

ペルー国
溪谷村落洪水対策事業準備調査

ファイナルレポート
サポーティングレポート
Annex-6 砂防計画
(開示版)

平成 24 年 12 月
(2012 年 12 月)

独立行政法人 国際協力機構

八千代エンジニアリング株式会社
日本工営株式会社
中南米工営株式会社

ペルー国
溪谷村落洪水対策事業準備調査
ファイナルレポート
サポーティングレポート
Annex-6 砂防計画
(開示版)

目次

| | |
|-------------------------------|-----------|
| 第1章 事業対象流域の土砂生産 | 1 |
| 1.1 資料収集および資料作成 | 1 |
| 1.2 流域特性 | 2 |
| 1.3 土砂生産状況 | 19 |
| 1.4 土砂生産量の算出 | 29 |
| 1.5 侵食が多い箇所の推定 | 53 |
| 第2章 土砂抑制計画 | 60 |
| 2.1 基本方針 | 60 |
| 2.2 砂防コンポーネント | 61 |
| 2.3 砂防コンポーネント別計画数量及び事業費 | 67 |
| 2.4 土砂抑制計画実施の問題点 | 79 |
| 2.5 提言 | 83 |

図 一 覧

| | | |
|----------|-----------------------------|----|
| 図 1.2.1 | 各流域における標高特性 | 2 |
| 図 1.2.2 | 各流域における傾斜区分割合 | 3 |
| 図 1.2.3 | 6 溪流の河川縦断 | 4 |
| 図 1.2.4 | 各流域の河床勾配 | 5 |
| 図 1.2.5 | 河床勾配による流域区分 | 5 |
| 図 1.2.6 | 等分布曲線図 (チラ流域) | 10 |
| 図 1.2.7 | 等分布曲線図 (カニエテ流域) | 11 |
| 図 1.2.8 | 等分布曲線図 (チンチャ流域) | 12 |
| 図 1.2.9 | 等分布曲線図 (ピスコ流域) | 13 |
| 図 1.2.10 | 等分布曲線図 (ヤウカ流域) | 14 |
| 図 1.2.11 | 等分布曲線図 (カマナ/マヘス流域) | 15 |
| 図 1.2.12 | 各流域における年間降水量毎の面積 | 16 |
| 図 1.2.13 | 各流域における斜面勾配と標高の関係 | 17 |
| 図 1.2.14 | 流域特性 | 19 |
| 図 1.3.1 | 安山岩質～玄武岩質の崩壊地 | 20 |
| 図 1.3.2 | 堆積岩類の土砂生産状況 | 20 |
| 図 1.3.3 | サボテンの侵入状況 | 20 |
| 図 1.3.4 | 段丘面の侵食状況 | 21 |
| 図 1.3.5 | マヘス溪谷断面 (河口から 50km 付近) | 22 |
| 図 1.3.6 | 土石流発生位置図 | 23 |
| 図 1.3.7 | 60km 付近の状況 (幅 5km 程度の溪谷をなす) | 23 |
| 図 1.3.8 | コスス川の土砂堆積状況 (幅約 900m) | 23 |
| 図 1.3.9 | コスス川を通過する市道 | 24 |
| 図 1.3.10 | オンゴロの状況 | 24 |
| 図 1.3.11 | サンフランシスコ川の土砂堆積状況 | 24 |
| 図 1.3.12 | ホロン川の状況 | 24 |
| 図 1.3.13 | 河口から 110km 付近の状況 | 24 |
| 図 1.3.14 | カマナ川とアンダマヨ川の合流点 | 24 |
| 図 1.3.15 | 雨量観測所位置図 | 25 |
| 図 1.3.16 | 平常時土砂生産流出状態 | 26 |
| 図 1.3.17 | 50 年確率降雨程度の豪雨時における土砂生産流出の状態 | 27 |
| 図 1.3.18 | 大規模出水時の土砂生産流出の状態 (地質学的スケール) | 28 |
| 図 1.3.19 | 土砂生産量と確率降雨年の関係、および本業務の対象範囲 | 28 |
| 図 1.4.1 | ストレーラーの谷字数の考え方 | 29 |
| 図 1.4.2 | 谷の判定法 | 30 |
| 図 1.4.3 | 移動可能溪床堆積土砂量の算出法 | 30 |
| 図 1.4.4 | 掃流区間における生産土砂量の算出 | 31 |
| 図 1.4.5 | Poechos ダムの年間流入量と堆砂状況 | 33 |
| 図 1.4.6 | 年間流入量と年間堆砂量の関係 | 34 |
| 図 1.4.7 | 現在の堆砂状況 (上 1976 年 下 2010 年) | 34 |
| 図 1.4.8 | 年度毎の比流出土砂量 | 35 |
| 図 1.4.9 | チラ流域周辺の雨量観測所 | 38 |
| 図 1.4.10 | 年間雨量と年間堆砂量の関係 | 40 |
| 図 1.4.11 | 年最大雨量と年間堆砂量の関係 | 41 |

| | | |
|----------|---------------------------------------|----|
| 図 1.4.12 | 最大日雨量と堆砂量の関係 | 41 |
| 図 1.4.13 | 年間雨量と流入量 | 41 |
| 図 1.4.14 | 年間流入量と堆砂量 | 42 |
| 図 1.4.15 | 流入量と堆砂量の関係 | 42 |
| 図 1.4.16 | 年最大雨量と堆砂量の関係 | 42 |
| 図 1.4.17 | 降雨 1mm あたり 1km ² あたりの流出土砂量 | 43 |
| 図 1.4.18 | 斜面勾配と年あたりの侵食深の関係 | 44 |
| 図 1.4.19 | カニエテ流域における生産土砂量 | 48 |
| 図 1.4.20 | チンチャ流域における生産土砂量 | 49 |
| 図 1.4.21 | ピスコ流域における生産土砂量 | 50 |
| 図 1.4.22 | ヤウカ流域における生産土砂量 | 51 |
| 図 1.4.23 | カマナ/マヘス流域における生産土砂量 | 52 |
| 図 1.5.1 | チラ流域侵食特性図 | 54 |
| 図 1.5.2 | カニエテ流域侵食特性図 | 55 |
| 図 1.5.3 | チンチャ流域侵食特性図 | 56 |
| 図 1.5.4 | ピスコ流域侵食特性図 | 57 |
| 図 1.5.5 | ヤウカ流域侵食特性図 | 58 |
| 図 1.5.6 | カマナ/マヘス流域侵食特性図 | 59 |
| 図 2.2.1 | 土砂流出対策の概念図 | 61 |
| 図 2.2.2 | 山腹基礎工の代表的な工種 | 63 |
| 図 2.2.3 | 山腹基礎工の代表的な工種 | 63 |
| 図 2.3.1 | 護岸工断面図 (片側) | 67 |
| 図 2.3.2 | 帯工正面図 | 67 |
| 図 2.3.3 | 流出補正率 | 69 |
| 図 2.3.4 | 対策工平面図 チラ流域 | 71 |
| 図 2.3.5 | 対策工平面図 カニエテ流域 | 72 |
| 図 2.3.6 | 対策工平面図 チンチャ流域 | 73 |
| 図 2.3.7 | 対策工平面図 ピスコ流域 | 74 |
| 図 2.3.8 | 対策工平面図 ヤウカ流域 | 75 |
| 図 2.3.9 | 対策工平面図 カマナ/マヘス流域 | 76 |
| 図 2.3.10 | 解析結果 (土砂量) | 77 |
| 図 2.3.11 | プランタナルダム位置図 | 78 |
| 図 2.4.1 | 対象流域該当する県の人口変化 | 81 |
| 図 2.4.2 | 対象流域該当する県の農村人口変化 | 81 |

表 一 覧

| | | |
|----------|------------------------------|----|
| 表 1.1.1 | 収集資料一覧 | 1 |
| 表 1.2.1 | 各流域における標高特性 | 2 |
| 表 1.2.2 | 各流域における傾斜区分割合 | 3 |
| 表 1.2.3 | 各流域の河床勾配 | 5 |
| 表 1.2.4 | カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域の代表的植生一覧 | 6 |
| 表 1.2.5 | チラ流域の代表的植生一覧 | 7 |
| 表 1.2.6 | 土砂災害が発生しやすい地質条件 | 8 |
| 表 1.2.7 | 各流域における年間降水量毎の面積 | 16 |
| 表 1.2.8 | 各流域における斜面勾配と標高の関係 | 18 |
| 表 1.2.9 | 流域毎のエリアと標高の関係 | 19 |
| 表 1.3.1 | マヘス川上流で発生した土石流 | 22 |
| 表 1.3.2 | 雨量を確認した観測所一覧 | 25 |
| 表 1.3.3 | 各観測所の確率雨量と 1998 年最大日雨量 | 25 |
| 表 1.4.1 | 各谷字数における移動可能土砂量および生産土砂量の幅と深さ | 31 |
| 表 1.4.2 | 各流域の移動可能土砂量 | 32 |
| 表 1.4.3 | チラ川流域の雨量観測所 | 35 |
| 表 1.4.4 | 採用した観測所の観測期間 | 39 |
| 表 1.4.5 | 合成雨量の内訳 | 39 |
| 表 1.4.6 | ポエチョスダムの流域面積 | 39 |
| 表 1.4.7 | ポエチョスダムの流入量、堆砂量および雨量 | 39 |
| 表 1.4.8 | 斜面勾配による侵食深さの重み付け | 44 |
| 表 1.4.9 | 降雨 50mm あたりの比流出土砂量 | 44 |
| 表 1.4.10 | 地質による流出土砂量の違い | 45 |
| 表 1.4.11 | 5 流域における比流出土砂量 | 45 |
| 表 1.4.12 | 各河川における入力条件 | 46 |
| 表 1.4.13 | 流砂量式から算出した土砂量 | 47 |
| 表 1.4.14 | カニエテ流域における生産土砂量 | 48 |
| 表 1.4.15 | チンチャ流域における生産土砂量 | 49 |
| 表 1.4.16 | ピスコ流域における生産土砂量 | 50 |
| 表 1.4.17 | ヤウカ流域における生産土砂量 | 51 |
| 表 1.4.18 | カマナ/マヘス流域における生産土砂量 | 52 |
| 表 1.4.19 | 各流域における土砂生産量 | 53 |
| 表 1.5.1 | 侵食区分 | 53 |
| 表 1.5.2 | 各流域における侵食特性 | 53 |
| 表 2.1.1 | 砂防コンポーネント基本方針 | 60 |
| 表 2.2.1 | 土砂流出対策工区分 | 62 |
| 表 2.2.2 | 砂防対策工の当地区への適応性 | 66 |
| 表 2.3.1 | 護岸工概算工事費 | 67 |
| 表 2.3.2 | 帯工概算工事費 | 68 |
| 表 2.3.3 | 土砂量算出条件 | 68 |
| 表 2.3.4 | 砂防ダムの数量と概算工事費 | 70 |
| 表 2.3.5 | 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（チラ流域） | 70 |
| 表 2.3.6 | 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（カニエテ流域） | 70 |

| | | |
|----------|--------------------------------|----|
| 表 2.3.7 | 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（チンチャ流域） | 70 |
| 表 2.3.8 | 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（ピスコ流域） | 70 |
| 表 2.3.9 | 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（ヤウカ流域） | 70 |
| 表 2.3.10 | 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（カマナ/マヘス流域） | 70 |
| 表 2.3.11 | 河床変動解析結果 | 77 |
| 表 2.4.1 | 流域ごとの概算工事費 | 79 |
| 表 2.4.2 | 中山間地域と扇状地における人口 | 80 |
| 表 2.4.3 | 自然保護区の区分 | 82 |
| 表 2.4.4 | 国管理の自然保護区における禁止事項 | 82 |
| 表 2.5.1 | ペルーでの災害件数（土砂災害、洪水） | 84 |

第1章 事業対象流域の土砂生産

1.1 資料収集および資料作成

(1) 資料収集整理

事業対象流域の土砂生産を検討する目的で以下の資料を収集した。

表 1.1.1 収集資料一覧

| 収集資料 | 作成年 | 形式 | 作成機関 |
|--------------------------------------|--------------|----------------------|--|
| 地形図 (S=1/50,000) | 2003 | Shp | INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN) 国土地理院 |
| 地質図 (S=1/100,000) | 2007 | Shock Wave | Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) 国立地質・鉱業・冶金院 |
| DEM 30x30 Digital Elevation Model | 2008 | GEO TIFF | National aeronautics and Space Administration (NASA) 米国航空宇宙局 |
| 河川データ | 2008 | SHP | IGN |
| 流域データ | 2010 | SHP | Autoridad Nacional del Agua (ANA) 全国水資源局 |
| 等雨量曲線図 | 1965-74 | PDF | ANA |
| 侵食区分図 | 1996 | SHP | Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) 国立天然資源院 |
| 土壌区分図 | 1996 | SHP | INRENA |
| 植生区分図 | 2000 1995 | SHP2000年 PDF1995年 | Dirección General de Flora y Fauna Silvestre (DGFFS) 農業省森林・野生動物総局 |
| 雨量データ | | Text | Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) 国立気象・水文機構 |
| 人口分布図 | 2007 | SHP | Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 国立統計院 |

出典：JICA 調査団により作成

(2) 検討資料作成

収集した資料を用いて以下のデータを作成した。これらのデータは巻末に添付する。

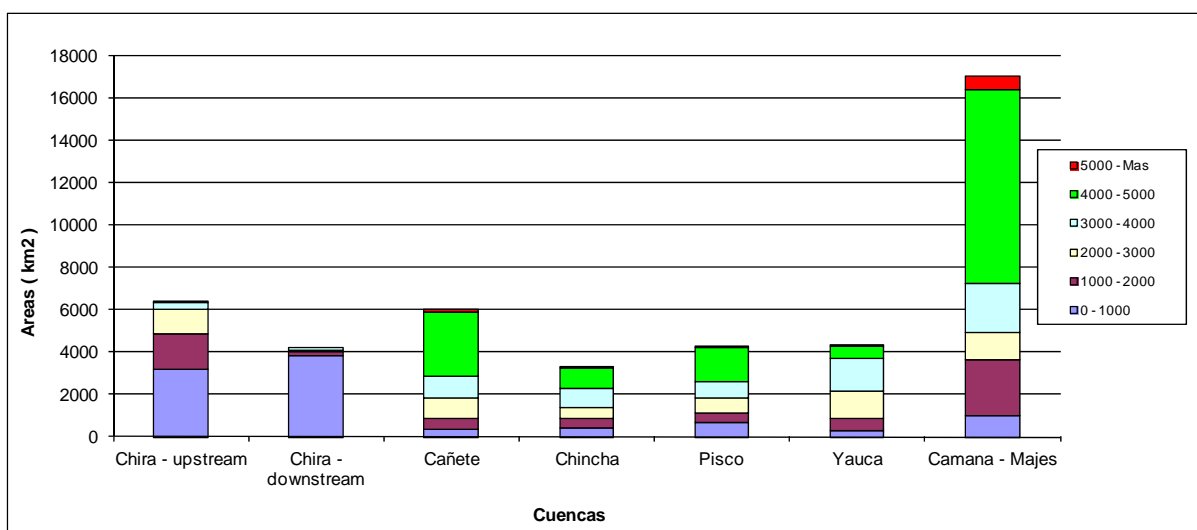
- ・水系図
- ・水系区分図（3次谷で流域区分）
- ・地質図と水系図
- ・侵食図と水系図
- ・植生区分図 2000年
- ・植生区分図 1995年
- ・地質図と河床勾配
- ・水系区分図と河床勾配
- ・土壌区分図と水系図
- ・等雨量線図
- ・人口分布図

1.2 流域特性

対象流域の流域特性について述べる。なお、チラ流域はポエチョスダムを基準に上流と下流に区分した。

(1) 標高

各流域の標高割合を表 1.2.1 および図 1.2.1 に示す。カニエテ流域およびカマナ/マヘス流域が 4,000m 以上の標高の占める割合が多い。4,000m 以上の標高は比較的なだらかでこの部分に雪山およびため池が多く分布している。カニエテ流域およびカマナ/マヘス流域はこの部分の面積が広く、他の流域に比べて水源が豊富で、流量が多い。特にカマナ/マヘス流域は標高 4,000-5,000 が 53%を占める。チラ流域は 0-1,000m の割合が多い。



出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

図 1.2.1 各流域における標高特性

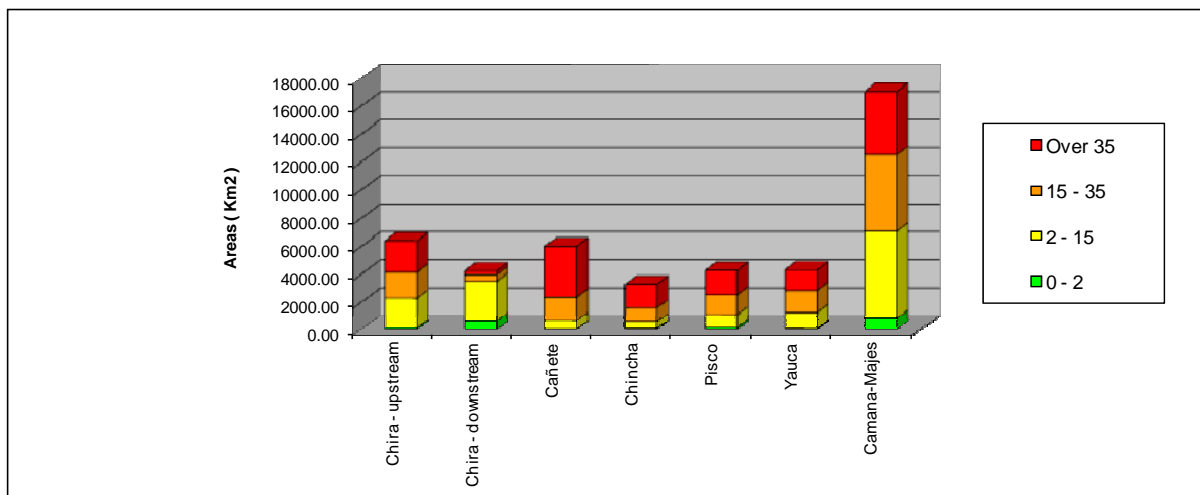
表 1.2.1 各流域における標高特性

| 標高 (msnm) | 面積 (Km ²) | | | | | | |
|--------------|-----------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|---------------|
| | チラ -上流域 | チラ -下流域 | カニエテ 流域 | チンチャ 流域 | ピスコ 流域 | ヤウカ 流域 | カマナ/マ ヘス流域 |
| 0 - 1000 | 3262.43 | 3861.54 | 381.95 | 435.6 | 694.58 | 332.79 | 1040.56 |
| 1000 - 2000 | 1629.48 | 207.62 | 478.2 | 431.33 | 476.7 | 575.82 | 2618.77 |
| 2000 - 3000 | 1153.61 | 43.24 | 1015.44 | 534.28 | 684.78 | 1302.58 | 1277.54 |
| 3000 - 4000 | 313.74 | 156.11 | 1012.58 | 882.39 | 760.47 | 1504.8 | 2305.64 |
| 4000 - 5000 | 0.22 | 0.00 | 3026.85 | 1019.62 | 1647.8 | 602 | 9171.56 |
| 5000 以上 | 0.00 | 0.00 | 108.95 | 0.67 | 6.19 | 0.55 | 635.44 |
| 合計 | 6359.48 | 4268.51 | 6023.97 | 3303.89 | 4270.52 | 4318.54 | 17049.51 |
| 最大標高 | | 4110 | 5355 | 5005 | 5110 | 5060 | 5821 |

出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

(2) 傾斜区分

各流域の傾斜区分図を作成した。各流域における傾斜区分割合を図 1.2.2 および表 1.2.2 にしめす。カニエテ流域、チンチャ流域、ピスコ流域、ヤウカ流域、カマナ/マヘス流域、チラ流域の順序で地形が険しいことが分かる。特にカニエテ流域、チンチャ流域は、35%以上の傾斜が全流域の50%以上をしめる。地形勾配がきついほど土砂流出が多いといわれており、上記の順で土砂流流出が多いことが推定される。



出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

図 1.2.2 各流域における傾斜区分割合

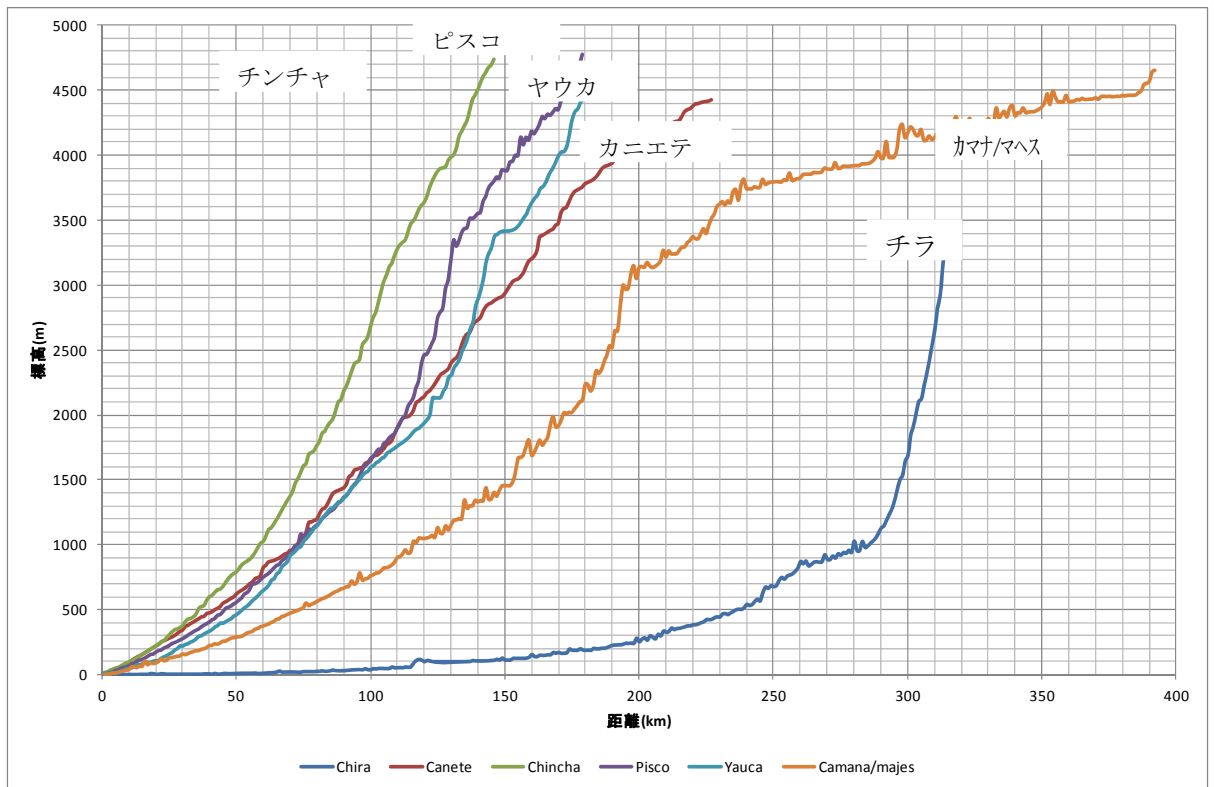
表 1.2.2 各流域における傾斜区分割合

| Slope Basin (%) | チラ - 上流域 | | チラ - 下流域 | | カニエテ流域 | | チンチャ流域 | |
|--------------------|----------|------|----------|------|-----------|------|---------|------|
| | 面積(km2) | 割合 | 面積(km2) | 割合 | 面積(km2) | 割合 | 面積(km2) | 割合 |
| 0 - 2 | 131.62 | 2% | 651.28 | 15% | 36.37 | 1% | 90.62 | 3% |
| 2 - 15 | 2167.69 | 34% | 2859.35 | 67% | 650.53 | 11% | 499.68 | 15% |
| 15 - 35 | 1852.79 | 29% | 465.86 | 11% | 1689.81 | 28% | 1019.77 | 31% |
| Over 35 | 2237.64 | 35% | 261.76 | 6% | 3647.26 | 61% | 1693.82 | 51% |
| TOTAL | 6389.74 | 100% | 4238.25 | 100% | 6023.97 | 100% | 3303.89 | 100% |
| Slope Basin (%) | ピスコ流域 | | ヤウカ流域 | | カマナ/マヘス流域 | | | |
| | 面積(km2) | 割合 | 面積(km2) | 割合 | 面積(km2) | 割合 | | |
| 0 - 2 | 168.57 | 4% | 79.01 | 2% | 869.75 | 5% | | |
| 2 - 15 | 947.86 | 22% | 1190.19 | 28% | 6210.54 | 36% | | |
| 15 - 35 | 1426.18 | 33% | 1591.21 | 37% | 5452.97 | 32% | | |
| Over 35 | 1727.91 | 40% | 1458.13 | 34% | 4516.25 | 26% | | |
| TOTAL | 4270.52 | 100% | 4318.54 | 100% | 17049.51 | 100% | | |

出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

(3) 河川縦断

河川縦断は、図 1.2.3 に示す通りである。カニエテ流域、チンチャ流域、ピスコ流域およびヤウカ流域は河川縦断が比較的類似している。カマナ/マヘス流域は河口から 200km までは急勾配であるが、200km から 400km にかけてはなだらかである。チラ川は 300km 程度まではなだらかであるが、300km より上流では急勾配となる。

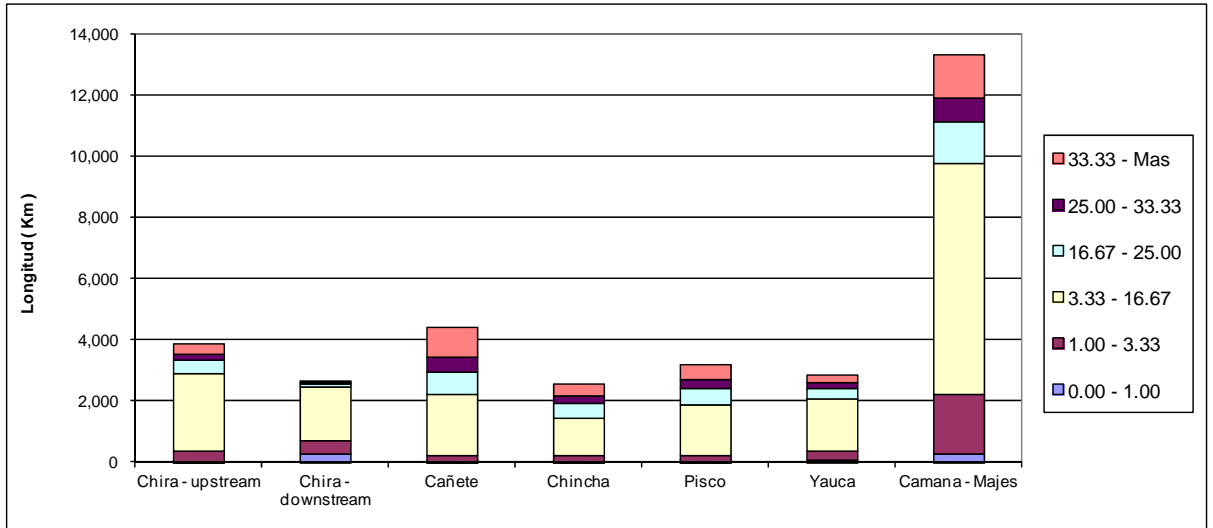


出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

図 1.2.3 6 溪流の河川縦断

(4) 河床勾配

図 1.2.5 に示すように河床勾配によって溪流は掃流区間と土石流区間に区分される。河床勾配割合を図 1.2.4 および表 1.2.3 に示す。土石流発生区間は河床勾配が 1/3 以上の溪流といわれており、カニエテ流域が最も長い。堆積区間に相当する河床勾配 1/30~1/6 の占める割合が大きい。流域全体では河道調節量が大きいことがわかる。



出典：30mメッシュデータを元に JICA 調査団により作成

図 1.2.4 各流域の河床勾配

表 1.2.3 各流域の河床勾配

| Slope River (%) | チラ - 上流域 | チラ - 下流域 | カニエテ 流域 | チンチャ 流域 | ピスコ 流域 | ヤウカ 流域 | カマナ/マヘス流 域 |
|-----------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|-----------|---------------|
| 0.00 - 1.00 | 6.00 | 233.34 | 12.82 | 5.08 | 12.15 | 39.13 | 263.45 |
| 1.00 - 3.33 | 345.77 | 471.67 | 173.88 | 177.78 | 165.05 | 312.82 | 1953.19 |
| 3.33 - 16.67 | 2534.14 | 1751.16 | 1998.6 | 1250.82 | 1683.15 | 1687.19 | 7511.73 |
| 16.67 - 25.00 | 435.46 | 97.84 | 753.89 | 458.76 | 519.64 | 352.42 | 1383.17 |
| 25.00 - 33.33 | 201.72 | 37.51 | 467.78 | 255.98 | 291.84 | 185.78 | 761.15 |
| 33.33 - Mas | 318.46 | 42.72 | 975.48 | 371.8 | 511.76 | 226.92 | 1425.65 |
| TOTAL | 3841.55 | 2634.24 | 4382.45 | 2520.22 | 3183.59 | 2804.26 | 13298.34 |

出典：30mメッシュデータを元に JICA 調査団により作成

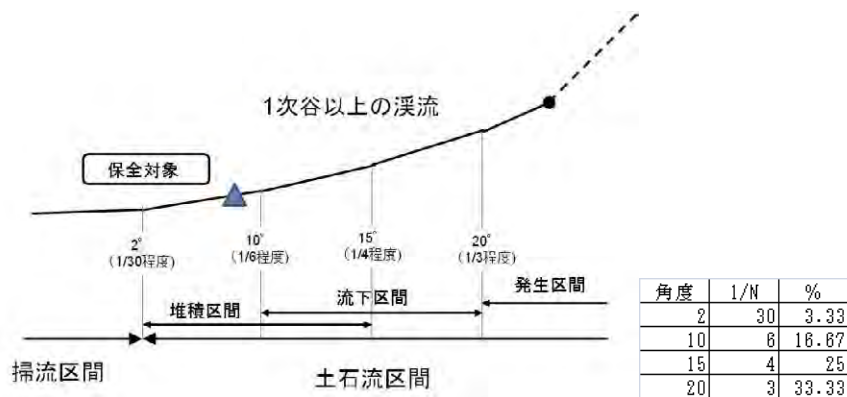


図 1.2.5 河床勾配による流域区分

(5) 植生 (Annex7 より)

(a) カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域

1995年植生区分図とその解説によれば、カニエテ、チンチャ、Pisico、ヤウカ流域は海岸からアンデス高地に至るが、おおむね標高によって植生分布が特徴づけられている。海岸から標高約2,500m付近(Cu、Dc)までは非常に植生が乏しく、河川沿いを除く場所では草本・サボテンが主体か植生がほとんどない区域が代表的で、やや標高の高いところでも灌木が点在する程度である。標高2,500mから3,500m付近までは降雨条件がよいため灌木林が形成されるが、それ以上の標高では低温のため植生は育ちにくく、草本が主体の区域となっている。また、灌木がある区域でも樹高は最大でも4m程度となっている。ただし、砂漠地帯であっても河川沿いには高木となる木本植物が成立している。Msに相当する想草本・灌木帯は、植生がほとんどない。通常は降雨がないため、侵食はそれほど大きくないが、豪雨があった場合には、侵食量は相当なものであると推定される。

表 1.2.4 カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域の代表的植生一覧

| 区分 | 名称 | 分布する標高 | 降雨量 | 代表的な植生 | 侵食量 |
|-------|------------|---|--------------------------------|--------------|--------|
| 1)Cu | 沿岸部の農地 | 沿岸部 | ほとんどゼロ | 河川沿いに広がる農地 | ない |
| 2)Dc | 沿岸部の砂漠 | 0~1,500m | ほとんどゼロ、霧出現箇所あり | ほとんどない | 多い |
| 3)Ms | 乾燥草本・灌木帯 | 1,500~3,900m | 120~220mm | サボテン類、草本 | 多い |
| 4)Msh | 半湿潤灌木・草本帯 | 北中部 2,900~3,500m アンデス山間 2,000~3,700m | 220~1,000mm | 常緑、4mを超えない低木 | 比較的少ない |
| 5)Mh | 湿潤草本・灌木帯 | 北部 2,500~3,400m 南部 3,000~3,900m | 500~2,000mm | 常緑、4m以下 | 比較的少ない |
| 6)Cp | アンデス高地の牧草地 | 3,800m付近 | (記述なし) | イネ科の草本 | 比較的少ない |
| 7)Pj | 草原 | 3,200~3,300m 中南部 3,800mまで | 南部寡雨地帯で125mm 下東斜面では4,000mm超 | イネ科の草本 | 比較的少ない |
| 8)N | 雪山 | | - | - | - |

出典：1995年植生区分図を元に JICA 調査団により作成

(b) カマナ/マヘス流域

「1995年植生区分図」によれば、カマナ・マヘス流域の植生分布は、上記(a)の4流域とほぼ同様である。上記4流域とカマナ・マヘス流域の代表的植生の違いは次の3点である。

i) Cu (沿岸部の農地) がない、ii) Lo (ロマス) がある、iii) Bf (湿性草原) がある。カマナ・マヘス流域には存在するが (a) の4流域にない植生区分の説明は以下のとおりである。

(i) Lo : (ロマス)

分布域の標高は海拔0mから1,000m。ペルーの沿岸部の砂漠からチリまで南北の海岸線に沿って分布している。冬(5月~9月)海から来る霧が発生し、この特異な植生帯を出現させる。主に見られる植生はアナナス科の *Tillandsia* spp、*tara* (*Caesalpinia spinosa*)、ヒガンバナ科ヒメノカリス属 (*Ismene amancae*)、サボテン科の(*Haageocereus* spp.)、カタバミ科 (*Oxalis* spp.)、ナス科 (*Solanum* spp.)などである。なお、海岸部の砂漠の面積は国土の11%、

南北 2,000km に及び、面積は 14,000km² であるが、ロマスの面積を示す資料は今回の調査期間では見つからなかった。

(ii) Bf : (湿性草原)

