

# 第 14 章 調査結果のまとめ

## 14.1 調査結果の整理

### 14.1.1 本章での整理事項

本報告書第 4 章で決定したように、本調査では、10 タイプ、12 河川流域の検討をベースに各流域の本川及び主要な支川で発生する浸水洪水被害について検討を行った。

また、この内、Chira-Piura 川流域及び Chancay-Lambayeque 川流域の計算は、2017 年洪水被害の現地踏査確認に基づき、修正を行った。

これらの結果により、本章では

- 「ペルー国における概略洪水対策案費の把握」と「優先的に洪水対策案を実施すべき流域または流域グループ」の確認

を行った。さらに、上記の洪水対策案概略費用と優先度の確認を行った調査の過程を通じ、ペルー国における治水行政上の課題を抽出し、

- 今後ペルー国が実施していくべき治水行政改善への提言(災害復旧スタンドバイ借款案件における政策マトリックス案等)

を整理した。

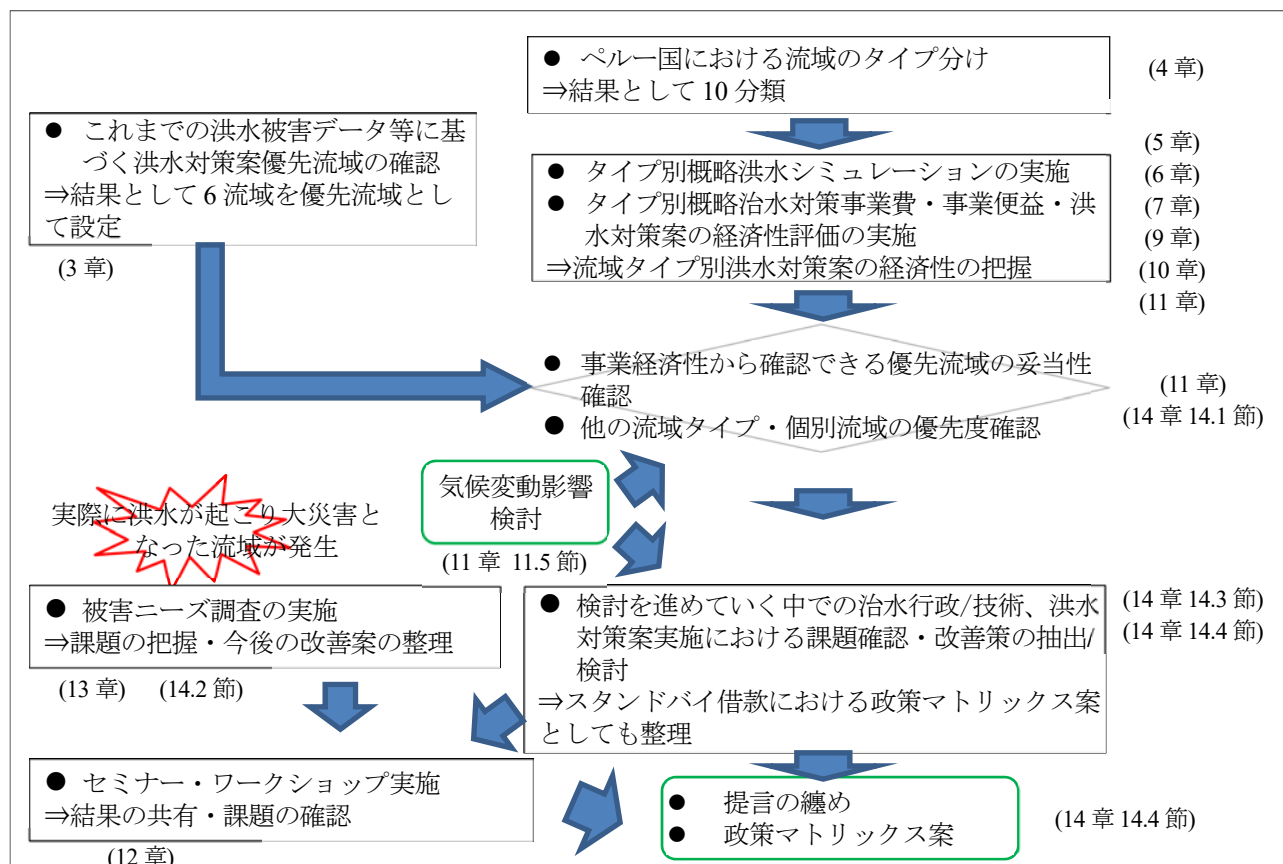


図 14.1.1 本調査における検討事項と本章における整理事項の纏め

### 14.1.2 ペルー国における洪水対策案の総括

ペルー国 159 河川の洪水対策案の全体像は以下のように纏められる。

なお、土砂災害（Huayco）を発生させる小規模な渓谷河川の土砂災害対策、排水路及び低平地の小規模な都市河川で発生する内水洪水対策については本検討に含めていない。

#### (1) 概略総事業費

浸水対策の概略総事業費は、想定手法によって変わってくるが、主要な氾濫地区を防御した場合、大よそ 50 年確率規模で S/. 40 億~60 億、100 年確率規模対応事業で S/. 53 億~86 億と想定される。本調査では 10 の流域タイプから全体への概略事業費の引き延ばしに、以下の表 14.1.1 に示すように 4 つのパラメータ（流域面積比、主要流路延長比、流域内人口比及び ALA が年度ごとに指定する洪水・洗掘危険箇所（Puntos Criticos）数比（2014 年度と 2015 年度を考慮））を利用した。

表 14.1.1 ペルー国における主要河川洪水対策の想定概略総事業費

仮定手法 モデル流域の算定から	洪水対策案実施規模					
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
流域面積比で引き延ばし	938.2	1,874.9	2,683.6	4,234.6	5,865.3	8,583.5
流路延長で引き延ばし	842.6	1,673.5	2,414.0	3,775.3	5,059.7	7,391.6
流域内人口比で引き延ばし	669.6	1,411.0	2,039.0	3,055.9	3,988.3	5,306.8
流域内洪水・洗掘危険箇所数で引き延ばし	759.2	1,734.6	2,550.2	3,944.1	5,234.7	7,407.2

注：将来の物価上昇は考慮していない。

単位: S/. million

#### (2) 総便益と経済評価

一方、ペルー国全主要河川において算出された年平均の概算総便益（住宅被害の軽減、農業被害、公共構造物の被害及び影響住民の労働機会の損失）は以下の表 14.1.2 の通りである。

表 14.1.2 ペルー国における主要河川洪水対策による便益（年平均被害便益額）

仮定手法 モデル流域の算定から	洪水対策案実施規模					
	2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
流域面積比で引き延ばし	241.3	653.9	904.2	1,114.3	1,208.1	1,265.6
流路延長で引き延ばし	213.1	578.4	806.6	996.6	1,081.5	1,133.4
流域内人口比で引き延ばし	165.2	416.2	568.9	688.2	739.6	770.6
流域内洪水・洗掘危険箇所数で引き延ばし	184.9	509.2	703.7	871.9	947.2	993.1

単位: S/. million

また、上記の概略事業費と便益に基づく全ペルーにおける洪水対策案の経済指標数値（TIRS、VANS 及び B/C）はパラメータを用いた仮定であり、数値は傾向を示すものとの前提の上で、以下の表 14.1.3 に示す数値が得られる。

表 14.1.3 ペルー国における主要河川洪水対策案の経済評価

仮定手法		Index	洪水対策案実施規模					
事業費	便益		2-Yr	5-Yr	10-Yr	25-Yr	50-Yr	100-Yr
流域面積	流域面積	TIRS	37%	45%	44%	37%	31%	26%
		VANS	2,369M	3,887M	5,371M	5,161M	4,175M	3,269M
		B/C	3.5	3.7	4.1	3.6	2.9	2.4
河川延長	河川延長	TIRS	37%	44%	42%	36%	32%	26%
		VANS	2,190M	3,623M	5,095M	4,435M	4,143M	3,187M
		B/C	3.5	3.7	4.1	3.2	3.0	2.4
流域内人口	流域内人口	TIRS	36%	40%	38%	33%	29%	25%
		VANS	2,013M	2,939M	4,006M	3,637M	3,131M	2,818M
		B/C	3.7	3.5	3.7	3.0	2.6	2.3
洪水・洗掘危険箇所数	洪水・洗掘危険箇所数	TIRS	35%	38%	36%	31%	28%	23%
		VANS	2,030M	3,013M	4,087M	3,514M	3,311M	2,606M
		B/C	3.4	3.2	3.4	2.8	2.6	2.1
河川延長	流域面積	TIRS	40%	49%	47%	40%	35%	28%
		VANS	2,448M	4,182M	5,883M	5,156M	4,815M	3,728M
		B/C	3.8	4.1	4.5	3.6	3.3	2.6
流域内人口	流域面積	TIRS	46%	55%	53%	46%	40%	34%
		VANS	2,667M	4,542M	6,313M	6,006M	5,352M	4,857M
		B/C	4.5	4.8	5.3	4.3	3.7	3.3
洪水・洗掘危険箇所数	流域面積	TIRS	42%	47%	45%	38%	34%	28%
		VANS	2,591M	4,140M	5,610M	4,928M	4,644M	3,716M
		B/C	4.1	4.0	4.3	3.5	3.2	2.6
流域面積	人口	TIRS	30%	33%	32%	27%	23%	20%
		VANS	1,749M	2,445M	3,342M	3,094M	2,414M	1,833M
		B/C	2.8	2.7	3.0	2.5	2.1	1.8

注：上記の経済評価の算定値は、洪水・洗掘危険箇所における洗掘対策による便益とコストも含まれている。

単位: VANS : S/ million

概略総事業費は「流域面積比」、便益は「流域内人口比」の組み合わせが、最も経済性が低い評価とはなる組合せとなるが、このケースでもいずれの洪水対応規模事業も、ペルーの社会的割引率 10%を超え、ANA が提唱する

- 農地：50 年確率規模
- 都市部：100 年確率規模

の洪水対策案の事業規模規定は、ペルー全国において事業実施を経済的に評価した場合は、概略計算ではあるものの妥当なものと考えられる。

### 14.1.3 各類型（タイプ）別の整理

前項 13.1.1 で示したペルー国全体での洪水対策案の経済評価を各類型別（10 タイプ）に分け以下に示す。なお、本来、洪水対策案の経済性評価は、各流域の個別の地形、土質、気候、気象、人口等、様々な地域条件に合わせ、検討されるべきであり、ここで示す数値は方向性を示す数値であることに留意をすべきである。

まず、以下にもう一度、本調査において分類した 10 タイプの各類型の情報を表 14.1.4 として整理する。

表 14.1.4 モデル流域 (再掲)

類型	特徴	想定される対策上の留意点 (第7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。	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。	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。	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* and 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 による優先流域の次に事業実施を推薦する流域  
出典：調査団作成

なお、本項 14.1.3 項で示す、全ての概略事業費、便益及び経済指標は、最も経済性が低い評価となる

- 概略総事業費：流域面積比
- 総便益：流域内人口比

で引き延ばした場合の評価数値を示している。

### (1) 各類型 (タイプ) 別概算総事業費

以下に表 14.1.5 として各類型の本調査で算出した洪水対策総事業費を示す。

表 14.1.5 類型毎の概算総事業費のまとめ (流域面積比)

Unit: S/. Million

Type	Model Basin (含まれる総河川数)	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo (57)	0	21.9	95.8	393.0	1,043.3	1,644.1
2	Locumba (30)	0	0	31.4	39.9	62.4	98.4

Type	Model Basin (含まれる総河川数)	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
3	Chancay-Lambayeque (7)	25.9	299.5	500.9	741.7	814.7	1,022.7
4	Piura & Chira (3)	12.1	44.3	81.0	148.1	222.3	537.1
5	Rimac & Ica (24)	12.8	18.8	25.4	218.8	460.3	1,538.8
6	Mantaro (9)	104.5	205.1	208.2	222.2	263.4	341.9
7	Huallaga (8)	539.0	839.9	1,037.7	1,279.6	1,385.7	1,502.3
8	Nanay (7)	190.7	257.7	295.4	378.3	476.6	517.2
9	Urubamba (4)	6.9	6.9	166.0	514.4	769.6	934.6
10	Ramis (6)	46.4	180.9	242.0	298.8	366.8	446.3
Total (159)		938.2	1,874.9	2,683.6	4,234.6	5,865.3	8,583.5

出典：調査団作成

類型別の概算事業規模は、それぞれの類型に属する流域数等が異なること等から、流域の特徴は出てこない。しかしながら、「急地形且つ多雨」と言った洪水流量が大きくなる特徴を持つ流域類型の概算事業費は多額となる傾向である。

## (2) 総便益と経済評価（概要）

以下に表 14.1.6 として各類型の本調査で算出した洪水対策実施時年平均被害軽減額を示す。

表 14.1.6 類型毎の総便益（年平均被害軽減額）のまとめ（流域内人口比によって引き延ばし）

Unit: S/. Million

Type	Model Basin (含まれる総河川数)	洪水対策案規模					
		2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo (57)	0	2.3	3.9	5.3	6.2	6.9
2	Locumba (30)	0	0	15.2	15.2	15.3	15.3
3	Chancay-Lambayeque (7)	4.1	24.0	37.6	51.5	58.5	62.9
4	Piura & Chira (3)	2.7	3.3	3.9	4.8	5.5	5.9
5	Rimac & Ica (24)	0.7	10.0	16.6	24.0	27.8	30.2
6	Mantaro (9)	4.7	12.2	16.0	18.4	19.3	19.7
7	Huallaga (8)	102.6	252.5	324.7	378.1	399.5	411.5
8	Nanay (7)	31.1	65.9	82.5	95.1	99.8	102.7
9	Urubamba (4)	11.9	23.8	38.6	60.4	70.5	76.7
10	Ramis (6)	7.4	22.1	30.0	35.3	37.4	38.7
Total (159)		165.2	416.2	568.9	688.2	739.6	770.6

出典：調査団作成

表 14.1.5 及び表 14.1.6 を基に、概算した類型別の洪水対策案の経済評価指数を算出すると以下の表 14.1.7 のように纏められる。

表 14.1.7 類型毎の洪水対策案の経済評価

便益パラメータを「人口」、事業費パラメータを「流域面積」とした場合

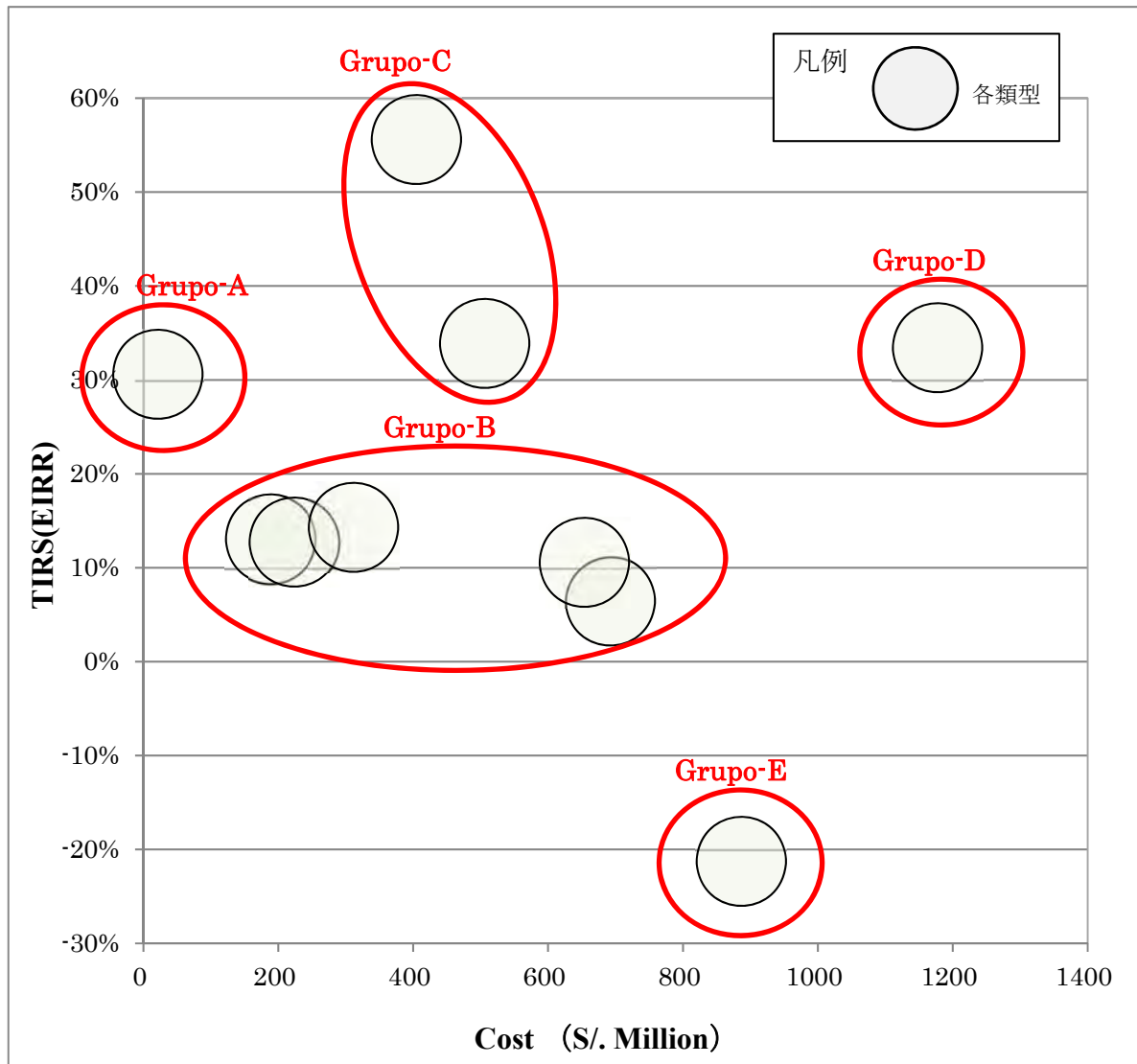
類型	モデル流域	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
1	Biabo (57)	TIRS	51%	27%	10%	-4%	-17%	-
		VANS	61M	58M	-2M	-269M	-720M	-
		B/C	8.6	2.9	1.0	0.3	0.1	0.1
2	Locumba (30)	TIRS	51%	51%	44%	39%	30%	21%
		VANS	146M	146M	141M	135M	121M	91M
		B/C	8.6	8.6	6.8	5.5	3.7	2.2
3	Chancay-Lambayeque (7)	TIRS	35%	11%	8%	6%	6%	3%
		VANS	138M	29M	-52M	-158M	-163M	-290M
		B/C	4.2	1.1	0.9	0.8	0.8	0.6
4	Piura-Chira (3)	TIRS	39%	25%	18%	12%	8%	-1%
		VANS	143M	116M	85M	26M	-33M	-304M
		B/C	5.5	2.8	1.9	1.2	0.9	0.4
5	Rimac, Ica (24)	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 (9)	TIRS	17%	13%	14%	15%	12%	9%
		VANS	75M	43M	71M	78M	47M	-23M
		B/C	1.6	1.2	1.3	1.3	1.2	0.9
7	Huallaga (8)	TIRS	24%	35%	37%	35%	34%	32%
		VANS	507M	1,284M	1,551M	1,634M	1,692M	1,591M
		B/C	2.0	2.8	2.9	2.7	2.6	2.4
8	Nanay (7)	TIRS	25%	44%	51%	47%	40%	39%
		VANS	191M	595M	828M	969M	915M	935M
		B/C	2.0	3.4	4.0	3.7	3.1	3.0
9	Urubamba (4)	TIRS	78%	131%	26%	11%	7%	5%
		VANS	174M	269M	223M	38M	-117M	-209M
		B/C	9.9	14.7	2.3	1.1	0.8	0.7
10	Ramis (6)	TIRS	28%	16%	15%	14%	11%	9%
		VANS	101M	90M	93M	81M	33M	-28M
		B/C	2.8	1.5	1.4	1.3	1.1	0.9
Total (159)		TIRS	30%	33%	32%	27%	23%	20%
		VANS	1749M	2445M	3342M	3094M	2414M	1833M
		B/C	2.8	2.7	3.0	2.5	2.1	1.8

出典：調査団作成

### (3) 各類型（タイプ）別の整理における考察

#### (a) 類型（タイプ）のグルーピングと実施機関（案）

前述の各類型の概略事業費、便益及び経済指標結果から、TIRS と概略事業費の関係を図化すると以下の図 14.1.2 のようになる。なお、本検討は概算のため、正確な事業費の積算を行うためにはより詳細な調査が必要である。類型の特徴等があくまで参考値であることを明確にするために類型名の明示を削除している。



出典：調査団作成

図 14.1.2 類型のグルーピング

この図 14.1.2 が示すように流域の洪水対策案は類型によって、様々な経済的特質を持ち、今後個別流域で詳細な治水計画を策定したとしても 159 流域それぞれに特徴を持つものと想定される。

例えば、図 14.1.2 のように、特質に合わせたさらに大きなグループに分けることが可能であり、このグループごとに例えば以下の表 14.1.8 に示すような事業実施のコンセプトが考えられる。

表 14.1.8 各類型別事業実施コンセプト (案)

