

第 10 章 優先対策流域及びモデル流域における洪水対策案の評価

10.1 基本方針

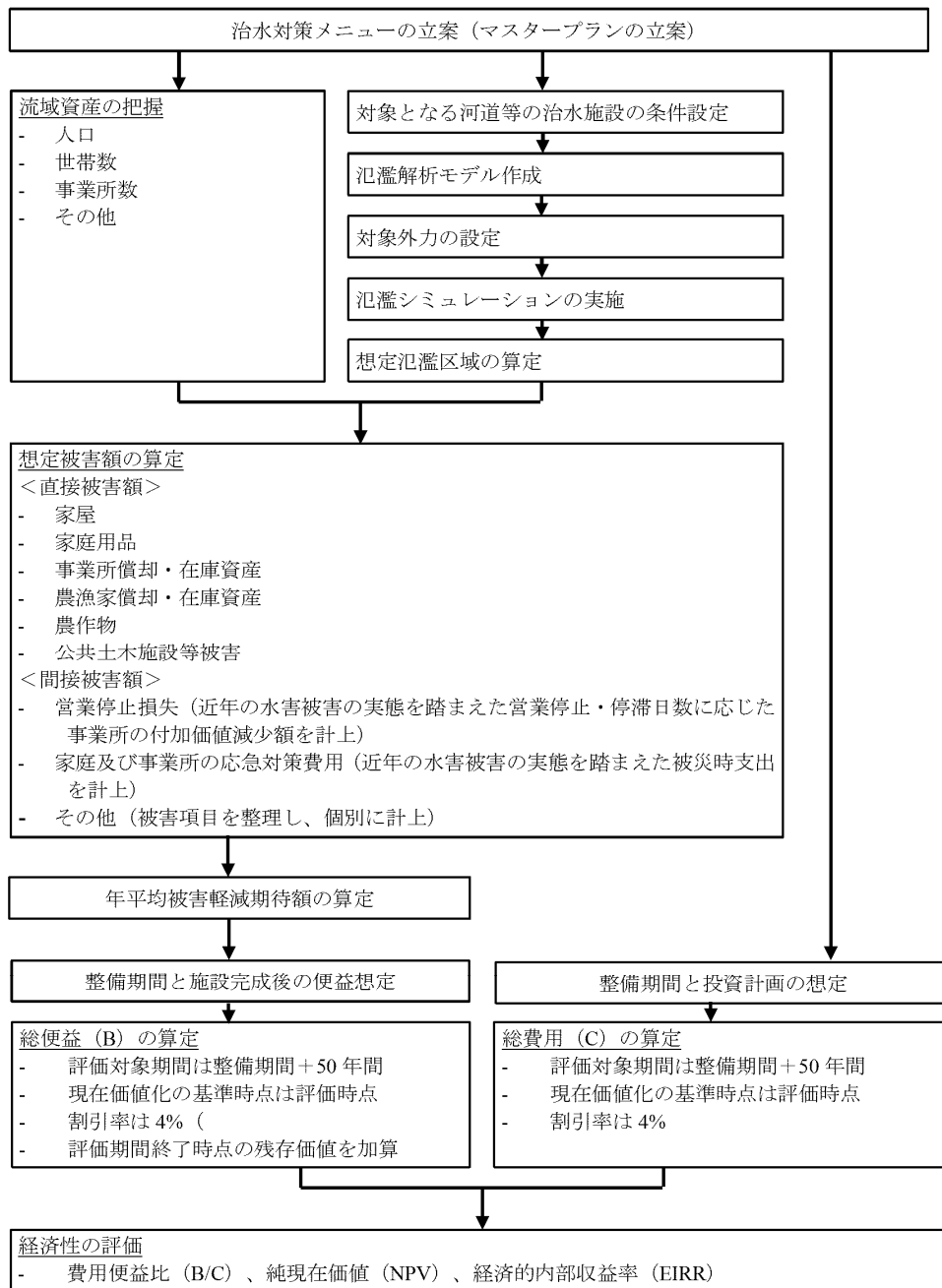
第 3 章で選定した 6 優先流域に対し、流出・氾濫計算結果（第 7 章）に基づき、9 章において概略の総事業費を把握するため、洪水対策案を検討した。この洪水対策案に対し本章では、概略の事業の便益、事業費及び事業工程案を算出する。

また、本調査では、ペルー国の 159 の全流域を 10 類型に分け、優先流域も含めてモデル流域を選定している（第 4 章参照）。これらの優先流域としては選定されていないモデル流域についても 4-9 章において洪水対策案を検討していることから、同様に概略の事業の便益、事業費及び事業工程案を算出し、本報告書の 11 章で算定する各類型の資金需要総額を算出の基礎とする。

10.2 評価手法

洪水対策案の経済評価は治水対策の諸効果のうち、経済的に評価できるものを事業の便益として把握するとともに、一方で洪水対策案を実施するための費用および施設の維持・管理に要する費用を洪水対策案の費用として算定し、両者を比較することにより洪水対策案の経済性を評価することである。

6 つの優先流域及び各類型を代表するモデル流域は、9 章における洪水対策案の現況の氾濫解析に基づく想定被害額の算定及び洪水対策案実施後の想定被害額に基づく概略の総便益ならびに総事業費について算定する。下図に経済評価を実施する場合の実施手順を示す。



出典：治水経済調査マニュアル（案）平成 17 年 4 月

図 10.2.1 経済評価の実施手順

10.3 便益の算定

10.3.1 便益を算定するための被害単価の設定

(1) 被害単価の設定

(a) 家屋建物被害を算出するための単価

洪水対策案の便益を算定するための家屋単価は、2016 年 8 月に ANA-DEPHM において纏められた「Estimación de Daños Económicos por Activación de Quebradas（小溪谷河川災害による経済被害の算定）」

(本報告書巻末資料 8-2 参照) において算定された 2007 年の Census 及び INDECI の調査に基づく家屋単価を利用する。以下に上記「Estimación de Daños Económicos por Activación de Quebradas」において纏められた Sierra、Selva、Costa³ 地域の Adobe (粘土を主体とする土製住宅)、Material Noble (Brick、コンクリートブロックを主体とする一般的な住宅)、Madera (木造住宅) の建設の割合及び単価を以下に表 10.3.1 及び表 10.3.2 として示す。

表 10.3.1 3 地域別の住宅種別建設割合

Tipo de Vivienda	%		
	Sierra	Selva	Costa
Adobe	45	5	10
Material Noble	52	25	85
Madera	3	70	5

出典: Estimación de Daños Económicos por Activación de Quebradas 及び Censos Nacionales XI de Población y VI de Vivienda 2007

表 10.3.2 3 地域別の住宅種別被害単価

Tipo de Vivienda	Tipo de Construcción(*)		
	Sierra	Selva	Costa
Adobe	S/. 18,236.40	S/. 25,250.40	S/. 23,380.00
Material Noble	S/. 24,131.50	S/. 34,068.00	S/. 28,390.00
Madera	S/. 21,125.50	S/. 16,533.00	S/. 18,370.00

出典: INDECI - Colegio de Ingenieros del Perú - Elaboración Propia

上記の 2 つの表に基づき、本調査の優先及びモデル河川流域の家屋被害単価を以下に表 10.3.3 として示す。

表 10.3.3 優先及びモデル河川流域の便益計算に利用する家屋基礎単価

Region	対象河川流域	被害単価 (S/.)
Sierra	Biabo	21,389
	Mantaro	
	Huallaga	
	Urubamba	
	Ramis	
Costa	Chancay-Lambayeque	27,388
	Piura-Chira	
	Rimac	
	Ica	
	Locumba	
Selva	Nanay	20,353

出典: 表 10.3.1 及び表 10.3.2 に基づき調査団が作成

(b) 家庭用品被害を算出するための単価

ペルー国において洪水が発生し、家屋が浸水すると、家庭用品も被害を受ける。これまでに洪水被害によるこれらの損失額を算定した資料はなく、単価設定が非常に困難である。本調査では ANA との協議及び聞き取り調査等により、以下の表 10.3.4 に示す電化製品が洪水により被害を受ける家庭用品を原単位として設定する。

表 10.3.4 洪水被害により被害を受けることが想定される家庭用品標準原単位

種別	細別	単価
電化製品	TV	S/. 1,000
	洗濯機 (Lavadora)	S/. 1,500
	冷蔵庫 (Refrigeradora)	S/. 1,500
	扇風機 (Ventilador)	S/. 150
	エアコン (Aire)	S/. 1,000
	温水器 (Calentador)	S/. 500
その他	ガスコンロ (Cocina a Gas)	S/. 500
合計		S/. 6,150

出典：調査団

洪水により浸水を受ける上記の標準家庭用品原単位は、実際には各流域の異なる生活スタイルによって変化する。上記の標準原単位を基に、本調査の各対象流域の被害額算定に使用する家庭用品被害算定原単位は、以下の表 10.3.5 に示す値で算定する。

表 10.3.5 洪水被害算定のための流域別家庭用品標準原単位

対象河川流域	流域の PBI per Capita *1	家庭用品標準原単位	
		標準原単位に対する% *2	額
Biabo	6.9	30%	S/. 1,800
Mantaro	9.6	30%	S/. 1,800
Huallaga	7.9	30%	S/. 1,800
Urubamba	16.7	70%	S/. 4,200
Ramis	7.8	30%	S/. 1,800
Chancay-Lambayeque	9.9	30%	S/. 1,800
Piura-Chira	12.3	50%	S/. 3,000
Rimac	22.6	100%	S/. 6,000
Ica	18.8	70%	S/. 4,200
Locumba	26.5	100%	S/. 6,000
Nanay	10.1	50%	S/. 3,000

出典：調査団作成

*1: INEI のデータより作成 *2: 左欄の INEI の PBI データ、ANA 等の関連専門家との協議により調査団が決定

(c) 農業被害を算出するための単価

農業被害を算出するための単価は、JICA の開発調査 Estudio Preparatorio Sobre El Programa De Protección De Valles Y Poblaciones Rurales Y Vulnerables Ante Inundaciones En La República Del Perú (2013) (渓谷村落洪水対策事業準備調査) において調査された以下の表 10.3.6 に示す各農業生産収量高に基づき本調査では評価する。

表 10.3.6 農産物の被害額単価参考表

作物	作物 (西語)	項目	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
コメ	Arroz	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	9,882	9,764	9,785	9,588	9,753
		取引単価 (S/. / kg)	0.81	0.93	1.12	0.76	0.81
バナナ	Plátano	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	44,406	41,787	41,608	42,453	43,984
		取引単価 (S/. / kg)	0.40	0.55	0.63	0.67	0.63
サトウキビ	Caña de Azúcar	単位面積当たり収穫量(kg/ha)				138,969	139,859
		取引単価 (S/. / kg)				0.07	0.07
レモン	Limón	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	31,856	42,454	38,238	31,034	31,500
		取引単価 (S/. / kg)	0.36	0.43	0.64	0.46	0.58
トウモロ	Maíz	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	47,125	48,377	54,848	52,276	

作物	作物（西語）	項目	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
コシ		取引単価 (S/. / kg)	0.07	0.08	0.10	0.10	
マンゴー	Mango	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	25,000	28,855	26,550	26,570	28,292
		取引単価 (S/. / kg)	0.42	0.29	0.71	0.65	0.44
豆類	Frijoles	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	1,399	1,480	1,743	1,780	1,589
		取引単価 (S/. / kg)	1.77	1.87	1.98	2.04	2.00
黄色とうもろこし	Maiz	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	7,313	7,363	6,996	7,010	7,543
		取引単価 (S/. / kg)	0.64	0.68	0.80	0.84	0.82
牧草	Pasto	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	45,824	57,169	46,442	77,790	75,268
		取引単価 (S/. / kg)	0.15	0.19	0.15	0.20	0.20
ブドウ	Uvas	単位面積当たり収穫量(kg/ha)	1,898	1,780	2,100	2,247	
		取引単価 (S/. / kg)	0.84	1.12	1.11	0.99	
調査対象地域全体	Total	作付面積(Ha)	31,128	35,666	37,275	35,524	37,837
		売上高 (S/.)	264,515,787	373,008,615	465,716,915	362,308,113	405,029,984

出典：「溪谷村落洪水対策事業準備調査」主報告書表 3.1.3-2 より

上記の調査結果と現地調査を参考に、優先・モデル河川における農業被害の算定は、以下の表 10.3.7 のように設定する。

表 10.3.7 優先・モデル河川における農産物の被害額単価

類 型	モデル流域（案）	農業被害算定基礎		
		算定のための 代表作物	単位面積当たり 収穫量(kg/ha)	採用取引単価 (S/. / kg)
類型 1	Biabo	米	9,700	1.00
類型 2	Locumba	米	9,700	1.00
類型 3	Chancay-Lambayeque	米	9,700	1.00
類型 4	Piura-Chira	米	9,700	1.00
類型 5	Rimac	米	9,700	1.00
	Ica	ブドウ	18,000	1.00
類型 6	Mantaro	トウモロコシ	50,000	0.10
類型 7	Huallaga	米	9,700	1.00
類型 8	Nanay	米	9,700	1.00
類型 9	Urubamba	トウモロコシ	50,000	0.10
類型 10	Ramis	トウモロコシ	50,000	0.10

出典：調査団による設定

(d) 間接被害を算出するための単価

洪水が発生すると、洪水が発生している地域及びその周辺の社会活動が影響を受けるとともに経済活動も停止する。洪水によって浸水した地域に居住する住民は、

- 公共交通機関の停止または鉄道・国道等の主要移動インフラの機能不全；
- 洪水が発生しない地域への家族の避難誘導及び洪水期間中の待機；
- 洪水後の家屋・公共施設の清掃・簡易補修、公共道路の啓開活動等

の通常の就業・営農等の活動を停止して洪水対応活動をしなければならない。これらの洪水時及び洪水後の人的活動は、通常の就業・営農等の経済活動を行えない洪水による間接的な損失と考えることができる。

この経済活動損失の単価は、洪水による労働機会の損失と捉えて算出する。この損失は、それぞれの洪水被災者の職業種等によって異なるが、本調査では最低算出単価として、一般土木作業員の日当

程度として考慮し、以下の表のように、

S/. 100 / day

を算出単価とする。

表 10.3.8 ペルー国における一般土木労務費及び人的被害算出単価

費目	調査結果*1		人的被害算出単価 (S/.)
	単位	単価 (S/.)	
普通作業員	時間	13~14	S/. 13 x 8hrs = 104 → S/. 100 /day

出典：*1: 「2013 年 JICA 開発調査」報告書に基づき、調査団が整理。

(2) 浸水に対する被害率の設定

本調査では第7章及び第9章で詳述しているように、RRIによる氾濫解析を行い、地形上にメッシュを設定し、各メッシュの確率別洪水規模の浸水深及び浸水時間が算出されている。この氾濫計算結果を基に前項の10.3.1(1)に示した家屋と農業被害単価に浸水深（浸水時間）別被害率を設定することにより、被害額が算出可能となる。

家屋、家庭用品及び農作物の被害率は、第8章において説明している本調査で策定した洪水対策技術基準（案）においても示している以下の表10.3.9、表10.3.10及び表10.3.11に示す値を利用する。

表 10.3.9 被害額算定に利用する家屋の浸水別被害率

対象流域	地盤勾配	浸水深(m)					想定体積土砂厚さ	
		<0.50m	0.50~0.99m	1.00~1.99m	2.00~2.99m	>3.00m	>0.50m	<0.50m
全流域	<1/1,000	0.092	0.119	0.266	0.580	0.834	0.43	0.785
	1/1,000~1/500	0.126	0.176	0.343	0.647	0.870		
	>1/500	0.144	0.205	0.382	0.681	0.888		

出典：治水経済調査マニュアル 国交省

表 10.3.10 被害額算定に利用する家庭用品の浸水別被害率

対象流域	項目	浸水深(m)				
		<0.50m	0.50~0.99m	1.00~1.99m	2.00~2.99m	>3.00m
全流域	被害率	0.145	0.326	0.508	0.928	0.991

出典：治水経済調査マニュアル 国交省

表 10.3.11 被害額算定に利用する家屋と農作物の浸水別被害率

対象流域	条件	冠浸水(m)											
	冠水深	0.5m				0.5~0.99m				>1.0m			
	浸水日数	1~2	3~4	5~6	>7	1~2	3~4	5~6	>7	1~2	3~4	5~6	>7
1. Biabo	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74
2. Locumba	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74
3. Chancay-Lambayeque	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74
4. Piura-Chira	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74
5. Rimac	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74
6. Ica	ブドウ*1	22	30	42	56	31	38	51	100	40	50	63	100
7. Mantaro	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74
8. Huallaga	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74
9. Nanay	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74
10. Urubamba	トウモロコシ*2	23	41	54	67	30	44	60	73	40	50	68	81

対象流域	条件	冠浸水(m)											
	冠水水深	0.5m				0.5~0.99m				> 1.0m			
	浸水日数	1~2	3~4	5~6	>7	1~2	3~4	5~6	>7	1~2	3~4	5~6	>7
11. Ramis	米	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74

出典：治水経済調査マニュアル 国交省

*1: 「ブドウ」はマニュアルにはないため、「瓜類」と同じ被害率とした。

*2: 「トウモロコシ」はマニュアルにはないため、「豆類」と同じ被害率とした。

(3) 公共構造物等の被害

洪水による被害は、家屋等の建物被害及び農業被害だけに留まらず、「道路」、「橋梁」、「上下水道」、「都市及び公益施設」、「土砂等の堆積による農地の損失」、並びに「農業用施設」等も被災を受ける。本調査で策定した「洪水対策案技術基準（案）」で述べているように、ペルー国では、過去のセクター別洪水被害額が経年的には整理されておらず、よって公共構造物の被害は、現在の日本事例を参考に住宅被害と農業被害の合計額の 169%を便宜的に利用する。

ペルー国においても、洪水被害をセクター別に詳細に整理した資料としては、本調査でも「優先河川」の 1 つとしている Urubamba 川における 2010 年洪水時のものがある。この結果によると、公共構造物の被害は、住宅被害と農業被害の合計値の約 205%程度となっている。

表 10.3.12 2010 年 Cusco 洪水におけるセクター別被害額／復旧・復興費用とその比率

セクター名	被害額／復旧・復興費用 (S/.)	整理	比率
住宅	179,392,798 (復旧・復興費用)	住宅+農業セクター合計値 S/. 201,610,199	1 とする。
農業	22,217,401 (復旧・復興費用)		
保健・医療	11,017,800 (復旧・復興費用)	住宅+農業セクター以外の合計値 S/. 414,261,076	住宅+農業セクター合計値を 1 とした場合の他のセクター比率: 2.05
教育	21,931,041 (復旧・復興費用)		
文化	1,624,760 (被害額)		
上下水道	3,720,000 (復旧・復興費用)		
運輸・通信	338,512,613 (復旧・復興費用)		
電力	6,048,480 (復旧・復興費用)		
水産業	1,086,800 (復旧・復興費用)		
工業	468,120 (復旧・復興費用)		
観光業	29,851,462 (復旧・復興費用)		

出典：EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LA TEMPORADA DE LLUVIAS 2010 EN LA REGIÓN CUSCO (INDECI) を基に調査団が追記

(4) 河岸洗掘による被害

河岸洗掘による被害の設定及び護岸の建設による便益は、現在ペルー各地で起こっている実際の洗掘被害を現場踏査及び Google Earth 等の衛星画像によって確認し、河道の低水路の移動量及び損失を受ける土地面積を確認し算出する。しかしながら実際の場合、洗掘が起こり洗掘によって被害を受ける資産がある場合は、不十分ながらも護岸や水制工等が昔から設置されている場合が多い。この場合は、実施した対策によって洗掘被害がある程度軽減してしまっているため、正確な事業有り・事業無しの被害額の差を算出することは困難である。本調査では、現地踏査を実施し、洗掘被害が発生している地域において、

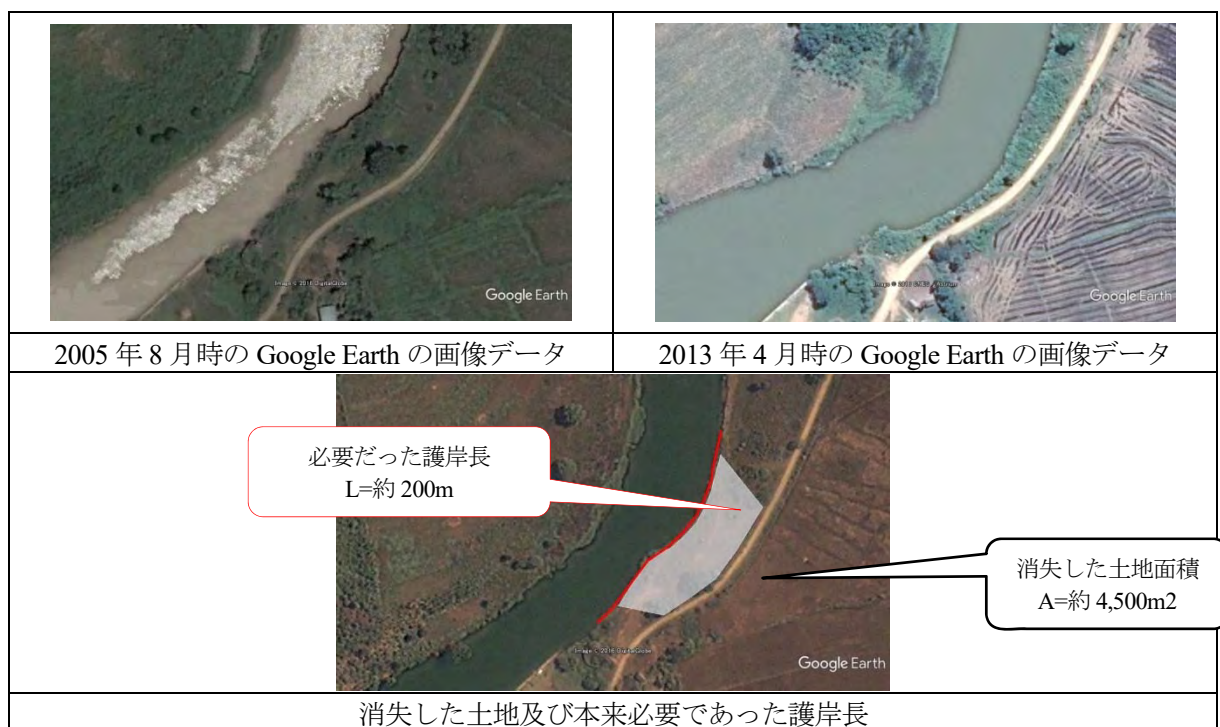
『できるだけ対策を行っていない区間における実被害例』

を確認し、その場合の実際の被害例を確認することによって、護岸・水制工の効果を確認する事にする。

以下に、調査団が現地踏査で確認した洗掘による被害事例 2 例を示し、その後本調査で使用被害計算に使用する想定される被害単位を決定する。

(a) Rio Cisa (Huallaga 川流域) における洗掘の現状

以下の図に示すように、Rio Cisa の湾曲部では、過去約 8 年間に 30~40m の洗掘が進み、4,500m² の土地が消失している。この土地の消失を守るためには約 170m の護岸が本来必要であった。



出典：Google Earth の衛星画像を基に、調査団が追記

図 10.3.1 Huallaga 川流域 Rio Cisa の洗掘状況-1

同じく Rio Cisa の下流部でも洗掘の事例があり、以下の図に示すように、約 8 年の間で 100m 程度河道が動いており、13,600m² の土地が損失している。

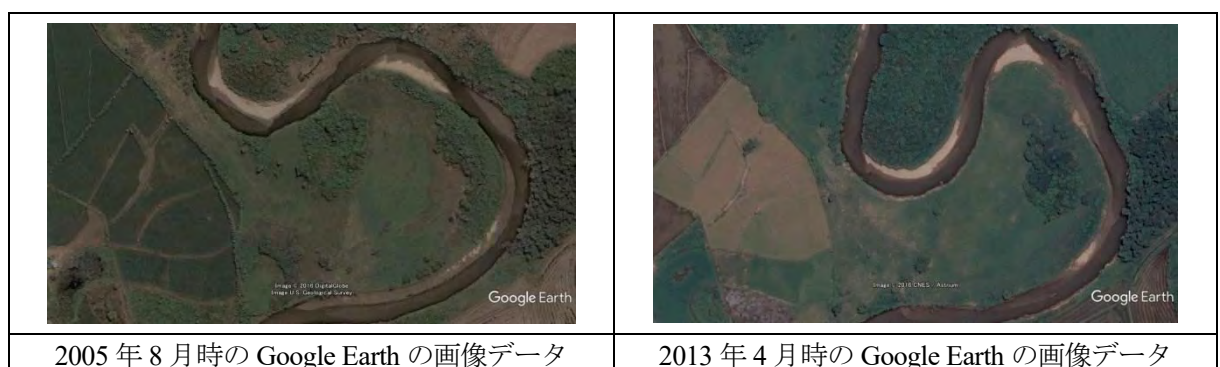




図 10.3.2 Huallaga 川流域 Rio Cisa の洗掘状況-2

(b) 被害の想定

上記の 2 例の洗掘被害を基に、洗掘の被害を整理し被害単価を設定すると以下の表に示すように

- 護岸延長 1m 当り、年間 3m² の洗掘現象を抑える事ができる。

との値を得る。

表 10.3.13 現地で確認した洗掘現象と必要護岸延長の関係

河川名	地区名	洗掘確認期間	洗掘面積	必要護岸長	備考
Rio Cisa	Yurac Yacu	約 8 年	4,500m ²	200m	湾曲部
	C.P. Carhuapoma	約 8 年	10,300m ²	300m	現在も進行中
本調査で使用する設定洗掘影響範囲			護岸延長 1m 当り 3m ² /年の洗掘を防御 *1		

注釈: *1: $(4,500\text{m}^2 + 10,300\text{m}^2) \div (200\text{m} + 300\text{m}) \div 8\text{年} = \text{約 } 3.7\text{m}^2/\text{年}$

出典：調査団

以上の結果を基に、洗掘防止対策の効果を確認するために、洗掘による被害額を検討すると以下の表に示す算定条件と被害額単価を得られる。

表 10.3.14 洗掘防止対策の効果を確認するための洗掘被害想定額の積算根拠

基本設定項目	基本想定数量
浸食継続想定年数	10 年
想定土地利用	農地 (稲作)
土地単価	S/. 5/m ² (*1)
土地収量	9,700kg/ha (*2)
算定項目	護岸延長 1m 当りの対応数量
洗掘防御可能単位数量	3m ² /年
洗掘防御可能数量	30m ²
浸食継続想定年数後の土地喪失面積	30m ²
その他	その他
新たに創出される対岸の価値	洗掘が始まって 5 年後からは、対岸に利用可能な新たな土地が 1 年毎に洗掘された分創出されると仮定する。
新たに創出される対岸での耕作	洗掘が始まって 5 年後からは、対岸に耕作可能な農地ができ、そこで作付けされると仮定する。

注記： *1: 表 10.4.8 参照 (安全側の配慮で最低レベルの農地単価を採用)

*2: 表 10.3.7 参照

出典：調査団

以上の設定根拠を基に護岸建設 1m 当りの被害額を算定すると以下の表となる。

表 10.3.15 洗掘防止対策の効果を確認するための洗掘被害想定額の積算（護岸延長 1m 当り）

護岸建設後の年数	土地消失被害 (S/.)	農作物収量減 (S/.)	単年総合計 (S/.)	総合計 (S/.)
1	$5 \times 30 = 150$	$(30 \times 1) \times 0.97 = 29$	179	179
2	$5 \times (30 \times 1) = 150$	$(30 \times 2) \times 0.97 = 58$	208	387
3	$5 \times (30 \times 1) = 150$	$(30 \times 3) \times 0.97 = 87$	237	625
4	$5 \times (30 \times 1) = 150$	$(30 \times 4) \times 0.97 = 116$	266	891
5	$5 \times (30 \times 1) = 150$	$(30 \times 5) \times 0.97 = 146$	296	1,187
6	$5 \times (30 \times 1) \times 0 = 0$	$(30 \times 6) \times 0.97 - 29 = 146$	146	1,332
7	$5 \times (30 \times 1) \times 0 = 0$	$(30 \times 7) \times 0.97 - 58 = 146$	146	1,478
8	$5 \times (30 \times 1) \times 0 = 0$	$(30 \times 8) \times 0.97 - 87 = 146$	146	1,623
9	$5 \times (30 \times 1) \times 0 = 0$	$(30 \times 9) \times 0.97 - 116 = 146$	146	1,769
10	$5 \times (30 \times 1) \times 0 = 0$	$(30 \times 10) \times 0.97 - 146 = 146$	146	1,914
合計	S/. 750	S/. 1,164	S/. 1,914	1,914

出典：調査団

上記の結果を基に、本調査で提案する洪水対策案では、洪水による浸水被害の軽減とともに洗掘被害によるコストと便益を加えて評価を行う。

評価を行う場合、以下の表に示す仮定に基づいて算定する。

表 10.3.16 各選定流域における洗掘対策の費用と効果のための仮定

項目	本調査での仮定
洗掘対策を行う区間	洪水による浸水を防御する第 9 章に示す対象区間のみとする。 浸水防御を行う区間内において ALA が指定する Punto Criticos として洗掘被害がある区間を対象とする。
区間長	ALA からの報告に従って区間長を設定するが、区間長の指定が無い場合は一区間を 200m と仮定する。
鉛直方向の必要護岸長	河道断面における低水路高を基本とするが、正確な低水路高が不明な場合、今回事例として挙げた Rio Cisa の低水路高を参考に、H=5m と仮定して、堤防護岸に加えてコストを算出する。
必要護岸厚さ	堤防護岸と同じ厚さとする。

出典：調査団

10.3.2 各選定流域の被害軽減額の算定

第 9 章で提案された洪水対策案を実施することにより、第 7 章に示した現況河川の氾濫計算結果に示される氾濫が減少することにより、洪水対策案の効果を算定することができる。事業の効果の算定は、前項の 10.3.1 の基本設定に基づき減少する氾濫水位及び氾濫面積に対応する被害数量と被害単価を乗じる事によって被害軽減額として確認した。被害軽減額の算定の詳細は添付資料-8-1 に示し、以下に結果の概略を示す。

(1) Piura-Chira 川流域

Piura-Chira 川流域において、第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表 10.3.17 のように纏められる。

表 10.3.17 Piura-Chira 川洪水対策案の効果

項目	単位	Piura 川洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human	影響人口	341	3,226	11,489	25,021	37,242	47,889

項目	単位	Piura 川洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Activity	浸水日数+1 日	3	4	4	5	5	5
	S/.	102,300	1,290,400	4,595,600	12,510,500	18,621,000	23,944,500
House & House Goods	S/.	615,275	4,508,632	15,567,911	37,881,656	61,384,159	86,561,174
Agriculture	面積 (ha)	545	5,428	10,126	15,071	18,254	21,274
	S/.	1,109,758	11,055,962	20,627,622	30,698,674	37,183,821	43,336,040
Infrastructure	S/.	1,039,814	7,619,588	26,309,769	64,019,998	103,739,228	146,288,384
Sub-Total	S/.	2,867,147	24,474,582	67,100,902	145,110,827	220,928,208	300,130,098

項目	単位	Chira 川洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activity	影響人口	18	120	716	1,629	3,258	4,256
	浸水日数+1 日	1	1	1	2	2	3
	S/.	1,800	12,000	71,600	325,800	651,600	1,276,800
House & House Goods	S/.	17,383	124,284	992,234	2,482,582	4,900,597	7,694,218
Agriculture	面積 (ha)	10	78	975	2,300	4,581	6,415
	S/.	19,800	158,397	1,986,564	4,685,915	9,332,230	13,067,762
Infrastructure	S/.	29,378	210,040	1,676,875	4,195,564	8,282,009	13,003,229
Sub-Total	S/.	68,361	504,721	4,727,273	11,689,861	23,166,436	35,042,009

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.18 Piura 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			573,429				
				1,720,288	0.500	860,144	2 年確率対応事業 860,144
1/2	2,867,147	0	2,867,147				
				13,670,865	0.300	4,101,259	5 年確率対応事業 4,961,403
1/5	24,474,582	0	24,474,582				
				45,787,742	0.100	4,578,774	10 年確率対応事業 9,540,178
1/10	67,100,902	0	67,100,902				
				106,105,865	0.060	6,366,352	25 年確率対応事業 15,906,530
1/25	145,110,827	0	145,110,827				
				183,019,518	0.020	3,660,390	50 年確率対応事業 19,566,920
1/50	220,928,208	0	220,928,208				
				260,529,153	0.010	2,605,292	100 年確率対応事業 22,172,211
1/100	300,130,098	0	300,130,098				

出典：調査団

表 10.3.19 Chira 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			13,672				
				41,017	0.500	20,508	2 年確率対応事業 20,508
1/2	68,361	0	68,361				
				286,541	0.300	85,962	5 年確率対応事業 106,471
1/5	504,721	0	504,721				

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害軽減額 (S/.)	Probability	平均被害便益額 (S/.)	年平均被害便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
				2,615,997	0.100	261,600	10 年確率対応事業 368,070
1/10	4,727,273	0	4,727,273	8,208,567	0.060	492,514	25 年確率対応事業 860,584
1/25	11,689,861	0	11,689,861	17,428,149	0.020	348,563	50 年確率対応事業 1,209,147
1/50	23,166,436	0	23,166,436	29,104,223	0.010	291,042	100 年確率対応事業 1,500,190
1/100	35,042,009	0	35,042,009				

出典：調査団

表 10.3.20 Piura-Chira 洪水対策案(合計)の年平均被害軽減額の計算 (3 箇所の護岸対策含む)

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害軽減額 (S/.)	Probability	平均被害便益額 (S/.)	年平均被害便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			587,102				
				1,761,305	0.500	880,652	2 年確率対応事業 880,652
1/2	2,935,508	0	2,935,508	13,957,406	0.300	4,187,222	5 年確率対応事業 5,067,874
1/5	24,979,303	0	24,979,303	48,403,739	0.100	4,840,374	10 年確率対応事業 9,908,248
1/10	71,828,175	0	71,828,175	114,314,432	0.060	6,858,866	25 年確率対応事業 16,767,114
1/25	156,800,688	0	156,800,688	200,447,666	0.020	4,008,953	50 年確率対応事業 20,776,067
1/50	244,094,644	0	244,094,644	289,633,376	0.010	2,896,334	100 年確率対応事業 23,672,401
1/100	335,172,107	0	335,172,107				

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 41 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.21 Chira-Piura 川における 41 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/ 百万)	事業開始	便益 (S/ 百万)
2 年目	0.537	8 年目	11.041
3 年目	1.698	9 年目	12.233
4 年目	3.430	10 年目	13.428
5 年目	5.399	11 年目	14.620
6 年目	7.609	12 年目	15.376
7 年目	9.517	13 年目以降	15.695

出典：調査団

(2) Rimac 川流域

Rimac 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。

表 10.3.22 Rimac 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human	影響人口	84	94	94	112	119	120

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Activity	浸水日数+1日	1	1	1	2	2	2
	S/.	8,400	9,400	9,400	22,400	23,800	24,000
House & House Goods	S/.	163,850	231,317	231,317	253,346	322,001	325,110
Agriculture	面積 (ha)	23	29	29	29	58	62
	S/.	46,199	59,399	59,399	59,399	118,798	125,398
Infrastructure	S/.	276,906	390,926	390,926	428,156	544,181	549,436
Sub-Total	S/.	495,355	691,042	691,042	763,301	1,008,780	1,023,944

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.23 Rimac 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額 S/.	平均被害軽減額 (S/.)	Probability	平均被害便益額 (S/.)	年平均被害便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.					
1/1.01			99,071				
				297,213	0.500	148,607	2 年確率対応事業 148,607
1/2	495,355	0	495,355				
				593,199	0.300	177,960	5 年確率対応事業 326,566
1/5	691,042	0	691,042				
				691,042	0.100	69,104	10 年確率対応事業 395,670
1/10	691,042	0	691,042				
				727,172	0.060	43,630	25 年確率対応事業 439,301
1/25	763,301	0	763,301				
				886,041	0.020	17,721	50 年確率対応事業 457,021
1/50	1,008,780	0	1,008,780				
				1,016,362	0.010	10,164	100 年確率対応事業 467,185
1/100	1,023,944	0	1,023,944				

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 18 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.24 Rimac 川における 18 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.537	8 年目	5.233
3 年目	1.268	9 年目	5.756
4 年目	2.107	10 年目	6.281
5 年目	3.048	11 年目	6.803
6 年目	4.096	12 年目	6.890
7 年目	4.708	13 年目以降	6.890

出典：調査団

(3) Ica 川流域

Ica 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。

表 10.3.25 Ica 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activitiy	影響人口	263	7,843	8,812	17,289	18,659	21,853
	浸水日数+1 日	2	2	2	3	3	3
	S/.	52,600	1,568,600	1,762,400	5,186,700	5,597,700	6,555,900
House & House Goods	S/.	298,984	11,931,700	13,967,464	36,120,181	40,174,803	58,011,969
Agriculture	面積 (ha)	32	807	1,053	2,339	2,650	3,616
	S/.	122,472	3,049,553	3,980,340	8,842,478	10,018,210	13,667,875
Infrastructure	S/.	505,283	20,164,573	23,605,014	61,043,107	67,895,418	98,040,228
Sub-Total	S/.	979,339	36,714,426	43,315,218	111,192,466	123,686,131	176,275,972

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.26 Ica 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			195,868	587,603	0.500	293,802	2 年確率対応事業 293,802
1/2	979,339	0	979,339				5 年確率対応事業 5,947,866
1/5	36,714,426	0	36,714,426	18,846,883	0.300	5,654,065	10 年確率対応事業 9,949,349
1/10	43,315,218	0	43,315,218	40,014,822	0.100	4,001,482	25 年確率対応事業 14,584,579
1/25	111,192,466	0	111,192,466	77,253,842	0.060	4,635,231	50 年確率対応事業 16,933,365
1/50	123,686,131	0	123,686,131	117,439,299	0.020	2,348,786	100 年確率対応事業 18,433,176
1/100	176,275,972	0	176,275,972	149,981,052	0.010	1,499,811	

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 23 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.27 Ica 川における 23 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.537	8 年目	6.565
3 年目	1.447	9 年目	7.234
4 年目	2.494	10 年目	7.904
5 年目	3.673	11 年目	8.572
6 年目	4.987	12 年目	8.804
7 年目	5.895	13 年目以降	8.804

出典：調査団

(4) Huallaga 川流域

Huallaga 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。

表 10.3.28 Huallaga 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activitiy	影響人口	29,602	45,720	55,261	69,888	75,484	79,687
	浸水日数+1 日	14	16	17	18	18	19
	S/.	41,442,800	73,152,000	93,943,700	125,798,400	135,871,200	151,405,300
House & House Goods	S/.	34,457,683	66,088,802	83,249,838	111,521,084	135,112,540	150,580,711
Agriculture	面積 (ha)	69,136	133,201	153,908	186,617	204,281	225,242
	S/.	140,830,155	271,330,470	313,510,651	380,138,121	416,120,398	458,817,071
Infrastructure	S/.	58,233,484	111,690,075	140,692,226	188,470,631	228,340,192	254,481,402
Sub-Total	S/.	274,964,122	522,261,347	631,396,415	805,928,236	915,444,330	1,015,284,484

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.29 Huallaga 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			54,992,824				
				164,978,473	0.500	82,489,237	2 年確率対応事業 82,489,237
1/2	274,964,122	0	274,964,122				
				398,612,735	0.300	119,583,820	5 年確率対応事業 202,073,057
1/5	522,261,347	0	522,261,347				
				576,828,881	0.100	57,682,888	10 年確率対応事業 259,755,945
1/10	631,396,415	0	631,396,415				
				718,662,326	0.060	43,119,740	25 年確率対応事業 302,875,685
1/25	805,928,236	0	805,928,236				
				860,686,283	0.020	17,213,726	50 年確率対応事業 320,089,410
1/50	915,444,330	0	915,444,330				
				965,364,407	0.010	9,653,644	100 年確率対応事業 329,743,054
1/100	1,015,284,484	0	1,015,284,484				

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 24 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.30 Huallaga 川における 24 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.537	8 年目	6.832
3 年目	1.483	9 年目	7.529
4 年目	2.572	10 年目	8.228
5 年目	3.798	11 年目	8.926
6 年目	5.165	12 年目	9.187
7 年目	6.133	13 年目以降	9.187

出典：調査団

(5) Mantaro 川流域

Mantaro 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。

表 10.3.31 Mantaro 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activitiy	影響人口	868	2,329	2,927	3,213	3,245	3,471
	浸水日数+1 日	6	7	8	9	10	10
	S/.	520,800	1,630,300	2,341,600	2,891,700	3,245,000	3,471,000
House & House Goods	S/.	1,459,650	2,665,835	2,994,135	2,886,006	2,949,896	3,105,055
Agriculture	面積 (ha)	1,037	3,133	3,686	4,124	4,193	4,470
	S/.	2,111,962	6,382,817	7,509,197	8,400,914	8,541,711	9,104,901
Infrastructure	S/.	2,466,809	4,505,261	5,060,088	4,877,350	4,985,324	5,247,543
Sub-Total	S/.	6,559,221	15,184,213	17,905,020	19,055,970	19,721,931	20,928,499

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.32 Mantaro 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			1,311,844	3,935,533	0.500	1,967,766	2 年確率対応事業 1,967,766
1/2	6,559,221	0	6,559,221				5 年確率対応事業 5,229,281
1/5	15,184,213	0	15,184,213	10,871,717	0.300	3,261,515	10 年確率対応事業 6,883,743
1/10	17,905,020	0	17,905,020	16,544,617	0.100	1,654,462	25 年確率対応事業 7,992,573
1/25	19,055,970	0	19,055,970	18,480,495	0.060	1,108,830	50 年確率対応事業 8,380,352
1/50	19,721,931	0	19,721,931	19,388,951	0.020	387,779	100 年確率対応事業 8,583,604
1/100	20,928,499	0	20,928,499	20,325,215	0.010	203,252	

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 23 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.33 Mantaro 川における 23 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.537	8 年目	6.565
3 年目	1.447	9 年目	7.234
4 年目	2.494	10 年目	7.904
5 年目	3.673	11 年目	8.572
6 年目	4.987	12 年目	8.804
7 年目	5.895	13 年目以降	8.804

出典：調査団

(6) Urubamba 川流域

Urubamba 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。

表 10.3.34 Urubamba 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activitiy	影響人口	9,875	9,875	26,378	39,969	41,621	58,787
	浸水日数+1 日	2	2	3	5	8	8
	S/.	1,975,000	1,975,000	7,913,400	19,984,500	33,296,800	47,029,600
House & House Goods	S/.	6,546,444	6,546,444	41,525,013	75,898,785	87,316,692	114,834,723
Agriculture	面積 (ha)	0	3,353	6,705	13,203	14,652	16,935
	S/.	0	5,866,560	11,733,120	23,103,360	25,643,520	29,635,200
Infrastructure	S/.	13,092,888	13,092,888	83,050,026	151,797,570	174,633,384	229,669,446
Sub-Total	S/.	21,614,332	27,480,892	144,221,559	270,784,215	320,890,396	421,168,969

出典：調査団

降雨解析によると、2010 年に発生した Cusco 周辺の洪水確率規模は 10~25 年確率規模である。この 2010 年の洪水時の各セクターの被害は、INDECI の報告書によると住宅被害は約 S/. 179 million、農業被害は約 S/. 22million となっており、全体被害額は約 S/. 615 million である。一方、本調査における洪水被害は、人的活動被害を除くと、10 年確率で S/. 144 million、25 年確率時で S/. 271 million となる。よって、実際の 2010 年洪水時の INDECI の被害額算定値と本調査での被害算定値を比べると、上記の本調査による被害額算定値は 2010 年の実被害報告の 1/5~1/2 程度である。この両者の違いは、本調査が本川沿いの洪水被害のみによる算定であり、INDECI の報告書は、土砂災害や小河川の氾濫も含めた被害統計のためだと想定される。

本調査による、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.35 Urubamba 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額 S/.	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.					
1/1.01			4,322,866				
1/2	21,614,332	0	21,614,332	12,968,599	0.500	6,484,300	2 年確率対応事業 6,484,300
1/5	27,480,892	0	27,480,892	24,547,612	0.300	7,364,284	5 年確率対応事業 13,848,583
1/10	144,221,559	0	144,221,559	85,851,226	0.100	8,585,123	10 年確率対応事業 22,433,706
1/25	270,784,215	0	270,784,215	207,502,887	0.060	12,450,173	25 年確率対応事業 34,883,879
1/50	320,890,396	0	320,890,396	295,837,306	0.020	5,916,746	50 年確率対応事業 40,800,625
1/100	421,168,969	0	421,168,969	371,029,683	0.010	3,710,297	100 年確率対応事業 44,510,922

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 18 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.36 Urubamba 川における 18 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.537	8 年目	5.233
3 年目	1.268	9 年目	5.756
4 年目	2.107	10 年目	6.281
5 年目	3.048	11 年目	6.803
6 年目	4.096	12 年目	6.890
7 年目	4.708	13 年目以降	6.890

出典：調査団

(7) その他のモデル流域の被害軽減額

(a) Biabo 川流域

Biabo 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。

表 10.3.37 Biabo 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activity	影響人口	0	86	92	120	176	204
	浸水日数+1 日	0	2	2	3	4	4
	S/.	0	17,200	18,400	36,000	70,400	81,600
House & House Goods	S/.	0	77,308	82,101	167,067	407,987	600,369
Agriculture	面積 (ha)	0	189	236	302	566	858
	S/.	0	384,140	480,174	614,623	1,152,419	1,747,835
Infrastructure	S/.	0	130,651	138,751	282,343	689,497	1,014,624
Sub-Total	S/.	0	609,299	719,426	1,100,033	2,320,303	3,444,428

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.38 Biabo 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			0	0	0.500	0	2 年確率対応事業
1/2	0	0	0				0
1/5	609,299	0	609,299	304,650	0.300	91,395	5 年確率対応事業
1/10	719,426	0	719,426	664,363	0.100	66,436	10 年確率対応事業
1/25	1,100,033	0	1,100,033	909,730	0.060	54,584	25 年確率対応事業
1/50	2,320,303	0	2,320,303	1,710,168	0.020	34,203	50 年確率対応事業
1/100	3,444,428	0	3,444,428	2,882,366	0.010	28,824	100 年確率対応事業
							275,442

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 1 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.39 Baibo 川における 1 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.036	7 年目	0.266
3 年目	0.077	8 年目	0.296
4 年目	0.125	9 年目	0.325
5 年目	0.178	10 年目	0.354
6 年目	0.237	11 年目以降	0.383

出典：調査団

(b) Locumba 川流域

Locumba 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。

表 10.3.40 Locumba 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activity	影響人口	0	0	1	6	15	18
	浸水日数+1 日	0	0	2	2	2	2
	S/.	0	0	200	1,200	3,000	3,600
House & House Goods	S/.	0	0	669	6,689	19,529	27,343
Agriculture	面積 (ha)	0	0	0	36	109	127
	S/.	0	0	0	74,073	222,220	259,257
Infrastructure	S/.	0	0	1,130	11,304	33,003	46,210
Sub-Total	S/.	0	0	1,999	93,266	277,752	336,410
洗掘	5 箇所	-	-	表 10.3.15 に示す便益単価に護岸延長 1000m を掛けて各年度に付加			

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.41 Locumba 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算（浸水対策のみ）

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額 S/.	平均被害軽減額 (S/.)	Probability	平均被害便益額 (S/.)	年平均被害便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.					
1/1.01			0				
				0	0.500	0	2 年確率対応事業 0
1/2	0	0	0				
				0	0.300	0	5 年確率対応事業 0
1/5	0	0	0				
				1,000	0.100	100	10 年確率対応事業 100
1/10	1,999	0	1,999				
				47,633	0.060	2,858	25 年確率対応事業 2,958
1/25	93,266	0	93,266				
				185,509	0.020	3,710	50 年確率対応事業 6,658
1/50	277,752	0	277,752				
				307,081	0.010	3,071	100 年確率対応事業 9,739
1/100	336,410	0	336,410				

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 6 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.42 Locumba 川における 6 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.215	7 年目	1.598
3 年目	0.464	8 年目	1.774
4 年目	0.750	9 年目	1.948
5 年目	1.069	10 年目	2.123
6 年目	1.424	11 年目以降	2.297

出典：調査団

(c) Chancay-Lambayeque 川流域

Chancay-Lambayeque 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表 10.3.43 のように纏められる。

表 10.3.43 Chancay-Lambayeque 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activity	影響人口	706	3,321	5,160	8,785	10,839	15,213
	浸水日数+1 日	2	2	3	3	4	4
	S/.	141,192	664,226	1,547,931	2,635,456	4,335,720	6,085,055
House & House Goods	S/.	835,399	4,044,648	7,623,470	15,326,780	19,844,056	28,297,629
Agriculture	面積 (ha)	576	1,380	2,769	4,924	6,228	8,184
	S/.	1,174,316	2,810,658	5,640,566	10,029,812	12,686,461	16,671,435
Infrastructure	S/.	1,411,825	6,835,455	12,883,664	25,902,258	33,536,455	47,822,992
Total	S/.	3,562,732	14,354,987	27,695,630	53,894,306	70,402,693	98,877,111

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.44 Chancay-Lambayeque 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額 S/.	平均被害軽減額 (S/.)	Probability	平均被害便益額 (S/.)	年平均被害便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.					
1/1.01			712,546				
1/2	3,562,732	0	3,562,732	2,137,639	0.500	1,068,820	2 年確率対応事業 1,068,820
1/5	14,354,987	0	14,354,987	8,958,860	0.300	2,687,658	5 年確率対応事業 3,756,477
1/10	27,695,630	0	27,695,630	21,025,309	0.100	2,102,531	10 年確率対応事業 5,859,008
1/25	53,894,306	0	53,894,306	40,794,968	0.060	2,447,698	25 年確率対応事業 8,306,706
1/50	70,402,693	0	70,402,693	62,148,500	0.020	1,242,970	50 年確率対応事業 9,549,676
1/100	98,877,111	0	98,877,111	84,639,902	0.010	846,399	100 年確率対応事業 10,396,075

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 8 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.45 Chancay-Lambayeque 川における 8 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.286	7 年目	2.131
3 年目	0.619	8 年目	2.365
4 年目	1.000	9 年目	2.597
5 年目	1.426	10 年目	2.830
6 年目	1.899	11 年目以降	3.062

出典：調査団

(d) Nanay 川流域

Nanay 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。なお、Nanay 川の洪水氾濫は下流部の都市部のみで発生する解析結果となり、農業被害は発生しない結果となっている。

表 10.3.46 Nanay 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activitiy	影響人口	7,530	7,837	12,067	13,941	19,812	21,522
	浸水日数+1 日	28	69	77	85	90	94
	S/.	21,084,000	54,075,300	92,915,900	118,498,500	178,308,000	202,306,800
House & House Goods	S/.	13,677,114	16,973,935	26,812,756	28,621,390	33,588,594	43,621,596
Agriculture	面積 (ha)	0	0	0	0	0	0
	S/.	0	0	0	0	0	0
Infrastructure	S/.	23,114,322	28,685,951	45,313,558	48,370,150	56,764,725	73,720,498
Total	S/.	57,875,436	99,735,186	165,042,214	195,490,040	268,661,319	319,648,894

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.47 Nanay 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			11,575,087				
1/2	57,875,436	0	57,875,436	34,725,262	0.500	17,362,631	2 年確率対応事業 17,362,631
1/5	99,735,186	0	99,735,186	78,805,311	0.300	23,641,593	5 年確率対応事業 41,004,224
1/10	165,042,214	0	165,042,214	132,388,700	0.100	13,238,870	10 年確率対応事業 54,243,094
1/25	195,490,040	0	195,490,040	180,266,127	0.060	10,815,968	25 年確率対応事業 65,059,062
1/50	268,661,319	0	268,661,319	232,075,680	0.020	4,641,514	50 年確率対応事業 69,700,575
1/100	319,648,894	0	319,648,894	294,155,107	0.010	2,941,551	100 年確率対応事業 72,642,126

出典：調査団

(e) Ramis 川流域

Ramis 川流域における第 9 章に示した洪水対策案を実施することによる被害額の減少は、以下の表のように纏められる。

表 10.3.48 Ramis 川洪水対策案の効果

項目	単位	洪水対策案の規模					
		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
Human Activity	影響人口	2,346	5,834	6,270	6,663	7,886	10,162
	浸水日数+1 日	4	5	5	5	6	7
	S/.	938,400	2,917,000	3,135,000	3,331,500	4,731,600	7,113,400
House & House Goods	S/.	2,195,356	6,580,279	7,422,783	8,072,937	9,937,452	13,796,602
	面積 (ha)	2,134	6,146	7,103	8,207	10,304	12,807
	S/.	4,347,874	12,518,878	14,467,925	16,716,826	20,989,736	26,087,244
Infrastructure	S/.	3,710,152	11,120,671	12,544,504	13,643,264	16,794,294	23,316,257
Total	S/.	11,191,782	33,136,828	37,570,212	41,764,527	52,453,082	70,313,503

出典：調査団

以上の結果から、各洪水対策案規模別の年平均被害軽減額は以下の表のように纏められる。

表 10.3.49 Ramis 川洪水対策案の年平均被害軽減額の計算

Return Period	被害額 (S/.)		被害軽減額	平均被害 軽減額 (S/.)	Probability	平均被害 便益額 (S/.)	年平均被害 便益額 (S/.)
	Sin P.	Con P.	S/.				
1/1.01			2,238,356				
				6,715,069	0.500	3,357,535	2 年確率対応事業 3,357,535
1/2	11,191,782	0	11,191,782				
				22,164,305	0.300	6,649,292	5 年確率対応事業 10,006,826
1/5	33,136,828	0	33,136,828				
				35,353,520	0.100	3,535,352	10 年確率対応事業 13,542,178
1/10	37,570,212	0	37,570,212				
				39,667,370	0.060	2,380,042	25 年確率対応事業 15,922,220
1/25	41,764,527	0	41,764,527				
				47,108,805	0.020	942,176	50 年確率対応事業 16,864,396
1/50	52,453,082	0	52,453,082				
				61,383,293	0.010	613,833	100 年確率対応事業 17,478,229
1/100	70,313,503	0	70,313,503				

出典：調査団

なお、上記の便益計算には、第 9 章に示した 10 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の便益を考慮する。

表 10.3.50 Ramis 川における 10 箇所の洗掘対策の効果

事業開始	便益 (S/. 百万)	事業開始	便益 (S/. 百万)
2 年目	0.358	7 年目	2.664
3 年目	0.774	8 年目	2.956
4 年目	1.250	9 年目	3.246
5 年目	1.782	10 年目	3.538
6 年目	2.374	11 年目以降	3.828

出典：調査団

10.4 洪水対策案の費用の算定

10.4.1 標準工事単価及び数量の作成

今回の調査において各対象流域で検討を行う洪水対策案は、第9章で説明しているように、主に以下の工種・対策である。

- 河川改修（堤防建設・河川拡幅/掘削・護岸/水制建設）
- 遊水地（遊水地予定地内の掘削（必要時）・周囲堤・その他）
- 既存ダムのルール変更（常時の水位を下げ治水容量確保）または新規の治水ダムの建設
- 河岸の洗掘防止対策（護岸/水制の建設）

また上記の工事には、工事範囲の状況により以下のコストの積算が必要になる。

- 家屋移転費
- 土地収用費

各対象流域において提案した洪水対策案の費用として積算を行うため、本項では、上記の工種または必要経費単価を根拠と共に算出する。

(1) 工事単価

(a) 事業費の構成と河川工事の関係

本来、概略の事業費の積算を行う場合、材料、人件費及び機械損料単価を収集し、且つ事業に必要な数量を個々に積み上げて積算を行う。

一方、本調査では各洪水対策案に必要な主要な工種数量から概略の事業費の算出が対象河川 12 河川に対して同じ精度での算出が求められる。このため、ペルー国におけるこれまでの同様の治水事業の積算資料を参考に、各費目の河川工事に対する比率を予め設定し、工事費から概略事業費の算出を行う。このため、本調査では、2013 年に実施した JICA の開発調査 Estudio Preparatorio Sobre El Programa De Protección De Valles Y Poblaciones Rurales Y Vulnerables Ante Inundaciones En La República Del Perú (2013) (渓谷村落洪水対策事業準備調査) (以下「2013 年 JICA 開発調査」とする。) の報告書等資料に基づき、以下の表 10.4.1 に示すような事業費の構成とその比率を算出した。

