

とくに注目すべき事実は、マウメレ市の海岸沿いに発生した大きな地盤の沈下と横方向の移動である(写真5.4 3)。この写真の現場では海岸沿いの沈下量は1~2mにも達したものと見られる。写真5.4 4及び4 5は沈下した倉庫前の広場を示す。写真5.4 6及び4 7では海岸線に平行に数ヶ所に生じた地盤と道路舗装面の亀裂を示す。このように大きな地盤沈下と地盤の横方向の移動が起こったのは、液状化によって土が横方向に残留移動したせいである。日本における経験<sup>4)</sup>から、地盤が横方向に残留移動すると多くの構造物に広範囲にわたって被害をもたらすことが分かっている。

## 5.9 提言

上述したライフライン施設の調査結果にもとづいて、下記の事項を提言する。

- 1) フローレス島にある橋梁を注意深く点検する必要がある。その際、とくに下部構造に注意を払う必要がある。橋台の基礎が橋桁の方に向かって移動し、橋台天端が背面盛土側に傾いているような橋梁については橋桁が落下するのを防ぐためできるだけ早期に橋台を取り替えるのがよい。そういう橋は一般に非常に古く、1車線しかないので修理すべきか、あるいは新しい橋に架け替えるべきかを、十分検討するのがよい。
- 2) 地震による影響を考慮していないか、あるいはそういう配慮が不十分であった時代に建設された橋がインドネシアには多数存在する。したがって既存の橋に対する簡単な耐震性判定法を開発することを勧める。耐震性判定方法は、複雑な計算をすることなく現場で検査できるよう、できるだけ簡単なものでなければならない。地震に対する下部構造の安定性評価が最重要事項である。既存の橋梁についての耐震性判定とそれが必要な場合の耐震補強のマスタープランが、将来計画として重要である。
- 3) 山岳地帯を走る道路の切土斜面と自然斜面の崩壊を防ぐことはむずかしい。費用と効果を考慮に入れながら、採用可能な斜面崩壊防止策を研究することを勧める。その場合、少なくとも2車線の通行が確保できるよう、道路を拡幅することが望ましい。拡幅によって万一の地震の際に、両端の車線が道路の上方から落下する土と岩石の“溜め置き場”の役目を果たす。斜面の表面のコンクリートモルタル被覆を覆う斜面の風化を防ぐために効果的であろう。
- 4) フローレス島の道路網の整備は充分でない。道路の1ヶ所が遮断されても主要都市と他の地域との通行が途絶することがないように、フローレス島の道路網のマスタープランを策定することを勧める。マスタープランはフローレス島の発展にとって重要であろう。
- 5) マウメレ港の復旧のために設計段階で地盤の液状化を考慮することを勧める。擁壁の破損の防止処置は壁とエプロンの被害を軽減するのに効果がある。さらに港の重要建築物の再建にあたっては地盤の液状化を検討することを勧める。
- 6) 強震観測を体系的に行なうためのシステム(そのメンテナンスシステムも含んで)を検討することを勧める。こういうシステムは設計地震力を評価し、地震に対する地盤および構造物の応答を評価するために非常に重要である。

## 参考文献

- 1) 川島一彦、相沢興 : Attenuation of Peak Ground Acceleration, Velocity and Displacement Based on Regression Analysis of Japanese Strong Motion Records, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.14, pp.199~215、1990年
- 2) 日本道路協会 : 道路橋示方書、第V編耐震設計編、1990年
- 3) 栗林栄一、龍岡文夫 : History of Earthquake Induced Soil Liquefaction in Japan, 土木研究所彙報, Vol. 31, 1977.
- 4) 浜田政則、安田進、磯山龍二、恵本克利 : Observation of Permanent Ground Displacements Induced by Soil Liquefaction, 土木学会論文集、Vol.376、III-6、1986年



写真5.1 路肩の斜面崩壊(国道上、エンデから数キロメートル地点)

