

### 3.3. 重要建物調査

#### 3.3.1. 重要建物の耐震診断法

ベネズエラにおいては耐震診断は行われていないので、特定の耐震診断方法はない。従って、調査団と地震研究所は米国政府の連邦危機管理局(FEMA)で用いている方法を本件調査で用いる事とした。

調査対象地域(リベルタドル、チャカオ、スクレ)には1,000を超える重要建物がある。本件調査では重要建物のうち32の建物を選定してRVS(簡易耐震診断)を行い、詳細な耐震診断が必要かどうか判定した。その後、詳細な耐震診断が必要と(12月10日から12月27日)判定した建物について詳細診断を実施した。

##### (1) 重要建物に対する簡易耐震診断(RVS)

RVS は構造計算を必要としない手続きによる診断方法である。診断は点数付けによって安全性を判断する事となっている。RVSではデータ収集と判断は基本的に現場で実施する事となっている。この点数付け診断方法の判定値Sの値はFEMAが規定している値を地震研究所と打ち合わせの上、カラカスの現状に適合するように調整した。さらに、この診断方法による判定では下記のように2001年の耐震基準に規定されている建物の重要係数を考慮した。

判定値:  $2.0 < S / \text{建物の重要度係数 (2001 耐震基準)}$  であれば安全

##### (2) 重要建造物の耐震診断

RVSの結果に基づいて、調査団と地震研究所はFEMAが開発した方法によって特定の建物について詳細な耐震診断を実施した。詳細耐震診断にあたっては構造体を適切にモデル化し、現行のベネズエラ耐震基準を使った解析を行った。

#### 3.3.2. 重要建物の耐震診断結果

##### (1) 簡易診断結果

建物建築年と判定値Sの値の関係を図3.3.1に示した。32の重要建物のうち24の建物が2.0より小さいスコアとなっており、詳細な耐震診断が必要であるとの結果がでた。この24の建物は次の詳細診断の段階を検討した。

## (2) 詳細耐震診断の結果

調査団は詳細耐震診断のために24の建物の情報を収集しようと試みたが、設計図面と設計図書を入手できたのは4つの建物だけであった。この建物は2つが病院で1つは政府建物、1つは学校であった。

収集した設計図面と設計図書によって、詳細な耐震診断を実施した。しかし、収集情報が十分ではなかったため、設計図面の無い部分は推定するしかなかった点もある。4つの建物について詳細耐震診断を行った結果、2001年耐震基準に照らし合わせて、3つの建物が耐震補強が必要と判断された。

### 3.3.3. 建物耐震補強計画

#### (1) 診断・計画手続き

詳細耐震診断には、既存の建物情報(意匠図面、構造図面、構造計算書、仕様書)が必要である。もし建物が増築をした場合にはその増築に関する情報も必要である。その他の情報としては構造部材の目視による判断とコンクリートや鉄筋等の構造材料のサンプリング試験が必要である。さらに、構造技術者は建物所有者、管理者、設計者、建築設備技術者とともに建物の機能と現状について話し合いをする必要がある。

建物耐震補強計画は建物所有者または管理者に構造技術者が提出するものである。

#### (2) 建物耐震補強マスタープランの事業費積算

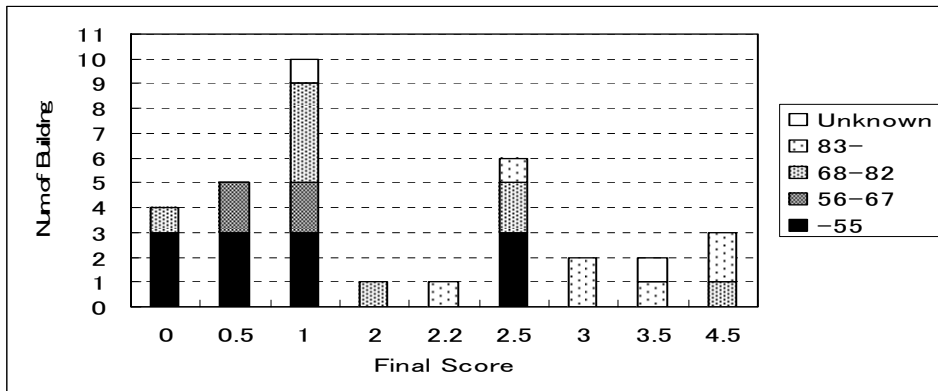
マスタープランプロジェクトのひとつとして、建物耐震補強を選定した。耐震補強が必要な建物は建物現地調査の結果から推定した。事業費の算定は以下の仮定で行った。

##### 1) 通常都市地域

- |                    |           |
|--------------------|-----------|
| - 1967年以前の建物       | 新築工事費の15% |
| - 1968年と1982年の間の建物 | 新築工事費の10% |

##### 2) バリオ地域

- |                |           |
|----------------|-----------|
| - 20度以上の斜面上の建物 | 新築工事費の25% |
| - 20度以下の斜面上の建物 | 新築工事費の15% |



資料: JICA調査団

図 3.3.1 簡易耐震診断結果

### 3.4 ライフライン・インフラ地震災害リスク分析

#### 3.4.1. 一般

##### (1) はじめに

調査対象範囲で地震が起きると道路網やライフラインは深刻な被害を受けて都市の機能が物理的にマヒする恐れがある。カラカス首都区の機能を維持するためには、インフラ・ライフラインの地震に対する脆弱性を少なくするような方策が不可欠である。本調査では、インフラ・ライフラインに対する地震被害の推定を行い、それに対して必要な対策の提案を行った。

##### (2) インフラ・ライフラインに関する収集資料

関係機関から必要なインフラ・ライフラインに関する情報を入手したが、もともとインベントリーが不十分で十分な資料が集まらなかった。したがって、地震被害の推定は入手できた情報と、現地での目視による調査に基づいて実施した。

##### (3) シナリオ地震

1967年と1812年のシナリオ地震を被害推定に用いた。

#### 3.4.2. 被害推定結果

##### (1) データ

収集できた情報は以下の通りである。

- 1) 橋梁
- 2) 高架橋
- 3) 地下鉄
- 4) 上水道管
- 5) 電話線
- 6) 危険物（ガソリンスタンド）

##### (2) 橋梁

地震時の救援活動等の緊急運搬路として重要な幹線道路である高速道路沿いの115の橋梁をすべて対象として被害推定を行った。殆どの橋梁は1967年以前に建設されたもので、1967年の地震ではPulpoインターチェンジにおける僅少な被害以外の被害は報告されていない。

1967年地震シナリオの被害推定結果では橋梁は十分な強度をもち被害は出ないとの結果となった。これは実際の記録と同じ結果である。1812年地震シナリオの被害推定では15橋が落橋の危険が非常に高く、2橋が危険性があるという結果になった。図3.4.1にそれら危険性のある橋梁の位置を示した。

危険性の非常に高い15橋のうち10橋はArana インターチェンジにあるが、その場所は堆積層で液状化のし易い箇所である。Aranaインターチェンジはカラカスの中でも最大のインターチェンジであり、1966年に開通したものであるが、中央部の高さは10mに及ぶ。このインターチェンジは東西方向と南北方向の交通の結節点であり、カラカス市にとって社会経済的に最重要の場所である。

### (3) 高架道路

高架道路について1995年に日本の阪神淡路大震災での経験を踏まえて被害を推定した。その結果、Aranaインターチェンジ付近で2箇所が倒壊し、3箇所被害が出るという推定結果になった。被害推定と地震強度及び高架道路の位置を図3.4.2に示した。

Aranaインターチェンジは1966年の建設で設計に際しては古い耐震基準を使っていると考えられる。Aranaインターチェンジの中央部は10mの高さであり地震による影響は大きいと考えられる。同橋梁については、設計に用いた耐震基準を調べるとともに、耐震補強を実施する事を提言する。

### (4) 地下鉄

カラカスには3本の地下鉄路線があり、総延長は44.3kmである。地下鉄路線位置と開削部、トンネル部の位置を図3.4.3に示した。

ライン1: 1812地震の場合、最大加速度は581ガルと予測される。(Capitolio と Chacaito の間で 5.8 km) この加速度は日本の気象庁震度では6+である。

阪神淡路大震災では地震の鉛直力によって中間柱が破壊した。特に盛土の荷重がトンネル構造に直接作用したと考えられる。箱型トンネル構造においては中間柱の強度について設計をチェックする必要がある。

ライン2: 最大加速度はAntimano地点において721ガルである。Artigas と Mameraの間の開削部分については1812地震で中間柱にかかる力についてチェックする必要がある。

ライン3: 1812年シナリオで箱型トンネル構造の部分での最大加速度は409ガルである。この最大加速度は日本の震度階では6に相当し、阪神淡路大震災では中間柱の破壊がみられた。しかし、カラカスの場合では被り厚さも違うので被害も異なるものと考えられ

る。したがって中間柱については垂直に作用する力を推定して強度チェックを行う事を提言する。

シールドトンネル部分については阪神淡路大震災では被害の報告は無い。したがってシールドトンネルは地震に対しては強度が大きいと言える。

#### (5) 上水道管

上水道管については材料情報が無いので被害想定は材料をダクタイル鋳鉄管と仮定して行った。近年、水道公社はダクタイル鋳鉄管の使用を推進している。

図3.4.4に1812年シナリオの被害想定を示した。

1967年地震シナリオでは上水道管には被害は無い。1812年地震シナリオでは最大の被害点数を示しているメッシュでもその数は0.56点と1以下である。もっとも被害の大きい地点はNeveri と Sanpedroである。(図3.4.4) しかし、推定被害点数は非常に小さい。しかし、この推定はすべての材料がダクタイル鋳鉄管であると仮定しており、今後とも同材料を使う方針を続ける事を提言する。

#### (6) 電話線

1967年地震ケースでは殆どの場所では震度は日本の震度階で5以下であり総延長に対して被害率は0.07%である。1812年のケースでは0.25%の被害率である。

#### (7) 危険物(ガソリンスタンド)

調査対象地域には合計 54 のガソリンスタンドがある。(図3.4.5)

1967年地震では地表最大加速度は250ガル以下で東京都の調査結果をもとに推定するとパイプ接合部での油漏れの確率は0.14%である。

1812年地震では地表最大加速度は400から450ガルの地域のガソリンスタンドは13となる。同様の東京都の調査結果をもとに推定するとパイプ接合部の漏れの確率は2.0%で小さい。全体地域を考えても被害の想定されるガソリンスタンドは1箇所以下である。加速度の大きい場所にあるガソリンスタンドについては優先的に耐震性の優れた構造に改良する事を提言する。