表 10.4.1 土木事業費を算出するための各費目の構成

費目	計算式	具体的費目	2013 年 JICA 開発調査での比率*1
総事業費			1.86 + 用地取得費
構造物対策事業費			1.74
建設費			1.55
① 直接工事費	A + B + C	A. 河川工事 仮設工事 準備工事 実工事	1.00
		B. 補償工事費	0.02
		C. 環境対策・能力強化費	0.03

費目	計算式	具体的費目	2013 年 JICA 開発調査での比率*1
② 諸経費	①×15%		0.16
③ 利益	①×10%		0.10
④ 工事費	①+②+③		1.31
⑤ IGV	④×18%		0.24
⑥ 建設費	④+⑤		1.55
コンサルタント費			0.19
⑦ 詳細設計費			0.08
⑧ 施工管理費			0.11
⑨ コンサルタント費	⑦+⑧		0.19
1) 構造物対策事業費	⑥+⑨		1.74
用地取得費			0.06
2) 用地取得費			0.06
事業実施期間管理費			0.07
3) 事業実施期間管理費			0.07
総事業費	1) + 2) + 3)		1.86 + 用地取得費
年間維持管理費			0.01

*1: 河川工事の費用を 1.00 とした場合の他の経費の比率（2013 年 JICA 開発調査報告書より調査団が算定）

出典：「2013 年 JICA 開発調査」報告書に基づき、調査団が整理。

以上のように、実際の河川工事（仮設工事と準備工事を含む河川改修工事費を 1.0）を算出すれば、全体の大よその事業費（総事業費は 1.86 + 0.06 (用地取得費)）を算出することが可能であるため、本調査ではこの比率を採用する。

(b) 各工事種目の単価-1（河川工事費）

本調査では、表 10.4.1 に示す「A.河川工事」費にあたる各工事種目の単価を、2013 年 JICA 開発調査の結果等を参考に主要な工事数量より算定する。2013 年 JICA 開発調査ではペルー国における 5 河川の治水対策事業の F/S レベルの調査を行い、合わせて概算工事数量及び事業費を算出している。これらの結果を整理すると、「河川改修工事」、「遊水地建設工事」及び「河岸の洗掘防止対策」に必要な以下の工事単価を算定できる。

- 築堤工事(m3 当り)；
- 護岸工事（m3 当り）；
- 河道掘削工事（m3 当り）；及び
- 頭首工施設工事（コンクリート m3 当り（ゲート等附帯工付き））

2013 年 JICA 開発調査では、上記の工事の積算に利用・採用している原単価、例えば労務費及び建設機械単価は、以下の表 10.4.2 に示す値を利用している。

表 10.4.2 労務費及び建設機械概算単価

費目	単位	採用単価 (S/.)	備考
削岩専門作業員	hora	15~16	基本給(RB)、賞与(BUC)、保険、雑費等込
職長	hora	17~18	
専門作業員	hora	15~16	
普通作業員	hora	13~14	
雑務工	hora	11~12	
バックホウ	hora	120~130	158HP / PC220

費目	単位	採用単価 (S/.)	備考
ダンプトラック	hora	110~120	6x4 / 318-395HP / 10-12M3
ブルドーザー	hora	150~160	160-195 HP 3.5 YD3

出典：「2013 年 JICA 開発調査」報告書に基づき、調査団が整理。

これらは 2017 年現在もそれほど変化していないため、本調査ではこのまま利用する。

さらに、これらの単価を利用して、「2013 年 JICA 開発調査」では以下の表 10.4.3 に示すように数量と河川工事費を算出している。

表 10.4.3 一般的河川工事の費用と数量

River	記号	工事費 (S/.)	築堤 (m3)	巨石による護岸工 (m3)	河道掘削 (m3)	護岸保護工 (m3)	取水堰 (LS / m3)	護岸工と築堤の比
Rio-A	A-1	2,002,424		9,230		5,430		None
	A-2	5,457,362	113,700	28,200				25%
	A-3	3,696,057	1,630	16,730	80,270			
	A-4	1,619,416	20,150	7,300	34,400			36%
	A-5	3,092,046	95,125	14,000				15%
Rio-B	B-1	3,869,704	60,160	23,700				39%
	B-2	1,533,855	5,500	23,700	20,000			431%
	B-3	9,533,669	20,350	7,400			1 / 9,500	36%
	B-4	5,129,938	49,900	37,000				74%
	B-5	6,480,309	37,700	32,200	123,500			85%
Rio-C	C-1	5,703,661	92,900	32,200				35%
	C-2	5,252,094	42,520	25,000	74,900			59%
	C-3	1,992,899	33,900	12,600				37%
	C-4	1,163,790	17,400	8,060				46%
	C-5	2,757,593	29,900	10,600	67,600			35%
	C-6	22,178,280	217,600	83,000	496,000			38%
Rio-D	MC-1	8,130,313	155,700	44,300				28%
	MC-2	2,776,927	43,100	18,300				42%
	MC-3	10,548,430	169,000	59,000				35%
Rio-E	MC-4	2,861,288	75,200	17,700				24%
	MC-5	7,211,419	179,000	39,400				22%
	MC-6	9,075,444	235,000	51,400				22%
	MC-7	6,862,786	32,300	27,500				85%

出典：「2013 年 JICA 開発調査」報告書に基づき、調査団が整理。

上記の概算河川工事費とその数量より、各工種の工事単価を以下のように設定する。

表 10.4.4 本調査で使用する河川工事の単価

工種	単位	設定単価	備考
築堤	m3	S/. 20	仮設工事・準備工事含む
護岸	m3	S/. 110	
河道掘削 (小規模)	m3	S/. 18	
河道掘削 (大規模)	m3	S/. 10	
護岸保護工	m3	S/. 180	
取水堰 (頭首工) (ゲート・附帯工含む)	1 箇所	S/. 8,000,000	
	m3 (コンクリート)	S/. 900	

出典：「2013 年 JICA 開発調査」報告書に基づき、調査団が整理。

(c) 各工事種目の単価-2 (既存ダムのルール変更または新規治水ダムの建設)

第 9 章で詳述しているように、本調査の各選定流域における洪水対策案の代替案として、流域にある既存ダムの操作運用ルール変更または新規治水ダムの建設による洪水流量の低減を提案した。

具体的には、既存ダムの常時満水位を変更し、洪水に備えることによって上流からの洪水流をダムに現在以上に貯めるまたは新規治水ダムの建設による新たな洪水流量を溜める施設ができることになり、下流への洪水流量を減らすことができる。よって下流の洪水被害軽減が下流での堤防の建設規模の縮小させることができる代替案である。

上述のように、洪水被害の軽減は、第9章で既に明らかにされており、本項ではこの既存ダムの操作運用ルール変更または新規治水ダムの建設のコスト算出のための単価を設定する。

ダムの操作運用ルール変更のコストを考えた場合、操作運用ルール変更に伴う損失と考える事ができ、具体的には以下の現象が損失コストである。

- 灌漑ダムの場合、灌漑利用水量の減少による、作付面積の減少・農作物収量の現象；
- 上水道ダムの場合、水道利用水量の減少による、水道利用料収入の減少
- 発電ダムの場合、発電量の減少による電気利用料金収入の減少

各対象流域で選定されているダムは、それぞれに利用目的をもって建設され、また多目的ダムも多い。さらには、上記の損失コストを算出するためには複雑な計算が必要である。

また、既存ダムの操作運用ルールを変更しなくても、提案しているように新規の治水ダムを建設すれば操作ルールの変更と同じ効果を得られる。

よって、本調査では既存ダムの操作運用ルール変更による治水容量の確保に伴うコストの算出は、

➤ もう一方の案である通常の治水ダムを現在のダムの上下流に新たに建設するコスト

に集約してコストを算出する。新規ダムの単位貯水容量当りの建設費は、近年のペルー国における新規ダム建設計画または既存ダムの嵩上げ・排砂等による容量増強計画情報を基に算出する。結果として以下の表 10.4.5 に示すダム計画により、S/. 10/m³ として算出する。

表 10.4.5 本調査で使用するダム建設コストの単価

Name of Dam	計画 貯水容量	Cost	Estimated Year	1m ³ 当り 建設コスト	情報出典元
Presa Marripón Cruz de Colaya	6.0 MMC	S/. 30 Million	2011	S/. 5	Estudio a Nivel de Perfil
La presa La Peñita	80 MMC	S/. 300 Million	2013	S/. 4	Newspaper http://www.andina.com.pe
afianzamiento de la presa Poechos	400 MMC *1	S/. 250 Million	2013	S/. 1	Newspaper http://www.andina.com.pe
Presa Chonta	10MMC	S/. 500 Million	2013	S/. 50	BNamericas http://www.bnamericas.com/
本調査で採用する単価コスト				S/. 10	

注記：*1：現在のダム貯水池諸元からの調査団の算定値

出典：調査団の調査による。

(2) 土地取得費用及び家屋移転費用

(a) 土地取得費用を積算するための土地単価

土地の取得費用は第一次及び第二次現地調査において、地方自治体並びに関係者へのヒアリングによって入手した以下の表 10.4.6 及び表 10.4.7 に示す土地代を参考に表 10.4.8 の土地単価を採用する。

表 10.4.6 土地取得費用単価聞き取り調査結果その 1

Category	Unit	Region					
		Sierra (Cusco)		Selva (San Martin)		Costa (Lima)	
		Minimum	Maximum	Min.	Max.	Min.	Max.
Urbano (Residential)	m2	60	1,100	12	500	200	1,200
Rural (Farmland)		25	100	10	80	25	100

出典：調査団の調査による。

表 10.4.7 土地取得費用単価聞き取り調査結果その 2

Category	Unit	Region					
		Sierra (Huanuco)		Selva (Loreto)		Costa (Piura)	
		Minimum	Maximum	Min.	Max.	Min.	Max.
Urbano (Residential)	m2	60	300	30	900	40	600
Rural (Farmland)		15	60	5	60	10	40

出典：調査団の調査による

表 10.4.8 優先河川・モデル河川流域における土地取得採用単価

類 型	モデル流域 (案)	土地取得費用(m2)	
		Residential	Rural
類型 1	Biabo	100	10~40
類型 2	Locumba	300	10~40
類型 3	Chancay-Lambayeque	300	10~40
類型 4	Piura-Chira	300	10~40
類型 5	Rimac	700	10~50
	Ica	500	10~50
類型 6	Mantaro	200	10~40
類型 7	Huallaga	250	10~50
類型 8	Nanay	500	10~50
類型 9	Urubamba	100	10~50
類型 10	Ramis	250	10~50

出典：調査団の調査による

(b) 家屋移転費用を積算するための家屋単価

洪水対策案の便益を算定するための家屋単価は、2016 年 8 月に ANA-DEPHM において纏められた「Estimación de Daños Económicos por Activación de Quebradas (小溪谷河川災害による経済被害の算定)」(本報告書添付資料-8-2 参照)において算定された新規に建設する家屋の基礎単価に表 10.3.1 の比率を掛けた値を各選定流域で利用する。以下に家屋移転のための費用単価を表 10.4.9 として示す。

表 10.4.9 3 地域別の住宅種別建設割合

Tipo de Vivienda	新設単価 (S/.)	%		
		Sierra	Selva	Costa
Adobe	57,186	45	5	10
Material Noble	80,222	52	25	85
Madera	71,816	3	70	5
Region	対象河川流域	被害単価 (S/.)		
Sierra	Biabo	70,000		
	Mantaro			
	Huallaga			
	Urubamba			
	Ramis			
Costa	Chancay-Lambayeque	77,500		
	Piura-Chira			
	Rimac			
	Ica			
	Locumba			
Selva	Nanay	73,000		

出典: Estimación de Daños Económicos por Activación de Quebradas 及び Censos Nacionales XI de Población y VI de Vivienda 2007

表 10.3.1 に基づき調査団が作成

注記：本調査では個別流域の洪水対策 9.3 概略事業費における想定移転家屋数は算定しておらず、結果的には本表を利用していない。

(c) 本調査で使用する用地移転費及び家屋移転費

本調査では、上記のように家屋移転費及び用地移転費の単価を設定したが、実際に横断図等を利用して事業必要改修幅を検討していないこと、及び現在それぞれの河川がどの程度の公共用地を実際に確認する事をしていないため、カウンターパートである ANA の DEPHM と議論をし、プログレスレポート時においては、これまでの同様な河川改修を検討した 2013 年の JICA 調査時に調査した結果である、河川の直接工事費の 6%を用地移転及び家屋移転必要経費とした。

(3) 洗掘防止対策（護岸工・護床工）のコスト

(a) コスト算出の基本

本章 10.3.1 (3)に示したような河岸洗掘対策としては、河川の洗掘部河岸低水路への

- 護岸及び護床工の設置：または
- 水制工の設置

が考えられる。

本調査の洗掘対策のためのコスト算出においては、以下の理由で「護岸工＋護床工」による対策を実施した場合の時のコストとする。

- 水制工による場合の方が対策に掛けるコストが廉価となる場合が多いが、効果が出る場合と出ない場合があり、設計においては慎重な水理現象の確認が必要である。
- 本調査は洪水対策案の効果を確認する調査のため、安全側の配慮により、「護岸工＋護床工」に

よる対策時のコストを算出し、洗掘防止対策の経済性の基本的確認を行う。

(b) コスト算出のための基本断面

コスト算出のための洗掘対策必要工事は、事例に利用した河川の低水路断面確認に基づき以下の図に示す対策工を実施するコストとする。

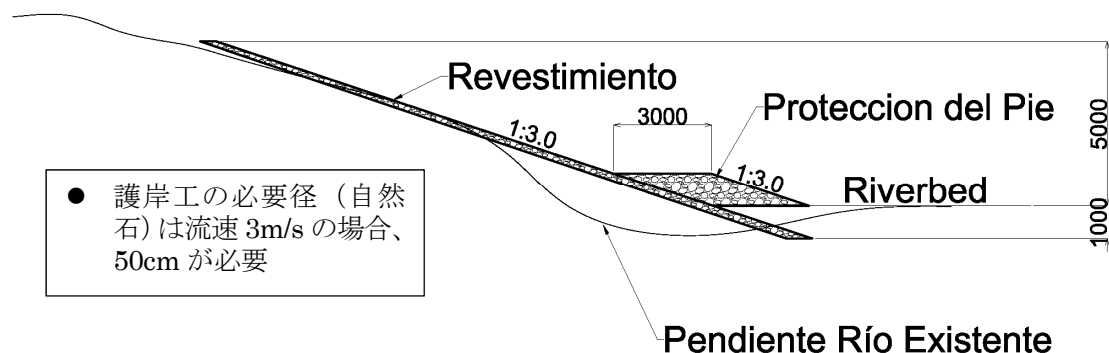


図 10.4.1 洗掘防止対策護岸・護床工標準断面図（案）

上記の図 10.4.1 を基本として、洗掘防止対策延長 1m 当りの概略事業費は以下の表に示すように、S/. 1,407/m となる。

表 10.4.10 洗掘防止対策延長 1m 当りの概略事業費

工種	数量項目/単価	数量/コスト	備考
Revestimiento	A1 : 対策工断面積 (m ²)	4	必要径 50cm
	A2 : 対策工延長 (m)	1	
	A3 : 対策工体積 (m ³) (= A1 × A2)	4	
	A4 : 単価 (S/. /m ³)	110	
	A5 : 対策工事費 (S/.) (= A3 × A4)	429	
Proteccion del Pie	B1 : 対策工断面積 (m ²)	2.975	必要径 50cm
	B2 : 対策工延長 (m)	1	
	B3 : 対策工体積 (m ³) (= B1 × B2)	3	
	B4 : 単価 (S/. /m ³)	110	
	B5 : 対策工事費 (S/.) (= B3 × B4)	327	
Sub-Total	C1 : 対策工事費合計 (S/.) (= A5 + B5)	756	
Project Cost for Erosion Control (= C1 × 1.86)		1,407	1.86 倍

出典：調査団

10.4.2 各対象流域における概略事業費の積算

第 9 章にて提案された各選定河川の 2 つの代替案の概略事業費は、前項 10.4.1 に基づき以下のよう
に算定された。なお、積算の詳細は、添付資料-8-3 に示す。

(1) Piura-Chira 川流域

(a) Alternative-1 : 堤防を主体とする概略事業費

Piura-Chira 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.11 Piura-Chira 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	1.33	20.40	68.33	119.91	187.50	354.12	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.04	0.66	2.20	3.87	6.05	11.42	直接工事費の6%
家屋移転費							
総事業費	1.37	21.06	70.54	123.78	193.55	365.54	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(b) Alternative-2：遊水地及び Dam の運用ルール変更または新規治水ダムの建設による治水を考慮した概略事業費

Piura-Chira 川流域の遊水地（Piura 川流域）と Dam の運用ルール変更または新規治水ダムの建設（Chira 川）を河川改修に合わせて考慮した概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.12 Piura-Chira 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
遊水地工事総事業費	0	205.90	205.90	205.90	205.90	205.90	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	必要面積×S/.10
家屋移転費							
Dam の運用変更	0	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	事業に係る全ての費目を含む
河川工事総事業費	1.33	10.73	36.29	89.30	151.11	273.97	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.04	0.35	1.17	2.88	4.87	8.84	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	1.37	616.98	643.36	698.07	761.88	888.70	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(c) 洗掘対策概略事業費

上記の算定事業費には、第 9 章に示した 41 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.13 Chira-Piura 川における 41 箇所の洗掘対策に必要な事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	4.221
2 年目	4.221
3 年目	3.095

出典：調査団

(2) Rimac 川流域

(a) Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Rimac 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.14 Rimac 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	1.18	1.72	1.72	2.48	3.46	3.84	事業に係る全ての費目を含む 直接工事費の 6%
土地取得費	0.04	0.06	0.06	0.08	0.11	0.12	
家屋移転費							
総事業費	1.21	1.77	1.77	2.56	3.57	3.96	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(b) Alternative-2：遊水地による治水を主とする概略事業費

遊水地の候補地がないため、考慮しない。

(c) 洗掘対策事業費

上記の算定事業費には、第 9 章に示した 18 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.15 Rimac 川における 18 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	4.221
2 年目	0.844

出典：調査団

(3) Ica 川流域

(a) Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Ica 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.16 Ica 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	0.00	0.00	0.61	17.56	38.71	137.13	事業に係る全ての費目を含む 直接工事費の 6%
土地取得費	0.00	0.00	0.02	0.57	1.25	4.42	
家屋移転費							
総事業費	0.00	0.00	0.62	18.13	39.96	141.55	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(b) Alternative-2：遊水地による治水を主とする概略事業費

Ica 川流域の遊水地を主とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.17 Ica 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
遊水地工事総事業費	0	0	76.89	76.89	76.89	76.89	事業に係る全ての費目を含む 直接工事費の 6%
土地取得費	0	0	2.48	2.48	2.48	2.48	
家屋移転費							

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	0	0	0	0.61	17.56	38.71	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0	0	0	0.02	0.57	1.25	直接工事費の6%
家屋移転費							
総事業費	0	0	79.37	79.99	97.50	119.33	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(c) 洗掘対策概略事業費

上記の算定事業費には、第 9 章に示した 23 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.18 Ica 川における 23 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	4.221
2 年目	2.251

出典：調査団

(4) Huallaga 川流域

(a) Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Huallaga 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.19 Huallaga 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	324.85	506.26	625.44	771.24	835.24	905.50	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	10.48	16.33	20.18	24.88	26.94	29.21	直接工事費の6%
家屋移転費							
総事業費	335.33	522.59	645.62	796.12	862.18	934.71	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(b) Alternative-2：遊水地による治水を主とする概略事業費

Huallaga 川流域の遊水地を主とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.20 Huallaga 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
遊水地工事総事業費	0	0	1,171.79	1,171.79	1,171.79	1,171.79	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費			37.80	37.80	37.80	37.80	直接工事費の6%
家屋移転費							
河川工事総事業費	324.85	506.26	506.26	625.44	771.24	835.24	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	10.48	16.33	16.33	20.18	24.88	26.94	直接工事費の6%
家屋移転費							
総事業費	335.33	522.59	1,732.18	1,855.21	2,005.71	2,071.77	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(c) 洗掘対策概略事業費

なお、上記の算定事業費には、第9章に示した24箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.21 Huallaga 川における 24 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	4.221
2 年目	2.533

出典：調査団

(5) Mantaro 川流域

(a) Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Mantaro 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.22 Mantaro 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	36.27	71.22	72.28	77.16	91.48	118.74	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	1.17	2.30	2.33	2.49	2.95	3.83	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	37.44	73.51	74.61	79.65	94.44	122.57	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(b) Alternative-2：流域内の既存の Dam に治水容量を一部持たせるまたは新規治水ダムの建設概略事業費

Mantaro 川流域の堤防と上流の既存 Dam に一部治水容量を持たせた案または新規治水ダムの建設の概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.23 Mantaro 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
ダムによる治水容量の確保	0	0	52.80	52.80	52.80	52.80	0.7MMC を確保。
河川工事総事業費	36.27	71.22	71.22	72.29	77.16	91.48	直接工事費の 6%
土地取得費	1.17	2.30	2.30	2.33	2.49	2.95	
家屋移転費							
総事業費	37.44	73.51	126.31	127.41	132.45	147.24	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(c) 洗掘対策概略事業費

上記の算定事業費には、第9章に示した23箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.24 Mantaro 川における 23 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	4.221
2 年目	2.251

出典：調査団

(6) Urubamba 川流域

(a) Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Urubamba 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.25 Urubamba 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	4.19	4.19	101.17	313.47	469.02	569.55	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.14	0.14	3.26	10.11	15.13	18.37	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	4.32	4.32	104.44	323.58	484.15	587.92	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(b) Alternative-2：遊水地による治水を主とする概略事業費

Urubamba 川流域の遊水地を主とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.26 Urubamba 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
遊水地工事総事業費	0	0	148.35	148.35	148.35	148.35	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0	0	4.79	4.79	4.79	4.79	直接工事費の 6%
家屋移転費							
河川工事総事業費	4.19	4.19	4.19	101.17	313.47	469.02	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.14	0.14	0.14	3.25	10.11	15.13	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	4.32	4.32	157.46	257.58	476.72	637.29	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(c) 洗掘対策概略事業費

上記の算定事業費には、第 9 章に示した 18 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.27 Urubamba 川における 18 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	4.221
2 年目	0.844

出典：調査団

(7) その他のモデル流域の概略事業費積算

(a) Biabo 川流域

Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Biabo 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.28 Biabo 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	0.00	0.45	1.95	8.02	21.28	33.53	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.00	0.01	0.06	0.26	0.69	1.08	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	0.00	0.46	2.02	8.27	21.96	34.61	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

Alternative-2：遊水地による治水を主とする概略事業費

Biabo 川流域の遊水地を主とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.29 Biabo 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
遊水地工事総事業費	0	0	335.36	335.36	335.36	335.36	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0	0	10.82	10.82	10.82	10.82	直接工事費の 6%
家屋移転費							
河川工事総事業費	0	0.45	0.45	1.95	8.02	21.28	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0	0.01	0.01	0.06	0.26	0.28	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	0	0.46	346.64	348.19	354.45	368.14	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

洗掘対策概略事業費

上記の算定事業費には、第 9 章に示した 1 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.30 Biabo 川における 1 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	0.281

出典：調査団

(b) Locumba 川流域

Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Locumba 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.31 Locumba 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	0.00	0.00	0.32	0.68	1.59	3.48	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.11	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	0.00	0.00	0.33	0.70	1.64	3.60	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

Alternative-2：堤防以外の治水対策を考慮した概略事業費

遊水地の候補地がないため、考慮しない。

洗掘対策事業費

上記の算定事業費には、第 9 章に示した 6 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.32 Locumba 川における 6 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	1.688

出典：調査団

(c) Chancay-Lambayeque 川流域

Alternative-1：堤防を主体とする事業費

Chancay-Lambayeque 川流域の堤防を主体とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.33 Chancay-Lambayeque 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	3.61	15.17	34.73	68.74	95.08	144.69	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.12	0.49	1.12	2.22	3.07	4.67	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	3.73	15.66	35.85	70.96	98.14	149.36	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

Alternative-2：遊水地による治水を主とする概略事業費

Chancay-Lambayeque 川流域の堤防と上流に遊水地を建設する案の洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.34 Chancay-Lambayeque 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
遊水地工事総事業費	29.50	48.97	48.97	48.97	48.97	48.97	22MMC を確保。
土地取得費	30.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	必要面積×S/.10
家屋移転費							

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	3.61	4.27	16.20	36.53	70.32	95.54	河川工事に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.12	0.14	0.52	1.18	2.27	3.08	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	63.22	88.38	100.69	121.68	156.56	182.59	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

洗掘対策概略事業費

上記の算定事業費には、第 9 章に示した 8 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.35 Chancay-Lambayeque 川における 8 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	2.251

出典：調査団

(d) Nanay 川流域

Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Nanay 川流域の堤防を主体とする概略事業費は以下のように積算された。

表 10.4.36 Nanay 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	38.15	51.55	59.09	75.68	95.35	103.46	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	1.23	1.66	1.91	2.44	3.08	3.34	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	39.38	53.21	61.00	78.12	98.43	106.80	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

Alternative-2：洪水常襲地区に居住する住民を移転する概略事業費

Nanay 川の洪水常襲地区に居住する住民を、河川改修を行わずに移転させる概略事業費は以下のよう

表 10.4.37 Nanay 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
土地取得費	131.81	137.2	211.19	244.02	346.71	376.67	1 世帯当たり S/70,000 の移転補償費として積算
家屋移転費							
総事業費	131.81	137.2	211.19	244.02	346.71	376.67	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

(e) Ramis 川流域

Alternative-1：堤防を主体とする概略事業費

Ramis 川流域の堤防を主体とする概略事業費は以下のように積算された。

表 10.4.38 Ramis 川 Alternative-1 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
河川工事総事業費	26.95	105.00	140.44	173.43	212.85	258.99	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.87	3.39	4.53	5.59	6.87	8.35	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	27.82	108.38	144.97	179.02	219.72	267.35	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

Alternative-2：遊水地による治水を主とする概略事業費

Ramis 川流域の遊水地を主とする概略洪水対策案費は以下のように積算された。

表 10.4.39 Ramis 川 Alternative-2 の概略事業費

項目	概略事業費 (S/. million)						備考
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr	
遊水地工事総事業費	0	0	571.18	571.18	571.18	571.18	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0	0	18.43	18.43	18.43	18.43	直接工事費の 6%
家屋移転費							
河川工事総事業費	26.95	105.00	105.00	140.44	173.43	212.85	事業に係る全ての費目を含む
土地取得費	0.87	3.39	3.39	4.53	5.59	6.86	直接工事費の 6%
家屋移転費							
総事業費	27.82	108.38	697.98	734.57	768.62	809.32	

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

出典：調査団（添付資料 8-3 参照）

洗掘対策概略事業費

上記の算定事業費には、第 9 章に示した 10 箇所の洗掘対策は含めていないため、上記の表に加えて別途以下の概略事業費を考慮する。

表 10.4.40 Ramis 川における 10 箇所の洗掘対策に必要な概略事業費

事業開始	便益 (S/. 百万)
1 年目	2.814

出典：調査団

10.5 洪水対策案の経済評価

各選定流域において提案された洪水対策案の経済評価算定の詳細は添付資料 8-4 に示す。以下には結果の概要を纏めて示す。

10.5.1 各選定流域の算定された社会的内部収益率(TIRS)、純経済価値(VANS)及び費用便益比(B/C)

本調査における各選定流域の年平均被害額及び概略事業費に基づく、各事業経済指標は以下に示す結果を得た。

表 10.5.1 各流域の TIRS、VANS 及び B/C

類 型	流域	Alternative	Index *1	洪水対策規模					
				2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
優先	Piura-Chira	1	TIRS	53%	38%	23%	21%	17%	11%
			VANS	51M	66M	62M	72M	78M	15M
			B/C	6.5	3.7	2.0	1.8	1.6	1.1
		2	TIRS	48%	-11%	1%	3%	4%	3%
			VANS	50M	-408M	-111M	-100M	-99M	-120M
			B/C	5.6	0.2	0.5	0.6	0.6	0.6
	Rimac	1	TIRS	43%	43%	44%	42%	40%	40%
			VANS	35M	36M	36M	36M	35M	35M
			B/C	5.9	5.8	5.8	5.5	5.1	4.9
	Ica	1	TIRS	54%	158%	230%	92%	57%	21%
			VANS	33M	71M	97M	116M	117M	65M
			B/C	7.2	14.5	18.1	7.6	4.7	1.7
		2	TIRS	54%	158%	22%	29%	27%	25%
			VANS	33M	71M	48M	77M	81M	78M
			B/C	7.2	14.5	1.9	2.4	2.2	2.0
	Mantaro	1	TIRS	21%	18%	20%	19%	19%	13%
			VANS	30M	32M	42M	42M	42M	16M
			B/C	1.9	1.6	1.7	1.7	1.6	1.2
		2	TIRS	21%	18%	13%	14%	14%	12%
			VANS	30M	32M	17M	23M	22M	15M
			B/C	1.9	1.6	1.2	1.3	1.3	1.2
	Huallaga	1	TIRS	37%	54%	56%	53%	52%	50%
			VANS	355M	809M	1,023M	1,013M	1,035M	962M
			B/C	1.5	4.7	4.8	4.8	4.7	4.6
		2	TIRS	37%	54%	24%	26%	25%	25%
			VANS	355M	809M	402M	448M	430M	438M
			B/C	1.5	4.7	2.2	2.4	2.4	2.3
	Urubamba	1	TIRS	99%	193%	33%	17%	13%	12%
			VANS	76M	125M	116M	77M	47M	25M
			B/C	9.4	14.9	2.6	1.5	1.2	1.1
		2	TIRS	99%	193%	23%	22%	14%	11%
			VANS	76M	125M	87M	109M	50M	10M
			B/C	9.4	14.9	1.9	1.8	1.3	1.0
類 型	流域	Alternative	Index *1	洪水対策規模					
				2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
類型 1	Biabo	1	TIRS	50%	40%	19%	0%	-11%	-16%
			VANS	1M	2M	1M	-3M	-12M	-20M
			B/C	7.0	4.0	1.6	0.5	0.2	0.1
		2	TIRS	50%	40%	コストが大きく 便益が小さく算定できず			
			VANS	1M	2M				
			B/C	7.0	4.0				
類型 2	Locumba	1	TIRS	50%	50%	50%	44%	38%	30%
			VANS	12M	12M	12M	11M	11M	9M
			B/C	7.0	7.0	6.3	5.6	4.5	3.1
類型 3	Chancay-Lambayeque	1	TIRS	41%	32%	21%	14%	10%	6%
			VANS	15M	23M	22M	13M	1M	-23M
			B/C	4.0	2.6	1.7	1.3	1.0	0.8
		2	TIRS	-4%	0%	5%	6%	5%	4%
			VANS	-35M	-35M	-20M	-18M	-27M	-38M
			B/C	0.4	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7
類型 4	Piura-Chira	上表を参照							
類型 5	Rimac	上表を参照							
	Ica	上表を参照							

類 型	流域	Alternative	Index *1	洪水対策規模					
				2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
類型 6	Mantaro	上表を参照							
類型 7	Huallaga	上表を参照							
類型 8	Nanay	1	TIRS	61%	107%	124%	116%	99%	95%
			VANS	91M	236M	317M	366M	383M	396M
			B/C	4.5	7.7	8.8	8.4	7.2	6.9
		2	TIRS	16%	40%	35%	36%	27%	26%
			VANS	30M	171M	199M	232M	196M	190M
			B/C	1.4	3.0	2.7	2.8	2.2	2.1
類型 9	Urubamba	上表を参照							
類型 10	Ramis	1	TIRS	24%	14%	13%	12%	10%	8%
			VANS	22M	16M	18M	15M	3M	-19M
			B/C	2.0	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9
		2	TIRS	24%	14%	-3%	-2%	-2%	-2%
			VANS	22M	16M	-159M	-155M	-156M	-160M
			B/C	2.0	1.2	0.4	0.4	0.4	0.4

注記：*1: TIRS: 社会的内部収益率、VANS: 純経済価値、B/C: 費用便益比

出典：調査団（添付資料 8-4 参照）

10.5.2 洗掘対策の社会的内部収益率（TIRS）、純経済価値（VANS）及び費用便益比（B/C）

上述した表 10.5.1 に示されるように、洪水の浸水対策のための洪水対策案は、流域が持つ資産、水文状況及び「どの区間をどこまで守るか？」により大きく変化する。

上記の洪水対策案評価は、浸水対策のみではなく、洗掘対策も洪水対策案の 1 つであるとして、その効果も含めた。表 10.5.1 に示すように、例えば Locumba 川においては、洪水を守る対策は少なく、洗掘対策によって経済性が高く評価されている。一方、Piura 川及び Chancay-Lambayeque 川においては、氾濫シミュレーションの結果に基づき、氾濫が大きく広がる部分を洪水対策案の Target 区間として概略事業費を算出したため、治水効果が少ない部分も評価したため他の流域より若干経済性が低い結果となっている。

10.6 本調査で算定された洪水対策における概略事業費・便益について

10.5 節の表 10.5.1 に示す治水対策の経済性評価結果を見ると分かるように、概略検討された洪水対策案の概算事業費、便益及び経済性評価は、各検討対象流域によって特質や傾向が存在することが分かり、同じ流域でも洪水対策案の内容によっても変化する事が分かる。

例えば、河道沿いの多くが農地や湿地を流下し、人口・資産の集中地区が点在するような河川では河道改修（堤防の建設・河道の拡幅）を中心とした洪水対策案が経済的には有利になり、一方、河道沿いの多くが稠密な資産集中地域となっている流域では上流域における洪水調節施設を対策案とする方が経済的に有利になる場合もある。また、河道改修に必要な用地確保に多大な時間を要する場合で且つ上流域で容易に洪水調節施設が設置できる場合には、治水効果の早期発現が流域全体に波及することから、やはり上流域における洪水調節施設を対策案とする方が有利になる場合もある。

10.7 洪水対策案の工程計画の策定

前節 10.6 で提案した本調査における各対象流域の最適な洪水対策案は、各流域の本川を中心とした全洪水被害リスク地域の被害軽減策であり、10.4.2 項に示しているように各流域の状況に合わせその事業総額は、例えば 50 年確率洪水対応の場合、それぞれ約 5/4 百万～835 百万とその差が大きい。これらの事業を同じプログラム・事業で実施することは難しいと考えられる。それぞれに適切な資金源及び制度での実施が望ましい。これらの事業の工程案は、13 章の 13.1 節で資金源の提案とともに提案する。

10.8 環境社会影響調査の結果

本調査において非常に概略的な内容ではあるものの、提案された事業を実施した場合の環境社会面における影響調査を実施した。その結果として、本調査で提案された事業のいくつかは社会環境への影響を及ぼす可能性があるとし唆されたため、今後具体的に事業実施を進める場合にはより詳細な環境影響（社会配慮）調査の実施が望まれる。本調査において実施された環境社会影響調査の結果を以下に示す。

本調査で提案された洪水対策案は、次の 3 つのセクターに便益をもたらすことが示唆された。すなわち、A) 河川沿いの住民、B) 公共サービス 及び C) 農業 である。A) に関しては、洪水によってもたらされる被害や損失を抑制することにより、河川沿いの住民の生活の質や経済状況が大きく改善することが期待される。B) に関しては、健康サービスを継続的に提供できることによって、サービスの受益者にとっての直接的な便益となる。C) については、農作物の継続的な生産を確保することによって、住民の生活環境、経済状況の維持または向上が期待される。

一方、本調査で提案された事業の実施により、環境社会面に対するいくつかの負の影響が示唆されるが、適切な緩和策を取ることで影響を最小化することができる。この観点から、特に遊水地の建設及び河道の拡張に当たっては、用地に対する大規模な土地収用や住民移転を伴うため細心の注意を払う必要がある。

第 11 章 モデル流域をベースとした 159 流域の総概略事業費の算定

11.1 検討方針

本業務では、ペルー全国の 159 流域を対象として、各流域の社会・経済特性及び自然特性をもとに 10 の類型に分類（第 4 章参照）し、各類型で必要とされる洪水対策の事業内容、概略事業費を 10 章で検討した。下表に各類型を代表するモデル流域、類型の特徴、想定される対策上の留意点、ならびに流域数を改めて示す。

表 11.1.1 モデル流域の選定結果と特徴

類 型	特 徴	想定される対策上の留意点 (第 7 章及び 10 章参照)	流域 数	モデル流域（案）
類型 1	人口は少なく、PBI per capita も小さい。	防御対象が限定的であり、便益・費用は相対的に小さいと想定される。	57	Biabo
類型 2	人口は少ないが、PBI per capita は多い。主に二次産業で構成される。	類型 1 同様、防御対象は限定的となる。重要地区の拠点防御の他、交通網や生産拠点の防御も重要となる。	30	Locumba
類型 3	Pacifico 流域。人口が多く、PBI per capita が小さい。急地形で少雨。	地形特性上、土砂災害対策への配慮も必要と想定される。事業の優先順位付けが今後必要となる。	7	Chancay-Lambayeque
類型 4	Pacifico 流域。人口が多く、PBI per capita が小さい。緩地形で少雨。三次産業で構成される。	日本の一般的な総合治水対策の適用が想定される。中心都市の高い治水安全度の確保が重要となる。事業の優先順位付けが今後必要となる。	3	Piura-Chira*
類型 5	Pacifico 流域。人口が多く、PBI per capita も大きい。急地形で少雨。	高い治水安全度を確保する場合、河道拡幅及び堤防建設等が想定されるため、家屋移転への配慮が必要。	24	Rimac*
				Ica*
類型 6	Amazon 流域。人口が多く、PBI per capita が小さい、急地形で少雨。	地形特性上、土砂災害対策への配慮も必要と想定される。	9	Mantaro*
類型 7	Amazon 流域。人口が多く、PBI per capita が小さい、急地形で多雨。	洪水対策のみならず土砂災害への対応が重要と想定される。施設規模・その事業費が大きくなっている。	8	Huallaga*
類型 8	Amazon 流域。人口が多く、PBI per capita が小さい。緩地形で多雨。土砂災害は少ない。	輪中堤等、流域の遊水機能を活用した対策が想定される。	7	Nanay
類型 9	Amazon 流域。人口が多く、PBI per capita も大きい。Andes 沿いの急地形が主。二次産業で構成される。	洪水対策のみならず土砂災害への対応が必要。交通網や生産拠点の防御も重要となる。	4	Urubamba*
類型 10	Titicaca 流域。人口が多く、PBI per capita が小さい。急地形で雨が少ない。一次産業で構成される。	重要地区の拠点防御や流域の遊水機能を活用した対策が想定される。	6	Ramis**

* : 優先対策流域案 ** : ANA による推薦流域

本章では、各類型に属する流域数を考慮して、各類型の資金需要総額を算出する。

11.2 算定手法

モデル流域で算出された総便益、概略総事業費より、各類型に含まれる流域について、総便益、概

略総事業費を推定する。前章までの検討フローも含めて、各類型の資金需要総額を算出のためのフローを以下に図 11.2.1 として示す。

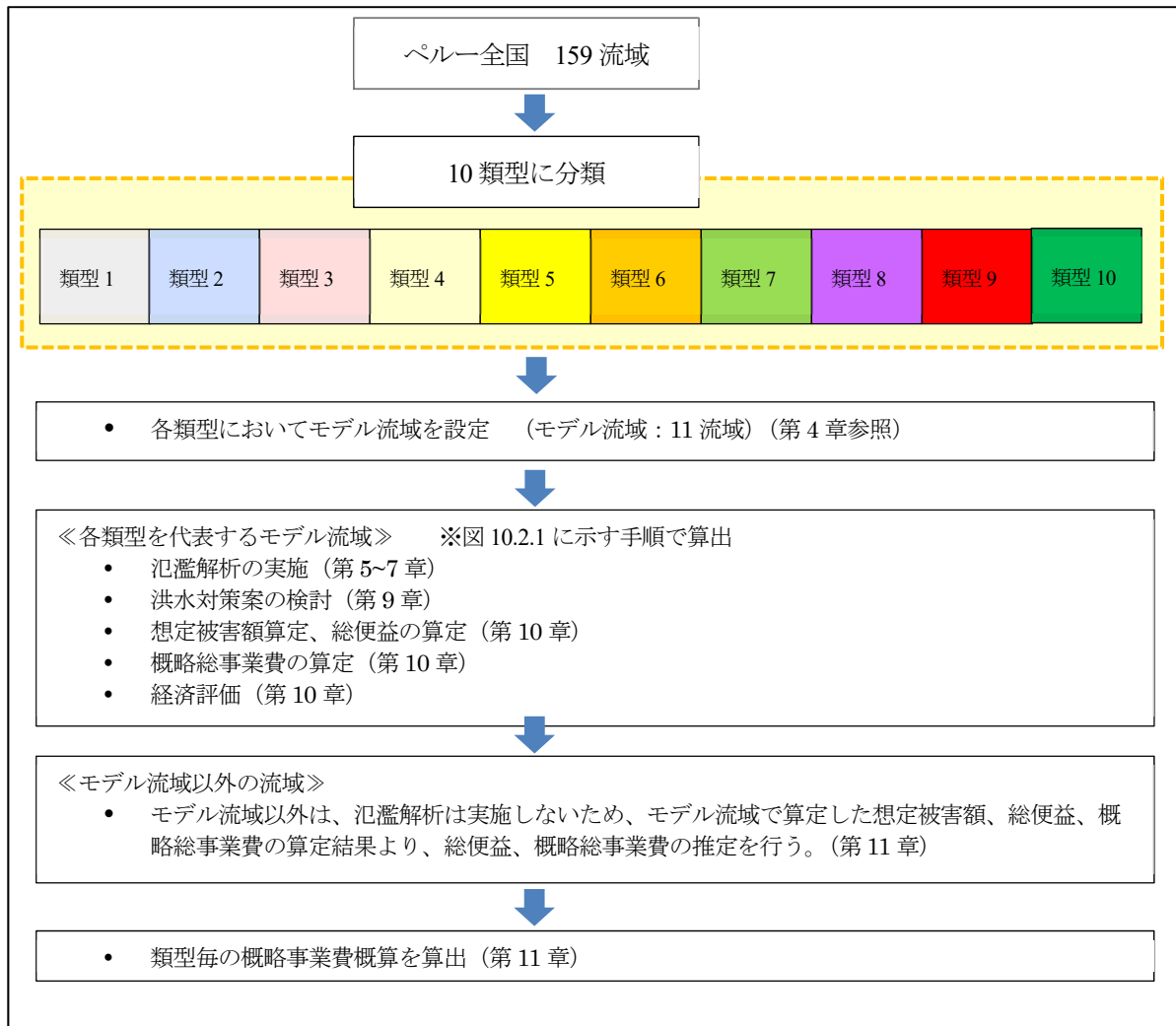


図 11.2.1 類型毎の概略事業費概算の算出までの実施手順

11.2.1 算定における前提条件

モデル流域以外を含めた各類型全体の資金需要総想定額は、

『類型分類する際、社会特性及び自然特性（河川勾配、年総雨量）を考慮しているため、類型内の洪水対策メニュー及び構成は基本的流域指標の比率に基づく同等（同種の対策が同規模程度）の対策メニューが必要』

と仮定して算出する。基本的流域指標は複数設定し、最も適切と想定される指標に基づき、159 流域の想定治水概略事業費を算定する。また、基本となるモデル流域の概略事業費は各モデルとも Alternative-1（河道改修による洪水対策案）を基本値とした。

11.2.2 基本的流域指標（パラメータ）の選定

上述したように、各流域における総便益、概略総事業費を検討するため、類型のための指標項目をパラメータと設定し、モデル流域の被害額と概略事業費を用いて他の各流域の数値を算定する。本調

査では以下を検討のためのパラメータとして設定した。

表 11.2.1 各流域における総便益、概略総事業費を検討するためのパラメータ

No.	パラメータ	関連する項目	パラメータとしての選定理由
1	流域面積	- 総便益 - 総事業費	- 想定される氾濫面積（浸水エリア）と流域面積にある程度の相関があると想定。 - 類型化の際、自然特性による分類（河川勾配、年総雨量）を考慮。
2	河川延長	- 総便益 - 総事業費	No.1 のパラメータ「流域面積」と同様に、流域の規模を表すパラメータである。河川延長は河川改修規模の大小に影響するものと想定。
3	人口	- 総便益 - 総事業費	- 氾濫区域内資産数量（人口）と洪水被害額には相関性がある。 - 人口と洪水対策案費にも、相関性があり、総事業費を想定するパラメータの1つである。
4	洪水・洗掘危険箇所数*1	- 総便益 - 総事業費	ANA がこれまでの洪水被害から重要となる地点を選定しており、想定される被害エリア、また洪水対策が必要なエリアであることより、想定被害額および総事業費の算定において有用なパラメータとなる。

*1; ANA が調査を実施した結果（2014~2016 年の総数を利用。）

11.2.3 各類型の総想定事業費の算出方法

前項のパラメータに対するモデル流域のパラメータ数を基本値（分母）とし、各類型の総パラメータ数を分子とした算出比率より、概略総事業費、総便益を算出する。

$$\text{算出比率 (R)} = \frac{\text{算定する類型の各パラメータ総数値}}{\text{モデル流域の値}}$$

$$\text{総便益 (B)} = \text{算出比率 (R)} \times \text{モデル流域の総便益}$$

$$\text{総事業費 (C)} = \text{算出比率 (R)} \times \text{モデル流域の総事業費}$$

11.3 総便益及び概略事業費の算定結果

(1) 各類型の概略総事業費と総便益の算定

前述したそれぞれのパラメータを適用し、各ケースによる類型ごとの総便益と概略総事業費を算定する。

(a) 類型毎の総便益

類型毎の総便益（年平均被害軽減額）を整理すると、下表のとおりとなる。

表 11.3.1 類型 1 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	0.0	0.0	0.0	0.0
5-year	5.1	2.8	2.3	3.3
10-year	8.9	4.9	3.9	5.7
25-year	11.9	6.6	5.3	7.6
50-year	13.8	7.6	6.2	8.9

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
100-year	15.4	8.5	6.9	9.9

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.2 類型 2 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	0	0	0	0
5-year	0	0	0	0
10-year	0.002	0.002	0.001	0.001
25-year	0.055	0.064	0.046	0.028
50-year	0.125	0.144	0.104	0.064
100-year	0.183	0.211	0.152	0.094

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.3 類型 3 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	6.1	5.6	4.6	7.0
5-year	21.6	19.6	16.1	24.7
10-year	33.7	30.6	25.1	38.6
25-year	47.8	43.3	35.5	54.7
50-year	54.9	49.8	40.8	62.9
100-year	59.8	54.3	44.5	68.4

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.4 類型 4 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	3.3	3.8	3.3	4.0
5-year	7.8	9.0	7.9	9.6
10-year	13.0	15.1	13.3	16.0
25-year	20.5	23.7	20.8	25.2
50-year	24.8	28.8	25.2	30.5
100-year	28.0	32.4	28.4	34.4

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.5 類型 5 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	5.7	5.0	0.7	3.5
5-year	80.6	71.1	10.5	49.0
10-year	132.9	117.2	17.3	80.8
25-year	192.9	170.3	25.1	117.4
50-year	223.3	197.1	29.1	135.9
100-year	242.7	214.2	31.6	147.7

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.6 類型 6 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	6.7	7.0	5.1	4.5
5-year	17.7	18.7	13.5	11.9
10-year	23.3	24.6	17.7	15.6
25-year	27.1	28.6	20.6	18.1
50-year	28.4	30.0	21.6	19.0
100-year	29.1	30.7	22.1	19.5

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.7 類型 7 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	161.0	155.1	120.8	150.2
5-year	394.4	379.9	295.8	368.1
10-year	507.0	488.4	380.3	473.1
25-year	591.2	569.4	443.4	551.7
50-year	624.8	601.8	468.6	583.0
100-year	643.6	619.9	482.7	600.6

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.8 類型 8 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	102.1	67.8	48.9	23.2
5-year	241.1	160.1	115.5	54.7
10-year	319.0	211.8	152.8	72.3
25-year	382.6	254.0	183.2	86.7
50-year	409.9	272.2	196.3	92.9
100-year	427.2	283.6	204.6	96.9

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.9 類型 9 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	12.5	13.7	11.0	13.2
5-year	26.7	29.2	23.4	28.2
10-year	43.3	47.4	38.0	45.6
25-year	67.3	73.7	59.1	71.0
50-year	78.8	86.2	69.1	83.0
100-year	85.9	94.0	75.4	90.6

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

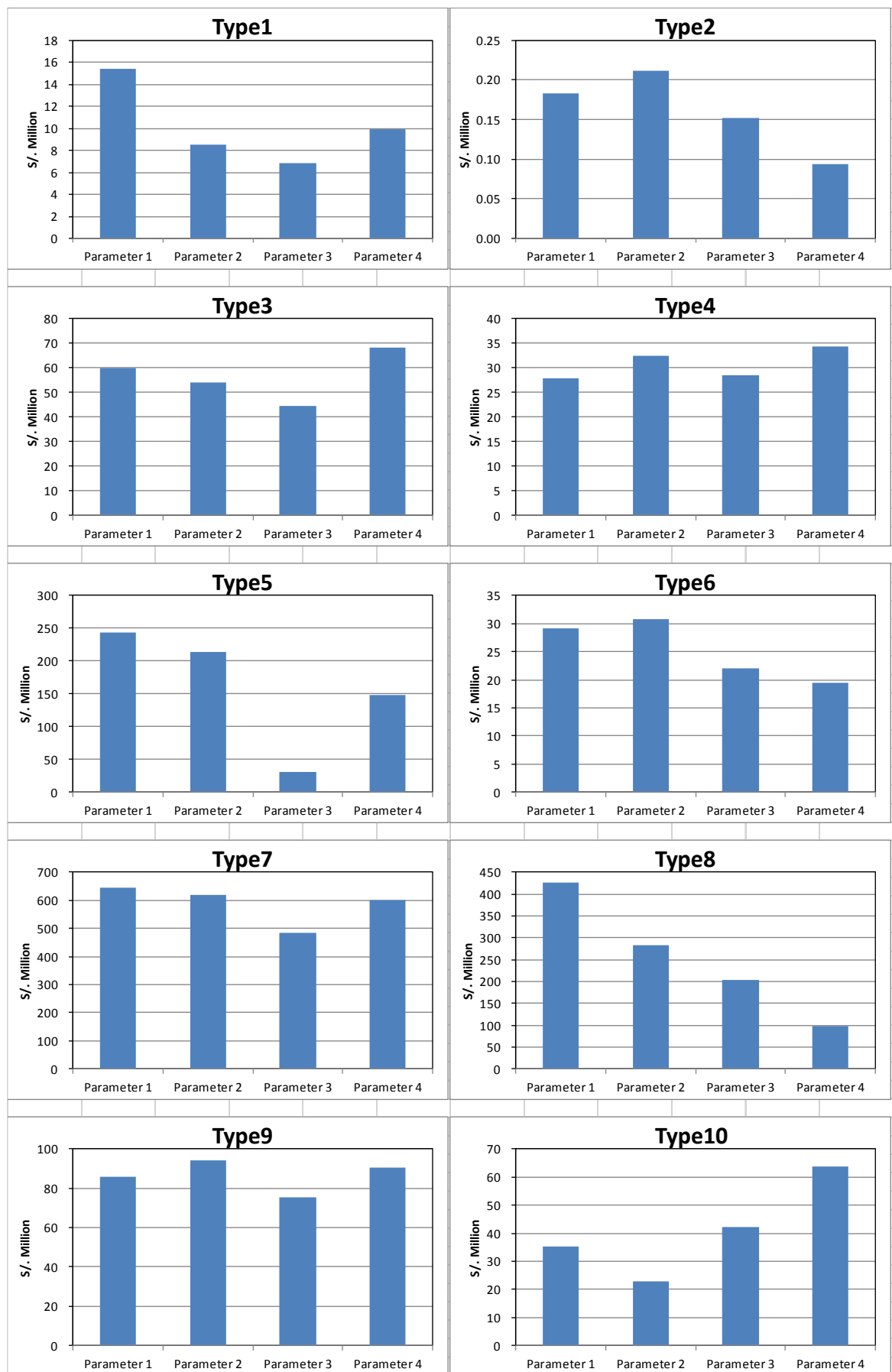
表 11.3.10 類型 10 の総便益（年平均被害軽減額）

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	6.8	4.4	8.1	12.2
5-year	20.3	13.2	24.2	36.5
10-year	27.5	17.9	32.8	49.3
25-year	32.3	21.0	38.5	58.0
50-year	34.2	22.3	40.8	61.4
100-year	35.4	23.1	42.3	63.7

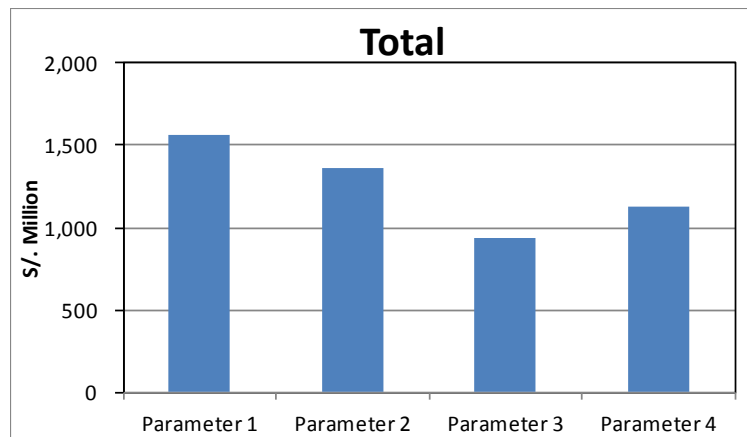
ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

また各類型の 100 年確率規模の事業実施時における総便益（年平均被害軽減額）は下記のように図
化できる。



ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

図 11.3.1 類型毎の 100 年確率洪水規模事業の総便益（年平均被害軽減額）



ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

図 11.3.2 159 流域の 100 年確率洪水規模事業の総便益（年平均被害軽減額）

表 11.3.11 類型毎の総便益（年平均被害軽減額）のまとめ（パラメータ 1）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	0.0	5.1	8.9	11.9	13.8	15.4
2	Locumba	0.0	0.0	18.2	18.3	18.4	18.4
3	Chancay-Lambayeque	6.1	21.6	33.7	47.8	54.9	59.8
4	Piura & Chira	3.3	7.8	13.0	20.5	24.8	28.0
5	Rimac & Ica	5.7	80.6	132.9	192.9	223.3	242.7
6	Mantaro	6.7	17.7	23.3	27.1	28.4	29.1
7	Huallaga	161.0	394.4	507.0	591.2	624.8	643.6
8	Nanay	102.1	241.1	319.0	382.6	409.9	427.2
9	Urubamba	12.5	26.7	43.3	67.3	78.8	85.9
10	Ramis	6.8	20.3	27.5	32.3	34.2	35.4
Total		304.2	815.4	1,126.8	1,391.9	1,511.3	1,585.6

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.12 類型毎の総便益（年平均被害軽減額）のまとめ（パラメータ 2）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	0.0	2.8	4.9	6.6	7.6	8.5
2	Locumba	0.0	0.0	21.0	21.1	21.2	21.2
3	Chancay-Lambayeque	5.6	19.6	30.6	43.3	49.8	54.3
4	Piura & Chira	3.8	9.0	15.1	23.7	28.8	32.4
5	Rimac & Ica	5.0	71.1	117.2	170.3	197.1	214.2
6	Mantaro	7.0	18.7	24.6	28.6	30.0	30.7
7	Huallaga	155.1	379.9	488.4	569.4	601.8	619.9
8	Nanay	67.8	160.1	211.8	254.0	272.2	283.6
9	Urubamba	13.7	29.2	47.4	73.7	86.2	94.0
10	Ramis	4.4	13.2	17.9	21.0	22.3	23.1
Total		262.4	703.8	978.9	1,211.7	1,316.8	1,382.0

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.13 類型毎の総便益（年平均被害軽減額）のまとめ（パラメータ 3）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	0.0	2.3	3.9	5.3	6.2	6.9
2	Locumba	0.0	0.0	15.2	15.2	15.3	15.3
3	Chancay-Lambayeque	4.6	16.1	25.1	35.5	40.8	44.5
4	Piura & Chira	3.3	7.9	13.3	20.8	25.2	28.4
5	Rimac & Ica	0.7	10.5	17.3	25.1	29.1	31.6
6	Mantaro	5.1	13.5	17.7	20.6	21.6	22.1
7	Huallaga	120.8	295.8	380.3	443.4	468.6	482.7
8	Nanay	48.9	115.5	152.8	183.2	196.3	204.6
9	Urubamba	11.0	23.4	38.0	59.1	69.1	75.4
10	Ramis	8.1	24.2	32.8	38.5	40.8	42.3
Total		202.4	509.2	696.2	846.8	912.9	953.7