分布域の標高は 3,900m から 4,800m、地形はほぼ平らであるがわずかな窪みとなっていることもある。氷河と湧水からの表面水が出ており、地下水位が高いので、表面水が地面に浸透せずにいる。このため、草原が常に湿っている。主な植生は以下のとおり。champa (*Distichia muscoides*)、sillu - sillu (*Alchemilla pinnata*)、libro-libro (*Alchemilla diplophylla*)、chillihua (*Festuca dolichophylla*)、crespillos (*Calamagrostis curvula*)、tajilla (*Lilecopsis andina*)、sora (*Calamagrostis eminens*)、ojho pilli (*Hipochoeris stenocephala*) など。これらの草本は高さが低く、南米に生息しているラクダ科 (リヤマ、アルパカ、ビクーニャとグアナコ) の食用にされることが多い。

(c) チラ流域

1995 年植生区分図とその解説によれば、チラ流域は他の 4 流域とは異なり、乾燥林が多勢を占めている。流域内の乾燥林としては i) サバンナ性乾燥林 (Bs sa)、ii) 台地性乾燥林 (Bs co)、iii) 山岳性乾燥林 (Bs mo) の 3 種があり、標高によって特徴付けられている。(表 1.2.5 参照)。サバンナ乾燥林の主要構成樹種はアルガロボ (*Prosopis pallida*) で、アルガロボ林では高木、灌木が混生する。台地性乾燥林と山岳性乾燥林を構成する樹種はほとんど同じで、樹高 12m 程度の落葉樹が多い。また、河川沿いなどでは地下水位が高いため、直径 10cm 以上の常緑樹も生育している。乾燥林は厳しい自然条件下にあるため、いったん破壊されると自然回復は困難である。山岳性湿潤林は樹種が豊富だが樹高は 10m 以下のものがほとんどである。

表 1.2.5 チラ流域の代表的植生一覧

| 区分 | 名称 | 分布する標高 | 降雨量 | 代表的な植生 | 侵食量 |
|--|----------|---|--------------------|-----------------------------------|--------|
| 1)Bs sa | サバンナ型乾燥林 | 0~500m | 160~240mm | アルガロボ林 (常緑樹)、高標高では落葉樹、灌木・サボテンもある | 比較的少ない |
| 2)Bs co | 台地性乾燥林 | 400~700m | 230~1,000mm | 山岳性乾燥林とほぼ同様 | 比較的少ない |
| 3)Bs mo | 山岳性乾燥林 | 500~1,200m | 230~1,000mm | 落葉樹を主体とし、12m 程度の高木林を形成する | 比較的少ない |
| 4)Bh mo | 山岳性湿潤林 | アマゾン高地からペルー北部までは 3,200m まで、ペルー中南部ではアンデス東斜面の 3,800m まで | 霧が発生することが多く、雲霧林もある | 樹高 10m 程度の高木層、2~4m のヤシ類など、草本類など豊富 | 比較的少ない |
| このほか、前出の沿岸の砂漠地帯 (Dc、Cu)、半湿潤灌木林 (Msh)、湿潤灌木林 (Mh) がある。 | | | | | - |

出典：1995 年植生区分図を元に JICA 調査団により作成

(6) 地質

日本で発生した土石流事例と、地質を整理すると表 1.2.6 の通りである。火山岩、安山岩、花崗岩地域、第 3 紀泥岩での発生が多いことがわかる。これらの地質は対象流域には多く分布しており、土石流が発生しやすい地質条件であるといえる。各流域の地質特性について述べる。

表 1.2.6 土砂災害が発生しやすい地質条件

| 発生場所 | | 地質 |
|------|-------------|-----------|
| 北海道 | 有珠山（大有珠川） | 火山岩類、溶岩類 |
| | （西山川、小有珠川） | 火山灰 |
| 岩手県 | 岩木山（蔵助川） | 安山岩、溶岩 |
| 栃木県 | 赤薙山（荒沢、稲荷川） | 安山岩、凝灰角礫岩 |
| 新潟県 | 平丸 | 第三紀泥岩 |
| | 猪ノ山 | 第三紀泥岩 |
| 長野県 | 焼岳（上々堀川） | 安山岩、溶岩 |
| | （濁川） | 花崗岩類 |
| 岐阜県 | 岐阜県 | 花崗岩類 |
| 兵庫県 | 小豆島 | 花崗岩類 |
| 熊本県 | 天草 | 中生代堆積岩 |
| 鹿児島 | 桜島（野尻川） | 火山岩類 |

出典：JICA 調査団により作成

(a) チラ流域

ポエチョスダムより下流では、沖積層が分布する。ポエチョスダムより上流の東側の流域には、白亜紀の火山岩類が分布し、この火山岩はペルー側の集水面積の 32% を占める。

また、流域の東側は花崗岩、閃緑岩が分布し、ペルー側集水面積の 18% を占める。この付近の斜面勾配は 35% 以上で急峻である。一方、西側には、白亜紀の堆積岩が分布している。

(b) カニエテ流域

解析対象流域では、沖積層が分布している。河口から 15km～ 30km 付近には花崗閃緑岩が分布している。標高 1,000～2,000m には、閃緑岩が分布し、2,000～4,000m には、花崗閃緑岩および中生代の堆積岩が広く分布する。4,000m より上位標高では、中生代～新生代の堆積岩が分布する。高位標高は、斜面勾配が緩く、天然湖が 447 存在する。これは、氷河による地形侵食と氷河堆積によって作られた湖が多いが一部は、河道閉塞で形成されている。

(c) チンチャ流域

標高 1,000m までは、沖積層が分布している。標高 1,000～3,000m には花崗岩、花崗閃緑岩が分布している。3,000m から 4,000m には、花崗閃緑岩および中生代の堆積岩が分布している。4,000m より上位標高では、中生代～新生代の堆積岩が分布している。

(d) ピスコ流域

標高 1,000m までは、沖積層が分布している。標高 1,000～3,000m には花崗岩、花崗閃緑

岩が分布している。3,000m から 4,000m には、中生代の堆積岩が分布している。4,000m より上位標高では、新生代の堆積岩が分布している。

(e) ヤウカ流域

標高 1,000m までは、沖積層が分布している。標高 1,000~3,000m には花崗岩、花崗閃緑岩が分布している。3,000m から 4,000m には、ジュラ紀の堆積岩が分布している。4,000m より上位標高では、玄武岩が広く分布している。

(f) カマナ/マヘス流域

標高 1,000m までは、沖積層が分布している。また、標高 1,000~4,000m には中生代の堆積岩、花崗岩、花崗閃緑岩が分布している。標高 4,000m 以上には中生代の堆積岩が分布している。標高 1,000~4,000 にかけては、世界で最も深い溪谷のひとつとして知られるコルカ傾向が位置する。

(1) 降水量

SENAMHI が 1965 年から 1974 年雨量データを用いて作成した等分布曲線図をトレースし流域ごとの等分布曲線図を作成した (図 1.2.6~図 1.2.11 参照)。各流域に降雨特性は以下の通りである。

チラ流域：氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0~200mm である。東側の標高 2,000m のエリアでの年間降水量は 750~1,000mm である。

カニエテ流域：氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0~25mm である。北側の標高 4,000m のエリアでの年間降水量は 750~1,000mm である。

チンチャ流域：氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0~25mm である。東側の標高 4,000m のエリアでの年間降水量は 500~750mm である。

ピスコ流域：氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0~25mm である。東側の標高 4,000m のエリアでの年間降水量は 500~750mm である。

ヤウカ流域：氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0~25mm である。北側の標高 3,000~4,000m のエリアでの年間降水量は 500~750mm である。

カマナ/マヘス流域：氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0~50mm である。南東側の標高 4,000~5,000m のエリアでの年間降水量は 500~750mm である。

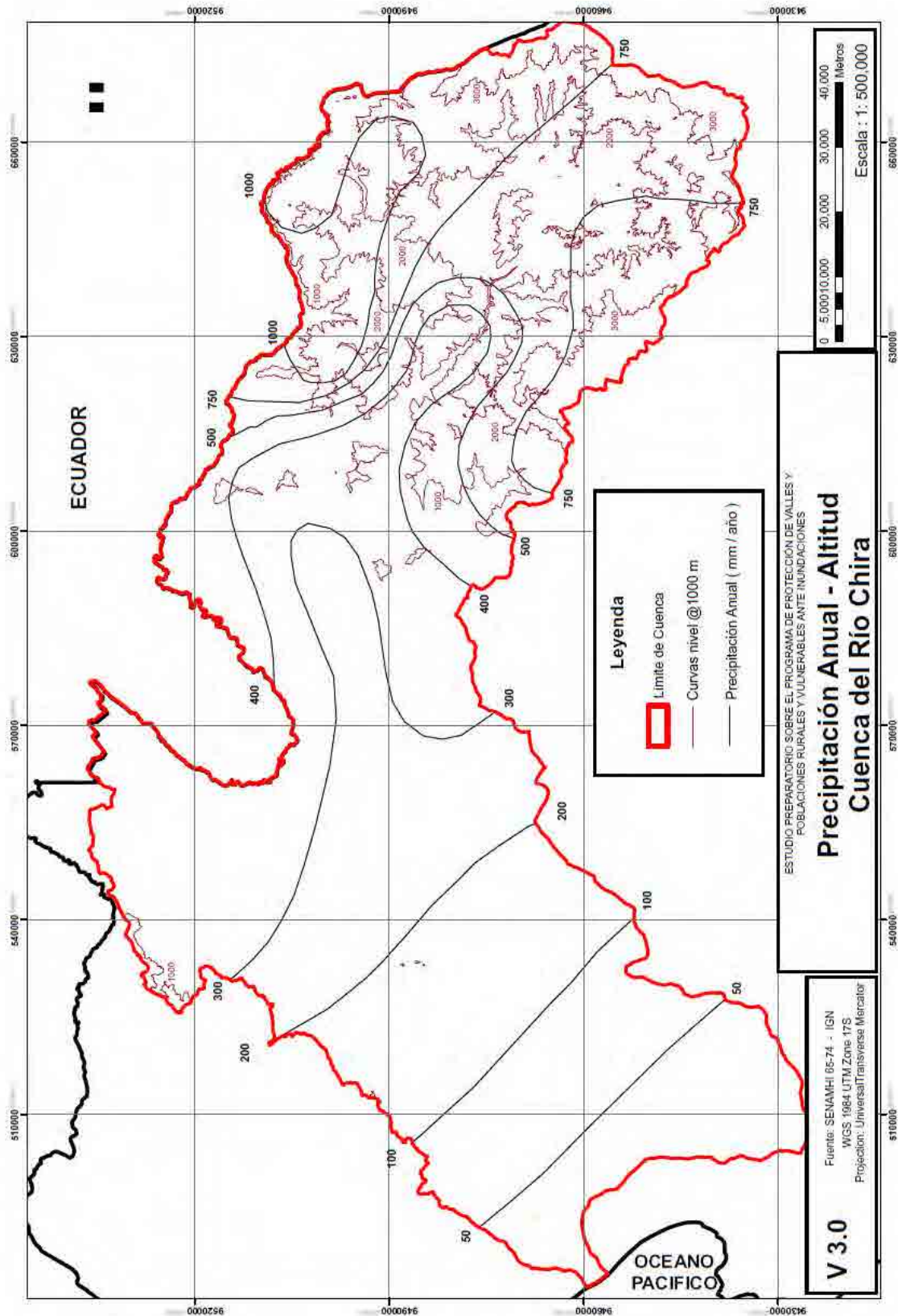


図 1.2.6 等分布曲線図 (チラ流域)

出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

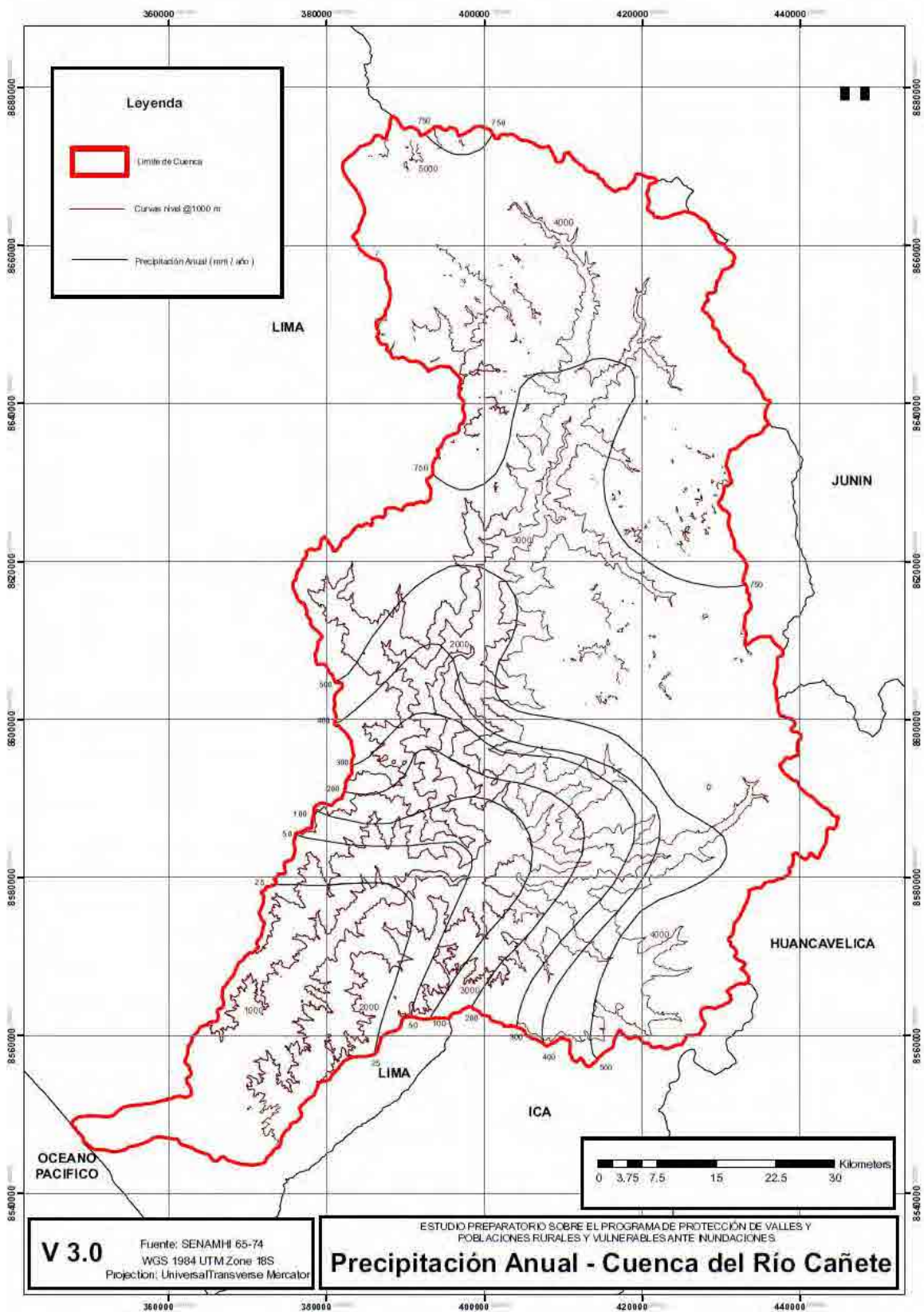


図 1.2.7 等分布曲線図 (カニエテ流域)

出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

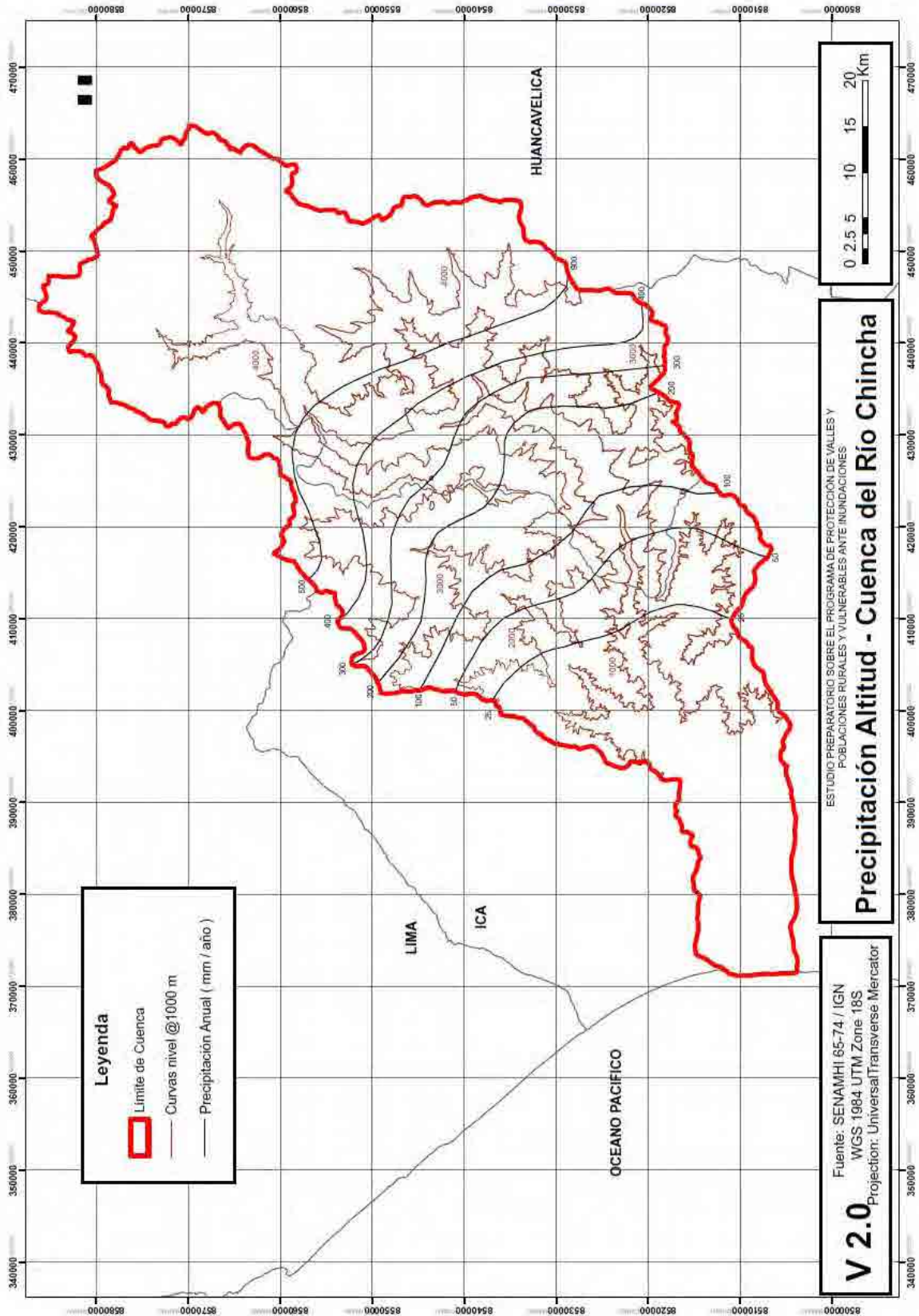


図 1.2.8 等分布曲線図 (チンチャ流域)

出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

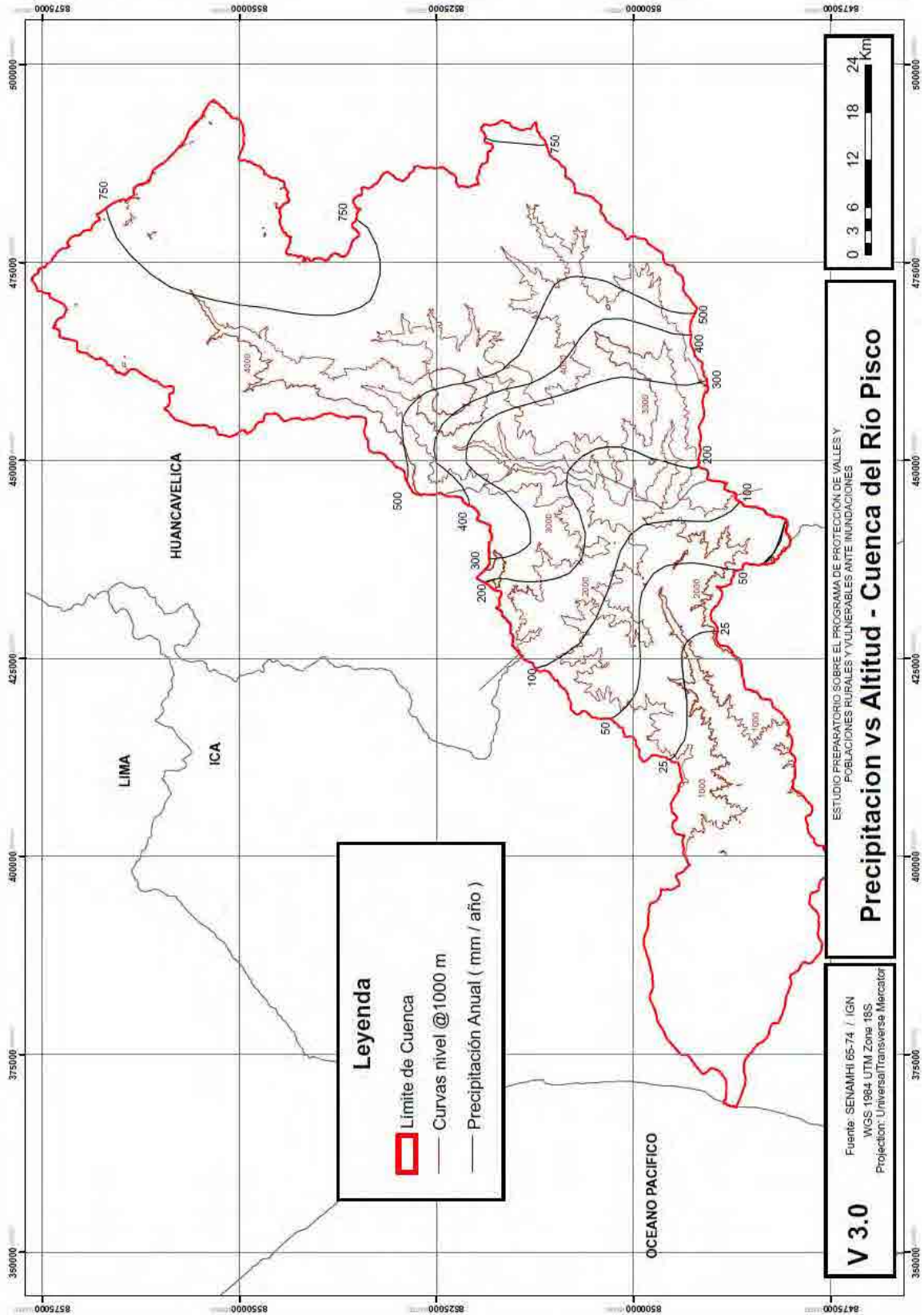


図 1.2.9 等分布曲線図 (ピスコ流域)

出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

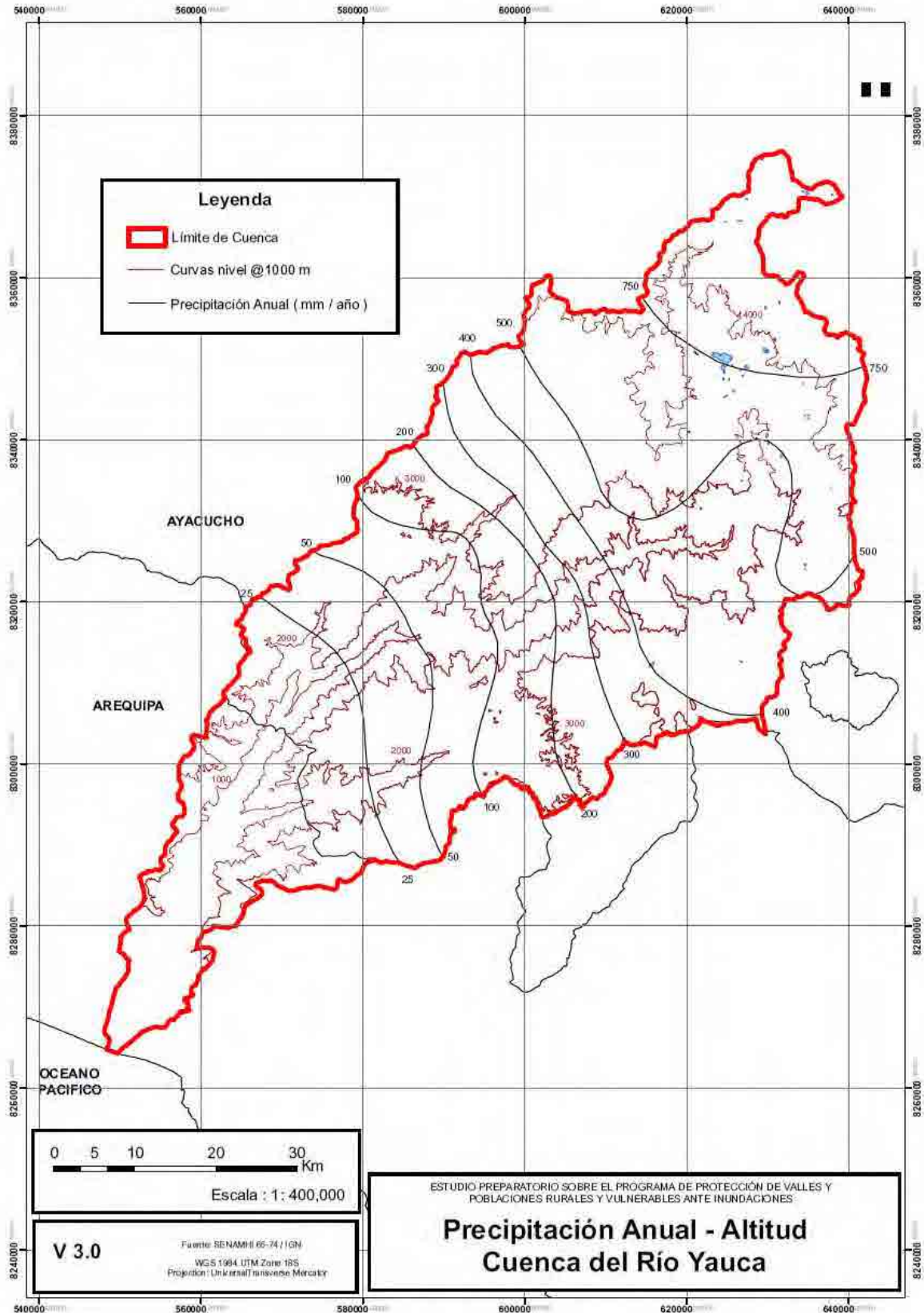


図 1.2.10 等分布曲線図 (ヤウカ流域)

出典: SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

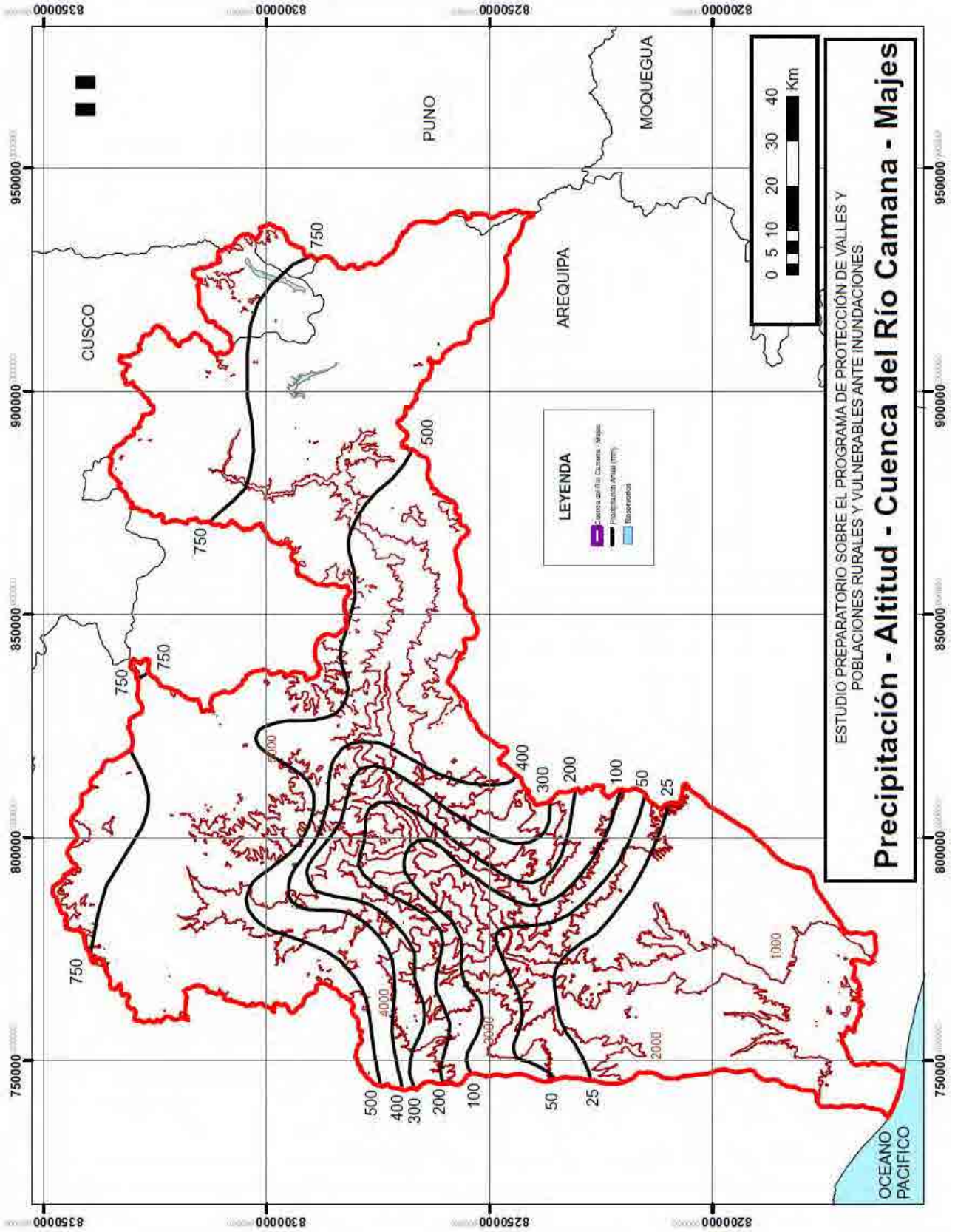


図 1.2.11 等分布曲線図 (カマナ/マヘス流域)

出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

等分布曲線図において等分布曲線間の面積を算出した（表 1.2.7 および図 1.2.12 参照）。

- チラ上流では 300-400mm の地域が多く全体の 3 割を占める。また、1,000-1,500mm の降雨が観測される地域も認められる。
- チラ下流では 0-200mm の地域が多く、比較的降水量が少ない。
- カニエテでは 500-1,000mm の地域が多く、流域全体の半分を占める。
- チンチャ、ピスコおよびカマナ/マヘスでは、500mm-750mm の地域が多く、流域の 3 割程度を占める。
- ヤウカは他流域に比べて降水量が少なく、0-25mm の地域が流域の 2 割を占める。

表 1.2.7 各流域における年間降水量毎の面積

| 降水量 | チラ -上流域 | | チラ- 下流域 | | カニエテ 流域 | | チンチャ 流域 | | ピスコ 流域 | | ヤウカ 流域 | | カマナ/マヘス 流域 | |
|-----------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|-----------|-----|-----------|------|---------------|------|
| | 面積 | 割合 | 面積 | 割合 | 面積 | 割合 | 面積 | 割合 | 面積 | 割合 | 面積 | 割合 | 面積 | 割合 |
| 0-25 | | 0% | | 0% | 703 | 12% | 643 | 19% | 829 | 19% | 865 | 20% | 3,243 | 19% |
| 25-50 | | 0% | 789 | 19% | 198 | 3% | 226 | 7% | 191 | 4% | 338 | 8% | 624 | 4% |
| 50-100 | | 0% | 847 | 20% | 237 | 4% | 202 | 6% | 257 | 6% | 349 | 8% | 823 | 5% |
| 100-200 | | 0% | 1,127 | 27% | 263 | 4% | 353 | 11% | 307 | 7% | 379 | 9% | 762 | 4% |
| 200-300 | 936 | 15% | 551 | 13% | 318 | 5% | 211 | 6% | 377 | 9% | 247 | 6% | 869 | 5% |
| 300-400 | 1,909 | 30% | 340 | 8% | 252 | 4% | 220 | 7% | 231 | 5% | 314 | 7% | 746 | 4% |
| 400-500 | 713 | 11% | 172 | 4% | 495 | 8% | 296 | 9% | 211 | 5% | 701 | 16% | 2,313 | 14% |
| 500-750 | 1,167 | 18% | 200 | 5% | 1,955 | 32% | 1,153 | 35% | 1,390 | 33% | 754 | 17% | 5,816 | 34% |
| 750-1000 | 1,162 | 18% | 213 | 5% | 1,645 | 27% | | 0% | 479 | 11% | 375 | 9% | 1,849 | 11% |
| 1000-1500 | 502 | 8% | | 0% | | 0% | | 0% | | 0% | | 0% | | 0% |
| total | 6,390 | 100% | 4,238 | 100% | 6,066 | 100% | 3,304 | 100% | 4,272 | 19% | 4,323 | 100% | 17,049 | 100% |

