して土地が新しい水路で占められている所有者に属する。ただし、古い河床に隣接する土地の所有者は、その価値を支払うことにより同じものを取得する権利を有し、その価値は新しい河床が占有する面積の値を超えてはならない。
Art 462	自然の原因により進路を変える川が私有地を介して新しい河床を開くたびに、この河床は公共の支配権を持つことになる
Art 463	川の流れが枝に分かれて、土地の一部が孤立するたびに、土地の所有者は所有権を保持する。また、土地の一部が海流によって土地から分離されている場合もまた、それを保持する。
Title IV. Chapter 1- Some Special Properties Section 1. 水の管理権	
Art 502	<p>以下は公共の支配となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 川とその自然の河床 (2) 天然の河床と河床自体を流れる泉または小川の連続的または断続的な水 (3) 公的支配の土地で連続的または断続的に上昇する水 (4) 自然が公有地または河床に形成した湖と池 (5) 溪谷または砂床を流れる雨水 (6) 公有地の地下水 (7) 請負業者によって建設された場合でも、公共事業の運営区域内で見つかった水 (8) 個人、州、県、または市/町が所有する土地において所有者がその土地から離れた瞬間から連続的または断続的に上昇する水 (9) 噴水、下水道、公共施設の廃水
Art 503	<p>以下は個人所有となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 個人所有の土地で、連続または断続的に上昇する水 (2) 自然によって形成された湖と池、およびそれらの河床 (3) 同じ場所にある地下水 (4) 雨水が境界内にある限り、その土地に降る雨水 (5) 雨水によって形成される連続的または断続的な流水の河床と、公共の支配権を持たない土地を横断する小川の河床

出典：プロジェクトチーム

水法および国家水安全法は明確に河川境界・河川区域を定義づけていない。しかし、流域における課題や懸案事項について効果的・効率的に対応し、適切な水資源管理を実現するための努力が流域内の様々な行政組織によって実施されてきた。

前述のようにダバオ川流域は、ダバオ市、Bukidnon 州、Davao Oriental 州に跨っている。現在では、Bukidnon 州、Davao Oriental 州の間で、水の権利や管理に係る論争が生じる地域に対しては、Bukidnon 州が管理・統率を行っている。上述した 2 つの州に跨る論争に関しては、河川や水域における持続的な管理強化に向けて、ダバオ川流域同盟が重要な役割を担っている。2015 年に策定されたダバオ川流域管理開発マスタープランで対象としている流域内行政区域を図 2.13.1 に示す。



出典: Davao River Basin Management and Development Plan, 2015

図 2.13.1 ダバオ流域内の行政区域

2.14 洪水（外水、内水、高潮）に係る事業実施計画および維持管理計画の枠組みの現状

2.14.1 主要組織

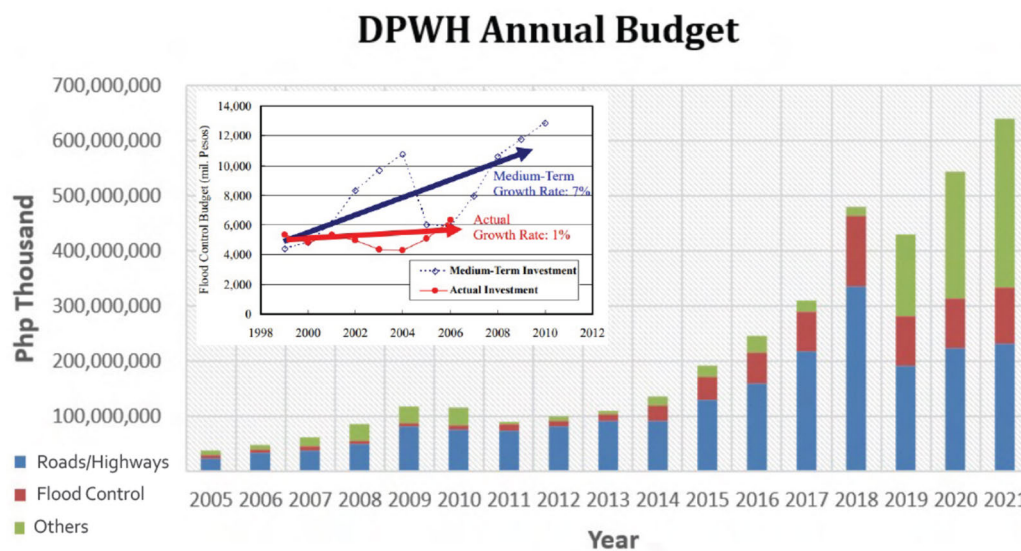
(1) 公共事業道路省（DPWH）

1) 公共事業道路省本部（DPWH）

公共事業道路省（DPWH）は主要インフラプロジェクトを実施する政府の3つの部門のうちの一つであり、(a) 国道や橋梁、洪水管理、水資源プロジェクト、その他の公共事業等のインフラ整備計画、および (b) 国道や橋梁、主要な洪水管理施設の設計、建設、維持管理を実施する。