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

表 11.3.14 類型毎の総便益（年平均被害軽減額）のまとめ（パラメータ 4）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	0.0	3.3	5.7	7.6	8.9	9.9
2	Locumba	0.0	0.0	9.4	9.4	9.4	9.5
3	Chancay-Lambayeque	7.0	24.7	38.6	54.7	62.9	68.4
4	Piura & Chira	4.0	9.6	16.0	25.2	30.5	34.4
5	Rimac & Ica	3.5	49.0	80.8	117.4	135.9	147.7
6	Mantaro	4.5	11.9	15.6	18.1	19.0	19.5
7	Huallaga	150.2	368.1	473.1	551.7	583.0	600.6
8	Nanay	23.2	54.7	72.3	86.7	92.9	96.9
9	Urubamba	13.2	28.2	45.6	71.0	83.0	90.6
10	Ramis	12.2	36.5	49.3	58.0	61.4	63.7
Total		217.8	585.9	806.5	999.8	1,087.0	1,141.1

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事は含めていない。

(b) 類型毎の概略総事業費

Alternative-1 実施時の類型毎の総事業費を整理すると、下表のとおりとなる。

表 11.3.15 類型 1 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	0	0	0	0
5-year	22	12	10	14
10-year	96	53	43	61
25-year	393	217	175	252
50-year	1,043	575	464	669
100-year	1,644	906	732	1,055

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.16 類型 2 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	0	0	0	0
5-year	0	0	0	0
10-year	5	6	4	3
25-year	11	13	9	6
50-year	26	30	21	13
100-year	56	65	47	29

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.17 類型 3 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	18	17	14	21
5-year	77	69	57	88
10-year	175	159	130	201
25-year	347	315	258	397
50-year	480	435	357	549
100-year	730	662	543	836

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.18 類型 4 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	1	1	1	2
5-year	19	22	20	24
10-year	65	75	66	80
25-year	114	132	116	140
50-year	178	207	181	219
100-year	337	390	343	414

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.19 類型 5 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	13	11	2	8
5-year	19	17	2	11
10-year	25	22	3	15
25-year	219	193	28	133
50-year	460	406	60	280
100-year	1,539	1,358	200	936

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.20 類型 6 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	104	110	79	70
5-year	205	217	156	137
10-year	208	220	158	139
25-year	222	235	169	149
50-year	263	278	200	177
100-year	342	361	260	229

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.21 類型 7 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	539	519	404	503
5-year	840	809	630	784
10-year	1,038	999	778	968
25-year	1,280	1,232	960	1,194
50-year	1,386	1,335	1,039	1,293
100-year	1,502	1,447	1,127	1,402

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.22 類型 8 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	191	127	91	43
5-year	258	171	123	58
10-year	295	196	141	67
25-year	378	251	181	86
50-year	477	316	228	108
100-year	517	343	248	117

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.23 類型 9 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案規模 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	7	8	6	7
5-year	7	8	6	7
10-year	166	182	146	175
25-year	514	563	451	542
50-year	770	842	675	811
100-year	935	1,022	820	985

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

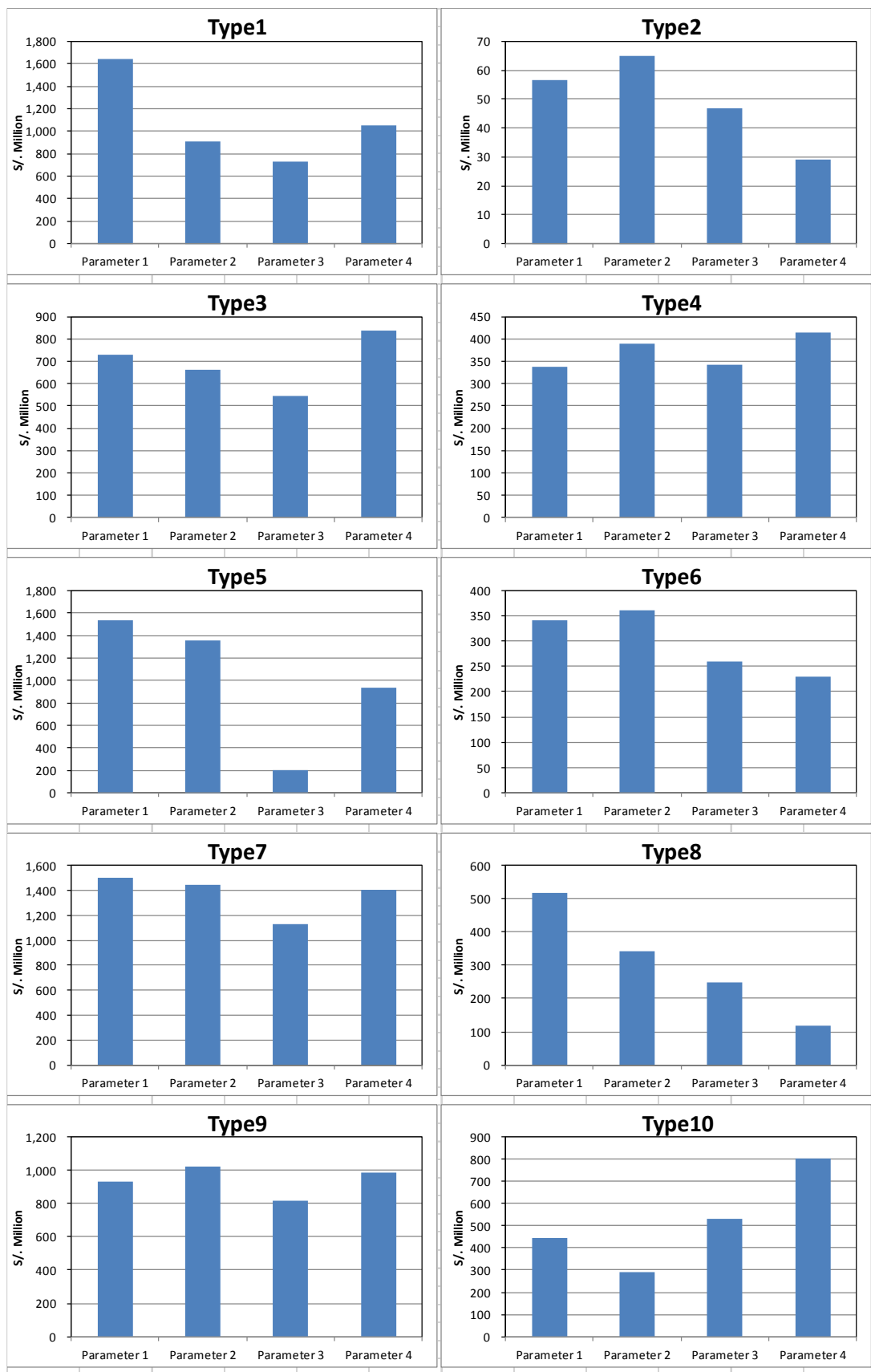
表 11.3.24 類型 10 の概略総事業費 (Alternative-1 実施時)

Unit: S/. Million

洪水対策案 (Return Period)	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
2-year	46	30	55	83
5-year	181	118	216	325
10-year	242	158	289	435
25-year	299	195	357	537
50-year	367	239	438	659
100-year	446	291	533	802

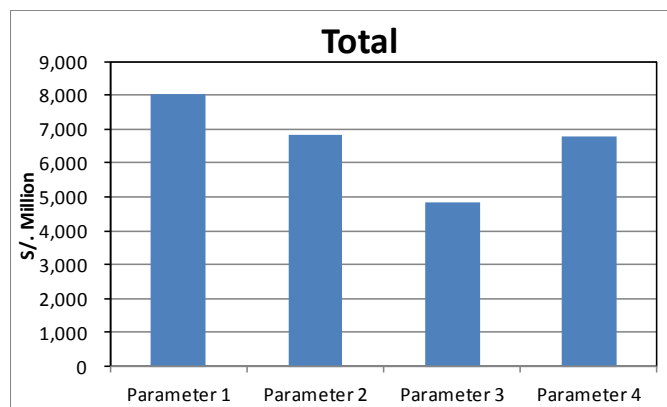
ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

また各類型の 100 年確率規模の事業実施時における概略総事業費は下記のように図化できる。



ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

図 11.3.3 類型毎の 100 年確率洪水規模事業の概略総事業費



ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

図 11.3.4 159 流域の 100 年確率洪水規模事業の概略総事業費

表 11.3.25 類型毎の概略総事業費のまとめ（パラメータ 1）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	0	21.9	95.8	393.0	1,043.3	1,644.1
2	Locumba	0	0	5.2	11.0	25.7	56.5
3	Chancay-Lambayeque	18.2	76.6	175.3	347.0	480.0	730.5
4	Piura & Chira	1.3	19.4	65.0	114.1	178.4	336.9
5	Rimac & Ica	12.8	18.8	25.4	218.8	460.3	1,538.8
6	Mantaro	104.5	205.1	208.2	222.2	263.4	341.9
7	Huallaga	539.0	839.9	1,037.7	1,279.6	1,385.7	1,502.3
8	Nanay	190.7	257.7	295.4	378.3	476.6	517.2
9	Urubamba	6.9	6.9	166.0	514.4	769.6	934.6
10	Ramis	46.4	180.9	242.0	298.8	366.8	446.3
Total		919.8	1,627.2	2,315.9	3,777.2	5,449.9	8,049.1

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.26 類型毎の概略総事業費のまとめ（パラメータ 2）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	0	12.1	52.8	216.6	575.0	906.1
2	Locumba	0	0	36.1	45.9	71.9	113.3
3	Chancay-Lambayeque	16.5	69.5	159.0	314.7	435.3	662.5
4	Piura & Chira	1.5	22.5	75.3	132.1	206.6	390.3
5	Rimac & Ica	11.3	16.6	22.4	193.1	406.2	1,358.0
6	Mantaro	110.3	216.5	219.8	234.6	278.2	361.0
7	Huallaga	519.1	809.0	999.5	1,232.5	1,334.8	1,447.1
8	Nanay	126.6	171.1	196.1	251.2	316.5	343.4
9	Urubamba	7.5	7.5	181.6	562.8	842.0	1,022.5
10	Ramis	30.2	117.8	157.5	194.5	238.8	290.5
Total		823.1	1,442.6	2,100.2	3,378.0	4,705.3	6,894.7

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.27 類型毎の概略総事業費のまとめ（パラメータ 3）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	0	9.8	42.6	174.9	464.4	731.8
2	Locumba	0	0	26.1	33.2	51.9	81.8
3	Chancay-Lambayeque	13.5	56.9	130.3	257.9	356.7	542.8
4	Piura & Chira	1.3	19.7	66.1	116.0	181.4	342.6
5	Rimac & Ica	1.7	2.4	3.3	28.5	59.9	200.3
6	Mantaro	79.4	155.8	158.1	168.8	200.1	259.8
7	Huallaga	404.2	630.0	778.3	959.7	1,039.3	1,126.8
8	Nanay	91.3	123.4	141.5	181.2	228.3	247.7
9	Urubamba	6.0	6.0	145.6	451.1	674.9	819.5
10	Ramis	55.5	216.1	289.0	356.9	438.0	533.0
Total		652.9	1,220.1	1,780.9	2,728.0	3,694.9	4,886.1

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

表 11.3.28 類型毎の概略総事業費のまとめ（パラメータ 4）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	0	14.1	61.4	252.1	669.2	1,054.6
2	Locumba	0	0	16.1	20.4	32.0	50.5
3	Chancay-Lambayeque	20.9	87.7	200.6	397.1	549.2	835.8
4	Piura & Chira	1.6	23.9	79.9	140.3	219.4	414.3
5	Rimac & Ica	7.8	11.4	15.4	133.1	280.1	936.4
6	Mantaro	70.0	137.4	139.5	148.9	176.5	229.1
7	Huallaga	502.9	783.8	968.3	1,194.0	1,293.1	1,401.9
8	Nanay	43.2	58.4	67.0	85.8	108.1	117.3
9	Urubamba	7.2	7.2	175.0	542.1	811.1	984.9
10	Ramis	83.4	325.1	434.9	537.0	659.1	802.0
Total		737.1	1,449.0	2,158.1	3,450.8	4,797.7	6,826.6

ANA が指定する「洪水・洗掘危険箇所」における護岸対策工事費は含めていない。

(2) 類型ごとの経済評価

前項で示した類型毎の総便益、概略総事業費に基づき、経済評価を実施する。評価指標は CME25 で規定されている下記の 3 つの評価指標を用いる。ここで社会的割引率は 10%とする。

表 11.3.29 評価指標定義式と指標の特徴

評価指標	定義式	指標の特徴
純現在価値 (VANS)	$VANS = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$	● 事業実施による純便益の大きさを比較できる。 ● 社会的割引率によって値が変化する。
社会的内部収益率 (TIRS)	$\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+R)^i} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+R)^i}$	● 単位投資額当りの便益の大きさにより事業の投資効率性を比較できる。 ● 社会的割引率によって値が変化する。
費用便益費 (B/C)	$B/C = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} / \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$	● 社会的割引率と比較する。

ここに；

B_i: 第 i 年目の便益、 C_i: 第 i 年目の費用、 r: 社会的割引率、 n: 評価年数
R: 内部収益率

また、概略総事業費と総便益は同じパラメータに基づく算出のみではなく、

- 概略事業費と便益はそれぞれ違うパラメータに最も適切な相関がある可能性がある、ことも考慮し、以下の 8 つのケースで検討する。

表 11.3.30 類型毎の概略事業費および想定被害額算定のパラメータ

ケース	総便益(B)	総事業費(C)
Case-1	①流域面積	①流域面積
Case -2	②河川延長	②河川延長
Case -3	③人口	③人口
Case -4	④洪水・洗掘危険箇所数	④洪水・洗掘危険箇所数
Case -5	①流域面積	②河川延長
Case -6	①流域面積	③人口
Case -7	①流域面積	④洪水・洗掘危険箇所数
Case -8	③人口	①流域面積

経済評価の結果は下表のとおりとなる。

表 11.3.31 類型毎の概略総事業費のまとめ (Case-1)

Case-1：便益パラメータ、概略事業費パラメータとともに「流域面積」とした場合

Type	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	TIRS	51%	35%	14%	-1%	-12%	-
		VANS	61M	80M	36M	-220M	-674M	-
		B/C	8.6	3.7	1.4	0.4	0.2	0.1
2	Locumba	TIRS	51%	51%	44%	39%	30%	21%
		VANS	146M	146M	141M	135M	121M	91M
		B/C	8.6	8.6	6.8	5.5	3.7	2.2
3	Chancay-Lambayeque	TIRS	33%	27%	17%	11%	8%	3%
		VANS	29M	89M	84M	18M	-57M	-241M
		B/C	2.6	2.2	1.5	1.1	0.9	0.6
4	Piura-Chira	TIRS	257%	39%	18%	16%	11%	3%
		VANS	24M	40M	35M	43M	13M	-115M
		B/C	19.9	3.1	1.5	1.4	1.1	0.6
5	Rimac, Ica	TIRS	50%	128%	188%	74%	48%	20%
		VANS	652M	1,216M	1,607M	1,803M	1,728M	773M
		B/C	7.7	12.8	15.7	7.2	4.5	1.6
6	Mantaro	TIRS	0%	4%	8%	9%	7%	4%
		VANS	-52M	-65M	-28M	-14M	-43M	-112M
		B/C	0.5	0.7	0.9	0.9	0.8	0.7
7	Huellaga	TIRS	29%	46%	48%	45%	44%	42%
		VANS	612M	1716M	2114M	2273M	2377M	2256M
		B/C	2.3	3.5	3.6	3.4	3.3	3.1
8	Nanay	TIRS	53%	93%	107%	100%	85%	82%
		VANS	589M	1492M	2016M	2396M	2361M	2442M
		B/C	4.1	7.2	8.3	7.7	6.5	6.3
9	Urubamba	TIRS	181%	388%	25%	10%	6%	4%
		VANS	88M	197M	166M	-3M	-152M	-242M
		B/C	14.1	30.0	2.0	1.0	0.8	0.7
10	Ramis	TIRS	12%	8%	8%	7%	5%	2%
		VANS	6M	-24M	-30M	-49M	-99M	-159M
		B/C	1.1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6
Total*		TIRS	32%	49%	47%	36%	27%	19%
		VANS	1,101M	2,885M	4,303M	3,367M	2,695M	1,613M
		B/C	2.5	3.6	4.0	2.9	2.4	1.8

表 11.3.32 類型毎の概略総事業費のまとめ (Case-2)

Case-2：便益パラメータ、概略事業費パラメータとともに「河川延長」とした場合

類型	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	TIRS	51%	38%	19%	3%	-7%	-13%
		VANS	61M	71M	47M	-94M	-401M	-628M
		B/C	8.6	4.6	1.8	0.6	0.2	0.2
2	Locumba	TIRS	51%	51%	44%	39%	30%	21%
		VANS	146M	146M	141M	135M	121M	91M
		B/C	8.6	8.6	6.8	5.5	3.7	2.2
3	Chancay-Lambayeque	TIRS	33%	27%	17%	11%	8%	3%
		VANS	26M	81M	76M	16M	-51M	-218M
		B/C	2.6	2.2	1.5	1.1	0.9	0.6
4	Piura-Chira	TIRS	257%	39%	18%	16%	11%	3%
		VANS	27M	47M	41M	50M	13M	-134M
		B/C	19.9	3.1	1.5	1.4	1.1	0.6
5	Rimac, Ica	TIRS	50%	119%	173%	75%	48%	20%
		VANS	648M	1,146M	1,491M	1,726M	1,598M	774M
		B/C	7.8	12.4	15.0	7.3	4.6	1.7
6	Mantaro	TIRS	0%	4%	8%	9%	7%	4%
		VANS	-55M	-69M	-29M	-15M	-46M	-118M
		B/C	0.5	0.7	0.9	0.9	0.8	0.7
7	Huallaga	TIRS	29%	46%	48%	45%	44%	42%
		VANS	589M	1653M	2158M	2189M	2290M	2173M
		B/C	2.3	3.5	3.6	3.4	3.3	3.1
8	Nanay	TIRS	53%	93%	107%	100%	85%	82%
		VANS	391M	1049M	1417M	1591M	1660M	1717M
		B/C	4.1	7.2	8.3	7.7	6.6	6.3
9	Urubamba	TIRS	181%	388%	25%	10%	6%	4%
		VANS	97M	215M	181M	-4M	-164M	-259M
		B/C	14.1	30.0	2.0	1.0	0.8	0.7
10	Ramis	TIRS	12%	8%	8%	7%	5%	3%
		VANS	4M	-16M	-19M	-32M	-64M	-107M
		B/C	1.1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6
Total*		TIRS	31%	48%	46%	35%	27%	19%
		VANS	925M	2,610M	3,867M	3,289M	2,712M	1,606M
		B/C	2.4	3.5	3.9	2.9	2.4	1.8

表 11.3.33 類型毎の概略総事業費のまとめ (Case-3)

Case-3：便益パラメータ、概略事業費パラメータをともに「人口」とした場合

類型	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	TIRS	51%	27%	10%	-4%	-17%	-
		VANS	61M	58M	-2M	-269M	-720	-
		B/C	8.6	2.9	1.0	0.3	0.1	0.1
2	Locumba	TIRS	51%	51%	45%	40%	32%	23%
		VANS	146M	146M	141M	137M	125M	101M
		B/C	8.6	8.6	7.1	5.9	4.1	2.5
3	Chancay-Lambayeque	TIRS	33%	27%	17%	11%	8%	3%
		VANS	21M	66M	62M	13M	-42M	-184M
		B/C	2.6	2.2	1.5	1.1	0.9	0.6
4	Piura-Chira	TIRS	257%	39%	18%	16%	11%	3%
		VANS	24M	41M	36M	44M	13M	-117M
		B/C	19.9	3.1	1.5	1.4	1.1	0.6
5	Rimac, Ica	TIRS	50%	59%	65%	58%	50%	31%
		VANS	625M	699M	750M	784M	783M	660M
		B/C	8.3	9.1	9.6	8.0	6.5	3.4
6	Mantaro	TIRS	0%	4%	8%	9%	7%	4%
		VANS	-40M	-51M	-21M	-10M	-33M	-85M
		B/C	0.5	0.7	0.9	0.9	0.8	0.7
7	Huellaga	TIRS	29%	46%	48%	45%	44%	42%
		VANS	459M	1365M	1781M	1916M	1890M	1903M
		B/C	2.3	3.5	3.7	3.4	3.3	3.2
8	Nanay	TIRS	53%	93%	107%	100%	85%	82%
		VANS	282M	757M	1022M	1215M	1197M	1238M
		B/C	4.1	7.2	8.3	7.8	6.6	6.3
9	Urubamba	TIRS	181%	388%	25%	10%	6%	4%
		VANS	78M	172M	145M	-3M	-134M	-212M
		B/C	14.1	30.0	2.0	1.0	0.8	0.7
10	Ramis	TIRS	12%	8%	8%	7%	5%	2%
		VANS	7M	-29M	-36M	-58M	-115M	-190M
		B/C	1.1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6
Total*		TIRS	30%	41%	38%	30%	24%	18%
		VANS	744M	1,869M	2,193M	2,407M	1,728M	1,312M
		B/C	2.3	3.0	2.8	2.5	2.0	1.7

表 11.3.34 類型毎の概略総事業費のまとめ (Case-4)

Case-4：便益パラメータ、概略事業費パラメータとともに「洪水・洗掘危険箇所数」とした場合

類型	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	TIRS	51%	37%	18%	2%	-9%	-14%
		VANS	61M	73M	45M	-119M	-453M	-706M
		B/C	8.6	4.3	1.7	0.5	0.2	0.2
2	Locumba	TIRS	51%	51%	47%	44%	37%	29%
		VANS	146M	146M	143M	140M	133M	118M
		B/C	8.6	8.6	7.6	6.7	5.1	3.5
3	Chancay-Lambayeque	TIRS	33%	27%	17%	11%	8%	2%
		VANS	33M	102M	89M	20M	-65M	-267M
		B/C	2.6	2.2	1.5	1.1	0.9	0.6
4	Piura-Chira	TIRS	257%	39%	18%	16%	11%	3%
		VANS	29M	49M	43M	53M	13M	-138M
		B/C	19.9	3.1	1.5	1.4	1.1	0.6
5	Rimac, Ica	TIRS	50%	96%	135%	72%	49%	22%
		VANS	640M	983M	1,221M	1,383M	1,335M	755M
		B/C	8.0	11.3	13.3	7.4	4.8	1.9
6	Mantaro	TIRS	0%	4%	8%	9%	7%	4%
		VANS	-35M	-45M	-19M	-9M	-29M	-75M
		B/C	0.5	0.7	0.9	0.9	0.8	0.7
7	Huallaga	TIRS	29%	46%	48%	45%	44%	42%
		VANS	571M	1698M	2091M	2249M	2218M	2105M
		B/C	2.3	3.5	3.6	3.4	3.3	3.1
8	Nanay	TIRS	53%	93%	107%	100%	85%	82%
		VANS	133M	358M	484M	575M	600M	621M
		B/C	4.1	7.2	8.3	7.8	6.6	6.4
9	Urubamba	TIRS	181%	388%	25%	10%	6%	4%
		VANS	93M	207M	175M	-3M	-158M	-255M
		B/C	14.1	30.0	2.0	1.0	0.8	0.7
10	Ramis	TIRS	12%	8%	8%	7%	4%	2%
		VANS	11M	-43M	-54M	-87M	-169M	-269M
		B/C	1.1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6
Total*		TIRS	28%	39%	36%	28%	22%	16%
		VANS	771M	1,995M	2,911M	2,273M	1,864M	984M
		B/C	2.2	2.9	3.1	2.3	1.9	1.5

表 11.3.35 類型毎の概略総事業費のまとめ (Case-5)

Case-5：便益パラメータを「流域面積」、概略事業費パラメータを「河川延長」とした場合

類型	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	TIRS	51%	47%	24%	6%	-4%	-9%
		VANS	61M	89M	79M	-54M	-358M	-584M
		B/C	8.6	5.5	2.3	0.7	0.3	0.2
2	Locumba	TIRS	51%	51%	43%	37%	29%	19%
		VANS	146M	146M	140M	134M	118M	83M
		B/C	8.6	8.6	6.6	5.2	3.4	2.0
3	Chancay-Lambayeque	TIRS	36%	30%	20%	13%	9%	4%
		VANS	30M	96M	100M	48M	-17M	-183M
		B/C	2.9	2.4	1.6	1.2	1.0	0.7
4	Piura-Chira	TIRS	222%	34%	15%	13%	9%	1%
		VANS	23M	37M	25M	26M	-16M	-166M
		B/C	17.2	2.7	1.3	1.2	0.9	0.5
5	Rimac, Ica	TIRS	50%	132%	197%	84%	53%	22%
		VANS	653M	1,218M	1,610M	1,898M	1,776M	930M
		B/C	7.9	13.1	16.1	7.9	5.0	1.8
6	Mantaro	TIRS	0%	3%	7%	8%	6%	3%
		VANS	-58M	-76M	-39M	-26M	-57M	-130M
		B/C	0.5	0.6	0.8	0.9	0.8	0.6
7	Huallaga	TIRS	30%	48%	50%	47%	46%	43%
		VANS	630M	1741M	2272M	2308M	2415M	2295M
		B/C	2.4	3.6	3.8	3.5	3.4	3.2
8	Nanay	TIRS	80%	140%	162%	151%	129%	123%
		VANS	652M	1665M	2232M	2515M	2650M	2749M
		B/C	6.2	10.9	12.6	11.7	9.9	9.5
9	Urubamba	TIRS	166%	355%	22%	8%	4%	2%
		VANS	88M	196M	150M	-47M	-210M	-305M
		B/C	12.9	27.5	1.8	0.9	0.7	0.6
10	Ramis	TIRS	21%	15%	15%	14%	12%	9%
		VANS	22M	38M	54M	54M	21M	-18M
		B/C	1.7	1.3	1.3	1.3	1.1	0.9
Total*		TIRS	36%	55%	53%	40%	31%	22%
		VANS	1,180M	3,189M	4,655M	4,036M	3,397M	2,150M
		B/C	2.7	4.1	4.4	3.3	2.8	2.0

表 11.3.36 類型毎の概略総事業費のまとめ (Case-6)

Case-6：便益パラメータを「流域面積」、概略事業費パラメータを「人口」とした場合

類型	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	TIRS	51%	52%	29%	9%	-2%	-7%
		VANS	61M	92M	89M	-18M	-259M	-463M
		B/C	8.6	6.2	2.8	0.9	0.4	0.3
2	Locumba	TIRS	51%	51%	45%	40%	32%	23%
		VANS	146M	146M	141M	137M	126M	101M
		B/C	8.6	8.6	7.6	6.7	5.2	3.5
3	Chancay-Lambayeque	TIRS	44%	37%	24%	16%	13%	7%
		VANS	33M	108M	128M	101M	60M	-80M
		B/C	3.5	2.9	2.0	1.4	1.2	0.8
4	Piura-Chira	TIRS	253%	38%	18%	16%	11%	3%
		VANS	24M	40M	34M	41M	10M	-121M
		B/C	19.6	3.0	1.5	1.4	1.1	0.6
5	Rimac, Ica	TIRS	55%	170%	283%	266%	213%	95%
		VANS	663M	1,232M	1,628M	2,061M	2,261M	2,179M
		B/C	8.7	15.2	19.6	19.4	16.8	9.0
6	Mantaro	TIRS	4%	8%	12%	14%	11%	8%
		VANS	-27M	-19M	22M	40M	16M	-35M
		B/C	0.6	0.9	1.1	1.2	1.1	0.9
7	Huallaga	TIRS	39%	62%	64%	61%	59%	56%
		VANS	733M	2000M	2597M	2817M	2792M	2832M
		B/C	3.0	4.7	4.9	4.6	4.4	4.2
8	Nanay	TIRS	111%	194%	224%	210%	179%	171%
		VANS	686M	1712M	2286M	2731M	2733M	2839M
		B/C	8.6	15.1	17.4	16.3	13.7	13.2
9	Urubamba	TIRS	207%	443%	29%	12%	8%	6%
		VANS	89M	197M	186M	54M	-71M	-148M
		B/C	16.0	34.3	2.3	1.1	0.9	0.8
10	Ramis	TIRS	9%	5%	5%	4%	2%	0%
		VANS	-3M	-57M	-74M	-103M	-160M	-237M
		B/C	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5
Total*		TIRS	46%	66%	62%	50%	40%	31%
		VANS	1,399M	3,544M	4,308M	4,963M	4,019M	3,466M
		B/C	3.5	4.9	4.5	4.2	3.3	2.8

表 11.3.37 概略類型毎の総事業費のまとめ (Case-7)

Case-7：便益パラメータを「流域面積」、概略事業費パラメータを「洪水・洗掘危険箇所数」とした場合

類型	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	TIRS	51%	44%	22%	4%	-6%	-12%
		VANS	61M	88M	70M	-87M	-421M	-673M
		B/C	8.6	5.0	2.0	0.6	0.3	0.2
2	Locumba	TIRS	51%	51%	47%	44%	37%	29%
		VANS	146M	146M	140M	134M	118M	83M
		B/C	8.6	8.6	6.6	5.2	3.4	2.0
3	Chancay-Lambayeque	TIRS	28%	23%	15%	9%	6%	1%
		VANS	26M	78M	54M	-29M	-119M	-320M
		B/C	2.3	1.9	1.3	0.9	0.8	0.5
4	Piura-Chira	TIRS	209%	31%	14%	12%	8%	0%
		VANS	23M	36M	20M	18M	-28M	-181M
		B/C	16.2	2.5	1.3	1.1	0.9	0.5
5	Rimac, Ica	TIRS	52%	143%	221%	109%	70%	30%
		VANS	657M	1,223M	1,616M	1,957M	1,964M	1,334M
		B/C	8.1	13.8	17.3	10.1	6.7	2.6
6	Mantaro	TIRS	5%	10%	15%	16%	14%	10%
		VANS	-18M	-1M	40M	59M	42M	-6M
		B/C	0.7	1.0	1.3	1.4	1.2	1.0
7	Huellaga	TIRS	31%	49%	51%	48%	47%	45%
		VANS	644M	1868M	2297M	2477M	2446M	2328M
		B/C	2.4	3.8	3.9	3.6	3.5	3.3
8	Nanay	TIRS	235%	412%	475%	445%	378%	363%
		VANS	734M	1776M	2360M	2825M	3010M	3133M
		B/C	18.2	31.9	36.8	34.4	29.3	28.1
9	Urubamba	TIRS	172%	368%	23%	9%	5%	3%
		VANS	88M	196M	157M	-28M	-184M	-283M
		B/C	13.4	28.5	1.9	0.9	0.7	0.6
10	Ramis	TIRS	3%	0%	0%	-1%	-3%	-6%
		VANS	-30M	-160M	-203M	-262M	-345M	-441M
		B/C	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3
Total*		TIRS	40%	55%	51%	39%	30%	22%
		VANS	1327M	3184M	4618M	3835M	3359M	2171M
		B/C	3.1	4.1	4.3	3.2	2.7	2.1

表 11.3.38 類型毎の概略総事業費のまとめ (Case-8)

Case-8：便益パラメータを「人口」、概略事業費パラメータを「流域面積」とした場合

類型	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo	TIRS	51%	27%	10%	-4%	-17%	-
		VANS	61M	58M	-2M	-269M	-720M	-
		B/C	8.6	2.9	1.0	0.3	0.1	0.1
2	Locumba	TIRS	51%	51%	44%	39%	30%	21%
		VANS	146M	146M	141M	135M	121M	91M
		B/C	8.6	8.6	6.8	5.5	3.7	2.2
3	Chancay-Lambayeque	TIRS	24%	19%	12%	6%	3%	-1%
		VANS	17M	47M	18M	-71M	-153M	-340M
		B/C	1.9	1.6	1.1	0.8	0.6	0.5
4	Piura-Chira	TIRS	261%	40%	19%	16%	11%	4%
		VANS	24M	41M	37M	46M	16M	-112M
		B/C	20.2	3.2	1.6	1.4	1.1	0.6
5	Rimac, Ica	TIRS	46%	51%	54%	28%	19%	5%
		VANS	614M	683M	728M	596M	406M	-321M
		B/C	7.3	7.6	7.7	3.1	1.8	0.7
6	Mantaro	TIRS	-3%	0%	4%	5%	3%	0%
		VANS	-64M	-96M	-68M	-61M	-92M	-162M
		B/C	0.4	0.5	0.7	0.7	0.6	0.5
7	Huallaga	TIRS	21%	34%	35%	33%	33%	31%
		VANS	338M	1115M	1382M	1465M	1523M	1422M
		B/C	1.7	2.6	2.7	2.5	2.5	2.3
8	Nanay	TIRS	24%	44%	51%	47%	40%	38%
		VANS	184M	588M	821M	962M	908M	928M
		B/C	2.0	3.4	4.0	3.7	3.1	3.0
9	Urubamba	TIRS	159%	340%	21%	8%	4%	2%
		VANS	77M	172M	125M	-60M	-215M	-306M
		B/C	12.3	26.4	1.8	0.9	0.7	0.6
10	Ramis	TIRS	15%	11%	11%	10%	7%	5%
		VANS	16M	6M	8M	-4M	-51M	-112M
		B/C	1.4	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7
Total*		TIRS	20%	30%	29%	21%	15%	11%
		VANS	481M	1,380M	2,105M	1,359M	839M	124M
		B/C	1.6	2.2	2.5	1.8	1.4	1.1

上記の Case-1 から Case-8 における 159 流域全体を確率規模別に評価した場合の TIRS(EIRR)を下図に示す。

いずれのケースを採用した場合においても、5 年確率規模から 10 年確率規模の洪水に対する対策事業を行う場合に最も経済効果が高くなる傾向がみられる。

159 流域の総事業の評価としては安全側の評価とするため、全 8 ケースのうち最も TIRS が小さい Case8 を採用する。

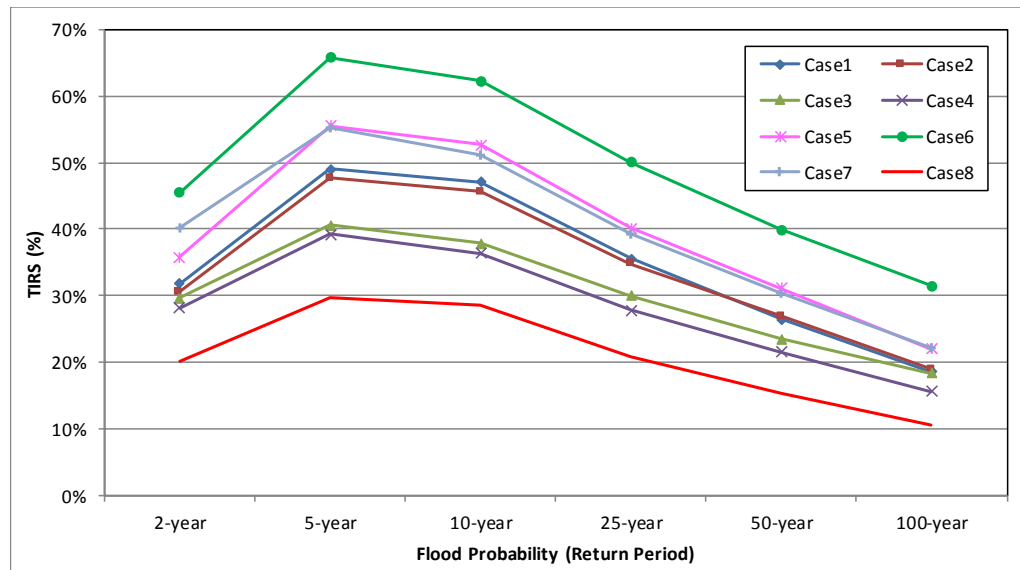


図 11.3.5 159 流域全体を評価した場合の EIRR

11.4 気候変動を考慮した場合の総事業費変化の検討

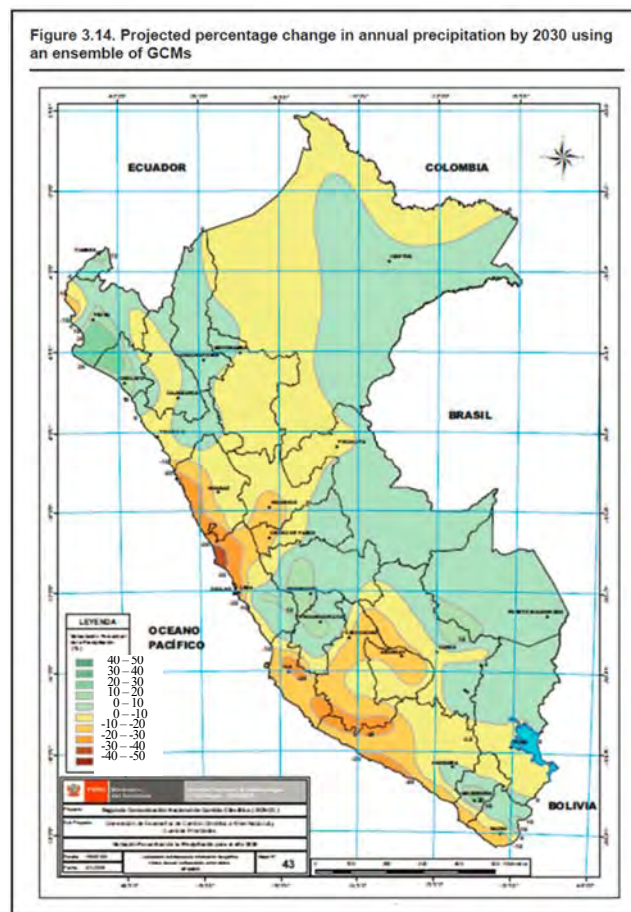
11.4.1 検討方針

ペルー国では気候変動が水資源管理に与える影響が懸念されており、国内外で気候変動の予測検討が行われている。調査団が収集、確認した調査結果の概要を下記に示し、河川流量の将来変化を事業の規模に反映させ、気候変動を考慮した場合の概略総事業費の変化を定量的に把握し、最も気候変動の影響を受ける可能性の高い流域タイプを特定する。

11.4.2 既往の調査結果の整理

(1) ペルー政府（SENAMHI）の整理結果

SENAMHI が 2009 年発行している“Climate Scenarios for Peru to 2030”では、IPCC によって整理された気候変動予測をもとに、2030 年時点における年間降雨量の変化率を下図のように作成している。



出典：SENAMHI （凡例は調査団が編集）

図 11.4.1 2030 年における年間降雨量の変化率

また同レポートにおいて、地域ごと（Coast、Mountain、Jungle）の降雨の変化傾向を整理した表を以下に示す。

表 11.4.1 2030 年時点の年間降雨量の変化傾向 (Coast : 太平洋地域)

Regions	PP accumulated Annually to 2030 (mm/year)	Projected changes to 2030 (Variation In percentage %)	Main locations
Northern Coast	5 – 200	Between +10 and +20% -10%	Most part of the northern part of Piura and La Libertad
Center Coast	5 – 50	Up to -30%	All the region
Southern Coast	5 – 50	Up to -20%	Ica and Arequipa

出典 : SENAMHI (2009) “Climate Scenarios for Peru to 2030”

表 11.4.2 2030 年時点の年間降雨量の変化傾向 (Mountain : アンデス地域)

Regions		PP accumulated Annually to 2030 (mm/year)	Projected changes to 2030 (Variation In percentage %)	Main locations
Northern Mountain Region	Western	200 – 1000	Between +10% and 10%	All the region
	Eastern	500 – 1000	Up to +10% -10%	Over the eastern zone Over the western zone
Central Mountain Region	Western	100 – 1000	Up to -20% Up to +20%	Northern part : Ancash – Lima and Pasco Southern part : Junin, Lima and Huancavelica
	Eastern	500 – 1000	Up to -20% Up to 20	Huánuco, Pasco Junin and Huancavelica
Southern Mountain Region	Western	100 – 500	-20% +20%	Northern part : Ayacucho, Arequipa Southern part : Moquegua and Tacna
	Eastern	500 – 1000	-20%	Apurímac and part of Cusco
High Plateau		500 – 1000	Up to -10% +10%	Southwestern part of the Titicaca Lake Northern part of the Lake

出典 : SENAMHI (2009) “Climate Scenarios for Peru to 2030”

表 11.4.3 2030 年時点の年間降雨量の変化傾向 (Jungle : アマゾン地域)

Regions		PP accumulated Annually to 2030 (mm/year)	Projected changes to 2030 (Variation In percentage %)	Main locations
Northern Jungle		1 000 a 4 000	-10% +10%	Western part Eastern part
Central Jungle	Low	2 000 a 3 000	+10%	Ucayali Region
	High	2 000 a 3 000	-10% +10%	Northern part : Huánuco and provinces of Padre Abad and Coronel Portillo in Ucayali, Pasco and Junin
Southern Jungle		1 500 a 5 500	-10% +10% y +20%	Most part of the southern jungle, Madre de Dios and Cusco

出典 : SENAMHI (2009) “Climate Scenarios for Peru to 2030”

(2) モリーナ大学 カヨ・ラモス准教授による研究成果

カヨ・ラモス准教授がペルー南部の太平洋地域およびアンデス地域に位置する 16 流域（具体的には下表のとおり）を対象として実施した調査では、2 種類の気候変動予測モデル（GCM）の結果をもとに 1980-1999 年の平均的な年間降雨量に対する 2020-2039 年の平均的な降雨量の変化率を整理している。この調査結果によると、対象地域の平均的な年間降雨量は 25%から 35%の増加となる。傾向として太平洋側では増加率が大きく、アンデス山脈に近い地域では増加率は小さくなる。

表 11.4.4 調査対象地域 (Ubicación de las principales Cuencas en estudio)

Cuenca	Departamento	Río principal	Extensión (km)
Acarí	Ayacucho-Arequípa-ica	Acarí	4337
Yauca	Ayacucho-Arequípa	Yauca	4399
Caraveli	Arequípa	Caraveli	1932
Ocoña	Arequípa	Ocoña	15667
Camana	Arequípa	Camana	17435
Quilca-Vitor-Chili	Arequípa	Chili	12697
Tambo	Arequípa-Moquegua	Tambo	13361
Osmore	Moquegua	Ilo-Moquegua	3415

出典：モリーナ大学 カヨ・ラモス准教授

※上記のほかには河川“133”, “1319”, “13711”, “13713”, “13714”, “137151”, “137152”, “137153”が調査対象河川に含まれる。

(3) 世界銀行による調査

世界銀行が 2011 年に発行している” Assessment of the Impacts of Climate Change on Mountain Hydrology” では、現在と今世紀末の年間流量の比較を下図のように整理している。

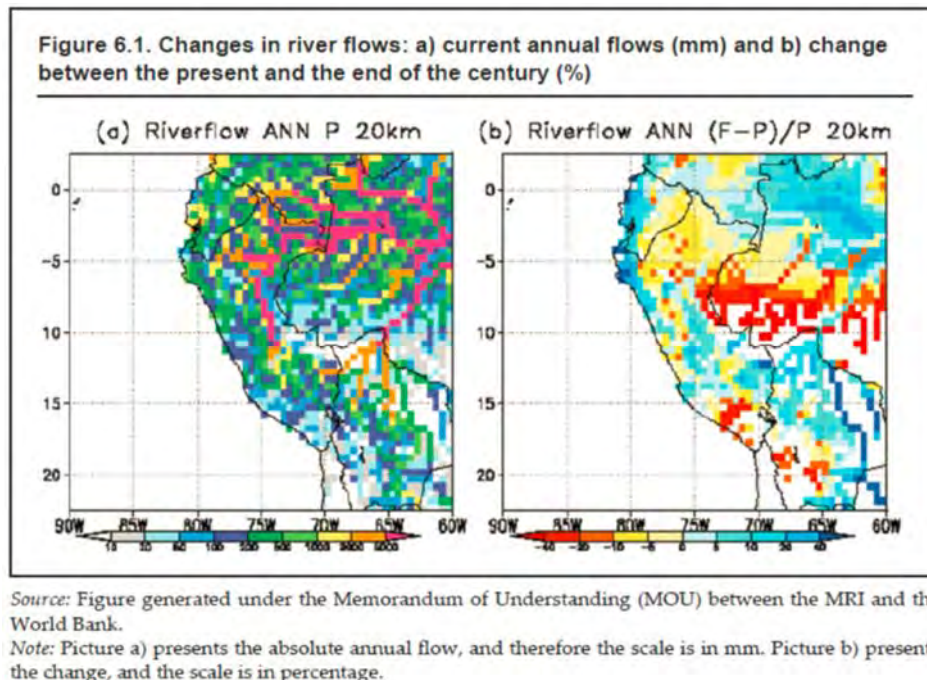


図 11.4.2 世銀レポートによる将来の河川流量の変化予測

11.4.3 気候変動の影響の纏め及び本調査における検討方針

上述した、SENAMHI 報告書、モリーナ大学のカヨ准教授資料及び世銀の調査報告書を参考に本調査では以下のように気候変動による影響を考慮する。

(1) 気候変動の影響を考慮する基準年

洪水対策案を実施するための計画案の策定、事業承認及び設計等に要する期間、並びに事業の実施期間と効果発現期間を考慮すると事業の期間は 2027~2037 若しくは 2047 年と想定される。

表 11.4.5 気候変動考慮のための本調査で提案する事業の実施期間域

項目	想定期間	対象年
本調査実施年	1 年	2016~2017
計画案の策定、事業承認及び設計等	5 年	2017~2021
事業実施	5 年	2022~2026
事業の効果維持期間	10~20 年	2027~2037~2047

出典：調査団

以上の結果より、気候変動の影響を考慮する基準年は、2040 年と設定する。

(2) 想定される降雨量の増減

気候変動を考慮する基準年を 2040 年とし、上記 3 つの調査結果を参考に、本調査では各類型流域に以下のように気候変動による降雨量増減率を設定する。

表 11.4.6 各類型流域の降雨量増減率

類型 (モデル流域名)	降雨量増減率	類型 (モデル流域名)	降雨量増減率
類型-1 (Biabo)	-5%	類型-6 (Mantaro)	4%
類型-2 (Locumba)	3%	類型-7 (Huallaga)	-5%
類型-3 (Chancay-Lambayeque)	1%	類型-8 (Nanay)	5%
類型-4 (Piura & Chira)	7%	類型-9 (Urubamba)	2%
類型-5 (Rimac & Ica)	-13%	類型-10 (Ramis)	4%

出典：調査団

(3) 想定される降雨量の増減に基づく確率洪水年の変化

上記の表 11.4.6 に基づく各類型の設定降雨量増減率は、同じく各類型の流域に対して以下のように確率洪水年の変化を及ぼす。

表 11.4.7 各類型流域の降雨量増減率に基づく確率洪水年の変化

類型 (モデル流域名)	気候変動を考慮しない確率年					
	2	5	10	20	50	100
類型-1 (Biabo)	3	7	15	38	79	132
類型-2 (Locumba)	2	5	9	23	44	86
類型-3 (Chancay-Lambayeque)	2	5	10	24	47	94
類型-4 (Piura & Chira)	2	4	8	20	39	75
類型-5 (Rimac & Ica)	3	8	17	41	83	141
類型-6 (Mantaro)	1.3	4	8	19	37	70
類型-7 (Huallaga)	3	8	20	51	107	159
類型-8 (Nanay)	2	4	8	21	39	75
類型-9 (Urubamba)	2	5	9	23	46	90
類型-10 (Ramis)	1.1	4	7	16	28	52

出典：調査団

(4) 気候変動による事業効果指標数値の修正

上述したように、気候変動によって各類型の事業治水目標年に対する、概略事業費と便益が変わってくる。これまでの研究論文を総合的に判断し計画降雨を再設定し流量計算を行うと、前頁の表 11.4.7 に示すように、優先流域の Mantaro 川流域、及び Type-10 の Ramis 川流域に大きな影響を与える。

よってこの2つの流域における、気候変動を考慮した場合の経済評価結果を考慮しない場合と比較する。比較結果を以下の表 11.4.8 に示す。

表 11.4.8 気候変動を考慮した Mantaro 川及び Ramis 川洪水対策案の経済評価（25 年確率対応時）

類型	流域名	ケース	概略総事業費 (S/. millón)	年平均被害軽減 便益額 (S/. millón)	TIRS (%)	VAN (S/.)	B/C (N)
類型-6	Mantaro	気候変動無	79,645,041	7,158,074	7%	-10,129,593	0.83
		気候変動有		8,890,435	10%	1,655,783	1.03
類型-10	Ramis	気候変動無	179,019,648	14,565,795	5%	-31,965,519	0.74
		気候変動有		20,288,442	10%	2,914,802	1.02

出典：調査団

この結果、この2つの流域タイプは、気候変動の影響により、さらに洪水被害が増える可能性がある。今後、これらの流域においては、洪水被害の発生傾向を注視する必要がある。

第 12 章 セミナー・ワークショップの開催内容

本調査では、ANA 及びペルー国側との議論を基に関係者に対し、調査結果となるドラフト・ファイナル・レポート内容の共有及び具体的な技術的調査内容の共有のためにセミナー並びにワークショップを実施した。以下にセミナー及びワークショップそれぞれの実施内容検討及び実施状況を示す。

12.1 セミナーの実施（案）の作成と実施

12.1.1 セミナー実施の目的

ドラフト・ファイナル・レポート内容の共有及びファイナルレポート作成のため、ペルー側関係機関や国際機関、二国間ドナー等を対象に、セミナーを平成 29 年 5 月 10 日（水）に開催した。セミナーにおける質疑応答内容等は 12.3.1 項に示してある。

12.1.2 セミナー開催内容（案）の作成

セミナー実施内容は、現地調査を通して調査団と ANA との協議において決定した。結果として平成 29 年 5 月 11 日（木）に開催したセミナーの議事次第は、以下の表 12.1.1 に示す通りとなった。

表 12.1.1 セミナー開催内容

項目	確定事項	備考
時期：	2017 年 5 月 11 日（木）8:00~13:00	半日
場所：	Auditorium - ANA, Calle Diecisiete N° 355, San Isidro （ANA の会議場）	
時間：	内容：	発表者：
8:30 ~ 9:00	Registro de Participantes（受付）	30 分
9:00	Palabras de Bienvenida （開会の辞-1）	Ing. Abelardo De la Torre Villanueva （ANA 長官）
9:10	Palabras de Bienvenida （開会の辞-2）	特命全権大使 株丹達也
9:20	ANA によるこれまでの洪水対策の概要	Ing. Freddy Flores（マルチ水プロジェクト調査部 部長）
9:40	災害リスク削減のための事業実施について	Mg. Adhemir Ramírez （MEF 防災プロジェクト担当）
10:00	JICA 調査内容発表	JICA 調査団
11:00	－休憩－	15 分
11:15	パネルディスカッション（ファシリテーター：JICA 調査団） パネリスト： Ing. Eusebio Ingol Blanco, ANA Mg. Adhemir Ramírez Rivera, MEF Ing. Eduardo Chavarri Velarde, UNALM Ing. Ronald Gutiérrez Llantoy, PUPC	90 分
12:45	講評	JICA ペルー事務所長 江口 雅之
13:00	解散	

項目	確定事項	備考
招待者 (実際の出席者は 12.1.3 項を参照)	BM (2 名)、BID (2 名)、CAF (2 名)、PNUD (2 名)、INDECI (2 名)、CENEPRED (2 名)、CEPLAN (2 名)、INGEMMET (2 名)、MEF (3 名)、ANA (15 名)、MinAGRI (5 名 (PSI/DGIAR/OPP 含めて))、MinAM (4 名)、AAA (15 名)、ALA(10 名)、州・地方自治体関係者 (10 名)、MIVIVIENDA (2 名)、大使館/JICA (2~3 名)、その他 (オランダ政府、中国政府、ドイツ政府等) : 計 200 名程度	

12.1.3 セミナー実施のレビュー

(1) セミナー実施概要及び討議内容

表 12.1.1 に従い、実施したセミナーの主な内容をセミナー時の写真も含めて以下に示す。

(a) 開会の挨拶

開会の挨拶	コメント
	ANA の Bocanegra 氏が MC を務めた。 Bocanegra 氏よりセミナーへの出席者への謝辞が述べられた。

(b) 開会の辞-1

Palabras de Bienvenida	コメント
Ing. Abelardo De la Torre Villanueva Jefe de la Autoridad Nacional del Agua 	昨年より開始された JICA による協力の下、洪水対策における様々な課題が明確になった。 中央政府は本調査の提言等に基づき今後対策を進め、予算も確保し、将来は洪水の被害を減らす事ができると確信する。 我々はこの調査の結果を下に、さらに詳細な調査を進める必要がある。今後も JICA 等との協力関係の下、十分な予算を確保し、洪水防止・軽減のための事業を実施していかなければならない。 今回の洪水による被害の確認は、農業・水利施設を始め橋梁や各市のインフラ被害の確認は済み、復興事業を開始する。 また、ANA は、関連する課題として、流域の水資源を管理する責任を持ち、今後も流域の状況を改善していかなければならない。

(c) 開会の辞-2

Palabras de Apertura	コメント
Honorable Señor Tatsuya Kabutan Excelentísimo Embajador del Japón 	このセミナーは両国が、JICA が実施した調査に関する情報と意見を交換する重要な機会であることと認識している。 日本は過去に甚大な被害を洪水及び気象災害で被っており、これらの経験、特にどのようにこれらの災害被害を軽減してきたのかを共有する機会でもあると認識している。 我々の生活は、災害に対して非常に脆弱であり、度々災害の被害にもあっているが、一方でこれらの災害の被害を削減してきている。 よって、本セミナーはこれらの被害軽減の方策技術を両国で共有する機会でもあり、軽減策を具体的に実施することにより、現在、災害によって家屋が無くなりテント生活を余儀なくされている人々の数も将来は減ることにもつながると認識している。住居だけではなく、道路等の重要インフラ被害も減らさなければならない。 このような災害の発生は、我々の準備を待たずに発生する。迅速に次の災害に備えなければならない。 このような準備の作業にどの程度の予算を必要とするのか、またどのような方策で次の災害被害を軽減するのかを決定しなければならない。 過去の教訓は我々を正しい準備へと導くものであり、間違った方向へ進むのを未然に是正し正しい方向へと導いてくれるものであり、過去の教訓を正しく認識する必要がある。 このために、殆ど同じ程度の降水量である、日本の事例を紹介したい。(プレゼン資料参照) 日本では、1950 年代多くの国民の命が台風等の洪水・気象災害で失われたが、近年、劇的に減少している。この劇的な国民の命の保護は、それだけ日本が多くの予算を災害リスク管理関連に費やしてきたからである。 自然の脅威はとても大きいものであるが、その現象を最小化することも可能である。事例として早期予警報システムの構築がある。この予警報システムを構築した結果、多くの国民の命の損失が軽減できた、という結果が日本にある。 災害リスク管理には多くの予算を必要とするが、大きなお金をかけないで対処できるソフト対策、早期予警報システムの構築や高リスク地域での居住や経済活動を行わないことが必要である。 ここで、日本が提供する Stand-by 借款事業についてご紹介する。このローンは両国において 2014 年に締結し、災害後の活動に利用できるものである。利子は 0.01% と非常に低く設定されている。 最後に、繰り返す事にはなるが、この調査における洪水対策の有効性を示した結果と日本の教訓・技術は両国で共有できるはずである。 今後も日本政府はペルー国により良い災害防止策の実施に貢献していきたい。

(d) ANA によるこれまでの洪水対策の概要

Acciones de la ANA en el marco de las Declaraciones de Emergencia	コメント
Ing. Francisco Freddy Flores Sánchez Director de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales-ANA 	今日は、ANA の洪水等の災害に対する復旧・復興時の活動を紹介する。 ANA は洪水等が発生すると農業水利施設の被害について被害調査を行い、復旧・復興計画を立てる。この調査は洪水に限らず、旱魃被害時についても同様である。旱魃時には緊急的な水供給計画を策定する。ペルー国は洪水と旱魃が交互に頻発する災害多発国である。 緊急事態が発生すると、ANA は対応策を策定する。例えば昨年 Tambo Valley 等では旱魃被害が発生し、ANA は緊急対応策を策定した。 洪水に関しては、El Nino 現象と関係するが、実は毎年のように発生している。 例えば、INDECI によると 2003-2017 年 3 月においては、3,617 件の洪水と 1,154 件の Huayco が発生している。