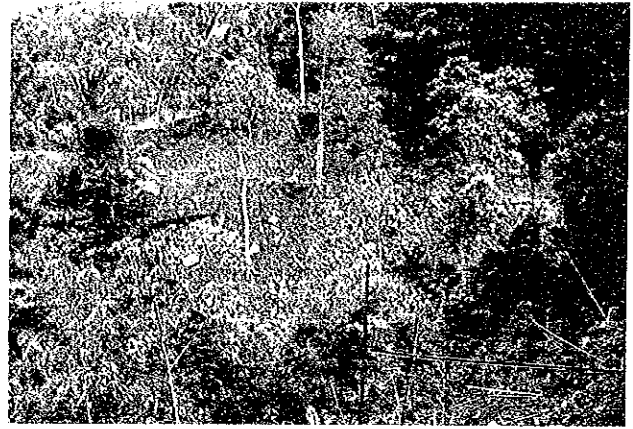


写真5.2 道路下及び道路上での大規模な斜面崩壊(国道上、エンデから数キロメートル地点)

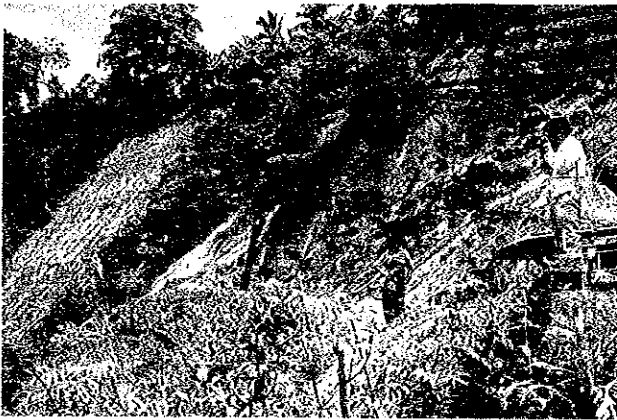


写真5.3 道路下及び道路上での大規模な斜面崩壊(国道上、レケバイから数キロメートル地点)



写真5.4 写真5.3と同じ箇所での道路下の斜面崩壊



写真5.5 国道の緊急啓閉(レケバイの近く)