图 3.4.1 桥梁位置

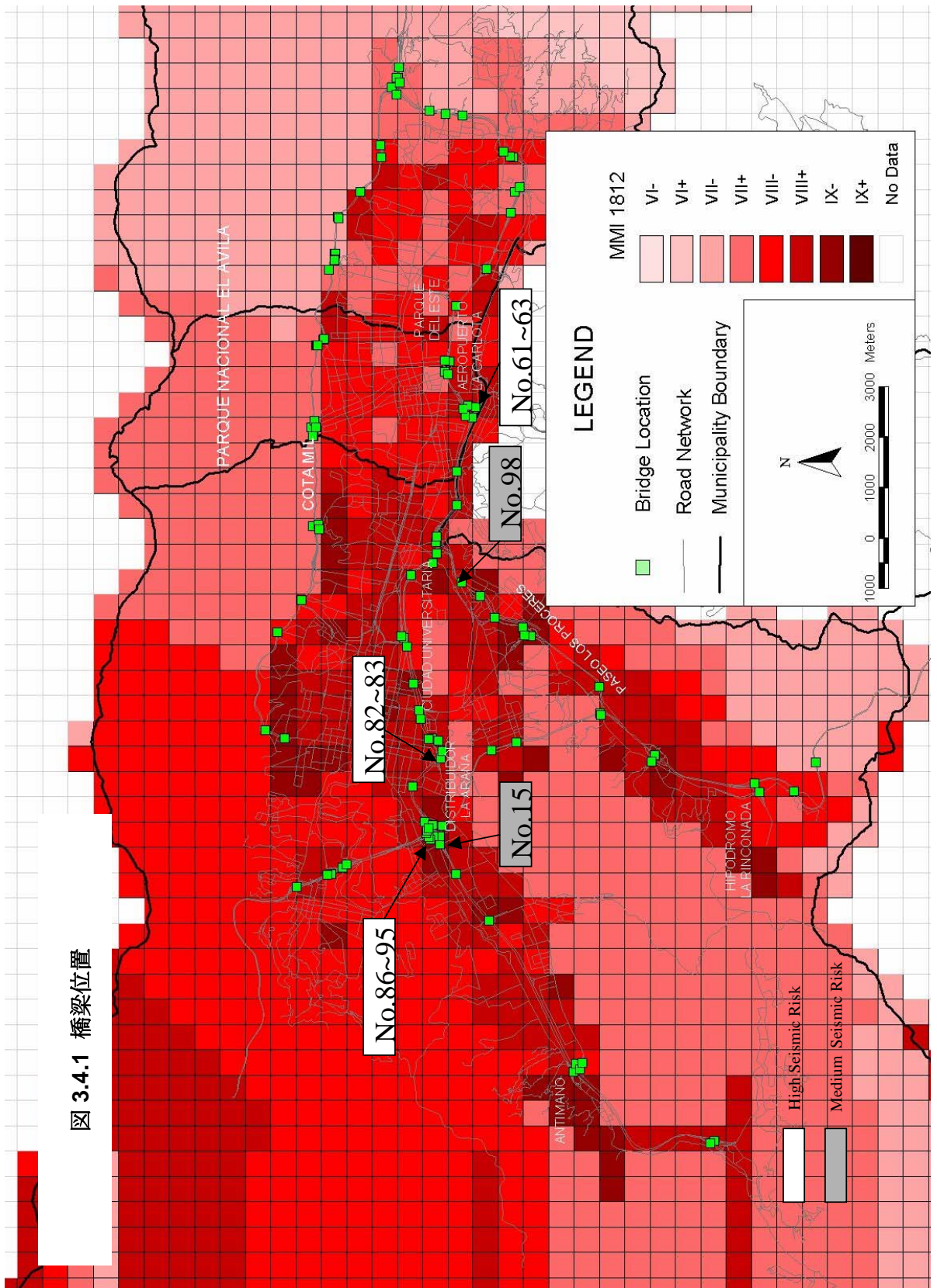
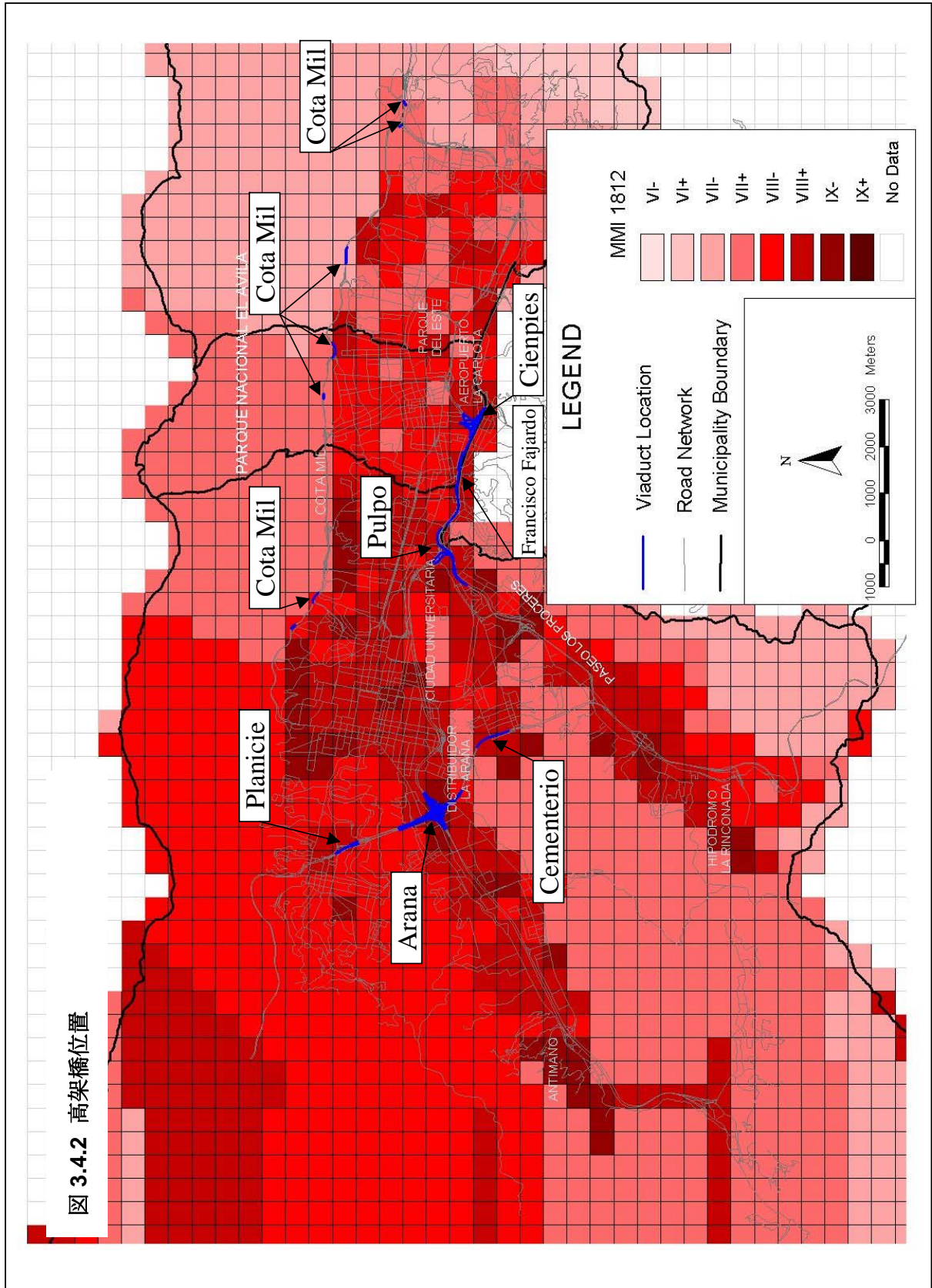


图 3.4.2 高架桥位置





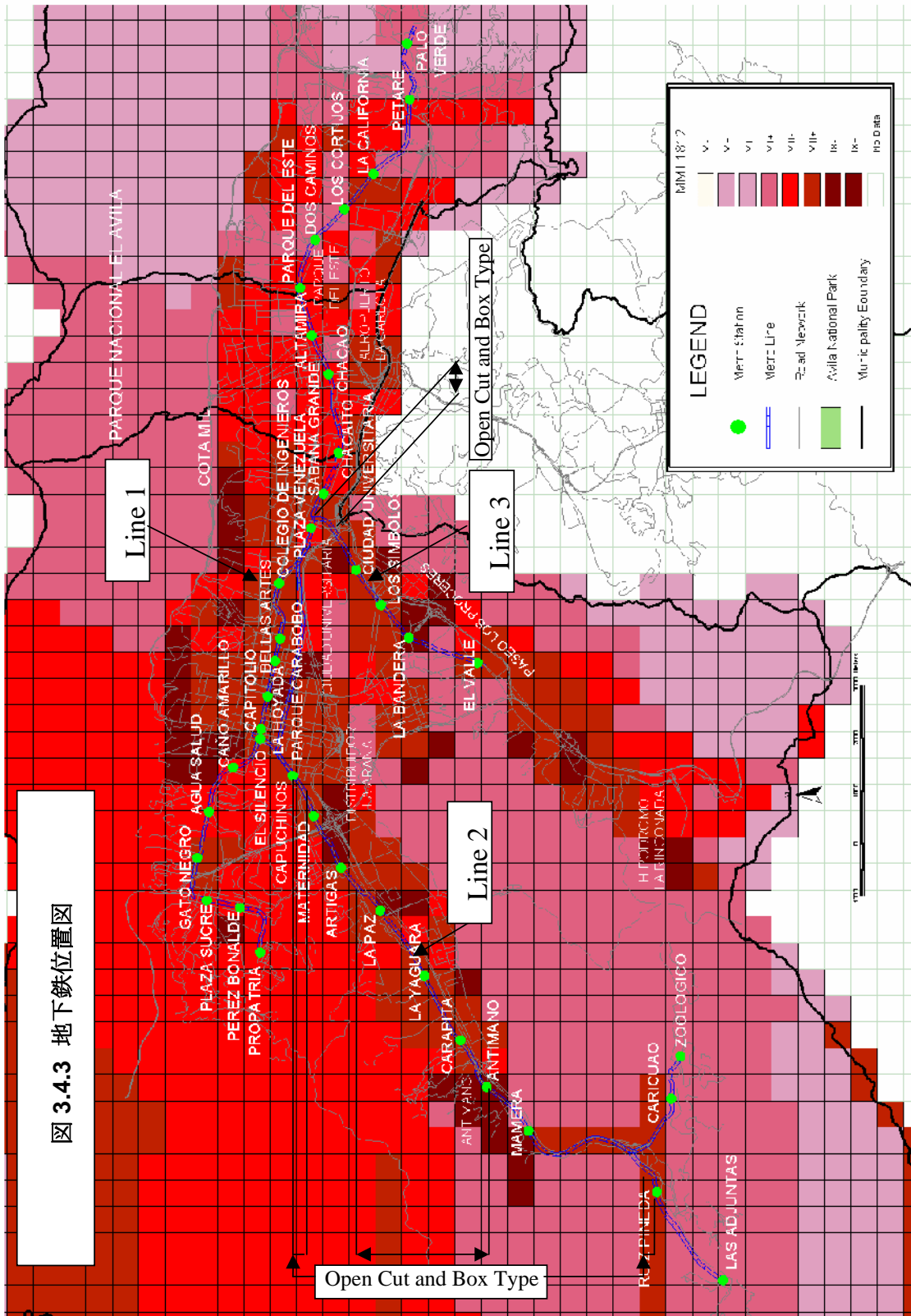
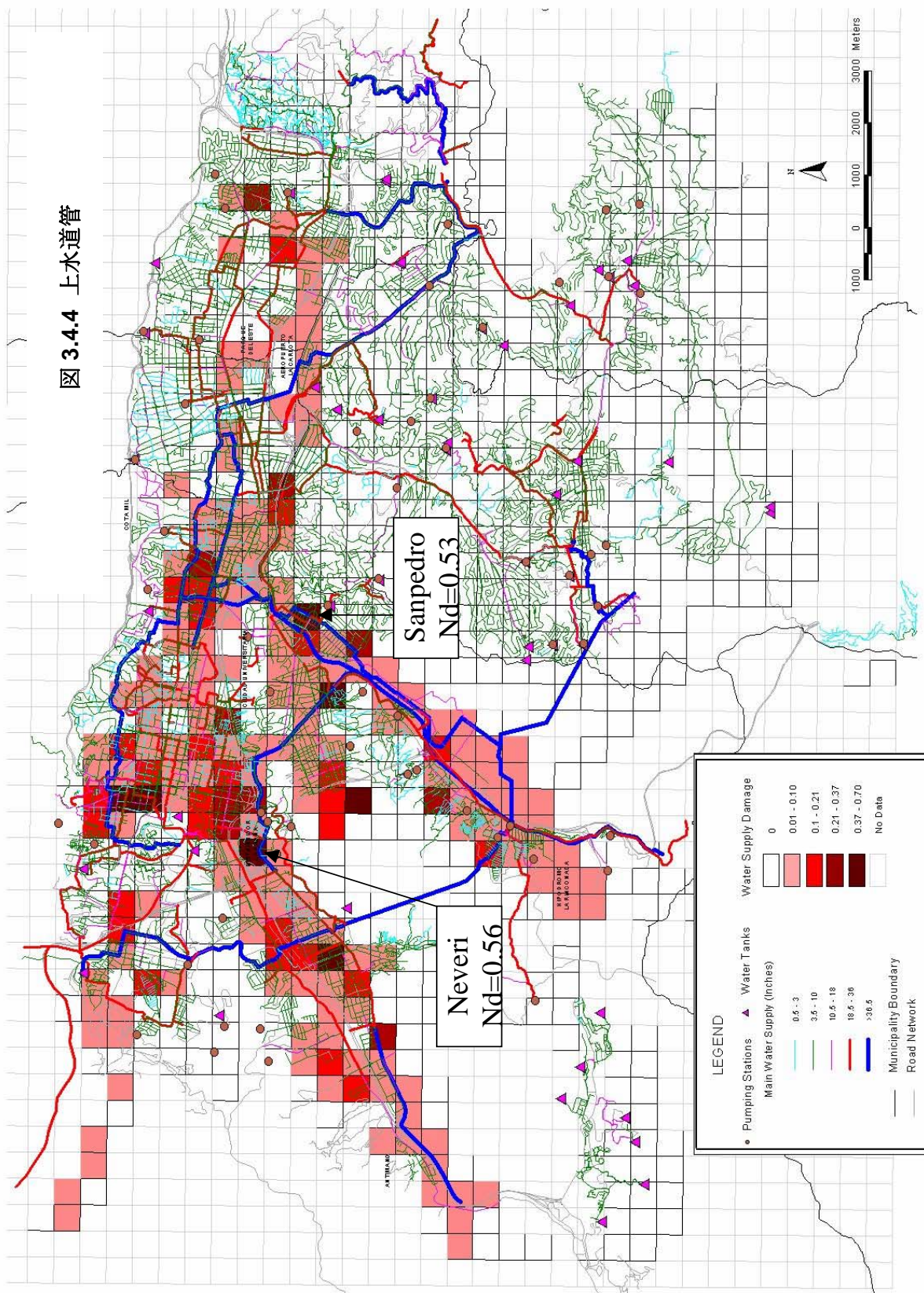
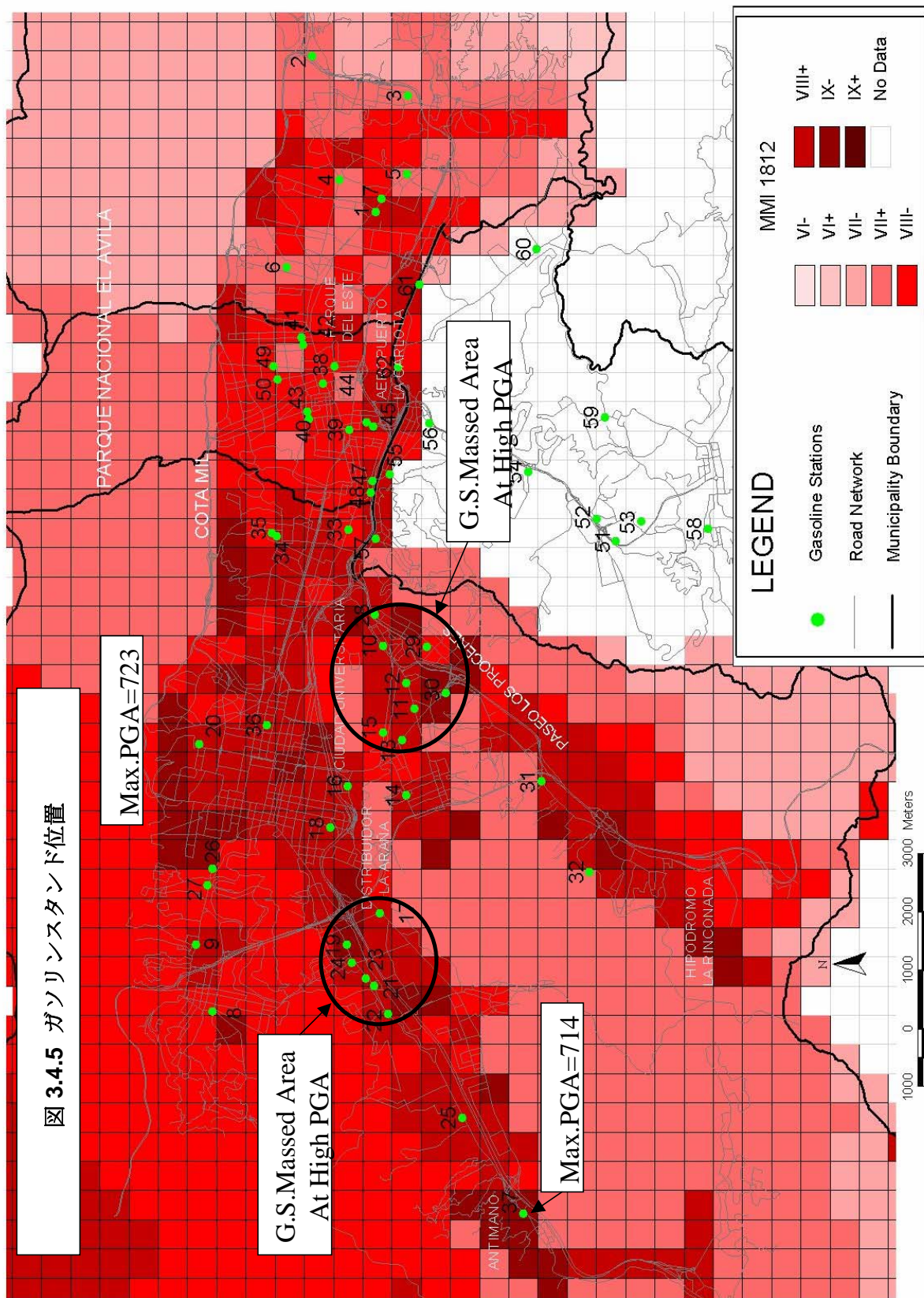