DPWH は、政府のエンジニアリングおよび建設部門として機能し、すべてのインフラ施設の安全性確保および公共事業・高速道路の建設において最高の品質と効率性を確保することを目的に、その技術を継続的に開発しなければならない。

政府によって打ち出された“Build, Build, Build”をはじめとするインフラ政策の一環として、DPWH によって実施されるインフラプログラムの数・予算は大きく増加してきた。図 2.14.1 に示すように、2018 年（約 PhP 480 Billion）のインフラ予算は 2011 年（約 PhP 90 Billion）の予算の 5 倍以上となっており、2019 年に減少したが、その後再び増加傾向にある。



出典：https://www.undrr.org/sites/default/files/inline-files/Philippines_JFANO_IRF2022%20%281%29-compressed.pdf

図 2.14.1 DPWH のインフラプログラムの予算（2005–2021）

2) 公共事業道路省／洪水防御プロジェクト管理事務所（DPWH／UPMO-FCMC）

UPMO-FC はすべての洪水防御プロジェクトの管理を実施しており、その役割と機能は以下の通りである。

- 技術的指導、洪水防御プロジェクトに関する M/P、F/S への助言
- 関係機関と連携して、洪水防御プロジェクトに関連する施策の計画、設計、整備、O/M を調整

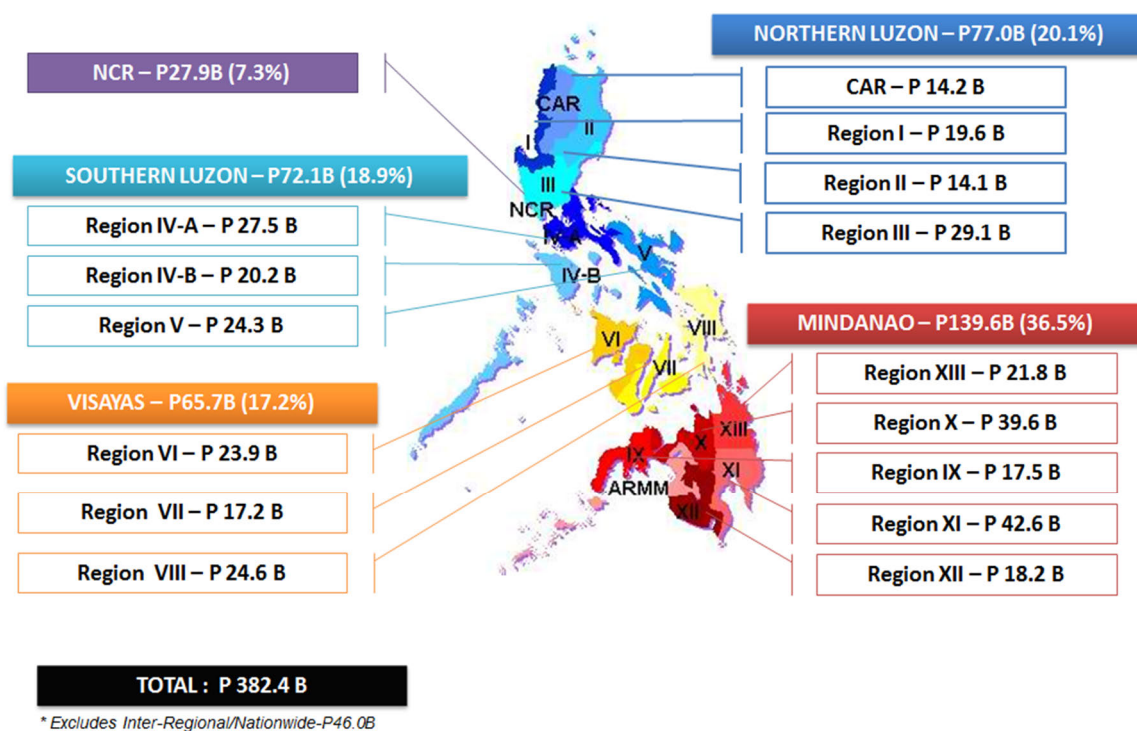
- 洪水防御プロジェクトに関連する施策の管理

プロジェクトダイレクターのもと、コアスタッフとオペレーション支援スタッフの 2 つの部局が置かれている。コアスタッフは①アドミ支援、②計画とプログラム支援、③調達支援、④契約管理と⑤モニタリングと報告の 5 つのユニットによって構成されている。オペレーション支援スタッフは①洪水防御事務所、②プロジェクトマネジメント、③外国の支援によって実施されるプロジェクトの施工管理、④自国予算によって実施されるプロジェクトの施工管理と⑤O/M の 5 つのユニットによって構成されている。