写真5.6 自然斜面の崩壊



写真5.7 写真5.6と同じ斜面におけるスコリア層



写真5.8 橋台と背面盛土の沈下



写真5.9 胸壁と背面盛土の崩壊



写真5.10 橋台の近くでの大規模な地盤の破壊



写真5.11 橋台の前面で起こった地盤の破壊



写真5.12 橋桁と接触して破損した橋台

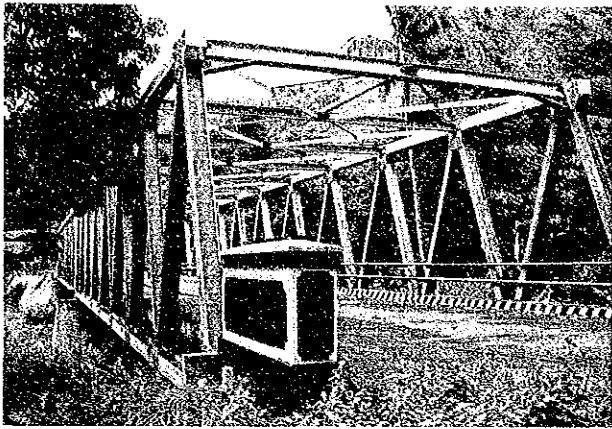


写真5.13 トラス橋

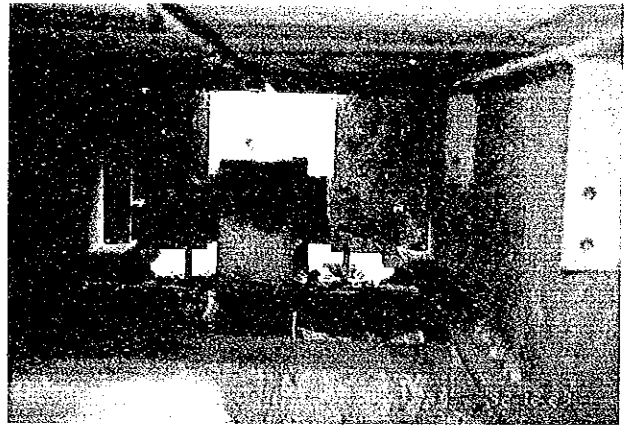


写真5.14 緩衝ゴムを取り付けた長手方向のストッパー

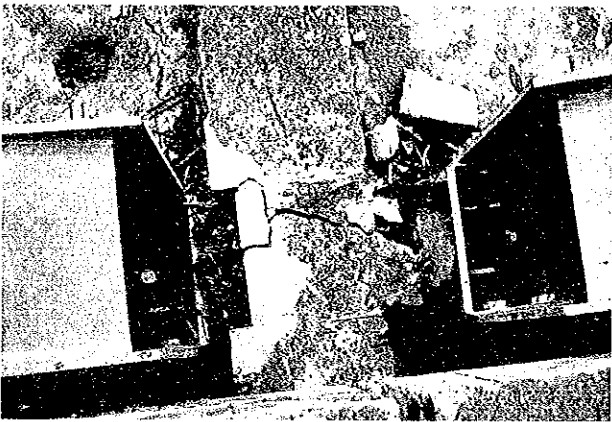


写真5.15 ストッパーのコンクリートブロックの破壊

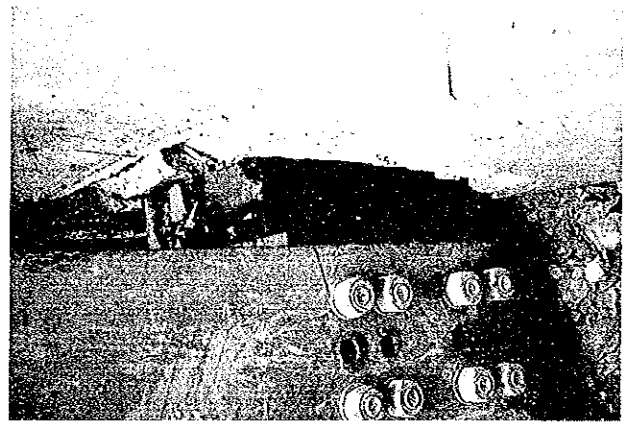


写真5.16 橋桁と衝突して破損した橋台



写真5.17 トラス橋の下弦材の座屈