图 3.4.4 上水道管





### 3.5 地震災害対策検討

#### 3.5.1. 構造物対策

一般的に言って、構造物対策は一回行えば長期間に渡って効果があるが、非構造物対策に比べて費用が大きい。しかし、教育訓練等の非構造物対策は有効性を持続するためには絶え間ないメンテナンスが必要である。防災の効率を最大化するためには構造物対策と非構造物対策を適切に組み合わせる事が重要である。

起こりうる地震に対して人的被害を小さくする構造物対策としては建物耐震補強がもっとも重要な方策である。建物被害を減少する事ができれば、災害後の対応や復興にかかる費用を大幅に減らす事もできる。

- 新築の建物については最新の耐震基準を適用するべきである。しかし、都市部において古い建物が新築建物に置き換わるには長期間がかかるし、新築建物の数は限られている。
- 既存の建物は古い耐震基準で建築されているもの、耐震基準が制定される前のもの、工学的検討がされないもの等がある。耐震基準が改定されても既存の建物の強度はそのままである。大地震が起きたときにもっとも大きい被害は既存の古い建物に生じる可能性が大きいので、主要なプロジェクトは建物耐震補強になる。
- 既存建物のうち、社会的に重要な建物は緊急時にも機能を維持する必要があるので補強の優先度が高くなる。
- 都市計画の観点から見るとオープンスペースと道路は防災計画上重要である。オープンスペースは通常時には公園として使えるし、緊急時には避難場所として使用できる。また火災が生じたときには防火帯の機能も期待できる。
- 道路の存在は緊急対応活動のために不可欠である。しかし狭い道路は乗り捨てられた車や倒壊建物にブロックされる可能性がある。したがって、緊急時に必要な交通の流れを閉ざさないために、主要道路のアクセスを維持するとともに、緊急道路の計画を作成する事が重要である。

本件調査では建物耐震補強の実施可能性を以下のような定量的な方法で調査した。

- 通常都市部の建物については、工学的な方法で建築されているので構造図や構造計算書がある。したがって、耐震診断は簡易診断とその結果に基づく耐震診断を本報告書の3.3で記述した方法で行う事ができると判断した。

- バリオ地区の建物については工学的な方法に基づく建設をしていないので、情報は殆どなかった。しかし、調査範囲の大多数の建物が地震に対して脆弱なバリオ建物であるという事実を見ると、防災計画の中でバリオ建物を無視する事はできない。本件調査では、バリオ地域の建物の実際の強度を理解するとともに、バリオ地域の建物を補強できるかどうかを判定するために、実際のスケールのバリオ建物による現場破壊試験を行った。

バリオ建物の耐震補強に関する現地試験の目的は以下の通りである。

- バリオ建物の脆弱性を評価すること。
- バリオ建物に対する耐震補強の効果を評価すること。耐震補強はバリオで利用可能な技術と住民が支出可能な費用で行う。

まず、ノン・エンジニアングの同じ建物を4棟建設した。その後3棟に対し写真3.5.1、写真3.5.2、表3.5.1で示した様な耐震補強を行った。耐震補強は支払い可能な費用と現地で実施可能な技術で行われた。IMMEの協力により各建物に水平載荷をかけて強度を測定し、耐震補強の効果を評価した。用いられたコンクリートの28日強度はIMMEによって測定された。現地試験の様子はビデオに録画され、住民の意識向上用の教材に利用される予定である。

実験の結果、以下の事が確認された。

- 柱・梁で使用されたコンクリートの28日強度は平均で $58\text{kg/cm}^2$ であった。これは、エンジニアング・コンクリートの1/3から1/4の強度である。
- 耐震補強をしないフレームの強度は、図3.5.2に示す通り4本の柱で9～10tである。
- 地中梁の追加は耐震補強に有効であり、図3.5.2に示す通り強度を約40%増加させる。柱のせん断破壊を防ぐためにコンクリート強度を考え、柱の長さには注意する必要がある。補強費用は建物費用の5% - 7%である。
- 中空ブロック壁は耐震補強に有効ではない。補強費用は建物費用の10%である。
- コンクリートブロック壁は、コンクリートブロックの強度を高め、補強鉄筋を用いた場合には有効である。既存の柱・梁への補強鉄筋の埋め込みには、ドリルによる穴あけとエポキシ注入による固定を勧める。補強費用は建物費用の15%である。
- 住民の意識向上用の教材としてビデオが作成された。
- 本実験の方法以外で技術的・経済的に実施可能な耐震補強方法を研究することを勧める。
- 実大建物試験は、カラカスでは始めて実施されたものである。建物試験と解析を継続し、バリオ建物の耐震診断と耐震補強方法を開発することを強く勧める。

### 3.5.2. 非構造物対策

教育や訓練等の非構造物対策は一般的に構造物対策に比べて安価である。しかし、非構造物対策は常に訓練しておかないと効果を持続できない。多くの非構造物対策の項目が地震災害対策と土砂災害対策の両方に適用できるので、現存する土砂災害対策の方策が地震災害対策にも適用できる。

#### - 組織制度強化

組織間の連携を図る法制度を確立するべきである。様々な組織は同様の施策を行っており、役割分担を行って主務組織とサポート組織を明確にする事ができる。防災に関する資金ソースを明確にする事も考慮しなければならない。

#### - 情報伝達

自然災害に関する情報を市民に伝達する事は市民が将来の災害に対して準備しようとする気持ちを持つための第一歩である。このような情報の内容としては歴史災害の事実とハザードマップである。この情報は情報を使用する相手(研究者、行政、市民)によって異なる表現方法で作成し伝達する必要がある。

#### - 教育訓練

教育訓練は行政職員、エンジニア、マスメディア、学生、一般市民など様々な対象に対して実施するべきである。訓練の内容としては避難、消火活動、捜索・救助、トライアジ、緊急集合・情報伝達、机上訓練等である。また訓練は毎年過去の災害が起きた日に大規模に実施する事もできる。

#### - 研究

基礎的な研究と災害後の科学的・工学的な調査は災害に関する基本的な知識を開発するためと災害の教訓を得るために重要である。この教訓と知識は教育訓練の教材を改良するのに使う事ができる。



写真 3.5.1 試験を実施した4モデルハウス



写真 3.5.2 地中梁

表 3.5.1 それぞれのモデルの補強方法と費用割合

No.	補強	費用割合	補強方法
1	無し	0 %	無し
2	有り	5 to 7 %	地中梁
3	有り	10%	地中梁とレンガ壁
4	有り	15 %	地中梁とコンクリートブロック壁



写真 3.5.3 油圧ジャッキによる水平載荷

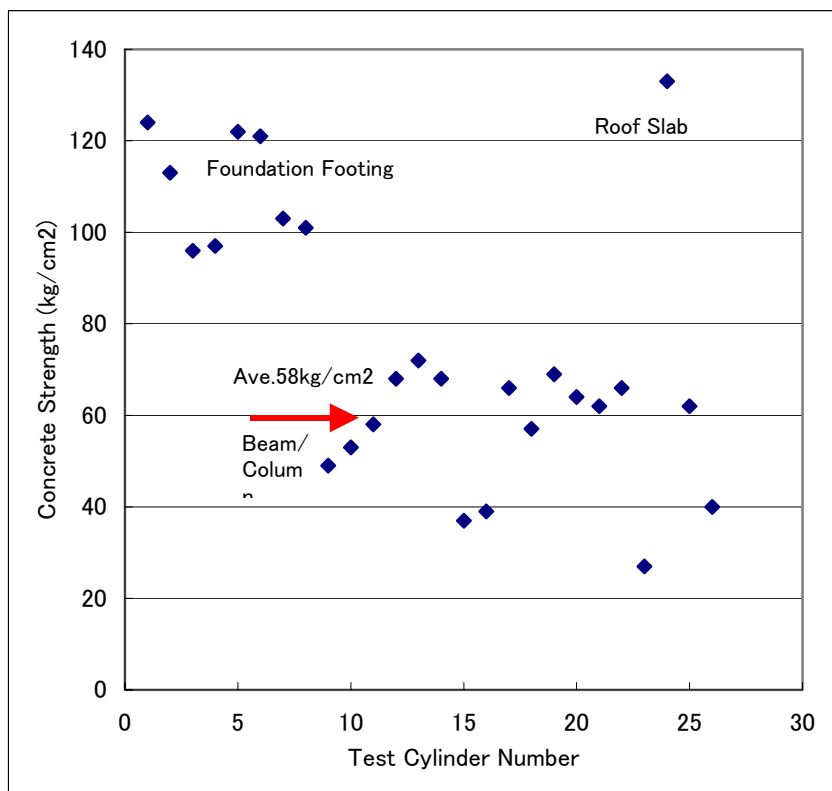


図 3.5.1 コンクリート強度分布 (試験機関:IMME)

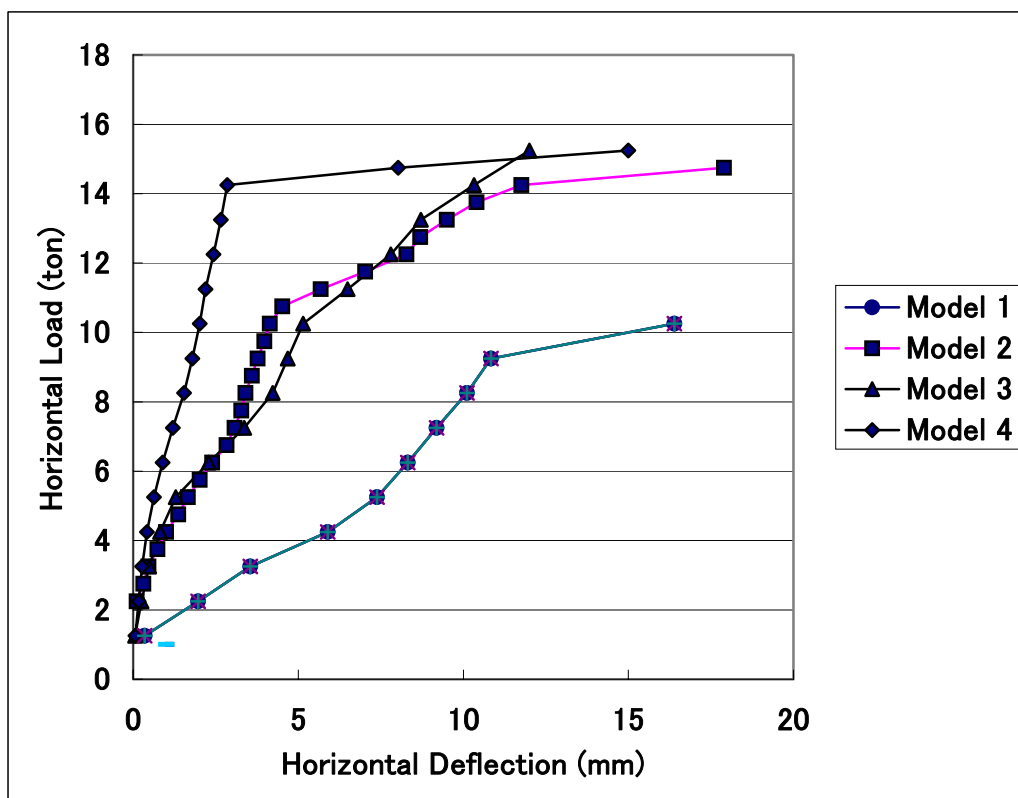


図 3.5.2 水平荷重と水平変位 (試験機関:IMME)



## 第 4 章

### 土砂災害対策

## 4.1 土砂災害ハザード分析

### 4.1.1. 土砂災害シナリオの定義

#### (1) 地形・地質・溪流の特性

##### 1) 地形

カラカス盆地内には、基岩の上に未固結の扇状地堆積物が厚く堆積しており、その厚さは、最大で約400mと推定されている。また、盆地の北側にはアビラ山脈(山頂標高約2,000m～2,600m)が東西方向に約10kmに渡って続いており、盆地と山脈頂上の間には比高約1,000m、勾配約30度の斜面が存在する。

##### 2) 地質

カラカス盆地は中生代白亜紀からジュラ紀の変成岩や火成岩類から構成されている。アビラ山地では山体の高標高部が中生代ジュラ紀の片麻岩で、低標高部が中生代白亜紀の片麻岩からなる。一般にジュラ紀の片麻岩は風化に強く、急崖を形成しているが、白亜紀の片麻岩は潜在的に無数の片理が発達しており、風化に対して極めて脆弱な地層であると言われているが、現地踏査の結果では、アビラ山の東西では工学的観点からの地質的な有意な違いは認められなかった。