3) 公共事業道路省／ダバオ地方管区事務所 (DPWH-RO XI)

DPWH のミンダナオ地方管区事務所 (DPWH - RO XI) は地方管区内の国道、洪水防御と水資源開発に関連する施設を中心としたインフラおよび国家戦略に則って実施される公共事業の計画、設計、整備と維持管理を実施する。地方分権法にもとづき、地方管区は LGU のイニシアチブを支援する。

図 2.14.2 に示すように、2017 年において DPWH-RO XI の予算は PhP 42.6 Billion と全国の地方管区のうち最も多くの予算が割り当てられた (ミンダナオ島の 5 地方管区合計額の約 30%に相当)。



出典：DPWH

図 2.14.2 DPWH の各地方管区事務所の予算配分 (2017 年)

4) 地区技術局 (DEO)

ダバオ市内には 2 つの地区技術局 (DEO) が置かれている。DEO1 は 54 のバラングイによって構成されている Poblacion と Talomo 地域および 46 のバラングイによって構成されている Agdao、

Buhangin、Bunawan と Paquibato 地域を、DEO2 は 82 のバランガイによって構成されている Baguio、Calinan、Marilog、Toril と Tugbok 地域を担当している。

市街区域を担当している DEO1 は、508 の job orders に従事する 97 人のスタッフによって構成されている。表 2.14.1 に DEO1 の人員構成を示す。

表 2.14.1 DEO1 の人員

Section/Unit	No. of Staff with Plantilla Positions	Job Orders
Office of the District Engineers	6	36
Administrative Section	15	31
Cashier Unit	3	5
Finance Section	5	15
Construction Section	14	102
Maintenance		
Engineers Office	2	2
Field Operation	10	152
Equipment Service Unit	7	6
Planning and Design Section	14	96
Procurement Section	6	12
Quality Assurance Section	11	48
Supply and Property Unit	4	5
Total	97	508

出典：DEO 1st District, Davao City

(2) ダバオ市

1991 年に制定された地方自治法は地方分権化を進めるうえで大きな転換点となった。同法は LGU の自治権を尊重し、洪水防御施策の計画と管理に係る財源の確保のための支出や課税を含めた事務管理を委任している。

ただし、LGU がその実施機関として任命されない限り、中央政府または外国の支援によって実施されるプロジェクト、施設整備、プログラムやサービスは第 17 条の適用外となる。この場合、LGU は中央政府機関と密に連携しプロジェクトの実施に貢献する。

本プロジェクトは、実施機関の DPWH のインフラプログラムのもとで実施される洪水防御、排水、斜面保護に関連したプロジェクトの政策、ガイドラインと手続きを規定している 2015 年省令第 23 号に則り実施される。

ダバオ市において、洪水管理は主に以下に示す 4 つの局、市技術局 (CEO)、市災害リスク軽減管理局 (CDRRMO)、市計画・開発局 (CPDO) と市環境・天然資源局 (CENRO) によって実施されている。

1) 市技術局 (CEO)

市のエンジニアリング部門である市技術局 (CEO) は地方自治法の第 7 条、セクション 477 で規定されている役割を担っている。

ダバオ市 CEO の各課・部門の役割と責務を以下に示す。

- **維持管理課** : 市の全ての道路、橋梁の構造的な安定性・安全性を確保するための維持管理の実施
- **都市排水維持管理課** : 排水溝、排水口の機能維持のためのゴミやその他のデブリの除去を含めた維持管理の実施
- **上水道課** : 農村部における新規の給水システムの整備、既存の給水システム (ポンプ施設、水中モーター、配水網等) の維持管理
- **解体部門** : 違法な構造物やインフォーマルな占拠に関連する苦情の調査を実施し、施設解体のための交渉、建設中の違法建造物の解体、不法占拠者の移動と国道・市道沿いの移動販売業者の取り締まりを実施
- **プログラムと設計課** : 多様なインフラプロジェクトを準備するために通行権や土地の境界に関連する苦情を調査、インフラプロジェクトで使用される建材の品質の確保、市またはバラングアの予算によって実施される道路、橋梁、公共施設等の建設を担当