洪水の原因は様々な原因があるが、以下のようなものがある。

- 河床の上昇
- 不適切な河床浚渫
- 不法な Debris 及び固形廃棄物の河道への投棄
- 河道計画の不備
- 森林伐採、森林の減少
- 住民の高リスク地区への居住

ANA はこれまで AAA/ALA とともに金額にすると S/. 248 million となる 614 の洪水対策事業、実施してきている。

ANA はさらに Ley30556 に基づき河道幅 (Faja Marginal) を決定する活動を行っている。これまでに ANA は AAA/ALA とともに、約 1,500km の河道の河川区域を設定し、2017 年にはさらに 400km の長さの河川に対して河川区域を設定する予定である。

土砂災害に関しては、ANA は、調査名：「Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas (Huaycos)」を実施し、これまでに約 461 千人もの住民が、Huayco が発生する危険がある場所に済んでいることを特定した。

洪水に関しては「Identificación de zonas altamente vulnerables por desborde de ríos」と言う調査を実施し、627 箇所の洪水危険地域を特定し、この危険区間の改善のため、S/. 594 million のコストが掛かることを 2016 年 9 月に関連機関に報告書として提出している。しかしながら、残念なことに、これらの場所で関連機関が何か対策を以て降ったと言う事は聞いていない。

また、2015 年には、

Estudio a Nivel de Perfil: Mejoramiento de los servicios de protección contra inundaciones en el rio Piura, Sector Medio y Bajo Piura

と言う調査を実施しており、今回被害を受けた地区の河道の浚渫と 1m の堤防の嵩上げを提案している。

Inventario de Estructuras de Defensas Ribereñas de la Región Hidrográfica del Pacífico とする調査では、1,954 箇所の河川構造物の調査を行ったが、約 55%しか健全な状況ではなかった。

土砂災害では土砂災害対策としてワイヤーネットの設置を Rimac 川の 9 Quebradas で 22 か所に設置している。現在までに 10 thousand m³ の土砂を蓄積させており、多くの住民の生命を守っている。

(e) 災害リスク削減のための事業実施について

Los Proyectos de Inversión en la Reducción de Riesgos de Desastres	コメント
Mg. Adhemir Ramírez Rivera Sectorista de Análisis de Prevención y Atención de Emergencias Dirección General de Inversión Pública - Ministerio de Economía y Finanzas 	まず、最初に申し上げることは、MEF は先ほど ANA から紹介された土石流対策防止ネットを高く評価していることを述べさせて頂く。 大きな洪水被害を発生させた El Nino 現象は 1925 年、83 年、98 年、そして今年 2017 年に発生している。 例えば 1997/98 の El Nino 現象では 3.5% of GDP の被害が発生した。インフラの直接被害だけで当時の金額で USD1,200million の被害が発生したが今年の 2017 年の被害は BBVA 研究所の試算によると、USD 4,016 million に達していると言われている。 Lambayeque と La Libertad にあった Mochica 文明は El Nino で消滅したと言われている。今後、ペルー国は災害リスク管理を強化しなければならない。 ペルー国の災害リスク管理は法律により 7 つのプロセスに分けてそれぞれに強化することが求められている。この方針の下にそれぞれの対策を実施しなければならない。 また、ペルー国は公共投資の規定である SNIP を変更して INVIERTE.PE とした。INVIERTE.PE では災害対策のプログラムとして Prevention、Risk Reduction、Early Warning System の 3 つを準備した。 一方、災害の復興に関しては別の法律 Ley 30556 を策定した。 Rahabilitation Works のためには INVIERTE.PE では 4 types、Capacity of Manageing Information、Capacity of Protection against Hazard、Early Warning System & COE Capacity、Response Capacity の事業を準備している。

このように MEF では多くの洪水対策を実施するプログラム(Tools)を準備している。しかしながら、地方自治体の能力不足により、上手くこれらが利用できていない。

ただし MEF もただ手をこまねいているだけではない。例えば、Ley 30458 では Regional Govt. のために Project to deal with Natural Disaster が実施できるようにしている。また、Emergency Degree0042017 も準備して Ley30458 の実施を支援している。

最後に Lesson Learned を紹介する。この例は、Avoid Damage Cost の例である。この Chicama River のプロジェクトでは大きな洪水の被害を削減している。このようなプロジェクトの実施を今後数多く進めなければならない。

(f) 調査団からの調査結果概要説明について

調査団からドラフト・ファイナル・レポートの内容に従って、説明を行った（プレゼン資料参照（添付資料 9-1））。説明には、調査団が平成 29 年 4 月 23 日から 5 月 3 日に掛けて実施した洪水被害調査の結果及び今後の治水対策への知見も含めた。

(g) パネルディスカッション

パネルディスカッションは、4 名のパネリスト（2 名が大学において治水関連分野を専門とする研究者、1 名が MEF の災害リスク事業担当者、1 名が ANA の客員調査専門家）を招待し、以下の質問を問う形式で議論が行われた。

- これまでに本セミナーで発表された挨拶及び発表内容に関するコメント及びペルー国における洪水対策案実施のために一番必要・重要なポイントは何か？；
- セミナー出席者からの質問・意見への回答・コメント；
- Mirando al futuro：今後何を優先して洪水対策案を実施していくべきか？

以下に、上記の 1 つ目の議論のポイントを整理して示す。

回答者	これまでに本セミナーで発表された挨拶及び発表内容に関するコメント及びペルー国における洪水対策案実施のために一番必要・重要なポイントは何か？
Ing. Ronald Gutiérrez Llantoy, PUPC 	● このようなセミナーを開催して、様々な分野から治水に関する問題点を議論することがまず重要な一歩。 ● 妥当性のある洪水対策案策定には、十分な基礎データに基づかなければならないが、データを十分に使った洪水対策案の実施はこれまでは少なかった。 ● 洪水対策案の計画・設計のための標準化が必要 ● 洪水対策案に関する「教育」が重要
Ing. Eduardo Chavarri Velarde, UNALM 	● 水文資料等のデータの充実が必要 ● 計画・設計のクライテリア・設計手法等を構築することが必要 ● リスクの知識を持たないで危険な地域・地区に居住する住民が居る。メディアと科学者の役割が今後重要になる。 ● 情報の充実が必要

回答者	これまでに本セミナーで発表された挨拶及び発表内容に関するコメント及びペルー国における洪水対策案実施のために一番必要・重要なポイントは何か？
Mg. Adhemir Ramirez Rivera, MEF 	● 洪水対策案に対する、情報共有システムの構築が必要 ● 洪水対策案における流域単位のアプローチが重要 ● JICA 等の知見を今後有効に活用すべき ● SNIP に変わる新たな公共事業実施システムに合わせ、適正な事業規模での迅速な実施が重要
Ing. Eusebio Ingol Blanco, ANA 	● この洪水被害を契機として、新しい洪水対策のアプローチを模索する必要がある。 ● JICA 調査団が言うように洪水対策案の経済性に関する研究を進める必要がある。 ● 洪水対策案は流域単位で進めるべきであり、構造物対策、非構造物対策両面を並行して進めるべきである。

以下に、セミナー出席者からの意見を示す。

Q&A	コメント
1 	<u>復興のための組織</u> 復興の実施は中央政府が主導して実施すべきである。通常の災害復興は、中央・地方紙政府の各機関が勝手にやって、つぎはぎだらけの復興で、コンセプトが一致していない。 また、このような統一的コンセプトの下での復興は、できれば JICA 等にも支援してもらえればうれしい。 <u>治水計画の策定</u> もし、治水計画の策定を JICA 等に支援して実施してもらえるのであれば、復興事業はこの計画に基づき実施してもらいたい。
2 	全ての洪水土砂災害の課題は各流域の上流域にある。例えば、PRONAMACHS 等の Social Program 等の活動をより進めるべきである。上流域の対策の実施を優先するべきである。
3 	<u>非構造物対策の重要性</u> このセミナーで発表されたのは、とても重要な事だが、非構造物対策も治水対策には重要であることを言いたい。 <u>より安全を目指した洪水対策案</u> また、構造物対策としては、より大きな Return Period を目標に治水対策を実施すべきである。 <u>研究機関の能力強化</u> Laboratorio Nacional de Hydraulica の強化が必要である。そのために中央政府は、これらの機関を支援すべきである。
4 Vice Presidente de Investigacion UNCanete 	ペルー国では水文データが不足しており、有っても信頼性に乏しい。 また、水文学と気象学が分離してしまっている。 さらに、気象災害（洪水・旱魃）に関する早期予警報システムが構築されていない。 研究と実際の現象の乖離も大きい。 流域管理のための政府のイニシアティブもない。 Piura 川ではこれまでに洪水対策案に浚渫等に S/.127 million も費やしたが、計画無しに実施しているので適切な効果が出ているのか疑問だ。お金を無駄にしている可能性もある。

5 	<u>Politica de Macro Region の導入</u> 現在、全ての事業は流域単位で考慮されており、本セミナーでも提言されているが、Macro Region で考えることを考慮すべきである。経済的・文化的結びつきの強い地域は1つの計画であるべきと考える。
--	--

4 名のパネリストから、「今後の洪水対策案を実施していくために最も重要な施策は何か？」について意見を伺った。結果を以下に示す。

Mirando al futuro : 今後何を優先して洪水対策案を実施していくべきか？	コメント
1: Mg. Adhemir Ramírez Rivera, MEF 	最後に MEF として洪水対策案の促進に一番重要な法律の情報をもう一度繰り返させていただく。 Ley de Reconstrucción con el Cambio によると Foretareas y Generar Planes のために我々に与えられた期間は 90 日間である。この期間しかないことを考慮することが重要である。 また、別の洪水対策案を促進させるための新しい法律に基づき、州政府は彼らの計画と事業案を中央政府に示さなければならない。また、これらの計画と事業案は流域単位で考えなければならない。
2: Ing. Eduardo Chavarri Velarde, UNALM 	色々重要なことはあるが、一番重要なことは、「適正な土地利用計画」である。また、もう1つ挙げるとすれば、我々研究機関は、多くのデータを持っており研究を行っている。国の洪水対策実施システムに我々研究機関を是非取り込んでもらいたい。
3: Ing. Ronald Gutiérrez Llantoy, PUPC 	2つ私が最も重要であると考ええる事項をお伝えする。1つ目が研究の重要性である。よって MEF には研究予算を増やしてもらいたい。 2つ目が、本分野の各個人の能力強化である。ペルー人がペルー国の計画を策定することが重要だ。
4: Ing. Eusebio Ingol Blanco, ANA 	セミナーでの提言に従い、我々は治水 M/P を各流域で策定していくべきである。 M/P には構造物対策と合わせ、非構造物対策を含めるべきである。 緊急対応計画の策定も重要である。この緊急対応計画は多機関連携機能の策定も含めるべきである。 国家流域管理フレームワークには災害に関する計画も含めるべきである。このフレームワークには基本的資産と人命の保護に対する施策が含まれていなければならない。 また、各流域のリスクと守られるべき洪水確率年も記述されるべきである。

(b) 講評

セミナーの講評は、JICA ペルー事務所の江口所長から頂いた。内容は以下の通りである。

講評	コメント
Sr. Masayuki Eguchi, Representante Residente de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón en Perú 	セミナーに出席して頂きありがとうございます。この調査及びセミナーは今後のペルー国の洪水を削減していくために何をしていくべきなのかの示唆を多く含んでいる、と認識しています。 現在、ペルーでは洪水による大きな災害が発生し、被害からの復興が始まろうとしています。この調査はこの復興に対しても貢献できるだろうと考えています。 この洪水被害によって貧困ライン以下レベルまで生活が困窮した住民が 700 千人以上増加し、農業被害は S/2,000 百万を超えたとも言われています。 気候変動への準備等も含めて全ての活動を連結し、調査の結果の有効な活用を期待します。

(c) その他セミナーに対するコメント

セミナーでは出口にホワイトボードを置き、セミナー内での Q&A で発表できなかったコメントを記述してもらった。結果として、以下の 3 件のコメントが得られた。

その他のコメント	ホワイトボード上のコメント
INDECI-COEN より (1)	現在の災害リスク削減または管理のための事業として PP068 (PREVAED)があるが、この事業を有効に活用できていない。この事業を有効に災害リスク削減や災害対応活動に各機関及び地方政府が利用できるようになることが大事である。
INDECI-COEN より (2)	JICA 調査のプレゼンテーションで言われていたように、関係機関の緊密な連携が必要である。このために PCM の調整の下、ANA の役割・責任をもっと明確化すべきである。
INDECI-COEN より (3)	社会的ニーズに即した洪水対策のための調査及び事業を実施するためには、更なる技術能力の向上と関係機関の連携が必要である。また、短期に実施すべき優先度の高い事業や投資を確認するシステムも必要である。

(2) セミナーにおける議論の纏め

上述した(1)にして整理したセミナーの議論内容を纏めると、今後の洪水対策案の実施には、以下の 4 つの項目を考慮して進めなければいけない事が確認できた。

(a) 流域全体の治水計画に基づく洪水対策案の実施

調査団がセミナーにおいて強く提言した、以下の 2 点

- まず、流域単位の治水計画を策定し、
- 各政府機関及び州・地方政府は、その「流域治水計画」に基づき、洪水対策案を実施する。

と言う提言は、上述の「12.1.3 (1) セミナー実施概要及び討議内容」に示すように、パネリストからも受け入れられ、且つ聴講者からも大よそ賛同を得られた⁷。

今後は、流域単位の治水計画の策定を促進するべきである。この策定された「流域治水計画」

⁷ 一部、聴講者からは、治水計画は、より大きな Macro Region で考えるべきとの意見も有ったが、このコンセプトは、より大きなフレームワーク、または法律・ガイドライン等で示されるべき治水計画の方向性のようなものと判断できる。

に従って、河道改修事業は関連機関において実施されるべきである。

(b) 基礎的データの充実と大学等教育・研究機関との連携

洪水対策の立案は、過去の降雨データ及び流量データ等の水文データ及び潮位データ、地形データ、河川縦横断データ、地質データ、崩壊地データ並びに社会統計データ等に基づき降雨解析、流出解析、洪水氾濫解析等を実施して最適な治水対策が策定される。ペルー国におけるこれらのデータは近年、漸く多数の地点でのデータの蓄積が始まったばかりであり、特に水文データは歴史的なデータを基に確率処理がされた後で治水規模の計画が検討されるため、データの充実が計画の適切性にとって非常に重要となる。よって、今後、治水計画の精度を向上させるためには、これらの基礎的データの充実が必要となる。

また、今後喫緊に策定される治水計画は、データが充実するまでは、これまでの既存データを最大限利用して策定する必要があるが、政府関連機関のみの蓄積では、データが不十分であることが多い。よって、治水計画の策定及び立案においては、これまでの様々なデータを研究のために保存してきており、上述した解析等を実施する上でその技術を有している大学等教育・研究機関との連携を積極的に進めて実施するべきである。

学等教育・研究機関との連携におけるグッド・プラクティスとしては、Tumbes 大学と ALA-Tumbes による共同の MIKE-FLOOD ソフトウェアによる Tumbes 川の 1995 年洪水氾濫シミュレーションがある。このように、各流域に関係する大学の関連研究室との共同研究として；

現況流域の洪水解析 ⇒ 洪水対策の検討及び効果確認 ⇒ 洪水対策計画の立案
と進めることが考えられる。



図 12.1.1 Tumbes 大学と ALA-Tumbes による 2015 年洪水氾濫シミュレーション結果図

(c) 他のセクター計画と流域治水計画の整合性の確保

UNALM (ラ・モリーナ大学) の Chavarri 教授がパネルディスカッションの中で述べたように、策定される流域治水計画は、土地利用計画等と整合性を取る必要がある。また、他のセクターも含めて、それぞれの関連計画と治水計画は以下のような整合性を取る必要がある。

表 12.1.2 流域治水計画と各セクター計画における整合性の事例

関連セクター	整合性を取るべき項目
道路	橋梁幅及び橋梁桁下高
農業	灌漑排水計画における計画河床高・計画堤防高
	河道の線形計画と圃場整備計画
都市計画	土地利用計画： 洪水被害リスク地域での居住及び経済活動の制限方法
	市内排水計画
環境	ダム・遊水地等の計画

出典：調査団

(d) 適正な流域治水計画の策定及び適正な事業実施のためのガイドライン・マニュアルの充実

二人の大学教授がパネルディスカッションで提言しているように、州政府及び地方政府が洪水対策案を実施するためのより詳細な各種マニュアルが必要である。

例えば、現在は堤防、護岸、水制等は、事業を実施する関連機関の技術力及び関連機関が委託または相談するコンサルタントの技術力によってその計画レベル及び構造的な安全度等が決定されてしまう。この結果、各河川または地域で住民や資産の安全度が大きく違っている可能性もある。できるだけ詳細な洪水対策案の計画・設計・施工のマニュアルを策定することでペルー全国の洪水対策案のレベルが統一化されることが望ましい。

12.2 ワークショップの実施

12.2.1 ワークショップ実施の目的

AAA や ALA 等 ANA の関連組織の技術者を含む ANA の技術者の洪水発生メカニズムに関する知見を強化し、氾濫源の調査に要する衛星写真解析技術を向上させることにより、洪水対策に関する理論的概念の理解が深めることを目的にワークショップを実施した。

実施時期は、調査終了直前の第 6 次現地調査時に洪水被害・ニーズ調査と並行して 2017 年 7 月に実施した。また対象者は、ANA 本部及び ALA 等の今後実際に洪水対策を検討する ANA の関連組織の技術者を対象とした。

基本的なワークショップのテーマは、上述した「洪水のメカニズム把握」及び「衛星データの利用」を含めた「洪水対策計画の策定」とし、本調査で用いた分析手法を中心とした説明（RRI モデルを利用した洪水発生域の特定方法や氾濫源の衛星写真解析方法）と演習により洪水対策立案における手法やプロセスの概念について ANA・ALA 技術者のより深い理解を促すことを目指すことを基本に実施した。

12.2.2 ワークショップ開催内容（案）の作成

第 2~5 次現地調査時において、調査団と ANA との協議において確認したワークショップ実施内容（案）は以下の表の通りである。

表 12.2.1 ワークショップ開催内容（案）

項目	確定事項		備考
時期：	2017 年 7 月 17~19 日		3 日
場所：	ANA の会議場		対象 30 名
目的：	AAA や ALA 等 ANA の関連組織の技術者を含む ANA の技術者の洪水発生メカニズムに関する知見を強化し、氾濫源の調査に要する衛星データ利用技術を向上させることにより、洪水対策に関する理論的概念の理解が深められる。		
概要	(1) RRI のソフト紹介、ソフトダウンロード、インストール、デモ（半日） (2) RRI の実践-1（地形 Data Download（Aster 等）、水文 Data の入力） (3) RRI の実践-2（計算の実施（現況）、結果の確認） (4) RRI の実践-3（計算の実施（対策後）、結果の確認） (5) RRI 計算結果を利用した洪水対策効果の確認		
Day-1			
時間：	内容：	モデレーター等：	想定時間
10:00	挨拶-1	ANA 代表	10 分
	挨拶-2	JICA 調査団	10 分
10:20	ワークショップの概要説明:(Chapter 0) RRI の紹介: (Chapter 1)	JICA 調査団	120 分
12:20	質疑応答	IICA 調査団	40 分
13:00	昼食休憩		90 分
14:30	RRI ワークショップ開始: (Chapter 1 & 2)	IICA 調査団	90 分
Day-2			
10:00	挨拶	IICA 調査団	15 分
10:15	RRI の実践-1: (Chapter 3) 地形 Data Download（Aster 等）・入力 水文 Data の Download ・入力 RRI の説明（河道断面の自動設定、パラメータの説明） 実施内容質疑応答	IICA 調査団	150 分
12:45	昼食休憩		
14:00	RRI の実践-2: (Chapter 4) 現況計算の実施、結果の確認	IICA 調査団	60 分
15:00	RRI の実践-3: (Chapter 5) 洪水対策案の検討説明（河道拡幅、堤防建設、上流での遊水地対策等） 洪水対策案の RRI への Input	IICA 調査団	90 分
Day-3			
9:00	挨拶	IICA 調査団	15 分
9:15	RRI 計算結果を利用した洪水対策効果の確認: (Chapter 4, 5, & 6) ワークショップの復習 調査結果の復習（便益の算出・効果の具体的数値としての確認）	IICA 調査団	120 分
11:15	JICA の調査内容の説明及び質疑応答		60 分
12:15	講評及び受講証明書の手交		60 分
13:15	終了		

項目	確定事項	備考
必要環境：	出席者にパソコン1台/人の提供（基本的には出席者自身による準備） インターネット（データをダウンロードしたいため高速な環境）	
招待者	ALA（20名）、ANA（5名）：計約30名	
負担事項	調査団：休憩時のコーヒー等 ANA：会場費	

12.2.3 ワークショップ実施のレビュー

上記の 12.2.1~12.2.2 項に示したワークショップの実施計画に基づき、2017 年 7 月 17~19 日にワークショップを実施した。結果は以下に示す通りである。

(1) 参加者

洪水被害の多い ALA を中心に 22 名の出席があった。

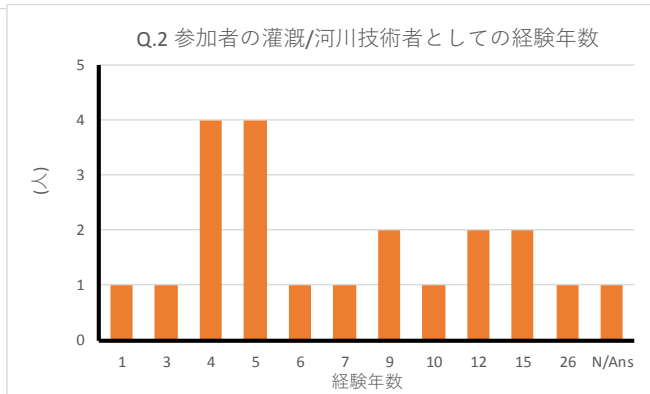
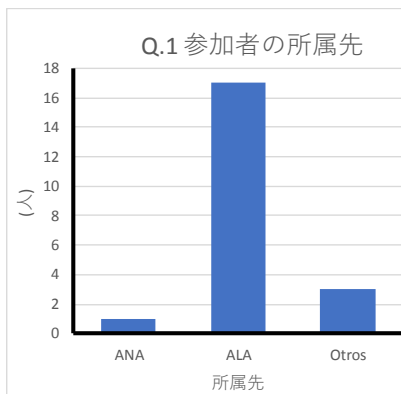
出席者のリストは以下の通り。

表 12.2.2 ワークショップ出席者

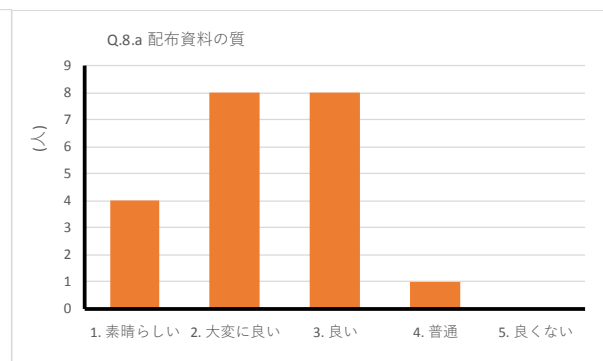
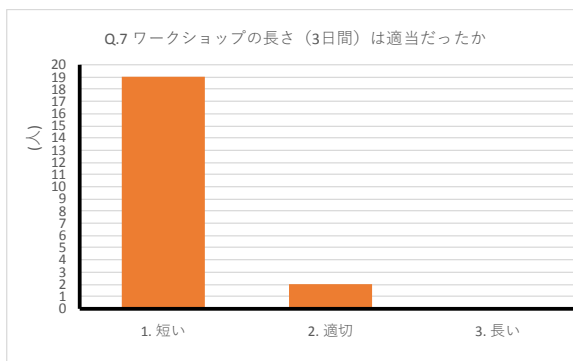
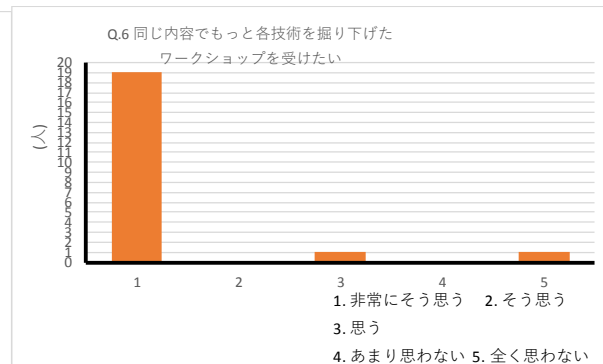
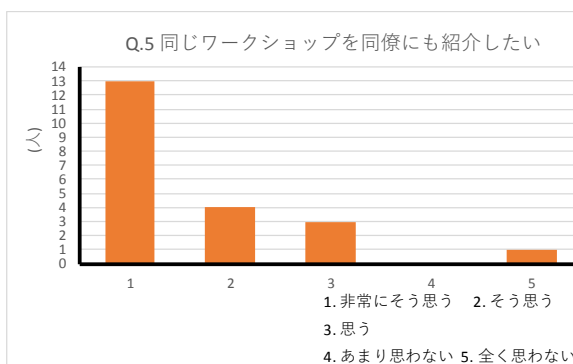
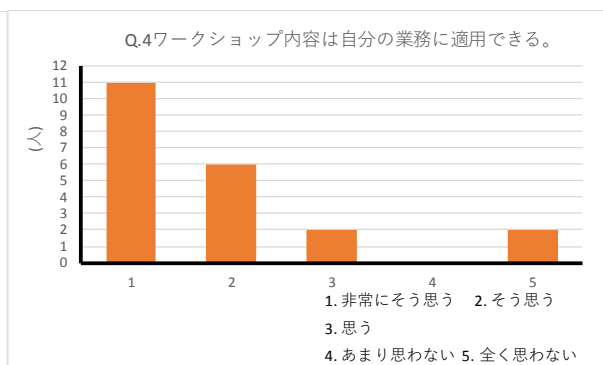
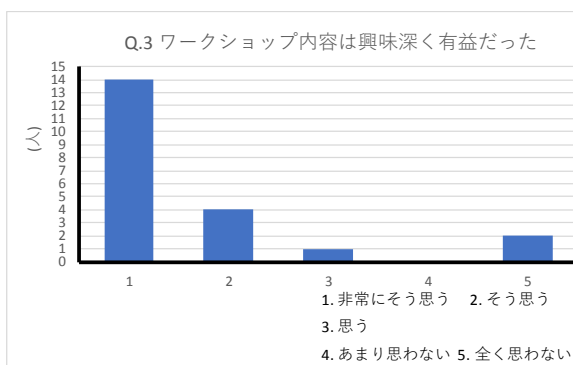
Item	Administración Local del Agua	Personal propuesto
1	ALA Tumbes	Edgar Nilson Ramirez Coveñas
2	ALA Alto Piura	Iván Joel Rivas Arica
3	ALA Medio Bajo Piura	Julio Augusto Aguilar Vásquez
4	ALA San Lorenzo	Wilson Carranza
5	ALA Chira	Javier Hipolito Chozo Neyra
6	ALA Motupe-Olmos-La Leche	Clever De La Cruz Durand
7	ALA Chancay-Lambayeque	Víctor Eduardo Marcos Correa
8	ALA Zaña	Juan Eduardo Muñoz Alva
9	ALA Jequetepeque	Ginez Yopez Vasquez
10	ALA Moche-Viru-Chao	Carlos Alberto Juarez Martinez
11	ALA Chillón-Rímac-Lurín	Rodolfo Mariñas Ramirez
12	ALA Ica	Luis Manuel Bustinza Riberos
13	ALA Camana – Majes	Rosendo Javier Portilla Anco
14	ALA Tingo María	Wilder Levi Trujillo Salas
15	ALA Mantaro	Milton Cesar Torres Vilca
16	ALA La Convención	Rene Grover Arapa Carcasi
17	ALA Sicuani	Wilber Morocco Quispe
18	ALA Cusco	Isais Pumasupa Huaman
19	ALA Ramis	Carlos Efrain Carpio Ramos
20	ALA Chili	Florentino Ordoñez Jurado
21	ALA Ilave	Eliana Maquera Mamani
22	ANA	Litzia Cisneros Huamani

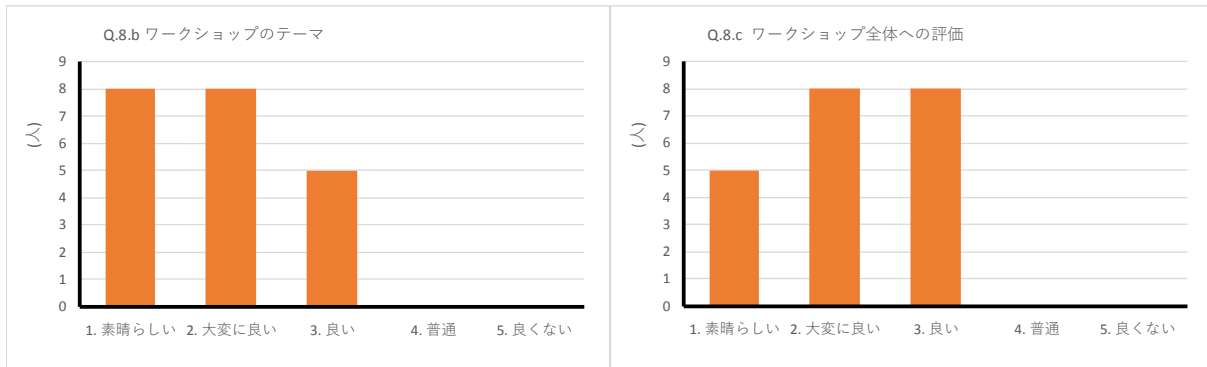
(2) 参加者からのフィードバック

22 名の出席者のうち、21 名からワークショップの内容に関するフィードバックシートへの回答があった。結果は以下の通り。



(注: Otros は全て ALA 職員である。☑を間違ってしまったものと想定される。)





Q.9: ワークショップの中で何が一番面白かったか？（記述式）

No.	コメント
1	言葉の壁はあったが、上手く意思疎通ができたワークショップだったと思う。 Web-base の情報、どのように河川計画が構成されているかよく理解できた。
2	アメリカと日本の衛星情報を取得する方法。
3	調査団による調査結果
4	RRI のモデル構築部分の実施時間が短かった。衛星からのデータを RRI データに変換する部分をもう少し詳しく説明して欲しかった。
5	RRI はシンプルな情報で洪水解析ができるのが面白い。
6	2 つの国の情報・経験の交換が面白かった。
7	ペルー以外の国に関する情報が面白かった。
8	RRI ソフトが興味のあるソフトであった。
9	流域の流量の計算ができる RRI ソフト
10	既にあるデータで洪水流量が算出できる RRI ソフト 実測の河川横断図が入力できる RRI ソフトとそれらを利用した河川計画が知りたかった。
11	雨と地形データで洪水流量が計算できる RRI ソフト
12	実践的なソフトの利用と洪水対策計画への応用
13	RRI の利用及び両国の情報交換
14	RRI の流域モデリング・利用
15	洪水解析に必要なデータを衛星及びウェブ（日・米）から取得できる技術
16	特に Piura 川における洪水被害を軽減する必要性。履歴・洪水シミュレーションから災害を軽減する技術がためになった。
17	RRI を利用する方法
18	RRI の利用がためになった。 もらった Input データを作成する事の方がより重要である。
19	モデルに利用するための Input データは国外で作成されている。 基本データは ANA のサーバにあるべき。またこれらの情報は全ての ALAs に送っておくべき。 いくつかのコンピューターで RRI が動かなかったが、必要なパソコンスペックを伝えるべき。
20	調査団からの河川の問題と解決技術は参考になった。ただし全ての情報を理解するには時間が短かった。全てを理解する前に次のトピックに進んだのでちょっとだけフラストレーションがあった。
21	ワークショップで利用するソフトはパソコンにインストールされているべき。

(注: 直訳ではなく、調査団で意味を理解して意識している。)

Q.10: どこをもっと自分の業務に関係する部分において強化したいか？

No.	コメント
1	インターネット・ウェブ情報の迅速な取得
2	アメリカと日本の衛星情報を利用する方法。
3	RRI の利用方法をより詳しく
4	RRI のモデルリング能力
5	河川構造物の設計に関する問題をもっと詳しく知りたい
6	洪水対策技術。ダム技術
7	少ない情報で洪水解析ができる RRI をもっと知りたい。
8	RRI モデルによる洪水対策計画
9	RRI モデルを利用した洪水のキャリブレーション技術
10	より高度なソフトの利用及び降雨解析技術
11	地形と降雨の修正方法
12	ARC GIS
13	RRI の利用技術
14	ARC GIS 他のプログラム情報
15	日・米両国のより多くのデータセンターからのデータ取得技術
16	河川の水利的な問題に対する解決技術
17	
18	
19	RRI は業務で利用可能であるが、全てを理解する時間ではなかった。 少なくとも RRI だけで1ヶ月程度の研修は要る。
20	河川・灌漑技術者が利用する水利技術用語とその理解。
21	RRI による洪水解析技術

Q.11: 具体的自分の強化すべき内容（最優先2つ）

No.	優先事項強化技術-1	優先事項強化技術-2
1	洪水のインパクトを評価する河川断面決定手法	洪水のリスク地域の設定と河川改修手法
2	FAO が開発した CROPWAT の利用方法	ペルー河川の環境調査方法
3	ArcGIS	Q-GIS
4	河川モデル構築	ソフトを利用した”河川区域”設定
5	河川構造物の設計	土砂に関する解析
6	洪水対策と河川区域設定	洪水対策と放水路
7	雨の情報取得（他のソフトでの利用方法）	GIS 技術と気候モデル
8	河川横断が入れられる RRI バージョン	HEC-RAS と GIS 技術
9	RRI モデル洪水のキャリブレーション技術	ソフトを利用した”河川区域”設定
10	河川の土砂収支解析	地下水流解析
11	RRI モデル洪水のキャリブレーション技術	ソフトを利用した”河川区域”設定
12	ARC GIS（流域情報のモデリング技術）	Q GIS（流域情報のモデリング技術）
13	Q-GIS	衛星のデータ取得情報・技術
14	より詳細な RRI 利用方法	GUI を利用したモデル構築技術
15	解析結果をキャリブレーションする技術	解析結果に基づく洪水対策計画策定技術
16	河川の意時間管理を含めたモデリング技術（2カ月程度）	河川・洪水対策構造物の設計
17		
18	モデルに入力するデータの作成方法	モデルのキャリブレーションと修正

No.	優先事項強化技術-1	優先事項強化技術-2
19	衛星情報取得技術	ARC GIS
20	日本の河川区域設定手法	日本の河川洪水対策技術
21	HEC-RAS、MIKE-Flood、RRI 等の利用方法	他国の流域管理技術

(3) ワークショップ風景及び参加者写真

以下にワークショップ実施風景及び修了後の参加者の全体写真を示す。



(4) ワークショップ実施後の纏め

(2)参加者からのフィードバックに示しているように、参加者からのワークショップに対する感想は概ね好評であった。

ワークショップ実施の目的である、

- 洪水発生メカニズムを RRI によって確認できる事；
- RRI の実践を通し、洪水の発生は、降雨・地形・地質及び河川断面に大きく関係する事；
- RRI の実践を通し、近年、上記の必要な情報は、衛星データ等によって入手することが可能な事；
- 治水計画は、河川断面の改善及び上流における流量低減施設の計画である事；及び
- 治水計画は、流域全体の洪水対策計画（マスタープラン）が必要な事は、参加者全員が理解できた。

一方、ワークショップの実施においては、

- 参加者が持参した一部のパーソナルコンピューターでは RRI が動かなかった。

- また、RRI が動いても、元々精度の高いシミュレーションをするためには、計算時間が長く、調査で利用したモデルをワークショップでは利用できなかった。

等の課題があったため、今後は持参するパソコンの仕様を前もって規定しておく必要があることが確認された。

さらに、今後のペルー国の治水対策を向上させるために貢献できるワークショップ内容としては、参加者のニーズも考慮して、以下の内容の講習及び実践内容を含むワークショップを検討すべきである。

- ◆ 治水計画に利用するモデル降雨の作成手法（1 週間程度）
- ◆ 洪水モデルを作成するための GIS 講習（2 週間程度）
- ◆ RRI、HEC 及び MIKE 等の洪水氾濫と治水計画を策定するまでの、マスタープラン策定手法（1 ヶ月程度）

第 13 章 洪水・土砂災害被害及び復興ニーズ調査結果概要

13.1 洪水被害・ニーズ調査の実施の必要性

13.1.1 実施の背景

第 1 章の「1.1 業務の背景」に示しているように、ペルー国における洪水対策は、現在、2015 年仙台防災枠組における今後の課題である「災害リスクを減らすため、災害への備えの向上と国際協力の下進められる災害後の『より良い復興 (Build Back Better)』活動の必要性」に基づき、洪水リスクの軽減のための事前対策の促進が求められている。

しかしながら、2017 年 1~3 月に掛けて、1998 年以来の懸念されていた大洪水が、洪水リスクの軽減のための事前対策が促進される前に、ペルー沿岸部のエル・ニーニョ現象を要因として北部地域を中心に発生した。2017 年 6 月 9 日現在の INDECI の最終被害報告では、緊急事態を宣言した自治体が 980、総被災者数が 164 万人を超えた（表 13.2.3 及び表 13.2.4 参照）。

このような状況の下、本調査において被災地域における関連機関との面談及び現場踏査を通し、

- 本洪水及び土砂災害被害の概要、復旧・復興方針及びニーズの確認

を調査することにより、その結果を本調査の他の調査・検討部分と合わせ、ペルー側との「洪水対策能力強化に関する政策・制度の改善のための議論」の材料を作成する絶好の機会と捉えられている。

13.1.2 実施の目的

上述したように、洪水・土砂災害被害及び復興ニーズ調査は、今後の JICA 及び我が国の関連機関とペルー国側との「洪水対策能力強化に関する政策・制度の改善のための議論」の資料を作成するものである。

よって調査内容は、「洪水・土砂災害被害及び復興ニーズ調査」ではあるが、ペルー側の復旧・復興のためのニーズを確認するに留めず、洪水・土砂災害発生メカニズムの把握、本調査の 5 章及び 7 章の降雨・洪水氾濫解析結果との比較・考察、並びに今後の洪水対策事業実施に向けた組織・制度を含めた課題とその改善策も検討する。更には、本邦技術の活用可能性についても実災害を対象に検討する。

洪水・土砂災害被害及び復興ニーズ調査は以下の二段階に分けて実施する。

- 事前調査：2017 年 5 月に実施を予定したセミナーにおいて（第 12 章参照）、洪水被害と提言の一部を紹介するため、主に洪水被害の概要確認及び実被害と本調査で解析した結果（第 7 章参照）との整合性確認を行う。また、二回目の調査（本格調査）の対象流域及びその ANA 側の受入調整も行う。
- 本格調査：本格的な災害被害調査及び復興ニーズ調査を実施する。調査対象は、基本的にはペルー北部の 4 州 6 流域（Tumbes 川、Piura 川、Motupe 川（支川の La Leche 川含む）及び Trujillo 市内の Leon 川、San Idelfonso 川、San Carlos 川）並びに Lima 州の Rimac 川とす

るが、現地での調査により調整して最終決定する。

13.1.3 実施の概略内容及び工程

(1) 事前調査

事前調査は、2017年4月26日～5月3日に掛けて実施した。本調査には、以下の内容を含める。

- 洪水被害全体概要把握
- 現地踏査（Tumbes 州、Piura 州、Lambayeque 州及び La Libertad 州）
- 上記現地調査に基づく、セミナープレゼンテーション資料の更新と内容のセミナーでの発表
- 本格被害・復興ニーズ調査の実施工程計画案の作成及び関連機関との調査工程調整

(2) 本格調査

本格調査は、2017年6月26日～7月21日に掛けて実施する予定である。本調査には、以下の内容を含める。

- 2017年1～3月洪水時の水文検討（降雨解析の更新）
- 本調査（5～7章）で実施した氾濫解析結果との比較及び実洪水氾濫現象の考察
- 現地踏査
 - 洪水現象・土砂災害現象の把握
 - 復旧・復興に向けたニーズ確認
 - 既往洪水対策の課題の整理
- 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面それぞれからの課題解決に向けた提言
- 本邦技術活用可能性の検討

13.2 事前調査結果の概要

事前調査は、上述したように2017年4月26日～5月3日に掛けて実施した。以下に結果の概要を示す。

13.2.1 調査実施工程

2017年1～3月にペルー国の北部地域を中心に発生した洪水の被害概要確認及び今後の洪水発生に対する被害軽減策の提言（詳細は2回目の調査で実施する）並びに日本の技術の提供の可能性を確認するため、以下の工程で第一回目（事前調査）の洪水被害ニーズ確認調査を実施した。

表 13.2.1 洪水被害調査（事前調査）実施工程

日時	視察先
2017年4月27～28日	Tumbebs 川（Tumbes 州）
2017年4月29日	Chira 川（Piura 州）
2017年4月30日	Piura 川（Piura 州）
2017年5月01日	Motupe/La Leche 川等（Lambayeque 州）
2017年5月02～03日	Chicama 川、Trujillo 市内を流下する Quebrada 等（La Libertad 州）

出典：調査団作成

上記の工程で実施した洪水・土砂災害被害概要調査結果を以下に示す。



出典：調査団作成

図 13.2.1 洪水被害事前調査現地踏査実施州

13.2.2 各州の被害概要

各州の被害概要は、各州の COER から入手した。結果は以下の表 13.2.2 の通り。

表 13.2.2 調査実施州における被害の概要（事前調査）

Region	被災住民 (人)	被災家屋 (戸)	教育 (件)	病院 (件)	農業用水 (km)	道路 (km)	農地 (ha)	備考
Tumbes	38,021	11,547	88	39	1,309	408	5,399	
Piura	443,869	90,172	270	164	1,206	2,975	27,506	総被害額約 S/. 13 億
Lambayeque	207,834	43,611						
La Libertad	257,153	71,986						

出典：各 COE-R または Regional Government 防災担当者からの提供資料（4 月 28~5 月 3 日調査時点）

また、INDECI は今回の沿岸性 El Nino 現象に起因する災害被害の概要を 2017 年 6 月 9 日にホームページで発表した。その結果を以下に表 13.2.3 及び表 13.2.4 として示す。

表 13.2.3 沿岸性 El Nino による災害で緊急事態を宣言した自治体数

No.	Region (州)	緊急事態を宣言した自治体数	
		Provincia	Districtos
1	Ancash	20	166
2	Arequipa	8	49
3	Ayacucho	11	58
4	Cajamarca	13	127
5	Callao	1	3
6	Huancavelica	7	57
7	Ica	5	27
8	Junin	1	1
9	La Libertad	12	83
10	Lambayeque	3	38
11	Lima	10	145
12	Loreto	7	47
13	Piura	8	65

No.	Region (州)	緊急事態を宣言した自治体数	
		Provincia	Districtos
14	Tumbes	3	13
Total		109	879

出典：Informacion de Emergencias y Danos Producidos por El “Nino Costero”, IDECI, 09 Junio 2017

黄色にハッチした州は、本調査の「本格調査」によって現地踏査を実施した州

表 13.2.4 沿岸性 El Nino による災害における州別災害被災者数

No.	Region (州)	被災者数 (人)				
		Damnificadas (重大影響者)	Afectadas (影響者)	Fallecidas (死者数)	Heridas (負傷者数)	Desaparecidos (行方不明者数)
1	Amazonas	221	223			
2	Ancash	34,953	102,756	27	126	1
3	Apurimac	489	969	1	1	
4	Arequipa	2,110	48,914	17	40	5
5	Ayacucho	1,258	6,192	9	6	
6	Cajamarca	1,608	10,531	8	6	2
7	Cusco	244	7,633	9	2	
8	Huancavelica	5,493	29,031	6	2	
9	Huanuco	937	2,552	1	2	
10	Ica	4,525	103,012		60	
11	Junin	859	763	3	25	
12	La Libertad	74,310	378,379	14	69	4
13	Lambayeque	52,860	127,755	9	5	
14	Lima	16,760	39,029	16	78	1
15	Loreto	198	108,950			
16	Madre de Dios	257	7,548			
17	Moquegua	237	5,216	1	2	
18	Pasco	240	1,574	1	2	1
19	Piura	91,440	303,472	17	39	4
20	Puno	72	238	4	1	
21	San Martin	133	3,360	1		
22	Tacna	47	5,208	1		
23	Tumbes	1,016	56,493			
24	Ucayali	508	7,678	2		
Total		290,775	1,357,476	147	466	18
		1,648,251		631		

出典：Informacion de Emergencias y Danos Producidos por El “Nino Costero”, IDECI, 09 Junio 2017

黄色にハッチした州は、本調査の「本格調査」によって現地踏査を実施した州

13.2.3 洪水・土砂災害を起こしたと考えられる基本的要因

今回の洪水・土砂災害を起こしたと考えられる基本的要因は「気象条件」、「気象条件に伴う大量の降雨」、及び「社会条件の変化（脆弱性の増加）」の3つである。以下にその概要を示す。

(1) 気象条件：El Niño costero の再発生

2015-2016年に掛けて、大洪水を起こす可能性があると言われた極めて強いEl Niño現象が観測された。ペルー国政府はこのEl Niñoに起因して発生する洪水の準備のため、大規模なEl Niño対策を実施した⁸。幸いにもこのEl Niñoはいったん終息したが、大洪水発生時の2017年2月～3月にはペルー沿

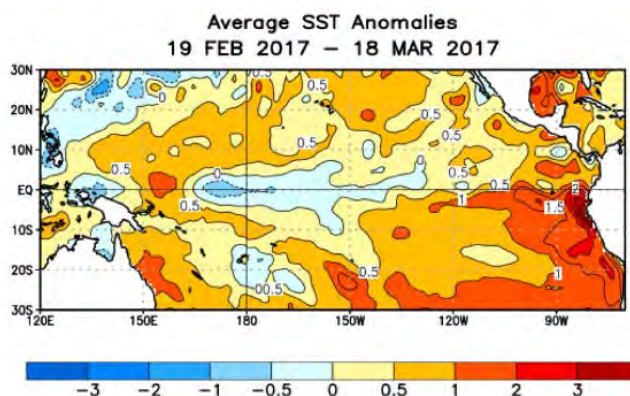
⁸ 基本的には、護岸の整備及び河床内に堆積した土砂の浚渫（掘削）等を実施した。

岸の海水温が特に高い状況となる”El Niño costero”が再び発生し、この現象が今回の洪水の基本的要因の1つである。⁹

この El Nino 現象と洪水の関連性に対する最新の ENFEN (Estudio Nacional del Fenómeno "El NIÑO") 等の研究結果が以下のように発表されている。

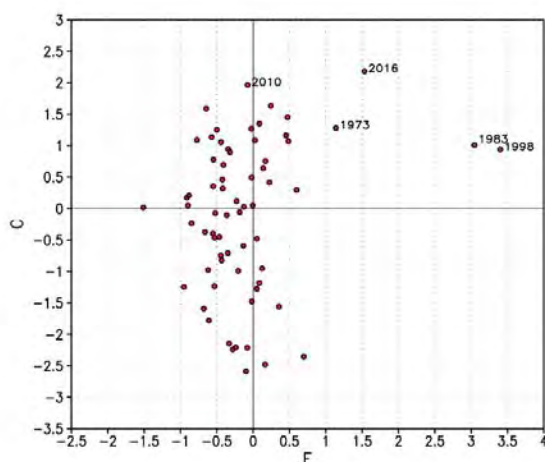
- 従来言われていた、「El Nino 時に Peru では洪水が発生する」は、「El Nino による海面温度の上昇が東太平洋（ペルー沿岸）で発生する場合にペルーに大洪水を発生させる気象条件を強く形成する」とする方がより正確かもしれない（今後も研究を継続）。

以下に、2017 年 2 月～3 月における太平洋の海面温度（平年比較）と El Nino の発生年度のタイプを図にしたものを図 13.2.2 及び図 13.2.3 として示す。



出典 : Figure 2. Sea-surface temperatures have been warmer than average over the past month across most of the southeastern Pacific. The unusual warmth has been especially sharp near the coast of Peru, where the monthly departures from average are greater than 3°C (5.4°F). Image credit: NOAA/NWS Climate Prediction Center, Bob Henson, Weather Underground (<https://www.wunderground.com/cat6/weird-coastal-el-nino-clobbers-peru-80-killed-14-billion-damage>)

図 13.2.2 2017 年 2 月～3 月の El Nino の発生状況

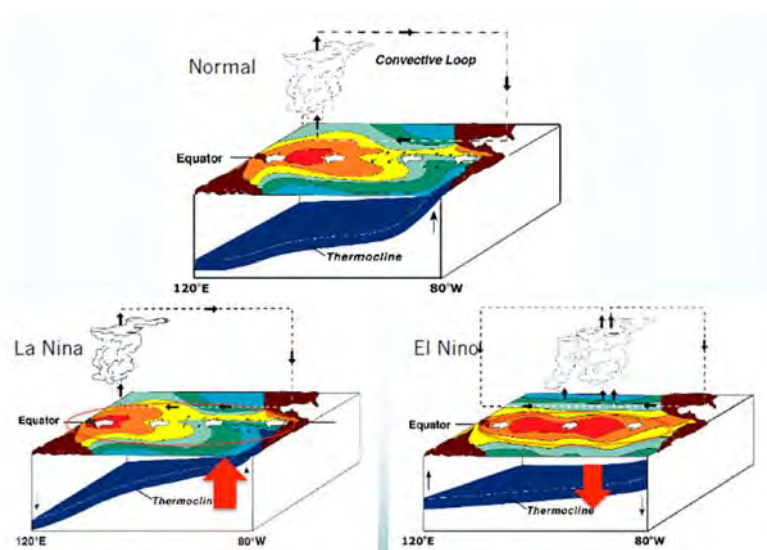


出典 : Figure 3. Each El Niño can be rated according to whether its sea-surface warming is more focused in the central equatorial Pacific (C index) or the eastern equatorial Pacific (E index). Of the three strongest El Niño events since 1950, the 1982-83 and 1997-98 events were dominated by eastern Pacific warming (E-type), whereas the 2015-16 warming was more of a C-type than E-type event, Bob Henson, Weather Underground (<https://www.wunderground.com/cat6/weird-coastal-el-nino-clobbers-peru-80-killed-14-billion-damage>)

図 13.2.3 太平洋の各年の海水表面温度

⁹ 但しこの El Nino 現象は、アメリカの NOAA 及び日本の気象庁では El Nino 現象としては認定していない。

また、El Nino 時にペルーやエクアドルに大雨が降るシステムを一般的に説明した、文献資料を以下に示す。



出典：Figure 11 Schematic explanation of the effect of El Niño and La Niña (DRR-Team Scoping Mission Report Peru, Dutch Risk Reduction Team (2016/06))
Original Source: Thomas P. Phillips Department of Aerospace Engineering, CCAR, ESOC, CIRES, University of Colorado H. E. Longenecker (University of Colorado) and J. M. Smith (University of Nevada, Reno)

図 13.2.4 ペルー周辺の El Nino・La Niña・通常時の海水温度と大気移動の関係説明図

(2) 降雨：記録的降水量の発生

上記の El Nino Costero の発生における気象条件の下、今回の洪水時には現地調査を実施した地域において極めて多量の降水量が発生した。

SENAMHI の報告によると今回の降雨は洪水が発生した各所で記録上の既往最高またはそれに準ずるような降雨量を記録している。以下に SENAMHI の発表した各地点の月別最大日降雨量の既往履歴と今回の降水量の比較から Tumbes 川流域と Pira 川流域の雨量観測所記録を抜粋して表 13.2.5 として示す (13.3 節において、より詳細な降雨解析を実施しているので参照のこと)。

表 13.2.5 Tumbes 川流域及び Piura 川流域における降雨観測地点の既往最大日雨量と 2017 年の記録

流域/ Estacion	既往最大(年: 降雨量 mm)			第 2 位(年: 降雨量 mm)			2017 年最大(降雨量 mm)		
	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月
Tumbes /									
Prayal	'87: 90.0	'98: 219.0	'02: 103.7	'98: 80.6	'06: 131.6	'08: 91.5	67.7	21.1	53.1
Puerto Pizarro	'17: 192.8	'83: 139.0	'83: 166.0	'98: 97.1	'98: 131.1	'99: 129.2	192.8	48.6	77.4
Matapalo	'98: 129.4	'98: 276.4	'98: 119.7	'07: 97.3	'95: 138.6	'15: 113.9	70.6	111.6	80.6
Piura /									
Morropon	'83: 152.7	'17: 150.5	'81: 170.9	'09: 95.4	'07: 113.5	'12: 120.0	78.0	150.5	116.0
Lancones	'98: 146.6	'98: 139.8	'16: 200.0	'73: 80.0	'08: 110.5	'13: 151.4	21.8	63.8	140.0
San Pedro	'83: 168.0	'83: 166.5	'17: 159.5	'98: 130.0	'08: 109.5	'98: 142.3	75.3	155.3	159.5
Malacasi	'98: 122.0	'17: 134.2	'98: 251.2	'17: 72.3	'00: 95.8	'17: 143.1	72.3	134.2	143.1

注記：黄色のハッチ部の降水量は 2017 年 1~3 月に発生した日雨量

出典：SENAMHI

以上のように、事前被害調査を実施した 2 州における代表的な降雨観測地点での結果は、その多く

の観測所で既往最大または第2位の記録となっており、大量の雨が今回の直接的な原因の1つである。

(3) 社会的条件：経済発展に伴う洪水・土砂氾濫危険区域への人口・資産の集中

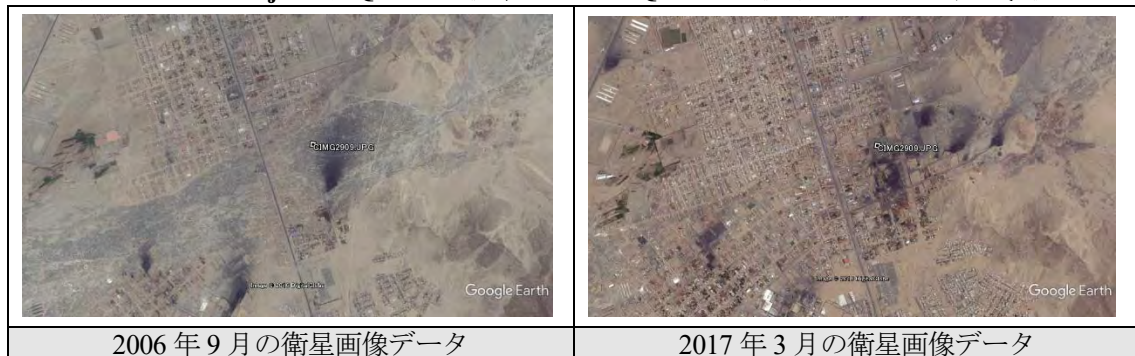
今回の洪水・土砂災害の激甚化の原因は、ペルー国における経済の発展と人口増に伴う、洪水・土砂災害に対する社会の脆弱性の増加も要因の1つと考えられる。

例えば、これまで歴史的には洪水や土砂災害が発生していた場所にも関わらず、近年その記憶が薄れ、災害ハザードエリアに家屋等の資産が形成されていることもその理由である。以下にこの現象の典型的な箇所を例示する。



出典：GoogleEarth

図 13.2.5 Trujillo 市 Qd. Leon 流域における Quebrada 流下地点の土地利用状況-1



出典：GoogleEarth

図 13.2.6 Trujillo 市 Qd. Leon 流域における Quebrada 流下地点の土地利用状況-2

13.2.4 洪水及び土砂災害発生 of 主要な要因の纏め

13.2.3 項に纏めた3つの基本的な洪水発生の要因を起因として、今回の洪水は各地で発生した。一方、本洪水被害状況調査によって現地で確認できた、河川治水整備の状況と関連した直接的洪水の原因は、各地域・流域で異なっており、これらを表にして整理すると以下のように纏められる。またこれらは直接的な今回の洪水・土砂災害被害の主要な原因（Hazard）と考えられる。