カラカス盆地は河川、湖沼、土石流による未固結な堆積物が幾重にも堆積したものである。土砂災害調査対象となっている溪流沿いには完新世(約1万年前～現在)の土石流堆積物が堆積しており、この地域は、土石流が過去に繰り返し起こって堆積し、形成された地形であることが分かる。

##### 3) 植生

アビラ山南側斜面の植生は複数の研究者によって標高ごとの特性で区分されている。標高1,600-2,200mの中腹では比較的背の高い樹木が生い茂っている。これは雲の発生が活発であり、湿度の高い状態が保たれるためである。標高2,200m以上は低温、乾燥状態に適合した低木が卓越している。標高1,600より低い場所では高温、土壌水分量の低下により植生が育ちにくい状態にある。これらの標高による植生の粗密は衛星画像解析からも確認することができた。

#### 4) 気象

ベ国では豪雨をもたらす気象要因として熱帯収束帯以外に熱帯波、上層の気圧の谷、寒冷前線およびハリケーンの4つがある。前3つの気象要因は、雨季に限らず不安定な大気状態を数日間継続させ、カラカス盆地においても高強度の降雨をもたらす。特に寒冷前線は大西洋に高気圧が発達した際の典型的なパターンであり、その不安定な大気は北部海岸地方に豪雨をもたらす。後述するようにカラカス盆地の過去の2回の土石流災害はともに寒冷前線による大気不安定で生じた。これらの気象要因の水平スケールは数十km以上のオーダーであり、カラカス盆地の大きさと比較して大きく、このためカラカス盆地の東西で豪雨の発生の仕方に有意な差はない。

#### 5) 溪流の特性

表4.1.1にアビラ山南側斜面の主要溪流について、地形地質および植生の観点から比較を行った結果を示した。アビラ山南側斜面は、地質的岩石学的には東西で有意な違いは見られない。植生については標高1,600m以上の場所は密な植生で覆われており、崩壊に対して強いと考えられる。この高標高の地域は尾根が高い東側で大きく、西側で少なくなり、この点では崩壊は西側で生じやすいといえる。しかし、溪床堆積物の分布は東側の溪流で多い。結論として、土石流の生じやすさに東西で有意な違いはないと考えられる。

##### (2) 対象地域における過去の土砂災害

###### 1) 一般

ベ国の首都であるカラカス首都区は人口約309万人の大都市であり、グアイレ川に沿った延長約25km、最大幅約4km、平均標高900mの東西方向に細長い盆地に位置している。

16世紀にカラカスでは西側に位置するカトゥチェ溪流とカロアタ溪流に挟まれた地域から人口の集中が始まった。その後アビラ山に源を発する溪流からの取水の利便を反映して、アナウコ、チャカイト、トコメ溪流など主要溪流の扇状地に人口が分布していったことが当時の地図などから伺い知ることが出来る。アビラ山からの土砂を含む洪水による被害は18世紀以降20回以上生じている(PREVENE)。その被害発生溪流はカラカス盆地の東から西まで偏りなく分布している。(表 4.1.2)

アビラ山からの土砂を含む洪水による顕著な被害は、1951年2月17日と1999年12月15日に発生している。1951年災害ではアナウコ、チャカイト、セブカンおよびトコメ溪流で被害が報告されている。バルガス州で大規模な土砂災害が生じた1999年災害では、カラカス側では西側の溪流であるカトゥチェ、アナウコ溪流で発生した土石流が谷出口下流の市街地にまで到達し比較的甚大な被害が発生した。

## 2) 1951年2月災害

**[気象状況]** カリブ海西部から伸びた寒冷前線が1999年12月度同様にベネズエラに達した。しかし、1951年2月の寒冷前線は1999年12月の場合に比べて南に寄っていた事もあり、カラカス地域に対する降雨量は1999年12月に比べて大きかった。

**[降雨]** 環境天然資源省による降雨分布を見ると、調査対象地域において東西の降雨量の違いは大きくない。土石流災害の誘因であるアビラ山での記録は少ないが、参考となる観測所では日最大雨量はマイケティアで193.0 mm、盆地部のカヒガルで72.9 mm、中央大学で36.2mmであった。

**[影響範囲]** PREVENE 報告書から引用した表4.1.2によると、1951年2月の被害はアナウコ溪流からトコメ溪流まで東西に広がっている。影響を受けた溪流はアナウコ、チャカイト、セブカン、トコメである。

## 3) 1999年12月災害

**[気象状況]** 長さ数千キロの寒冷前線が大西洋西部にあった。この前線はベネズエラ沿岸に約20日間停滞した。

**[降雨]** 1999年12月の現象ではカラカス周辺の地上雨量観測時の降雨記録は盆地の底部しかない。図4.1.1に当時観測していた雨量計の位置を示した。中央大学の観測所では1999年12月15日に日雨量63.7mmを記録した。カヒガルとラ・カルロタ観測所では記録値は中央大学の値より小さかった。カラカスの3つの雨量観測所は標高の低い場所にあるのでアビラ山の降雨はこのデータには反映されていない。したがってこの3箇所の観測所の値は発生確率の大きいものであった。

アメリカ地質調査所は衛星画像から1999年12月14日から16日の総降雨量を解析し、ホームページで公開している。これによると、アビラ山南斜面の降雨量の合計は350mmから100mmである。

**[影響範囲調査]** 2003年6月に現地では1999年当時の土石流に関する聞き込み調査を行った。被害に関する調査結果は以下の通りである。

**[被害状況]** 調査対象地域で被害の生じた溪流は西からカロアタ溪流、カトチェ溪流、アナウコ溪流、チャカイト溪流およびトコメ溪流である。この内、カロアタ溪流、カトチェ溪流およびアナウコ溪流はバリオ地区が占めており、その他の溪流は市街地に属する。総被害戸数は約2,100戸であり、其の内約2,000戸がカトチェ、アナウコ溪流の家屋であった。特にこれらの溪流周辺はバリオ地区で1戸の規模が小さいために被害戸数が多かった。カトチェ、アナウ

コ溪流の家屋の内、全壊家屋はそれぞれ22%、32%であった。家屋の損壊による被害額は市街地部を含めて約1,500百万米ドルであった。

### (3) 土砂災害対策検討

#### 1) 調査対象範囲と基準点

調査対象範囲はアビラ山の南斜面と扇状地でかつカウリマレ溪流からカロアタ溪流の範囲である。アビラ山の南斜面は図4.1.2に示すとおりで面積は60km<sup>2</sup>である。対象の47溪流の扇頂部は殆ど標高1,000mに沿って建設されている高速道路ボヤカ(通称コタミル)の横過位置にあり、基準点は47溪流の扇頂部とした。

#### 2) 溪流の次数分析

図4.1.3に溪流の分布を示した。これは1984年と1954年の1/5,000地形図で判定した。本調査では2次谷流域を単元流域とし、単元流域の数は195であり、47溪流のうちトコメ溪流が最大で26の単元流域を有している。支川の次数の最大値は5でトコメ溪流であり、4次支川までであるのはカトウチェ、コティザ、チャペリン、ラフリア、ガリンド、カウリマレ、トコメである。

#### 3) 降雨流量解析

**[代表雨量観測所]** 既往調査結果によると、対象溪流流域は5箇所の雨量観測所で代表できる。表4.1.3は5箇所の雨量観測所の雨量確率(強度-継続時間-頻度)を示している。

アメリカ農務省土壌保全局のSCS法をつかって有効雨量を求めた。SCSカーブ番号は55から80を使った。

**[流出解析]** 流出ハイドログラフを求めるにあたっては、キネマティックウェーブ法を用いた。同法では流水の重量と河床の抵抗力がバランスしていると仮定している。

#### **[流出量]**

調査団は100年確率の流出量を合理式を使って求め、アビラプロジェクトで用いている値と比較した。その結果アビラプロジェクトの値と合理式は良く一致した。したがって、アビラプロジェクトで用いた流量の値を本件調査でも採用することとした。

#### 4) 地形地質解析

調査団は2003年6、7月にアビラ山の南斜面について地形地質解析を地震研究所、エネルギー省鉱山局、環境天然資源省国立公園事務所の協力で行った。行った地形地質解析は「崩壊地分布調査」、「地質構造解析」、「溪流堆積物調査」、「風化厚分布調査」等である。

#### 5) 1999年12月洪水の水文評価

この災害で主に被害を受けた溪流はカトゥチェ、アナウコ、トコメである。このうちカトゥチェ溪流とアナウコ溪流はコタミルより下流の市街地部で土石流の被害を受けた。

4箇所の雨量観測所のデータによると、日雨量の値は東から西に向かって大きくなっている。この傾向はカトゥチェ溪流とアナウコ溪流で降雨による被害が大きかった事実と符合している。

この災害時の時間雨量データとしてはラ・カルロタ観測所とカヒガル観測所のものが唯一のデータであるが、その値はそれぞれ12月15日の20時から21時の間で12.2mm、同日21時から22時の間の20.9mmである。カラカス盆地の中では1999年12月の最大日雨量はCagigalの61.5mmである。この値の生起確率は“UNDP-MARN, ESTUDIO DE CRECIDAS EN LAS CUENCAS DE LA VERTIENTE SUR DEL PARQUE NACIONAL AVILA”によると5年以下であると評価される。しかし、これらの観測所はカラカス盆地の低地部にあり、当時アビラ山で生じた水文現象を代表しているとは言い難く、カラカス盆地の土石流の状況を見るとアビラ山の降雨の生起確率は5年よりもずっと大きかったと考えられる。なお、チャカイト溪流流域から約10kmの位置にあるマイケティア空港の日雨量410mm(災害直後発表)の再現期間は千年確率のオーダーである。

#### 6) 土砂災害とコタミルの関係

コタミルと溪流の関係は以下の4つのタイプに分類できる。

橋梁  
大型ボックスカルバート  
小型ボックスカルバートまたは管路  
コタミルルートから外れているもの

これら橋梁やカルバートの寸法については調査団の現地調査とコタミルの構造図から調査した。しかし、ある部分ではルートが私有地であり近づくことが困難で不明であった部分もある。

コタミルが横過している39の溪流のうち、開水路であるのはガンボア、チャカイト、トコメの3つだけで、幅2mより大きいカルバートは12箇所であった。

## 7) 土石流の発生に掛かる調査

### 土砂収支

#### 1) 1999年12月の土砂収支

1999年12月の災害時の解析では活動中崩壊地と新崩壊地及び溪流沿いにある堆積物のうち不安定堆積物が崩壊して下流に流下したと仮定した。本調査とPREVENE調査によると1999年12月災害で流下した土砂の量はカトゥッチェで50,000 m<sup>3</sup>、コティザで39,000 m<sup>3</sup>、アナウコで31,000 m<sup>3</sup>である。1999年12月の災害以降は現在まで大きな土石流はない。したがって、土砂は溪流沿いに堆積していると考えられる。

1999年災害の流出土砂量の当時堆積していた不安定土砂量に対する割合を以下の式で表す。

$$R = \frac{A}{B}$$

ここで、Aは1999年の流出土砂量で、Bは1999年災害時に崩壊した土砂及び1999年災害以前から溪流に堆積していた土砂量である。1999年災害時に崩壊した土砂とは現時点での観察で活動中の崩壊地と新しい崩壊地であると仮定した。コティザ溪流とアナウコ溪流についてはAの中にコタミルの直上流の堆積土砂量も含めた。

Rの値を各溪流ごとに算定するとカトゥッチェ、コティザ、アナウコでそれぞれ0.20,0.25,0.27となった。この結果に基づき安全側をとって、今後の降雨による土石流の解析にはRの値として0.3を採用することとした。

#### 2) シナリオの現象の土砂収支

1999年12月災害に相当するような雨量が47溪流に降ったと仮定して各溪流からの土石流の量を以下のように解析した。

##### 『移動可能土砂量の算定』

アビラ山の西側については溪流全流域面積に対する活動的な崩壊地の面積は3.7%である。この活動的な崩壊地の大部分は1999年災害時に生じたものであると考えられる。この計算は調査団が作成した崩壊地分布図によるものである。

これに基づいてシナリオ現象によって各溪流で生じる斜面崩壊の面積は溪流流域面積の3.7%であると仮定した。崩壊土砂の堆積は上記崩壊地面積に崩壊土砂の厚さをかけて求めた。この崩壊土砂厚さは現地調査から2.3mと推定した。また、それぞれの溪流での流出土砂量

の不安定土砂量に対する割合は流域面積が1.0 km<sup>2</sup> より大きい流域ではR = 0.3 を、1.0 km<sup>2</sup> より小さい流域では R=1.0を用いた。

上記の流出土砂量はアピラ山の上流域での移動可能土砂量の値である。

#### 『運搬可能土砂量の算定』

実際に基準点から下流に流出する土砂量は基準点付近の水文条件と勾配で決まる。これは以下に示す日本で使われている基準点での運搬可能土砂量の算定式を用いて検討した。

$$Vec = \frac{10^3 \cdot Rt \cdot A}{1 - \lambda} \left( \frac{Cd}{1 - Cd} \right) \cdot fr$$

ここでA: 流域面積(km<sup>2</sup>)、Rt: 24時間雨量(mm), λ: 空隙率, fr: 流出率, Cd: 土砂濃度で溪流河床勾配の関数である。この算定式により確率規模100年と25年の雨量Rtに対して運搬可能土砂量を計算した。

#### 『流出土砂量の算定』

この計算で Vec の値が仮定した移動可能土砂量よりも小さい場合はVecを計画流出土砂量として採用した。

図4.1.4に各主要溪流の計画流出土砂量を示した。流域No.14はトコメ溪流で最大の流出量が予測される。次に流出量が多いのはカウリマレ(No.4)である。カトゥチェ(No.44)とコティザ(No.42)では東側の溪流に比べて流出量は小さい。これは1999年災害時に不安定土砂が既に流出してしまっているからと考えられる。

### 土石流ポテンシャル

基準点上流の各溪流の河床勾配は土石流流送区間と言われる5度から15度の勾配を有している。したがって、新崩壊地と旧崩壊地を含む不安定土砂量の大きさが土石流ポテンシャルを示す主要な指標の一つと考えられる。