出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

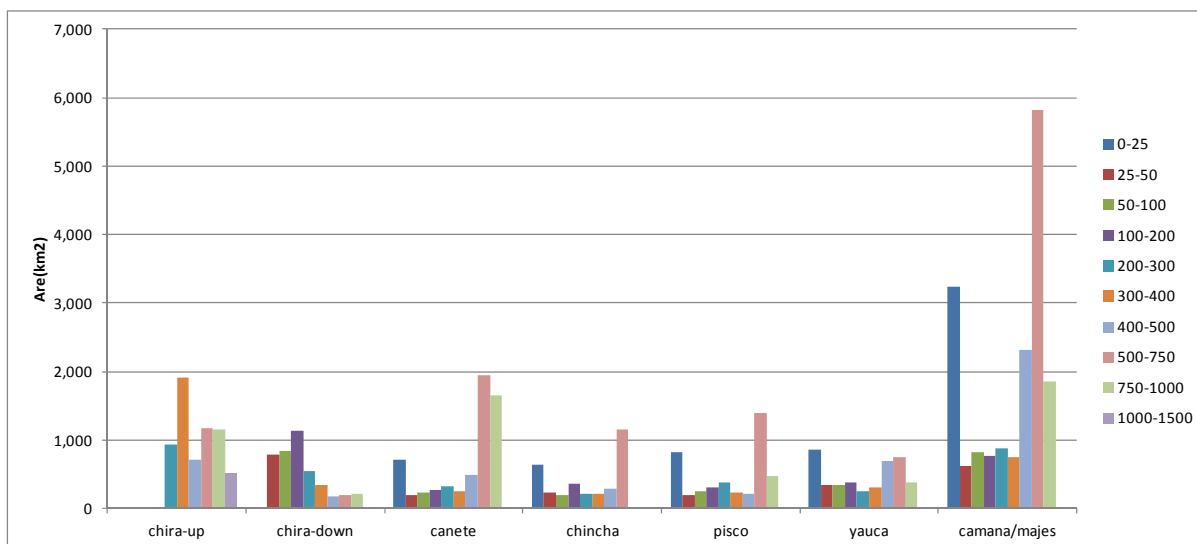


図 1.2.12 各流域における年間降水量毎の面積

出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

(7) 斜面勾配と標高

各流域における斜面勾配と標高の関係をとりまとめた（図 1.2.13 参照）。

チラ上流では、標高 1,000～3,000m に勾配が 35%以上の斜面が多く分布する。下流では、勾配 2～15%の斜面が全体の 67%を占める。

カニエテ流域では、勾配が 35%以上の斜面が 60%を占める。特に標高 4,000～5,000m において勾配 35%以上の斜面が多い。

チンチャ流域では標高 2,000～4,000m において勾配 35%以上の斜面が多い。

ピスコ流域では標高 1,000～4,000m において勾配 35%以上の斜面が多い。標高 4,000m 以上では、35%以下の比較的緩やかな斜面が分布している。

ヤウカ流域では標高 1,000～3,000m において勾配 35%以上の斜面が多く分布している。標高 3,000m 以上では、35%以下の緩やかな斜面が分布している。

カマナ/マヘス流域では、標高 1,000-4,000 での地形変化が大きい。世界で最も深い溪谷のひとつといわれるコルカ溪谷がここに位置する。

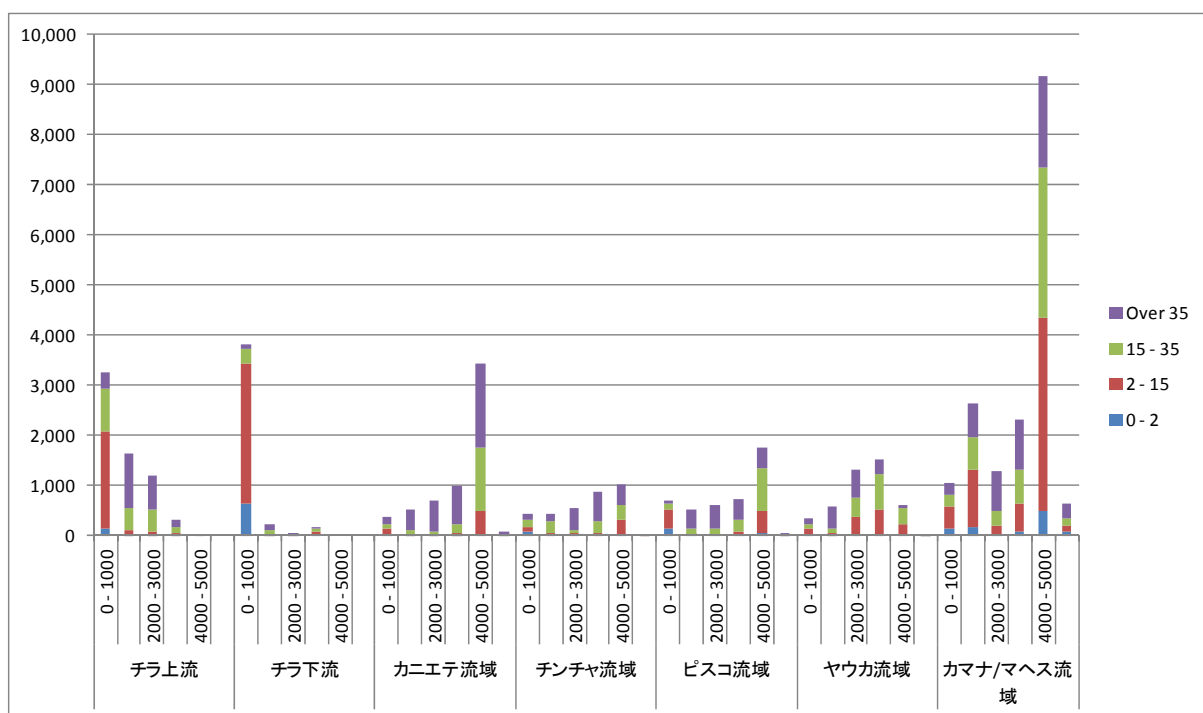


図 1.2.13 各流域における斜面勾配と標高の関係

表 1.2.8 各流域における斜面勾配と標高の関係

| 流域 | 斜面 勾配(%) | 標高(m) | | | | | | | | | | | | 合計 |
|-------------------|-------------|----------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|------------|----|---------|
| | | 0 - 1000 | | 1000 - 2000 | | 2000 - 3000 | | 3000 - 4000 | | 4000 - 5000 | | 5000 - Mas | | |
| チラ 上流 | 0 - 2 | 129.06 | 98% | 1.34 | 1% | 0.83 | 1% | 0.39 | 0% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 131.62 |
| | 2 - 15 | 1934.27 | 89% | 99.74 | 5% | 84.46 | 4% | 49.22 | 2% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 2167.69 |
| | 15 - 35 | 859.87 | 46% | 443.18 | 24% | 432.88 | 23% | 116.86 | 6% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 1852.79 |
| | Over 35 | 319.67 | 14% | 1084.79 | 48% | 677.65 | 30% | 155.31 | 7% | 0.22 | 0% | 0.00 | 0% | 2237.64 |
| チラ 下流 | 0 - 2 | 647.61 | 99% | 0.21 | 0% | 0.13 | 0% | 3.33 | 1% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 651.28 |
| | 2 - 15 | 2777.68 | 97% | 12.58 | 0% | 6.70 | 0% | 62.39 | 2% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 2859.35 |
| | 15 - 35 | 300.77 | 65% | 87.38 | 19% | 10.34 | 2% | 67.37 | 14% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 465.86 |
| | Over 35 | 100.13 | 38% | 108.92 | 42% | 31.86 | 12% | 20.85 | 8% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 261.76 |
| カニ エテ 流域 | 0 - 2 | 15.51 | 60% | 0.56 | 2% | 0.15 | 1% | 0.52 | 2% | 8.88 | 35% | 0.05 | 0% | 25.67 |
| | 2 - 15 | 111.54 | 17% | 18.13 | 3% | 11.10 | 2% | 35.27 | 5% | 490.68 | 73% | 3.26 | 0% | 669.98 |
| | 15 - 35 | 101.99 | 6% | 75.00 | 4% | 64.27 | 4% | 193.48 | 11% | 1252.70 | 73% | 21.88 | 1% | 1709.32 |
| | Over 35 | 141.11 | 4% | 435.02 | 12% | 604.91 | 17% | 751.43 | 21% | 1668.31 | 46% | 59.99 | 2% | 3660.77 |
| チン チャ 流域 | 0 - 2 | 78.15 | 86% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% | 12.47 | 14% | 0.00 | 0% | 90.62 |
| | 2 - 15 | 80.09 | 16% | 50.00 | 10% | 47.83 | 10% | 32.12 | 6% | 289.52 | 58% | 0.12 | 0% | 499.68 |
| | 15 - 35 | 148.11 | 15% | 234.91 | 23% | 64.87 | 6% | 256.02 | 25% | 315.65 | 31% | 0.21 | 0% | 1019.77 |
| | Over 35 | 129.25 | 8% | 146.42 | 9% | 421.58 | 25% | 594.25 | 35% | 401.98 | 24% | 0.34 | 0% | 1693.82 |
| ピスコ 流域 | 0 - 2 | 132.09 | 76% | 1.79 | 1% | 2.08 | 1% | 3.58 | 2% | 33.74 | 19% | 0.02 | 0% | 173.30 |
| | 2 - 15 | 371.35 | 39% | 25.01 | 3% | 23.33 | 2% | 67.75 | 7% | 459.43 | 48% | 1.51 | 0% | 948.38 |
| | 15 - 35 | 118.98 | 8% | 107.69 | 8% | 101.38 | 7% | 230.25 | 16% | 856.43 | 60% | 4.06 | 0% | 1418.79 |
| | Over 35 | 60.92 | 4% | 373.82 | 22% | 479.29 | 28% | 415.34 | 24% | 398.45 | 23% | 3.8 | 0% | 1731.62 |
| ヤウカ 流域 | 0 - 2 | 21.13 | 27% | 1.48 | 2% | 14.72 | 19% | 25.07 | 32% | 16.56 | 21% | 0.05 | 0% | 79.01 |
| | 2 - 15 | 106.81 | 9% | 40.14 | 3% | 350.89 | 29% | 498.75 | 42% | 193.38 | 16% | 0.22 | 0% | 1190.19 |
| | 15 - 35 | 86.07 | 5% | 94.66 | 6% | 399.92 | 25% | 685.64 | 43% | 324.82 | 20% | 0.10 | 0% | 1591.21 |
| | Over 35 | 118.78 | 8% | 439.54 | 30% | 537.05 | 37% | 295.34 | 20% | 67.24 | 5% | 0.18 | 0% | 1458.13 |
| カマナ/ マヘス 流域 | 0 - 2 | 140.95 | 15% | 158.22 | 17% | 14.72 | 2% | 78.54 | 8% | 480.22 | 51% | 61.23 | 7% | 140.95 |
| | 2 - 15 | 446.73 | 7% | 1164.54 | 18% | 350.89 | 5% | 560.22 | 9% | 3850.12 | 59% | 128.91 | 2% | 446.73 |
| | 15 - 35 | 222.03 | 4% | 622.51 | 12% | 399.92 | 8% | 673.63 | 13% | 3014.22 | 59% | 154.69 | 3% | 222.03 |
| | Over 35 | 230.75 | 5% | 677.32 | 15% | 537.05 | 12% | 993.25 | 22% | 1823.81 | 40% | 290.08 | 6% | 230.75 |

(8) 流域特性

チラを除く各流域の流域特性は図 1.2.14 のようにまとめられる。標高が 500m 以下では、植生がなく、降水量が小さく侵食量は小さい (エリア A)。この地域はコスタ(海岸地帯)と呼ばれ北はエクアドル、南はチリまで 2,414km に及ぶ砂漠地帯を形成し、太平洋から内陸部に向けて標高 500m までの地点を指す。標高 1,000~4,000m では、地形が急峻で植生はなく、裸地状である (エリア B)。降水量はそれほど大きくないが、この箇所での侵食量が最も多いと推定される。この箇所はシエラ (山岳地帯)、ケチュア帯、スニ帯と呼ばれる。国土の約 28%を占めるシエラ (山岳地帯) は、アンデス山脈の西斜面の標高 500m 以上の地域から、東斜面の標高 1,500m 程までの地域を指し、国土の約 28%を占め、ケチュア帯 (またはキチュア帯) は、標高 2,300m~3,500m までの温暖な地域を指し、スニ帯 (またはハルカ帯) は、標高 3,500m から 4,000m の冷涼地域をさす。また、標高 4,000m を超えると降水量が多く、気温が低い。低温に適した低木類が地表面を覆い、なおかつ地形勾配が緩いため侵食量は少ない (エリア C)。この地域はプーナ帯と呼ばれる。流域毎のエリアと標高の関係を

表 1.2.9 に示す。

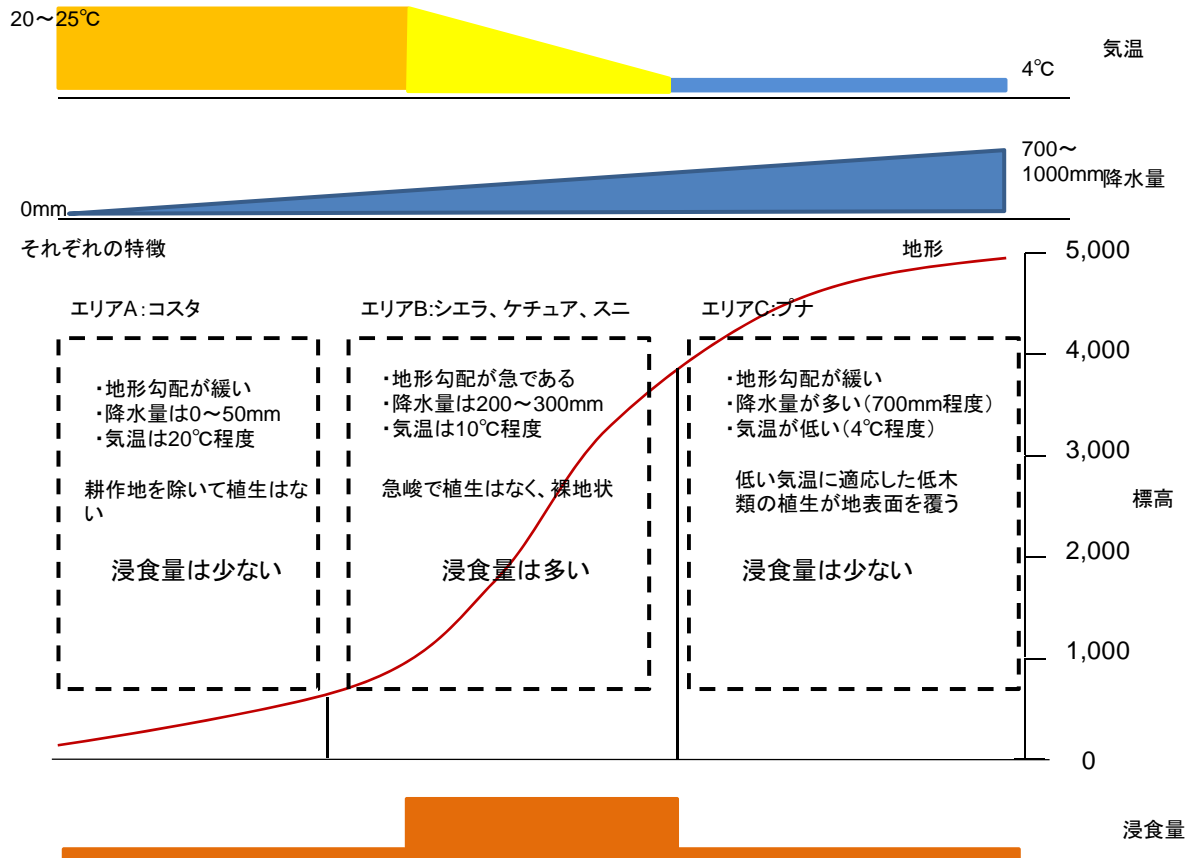


図 1.2.14 流域特性

表 1.2.9 流域毎のエリアと標高の関係

| エリア | カニエテ流域 | チンチャ流域 | ピスコ流域 | ヤウカ流域 | カマナ/マヘス流域 |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A | 0-500 | 0-500 | 0-500 | 0-500 | 0-500 |
| B | 500-3,500 | 500-3,500 | 500-3,500 | 500-3,500 | 500-3,000 |
| C | 3,500-5,000 | 3,500-5,000 | 3,500-5,000 | 3,500-5,000 | 3,000-5,000 |

出典：JICA 調査団にて作成

1.3 土砂生産状況

(1) 現地調査結果

チラおよびカマナ・マヘスを除く 4 流域は近接しており、おおむね同じ状況にあると判断できる。チラは上流に Poechoce ダムがあり、このダムに土砂が堆砂するため、下流側への土砂供給はない。ピスコ、カニエテ流域とカマナ・マヘス流域に対して現地調査結果を述べる。

(a) ピスコ流域およびカニエテ流域

調査結果は以下の通りである。

- ・ 山肌には、崩壊、風食などにより生産された碎屑物が崖錐を形成している。
- ・ 基岩地質毎に若干生産形態は異なる。(安山岩質～玄武岩質：巨礫の崩落、破碎がメイン。堆積岩質：風化による風化侵食、細粒砂の匍行がメイン) (図 1.3.1 および図

1.3.2)

- ・ 平常時に匍行性の土砂移動があるためか、写真に示すように植生は根付いていない。安山岩質な岩盤摂理面などの、あまり土砂移動のない場所においては、藻類やサボテン類が侵入しているのが認められた (図 1.3.3)。
- ・ ほとんどの河道で低位の段丘面が残っているため、そのような場所では斜面から直接河道への土砂流入は見られず、段丘上に崖錐を形成している。そのため、ほとんどの河川への供給土砂は段丘堆積物からの侵食土砂および河床変動と推察される (図 1.3.4)。
- ・ 上流側では、段丘面がすくなくなり、斜面からの直接土砂流入が確認できるが、極僅かであると判断できる。
- ・ 溪谷内は、段丘が発達している(カニエテ,ピスコ流域で高さ 10m 以上の規模)。この段丘面の脚部は各所で流路に接しており、それらの地点からは通常流水(雨期の中小規模出水を含む)で土砂が再流出, 移動しているものと考えられる。



図 1.3.1 安山岩質～玄武岩質の崩壊地



図 1.3.2 堆積岩類の土砂生産状況



図 1.3.3 サボテンの侵入状況



図 1.3.4 段丘面の侵食状況

(b)カマナ/マヘス流域

調査結果は以下の通りである。

- 大地を 800m 程度侵食してできた溪谷の中を流れる河川である。谷幅は約 4.2km で川幅は 400m である(図 1.3.7 参照)。ヤウカと同様の地形をなすが、溪谷谷の深さおよび幅が大きい。
- 山肌には、植生はなく、崩壊、風食などにより生産された碎屑物が崖錐を形成している(図 1.3.13 参照)。
- 基岩地質は、中古代の堆積岩を主体とし、風化による風化侵食、細粒砂の匍行がメインである(図 1.3.13)。
- 平常時に匍行性の土砂移動があるためか、写真に示すように植生は根付いていない(図 1.3.7 及び図 1.3.13)。
- 谷底の幅が広く対象区間(河口から 111km アンダマヨとの合流点)においては河道で低位の段丘面が残っているため、そのような場所では斜面から直接河道への土砂流入は見られず、段丘上に崖錐を形成している。そのため、ほとんどの河川への供給土砂は段丘堆積物からの侵食土砂および河床変動と推察される(図 1.3.13)。
- 上流側では、段丘面がすくなくなり、斜面からの直接土砂流入が確認できるが、極僅かであると判断できる(図 1.3.13)。
- ヒアリング結果によれば、対象区間における支川からの土石流発生状況は以下の通りのこと。また、上流側から土砂が流入し、河床上昇しているとのことであったが、観測は実施していないとのことであった。
- 溪谷内は、段丘が発達しており、この段丘面の脚部は各所で流路に接しており、それらの地点からは通常流水(雨期の中小規模出水を含む)で土砂が再流出、移動しているものと考えられる。

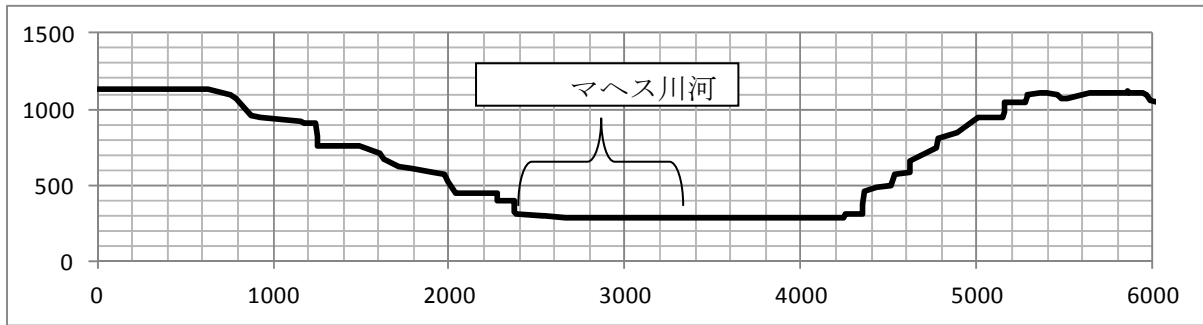


図 1.3.5 マヘス溪谷断面 (河口から 50km 付近)

表 1.3.1 マヘス川上流で発生した土石流

| No | 河川名 | キロポスト | 状況 |
|----|----------------------|----------|---|
| 1 | コスス 図 1.3.9 | 88km 付近 | 雨期には 1 ヶ月に 1 回程度土石流が発生し、市道を土砂が覆う。1 日程度で復旧する。給水管も時々被災すること。 |
| 2 | オンゴロ 図 1.3.10 | 103km 付近 | 1998 年に土石流が発生し、2 名の方が土砂に飲み込まれて死亡した。灌漑水路が被災し復旧に 1 ヶ月を要した。30 分くらい前に山鳴りがして住民 (8 家族) は避難した。この 8 家族は現在が被災箇所に戻ってきて生活をしている。マヘス川本線は大きく河床上昇していないとのこと。灌漑水路の復旧は NGO が実施した。 |
| 3 | サンフランシスコ 図 1.3.11 | 106km 付近 | 1998 年に土石流が発生し、灌漑水路が被災した。仮復旧に 1 ヶ月本復旧に 4 年の月日を要した。土石流堆積土砂の高さは 10m 程度である。 |
| 4 | ホロン 図 1.3.12 | 106km 付近 | 1998 年に土石流が発生し、本線へ流れ込んだが、本線の流量が多くそのまま本線を流下した。土石流堆積土砂の高さは 10m 程度である。移動可能土砂は数 10 万～100 万 m ³ 残存している。 |

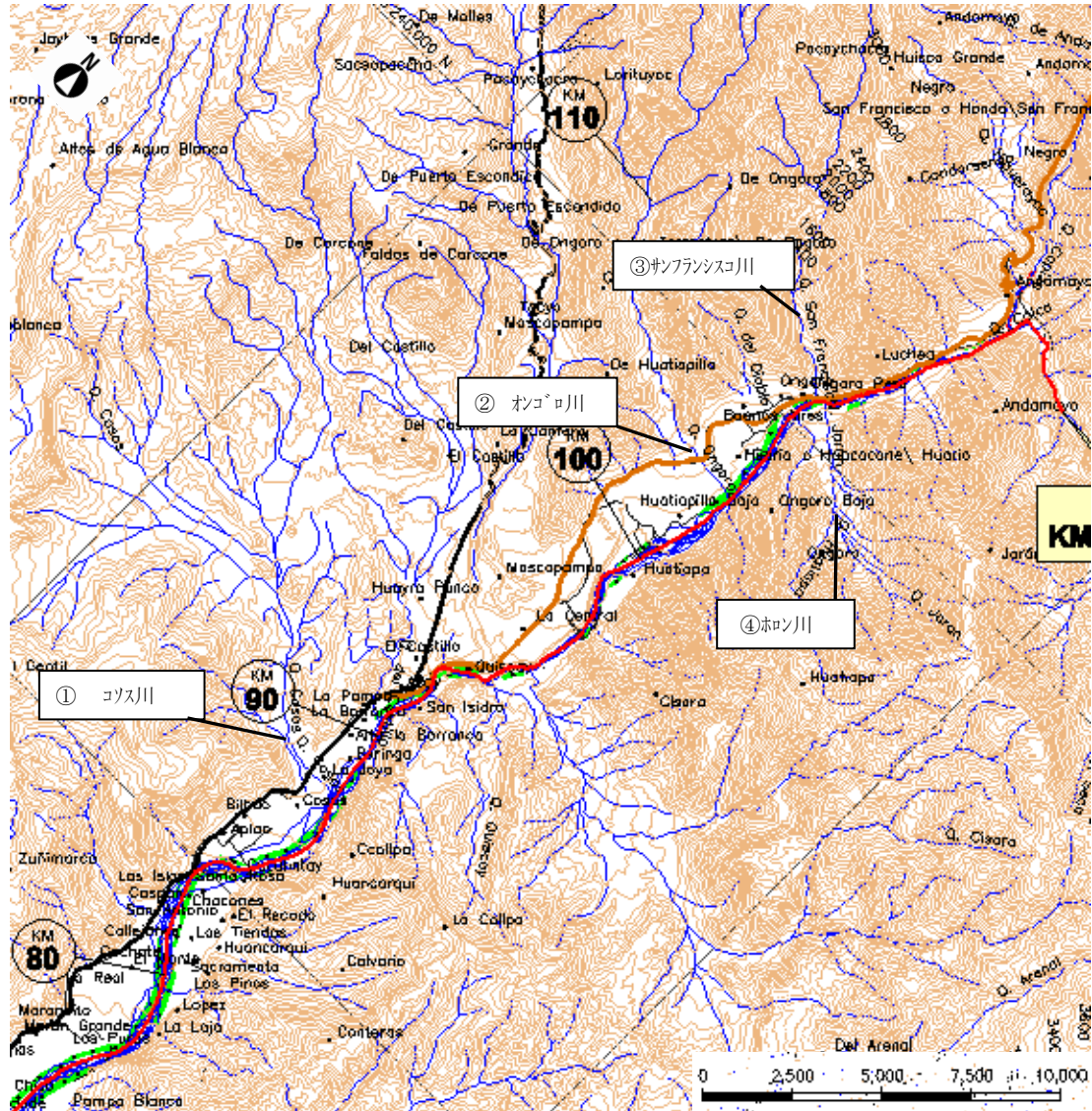


図 1.3.6 土石流発生位置図



図 1.3.7 60km 付近の状況 (幅 5km 程度の溪谷をなす)



図 1.3.8 コソス川の土砂堆積状況 (幅約 900m)



図 1.3.9 コソス川を通過する市道（雨期には土砂が市道を覆うが1日で復旧するとのこと）

図 1.3.10 オンゴロの状況（1998年土石流が発生し、2名が亡くなった）



図 1.3.11 サンフランシスコ川の土砂堆積状況（灌漑水路が土石流により被災した。道路側壁はその時の土石流堆積物）

図 1.3.12 ホロン川の状況（1998年土石流が本線に流れ込んだ）



図 1.3.13 河口から110km付近の状況（斜面からの河道への土砂流入は僅かであると推定できる）

図 1.3.14 カマナ川とアンダマヨ川の合流点（アンダマヨ川は放流路となっている）

(2) 土砂災害と降水量の関係

カマナ/マヘス流域では 1998 年に土砂災害が多発している。このため、1998 年の降雨がどの程度であったかを調査した。降雨データはサポートングレポート Annex1 水文解析を参考にした。土石流が確認された地点に比較的近いに示す観測所（表 1.3.2）における、各観測所の確率年雨量および 1998 年の最大日雨量は表 1.3.3 に示すとおりである。Chuquibamba では 150 年確率程度の雨量が観測され、Pampacolca では 25 年確率雨量程度の雨量が観測されている。Aplap および Huambo では 2 年確率雨量程度の雨量しか観測されていない。

一般的に 1982-83 および 1998 年の大変強力なエルニーニョはほぼ 50 年間隔に出現しており¹、50 年確率降雨程度の降雨で土砂災害が発生するものと判断した。

表 1.3.2 雨量を確認した観測所一覧

| 観測所 | 位置 | | |
|-------------|-----------|-----------|-------|
| | 緯度 | 経度 | 標高(m) |
| Aplao | 16° 04'10 | 72° 29'26 | 625 |
| Chuquibamba | 15° 50'17 | 72° 38'55 | 2839 |
| Huambo | 15° 44'1 | 72° 06'1 | 3500 |
| Pampacolca | 15° 42'51 | 72° 34'3 | 2895 |

表 1.3.3 各観測所の確率雨量と 1998 年最大日雨量

| 観測所 | 確率年降雨 | | | | | | | 1998年の降雨 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 | |
| Aplao | 1.71 | 5.03 | 7.26 | 9.51 | 10.71 | 11.56 | 12.14 | 1.20 |
| Chuquibamba | 21.65 | 36.96 | 47.09 | 59.89 | 69.39 | 78.82 | 88.21 | 82.00 |
| Huambo | 22.87 | 30.14 | 34.96 | 41.05 | 45.57 | 50.05 | 54.52 | 25.30 |
| Pampacolca | 21.13 | 29.11 | 34.40 | 41.08 | 46.04 | 50.95 | 55.86 | 42.40 |

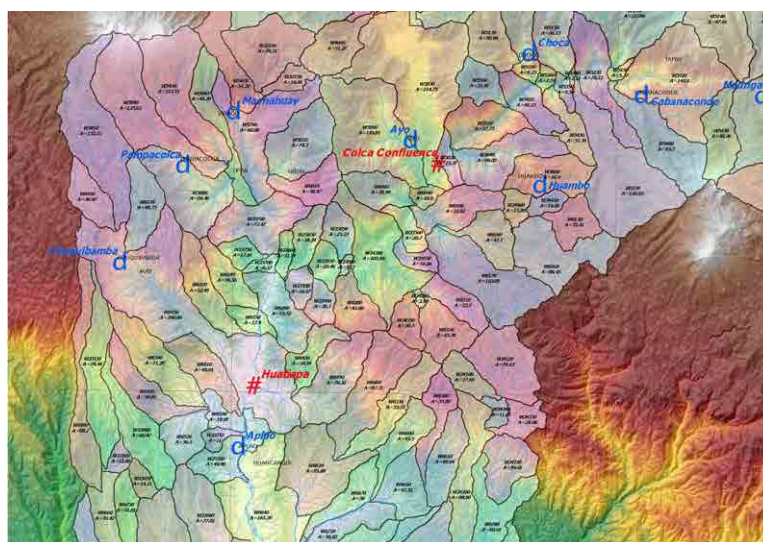


図 1.3.15 雨量観測所位置図

¹ Lorenzo Huertas DILUVIOS ANDINOS A TRAVÉS DE LAS FUENTES DOCUMENTALES - COLECCIÓN CLÁSICOS PERUANOS 05/2003

(3) 予測される土砂生産流出形態

要因（降雨・流量）の規模に応じた土砂生産流出が予見される。定量的な経過測量，比較検討を行っていないため，平常時、50年確率程度の降雨および大規模出水時での定性的な所見を以下に示す。

(a) 平常時

平常時の土砂生産流出状態を図 1.3.16 に示す。

- 斜面からの土砂生産はほとんど見られない
- 段丘面から崩落，脚部に堆積した崖錐に流水があたることで土砂が生産，下流側へ流出する。
- 河道内に残置されている中州の堆積土砂が小規模増水時に流路変更に伴い再移動，下流側へ押し出すパターンで土砂流出が発生すると考えられる。

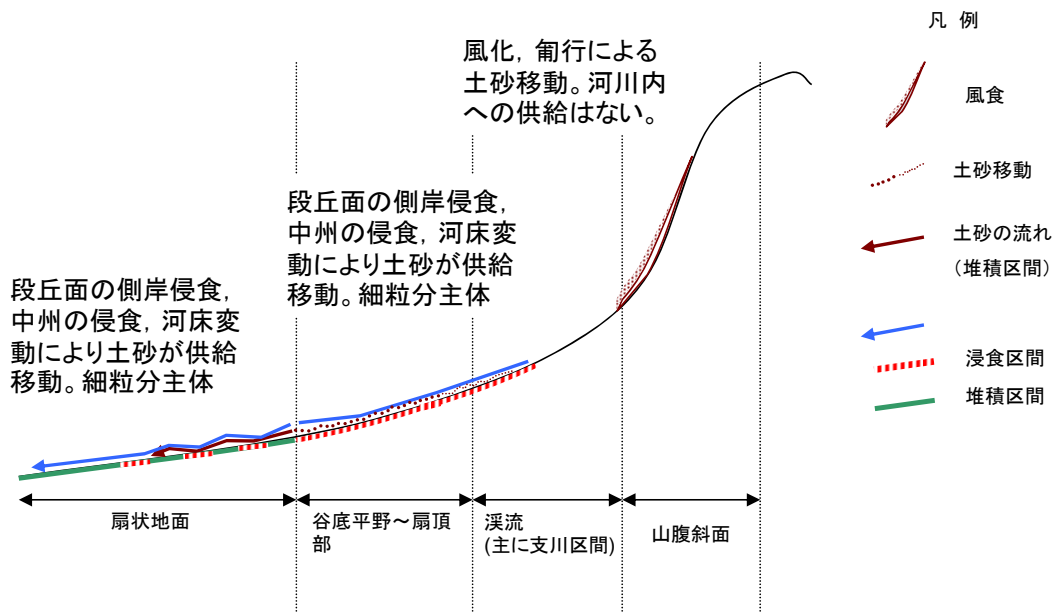


図 1.3.16 平常時土砂生産流出状態

出典： JICA 調査団により作成

(b) 50年確率降雨程度の豪雨

現地ヒアリングによればエルニーニョ年には各支川から土石流が発生しているとのことであった。ただし、河道の土砂調節量が多く、下流への影響はあまりないものと推定される。エルニーニョ程度の豪雨における土砂生産流出状態を図 1.3.17 に示す。斜面から水量に見合った量の土砂が流出する。