2) 市災害リスク軽減管理局 (CDRRMO)

共和国法第 10121、または国家災害リスク軽減管理法のセクション 12 (C-6) は各 LGU における災害リスク軽減管理局 (DRRMO) の設立を義務付けている。また、同法は上位計画の国家、地方管区および州の開発計画に示されている枠組みや政策との整合を図った、包括的な地方防災計画 (LDRRMP) の策定と実施を義務付けている。

ダバオ市の場合、CDRRMO が主体となり、関係機関と連携して CDRRMP (2017-2022) を策定した。本計画は土地区分、洪水・土砂災害・液状化と浸食のそれぞれのリスクマップを踏まえている。また、本計画には表 2.14.2 に示すように、4 つの優先分野のそれぞれの包括的な戦略、災害リスク軽減管理の活動が規定されている。

表 2.14.2 災害リスク軽減管理計画 (CDRRMP) におけるターゲット

分野	ターゲット	責任機関
(i) 災害予防・軽減	災害にさらされている脆弱な人口が 60%削減される 100%のバラングアの能力が向上される	市環境・天然資源局 (CENRO)
(ii) 災害準備	ダバオ市のコミュニティ、機関、市民組織 (CSO) の 90% が訓練、オリエンテーション等の事前予防的 (Proactive) な活動に取り組む。	CDRRMO
(iii) 災害対応	災害による負担、影響の 100% に対して、市で対応できる。	市社会サービス開発局 (DSSDO)
(iv) 災害復旧・復興	被災コミュニティの 90%が復興を遂げ、災害発生前よりも生活の水準が高い (Build Back Better)。	市計画・開発局 (CPDO)

出典 : City Disaster Risk Reduction and Management Plan, 2017-2022

3) 市計画・開発局 (CPDO)

市計画・開発局 (CPDO) は地方自治体法が定めている LGU の開発計画に関連する各種手続き、事項を実施する。例えば、その策定が義務付けられている総合土地利用計画 (CLUP) や総合開発計画 (CDP) を策定するための事務局を務める。

洪水管理事業において、CPDO は土地利用とゾーニングの観点より重要な役割を果たす。現在、DENR と連携して、森林区域の利用と保全に関するガイドラインと政策を規定する森林区域の土地利用計画を策定している。

4) 市環境・天然資源局 (CENRO)

市環境・天然資源局 (CENRO) は市内の洪水管理の観点より重要な役割を果たしている。現在 CENRO は今後 10 年間を対象期間とした総合廃棄物処理計画を更新しており、以下の懸念事項に対する施策を検討している。

- ごみ収集・輸送システムの改善
- 最終処分場 (埋立地) の改善
- リサイクルの促進
- エネルギー施設 (電力発電所?) との併設
- 廃棄物管理に関する意識向上、教育プログラムの強化

2.14.2 その他の関連組織

(1) 気象天文庁 (DOST/PAGASA)

大統領令第 128 号に基づき、科学技術省 (DOST) は“科学技術に係る取組に関する国家方針を示し、リーダーシップを発揮し、各取り組みの調整を行うとともに、国民のためにそれらの結果による社会的・経済的便益が最大となるようにする”ことを行う。

DOST の傘下に台風、地滑り、高潮やその他の気象災害に対し、国民および政府の事前準備を促すためにタイムリーで適切な気象情報を提供する気象天文庁 (PAGASA) がある。次表に PAGASA が提供するサービスを示す。

表 2.14.3 PAGASA が提供するサービス

Services	Details
Weather Forecast & Tropical Cyclone Warning	<ul style="list-style-type: none"> ● 24-Hr Public Weather Forecast issued twice daily and 4-day Extended Weather Outlook for Selected Cities ● 5-day Weather Outlook for Selected Tourist Areas ● Severe Weather Bulletins: 6-hourly Tropical Cyclone Warnings ● Hourly Tropical Cyclone Update ● Shipping forecasts & Tropical Cyclone Warning for Shipping ● Gale Warning ● Storm Surge Warning ● Rainfall Warning system ● Thunderstorm Alert System