表4.1.4に示すように、トコメ、カウリマレ、ガリンド、チャカイト、コティザがこの順番で将来の土石流を引き起こす土砂量が多い。

土石流の発生するシナリオは降雨による外力と流域の土石流を発生させるポテンシャルとから説明できる。降雨による外力は6章で示したが、ここではアピラ山南斜面の東西に分布する47の溪流条件について総括する。

1. 西側溪流には大理石等の比較的柔ら岩石が分布はしているが、西側と東側で大きな地質上の差はない。断層やリニアメントの密度についても東と西で差はない。



2. 1999年12月に生じた新崩壊地は西側が多いが旧崩壊地は東西一様に分布している。1951年12月の災害では多数の崩壊が生じたが、現在では植生で覆われており旧崩壊地と見なされる。
3. 西側の方が東側に比べて風化厚さが厚い。これは地形の影響であると考えられる。風化ゾーンの構成は礫分が多くシルト粘土は少ない。
4. 溪流沿いの堆積物の量は東側の溪流で多い。これは東側の溪流が縦断的にステップがあり、かつ溪流網が「格子状/角ばった」パターンであるためと考えられる。相対的に西側の溪流の溪流網は樹枝状が目立ちステップが少ない。
5. アビラ山では低標高から高標高まで異なった植生の分布がみられる。標高1,700m以上では植生は密である。したがってその流域が殆ど標高1,700m以下であるカトゥチェ溪流やアナウコ溪流では、比較的植生は疎である。

1999年12月のアビラ山南側斜面の降雨量は、衛星画像の解析から見ると東西に有意な差はなかったが、扇状地の市街地への土砂流出については被害の程度はカトゥチェ、アナウコ溪流のある西側に偏った。これは当時東側の溪流でもアビラ山内では崩壊あるいは土石流の発生があったが流出土砂は渓床に堆積し市街地まで到達しなかったことによると判断される。従って、土石流の危険性は東西とも一様にあると判断される。

#### 4.1.2. 土砂災害ハザードマップ

##### (1) 地すべりと急傾斜地崩壊

本件調査では地すべりと急傾斜地崩壊を対象現象とし、保全対象を家屋、重要施設、4車線以上の道路としてハザードマップをつくった。2002年2月に撮影した1/25,000の航空写真、1984年作成の1/5,000地形図、2003年4月撮影のASTER衛星画像を用いて同定を行った。同定した斜面は地すべりや急傾斜地崩壊が生じる可能性の高い斜面である。

その数は地すべりで8箇所、急傾斜地崩壊で230箇所となった。230の急傾斜地崩壊危険斜面のうち52箇所は道路を保全対象としている。図4.1.5に市毎の数を示した。家屋を保全対象とする急傾斜地崩壊危険斜面は殆どがリベルタドル市とスクレ市にある。

##### (2) 土石流

###### 1) 方法論

本件調査ではカラカス盆地の土石流ハザードの検討には日本の土砂災害防止法の方法と汎濫シミュレーションソフトウェア「FLO-2D」の2つの方法を採用した。FLO-2Dは、ベ国中央大学が米国の大学研究者と共同開発したソフトウェアであり、すでにベ国のバルガス州を初めと

してベ国内外で多くの適用事例がある。又FLO-2Dの解析では砂防堰堤の効果を判定することも行った。

## 2) 方法 1: 日本の土砂災害防止法の方法

日本で2001年に発効した土砂災害防止法及び関係する指針の方法は以下の通りである。

### a. 特別警戒区域(レッドゾーン)の定義

土石流で重大な影響を受ける区域は特別警戒区域(レッドゾーン)と呼ばれ、土石流の流体力が家屋や建物の抵抗力よりも大きい区域と定義されている。つまりこのゾーンの家屋は土石流で破壊される可能性が高いということである。

流体力は以下の式で計算される。(単位:  $\text{kN/m}^2$ )

$$F_d = \frac{\rho_d \cdot U^2}{g}$$

家屋建物の抵抗力は以下の式で計算される。

$$P_2 = \frac{35.3}{H(5.6 - H)}$$

ここで  $P_2$ : 通常の家屋建物の抵抗力 ( $\text{kN/m}^2$ )、 $H$ : 家屋建物に作用する土石流の深さ、 $g$ : 重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ )

上記式で  $P_2$  の値は日本の土砂災害防止法に記載されているが、日本の標準的な木造家屋を仮定しているため、本調査ではバリオ地区と市街地のコンクリート柱に対する抵抗力を評価し、レッドゾーンを規定した。

### b. 警戒区域(イエロースゾーン)の定義

土石流で影響を受ける範囲は警戒区域(イエロースゾーン)と呼ばれ、地形の観点から見て土石流が到達するが家屋の破壊はないと想定される範囲を示している。イエロースゾーンの範囲は基本的に地形図及び現地調査結果から谷出口、扇頂部、勾配変化点等に着目して決定した基準点より下流で地形勾配が2度より大きくなる点を囲む範囲と、溪流周辺の地形、人工構造物の位置を考慮した範囲である。

### c. 方法1によるハザードマップ

図4.1.9にモデル2によるハザードマップを示した。イエロースゾーンとレッドゾーンの中にある家屋の数を表4.1.5と表4.1.6に示した。

### 3) 方法 2: FLO-2D モデル

#### (1) 計算ケース

氾濫シミュレーションの計算は生起確率年として10年と100年について行った。土砂流出については10年確率降雨では土石流の発生無し( $C_v = 0.2$  一定)と仮定し、100年確率雨量では土石流発生とした。また参考のために砂防堰堤建設後のケースを100年確率雨量で行った。

#### (2) 結果

図4.1.6と図4.1.7に100年確率雨量のケースの土石流の水深と流速の分布を示した。水深と速度の値は各グリッド内の平均値である。図4.1.8は砂防堰堤完成後の100年確率雨量の場合の水深を示している。土砂濃度が減少しているためにピーク流量が減少し氾濫範囲も減少しているのがみられる。

ヴェネズエラ中央大学はカラカスを対象として、FLO-2Dを使って土石流ハザードマップ作成の研究プロジェクトを2000年より実施している。本調査によって検討されたアビラ山の流出土砂量が中央大学のモデルで取り入れられることが望まれる。

## 4.2 土砂災害リスクマップ

土砂災害リスクマップは土砂災害による想定被害分布を示したものであるが、物理的なハザードと対象地域の社会経済的情報を重ねることによってつくることができる。

### 4.2.1. 地すべり・急傾斜地崩壊

急傾斜地崩壊の場合、斜面の下の影響範囲は斜面高さの2倍の水平距離の範囲とし、斜面の上の影響範囲は斜面高さの1倍の水平距離の範囲と仮定した。この概念は日本の土砂災害防止の政令の考え方に基づいている。地すべりでは日本の文献に基づき、影響範囲は斜面長さの50%と仮定した。しかし、実際の影響範囲は地質地形及び植生の影響で変わるものである。

上記の仮定によって地すべりと急傾斜地崩壊の影響範囲を同定した。図4.2.1に地すべりと急傾斜地崩壊のハザードマップ・リスクマップを示した。

### 4.2.2. 土石流

土石流リスクマップを作成するために以下の被害調査と資産調査を行った。その結果も踏まえて、土石流リスクマップを作成し、図 4.2.2に示した。

## 洪水被害調査

### 1) 被災家屋/資産

1999年12月災害で被災した家屋数はカトゥチェで 977、アナウコで993、チャカイトで10、トコメで92、カロアタで37であった。数で言うと大部分の被災家屋はカトゥチェとアナウコに集中している。これらの家屋はバリオ地域の比較的小さい家屋である。

カトゥチェでは全壊家屋数は218で被災家屋数の22 % である。アナウコでは全壊家屋数は321で被災家屋数の32 % である。

### 2) 被害額

カトゥチェとアナウコでは全壊家屋の価格はバリオ地域では1999年価格で家具を含んで5百万ボリバルから15.5百万ボリバルであった。チャカイト、トコメ、カロアタでは全壊家屋の価格は家具を含んで9.5百万ボリバルであった。

通常の都市地域では全壊家屋の価格は“Reporte Inmobiliarios AKROS, Nov.1999”という雑誌のデータから推定した。商業地区では価格を住宅地区の140%と仮定した。この割合はカラカス市内でのサンプル調査の結果から求めたものである。

### 3) 合計被害額

5溪流の合計被害額を以下に示す。

単位: 百万 Bs. 1999年 (1US\$=558Bs.)

1999年被災溪流	バリオ地域	通常都市地域	合計
カトゥチェ	2,953(5.3)	664(1.2)	3,617(6.5)
アナウコ (コティザ, ガンボア)	2,700(4.8)	1,618(2.9)	4,318(7.7)
チャカイト		38(0.07)	38(0.07)
トコメ		199(0.36)	199(0.36)
カロアタ		208(0.37)	208(0.37)

## 4.3 土砂災害対策検討

図4.3.1に土砂災害対策検討のフローを示した。

### 4.3.1. 地すべり・急傾斜地崩壊対策

保全対象の家屋建物は表4.2.1に示す通りである。保全対象となる家屋の多くはバリオ地域のものであるが、上記の家屋は特に通常の都市地域では大きさはかなりまちまちである。

バリオ地域では斜面对策の経済性は低くなると考えられる。しかし、通常都市地域では高層のアパート等の資産が集中している場所等は経済性は大きくなる。表4.3.1は斜面对策工事の費用

と保全対象の資産価値を比較して経済性があると考えられる箇所数を示したものである。これら地域については詳細な調査検討を行って、斜面对策工の実施を検討するべきである。

### 4.3.2. 土石流構造物対策

#### (1) 考えられる構造物対策の基本方針

図4.3.2に土石流対策としての構造物対策の検討フローを示した。アビラ山南側斜面および市街地における土石流対策として7つの対策が考えられる。アビラ山南側斜面は勾配の観点から基本的に土石流区間であり、対策としては①山腹工や床固め工群等の大規模崩壊対策、②土石流の調節を行う砂防堰堤、③土石流の捕捉を行う砂防堰堤、の3つがある。市街地域は勾配の観点から土石流区間と掃流区間に区分でき、アビラ山南側斜面における土砂整備を前提としない場合の④堆積工、⑤導流工が考えられるほか、アビラ山南側斜面における土砂整備を前提とする場合の⑥扇状地対策としての流路工、⑦流水の安全な流下を目的とした水路工、の4つがある。アビラ山南側斜面は国立公園に指定されており①や②のような大規模な工事を伴う対策は困難であり、またカラカス市街地では④や⑤のような大規模な用地を必要とする対策は非現実的である。従って本調査では、アビラ山南側斜面においては③の土石流の捕捉を行う砂防堰堤が、市街地部においては⑥扇状地対策としての流路工と⑦流水の安全な流下を目的とした水路工が適当であると判断された。

#### (2) 設計スケール

土石流災害の設計スケールは1999年12月の災害と同等レベルのものを想定し、アビラ山から100年確率規模の流出が生じるものとして計画した。

またこの砂防堰堤を100年確率で計画したケースと砂防堰堤25年確率、水路工の計画は10年確率を短期目標とするケースも行った。

#### (3) 砂防堰堤

##### 1) 基本的考え方

砂防堰堤の配置の基本的考え方は以下の通りである。

- 基準点上流で砂防堰堤は多くの流出土砂の捕捉が出来、なおかつ地形的に容量が大きくなる箇所にできるだけ下流に配置する。
- 複数の堰堤が必要となる場合には、土砂堆積範囲が重ならないようにした。計画河床勾配は現河床勾配の50%とした。

図4.3.3に砂防堰堤の配置を示した。

## 2) 概算事業費

砂防堰堤のコストはコンクリート体積をもとに積算した。表4.3.2は2000年に実際にバルガスで施工した堰堤のコストを示している。(2000年のポリバルでの値) このケースはメイン堰堤のコンクリート体積は2,095m<sup>3</sup>である。砂防堰堤だけを取り出した事業費は間接費も入れて600百万ポリバルである。したがってコンクリートの単価は286,400 Bs. となる。本件マスタープランでは1m<sup>3</sup>あたり、300,000 Bs. (2000年単価)を用いた。

## (4) 流路工

### 1) 基本的な考え方

基準点がコタミルを通っていない場合、またはコタミルを橋梁で流下している場合には基準点から下流の扇状地内の流路を安定させる目的で流路工を計画した。

47溪流のうちカトゥッチェ、チャカイト、トコメが対象溪流である。カトゥッチェから西の溪流については、扇状地で明らかな直線V字谷を形成しているので流路工は必要ないと判断した。

流路工についてはグアイレ川までの間について計画した。シナリオ洪水流量に対して殆どの流路は断面が不足している。現在、中央大学ではベネズエラ政府によるカラカスプロジェクトで既存の水路の流下能力について調査を行っている。既設の断面が設計流量に対して不足している場合には水路工事を行う必要がある。なお、今回の計画では残流域の降雨については考慮していない。

## 2) 概算事業費

溪流保全工と水路工の工事費はコンクリート体積で積算した。コンクリートの単価は表4.3.2によると1 m<sup>3</sup> (80 kgf / cm<sup>2</sup>) あたり 120,000 Bs. (2000)である。間接費を入れて水路工事の費用を単価240,000 Bs./m<sup>3</sup>で見積もった。

## (5) 工事工程

表4.3.3に工事工程表を示した。

### 4.3.3. 非構造物対策

#### (1) 警戒避難プロジェクトの検討項目

警戒避難に関しての検討項目は以下の通りである。

#### 組織制度

中央政府から市まで関係する組織について検討した。これら組織は現在調査のカウンターパートである。この検討では水文観測システムについても含めて検討した。

### 警戒避難基準雨量

バルガスやマラカイのデータをもとに限界(基準)雨量の検討を行った。過去の土石流についてはバルガスやマラカイ(リモン川)の資料も収集した。マラカイでは土石流が発生した経緯があることと環境天然資源省が警戒避難システムを実践しているので貴重な例である。

### コミュニティ活動

調査の一環として2つのコミュニティを選定してコミュニティの立場から警戒避難の検討を行った。(メインレポート5章及びサポティングレポートS24)