グループ分け	コンセプト	事業実施方法
A	経済性が比較的高い洗掘対策を中心とした洪水対策。 想定事業費は小さい。	局所的洪水対策及び洗掘防止対策をこれまで通りに地方政府が実施。
B	洪水対策効果がある程度発現し、事業規模としては類型別で中間値	事業効果の高い流域は、中央政府 (ANA/PSI 等) が迅速に大規模に実施。 それ以外の流域は、AAA/ALA、州政府及び地方政府が実施。
C	洪水対策の便益は高い。 事業規模としては類型別で中間値	事業効果の高い流域は、中央政府 (ANA/PSI 等) が迅速に大規模に実施。
D	洪水対策効果が極めて高く、且つ事業規模も大	迅速な事業の実施を実現するため、予算のプログラム化等の検討が必要。 中央政府 (ANA/PSI) が大規模に実施すべき。
E	洪水対策案効果が小さく、経済性が小 (但し洗掘対策は経済性が高い。)	局所的洪水対策及び洗掘防止対策をこれまで通りに地方政府が実施。

出典：調査団作成

(b) 概算した洪水対策を実施する上での課題

上述した、グループ案に基づき 14.1.2 項に示した概算総事業費を今後 30 年間で実施したとすると以下の表 14.1.9 に示すような長期の概略治水対策年間事業費となる。

表 14.1.9 治水対策概略実施工程 (案) (50 年確率洪水対応)

Group	実施機関	内容	事業費 (S/. Million)	Year																																
				2017 - 2026										2027 - 2036										2037 - 2046												
				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
A	地方政府	工事	30.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	O&M	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B	州政府	工事	2,866.9	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	O&M	28.7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
C	中央政府	工事	274.1	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	ANA/etc.	O&M	2.7	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D	州政府	工事	548.2	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	ANA	O&M	5.5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E	中央政府	工事	1,630.3	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	ANA/etc.	O&M	16.3	1	2	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
E	地方政府	工事	1,227.4	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
	O&M	12.3	0	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12	12
合計				253	256	259	261	264	266	269	271	274	276	279	281	284	286	289	291	294	296	299	301	208	209	211	212	214	215	217	218	220	222			
1	地方政府予算による実施		42	43	43	44	44	44	45	45	46	46	47	47	47	48	48	49	49	49	50	50	51	51	52	52	52	53	53	54	54	54	54	54	54	
2	州政府予算による実施		115	116	117	118	120	121	122	123	124	125	126	127	129	130	131	132	133	134	135	137	138	139	140	141	142	143	145	146	147	148	148	148	148	
3	中央政府機関による実施		96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	110	111	112	113	114	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

注：将来の物価上昇は考慮していない。

出典：調査団作成

上記の表 14.1.9 に示した実施工程スケジュールでは、年間平均 S/.300 百万程度必要と想定される。

第 3 章に詳述しているように、MEF によるとペルー国は 2002 年から 2016 年まで約 15 年間で洪水対策に関連する予算として年平均約 S/. 200 million をこれまでに投資してきた。この約 S/. 200 million には純粋に洪水対応を行ったものに加え、社会的な洪水応急対策活動、土砂災害対応等も含まれている。

よって、超概算にはなるが、今後 30 年以上掛けても、全国の治水対策を実施しようとする、純粋な洪水対策のみで年間約 S/. 300 million の国家予算が必要となることから、関連機関は各地域から詳細な洪水対策計画に基づく予算請求がある前に、洪水対策への予算配分の増額を検討する必要がある。

またさらに、様々な洪水対策案タイプを並行して実施していくための事業実施の制度が必要になる。

14.1.4 優先河川流域における整理

本項は、上述した類型別の整理から、優先流域 (6 流域) のみの整理として、今後、ANA が指定する洪水対策案の優先流域をどのようにそれぞれに実施していくべきかを詳述した。



## (1) Piura-Chira 川流域

本調査における Piura-Chira 川流域の検討結果は以下のように纏められる。

表 14.1.10 Piura-Chira 川流域の洪水対策案のまとめ

類型	評価項目	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
4	一般項目	流域面積	21,698 km <sup>2</sup>					
		流域内総人口	1,449 千人					
	洪水	想定被害額 Piura	2.9M	24.5M	67.1M	145.1M	220.9M	300.1M
		想定被害額 Chira	0.1M	0.5M	4.7M	11.7M	23.2M	35.0M
		合計	3.0M	25.0M	71.8M	156.8M	244.1M	335.1M
	洪水対策案(*1)	想定概略事業費	1.37M	21.06M	70.54M	123.78M	193.55M	365.54M
		年平均被害便益額	2.44M	2.99M	3.54M	4.38M	4.95M	5.38M
	経済評価(Alt-1)	TIRS	31%	20%	15%	10%	10%	4%
		VANS	58M	44M	28M	4M	0M	-94M
		B/C	3.4	1.9	1.4	1.0	1.0	0.6

出典：調査団作成

Piura-Chira 川流域は 1980 年代に激甚な被害を与えたエル・ニーニョ時の洪水被害後に重要な地点を既に 50 年確率洪水対応で本川からの防御を終えており、他の優先流域に比べると小さな洪水規模では、極めて小さな被害しか発生しない。一方、50 年確率規模洪水以上が発生した場合は、2017 年に発生したような大洪水被害が一方では発生する。本調査では農地・住宅・インフラ・労働損失の 4 つの被害額の総計として 100 年確率洪水発生時約 335 百万ソル程度の被害が発生する可能性がある」と概算している。

よって、今後 50 年確率洪水対応から 100 年確率規模洪水へと流域の安全度を上げていく努力が求められる。

また、さらに洪水対策の経済性を高めるための以下の対応：

- 現況堤防の嵩上げ；
- 現況堤防へのパラペット堤による堤防の高さ嵩上げ；
- 家屋移転を出来るだけ避けるための上流における洪水調節施設の建設

等の検討が必要である。

一方、流域においては、

- 河道内（特に河口）・ダム湖内への堆砂問題
- 中流部の河岸浸食の問題

が挙げられており、これらの問題に対する最適な対策とその経済評価は、別途詳細な調査が必要である。

## (2) Rimac 川流域

本調査における Rimac 川流域の検討結果は以下のように纏められる。

表 14.1.11 Rimac 川流域の洪水対策案のまとめ

類型	評価項目	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
5	一般項目	流域面積	3,504 km <sup>2</sup>					
		流域内総人口	5,579 千人					
	洪水対策案(*1)	被害額	0.5M	0.7M	0.7M	0.7M	1.0M	1.0M
		想定概略事業費	1.21M	1.77M	1.77M	2.56M	3.57M	3.96M
		年平均被害便益額	2.44M	2.99M	3.54M	4.38M	4.95M	5.38M
	経済評価	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

出典：調査団作成

上の表が示すように、Rimac 川も優先流域ではあったが、既に下流部は 100 年確率洪水規模まで堤防（主にコンクリート壁）によって防御されており、Rimac 川本川の洪水は中上流部の一部の限られた区間で発生しているのみである。しかしながら、この限られた区間から発生する洪水の間接被害が甚大であり、高速道路の交通の麻痺等を発生させている。上表では、洪水被害額は農地・住宅・インフラ・労働損失の 4 つの被害のみであり、実際には、この被害に伴う本調査では計上していない間接被害はさらに大きな額となる。

限られた区間で発生するため、これらの区間のための概略の洪水対策案の費用は、100 年確率規模対応でも、大規模なものとはならないと想定されることから、早急に実施すべきある。

一方、2015 年に中央高速の交通を 1 ヶ月程度麻痺させた洪水被害は、Rimac 川本川の洪水ではなく、小支川から発生した土石流である。

Rimac 川の災害対策は、本川の洪水対応のみではなく、これらの無数にある土砂災害対策が必要である。

### (3) Ica 川流域

本調査における Ica 川流域の検討結果は以下のように纏められる。

表 14.1.12 Ica 川流域の洪水対策案のまとめ

類型	評価項目	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
5	一般項目	流域面積	7,341 km <sup>2</sup>					
		流域内総人口	354 千人					
	洪水	想定被害額	0M	0M	42M	106M	118M	170M
	洪水対策案(*1)	想定概略事業費	0M	0M	1M	18M	40M	142M
		年平均被害便益額	0M	0M	10M	14M	16M	18M
	経済評価 (Alt-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
	経済評価 (Alt-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	

出典：調査団作成

河道沿いの都市が大きく発達し、且つ多く農地が河道沿いに開発されている Ica 川は流域全体の浸水被害地区を 50 年確率規模または 100 年確率規模洪水から防御しても、経済性が高い事業と考えら

れる。概略事業費もそれほど多額なものとはならないと考えられることから、ANA、PSI 等の中央機関主導で洪水対策案を早急に実施すべき河川である。

また、遊水地の建設も経済性が高く、河川改修による家屋移転を減らすことも可能になるので、遊水地の建設を踏まえた河川治水計画及び河道計画の早急な策定が望まれる。

#### (4) Mantaro 川流域

本調査における Mantaro 川流域の検討結果は以下のように纏められる。

表 14.1.13 Mantaro 川流域の洪水対策案のまとめ

類型	評価項目	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
6	一般項目	流域面積	34,547 km <sup>2</sup>					
		流域内総人口	1,681 千人					
	洪水	想定被害額	6M	14M	16M	16M	16M	17M
	洪水対策案(*1)	想定概略事業費	37M	74M	752M	80M	94M	123M
		年平均被害便益額	2M	5M	6M	7M	7M	8M
	経済評価(Alt-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
	経済評価(Alt-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	

出典：調査団作成

Mantaro 川の洪水対策は、Urubamba 川と同様に、流域全体を 50 年確率規模または 100 年確率規模で防御しようとする、上記の表 14.1.13 では TIRS が 10%を超えているが、詳細に検討した場合、土地収用費や家屋移転による補償費が上がり、直接被害だけではペルー国の社会的割引率 10%を超えない可能性がある、詳細な計画策定が必要である。

#### (5) Huallaga 川

本調査における Huallaga 川流域の検討結果は以下のように纏められる。

表 14.1.14 Huallaga 川流域の洪水対策案のまとめ

類型	評価項目	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
7	一般項目	流域面積	55,109 km <sup>2</sup>					
		流域内総人口	1,036 千人					
	洪水	想定被害額	234M	449M	537M	680M	780M	864M
	洪水対策案(*1)	想定概略事業費	335M	523M	646M	796M	862M	934M
		年平均被害便益額	70M	172M	222M	258M	273M	281M
	経済評価(Alt-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
	経済評価(Alt-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	

出典：調査団作成

本調査の検討において、最も洪水対策案の経済性が高い流域である。流域面積も大きく、河川延長も長い大規模な事業となるが、流域内の資産の洪水被害から防御するための詳細な計画策定とその実施が早急に望まれる。

## (6) Urubamba 川流域

本調査における Urubamba 川流域の検討結果は以下のように纏められる。

表 14.1.15 Urubamba 川流域の洪水対策案のまとめ

類型	評価項目	Index	洪水対策案規模					
			2-year	5-year	10-year	25-year	50-year	100-year
6	一般項目	流域面積	59,071 km <sup>2</sup>					
		流域内総人口	961,000					
	洪水	想定被害額	21.6M	27.5M	144.2M	270.8M	320.9M	421.2M
	洪水対策案(*1)	想定概略事業費	4M	4M	104M	324M	484M	588M
		年平均被害便益額	6.5M	13.8M	22.4M	34.9M	40.8M	44.5M
	経済評価(Alt-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
	経済評価(Alt-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	

出典：調査団作成

Urubamba 川の洪水対策は、Mantaro 川と同様に、流域全体を 50 年確率規模または 100 年確率規模で防御しようとする、上記の表 14.1.15 では TIRS が 10%を超えているが、詳細に検討した場合、土地収用費や家屋移転による補償費が上がり、直接被害だけではペルー国の社会的割引率 10%を超えない可能性がある、詳細な計画策定が必要である。

## (7) 優先河川流域の事業実施の想定

14.1.3 項の(3)では、ペルー国における全河川を対象とし、洪水対策案を実施した場合の年間必要資金とその期間を想定した。結果として、事業の実施期間を約 30 年間とした場合は、必要となる年間予算は S/300 百万となる。

本項では、上述した長期の洪水対策案の実施を仮定の前提として、本調査で提案した優先 6 河川の対策を優先的に実施した場合の短・中期における洪水対策案の必要資金を想定した。

結果は、以下の箇条書きに示す通りとなる。

- 6 河川の治水対策を実施するためには、2017 年から治水計画の策定を開始したとして 2030 年頃に終了する。
- 2030 年までに事業が完成するとして、年間必要投資額は、2017 年から 2030 年までの約 14 年間に、約 S/150 百万/年が必要となる。

次頁に優先 6 河川の概略事業実施工程を示す。

表 14.1.16 洪水対策案短中期概略工程表（案）（優先 6 河川対象）

Prioritized River	Total Target Length	Assumed Imple. Agency	Activity	Assumed Cost (S./ M)	Year																
					2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2030					
Ica	32.0 km	Region	M/P (Review)	3	2	2															
			F/S	5	5																
			SNIP Approval																		
			Selection of Consultant																		
			D/D	4		4															
			Selection of Contractor																		
			Construction+S/V+Admin	87					22	22	22	22									
<b>Total</b>	<b>99</b>				2	7	4	0	22	22	22	22									
Huallaga	344.0 km	ANA (MINAGRI) (Project)	M/P (Review)	6	3	3															
			F/S (por F-1)	20	10				10												
			SNIP Approval																		
			Selection of Consultant																		
			D/D (por F-1)	38			19				19										
			Selection of Contractor																		
			F-1: Construction+S/V+Admin	287					41	41	41	41	41	41	41						
			F-2: Construction+S/V+Admin	287												41	41	41	41	41	41
			F-3: Construction+S/V+Admin	287																	41
			<b>Total</b>	<b>925</b>				3	13	19	0	41	41	41	51	60	41	41	41	41	41
Mantaro	37.0 km	Region Local	M/P (Review)	3		2	2														
			F/S	5		5															
			SNIP Approval																		
			Selection of Consultant																		
			D/D	5			5														
			Selection of Contractor																		
			Construction+S/V+Admin	104							26	26	26	26							
<b>Total</b>	<b>117</b>				2	7	5	0	26	26	26	26									
Urubamba	100.0 km	ANA (MINAGRI) (Project)	M/P (Review)	3			2	2													
			F/S	5			5														
			SNIP Approval																		
			Selection of Consultant																		
			D/D	22					22												
			Selection of Contractor																		
			F-1: Construction+S/V+Admin	249								28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
F-2: Construction+S/V+Admin	249																	28			
<b>Total</b>	<b>528</b>				2	7	22	0	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28		
Piura-Chira	80.5 km	Region Project	M/P (Review)	3						2	2										
			F/S	5							0										
			SNIP Approval																		
			Selection of Consultant																		
			D/D	18									18								
			Selection of Contractor																		
			F-1: Construction+S/V+Admin	204												29	29	29	29	29	29
F-2: Construction+S/V+Admin	204																	29			
<b>Total</b>	<b>434</b>								2	2	18	0	29	29	29	29	29	29			
Rimac	2.0 km	Region Local	M/P (Review)	1			1														
			F/S	1			1														
			SNIP Approval																		
			Selection of Consultant																		
			D/D	0.2				0.2													
			Selection of Contractor																		
			Construction+S/V+Admin	3.8							2	2									
<b>Total</b>	<b>6.0</b>				2	0	2	2													
Todos los ríos	595.5 km	Todos	Todas las actividades	2,109	5	44	77	182	216	183	166	196	196	196	196	137	511				

Leyenda : Plan Maestro y Estudio de factibilidad  
: Diseño detallado, Aprobación por SNIP, etc.  
: Ejecución de obras

出典：調査団作成

### 14.1.5 気候変動が洪水対策案に与える影響

第 11 章 11.5 節において述べているように、これまでの気候変動に関する研究調査、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に基づけば、2040 年を対象とした場合、

ペルー国のか降雨増減量は約-13%~+7%となる。また、この結果に基づき、洪水確率規模の変化を確認すると、以下の表の示すように、大きく洪水確率規模が負の影響を与え変化する流域がある。

表 14.1.17 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-6 (Mantaro)	1.3	4	8	19	37	70
類型-10 (Ramis)	1.1	4	7	16	28	52

出典：これまでの研究成果に基づき、調査団が試算

この結果、洪水対策案の規模は低減させるが、洪水対策案の効果・便益は大きくなる。

表 14.1.18 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  
(気候変動無：25年確率対応時 → 気候変動有：約20年確率対応)

類型	流域名	ケース	概略総事業費 (S/. millón)	年平均被害便益額 (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

以上のように、今後、ペルー国として洪水対策案を実施する場合にどのように気候変動の影響を考慮するのか検討が必要である。

## 14.2 2016 年末~2017 年 3 月に発生した土砂災害及び洪水による被害と本調査結果との比較

2016 年 12 月から 3 月にかけてペルー国内の多くの地域で深刻な洪水被害・土砂災害被害が発生している。ここでは、INDECI が発表している災害状況レポートから被害情報の抽出を行い、実際に発生している洪水・土砂災害の被害状況を流域毎に整理すると共に、本調査結果と比較し関連性を整理する。

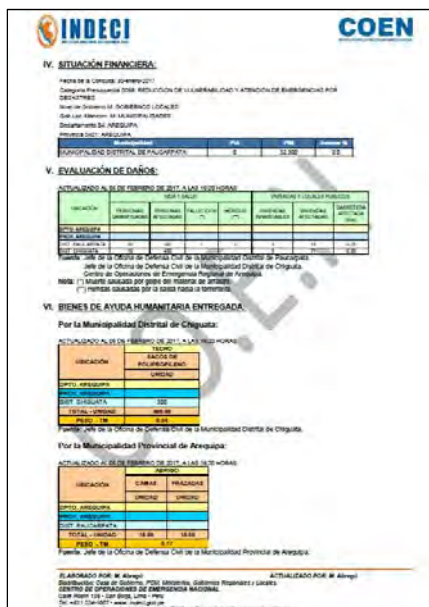
### 14.2.1 INDECI による洪水被害レポートからの情報抽出

2017 年 1 月から 3 月にかけて発生した洪水災害、土砂災害に関して INDECI が公表している被害状況レポートを収集し、発生日、災害種、災害発生地点 (Departamento, Provincia, Distrito)、被害状況に関する情報を抽出した。

さらに災害発生地点の情報に基づき、これらの災害発生地点が ANA によって区分された 159 流域内のどの流域に属するかを整理し、流域ごとの被害状況とした。

表 14.2.1 洪水被害レポートからの情報抽出概要

情報元	抽出対象期間	抽出項目
INDECI ホームページ ( <a href="http://www.indeci.gob.pe/">http://www.indeci.gob.pe/</a> )	2017 年 1 月 30 日 ~2017 年 3 月 20 日	災害発生日、災害種、災害発生地点、被害状況 (被災者数、被災家屋数、被災道路延長、被災農地面積等)



出展: INDECI (<http://www.indeci.gob.pe/>)

図 14.2.1 INDECI による洪水被害レポートの参考例

### 14.2.2 実際に発生した洪水被害状況と本調査結果との比較

#### (1) 被害報告の整理

INDECI の被害報告を主な流域毎に被害を纏めると以下の表 14.2.2 として纏められる。

表 14.2.2 1/30~3/20 の災害レポート (INDECI) に基づく情報整理結果

No	流域名	被災者数*	被災家屋数	被災道路延長 (km)	被災農地 (ha)
1	Cuenca Caplina	-	-	-	-
2	Cuenca Itaya	2,189	571	0	0
3	Cuenca Lacramarca	-	-	-	-
4	Cuenca Chillón	3,274	93	273	3
5	Intercuenca 49917	-	-	-	-
6	Cuenca Nanay	-	-	-	-
7	Cuenca Moche	1,109	149	15	0
8	Intercuenca 49955	-	-	-	-
9	Cuenca Quilca - Vitor - Chili	5,292	1,077	55	92
10	Cuenca Ica	100,488	21,794	1	0
11	Cuenca Perene	307	77	33	5
12	Huallaga	16,843	4,153	0	20
13	Intercuenca Medio Madre de Dios	25	5	0	0
14	Cuenca Lurin	15	3	18	0
15	Cuenca Supe	-	-	-	-
16	Cuenca Casma	15,926	3,845	162	307
17	Cuenca Chala	-	-	-	-
18	Cuenca Huarmey	330	87	12	14
19	Cuenca Chparra	-	-	-	-
20	Cuenca Fortaleza	358	118	11	0
21	Cuenca Viru	-	-	-	-
22	Cuenca Chancay - Huaral	2,100	109	255	10
23	Cuenca Rimac	26,151	3,517	334	59
24	Cuenca Locumba	-	-	-	-
25	Cuenca Santa	9,478	2,058	3,784	760
26	Cuenca Nepeña	921	154	1	0
27	Intercuenca Medio Alto Madre de Dios	640	128	0	0
28	Cuenca Mala	350	70	1	0
29	Cuenca Zarumilla	2,744	404	9	522
30	Intercuenca Alto Marañón I	-	-	-	-
31	Cuenca Coata	-	-	-	-