Services	Details
Flood Forecasting & Warning Services	<ul style="list-style-type: none"> ● Basin Flood Bulletins for Telemetered Basins and General Flood Advisories for the Non-Telemetered Basins ● Dam Discharge Warning Information during Spilling Operation of the Monitored dams ● Community-Based Flood Early Warning System ● Daily hydrological forecasts during Non-Flood Watch
Climatological & Farm Weather Services	<ul style="list-style-type: none"> ● Daily Farm Weather Forecast & Advisories ● 10-day Regional Agro-climatic Weather & Advisories ● 10-day Philippine Agro-climatic Review & Outlook ● El Niño/La Niña Watch/Advisory and Information ● Monitoring and Prediction of Seasonal Rainfall ● Climate Projections for Climate Change Adaptation Activities
Research and Development	<ul style="list-style-type: none"> ● Conduct of R&D on Hydrometeorology, Tropical Meteorology, Weather Modification, Meteorological and Hydrological Instruments and on Astronomy, Space Science and applications ● Dispatch Storm Chaser Team to areas threatened and affected by typhoons ● Conduct Calibration, Repairs & Testing (for private and government sectors) of Barometers and other related Equipment ● Assist Researchers from Different Schools, Colleges, Universities and other Agencies
Astronomical Services	<ul style="list-style-type: none"> ● Philippine Standard Time (PST) ● Promotion of Astronomy through Stargazing/Telescoping Sessions and Planetarium Shows ● Planetarium tour in selected areas in Luzon
Information, Education and Public Outreach	<ul style="list-style-type: none"> ● Public Awareness Campaign on Natural Hazards, specifically Weather, Climate, Typhoons, Floods, Storm Surges and other related hazards ● Conduct of Seminars/Workshops on Meteorological & Hydro-meteorological Hazards ● Conduct of Seminar for Science Teachers on Basic Astronomy ● Public Information Drive for the target areas of monitored Dams ● Conduct of Flood Drills ● Conduct of Annual Media Seminar-Workshops on PAGASA Services ● Conduct of Annual Typhoon and Flood Awareness Week ● Participation in Special Events like Exhibitions, School Celebration and other government and non-government organizations ● Development of PAGASA print materials and non-print materials (flyers, brochures, posters and exhibit display materials)

出典:PAGASA Website (<http://bagong.pagasa.dost.gov.ph/products-and-services>)

(2) 環境天然資源省 (DENR)

環境天然資源省 (DENR) は、国の環境と天然資源の保全、管理、開発、適切な使用を担当する主要機関である。特に保護区、分水界地域、公有の土地を含む森林、放牧地、鉱物資源が対象であり、現在および将来世代の福祉利益の公平な共有を確保するために、法律によって規定され得るすべての天然資源の規制および認可を行う機関である。DENR は、次の目的を達成することが義務付けられている。

1. 可能な限り、賢明な使用と体系的な復元または交換を通じて、国の天然資源の可用性と持続性を確保する
2. 人口が増加する場合、森林、鉱物、および土地資源の需要を満たすために、天然資源の生産性を向上させる
3. 国家の経済および社会の発展を達成するための天然資源の貢献を強化する

4. 人口のさまざまなセクターによる天然資源への公平なアクセスを促進する
5. 現在および将来の世代のために、フィリピンの自然および文化遺産を代表する特定の陸域および海域を保全する

DENR は、国内およびダバオ市のすべての主要な河川流域の保全、保護、開発、持続可能性の確保に対して、極めて重要な役割を果たしている。

(3) 先住民族国家委員会 (NCIP)

先住民族国家委員会 (NCIP) は共和国法第 8371 号のもとで設立され、先住民族 (ICCs/IPs) の利益と幸福の保護と促進を目的としている。NCIP の役割と権限は以下の通りである。

- ICCs/IPs が政府による支援または支援の拡充を必要とするときにサービスを提供する行政機関である。
- ICCs/IPs の経済、社会および文化的発展のための政策、計画、プログラムとプロジェクトを策定、実施し、それらの実施状況をモニタリングする。
- 適切なサービスとサポートを提供するために、他政府機関や民間コンサルタント会社と調整し、人材を派遣する。
- 先祖代々の土地/用地に関する所有権の証明書を発行する。

本調査の対象であるダバオ市の高地に多数の先住民族が生活しているため、NCIP との連携が必要である。

(4) 国家水資源局 (NWRB)

NWRB、以前の国家水資源評議会は、フィリピンの水資源を管理する主要な機関であり、物理的環境と経済に影響を与える国内のすべての水関連活動の調整および規制を行い、水法の実施を監督するために設立された。大統領令第 124-A 号に基づき、NWRB は次のことを任務としている。