## **(2) 組織制度からの検討**

雨量予測については環境天然資源省の主導でVENEHMETというプロジェクトが進んでおり2005年に完了する予定である。VENEHMETはレーダー雨量計で首都区をカバーし、雨量予測を行う予定であり、2005年からはINAMEHという組織が設立され機器の設置と管理を行うことになっている。

現在、環境天然資源省は1日に2回ホームページで全国レベルと地方レベルの気象予測を行っている。気象予報は気象水文予報と警報からなっている。毎日の予報はアメリカから提供される衛星画像の解析を環境天然資源省カラカス事務所の3人の専門家が行って実施している。

調査団は第4次、5次現地調査の期間中にカウンターパート及び関係機関と定期的な打ち合わせを行って、この結果に基づき現在のシステムの評価と提言をまとめた。(表4.3.4)

また調査団は関係機関の間で締結される合意文書の草案を作成した。この合意文書の基本的考えは、日本の災害対策基本法を参考にしたものである。同法では中央政府、地方自治体、住民の役割分担について記述している。

合意文書の概要は以下の通りである。

- 環境天然資源省は水文情報の収集、分析、伝達を行う主務官庁であり、この目的のためにカラカス地方事務所を強化する。環境天然資源省は、中央大学と連携をはかりつつ、首都区が警戒避難基準雨量を定める際に助言を行う。(図4.3.4)
- 中央大学は、首都区が警戒避難基準雨量を定める際に助言を行う。(図4.3.5)

- 首都区の災害対策本部が環境天然資源省からの水文情報を受け取り、分析して各市に伝達する責務を負う。首都区は環境天然資源省からの情報及び警戒避難基準雨量に従い、避難勧告を発令する。(図 4.3.5)
- 各市は首都区からの情報を受け取って住民に避難勧告の連絡をするとともに、コミュニティの活動を支援する。

### (3) 限界雨量の検討

#### 1) 方法論

土石流の発生を雨量データから予測することは可能である。しかし、その精度は既存のデータのレベルに大きく依存する。カラカスでは土石流の発生はまれであるので、既存のデータは少ない。1999年12月の災害についてでさえ、アビラ山の雨量データはない。土砂災害の予測を実際にするためには時間雨量の観測が不可欠である。

過去の時間雨量と土石流現象が両方とも記録されている場合にはこれらのデータを解析して土砂災害の予測をすることは出来る。

日本では土石流に対する限界雨量を定める方法はいくつか検討されている。この中で1984年の「土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設計作成指針(案)」によって示された手法(以下、指針案による手法A案と呼ぶ)をマラカイ(リモン川)のデータを参考に採用した。マラカイのリモン川では既に指針案による手法A法を用いているのでカラカスでも同じ方法を用いれば後に比較することが可能である。

この方法では土石流が発生すると考えられる指標雨量は雨量強度と累加雨量の組み合わせで決めている。この指標を使っているのは実際の土石流が雨量強度は小さいが累積雨量が大きい場合または累積雨量は小さいが雨量強度が大きい場合に発生しているという事実に基づくものである。

図4.3.6は限界雨量の概念図である。雨量指標は雨量強度と累加雨量の組み合わせで表されている。雨量強度はY軸で累加雨量はX軸で表現している。土石流を引き起こす降雨と引き起こさない降雨を図上で別のシンボルでプロットしている。この2種の降雨グループは右下がりの直線か曲線で分断されている。この分断している線を限界線(CL)と呼び、土石流発生・非発生の境界を示している。この線の左側は土石流が発生しない安全なサイドである。線の右側は土石流が発生する可能性がある危険なサイドである。表4.3.5にプロットした降雨資料の定義を示した。

警報を発令する基準雨量と避難を勧告する基準雨量について説明する。警報を発令するのに用いる基準雨量は警戒基準線(WL)と呼び避難を勧告する基準雨量を避難基準線(EL)と呼ぶ。



WLとELを設定するにあたっては、警報や避難勧告を発令する時間的余裕を勘案する必要がある。つまり警報や避難勧告を発令したあとに住民や関係機関が必要な行動措置をとるまでの時間も勘案して発令するということである。表4.3.6は日本で指針案による手法A法を使うにあたっての条件を示したものである。カラカスでは土石流のデータが少ないため、本件調査ではこの日本で使われている条件を用いた。しかし警報の発令と避難勧告の発令のタイミングについてはカラカスの条件に基づいて決めるべきである。

## 2) カラカスの警戒基準線と避難基準線

図4.3.7はカラカスでの警戒基準線と避難基準線を示したものである。詳細についてはサポーターングレポートS18に記述している。

### (4) 土地利用規制のためのハザードマップ・リスクマップの公表

カラカス首都区について土石流、地すべり、急傾斜地のハザードマップとリスクマップを作成した。これらの危険地域の住宅住民が少なければそれだけ被害が減ることは明らかであり、住民がこれらの危険を認識して危険地域から移転することを促進することは重要である。

#### 4.3.4. 実施工程

図4.3.8に土砂災害対策の工程表を示した。

表 4.1.1 アピラ山主要溪流の特徴

	Catuche(44)	Cotiza(42) Anauco(41) Gamboa(37)	Canoas(35) Mariperez(33)	Chacaito(25)	Seca(23) Sebucan(17) Agua de Maiz(16)	Tocome(14)	Caurimare(4) Galindo(5)	
地形・地質・植生	山頂標高	Infiernito (1,945m)	Humboldt (2,153m)		Occidental (2,478m)	Oriental (2,637m)	Naiguata (2,765m)	
	流域起伏	872m	958-1,173m	570-767m	1,290m	440-1,635m	1,400m	1,712-1,843m
	平均勾配	15.1度	17.2-19.4度	22.7-23.5度	25.1度	24.8-30.4度	25.4度	19.5-20.7度
	水系網形状	水系は細かく、不規則な樹脂状を呈す。	Cotiza の水系は細かく、不規則な樹脂状を呈す。他の溪流は、水系が粗く、格子状が見られるが、樹脂状が強い。	流域面積は小さい。格子状の水系が見られる。	本流は直線的である。下流部に、急な屈曲が2箇所ある。	格子状の水系が見られる。溪流は緩く屈曲するが、直線的である。	流域面積は最も大きい。格子状の水系が見られる。本流は細かく屈曲する。	格子状の水系が見られる。Caurimare の下流部、Galindo の中下流部では、流路は直線的である。
	縦断形状	全体にゆるい勾配を呈す。上流が急で、下流が緩い、下に凸の形状を呈す。ステップは無い。	全体に勾配は緩い。数段のステップがある。	溪流は短く、全体に急である。下流の勾配はゆるくなる。下に凸の形状をなす。	上流が急で、下流がゆるい、下に凸の形状をなす。ステップは無い。	勾配は非常に急で、溪流勾配に小さなステップがある。	溪床勾配は中程度である。勾配の変換点が数箇所見られる。	溪床勾配が急で、勾配の変換点が数箇所見られる。
	地質	片麻岩・片岩を主体とするアピラ変成岩類が分布。局所的に、大理石、蛇紋岩の分布がある。						
	断層、リニアメント	リニアメントは、北東から南西のもの、北西から南東のものが多い。断層は、北西から南東のものが卓越している。			Chacaito 断層が、溪流に沿って通り、尾根をこえバルガス側までつながる。	断層は少ない。中、下流部に北東から南西へのリニアメントが多く見られる。	断層、リニアメントは少ない。流域の北東部に、北東から南西のリニアメントおよび断層が発達する。	北東から南西の断層と、北西から南東の断層がある。断層とリニアメントは一致している。
	風化厚	全部 5-10m	上流部 1-3m 中流部 3-5m 下流部 5-10m Cotiza 全部 5-10m	上中流部 3-5m 下流部 5-10m	上流部 0-1m 中下流部 1-3m		上流部 0-1m 中流部 1-3m 下流部 3-5m	
	堆積盆地の等高線の観察	周囲の尾根との比高差は相対的に小さいため、斜面全体の勾配は緩い。谷底は広い。	Cotiza では周囲の尾根との比高差が相対的に小さいため、斜面全体の勾配は緩い。谷底は広い。他の溪流は、周囲の尾根に比べ深い。	溪流は浅い。	直線的な溪流は、周囲の尾根に対し非常に深く、V字谷を呈す。溪流の西側は急斜面を呈し、東側は相対的に緩い。	最上流部は、開析が進んでいない。中下流部では、溪流は深い。	最上流部は、開析が進んでいない。中下流部は、開析が進むが、Chacaito ほど深くない。	Galindo の最上流は、開析が進んでいない。中下流部は、直線的に開析が進む。Caurimare は中流部で広く開析が進み、河床が広がっている。。
	溪床堆積物	少ない	少ない。Cotiza は、Anauco、Gamboa に比べやや多い。	下流部では少ない。上流部にやや残る。	右岸にはほとんど無い。溪床および左岸に多い。	下流部に多い。上流部は少ない。	上流部の溪流合流部に多く堆積する。	上流部の溪流合流部に多く堆積する。
衛星画像の観察	標高 1,700m 以上は密な植生で覆われている。但し、西側の尾根周辺の急崖を除く。山頂標高は東が高く、西が低くなっているため、溪流流域面積に占める高標高の面積は東側ほど大きい。							
崩壊地調査から	Active な崩壊が多い。	Cotiza では Active な崩壊が多い。Anauco では、Active な崩壊が北西部に見られる。新崩壊、旧崩壊ともに上流部には少ない。	旧崩壊のみである。	Active な崩壊はほとんど無く、新崩壊も少ない。旧崩壊が、普遍的に分布する。			旧崩壊が下流部に多い。上、中流部には崩壊が少ない。	
平地部	山地と平地の間に低位段丘が認められる。溪流は、段丘を開析して流下する。			扇状地を形成し、東隣の溪流を押しやっている。比較的新しい土砂流出の可能性。	扇状地の形成	扇状地の形成。Chacaito に比べ侵食が進んでいる。	Petare と Caurimare の段丘の間をぬって堆積、侵食の進行跡。	
他	km道路との関係	横過なし	横過カルバート	横過カルバート(小)	横過・橋梁	横過・カルバート(小)	横過・橋梁	横過無し

表 4.1.2 カラカスにおける過去の土石流災害

年月日	カロアタ	カトゥチェ	アナウコ	マリベレッツ	チャカオ/チャカイト	セブカン	トコメ	カウリマレ
1781		2 橋破壊						
1812			洪水					
1830		斜面崩壊						
1833							鉄道破壊	
1842								道路閉鎖
1847	1 橋破壊							
1866		貯水池破壊						
1878/10/04	1 橋破壊							
1932/3/9	1 橋破壊							
1951/2/17			100 軒が浸水し、 10 人死亡		1 人死亡	1 軒が破壊し、古い ダムが決壊して 15 軒のバリオ家屋が 押し流された。	24 軒破壊	
1974/10/1			建物被害					
1975/10/30						建物被害		
1976/10/9 and 10,11			60 家族被災	40 軒のバリオ家 屋破壊	15 軒破壊			病院被害
1976/11/9								病院被害
1977/11/21			80 軒被害					
1978/4/9								病院被害
1978/10/8			バリオ家屋何件か 破壊		8 軒のバリオ家屋破 壊			
1978/11/11						3 建物浸水		
1979/8/23						25 台の車が土砂 に埋まる		
1979/9/3			橋梁破壊					
1979/9/28			変電所被害					
1980-Sep.								グアイレ川沿い のカリスオルニ ア・スール地区 浸水
1993-Aug.(Tropical Depression)					洪水			
1999-Dec.	土石流	土石流	土石流		部分的に浸水		部分的に浸水	

資料: UNDP-MARN,PREVENE プロジェクト,最終報告書, pp.128

注: 1999 年、1980 年、1993 年 の情報は JICA 調査団が新たに付け加えた。

表 4.1.3 代表的な 5 観測所の確率雨量

観測所 カウノマシ

回帰年(年)	継続時間(分)										
	5	10	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
2.33	9.9	17.7	24.5	32.3	39.9	48.2	52.5	58.3	62.3	65.3	74.3
5	12.0	20.6	29.4	41.2	40.0	30.0	04.2	74.4	70.2	00.4	90.7
10	5.0	73.0	33.4	48.1	56.0	64.8	73.7	87.5	91.7	97.8	107.9
25	8.0	25.0	38.4	57.0	65.0	75.4	85.7	104.0	107.6	138.4	170.2
50	20.0	26.2	42.2	63.5	71.8	83.2	94.5	116.2	115.7	119.5	137.2
100	22.0	30.4	45.5	70.0	78.5	91.0	103.5	128.4	131.8	131.4	143.1
200	30.0	32.6	49.5	76.5	85.2	98.7	112.3	140.5	145.8	142.5	155.0
500	32.0	35.4	54.4	85.0	94.0	105.9	123.9	156.5	155.7	157.5	170.7
1000	30.0	37.6	50.1	91.4	100.0	110.7	132.7	160.5	171.7	159.0	182.0

観測所 ロム・テコロン

回帰年(年)	継続時間(分)										
	5	10	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
2.33	10.5	18.0	24.6	36.5	47.2	54.0	62.5	68.3	70.1	72.3	80.0
5	13.0	22.7	29.6	43.7	59.7	69.6	79.5	89.4	94.9	98.8	117.7
10	15.0	25.0	33.8	48.5	69.9	81.5	93.0	105.5	115.2	120.5	138.4
25	15.0	30.0	39.0	55.5	82.7	96.6	110.5	127.0	140.7	147.8	171.5
50	20.0	32.0	42.8	61.2	92.2	107.8	123.1	142.5	159.7	168.7	196.0
100	22.0	36.0	46.6	66.4	101.7	119.9	130.2	150.1	170.5	180.2	220.4
200	24.0	40.0	50.5	71.5	111.1	130.0	148.9	173.5	197.2	208.3	244.7
500	25.0	42.0	55.5	82.0	123.0	142.0	160.7	194.0	222.0	234.0	270.7
1000	27.0	50.0	65.0	95.0	133.0	155.7	176.4	219.4	240.7	259.8	300.5