表 13.2.6 調査実施州における河川の洪水被害原因の纏め

州	流域・河川・溪谷（Quebrada）等	河川整備に関する今回の被害の直接的原因
Tumbes		
	Tumbes 川	● Tipo-1: 部分的な堤防整備による未整備区間からの浸水 ● Tipo-3: 河川背水防止対策の未整備 ● Tipo-4: 河岸の洗掘（護岸・堤防の損壊・崩壊）

州	流域・河川・溪谷 (Quebrada) 等	河川整備に関する今回の被害の直接的原因
Piura		
	Chira 川	● Tipo-4: 河岸の洗掘（護岸・堤防の損壊・崩壊） ● Tipo-5: 残流域の Quebrada の洪水による農地・農業施設の被害
	Piura 川	● Tipo-2: 堤防・河川の治水計画整備率を超える流量の発生 *1 ● Tipo-4: 河岸の洗掘（護岸・堤防の損壊・崩壊） ● Tipo-6: 上流からの土砂の中下流部での堆積による流下能力の減少
Lambayeque		
	Chancay-Lambayeque 川	● Tipo-7: 市内の排水整備を超える降雨による市街地の浸水 *2 ● Tipo-2: 堤防・河川の治水計画整備率を超える流量の発生 *3
	Motupe 川 La Leche 川 *5	● Tipo-2: 堤防・河川の治水計画整備率を超える流量の発生 *4 ● Tipo-4: 河岸の洗掘（護岸・堤防の損壊・崩壊）
	Olmos 川	● Tipo-4: 河岸の洗掘（護岸・堤防の損壊・崩壊） ● Tipo-6: 上流からの土砂の中下流部での堆積による流下能力の減少
La Libertad		
	Three Quebradas in Trujillo	● Tipo-8: 市内流路・支川の未整備・維持管理の未実施 *6
	Chicama 川	● Tipo-4: 河岸の洗掘（護岸・堤防の損壊・崩壊） ● Tipo-9: 河川を横断する橋梁・カルバートの流下能力不足
	Quebrada ¹⁰	● Tipo-9: 河川を横断する橋梁・カルバートの流下能力不足
	Qd. Cuculicote	● Tipo-2 y 6: 整備断面を上回る洪水と上流からの土砂堆積
	Viru 川	● Tipo-10: 橋梁基礎の適切な建設（要調査） ● Tipo-4: 河岸の洗掘（護岸・堤防の損壊・崩壊）

*1: 3,400m³/s está por encima de la capacidad del canal del río (1,700~2,000m³/s) (a ser confirmado durante la Planificación de la reconstrucción)

*2: Túcume pobre en la ciudad

*3: Baja capacidad de flujo aguas abajo

*4: 700~800m³/s por encima de la capacidad del canal existente (Aprox. 400m³/s) en Illimo (23 Caseríos fueron aislados.) (a ser confirmado durante la Planificación de la reconstrucción)

*5: La Leche 川は Motupe 川の支流

*6: Qd. Leon、Qd. San Idelfonso、Qd. San Carlos

出典：調査団纏め

以下に、上記の表 13.2.6 に整理した洪水の主要な要因となった河川の状況または、流域の状況（排水整備不足）について原因毎に纏めて整理する。

(1) 洪水の発生の原因：流下能力の不足または適切な治水システムの未整備 (Tipo-1, Tipo-2)

(a) Tipo-1: 治水事業の未整備から発生した洪水：Tumbes 川等

ペルーの治水は、1つ1つ個別に治水事業としてその時に最も Critical な区間に対して、実施される。例えば、1999~2009 年に実施された PERPEC 事業¹¹ 等では一定区間の堤防・護岸の建設が行われているが、全川に渡る治水事業ではなかった。

現在も殆どの治水事業は州（Region）政府を主体に実施されており、これらは被害を受けた区間に護岸の設置や堤防を限定的に建設するものであるため、治水事業が「つぎはぎ」状態になっている。このような結果から、例えば Tumbes 川の下流低平地では、無堤区間から、河道の流下

¹⁰ Quebrada（ケブラダ）とは、主要な河川に流入する通常は水が流れていない小規模な支川を意味する一般名詞である。略す場合は Qd. とするのが一般的である。

¹¹ 1997~1998 年に起きた大規模な洪水後に治水復興事業として 1999-2009 年に投資額 126 百万ドルで実施された「河川流路整備、取水構造物保護プログラム（Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructuras de Captación, PERPEC)」。主に堤防・護岸の建設、河床内の掘削工事、被害を受けた灌漑構造物の再建設等が実施された。

能力を超える流量が発生すると農地等に洪水氾濫被害を発生させている。

	
小規模な堤防破堤による氾濫の状況	無堤地区からの氾濫水が低平地の道路・農地に被害を与えている（Chivato 地区）

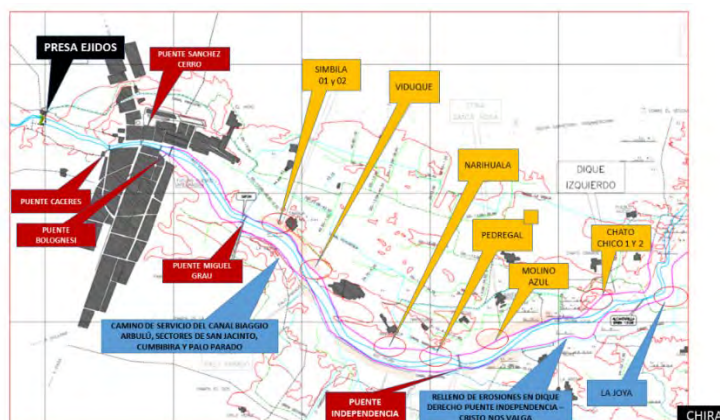
出典：ALA-Tumbes（提供ビデオデータより調査団がキャプチャー）

図 13.2.7 Tumbes 川下流低平地における浸水被害の状況

(b) Tipo-2: 治水事業の整備規模を超える流量による洪水：Piura 川等

上述したように、ペルー国の治水は基本的には重要な区間を堤防と護岸で防御するため、事業を実施していない無堤地区（または最も小規模な堤防で建設された区間）から洪水が発生する。しかしながら、今回の洪水では、既に過去の事業で堤防等が整備された区間からも洪水（堤防天端からの越水）が発生している。

その代表例としては、Piura 川の Piura 市街を中心とした堤防整備区間からの洪水流の氾濫である。



凡例：赤：橋梁位置、黒：頭首工位置、黄色：堤防損傷または破堤部、青：洗掘被害部

出典：Chira-Piura Project（Piura 州）

図 13.2.8 Piura 川 Piura 市街地周辺の河川沿いの被害地点

AAA/ALA 及び Piura 州の担当者へのインタビュー結果は、訪問するたびに変わっている。例えば、2016 年 5 月に現地踏査を行った時は、本区間の堤防整備による流下能力は $3,700\text{m}^3/\text{s}$ であった。ところが、2017 年 3 月洪水の発生を受けて実施した今回の現地踏査によると、対応した技術者が違ってはいるが、越水を起こした堤防区間の流下能力は $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度との事である。今回の洪水では Piura 市街地に位置する Sanchez Cerro 橋地点で $3,468\text{m}^3/\text{s}$ の流量が流れていた、との事である。



出典：上部 2 枚は Chira-Piura Project、下部 2 枚は調査団撮影

図 13.2.9 河川流下能力を超える洪水が発生した Piura 川の破堤部及び補修状況

(c) Tipo-9: 河道の横断工作物が下流への洪水の流れを妨げ大きな被害となった洪水：Chicama 川等

La Libertad 州では、今回の洪水、特に Chicama 川の洪水が Pan American Highway 上を通過し、

- 道路上の長期間の湛水、及び
- 流下した洪水による道路の損傷

によって約 30 日以上、通行止めが続いた。

(2) 洪水災害発生の原因：Tipo-4: 河岸の洗掘（護岸・堤防の損壊・崩壊）

ペルー国の河川の洪水及び堤内地の被害の原因の主要な 1 つが河岸の洗掘による、優良な農作地が消失することである。

これらの洗掘被害を防止するためには、

- 堅固な護岸の建設；
- 水制工による洗掘現象の軽減；及び
- 河道線形の変更

等が考えられる。

	
Tumbes 川下流の洗掘被害現場-1 : 1 日で 7has の農地が消失した、との事。	Tumbes 川下流の洗掘被害現場-2 : 日々洗掘被害が継続しており、抜本的な対策の実施が求められている。
	
Chira 川の洗掘発生箇所 : 重要な農業灌漑水路が崩落する危機となっている。	Tumbes 川下流の護岸被害現場 : 護岸を建設しても被害を受ける区間もあり、堅固な護岸の建設が求められている。

出典：調査団撮影

図 13.2.10 河川の洗掘被害状況

(3) 洪水災害発生の原因：

(a) Tipo-3: 河川背水防止対策の未整備

河川水位が上昇する事により、堤防等によって直接の洪水流の越水による被害は無いが、排水路の逆流によって都市域が浸水する被害を発生させている。

	
堤防によって洪水から防御されたように見える Tumbes 市中心部だが、排水路にはゲートが付いておらず、河川水が都市域に逆流する。	毎年のように浸水被害を受ける Tumbes 市の市街地

出典：調査団撮影

図 13.2.11 河川の洪水が逆流して浸水被害を起こす Tumbes 市の河川沿い区域

今回の事前洪水被害調査では Tumbes 市においてのみ確認できた洪水形態であるが、Piura 市等でも発生している可能性がある。

(b) Tipo-7: 市内の排水整備を超える降雨による市街地の浸水

ペルー国のあまり雨の降らない地域は、都市において、当然の降雨に対し、洪水被害を発生させないような十分な都市排水路が建設されていない事が多く、突然の降雨時には都市全体が浸水するリスクを持っている。

	
洪水時にはひざ上まで浸水した	排水路がなく、道路上を流下する洪水

出典：調査団撮影

図 13.2.12 十分な排水施設が設置されていない Lambayeque の都市

(4) 土砂災害発生の原因：上流の土砂生産及びその下流への流下を防ぐ方策の未整備

(a) Tipo-6: 下流部における堆砂の影響で流下能力の減少、流向の変化による河岸洗掘被害の増大

上流より運搬された土砂が流れの緩やかになった下流区間の河道内で堆積し、「河道の流下能力の減少による洪水リスクの増大」及び「流向の変化による河岸洗掘被害の増大」を招いている。

	
Tumbes 川の下流部に形成された中州	Piura 川の中流部に形成された中州
	
Rimac 川中流部の土砂堆積状況	Ica 川の河床掘削作業状況

出典：調査団及び ANA 撮影

図 13.2.13 河床への土砂堆積状況

(b) Tipo-5: 残流域の Quebrada の洪水による農地・農業施設の被害 及び

Tipo-8: 市内流路・支川の未整備・維持管理の未実施

土砂生産が激しい上流域における、土砂対策及び洪水・土砂を安全流下させる流路の確保の未整備によって、重要な資産及び多くの家屋が洪水・土砂災害の被害を受けている。

	
洪水により流送された土砂により河川断面が殆ど消えた Qd. Cuculicote	洪水及び土砂を十分に流下させる事ができない小さな流路断面しかない、Trujillo 市内の排水路
	
洪水時には直接重要な高速道路に土石流が流出する Rimac 川上流部の支川	上流における土砂捕捉対策が必要と想定される Rimac 川上流部の支川

出典：調査団及び ANA 撮影

図 13.2.14 上流からの土砂が被害を増大させた被害事例

13.2.5 事前調査時に確認できた治水事業関連活動に対する留意事項及び提言

(1) Good Practices の紹介

(a) Piura 川の堤防破堤防御における水防活動の適切な実施

今回の洪水で Piura の堤防システムが既に構築されている Piura 市周辺の河川より、ほぼ区間全川に渡り堤防上から洪水の越水が発生したが、5箇所程度の破堤で済んでいる。これは、Piura 州が運営し、AAA/ALA が支援する Chira-Piura Project が堤防からの越水をできるだけ遅らせる防御、及び洗掘が進んだ堤防を緊急に補強する工事等を洪水発生時に行った水防活動によるところが大きい。

	
堤防洗掘被害発生直後の写真 (Simbila)	洗掘部緊急補修・補強工事 (Simbila)
	
Piura 川堤防左岸 Simbila 地区の洗掘被害発生個所では、破堤を防ぐ土嚢と巨石の設置が洪水期間中に実施され破堤を免れている。	破堤していない区間には洪水時の水防活動としての堤防上に設置された土嚢が残されている。

出典：上部2枚は Chira-Piura Project、下部2枚は調査団撮影

図 13.2.15 Piura 川堤防の水防工事の痕跡

(b) ALA-Tumbes の Tumbes 大学との Tumbes 川洪水氾濫モデルによる解析検討

ALA-Tumbes では、独自の予算で流域低平地の Lider データを購入し、Tumbes 大学からの協力を受け、1999 年以降の近年では最も洪水被害が大きかった 2015 年洪水を対象に、Mike-Flood での氾濫実績シミュレーションを約 9 カ月掛けて行い、氾濫モデルを策定した。以下に氾濫モデル策定のためのキャリブレーションに使用した衛星画像データと Mike-Flood による 1995 年洪水シミュレーション計算図を図 1-4-2 として示す。

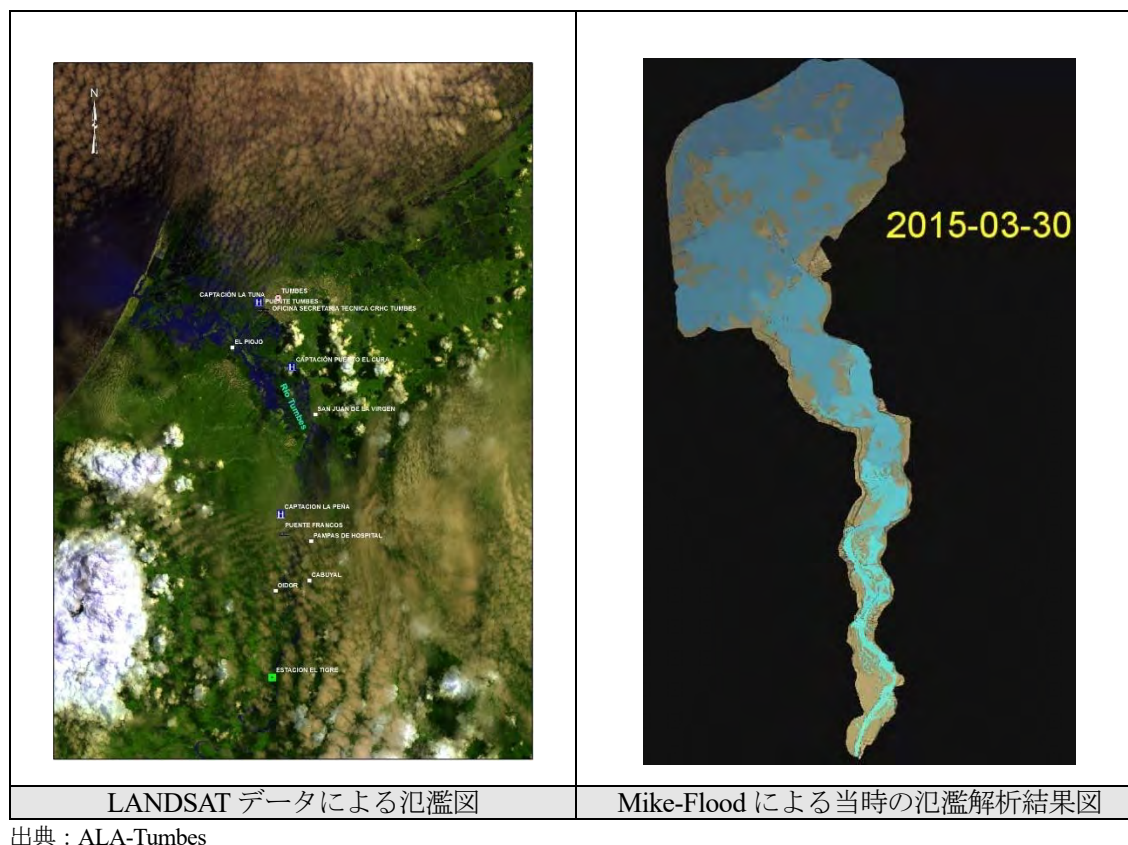


図 13.2.16 Tumbes 川 2015 年洪水の氾濫区域図

2015 年洪水結果を精度よく再現できており、更に ALA-Tumbes では、今後は治水計画に利用したいと考えている。

(2) 復興活動に際しての提言・提案の纏め（特に日本の技術の利用を考慮して）

上記の洪水被害状況の第一回調査の結論を基に、事前調査として以下の提言・提案を纏めた。また、これらの提案は、2017 年 5 月 10 日及び 2017 年 5 月 11 日に行われた 2 回のセミナー時においても提案を行った。

(a) 本調査結果で既に提案した 3 つの提言の再確認

既に、ドラフト・ファイナル・レポート(以下 DFR)まで纏めた、本調査において提案した以下の 3 つの提案は、本洪水被害調査の実施においても以下の表に示すように再確認がされた。

- 洪水対策計画の迅速な策定
- 適切な河川管理
- 洪水対策事業を実施するための適切な事業実施システム構築

表 13.2.7 被害調査で確認した本調査で提案した 3 つの提案の妥当性

提案項目	被害調査で確認できた提案項目の妥当性
洪水対策計画の迅速な策定	今回の洪水で被害を受けた河川では、関係機関に対象河川の計画洪水流量（流量配分）、標準断面図、縦断面図等が明確に記載されている計画書はなく、事業の実施ごとに全体治水計画がなしに設計されている。
適切な河川管理	図 1-3-5 に示したように、流域の全体計画が無い場合、河川、排水路の幅が年々都市の開発のために狭められてきている。

提案項目	被害調査で確認できた提案項目の妥当性
事業実施システム構築	1-3-3 (1)において説明したように、Tumbes 川では、中央政府が PERPEC 事業等で建設した堤防区間、州政府が建設した堤防区間には事業実施区間にギャップがあり、この無堤防区間または堤防高が低い区間から堤内地に洪水が氾濫している。 また、1-3-3(3)で示したように、Tumbes 川の市街地排水路には排水機場はおろかゲートも付いておらず堤防を越える洪水は近年発生していないものの Tumbes 川の水位が高くなると、排水口から河川水が逆流し、市街地に洪水が発生している。しかしながら、Tumbes 市は予算の不足、MEF が承認できる事業案を作成する能力がなく、この状況に対処できていない。 上記 2 つの状況は、1 つの河川でありながら、治水事業を実施する優先度、実施責任が曖昧なことから問題が発生しているため、治水事業実施システム（各機関の治水に対する責任の明記）を構築する必要がある。

出典：調査団作成

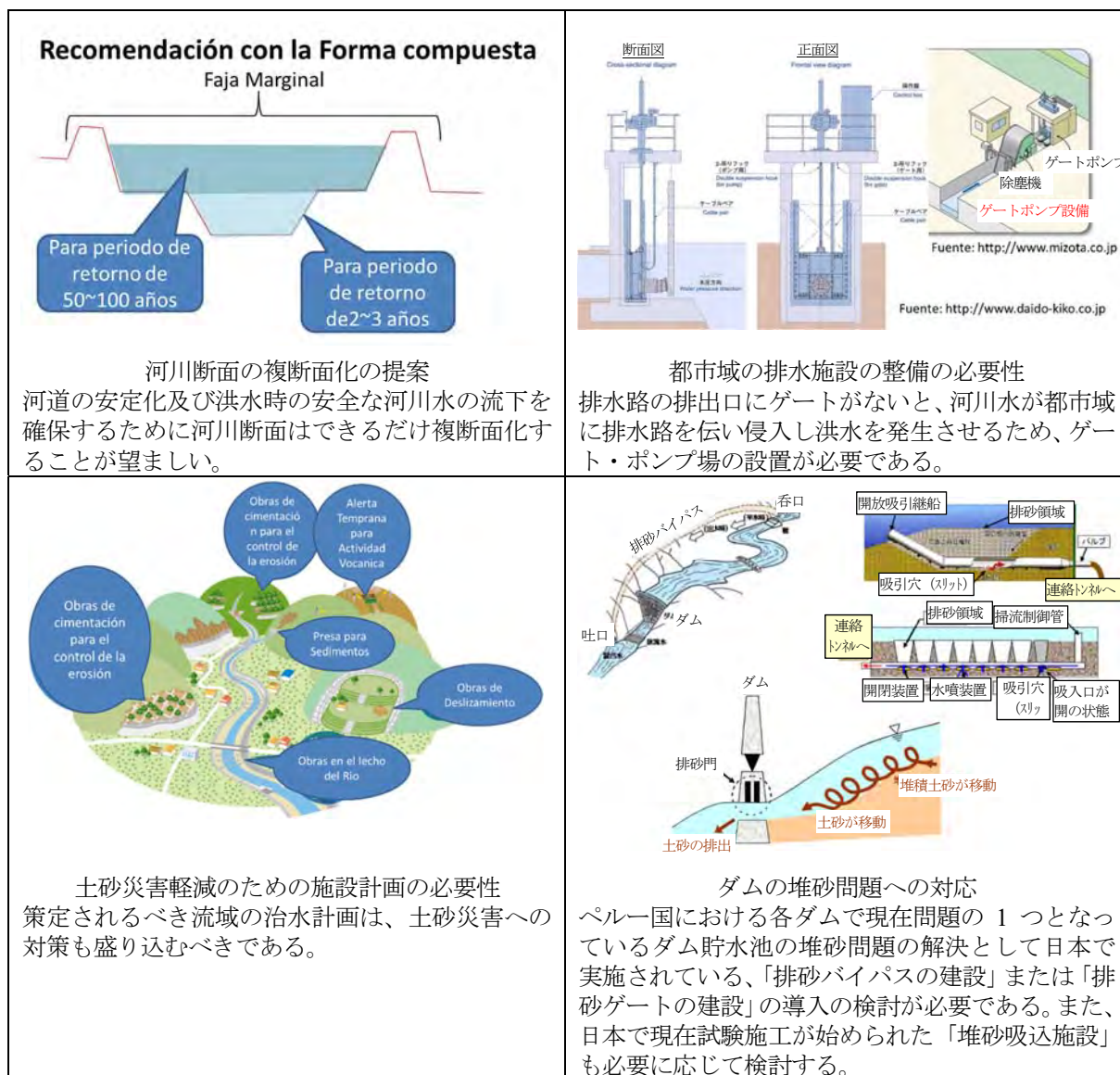
(b) 事前調査で確認した技術的提言

事前調査で確認できた、今後のペルー国における技術的改善点は、今後の「流域治水計画の策定」等上述した 3 つの提言以外には、以下の 6 点である。

- 洗掘被害を軽減する護岸設計時の留意点：護岸をより緩勾配とする提案；
- 洗掘被害を軽減する河道の線形の見直しの提案；
- 河道の安定化のための複断面化の提案；
- 適切な浸水被害を軽減する排水計画の策定とその実施の提案；
- 流域治水計画への土砂対策計画の考慮の提案；及び
- ダムの排砂に関する様々な対策の検討の提案

上記 6 点に関しては、それぞれ以下に示す技術またはノウハウの活用が可能である。

 Kyowa Concrete Industry Co., Ltd. http://www.kyowa-concrete.co.jp	
日本の接続ブロックを利用した護岸 緩傾斜な法面に設置されており、可撓性が高く且つブロックがワイヤーで連結されているため、流出のリスクも小さい。	洗掘を防止するための河道線形考慮 河川の湾曲による異常な流速と洗掘防止のため、河川の線形を緩やかにすることも考えられる。この場合、河川環境に配慮する必要がある。



出典：ALA-Tumbes

図 13.2.17 ペルー国の洪水に関する課題を解決するための技術（事前調査時）

13.2.6 セミナーにおける事前調査結果の発表

平成 29 年 5 月 10 日に実施したセミナーにおいて、本 13.2 節に示した今回の洪水被害に関連する「洪水の要因」、「被害原因と基本的改善の提案」及び「本邦技術の紹介」について 12 章に示すように紹介した。プレゼンテーション資料は添付資料 9 に示す通りである。

13.2.7 洪水被害・ニーズ調査本格調査の実施内容（案）の提案

13.2.3 項において説明しているように、今回の洪水被害の原因は、各流域で特徴がある。よって第 2 回の調査（本格調査）は第 1 回の調査の結果に基づき、以下の方針で実施を行う。

- 調査実施方針-1: 災害発生要因別に調査を実施する。
調査を 2 班に分けて、河川洪水担当班及び土砂災害担当班に分けて実施する。
- 調査実施方針-2: 災害発生要因別に調査対象流域及び州を分けて調査を実施する。
- 調査実施方針-3: 日本の知見を提案する調査結果を纏める

13.3 洪水・土砂災害被害・ニーズ調査（本格調査）結果の概要

13.3.1 2017 年 1~3 月洪水時水文解析再検討（降雨解析）

(1) 顕著な洪水被害が生じたペルー北部流域における降雨解析の実施

2017 年 1-3 月にかけて顕著な洪水被害が発生した Tumbes 川流域、Piura 川流域、Chancay-Lambayeque 川および Motupe 川流域を対象として降雨解析として以下の内容について検討を行った。

- 年最大雨量の経年変化から見た 2017 年の降雨イベントの評価
- 水文統計解析にもとづく確率規模からみた 2017 年降雨イベントの評価
- 流域内における降雨の空間特性の把握

なお、降雨解析は、「5 章降雨解析」にて詳述しているように、確率分布モデルのうち、最も適合度の高いモデルを採用する（5.1.5 項参照）。

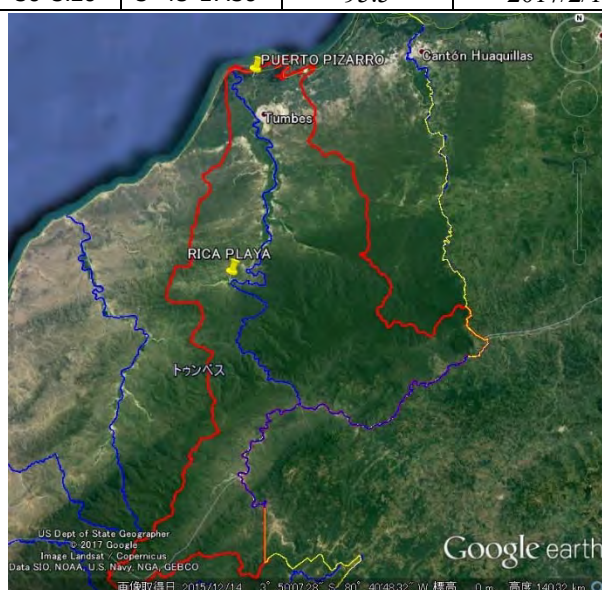
(a) Tumbes 川流域

a) 収集データ

Tumbes 川における 2017 年の降雨データ（日雨量データ）のうち、調査団は下表に示す 2 つの観測地点降雨データを SENAMHI から入手できたため、これら 2 つの観測降雨データを用いて分析を進めた。なお本来であれば Tumbes 川流域内の降雨の空間特性の把握のためにはさらに上流域に位置する雨量観測データを収集、分析すべきであるが、Tumbes 川の上流域はエクアドル領に位置するため、降雨データの入手が不可能であった。

表 13.3.1 調査団が入手した 2017 年降雨データ（Tumbes 川流域）

観測所名	Longitude	Latitude	最大降雨量 (mm/day)	最大降雨発生日	備考
PUERTO PIZARRO	80° 28' 0.00"	3° 30' 52.85"	192.8	2017/1/30	河口付近
RICA PLAYA	80° 30' 3.20"	3° 48' 17.30"	95.5	2017/2/14	中流部



出典：Google Earth

図 13.3.1 降雨観測所位置図（Tumbes 川流域）

b) 年最大日降水量の経年変化からみた 2017 年降雨イベントの評価

Puerto Pizarro 観測所（河口部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.2 のとおりとなる。Puerto Pizarro における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価した場合には観測開始以来の既往最大のイベントと位置づけられる。

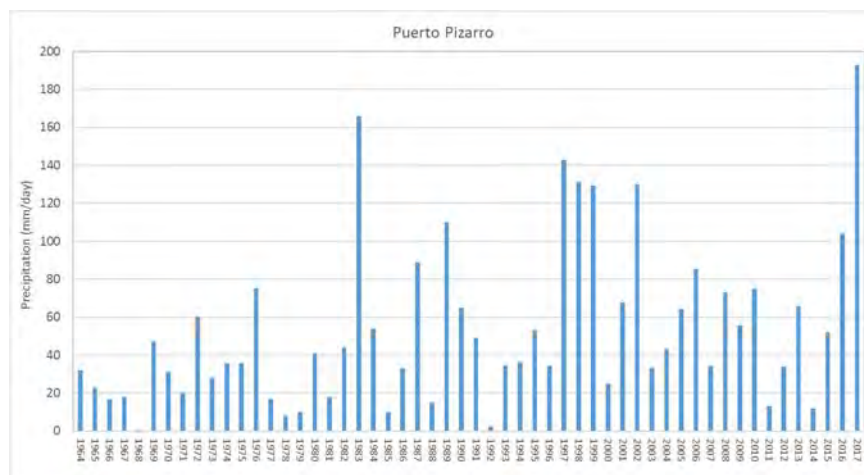


図 13.3.2 年最大日雨量の経年変化（Tumbes 川流域 Puerto Pizarro 観測所）

Rica Playa 観測所（中流部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.3 のとおりとなる。Rica Playa における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価する限りにおいては、過去の降雨イベントと比べて突出した規模のものではない。

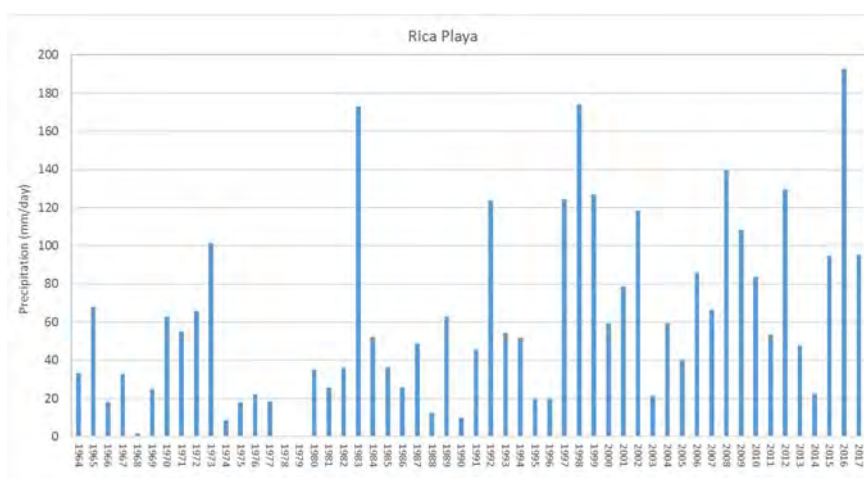


図 13.3.3 年最大日雨量の経年変化（Tumbes 川流域 Rica Playa 観測所）

c) 確率降水量からみた 2017 年降雨イベントの評価

Puerto Pizarro 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記の表 13.3.2 のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 70-80 年の再現期間に該当し、非常に稀なイベントであったと位置づけられる。

表 13.3.2 確率規模別の年最大日雨量（Tumbes 川流域 Puerto Pizarro 観測所）

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	41.4	58.0	78.6	106.9	136.4	177.5	210.2	192.8

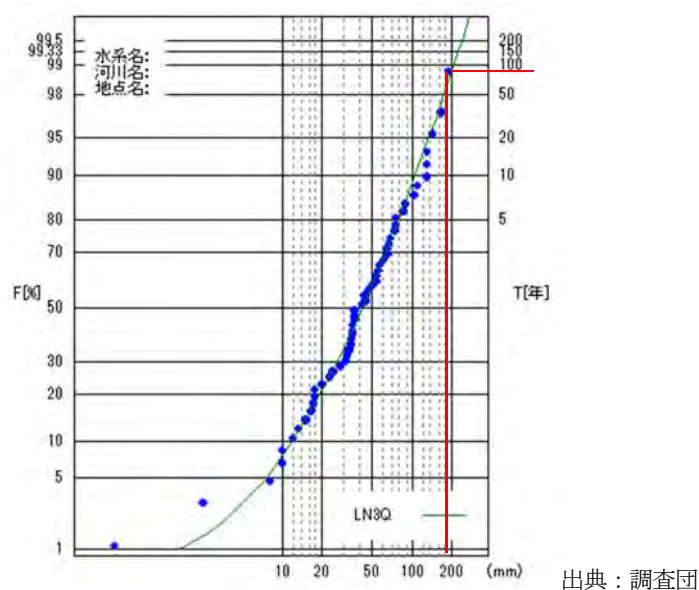


図 13.3.4 降雨解析結果（Tumbes 川流域 Puerto Pizarro 観測所（確率分布モデル：LN3Q））

一方、Rica Playa 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記の表 13.3.3 のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 3-5 年の再現期間に該当し、過去の降雨イベントと比べてそれほど稀なイベントではなかったと位置づけられる。

表 13.3.3 確率規模別の年最大日雨量（Tumbes 川流域 Rica Playa 観測所）

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	51.9	74.5	100.3	131.4	158.2	187.5	205.5	95.5

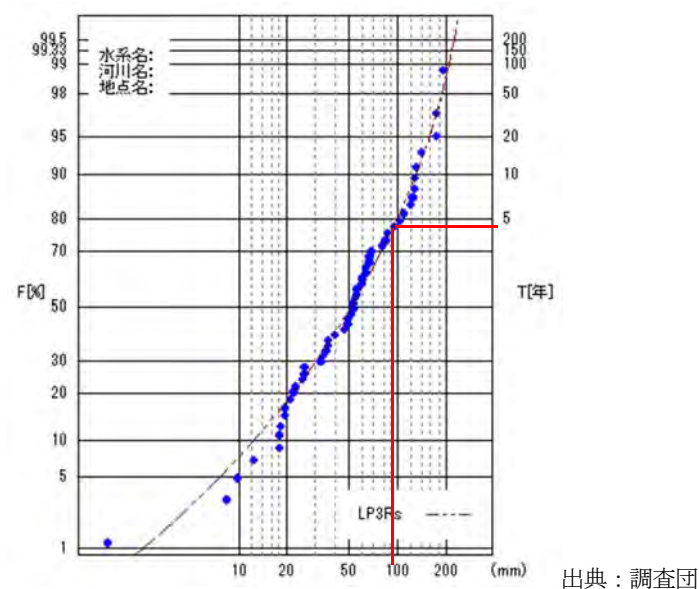


図 13.3.5 降雨解析結果（Tumbes 川流域 Rica Playa 観測所（確率分布モデル：LP3Rs））

(b) Piura 川流域

a) 収集データ

Piura 川における 2017 年の降雨データ（日雨量データ）のうち、調査団は表 13.3.4 に示す 4 つの降雨観測地点データを SENAMHI から入手した。これらのデータを用いて分析を実施した。

表 13.3.4 調査団が入手した 2017 年降雨データ（Piura 川流域）

観測所名	Longitude	Latitude	最大降雨量 (mm/day)	最大降雨発生日	備考
Chusis	80° 50' 0.00"	5° 31' 0.00"	140.6	2017/3/25	河口部
San Miguel	80° 40' 55.00"	5° 14' 35.00"	126.1	2017/3/21	中流部
Morropon	79° 58' 41.00"	5° 10' 47.00"	150.5	2017/2/23	上流部
Malacasi	79° 53' 29.00"	5° 19' 23.00"	143.1	2017/3/25	上流部



出典：Google Earth

図 13.3.6 降雨観測所位置図（Piura 川流域）

b) 年最大日降水量の経年変化からみた 2017 年降雨イベントの評価

Chusis 観測所（河口部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.7 のとおりとなる。Chusis における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価した場合には観測開始以来の既往最大のイベントと位置づけられる。

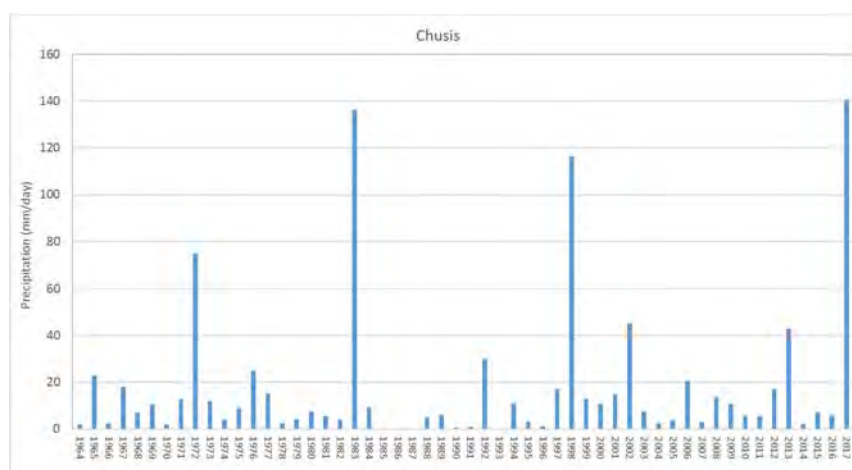


図 13.3.7 年最大日雨量の経年変化（Piura 川流域 Chusis 観測所）

San Miguel 観測所（中流部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.8 のとおりとなる。San Miguel における 2017 年の降雨イベントは、Chusis 観測所同様、日最大雨量で評価した場合には既往最大のイベントと位置づけられる。

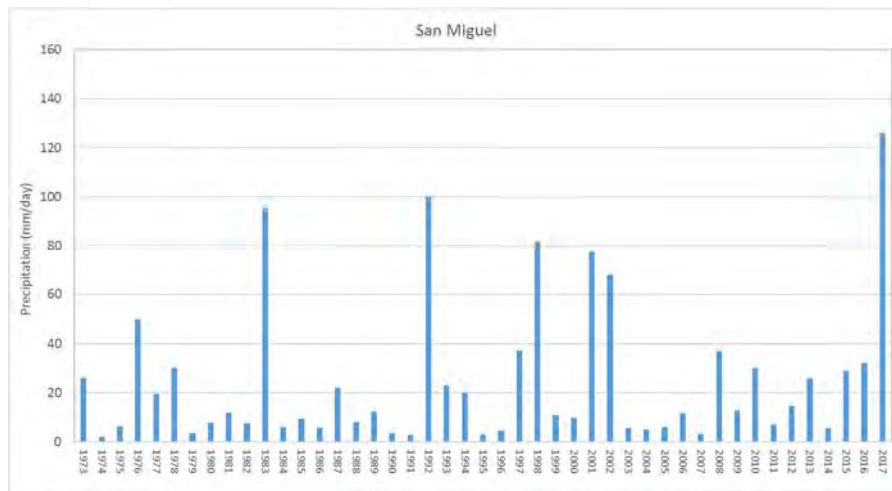


図 13.3.8 年最大日雨量の経年変化 (Piura 川流域 San Miguel 観測所)

Morropon 観測所（上流部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.9 のとおりとなる。Morropon における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価した場合には 3 番目に大きなイベントと位置づけられる。

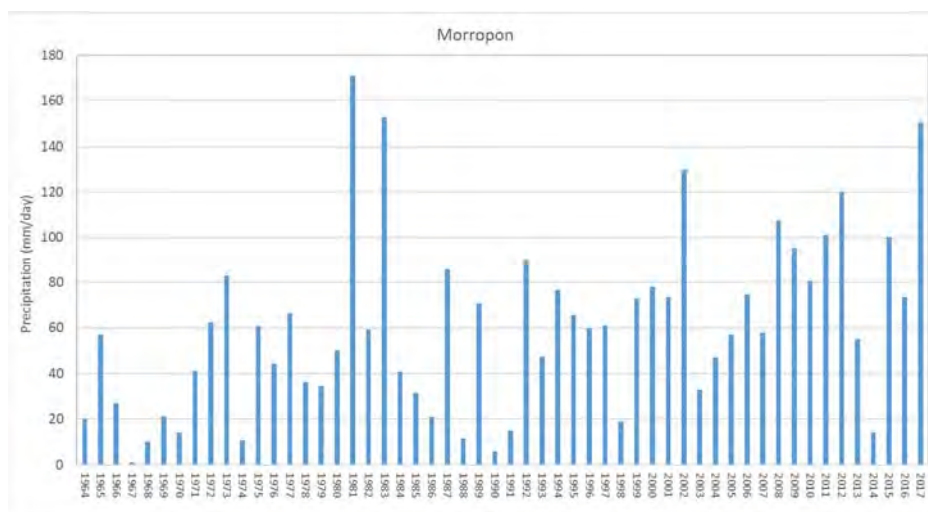


図 13.3.9 年最大日雨量の経年変化 (Piura 川流域 Morropon 観測所)

Malacasi 観測所（上流部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.10 のとおりとなる。観測開始が 1998 年であり標本データが少ないものの、Malacasi における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価した場合には 2 番目に大きなイベントと位置づけられる。

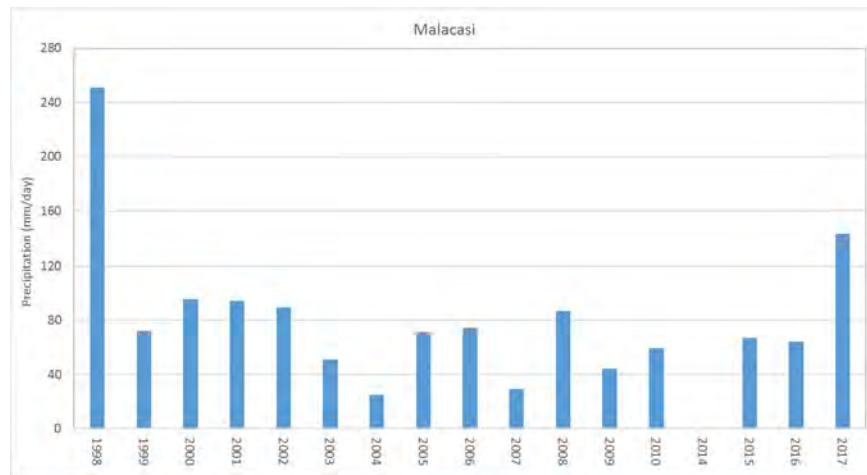


図 13.3.10 年最大日雨量の経年変化 (Piura 川流域 Malacasi 観測所)

c) 確率降水量からみた 2017 年降雨イベントの評価

Chusis 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記の表 13.3.5 のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 60-70 年の再現期間に該当し、既往最大であったことも合わせ、非常に稀なイベントであったと位置づけられる。

表 13.3.5 確率規模別の年最大日雨量 (Piura 川流域 Chusis 観測所)

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	8.5	14.4	24.3	43.4	71.2	125.1	181.5	140.6

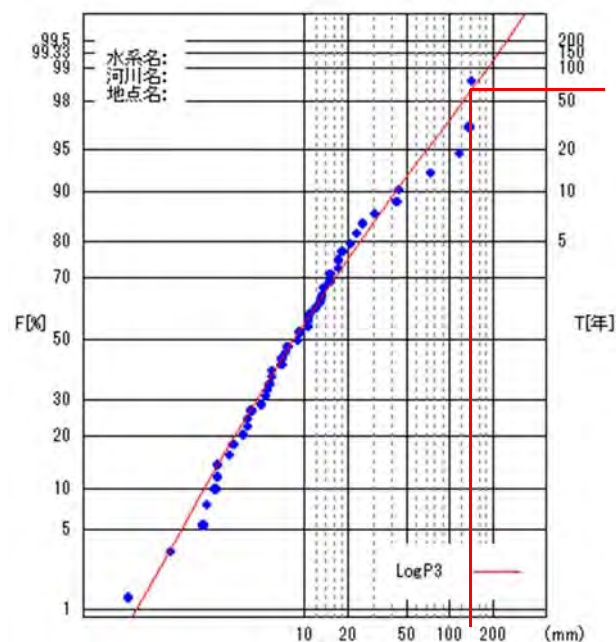


図 13.3.11 降雨解析結果 (Piura 川流域 Puerto Pizarro 観測所 (確率分布モデル : LogP3))

San Miguel 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記の表 13.3.6 のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 50-60 年の再現期間に該当し、既往最大の観測値であったことも合わせ、非常に稀なイベントであったと位置づけられる。

表 13.3.6 確率規模別の年最大日雨量（Piura 川流域 San Miguel 観測所）

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	13.8	22.0	34.2	54.7	80.6	124.3	165.6	126.1

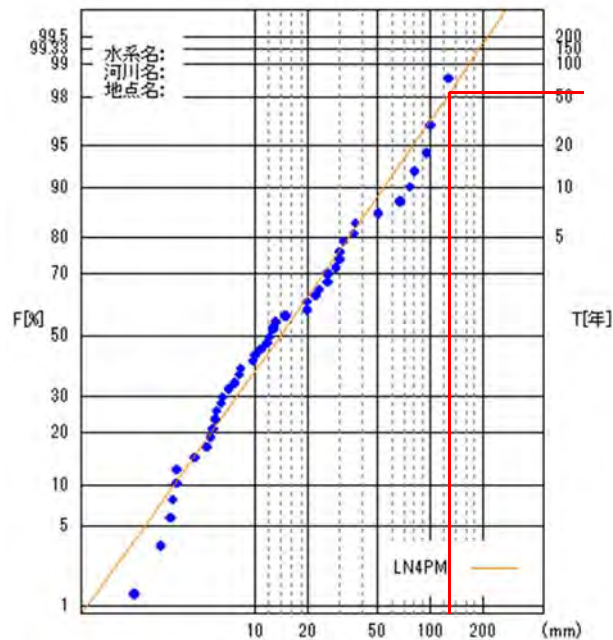


図 13.3.12 降雨解析結果（Piura 川流域 San Miguel 観測所（確率分布モデル：LN4PM））

Morropon 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記の表 13.3.7 のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 25-30 年の再現期間に該当し、稀なイベントであったと位置づけられる。

表 13.3.7 確率規模別の年最大日雨量（Piura 川流域 Morropon 観測所）

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	52.9	72.0	93.4	119.1	141.7	167.5	184.3	150.5

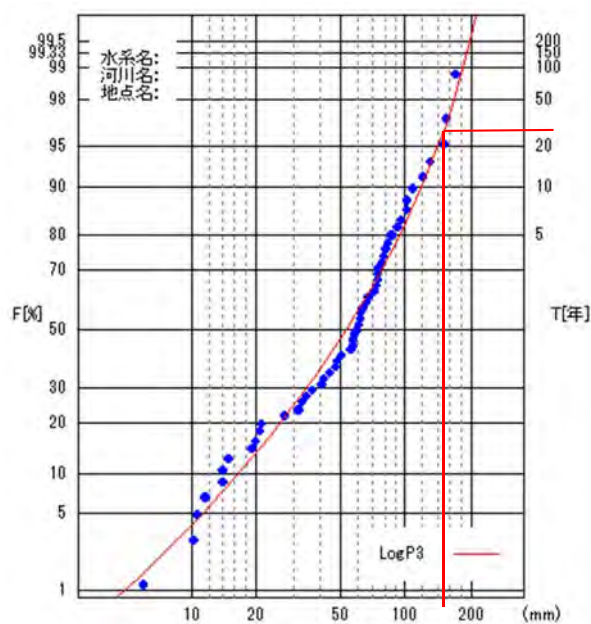


図 13.3.13 降雨解析結果（Piura 川流域 Malacasi 観測所（確率分布モデル：LogP3））

Malacasi 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記の表 13.3.8 のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 5-10 年の再現期間に該当し、他の観測所に比べればそれほど稀なイベントではなかったと考えられる。

表 13.3.8 確率規模別の年最大日雨量（Piura 川流域 Malacasi 観測所）

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	66.1	87.2	114.1	152.4	193.2	251.3	298.7	143.1

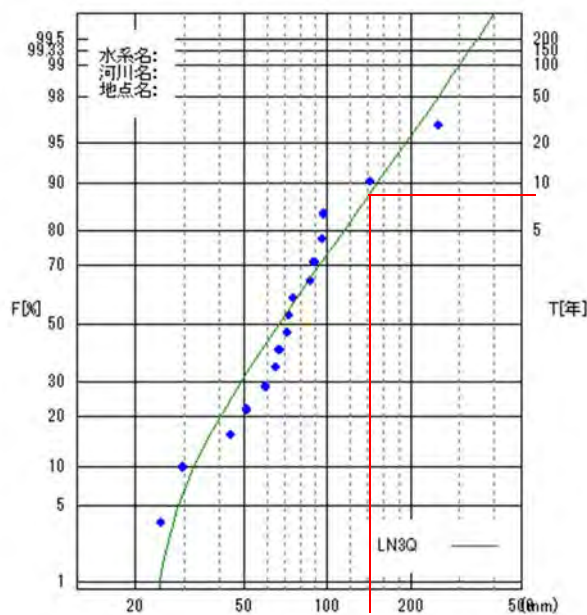


図 13.3.14 降雨解析結果（Piura 川流域 Malacasi 観測所（確率分布モデル：LN3Q））

(c) Chancay-Lambayeque 川および Motupe 川流域

d) 収集データ

Chancay-Lambayeque 川および Motupe 川における 2017 年の降雨データ（日雨量データ）のうち、調査団は表 13.3.9 に示す 5 つの降雨観測地点データを SENAMHI から入手した。これらのデータを用いて分析を実施した。

表 13.3.9 調査団が入手した 2017 年降雨データ（Chancay-Lambayeque 川流域および Motupe 川流域）

観測所名	Longitude	Latitude	最大降雨量 (mm/day)	最大降雨発生日	備考
Lambayeque	79° 55' 16.00	6° 42' 12.00"	60.7	2017/3/18	下流部
Jayanca	79° 46' 6.00"	6° 19' 58.00"	120.8	2017/2/1	中流部
Reque	79° 50' 7.60"	6° 53' 10.20"	29.8	2017/3/12	河口部
Tinajones	79° 33' 54.05	6° 42' 49.41"	85.7	2017/3/12	中流部
Chugur	78° 44' 0.00"	6° 40' 0.00"	62.1	2017/2/24	上流部



出典：Google Earth

図 13.3.15 降雨観測所位置図（Chancay-Lambayeque 川流域および Motupe 川流域）

e) 年最大日降水量の経年変化からみた 2017 年降雨イベントの評価

Lambayeque 観測所（下流部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.16 のとおりとなる。Lambayeque における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価した場合には 3 番目に大きなイベントと位置づけられる。

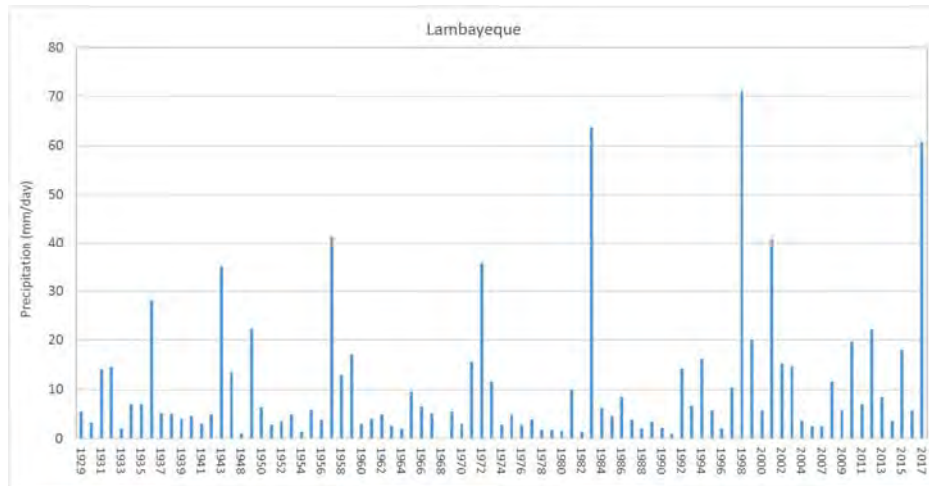


図 13.3.16 年最大日雨量の経年変化（Lambayeque 観測所）

Jayanca 観測所（中流部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.17 のとおりとなる。Jayanca における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価した場合には既往最大のイベントと位置づけられる。

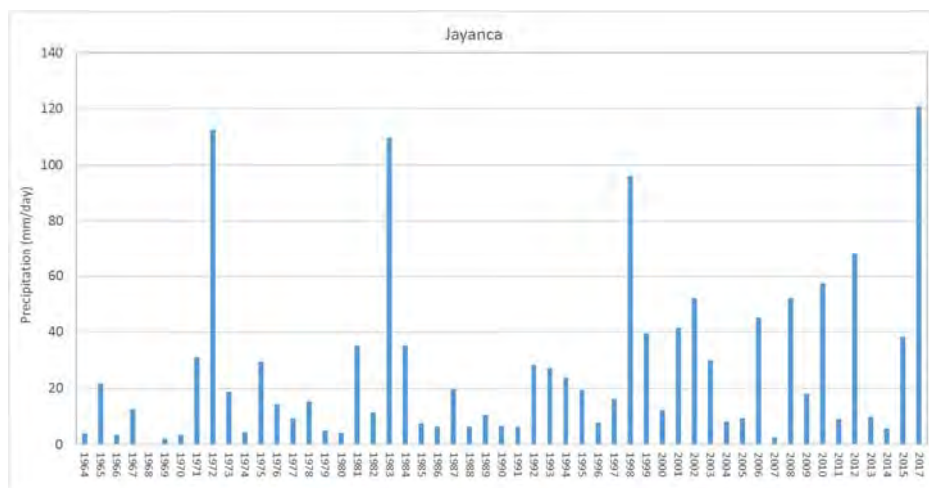


図 13.3.17 年最大日雨量の経年変化（Motupe 川流域 Jayanca 観測所）

Reque 観測所（河口部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.18 のとおりとなる。Reque における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価した場合には 3 番目に大きなイベントと位置づけられる。

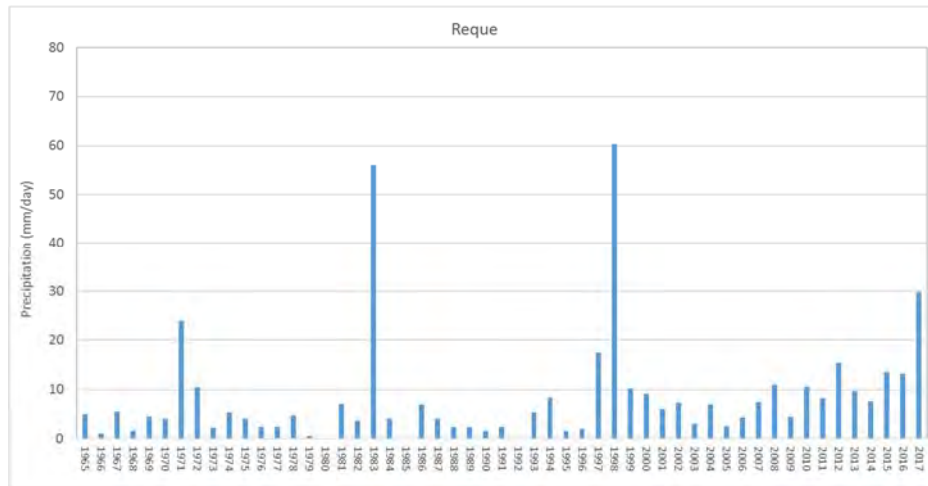
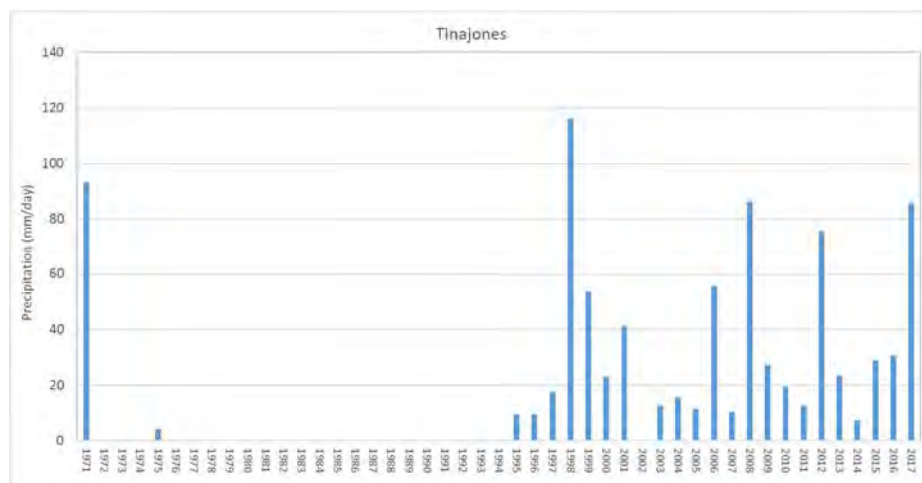