No	流域名	被災者数*	被災家屋数	被災道路延長 (km)	被災農地 (ha)
32	Intercuenca Alto Acre	-	-	-	-
33	Cuenca Crisnejas	-	-	-	-
34	Cuenca Huamansaña	313	74	0	0
35	Cuenca Chincha (San Juan)	1,308	262	0	0
36	Cuenca Tumbes	17,013	3,648	88	280
37	Cuenca Huaura	565	82	262	65
38	Cuenca Pescadores - Caraveli	-	-	-	-
39	Cuenca Pisco	9,528	2,178	170	102
40	Intercuenca Alto Maraño III	-	-	-	-
41	Cuenca Olmos	3,325	665	0	0
42	Cuenca Ilo - Moquegua	32	16	0	0
43	Cuenca Utcubamba	-	-	-	-
44	Cuenca Grande	38,924	9,430	4	0
45	Cuenca Pativilca	1,001	235	96	159
46	Cuenca Acari	94	20	3	10
47	Cuenca Mantaro	13,064	2,417	495	496
48	Cuenca Chaman	441	199	13	10
49	Cuenca Cañete	33,832	279	292	1,445
50	Cuenca Huancane	-	-	-	-
51	Cuenca Inambari	19	7	0	0
52	Intercuenca 49793	-	-	-	-
53	Cuenca Urubamba	245	48	2	50
54	Intercuenca Alto Apurimac	-	-	-	-
55	Cuenca Aguayta	31	6	1	0
56	Cuenca Zaña	2,810	1,262	0	0
57	Cuenca Pachitea	5,492	1,098	5	134
58	Cuenca Camana	6,841	1,673	284	200
59	Cuenca Piura + Chira	189,078	37,414	27	231
60	Ramis, Puraca and Azangaro	-	-	-	-
61	Intercuenca Alto Maraño II	-	-	-	-
62	Cuenca Honda	-	-	-	-

\*：一世帯あたりの人数を5.0人と仮定して算出している。

① 1/30～3/20 の被害報告合計	512,496	99,425	6,706	4,973
② 1/30～3/20 の被害報告合計（上記以外の流域）	77,011	15,487	270	2,249
③ 1/30～3/20 の被害報告合計（全流域）（=①+②）	589,507	114,912	6,976	7,222

注記： 赤色のフォントの流域は本調査で洪水対策案実施優先地域として提案した流域  
青色のフォント流域は、JICA が円借款事業として治水事業を実施する3流域

## (2) 比較結果のまとめ

表 14.2.2 の整理結果より、以下のことが整理できる。

- 本調査において優先対策流域とみなしている6流域においても洪水被害が発生しており、特に Ica、Huallaga、Rimac、Mantaro および Piura-Chira 川流域における洪水被害は深刻である。Urubamba 川流域については上記5流域と比べた場合、今回の一連の洪水・土砂災害における被害は顕著ではないものの、2010年のCusco洪水の事例もあることから、いずれの流域においても今後の早急な対策が望まれる。
- Rimac 川流域においては今回の洪水で深刻な被害が発生している一方で、本調査の整理結果では、経済性評価（EIRR）は高いものの、発生が想定される被害規模（年平均被害軽減額）については必ずしも大きくない。この差異の理由としては、本調査においては河川からの浸水氾濫現象を対象として解析を実施し、被害状況を整理したのに対して、実際に発生した被害においては土砂災害による影響が多分に含まれているためと考えられる。したがって、Rimac 川及びその他の土砂災害が多い河川の流域管理及び治水対策においては河川からの浸水対策のみならず、溪流部における土石流及び地すべり対策並びに中下流部における河川管理対策などの土砂災害対策を併せて検討し治水対策事業を実施する必要がある。（Rimac 川の洪水被害と本調



査結果のより詳細な比較は次項 14.2.3 項を参照。)

- JICA による円借款事業「ペルー沿岸部洪水対策事業」の対象となっている Pisco 川、Canete 川及び Chinchá (San Juan) 川流域においても、今回の洪水で大きな被害が発生している。今回の洪水・土砂被害、「ペルー沿岸部洪水対策事業」の F/S 調査時における評価、及び本調査における 3 河川の洪水対策案の評価を比較すると、以下の表 14.2.3 のように纏められる。

表 14.2.3 Pisco、Canete 及び Chinchá (San Juan) 川の実際の洪水被害及び洪水対策案評価の比較

河川名	2017 年 1~3 月災害				円借款事業 F/S 評価 (*1)		本調査による洪水対策案経済評価(*2)				
	影響住民		農地被害		年平均被害便益	EIRR	年平均被害便益		EIRR	NPV (*3)	
	数	全体順位	面積 (Has)	全体順位			額	全体順位		%	額
Canete	33,832	4	1,445	1	S/. 12.3M	55%	S/. 24M	43	17%	S/. 14 M	38
Pisco	9,528	12	102	16	S/. 17.8M	27%	S/. 21M	45	26%	S/. 30 M	23
Chinchá (San Juan)	1,308	30	-	-	S/. 20.5M	47%	S/. 20M	48	29%	S/. 29 M	27

\*1: 50 年確率対応事業（便益は間接被害（灌漑面積の削減・交通遮断経済損益）の削減も考慮）

\*2: 年平均被害額は 100 年、EIRR 及び NPV は 50 年事業対応時。便益計上は直接被害の削減のみ考慮。

\*3: 社会割引率 10% 時の値

以上のように、円借款事業として選定され、事業の実施（詳細設計のコンサルタント選定）が開始された Pisco、Canete 及び Chinchá 川は、全 3 河川で被害が報告されている。さらに報告された被災住民数の実被害数は、全 159 流域での比較において極めて大きな数字であることが分かる。

今後、その洪水対策案の実施を速やかに推進すべき流域と位置づけられる。

### 14.2.3 Rimac 川の本調査に洪水解析結果と実災害の被害の比較

今回の降雨では、Rimac 川流域で多数の災害が発生しているが、本調査における洪水による Rimac 川の年平均被害額が他の流域に対して小さな結果となっている。これは、今回の降雨において Rimac 川の中小の支川で土砂災害（Huayco）が発生しているが、本調査ではこの土砂災害の影響が含まれていないことが理由の一つとしてあげられる。以下に Rimac 川における今回の災害の整理を行う。

#### (1) INDECI の Rimac 川における災害報告の概要

Rimac 川流域における災害被害は、INDECI の 2017 年 3 月 20 日の災害レポート (Informe de Emergencia No. 318) 等によると、以下の表 14.2.4 のように纏められる。

表 14.2.4 INDECI の災害レポートに基づく Rimac 川流域で発生した災害

日時	発生場所	災害概要	その他情報及び実施した主な対策
2017 年 1 月 14 日 (*2)	Lurigancho-Chosica Chaclacayo	土砂災害（Huayco）と地すべり（Deslizamientos）が発生。住宅、公共施設に被害。	被害調査を実施
1 月 15 日 (*1)	Santa Eulalia	Santa Eulalia の上流及び Buenos Aires 地区の 10 の支流（Quebrada）で災害が発生。死者・負傷者はなし。土砂により交通が遮断される。	州政府・地方政府は、重機によって道路上に堆積した土砂を除去。住民保護活動を実施。

日時	発生場所	災害概要	その他情報及び実施した主な対策
1月16日 (*1)	Ricardo Palma	5つの支流 (Quebrada) で災害が発生。死者はなし。	土砂による交通遮断は無し。負傷者の手当て、診療所への支援等。
1月25日 (*2)	Chaclacayo Punta Hermosa	Quebradas Mariscal, Rosario, Santo Domingo, La Cantuta, Corrales, Carosio, Pedregal, Nicolás de Piérola, California 及び Media Luna 等の支流で Huayco が発生。	Rio Huaycoloro 等において、土砂の除去を実施。
1月27日 (*1)	Surco	Matucana – Tornamesa 間 67Km 付近で Huayco が発生。	交通規制を実施。土砂の除去を開始。
	Huinco	Huayco が発生し、Laraos、Huanza、Huachupampa、San Pedro de Cata 及び San Juan 地区のコミュニティ道路の交通に影響を与える。	交通規制を実施。
	Gorgor	Huayco が発生し、32.8K 付近の道路が 50m 被災。	交通規制を実施。
	Viñac	Huayco が発生し、78.4K 付近のコミュニティ道路が被災。	交通規制を実施。
3月16日 (*1)	Lachaqui	Huayco が発生し、コミュニティ道路及び住宅が被災。	交通が遮断。被害調査を実施。
	Santa Rosa de Quives	Centro Poblado de Trapiche 周辺で Huayco が発生し、コミュニティ道路及び住宅が被災。	
3月17日 (*1)	San Isidro	災害が発生。	被災住民の避難所の運営を開始。
3月18日 (*1)	Huinco Santa Eulalia	Huayco が発生し、土砂が Rio Rimac に流れ込み、水位が上昇。	Rio Rimac 沿いの District に警報を発表。 Prevention Work を実施

出典： \*1: Informe de Emergencia No. 318, 2017/3/20, INDECI

\*2: Informe de Emergencia No. 125, 2017/2/06, INDECI

以上のように、主な災害は、3月17~18日の Rimac 川本川の洪水を除けば、支流における土砂災害または土砂を含んだ洪水による被災が主な報告となっている。

## (2) Rimac 川の氾濫位置の確認

INDECI の報告及びその他インターネット情報等により、3月17~18日に発生した Rimac 川本川の実際の氾濫発生箇所と、本調査における RRI (洪水解析ソフト) 及び次元不定流計算結果にもとづく Rimac 川本川氾濫想定箇所の確認及び比較を行った。結果を表 14.2.5 として以下に示す。

表 14.2.5 2017年3月 Rimac 川洪水実氾濫地点と本調査における氾濫想定地点

河口からの距離 Km	左岸河岸高 (m)	右岸河岸高 (m)	最深河床高 (m)	河道幅 (m)	計算水位 (m)	計算流量 (m <sup>3</sup> /s)	計算越水地点	2017年3月越水地点	備考
1	8.14	8.13	3.91	82	7.0	694.9			
2	14.57	15.02	7.96	100	11.5	690.1			
...									
5	42.61	46.36	32.84	82	36.5	674.9			
...									
10	114.25	104.04	96.24	84	100.5	658.6			
...									
14	161.60	164.81	156.70	56	160.6	644.0		**	ラ・ムジャ公園 左岸 (公園側) の河岸高が低い

河口からの距離 Km	左岸河岸高 (m)	右岸河岸高 (m)	最深河床高 (m)	河道幅 (m)	計算水位 (m)	計算流量 (m <sup>3</sup> /s)	計算越水地点	2017年3月越水地点	備考
15	174.72	172.14	165.84	72	169.8	640.1			
...									
20	238.20	241.40	227.37	78	230.5	616.7			
...									
25	321.24	321.62	316.70	180	319.0	597.0			
...									
29	383.07	383.46	380.61	70	383.3	582.1	*	**	Huachipa 地区 左右岸とも堤防高が低い
30	404.94	397.89	395.13	114	397.7	577.4			
...									
35	487.89	487.16	480.67	192	482.6	555.1			
...									
38	531.99	531.38	529.95	102	532.0	545.3	*		
...									
40	568.99	570.71	563.51	118	565.8	537.6			
...									
45	658.83	660.70	655.08	60	658.7	516.2			
...									
48	713.86	714.63	711.82	32	715.3	507.0	*		
49	734.73	734.71	733.90	42	736.3	503.8	*		
50	760.15	761.00	755.32	48	758.9	500.4			
...									
55	869.92	868.37	863.84	72	866.9	488.4			
56	893.19	889.92	885.14	72	887.5	486.1		**	一部周囲の河岸高が低い 部分から越水
57	912.96	914.58	909.61	32	913.4	483.8	*	**	河道幅が狭い
60	1004.10	1001.04	994.24	40	996.9	129.2			

注記：\*1: 標高及び河川断面データ：本調査で購入した2mDSM（衛星データ）より作成（1kmピッチ）

\*2: 流量：RRIの計算結果を上流・支川に境界条件として付与：上表の結果は、100年確率流量

\*3: 計算水理モデル：1次元不定流モデル（MIKE11）で計算

上記の結果において、29km地点及び57km地点の越水は計算結果通りであるが、14km地点、48km地点、49km地点56km地点は計算結果と違いが生じている。これらの違いの検証結果は以下の箇条書きに示す通りである。

- 14K地点の越水は実際にはラ・ムジャ公園地点（河道内と見なせる標高の低い公園敷地）内だけの現象で市街地には洪水流は流出していない。
- 38、48及び49km地点では、河岸高と設定したさらに堤内地側の標高が高い部分で市街地には洪水流が流出しなかった。また、RRIでの氾濫も河岸沿いの一部で限定的である。
- 56km地点では一部河岸高が低い箇所から部分的に越水が発生した。この越水では洪水流が少なかったため市街地への大きな被害は発生していない。

以上のように衛星データによる地盤高データには部分的な差異は生じたが、本項の冒頭で述べたように本調査による洪水氾濫現象の解析と実現象はほぼ合致している。

### (3) Rimac川の災害被害の特質及び今後の対策の方向性

以上のように、2017年3月に本川で発生した洪水被害は、本調査で実施した氾濫解析結果と大きく変わらないが、実際の災害被害は、本調査で算出した洪水被害の想定被害を大きく超えている。これは、以下が理由と判断される。

- 本調査では洪水対策案の便益として計上していない、支川の土砂災害が主たる災害の一部である。  
(表 14.2.4 参照)
- 洪水被害では、浸水被害以外に河岸の洗掘による被害により、河岸沿いの住宅の被害がある。  
以上により、Rimac 川の洪水対策は、他の流域に比べ、河岸沿いに住宅及び重要な公共インフラ施設（主要国道及び鉄道）が密集しているため、流下能力が不足する区間に対しては、緊急に洪水対策案を実施すべきであるが、さらに、
  - ✓ 住宅が密集または重要な道路が横断する支川（Quebrada）には土砂災害を防止する、構造物対策（流路工、砂防ダム、落石防止ネット等の建設）及び
  - ✓ 住民の人命及び重要な資産の損失を防ぐ土砂災害早期予警報システム導入が必要である。

### 14.3 調査結果を踏まえた課題の抽出および提言

洪水対策案のための洪水氾濫解析及びその経済評価を含めた本ファイナル・レポート（F/R）の2章に示した治水行政の現状、3~11章に示した検討過程及び本章の13.1節で示した調査結果に基づきペルー国の洪水対策活動に関連する課題並びに今後解決していくべき事項は以下の通りに纏められる。

#### 14.3.1 洪水対策計画の迅速な策定及び整理

##### (1) これまでの洪水被害履歴、洪水対策計画及びその事業実施状況の整理の必要性

###### (a) 現状

ペルー国は、1980~90年代、El Nino 現象が原因と想定される大洪水がペルー国北部の流域を中心に発生し、各河川で洪水対策が実施されてきた。

また、度重なる洪水被害を軽減するため、1999-2009年には、浸水リスク地域を洪水被害から守るため「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 Estructura de Captación, PERPEC）」（投資額126百万ドル）によって全国の河川の治水対策を実施してきた。これらの治水行政は、2006年まで存在した Instituto Nacional de Recursos Naturales（INRENA：国家天然資源機構）が実施監理してきた。しかしながら地方分権化の動きから INRENA が無くなり、2年間の分断を経て、2008年に新たに ANA が設立され現在に至っている。

また、2011年にペルー国の防災行政システムがそれまでの Sistema Nacional de Defensa Civil（SINADECI：国家市民防衛体制）から Sistema Nacional de Gestion del Riesgo de Desastres（SINAGERD：国家災害リスク管理システム）と代わり、且つ地方分権化も重なったことで、治水・洪水対策を1つの機関が責任を持って継続的に実施する体制が構築されていなかった。

現在は、ANA が水資源管理の一環として治水・洪水対策を所管し、下部機関となる AAA と ALA を通して各種の洪水対策の基礎調査及び一部その事業の実施も行っている。

(b) 提言

上記の理由を基に、これまでに策定及び実施されてきた治水計画と事業及び既往の洪水被害データの一元的な整理が行われてこなかった。この結果、今後洪水対策を進めていく上で以下の課題がある。

- どの河川のどこの区間がどの程度の洪水まで防御されているのかが分からない：
- どの河川にどの程度のレベル・精度で流域治水計画が策定されているのかが分からない：及び
- どの河川にいつどの程度の洪水が発生したのかの一元的管理と整理がなされていない：よって
- 全国的な洪水リスクの比較及び確認ができない

ANA は既に組織内に情報とデータを一元的に管理するための La Oficina del Sistema Nacional de información de Recursos Hídricos (OSNIRH : 国家水資源情報システム室)を設立しているが、現在は水資源管理に関するデータ及び資料を扱ってはいるが、治水関連データ（計画策定と事業実施状況に関する情報）は未だ登録が成されていない。

今後、OSNIRH は、ANA の各部署及び全国の ALA が利用可能な洪水対策を含めたペルー国全体の治水情報を整理する必要がある。これにより、全国的洪水リスクの比較及び確認が出来、結果として洪水対策の必要性及び各活動の優先度が「見える化」することとなる。洪水対策を含めた治水情報の見える化のための簡単な整理表例を以下として示す。

項目	A 川	B 川	C 川	・・・
流域面積	000 km2	000 km2	000 km2	・・・
流路延長	△△km	△△km	△△km	・・・
治水計画規模	都市区域: 100 年 農地部: 50 年	農地部: 50 年	計画策定無し	・・・
計画洪水流量	A-1 区間: 10,000m3/s A-2 区間: 8,000m3/s A-3 区間: 5,000m3/s	B-1 区間: 1,000m3/s B-2 区間: 750m3/s B-3 区間: 300m3/s	計画策定無し	・・・
流量調節施設 (治水容量)	D1 ダム (100CCM) D2 ダム (100CCM) D3 遊水地(50CCM)	B-4 遊水地 (70CCM)	-	・・・
既整備区間及び施設	A-1 区間: 20km A-2 区間: 15km A-3 区間: 0 km D1 ダム D3 遊水地	B-1 区間: 10 km B-2 区間: 5 km B-3 区間: 3 km	-	・・・
未整備区間	A-1 区間: 0 km A-2 区間: 5km A-3 区間: 30 km D2 ダム (20XX 年完成予定)	B-1 区間: 10 km B-2 区間: 10 km B-3 区間: 0 km B-4 遊水地	-	
過去の洪水被害	日時: 198X 年 0 月 Δ 日 死者: 25 人 影響住民: 12 万人 被害額: S/. 23 million	日時: 198X 年 0 月 Δ 日 死者: 5 人 影響住民: 5000 人 被害額: S/. 20 million	日時: 200X 年 0 月 Δ 日 死者: 0 人 影響住民: 1000 人 被害額: 不明	

項目	A 川	B 川	C 川	・・・
	日時：199X 年 ○ 月 △ 日 死者：10 人 影響住民：6 万人 被害額：S/. 10million	日時：201X 年 ○ 月 △ 日 死者：0 人 影響住民：25000 人 被害額：S/. 15 million	日時：201X 年 ○ 月 △ 日 死者：5 人 影響住民：2000 人 被害額：S/. 5 million	・・・
			日時：201X 年 ○ 月 △ 日 死者：3 人 影響住民：3000 人 被害額：S/. 8 million	

出典：調査団

図 14.3.1 「治水情報の見える化」リスト整理表（案）

## (2) 迅速な洪水対策計画策定の必要性

### (a) 現状

上述したように、ANA 及び関連機関は、これまでの「洪水対策を含めた治水情報の見える化」を進めるべきである。しかしながら、殆どの河川は、今後の治水レベルの向上をどのように実施し事業化していくのかを明示し、各ステークホルダーから承認を受けた流域全体の「治水計画」は有していない。

一方、Piura 川を管理する CRHC Chira-Piura では、今後の洪水対策をどのような考えの下に実施していくかの洪水対策マスタープランの原型のような「治水対策コンセプト」は有している。

### (b) 提言

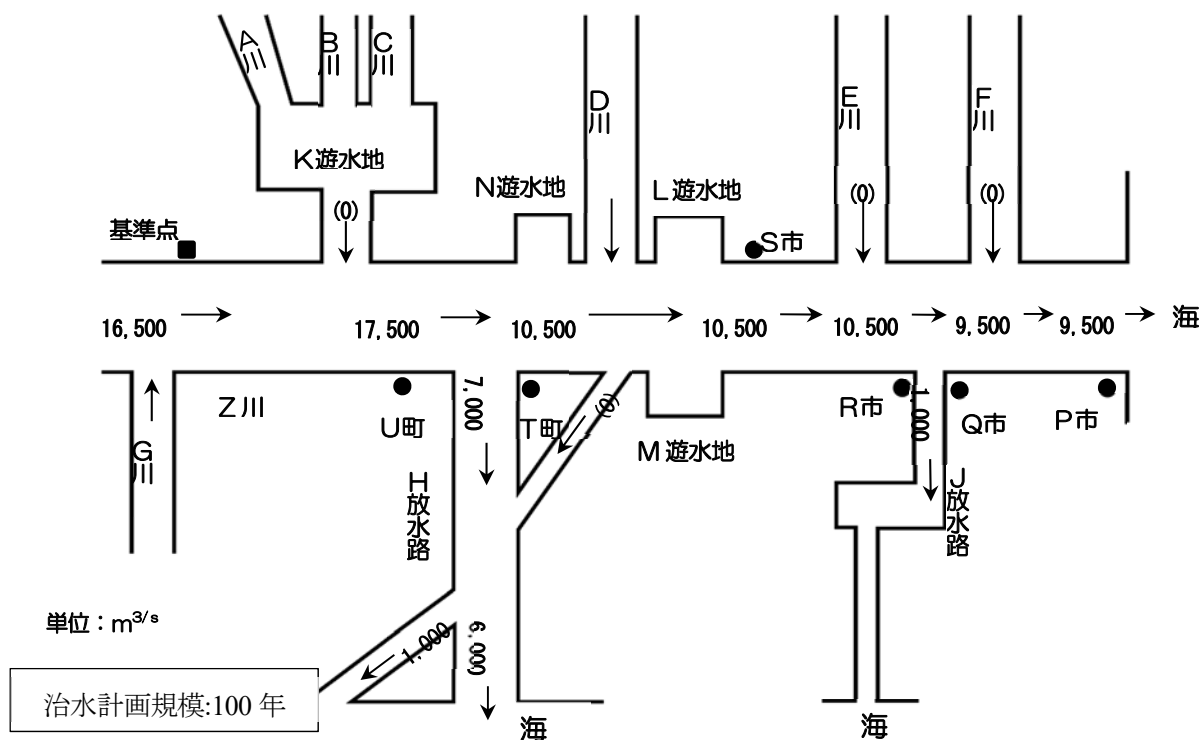
ANA は、今後の洪水発生状況等を勘案し選定した河川流域の「洪水対策計画」の策定と優先度の高い河川または河川区間の「フィージビリティ調査」を至急実施すべきである。