- 支川から土石流が発生し本線へ流れ込む。
- 河道の土砂調節量が多いため、下流への影響はあまりない。

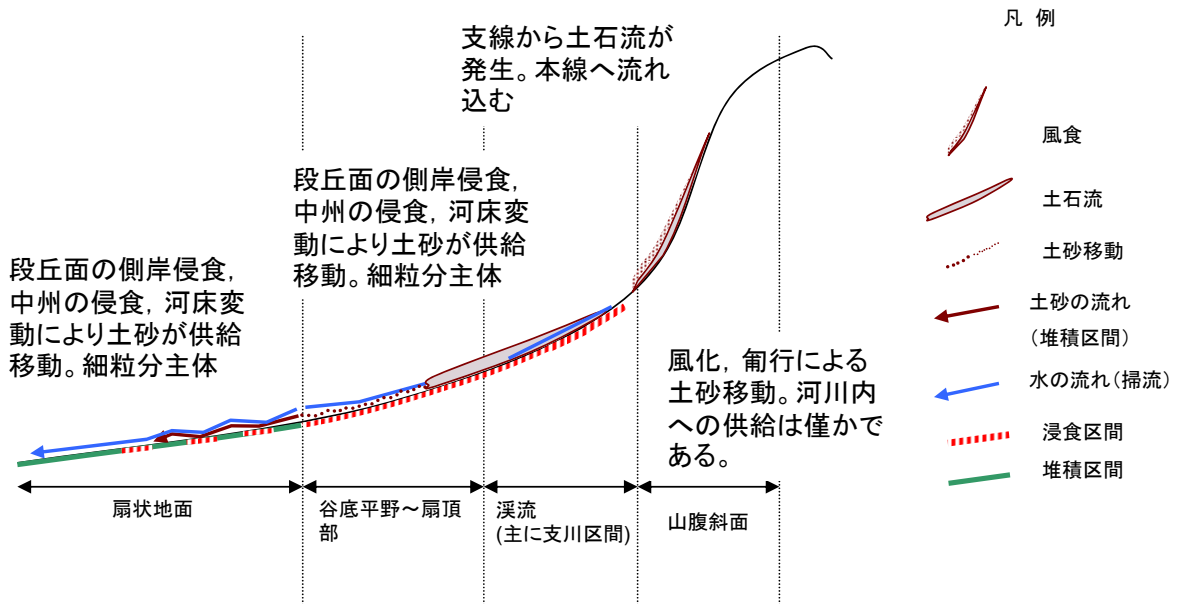


図 1.3.17 50年確率降雨程度の豪雨時における土砂生産流出の状態

出典： JICA 調査団により作成

(c) 大規模出水時（現在の段丘面を形成するような出水）数千年に1回程度

コスタ地方については、100年超過確率日降雨量は50mm程度である。そのため水による土砂移動がきわめて少ない状態である。しかしながら雨が少ない分、ひとたび豪雨が発生した場合、流水による土砂生産ポテンシャルは非常に高い状態にあるといえる。

およそ数千年確率規模以上の低確率規模降雨が生じた場合、以下の土砂生産形態が発生すると考えられる(図 1.3.18 参照)。なお、大規模出水の頻度は地球規模の温暖化-寒冷化のサイクルに一致していると推定して数千年とした。

- 斜面より水量に見合った量の土砂が流出する。
- 崖錐や斜面脚部の過堆積土砂が水量見合いで流出し、溪流や河道の閉塞を伴う土砂移動が発生
- 河道閉塞後に発生する天然ダム決壊、中州の崩壊による土石流、土砂流の発生
- 多量の土砂供給に伴う下流側での河道内堆積の増加と段丘の形成
- 扇頂部～河積不足断面における河道変更を伴う氾濫

1.4 土砂生産量の算出

河床変動解析を行うために、土砂流入量を算出する必要がある。このため、各流域における土砂生産量を算出した。

以下の3種類の土砂量を算出し、生産土砂量を決定した。

- (1)移動可能土砂量
- (2)ポエチヨスダムの堆砂量を用いた比流出土砂量
- (3)流速から算出した流砂量

(1) 移動可能土砂量の算出

(a) 谷次数区分

移動可能土砂量を算出するために、水系図および流域区分の作成を行った。谷の次数区分は、ストレーラーの方法を用いて、谷の次数区分を行った（図 1.4.1 参照）。谷の判定方法は、図 1.4.2 に示すとおりとし、0 次谷は、 $S=1/50,000$ 大縮尺の地形図を使用して等高線の凹み具合を眺めて、凹んでいる等高線群の間口よりも奥行が小なる地形とした。

移動可能土砂量は、土石流区間における移動可能土砂量と掃流区間における生産土砂量の和として算出した。なお、日本では 0 次谷からの崩壊可能土砂量を算出し、移動可能土砂量に含むが斜面が急峻で岩が露出していることと、降雨が小さいため崩壊可能土砂量はごく僅かであると判断できるため、今回の検討では、0 次谷からの崩壊可能土砂量を含まないこととした。

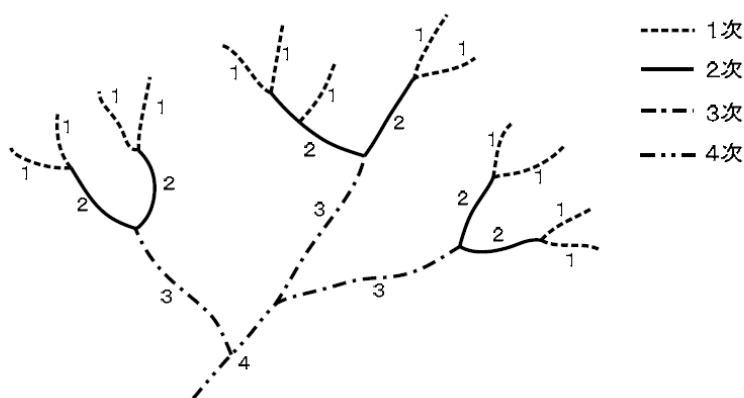


図 1.4.1 ストレーラーの谷次数の考え方

出典：建設省河川砂防技術基準(案) 調査編 同解説

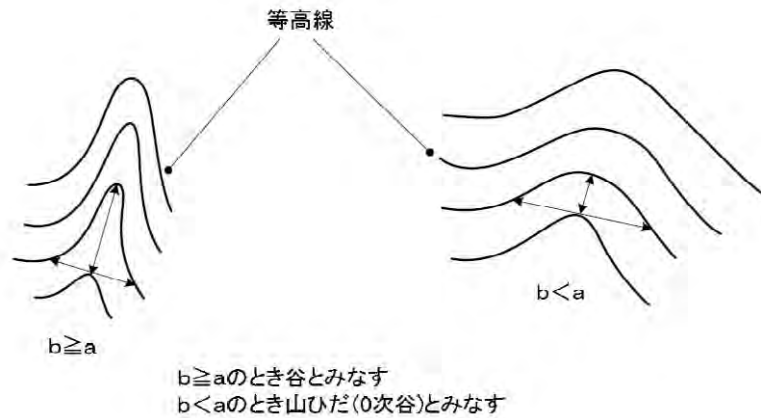


図 1.4.2 谷の判定法

出典：建設省河川砂防技術基準(案) 調査編 同解説

(b) 土石流区間における移動可能土砂量算出

土石流区間における移動可能土砂量は、移動可能溪床堆積土砂量と崩壊可能土砂量の和で算出される。0次谷での風化深度は薄いことから今回は崩壊可能土砂量を見込まないこととした。

1) 移動可能溪床堆積土砂量

移動可能溪床堆積土砂量は、土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅(B_d)と平均深さ(D_e)の積から算出した。

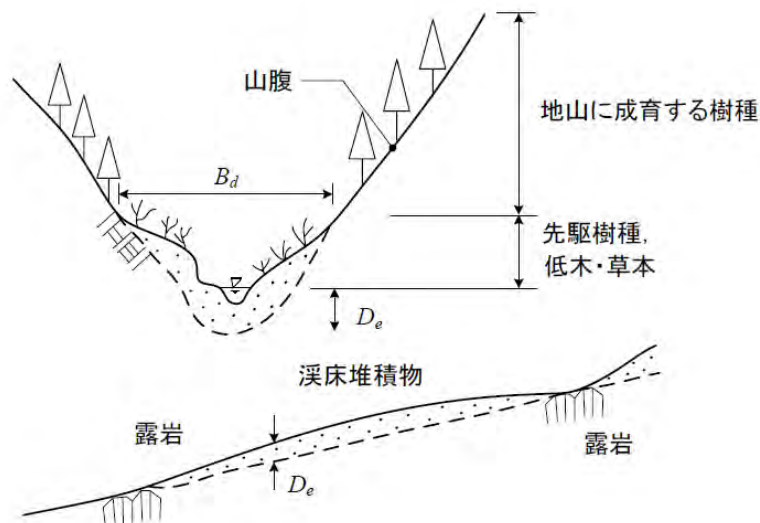


図 1.4.3 移動可能溪床堆積土砂量の算出法

出典：砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説

(c) その他(掃流等)の区間の生産土砂量算出

掃流区間では、溪床堆積物の2次侵食、溪岸侵食等による土砂生産が考えられる。なお、溪床生産土砂を決め難い場合には(現溪流幅の2~3倍×比高(下図参照)×計画延長)で求める方法がある。今回は、この手法を用いて土砂量を算出した。なお、溪岸勾配が急で川幅が狭く蛇行が激しい場合は3倍とし、川幅が広く溪床勾配が緩くあまり蛇行していない場合は、2倍として算出するため、今回は蛇行が激しい区間に相当すると判断し、3倍とした。



図 1.4.4 掃流区間における生産土砂量の算出

出典：JICA 調査団により作成

各流域での移動可能土砂量および生産土砂量を算出するために用いた幅 (Bd) および深さ (De) を表 1.4.1 にとりまとめた。なお、土砂量算出に際しては、1~3 次谷を土石流区間 4 次~7 次谷を掃流区間と仮定した。

表 1.4.1 各谷字数における移動可能土砂量および生産土砂量の幅と深さ

| 次数 | 区間 | 幅(Bd) | 深さ(De) |
|----|-----|-------|--------|
| 1 | 土石流 | 2 | 0.2 |
| 2 | 土石流 | 5 | 0.5 |
| 3 | 土石流 | 15 | 4 |
| 4 | 掃流 | 30 | 5 |
| 5 | 掃流 | 60 | 7 |
| 6 | 掃流 | 90 | 10 |
| 7 | 掃流 | 100 | 10 |

出典：JICA 調査団により作成

各流域の移動可能土砂量は表 1.4.2 に示すとおりである。どの流域も 1 次谷の割合は 60% となっている。流域によってばらつきがあるが、1km² あたりの移動可能土砂量は 4,000m³ ~5,600m³ となっている。ピスコが他に比べて 1km² あたりの移動可能土砂量が多くなっているが、これは 6 次谷の占める割合が他よりも若干多いためである。

表 1.4.2 各流域の移動可能土砂量

| 流域 | | | チラ流域※1 | | | カニエテ流域 | | | チンチャ流域 | | |
|------------|------|-------|------------------|-------------|-------|-----------------|-------------|-------|------------------|-------------|-------|
| 面積(km2) | | | 面積(km2) 10627.99 | | | 面積(km2) 6023.97 | | | 面積(km2) 3303.89 | | |
| km2あたりの土砂量 | | | 47,932 | | m3/km | 42,122 | | m3/km | 47,323 | | m3/km |
| 次数 | 幅(m) | 深さ(m) | 長さ(km) | 土砂量(m3) | 割合(%) | 長さ(km) | 土砂量(m3) | 割合(%) | 長さ(km) | 土砂量(m3) | 割合(%) |
| 1 | 2 | 0.2 | 3,698 | 1,479,348 | 57% | 2,500 | 1,000,104 | 57% | 1,522 | 608,878 | 60% |
| 2 | 5 | 0.5 | 1,210 | 3,025,625 | 19% | 931 | 2,326,441 | 21% | 530 | 1,325,893 | 21% |
| 3 | 15 | 4 | 625 | 37,501,200 | 10% | 441 | 26,482,162 | 10% | 170 | 10,204,388 | 7% |
| 4 | 30 | 5 | 397 | 59,601,000 | 6% | 210 | 31,549,328 | 5% | 132 | 19,728,461 | 5% |
| 5 | 60 | 7 | 223 | 93,542,400 | 3% | 162 | 67,845,999 | 4% | 52 | 21,856,708 | 2% |
| 6 | 90 | 10 | 81 | 73,269,000 | 1% | 138 | 124,539,795 | 3% | 114 | 102,627,283 | 5% |
| 7 | 100 | 10 | 241 | 241,000,000 | 4% | | | | | | |
| 1-3 total | | | 5,534 | 42,006,173 | 85% | 3,872 | 29,808,707 | 88% | 2,223 | 12,139,159 | 88% |
| 4-7 total | | | 942 | 467,412,400 | 15% | 510 | 223,935,122 | 12% | 298 | 144,212,452 | 12% |
| total | | | 6,476 | 509,418,573 | 100% | 4,382 | 253,743,830 | 100% | 2,520 | 156,351,611 | 100% |
| 流域 | | | ピスコ流域 | | | ヤウカ流域 | | | カマナ/マヘス流域 | | |
| 面積(km2) | | | 面積(km2) 4270.52 | | | 面積(km2) 4318.54 | | | 面積(km2) 17049.51 | | |
| km2あたりの土砂量 | | | 56,634 | | m3/km | 39,780 | | m3/km | 42,739 | | m3/km |
| 次数 | 幅(m) | 深さ(m) | 長さ(km) | 土砂量(m3) | 割合(%) | 長さ(km) | 土砂量(m3) | 割合(%) | 長さ(km) | 土砂量(m3) | 割合(%) |
| 1 | 2 | 0.2 | 1,955 | 1,479,348 | 61% | 1,681 | 1,000,104 | 60% | 8,142 | 608,878 | 61% |
| 2 | 5 | 0.5 | 600 | 3,025,625 | 19% | 541 | 2,326,441 | 19% | 2,599 | 1,325,893 | 20% |
| 3 | 15 | 4 | 236 | 37,501,200 | 7% | 275 | 26,482,162 | 10% | 1,141 | 10,204,388 | 9% |
| 4 | 30 | 5 | 102 | 59,601,000 | 3% | 87 | 31,549,328 | 3% | 610 | 19,728,461 | 5% |
| 5 | 60 | 7 | 110 | 93,542,400 | 3% | 119 | 67,845,999 | 4% | 348 | 21,856,708 | 3% |
| 6 | 90 | 10 | 182 | 73,269,000 | 6% | 100 | 124,539,795 | 4% | 459 | 102,627,283 | 3% |
| 7 | 100 | 10 | | 241,000,000 | | | | | | | |
| 1-3 total | | | 2,790 | 42,006,173 | 88% | 2,498 | 29,808,707 | 89% | 11,882 | 12,139,159 | 89% |
| 4-7 total | | | 394 | 467,412,400 | 12% | 307 | 223,935,122 | 11% | 1,417 | 144,212,452 | 11% |
| total | | | 3,184 | 509,418,573 | 100% | 2,804 | 253,743,830 | 100% | 13,298 | 156,351,611 | 100% |
| | | | ※エクアドル側は除く | | | | | | | | |

出典： JICA調査団により作成

(2) 比流出土砂量を用いた土砂流出量の算出

ポエチヨスダムでは定期的に堆砂測量を実施している。この堆砂量から比流出土砂量を算出し、この比流出土砂量を用いて他流域における土砂流出量を算出した。

(a) ポエチヨスダムにおける堆砂量

チラ川上流国境付近には、Poechos ダムがある。このダムは 1972 年から 1976 年に施工され 1976 年から運用されている。流域面積は約 13,000km² でこのうち半分は隣国のエクアドルに位置する。貯水容量は 7.9 億トンであるが、ダム運用開始後 34 年後には 4.6 億トン土砂が堆砂し、4.1 億トンに貯水容量低下に伴う、洪水調節能力低下が問題となっている（図 1.4.5 および図 1.4.7 参照）。このため、常時満水位を 103 から 104m に変更し運用を行っている。

土砂流入量をみてみると、エルニーニョの影響で降水量が多かった 1983 年および 1998 年には、1 年で約 7,500 トンもの土砂流入が確認されている。比流出土砂量は、平常時で 500m³/km²/y であり、エルニーニョの年では 6,000m³/km²/y と約 10 倍程度になっている。なお、土砂流入量は、横断測量によって計測している。日本のダムでも大洪水が発生した年の年間堆砂量は年平均値よりも 2 桁程度多い堆砂量が観測された事例もある。

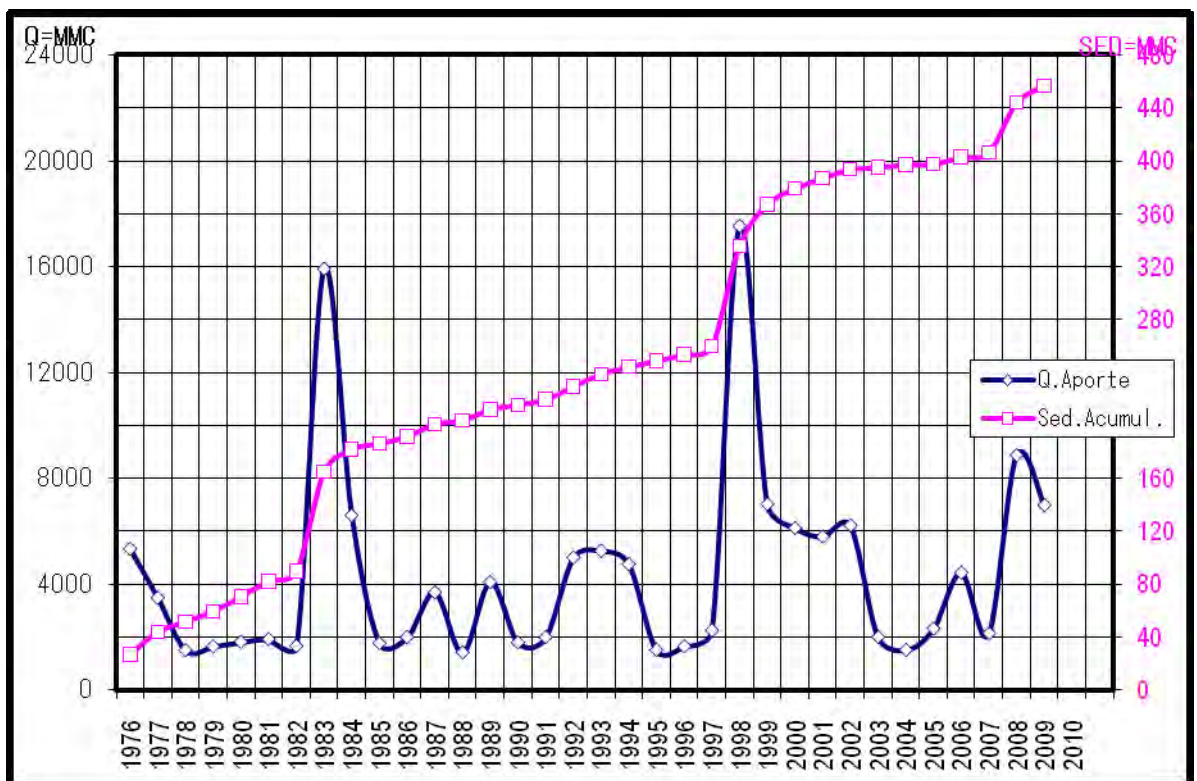


図 1.4.5 Poechos ダムの年間流入量と堆砂状況

出典：PECHP

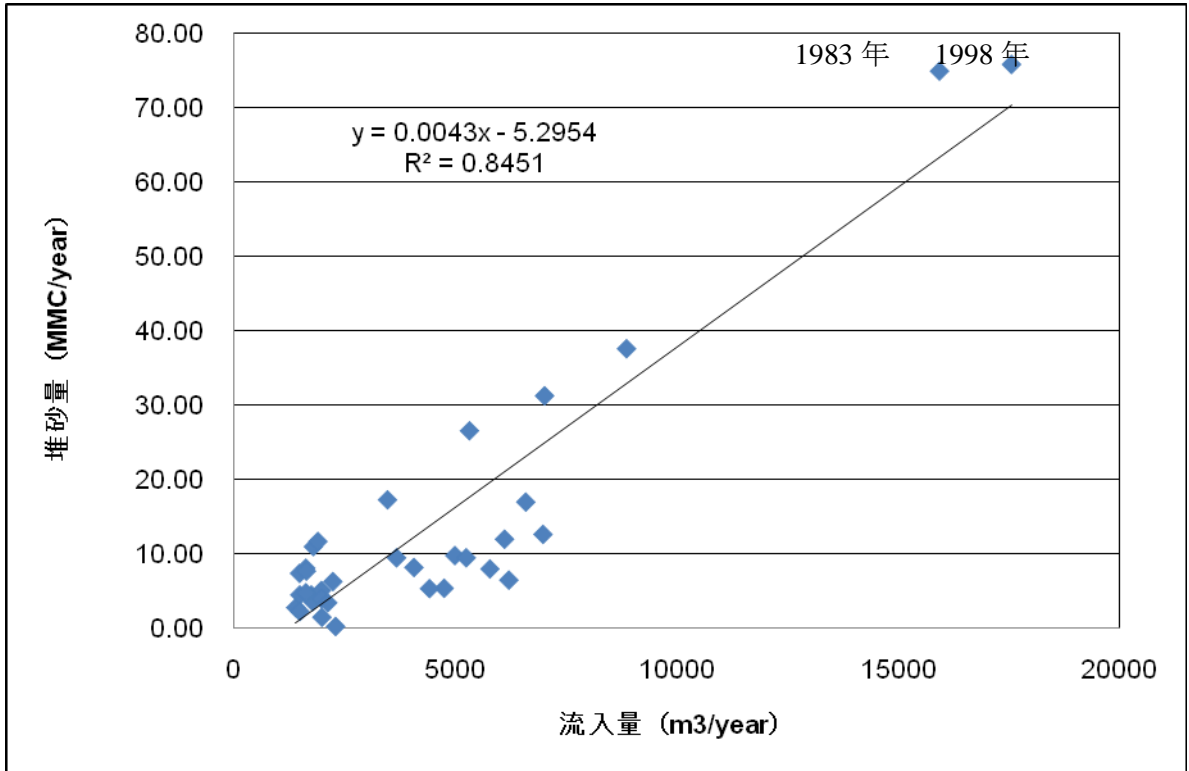


図 1.4.6 年間流入量と年間堆砂量の関係

出典：JICA 調査団により作成

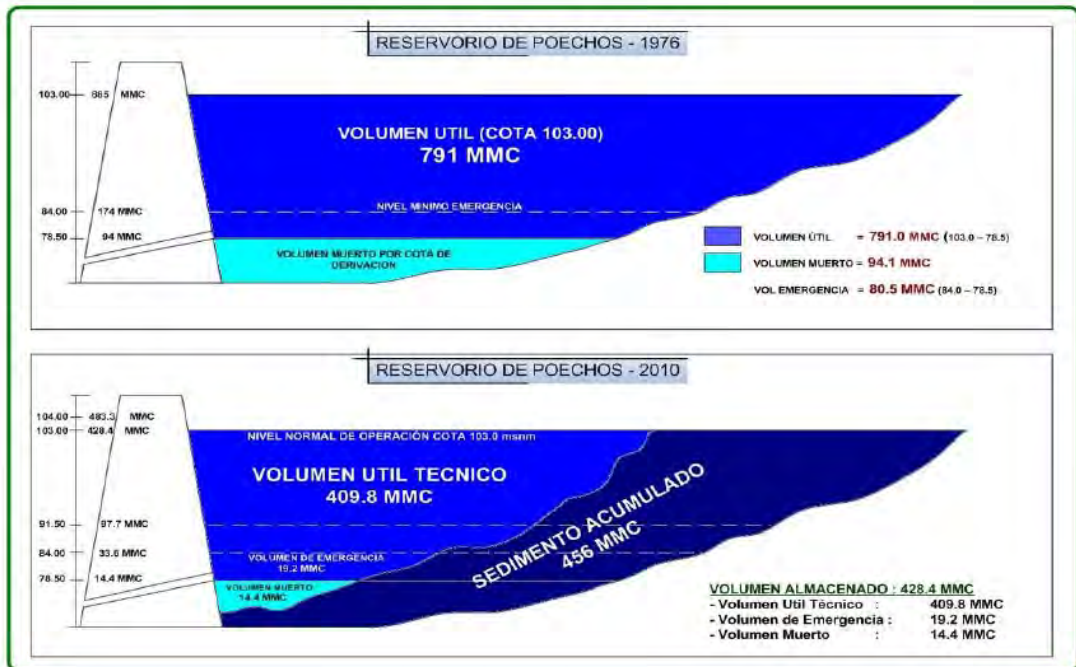


図 1.4.7 現在の堆砂状況 (上 1976年 下 2010年)

出典：PECHP



図 1.4.8 年度毎の比流出土砂量

出典：PECHP データを基に JICA 調査団により作成

(b) 比流出土砂量の算出

ポエチヨスタムの堆砂状況資料をもとに、1 洪水に対する比流出土砂量を算出する。

1) 雨量データ整理

ポエチヨスタム周辺の雨量データを整理した。雨量観測位置図および各観測所の観測期間を、表 1.4.3、図 1.4.9 および表 1.4.4 に示す。比較的近い場所に位置し、観測期間が長い観測所を選定し、合成雨量を作成した。各観測所の採用期間は表 1.4.5 にまとめた通りである。なお、流域面積は、表 1.4.6 に示すとおりであり、ペルーとエクアドルがともに約 6,500km² である。

表 1.4.3 チラ川流域の雨量観測所

| 観測所名称 | 県 | 郡 | 町 | 経度 | 緯度 | 標高 |
|-----------------------|-------|----------|----------|-------------|-------------|------|
| ALAMOR | PIURA | SULLANA | LANCONES | 80°23'00.0" | 04°28'00.0" | 150 |
| ALIVIADERO | PIURA | SULLANA | LANCONES | 80°31'00.0" | 04°43'00.0" | 103 |
| ALTAMIZA | PIURA | MORROPON | CHALACO | 79°44'00.0" | 05°04'00.0" | 2600 |
| ANIA CABUYAL | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°29'00.0" | 04°51'00.0" | 2450 |
| ARANZA | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°59'00.0" | 04°51'00.0" | 1300 |
| ARDILLA (SOLANA BAJA) | PIURA | SULLANA | LANCONES | 80°26'00.0" | 04°31'00.0" | 150 |
| ARENALES | PIURA | AYABACA | FRIAS | 79°51'00.0" | 04°55'00.0" | 3010 |

ペルー国溪谷村落洪水対策事業準備調査
ファイナルレポート I-6 サポートイングリポート ANNEX-6 砂防計画

| | | | | | | |
|----------------------|-------|-------------|------------------|-------------|-------------|------|
| ARRENDAMIENTOS | PIURA | AYABACA | LAGUNAS | 79°54'00.0" | 04°50'00.0" | 3010 |
| AUL (C. MEMBRILLO) | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°42'00.0" | 04°33'00.0" | 640 |
| AYABACA | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°43'00.0" | 04°38'00.0" | 2700 |
| CHALACO | PIURA | MORROPON | CHALACO | 79°47'30.0" | 05°02'13.0" | 2276 |
| CHILACO | PIURA | SULLANA | LANCONES | 80°30'00.0" | 04°42'00.0" | 90 |
| EL CIRUELO | PIURA | AYABACA | SUYO | 80°09'00.0" | 04°18'00.0" | 202 |
| EL TABLAZO | PIURA | PIURA | TAMBO GRANDE | 80°28'00.0" | 04°53'00.0" | 148 |
| ESPINDOLA | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°30'00.0" | 04°38'00.0" | 2300 |
| FRIAS | PIURA | AYABACA | FRIAS | 79°51'00.0" | 04°56'00.0" | 1700 |
| HACIENDA YAPATERA | PIURA | MORROPON | CHULUCANAS | 80°08'00.0" | 05°04'00.0" | 117 |
| HUARA DE VERAS | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°34'00.0" | 04°35'00.0" | 1680 |
| JILILI | PIURA | AYABACA | JILILI | 79°48'00.0" | 04°35'00.0" | 1330 |
| LA ESPERANZA | PIURA | PAITA | COLAN | 81°03'38.0" | 04°55'04.0" | 12 |
| LA TINA | PIURA | AYABACA | SUYO | 79°57'00.0" | 04°24'00.0" | 427 |
| LAGARTERA | PIURA | AYABACA | SAPILLICA | 79°58'00.0" | 04°44'00.0" | 307 |
| LAGUNA SECA | PIURA | AYABACA | PACAI PAMPA | 79°29'00.0" | 04°53'00.0" | 2450 |
| LANCONES | PIURA | SULLANA | LANCONES | 80°32'50.0" | 04°38'34.0" | 150 |
| LAS ARREBIATADAS | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°28'00.0" | 04°45'00.0" | 3450 |
| LAS LOMAS | PIURA | PIURA | LAS LOMAS | 80°15'00.0" | 04°38'00.0" | 265 |
| LAS PIRCAS | PIURA | AYABACA | FRIAS | 79°48'00.0" | 04°59'00.0" | 3300 |
| LOS ENCUENTROS | PIURA | SULLANA | LANCONES | 80°17'00.0" | 04°26'00.0" | 175 |
| MALLARES | PIURA | SULLANA | MARCAVELICA | 80°42'52.9" | 04°51'25.6" | 47 |
| MONTERO | PIURA | AYABACA | MONTERO | 79°50'00.0" | 04°38'00.0" | 1070 |
| NACIENTES DE ARANZA | PIURA | AYABACA | PACAI PAMPA | 79°29'00.0" | 04°53'00.0" | 2450 |
| NANGAY MATALACAS | PIURA | AYABACA | PACAI PAMPA | 79°46'00.0" | 04°52'00.0" | 2100 |
| OLLEROS | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°39'00.0" | 04°42'00.0" | 1360 |
| PACAY PAMPA | PIURA | AYABACA | PACAI PAMPA | 79°39'46.0" | 04°59'35.0" | 2041 |
| PAIMAS | PIURA | AYABACA | PAIMAS | 79°57'00.0" | 04°37'00.0" | 545 |
| PAITA | PIURA | PAITA | PAITA | 81°08'00.0" | 05°07'00.0" | 3 |
| PANANGA | PIURA | SULLANA | MARCAVELICA | 80°53'00.0" | 04°33'00.0" | 480 |
| PARAJE GRANDE | PIURA | AYABACA | PAIMAS | 79°54'00.0" | 04°37'00.0" | 555 |
| PARTIDOR | PIURA | SULLANA | LANCONES | 80°15'00.0" | 04°38'00.0" | 265 |
| PASAPAMPA | PIURA | HUANCABAMBA | HUANCABAMBA | 79°36'00.0" | 05°07'00.0" | 2410 |
| PICO DE LORO | PIURA | AYABACA | SUYO | 79°52'00.0" | 04°32'00.0" | 1325 |
| PUENTE INTERNACIONAL | PIURA | AYABACA | SUYO | 79°57'00.0" | 04°23'00.0" | 408 |
| PUENTE SULLANA | PIURA | SULLANA | SULLANA | 80°41'00.0" | 04°53'00.0" | 32 |
| REPRESA SAN LORENZO | PIURA | PIURA | LAS LOMAS | 80°13'00.0" | 04°40'00.0" | 300 |
| SAN ISIDRO | PIURA | PIURA | LAS LOMAS | 80°16'00.0" | 04°47'00.0" | 160 |
| SAN JACINTO | PIURA | SULLANA | IGNACIO ESCUDERO | 80°52'00.0" | 04°51'00.0" | 103 |

ペルー国溪谷村落洪水対策事業準備調査
 ファイナルレポート I-6 サポートングレポート ANNEX-6 砂防計画

| | | | | | | |
|------------------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| SAN JUAN DE LOS ALISOS | PIURA | AYABACA | PACAI PAMPA | 79°32'00.0" | 04°58'00.0" | 2150 |
| SAPILLICA | PIURA | AYABACA | SAPILLICA | 79°59'00.0" | 04°47'00.0" | 1456 |
| SAUSAL DE CULUCAN | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°45'42.0" | 04°44'52.0" | 980 |
| SICCHEZ | PIURA | AYABACA | SICCHEZ | 79°46'00.0" | 04°34'00.0" | 1435 |
| SOMATE | PIURA | SULLANA | SULLANA | 80°31'00.0" | 04°45'00.0" | 112 |
| SUYO | PIURA | AYABACA | SUYO | 80°00'00.0" | 04°32'00.0" | 250 |
| TACALPO | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°36'00.0" | 04°39'00.0" | 2012 |
| TALANEO | PIURA | HUANCABAMBA | HUANCABAMBA | 79°33'00.0" | 05°03'00.0" | 3430 |
| TAPAL | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°33'00.0" | 04°46'00.0" | 1890 |
| TEJEDORES | PIURA | PIURA | LAS LOMAS | 80°14'00.0" | 04°45'00.0" | 230 |
| TIPULCO | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°34'00.0" | 04°42'00.0" | 2600 |
| TOMA DE ZAMBA | PIURA | AYABACA | LAGUNAS | 79°54'00.0" | 04°40'00.0" | 585 |
| VADO GRANDE | PIURA | AYABACA | AYABACA | 79°36'00.0" | 04°27'00.0" | 900 |

出典：SENAMI データを元に JICA 調査団にて作成

表 1.4.4 採用した観測所の観測期間

| RIO CHIRA | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
| ALAMOR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EL CIRUELO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PARTIDOR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

出典：JICA 調査団にて作成

表 1.4.5 合成雨量の内訳

| 観測所名称 | 採用期間 | 欠測期間 |
|------------|-------------------------|--------------------------------|
| ALAMOR | 1thDec-31thMar1996 | 1992年5月～1993年6月 1995年8月 |
| EL CIRUELO | 1thApr1996-31thDec1997 | |
| PARTIDOR | 1thjan1998 -25thJun2010 | 1998年6月～12月 2009年1月、2010年3月 |

※1992年、1993年はデータがないため対象外とする。1998年は1月～5月のデータはあるため対象とした。

出典：JICA 調査団にて作成

表 1.4.6 ポエチヨスダムの流域面積

| 流域 | 面積(km ²) |
|----------|----------------------|
| ペルー側流域 | 6,410 |
| エクアドル側流域 | 約 6,590 |
| 合計 | 約 13,000 |

出典：JICA 調査団にて作成

2) 雨量と流出土砂量の関係

ポエチヨスダムにおける流入量、堆砂量および雨量は表 1.4.7 および図 1.4.10～図 1.4.16 に示す通りである。エルニーニョに該当する 1983 年および 1998 年には、37 百万 m³ もの堆砂が確認されている。年間雨量と年間流入量は調和的であり、年間流入量および年間雨量と堆砂量も調和的である。なお、ペルーとエクアドルの流域面積が同じ程度であるため、堆砂量および流入量を 50%としている。