図 13.3.18 年最大日雨量の経年変化（Chancay-Lambayeque 川流域 Reque 観測所）

Tinajones 観測所（中流部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.19 のとおりとなる。Tinajones における 2017 年の降雨イベントは、欠測期間が長く標本データの数はい少ないものの、日最大雨量で評価した場合には 4 番目に大きなイベントと位置づけられる。



※Tinajones 観測所においては 2002 年に日雨量 290.7mm という非常に大きな雨量が観測されているが、PETO (Proyecto Especial Olmos Tinajones) の技術担当者からのコメントに従いエラーとみなし棄却した。

図 13.3.19 年最大日雨量の経年変化（Chancay-Lambayeque 川流域 Tinajones 観測所）

Chugur 観測所（上流部）における過去の年最大日降水量と、2017 年に発生した日最大降水量を時系列で示すと以下の図 13.3.20 のとおりとなる。Chugur における 2017 年の降雨イベントは、日最大雨量で評価する限りにおいては、過去の降雨イベントと比べて突出した規模のものではない。

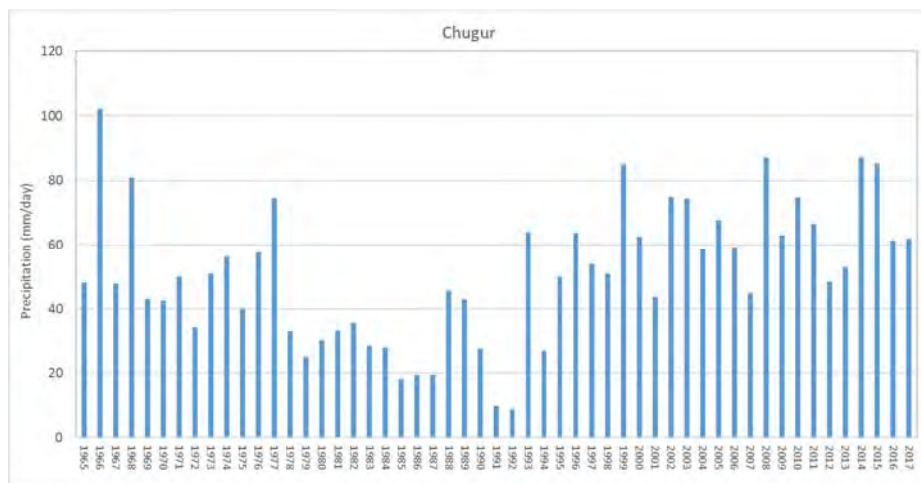


図 13.3.20 年最大日雨量の経年変化 (Chancay-Lambayeque 川流域 Chugur 観測所)

f) 確率降水量からみた 2017 年降雨イベントの評価

Lambayeque 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは 50 年の再現期間に該当し、非常に稀なイベントであったと位置づけられる。

表 13.3.10 確率規模別の年最大日雨量 (Lambayeque 観測所)

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年実績
Rainfall (mm/day)	5.8	9.1	14.1	23.3	36.1	60.7	86.9	60.7

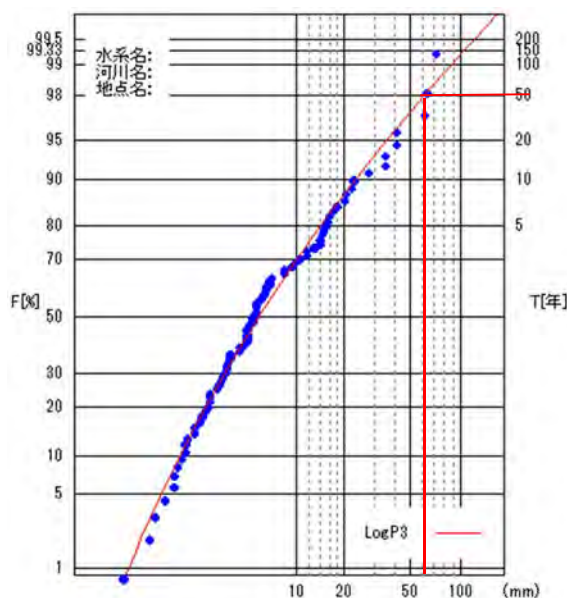


図 13.3.21 降雨解析結果 (Lambayeque 観測所 (確率分布モデル : LogP3))

Jayanca 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 40-50 年の再現期間に該当し、非常に稀なイベントであったと位置づけられる。

表 13.3.11 確率規模別の年最大日雨量 (Motupe 川流域 Jayanca 観測所)

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	16.0	24.9	38.0	59.4	85.8	129.2	169.4	120.8

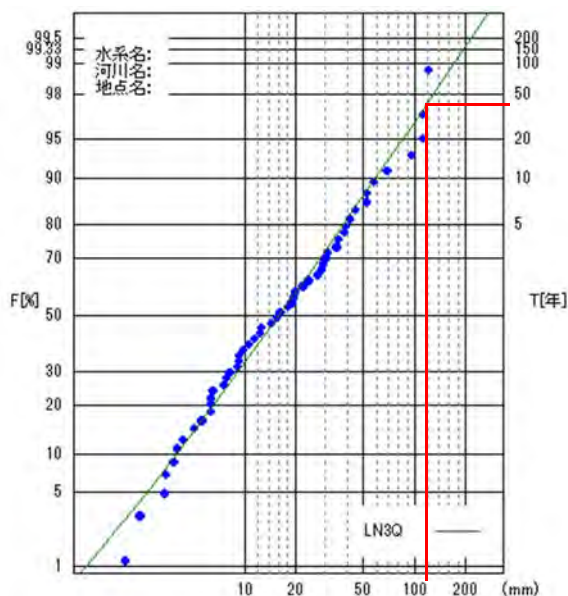


図 13.3.22 降雨解析結果 (Motupe 川流域 Jayanca 観測所 (確率分布モデル : LN3Q))

Reque 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 20-30 年の再現期間に該当し、稀なイベントであったと位置づけられる。

表 13.3.12 確率規模別の年最大日雨量 (Chancay-Lambayeque 川流域 Reque 観測所)

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	5.2	7.6	11.2	17.5	26.1	43.0	61.6	29.8

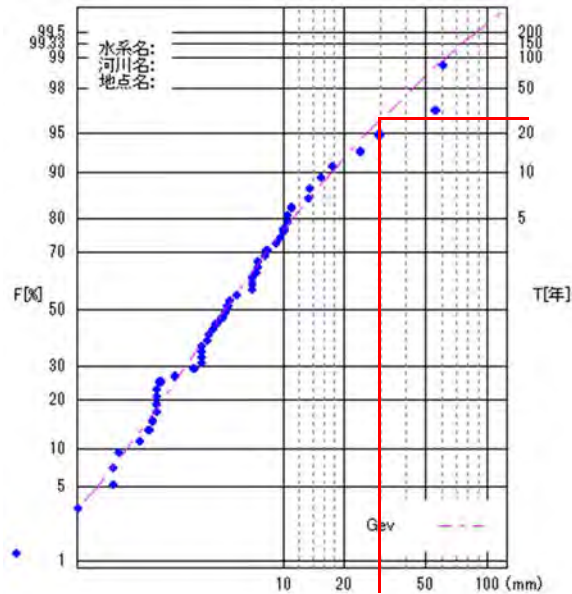


図 13.3.23 降雨解析結果（Chancay-Lambayeque 川流域 Reque 観測所（確率分布モデル：Gev））

Tinajones 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 10-20 年の再現期間に該当し、他の観測所に比べてそれほど稀なイベントではなかったと位置づけられる。

表 13.3.13 確率規模別の年最大日雨量（Chancay-Lambayeque 川流域 Tinajones 観測所）

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	26.9	41.0	58.8	83.0	107.2	139.1	163.2	85.7

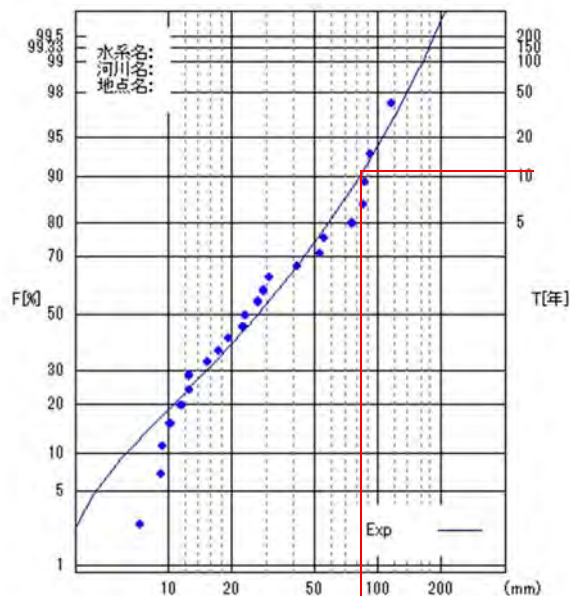


図 13.3.24 降雨解析結果（Chancay-Lambayeque 川流域 Tinajones 観測所（確率分布モデル：EXP））

Chugur 観測所における過去の降水データをもとに確率降水量を算出すると下記のとおりとなる。この結果から、2017 年の降雨イベントは概ね 3-5 年の再現期間に該当し、他の観測所に比べてそれほど

稀なイベントではなかったと位置づけられる。

表 13.3.14 確率規模別の年最大日雨量（Chancay-Lambayeque 川流域 Chugur 観測所）

Return Period (year)	2	3	5	10	20	50	100	2017 年 実績
Rainfall (mm/day)	50.6	60.0	69.0	78.8	87.0	96.3	102.6	62.1

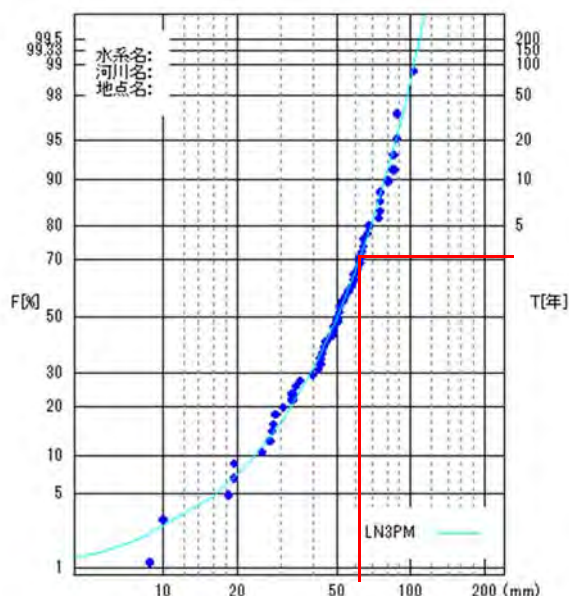


図 13.3.25 降雨解析結果（Chancay-Lambayeque 川流域 Chugur 観測所（確率分布モデル：LN3PM））

(2) 解析結果のまとめ及び今後の治水計画に対する提言

上記の解析結果から、2017 年の降雨イベントに関して以下のことがいえる。

- いずれの流域においても、流域の下流部において例年発生しない規模の強い雨が発生した。一方で、中流域から上流域にかけての降雨規模は、例年と比較してそれほど突出した規模の降雨ではなかった。
- これら 3 地域の一般的な気候特性として、下流部は基本的には極めて降水量が少ないにもかかわらず、2017 年はエル・ニーニョの影響を受けて例年発生しない規模の降雨が生じた。

表 13.3.15 3 流域の各降雨観測所で記録された 2017 年洪水の確率規模別まとめ

観測位置	流域名	観測所名	日最大降雨(mm/day)	確率
河口部または 下流部	Tumbes	Puerto Pizarro	192.8	70-80 年
	Piura	Chusis	140.6	60-70 年
	Chancay-Lambayeque	Lambayeque	60.7	50 年
		Reque	29.8	20-30 年
中流部	Tumbes	Rica Playa	95.5	3-5 年
	Piura	San Miguel	126.1	50-60 年
	Chancay-Lambayeque	Jayanca	120.8	40-50 年
		Tinajones	85.7	10-20 年
上流部	Piura	Morropon	150.5	25-30 年
		Malacasi	143.1	5-10 年
	Chancay-Lambayeque	Chugur	62.1	3-5 年

以上の事から、今回の洪水の教訓及び今後の治水計画への提言として、以下の 2 点を挙げる事が出

来る。

- ✓ 特に Piura および Lambayeque においては、流域の下流部に位置する主要都市域における洪水被害が大きかった。この一因として市内の雨水排水施設の能力不足が関係していることが挙げられ、今後、ペルー国の経済発展に合わせ、地方都市が人口面及び経済面で益々発展することから、適切な都市の排水計画の策定が必要である。
- ✓ 今回の 2017 年洪水の降雨パターンは、1983 年及び 1998 年の過去のエル・ニーニョ現象時の降雨パターンとは違っていた。よって各流域における治水計画の策定時には、降雨パターンを考慮して、治水整備の施設計画、早期予警報システムを設立する必要がある。

13.3.2 2017 年 1~3 月実洪水氾濫現象の把握及び今後の対策方針

(1) Tumbes 川

(a) 洪水被害の特徴及び現象の把握

a) 流域の状況

Tumbes 川の名称は、エクアドルでは Puyango 川と呼ばれており、ペルー国でその名前を Tumbes 川と変える。

Tumbes 川の河口部から Tumbes 橋付近までは、三角州が発達していて、同川はその中を蛇行し、小さな派川に枝分かれして海まで流出している。この三角州の形成は、蛇行や海までの流路を変えることで発達する。Tumbes 川は現在もそのような蛇行と流路変遷の過程にあるといえる。

Tumbes 橋付近から Francos 橋付近までは、河道内に中州が発達していて、そこはバナナ、ブドウ、稲作などの耕作地となっている。

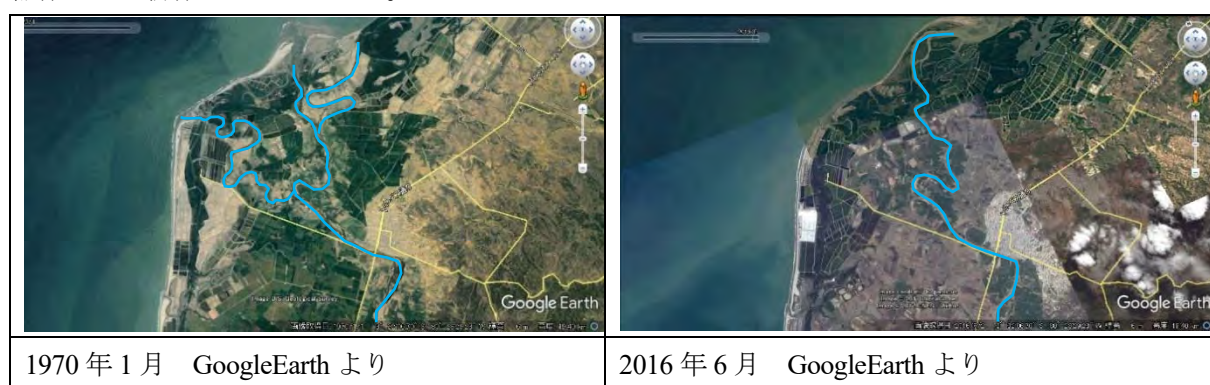


図 13.3.26 Tumbes 川下流域における流路変遷

また、河川の堤防や護岸工事またその維持管理については、ALA の承認のもと、各地点で個々に実際の事業が実施されている。Tumbes 県事務所が堤防を建設・管理し、Puyango-Tumbes 特別農業灌漑事務所が護岸を建設・管理している例が多いが、工種や区間等による明確な分担制度は存在していない。このことが、流域一環での治水対策を難しくしている要因ともいえる。

b) 洪水発生状況

ALA-Tumbes 事務所によると本流域の洪水は、毎年のように起きているとのことである。直近では、

2017 年 2 月に発生している。近年の最大規模の洪水は 2015 年、1998 年、1995 年に発生している。これらの主な洪水の発生地点及び状況の特徴は、次に示す 2 地区に分けて考える。

1. Francos 橋下流から Pan-American 道路付近
2. Pan-American 道路から河口部付近

Francos 橋下流から Pan-American 付近

2015 年の衛星画像（図 13.3.27）によると、洪水は Francos 橋下流において、Tumbes 川左岸に設置されている灌漑及び排水水路沿いに発生して、Pan-American 道路に達しているのわかる。

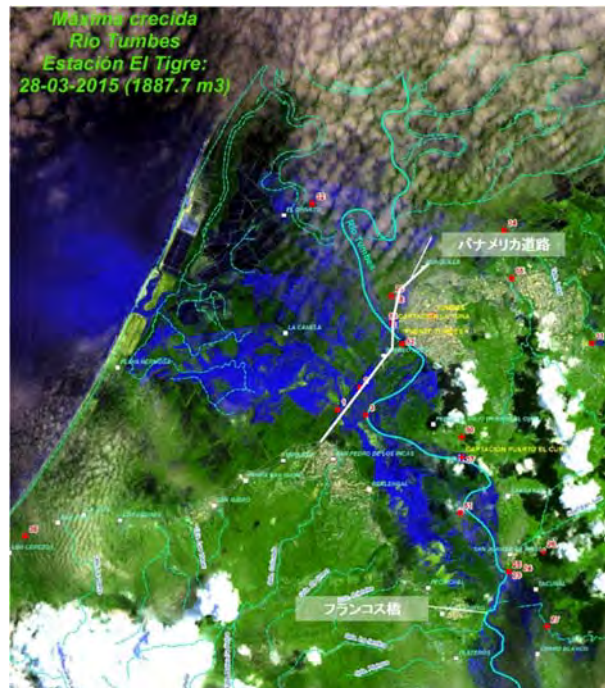
また、Tumbes 市街地においては、Tumbes 橋直上流右岸にある排水路にはゲートの設置がないため、排水路排出口から河川水が侵入して洪水被害を受けている（図 13.2.1）。

Pan-American 道路から河口付近

この地域の洪水は、更に 2 つの地域に分けられる。

その一つは、上記の Francos 橋付近から始まる水路沿いの洪水の延長線上にあって、LaNoria 付近から始まる Tumbes 川支川 Piojo 川沿いに広がる地域である。この Piojo 川は 1999 年に Tumbes 県事務所の堤防建設に伴って閉塞している。

もう一つの洪水地域は蛇行する河道に沿って広がっている。その一部はツンベツ市市街地西側に位置する低地部を含んでいる。



出典：ALA-Tumbes /LANDSAT データ（調査団編集）

図 13.3.27 2015 年氾濫状況

c) 洪水発生原因

この地域の洪水の原因は河川の流下能力が洪水時流量を下回っていることが 1 つの主たる要因である。ALA-Tumbes 事務所によると、今年の洪水の場合、洪水時の最大流量は、下流区間で約 1,000m³/s に対して流下能力は 800m³/s であり、200m³/s の流下能力が不足している。そのため、農地等が被害

を受けてきた。また、100 年洪水時には $3,000\text{m}^3/\text{s}$ の流量が上流から下流に流れてくるとも言われている。

Tumbes 川流下能力が低くなっている原因は次のとおりである。

- ・ 河口部が大きく蛇行して、流路が長くなっていること。
- ・ 土砂の堆積によって、河道断面積が減少していること。

さらに、Tumbes 川の河口の三角州の派川は、農地の拡大等のための治水対策としては無計画な閉塞が実施されており、本川への流量負担が増加したことも要因の 1 つである。

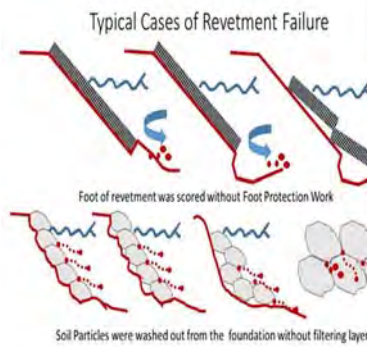
d) 河道堆砂及び河岸浸食

Tumbes 川流域の地質は、平たん部及び丘陵部のほぼ全域に亘って脆弱な未固結層が分布している。このため、Quebrada や主要河川の河岸部の浸食による土砂供給が著しい（図 13.3.28）。このため、Francos 橋下流以下の土砂堆積とそれに伴う蛇行による河岸浸食進行の一因となっている。

	
下流三角州の蛇行・河岸浸食状況	下流屈曲部外側の河岸浸食状況
	
下流部河道の堆砂状況	中流部河道屈曲部の河岸浸食と堆砂状況

図 13.3.28 写真：Tumbes 川の河道内堆砂及び河岸浸食の状況

河岸浸食に対しては、県事務所（ALA-Tumbes）や MINAGRI 管轄下のプロジェクト実施事務所（Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes : PEBPT）が巨石や練石積み擁壁、またはジオバッグを用いた護岸対策を行っている。これらの護岸は、数か所において崩壊が進んでいるのが観察された（図 13.2.10）。この崩壊の原因は次の図 13.3.29 に示すように、護岸の根入れ不足とフィルター材あるいは吸出し防止マットの無いことに起因している。

		
河道が上流からの土砂により埋まり、流下能力が著しく減少している Tumbes 川流域の Quebrada	崩壊した Tumbes 川の河岸の巨石護岸	護岸浸食メカニズムの概要も式図

出典：調査団

図 13.3.29 Tumbes 川における河道計画及び護岸設計の課題

一方で、定期的な測量等が実施されていないことから、具体的な浸食状況や河道への堆砂状況を定性的には論じられても、定量的な把握は実施されていない。加えて、河道の各位置における疎通能力評価も実施されていないのが現状である。

従って、河道掘削や河床浚渫の必要性は論じるが、具体的な掘削場所や数量、必要な疎通能力や河道断面に関する検討が実施されていない。現在の状況で河道改修を入れても、《不必要な箇所掘削》、《必要な箇所の未掘削》や《過大又は過小な河道断面掘削》が予想され望ましいとは言えない。

e) 河川の水質

河川の水質については、エクアドル国領内での鉱山開発が盛んなことに起因する重金属の汚染が問題視されている。2015 年のペルー国環境省の Tumbes 川水質調査によると、ヒ素やカドニウム、鉛などの金属はペルー国内の最上流地 Cao Inga において、既に規定値を超えており、それより下流においては、ヒ素や鉛が規定値を超える結果となっている。この調査結果に基づき、同省は各関係機関に同河川の水質監視をすることを勧告している。その後の ALA-Tumbes 事務所の水質調査においてもヒ素は規定値を超えている、との事である。

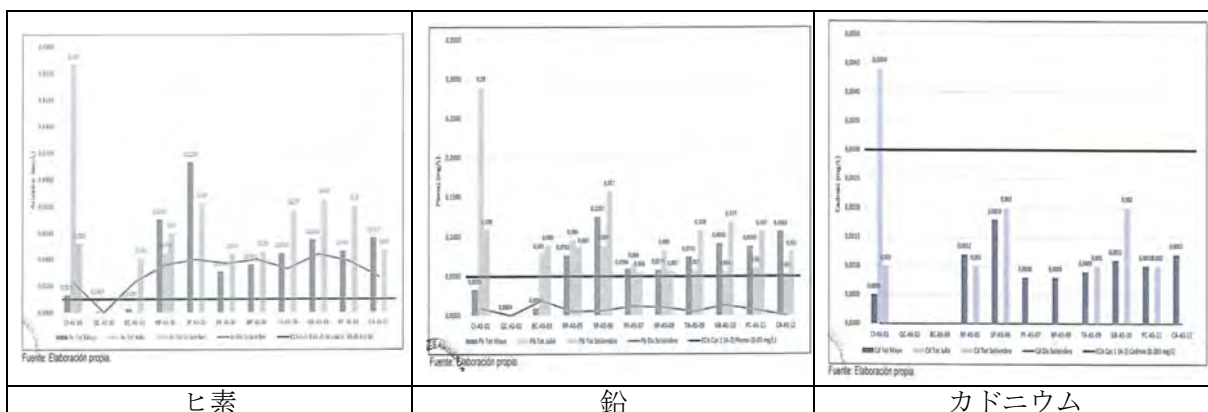


図 13.3.30 2015 年ペルー国環境省調査

(b) 相手国政府関連機関の復旧・復興へのニーズ

当該地域では河川管理に関する協議の場として流域水資源委員会（Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca: CRHC）が設置されているが、この CRHC によると、Puyango-Tumbes 川開発計画の未承認に

伴って、Tumbes 川及びその周辺 4 河川の流域に関して、洪水対策を含む水資源開発を検討しているところである。また、2017 年 2 月の洪水発生後の緊急対策として、ALA-Tumbes は、Tumbes 川の浚渫と洪水対策を復興庁に要求しているところであるが、前述のとおり浚渫箇所やその浚渫量、費用に関する定量的な把握をするには至っていない。

(c) 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面の課題及びその解決策

上述した洪水発生原因および相手国政府関連機関のニーズに基づき想定される解決策は次のとおりである。詳細は次項で述べる。

表 13.3.16 Tumbes 川流域における洪水対策の基本方針（案）

洪水・土砂対策に係る課題	洪水・土砂対策に係るニーズ	想定される対策	留意事項
・土砂の堆積による、河道断面積の減少 ・蛇行による河岸浸食の進行 ・無計画な支川の閉塞による、本川の流量負担の増加 ・定期的な測量等が実施されていないことから、具体的な浸食状況や河道への堆砂状況を定性的には論じられても、定量的な把握は実施されていないこと ・河道の各位置における疎通能力評価が実施されていないこと	2017 年 2 月の洪水発生後の緊急対策として、ALA-Tumbes は、Tumbes 川の浚渫と洪水対策を復興庁に要求しているところであるが、浚渫箇所やその浚渫量、費用に関する定量的な把握をするには至っていない。	河口部の蛇行を Short-Cut して、流路を短縮して、流下能力の増強を図と共に流速の増加による土砂の海への速やか排出を促す。	流速の増加は河岸浸食を促進する可能性もあるので、それを考慮した計画作成が必要となる。
		Tumbes 川本川の流下負荷軽減のために、また、閉塞した支川に替わる放水路を新設する。	
		本川全区間に亘って、局所的に流下能力が阻害されて箇所については、堤防・河道掘削を含む河道改修によって改良する。	
		局所的な洪水対策として、堤防・ゲートを新設あるいは延長する。	条件によっては排水ポンプが必要となる。
		ドライフォレストで発生し、Quebrada を経由して、Tumbes 川へ流入する土砂量を軽減する対策	
		河岸浸食が激しい区間への護岸の新設	進行する護岸浸食を解決するためには、全国レベルでの、河川構造物設計の見直しが必要である。
		河川管理のための河川境界の確立。	河川区間では無くても、氾濫原内の農耕地は、ある程度まで洪水を許容して、洪水と共存する方策の検討が必要である。



図 13.3.31 Tumbes 川流域における検討すべき基本的対策概念図

a) 対策の実施における工程計画の提案

Tumbes 川の開発計画は、エクアドル国との協力による IDB の支援で検討をしている Puyango-Tumbes 川の水資源開発が根底にあり、その重要な目的の一つは灌漑用水の開発である。その協力関係が行き詰まっている現在、同流域の水資源開発はペルー国領土内での解決を模索しているところである。したがって、同河川の洪水対策を考える場合には、水資源開発と整合性のとれたものでなければならない。一方、毎年のように繰り返されてきている洪水対策は緊急を要するものである。したがって、対策計画は、水資源開発を含む長期的なもの、洪水対策の基本となるべき治水基本計画、そして、直ちに実施しなければならないような緊急的な対策計画という、3 段階の計画立案が必要となる。その概要を以下に示す。

長期計画

長期対策としては、Tumbes 川水資源総合開発基本計画の作成である。水資源開発の基本は灌漑用水および飲料水の開発である。飲料水については、河川水質にヒ素や鉛が多く含まれている点やエクアドルから重金属を含む汚染水が流入してくる恐れがあることから、本川以外の支川にその取水地点を求めることも、同基本計画の重要な課題となる。中流域のドライフォレストと呼ばれる地域については、土砂の流出を防ぐとともに水源涵養の目的も兼ねた植林を含む流域管理の計画も必要となる。また、本計画の立案にあたっては洪水対策を見据えたものでなければならない。

中期計画

中期対策としては、洪水対策や河道の安定化を目的とした Tumbes 川治水基本計画である。河道の設計洪水流量を決定し、それを満足させるための河道断面を決定すると共に河道・堤防法線を確定し、上記(a)に示した洪水対策の課題内容を具体的に決定する。

また、合わせて、都市計画を勘案して、降雨時の排水計画（場合によってはポンプ場設置を含む）を立案し、河川計画と整合するよう計画する。

短期（緊急対策）

緊急対策としては、下流部の浚渫と壊れた構造物を復旧である。また、都市排水口からの洪水逆流防止のためゲートと簡易なポンプを設置する必要がある。

b) 河床変動（堆砂）への対応

Tumbes 川の洪水被害の大きくしている主要因として、堆砂による河道面積の減少と結果としての疎通能力の減少がある。今回の復興庁予算による復旧工事では、河道掘削や河床浚渫が予定されているが、その詳細は 2017 年 7 月現在確定していない。このまま、河道拡幅工事を実施しても、数年すれば同様の堆砂が発生することは、容易に推定される。従って、堆砂への定量的な把握が必要と考える。

具体的には、現況の河床材料調査を実施して堆砂している土の特性を把握して、現況河道の測量を実施して、現況河道における河床材料の動きを河床変動計算により、定量的に把握する必要がある。加えて、2014 年の河道測量データと比較して、ここ 3 年間の堆砂量の変動を解析して、将来的な河床堆積の予想を実施することが必要と考える。

加えて、長期的な維持管理計画の策定及び堆砂対策の基礎資料として、定期的な河川横断測量の実施を提案する。

c) 護岸設計と根固工（護床工）

前項(a) d)「河道堆砂及び河岸浸食」にて述べた既設護岸の崩壊は、使用している護岸設計の諸条件を見直す事が求められている。また、同様の護岸設計は他の地域でも見られることから、全国的に汎用化された設計である。しかしながら、現在、護岸の標準図面集のようなものは存在しない。このため、この頻発している既設護岸の被害を減少させるためには、全国的な河川構造物設計の見直し、すなわち、標準設計の確立と教訓の蓄積が必要となる。このような設計の標準化と定期的な見直し作業には現状の把握や設計条件の見直しのシステム化など必要となるため、上記の中期対策の治水基本計画作成の中に含めて実施する。

現地調査によれば、既設護岸の崩壊箇所のほとんどが、河川線形の湾曲部の外側において、護岸の基部が洗掘されることにより発生している。特に、Tumbes 川のように、河岸及び河床が砂質地盤の場合には、屈曲部の河床洗掘が容易に発生するため、対応が必要と考える。しかし、現地のヒアリングによれば、屈曲部への対策は特に取られてない。このことが、洪水時における河岸被害を拡大する一つの要因になっていると考えるので、護岸の計画・設計にあたっては、《推定河床洗掘深の算定》及び《護床工の形式と諸元》についての検討が必要と考える。

d) 管理用道路の整備

Tumbes 川の河岸には管理用道路のない区間があり、河川管理の弊害にもなっている。このことが、河岸浸食の点検・補修や日常点検を難しくしているひとつの要因と考える。特に、堤防未設置区間においては、川へのアクセスが制限され、陸上から点検できない状況に置かれている場所も多い。従って、今後の河川整備及び日常の維持管理のために、河川管理用道路の設置が必要と考える。

e) 復旧工事の監理体制

河川の管理責任は ANA にあるが、Tumbes 川流域における河川事業の実施主体は Puyango-Tumbes Project 事務所にある。この責任所掌の分担が、流域一環の河川事業が行われないひとつの要因と思われる。本来は、日本のように河川管理者が、河川事業に対して全責任を負うことが望ましいと考えられるが、事業実施の段階で別組織に移管されることにより、各組織間の調整の不十分な面が確認された。ペルーの制度上、ANA が工事監理を実施するには困難ではあるが、認可権限をさらに強化・活用することによる技術的監理を期待したい。

(2) Piura 川

(a) 洪水被害の特徴及び現象の把握

2017 年の Piura 川の洪水において、被害が大きかった地域を大別すると次の 3 箇所となる。すなわち、

- Piura 市内中心部（図 13.3.32 参照）；
- 同川左岸の Catacaos や Cura Mori 地区；及び
- 右岸側の Villa Chatito や El Tallon 地区

である。

	
Piura 市市街地の衛星写真 (河道沿いの市街地全域が浸水。) (黄色の○印位置は Puente Sanchez Cerro の位置を示す)	Puente Sanchez Cerro の浸水状況

出典：GooleEarth 画像を調査団が編集

出典：Piura 大学公開資料

図 13.3.32 Piura 市街地の 2017 年洪水時における Piura 川河道の洪水水位

以下に、今回の洪水で被害が大きかった上記の三地区に対し、地区ごとに洪水被害の特徴を述べる。

a) Piura 市内中心部の洪水の原因

市内の浸水の原因となったのは、堤防上の特殊堤（パラペット）部のジョイントや倒壊部分にできた隙間からの河川水の侵入であって、パラペットを越流したわけではない。

	
パラペット川側についた洪水痕	パラペット堤内川についた膝上程度の洪水痕
	
パラペット途中の開口部手摺（洪水痕有）	パラペット間の空隙（元は発砲スチロール等）

出典：調査団撮影

図 13.3.33 Piura 市街部の特殊堤（パラペット）と洪水痕の状況

b) Piura 川左岸の Catacaos や Cura Mori 地区及び右岸側の Villa Chatito や El Tallon 地区の洪水の原因

Piura 市下流の左右岸の浸水は堤防を洪水流が越流して、数か所で堤防が破壊されたことによる（図 13.2.8）。Chira-Piura 流域委員会の報告によると堤防は $1700\text{m}^3/\text{s}$ で設計されている、とのことである。

	
堤防を越流して浸水した下流部の浸水状況	天端から洪水が越流して破壊された堤防

出典：Chira-Piura 流域委員会

出典：調査団撮影

図 13.3.34 Piura 市下流部の洪水被害状況

この洪水の原因は、Chira-Piura 流域委員会の公開資料によると、Piura 川下流域の堆砂が進行して、

流下断面を減少させ、流下能力が減少したことによるという。

また、Chira-Piura 流域委員会の算定したところによると、100 年確率洪水流量は約 4,000m³/s である。

(b) 相手国政府関連機関の復旧・復興へのニーズ

上述したように、Piura 川の 100 年確率規模洪水流量は約 4,000m³/s 程度と設定されており、これに対し、Piura 市街地付近の流下能力は、1,700~2,000m³/s 程度である、と想定されている。今回の 2017 年洪水では、このような条件下で Piura 市街地に 3,465m³/s の流量が上流から流下してきたと水位の観測結果より算定されている。

Chira-Piura 流域委員会では、今回の洪水前から Piura 川流域の市街地と農地を洪水被害から守るために、上流域において 2000m³/s 程度をダムや貯水池において調整して、残り約 2,000m³/s 程度を下流に流すような対策をすべき、とした治水対策の提案をしている。(図 13.3.35 参照)

また、下流部の河道への堆砂及び洪水時の水位上昇を軽減させるための方策として河道の掘削及び浚渫のニーズが非常に高い。



図 13.3.35 Chira-Piura 流域委員会による Piura 川洪水対策コンセプト図

(c) 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面の課題及びその解決策

上述した洪水発生原因および相手国政府関連機関のニーズに基づき想定される解決策は次のとおりである。詳細は次項で述べる。

表 13.3.17 Piura 川流域における洪水対策の基本方針（案）

洪水・土砂対策に係る課題	洪水・土砂対策に係るニーズ	想定される対策
・ Piura 川下流域の堆砂の進行による、流下断面の減少および流下能力の減少 ・ 護岸工の設計、連結ブロックの連結方法、内水排水孔からの洪水逆流といった河川構造設計上の不備	・ 下流部の河道への堆砂及び洪水時の水位上昇を軽減させるための河道掘削及び浚渫 ・ Piura 川の破堤箇所等の復旧 ・ 洪水対策計画の作成（Chira-Piura 流域委員会では、上流域において 2000m³/s 程度をダムや貯水池において調整して、残り約 2,000m³/s 程度を下流に流すと想定した治水対策のコンセプトを提案している。） ・ 長期的な最下流部の堆砂対策のための放水路の必要性	・ 河道改修、放水路および遊水地設置の検討を含めた洪水対策計画の作成 ・ 河川構造物設計の標準化 ・ 洪水対策を考慮した貯水池の活用（計測・記録システムの整備および維持管理・運営マニュアルの作成を含む。）

a) 既存河川構造物及び治水構造物の復旧

Piura 川においては、河川構造物設計上の不備はいくつか見受けられた。一つは、護岸工の設計、その他、連結ブロックの連結方法、内水排水孔からの洪水逆流が発生している事である。

			
護岸擁壁の崩壊	連結ブロックの崩壊	逆流防止弁がない	排水ゲートの水密性に不備がある

出典：調査団撮影

図 13.3.36 改修・改善が必要な河川構造物

これらは、Tumbes 川の項でも提案したように、設計の標準化を行い、Piura 川だけに限らず、標準設計の策定を行い、より強靱な構造物の配置等を考慮すべきである。

b) 長期的な最下流部の堆砂対策のための放水路の必要性

Piura 市街及びその下流部への洪水被害を提言するためには、最下流部のラモン湖部及びそれにつながるラニーニャ湖までの河床掘削は、緊急対策として必要となる。しかし、毎年の洪水で運ばれる上流からの土砂搬入を考えた場合、継続的な浚渫が必要となる。掘削後の河床の安定に十分配慮することが必要である。

本来の河川のあるべき姿は、河川全体における流砂対策であり、上流から流れてきた土砂は河口まで極力搬出されることが望ましい。その面では、最下流部の湖群に入る前に放水路を建設して、上流から搬入された土砂を極力湖に流さない方策の検討が必要と考える。本来の Piura 川は、Sechura 市の近傍を通り、海に排出されていたルートも存在しており、定期的に浚渫する案と放水路を建設する案のどちらが、より経済的なものかの検討をすべきである。



図 13.3.37 Piura 川河口の放水路（捷水路）の候補線形

c) 遊水地計画について

ALA Piura 事務所の説明によれば、現在 La Penita、Tambo Grande 及び La Matanza 等に遊水地（現地では“Polder”との名前で計画されている。）の計画が存在している。



図 13.3.38 Chira-Piura 流域委員会による Piura 川における遊水地建設候補地

各遊水地計画の進捗度合は、下記の表 13.3.18 のとおりである。

表 13.3.18 Chira-Piura 流域委員会による遊水地 (Polder) 計画概要

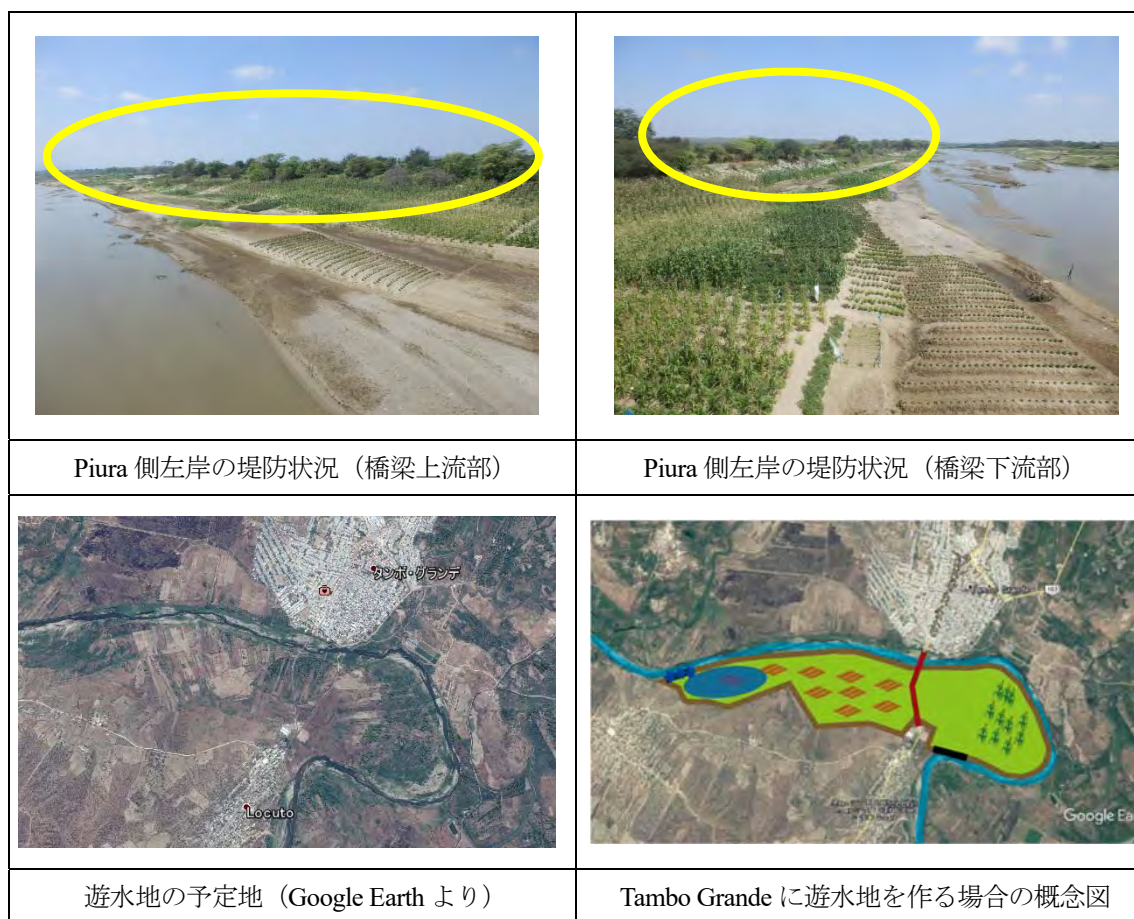
遊水地候補地名	現状 (候補地区の状況)
La Penita	民間開発事業者が灌漑用ダムの建設を計画した地区であり、地形と地質的に堆砂の問題があるため断念している。
Tambo Grande	場所のみの構想段階 (従って規模等の詳細はない)
La Matanza	基本計画がドイツの大学によって策定されている (4 池構成、面積 3,772ha, 有効水深 7.8m、総貯留量 296million m ³)
El Ala	貯水池タイプで Piura 川の最上流部に総貯水量 100million m ³ を溜める。現段階では構想程度のアイデアとなっている。

注) 日本最大の渡良瀬遊水地：面積 3,300ha、貯留量 171million m³

以下に、調査団が確認した各遊水地候補地の現況及び課題を示す。

Tambo Grande 遊水地

Tambo Grande 遊水地は、現在の Tambo Grande の市街地がある Piura 川の対岸、左岸側の広大な農地が候補地となっている。候補地周辺の河道には、堤防が整備されており、耕作地として使用されている。また、Piura 川は候補地上流で大きく湾曲していることから、遊水地の越流堤の設置場所も良い位置に確保可能である。



出典: : 調査団撮影・作成及び Google Earth

図 13.3.39 Tambo Grande 遊水地の全景写真と概念図

La Matanza 遊水地

Chira-Piura 流域委員会より入手した、La Matanza 遊水地の概要計画を下記に表 13.3.19 として示す。

表 13.3.19 La Matanza 遊水地の計画諸元

Sub Polder N°	Cuenca (km ²)	Área Polder (km ²)	Longitud de diques (km)	Volumen Max (MMC)	Promedio del nivel del lecho (m.s.n.m.)	Promedio de profundidad del agua (m)
1	3,867	57.400	13.0 ¹⁾	54	97.34	9.40
2	3,867	94.700	16 ²⁾	94	96.23	9.92
3	2,962	205.400	7.5 ³⁾	127	99.99	6.16
4	905	19.700	1 ⁴⁾	21	95.63	10.52
Total /Promedio	3,867	377.200	29.8⁵⁾	296	98.42	7.84

注 1-5) : 各池の数値は重複部分も計上のため Total は不整合となる。

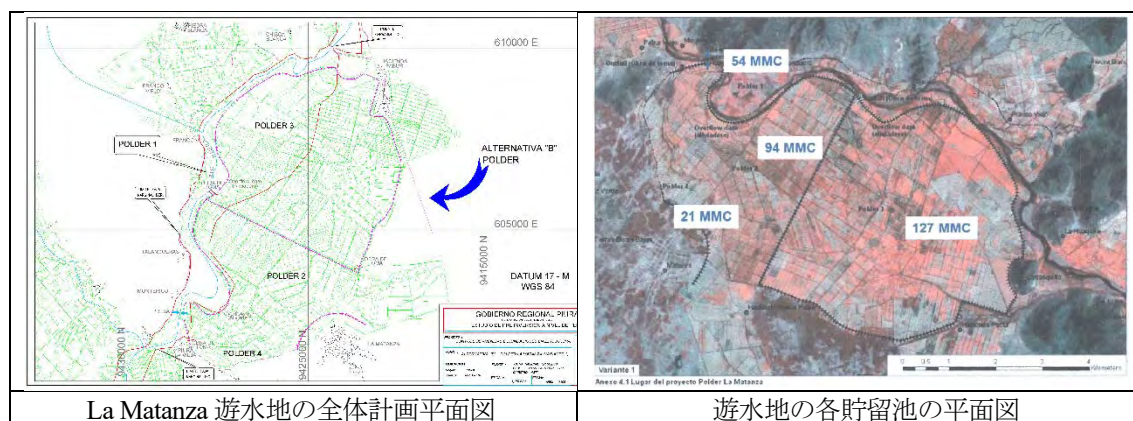


図 13.3.40 La Matanza 遊水地の計画図

本遊水地は、3,770 ha の用地に平均 7.8m の水深で貯留する計画になっている。しかし、現計画には以下の課題があり、今後、実現に向けた具体的検討時には確認事項として留意する必要がある。

- 遊水地最下流部の Piura 川に堰を計画して水位の堰上げを図っているが、水理的に遊水地全体に波及させるのは難しいと考えられる。
- 調査団の流出計算によれば、La Matanza 地点（実際には Chulucanas 地点）の 100 年確率の流出量は 2,874 m³/s であり、分流量として 1000 m³/s のカットを行っても 48.5 百万 m³ であるため、現在計画の 296 百万 m³ は、大きすぎると考えられる。なお、Chulucanas 地点での 100 年確率洪水ハイドログラフと遊水地によりピーク流量を 1,000 m³/s カットした場合の想定ハイドログラフを下図 13.3.41 に示す。

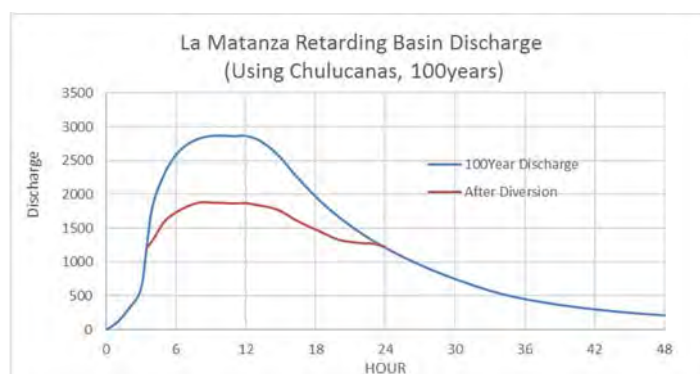


図 13.3.41 La Matanza 遊水地設置において想定されるハイドログラフ

- 遊水地への分流に流入函渠と全面的なオーバーフロー堤（越流堤）が計画されている。このことは、通常の遊水地のピークカットの概念ではなく、流出量が少ない時にも流入を許容するため、流入頻度が大きくなり、農地への影響が大きい。また、越流堤が長く、コスト的には不利な計画となっている可能性がある。従って、可能であれば通常の遊水地のように、部分的な越流堤と排水施設との組み合わせを検討すべきである。
- 2004 年の計画時には未利用地が多かったが、現在はバナナ農園として整備されており、用地取得が困難になりつつあると考えられる。（但し、2005 年 4 月当時からバナナ農園であった可能性もある、との情報もある。）遊水地内には、民家が点在しており、もし遊水地として使用する場合は移転計画も重要である。



出典：調査団撮影

図 13.3.42 La Matanza 遊水地の候補地のバナナ農園と民家

- 遊水地候補地の Piura 川沿には堤防はなく、今年の洪水でも 1m 程度の湛水が確認されている。従って、現状は氾濫地として、自然遊水地を形成している。このような氾濫地を、そのまま掘削もしないで遊水地にしても、実際の貯留効果は少なくなるので留意が必要である。



出典：調査団撮影

図 13.3.43 La Matanza 遊水地周辺の河道状況と洪水痕跡

以上のことから、遊水地の計画規模、越流堤の諸元の再検討が必要である。また、再検討に当たっては、掘り込みタイプ（用地買収）と現況の耕作地保全タイプ（作物補償）のどちらがより経済的なのかの検討が必要である。

El Ala 遊水地

El Ala 遊水地はもともと上流部の貯水池（100 百万 m^3 ）として計画されたとのことである。従って、構造は川を堰止めるダム式の構造が計画されていた。その後、貯留池内に一部集落があり、洪水被害を受けるため、主に農地に洪水を貯留させる、洪水対策用の遊水地へと計画を転換させている。



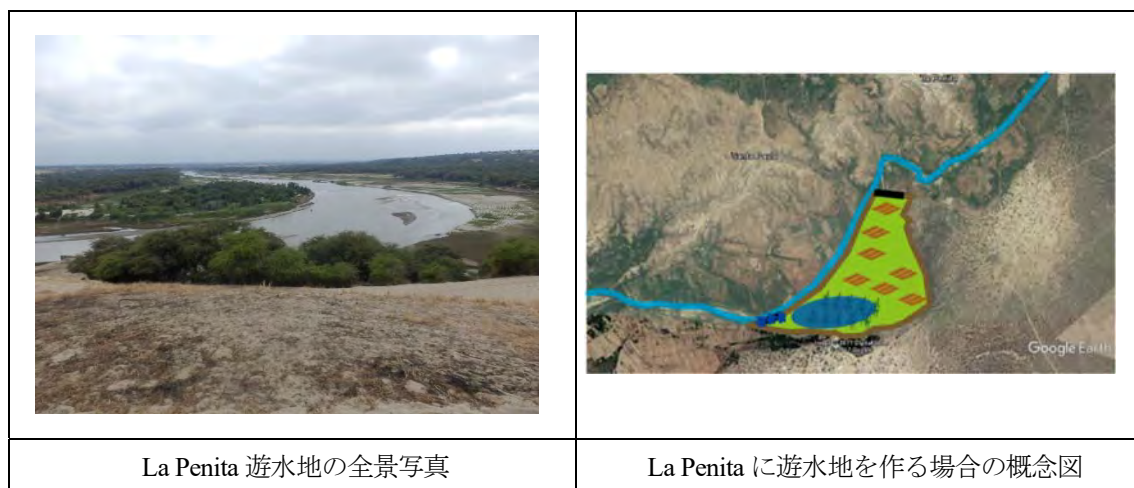
出典：Piura 大学資料の抜粋及び調査団撮影

図 13.3.44 EL Ala 遊水地の候補地の状況写真

基本的には、当初計画にあるダムタイプの貯留池に適した候補地であり、一般的な遊水地としての活用は困難な場所である。しかしながら、河床と上流部の丘陵地の状況を見ると流砂が少なく、維持管理費が他の候補地より少なくなる可能性が高く、洪水の貯留池としては良好と言える。また、洪水対策だけ考慮すれば、Chira-Piura 流域委員会が計画している 100 百万 m^3 の遊水地容量は、本来必要な貯水量よりはかなり大きな値のため、今後詳細な検討が必要である。

La Penita 遊水地

La Penita 遊水地の候補地は、元々民間の海外開発会社が灌漑用のダムを計画した場所である。Piura 川が蛇行する部分で両側を山肌が露わになった丘陵で挟まれている。現在の地形を利用して右岸側に Shotr-Cut Channel を作り、現在の河道を遊水地として利用する。用地的には、200 ha の確保が可能であり、民家がないことから計画の実現性は高いと言える。但し、近傍には細砂に覆われた丘陵が広がっており、堆砂問題への検討は必要となる。従って、今後のマスタープランの策定段階において、その実現性及び必要性の検討を実施する必要がある。



出典：調査団撮影・作成

図 13.3.45 La Penita 遊水地の全景写真と概念図

d) 河川マスタープランの必要性

Piura 川の流下能力を確保するためには、上述したように

- 遊水池やダム（既存ダムの有効利用または新規ダムの建設）によって流量を減少させ、洪水流量を低減させる、
 - 河道掘削や堤防新設嵩上げなどの河川改修によって流下能力を増強する、あるいは、
 - 放水路によって本川の洪水流量を低減する、
- などの様々な対策手法が考えられる。

また、河道の堆砂対策のためには、上流域における Quebrada から土砂流出を抑制する方策が必要である。従って、これらの対策をどこに、どのように、設置計画するかが、課題である。現在、Piura 川を管理する 3 つの ALA 事務所及び Chira-Piura 流域委員会では、遊水池と河川改良による対策の検討を始めているところである。2017 年洪水の緊急対策としては、最下流部に位置する Ramon 湖への流路を河道掘削して流下能力の増加を図る予定である。但し、掘削後の河床の安定に十分配慮することが必要である。

さらに、河川構造物の設計について、洪水対策面からの見直しが必要である。

以上のことから、上記の課題を解決するためには、Piura 川に関する河川基本計画（マスタープラン）の作成が必要である。特に、Piura 市街（下流部）の洪水防御を考えた場合、想定される $4,000\text{m}^3/\text{s}$ から $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度のピークカットが、河道の流下能力を増強させない限り 100 年確率洪水対応には必要となる。現在多くのダムの建設構想、貯水池、遊水地及び堤防嵩上げとそれに伴う橋梁改修が計画されているが、肝心の計画河川流量がないため、このまま実施しても、無駄な資本投下になる可能性が高い。従って、いま一度原点に戻り、どの規模の洪水（例えば都市部 100 年や耕作地 50 年等）を最終目標にするか決定した上で、Piura 川河川水系を一環して考えた洪水対策 M/P を策定する必要がある。その上で経済投資効果を評価して、事業の優先順位を確定させたいうえで、集中的な投資が必要である。

e) San Lorenzo 貯水池について

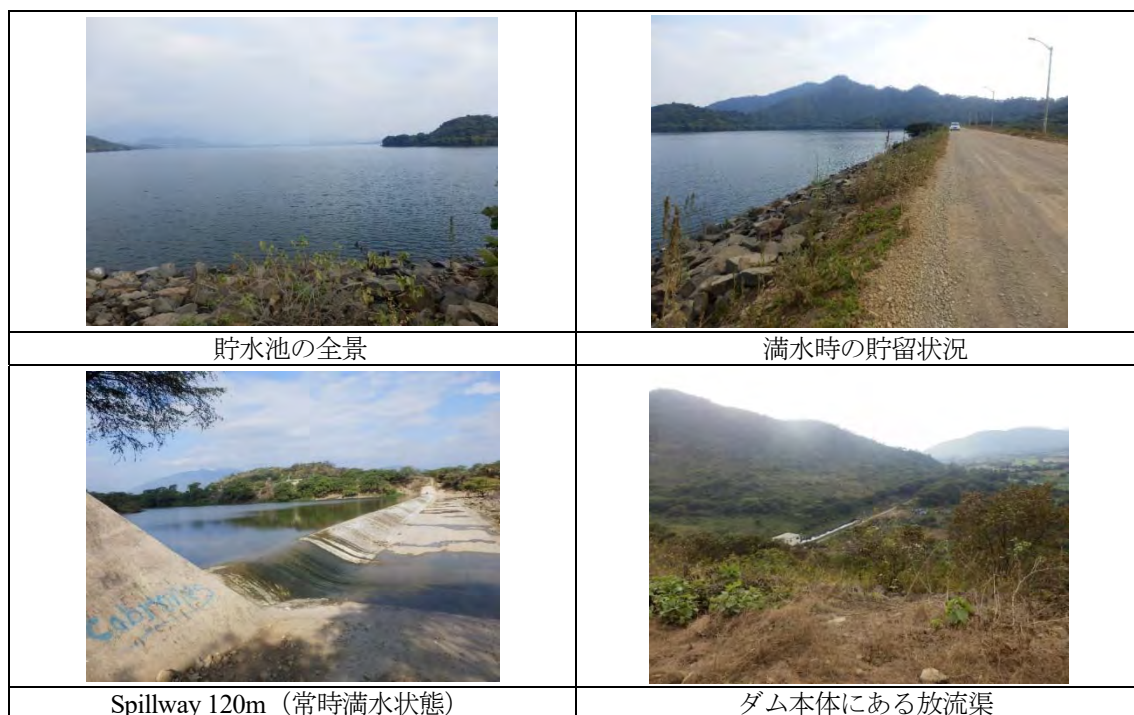
San Lorenzo 貯水池は、常時は Chira 川の支川 Quiroz 川より分水して、Quiroz Channel を通して主に灌漑用水のために利用されている。但し、貯水池には、やはり Chira 川水系の Quebrada である Chipillico 川が流入しており、洪水時には直接流入してくる。（記録として確認できていないが、2017 年の最大流入量は $1,000\text{m}^3/\text{s}$ に達していたとのことである。）