なお、個別の河川流域のための「洪水対策計画」には、以下の表 14.3.1 に示す内容を含むものとし、計画高水流量の設定に際しては図 14.3.2 に示す計画流量配分図を作成するものとする。

表 14.3.1 「洪水対策計画」に示すべき最低限の内容

項目	記載すべき内容例
流域の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 流域面積、流域内資産、流域内人口、主要な支川名、流路延長等</li> <li>● 流域が位置する行政管理区域名及び一般的気候・地形・地質・土地利用情報</li> </ul>
洪水対策の経緯	<ul style="list-style-type: none"> <li>● これまでに実施された洪水対策（区間、事業費、主な建設された治水構造物）</li> </ul>
既往洪水の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 洪水発生年月日、雨量、流量、被害状況</li> </ul>
基本高水の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 治水対策の計画規模</li> <li>● 確率降雨量・流出計算結果（使用した計算手法・モデル）・確率流量の算定</li> <li>● 基本高水のピーク流量の決定（妥当性検証を含む。）</li> </ul>
高水処理計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 河道対策（堤防・河道拡幅・河床掘削）で負担する流量と流域内流量調整施設（ダム・遊水地・放水路等）による負担（治水容量等）の決定</li> </ul>
計画高水流量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 支川も含めた流量配分図（図 14.3.2 参照）</li> </ul>
河道計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 河川の改修基本情報（区間、主な市町村名、河口からの距離、計画高水位、必要な川幅、計画河床高（縦断勾配）、河道改修標準横断図等）</li> </ul>
河川管理施設等の整備の現状	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 堤防整備状況</li> <li>● 洪水調節施設（ダム・遊水地）等の整備状況</li> <li>● その他の治水・防災施設（排水機場・洪水予警報）の整備状況</li> </ul>

出典：日本の河川整備基本方針等を参考に調査団が作成



出典：日本の河川整備基本方針等を参考に調査団作成

図 14.3.2 「洪水対策計画」に示すべき計画流量配分図

### (3) 洪水対策計画策定における上流土砂災害対策を考慮する必要性

#### (a) 現状

ペルー国では、河川流域の中下流部で発生する洪水被害と上流部の特に山地の急斜面で発生する土砂災害（Huayco 等）がある。上流で発生する土砂災害は、1つ1つの災害規模は洪水に比べ小さいが、直接的に被害を受ける個々の人命、住宅及び道路等のインフラ施設は壊滅的な被害を受ける。

エル・ニーニョに起因する強雨が断続的に発生した期間（2017/1/30~3/20）には、ペルーの各所で多くの洪水及び土砂災害が発生した。この期間（2017/1/30~3/20）に発生した災害を INDECI の災害報告に基づき整理した結果を表 14.3.2 を示す。

表 14.3.2 2017/1/30~2017/3/20 に発生した洪水・土砂災害の纏め

災害種	件数	死者	被災					復旧補助金 (S/. million)
			世帯数 (家族)	住民数 (人)	住宅数 (戸数)	道路距離 (Km)	農地 (Has)	
洪水・雨	41 (49%)	4 (5%)	2,961 (21%)	150,187 (21%)	34,182 (22%)	153 (2%)	1,744 (22%)	105.35 (23%)
土砂災害・雨	23 (27%)	48 (55%)	77 (1%)	5,358 (1%)	1,119 (1%)	68 (1%)	43 (1%)	50.11 (11%)
洪水・土砂 (複合)	20 (24%)	36 (41%)	11,183 (79%)	561,492 (78%)	122,584 (78%)	6,784 (97%)	6,287 (78%)	305.82 (66%)
合計	84 (100%)	88 (100%)	14,221 (100%)	717,037 (100%)	157,885 (100%)	7,005 (100%)	8,073 (100%)	461.28 (100%)

出典：INDECI の災害被害報告書を調査団が取り纏めた。

以上の表 14.3.2 に示すように、被災した住民または世帯数は一旦発生すると影響が大きく広がる「洪水」災害の方が多い。また、被災した道路延長および被災した農地面積についても、影響が広範囲に及びやすい「洪水」災害の方が多い。一方で死者数については「土砂災害」の方が圧倒的に多く、影響範囲は洪水に比べて限定的ではあるものの、人命に関わる重大な被害に結びつきやすい土砂災害の特徴が表れている。

#### (b) 提言

以上、「(a) 現状」に示したように、「洪水」対策に合わせ、各流域の上流で発生する「土砂災害」も今後軽減させていかなければならない。「土砂災害」対策も災害が発生した後に、対策を講ずるのではなく、中下流部の洪水対策に合わせ上流部における災害対策として「土砂管理計画」または「土砂災害対策計画（日本では「砂防計画」と呼ばれている）」の策定が必要である。この「土砂災害」の軽減のための計画の策定は、前項で提言した、「各流域で策定されるべき迅速な洪水対策計画」において含まれるべき計画の1つとなる。

土砂災害対策の今後の具体的取組方針は、本報告書 13 章の 13.3.3 項「2017 年 1~3 月実土砂災害現象の把握及び今後の対策方針」に課題と共に示している。これらの方針を参考に、洪水対策と合わせて被害軽減対策を流域毎に策定していかなければならない。

#### (4) 間接便益計上の必要性

##### (a) 現状

本報告書では、提案した洪水対策案の経済評価に必要な便益を以下の 4 つの項目のみから算出した。

- 住宅被害；
- 農業被害；
- 公共構造物の被害；及び
- 洪水に影響を受けた住民の労働機会の損失

##### (b) 提言

洪水災害には、上記の 4 つの被害の減少に伴う便益に加え、

- ◆ 洪水によって停止した工業・商業活動等の営業被害；
- ◆ 道路等の冠水による交通の麻痺による経済的損失；
- ◆ 洪水によって適切な教育・治療等が受けられなくなる人的被害；
- ◆ 洪水発生後に動員される政府関係職員及び物資等災害応急対応の経費；並びに
- ◆ 洪水によって被災する住民の死亡・負傷等による国家的損失

等の多くの計上されていない直接被害と間接被害があり、これらを計上し初めて洪水対策案の適正な経済評価が可能となる。これらの損失及び被害の減少を便益として計上しても良いことが MEF のガイドラインには規定されているが、実際に計上するには、詳細な資料の収集及び研究



等が必要である。

よって今後、これらの損失及び被害の調査・研究を進め、そしてその成果を利用した、適切な洪水対策案の便益計上ができるマニュアル等の作成が必要である。


### 14.3.2 適切な河川管理

#### (1) 氾濫原開発の規制強化の必要性

##### (a) 現状

本調査において実施した現地踏査において、各流域の経済的開発が進んでいる状況を確認した。

例えば、調査団が実施した Mantaro 川流域における現地確認では、河道の氾濫原（洪水が発生すると直ぐに浸水を受け易い河道沿いの低平地）に近年住宅地の開発が行われていることが、過去の Google Earth の画像と比較する事で確認できた。（図 14.3.3 及び図 14.3.4 参照）

	Item	Deg.	Min.	Sec.	Ele.
	Lat	12	3	59.43	3217.2
	Lon.	75	14	22.631	
	Comment: According to ALA, these houses constructed by Informal Settlers.				

出典：調査団

図 14.3.3 河道沿いの氾濫原に建設された住宅地

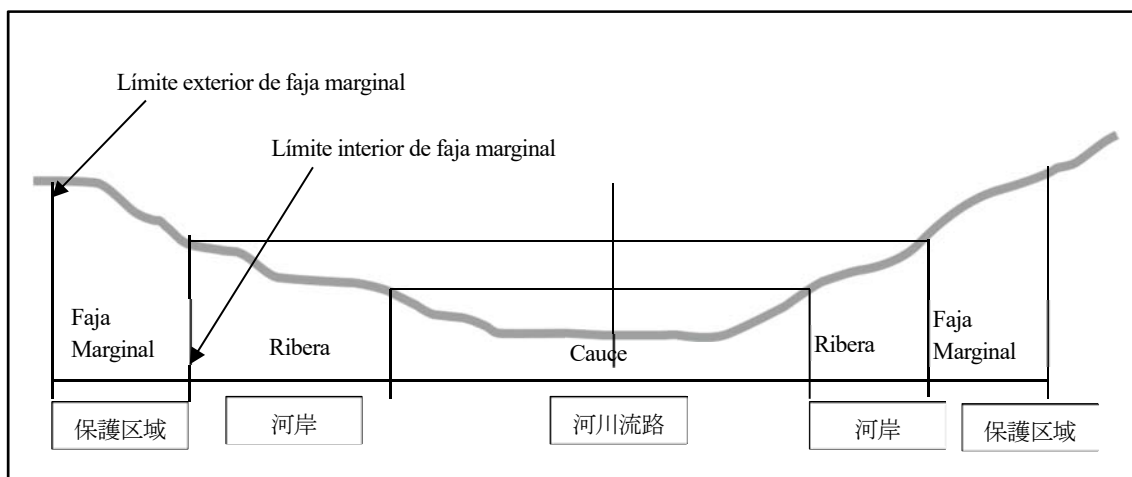
年代	Mantaro 川 Huamancaca 地区における Google Earth イメージ
1970's 氾濫原には家屋は建てられていない。	



出典：Google Earth の画像

図 14.3.4 近年に河道沿いの氾濫原の開発が始まった事例

これらの河岸は、本来 ALA が指定する、Faja Marginal（河川区域として保護される区域）として定義されているまたはされるべき区域の可能性が高く、治水面から見て、今後の洪水対策を実施する上でも堤防等の施設を建設する上で重要な区域である



出典：ANA

図 14.3.5 今後の洪水対策を実施することを考慮し利用が規制されるべき Faja Marginal 区域

(b) 提言

この河川沿いの氾濫原は、洪水時の河川内から溢れた超過洪水を一時的に貯留させる等重要な機能を持っており、氾濫原の無秩序な開発は、以下のような洪水現象に対する負の影響を与える。

- 河川の氾濫原（河道沿いの低平地）は、洪水が常襲する地域でありそのエリアで活動する人命及び資産は大きな洪水被害リスクが発生する。
- 河川の氾濫原（河道沿いの低平地）は、洪水時は河道としての機能を果たしている場合が多く、この地域の開発は河道の幅を狭めていることになる。よって洪水が発生した場合、以前より洪水時の水位が高くなったり、流速が速くなり、河岸の浸食・洗掘被害を発生させたり、他の地域の浸水被害を増大させる危険がある。

よって ANA 並びに AAA/ALA は、適切な洪水流量の設定の下、河川幅・河川計画流量・河川標準断面等を各河川区間において決定しオーソライズする河川計画の策定が各河川に必要である。

## (2) 洪水貯留効果及び遊水効果が期待される河道沿いの湿地・低平地の確保・保全の必要性

### (a) 現状（調査結果）

既に現在、河道の洪水流量を低減させている効果のある、河道沿いの湿地・低平地等は今後も保全を基本に河道計画並びに流域計画を検討しなければならない。

また、13 章の「13.3.2 項 2017 年 1~3 月実洪水氾濫現象の把握及び今後の対策方針」の (2) Piura 川の項でも言及しているが、現地の CRHC Chira-Piura では、Piura 市街地の河道の流下能力の増強が困難な事から、上流域での”Polder”と呼ぶ遊水地の建設計画を数箇所に構想している。

### (b) 提言

河道沿いの湿地・低平地は、現状のままでも河道の洪水流量を低減させる効果がある。このような場所を開発する場合は、下流区間に対し洪水流量増となる負の効果があるため、開発者が必ず、ANA 及び AAA/ALA の許可をもらうようなシステムの構築が必要である。

さらに、下流河道の流下能力を上げる事が困難な場合（例えば、家屋移転等に莫大な時間と資金が必要な場合）は、これらの河道沿いの湿地・低平地を遊水地として利用することも積極的に検討すべきである。

また、このような保全システムの構築及び遊水地の建設を進めるためには 14.2.1 で示した内容にも関連し、各河川に対し ANA 並びに AAA の指導の下、ALA が流域保全計画または河川洪水対策計画を策定すべきである。その中では、各河川区間における；

- 洪水防御レベル及び計画洪水流量；
- 必要河川幅；
- 必要堤防高；
- 区間内における保全地域及び洪水流量低減施設の位置と計画諸元；
- その他河川治水計画に関連する情報

を明記し、関係機関並びに地元の地方政府に伝えなければならない。

### (3) さらなる適切な河道維持管理工事の実施

#### (a) 現状

アンデス山脈を流下する多くの河川は、その地形・地質的特徴より、土砂生産と移動が活発である。現在、Piura-Chira 川流域では、上流で生産された土砂がダムの貯水池や下流の緩やかな縦断勾配河道に堆積している。この結果、堆積した土砂により河道の流下能力が減少している。

このような状況は、他の流域の河川でも数多く発生している。

#### (b) 提言

この上流から流出し河道に堆積し洪水時の流下断面を減少させている現象に対処するため、定期的な土砂掘削・浚渫作業を行わなければならない。また、その河道維持管理作業を適切に行うための技術面及び予算申請面における AAA/ALA 及び地方政府を対象とした技術ガイドラインの作成が必要である。

日本の河川の河床は、計画面での配慮や河川管理上の配慮で、河床が平衡するような努力が行われている。

ペルー国においても、今後、流域全体を考慮した土砂管理に取り組むことが重要である。

### (4) 気候変動が河川管理に及ぼす影響のモニタリングの必要性

#### (a) 現状

第 11 章において述べているように、IPCC やモリーナ大学カヨ・ラモス准教授の研究では、気候変動がペルー国の将来の降雨特性に及ぼす影響について定量的に評価されている。

#### (b) 提言

ANA 及び AAA は今後も気候変動に関するこれらの国内外の研究成果を継続的に収集・支援するとともに、ペルー国内の水文気象データの確実な収集、分析を継続し、気候変動が河川管理に及ぼす影響をモニタリングする体制を維持することが望ましい。その上で、気候変動がペルー国の水文特性に及ぼす影響が有意であると認められる場合には、その影響を河川計画・河川管理に反映させることを検討すべきである。

日本では、近年の短時間強雨の発生頻度の増加などから、気候変動の影響による水災害の激甚化が想定されており、水災害分野における気候変動への適応策の一例として、以下のような取り組みが提案されている<sup>12</sup>。

- ✓ 既存施設の機能向上：治水機能の増強等を行うダム再生、既存の下水道施設の増補管や貯留施設の整備など、既存ストックのより一層の機能向上を図る。
- ✓ 維持管理・更新の充実：ICT 等を活用し、河川や下水道の施設の状況をきめ細かく把握する。また、CCTV 等を活用し、洪水や内水に関する情報の把握に努める。

<sup>12</sup> 国土交通省気候変動適応計画 平成 27 年 11 月 国土交通省

- ✓ 水門等の施設操作の遠隔化等：水門等の確実な操作と操作員の安全確保のため、水門等の施設操作の遠隔化・自動化等を推進する。
- ✓ できるだけ手戻りのない施設の設計：気候変動により外力が増大し、将来、施設の改造等が必要になった場合でも、できる限り容易に対応できるよう、改造等が容易な構造形式の選定や基礎部等をあらかじめ補強しておくことなど、外力の増大に柔軟に追随できるできるだけ手戻りのない設計に努める。
- ✓ 決壊に至る時間を引き伸ばす堤防の構造：既に築造されている堤防の信頼性を向上させる観点も含めて、堤防が決壊に至るまでの時間を引き延ばし、避難等のための時間をできるだけ確保することを可能とするような堤防の構造について検討する。
- ✓ 土地利用状況を考慮した治水対策：輪中堤等によるハード整備と土地利用規制等によるソフト対策を組み合わせるなど、地域の意向も踏まえながら土地利用状況を考慮した治水対策を推進する。
- ✓ 避難を促す分かりやすい情報の提供：雨量の増大や洪水による河川水位の上昇、台風・低気圧による高潮等の危険の切迫度が住民に伝わりやすくなるよう、防災情報と危険の切迫度との関係を分かりやすく整理して提供するなど、情報の受け手にとって分かりやすい情報の提供に努める。

また他の諸外国では、気候変動の影響より定量的な形で河川管理に反映させる取り組みも見られる。例えばフィリピンでは、河川構造物の設計において気候変動の影響を考慮する場合に、10%の降雨量増加および0.3mの海面上昇を見込むことが設計ガイドライン(Design Guidelines, Criteria & Standards 2015)にて明記されている。

### 14.3.3 洪水対策案を実施するための適切な事業実施システム構築

#### (1) 基本的な事業実施体制の構築

##### (a) 現状

水資源法 (Ley 29338 Recursos Hídricos) に基づいて、ANA は、河川流域水資源を管理しており、この流域管理には洪水・土砂災害をはじめとする洪水災害リスク管理、洪水対策も含まれている。

Decreto Supremo No.001-2010-AG (23 de Marzo del 2010)により、ANA は国の水資源管理に流域管理局 (AAA : Autoridad Administrativa de Agua)、地方流域管理局 (Autoridad Local de Agua : ALA) 及び流域水資源委員会 (Concejo de Recuses Hidricos de Cuenca : CRHC) を下部組織または関連組織と位置付け、全国にある 159 流域の管理を行っている。

全国にある 14 の AAA の下に 71 の ALA (Autoridad Local de Agua) が設立され、ALA は、地域により 1~3 流域を受け持つ。各 AAA 及び ALA に地方政府のイニシアティブで CRHC が設立される。CRHC の Chairman は、州政府首相又は代表が任命され、CRHC メンバーは流域の水

資源に係るステークホルダーから選定される。この委員会に対し、ANA はメンバーとして参加する。河川流域水資源管理を行うにあたり、AAA 及び ALA は流域管理計画を策定し、流域のステークホルダーの集まりである CRHC にその管理計画を諮り意見聴取を行うことが義務付けられている。

## (b) 提言

上記のように、既に各流域を管理するシステムは構築されている。しかしながら、上記の組織的体制において洪水対策は以下の課題を持つ。

- 複数の AAA を流下するまたは関連する河川（例えば Huallaga River）等においては、洪水対策計画を統一化する明確なメカニズムがない；
- 洪水対策案を関連機関（ANA、PSI、州政府、地方政府）で分担するための統一的システムが無い；

これらの課題を解決するため、洪水対策案の実施における分掌メカニズムの策定が必要不可欠である。

## (2) 洪水対策を実施していくための予算の拡充

### (a) 現状

第2章において示しているように、MEF から提供された資料によると、2002年12月~2016年5月の約13.4か年間に於いて、SNIP によって採択された洪水災害関連事業費の合計は S/. 2,949百万である。

### (b) 提言

本調査において、概略で算定したペルー全国における優先的に実施すべき洪水対策案の総額は、事業規模を50年確率規模とした場合、約 S/. 6,000百万が必要となる。これには、治水等の計画策定費用、災害後の緊急復旧費用、上流で発生する土砂災害軽減事業及び河川の浚渫等の維持管理費用は含んでおらず、また、概略検討による洪水対策案の概算費用である。

この概略の事業費と比較しても、これまでの約13年間で投資してきた約 S/. 3,000百万（年間投資額として約 S/. 200百万/年程度）は、極めて少ないと言わざるを得ない。

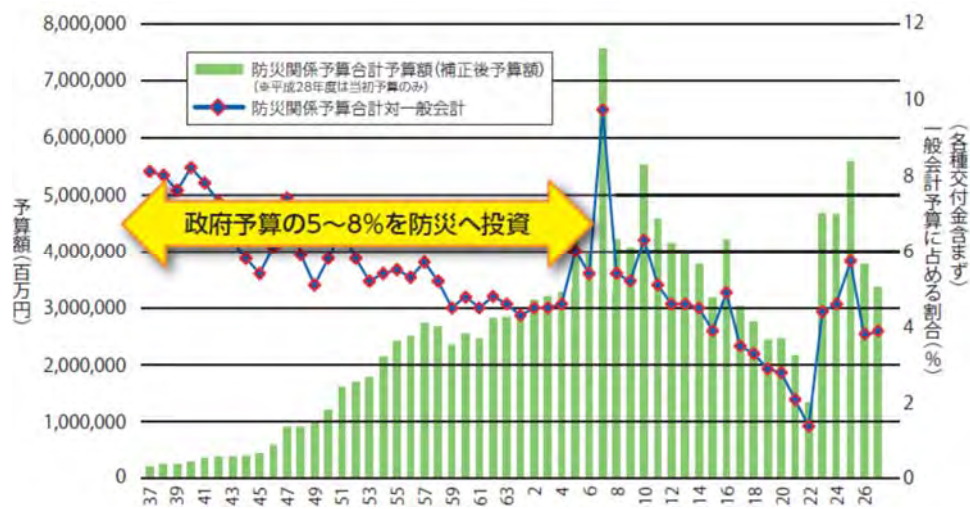
今後、ペルー国は災害後の緊急復旧事業及び維持管理事業のみではなく、災害リスク削減のための事前投資としての洪水対策を実施する必要がある。

JICA では本調査の前に、2014年に「防災セクター政策・制度調査」を実施した。この中でこれまでの日本が、多くの災害リスク管理対策に費用を捻出し、結果として洪水災害を主とする死者数の減少等の災害リスクを劇的に減少させてきたことを述べている。ここで改めて、日本の災害リスク削減対策への投資の経年的変化と洪水被害の近年の低減状況を図14.3.6及び図14.3.7として示す。