- 国の水資源開発活動を調整および統合する
- データ収集、プロジェクト調査・策定、計画設計とフィージビリティ評価の一般的な基準、方法、標準の策定、および水資源の開発と最適利用に関する役割と規則を策定する
- 他の機関の水資源開発計画およびプログラムをレビューおよび承認する
- 河川流域の調査、インベントリー、評価を実施し、流域全体の包括的な計画を策定して、水の保全と多目的利用を最大化する
- 水文調査を実施し、観測所ネットワークと中央管理された水資源データセンターを確立、運用、維持する
- 水資源開発に関連する側面について、他の政府または機関との特別な研究および調査を実施、促進する

(5) NGO

ダバオ市には流域の保全・保護に取り組む NGO が多数あり、その内主要なものについて表 2.14.4 にその概要を示す。

表 2.14.4 ダバオ市で活動する主要な NGO

団体名	概要
Sustainable Davao Movement (SDM)	<p>NGO と市民団体によって構成されるネットワークであり、グリーンシティ化、マングローブの植林、バランガイ 76A の Sitio Malamboon の清掃やアースデーを祝うためのイベント等の活動を実施している。</p> <p>Interface Development Interventions Inc.、Ateneo de Davao University、METSAs Foundation、Foundation for the Philippine Environment、Philippine Eagle Foundation、Masipag Mindanao、Matigsalog Tribe、Blissful Village、Agro-Eco Philippines、Ecoteneo、UCEAC、Youth for Climate Change、Cycle for Life、MISSION Davao、OROL-Gitib と Save Shrine Hills Movement が SDM の活動に参画している。</p>
Interface Development Intervention (IDIS)	<p>IDIS は、開発計画における環境アセスメントの主流化を図るために 1999 年に設立され、以下の活動を実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 流域の保全と管理のための政策立案、拡充 ● 流域の保全と管理および持続可能な暮らしのためのプラクティスの共有 ● 流域の保全および持続可能な暮らしを広く提唱するための強固および幅広いパートナーシップ
Kinaiyahan Foundation, Inc (KFI)	<p>KFI は 1988 年 9 月に 4 人の社会開発労働者によって設立され、環境教育と広報に焦点を当てている。設立の背景には生態系の劣化に対する危機感の醸成があり、KFI のビジョンは開放的で持続可能な発展のコンセプトに基づいている。</p> <p>KFI は環境教育、先住民の知識の共有、環境にやさしい技術の普及、政策提言等の活動を通じてコミュニティの強化を図っている。</p>

出典：各団体 Website

<http://idisphil.org>

<https://edgedavao.net/competitive-edge/2017/04/25/environment-group-observes-earth-day/>