図 13.3.46 San Lorenzo 貯水池位置図

しかし、本来の Chipillico 川下流の流下能力が小さいため、洪水吐は、建設当初（1976 年）から Piura 川水系の Quebrada San Francisco に放流されるように設置されている。

また、同貯留池の管理は、ANA や Chira-Piura Project ではなく、利用者組合の管理となっているため、常時満水の状態で運用が実施されている。（今回の訪問時にも満水状態であった。）その放流量の記録はないが、ANA の推定では $500\text{m}^3/\text{s}$ を超えたと考えられている。



出典調査団撮影

図 13.3.47 San Lorenzo 貯水池の状況写真

本来、Chira 川に流すべき、San Lorenzo 貯水池からの放流を Piura 川に流していることは、改善する必要がある。具体的な対策の提案には、さらなる検討が必要であるが、ここでは可能な方法として、下記の 3 案を提案する。

方法-1：雨季の期間中は貯水位を Spillway より 1-2m 下がりて運用して、その分を洪水防止に活用する（Chipillico 川の流出特性を考慮した検討が必要）

方法-2：Spillway の下流部にサブダムを作り、放流量の Peak をカットする（ダムの位置及び規模の検討が必要）

方法-3：現在の Spillway を穴あき方式で 1-2m 嵩上げし、その分の貯留効果を洪水防止に活用する（ダム本体の安定・浸潤及び Chipillico 川の流出特性の検討が必要）

いずれにせよ、貯水池の関係者との協議が必要となるが、Piura 川の洪水流量を低減させるためには検討し最適案を実施する必要がある。

また、ソフト対策として、1) 貯水池の貯水位及び Spillway 放流量の計測・記録システム、2) 維持管理・運営（豪雨等の緊急時対策を含む）マニュアルの作成が必要と考える。

f) 破堤箇所等の復旧について

Piura 川の破堤箇所等の復旧についての提案を下記に整理する。

Viduque 及び Narihuala 地区

堤体が復旧してあったが、細砂で築堤されており、浸透破壊への懸念が残る。従って、

- 1) 現在の堤防を適切な築堤材で入れ替える、
- 2) 表面を不透水層で覆う、
- 3) 堤防断面を拡幅する又は

4) 法尻にドレーンを設置して堤内水位を低下させる

等の対応の必要がある。この問題については、堤防の浸透流解析を実施して、局所動水勾配を 0.5 以下とする方策をとり安全を確保するのが望ましい。

また、破堤に伴う「落ちぼれ」を埋めていないが、これは浸透に対して危険側に働くので、必ず埋め戻す必要がある。

なお、堤防の川裏側は、雨による浸食も予想されるので、植生工等での被覆を推奨する。



出典：Chira-Piura Project

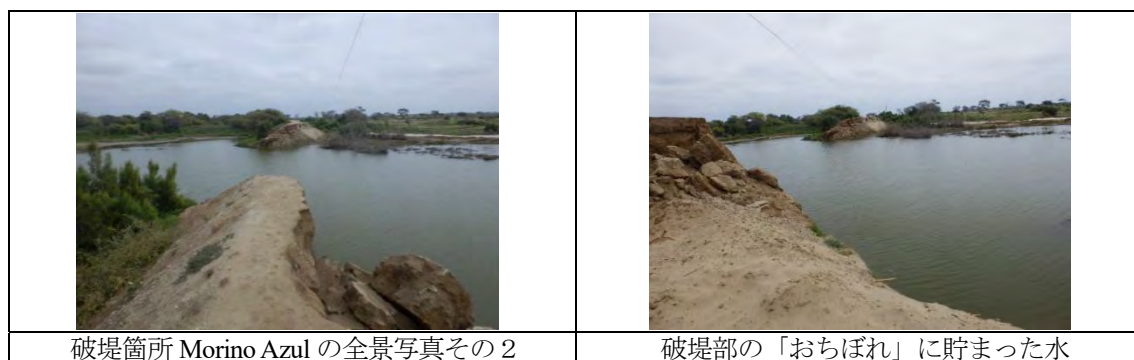
図 13.3.48 Viduque 破堤地区の状況写真

Morino Azul (破堤未復旧箇所)

未復旧箇所の今後の堤防復旧においては、将来的な弱点となることから注意が必要である。日本の規準『河川堤防の構造検討のてびき』によれば、災害履歴のある場合は、堤防設計において通常の安全率より 10%の割増を考慮している。また、堤防が施工後安定するには数年を要すると言われている。従って、復旧設計に当っては、近傍の堤防より若干高く且つ大きな断面を推奨する。加えて可能であれば、現状の砂堤防に表面被覆の構造は壊れやすいので、細粒分を 15-50%含み、透水係数 $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 以下の築堤材での復旧を提案する。

また、破堤箇所の「落ちぼれ」に溜まって貯まっている水は排水するのは当然として、その底部は攪拌され乱れていることから、1-2m 程度掘削して除去する必要がある。特に、砂が溜っていた場合は、将来的な“みずみち”になることから、工事時の掘削した土質にも留意する必要がある。もし、砂の撤去が困難な場合は、遮水矢板等の遮水工の設置も考慮の必要がある。なお、破堤箇所へと至る河道内の流水路は、洪水時に水を導水しやすくするので埋め戻す必要がある。





出典：調査団撮影

図 13.3.49 Morino Azul 破堤地区の状況写真

Chato Chico 地区（湾曲部）

本地区では、河川湾曲部の外側が、破堤している。急ぎ復旧の必要があるが、平面的にみて水衝部であることから、再度の破堤の危険性が高い。特に、湾曲部の法尻で発生する二次流により、堤防（護岸）の根が掘られて、護岸崩壊の危険性が高い。従って、通常の石積護岸のみでは、洪水時の破壊の可能性が高く、護床工（根固工）の必要があると考える。その構造は、カゴマットまたは根固用の水制工の設置が考えられる。

加えて、このままではみお筋が護岸側によっていることから、湾曲部上流に水ハネ水制工を設置して、主流を堤防から離す方策を提案する。



出典：Chira-PiuraProject 及び調査団撮影

図 13.3.50 Chato Chico 破堤地区の状況写真

(3) Chira 川（Poechos ダム）

(a) 洪水被害の特徴及び現象の把握

Poechos ダムは Chira 川にある灌漑用水・発電等のための多目的ダムである。本ダムの貯水池有効容量は計画では 791 百万 m^3 であるのに対して、土砂の堆積によって、2013 年の測定では 396 百万 m^3 (50%) にまで減少している（図 13.3.51）。土砂の生産は Chira 川のエクアドル国領土内も含む上流域と言われている。

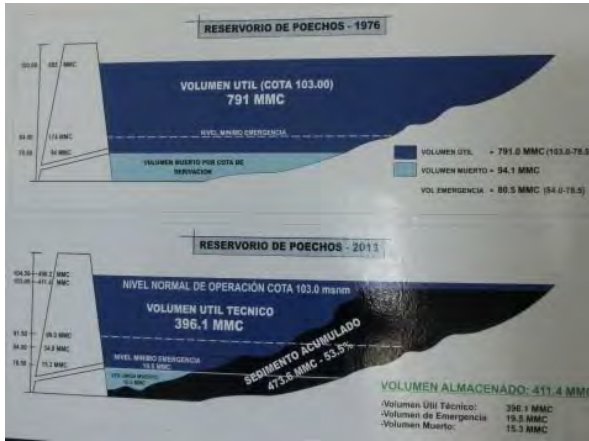
	
Poechos ダム管理事務所の堆砂状況を示す掲示板（一般公開） 出典：調査団撮影	Chira 川上流エクアドル国境付近

図 13.3.51 Poechos ダムの堆砂の現状と上流域河道の土砂流砂の状況写真

(b) 相手国政府関連機関の復旧・復興へのニーズ

Poechos ダムの堆砂問題の対応策に対しては、既に現地では検討を完了している。検討の結果、ダム本体は、設計当初から現状のダム高からさらに 5m の嵩上げが可能な設計となっていたため、現在の余水吐（Emergency Spillway）を 3m 嵩上げして、容量を確保するとのことである。なお、現状の余水吐機能を保全するため、嵩上げ後は水門を設置し、緊急時に開閉可能とする予定との説明を受けた。



出典調査団撮影

図 13.3.52 Poechos ダムの嵩上げ予定の Spillway（100mx4=400m）状況写真

従って、このような状況の基で、調査団には特に長期的なダムの堆砂問題に対して提案があれば、要望したいということであった。

(c) 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面の課題及びその解決策

ダム貯水池の堆砂の対策は、一般的には、短期的には堆砂の除去、長期的には流入土砂をより上流において、貯砂ダム等を建設して流入を防止する、あるいは、流入土砂を貯水池に流入させず迂回させる方式がある。

また、貯水池の堆砂は一度に貯水池の中に広がるのではなく、出水時に貯水池上流端部に貯まった土砂が時間をかけて貯水池内に広がり、また、次の洪水が上流端部に貯まり、その後時間をかけて貯水池内に広がってゆく。この繰り返しによって（図 13.3.53 参照）、Poechos ダムの場合は約 40 年をかけて現在の堆砂状況に至っている。

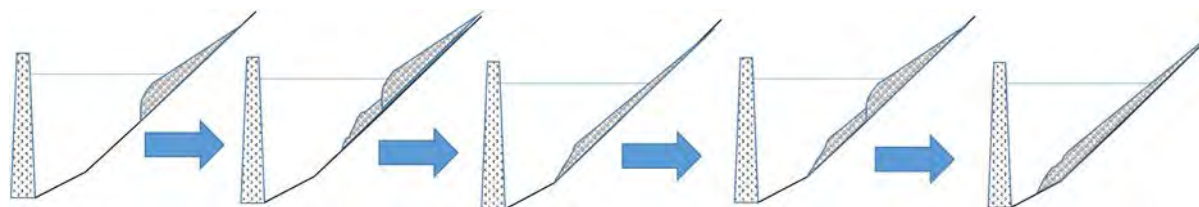
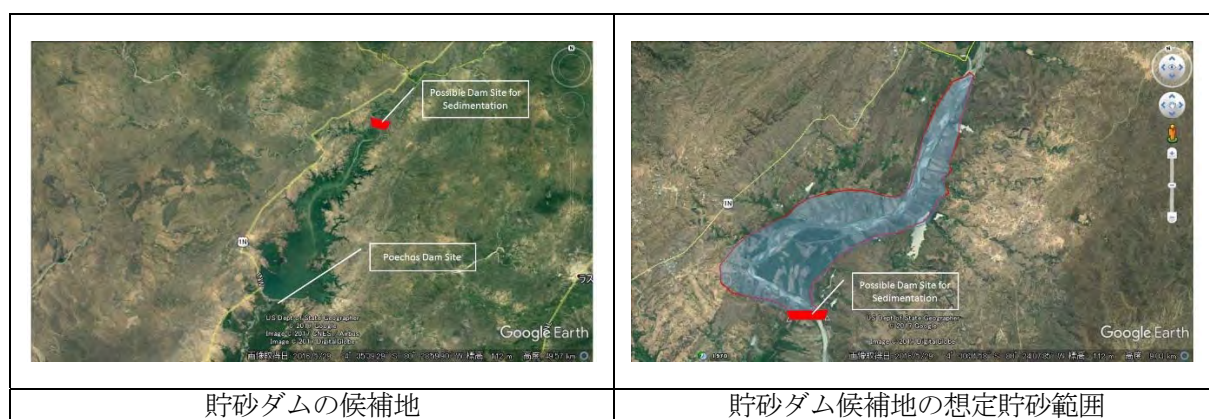


図 13.3.53 貯水池の堆砂進行模式図

上流部に貯まった土砂は、貯水池に拡散してしまった土砂よりも、容易に除去できる。

このような堆砂の進行メカニズムから考えると、現在の貯水池の堆砂を進行させないために、貯水池上流端部の堆砂の除去が緊急の課題である。

さらに、より積極的に土砂の貯水池内への侵入を防ぐ手段として、貯砂ダムの設置等が必要となる。同貯水池の 2013 年（ダム建設後 37 年）における堆砂量は 473 百万 m^3 とあるから、年平均 13 百万 m^3 となる。貯砂ダムを設置する場合、貯砂ダムの建設位置としては、貯水池の上流端部に造るのが土砂侵入を止める位置として効率的である。その候補地の一つとして Poechos ダムの上流 21 km 程度付近を挙げることができる。その位置を下图 13.3.54 に示す。また、本貯砂ダムの規模は高さ 10m 程度、堤頂長 700m 程度であり、その貯砂容量は地形を考慮して 13 百万 m^3 は確保できるものと推定される（図 13.3.54）。



Google Earth を調査団が編集

図 13.3.54 貯砂ダムの候補地と想定貯砂範囲

貯砂ダムの建設にあたっては、建設費を低減するために、セメント使用量を少なくする工法の採用も可能である。日本では、CGS（Cemented Gravel and Sand）工法、あるいは、砂防ソイルセメント工法などがある。

また、貯砂ダムの建設後は、貯砂池が満杯になったら、次の土砂流入に備えて、貯砂を掘削してその土砂を流域外にて利用あるいは廃棄する必要がある。

(4) Motupe 川及び La Leche 川

(a) 洪水被害の特徴及び現象の把握

La Leche 川における今年の洪水は、一部の区間から洪水流が河道の流下能力を上回り、越水が近傍の Illiomo 町の中心市街地に到達し、1 週間程度の浸水が生じたとのことであった（図 13.3.55）。また Motupe 川においても、2017 年の洪水時に堤防が破壊された区間があり、この地点から Hayanca 町の市街地へ洪水流が向かった（図 13.3.55）。La Leche、Motupe 川ともに水位観測所は設置されていないため洪水時の河道の水理量を定量的に把握することは困難である。

今年の洪水被害をもたらした原因として、河床堆砂により河道が縮小して、結果的に疎通能力が低下したことが原因との説明を受けた。それを定量的に確認する資料はなかったが、氾濫箇所及びその上下流部の現地踏査の結果、両河川ともにほとんどの区間において河床一面に著しい土砂堆積が容易に確認できるとともに（図 13.3.56）、河岸の浸食や自然遊砂地の存在が確認された。河岸の土質や河床材料を見た場合、細砂～中砂の砂質土であり、浸食が容易で河床堆砂を起こしやすい条件にある。

現地では、河道掘削を計画しているようであるが、掘削土は河岸の両側に山積され、一時的に堤防の役割を果たすが、曲線部等の水衝部から河岸浸食を起こし、再度河床に堆積する悪循環を起こしていることも確認されている。従って、これらの河床堆砂に対して、どう対応していくかが問題と言える。



図 13.3.55 La Leche 川及び Motupe 川の洪水越水地点

	
写真：Motupe 川の河床堆砂状況 (水は枯れていた)	写真：La Leche 川の河床堆砂状況
	
Motupe 川の河岸浸食状況	La Leche 川中流部の自然遊砂地

出典：調査団撮影

図 13.3.56 Motupe 川及び La Leche 川の河床堆砂及び食及び河道堆砂状況

(b) 相手国政府関連機関の復旧・復興へのニーズ

Motupe 川において破壊された堤防の復興が要望として復興庁に提出されている。その他、La Leche 川および Motupe 川において Descolmatation（河床の掘削・浚渫）が要望として復興庁に提出されているが、具体的な施工箇所および施工量については検討されていない。

(c) 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面の課題及びその解決策

上述した洪水発生原因および相手国政府関連機関のニーズに基づき想定される解決策は次のとおりである。詳細は次項で述べる。

表 13.3.20 Motupe 川及び La Leche 川流域における洪水対策の基本方針（案）

洪水・土砂対策に係る課題	洪水・土砂対策に係るニーズ	想定される対策
- 河床堆砂による河道の縮小および流下能力の低下 - 河川の状況を定量的に把握するためのデータの不足 - 河岸の洗掘	Motupe 川において破壊された堤防の復興が要望として復興庁に提出されているほか、La Leche 川および Motupe 川において河床の掘削・浚渫が要望として復興庁に提出されているが、具体的な施工箇所および施工量については検討されていない。	- 緊急対策としての河道（河床）掘削 - 破壊された護岸工の復旧工事及び河道屈曲部外側の洗掘防止対策（洗掘防止対策は河岸洗掘の結果発生する土砂量の減少対策としても有効である。） - 河床変動、堆砂状況の定量的な把握のための河床材料調査、河道測量を実施、および河床変動解析 - 上記の確認後、堆砂対策の検討を実施する。具体的な対策としては、堤防嵩上げによる河道限定による掃流力の増加、自然河岸への植生工の設置による浸食の防止、上流部での遊砂地の設置、砂防ダムの建設、上流山岳部への植林による山地保全対策等 - 長期的な洪水対策として、La Leche 川の上流部へのダム群の設置

Motupe 川及び La Leche 川の洪水対策としては、緊急対策、中期的な対策及び長期的な対策に分けられる。

➤ 緊急対策（復興工事で対応可能な対策）

- 河道（河床）掘削：既存橋梁部がネックポイントとなり、堤防の嵩上げや河道拡幅による対応が困難なため、現状河道幅で河床を下げるのが最も早急に対応が可能な対策である。但し、掘削後の河床の安定に十分配慮することが必要である。
- 河道屈曲部外カーブ側の洗掘対策のための護岸工事：河岸の洗掘によって河岸の資産が喪失している。また、河道低水路の固定により、河岸洗掘による生産土砂量の減少にも有効となる。
- 破壊された護岸工の復旧工事：次の洪水時にさらに河岸の浸食がすすむと河道全体の線形が変わり大きな被害を発生させる恐れがあるために、緊急対策として実施すべきである。

➤ 中期計画としての堆砂対策（計画及び対策工事に一定の期間が必要となるため、今回の復興工事での対応が困難な工事）

- 河床材料調査、河道測量を実施して、それに基づき河床変動解析を行い、将来の河床変動、特に堆砂の状況を把握する。
- 河床変動解析により、洗掘及び堆砂の激しい場所を選定して、河床変動を定期的（1 年 1 回程度）に測量して、検証を行う。また、河道全体の測量も定期的実施して、河川全体での堆砂量を把握することも必要となる。
- 堆砂に関する基礎データ収集後、河床変動モデルのキャリブレーションを行い、堆砂対策の検討を実施する。具体的な対策としては、自然河岸への植生工の設置による浸食の防止、上流部での遊砂地の設置（但し定期的な土砂搬出が必要）、砂防ダムの建設、上流山岳部への植林による山地保全対策等が考えられる。



出典： http://k-keikaku.or.jp/xc/modules/pc_ktech/index.php?content_id=2252

<http://www.hrr.mlit.go.jp/yuzawa/bousai/info/ccvt.html#>

図 13.3.57 上流部に設置された日本の遊砂地の例

地先砂防と水系砂防

特定の保全箇所を守る地先砂防に比べて、上記のような水系砂防への取り組みは総合的に土砂の生産と流出の調整を行うことである。流域全体を見通して今後一定期間のうちに、以下の土砂量を算定する必要がある。

- 斜面や河床近傍の土砂のうち河道や溪流に流入すると見込まれる土砂量（計画生産土砂量）、
- 下流域へ流出すると見込まれる土砂量（計画流出土砂量）、
- 下流域へ流してよい、あるいは下流や海岸の維持のために流下させる必要のある土砂量（計画許容流砂量）

以上の3つの土砂量を見積り、計画流出土砂量と計画許容流砂量の差（計画超過土砂量）を算定し、これを砂防施設の配置ならびに山腹緑化対策を通して減少させる必要がある。

このような取り組みは、復興工事期間には不可能であるので、復興工事においては、上記の緊急対策に加え、水系砂防の調査及び計画を策定することを活動の1つとして実施することが望まれる。

➤ 長期的な洪水対策

Olmos - Tinajones 特別灌漑事業事務所（州政府管理）の説明では、長期的な計画として La Leche 川の上流部に下図 13.3.58 に示すダム群の計画が進められている。



図 13.3.58 Olmos-Tinajones 特別事務所に La Leche 川上流のダム計画

上記ダム群は、現時点では利水用として計画されているが、上流部の Laquipampa 及び Yavis の各ダムには砂防機能、中流部の Calzada ダムには洪水対策機能を持たせることも可能であるという。本ダム群が建設されれば、La Leche 川及び Motupe 川の合流部から下流への洪水流量の負担が大幅に軽減される。また、上流のダム群による堆砂効果も高いことから、中期計画での堆砂対策の規模も縮小できる。

一般的に今回見てきたペルー北部におけるダムは、利水（灌漑用水）や発電用であり、洪水対策には活用されていない。（説明では、「洪水対策にも活用できる」と言うが、実際の運用は灌漑容量確保のために極力満水としており、実際の洪水流量低減機能は低い。）従って、今後の洪水対策計画の検討においては、多目的ダムとして利水に加えて、積極的に洪水防御機能を持たせることを検討すべきである。また、計画堆砂量の推定については、現在の状況を考慮し十分な余裕を持たせた各ダムの無効容量の確保、及び各ダムの排砂設備を確保することが必要と考える。

(5) Chancay-Lambayeque 川

(a) 洪水被害の特徴及び現象の把握

a) 都市部の洪水

本地域の灌漑用水は、Chancay 川の水を Tinajones 貯水池および La Puntilla 取水堰を経由して、Taymi 水路を通じて、Chiclayo, Ferrenafe, Lambayeque 各市へ供給されている。（図 13.3.59 参照）

このような灌漑用水は、Dren1000, Dren 2000, Dren3000 などと言われる排水路によって海へと排水されている。これらの排水路は Lambayeque 県管轄下の Olmos - Tinajones 特別灌漑事務所が建設管理し

ている。

Lambayeque 市地域は、Taymi 水路からの灌漑水の排水路網が扇状に広がり、その要の部分で Lambayeque 市の郊外にあたる（図 13.3.59 参照）。

洪水発生時には、Taymi 水路沿いの 3 つの Quebrada（Sencie, Rio Loco, Vichayal）からの出水が同水路を通り、あるいは、同水路を乗り越えて、Ferrenafe 町や Pícsi 町を浸水させると共に、排水路網を経由して、最終的に Lambayeque 市郊外へと導かれる。また、La Leche 川左岸側からの越水や同地域の降雨による地表水も、排水路網を経由して、Lambayeque 市郊外へと集まってくる（図 13.3.59 参照）。そのような洪水は、2017 年 2 月は Lambayeque 郊外にとどまったものの、1998 年や 1995 年、1983 年の洪水時には同郊外に止まらず、同市街地も洪水被害を被っている。



Chancay-Lambayeque 地域の灌漑排水路網図

1998 年の Chancay-Lambayeque 地域洪水・浸水域図

出典：Olmos-Tinajones 特別事務所提供

図 13.3.59 Chancay-Lambayeque 地域の灌漑排水路網図及び 1998 年の洪水・浸水域図

一方で、Lambayeque 及び Chiclayo 市街地には、排水設備はなく、降った雨水が排水されない問題がある。無秩序な都市開発は、農地を宅地化して雨水の流出量を増加させると共に、既存の農業排水路の一部では、その機能低下を放置している。具体的には、Chiclayo 市北部の洪水被害、特に 3 週間もの長期に渡る洪水被害は、既存の農業排水路 Dren3000 を埋立、道路に活用したことによると考えられる。

また、Chiclayo 市においては、その郊外を通る灌漑排水路 Dren3000 や本来市内を通る灌漑用排水路が拡大化した都市の雨水排水路の機能を果たしてきた。そのような排水路の機能が、近年のさらなる急速な都市機能の整備・発展の中で、様々な障害に遭遇してきて、農地を対象とした排水設備の能力を超えていること、さらに一部排水機能が著しく低下して、毎年のように排水不良による浸水が長期間続くことになっている。その障害のいくつかの事例を以下に図 13.3.60 として示す。

		
Dren3000 基幹排水路が県の道路建設のため埋没して、その排水地区の浸水の原因となっている。	同排水路を横断する市の下水道管路*1 が排水路の流下能力を著しく低下させている。	排水路の掘削土を排水路に沿って置くことで、周辺地域が排水不良となっている。

注記：*1:同市の下水道は国営下水道会社の管理運営下にある。

図 13.3.60 灌漑排水路網の機能低下及び維持管理不良の事例

b) Quebrada から Tyaimi 水路への洪水

洪水の出水時には、Tyaimi 水路は、水路沿いの Quebrada から同水路へ土砂交じりの流水が流れ込むような配置になっている。この対策として、現在二通りの対策工が取られている。その一つは、サイフォン工によって、Quebrada からの出水を同水路の下を通らせる構造である。もう一つは、一度同水路に出水を流し込んで、溢れた水を同水路に直行する水路に流す構造である。前者は貯まった土砂によってサイフォンが閉塞して、機能を果たしていない。後者については、土砂生産の少ない Quebrada であって、良好にその機能を果たしている。

いずれの対策工においても、Quebrada からの出水は Tyaimi 水路を超えて、Ferrenafe 市や Picsi 市を浸水させる結果となっている。

	
サイフォン構造の Quebrada 流入部	Quebrada Rio Loco 流入部と被害状況



出典：調査団撮影

図 13.3.61 灌漑排水路網における Quebrada からの洪水対応の事例

(b) 相手国政府関連機関の復旧・復興へのニーズ

Olmos - Tinajones 特別事務所は、灌漑用水排水路の排水能力増強工事の予算を Lambayeque 県に要請しているところである。

また、Lambayeque 県は、中国のコンサルタント（Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research : CISPDR）と洪水対策を含む統合水資源管理計画作成に係る契約を 2017 年 7 月 11 日に締結した。それを報道した新聞記事を下記に図 13.3.62 として示す。



参考：Lambayeque 県ホームページ (<http://www.regionlambayeque.gob.pe/web/noticia/detalle/22935?pass=Mg==>)

図 13.3.62 中国による Lambayeque 県の洪水対策事業の契約を報道した新聞記事

(c) 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面の課題及びその解決策

上述した洪水発生原因および相手国政府関連機関のニーズに基づき想定される解決策は次のとおりである。詳細は次項で述べる。

表 13.3.21 Chiclayo 及び Lambayeque における洪水対策の基本方針（案）

洪水・土砂対策に係る課題	洪水・土砂対策に係るニーズ	想定される対策
・ 早急な都市排水システムの確立およびそのための都市排水システムの基本計画の作成 ・ 各セクターの計画に整合性を持たせる調整機関の設立 ・ 既存排水路の機能確保のための点検および維持管理 ・ 流下能力の妨げとなる不適切な横断部の改築	Olmos - Tinajones 特別事務所は、灌漑用水排水路の排水能力増強工事の予算を Lambayeque 県に要請しているところである。	・ 都市排水・灌漑排水計画の策定 ・ 既存排水路の改良（具体的な対策方法としては、現在の自然掘削水路から灌漑用水路のようにコンクリート被覆水路に転換することにより、水路の粗度係数の向上、植生繁茂の防止、流速向上による水路内堆積物（ゴミや堆砂）の減少が期待できる。）

a) 都市の洪水対策

Chiclayo・Lambayeque 両市共、都市排水システムの確立が早急に必要である、という同様の課題を持つ。

特に、Chiclayo 市の場合、都市排水は既存の灌漑排水システムに依存して、独自の都市排水システムを構築していない。このため、まず、同市の都市排水システムの基本計画を作成するのが第一の課題である。

また、都市排水システムの計画は、既存の灌漑水路の他、道路や下水道などの既存設備、あるいは、設置計画と整合性を持たせた計画としなければならない。そのためには、これらの各セクターの計画に整合性を持たせる調整機関が必要となる。

しかしながら、灌漑特別事務所や国営下水道会社が都市排水を計画するにあたって、双方とも都市排水問題のイニシアチブと取ろうとはしていない。本来、流域内の水関係の調整は CRHC により調整されるべき課題であるが、本地域の CRHC は未だ設立されておらず、その機能を発揮していない。したがって、ANA と今後設立される CRHC がこのような都市の水問題に対する調整力を高めていくことが第二の課題である。

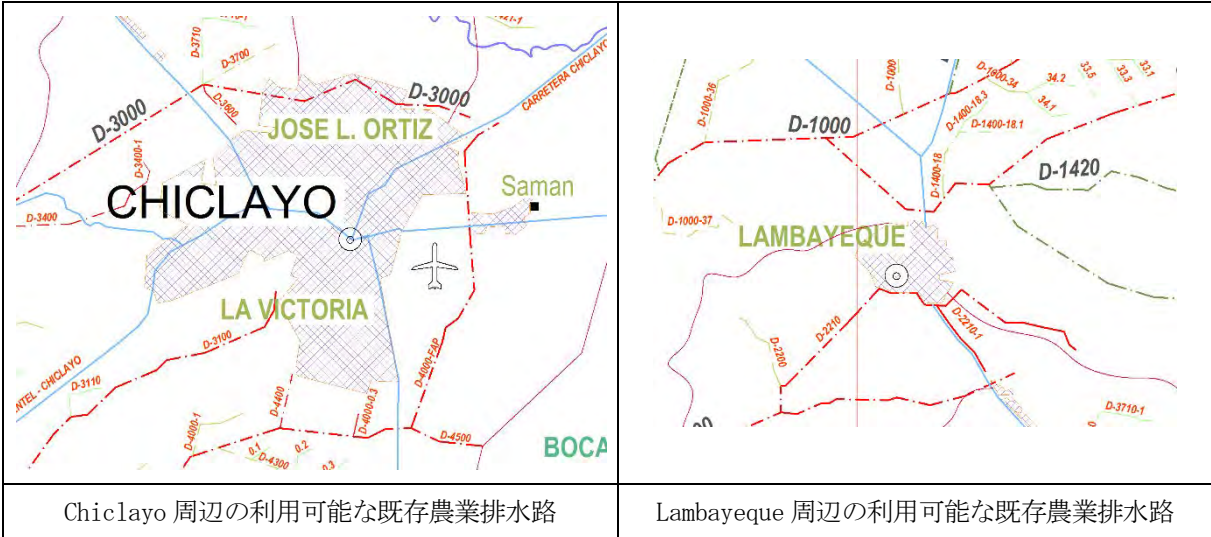
上記の 2 つの課題はそれぞれに解決するのではなく、Chiclayo 市、Lambayeque 市共に、第一の課題である都市排水システム構築のための基本計画作成を進めていくことで第二の課題である制度的な課題の解決を図ることが望ましい。

一般的には、都市排水システムは、

- 都市外部から表流水の侵入を防ぐための都市の外周を取り囲むように設置するインターセプター及び
- 都市内部の排水のための幹線・支線排水路、並びに
- 局所的な対応のためのポンプ施設

からなる。Chiclayo 市の排水システムの確立のためには、既設の灌漑排水路 Dren3000 や Dren4000 がインターセプターの機能の一部を担うことが可能である。また、その他の支線灌漑排水路も都市排水路として活用が可能である。

Lambayeque 市の場合は、Dren1000, 1400, 2000 がインターセプターとして利用可能であり、その他の既存排水路を利用する事ができる。但し、Olmos - Tinajones 特別事務所が現在検討している Dren1000 の排水能力増加計画は、同市への洪水流入量が増加することとなるので、都市排水・灌漑排水両計画の調整が必要となる。



出典：Proyecto Especial Olmos Tinajones のデータを調査団で一部加工

図 13.63 Chiclayo 及び Lambayeque 周辺の都市排水に利用可能な既存農業排水路

既存の農業排水路を活用する場合には、流水の障害物となる横断構造物の撤去が必要となる。農業排水路のため計画流量が少ないため、これまでは、多少の横断構造物があったとしても上流水位の堰上げにより計画に対する疎通能力にはこれまでは問題はなかった。しかし、都市部も含めた洪水時の排水路として使用する場合は、これら横断構造物の上流部での氾濫、加えて流下物（ゴミや木々）がその部分に滞留して、疎通断面減少を引き起こすことは容易に推定される。従って、既存排水路の点検を行い、障害物の撤去の必要がある。また、道路横断部函渠の断面が、上下流部の河道に比べて小さいので、必要に応じて改築の必要も生じる。





出典：調査団撮影

図 13.3.64 既存の農業排水路にある横断障害物と道路横断函渠

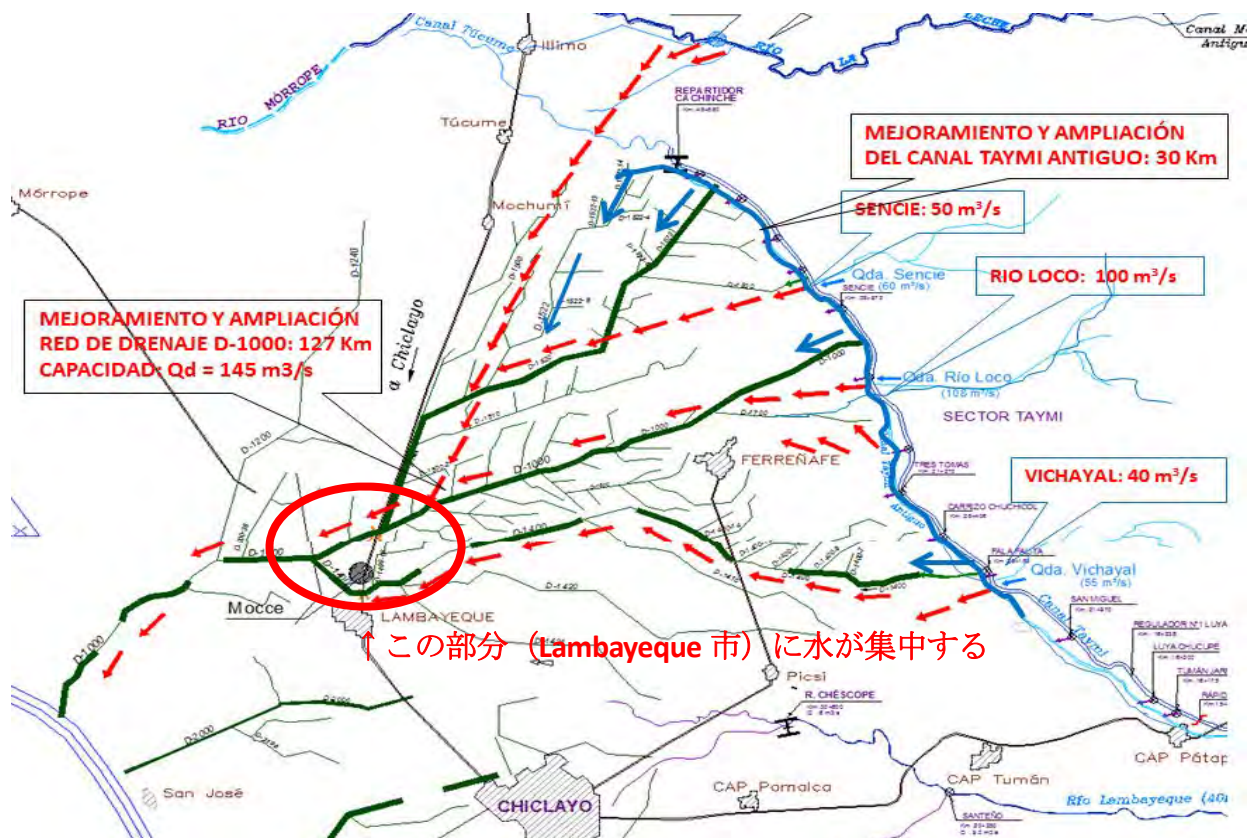
また、都市部の排水計画も含めて考慮する場合、疎通能力拡大が必要になると想定される。この場合、具体的な対策方法としては、現在の自然掘削水路から灌漑用水路のようにコンクリート被覆水路に転換することにより、水路の粗度係数の向上、植生繁茂の防止、流速向上による水路内堆積物（ゴミや堆砂）の減少が期待できる。



出典：調査団撮影

図 13.3.65 現況の農業排水路のコンクリート被覆断面への転換

なお、Ferrenafe 市・Picsi 市については、まだ都市域規模が小さいので、Olmos - Tinajones 特別事務所が計画している Dren1000 および Dren1400 の排水能力増加によって一定の効果は期待できる。しかしながら、Ferrenafe 市・Picsi 市は Lambayeque 市の上流に位置していることに注意をすべきである。上流での洪水緩和対策は、言い換えれば、下流側、すなわち、Lambayeque 市付近の洪水流量の増加につながるもので、合理的な水理計算の元で、統合的な計画を進めなければならない。



出典：Proyecto Especial Olmos Tinajones

図 13.3.66 Olmos - Tinajones 特別事務所による Lambayeque 市上流における既存排水路の改修計画図

b) Quebrada から Tyaimi 水路への洪水

土砂生産量の多い Quebrada (Sencie, Río Loco) についての洪水対策については、次の点について、考慮して実施する必要がある。

- 土砂の流下を容易にして、土砂が貯まらない構造、あるいは、土砂が貯まっても容易に搬出できるような排水路断面構造とする。
- 但し、Quebrada Vichayal のように一度 Taymi 水路に落とす方式は、Sencie や Río Loco では土砂で同水路を閉塞させる可能性があるので、好ましくない。

日本では、水理模型実験で施設の構造を確認した上で構造物の設計を行っている。現在設置済の施設を早急に改築は困難と思われるので、今後他の箇所での新設や既存施設の老朽化に伴う改修の場合には、流砂に関する水理模型実験を行ったうえで洪水対策の施設を建設すべきである。

- Quebrada 側の水路壁の構造を Quebrada 側からの水圧を考慮して設計する必要がある。

以下に図 13.3.67 として浸透流解析を実施して、水圧に対して安全に設計した遊水地の越流堤防事例を示す。なお、本例では、越流堤内の水位上昇及び水圧上昇に対抗させるため、空気抜き管及び排水管を計画している。

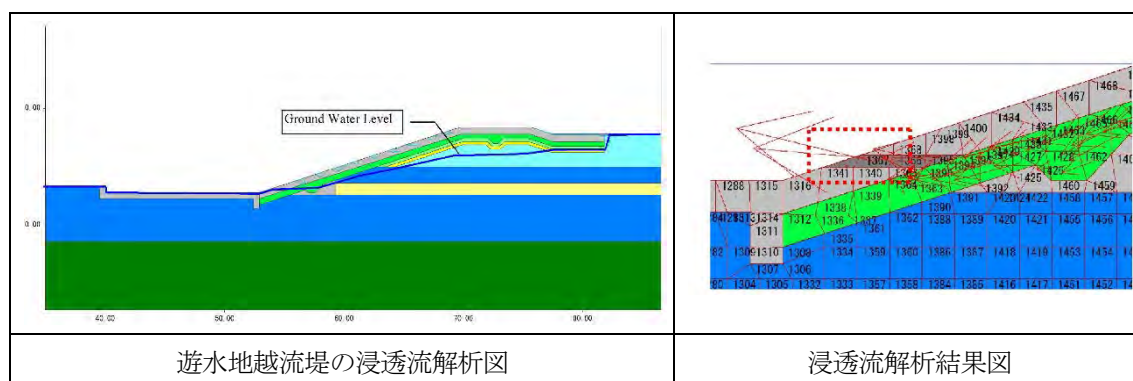


図 13.3.67 遊水地越流堤の浸透流解析例（水圧による被覆厚検討）

13.3.3 2017 年 1~3 月実土砂災害現象の把握及び今後の対策方針

Trujillo 市内河川、Cuculicote 川、および Rimac 川について、主に洪水に伴う土砂災害を対象として現地調査を実施した。斜面崩壊や地すべりによる直接被害は、調査地では顕著でないため検討対象外としている。

(1) 海岸地域 Costa の土砂災害特性

今回現地調査を実施した、Trujillo 市内河川、Cuculicote 川、および Rimac 川は、いずれも海岸地域 Costa に位置している。Costa は降水量が小さく、雨期と乾期が明瞭である。このためアンデス山脈に源流をもたない山地河川 Quebrada は、流域面積が大きい場合でも涸れ川や出口の無い河川(末無し川)となっている。また常時流水がないため、特に平地部では流路が固定されておらず、自然状態では河道が不明瞭である。

調査対象流域の主要な基盤岩は花崗岩類であるが、植被が無いことと、乾湿繰り返しなどの厳しい気候条件により風化が進行して土砂化(マサ化)しており、流砂や巨礫の生産源となっている。

このような自然特性と、谷出口に市街地や農地が広く分布し重要交通網も交差している社会特性から、雨期の洪水に伴って土石流や流砂が発生し土砂災害が多発している。

土砂災害は、地形条件により、①山麓部での土石流～土砂流による侵食および氾濫と、②平地部での流砂を伴う氾濫とに区分できる。

山麓部では、土砂を含む高密度・高エネルギーの流体となって流下するため、河道沿いの構造物の破壊、河岸侵食や谷出口での急激な堆積による氾濫が発生している。Chosica 主要部がこれにあてはまる。

平地部では、上流から運搬された土砂が掃流力の低下に伴い堆積し氾濫を起こしやすい。また河道が不明瞭であるか、あっても断面不足であることも氾濫の一因となっている。Trujillo 市内河川、Cuculicote 川、Rimac 川支流の Huayacololo などはこれにあてはまる。

	
写真 基盤の風化花崗岩 (Qda.cuculicote) ハンマーで削ることができる。	写真 玉ねぎ状風化の残留核である花崗岩の巨礫 が山地斜面を覆う。(Qda.LasCruces)
	
写真 侵食開始点。山地は植被が無く表流水が発生しやすい。山麓の堆積物が侵食されている。 (Qda.Cuba)	写真 平地内の氾濫域。平坦面が広がり自然状態では流路が不明瞭である。(Qda.Leon)

出典：調査団撮影

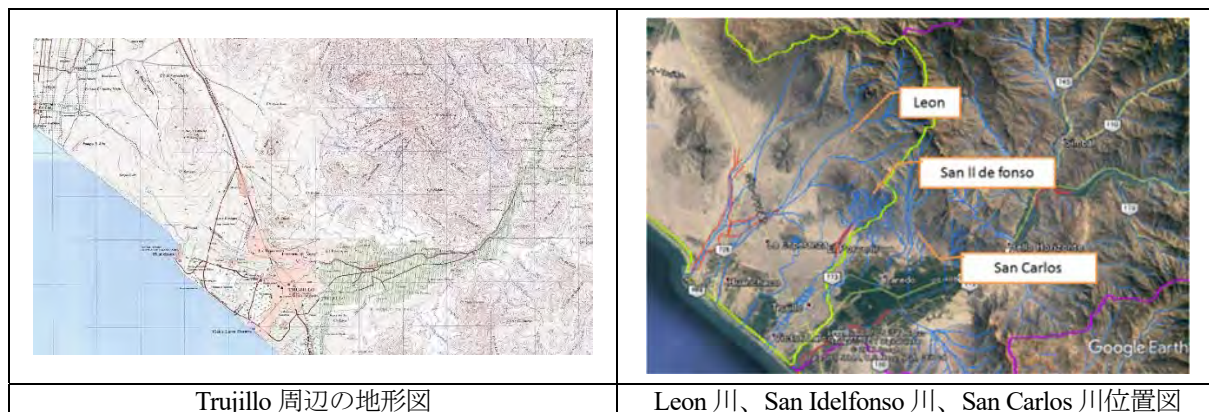
図 13.3.68 海岸地域における山地河川 Quebrada の特徴

(2) Trujillo 市内河川 (Leon 川、San Idelfonso 川、San Carlos 川)

(a) 洪水・土砂災害の特徴及び現象の把握

a) 地形及び自然状況

当地区周辺の地形図及び Trujillo 市内で 2017 年に土砂災害を発生させた Leon 川、San Idelfonso 川、San Carlos 川の平面線形を以下に図 13.3.69 として示す。



出典：ALA 提供

図 13.3.69 Trujillo 市周辺の地形及び主要な Quebrada

当地区の基盤岩は花崗岩であり、この基盤岩を被覆して溪床等に広く砂礫層が分布する。溪流内の侵食が顕著であることから、今回の災害時の流出土砂は溪流内の堆積土砂が2次移動したの多いと推定される。

	
写真 基盤の風化花崗岩 (Qda.San ldefonso)	写真 溪床等に広く分布する砂礫層。巨礫が点在する。(Qda.San ldefonso)
	
写真 谷出口の砂の堆積。末端が急勾配であり植被が点在するため過去の堆積物と推定される。(Qda.Leon)	写真 支溪の堆積物。堆積面を下刻しており新たな土砂流出による被覆はほとんどない。(Qda.San ldefonso)

出典：調査団撮影

図 13.3.70 Trujillo 市周辺の基盤岩及び表層の砂礫層と土砂生産状況

b) 社会状況

Trujillo市街地を流下する3つのQuebradaの上流の谷出口などの危険箇所にも住宅が立地している。不法占拠によるものもあるが、合法的な宅地もあり、多くの住宅が土砂災害のリスクの高い地区に居住している。また、以下の図 13.3.71 に示すように、市街化により流末が不明瞭化もしくは消滅しているQuebradaが殆どである。



図 13.3.71 Qda.San Idelfonso および Qda.Leon の流末

c) 災害状況

今回の 2017 年には、7 回の洪水が発生した。洪水の被害を大きくした理由の 1 つは、1998 年に地方政府が Qd. San Idelfonso を住民が横断するため及び洪水被害軽減のために建設した河川（Quebrada）を横断する土堤が初期の洪水で決壊したことにも起因する。

上流で発生した洪水は、谷出口までは存在する河道を流下した後、旧河道上に建設された市中心部のミラフローレス通を中心に市街地を流下し多くの住宅や商店街が被災した。

この状況は、他の 2 つの Quebrada（Leon 及び San Carlos）でも同じ状況であったが、最も市の中心を流下する San Idelfonso の洪水が被害の規模も一番大きかった。

Trujillo 市では今回の洪水より以前には、1982 年及び 1998 年にも洪水・土砂災害被害は発生しているが、今回の洪水被害規模はその 2 回の被害を大きく上回るものであったと述べている。ALA によると 2 つの以前の洪水時の降雨は上流の高地であったが、今回の降雨は比較的標高が低い Trujillo 市近傍で大量の雨が降ったことが被害を大きくした一因であったと分析している。（本節、13.3.1 項参照）



写真 人の背丈程度まで壁が変色している。

出典：調査団撮影

図 13.3.72 LaEsperanza 市街の洪水痕跡

(b) 相手国政府関連機関の復旧・復興へのニーズ

洪水発生後、Trujillo 市は、緊急対策として、市街地に堆積した土砂の撤去を既に終えているが、再び同様な洪水が発生することを危惧している。Trujillo 市では、ALA との協議の下、3 つの Quebrada に対する洪水対策の基本案を ALA に依頼しており、この基本案を基に復興庁が将来の洪水・土砂災害のための対策を実施することを望んでいる。

一方、ALA は、基本的な地形データ及び残された河道の測量を実施し、HEC-HMS 及び HEC-RAS 等を利用し、洪水シミュレーションの実施を既に終えた。これらを Trujillo 市に提供し、できるだけ今後は Quebrada の河積確保をするように提言している。

さらに ANA は Trujillo 市及び ALA から依頼を受け、3 つの Quebrada の抜本的な洪水・土砂災害対策の検討を行っている。結果として、ANA は San Idelfonso に関しては、市街地を流下させずに新たな迂回流路を建設し今後の災害に備えることを提案している。



出典：Google Earth データを基図として調査団作成

図 13.3.73 ANA が検討している San Idelfonso の迂回流路線形案

(c) 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面の課題及びその解決策

a) 土砂災害対策の課題とその解決策の方針

以下に土砂災害対策の計画策定上の課題とその解決策の方針を表 13.3.22 にして以下に示す。

表 13.3.22 Trujillo 市周辺の土砂災害対策の計画策定上の課題とその解決策の方針（案）

項目	課題	解決策の方針
計画	計画規模、計画基準点、保全対象、計画土砂量などの計画の基本となる諸元・条件が確定されていない。	● 既往災害実績や現地調査により諸元・条件を確定する。 ● 調査方法を示した基準書が必要である。 ● 災害記録が損害の数値のみで、氾濫範囲や流出状況(洪水位・侵食深・堆積深)に関する記録が乏しい。これらの災害記録を集約・整理する制度の整備も必要である。 ● 侵食、運搬、堆積の過程と場を明らかにする。 ● 過去の堆積地形と近年の土砂移動実態の関係を把握する。 ● 土砂量の調査を実施する。
	施設配置や施設設計に関する基準がない。対策工が脆弱である。	● 設計条件の決め方や設計思想を示した基準書が必要である。 (高度な数値シミュレーションではなく、手計算で個別の技術者が確認できる手法を構築することが最初の一步としては望ましい。)
施設配置	溪流内の砂防施設が設置されていない。溪流幅が非常に大きい ため施設規模が大きくなる。配置も難しい。	● 導流堤による流向制御で、施設規模を小さくする。 ● 樹林帯設置による移動抑制の導入。
	現在 ANA では土砂災害の抜本的対策として新規の Quebrada の流路計画を検討している。	迂回流路は複数の溪流と交差するため、これらの ● 溪流からの流出土砂対策も必要である。 ● 導流堤による横断箇所の固定化と ● 堆積工設置による土砂の捕捉により、土砂を除去し無害化した流水のみを流すようにする。 長期的には ● 樹林帯による土砂移動抑制を実施する。
施工	砂防構造物は市役所単位で施設を施工していることが多いため、施工規模や施工品質に限界がある。 人力施工が可能な小規模構造物になりがちである。	● ラフテレーンクレーンなどの機械化施工の本格導入 河川工事では日本と同様な重機が使用されているが、溪流工は人力施工が主体である。また生コン工場が近傍に無い場合が多いため、 ● プレキャスト部材の活用(ブロック堰堤など)、 ● 砂防ソイルセメントの採用が有効と思われる。いずれの場合も ● 大規模構造物であればクレーン車両の導入が有効である。
		市役所単位では整備の一貫性や統一性が確保できないため、 ● 施工主体を県などに変更する。 あるいは ● 上位機関が設計内容を審査する制度を設ける。

項目	課題	解決策の方針
ソフト対策	流末が消滅している、護岸が無い、など流路整備されている区間が短い。 現況で家屋や幹線道路が立地・交差しているため、流路を新しくつくるのが困難である。	小規模な溪流であれば、 ● 上流側で土砂を調節して、濃度の低い無害化した水を道路に氾濫させる ことを検討する必要がある。 歩道にパラペットを建てて民家を守るなど対処療法的な対策を採用せざるを得ない場所もある。 あるいは ● 強制力を持った法的措置により立ち退きさせるのが理想であるが、立ち退きには多くの時間を要する。 上流域に適地があれば ● 砂防堰堤や導流堤による制御計画策定 を検討する必要がある。 土砂量等の数値精度が低い状態で設計すると超過外力時に氾濫してかえって災害を大きくすることもあるため注意が必要である。 ● 危険箇所としての周知と ● 連絡・避難体制の整備等 のソフト対策の推進も必要である。
	不法占拠による家屋などグレーゾーンの保全対象が多い。	● 法整備と遵守体制の整備 規制区域に関しては、日本の砂防指定地や保安林、あるいは土砂災害警戒区域などのように税制優遇などの処置も検討する必要がある。 まずはペルーに合った洪水・土砂災害対策における土地収用(民有地と官地)に対する考え方を整理する必要がある。

b) 施設配置計画案の提案

本被害地域において、土砂災害軽減に資する施設の配置として以下の図 13.3.74 に示す施設配置基本計画（案）を提案する。本案を基に、今後詳細な各施設の整備を検討することが望ましい。



出典：Google Earth データを基図として調査団作成

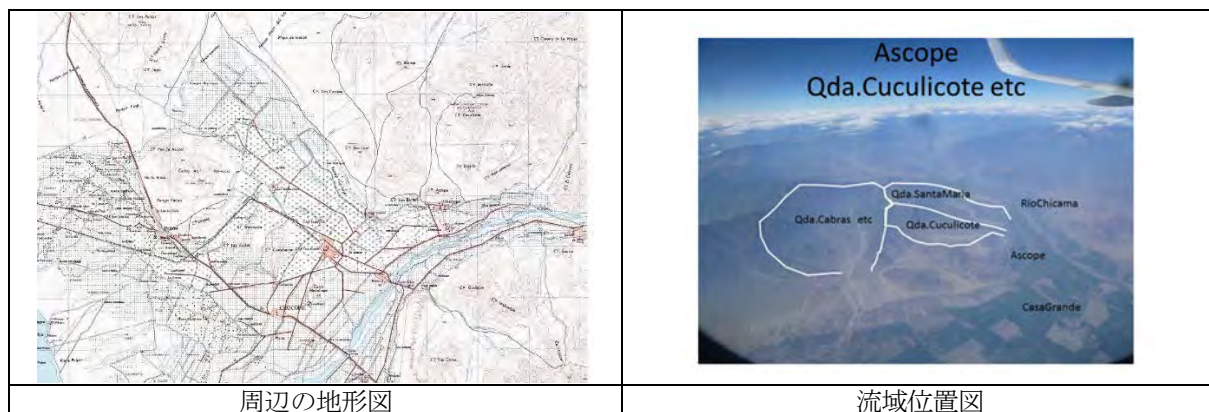
図 13.3.74 Trujillo 地域における土砂災害被害軽減のための施設配置計画（案）

(3) Cuculicote 川

(a) 洪水・土砂災害の特徴及び現象の把握

a) 地形及び自然状況の概要

当地区周辺の地形図及び現地踏査で流域の状況を確認した Qd. Cuculicote、Qd. Santa Maria 及び Qd.Cabras の位置を以下に図 13.3.75 として示す。



出典：ALA 提供及び調査団作成

図 13.3.75 Qd. Cuculicote 周辺の地形及び現地踏査を実施した 3 流域の位置図

Qd. Cuculicote が流下する Ascope 町周辺を確認すると、流出土砂は砂主体であり礫は上流側にとどまっている。当地区周辺の山体の地質は花崗岩が主体である。風化が著しく、Ascope 町周辺に災害時に堆積した砂の生産源となっている。各 Quebrada によって、下流に堆積した土砂量の違いは、植被の程度によって土砂生産が異なっていることに起因している。(図 13.3.76 参照)



出典：Google Earth データを基図として調査団作成

図 13.3.76 Qd.Cuculicote 周辺の生産土砂量の特徴

Qda.Cuculicote

Cuculicote 山を中心とした左岸流域は植被が多く土砂生産が少ない。右岸流域は源流域まで風化花崗岩が分布するため土砂流出が多い。



写真 広範囲に土砂が被覆している。

出典：調査団撮影

図 13.3.77 Ascope 山背面の Qda.Cuculicote の中流域から上流方向の状況

Qda.Santa Maria

Qda.Cuculicote の東側に位置する溪流であり、流域面積は Qd. Santa Maria の方が大きい。

谷出口で扇状地を形成しており、農地区画や道路も扇状地特有の扇形の地形に合わせて形成されている。流域面積が大きいとため氾濫範囲も広いが、Ascope 市街地から離れるため農地被害が大半である。

この溪流は天井川であり、横断道路は Ascope 市街地に向かって(西側に)低くなっている。この溪流から分流した流れが Ascope 町直上流で Qda.Cuculicote に合流している

Qda.Cabras 他

複数の溪流が合流してひとつの広大な氾濫域を形成している。植生が少なく、洪水時多くの土砂が下流に流出している。

b) 災害状況

今回の 2017 年洪水・土砂災害では、Qd. Cuculicote 及び Qd. Santa Maria の流域では、400ha 程度の農地に被害が発生している他、Ascope 町の市街地まで土砂が流れ込み、多くの家屋が土砂により家屋内の資産が被害を受けたほか、複数の家屋は土砂混じりの洪水により流出した。

また、ALA によると、Ascope 町周辺では上記の 2 つの Quebrada だけではなく、多くの周辺の Quebrada の洪水及び土砂災害により、計 20,000has の農地に被災を受けている。

(b) 相手国政府関連機関の復旧・復興へのニーズ

現地での、喫緊の課題は、多くの Quebrada において上流から流出した土砂によりその殆どの河道が埋まっており、次の洪水・土砂災害に備えるための河道の掘削工事の実施及び河道の現況復旧を希望している。(図 13.3.78 参照)