観測所 アンパリコ

回帰年(年)	継続時間(分)										
	5	10	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
2.33	10.5	19.0	26.9	36.5	49.4	55.8	62.1	65.0	65.3	65.9	71.7
5	13.0	23.0	32.8	46.5	67.5	79.0	90.4	95.1	95.5	95.6	95.5
10	13.0	29.0	37.5	54.0	82.0	97.9	110.5	119.0	120.1	119.0	120.0
25	18.0	32.0	43.8	64.5	100.9	121.7	142.8	153.5	157.2	150.4	147.5
50	20.0	34.0	46.7	72.0	114.7	139.5	164.2	170.0	174.0	170.7	160.0
100	22.0	38.0	52.5	81.0	129.4	157.1	185.7	195.3	197.1	195.6	188.5
200	24.0	42.0	56.0	90.0	142.1	174.6	207.1	210.1	210.0	218.7	208.5
500	25.0	47.0	62.8	107.0	157.1	197.7	236.3	249.0	250.0	247.7	235.4
1000	30.0	57.0	67.2	104.6	173.7	215.2	266.6	271.7	272.3	270.7	255.5

観測所 サン・ホセ・デアビラ

回帰年(年)	継続時間(分)										
	5	10	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
2.33	9.1	15.1	19.5	30.5	39.1	43.8	48.4	51.9	54.5	55.1	55.7
5	10.1	18.3	22.4	36.0	47.0	53.7	59.0	67.1	68.9	69.3	75.2
10	11.0	20.9	24.8	40.4	53.4	60.7	68.0	74.1	80.6	80.9	85.0
25	12.1	26.3	27.9	45.0	61.5	70.3	79.1	88.3	95.2	95.5	100.0
50	13.0	26.7	30.7	50.1	67.5	77.4	87.0	95.9	106.4	100.0	111.1
100	14.0	29.1	35.0	54.0	73.4	84.5	95.5	105.0	117.3	117.7	122.1
200	15.0	30.0	37.0	58.3	79.4	91.5	103.6	114.4	128.1	127.8	133.1
500	15.0	32.0	42.0	63.7	87.7	100.8	114.3	125.5	143.5	141.9	147.5
1000	15.4	37.2	30.7	67.5	83.1	107.8	122.5	135.7	153.3	152.6	158.5

観測所 マイケティノ U602

回帰年(年)	継続時間(分)										
	5	10	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
2.33	9.0	14.0	18.0	27.0	39.0	46.2	54.0	62.0	69.0	70.0	82.0
5	11.0	17.0	22.0	34.0	48.0	60.8	71.0	83.0	96.0	98.0	132.0
10	13.0	19.0	26.0	39.0	56.0	70.9	86.0	101.0	117.0	120.0	173.0
25	15.0	23.0	30.0	45.0	65.0	85.0	105.0	124.0	144.0	148.0	235.0
50	17.0	26.0	33.0	50.0	73.0	95.4	116.0	145.0	175.0	200.0	263.0
100	19.0	28.0	36.0	55.0	80.0	105.7	130.0	157.0	185.0	189.0	301.0
200	21.0	30.0	39.0	60.0	87.0	116.0	145.0	174.0	205.0	210.0	339.0
500	23.0	34.0	43.0	66.0	96.0	129.5	160.0	195.0	237.0	237.0	389.0
1000	25.0	37.0	46.5	71.3	103.1	139.9	176.6	211.5	250.9	257.8	427.5

観測所 ナヒガル

回帰年(年)	継続時間(分)										
	5	10	15	30	60	120	180	360	540	720	1440
2.33	14.1	22.7	25.3	29.1	37.4	40.7	43.5	46.9	48.7	50.5	55.5
5	15.5	26.3	31.0	38.5	46.7	50.0	53.5	57.3	59.7	61.5	71.1
10	13.0	30.1	37.0	47.0	54.0	57.0	61.0	66.4	60.7	70.5	80.0
25	21.0	34.2	42.0	57.1	63.9	67.9	71.1	77.5	80.1	87.9	100.1
50	22.0	37.3	48.0	64.5	71.1	77.7	84.4	95.3	88.5	90.3	111.2
100	24.0	40.4	52.0	72.1	78.1	81.9	85.7	93.9	96.9	98.7	122.7
200	25.0	43.5	58.0	79.5	85.2	88.0	92.0	102.1	105.2	107.0	133.4
500	29.0	47.5	65.0	89.4	94.5	98.4	102.4	112.5	116.2	116.7	148.0
1000	30.5	50.5	70.0	96.7	101.5	105.6	109.6	120.5	124.5	126.4	158.5

資料はアメテック、Estimote de ONDPA en las Quevedas de la Ventana SUR del Parque Nacional ANLA, 2007

表 4.1.4 土砂流出量

主要渓流	流域面積	ポテンシャル				回帰年100年			回帰年25年			コタミルの貯砂能力	
		不安定土砂	斜面崩壊土砂	移動可能土砂量 (Ve)	比流出土砂量	運搬可能土砂量 (Vec)	* 流出土砂量	比流出土砂量	運搬可能土砂量 (Vec)	* 流出土砂量	比流出土砂量		
	km2	m3	m3	m3	m3/km2	m3	m3	m3/km2	m3	m3	m3/km2	m3	
1	0.16	0	9,591	9,591	59,570	9,299	9,299	57,756	7,751	7,751	48,144		
2	0.99	11,596	58,796	21,117	21,396	25,318	21,117	21,396	21,105	21,105	21,383		
3	0.08	0	4,468	4,468	59,570	3,830	3,830	51,067	3,193	3,193	42,571		
カウリマレ	6.35	726,522	378,508	331,509	52,173	101,429	101,429	15,963	84,548	84,548	13,306		
ガリンド	5	3.85	484,019	229,047	213,920	55,636	58,960	58,960	15,334	49,147	49,147	12,782	
6	0.09	1,613	5,183	6,796	78,115	12,171	6,796	78,115	10,145	6,796	78,115		
7	0.36	26,018	21,445	47,463	131,842	16,314	16,314	45,316	13,029	13,029	36,190		
8	1.14	45,810	68,089	34,169	29,895	35,448	34,169	29,895	28,309	28,309	24,768	13,400	
9	0.12	0	6,970	6,970	59,570	16,039	6,970	59,570	12,809	6,970	59,570		
10	0.06	0	3,276	3,276	59,570	9,792	3,276	59,570	7,820	3,276	59,570		
11	0.25	17,199	14,714	31,913	129,201	15,134	15,134	61,270	11,797	11,797	47,763		
12	2.10	403,843	125,097	158,682	75,563	62,947	62,947	29,975	49,070	49,070	23,367		
13	0.33	20,238	19,479	39,717	121,460	50,512	39,717	121,460	39,377	39,377	120,418		
トコメ	14	9.45	1,716,695	562,817	683,854	72,381	152,175	152,175	16,107	118,627	118,627	12,556	
15	1.40	67,151	83,577	45,218	32,230	45,318	45,218	32,230	35,465	35,465	25,278		
16	0.38	9,464	22,637	32,100	84,475	52,003	32,100	84,475	40,698	32,100	84,475		
17	1.57	154,682	93,525	74,462	47,428	48,669	48,669	30,999	38,088	38,088	24,260	10,700	
18	0.17	8,346	9,948	18,294	109,544	31,317	18,294	109,544	24,413	18,294	109,544		
19	1.37	128,422	81,849	63,081	45,911	44,718	44,718	32,546	34,996	34,996	25,470		
20	0.11	1,085	6,672	7,757	69,258	23,398	7,757	69,258	18,240	7,757	69,258	2,400	
21	0.27	15,243	16,084	31,327	116,025	24,891	24,891	92,187	19,479	19,479	72,146	4,900	
22	1.97	102,990	117,532	66,157	33,531	56,156	56,156	28,462	43,948	43,948	22,275		
23	0.78	48,798	46,167	94,964	122,535	30,802	30,802	39,744	24,105	24,105	31,104		
24	0.21	2,759	12,331	15,090	72,900	36,549	15,090	72,900	28,492	15,090	72,900		
チャカイト	25	6.33	428,734	377,197	241,779	38,184	112,394	112,394	17,750	87,960	87,960	13,891	
26	0.16	647	9,412	10,059	63,662	30,085	10,059	63,662	23,453	10,059	63,662		
27	0.25	4,046	15,071	19,118	75,563	42,165	19,118	75,563	32,869	19,118	75,563		
28	1.19	95,641	71,007	49,994	41,942	67,986	49,994	41,942	53,205	49,994	41,942	1,000	
29	0.07	0	4,110	4,110	59,570	14,850	4,110	59,570	11,576	4,110	59,570		
30	0.60	21,511	35,623	57,134	95,542	70,924	57,134	95,542	55,505	55,505	92,818	3,800	
31	0.24	0	13,999	13,999	59,570	34,374	13,999	59,570	26,881	13,999	59,570		
32	0.06	0	3,395	3,395	59,570	10,539	3,395	59,570	8,241	3,395	59,570		
マリベレツ	33	0.70	16,868	41,461	58,328	83,805	26,564	26,564	38,167	20,773	20,773	29,847	
34	0.09	0	5,480	5,480	59,570	17,010	5,480	59,570	13,302	5,480	59,570		
35	0.57	41,973	33,895	75,869	133,337	23,196	23,196	40,767	18,140	18,140	31,880		
36	0.27	1,234	15,846	17,079	64,207	30,780	17,079	64,207	24,604	17,079	64,207		
ガンボア	37	3.07	91,399	182,939	82,302	26,800	71,825	23,388	73,030	73,030	23,781		
38	0.19	0	11,437	11,437	59,570	24,398	11,437	59,570	19,503	11,437	59,570		
39	0.43	10,855	25,436	36,292	84,993	15,636	15,636	36,618	12,499	12,499	29,271		
40	0.19	0	11,378	11,378	59,570	24,307	11,378	59,570	19,430	11,378	59,570		
アナウコ	41	3.69	136,514	219,813	106,898	28,970	233,670	106,898	28,970	179,110	106,898	28,970	68,500
コティザ	42	3.80	331,373	226,247	167,286	44,046	144,514	144,514	38,050	110,771	110,771	29,166	93,000
43	0.27	3,515	16,024	19,540	72,638	11,326	11,326	42,106	9,054	9,054	33,657		
カトウチエ	44	4.50	203,088	268,005	141,322	31,412	95,859	95,859	21,307	73,477	73,477	16,332	
45	0.09	0	5,421	5,421	59,570	13,798	5,421	59,570	11,030	5,421	59,570		
46	0.08	0	4,885	4,885	59,570	12,434	4,885	59,570	9,939	4,885	59,570		
47	0.48	18,774	28,474	47,248	98,846	21,708	21,708	45,414	17,352	17,352	36,302		
合計	60.84	5,398,644	3,624,358	3,232,250	-	-	1,699,240	-	-	1,454,133	-	197,700	

\* Ve と Vec の小さい方

表 4.1.5 イエローゾーンとレッドゾーン内の資産 (主要溪流)

主要溪流域	No.	名称	警戒区域						特別警戒区域					
			建物数			建物面積			建物数			建物面積		
			ハリオ地域 nos.	都市地域 nos.	計 nos.	ハリオ地域 m2	都市地域 m2	計 m2	ハリオ地域 nos.	都市地域 nos.	計 nos.	ハリオ地域 m2	都市地域 m2	計 m2
02_1			46	0	46	2,272	0	2,272						
02_2			231	168	399	11,312	55,591	66,903						
02_3			195	96	291	10,348	48,343	58,691	9	27	36	339	10,272	10,610
4		カウリマレ	316	271	587	20,981	121,969	142,950	109	103	212	6,107	79,994	86,101
5		ガリンド	0	18	18	0	5,702	5,702	0	16			4,733	4,733
6			0	198	198	0	46,569	46,569	0				0	0
7			0	90	90	0	21,377	21,377	0	41			5,741	5,741
8		パサキレ	0	233	233	0	54,548	54,548	0	60			7,355	7,355
9			0	171	171	0	51,812	51,812	0				0	0
10			0	336	336	0	141,091	141,091	0				0	0
11		ガンブリ	0	246	246	0	66,192	66,192	0	12			1,937	1,937
12		ラ・フリア	10	696	706	888	187,272	188,159	8	397	405	838	97,416	98,255
13			0	92	92	0	29,800	29,800	0	9			3,803	3,803
14		トコメ	0	638	638	0	160,183	160,183	42	42			11,909	11,909
15		テネリアス	0	92	92	0	24,275	24,275	0				0	0
16		アグア・デ・マイス	115	247	362	5,487	64,580	70,068	0	2			610	610
17		セブカン	0	742	742	0	255,255	255,255	0				0	0
18			0	507	507	0	152,338	152,338	0				0	0
19		バハルト	0	517	517	0	210,755	210,755	1	1			503	503
20			0	805	805	0	352,716	352,716	0	1			460	460
21			0	900	900	0	389,840	389,840	0				0	0
22		キンテロ	9	1,157	1,166	62	454,710	454,772	0	184			37,703	37,703
23		セカ	24	529	553	683	186,530	187,213	57	57			7,639	7,639
24			69	397	466	6,355	140,453	146,808	0	1			548	548
25		チャカイト	63	454	517	5,487	162,209	167,696	39	209	248	2,635	55,814	58,450
27			303	484	787	23,016	127,160	150,176	4	4			781	781
28		チャベリン	255	139	394	18,325	30,036	48,361	0	2			152	152
29			278	143	421	19,247	26,440	45,687	0				0	0
30		クノ	248	106	354	17,581	21,626	39,207	0	10			1,700	1,700
31			259	105	364	17,843	21,796	39,639	0				0	0
33		マリベレツ	0	106	106	0	23,550	23,550	3	32			6,545	6,545
34			920	154	1,074	61,584	45,133	106,717	0	1			1	1
35		カノアス(サリア)	551	341	892	34,297	69,282	103,578	5	5	163	4,471	7,132	11,602
36			463	755	1,218	20,953	174,237	195,190	0				0	0
37		ガンボア	83	315	398	11,277	68,997	80,274	2	17			2,179	2,179
38			191	433	624	22,346	99,098	121,444	0				0	0
39		ベアタス	184	169	353	15,849	28,282	44,131	0				0	0
40			319	255	574	28,308	40,941	69,249	8	8			815	815
41		アナウコ	339	340	679	32,774	58,615	91,389	290	188	478	26,218	23,045	49,263
42		コティザ	64	69	133	3,636	12,680	16,316	0				0	0
44		カトゥチェ	659	696	1,355	59,691	194,692	254,383	660	399	1,059	59,967	111,363	171,330
45		セイントイザベル	224	0	224	13,050	0	13,050	0				0	0
46			299	275	574	20,588	26,812	47,400	23	10	33	828	443	1,271
47		アグア・サルー	158	224	382	11,774	23,590	35,364	134	0	299	8,665	13,071	21,736