<http://kinaiyahan.50webs.com>

2.15 事業評価基準の検討

2.15.1 概説

防災対策としての治水対策に係る計画における最適な構造物対策および非構造物対策とその組み合わせを選定し、その妥当性を検証することを目的に代替案検討を実施する。

(1) 検討方針

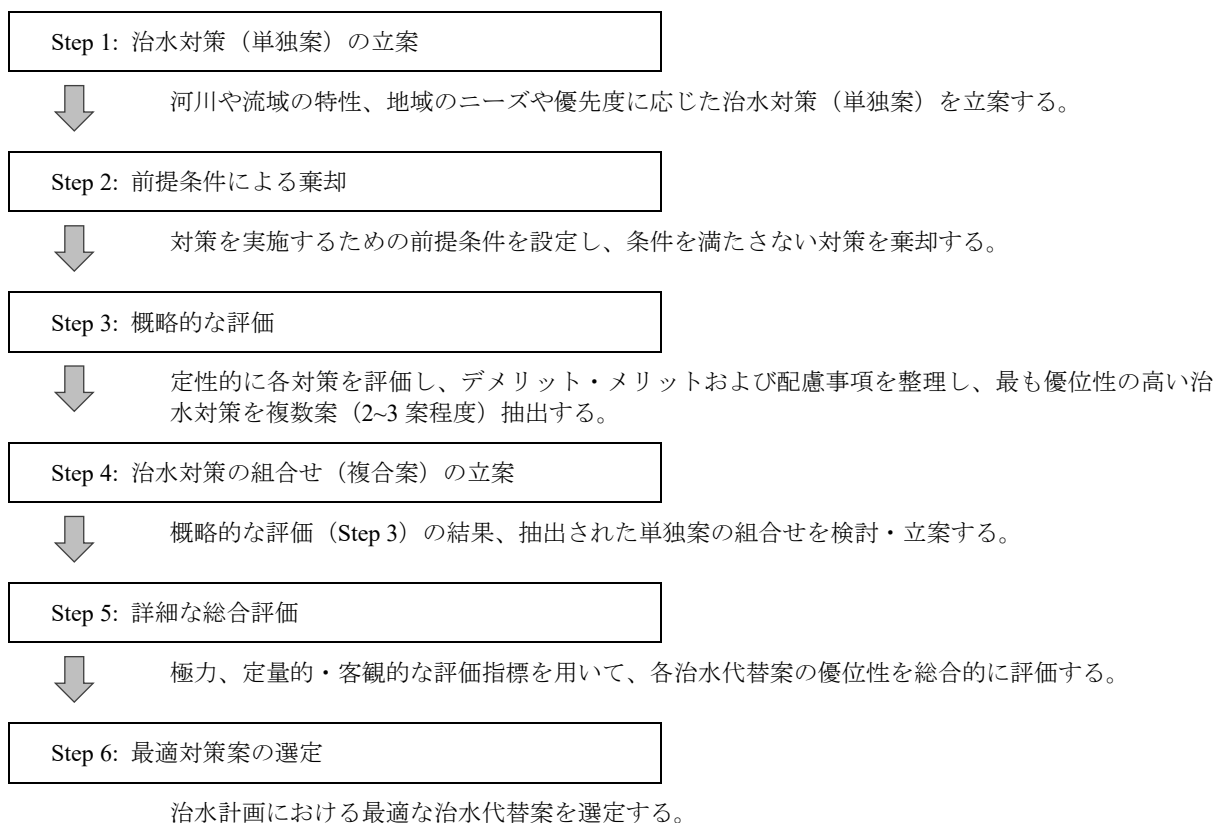
治水計画の目標年までに目指すべき当面の治水安全度を達成するための効果的な治水方策の最適な組み合わせを検討・立案および選定するにあたり、治水安全度（災害軽減効果や効果発現の時期）や地域の経済性、自然環境・社会への影響等と多岐にわたる評価軸を設定し、総合的評価を実施する。

なお、河川氾濫対策、内水浸水対策、高潮・高波浸水対策のそれぞれの浸水被害軽減目標や対策における基本的な考え方等は、第3章で具体的に検討・協議され、設定されている。

以降に、共通する代替案検討のプロセス、評価軸案を示す。

(2) 検討手法・プロセス：

検討の手順を以下に示す。



出典：プロジェクトチーム

図 2.15.1 治水代替案検討フロー

Step 1: 治水対策（単独案）の立案

対象流域の自然・社会特性、DPWH やダバオ市で実施されている現行の治水方策等を踏まえて、治水計画が目標とする治水安全度を達成するために実施可能な治水代替案（単独案）を立案する。

Step 2: 前提条件による棄却

法制度、社会・自然条件等の観点より、治水対策の整備が困難な代替案を事前に棄却することとする。その設定に際し、法文や各種ガイドライン等のレビューを行う。表 2.15.1 に代替案検討の前提条件を示す。

表 2.15.1 前提条件

前提条件	概要
法制度	現行のフィリピン国の法制度、ダバオ市の条例、上位計画上の観点より、立案されている治水施設の整備が困難な代替案を棄却する。
社会条件	社会・文化的に保全の対象地域に影響を及ぼしうる案を棄却する（施工期間中の影響を含む）。
環境条件	環境保全区域、また既存の産業（漁業、観光業等）に影響を及ぼしうる案を棄却する（施工期間中の影響を含む）。

出典：プロジェクトチーム

Step 3: 概略的な評価

前提条件を満たす代替案の概略的な定性的評価を実施し、最も優位性の高い治水対策を複数案抽出する（概略的な評価のイメージについては第3章の表 3.4.1 を参照）。Step3.で整理する事項案を表 2.15.2 に示す。

表 2.15.2 概略的な評価で整理する事項

整理する事項	概要
施設概要	対策の種類、施設規模、実施区間を整理する。
流量規模の概略値	施設で受け持つことが可能な流量規模（概略値）を示す。
施工期間	用地取得、家屋移転に要する期間を含めない場合に要する建設期間を示す。
概略建設費	用地取得、家屋移転に要する期間を含めない場合の建設費（概略値）を示す。
影響家屋数、用地取得の規模	対策を実施するために必要となる用地取得面積、移転が必要となる家屋数を整理する。 また、用地取得、家屋移転に必要な概ねの期間、配慮が必要な事項を整理し、用地取得、家屋移転に要する期間を含めて、治水計画の目標年までにその実施が困難な案を棄却する。
その他、特記すべき事項	対策の規模等に関する制約や、実施する上で必要となる特別な手続き（例えば、少数民族管理地区への影響が懸念される場合等）や詳細な代替案評価に必要な基礎調査（例えば、ダム等の施設の可能性を検討する上で必要となる地質調査の規模等）等、特記すべき事項について整理する。