これら2つの図の結果と関連性は、これまでの日本の災害リスク削減への投資が災害による死



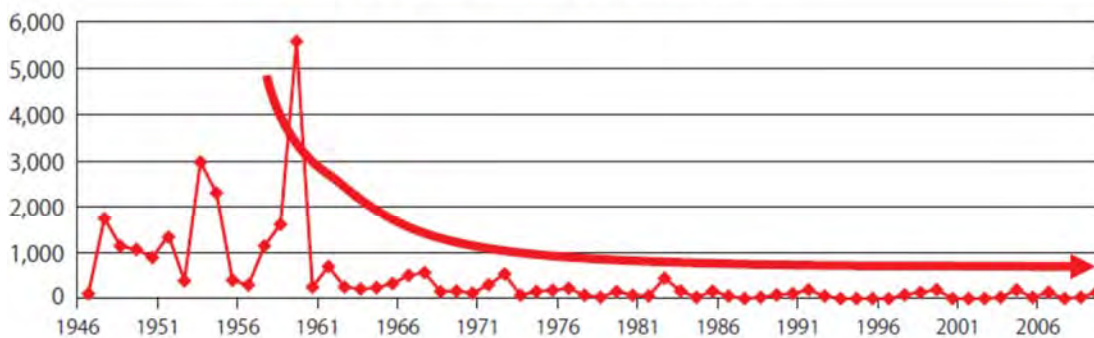
者・行方不明者数を大きく減らしてきたことを明確にしている。



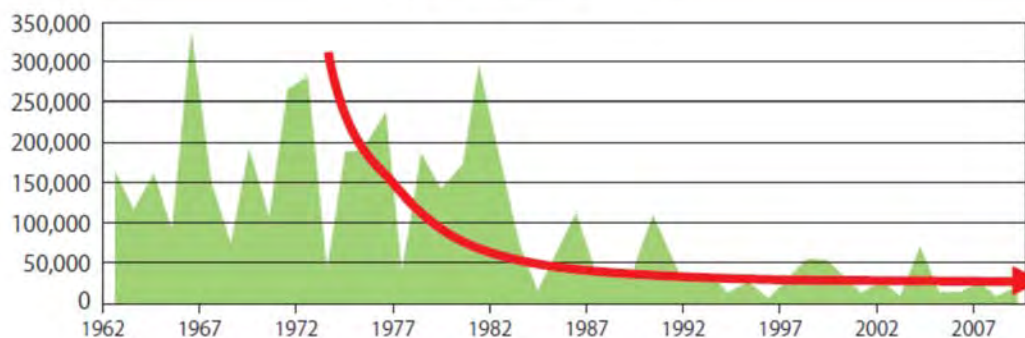
出典：平成27年度版防災白書，内閣府

図 14.3.6 日本の災害リスク管理投資額

### 洪水災害による死者数 (人)



### 洪水浸水域 (ha)



出典：「水害統計」，国土交通省

図 14.3.7 日本の洪水災害による死者数と浸水域の経年変化

### (3) AAA、ALA、州政府及び地方政府の能力強化の必要性

#### (a) 現状

洪水対策のための多くの工事及び活動、例えば河床浚渫、河岸の洗掘防止工、小規模な洪水被害軽減工事等の大部分は、AAA 及び ALA と連携した州政府または地方政府が実施している。

#### (b) 提言

現在の洪水対策活動は、以下の課題がある。

- 適切な洪水対策計画が無く、工事を実施するため適切な工事数量となっていないこと；
- 建設直後の洪水による、新たな構造物の被災；及び
- 洪水対策に負の効果を与える公共施設の建設を許可している事

これらの問題ある洪水対策活動は、河川工学及び洪水対策の知識が無い事に起因している。

これらの課題を解決するためには、AAA、ALA、州政府、地方政府への洪水対策に関連する技術・知識面の能力強化活動が必要である。併せて、ペルー国の広大かつ多岐に亘る洪水対策を限られた期間内で実現するためには、ローカルコンサルタントの技術力向上が不可欠である。したがって、中央政府あるいは先進的な技術を有する専門家の知見、技術を地方政府やローカルコンサルタントに浸透させるための技術ガイドラインの整備、定期的な研修の実施、人材交流が望まれる。

### (4) 新しい SNIP に基づく新しい洪水対策案実施ガイドラインの迅速な策定

#### (a) 現状

現在、ペルー国政府は公共事業実施のための SNIP の更新を進めている。今後は新しい SNIP 制度に基づき、洪水を含む災害リスク削減事業が実施されていく事になる。

#### (b) 提言

この新しい SNIP に基づく新しい洪水対策案実施ガイドラインもまた早急に更新する必要がある。このあたらしいシステムは 13.2.1 項に示した各河川の洪水対策計画策定を促進させるようなものとすべきである。

#### 14.3.4 洪水対策案計画策定における技術的課題

13.2.1 項に示したように、洪水対策案の便益が高い可能性の河川流域に対する迅速な流域治水計画策定促進のため、解析技術や検討手法の統一等の技術的な向上も必要である。このため、以下に示す 2 点の改善を今後検討すべきである。

##### (1) データ収集技術

#### (a) 現状

河川水位及び河川流量のような水文観測データ並びに河川の横断・縦断データ・地形データは



河川計画及び管理に必要不可欠なものであり、定期的に適切に収集しなければならない。

しかしながら、現在ペルーに存在するこれらのデータは限定的である。

## (b) 提言

水文観測データ並びに河川の横断・縦断データ・地形データは今後データの蓄積を行っていく必要がある。さらに、現在は、これらのデータは各機関がマニュアルで観測し、紙ベースで保存しており電子化されていない等の理由により政府機関間で十分には共有されていない。リアルタイムで水文観測されている河川はわずかであり、縦横断データがある河川も限られている。このような状況の元では、河川の土砂移動解析や洗掘の科学的解析は非常に困難である。したがって、データ収集に関する観測システムの技術的改善と人材の育成が必要である。なお、河道の土砂移動特性およびその経年変化を詳細に把握することを目的として、河道の縦横断測量と併せて河床材料調査を定期的実施し、データを蓄積することが望ましい。

## (2) 洪水解析モデル

### (a) 流域の氾濫特性に応じた解析を実施するための技術の普及

#### 現状

ペルー国ではこれまで、アメリカ陸軍工兵隊が開発・保守を行っている水理解析ソフトウェア HEC-RAS を主に用いて洪水時の氾濫現象を解析しており、ANA が 14 の流域を対象として実施した調査レポート「洪水制御のための原因対処 (Tratamiento de Cauces para el Control de Inundaciones)」においてもこの HEC-RAS を用いた洪水解析が行われてきた。しかし、このシミュレーションにおいては洪水流を一次元的に取り扱っていることから、急勾配で流下方向への流れが卓越し、浸水が河道沿いに限定される場合には氾濫現象の再現性は良好であるものの、低平地において浸水域が拡散する現象を精度よく再現することは難しい。

#### 提言

本調査では日本の ICHARM が開発する RRI モデルを用いて対象流域の氾濫現象を解析した。このモデルは河川からの氾濫流を二次元的に取り扱うため、低平地における浸水域の拡がり高精度良く解析することが期待できる。この RRI モデルや、その他の二次元水理解析ソフトウェア (例えば DHI の MIKE21 等) を用いた解析技術を関係機関の技術者が身に付ける事が今後の洪水管理において有用と考えられる。また 2016 年にリリースされた HEC-RAS の最新版 (Version 5.0 以降) においては、二次元流の解析機能が付加されている。RRI モデルについては 7 章に記載した通りの特徴がある。このため、河道計画策定の際には、流域の特性や解析の目的、求められる精度、想定される洪水対策施設に応じて、適切な水文・水理解析モデルを選択する必要がある。

## (b) グローバルデータについて

### 現状

ペルー国の広大な流域面積に対して全国的には、精度の高い土地被覆情報及び土地利用図の整備活動が始まったばかりである。

また、SENAMHI が管理する雨量観測所は 2010 年以降増え始め現在は約 1,000 箇所である。局所的な豪雨など降雨特性の空間分布を反映させた水文・水理解析を実施するために十分な観測密度とはいえない。

### 提言

本調査では流域の地表面の浸透のしやすさや流水の流れにくさ（粗度）を解析に反映するために、流域の土地被覆情報として衛星データ（MODIS）を活用した。ANA においては既に衛星地形データである ASTER の使用が普及しているが、これらデータの活用方法について国内外の知見を取り入れ、適切にデータを取り扱う技術を高めることが望ましい。

本調査では、流域内およびその近傍に実測の時間雨量データが存在しない場合には、衛星雨量データ GSMaP を用いて流域内の降雨の空間分布を把握し、またその雨量を地上雨量観測データとの比較により補正して流出・氾濫解析に適用した。

しかしながら、治水計画の策定には、観測精度等の観点から、本来地上の雨量観測データを利用することが基本であり、上述したように現在の密度をさらに増やすことが必要である。さらに、2010 年以降に設置された地上の雨量観測所を確率処理できるだけのデータを保有するためにはさらに 10 年以上の継続的な雨量を記録する必要がある。

## (c) 土砂動態を定量的に把握するための解析技術の習得

### 現状

13.2.1 項「洪水対策計画の迅速な策定及び整理」の中でも提言した通り、ペルー国では、洪水災害と合わせ土砂災害も頻発しており、洪水対策に合わせ、土砂災害を軽減するための計画を洪水対策計画に合わせて今後は作成すべきである。

### 提言

本調査では河川の氾濫および侵食を対象とした調査・検討を行ったが、本来、洪水流の挙動は土砂動態と密接に関連しており、適切な洪水管理のためには流域内の土砂移動特性を併せて検討することが望ましい。加えて、アンデス山脈沿いの溪谷に位置する支川では土砂災害が頻発していることから、流域内の土砂の発生・輸送・堆積状況を定量的に把握することはペルー国の総合的な土砂管理において重要である。一方で、土砂動態を定量的に解析するための手法はペルー国内では確立されていないのが現状である。このことから、国外で広く用いられている解析手法をある溪谷を対象として試験的に適用することから始め、ペルー国での適用可能性を確認しつつ、技術の普及を目指すことが望ましい。具体的には、溪谷における土石流の流下・堆積過程の解析や、河川において洪水流と土砂の輸送過程を一体的に解析する技術の習得を指し、適用可能な日

本の技術としては、例えば前者であれば砂防・地すべり技術センターが開発・保守を行っている Kanako (<http://www.stc.or.jp/10soft/003Eframe.html>)、後者であれば北海道大学が開発・保守を進めている iRIC (<http://i-ric.org/en/>) といったソフトウェアが無償で利用可能である。

### (3) 過去の災害履歴情報のさらなる充実

#### (a) 現状

ペルー国における主要な災害履歴データベースとして、INDECI が管理する SINPAD があるが、第 2 章において述べているように、このシステムは個別の災害を被災者数、被害金額で分けられるような災害データベースとして整備されていない。比較的大きな災害の場合は個別に災害報告書が作成され、災害箇所や当時の浸水深等が文章や表の中で明記されている場合があるものの、近年の主要な洪水被害のうち、明確に経済セクター別で被害額が参照できるのは 2010 年の Urubamba 流域で発生した洪水被害のみである。

#### (b) 提言

過去の災害状況を具体的かつ正確に記録・蓄積しておくことは将来の災害リスク管理を検討する上で極めて重要である。したがって、災害履歴情報を収集、整理、評価するための現状の手法をレビューし、必要であればその手法や人員体制を見直すことが望ましい。また、被害状況と併せて災害時に発生した自然現象を記録することが同様に重要であり、河川管理においては、洪水時の河道の痕跡水位、氾濫原の浸水深や浸水範囲などが該当する。これらの水理現象の把握においては、ドローンや衛星写真などの ICT 技術の活用可能性を検討することが望ましい。

なお、14.3.1(1)の提言で述べているように、これらの情報は、今後は INDECI や CENEPRED に協力する型式で ANA でも洪水対策のための主要な技術官庁として責任を持って収集・管理する事も検討すべきである。

### 14.3.5 災害リスクの理解促進のための手法の導入

#### (a) 現状

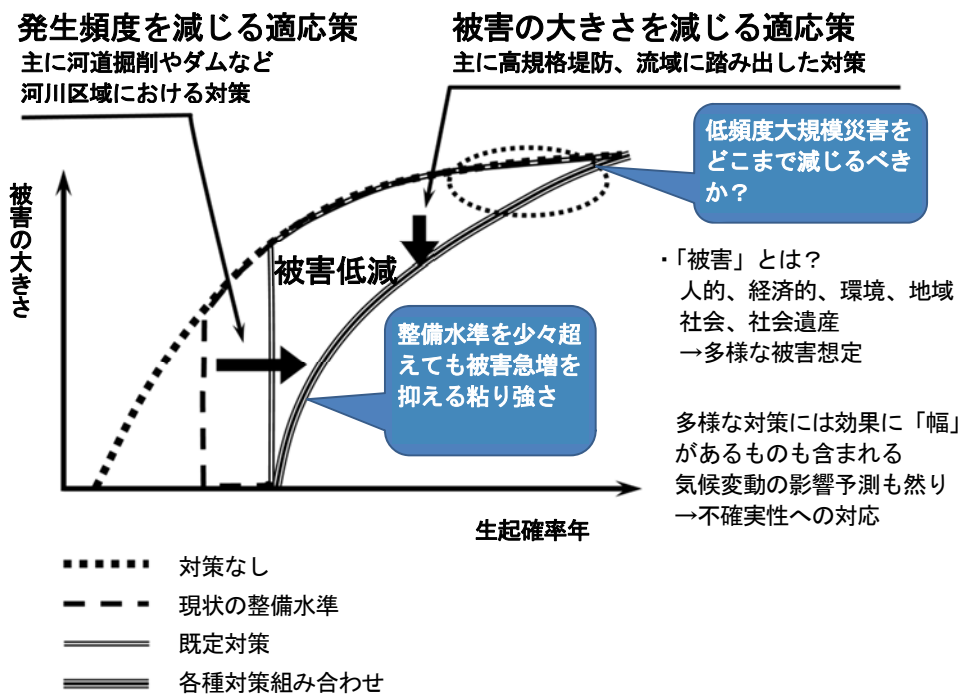
ペルー国における災害リスクの評価は、主に国家災害リスク予防研究センター (CENEPRED) が所管しており、ハザードの特定とハザードに係る脆弱性の分析、またはそのためのガイドラインを策定し既に実践しているが、現状では各地域の災害リスクを具体的な指標のもとに定量的に評価する手法や、防災事業を実施した場合の災害リスクの削減効果を具体的に評価する手法は確立されていない。

#### (b) 提言

適切かつ効果的な洪水対策案の実施のためには、対象地域が有する災害リスクや、事業実施によってもたらされる災害リスクの低減効果を具体的にし、関係者間で統一的な認識を持つことが重要である。このような災害リスクの具体化、視覚化を促進するツールとして、図 14.3.8 に示す

リスクカーブ<sup>13</sup>の活用が挙げられる。

例えば河川改修などによる対策は、抑止可能な洪水規模を増大させ、被害の発生頻度を減じる適応策として、グラフ上ではリスクカーブの横軸との交点の右側への移動として表される。同様に避難活動や流域の土地利用規制などの対策は、洪水規模の増大に対して被害の増加を減じる効果として、リスクカーブの傾きが緩くなることで表される。このように、縦軸の被害指標のもと同一グラフ上で種々の防災、減災効果をシームレスに評価することが可能であるため、各種対策の最適な選定・組合せの検討・分析に高い利便性を有し、多様なステークホルダー間における災害リスクの共通認識の醸成や、行政担当者の意思決定のための判断材料としての活用が可能である。このリスクカーブあるいはそれに準ずる手法をペルー国において試験的に導入し、防災関係者や住民の災害リスクの理解促進を図ることが望ましい。



出典：Evaluation of Riverrine Flood Risk Reduction by Scenario-wise Analysis for Response of Flood Prevention System to Wide-Scale Floods (Yuki TAKENAKA, Osamu ITAGAKI, Katsuya KOBAYASHI, Atsushi HATTORI, 2015.06)

図 14.3.8 災害リスクカーブの例（洪水被害低減対策検討を事例とした場合）

### 14.3.6 洪水予警報システムのさらなる積極的導入

#### (a) 現状

ペルー国では、洪水対策案を早急に実施するような河川流域ではなくとも、河川沿いの住民が洪水時に生命の危険に曝される可能性の高い河川が多く存在する。このような河川では、洪水予警報システムの導入による住民の避難行動の支援が効果的な洪水対策となり得る。

SENAMHI は一般的な気象災害情報（Aviso）を降雨に関して発表しているほか、Mantaro、

<sup>13</sup> 竹中裕基、板垣修、小林勝也、服部敦 様々な洪水規模に対する河道-構造物群システムの応答シナリオに基づく氾濫リスク・減災効果評価 河川技術論文集、第21巻、2015年6月

Urubamba、Cajamarquino 等の流域に対しては農業気象リスク情報も発表している。また SENAMHI は、Rimac、Chicama、Puno 川の 3 河川においてリアルタイムで気象情報を確認できるシステムを Web 上で公開している。しかし、実際にこれらの情報が避難行動にどの程度利用されているのかは不明である。

ANA は世銀の支援のもと、15 分間隔に雨量と水位データを入手できるシステムを 6 流域 (Tumbes、Piura、Chira、Chancay-Huarral、Chilica-Vitor-Chilli、Caplina-Locumba) において導入済みであるものの、外部へのデータ共有は行われていない。その他に ANA では昨年、Huayco の発生可能性が高い全国 108 の溪流 (Quebradas) に雨量計を設置し、リアルタイムで雨量をモニタリングし、警報を発出するシステムを構築している。

以上のように、予警報システムの導入、あるいは導入に向けた準備はある程度進んでいるものの、全国各地で頻発する洪水・土砂災害の発生状況を考慮した場合、導入状況は十分とはいえない。また導入済みではあるもののその活用状況が明らかとなっていないシステムがほとんどであり、明確に運用が確認できるのは Urubamba 川流域などごく一部の流域に限られる。

## (b) 提言

予算の制約等により、構造物対策が遅れる可能性が高い河川流域でも、早期洪水予警報システムを効果的に運用することによって住民の生命だけは守れるようにしておく必要がある。例えば、高度なシステムでなくても例えばアマゾン流域では、雨が降ってから洪水が居住地まで到達するのに十分な時間があり、簡易なシステムも十分に効果が期待できる。限られた予算と技術を利用してそれぞれの状況に適したそれぞれのレベルのシステム導入を積極的に図るべきである。この際、システムの導入に合わせて住民への洪水・土砂災害等の知識の啓発も同時に実施することにより、システムがより高い効果を発揮する点に留意すべきである。

### 14.3.7 洪水対策に係る情報の国家水資源情報システムへの蓄積

## (a) 現状

13.2.4 項に示したように、河川水位及び河川流量のような水文観測データ並びに河川の横断・縦断データ・地形データは河川計画及び管理に必要不可欠なものであり、定期的に適切に収集しなければならない。

しかしながら、現在ペルーに存在するこれらのデータは限定的である。

## (b) 提言

本調査において新たに収集した情報、水理解析、氾濫解析結果等を、ANA が可能な限り円滑に利用できるように、全てのでーたは、ANA の統合水資源管理計画に係る情報システム「国家水資源情報システム」に反映・蓄積できるようにすべきである。現地地点で想定する ANA が保存・更新すべきデータについて、表 14.3.3 及び表 14.3.4 に整理する。なお、保存・更新すべきデータについては、今後 ANA は、定期的に見直すこととする。

表 14.3.3 本調査で収集し ANA の SNIRH で保存更新すべき基本データ

Classification	Contents	Data format	Source (Original source)	SNIRH*
Topography	Administrative boundaries	GIS (shp file)	ANA, DEPHM	●
	Major cities	GIS (shp file)	ANA, DEPHM	●
	Roads, Railway	GIS (shp file)	ANA, DEPHM	●
	ALA,AAA boundaries	GIS (shp file)	ANA, DEPHM	●
	Topography map (1/100,000)	ecw.file	ANA, DEPHM (IGN)	●
Elevation data	SRTM (90m)	Raster data	USGS*1	●
	ASTER (30m)	Raster data	ANA, DEPHM (USGS)	●
	2m DSM**	Raster data	Study team	●
River	River basins	GIS (shp file)	ANA, SNIRH	
	River system ( river steam line)	GIS (shp file)	ANA, SNIRH	
Landuse	Land cover (1km)	ASCII data	GLCC*2	●
Population	Population,2013	GIS (Meta data)	Study team (Landscan)	●
	Population data ,2013	GIS (tiff)	INEI	●
	PBI per capita,2013	GIS (tiff)	INEI	●
Inundation area	Critical point of flooding	GIS (shp file)	ANA, DEPHM	●
Hydrology	Location of stations	GIS (shp file)	ANA, SNIRH	
	Daily rainfall	excel	ANA, SNIRH	
	Hourly rainfall	excel	ANA, SNIRH	
	Daily Discharge/Water level	excel	ANA, SNIRH	
	Isohyet	GIS (shp file)	ANA, SNIRH	
Dam	Location	GIS (shp file)	ANA, DEPHM	●
	Inventory of dams	PDF	ANA, DEPHM	●

\* Sharing data to ANA,SNIRH by the Study (at the end of the Study) ●が今後 SNIRH で保存を提案するデータ

\*\* DSM data will buy only some river basin (such as Rimac, Ica, and some more)