写真5.18 舗装面の亀裂



写真5.19 舗装面の亀裂と沈下



写真5.20 地盤の液状化によって生じた噴砂孔



写真5.21 橋台の破損によって起こった桁の沈下

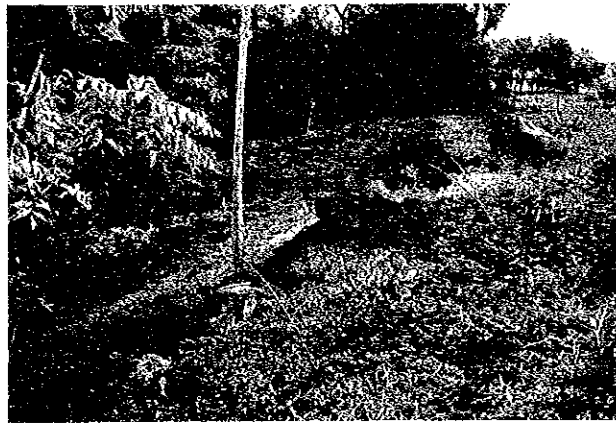


写真5.22 写真5.21に示す橋の近くで発生した大規模な地盤のすべり



写真5.23 落石



写真5.24 マウメレ空港の管制塔の被害

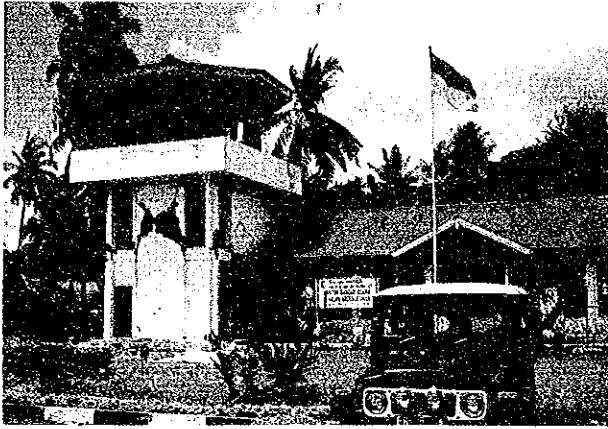


写真5.25 エンデ空港の管制塔の被害

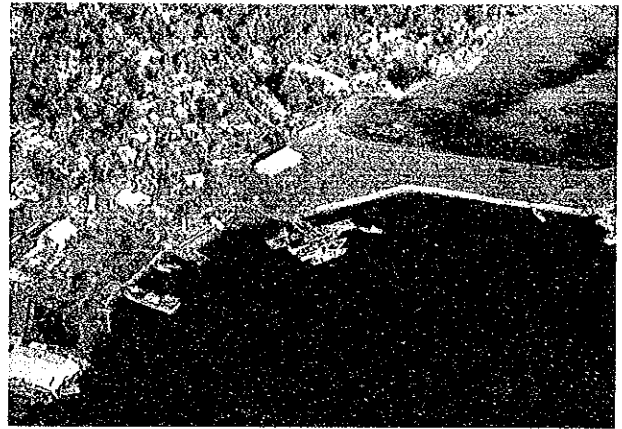


写真5.26 マウメレ港

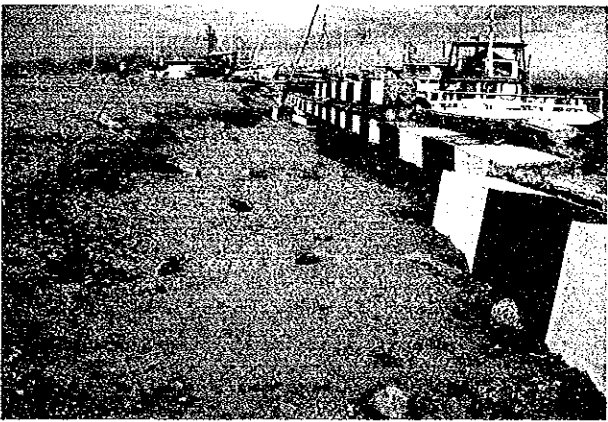


写真5.27 傾いた擁壁と背面盛土の沈下



写真5.28 埠頭エプロンの沈下と壁の破損(津波で陸地に運び上げられた大きな船と小さなボートが見える。)