表 1.4.7 ポエチヨスダムの流入量、堆砂量および雨量

| 年 | 最大日雨量 mm | 最大連続雨量 mm | 年間雨量 mm | 堆砂量※1 MMC | 流入量※1 MMC | 備考 |
|------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------|
| 1976 | | | | 13.30 | 2,661.5 | |
| 1977 | 135.9 | 234.1 | 894.2 | 8.65 | 1,736.5 | |
| 1978 | 28.0 | 38.2 | 149.3 | 3.70 | 744.0 | |
| 1979 | 30.0 | 70.1 | 181.9 | 4.05 | 814.5 | |
| 1980 | 72.9 | 187.4 | 360.1 | 5.50 | 900.0 | |
| 1981 | 93.2 | 450.5 | 555.2 | 5.85 | 951.0 | |
| 1982 | 100.8 | 199.7 | 488.6 | 3.85 | 821.0 | |
| 1983 | 209.1 | 942.0 | 3112.6 | 37.50 | 7,965.0 | エルニーニョ |
| 1984 | 82.5 | 196.4 | 783.5 | 8.50 | 3,297.0 | |

| | | | | | | |
|------|-------|-------|--------|-------|---------|---------|
| 1985 | 49.7 | 111.9 | 265.3 | 2.25 | 876.0 | |
| 1986 | 100.5 | 206.1 | 607.9 | 2.55 | 990.5 | |
| 1987 | 152.3 | 401.5 | 1288.8 | 4.75 | 1,838.5 | |
| 1988 | 16.1 | 25.3 | 120.4 | 1.40 | 701.0 | |
| 1989 | 91.0 | 185.4 | 973.5 | 4.10 | 2,035.0 | |
| 1990 | 18.3 | 58.3 | 173.9 | 1.80 | 890 | |
| 1991 | 105.3 | 163.8 | 416.1 | 2.00 | 989.5 | |
| 1992 | 186.0 | 411.5 | 1275.4 | 4.90 | 2,496.5 | |
| 1993 | | | | 4.75 | 2,625.0 | no data |
| 1994 | 116.5 | 245.0 | 737.6 | 2.70 | 2,375.5 | |
| 1995 | 85.0 | 145.9 | 404.4 | 2.25 | 747.1 | |
| 1996 | 76.5 | 172.5 | 299.4 | 2.40 | 815.6 | |
| 1997 | 91.8 | 180.4 | 622.8 | 3.15 | 1,120.0 | |
| 1998 | 191.4 | 599.8 | 2816.8 | 37.95 | 8,778.0 | エルニーニョ |
| 1999 | 108.6 | 239.5 | 562.9 | 15.65 | 3,508.7 | |
| 2000 | 53.7 | 85.7 | 499.3 | 6.00 | 3057 | |
| 2001 | 99.4 | 495.1 | 983.2 | 4.00 | 2,892.5 | |
| 2002 | 105.6 | 382.6 | 914.1 | 3.25 | 3,105.5 | |
| 2003 | 55.0 | 58.1 | 149.6 | 0.75 | 996.0 | |
| 2004 | 35.4 | 36.1 | 140.5 | 1.13 | 747.9 | |
| 2005 | 48.9 | 128.4 | 238.2 | 0.13 | 1,150.5 | |
| 2006 | 105.6 | 140.3 | 677.1 | 2.68 | 2,210.6 | |
| 2007 | 48.2 | 78.3 | 202.4 | 1.73 | 1,062.9 | |
| 2008 | 114.3 | 318.6 | 990.7 | 18.82 | 4,433.8 | |
| 2009 | 51.3 | 87.7 | 377.2 | 6.33 | 3,491.4 | |

※1 ペルー側とエクアドル側で流域面積が約半分であるため、50%としている。

出典：PECHP データを基に JICA 調査団により作成

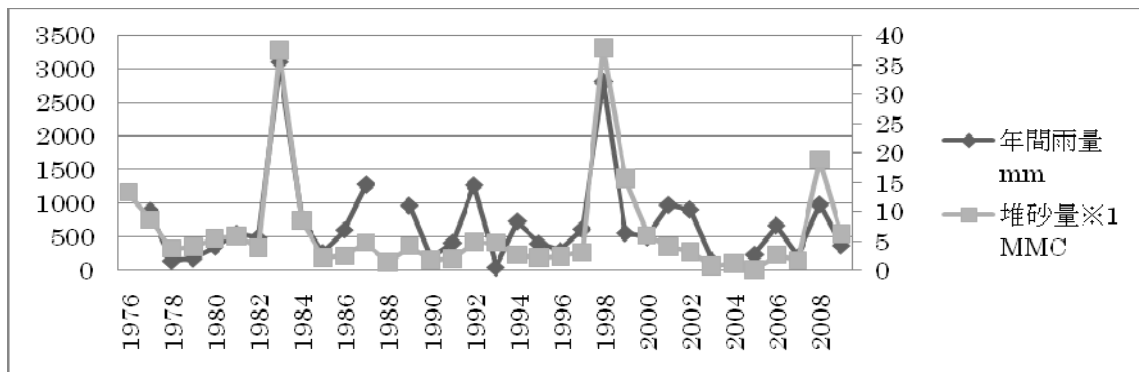


図 1.4.10 年間雨量と年間堆砂量の関係 (左：年間雨量 mm、右：堆砂量 MMC)

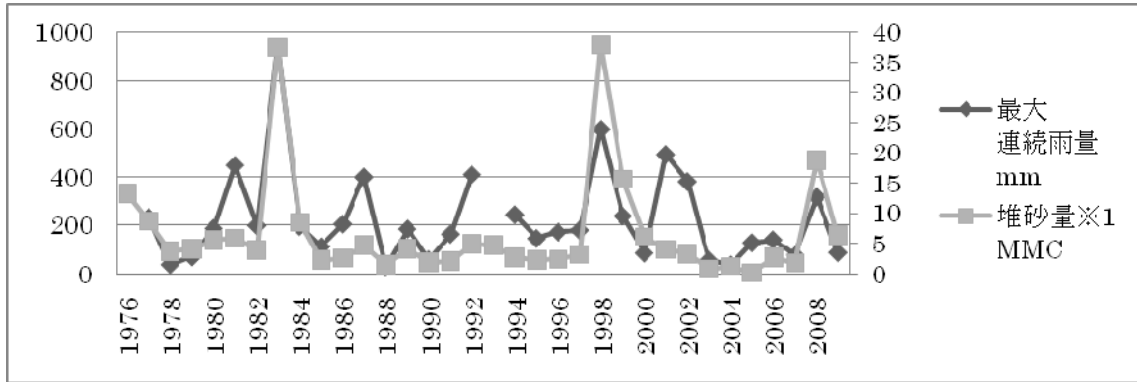


図 1.4.11 年最大雨量と年間堆砂量の関係 (左：年最大雨量 mm、右：堆砂量 MMC)

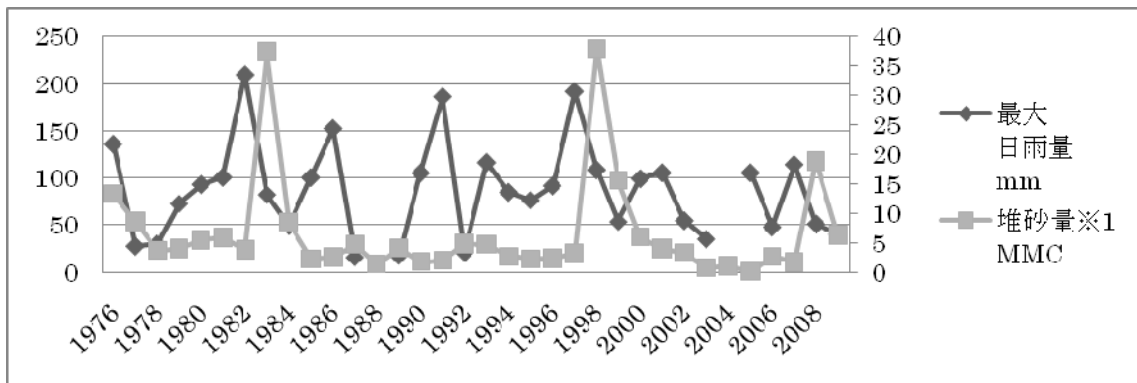


図 1.4.12 最大日雨量と堆砂量の関係 (左：最大日雨量 mm、右：堆砂量 MMC)

出典：JICA 調査団にて作成

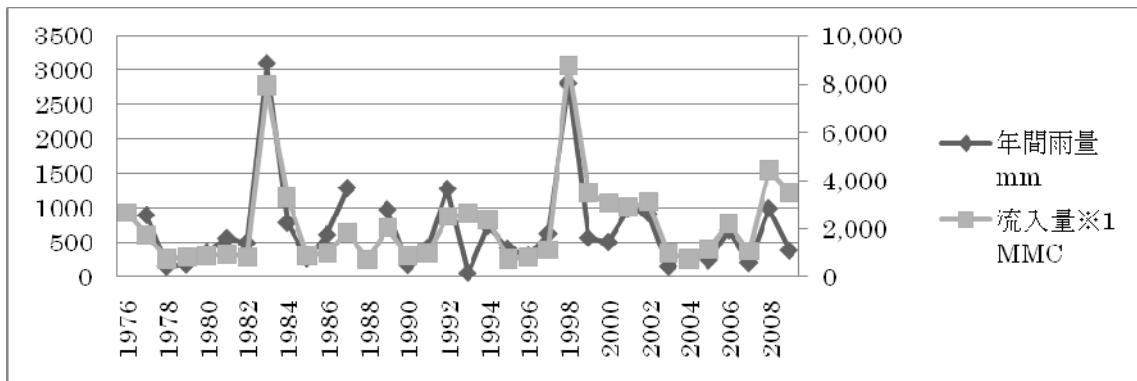


図 1.4.13 年間雨量と流入量 (左：年間雨量 mm、右：堆砂量 MMC)

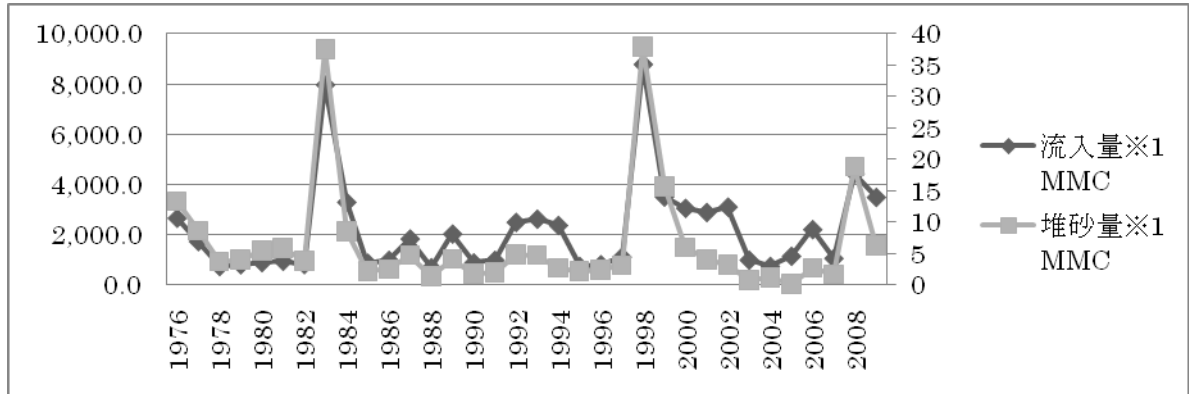


図 1.4.14 年間流入量と堆砂量 (左：年間流入量 MMC、右：堆砂量 MMC)

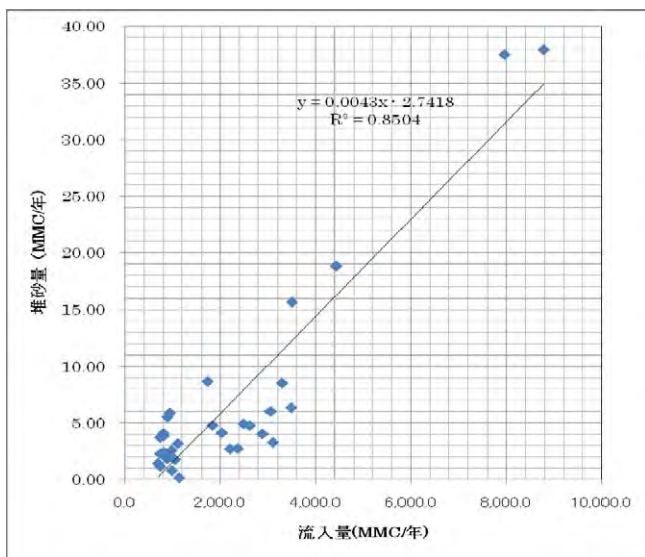


図 1.4.15 流入量と堆砂量の関係

出典：JICA 調査団にて作成

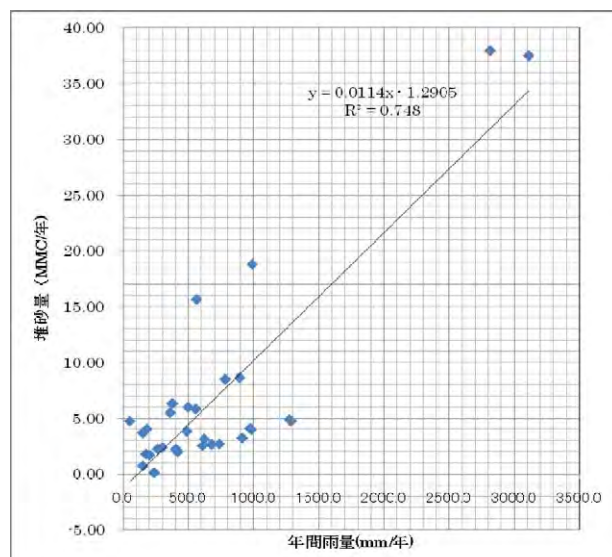


図 1.4.16 年最大雨量と堆砂量の関係

3) 雨量と侵食量の関係

土壌侵食量を推定するための経験的モデルとして、最も代表的なのは USLE(Universal Soil Loss Equation) とその改良版である RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) および MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) があげられる。USLE は(数式 1.4.1)式で表され、多くの研究者らによって継承的に開発されてきた静的モデルをベースにして、Wishmeier らが圃場実験データを用いながら実用的なモデルに確立させたものである。

A = R K L S C P 数式 1.4.1

ここに、

A：年間土壌侵食量 [t ha-1 y-1]

R：降雨流出の侵食力ファクタ (Erosivity factor) [MJ mm ha-1 h-1 y-1]

K：土壌の受食性ファクタ (Erodibility factor) [t h MJ-1 mm-1]

L：斜面長ファクタ (Slope length factor) [無次元]

S：斜面勾配ファクタ（Slope steepness factor）[無次元]

A（年間土壌侵食量）は、R、K、L、S に比例する。

$$R = \sum_{i=1}^n E_i I_{30i}$$

特に、雨量に関して侵食量は、 R に比例することが明らかとなっている。

ここに、

E_i ：任意の降雨事象 i における降雨の運動エネルギー [MJ ha⁻¹]

I_{30i} ：任意の降雨事象 i における 30 分最大雨量 [mm h⁻¹]（単位に注意）

n ：年間降雨事象数

雨量データを収集整理したが、日雨量データまでしか存在しないため、侵食量と降水量が比例すると仮定し、1mm あたり 1km² あたりの土砂流出量を算出した。ばらつきが大きいものの、この結果 0.5～4m³/km²/mm、平均 1.48 m³/km²/mm となった。

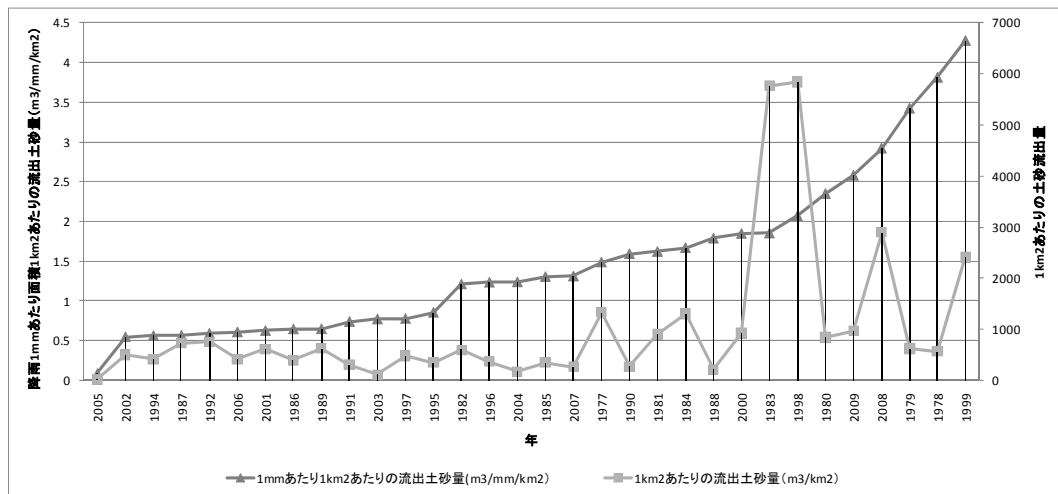


図 1.4.17 降雨 1mm あたり 1km² あたりの流出土砂量

出典：JICA にて作成

4) 斜面勾配と侵食量

神通川流域における観測では年侵食深はほぼ斜面勾配にのみに依存しており、侵食深さは斜面勾配が急な程大きくなる傾向にあることが明らかとなっている [芦田和夫、高橋保、沢田豊明, S60.4]¹⁾。この観測データから斜面勾配と侵食深さの関係は以下の通りであった

(図 1.4.18 参照)。傾斜区分図により流域の傾斜区分を行っており、このデータを基に傾斜毎に侵食量の重み付けを行った (表 1.4.8 参照)。

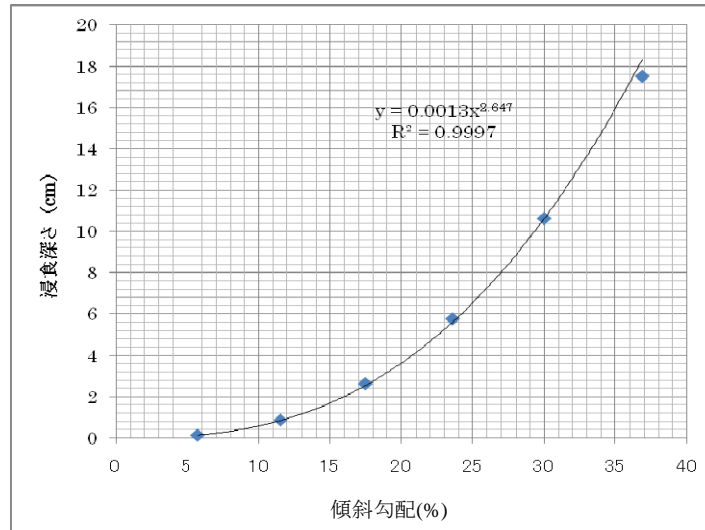


図 1.4.18 斜面勾配と年あたりの侵食深の関係

出典：脚注 2 を参照に JICA 調査団にて作成²

表 1.4.8 斜面勾配による侵食深さの重み付け

| 斜面勾配 (%) | 面積(km ²) | 割合 (%) | 侵食の重み付け |
|----------|----------------------|--------|---------|
| 0-2 | 335.24 | 5% | 1 |
| 2-15 | 2065.31 | 32% | 1 |
| 15-35 | 1854.42 | 29% | 6 |
| 35- | 2155.05 | 34% | 59 |
| 合計 | 6410.02 | 100% | |

出典：JICA 調査団にて作成

5) ポエチヨスダム周辺における比流出土砂量

これらの結果、降雨 50mm あたりの降雨に対する流出土砂量は表 1.4.9 に示す通りとなった。

表 1.4.9 降雨 50mm あたりの比流出土砂量

| 斜面勾配 (%) | 降雨 50mm あたりの比流出土砂量 |
|----------|--------------------------------------|
| 0-15 | 3.4m ³ /km ² |
| 15-35 | 21.2m ³ /km ² |
| 35 | 199.5m ³ /km ² |

出典：JICA 調査団にて作成

6) 他流域における流出土砂量

ポエチヨスダムの堆砂量から算出した比流出土砂量を他流域に使用できるか否か検討し

² 芦田和夫、高橋保、沢田豊明：山地流域における出水と土砂流出(14)京大防災研究所年報 第 28 号 B-2,1985

た。土砂流出量は、地質に大きく依存するといわれており、河川砂防技術基準（案）には以下のような土砂流出量が参考として掲載されている（表 1.4.10 参照）。

ポエチヨスダム周辺には、火山噴出物が分布し、一方、カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域周辺には花崗岩、安山岩が主として分布する。以下の表によれば、カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ、カマナ/マヘスの 5 流域では、流出土砂量がチラに比べて 60% から 75% となることが分かる。

このため、他 4 流域では流出土砂量が 75% となるものと仮定し、表 1.4.11 のように決定した。

表 1.4.10 地質による流出土砂量の違い

| 流域区分 | 地質区分 | 流出土砂量（標準流域面積 1km ² の場合） |
|-------|----------|--|
| 土石流区域 | 花崗岩地帯 | 50,000～150,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| | 火山噴出物地帯 | 80,000～200,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| | 第 3 紀層地帯 | 40,000～100,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| | 破砕帯地帯 | 100,000～200,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| | そのほか地帯 | 30,000～800,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| 掃流区域 | 花崗岩地帯 | 45,000～60,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| | 火山噴出物地帯 | 60,000～80,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| | 第 3 紀層地帯 | 40,000～50,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| | 破砕帯地帯 | 100,000～125,000m ³ /km ² /1 洪水 |
| | そのほか地帯 | 20,000～30,000m ³ /km ² /1 洪水 |

流域面積が標準の 10 倍の場合には 0.5 倍、1/10 の場合は 3 倍程度として用いることができる。

出典：S61 改訂建設省河川砂防技術基準(案)計画編をもとに JICA 調査団にて作成

表 1.4.11 5 流域における比流出土砂量

| 斜面勾配(%) | 降雨 50mm あたりの比流出土砂量 |
|---------|--------------------------------------|
| 0-15 | 2.5m ³ /km ² |
| 15-35 | 15.9m ³ /km ² |
| 35 | 149.6m ³ /km ² |

出典：JICA 調査団にて作成

(3) 流量から算出した掃流砂量

地表面より河道内に流入する土砂が全量流入し、可能な限りの土砂が流量見合いで流出したと考えるならば、流砂量式により試算される土砂量は最大流出可能土砂量と見積もることが出来る。ここでは山地河川において適合性の良いMPMの掃流砂量式を用いて、最大流出可能土砂量について考察を行った。

$$\Phi_B = 8(\tau_{*e} - 0.047)^{3/2}$$

$$\tau_{*e} = u_{*e}^2 / (sgd)$$

$$u_{*e} = (n_b / n)^{3/4} u_*$$

ここで

τ_{*e} : 限界掃流力

U_{*c} : 限界摩擦速度

U^* : は摩擦速度

Sg : 重力加速度

D : 平均粒径

入力条件は以下の通りである。

表 1.4.12 各河川における入力条件

| 入力条件 | カニエテ 流域 | チンチャ 流域 | ピスコ 流域 | ヤウカ 流域 | カマナ/ マヘス流域 |
|--------------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|---------------|
| 平均粒径 (cm) ※1 | 1cm,10cm | 3.8cm,5cm | 1.2cm,3.8cm | 0.9cm,6.3cm | 1.3cm,6.3cm, |
| 砂礫の密度 (σ) g/cm ³ | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| 水の密度 (ρ) g/cm ³ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| マンニングの粗度係数(n) | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 河床勾配(1/I)※2 | 45 | 63 | 76 | 60 | 66 |
| 河道幅(B)(m) ※2 | 75 | 150 | 100 | 150 | 30 |

※1 平均粒径は別途実施した河床材料調査結果の D50 から決定した。すべてを対象とした粒度分布試験と、max150mmとした粒度分布試験の両方の値で検討した。

※2 測量結果より

出典：JICA 調査団にて作成

以上の条件を入力し、水文解析から得られた確率流量に対して流出可能土砂量を算出した。

表 1.4.13 流砂量式から算出した土砂量

| 流域 | 確率流量 | | ピーク流量 | | 計算結果 | |
|------------|----------|--|-------|-----------|-----------|--|
| | 粒径 | | φ1cm | φ10cm | | |
| カニエテ 流域 | 10年確率流量 | | 408 | 50,541 | 21,814 | |
| | 25年確率流量 | | 822 | 75,016 | 39,466 | |
| | 50年確率流量 | | 1,496 | 111,963 | 67,443 | |
| | 100年確率流量 | | 2,175 | 127,615 | 80,635 | |
| | 粒径 | | | φ3.8cm | φ5cm | |
| チンチャ 流域 | 10年確率流量 | | 472 | 135,501 | 87,276 | |
| | 25年確率流量 | | 579.6 | 187,323 | 131,099 | |
| | 50年確率流量 | | 806.7 | 214,464 | 154,300 | |
| | 100年確率流量 | | 916.8 | 270,144 | 203,437 | |
| | 粒径 | | | φ1.2cm | φ3.8cm | |
| ピスコ 流域 | 10年確率流量 | | 287 | 123,893 | 52,008 | |
| | 25年確率流量 | | 451 | 171,511 | 88,622 | |
| | 50年確率流量 | | 688 | 196,456 | 113,136 | |
| | 100年確率流量 | | 855 | 247,655 | 130,429 | |
| | 粒径 | | | φ0.9cm | φ6.3cm | |
| ヤウカ 流域 | 10年確率流量 | | 36.5 | 22,238 | 1 | |
| | 25年確率流量 | | 90 | 44,212 | 4,497 | |
| | 50年確率流量 | | 167 | 71,405 | 16,090 | |
| | 100年確率流量 | | 263 | 111,523 | 38,267 | |
| | 流域 | | | Φ1.3cm | φ6.3cm | |
| カマナ/マヘ | 10年確率流量 | | 1,166 | 459,173 | 384,896 | |
| | 25年確率流量 | | 1,921 | 719,715 | 631,326 | |
| | 50年確率流量 | | 2,658 | 943,849 | 846,222 | |
| | 100年確率流量 | | 3,562 | 1,192,347 | 1,087,202 | |
| | 流域 | | | Φ1.3cm | φ6.3cm | |

出典: JICA 調査団にて作成

1) 各流域における生産土砂量

以下の3種類の土砂量を流域ごとに算出した。いずれの流域でも case2、case1、case3、case4の順で土砂量は大きくなった。

Case1: 流量から算出した流砂量 (150mm 以下を対象とした D50)

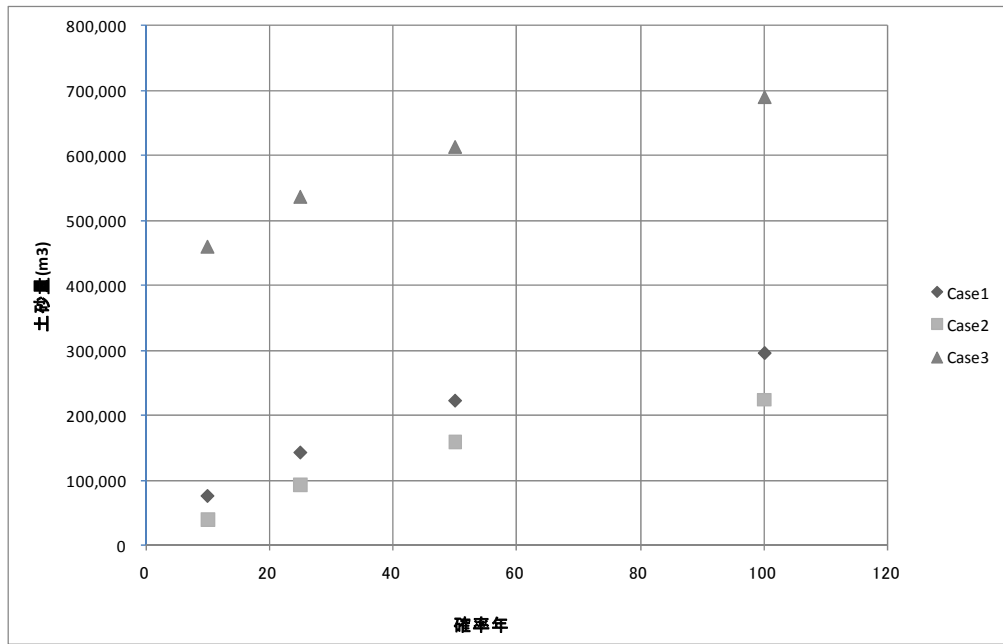
Case2: 流量から算出した流砂量 (全体を対象とした D50)

Case3: ポエチヨスダムの堆砂量を基に算出した土砂量

Case4: 移動可能土砂量

① カニエテ流域

カニエテ流域の生産土砂量は以下に示す通りである。ポエチヨスダムの堆砂量を基に算出した土砂量は、流砂式から算出した土砂量の2倍程度となった。Case1 および Case2 では粒径が10倍程度であるが、それほど大きな差はない。これは流量が多いためであると推定される。



Case4: 移動可能土砂量 253 百万 m3

図 1.4.19 カニエテ流域における生産土砂量

出典：JICA 調査団にて作成

表 1.4.14 カニエテ流域における生産土砂量

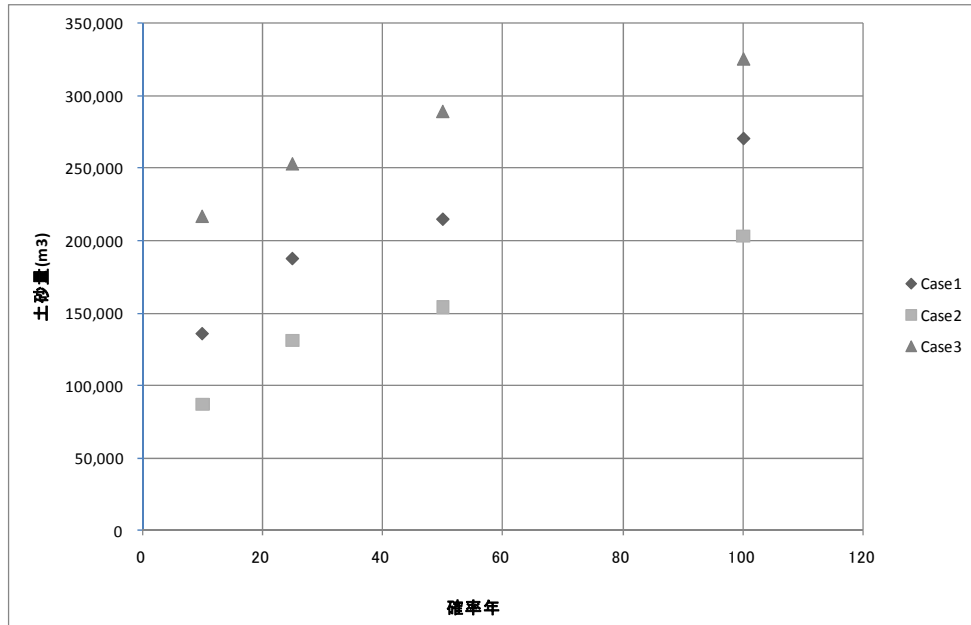
| 確率年 | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-----|------------------|-------------------|---------------|-------------|
| | 流砂式から求めた土砂量 φ1cm | 流砂式から求めた土砂量 φ10cm | 堆砂量を基に算出した土砂量 | 移動可能土砂量 |
| 10 | 76,836 | 39,817 | 459,519 | 253,743,830 |
| 25 | 143,457 | 93,392 | 536,106 | 253,743,830 |
| 50 | 223,142 | 159,295 | 612,693 | 253,743,830 |
| 100 | 296,170 | 224,433 | 689,279 | 253,743,830 |

出典：JICA 調査団にて作成

単位 m3

② チンチャ流域

チンチャ流域の生産土砂量は以下に示す通りである。ポエチヨスダムの堆砂量を基に算出した土砂量は、流砂式から算出した土砂量の 1.3～1.5 倍程度となった。Case1 および Case2 では概ね 1.3 倍程度の差がある。これは、粒径にほぼ比例している。



Case4:移動可能土砂量 156 百万 m³

図 1.4.20 チンチャ流域における生産土砂量

出典：JICA 調査団にて作成

表 1.4.15 チンチャ流域における生産土砂量

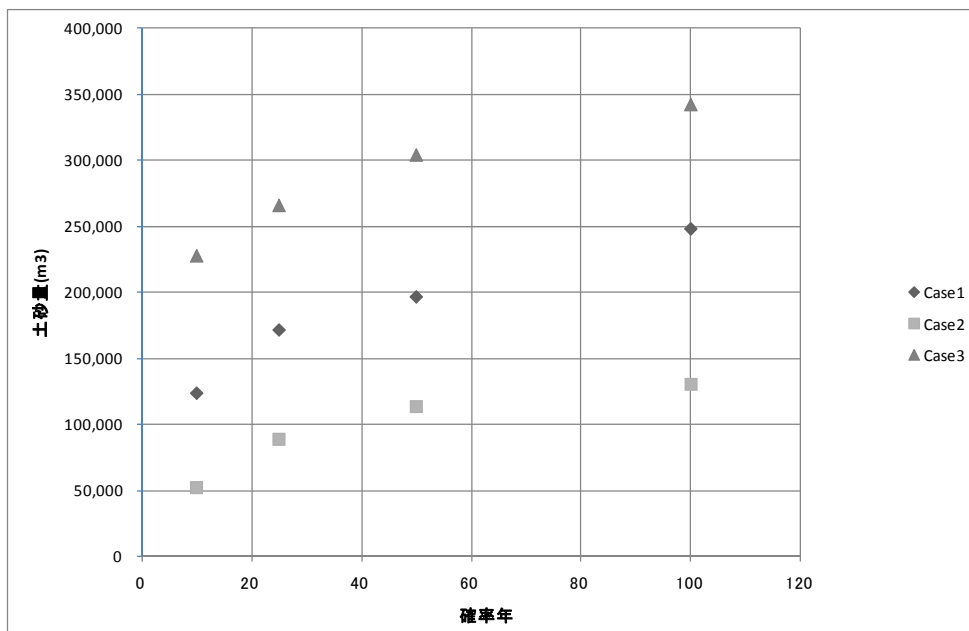
| 確率年 | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-----|---------------------|-------------------|---------------|-------------|
| | 流砂式から求めた土砂量 φ 3.8cm | 流砂式から求めた土砂量 φ 5cm | 堆砂量を基に算出した土砂量 | 移動可能土砂量 |
| 10 | 135,501 | 87,276 | 216,832 | 156,351,611 |
| 25 | 187,323 | 131,099 | 252,970 | 156,351,611 |
| 50 | 214,464 | 154,300 | 289,109 | 156,351,611 |
| 100 | 270,144 | 203,437 | 325,247 | 156,351,611 |