\*1 USGS:U.S. Geological Survey

\*2 GLCC:GLOBAL LAND COVER CHARACTERIZATION,USGS

表 14.3.4 本調査で作成し ANA の SNIRH で保存更新すべき流出・氾濫解析データ

Classification	Contents	Data format	Source	SNIRH*1	
Input data	Elevation	ASTER (30m)	ANA (Original source;USGS)	●	
		2m DSM	Study team	●	
	Land Cover	Land Cover	GLCC	●	
	Soil	Geological map	CGWM	●	
	River data	Flow direction	ASCII	Create by using elevation data	●
		Flow Accumulation	ASCII	Create by using elevation data	●
		River depth	ASCII	Conduct through RRI model	●
		River Width	ASCII	Conduct through RRI model	●
		Bank high	ASCII	Conduct through RRI model	●
Rainfall data	Basin mean rainfall	ASCII, excel	Create by using daily rainfall	●	
Output data *	Maximum flooding depth	Maximum water depth at inland area	Result of RRI simulation	●	
	Flooding depth	Water depth at inland area / calculation step	Result of RRI simulation	●	
	River discharge	River discharge	Result of RRI simulation	●	
	River water level	River water level	Result of RRI simulation	●	

\* Sharing data to ANA,SNIRH by the Study (at the end of the Study) ●が今後 SNIRH で保存を提案するデータ

## 14.4 提言の整理及び災害復旧スタンバイ借款におけるマトリックス作成への提言

### 14.4.1 提言の整理

14.2 節において提言した各項目は以下の表 14.4.1~表 14.4.5 のように整理される。

また、今後の洪水対策計画策定及び事業実施活動における ANA 内部の各部局の連携体制、並びに ANA と他機関における洪水対策計画策定及び事業実施の連携体制を図化すると以下の図 14.4.1 及び図 14.4.2 のように纏められる。さらに、図 14.4.3 には、本調査の調査団と ANA の間で議論している、今後の洪水対策案実施のための機関連携システム案を示す。

表 14.4.1 提言の整理（洪水対策計画の迅速な策定）

項目	関連する調査結果	提言	政策マトリックスに入れる前提条件案
洪水対策計画の迅速な策定	事業の高い経済性が期待できる流域リスト	1. これまでに策定された洪水対策計画・事業及び洪水被害の整理	2020 年までに、ANA/AAA 及び CENEPRED は各流域の既往の洪水被害、策定した治水関連計画及び実施した対策・事業を纏めた流域治水情報を作成する。
		2. 経済効果が高い流域における迅速な洪水対策計画策定	2020 年までに、ANA/AAA は△△流域以上の河川流域洪水対策を上流の土砂災害対策計画及び維持管理計画も含めて策定する。（提言 7、11 及び 16 と同じ。）
		3. 治水計画への土砂災害対策・流域土砂管理計画の考慮	
		4. 間接便益算定の必要性とそのためのマニュアル策定及び調査研究の実施	ANA は、MEF と共に洪水対策案の経済性分析のための主に州政府及び地方政府を対象とした事業実施者向けの「洪水対策案経済性分析マニュアル」を 2020 年までに策定する。（提言 12 と同じ。）

表 14.4.2 提言の整理（適切な河川管理定）

項目	関連する調査結果	提言	政策マトリックスに入れる前提条件案
適切な河川管理	モデル流域において検討した必要堤防規模及び洪水氾濫解析結果	5. 氾濫原開発の規制強化の必要性	2020 年までに、△△以上の河川の『河川区域“Faja Marginal”』が洪水氾濫計算または洪水対策計画の策定に基づき提案された「河川幅」及び「計画堤防断面」に基づき、指定される。
		6. 洪水貯留効果及び遊水効果が期待される河道沿いの湿地・低平地の確保・保全の必要性	2020 年までに、△△以上の河川流域における保全地区の洪水流量低減効果が評価され、洪水対策面からも保全活動が促進される。
		7. さらなる適切な河道維持管理工事の実施	2020 年までに、ANA/AAA は△△流域以上の河川流域洪水対策を上流の土砂災害対策計画及び維持管理計画も含めて策定する。（提言 2、3、11 及び 16 と同じ。）

項目	関連する調査結果	提言	政策マトリックスに入れる前提条件案
		8. 気候変動が河川管理に及ぼす影響のモニタリング	2020年までに、ANAは最新の水文気象データに基づき、△△以上の河川流域における気候変動の影響評価を実施する。

表 14.4.3 提言の整理（洪水対策案を実施するための適切な事業実施システム構築）

項目	関連する調査結果	提言	政策マトリックスに入れる前提条件案
洪水対策案を実施するための適切な事業実施システム構築	過去の洪水対策ために執行された予算	9. 基本的な事業実施体制の構築	2020年までに、ANAは全国の洪水対策を実施するための基本的中央機関、州政府及び地方の洪水対策分掌（責任分担）案（事業実施ガイドライン）を策定する。
		10. 洪水対策を実施していくための予算の拡充	2020年までに、ANAとMEFは協力して、年間洪水対策投資額をS/. 300百万以上とする。
	洪水対策策定のために実施された各河川の現地踏査結果	11. AAA、ALA、州政府及び地方政府も能力強化の必要性	2020年までに、ANA/AAAは△△流域以上の河川流域洪水対策を上流の土砂災害対策計画及び維持管理計画も含めて策定する。（提言2、3、7及び16と同じ。）
		12. 新しいSNIPに基づく新しい洪水対策案実施ガイドラインの迅速な策定	2020年までに、ANAはAAA/ALA、州政府・地方政府を対象とした洪水対策強化活動を開始する。  ANAは、MEFと共に洪水対策の経済性分析のための主に州政府及び地方政府を対象とした事業実施者向けの「洪水対策経済性分析マニュアル」を2020年までに策定する。（提言4と同じ。）

表 14.4.4 提言の整理（洪水対策案計画策定における技術的課題）

項目	関連する調査結果	提言	政策マトリックスに入れる前提条件案
洪水対策案計画策定における技術的課題	降雨解析・洪水氾濫解析	13. データ収集技術の向上	2020年までに、ANAのOSNIRHは洪水対策に係る河川情報（縦横断面データ・河床材料データ・降雨解析データ・洪水氾濫解析データ等）を管理・更新するシステムを構築する。（提言20と同じ。）
		14. 洪水解析モデルの向上 （流域の氾濫特性に応じた解析を実施するための技術の普及）	2020年までに、ANAはAAAの職員も含めて洪水解析及び河川構造物ができる職員を△△名以上配置する。



項目	関連する調査結果	提言	政策マトリックスに入れる前提条件案
		15. 洪水解析モデルの習得 (データ不足を克服するためのグローバルデータの活用)	2020年までに、ANAはグローバルデータ(降雨・地形情報)等を利用した洪水解析等を△△河川以上で実施する。
		16. 洪水解析モデル(土砂動態を定量的に把握するための解析技術の習得)	2020年までに、ANA/AAAは△△流域以上の河川流域洪水対策を上流の土砂災害対策計画及び維持管理計画も含めて策定する。(提言2、3、7及び11と同じ。)

表 14.4.5 提言の整理 (その他)

項目	関連する調査結果	提言	政策マトリックスに入れる前提条件案
その他	降雨解析・洪水氾濫解析	17. 過去の災害履歴情報のさらなる充実	2020年までに、INDECIは個別の災害の被害状況が確認できるデータベースを構築し公開する。
		18. 災害リスクの理解促進のための手法の導入	2020年までに、ANAは△△河川以上において、リスクカーブもしくはそれに準ずる手法を用いた現状リスク分析手法に洪水対策によるリスク削減の効果を考慮したリスク分析手法の手法を確立する。
		19. 洪水予警報システムのさらなる積極的導入	2020年までに、ANAは△△河川以上において、リアルタイムの降雨・水位観測・データベースシステムを構築する。
		20. 洪水対策に係る情報の国家水資源情報システムへの蓄積	2020年までに、ANAのOSNIRHは洪水対策に係る河川情報(縦横断図データ・河床材料データ・降雨解析データ・洪水氾濫解析データ等)を管理・更新するシステムを構築する。(提言13と同じ。)



出典：調査団作成

図 14.4.1 ANA 内部における洪水対策計画策定及び事業実施の各部局の連携体制 (案)

**上記図 14.1.1 の説明：**

ANA の各組織は DEPHM を中心に流域洪水対策計画の策定と事業実施のためにそれぞれ、以下の責任を持つべきである。

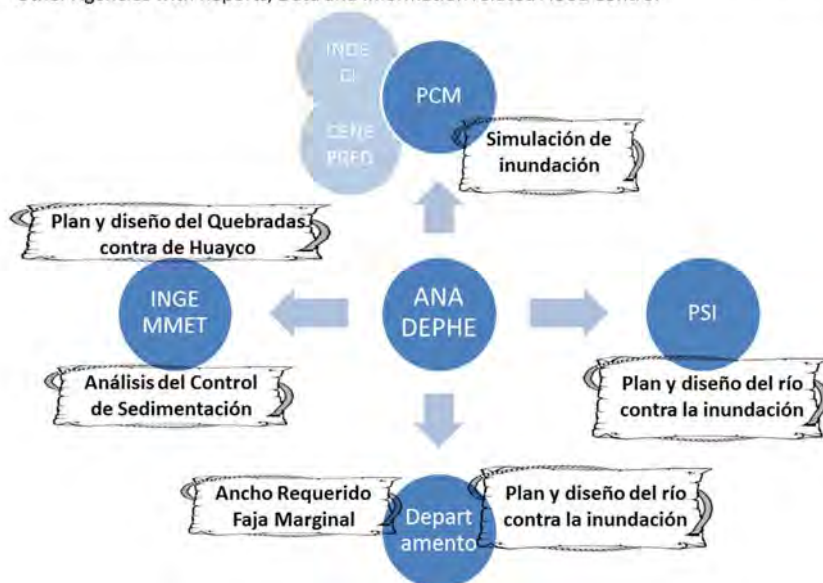
**OSNIRH**：利水データの蓄積・共有に留まらず、治水関連のデータ・解析結果の多機関・国民への共有が必要である。

**DGCCI**（ナレッジマネジメント・調整部）：DEPHM が策定した具体的計画、ガイドライン、マニュアルの AAA/ALA への提供と実施のための能力強化活動が必要である。

**DCPRH**（水資源保全管理部）：河川区域（Faja Marginal）を決定するためのガイドラインの策定及び AAA/ALA が設定した Faja Marginal について管理を行う部局である。よって、DEPHM が策定する治水関連ガイドライン・マニュアルに従った新たな Faja Marginal 設定ガイドラインへの更新及び AAA/ALA が設定する Faja Marginal と河道計画の整合性確認等の所掌が必要である。

**MGRH**（統合水資源管理近代化事業部）：ANA で唯一の具体的事業の実施ができる部であり、今後の流域洪水対策計画策定の進捗に合わせ、最優先で実施すべき事業の実施機関としての役割が求められる。

Based on the Formulation of Flood Control Plans for River Basin, ANA (DEPHE) shall provide Other Agencies with Reports, Data and Information related Flood Control



出典：調査団作成

図 14.4.2 ANA と他機関における洪水対策計画策定及び事業実施の連携体制（案）

**上記図 14.1.2 の説明：**

洪水対策案の迅速な実施及び治水活動の効果発現の促進には ANA 内部の連携に加え、中央機関間の連携も必要である。

そのためには、ANA を中心とする積極的なデータの情報と共有が必要である。各機関の強化すべき役割及び共有すべきデータ・情報は以下の通りである。

**ANA：**内部組織である OSHIRH を通し、既にモニタリングしている降雨・水位データは Web と通し共有しているが、今後は DEPHM を中心として、以下の情報をさらに各関連機関とデータ・情報を共有すべきである。

**PCM (INDECI/CENEPRED)：**実施した洪水シミュレーション結果の概要。各流域の現況の治水安全度と将来の治水計画。

**INGEMMET：**流域、特に上流部における治水対策案の共有。土砂解析結果の共有。

**農業灌漑省 PSI：**流域の治水計画案の共有。

**州政府・地方自治体：**流域の治水計画の共有。特に、必要河川幅の共有

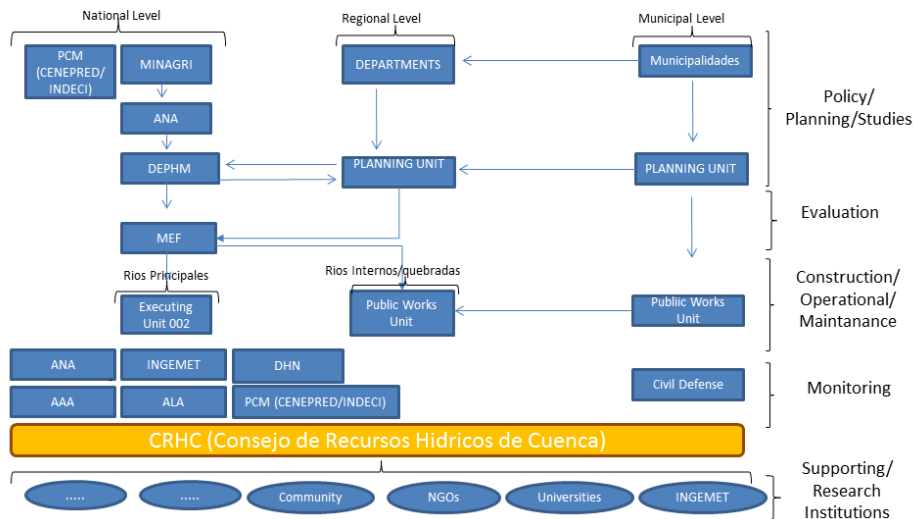
一方、各関連機関は、上記の共有データに基づき、洪水対策面から以下の活動が促進可能となる。

**PCM (INDECI/CENEPRED)：**地域別洪水リスクの確認、分析。リスクマップの作成。州政府、自治体へのリスク低減に向けた指導等。

**INGEMMET：**土砂災害の分析、対策案策定のためのガイドライン・マニュアルの策定及び更新。

**農業灌漑省 PSI：**洪水対策の事業化と実施の迅速化。流域の整合性の取れた洪水対策案の実施。

**州政府・地方自治体：**河川計画を踏まえた土地利用計画の策定・更新。個別事業の流域全体洪水対策計画との整合性確保。



出典：調査団作成

図 14.4.3 洪水対策案実施における関係機関の役割分担（案）

### 上記図 14.1.3 の説明：

図 14.1.2 において示した今後のデータ・情報の共有とともに、洪水対策案の実施における各機関の所掌案を示すと、図 14.1.3 のように整理できる。具体的所掌は以下の通りである。

#### 1. 治水対策事業の計画策定に関わる機関：

基本的には、今後 ANA が流域洪水対策計画の策定を指導していく事になるが、流域洪水対策計画のプロセスには以下の機関が関わるべきである。

レベル	機関	所掌
中央機関	PCM	流域治水対策計画のガイドライン・マニュアルの承認 個別流域治水計画の確認。 洪水対策実施機関のデマケーション。
	ANA	流域治水対策計画のガイドライン・マニュアルの策定 個別流域治水計画の策定支援
州政府・地方自治体	計画局 / 計画部	流域治水対策計画の策定

#### 2. 個別流域治水計画の承認：

策定された個別の流域治水計画が経済性の面から最終的には「MEF」によって承認されるべきである。また、MEF は全体の事業内容規模から、実施能力面から各個別事業（サブプロジェクト）の実施機関案への指導・承認を行う。

#### 3. 個別流域洪水対策の実施：

流域洪水対策計画の承認及び実施機関の決定に従い、中央機関、州政府・地方自治体がそれぞれの個別事業（サブプロジェクト）を実施する。

#### 4. 個別流域洪水対策実施モニタリング：

洪水対策案の計画策定及び実施のモニタリングは、基本的には、AAA 及び ALA がしなければならない。

その他関連する機関として、PCM (INDECI/CENEPRED)、INGEMMET 及び DHN 並びに地方政府の防災担当部局があり、これらの機関もデータが共有されそれぞれモニタリングが行われるべきである。

#### 5. 他の関連機関の所掌：

他の関連機関は、個別の洪水対策案毎ではなく、流域委員会（CRHC）を通じた建設的な議論の場を通して治水事業に関わるべきである。この意味において CRHC は、洪水対策計画と事業の実施を含めた、最終的な意思決定機関となることが望ましい。

## 14.4.2 災害復旧スタンドバイ借款におけるマトリックス作成への提言

前項 14.4.1 項において整理した本調査における提言は、現在 JICA がペルー国に対して支援を行っている「災害復旧スタンドバイ借款」における政策マトリックスにおける目標活動として含める事が可能であるが、政策マトリックスへの採用の可否については所要期間、予算、実施機関の能力等を踏まえて検討が必要である。

前項の表 14.4.1~表 14.4.5 には、達成難易度、緊急度、及び支援の必要性の有無等が異なる提言に関連する政策マトリックスの前提条件案を表の右端に示している。

また、本報告書のドラフト・ファイナル・レポート (DF/R) 説明時 (2017 年 2 月) には、カウンターパートである ANA の長官及び直接的に調査に関わった技術職員からも提言についての見解の聞き取りを行った。

これらを整理すると次頁の表 14.4.6 に示すように纏められる。

本調査の最終的な災害復旧スタンバイ借款における政策マトリックスの Condition 案としては、今後のペルー国における治水安全度に直接的に貢献でき、更には緊急度が高く且つ比較的達成難易度が低いものであるべきと判断する。結果として以下の(1)～(3)に示す3つの Condition 案を基本にペルー側と議論を進める事を推奨する。

**(1) Condition 案 1 : 2020 年までに、ANA は 2 流域以上の河川流域洪水対策計画を上流の土砂災害対策計画及び維持管理計画も含めて策定する。**

14.3.1 項の(2)において提言しているように、本来全ての洪水対策案は、流域毎に策定される流域一貫の治水整備方針が有り、それぞれの地先洪水対策（洪水から守られるべき地点の個々の規模の小さい洪水対策）は流域全体として整合性を持ちながら実施されるべきである。

また、治水効果を持つダム建設、放水路建設及び遊水地建設と言った大型の洪水対策は流域全体の治水計画を策定せずに事業を実施した場合、将来において施設規模が不足したり規模が過大で無駄な投資となったりする可能性がある。

上記のような状態を避けるためにも、まずは流域洪水対策計画の策定が求められる。現在 ANA は、Chira-Piura 川流域、Chancay-Lambayeque 川流域、Rimac 川流域と言った川沿いの洪水リスクが高い地域に多くの住民や資産が張り付いている流域または過去に大きな洪水や土砂災害が発生し地域経済に大きな損失を与えている流域における流域洪水対策計画の策定を実施する意思を有している。

これらの活動を迅速に実施するべきである。ANA においては、これまでに流域洪水対策計画の策定をしたことが無く、河川測量の実施等を含めた基礎調査及び基礎情報の収集から始めなければならず、1つの流域の流域洪水対策計画の策定には1年半~2年程度の期間が必要と想定する。また、これまでに策定したことがないため、海外の機関を含めた技術的な支援が必要となり、大学等技術・調査機関との連携による実施も望まれる。よって、これらの支援や連携を進めたとして、2020年7月までの約3年間に2流域以上での流域洪水対策計画の策定が可能である。

第2章 2.2.1 項(2)に示した、世銀の2015年に開始された2ND-DRM-DPL-CATDDOにおいては、同様に政策マトリックス内の1つの指標として同様に「洪水対策を策定した流域数」の目標値が4流域として設定されている。しかしながら2016年3月現在、達成した数値は「0」と報告されている。JICAの災害復旧スタンバイ借款の政策マトリックスとして改めて本活動を早急に進めるべきである。

**(2) Condition 案 2 : 2020 年までに、ANA は関連する機関と共に、4 流域以上の既往の洪水被害、策定した治水関連計画及び実施した対策・事業を纏めた流域治水情報を作成する。**

上述したように、本来全ての洪水対策案は、流域毎に策定される流域一貫の治水整備方針が則り実施されるべきである。一方、計画の策定のためには、治水に関連する流域の基礎情報の収集と蓄積があつて初めて妥当な計画の策定が可能である。本章 14.3.1 項の(1)に示したように、流域の利水情報のみならず治水関連情報のデータベース化が必要である。まず、治水情報のデータベース化及び流域洪水対策計画策定の第一歩として、14.3.1 項の(1)の図 14.3.1 に示したような河川治水台帳の策定をする

ことが望ましい。

前項では、政策マトリックスの1指標として2流域以上での流域洪水対策計画の策定を求めた。流域洪水対策計画の策定にはこのようなこれまでの流域治水情報の整理が必要であり、流域洪水対策計画の策定を進める一過程としてこの流域治水情報の策定は自動的に完成する。

よって、目標としては、今後継続的に進める流域洪水対策計画の策定の準備活動としてさらに2流域、合わせて4流域において、図 14.3.1 に示すような既往の洪水被害、策定した治水関連計画及び実施した対策・事業を纏めた流域治水情報の策定が2020年7月までに完成する活動を進めることを提言する。

**(3) Condition 案3 : 2020年までに、ANAは、MEFと共に洪水対策案の経済性分析のための主に州政府及び地方政府を対象とした事業実施者向けの「洪水対策案経済性分析マニュアル」を2020年までに策定する。**

14.3.1 項(4)において記述しているように、既にMEFでは洪水対策に関する事業化ガイドライン (Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o Control de Inundaciones en Areas Agrícolas o Urbanas 及び Guía Simpleficada Para La Identificación, Formulación y Evaluación Social De Proyectos De Protección De Unidades Productoras De Bienes y Servicios Públicos Frente A Inundaciones, A Nivel de Perfil) 等を策定しており、洪水対策案策定の標準化は進められている。しかしながら、これらのガイドラインのみでは殆どの州政府・地方自治体が提出する洪水対策案の予算要求書においては、MEFが要求する洪水対策案としての適切性の判断基準をクリアできずにいる。これには、勿論、上述したように流域洪水対策計画の策定を進めれば解決できるはずではあるが、直ぐにペルー全国の流域において流域洪水対策計画の策定が進められることは非常に困難である。