出典：プロジェクトチーム

上記で整理された事項より各対策のメリット・デメリットを明らかにし、各代替案の評価を実施する。そのうち、最も優位性が高いと判断される対策を複数（2～3 を想定）抽出する。

Step 4: 治水対策の組合せ（複合案）の立案

概略的な評価（Step 3）の結果、抽出された単独案の可能な組合せを検討・立案する。

Step 5: 詳細な総合評価

概略的な評価（Step 3）の結果、候補となる最適な治水対策の組合せを立案し（Step 4.）、それぞれの組合せを詳細に評価する（Step 5）。次ページの表 2.15.3 に河川氾濫対策の評価軸案を示す。

なお、河川氾濫対策、内水浸水対策および高潮・高波浸水対策の詳細な評価項目はそれぞれの性質上異なるものの、大まかな評価軸は共通するものとする。現時点において、以下の評価軸を想定している。

- A. 治水安全度（被害軽減効果）：
対策によって期待される被害軽減効果を評価する。
- B. 経済性：
費用対効果を分析し、対策の採算性を評価する。
- C. 社会的な制約条件からの実現可能性：
概略的な評価（Step 3）で概算された家屋移転や用地取得の規模および要留意事項として挙げられた特別な手続きを要する社会的事項を精査するとともに、必要となる各種手続き・関係者間調整を確認する。各種手続き・調整に要する期間、費用等を踏まえて事業実施の実現性を評価する。
- D. 技術的な観点からの実現可能性（施工）：
対策の難易度、現状における関係機関のリソース（予算、人員等）、ドナー等による協力の可能性を踏まえて提案されている対策の実現可能性を評価する。
- E. 持続性：
対策の維持管理、更新における現状における関係機関のリソース（予算、人員等）や技術協力の可能性、施設点検をより効果的・効率的に実施するための技術革新の可能性等を踏まえて対策の持続性を評価する。
- F. 柔軟性：
将来の不確実性に対する対応の柔軟性（施設規模の変更等）を評価する。
- G. 地域社会、自然環境への影響：
SEA の結果に基づき、対策による地域社会、自然環境への影響を評価する。

Step 6: 最適治水代替案の選定

上記評価結果より治水計画における最適な治水代替案を選定する。

2.15.2 評価基準の設定

評価軸の設定においては現地の①NEDA の”ICC (Investment Coordination Committee) Project Evaluation Procedures and Guidelines (2004, revised in 2016)”, ②DPWH の事業採択基準、③フィリピン国での治水事業での分析例（フィリピン共和国洪水リスク管理事業（カガヤン・デ・オロ川）準備調査等）に加えて、④日本の近年の治水事業を実施する際に用いられる「今後の治水対策のあり方に関する有識者会議（平成 22 年 9 月中間とりまとめ）における治水代替案の評価軸」を参照した。④が①～③の項目を網羅していることより、本プロジェクトではより包括的な観点より事業を評価するために④を基準にフィリピン国で適用可能な指標を検討・提案した。

なお、フィリピンおよび日本の過去の治水代替案の検討事例をレビューした結果、評価基準の重みづけが行われていないケースが多く、また重みづけの根拠の設定が困難であることより本検討では重み付けを行っていない（各評価軸を同程度の重要性として評価）。

本 M/P の推奨案を選定するための評価軸を下記のように提案する。なお、具体的評価結果については 3.15 節に記述する。

表 2.15.3 M/P における評価軸

評価軸	説明
A. 治水安全度（被害軽減効果）	期待される治水安全度や治水効果の発現時期を比較する。
B. 経済性	総事業費や用地取得費、移転費を比較する。
C. 法制度、社会的制約条件からの実現可能性	用地取得、家屋移転の度合い、土地所有者、その他の関係者等の協力の見通し等を検討する。
D. 技術的な観点からの実現可能性（施工）	施工時における実現可能性／施工の難易度を検討する。
E. 持続性	施工後（施設共用、維持管理）における持続性／維持管理のしやすさを検討する。
F. 柔軟性	地球温暖化に伴う気候変化や社会環境の変化など、将来の不確実性に対する柔軟性を確認する。
G. 地域社会、自然環境への影響	SEAの結果に基づき、対策による地域社会、自然環境への影響を評価する。

出典：プロジェクトチーム