出典：JICA 調査団にて作成

単位 m³

③ ピスコ流域

ピスコ流域の生産土砂量は以下に示す通りである。ポエチヨスダムの堆砂量を基に算出した土砂量は、流砂式から算出した土砂量の1.5～2.0倍程度となった。Case1 および Case2 では2倍程度の差がある。



移動可能土砂量 241 百万 m³

図 1.4.21 ピスコ流域における生産土砂量

出典：JICA 調査団にて作成

表 1.4.16 ピスコ流域における生産土砂量

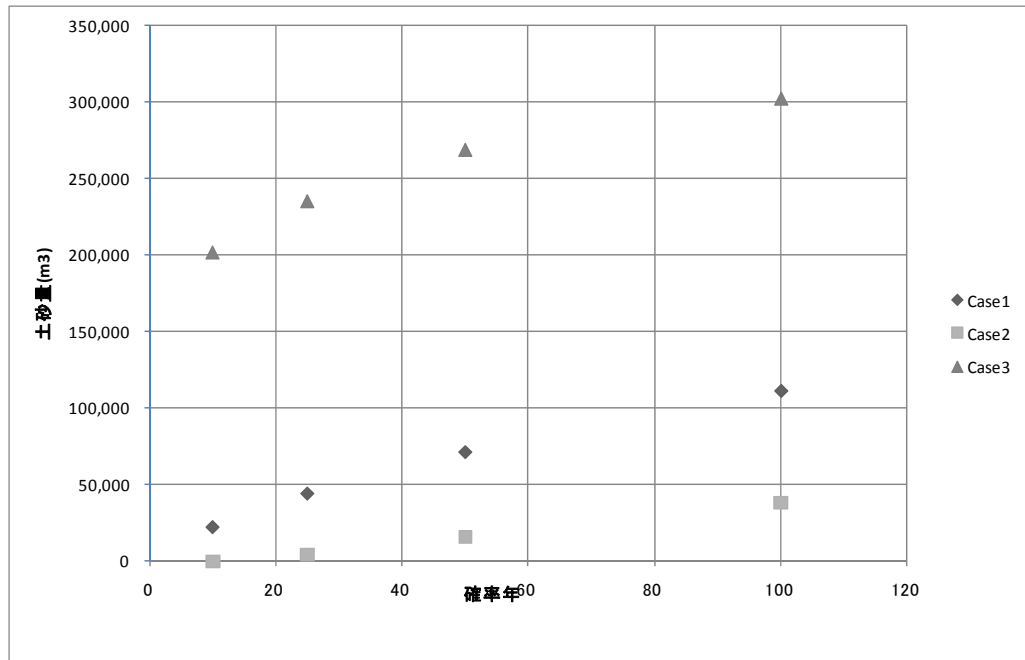
| 確率年 | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-----|--------------------|--------------------|---------------|-------------|
| | 流砂式から求めた土砂量 φ1.2cm | 流砂式から求めた土砂量 φ3.8cm | 堆砂量を基に算出した土砂量 | 移動可能土砂量 |
| 10 | 123,893 | 52,008 | 227,803 | 241,858,551 |
| 25 | 171,511 | 88,622 | 265,770 | 241,858,551 |
| 50 | 196,456 | 113,136 | 303,737 | 241,858,551 |
| 100 | 247,655 | 130,429 | 341,704 | 241,858,551 |

出典：JICA 調査団にて作成

単位 m³

④ ヤウカ流域

ヤウカ流域の生産土砂量は以下に示す通りである。ポエチヨスダムの堆砂量を基に算出した土砂量は、流砂式から算出した土砂量の3～6倍程度となった。Case1 および Case2 では3倍程度の差がある。



移動可能土砂量 171 百万 m³

図 1.4.22 ヤウカ流域における生産土砂量

出典：JICA 調査団にて作成

表 1.4.17 ヤウカ流域における生産土砂量

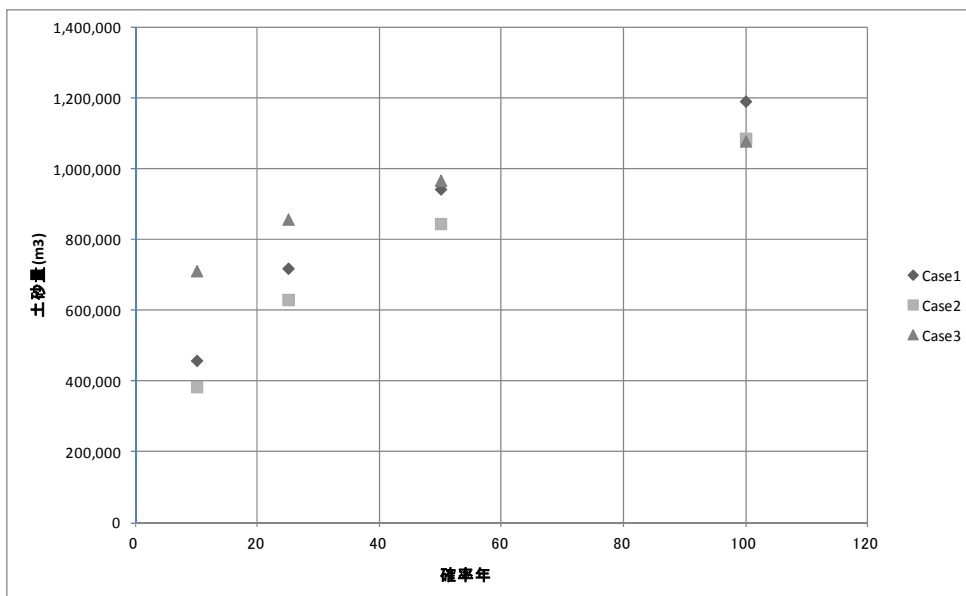
| 確率年 | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-----|--------------------|--------------------|---------------|-------------|
| | 流砂式から求めた土砂量 φ0.9cm | 流砂式から求めた土砂量 φ6.3cm | 堆砂量を基に算出した土砂量 | 移動可能土砂量 |
| 10 | 22,238 | 1 | 201,568 | 171,793,215 |
| 25 | 44,212 | 4,497 | 235,162 | 171,793,215 |
| 50 | 71,405 | 16,090 | 268,757 | 171,793,215 |
| 100 | 111,523 | 38,267 | 302,352 | 171,793,215 |

出典：JICA 調査団にて作成

単位 m³

⑤ カマナ/マヘス流域

他の流域と異なり、case1～3 までが同じような土砂量となった。これは、流域が他流域に比べて大くおかつ、流量も多いことによるものと考えられる。



移動可能土砂量 228 百万 m3

図 1.4.23 カマナ/マヘス流域における生産土砂量

出典：JICA 調査団にて作成

表 1.4.18 カマナ/マヘス流域における生産土砂量

| 確率年 | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-----|---------------------|---------------------|---------------|-------------|
| | 流砂式から求めた土砂量 φ 1.3cm | 流砂式から求めた土砂量 φ 6.3cm | 堆砂量を基に算出した土砂量 | 移動可能土砂量 |
| 10 | 459,173 | 384,896 | 712,945 | 728,677,693 |
| 25 | 719,715 | 631,326 | 858,829 | 728,677,693 |
| 50 | 943,849 | 846,222 | 968,636 | 728,677,693 |
| 100 | 1,192,347 | 1,087,202 | 1,079,822 | 728,677,693 |

出典：JICA 調査団にて作成

単位 m3

⑥ 各流域の生産土砂量

各流域において 4 パターンの土砂量を算出した。このうち、流量に規制される case1 および case2 の土砂量が一雨に対する土砂量として適しているものと判断する。粒径に関しては、河床材料全体を対象とした粒度分布試験の方が、現地の河床材料特性を表しているものと判断できる。以上から各流域における生産土砂量は表 1.4.19 の通りとなる。

表 1.4.19 各流域における土砂生産量

| 確率年 | カニエテ 流域 | チンチャ 流域 | ピスコ 流域 | ヤウカ 流域 | カマナ/マヘ ス流域 |
|-----|------------|------------|-----------|-----------|---------------|
| 10 | 39,817 | 87,276 | 52,008 | 1 | 384,896 |
| 25 | 93,392 | 131,099 | 88,622 | 4,497 | 631,326 |
| 50 | 159,295 | 154,300 | 113,136 | 16,090 | 846,222 |
| 100 | 224,433 | 203,437 | 130,429 | 38,267 | 1,087,202 |

単位：m3

1.5 侵食が多い箇所の推定

流域の斜面勾配および溪床勾配から各流域における侵食の多い箇所を推定した。まず、各流域における標高と斜面勾配の関係および各流域における溪床勾配の分布を調べた。両者の傾向がおおむね一致していたため、溪床勾配にて侵食が多い箇所を推定した。

土石流発生区間は、溪床勾配が 1/3 以上の区間であることから、表 1.5.1 に示した区分にて侵食量が多い箇所を推定した。結果を表 1.5.2 および図 1.5.1～1.5.6 に示す。

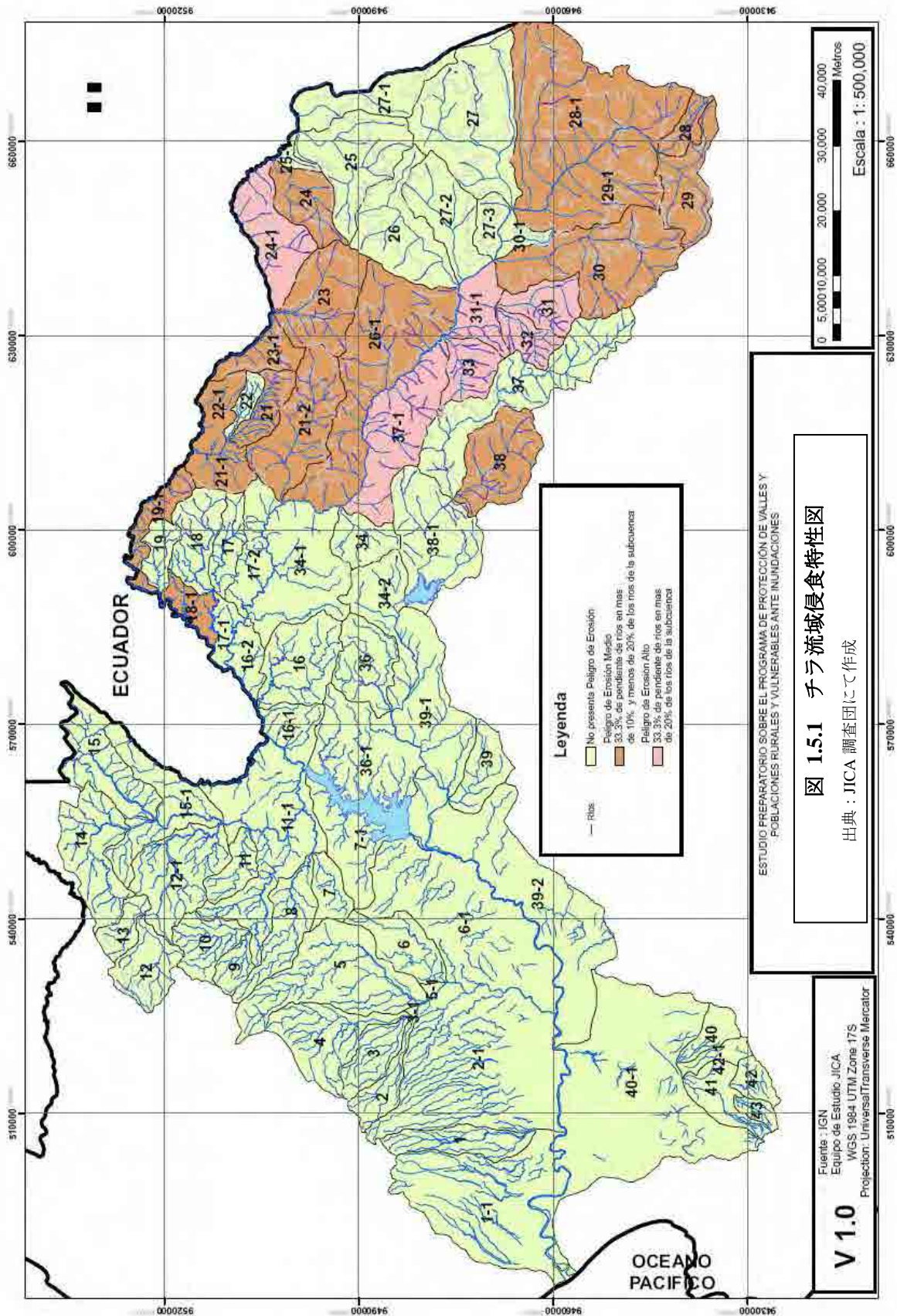
カニエテ流域およびチンチャ流域では侵食が多いエリアの面積が多い。一方、チラ流域、ヤウカ流域およびカマナ/マヘス流域では、侵食の多いエリアは少ない。

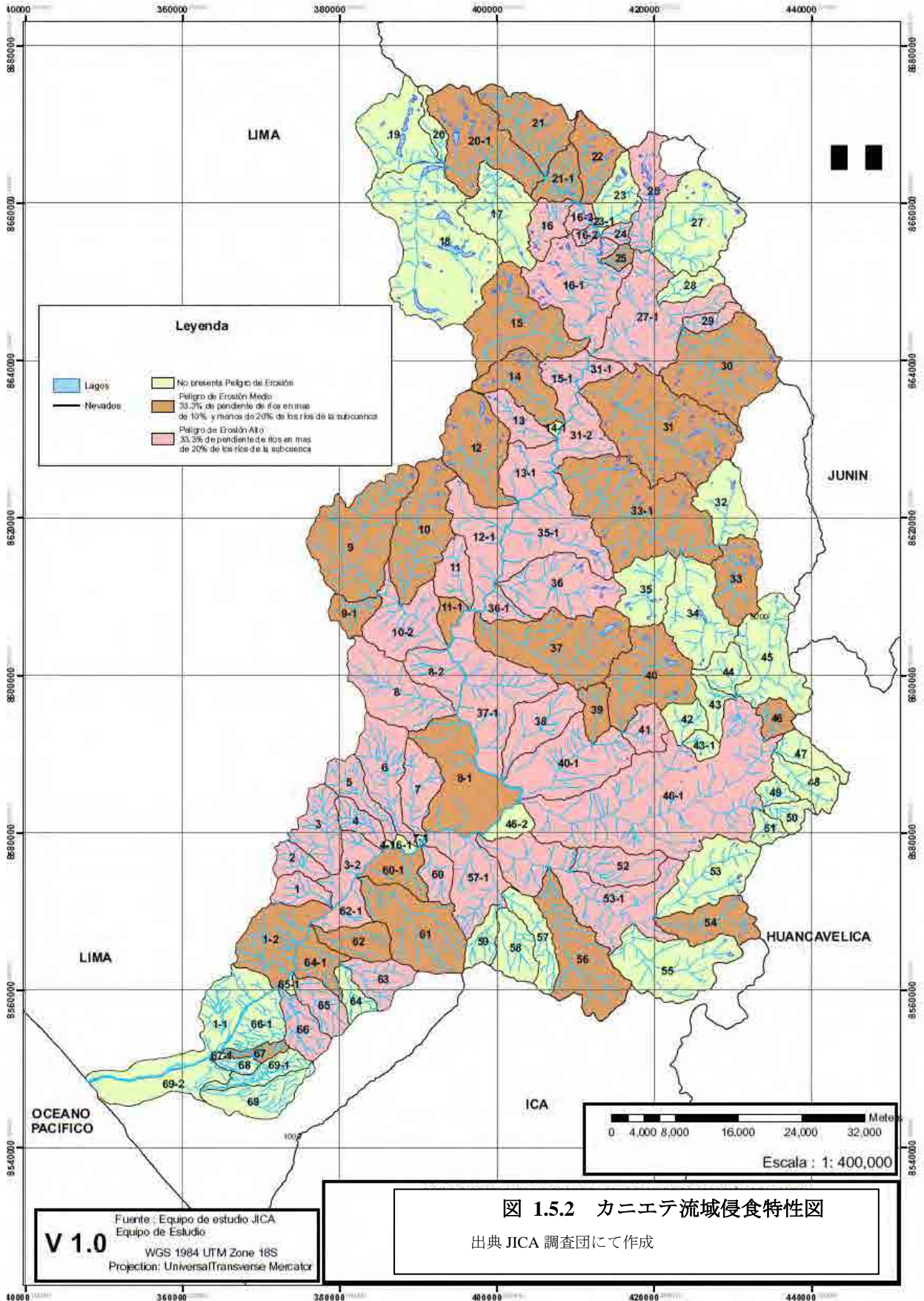
表 1.5.1 侵食区分

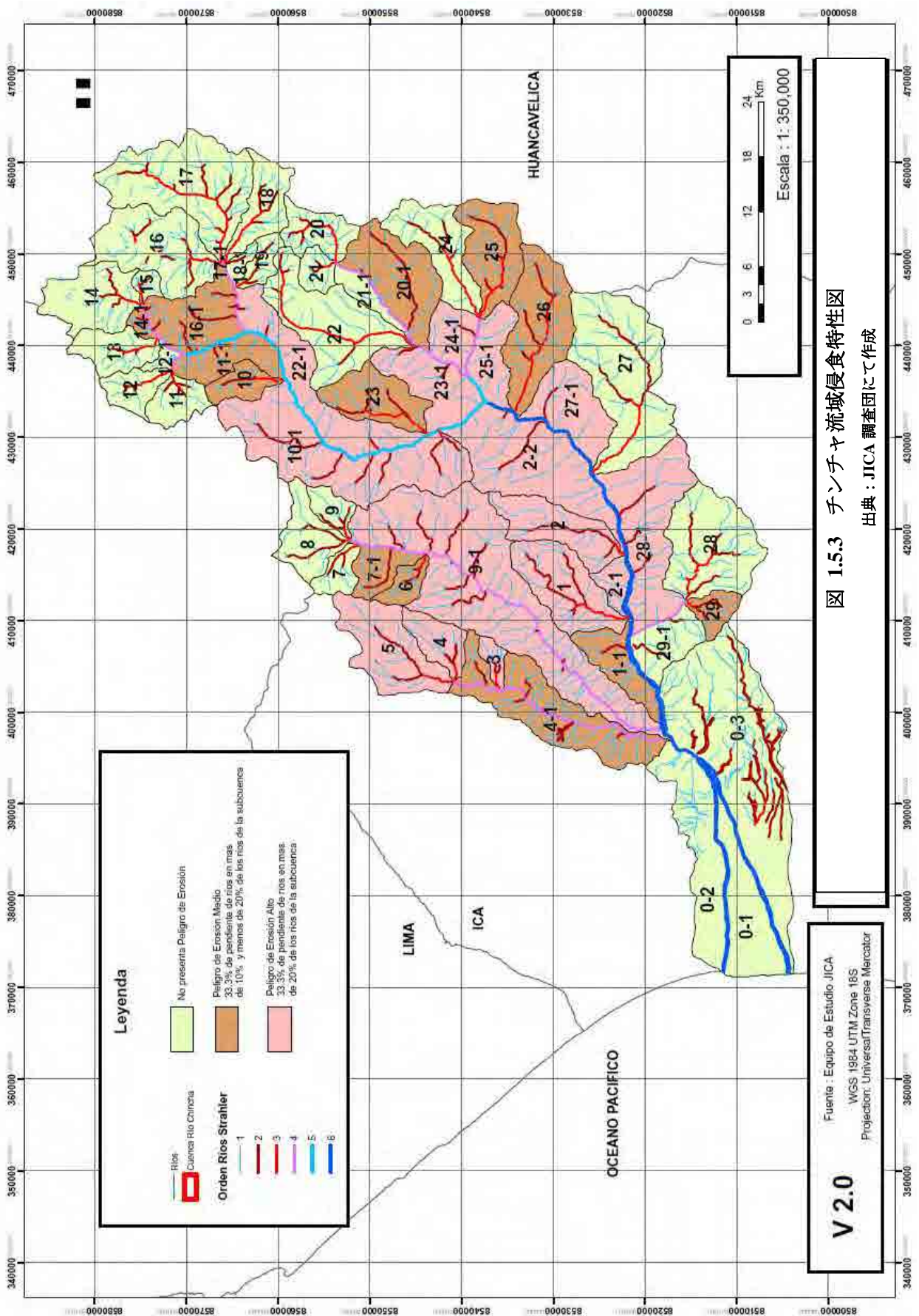
| 侵食区分 | 侵食の程度 | 区分内容 |
|------|-------|------------------------------------|
| A | 侵食大 | 溪床勾配が 1/3 以上の溪流長が流域全体の 20%以上を占める。 |
| B | 侵食中 | 溪床勾配が 1/3 以上の溪流長が流域全体の 10～20%を占める。 |
| C | 侵食少 | 溪床勾配が 1/3 以上の溪流長が流域全体の 10%以下。 |

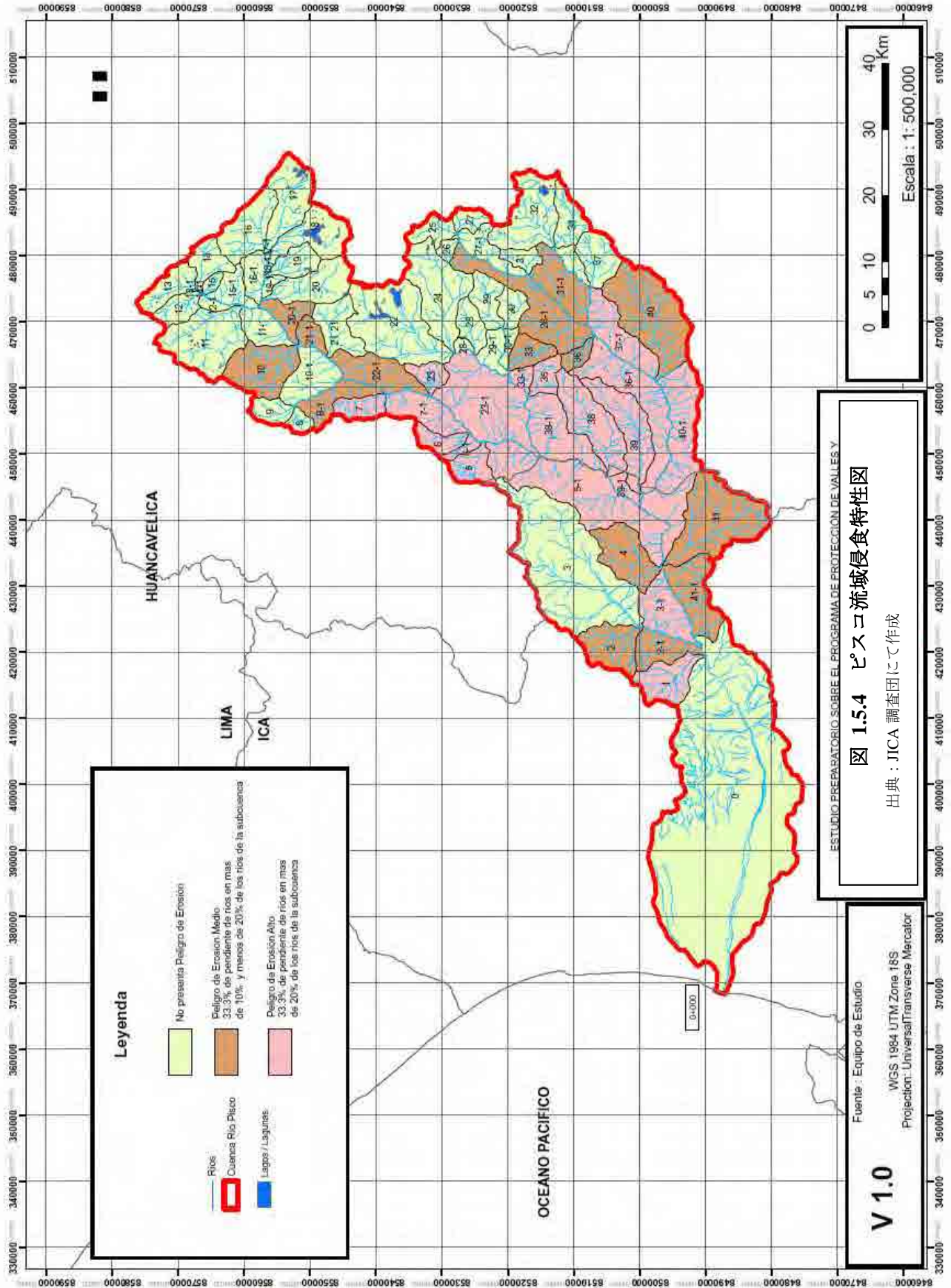
表 1.5.2 各流域における侵食特性

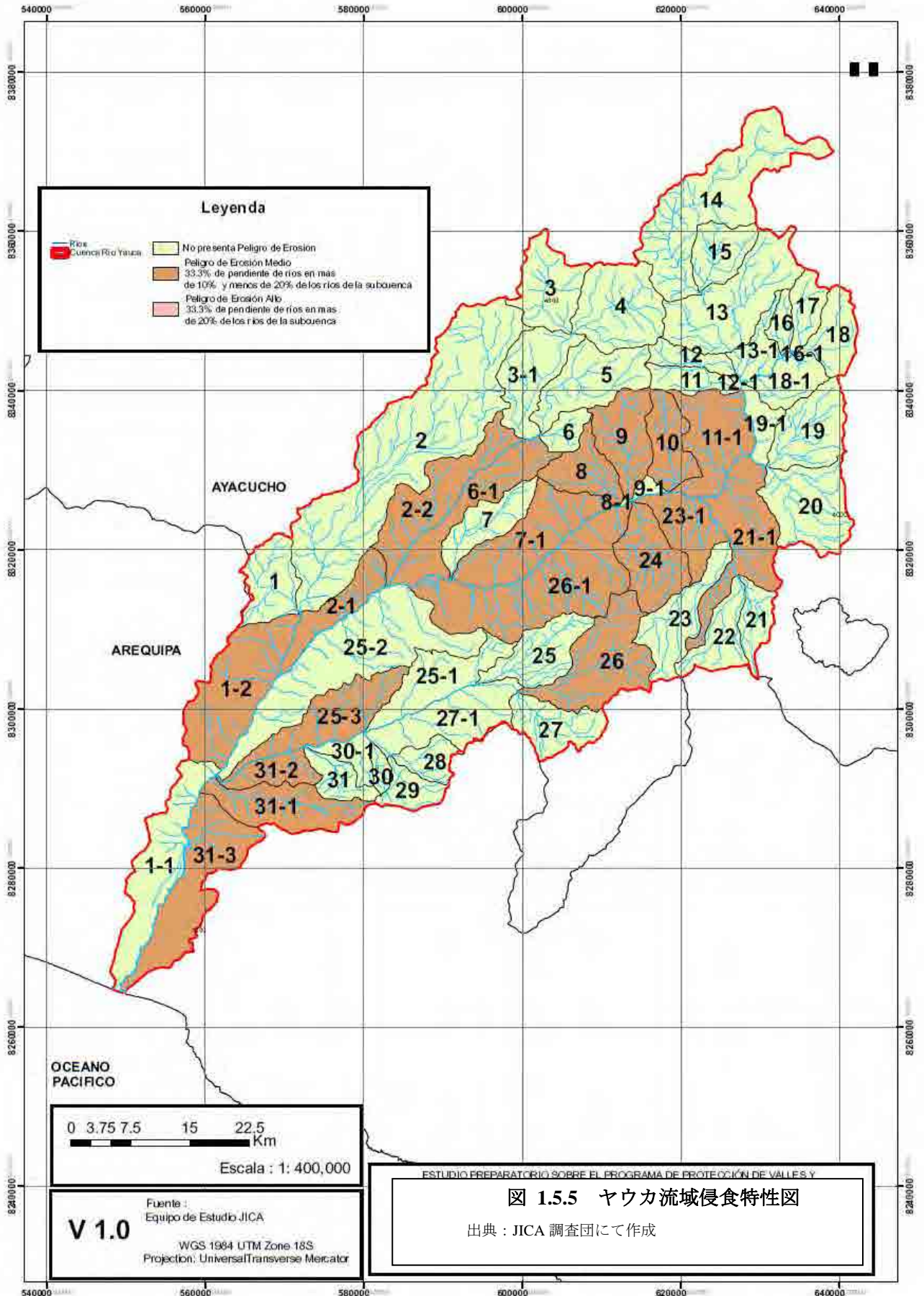
| 流域 | A | | B | | C | | Total |
|-----------|-------------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| | 面積 (km2) | 割合 | 面積(km2) | 割合 | 面積(km2) | 割合 | 面積(km2) |
| チラ流域 | 605 | 6% | 2,115 | 20% | 7,908 | 74% | 10,628 |
| カニエテ流域 | 2,603 | 43% | 1,702 | 28% | 1,719 | 29% | 6,024 |
| チンチャ流域 | 1,223 | 37% | 590 | 18% | 1,490 | 45% | 3,304 |
| ピスコ流域 | 1,013 | 24% | 893 | 21% | 2,365 | 55% | 4,271 |
| ヤウカ流域 | 0 | 0% | 1,385 | 32% | 2,933 | 68% | 4,319 |
| カマナ/マヘス流域 | 2,273 | 13% | 2,050 | 12% | 12,726 | 75% | 17,049 |

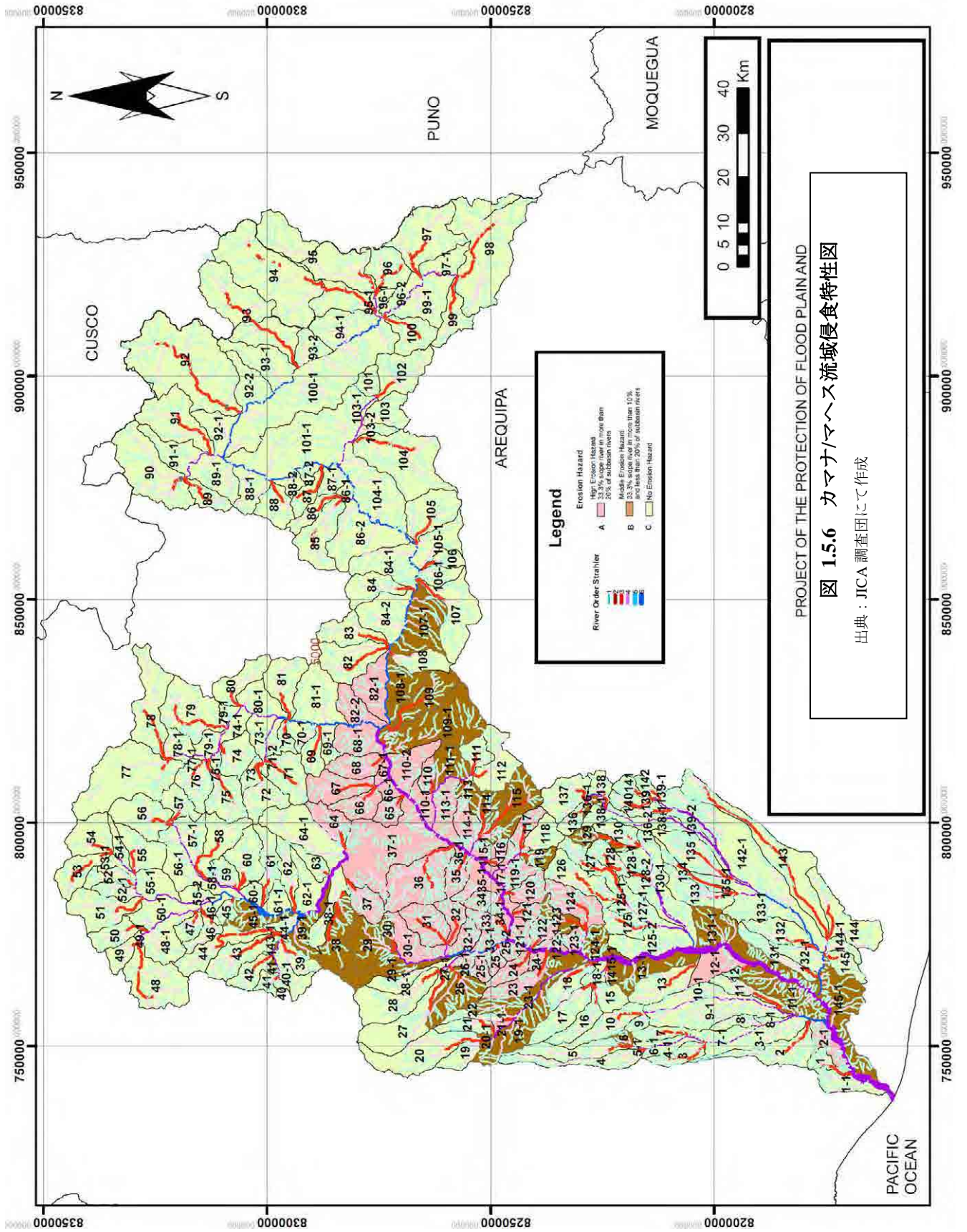












第2章 土砂抑制計画

2.1 基本方針

基本方針は以下の通りとする。

(1) 降雨と土砂移動の関係

- 50年超過確率降雨より少ない降雨における土砂流出は、河岸侵食ならびに河床変動により発生していると推定される（通常時）。
- 斜面からの土砂生産および土石流の発生は、50年超過確率降雨量に相当するエルニーニョ時等の降雨条件が特殊な場合に限られる。

(a) 通常時への対応

河岸侵食を抑えるための護岸工、河床変動を抑制する床固工、帯工が効果的であると考えられる。これらの通常時に流下している土砂に対しては、段丘面河岸並びに河床の固定を行うことで、河道部の土砂流出抑制・制御が可能となる。