一方、今回の2017年1~4月におけるEl Nino Costero現象による洪水・土砂災害被害の復興は中央政府レベルで事業の経済性の検討を進める前から大きな予算が確保され、現在実施準備に入っている。これらは、我々が、洪水被害の経済的損失が感覚的にとても大きなもので、将来の洪水発生被害を減らす個別の洪水対策案が必要なことが国の発展のために必要であることを感覚的に理解していることを示している。

以上のような状況の下、今後は、流域洪水対策計画の策定活動と並行して、小規模な治水対策事業を州政府・地方自治体が進められるようなマニュアルの策定、特に、洪水対策案の便益算出方法の策定が必要である。流域洪水対策計画の策定においては、事業の経済分析を実施することになり、これらの活動・検討の成果をマニュアルの第一稿として策定することが可能である。

表 14.4.6 提案したマトリックス条件案の難易度・緊急度・支援の必要性（案）

提言 No.	マトリックス条件案	達成難易度	条件の緊急度	JICA/WB 等の支援必要性	調査団コメント	Peru 側コメント		
						ANA 長官	C/P 職員	MEF
1	2020 年までに、ANA は関連する機関と共に 4 流域の既往の洪水被害、策定した治水関連計画及び実施した対策・事業を纏めた流域治水情報を作成する。	易	短	無し		*1	*7	
2, 3, 7, 11-1, 16	2020 年までに、ANA は 2 流域以上の河川流域洪水対策計画を上流の土砂災害対策計画及び維持管理計画も含めて策定する。	中	短	必要		*1 *2	*8	
4, 12	ANA は、MEF と共に洪水対策案の経済性分析のための主に州政府及び地方政府を対象とした事業実施者向けの「洪水対策案経済性分析マニュアル」を 2020 年までに策定する。	難	短～中	必要		*3 *4		*11
5	2020 年までに、2 流域以上の河川の『河川区域“Faja Marginal”』が洪水氾濫計算または洪水対策計画の策定に基づき提案された「河川幅」及び「計画堤防断面」に基づき、指定される。	難	短～中	必要		*5		
6	2020 年までに、2 流域以上の河川流域における保全地区の洪水流量低減効果が評価され、洪水対策面からも保全活動が促進される。	難	中	必要				
8	2020 年までに、ANA は最新の水文気象データに基づき、2 流域以上の河川流域における気候変動の影響評価を実施する。	中	長	無し	大学等との連携が望ましい			
9	2020 年までに、ANA は全国の洪水対策を実施するための基本的中央機関、州政府及び地方政府の洪水対策分掌（責任分担）案（事業実施ガイドライン）を策定する。	易～難	短	無し	各機関の同意に時間が係る。法律で決めるのであれば難易度は上がる。*13	*6 *4		
10	2020 年までに、ANA と MEF は協力して、年間洪水対策案投資額を S/. 300 百万以上とする。	中	短～中	無し	MEF は事業提案書作成能力の向上が必要との見解。			*11 *12
11-2	2020 年までに、ANA は AAA/ALA、州政府・地方政府を対象とした洪水対策案強化活動を開始する。	中	中	必要		*4		*12
13, 20	2020 年までに、ANA の OSNIRH は洪水対策に係る河川情報（縦横断面データ・河床材料データ・降雨解析データ・洪水氾濫解析データ等）を管理・更新するシステムを構築する。	易	短～中	無し	OSNIRH への動機づけが必要		*9	
14	2020 年までに、ANA は AAA/ALA の職員も含めて洪水解析及び河川構造物の計画ができる職員を 14 名以上配置する。	難	中～長	必要	本来は、ANA が自求人材育成をしなければならない。			
15	2020 年までに、ANA はグローバルデータ（降雨・地形情報）等を利用した洪水解析等を 2 河川以上で実施する。	難	中	必要	2, 3, 7, 11-1, 16 に関連。			
17	2020 年までに、INDECI は個別流域の災害の被害履歴状況が確認できるデータベースを構築し公開する。	中	短～中	無し	INDECI への動機づけが必要			
18	2020 年までに、ANA は 2 河川以上において、リスクカーブもしくはそれに準ずる手法を用いた現状リスク分析手法に洪水対策によるリスク削減の効果を考慮したリスク分析手法の手法を確立する。	難	中～長	必要				
19	2020 年までに、ANA は 10 河川以上において、リアルタイムの降雨・水位観測・データベースシステムを構築する。	易	短～中	(必要)	既に世銀が支援を表明。		*10	

## ANA の提言へのコメント

### 長官説明時（長官からのコメント）

- \*1: 過去にも決して少なくない河川で洪水対策計画が策定されたが Chira-Piura 流域等を除き事業化はされなかった。今後は事業を進めていかなければならない。  
上記の長官のコメントに対する調査団のコメント：基本的にこれまでペルー国で策定され実施されてきた洪水対策計画と事業は、流域全体の治水計画ではなく、対象地域に限定された洪水防御計画であったと判断している。よって、流域の上流や下流の状況が変化すれば、守るべき対象地域における流量及び建設されるべき堤防の高さ等が変化する可能性が生じてしまう。本調査で提案している「流域洪水対策計画」の策定は、流域全体を考慮して、将来も大きく変わることはない治水対策方針を策定することである。
- \*2: 特に太平洋流域を流下する河川における堆砂問題は洪水対策を考える上での1つの重要な要素だと考える。
- \*3: 洪水対策は50年または100年以上の洪水に対して事業化されるべきであると考えているが、事業化に際しては費用-便益評価をして経済性も評価されなければならない
- \*4: 洪水対策、特にガイドライン等の作成に関しては ANA がイニシアチブを取っていく。
- \*5: 現在、徐々に河道が開発によって狭くなっていることは報告書に同意する。事業には家屋移転も必要であるが、ペルー政府は危険な地域に存在する家屋は移転等も着実に実施していく。
- \*6: 洪水対策案の実施に関しては現在国会で議論している。この結果を受けて、洪水対策実施の主要な中央機関が決定するはずである。本調査によるペルー国における洪水対策案の概要を示した調査は国会の議論の促進に貢献できると考える。

### C/P 職員からのコメント

- \*7: 流域別洪水対策マスタープランが必要なのは十分に理解している。本調査の優先流域及び2017年洪水被害状況を考慮して Rimac、Chira-Piura 及び Chancay-Lambayeque がまず策定すべき流域であると認識している。
- \*8: 洪水対策の M/P を流域内の土砂災害対策も含めて策定したい。
- \*9: 可能である。簡単にできる（はず）。
- \*10: 世銀が新たに10流域のリアルタイムの降雨・水位観測・データベースシステムの構築支援をしてくれることになっている。

### MEF 職員（防災担当）からのコメント

- \*11: 治水便益の算定の研究とその知識普及が必要
- \*12: 地方自治体を中心とした、洪水対策案の実施に対する能力強化が必要。2016年、地方自治体から30を超える洪水対策案の実施の提案があったが、書類審査を通り事業化が採択されたのは3件だけであった。洪水対策案の実施とその効果指標の丁寧なガイドライン・マニュアル及び地方自治体職員の能力強化が必要。

## その他

- \*13: 河川管理の責任・所掌等を明確にする法律が必要であり、この法律が策定されなければ、治水活動がスムーズに継続しない、との専門員からの指摘もあり。



## 14.5 洪水・土砂災害の対策における本邦技術 / 伝統的洪水・土砂災害対策技術の紹介

### 14.5.1 構造物対策

洪水・土砂災害対策のうち、ここでは、土砂災害に対する構造物対策における本邦技術 / 伝統的洪水・土砂災害対策技術を紹介する。以下に表 14.5.1 として災害対策の技術的課題とペルー国で今後積極的に導入を検討すべき課題解決に向けた技術を整理する。

表 14.5.1 現地における課題及び紹介する本邦技術

技術的な課題	技術の紹介
日本の伝統的な技術	
土砂生産源である裸地が広く分布しており、面的な抑制対策が必要である。	面的対策は、堅牢な構造物で山地全体を被覆することは現実的でないため、人力施工も可能な ● <b>植栽による土砂生産抑制</b> を推奨する。本邦では伝統的な工法として多様な植栽工が存在する。
砂防施設が設置されていない溪流が多い。堰堤工の場合は、溪流幅が非常に大きいため施設規模が大きくなり、流路が固定されていないため施設配置も困難である。	● <b>導流堤・流向制御工等</b> の線状構造物により流路・流向を固定化することで氾濫範囲を縮小する。また溪流内に ● <b>緩衝樹林帯</b> を設置することで土砂移動を抑制する。
本邦技術	
生コン工場に限られており、大規模なコンクリート構造物が施工可能な箇所が限られる。	生コン製造プラントから離れている現場では、現地発生土砂とセメントを混合して現場製作する ● <b>砂防ソイルセメント</b> を推奨する。一般的な土工機械を用いることで大規模な構造物を築造することができる。 同様な現場条件で道路が比較的整備されている現場では、プレキャスト部材を現場で組み立てることで構造物を建設する ● <b>ブロック積堰堤</b> を推奨する。
山際まで開発が進んでいる地域では、狭小地に施設配置せざるを得ない。	狭小地に設置可能な対策工として、鋼製部材を使用した製品がある。スイス製のリングネット工が採用されているが、本邦独自の製品として ● <b>杭式土石流対策工</b> を紹介する。
その他の技術	
道路事情が悪く、工事用道路の整備が困難な箇所が多い。	工事用道路の整備が困難な箇所における資機材の運搬手段として、本邦で一般的 ● <b>索道および工事用軌道</b> の砂防工事における導入を推奨する。

なお流路の浚渫及び河道掘削は、工事費は膨大となるが、比較的容易に施工できること、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、出水時にも効果を発揮しているため、今後も引き続き実施することを別途推奨する。但し、浚渫にあたっては、勾配や比高の急変を避けるように注意すべきである。また、河道掘削や浚渫は、あくまでも仮設対策である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。

以下に上記の表 14.5.1 で示した導入を検討すべき技術を詳述する。

#### (1) 植栽による土砂生産抑制

日本はかつて燃料材の採取や牛・馬の放牧、あるいは焼き畑などが盛んであったため、特に山地は

裸地が広く分布していた。このため、土砂流出による災害が多発していたが、明治以降に災害防止のため植林等による山地斜面の安定化を進めており、近年は裸地がほとんど無くなっている。ここでは植栽による土砂生産抑制の事例として神戸市の六甲山の事例を紹介する。

日本の代表的な大都市である神戸市は、背後に急峻な山地（六甲山）が位置している。約 100 年前までこの六甲山は植生被覆が無いはげ山であった。このため大雨が降ると土砂が下流側の神戸市街に到達し人命や家屋に大きな損害を与えていた。これを防止するため、山腹に植栽することで斜面を安定化し土砂流出抑制することを継続的におこなってきている。現在の六甲山は全山緑に覆われており安定した状態を維持している。

**豊かな緑を未来に ～六甲山の治水事業**
兵庫県（六甲山地）



明治中期の六甲山（神戸市立博物館所蔵）



施工 1 年目の再度山（明治 37 年）



現在の六甲山




昔の治山工事竣工図

○所属場所  
兵庫県神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市

○施設・工法の概要  
治山ダム約 1,600 基、山腹工ほか

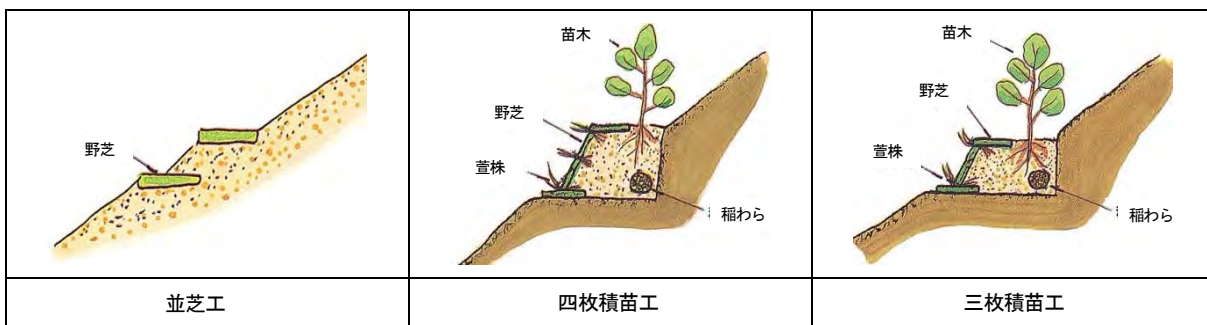
○解説  
明治期の六甲山系は、過度の森林利用等によりはげ山となり、日本植物学の父と言われる植物学者・牧野富太郎博士が神戸を船で訪れた際、六甲山を見て雪が積もっているのではないかと感想を残すほど荒廃していました。六甲山系は、昔から大雨のたびに土砂崩れが発生し、阪神淡路大震災でも多数の山地被害が発生しましたが、それを教訓に、復旧および防災対策が余念なく進められ、新たな地震対策工法（ロープネットロックボルト併用工法）の開発など、他地域の手本として、治山技術の牽引役を担っています。

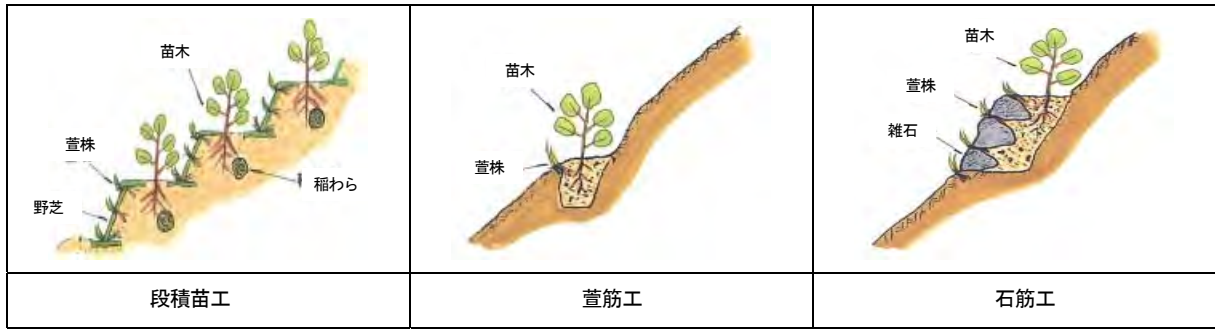
積苗工模式図

問い合わせ先：兵庫県治山課 TEL：078-362-3471

図 14.5.1 六甲山における治山工事（兵庫県資料）

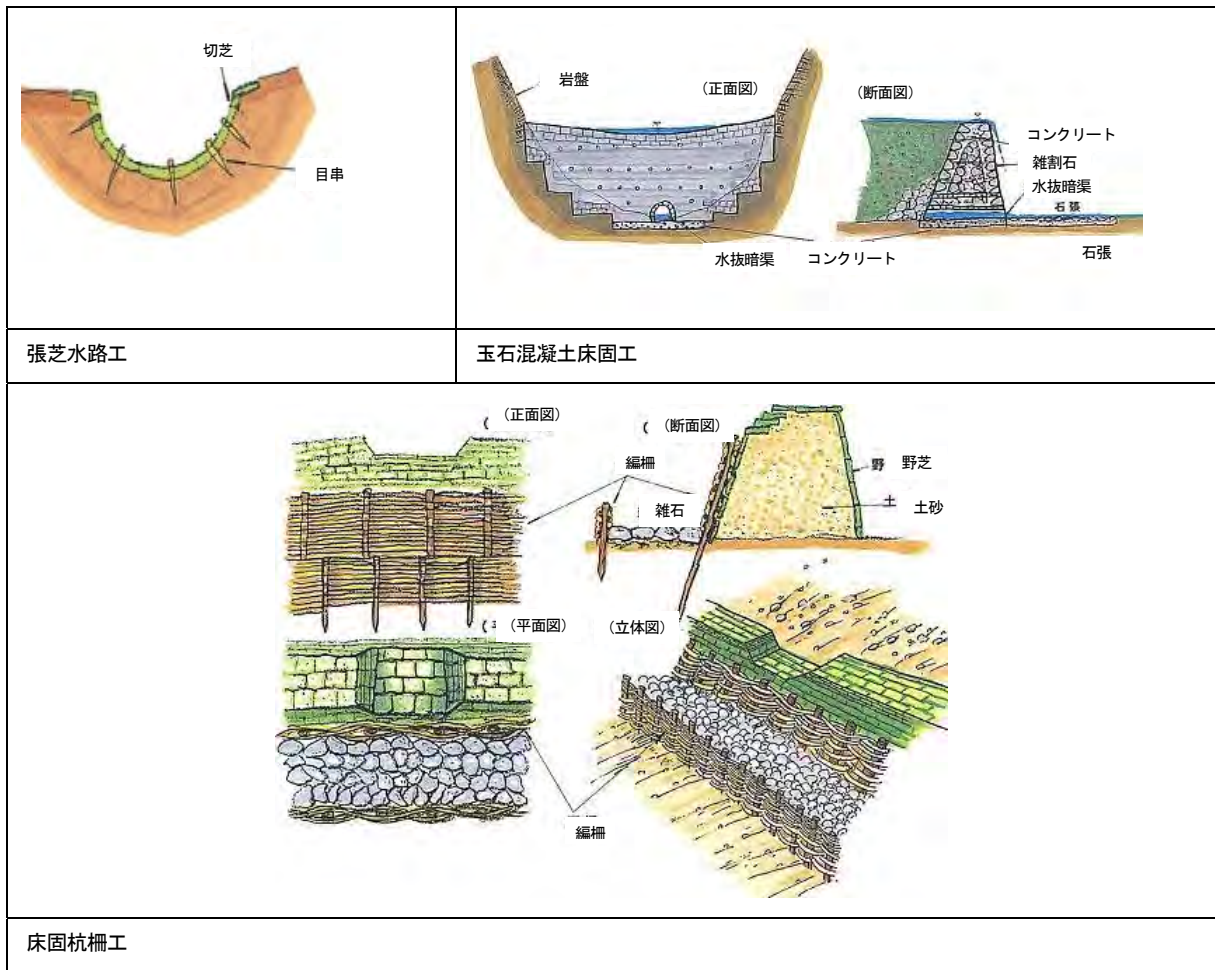
通常の植栽と異なり植栽基盤もあわせて安定化させるため、降雨時の流出が軽減できる。人力施工も可能であるため、乾燥気候に耐えられる樹種を選択すれば現在のペルー国内でも十分適用可能である。





出典：兵庫県資料

図 14.5.2 人力による植栽方法の例



出典：兵庫県資料

図 14.5.3 人力によるその他の工法



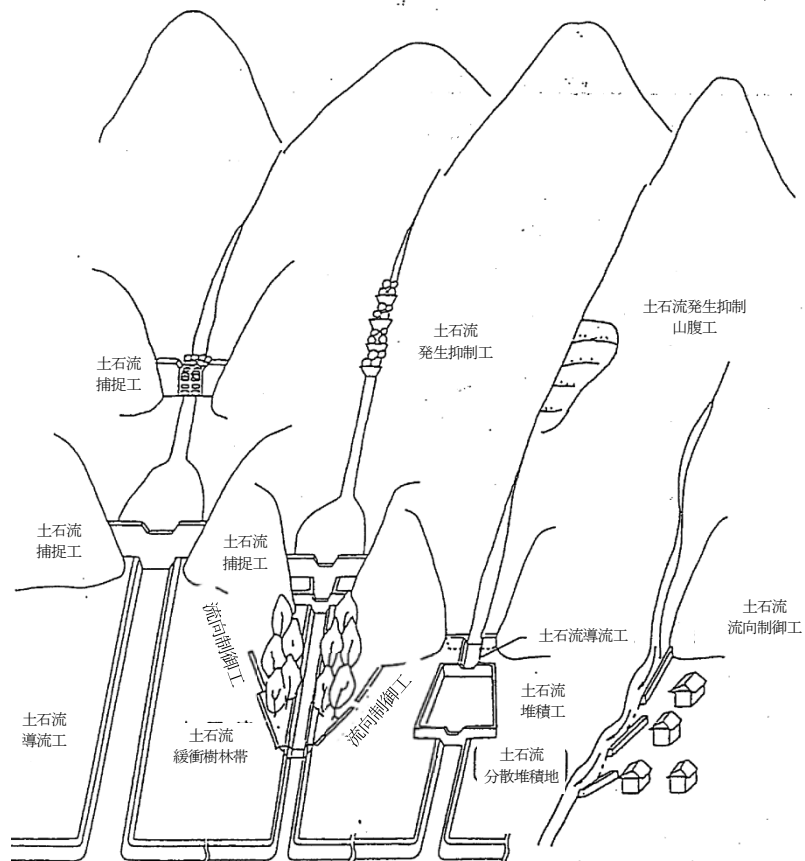


出典：兵庫県資料

図 14.5.4 積苗工の施工状況（1954年）

**(2) 導流堤・流向制御工による流路の固定化および緩衝樹林帯による土砂移動抑制**

河道幅が広く流路が固定していない溪流では、導流堤や流向制御工などの線状構造物で流路を固定化することで氾濫範囲を限定することが可能である。本邦では、主に火山山麓での採用が多い。



出典：上：国土交通省(土石流・流木対策技術指針)、下：国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所