表 4.1.6 イエローゾーンとレッドゾーン内の資産(扇状地)

流域	警戒地域						特別警戒地域					
	建物数			建物面積			建物数			建物面積		
	バリオ地域 nos.	都市地域 nos.	合計 nos.	バリオ地域 m <sup>2</sup>	都市地域 m <sup>2</sup>	合計 m <sup>2</sup>	バリオ地域 nos.	都市地域 nos.	合計 nos.	バリオ地域 m <sup>2</sup>	都市地域 m <sup>2</sup>	合計 m <sup>2</sup>
No.												
カウリマレ	458	965	1423	27,800	370,200	398,000	118	130	248	6,400	50,000	56,400
トコメ	10	1,303	1313	900	331,300	332,200	8	440	448	800	100,000	100,800
アグア・デ・マイス	115	415	530	5,500	111,700	117,100		0	0	0	0	0
セアカン	0	1,525	1,525	0	524,000	524,000		0	0	0	0	0
セカ	30	879	909	700	337,100	337,900		50	50	0	38,500	38,500
チャカイト	483	1,063	1,546	37,000	312,200	349,200	39	215	254	2,600	55,000	57,600
マリパレツ	0	106	106	0	23,600	23,600		3	3	0	600	600
カノアス	1,270	592	1,862	83,300	127,200	210,600	5	5	10	4,500	700	5,200
アナウコ	688	1,006	1,694	56,200	226,100	282,300	290	190	480	26,200	22,000	48,200
カトウチエ	659	502	1,161	59,700	164,500	224,200	660	394	1,054	60,000	111,100	171,100
カロアタ	596	433	1,029	39,100	40,800	79,900	157	10	167	9,500	1,000	10,500
51	0	4	4	0	300	300		0	0	0	0	0
55	0	38	38	0	17,200	17,200		0	0	0	0	0
57	0	284	284	0	86,500	86,500	0	1	1	0	0	0
64	207	517	724	9,000	104,400	113,400		0	0	0	0	0
68	0	201	201	0	27,800	27,800		0	0	0	0	0
Total	4,516	9,833	14,349	319,300	2,804,800	3,124,100	1,277	1,438	2,715	110,100	378,900	489,000
						10,214,800						2,228,400

注: 建物数と建物面積は1/5,000地形図で求めた。

**表 4.2.1 地滑りと急傾斜地崩壊で影響を受ける建物数**

	斜面上の建物数		Number of houses affected by the failure		合計	
	都市地域	バリオ地域	都市地域	バリオ地域	都市地域	バリオ地域
急傾斜崩壊	49	6,797	304	5,197	353	11,994
地滑り	2	383	16	139	18	522

**表 4.3.1 都市部の危険斜面**

斜面コード	市	斜面面積(m2)	斜面上の建物面積(m2)	斜面上の建物数	影響範囲の建物面積(m2)	影響範囲の建物数
40 091	リベルタドール	5,655	1235	1	12,404	5
40 148	リベルタドール	932	664	1	3,742	4
40 149	リベルタドール	563	773	2	2,016	5
40 161	スクレ	4,130	58	4	3,663	10
40 162	スクレ	2,953	107	4	6,052	6
40 225	スクレ	1,412	131	4	1,774	9
40 226	スクレ	1,361	507	3	3,457	7
40 228	スクレ	1,365	271	1	1,485	5
40 230	スクレ	2,123	18	2	4,129	10
40 232	スクレ	2,537	65	3	3,505	8
40 233	スクレ	1,890	391	1	10,616	7
40 272	リベルタドール	3,330	143	3	5,510	32
43 172	スクレ	868	79	2	886	11



表 4.3.2 2000 年におけるバルガスでの砂防ダム建設費

主要工種	記述	単位	数量	単価 (Bs. 2000年)	計	ダム工事のみにか かる工事費合計
掘削	植生除去	m3	1,200	1,775	2,130,492	2,130,492
	共通工1用掘削	m3	66	5,034	332,227	332,227
	共通工2用掘削	m3	2,317	5,034	11,663,176	11,663,176
	ダム掘削	m3	10	19,291	192,912	192,912
	水路工1掘削	m3	50,000	3,185	159,270,000	-
	水路工2掘削	m3	100,000	4,666	466,604,000	-
	仮設工	m3	15,000	2,590	38,844,750	38,844,750
	<b>小計</b>				<b>679,037,557</b>	<b>53,163,557</b>
コンクリート工	閉鎖式ダム用コンクリート (80kg/cm <sup>2</sup> )	m3	1,100	120,697	132,766,216	132,766,216
	オープン式ダム用コンクリート (80kg/cm <sup>2</sup> )	m3	995	120,697	120,093,077	120,093,077
	閉鎖式ダム用鉄筋コンクリート (250kg/cm <sup>2</sup> )	m3	80	187,111	14,968,917	14,968,917
	オープン式ダム用鉄筋コンクリート (250kg/cm <sup>2</sup> )	m3	250	190,322	47,580,485	47,580,485
	水路工用鉄筋コンクリート (250kg/cm <sup>2</sup> )	m3	4,130	176,793	730,153,768	-
	水路遷移部鉄筋コンクリート (250kg/cm <sup>2</sup> )	m3	800	192,232	153,785,632	153,785,632
	<b>小計</b>				<b>1,199,348,095</b>	<b>469,194,327</b>
合計						
管理費 (合計の15%)						<b>522,357,884</b>
総計						<b>600,711,566</b>

表 4.3.3 提案実施計画

流域番号	砂防ダム工				流路工				BS/年							
	基数	コンクリート体積 (m <sup>3</sup> )	コンクリート工事費 ×10 <sup>7</sup> (BS)	工期 (year)	延長 (m)	コンクリート体積 (m <sup>3</sup> )	コンクリート工事費 ×10 <sup>7</sup> (BS)	工期 (year)	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
14	トコマ	5	19,480	5,844,000	6.5	450	2,610	3,132	8.0	899,077	899,077	899,077	899,077	899,077		
25	チャカイト	4	9,300	2,790,000	4.0	1,100	6,430	7,716	11.0	697,500	697,500	697,500	701	701		
44	カウチエ	3	7,470	2,241,000	3.0	1,600	8,420	1,010,400	12.0	747,000	747,000	747,000	84,200	84,200		
4	カウチエ	6	21,260	6,378,000	7.5					850,400	850,400	850,400	850,400	850,400		
42	コチイザ	5	15,900	4,770,000	6.0					795,000	795,000	795,000	795,000	795,000		
30	ク	4	13,700	4,110,000	5.0					822,000	822,000	822,000	822,000	822,000		
37	カンボア	5	11,350	3,405,000	4.5					756,667	756,667	756,667	756,667	756,667		
28	チャベリン	4	10,490	3,147,000	4.0					786,750	786,750	786,750	786,750	786,750		
41	アサウコ	4	9,370	2,811,000	4.0					702,750	702,750	702,750	702,750	702,750		
17	セブカン	3	8,990	2,697,000	3.5					798,714	798,714	798,714	798,714	798,714		
19	バハルト	3	9,330	2,799,000	3.5					846,000	846,000	846,000	846,000	846,000		
5	ガリンド	2	8,460	2,538,000	3.0					789,600	789,600	789,600	789,600	789,600		
12	ラ・フリア	2	6,580	1,974,000	2.5					874,800	874,800	874,800	874,800	874,800		
22	キンテロ	2	7,290	2,187,000	2.5					771,000	771,000	771,000	771,000	771,000		
8	ハチキレ	2	5,140	1,542,000	2.0					725,000	725,000	725,000	725,000	725,000		
15	チネリアス	2	4,900	1,470,000	2.0					693,000	693,000	693,000	693,000	693,000		
21		2	4,820	1,386,000	2.0					789,000	789,000	789,000	789,000	789,000		
27		2	5,260	1,578,000	2.0					591,000	591,000	591,000	591,000	591,000		
40		2	3,940	1,182,000	2.0					588,500	588,500	588,500	588,500	588,500		
47	アグア・サル	2	3,930	1,179,000	2.0					456,000	456,000	456,000	456,000	456,000		
2		1	2,280	684,000	1.5					624,000	624,000	624,000	624,000	624,000		
7		1	3,130	939,000	1.5					816,000	816,000	816,000	816,000	816,000		
11	ガンブリ	1	3,120	936,000	1.5					772,000	772,000	772,000	772,000	772,000		
16	アグア・チマイス	1	4,080	1,224,000	1.5					624,000	624,000	624,000	624,000	624,000		
23		1	3,860	1,158,000	1.5					624,000	624,000	624,000	624,000	624,000		
29		1	3,120	936,000	1.5					544,000	544,000	544,000	544,000	544,000		
31		1	2,720	816,000	1.5					758,000	758,000	758,000	758,000	758,000		
33	マリベレツ	1	3,790	1,137,000	1.5					621,000	621,000	621,000	621,000	621,000		
6		1	2,070	621,000	1.0					615,000	615,000	615,000	615,000	615,000		
9		1	2,050	615,000	1.0					510,000	510,000	510,000	510,000	510,000		
10		1	1,700	510,000	1.0					543,000	543,000	543,000	543,000	543,000		
13		1	1,810	543,000	1.0					771,000	771,000	771,000	771,000	771,000		
18		1	2,570	771,000	1.0					525,000	525,000	525,000	525,000	525,000		
20		1	2,590	777,000	1.0					342,000	342,000	342,000	342,000	342,000		
24		1	1,750	525,000	1.0					570,000	570,000	570,000	570,000	570,000		
34		1	1,140	342,000	1.0					657,000	657,000	657,000	657,000	657,000		
35	カリアス	1	1,900	570,000	1.0					771,000	771,000	771,000	771,000	771,000		
36		1	2,190	657,000	1.0					657,000	657,000	657,000	657,000	657,000		
38		1	2,570	771,000	1.0					504,000	504,000	504,000	504,000	504,000		
39	ベアタス	1	2,570	771,000	1.0					4,904,844	4,904,844	4,904,844	4,904,844	4,904,844		
45	セイント・イサベル	1	2,190	657,000	1.0					4,810,977	4,810,977	4,810,977	4,810,977	4,810,977		
46		1	1,680	504,000	1.0					5,567,644	5,567,644	5,567,644	5,567,644	5,567,644		
	合計	86	241,640	72,492,000	97.5	3,150	17,460	1,021,248	31.0	4,900,883	4,810,977	4,810,977	4,810,977	4,810,977		
										深流敷	6	6	7	7		
											6	6	7	8		

注: BSは2000年のポリハール価格

表 4.3.4 警戒避難の現状評価、限界、提言

組織	現体制の評価	限界	提言
<p>環境天然資源省</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 環境天然資源省は国家レベルで水文気象情報を観測し、その情報を国民に提供している。</li> <li>● 環境天然資源省の現状の雨量観測システムは警戒避難を担当している地方自治体の要請に答えるには不十分である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 環境天然資源省は中央政府の組織であり、特定地域に対する警戒発令や避難指示を出すような、細かい施策を効果的に実施するには限界がある。</li> <li>● 現気象モデルはハザードマップを作成した気象モデルを構築したための水文気象モデルを構築した技術者の数に不足しているように見える。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 現在計画されているVENEHMETプロジェクトを持続的に推進する。</li> <li>● 環境天然資源省の地方事務所を設立強化して、カラス・バルガス地域に特化した詳細な業務を実施する。その業務は現状の雨量観測システムを更新する事、ハザードマップを刷新する事、限界雨量等のデータをカラスの水文特性の研究をする事である。</li> <li>● エラにおける警戒システムへのスキを統一化する。</li> </ul>
<p>首都区庁</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 環境天然資源省他から気象情報を入力する人的な情報は無い。しかし、その情報を警戒避難に使用できるように解釈するシステムは無い。</li> <li>● 環境天然資源省他が観測した雨量データリアルタイムでアクセスする方法は無い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 首都区庁が水文気象観測をしてその情報を市民に提供するというのは実際的でない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 緊急指令センターの設置、維持管理</li> <li>● カラス全体を睨んだ災害管理を行う災害対策本部を設立する。</li> </ul>
<p>市役所</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 土砂災害が発生した後に緊急対応をする高い能力を有している。しかし、災害発生前の警戒避難行動の経験は殆ど無い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 現実的には緊急時の警戒避難行動は災害の発生に従って、カラス区全体で同時に実施する事になると考えられる。特定の市役所が他の市の状況を把握するのは困難である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 環境天然資源省のIMANEHプロジェクトにおける水文気象に関する研修に人材を派遣する。</li> <li>● 首都区庁と環境天然資源省の情報に基づき、コミュニティに対して避難勧告を発令する。コミュニティグループを避難させる。</li> </ul>

**表 4.3.5 雨量指標の定義**

	X 軸(横軸)	Y 軸(縦軸)
土石流発生降雨	土石流発生時点から 1 時間前までの実効雨量	土石流発生時点と発生時点から 1 時間前の間の総雨量
土石流非発生雨量	最大時間雨量が始まるまでの実効雨量	一連の降雨の中で最大時間雨量

**表 4.3.6 警戒避難のタイミング定義**

	発令/勧告のタイミング	余裕時間内に降る雨の予測量
警告発令	CL ラインに到達する 2 時間前	既往最大 2 時間雨量 ( $R_{H2M}$ )
避難勧告	CL ラインに到達する 1 時間前	既往最大 1 時間雨量 ( $R_{H1M}$ )