しかしながら、現地の ALA によると、緊急復旧の優先事業は、Pan-American 道路を 30 日以上通行止めにした、Chicama 川の緊急改修（破損した堤防の復旧、河道内土砂の除去、及び護岸の建設）であり、多くの Quebrada の現状復旧に予算が付くかどうかは未定との事である。



写真 道路横断部から上流方向を撮影。溪岸が侵食されているとのこと。溪床と道路の比高差が小さい。

出典：調査団撮影

図 13.3.78 Qda.Cuculicote の河道への土砂堆積状況

(c) 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面の課題及びその解決策

a) 土砂災害対策の課題とその解決策の方針

以下に土砂災害対策の計画策定上の課題とその解決策の方針を表 13.3.23 として示す。

表 13.3.23 Qd. Cuculicote 周辺の土砂災害対策の計画策定上の課題とその解決策の方針（案）

課題	解決策の方針
多くの Quebrada の下流河道が土砂で埋まっている。	● 流路の確保のための河道掘削・浚渫工事の実施が早急に必要
多くの Quebrada に流れを確保しない横断構造物が建設されている。	● 流れを阻害する横断工作物の Quebrada との立体交差化（アクアダクト、サイホン等）工事が必要
多くの土砂が上流から流出している。	● 土砂移動抑制施設（ブロック積堰堤・砂防ソイルセメント堰堤等）が必要
	● 発生源対策（山地の植林・山腹工等）の実施が必要



写真 溪流横断部に復旧した水路工。溪流を完全に遮断している。

出典：調査団撮影

図 13.3.79 Qda.Cabras で建設された Qubrada の流れを阻害する農業用水路

b) 施設配置計画案の提案

本被害地域において、概略ではあるが、土砂災害軽減に資する施設の配置として以下の図 13.3.74 に示す施設配置基本計画（案）を作成した。本案を基に、今後詳細な各施設の整備を検討することが望ましい。



出典：Google Earth データを基図として調査団作成

図 13.3.80 Qd.Cuculicote 周辺（Ascope 町地域）における土砂災害被害軽減のための施設配置計画（案）

(4) Rimac 川

Rimac 川の現地踏査は、土砂災害が多数発生した、Chosica 地区を中心に実施した。結果を以下に示す。

(a) 洪水・土砂災害の特徴及び現象の把握（支川からの鉄砲水災害（Huayco）を中心として）

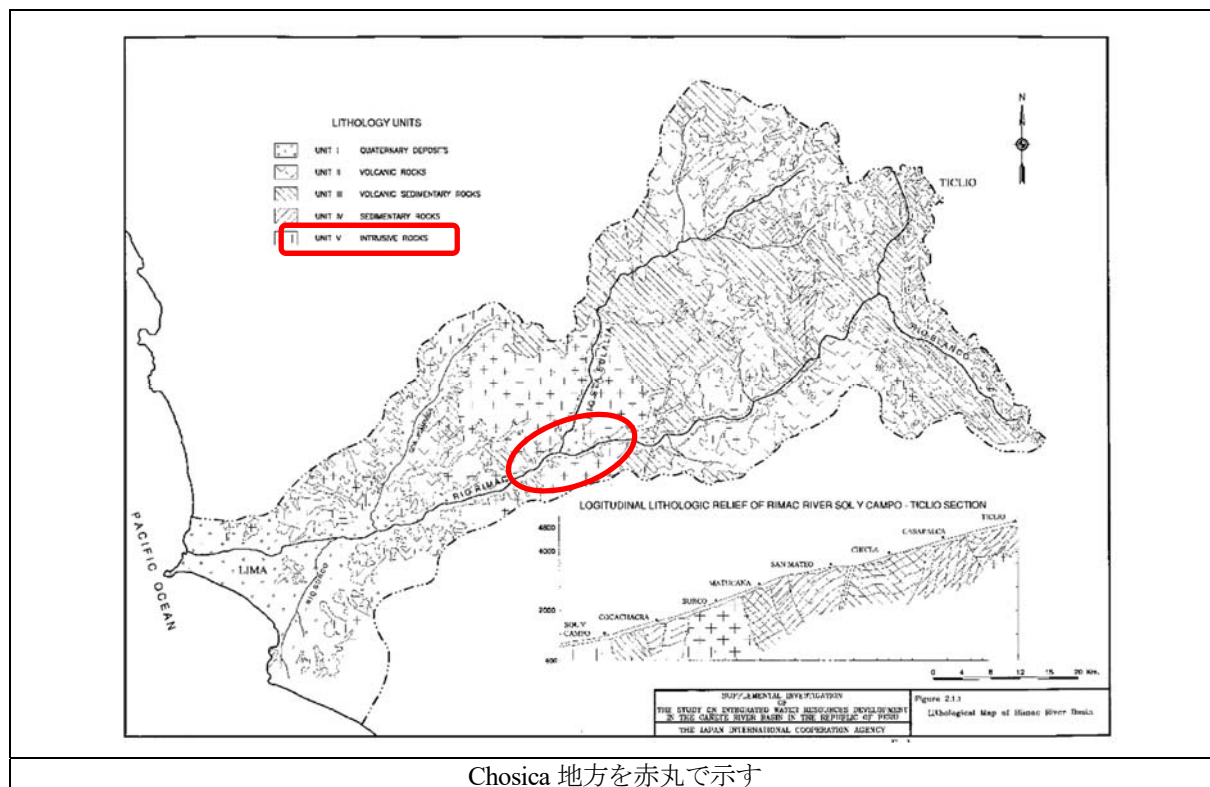
a) 地形・地質及び自然状況

Chosica 地方は、アンデス山脈の前縁部にあたり標高 2000m を超える山地に囲われている。Rimac 川およびその支流の Sta. Eulalia 川に迫って谷底平地が分布しておりそこに市街地を形成している。

基盤岩は花崗岩が主体である。山地斜面は玉ねぎ状風化の残留核である巨礫が覆っている。露岩も

各所でみられる。溪流沿いや谷底平地は巨礫を含む砂礫層が被覆している。層厚は 10m 程度のものが多い。溪床に花崗岩の露頭がみられるが、風化しているものが多く、侵食に対する抵抗力は小さい。

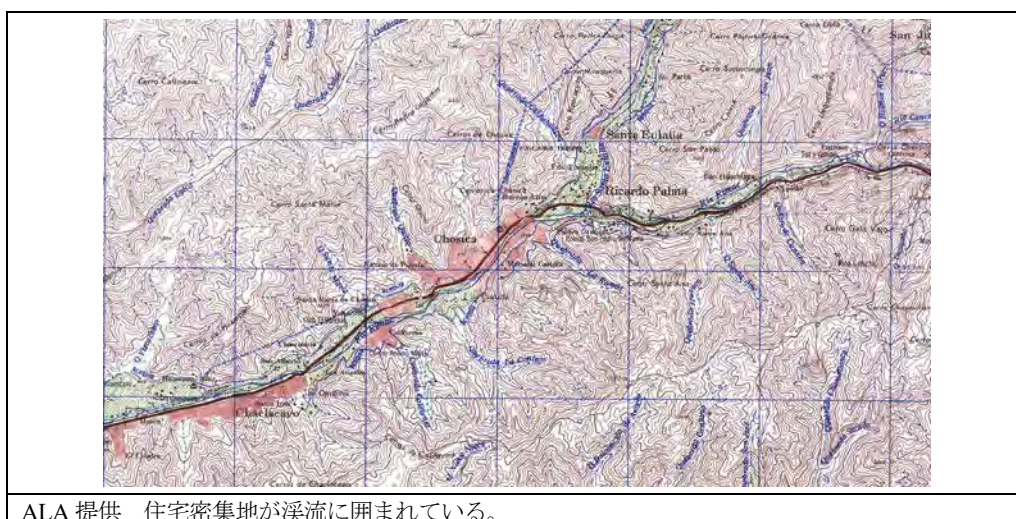
以下に Rimac 川流域の地質図を図 13.3.81、周辺の地形図を図 13.3.82 及び Chosica 地区の地質の特徴を示す写真を図 13.3.83 として以下に示す。



Chosica 地方を赤丸で示す

出典：Study on Integrated Water Resources Development in the CAÑETE River Basin in the Republic of Peru, Final Report, Volume IV (Supporting Report M. Supplemental Investigation Water Use and Loss in RÍMAC River Basin, JICA、2002

図 13.3.81 Rimac 川流域の地質図



ALA 提供 住宅密集地が溪流に囲まれている。

図 13.3.82 Chosica 周辺の地形

	
玉ねぎ状風化の残留核である花崗岩の巨礫が山地斜面を被覆している。(Qda.LasCruces)	谷出口は砂礫層の堆積面が広がる。市街地近くであれば宅地として利用されている。(Qda.Pedregal)

図 13.3.83 Chosica 地方の地形地質の特徴

b) 社会状況

Chosica 地方は、高地にあたり日照が良いため Lima 市街から日帰りの観光客が多い。Rimac 川に沿ってアンデスおよびアマゾン方面との連絡路である幹線国道が通過している。鉄道も Rimac 川沿いに敷設されており貨物輸送に重要な役割を果たしている。

上述したように、谷底・氾濫台地や山腹などに宅地が立地している。不法占拠しているものも多い。また流路の宅地化及び氾濫危険箇所であるにもかかわらず開発中の土地もある。

以下に Chosica 地区周辺の社会状況を示す写真を図 13.3.84 として示す。

	
SantaEulalia 市の Qda.Cashahuacra。左岸側に造成地がみえる。市側は危険箇所と判断している。	SantaEulalia 市街地。Rimac 川および SantaEulalia 川が形成した谷底低地が市街化している。一部は斜面内や溪流内でも市街化されている。(Qda.LasCruces 付近から撮影)

	
流路が市街化している例 SantaEulalia の Qda.Huayaringabaja	Rimac 川沿いの鉄道。今年の洪水で流失したが復旧済みである。

出典：調査団撮影

図 13.3.84 Chosica 地方の社会環境の特徴

c) 災害状況及び土砂災害対策の履歴

Chosica 地方で記録に残る洪水・土砂災害履歴を表 13.3.24 に一覧する。災害は、雨期にあたる 1 月～4 月初旬に発生している。平均間隔は 4～5 年に 1 回であるが、連続して発生する傾向がある(例えば 1980 年代など)。これはエル・ニーニョなどの気象条件が数年間継続するほか、一度被災した溪流は荒廃状態が継続するため次年度以降も被災しやすいことが関係していると考えられる。

個別の災害に関する状況・特筆すべき内容を以下に箇条書きにして示す。

- 1987 年 3 月 Chosica の Qda.Pedregal から大量の土砂が出た。流域面積 10.6km² に対して約 157,200m³ の土砂が流出した。(表 13.3.25 参照)
- Chosica 市役所の防災担当者によると、2015 年 SantaEulalia の Qda.Cashahuacra から大量の土砂が出た。流域面積約 10km²(※数値未確定)に対して約 150,000m³ の土砂が流出しこれを除去した。
- 1987 年の災害後などに小規模な石積堰堤群を設置している溪流がある。堅牢な構造ではないため破損・破壊しているものも多い(図 13.3.86 参照)。日本で一般にみられるコンクリート製の砂防堰堤はこのような損傷がみられないため、設計に課題がある。
- 2016 年に ANA が複数の溪流でリングネット工を設置した(図 13.3.86 参照)。2017 年の出水に対して土砂を捕捉するなど一定の効果をあげているが、一部で洗掘・破損がみられるため、早急な補修が必要である。
- Chosica 市役所の防災担当者によると、2017 年の洪水期前に流路を浚渫している溪流があり、効果がみられた。
- SantaEulalia 市役所の担当によると、2017 年の洪水時、雨量計データの監視に基づく避難連絡をおこない、人的被害をゼロにしている。
- SantaEulalia 市役所の担当によると、SantaEulalia 市内では洪水及び地震による統合土砂災害リスクマップを作成している(図 13.3.85 参照)。このリスクマップは、建物の構造(堅牢性)と地形条件(河川近傍、溪流出口、等)に基づいて危険地区に赤と橙の着色をしている。

このリスクマップは最新の情報を基に、現在改訂している。

表 13.3.24 LURIGANCHO-CHOSICA 地方の洪水・土砂災害履歴（1900～2012 年）

MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO – CHOSICA		
AÑO	DIA/MES	DESCRIPCION DE EFECTOS Y LUGAR
1900	2ª quincena de Febrero	Desborde e inundaciones en Lima, Lurigancho, Canta gallo, huaycos en la carretera central.
1905	2ª quincena de Enero	Inundaciones en Santa Clara, Chosica, Acho y Piedra Liza.
1925	Enero, Febrero y Marzo	Niño. Lluvias intensas, inundaciones en el Rimac, Villacampa, Quinta Presa, Acho, Piedra Liza, Zarate, huaycos en Chosica, Chaclacayo y quebradas adyacentes a Lima.
1927	21 y 23 de Marzo	Huaycos en Chosica, Pedregal. Inundaciones en Chaclacayo.
1929	10 y 11 de Marzo	Inundaciones Valle del Rimac, Chosica, Chacrasana, Ñaña y otros.
1955	Principio de Enero y segunda quincena de Marzo	Lluvias extraordinarias en Lima. Inundaciones en Huachipa, Vicentelo Bajo, Bravo chico, Chaclacayo, Huatita, huaycos en Los Angeles, Yanacoto.
1966	08 de Marzo	Huaycos e inundaciones Chosica, Chaclacayo y Huampani.
1967	9 y 11 de Febrero	Huaycos en Carretera central e inundaciones en Huachipa.
1972	08 de Febrero 2da quincena de Febrero	Huaycos en Chosica. Bloqueo de la Carretera central. Huaycos en Pedregal (Chosica) y Quirio.
1973	09 de Febrero	Huaycos e inundaciones Chosica, Moyopampa, Clorinda Málaga de Prado. 90 viviendas destruidas, 38 lotes desaparecidos y destrucción de defensa ribereña.
1976	31 de Enero	Huaycos en Tarazona y Pedregal Alto (Chosica). Fuertes daños a la vivienda y tránsito interrumpido.
1976	17 de Febrero	Huaycos en Chosica afectan el Centro Educativo Estatal N° 0064.
1977	Febrero	Inundaciones y huaycos en Moron, Huachipa, Ricardo Palma, San Martin de Porres (casas y cultivo).
1981	Enero 08 de Febrero 12 de Febrero 28 de Febrero 06 de Marzo 07 de Marzo 12 de Marzo	Huaycos en Chosica y Chaclacayo. Inundación en Chosica, Chaclacayo, Ñaña y Mirones Bajos. Huaycos en Chosica y zonas aledañas. Daños a vivienda y zonas agrícolas. Inundación en Chosica. Casas destruidas Inundación en Chosica, afectó numerosas viviendas de la margen izquierda. Inundación en Chosica y Chaclacayo. En los pueblos jóvenes de Chosica. Inundación en Chosica, California y Chaclacayo.
1983	09 de Febrero 08 de Marzo 25 de Marzo 01 de Abril 22 de Febrero	Inundaciones en Huachipa y Morón. Destrucción de 40 viviendas y cultivos. Huaycos en Chosica. Un muerto y dos desaparecidos. Huaycos en Chosica. Muchos destrozos y desaparecidos. Huaycos e inundaciones en Huachipa y Jicamarca Inundaciones en Carapongo.
1985	25 de Febrero 19 de Marzo	Inundaciones en Chosica, Chaclacayo, obstrucciones en la Carretera Central. Inundaciones en Huachipa, interrupción del tránsito en la Carretera central.
1986	30 de Enero	Inundaciones en Huachipa, 150 Has dañadas y 5 Km de la Autopista Prialé afectadas.
1987	09 de Marzo	Huaycos en Chosica y Pedregal. Inundaciones en Chosica Huachipa y Campoy. Pérdidas materiales cuantiosas.
1988	04 de Febrero 14 de Febrero	Inundaciones en Ñaña y Chaclacayo. Muchas viviendas afectadas; 200 Has de cultivos destruidas. Inundaciones en Carapongo y Callao, 5000 pobladores quedan aislados al ser arrasado el puente.
1989	16 de Febrero	Huaycos en Chosica y otros
1998	07 de Enero 25 de Febrero 26 de Febrero	Inundaciones en Chosica Huayco en Chosica, afecta parte de la Univ. La Cantuta. Huaycos en Chosica y Matucana.
2009	17 de Febrero	Chosica
2012	10 de Marzo 05 de Abril	Huaycoloro afecta Cajamarquilla, Huachipa y Nieveria. Chosica: Mariscal Castilla, Virgen del Rosario, Carossio y otros.

Fuente: Dr. Alfonso Valverde Torres. Exposición Colegio de Ingenieros del Perú. Septiembre 2012

表 13.3.25 1987 年 3 月災害時の溪流別の流出土砂量

NAME OF QDA	TYPE	CATHMENT AREA	AVERAGE SLOPE	S L O P E		DEPOSIT AREA	DEPOSIT VOLUME	DEPOSIT VOLUME PER 1 KM ²	AVERAGE DIAMETER OF DEPOSITING BOULDERS
				TRANSPOR- TATION SECTION	DEPOSIT SECTION				
		km ²	%	%	%	ha	m ³	m ³	m
Qda Quirio (R-6)	Valley	10.4	23	9-15	5-7	4.1	14,100	1,400	0.5
Qda Pedregal (R-7)	"	10.6	25	9-14	3-11	30.0	157,200	14,800	1.0-2.0
Qda Corosio (R-8)	Slope	0.4	76	45-60	13-26	2.3	4,400	8,800	0.5
Qda Corrales (R-9)	"	1.4	72	22-45	12-18	5.2	21,700	15,500	0.5
Qda Cashahacra	"	15.1	31	9-16	7-9	21.0	102,000	6,800	1.0
Total		37.9	-	-	-	62.6	299,400	7,900	-

出典：リマック川防災対策計画調査、国際協力事業団、1988

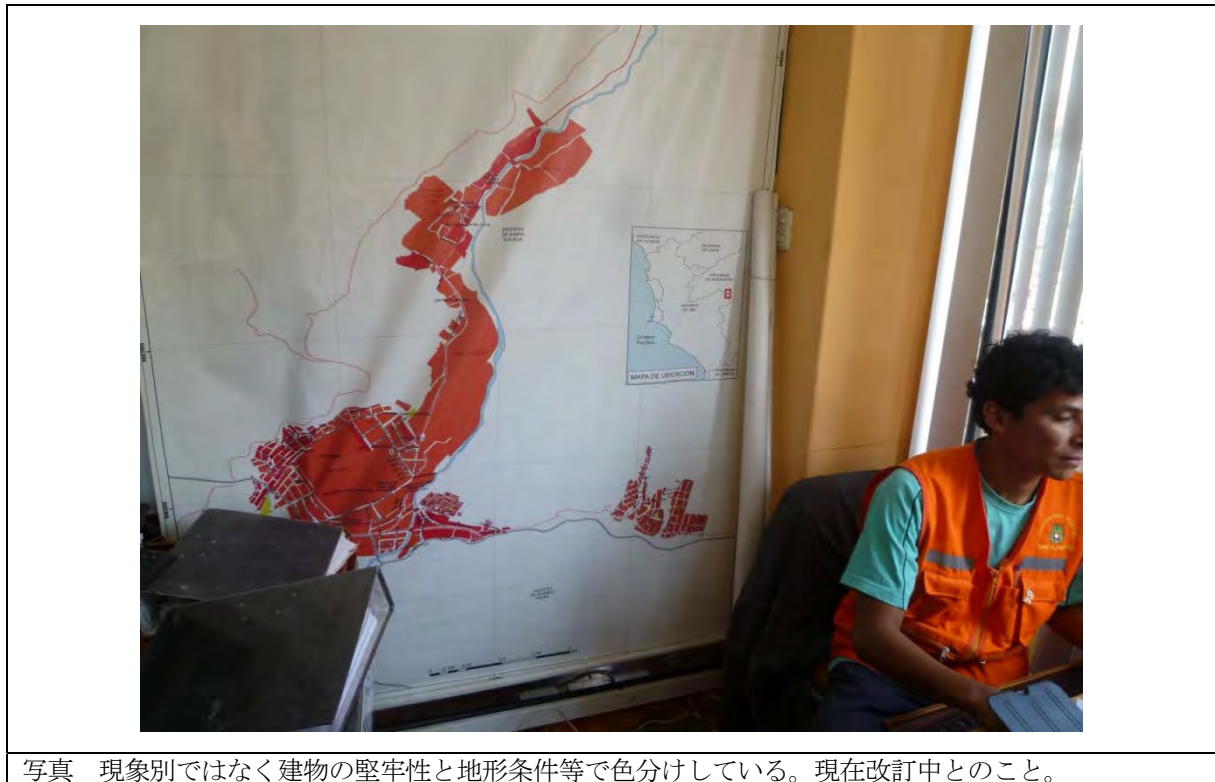


写真 現象別ではなく建物の堅牢性と地形条件等で色分けしている。現在改訂中とのこと。

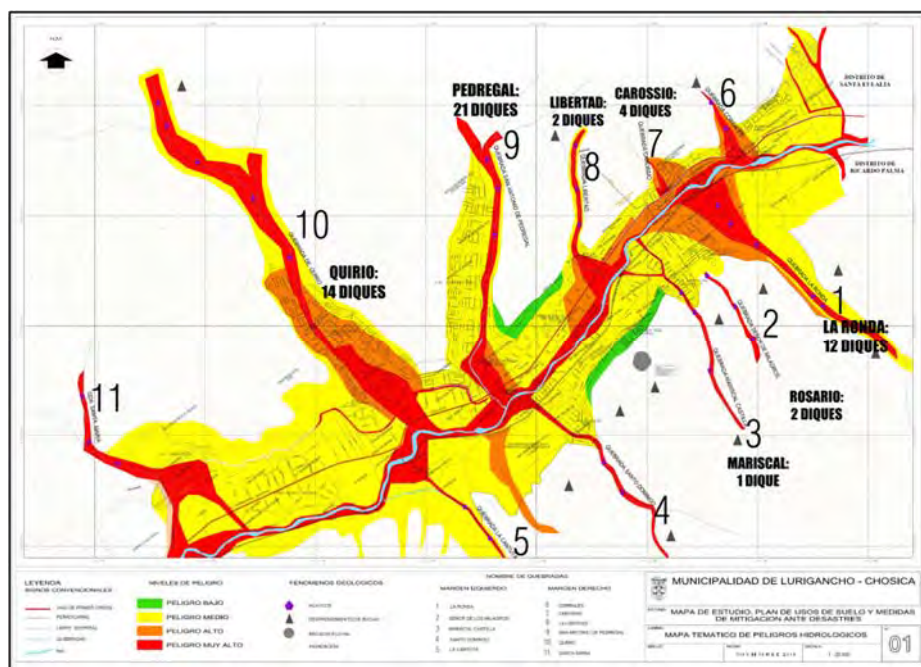
出典：調査団撮影

図 13.3.85 SANTA EULALIA 市が作成したリスク(ハザード)マップ



出典：調査団撮影

図 13.3.86 Chosica 地方で実施されてきた土砂災害対策の事例



出典：INFORME DE EMERGENCIA PRELIMINAR – 002 - 2017/MDLCH/SGDC/GSC(Flujo de Detritos)

図 13.3.87 Chosica 地方の溪流と水災害ハザードマップ

d) Chosica 地区を流下する Quebrada の現状の詳細

Qda.Corrales

2016年3月13日に出水があり、住宅と人命に被害がでた。河床が1～2m程度上昇したほか、巨礫が流下した。また延長500m程度の区間で国道が寸断され1ヶ月半通行止めになった。被災後に本Quebradaを横断する市道にベアリー橋が設置されている。

2017年災害では、地域に30分で50mm程度の降雨が発生したが、上流にネット工が設置されていたので被害が少なかった、とのことである。

上流には、住宅地が開発中であり、Quebrada沿いの人口集中に合わせ、今後も土砂災害のリスクは増大する状況である。



図 13.3.88 Qda.Corrales の状況

Qda.Pedregal

本地域の地質は、基盤岩の花崗岩とそれを被覆する砂礫層である。峡谷状の侵食谷が続くが、上流端は谷が浅くなり溪床が露岩している。

谷出口の集落は、侵食崖が間近に迫る位置に立地している。1987年に Chosica で 100 名以上が亡くなった土砂災害があり、特に被害が大きかったのはこの溪流である。災害後、この Quebrada に約 30 基の低堰堤群を設置した。これらの堰堤は石を乱積みした構造である。しかしながら、現在、これらの低堰堤は原形をとどめていないものが多い。この理由は、構造が貧弱であり耐久性が無い事が理由である。さらに、基礎根入れもほとんどないことから、土石流に対する直接の耐久性の低さに加え、土石流による河床洗掘にも耐力が無かったと判断できる。

一方、度重なる土石流対策として、ANA は、2016 年にネット工を 4 基設置した。この結果、上述したように、2017 年の災害では、例年より降雨が多かったにも関わらず、本 Quebrada では、ネット工で土砂を捕捉しているため被害は少なかった。このネット工の現状は以下の通りに纏められる。

表 13.3.26 Qd. Pedregal におけるネット工の現状

現状（事実）	考察
最下流のネット工の捕捉土砂は少ない。一方、下流から 2 基目のネット工はほぼ満砂している。	2 基目から下流での土砂生産は比較的少なかったか、あるいは粒径が小さかったため捕捉できなかったかのいずれかである。
2 基目上流に支溪合流部がある。砂は左支溪から供給されている。右支溪は礫堆積がみえる。このため左支溪のネット工は何も捕捉していない。	今後のネット工は、上流の生産土砂の特質を確認し、設置位置を決定することが必要である。
右支溪の最上流ネット工は、支柱基礎が洗掘されて浮いており、アンカー鉄筋が屈曲している。また、左岸側アンカーが侵食している。	早急な支柱の補修が必要である。左岸側アンカーも侵食により根入れ不足となっているおそれがあり、早急な補修が必要である。

	
この溪流で低堰堤が 30 基設置されている。右岸袖は道路にあわせているのでこの道路は昔からあるものと思われる。左岸袖は流失している。他の堰堤も含めて、一度に破壊したのではなく、30 年間で除除に壊れていったらしい。	最下流のネット工を上流側から撮影。捕捉土砂はほとんどない。
	
低堰堤は原形をとどめていないものも多い。構造が貧弱であり耐久性に劣る。	基盤岩の花崗岩とそれを被覆する砂礫層
	
下流から 2 基目のネット工。こちらはほぼ満砂している。ここから下流での土砂生産は比較的少なかったあるいは粒径が小さかったかのいずれかである。	支溪合流部。砂は左支溪から供給されている。右支溪は礫堆積がみえる。

図 13.3.89 Qda.Pedredgal の状況（1）

	
左支溪のネット工。透過型なので砂は捕捉できない。	右支溪最上流のネット工。大量の礫と枝を捕捉している。
	
支柱基礎が洗掘されて浮いている。アンカー鉄筋が屈曲している。	左岸側アンカーが侵食により露出している。放置すると侵食が進行し根入れ不足となる懸念がある。
	
堆積面がなくなる侵食谷の上流端。これより上流は溪床が露岩している。	堆積物である砂礫層が薄くなり、斜面にアバットしている状況がみられる。
	
谷出口の集落。溪岸の侵食崖が間近に迫っている。	

図 13.3.90 Qda.Pedredgal の状況（2）

Oda.San Nicolás (Qda.Quirio)

本 Quebrada は、市道と交差しており 1 回出水があるところの市道は、4～5 日通行止めになる。国道も洪水と土砂が流下している間は、通行止めとなる。2017 年は 2 回出水があり、周辺の交通の遮断が数日発生している。氾濫開始点は新たな土砂の被覆は無く 2017 年 3 月に洪水が発生しているのにもかかわらず、今回の現地踏査では、植生が維持されていた。よって、今回の出水時の土砂は河岸の侵食による土砂生産が主体と想定される。

市街地部分の護岸はパラペット形式である。本 Quebrada の下流は 2 つに流れを分け、一方は道路が流路になっており、この道路も洪水時は通行止めとなる。この道路沿いにはパラペットが建設されており、道路沿いの民家はこのパラペットで守られている。市の防災担当者によると、市の開発（特に道路の拡張工事）に合わせ、Quebrada の川幅が狭められてきている、との事であり、現在の川幅は 10m 強であるが、昔の河幅は、20m くらいあったとのことである。

下流部のもう 1 つの流路は住宅地の間を流下している。この流路の掘込み区間の洗掘が著しいことが確認された。こちらの流路は宅地の開発により従来 20～30m 程度あった流路幅が現在は 10m 程度になっている。

土砂災害対策としては、Qd. Pedregal と同様、20 年ほど前に建設した低堰堤群堰がある。この低堰堤は練石積で建設されている。下流面は階段状、上流面は直である。両端部の袖高さが低く、洗掘に弱い構造となっている。また、最近の対策としては、上流部にネット工を 2 基設置しており土砂を捕捉している。このネット工のアンカー長は 4m 程度である。



溪流と道路の交差部。溪床との比高が確保できないため護岸はパラペット形式。



下流側は道路が流路になっている。民家はパラペットでかろうじて守られている。

	
練石積の低堰堤	谷出口から上流にあるネット工。2基あるうちの downstream 側。

図 13.3.91 Qda. San Nicolás の状況（1）

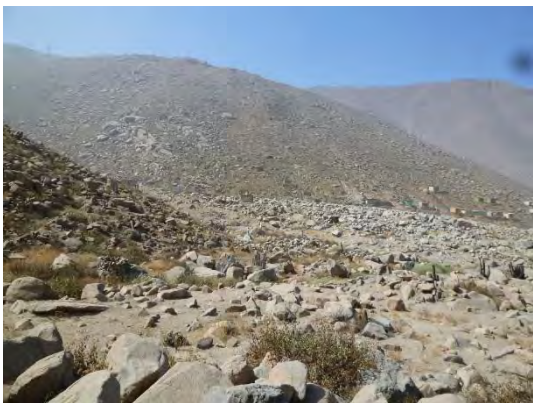
	
ネット工上流の合流部。礫は主に右支溪から供給されている。	2基あるうちの upstream 側のネット工。
	
氾濫開始点。植被がみられるため、今回の出水は上流域からの供給よりも、侵食による土砂生産が主体であったと推定される。	左支溪からの土石流出痕跡。氾濫面に小屋が残っているので、近年の流出跡ではないと推定される。



図 13.3.92 Qda.SanNicolus の状況（2）

Qda.California

現地踏査では、現在も 2017 年洪水の復旧工事として、住宅省が土砂を撤去しており、Quebrada へのアクセス道路を通行止めになっているため、氾濫状況の確認のみ実施した。

上述した住宅省の復旧工事では、流路を浚渫しているほか、今後、ANA により上流にネット工が計画されている。



図 13.3.93 Qda.California の状況

Qda.Yanacoto

2015 年に大きな洪水・土砂災害があった Quebrada である。Chosica 市の防災担当者によると 2017 年の災害はそれほど多くの被害を発生させなかった、との事である。

流出土砂は、泥・砂～人頭大礫程度である。今年の雨では大きな被災はなかったが、この原因は、同じく市の担当者によると、今回の降雨パターンでは本 Quebrada の流域の降雨が小さかったためである、との事である。各流域に降雨計が設置されておらず、検証は困難であり、今後の降雨計の増設の必要性を検討すべきである。

2015 年災害では、斜面から流出する土砂によっても住宅地等が被災している。ただし、不法占拠なのでこれといった対策はしていない、との事である。

Quebrada の左岸斜面は岩砕に覆われており、小規模な侵食溝が各所にみられる。

右岸側は侵食壁が連続する。比高は 6～8m であるが高いたところは 10m 以上ある。こちらにも侵食溝がみられ、土砂の生産があることが分かる。右岸侵食崖の背面は台地が続き、本 Quebrada の最上流部の支溪からの土砂流出はこの台地面に氾濫している。

	
河床幅が大きく歩測で 40～50m 程度ある。右岸側はさらに台地状の堆積面が 50～100m 幅程度ある。左岸側は岩砕に覆われた地山が河床と接する。	右岸侵食崖の背面は台地が続き。支溪から土砂流出も台地面に氾濫している。
	
左岸斜面。岩砕に覆われている。小規模な侵食溝が各所にみられる。	下流側右岸斜面には不法占拠住宅が林立する。斜面上に侵食溝がみられる。

図 13.3.94 Qda.Yanocoto の状況

Qd. Huaycoloro

当 Quebrada での 2017 年の洪水・土砂災害は、おもに泥水が氾濫し被害を発生させた。

この Quebrada では、2016 年、年々宅地の開発と共に狭められていた河道幅を地域の住民との協力の下、河道幅を 30 年前の幅に戻している。この活動による河川区域の標柱は、民地にも立っている。しかしながら、この活動では、用地買収まではしていないとのことで、特に左岸側で河川範囲を示す標柱が、撤去または無視されている状況がある。右岸側は標柱まで撤去が済んで更地になっている箇所が多い。右岸側の河川範囲の確保活動は、おもにゴミ捨て場だったとのことである。河川幅がせまくなっている箇所は、対岸に養豚場があり交渉がうまくいっていない様子である。

市当局は護岸として巨石を張っているが特に構造・安定計算はしていない。この Quebrada の洪水対策基本計画は策定されていない。



図 13.3.95 Qda. Huaycoloro 流域

	
以前は、幅 3～4m 程度の狭い流路であったが、被災後に掘削・拡張したとのこと。	橋は 2 ヶ月前に完成したばかりとのこと。以前は道路が谷底を通っていた。右岸側橋台位置が河道より控えている。河道掘削の土砂を堤防として盛っている。右岸側はゴミ捨て場だったところが多いとのこと。
	
河川区域の標柱を設置して河川側を撤去した箇所。	道路横断部をそのまま残しているため堤防が切れている。橋にはできなかったらしい。写真右側の看板は zona intangible recuperada とあり、制限地域であることを示している。ANA 以外の機関も表記されている。



図 13.3.96 Qda. Huaycoloro の状況

Qda.Santa Rosa

Chosica 市の上流に位置する SantaEulalia 市を流下するこの Qd. Santa Rosa は、2015、2017 の両年で土砂流出による災害が発生した。下流部の左岸側に学校があるため、2017 年の災害後には緊急対策として防護壁を設置した。

2017 年の災害後は、上述した防護壁の建設に合わせ、流路に堆積した土砂掘削を行い、流路断面を確保している。しかしながら、流路は下流部の市道部では、道路上にそのまま洪水及び土砂が流出する状況になっており、洪水が発生すれば、道路周辺への氾濫及び交通止め等による地域経済への被害が発生するリスクは今後も解消されていない。流末は Rimac 川まで接続しており流路の途中に支障物はない。



図 13.3.97 Qda.Santa Rosa の状況

Qda.Huayaringa (SantaEulalia 市)

家屋が近接する区間は、両岸に壁を構築し流路を固定しているが、家屋ない流路区間は素掘水路のとなっている。

2017 年洪水前に市当局によって、流路を 1m 程度浚渫した。また、市は、7～8 年前に、氾濫域の河岸に松を植林した。この松によって、洪水の威力を低減させる効果を期待している。

市の担当者によると、本 Quebrada の上流域には、巨石が集積しており、洪水時のこれらの下流への

移動を懸念している。

他の Quebrada と同様に、主要な道路は本 Quebrada の河床を無対策のまま横断しており、洪水時は通行止めとなる。流末は Rimac 川に直接流入している。

	
道路との交差部を下流側から撮影。流路は石張されている。流路なので少し窪んでいるのがわかる。護岸壁は道路で途切れている。	家屋が近接する区間は、両岸に壁を構築し流路を固定している。底張は特にならない。
	
家屋が隣接していない区間は素掘のまま	Qda.の上流域。巨石が谷底に連続して分布する。移動岩塊ではなく玉ねぎ状風化の岩芯部が残存した可能性もある。移動開始すると巨大なエネルギーとなるため、現位置で移動しないように抑制するのが経済的。

図 13.3.98 Qda. Huayaringa の状況

Qda. Las. Cruces (SantaEulalia 市)

本 Quebrada 流域の地質は花崗岩である。マサ化と玉ねぎ状風化が顕著である。市の担当者によると、この Quebrada では巨岩は下流に流下しても細かく分解するので住宅等にたいしては大きな被害にはならないとの説明があった。

本 Quebrada の流末は消滅している。よって洪水があると国道上泥水が流下し、上述した Qda.Corrales に合流して Rimac 川に流下する。

2017 年 3 月の出水のあとで市は、谷止め工を設置した。人力のみで施工し、谷止工 2 基を 1 ヶ月程度で建設したとのことである。しかしながら、この谷止め工は構造が貧弱であり、石積の間詰めは粗悪なコンクリートである。さらに谷止工前庭部の保護がないため洗掘により不安定化しやすい。大きな洪水が発生すれば損傷する可能性が高い構造物となっている。

	
下流方向を撮影。流末は市街地で消滅しているとのこと。	前庭部の保護がないため洗掘により不安定化しやすい。
	
左岸袖は転石に接合しているのみで嵌入が確保されていない。	石積の間詰めは空隙の多い粗悪なコンクリートである。

図 13.3.99 Qda. Las. Cruces の状況

Qda.Cashahuacra (SantaEulalia 市)

下流部で3橋(内1橋は人道橋)が設置されており、他の Quebrada と比較すると出水ごとの周辺の道路の通行止めリスクは小さい。上流部でも Quebrada を横断する道路に新たに橋梁を建設している。市当局は、今年の洪水前に災害対策として本 Quebrada の河床を浚渫した。費用はこの溪流についていえば1kmあたり30～35万ソルを要したが、被害提言効果があったと市では考えている。

また、市の担当者によると、区間によっては、土砂堆積の問題ではなく、溪岸侵食による被害もあるとのことである。

さらに、市の課題は、被害リスクの高い氾濫域で民間業者による造成工事が実施中で新たに居住する住民に将来被害が発生する可能性が高いことである。市側は危険箇所と認識しているが、開発許可を与えるセクターが市内部で異なり、課題が解決できない、とのことである。(前市長が開発許可に関わっている、との情報もある。)

非構造物対策としては、2016年に市担当者は、本 Quebrada の中流域に雨量計を設置した。2017年の洪水時には、この雨量計をモニタリングすることで早期避難に成功している。

	
対岸山麓の平地が造成中である。	支流合流点。溪岸侵食が上流側まで確認できる。山脚固定には台地部まで含めた大規模な堰堤が必要か。

図 13.3.100 Qda. Cashahuacra の状況

Qda.Porta de Huayringa (SantaEulalia 市)

流末が住宅地になっている。出水時は道路にあふれて流下する。

	
流末が宅地化している。	溪流から出た水は道路に沿って流れるとのこと。溪流が小さければ暗渠化もありうる。

図 13.3.101 Qda. Porta de Huayringa の状況

(b) 洪水・土砂災害の特徴及び現象の把握 (Rimac 川の洪水被害を中心として)

a) Rio Rimac Puente Ñaña 地区

今年の支流からの Huayco で Rimac 川本川に架けられていた Ñaña 橋が流出した。両岸橋台が洪水により侵食されたことが、流出の直接的な原因である（特に右岸側の侵食が著しい）。流出した橋梁は 1 スパンであったが橋梁部のみ河道幅を広げるため、新設橋は橋脚を 2 基設けている。新設橋の上部工はメタルのアーチ橋となる。今年 10 月に完成予定。

現在は新設橋梁を建設中のため、上流側に迂回路としてベイリー橋を設置している。



図 13.3.102 Puente Ñaña の状況



図 13.3.103 Puente Ñaña 地点衛星写真

b) Rio Rimac CARAPONGO 地区

当地区は Rimac 川の氾濫で被災した。洪水は付近の堤防を越流したのではなく、上流側の氾濫水が流入したとのこと。付近の住民及び建造物に残された洪水痕跡によると胸高程度まで浸水したとのことである。（上述した Ñaña 橋下流の右岸河道狭窄部の直下から右岸側が氾濫している。しかしながら住民が勝手に堤防を壊していたので浸水したという話も現地踏査では確認された。）

Chosica に通じる高速道路が舗装を残してほぼ完成状態であったが、洪水により侵食され、大きな被害が発生した。



図 13.3.104 CARAPONGO 地区の状況



図 13.3.105 CARAPONGO 地区衛星写真

(c) 相手国政府関連機関の復旧・復興へのニーズ

砂防工事は市役所が主体となっているが、技術基準がない状態で設計している。山地では人力施工が主体であり、大規模構造物を施工できる状態でない。

このような状況において、各市の担当者は、どのような計画と技術が必要なのか、基本的な理論、対策工種等に対して高いニーズがあった。

(d) 構造物対策・非構造物対策・制度・組織面の課題及びその解決策

以下に土砂災害対策の計画策定上の課題とその解決策の方針を表 13.3.27 として示す。

表 13.3.27 Rimac 川土砂災害対策の計画策定上の課題とその解決策の方針（案）

課題	解決策の方針
計画規模、計画基準点、保全対象、計画土砂量などの計画の基本となる諸元・条件が確定されていない。	● 既往災害実績や現地調査により諸元・条件を確定する必要がある。 ● 調査方法を示した基準書が必要である。 ● 災害記録が損害の数値のみで、氾濫範囲や流出状況(洪水位・侵食深・堆積深)に関する記録が乏しい。よって災害記録を集約・整理する制度の整備も必要である。
施設配置や施設設計に関する基準がない。 対策工が場当たりの施工されているようにみえる箇所もある。 市役所レベルの技術職員が技術を習得できるシステムが構築されていない。	● 設計条件の決め方や設計思想を示した基準書・マニュアルが必要である。 (高度な数値シミュレーションを用いて対策を検討することに合わせて、手計算でレベルで地方政府の個別技術者が適切な対策を考案できる手法の開発も重要。)
狭小な侵食谷にはネット工が有効であるが、定着地盤の洗掘や侵食が発生している。	● 当該工法の限界を理解し、より堅牢な施設への転換を図る検討が必要である。 ● ネット工法は緊急対策としては有効な工法に間違いがないため、使い分けを明確にする必要がある。
流路の浚渫は、出水時に効果を発揮している。	● 比較的容易にできること、流路範囲を明確化することで不法占拠を防止できること、などから応急的な対策として有効であり今後も引き続き実施する必要がある。 ● 浚渫にあたっては、流路の勾配や比高の急変を避けるように注意する必要がある。 ● 但し、流路の浚渫・掘削は、永久対策ではないことを周辺住民に周知し危険時には避難することを強く指導する必要がある。
流末が消滅している溪流が多い。現況で家屋や幹線道路が立地・交差しているため、流路を新しくつくることが困難である。	● 小規模な溪流であれば、上流側で土砂を調節して、濃度の低い無害化した水を道路に氾濫させることも対策工の1つとして検討する必要がある。 ● 洪水が安全に流下できない流路に対しては、河川区域を設定し、強制力を持った法的措置により河川区域内の建造物を立ち退きさせる事が第一の災害リスク低減の一步なので、早急に法的制度を策定する必要がある。 ● 上流域に適地があれば砂防堰堤や導流堤による制御施設の対策を検討する必要がある。(*1)
砂防構造物は市役所単位で施設を施工していることが多いため、施工規模や施工品質に限界がある。人力施工が可能な小規模構造物がこれまでに建設されている事例が多い。	● ラフテレーンクレーンなどの機械化施工の本格導入を検討する必要がある。 (河川工事では日本と同様な重機が使用されているが、溪流工は人力施工が主体である。特に、大規模構造物であればクレーン車両の導入が有効である。) ● 進入路が劣悪な場合が多いため、索道や工用モノレールなどの他の仮設工法の導入検討も必要である。 ● 生コン工場が近傍に無い場合が多いため、プレキャスト部材の活用(ブロック堰堤など)や、砂防ソイルセメントの採用を検討する必要がある。
不法占拠による家屋が土砂災害高リスク地域に建設されている。 また規制区域を設けても遵守されていない。	● 法整備と遵守体制の整備が必要である。 ● 規制区域に関しては、日本の砂防指定地や保安林、あるいは土砂災害警戒区域などのように税制優遇などの導入も検討する必要がある。 (パーリーに合った土地(民有地と官地)に対する考え方を整理する必要がある。)

課題	解決策の方針
Chosica は周囲を山地に囲われており中心部は比較的大きい河川により分断されている。危険箇所でないところは無いと言ってよい場所である。	● 溪流別の危険度を評価したハザードマップを作成し、保全対象等の重要度を加味した優先度の評価が必要である。(*2) ● あるいは対策工を集中的に実施した安全な場所を設定する必要がある。
	SantaEulalia 市では、2017 年の洪水時に雨量計データの監視に基づく避難連絡をおこない、人的被害をゼロにしている。これを模範とし、 ● ソフト的対応の整備を進めるため危険箇所の周知と避難体制の整備を実施する必要がある。

*1: 土砂量等の数値精度が低い状態で砂防堰堤や導流堤を設計すると超過外力時に氾濫してかえって災害を大きくすることもあるため注意が必要である。

*2: 日本では、溪流別の危険度評価として、溪流の災害危険度を点数評価で実施している。対策に掛かる時間と予算を勘案してどのような土砂災害対策手法を採用していくのかを、ペルー国内での議論が必要である。

13.3.4 Piura 川及び Chancay-Lambayeque 川の氾濫計算

第7章では構築した氾濫解析モデル（RRI モデル）を用いて、2017 年に発生した流域内の降雨条件にもとづく氾濫解析を実施し、解析結果を通じて流域の全体的な洪水状況を確認した。

ここでは、2017 年洪水の現地踏査を実施した結果に基づき、2017 年洪水発生前に作成した洪水氾濫モデルの見直し作業について詳述する。

見直し作業を実施した対象流域は、本調査で優先対策流域あるいはモデル流域として選定されており、洪水被害確認のために現地踏査を実施した Piura 川流域および Chancay-Lambayeque 川流域である。

(1) Piura 川流域の洪水氾濫モデルの 2017 年洪水による修正

氾濫モデル修正方針：河道への土砂堆積の進行を踏まえて下流区間の河道（流下能力）を見直し、下流の氾濫が生じるように修正した。

2017 年洪水前に、本調査において Piura 川を対象として構築された氾濫解析モデル（RRI モデル）を用いて、流域内で 2017 年 1-3 月において最も強い降雨が発生した 3 月 25 日の 24 時間雨量を入力条件として氾濫解析を実施した。使用した雨量観測所は表 13.3.4 と同じである。これらのデータをティーセン法により展開して流域内の降雨の空間分布を想定した。また、それぞれの観測所における 24 時間雨量は中央集中型の波形を仮定し、1 時間単位の雨量に変換している。

第6次現地調査として実施したニーズ調査中の Project Chira-Piura の複数の担当者への聞き取りによると、Piura 市内における Piura 川の流下能力は、もともとは $3700\text{m}^3/\text{s}$ 程度であったものの、現在では $1700\text{m}^3/\text{s}$ から $2000\text{m}^3/\text{s}$ 程度まで低減しているとのことである。これは、下流区間における土砂の堆積が進行し河積が減少していることが理由とのことであった。このヒアリング結果にもとづき、当初構築済みであった氾濫解析モデルの河道条件を見直し、再構築した。

修正済みの氾濫解析結果を以下に図 13.3.106 として示す。ヒアリング結果からは、2017 年洪水時の浸水図は存在しないとの回答であったため、実際に生じた浸水範囲は不明であるものの、

- ✓ Piura 市街周辺において大規模な浸水被害が生じている点、
- ✓ 現地にて確認した氾濫水深、及び
- ✓ Piura 市街地における洪水流量が $3,500\text{m}^3/\text{s}$ である点

において、構築したモデルは実際の洪水現象と概ね整合していると判断し、最終的にこの修正モデルを利用して、7章～11章の計算を修正した。

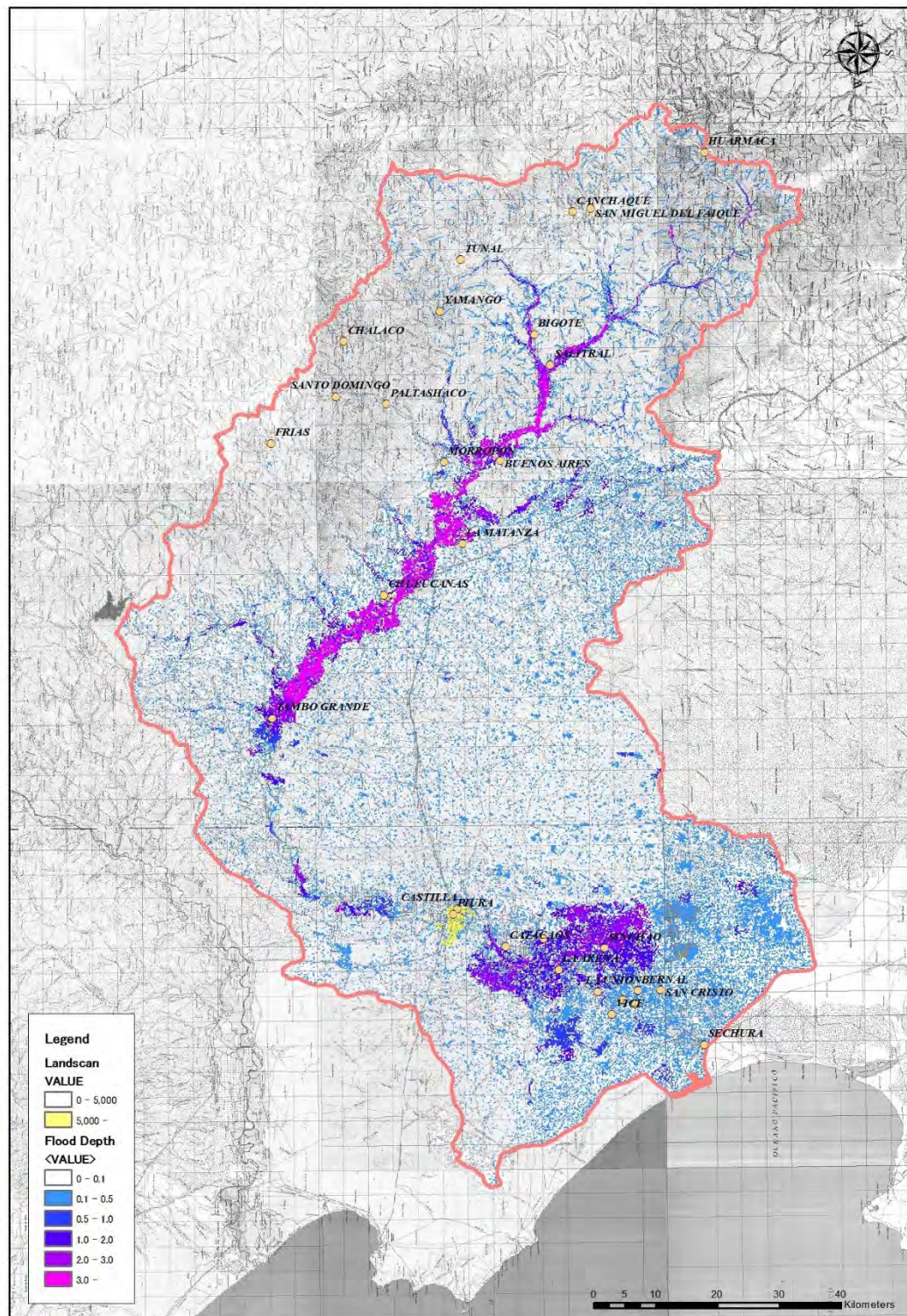


図 13.3.106 Piura 川における 2017 年 3 月 25 日降雨時の氾濫解析結果
(最大浸水深分布)

(2) Chancay-Lambayeque 川

氾濫モデル修正方針：氾濫現象は概ね想定どおりだったが、下流区間ですでに河道改修が進んでいるため、その影響を組み込む。

Chancay-Lambayeque 川を対象として当初 2017 年洪水前に構築した氾濫解析モデル（RRI モデル）を用いて、流域内で 2017 年 1-3 月において最も強い降雨が発生した 3 月 12 日の 24 時間雨量を入力条件として氾濫解析を実施した。

使用した雨量観測所は表 13.3.9 と同じである。これらのデータをティーセン法により展開して流域内の降雨の空間分布を想定した。また、それぞれの観測所における 24 時間雨量は中央集中型の波形を仮定し、1 時間単位の雨量に変換している。

キャリブレーション後の氾濫解析結果を以下に図 13.3.107 として示す。現地の担当者へのヒアリングによると、2017 年は最下流の Eten 地点においてわずかに浸水が発生した以外には、その他の区間では顕著な浸水は発生していないとのことであった。キャリブレーション後の示している計算結果はこのヒアリング結果と概ね一致しているため、本調査における 7 章～11 章で示した算定値は、このキャリブレーション後の氾濫モデルを使用している。

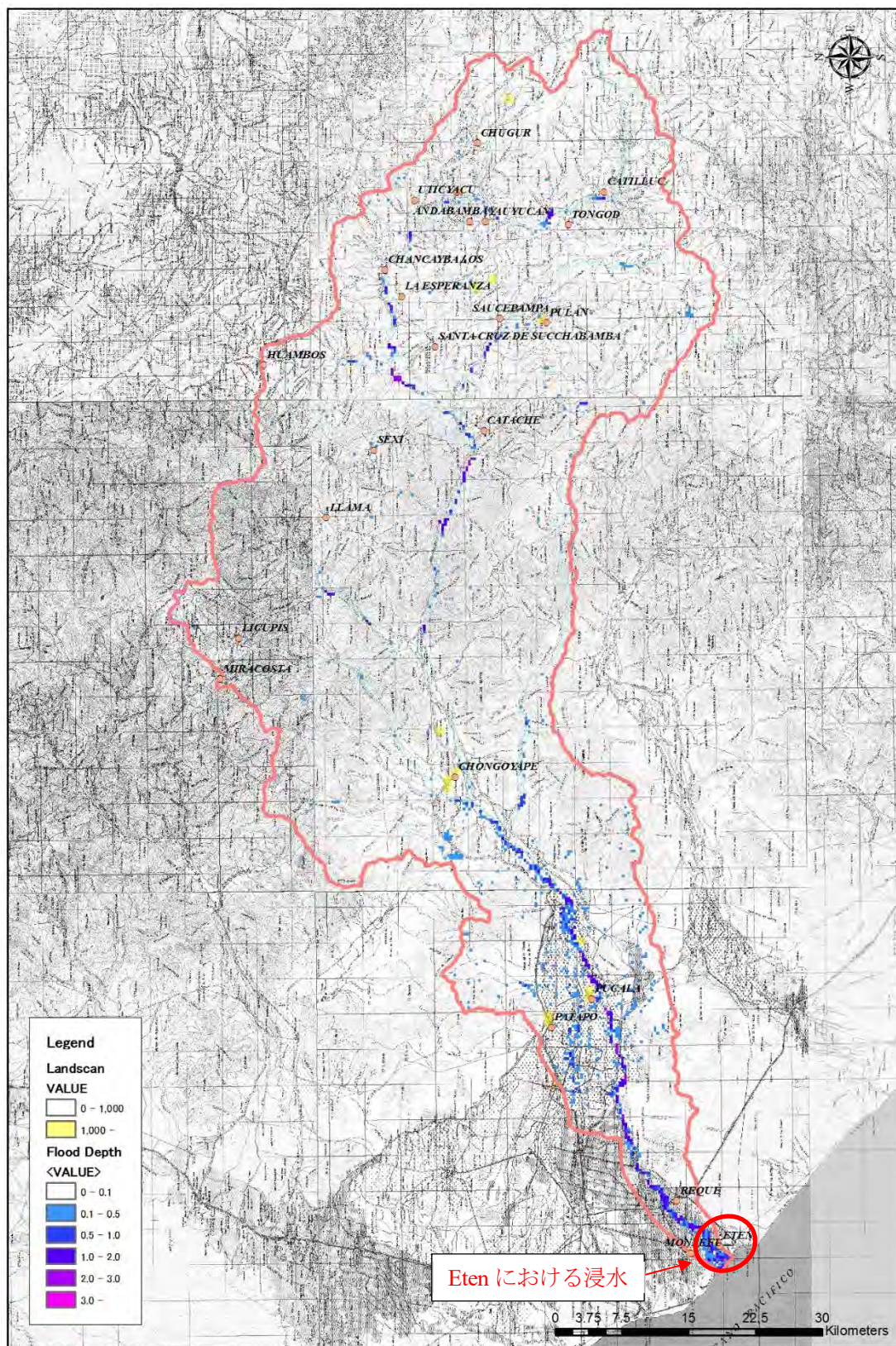


図 13.3.107 Chancay-Lambayeque 川における 2017 年 3 月 12 日降雨時の氾濫解析結果
(最大浸水深分布)