下流側扇状地面に土砂が到達した後の氾濫防止に対しては、導流堤工・護岸による流行制御ならびに侵食防止を講じる。また床固工・帯工（横断構造物）と溪流保全工（流路工）によって流路固定し、なおかつ流速を小さくすることで土砂を堆積させ、下流への土砂抑制を行う。

(b) 50年超過確率降雨への対応

50年超過確率降雨への対応としては、侵食量が多い箇所に対して砂防ダムを配置し、出水時における土砂を抑制することで対応可能である。以下の2方向から対策を講じることが有効である。

1) 土砂を生産させない(土砂生産抑制)

大規模出水時には、降雨による山腹風化土の崩壊が発生するため、これを抑止するために山腹工を主とした対策を講じ、集水した土砂の流出を抑止するために、溪床を固定する床固工等横断構造物を主とした対策を講ずるものとする。

2) 土砂を捕捉・制御する(土砂流送制御計画)

溪流部に砂防堰堤を配置し、溪床固定・流出土砂捕捉によって下流への土砂流出を防ぐ。

表 2.1.1 砂防コンポーネント基本方針

| 状況 | 通常時 | 50年超過確率降雨時 |
|--------|--|---|
| 土砂流出状況 | 河岸侵食および河床変動 | 河岸侵食および河床変動 溪流からの土石流 |
| 対応方針 | 侵食防止→護岸工 河床変動防止→床固工、帯工 (扇頂部での床固工、帯工) | 侵食防止→護岸工 河床変動防止→床固工、帯工 (扇頂部での床固工、帯工) 土石流対応→山腹保全工、砂防堰堤の配置 |

2.2 砂防コンポーネント

(1) 土砂流出対策工

下流への土砂流入を抑制することで、河床断面を確保でき、洪水抑制が可能となる。図 2.2.1 に示す土砂対策を行うことで土砂抑制は可能である。

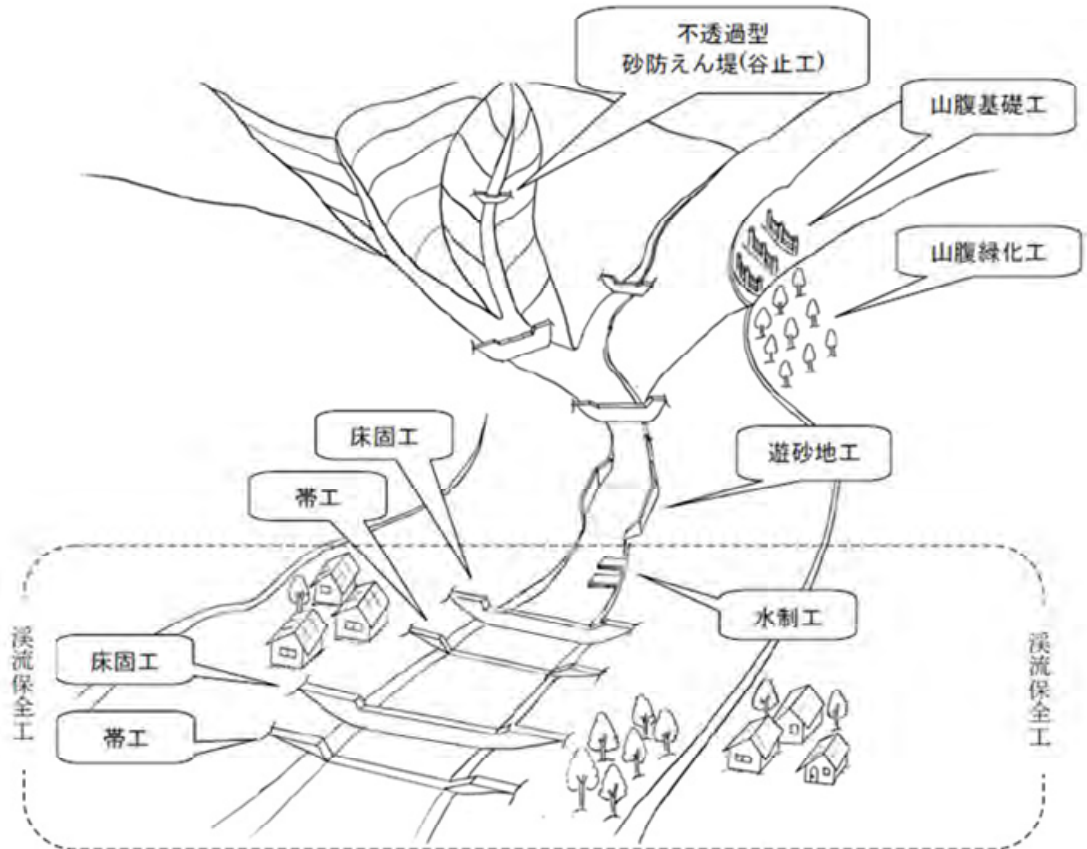


図 2.2.1 土砂流出対策の概念図

土砂流出対策は以下の通り、目的別に土砂生産抑制施設と土砂流送制御施設に区分される。それぞれの目的および工種を表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 土砂流出対策工区分

| | |
|--|------------------|
| 土砂生産抑制施設 土砂生産抑制施設は、土砂の生産源において山腹・溪岸・溪床を保護し土砂の生産を抑制することを目的とした施設である。 | 山腹保全工（山腹工、山腹保育工） |
| | 砂防堰堤 |
| | 床固工 |
| | 帯工 |
| | 護岸工 |
| | 溪流保全工 |
| 土砂流送制御施設 土砂流送制御施設は、土砂の流送区間において流出する土砂を制御することを目的とした施設である。 | 砂防堰堤 |
| | 床固工 |
| | 帯工 |
| | 水制工 |
| | 護岸工 |
| | 遊砂地工 |
| | 溪流保全工 |
| 導流工 | |

1) 土砂生産抑制施設

土砂生産抑制施設は、土砂の生産源において山腹・溪岸・溪床を保護し土砂の生産を抑制することを目的とした施設である。

① 山腹保全工（山腹工、山腹保育工）

山腹工は、a「山腹の斜面の安定化や斜面の侵食の防止を図る山腹基礎工」、b「崩壊地又はとくしゃ地において表面侵食や表層崩壊の発生又は拡大を防止又は軽減するため植生を導入して緑化を図る山腹緑化工」、c「崩壊地や崩壊のおそれのある山腹の斜面においてコンクリートのり枠工や鉄筋挿入工などを施工することにより、斜面そのものの崩壊抵抗力を高める山腹斜面補強工」に分けられ、これらを単独若しくは適切に組み合わせて施工することによって、土砂生産の抑制を図るものである。

山腹基礎工は、のり切工を行った後の堆積土の安定を図るとともに、山腹排水路を設け、雨水による侵食を防止することで流出を防備するものである。また、このような面を作り安定化させることは、将来林地等緑化を促進させることのための基礎作りにもなる。

代表的な工種は図 2.2.2 通りである。

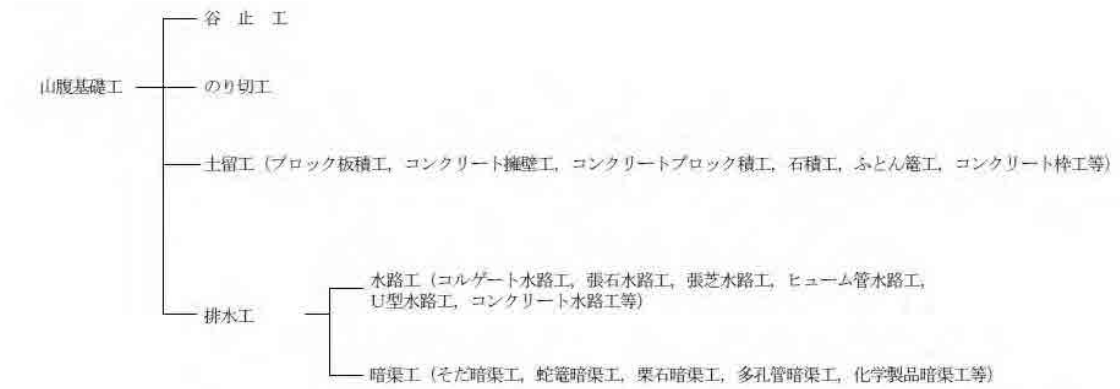


図 2.2.2 山腹基礎工の代表的な工種

また、山腹緑化工は、斜面表層の侵食・風化防止、表土の流出防止、と、通常は植生の回復を図るために直接植生を導入して緑化を図る工法である。

山腹緑化工は、当初の施工のみによってそのまま目的とする植物群落の形成に至ることは少なくない。通常はもともとそこに成育していた草本類や先駆性樹種(肥料木)の導入によって裸地斜面等を被覆して表土の移動、侵食防止と土壌の改良を行い、その後の保育などによって防災機能を高めつつ、かつ周囲の植生と調和のとれた群落に育てていくことをおこなう。

代表的な工種は図 2.2.3 に示すとおりである。



図 2.2.3 山腹基礎工の代表的な工種

② 砂防堰堤

土砂生産抑制施設としての砂防堰堤は、a「山脚固定による山腹の崩壊などの発生又は拡大の防止又は軽減」、b「溪床の縦侵食の防止又は軽減」あるいはc「溪床に堆積した不安定土砂の流出の防止又は軽減」を目的とした施設である。

計画に際しては、施設を設置する目的に応じて、施設の規模及び構造などを選定し計画

するものとする。

土砂生産抑制施設としての砂防堰堤の設置位置は、砂防堰堤に期待する効果と、地形、地質、不安定土砂の状況を勘案し、aについては原則として崩壊などのおそれがある山腹の直下流、bについては原則として縦侵食域の直下流、cについては原則として不安定な溪床堆積物の直下流に配置するものとする。

③ 床固工

床固工は、溪床の縦侵食防止、溪床堆積物の再移動防止により溪床を安定させるとともに、溪岸の侵食又は崩壊などの防止又は軽減を目的とした施設である。なお、床固工は、護岸工などの基礎の洗掘を防止し、保護する機能も有する。

床固工の配置位置は、次の事項を考慮して計画するものとする。

- i) 溪床低下のおそれのある箇所に計画する。
- ii) 工作物の基礎を保護する目的の場合には、これらの工作物の下流に計画する。
- iii) 溪岸の侵食、崩壊及び地すべりなどの箇所においては、原則としてその下流に計画する。

④ 帯工

縦侵食を防止、縦断勾配の安定、流向規制するために配置する砂防施設である。河床の不安定土砂を扞止することで縦断勾配を安定させるとともに、流路を固定することで流向を規制する機能を有する横断構造物である。帯工と床固工の違いは、縦断方向の落差の有無であり帯工には落差がなく、勾配を緩和する機能はない。

⑤ 護岸工

護岸工は、溪岸の侵食・崩壊などの防止を目的とした施設である。

護岸工は、土砂の移動若しくは流水により、水衝部などの溪岸の侵食又は崩壊が発生、あるいはそのおそれがあるところや山脚の固定あるいは侵食防止が必要なところに計画するものとする。

⑥ 溪流保全工

溪流保全工は、山間部の平地や扇状地を流下する溪流などにおいて、乱流・偏流を制御することにより、溪岸の侵食・崩壊などを防止するとともに、縦断勾配の規制により溪床・溪岸侵食などを防止することを目的とした施設である。溪流保全工は、床固工、帯工と護岸工、水制工などの組み合わせからなる。

溪流保全工は、多様な溪流空間、生態系の保全及び自然の土砂調節機能の活用の観点から、拡幅部や狭さく部などの自然の地形などを活かし、必要に応じて床固工、帯工、水制工、護岸工などを配置するよう計画するものとする。

2) 土砂流送制御施設

土砂流送制御施設は、土砂の流送区間において流出する土砂を制御することを目的とした施設である。

① 砂防堰堤

土砂流送制御施設としての砂防堰堤は、a「土砂の流出抑制あるいは調節」、b「土石流の捕捉あるいは減勢」を目的とした施設であり、その形式には、不透過型及び透過型がある。計画に際しては、施設を設置する目的に応じて、施設の形式、規模及び構造などを選定するものとする。土砂流送制御施設としての砂防堰堤の設置位置は、砂防堰堤に期待する効果と地形などを勘案し、狭窄部でその上流の谷幅が広がっているところや支川合流点直下流部などに配置すると効果的である。

② 水制工

水制工は、流水の流向を制御したり、流路幅を限定することにより、溪岸の侵食・崩壊を防止する施設である。なお、水制工は流勢を緩和して土砂の堆積を図り、溪岸を保護する機能も有する。水制工は、溪流の下流部、あるいは砂礫円錐地帯、扇状地などの乱流区間で、溪床勾配が急でないところに計画する必要がある。

③ 遊砂地工

遊砂地工は、掘削などにより溪流の一部を拡大して土砂などを堆積させることで、流送土砂の制御を行う施設である。遊砂地工は、一般に谷の出口より下流側において土砂を堆積する空間を確保できる区域に設置するものとする。

④ 導流工

導流工は、土石流などが氾濫して保全対象を直撃することがないように、土石流などを安全に下流域に導流する施設である。土石流などは保全対象の上流側において捕捉・堆積させることが原則であるが、地形条件などによりそれにより難しく、下流域に安全に土石流を堆積させることができる空間がある場合には、導流工を計画するものとする。

導流工は原則として掘り込み方式とし、土石流などの捕捉のための砂防堰堤又は遊砂地工を設けた後、それらの下流側に接続し、土石流などを安全に堆積させることができる空間に導流するように計画するものとする。

なお、現地条件により掘り込み方式とすることが困難な場合には、土石流などの流向を制御し安全に下流域に導流するため、導流堤を設置することができる。

当地区への適応性は表 2.2.2 の通りである。

表 2.2.2 砂防対策工の当地区への適応性

| 土砂生産抑制施設 生産源対策 | | 判定 |
|-----------------|--|----|
| 山腹保全工 | 当該地区は水がないため、植生が活着し、斜面をカバーする事が不可能な状態と考えられる(植林・植生回復資料参照)。必要水分量を供給するためには、大規模な灌漑設備もしくは涵養のための仕組み作りを考慮することが必要となり、莫大な費用が必要となる。このため、適切ではない。 | × |
| 砂防堰堤 | a「山脚固定による山腹の崩壊などの発生又は拡大の防止又は軽減」、b「溪床の縦侵食の防止又は軽減」あるいはc「溪床に堆積した不安定土砂の流出の防止又は軽減」は土砂制御に効果があり適切である。しかし、土砂が堆積しないと効果を発揮しないため、効果発現までに時間を要する。 | △ |
| 床固工 | 溪床の縦侵食防止、溪床堆積物の再移動防止により溪床を安定させ、溪岸の侵食又は崩壊などの防止、軽減は土砂制御に効果があり適切である。しかし、発生箇所での効果は限定的であると考えられる。 | △ |
| 帯工 | 縦断勾配を安定させ、流路を固定することで土砂制御が可能となり、効果がある。しかし、発生箇所での効果は限定的であると考えられる。 | △ |
| 護岸工 | 溪岸侵食を予防することは、土砂制御に効果がある。しかし、発生箇所での効果は限定的であると考えられる。 | △ |
| 溪流保全工 | 土砂生産抑制としての溪流保全工は、それほど効果は見込めない。 | △ |
| 土砂流送制御施設 流送区間対策 | | 判定 |
| 砂防堰堤 | a「土砂の流出抑制、調節」、b「土石流の捕捉、減勢」は土砂制御に効果がある。 | ○ |
| 床固工 | 溪床の縦侵食防止、溪床堆積物の再移動防止により溪床を安定させ、溪岸の侵食又は崩壊などの防止、軽減は土砂制御に効果があり適切である。 | ○ |
| 帯工 | 縦断勾配を安定させ、流路を固定することで土砂制御が可能となり、効果がある。 | ○ |
| 水制工 | 水制工は流勢を緩和して土砂の堆積を図り、溪岸を保護する機能を有するため、当地区に適している。 | ○ |
| 護岸工 | 溪岸侵食を予防することは、土砂制御に効果がある。 | ○ |
| 遊砂地工 | 扇状地上部での流送土砂の制御は効果的である。 | ○ |
| 溪流保全工 | 扇状地上部での溪流保全工は、縦断勾配を規制することで溪床・溪岸侵食などを防止でき効果的である。 | ○ |
| 導流工 | 扇状地付近では、土石流は発生しないので不適切である。 | × |

出典：JICA 調査団にて作成

2.3 砂防コンポーネント別計画数量及び事業費

護岸工、帯工および砂防堰堤の概略検討を行った。施設配置計画図および砂防堰堤図面は巻末に添付した。

(1) 護岸工および帯工

1) 護岸工

各流域に対して、新生代の堆積物が堆積している箇所に対して護岸工を配置する計画とし、護岸工の概算工事費を算出した（表 2.3.1 参照）。護岸工の断面は図 2.3.1 に示す通りとした。また、対策工平面図は、図 2.3.4～図 2.3.9 に示す。

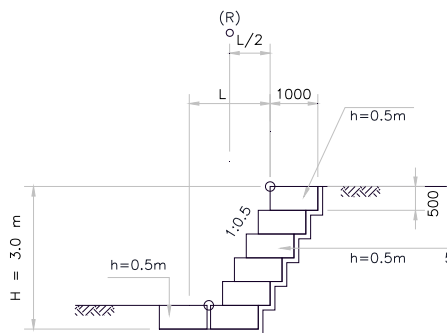


図 2.3.1 護岸工断面図（片側）

出典：JICA 調査団にて作成

表 2.3.1 護岸工概算工事費

2) 帯工

5km 毎に帯工を配置する計画として、帯工の概算工事費を算出した（表 2.3.2 参照）。帯工の規格は L=40m、H=3m、W=0.5m（V=60m³）とした（図 2.3.2 参照）。

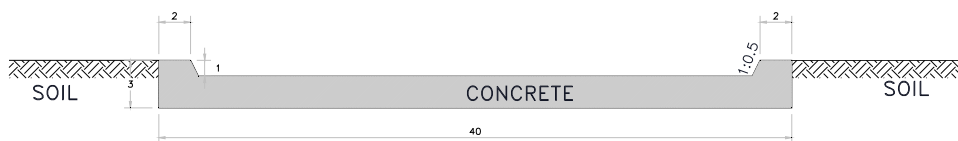


図 2.3.2 帯工正面図

出典：JICA 調査団にて作成

表 2.3.2 帯工概算工事費

(2) 砂防堰堤

1) 計画基本土砂量の設定

土砂量算出条件は表 2.3.3 の通りである。

表 2.3.3 土砂量算出条件

| 項目 | 検討条件 |
|---------|--|
| 計画基準点 | 3次谷の出口 |
| 計画規模 | 日雨量の50年超過確率降雨 小流域毎に算出（水文担当者が算出） |
| 計画流出土砂量 | 運搬可能土砂量 土砂生産量の算出において移動可能土砂量 > 運搬可能土砂量 となるのは明らかである。 |

出典：JICA 調査団にて作成

2) 運搬可能土砂量の算出

「計画規模の土石流」によって運搬できる土砂量は、計画規模の年超過確率の降雨量（PP [mm]）に流域面積（A [km²]）を掛けて総水量を求め、これに流動中の土石流濃度（Cd）を乗じて算定する。その際、流出補正率（Kf2）を考慮する。

$$V_{d2} = \frac{10^3 \times P_p \times A}{1 - K_v} \times \left(\frac{C_d}{1 - C_d} \right) K_{f2}$$

ここで、

- V_{d2} : 「計画規模の土石流」によって運搬できる土砂量 (m³)
- P_p : 計画規模の降雨量 (50年確率日雨量)
- A : 流域面積 (km²)
- K_v : 空ゲキ率 (=0.4)
- C_d : 流動中の土石流の容積土砂濃度
- K_{f2} : 流出補正率
0.05・(log A - 2.0)² + 0.05 [下限 0.1 ≤ K_{f2} ≤ 0.5 上限]

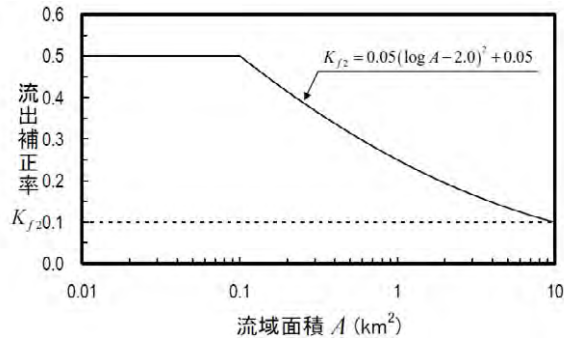


図 2.3.3 流出補正率

出典：「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説」国総研資料第 364 号、平成 19 年 3 月

流動中の土石流の容積土砂濃度（ C_d ）は下記の平衡濃度式によって求める。

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho) (\tan \phi - \tan \theta)}$$

ここで、

- C_d : 土石流濃度 [$C_d \geq 0.9C^*$ の場合は $C_d = 0.9C^*$ とし、 $C_d \leq 0.3$ の場合は $C_d = 0.3$]
- C^* : 溪床堆積土砂の容積濃度 (=0.6)
- σ : 礫の密度 (2,600kg/m³)
- ρ : 水の密度 (1,200kg/m³)
- ϕ : 溪床堆積土砂の内部摩擦角 (°) [一般に 35° を採用]
- θ : 溪床勾配 (°) → 現溪床勾配 GIS により計測

3) 施設配置計画

算出した土砂量に対して、必要な砂防堰堤の規模および数量を算出した（表 2.3.5～表 2.3.10 参照）。なお、砂防堰堤に堆積した土砂は、取り除くことを前提に検討し、調節量を 10% 見込んで計算した。また、現河床勾配が 2 度以下の溪流は対象外とした。1 基あたりの砂防堰堤で捕捉できる土砂量は以下の様に算出した。また、カマナ/マヘス流域は流域面積が大きいことと、高標高部はなだらかな地形であることから、侵食区分 A および B のみを対象として砂防堰堤の配置検討を行った。

$$\text{捕捉量} = W \cdot H \cdot H \cdot N$$

ここで、

- W : 平均堆積幅
- H : 砂防堰堤の高さ
- 1/N : 現河床勾配 堆積長 $L = H \cdot N$

4) 概算工事費の算出

砂防堰堤はコンクリート構造物とし、コンクリート体積を算出し、概算工事費を算出した（表 2.3.4 参照）。また、土砂生産が多い箇所を推定したため、流域全体に配置計画した場合と、土砂生産が多い流域のみに配置した場合の 2 ケース想定した。配置計画図は、図 2.3.4～図 2.3.9 に示す。なお、副堤および前提保護工は見込まないこととした。副堤および前提保護工を配置した場合は、おおむね 1.5 倍の工事費となる。また、工事用道路等の仮設工も含んでいない。

表 2.3.4 砂防ダムの数量と概算工事費

表 2.3.5 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（チラ流域）

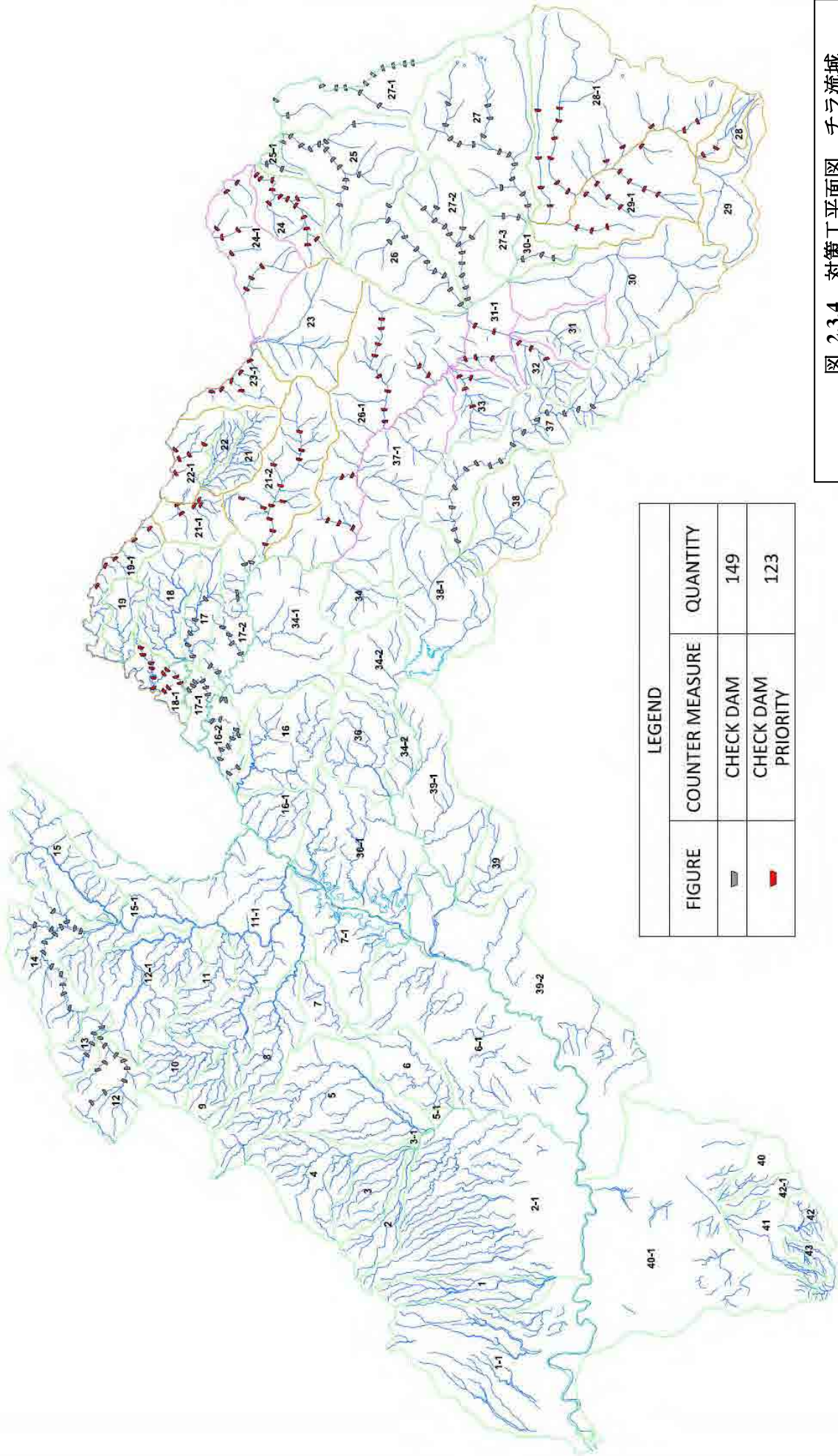
表 2.3.6 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（カニエテ流域）

表 2.3.7 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（チンチャ流域）

表 2.3.8 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（ピスコ流域）

表 2.3.9 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（ヤウカ流域）

表 2.3.10 各流域における生産土砂量と砂防堰堤計画（カマナ/マヘス流域）



| LEGEND | | |
|--------|--------------------|----------|
| FIGURE | COUNTER MEASURE | QUANTITY |
| | CHECK DAM | 149 |
| | CHECK DAM PRIORITY | 123 |

図 2.3.4 対策工平面図 チラ流域
出典：JICA 調査団にて作成

SCALE 1:500 000
0 10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 km
CHIRA BASIN

| LEGEND | | |
|--------|--------------------|-----------|
| FIGURE | COUNTER MEASURE | QUANTITY |
| | CHECK DAM | 42 |
| | CHECK DAM PRIORITY | 159 |
| | REVENT WORK | 324.53 km |
| | CENOZOIC ZONE | |

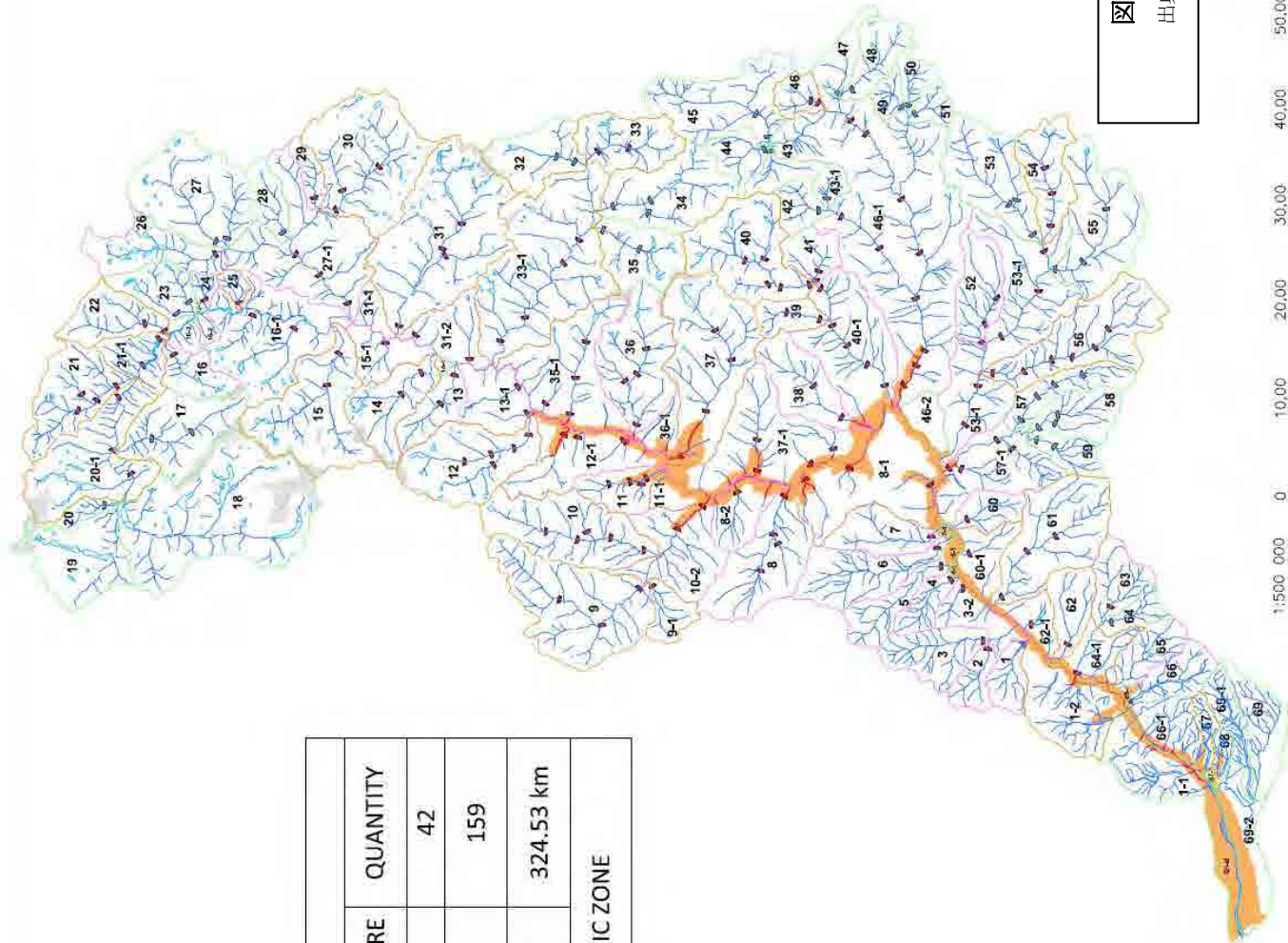


図 2.3.5 対策工平面図 カニエテ流域

出典：JICA 調査団にて作成

ARRANGEMENT PLAN OF COUNTERMEASURE

SCALE
1:500,000

0 10,00 20,00 30,00 40,00 50,00 km

CANETE BASIN

| LEGEND | | |
|--------|--------------------|-----------|
| FIGURE | COUNTER MEASURE | QUANTITY |
| | CHECK DAM | 45 |
| | CHECK DAM PRIORITY | 66 |
| | REVENT WORK | 380.93 km |
| | CENOZOIC ZONE | |







図 2.3.6 対策工平面図 チンチャ流域

出典：JICA 調査団にて作成

ARRANGEMENT PLAN OF COUNTERMEASURE

SCALE
1:400 000
CHINCHA BASIN

1:400 000 0 8,00 16,00 24,00 32,00 40,00 km

| LEGEND | | |
|---|--------------------|-----------|
| FIGURE | COUNTER MEASURE | QUANTITY |
|  | CHECK DAM | 72 |
|  | CHECK DAM PRIORITY | 106 |
|  | REVENT WORK | 268.62 km |
|  | CENOZOIC ZONE | |