図 14.5.5 土石流対策工の例と雲仙における導流堤(左下)および樹林帯整備(右下)の例

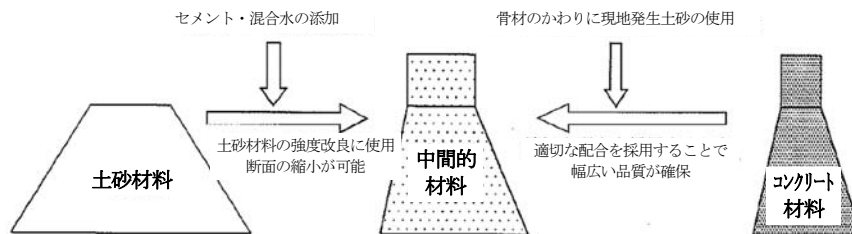
### (3) 現地発生材料を利用した対策施設の施工 (砂防ソイルセメント)

ペルー国内では生コン工場が都市近郊に限られており、郊外や山地内では小型ミキサーを使用した現場練りコンクリートしか入手できないため、大規模なコンクリート構造物を施工できないことが多い。生コン製造プラントを現場近くに設置することは、施工規模からみて不経済な場合もあるため、コンクリートに代わる材料を用いる必要がある。

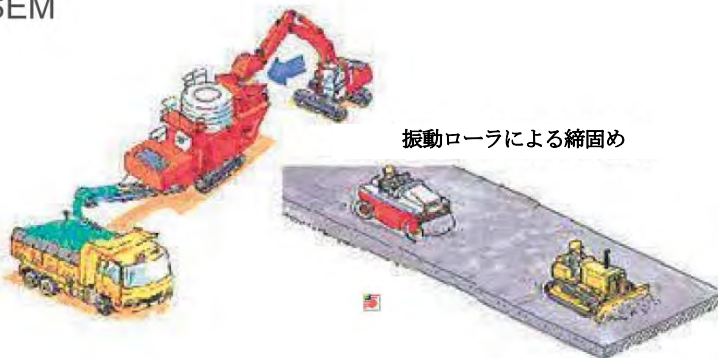
本邦で採用されている砂防ソイルセメントは、現地発生土砂とセメント等を施工現場で攪拌混合した材料を使い、振動ローラ等の締め固めにより構造物を構築する工法である。攪拌混合作業は混合

柵を設置してバックホウによりおこなうことが一般的であったが、近年は自走式混合機械を用いて効率化している施工例も多い。

砂防ソイルセメントは、コンクリートと土砂材料の中間的性質(強度・経済性等)を有する。強度がコンクリートよりやや低いため、表面をプレキャストコンクリート部材や鋼製部材で保護するなどの処理が必要である。



## INSEM



出典：砂防ソイルセメント活用ガイドライン（砂防ソイルセメント活用研究会編）

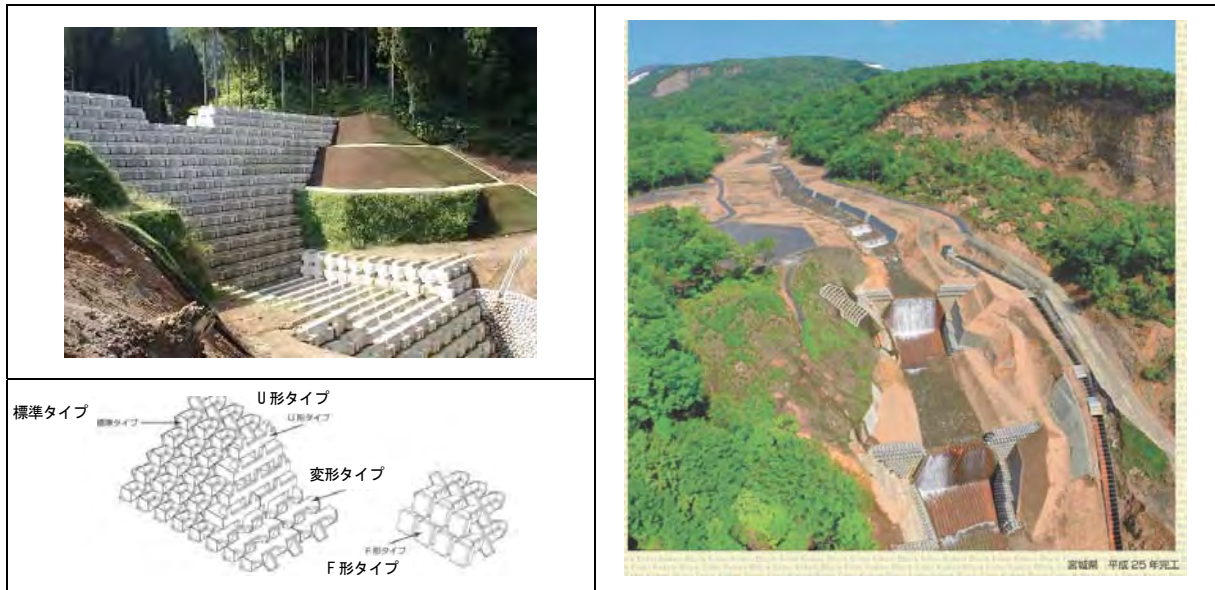
図 14.5.6 砂防ソイルセメントの概念

乾期に表流水がない河川でも、井戸を設けて取水している事例がみられることから、伏流水が利用可能な場合は有望な工法である。施工箇所が近接する場合は、集中プラントを設けて製造の効率化を図ることもできる。

### (4) プレキャスト部材を用いた対策施設の施工（ブロック積堰堤）

工場製作もしくは現場近傍で製作したコンクリートブロックを現地に搬入し、クレーン等を用いて構造物を構築する工法である。施工性が良いため緊急時の仮設対策として用いられることが多いが、本設での使用実績も多い。





出典：メーカーパンフレット(日本コーケン株式会社)

図 14.5.7 ブロック積堰堤の設置例

規模が小さい場合は、バックホウなどで吊ることもできるが、クレーンの使用が一般的であるため、進入道路が整備可能な現場で適用できる。鋼管を挿入するなどして、ブロックが分離しないようにする工法も開発されている。

#### (5) 狭小地に適した対策施設（杭式土石流対策工）

峡谷状の狭小地に砂防施設を施工する場合、通常の砂防堰堤では袖部の嵌入処理が必要となるため法面对策があわせて必要となる場合が多い。しかしペルー国内では法面对策工が一般的でないため、袖を嵌入しない不安定な構造物となりやすい。

これを解決する対策工として Chosica などに代表される狭小な山地河川 Quebrada では、スイス製のリングネット工が近年採用されている。同様な製品は日本でも採用されているが(製品名：TAMPO バリア)、災害発生直後の緊急対策にとどまり、恒久対策工としては扱われていない。日本独自の恒久対策工として、最近開発された製品「アーバンガード」を紹介する。

アーバンガードは、斜面における崩壊土砂対策工として開発された製品を、溪流の土石流対策工に発展させたものである。支柱、ワイヤーロープネット、ワイヤネットで構成される。自立しており、堆砂した状態で土石流が直撃した場合でも安定する構造となっている。



出典：メーカーパンフレット（株式会社プロテックエンジニアリング）

図 14.5.8 杭式土石流対策工「アーバンガード」（左：完成時、右：施工時）

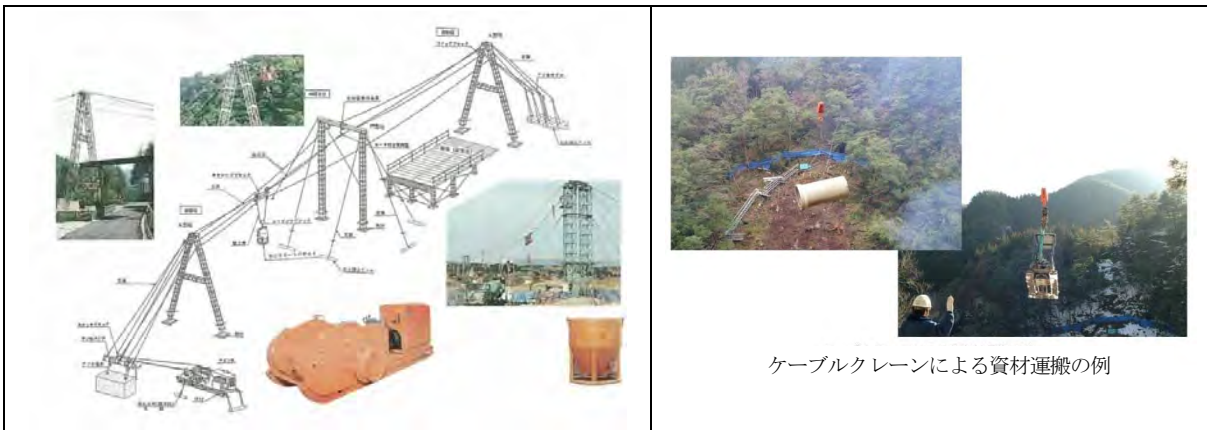
この工法は、リングネット工と同様に流下する礫径が比較的大きい山地河川で適用できる。また比較的小規模な溪流が対象となる。杭基礎の掘削・建て込み工が必要であるため、ボーリングマシンもしくはクレーンが施工現場に進入できることが施工条件となる。

### (6) 道路に変わる資機材運搬方法

ペルー国では、特に山地内での道路事情が悪く、現在も人力施工が主体である。日本と同様に機械化施工を実施するためには工事用進入路の整備が必要であるが、早急な整備が困難な地点も多い。このような現場で道路建設をせずに資機材を搬入する方法として、索道(ケーブルクレーン)と工事用軌道(通称モノレール)を紹介する。

#### (a) 索道 (ケーブルクレーン)

ワイヤーケーブルを張り、ウインチを使って資機材を運搬する施工方法である。おもに山岳地で道路の施工が困難である場所で採用される。運搬速度が一般に早い(100m 以上/分)ため長距離運搬にも適するが、延長が大きくなると支柱やアンカーが大きくなるため、一般には 1km 未満の運搬距離で採用されることが多い。日本では砂防工事や治山工事での利用も多い。



出典：(左) メーカーパンフレット、(右) 国土交通省九州地方整備局 (砂防技術指針運用案 施工編)

図 14.5.9 索道の設置例および資機材運搬例

#### (b) 工事用軌道 (モノレール)

1条～3条の簡易軌道を設置し、資機材を運搬する方法である。200kg～4t 程度までが対象であり積載重量により多様な機種が開発されている。おもに山岳地で道路の施工が困難である場所で採用される。運搬速度が一般に遅い(50m/分)ため長距離運搬には不向きである。



出典：メーカーパンフレット (光栄産業株式会社)

図 14.5.10 工事用軌道



## (7) 危険箇所における施工（無人化施工）

今回調査対象箇所でのニーズは無かったが、活動中の火山など施工が危険な箇所における対策として、本邦で実用化されている無人化施工の事例をあわせて紹介する。

人間が現場作業を行うことができない危険箇所でも対策工を設置することができる施工方法として、遠隔操作による無人化施工がある。ここでは活動中の火山山麓における施工例として、九州の雲仙における事例を紹介する。



出典：九州地方整備局資料

図 14.5.11 雲仙における無人化施工

### 14.5.2 非構造物対策

洪水及び土砂災害における非構造物対策の中から、土砂災害対策面を中心に日本特有の技術を以下に紹介する。構造物対策同様、ペルー国で確認できた課題と課題解決に向けた提言を、まず、以下に制度面と技術面に分けて表 14.5.2 及び表 14.5.3 として示したのち、技術的内容に関しては、具体的内容を列記する。

表 14.5.2 現地における制度的課題及び紹介する本邦制度

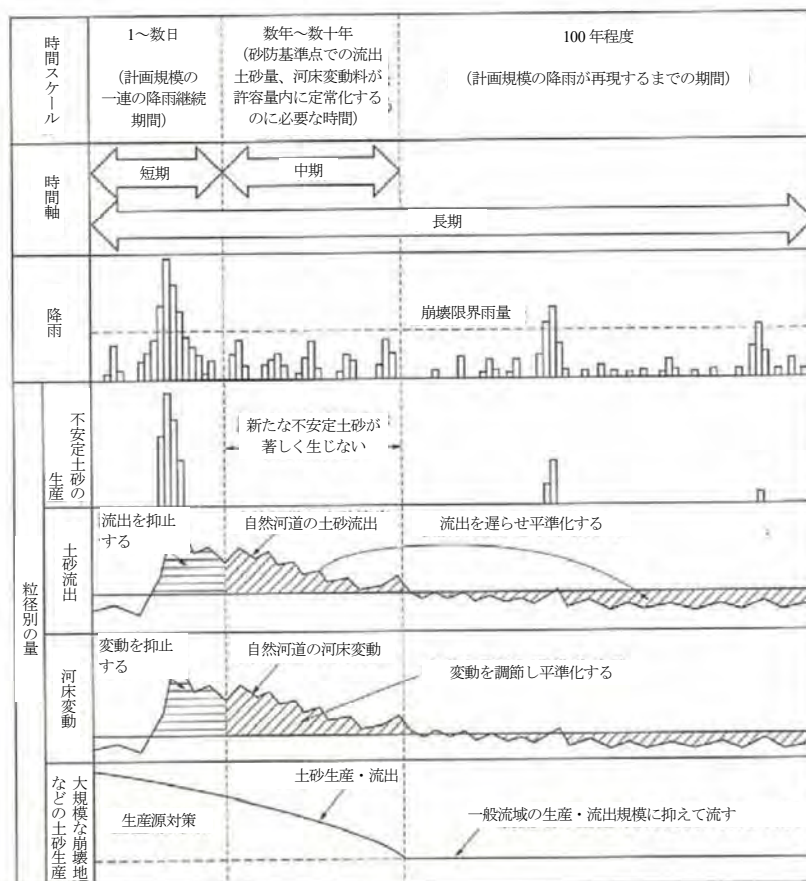
制度的な課題	本邦制度紹介の方針
不法占拠による家屋などグレーゾーンの保全対象が多い。また規制区域を設けても遵守されていない。	法整備と遵守体制の整備を進める。規制区域に関しては、日本の <ul style="list-style-type: none"> <li>● 砂防指定地や保安林、あるいは土砂災害警戒区域などのように税制優遇などの処置も組み込むことで受け入れやすい制度をつくる必要がある。まずはペルー国に合った土地(民有地と官地)に対する考え方を整理する必要がある。</li> </ul>

制度的な課題	本邦制度紹介の方針
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。	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。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、立ち退きには多大な時間を要する。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許容する方法もある。上流域に適地があれば砂防堰堤や導流堤による制御も可能であるが、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。 Lima 県の 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所周知と避難体制の整備を実施する必要がある。
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。	市役所単位では施設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。

表 14.5.3 現地における技術的課題及び紹介する本邦技術

技術的な課題	本邦技術紹介の方針
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。調査方法を示した以下に示すような基準書が必要である。 ● 土砂動態の調査手法  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あわせて必要である。
施設配置や施設設計に関する基準がない。対策工が場当たりに施工されているように見える箇所もある。市役所レベルだと、設計流量もよく理解できていないようである。	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とすることが望ましい。

ペルー国においては、河川氾濫災害に土砂移動現象が深く関わっていると思われる事例が多いため、計画手法や技術基準の作成に際しては、水系砂防あるいは流域土砂管理に加えて、河川計画・河道計画を考慮する必要がある。



出典：中部地方整備局資料

図 14.5.12 水系砂防計画の概念

非構造物対策は、社会条件も考慮する必要があるため、必ずしも本邦技術が直接適用できるとは限らないが、ここではペルー国でも有効と考えられる制度・技術を表 14.5.2 及び表 14.5.3 に示した方針に従い紹介する。

### (1) 土砂動態の調査手法

現況では計画土砂量等の基本諸元が把握できていないため、砂防基本計画が作成できない。このため調査による以下に示すような基本諸元の確認が必要である。

- 計画生産土砂量 *produccion de sedimento*
- 計画流出土砂量 *descarga de sedimento propuesto*
- 計画許容流出土砂量 *descarga de sedimentos permisible*
- 土砂処理計画 *sediment control plan*

これらの諸元に加えて、土砂移動状態により対策方針が異なることから、浮遊砂・掃流砂の量や構成比の調査も重要である。

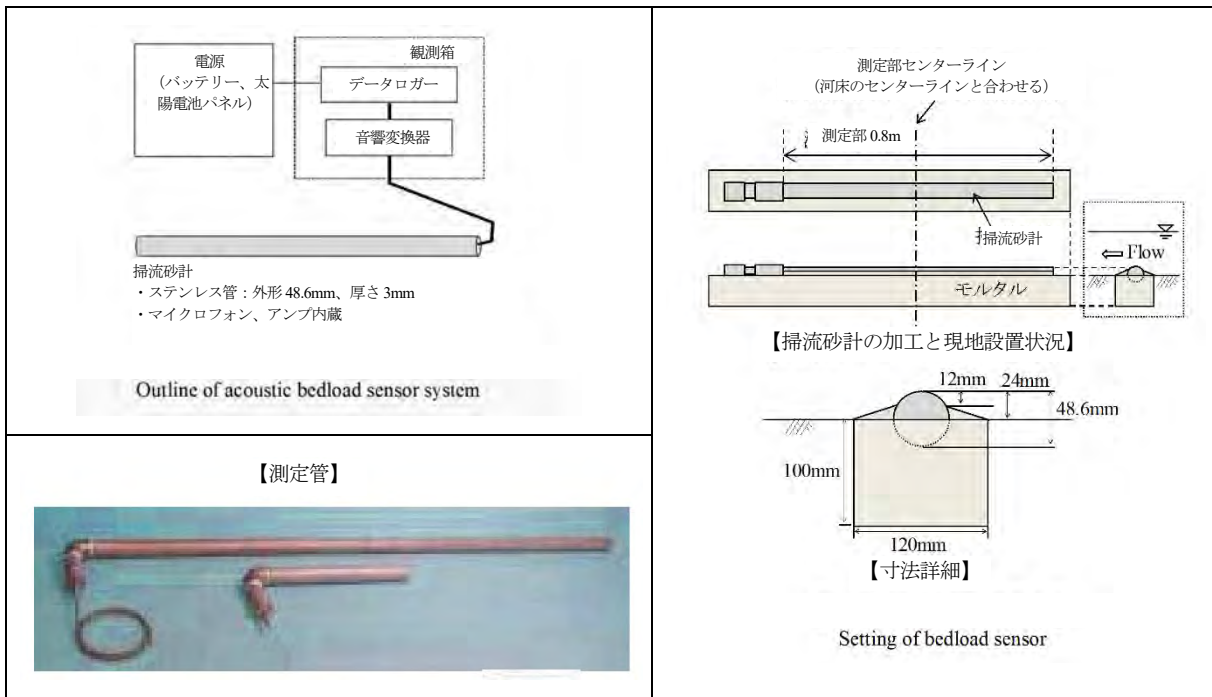
表 14.5.4 今後ペルー国において調査が必要な土砂移動状態の基本的要素

構成	特質	対策の基本
浮遊砂 suspended load (carga suspendida)	泥水として移動し流速が低下すると沈降堆積する。粒径小	貯水池等による沈殿または流速維持による海岸までの移動
掃流砂 bedload(arrastre de fondos)	河床付近を移動する。粒径大	堰等による粒子移動の停止・捕捉または緩勾配化による移動開始の抑制

出典：調査団

浮遊砂観測は、直接採水による濃度・粒径分布分析や濁度計による換算により調査する。掃流砂と比べて容易に計測できる特質を持つ。

掃流砂観測は、音響式掃流砂計による間接観測や、掃流砂観測ピットによる直接観測があるが、いずれも浮遊砂と比べて観測が大がかりである。また横断方向での変化も考慮した観測点の選定が重要である。



出典：(左上・右) 農業農村工学会論文集 No.299、pp I -155～164、(左下) メーカーパンフレット (株式会社池田計器製作所)

図 14.5.13 音響式掃流砂計の概要

## (2) 土石流発生の検知

土石流センサーは、土石流の流下を検知する観測機器である。土石流が発生しやすい工事現場の安全管理や下流住民の警戒避難対策に利用される。構造が単純なワイヤー式が広く使われているが、振動検知式などの他の方式も開発されている。

センサーの特性にあわせた設置位置の選定と調整・維持管理が必要であるため、現場条件を十分に把握する必要がある。また検知後に避難時間が十分確保できる位置に設置する必要がある。

### (a) ワイヤーセンサー

土石流がワイヤーを切断した際に発生する信号を検知する。構造が簡単でメンテナンスも比較的平易であるが、一度切断されるとワイヤーを現地で復元しなければならず、頻繁に発生する箇所や設置

箇所へのアクセスが容易にできない箇所への設置は不向きである。また、動物の移動や落石により切断されることもあるので、注意を要する。



出典：メーカーパンフレット（坂田電機株式会社）

図 14.5.14 ワイヤセンサーの設置事例（水通し部に設置した例）

#### (b) 振動・音響センサー

土石流が流下する際の震動や音を検知する。非接触型であり、ワイヤーの張り直しが不要で集中豪雨の発生シーズンを通じて稼働させることができる。機器用の電源を別途設置せねばならず、大型かつ高価なシステムとなりやすい。また感度のレベル設定は、何度か土石流の発生を踏まえた微調整が必要であるため、発生頻度の低い溪流には不向きである。

#### (c) レーザー(光学)センサー

振動・音響センサーと同様に非接触型であり、メリット、デメリットともに同様である。電力の消費量は大きいものの、谷底からやや離れた箇所に設置可能で、土石流の流下により生じる河床の上下動にも対応することができる。光が遮断されるような集中豪雨、濃霧時には対応できないため設置場所は限定される。