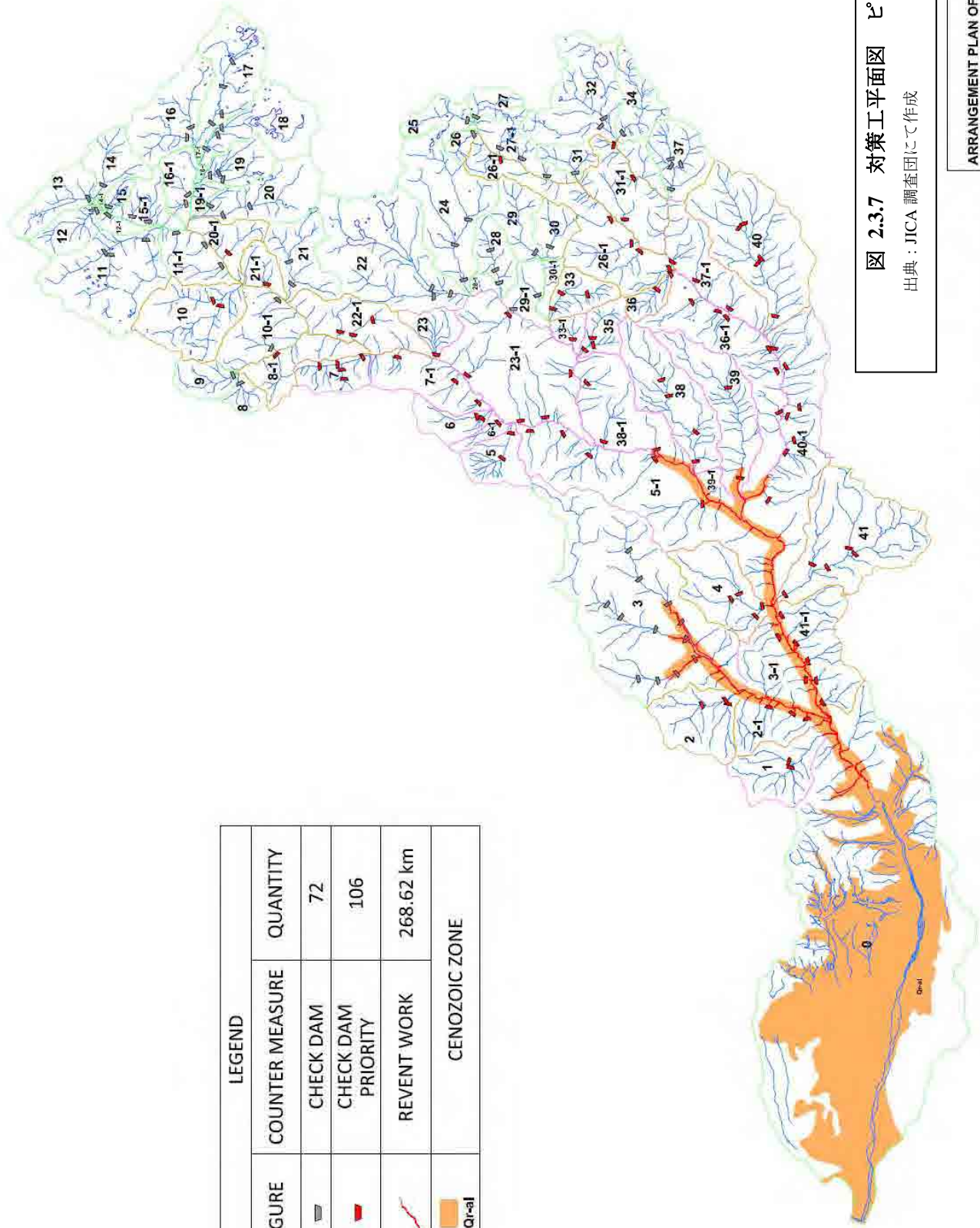


図 2.3.7 対策工平面図 ピスコ流域
出典：JICA 調査団にて作成

ARRANGEMENT PLAN OF COUNTERMEASURE
SCALE 1:400 000
PISCO BASIN

1:400 000 0 8,00 16,00 24,00 32,00 40,00 km

| LEGEND | | |
|--------|--------------------|-----------|
| FIGURE | COUNTER MEASURE | QUANTITY |
| | CHECK DAM | 60 |
| | CHECK DAM PRIORITY | 37 |
| | REVENT WORK | 565.48 km |
| | CENOZOIC ZONE | |

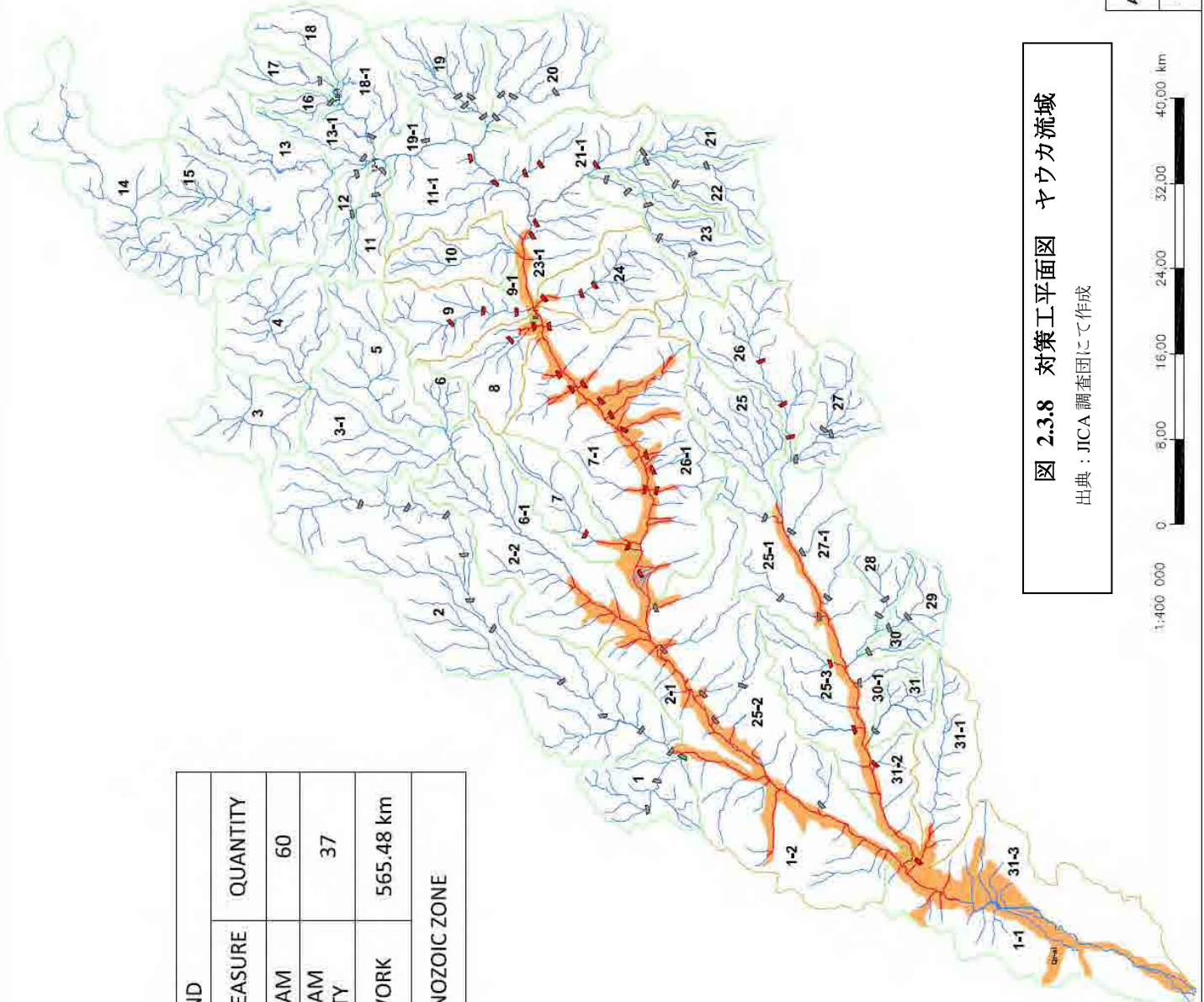
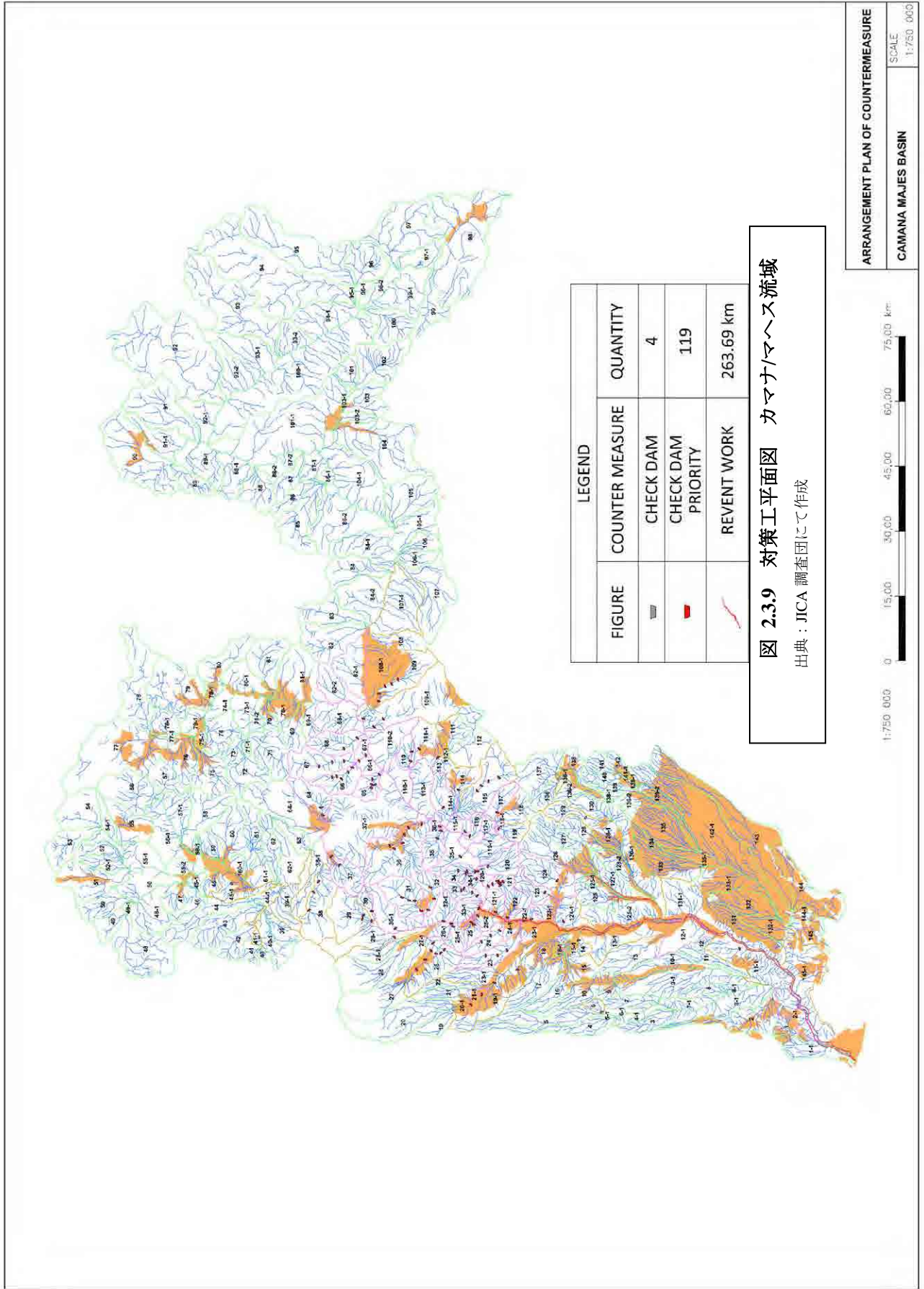


図 2.3.8 対策工平面図 ヤウカ流域
出典：JICA 調査団にて作成

ARRANGEMENT PLAN OF COUNTERMEASURE
SCALE 1:400,000
YAUCA BASIN

1:400,000 0 8,00 16,00 24,00 32,00 40,00 km



(3) 扇状地での砂防施設検討

流域全体を対象とした砂防施設は、非常に高額となることが明らかとなったため、扇状地での土砂抑制計画について検討した。検討に際しては、別途実施された河床変動解析結果を考慮した。

1) 河床変動解析結果

河床変動解析結果を表 2.3.11 および図 2.3.10 に示す。河床変動解析結果によれば、カマナ・マヘス川、ピスコ川、チンチャ川において土砂堆積の影響が大きい結果となった。これらの河川に対しては、河床変動量の大きい扇状地での土砂制御計画を実施することが望ましい。ただし、土砂災害は突発的な時期に局所的に発生するため、河道の変化をモニタリングしながら必要に応じた河道維持対策を全河川において検討する必要がある。カニエテ川上流には昨年度プラントナルダム(図 2.3.12 参照)が建設されており、発電用のダムであり、貯水容量が小さいことから直ぐに満砂する可能性が高いが、流出土砂への調節機能は維持されるため、流出土砂の影響はさらに低くなるものと推定される。

■ 総流入土砂量、総河床変動量としてはチンチャ川、ピスコ川、カマナ・マヘス川の3河川がカニエテ川、ヤウカ川に較べて大きい。

■ 将来50年後の平均河床変動高はチラ川以外の5河川はプラスの値であり、河床上昇する傾向が見られた。中でもチンチャ川が0.5mと平均値としては比較的大きい。

表 2.3.11 河床変動解析結果

| | 総流入土砂量 (千 m ³) | 総河床変動量 (千 m ³) | 平均河床変動高 (m) | 区間長 (km) |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| チラ(合計) | 5,000 | -1,648 | -0.01 | 49 |
| カニエテ流域 | 3,000 | 673 | 0.2 | 32 |
| チンチャ流域(チコ支川) | 5,759 | 1,131 | 0.4 | 24 |
| チンチャ流域 (マタヘンテ支川) | | 1,479 | 0.5 | 25 |
| ピスコ流域 | 8,658 | 2,571 | 0.2 | 45 |
| ヤウカ流域 | 1,192 | 685 | 0.1 | 46 |
| カマナ/マヘス流域 | 20,956 | 5,316 | 0.2 | 120 |

※1 予測期間50年
 出典：サポートングレポート3より

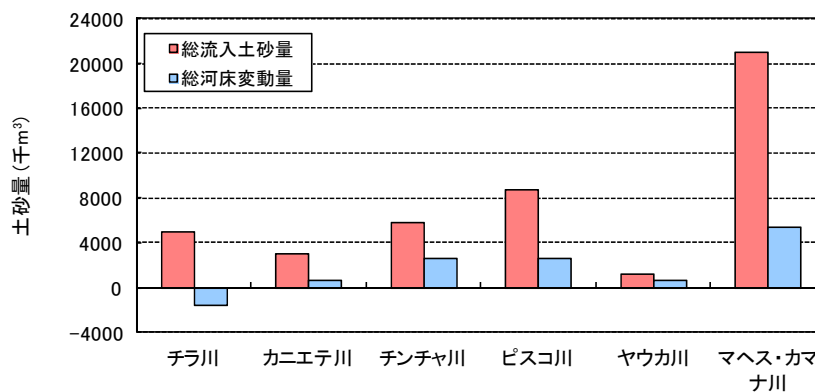


図 2.3.10 解析結果 (土砂量)

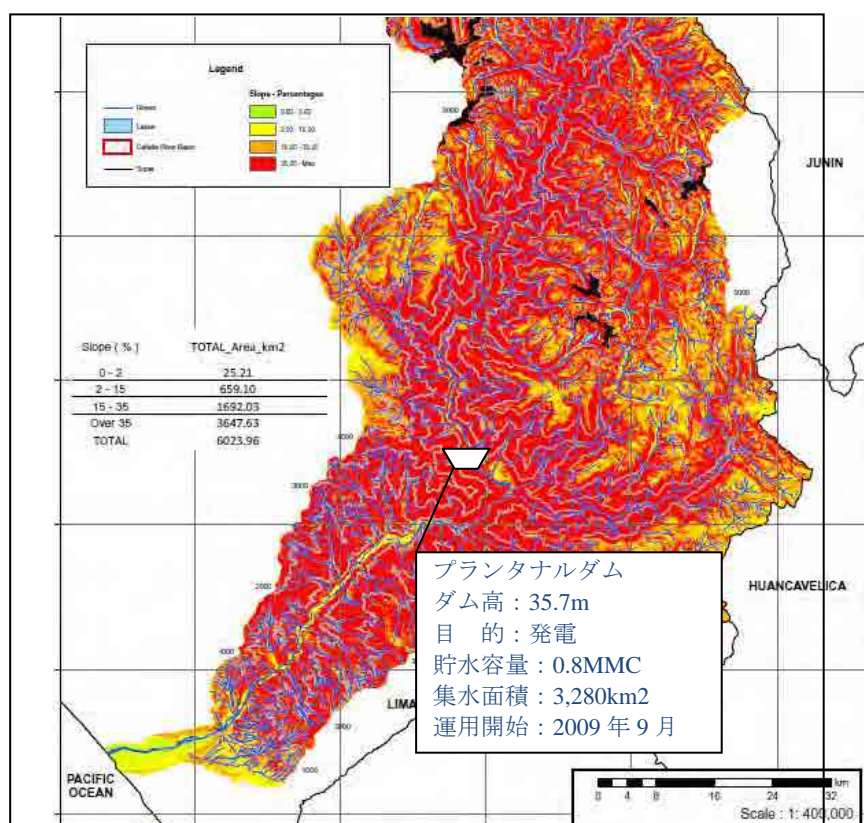


図 2.3.11 プラントナルダム位置図

2) 扇状地での土砂抑制計画

土砂流出が河道に与える影響が大きいと判断されたチンチャ川、ピスコ川、カマナ・マヘス川において扇状地での土砂制御計画を検討した。

扇状地での土砂制御工としては、遊砂池工、床固工、帯工、水制工、また、これらを組み合わせた溪流保全工がある。これらは、砂防構造物のみなく、河川構造物としての機能も有する。

チンチャ川では、24.0Kにて分流堰が計画されている。この分流堰には流路工、導流堤床固工が含まれており、これらは土砂をコントロールする機能を有する。

現在検討されている河川計画において、ピスコ流域では、34.5kにて遊水池が計画されており、この遊水池は沈砂池の機能を有する。

カマナ・マヘス流域では 107K 付近の狭さく部下流で河床幅が 600m 程度に広がる箇所がある。この場所は、沈砂池の役割を果たしており、ここの土砂を除石することで土砂抑制は可能となる。

これらの構造物は、流域全体を対象とした砂防施設に比べて経済的で投資効果が高い。除石等の維持管理を含めても、遙かに投資効果が高いものと判断できる。土砂抑制機能を有する河川構造物を計画しているピスコおよびチンチャにおいては、堆砂機能を確保・維

持するための除石工のための侵入および搬出路、維持管理用のスペースなどの施設を計画することとする。

2.4 土砂抑制計画実施の問題点

計画した土砂抑制計画を実施するに際し、問題点を記述する。

(1) 事業工程と事業費

今回対象としている流域はいずれも広大であり、流域全体で護岸工および砂防ダム等の施設を配置した場合、建設コストだけでなく、事業終了までの時間を要する。このため、効果発現までにかかなりの時間がかかるものと想定される。

表 2.4.1 流域ごとの概算工事費

(2) 中山間地域での人口

土石流の直接保全対象となる中山間地域での人口を調査した。中山間地域では人口が少なく、保全対象が少ないことから砂防施設の本来の機能である土石流制御の点からも費用対効果が低いことが明らかとなった。

1) 中山間地での人口

各流域における中山間地域での人口を表 2.4.2 にとりまとめた。チラ流域およびヤウカ流域を除いて中山間地域での人口は、扇状地での人口に比べて少ない。また、1km² あたりの人口は山間部ではいずれも 10 人以下で僅かである。土石流の直接被害となる保全対象が中山間部では少なく、砂防施設の費用対効果はあがらないこととなる。

表 2.4.2 中山間地域と扇状地における人口

| 流域 | 地域 | 山間部 | 扇状地 | 全流域 |
|---------------|------------------------|-----------|----------|-----------|
| チラ 流域 | 人口(人) | 116,716 | 3,975 | 120,691 |
| | 面積(km ²) | 337,766 | 668,339 | 1,006,105 |
| | 1km ² あたり人口 | 0.35 | 0.01 | 0.12 |
| カニエテ 流域 | 人口(人) | 29,987 | 50,133 | 80,120 |
| | 面積(km ²) | 5,939 | 110 | 6,049 |
| | 1km ² あたり人口 | 5.05 | 455.84 | 13.24 |
| チンチャ 流域 | 人口(人) | 12,665 | 83,602 | 96,267 |
| | 面積(km ²) | 3,140 | 165 | 3,304 |
| | 1km ² あたり人口 | 4 | 507 | 29 |
| ピスコ 流域 | 人口(人) | 18,269 | 84,220 | 102,489 |
| | 面積(km ²) | 3,907 | 367 | 4,274 |
| | 1km ² あたり人口 | 5 | 230 | 24 |
| ヤウカ 流域 | 人口(人) | 26,253 | 3,171 | 29,424 |
| | 面積(km ²) | 4,053 | 269 | 4,323 |
| | 1km ² あたり人口 | 6.48 | 11.77 | 6.81 |
| カマナ/マヘ ス流域 | 人口(人) | 47,764 | 41,517 | 89,281 |
| | 面積(km ²) | 12,403.14 | 4,646.37 | 17,049.51 |
| | 1km ² あたり人口 | 3.85 | 8.93 | 5.23 |

出典：INEI (2007) データを基に JICA 調査団にて作成

2) 人口の推移

図 2.4.1 および図 2.4.2 に対象流域に該当する県の人口および農業人口の変化率を示す。チラ流域を除いて、農業人口が減少している。チラ流域は、他の 4 流域に比べ気象条件および地形に恵まれており、農業が主要産業となっているため農業人口が増えている。一方、他の 4 流域では、気象条件および地形が厳しいため、農業人口が減少しているものと推定される。特に、地形が厳しい中山間地域での農業人口の減少が進んでいる。このため、土石流の直接被害となる保全対象が減少しており、砂防施設の費用対効果はあがらないこととなる。

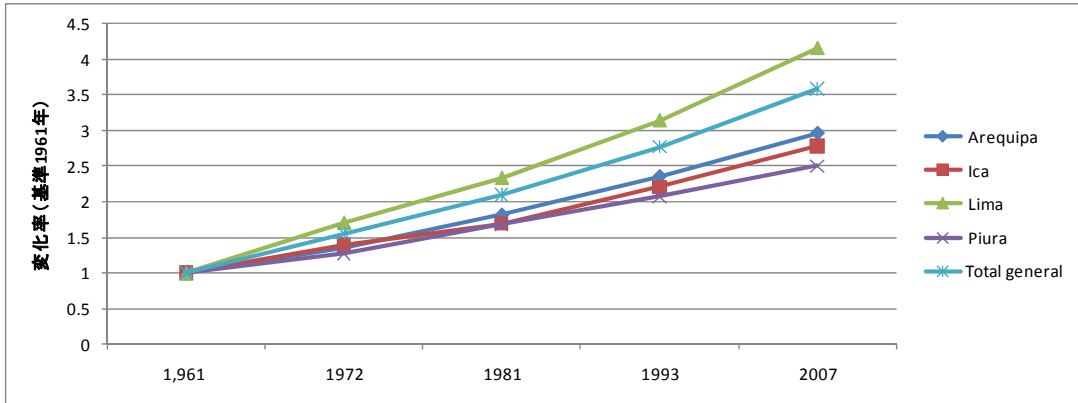


図 2.4.1 対象流域該当する県の人口変化

出典：センサスデータを基に JICA 調査団にて作成

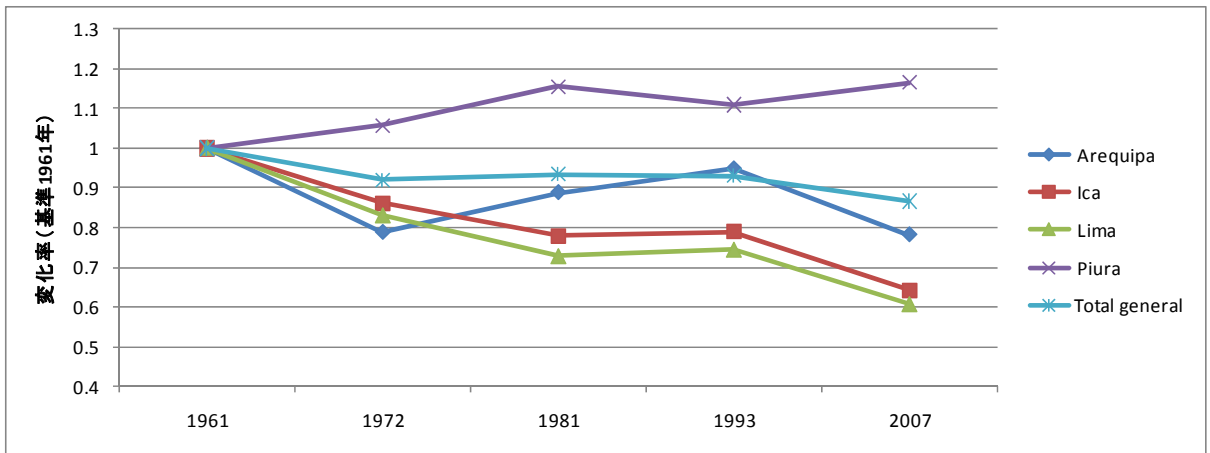


図 2.4.2 対象流域該当する県の農村人口変化

出典：センサスデータを基に JICA 調査団にて作成

(3) 用地取得等

護岸工は、河川内での構造物となるため、用地取得の必要はないが、砂防ダムは用地取得の必要がある。土地収用基本法（第 27117 号）（Ley General de Expropiaciones (Ley No. 27117)）によって公共事業における土地収用の手続きが規定されており、これに従い用地取得をする必要がある。また、新規プロジェクト実施前に、環境省 Ministerio de Ambiente, Servicio Nacional de Areas Naturales Protegidas por el Estado に申請し、事業対象地に自然保護区が入っていないか確認する必要がある。

表 2.4.3 に示すように自然保護区には、国が管理するもの、地方政府が管理するもの、個人もしくは企業が管理するものがある。国が管理する自然保護区に関しては、利用目的によって禁止事項がとりまとめられている（表 2.4.4 参照）。今回対象流域では、カニエテ流域の下流に防護林があるのみで、事業実施の支障となる自然保護区は存在していない。

ペルーでは、数多くの遺跡が点在する。このため、事業実施前に遺跡不在証明 (Certificación de Inexistente de Restos Arqueológicos: CIRA) を文化省考古学国家委員会 (Comision Nacional Tecnica de Arqueologia)にて取得する必要がある。

遺跡不在証明は、遺跡調査に係るガイドライン(R.S. No.004-2000-ED)(Reglamento de Investigaciones Arqueológicas (R.S. No.004-2000-ED))に従い取得する。

表 2.4.3 自然保護区の区分

| | |
|-----|--|
| ANP | 国家による管理 (Sistema Nacional de Areas Naturales Protegidas-SINANPE 自然保護区国家システム) |
| ACR | 地方政府 (州政府、郡政府による管理) |
| ACP | 個人もしくは企業による管理 (MINAM/MINAG との調整の下) |

表 2.4.4 国管理の自然保護区における禁止事項

| | 名称 | 特徴 | 禁止事項 |
|------------|------------|---|-------------------|
| 間接 利用地区 | 国立公園 | 多様なエコシステムを保護する地区。 | 入植、商業目的のための資源の採取。 |
| | 国立サンクチュアリ | 特定の植物・動物を保護するための地区。もともとその地区に居住する住民が生活を維持するために必要なそれ以外の植物・動物の採取は許可されている。 | 入植、商業目的のための資源の採取。 |
| | 歴史的サンクチュアリ | 文化遺産がある場所で、自然の面からも価値のある地区。 | 入植、商業目的のための資源の採取。 |
| 直接 利用地区 | 国立保護区 | 生態系と森林を保護する地区。森林伐採は禁止されているが、持続性が確保されている状況下(環境省のルールの下)においての植物・動物の採取は許可されている(商業目的含む)。 | 入植の禁止。 |
| | 景観保護区 | 景観を保護する地区。資源の採取をしたい場合には、環境省に許可を求める。環境省によるゾーニングに沿って、新たな入植可能。 | 環境省の許可のない資源採取の禁止。 |
| | 野生生物・植物保護区 | 特定の植物・動物を保護するための地区。それ以外の植物・動物の採取は、環境省の定めるルールのもと許可されている(商業目的含む)。 | 入植、商業目的のための資源の採取。 |
| | コミュニティ保護区 | 先住民の居住する地区を保護。優先的に、その住民が生活維持に必要な資源の採取が許可されている。住民でないものも環境省の許可及びルールの下、資源の採取が許可される。 | 入植、商業目的のための資源の採取。 |
| | 防御林 | 斜面、河岸などを侵食から守るためにある林。 | 入植、商業目的のための資源の採取。 |
| | 猟許可区 | 環境省が出すルールに従った狩猟のみ許可。 | 入植、商業目的のための資源の採取。 |
| 調査地区 | 保護区(ZR) | 保護区登録のための調査地区、保護区の延期やカテゴリー分類の調査をしている地区。 | |

(4) 本事業における土砂抑制全体計画

流域全体を対象とした土砂抑制計画では、事業費が高額であり、なおかつ事業期間が長期にわたるため、効果発現が遅く、費用対効果が低いことが明らかとなった。本事業における、主目的は洪水災害の軽減である。この目的に鑑みれば、砂防対策は扇頂部での土砂コントロールが最も効果的であると判断できる。土砂堆積の影響が最も大きい、チンチャ川、ピスコ川では、砂防機能を有する河川構造物が計画されており、これらを実施することが、本プロジェクトにおいて最も効果的であると判断する。

(5) 事業実施工程計画

河川構造物のコンポーネントに従うこととする (河川構造物コンポーネントを参照)。

2.5 提言

(1) 構造物による対策

中山間地での構造物による土砂抑制は、高額であり効果発現にも時間がかかる。中山間地に保全対象が少ないことから費用対効果も低い。本プロジェクトは洪水対策プロジェクトであり、土砂コントロールによる洪水被害軽減が本プロジェクトの目的である。流域全体を対象とした土砂コントロールは、非常に高額で費用対効果が低い。洪水対策という観点から見れば、保全対象が隣接する扇状地において河川構造物によって対応することが現実的である。

(2) 河道及び土砂動態のモニタリング体制の構築

最適な河道維持対策を検討するためには、降雨に連動した河道変化を把握する必要がある。河道変化を把握することで、対策工を実施すべき場所の特定および維持管理を実施するタイミングおよび頻度が明らかとなる。このことでより効果的な河道維持管理対策が可能となる。

現状では、河床変動をモニタリング体制が構築されておらず、実際の河床変動が把握できていない。このため、モニタリング体制を構築し、定期的に河川横断測量を実施し、降雨に連動した河床変動を把握する必要がある。

(3) 気候変動対応

設計対象の土砂量は、降水量に比例するため、降水量が増えれば土砂量が増え、必要な構造物数が多くなり、事業費が増える。気候変動予測に依存するため精度良く変動量を算出する必要がある。

(4) 非構造物による対策

本プロジェクトの趣旨とは異なるが、ペルーでは土砂災害が頻発しているため、土砂災害軽減のための非構造物対策について提案する。非構造物による対策については、以下の方策が上げられる。これらの、費用は構造物対策に対しては安価であり、災害から人命・最低限の資産を守るには機能すると考えられる。

- 法規制による居住地域・耕作地域の制限
- 降雨量観測に基づく地域毎の警戒基準雨量設定と予警報体制の構築
- 災害事例の集約とそれに基づいた防災教育・伝承による防災知識の向上

(5) 法規制

ペルー国では、都市近郊以外で集水地形部や溪流出口に造成、居住は進んでいない。また降雨も少ないため、土石流の直接被害は少ない。資産保護の観点では、洪水・土砂災害対策として整備される範囲以外の危険地帯での耕作を条件付きとすることなどが今後必要となってくると思われる。

1) 降雨量観測と警戒基準雨量の設定、予警報体制の構築

ペルーにおいては、降雨観測所が少なく、降雨を用いた予警報対策の構築は困難である

と考えられる。しかし、広範囲観測可能なレーダー雨量計等を設置することで予警報システムの構築は可能である。レーダー雨量計は、洪水対策の予警報にも有効である。ただし、地形が急峻であるため、配置計画は十分に検討する必要がある。

2) 防災教育・伝承による防災知識の向上

ペルーで1995年～2010年において発生した洪水および土砂災害を表2.5.1にとりまとめた。1997年～2002年にかけては、多くの洪水および土砂災害が発生している。ここから得られた教訓を生かすこと、これら災害の記憶を風化させないことを目的として防災教育を実施し、防災知識を向上させる。

表 2.5.1 ペルーでの災害件数（土砂災害、洪水）

| 年 | 災害区分 | 全国合計 | 4州小計 | アレキバ州 | イカ州 | リマ州 | ピウラ州 |
|------|------|------|------|-------|-----|-----|------|
| 1995 | 土砂災害 | 51 | 15 | 6 | 2 | 7 | 0 |
| | 洪水 | 30 | 9 | 3 | 4 | 2 | 0 |
| 1996 | 土砂災害 | 38 | 6 | 2 | 0 | 3 | 1 |
| | 洪水 | 53 | 7 | 1 | 4 | 2 | 0 |
| 1997 | 土砂災害 | 74 | 12 | 7 | 2 | 3 | 0 |
| | 洪水 | 224 | 48 | 42 | 0 | 1 | 5 |
| 1998 | 土砂災害 | 182 | 39 | 15 | 0 | 21 | 3 |
| | 洪水 | 358 | 93 | 6 | 13 | 23 | 51 |
| 1999 | 土砂災害 | 89 | 28 | 4 | 5 | 19 | 0 |
| | 洪水 | 292 | 88 | 44 | 14 | 21 | 9 |
| 2000 | 土砂災害 | 131 | 13 | 5 | 2 | 5 | 1 |
| | 洪水 | 208 | 15 | 2 | 1 | 9 | 3 |
| 2001 | 土砂災害 | 116 | 15 | 6 | 0 | 5 | 4 |
| | 洪水 | 239 | 37 | 15 | 2 | 15 | 5 |
| 2002 | 土砂災害 | 64 | 18 | 2 | 0 | 15 | 1 |
| | 洪水 | 136 | 22 | 3 | 0 | 5 | 14 |
| 2003 | 土砂災害 | 265 | 45 | 4 | 2 | 27 | 12 |
| | 洪水 | 470 | 17 | 1 | 0 | 13 | 3 |
| 2004 | 土砂災害 | 175 | 19 | 3 | 3 | 12 | 1 |
| | 洪水 | 234 | 19 | 2 | 1 | 11 | 5 |
| 2005 | 土砂災害 | 223 | 36 | 11 | 3 | 19 | 3 |
| | 洪水 | 134 | 16 | 2 | 1 | 7 | 6 |
| 2006 | 土砂災害 | 396 | 53 | 4 | 1 | 40 | 8 |
| | 洪水 | 348 | 27 | 3 | 0 | 10 | 14 |
| 2007 | 土砂災害 | 248 | 29 | 1 | 3 | 20 | 5 |
| | 洪水 | 272 | 23 | 0 | 4 | 11 | 8 |
| 2008 | 土砂災害 | 251 | 40 | 0 | 2 | 30 | 8 |
| | 洪水 | 242 | 33 | 1 | 6 | 4 | 22 |
| 2009 | 土砂災害 | 285 | 30 | 10 | 0 | 15 | 5 |
| | 洪水 | 219 | 8 | 3 | 1 | 4 | 0 |
| 2010 | 土砂災害 | 258 | 44 | 7 | 1 | 33 | 3 |
| | 洪水 | 229 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 |

空欄：データなし

出典：INDECI HP を基に JICA 調査団にて作成