写真5.29 新しい港の擁壁に生じた亀裂

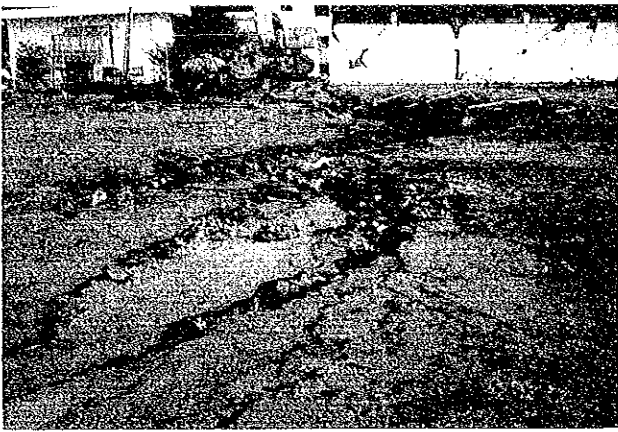


写真5.30 地盤の液状化による舗装面の沈下



写真5.31 地盤の液状化による舗装面の亀裂と沈下



写真5.32 マウメレ港にある建物の基礎の沈下



写真5.33 マウメレ港のゲート・ビルの沈下

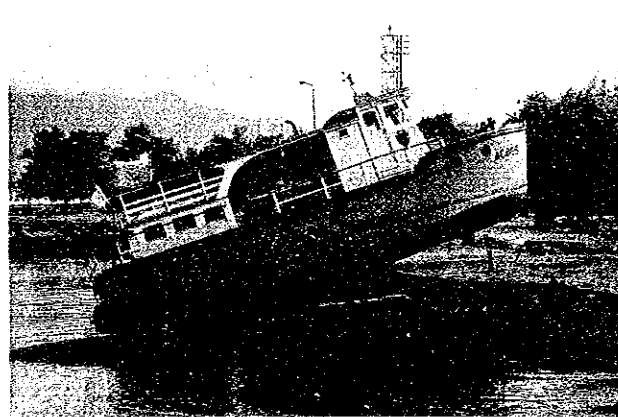


写真5.34 津波によって岸に乗り上げた船

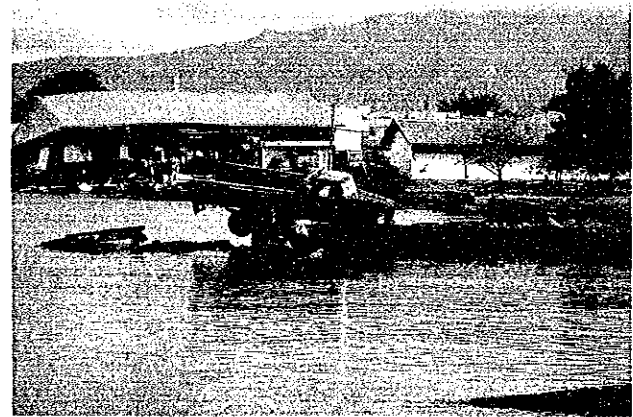


写真5.35 津波に押し流されたトラック





写真5.36 堰に沿ったコンクリートブロックが受けた損傷

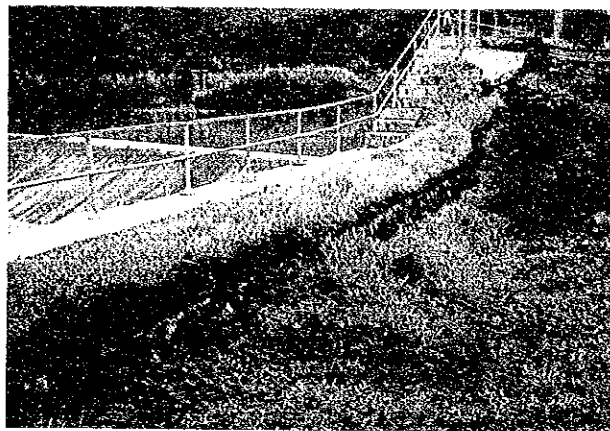


写真5.37 傾斜したパラペット壁と背面盛土の沈下

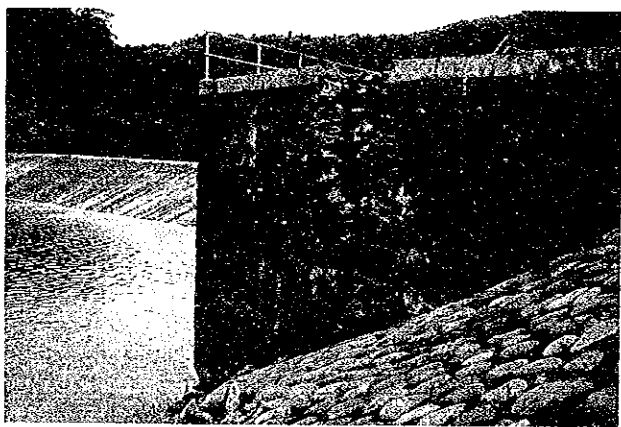


写真5.38 パラペット壁に生じた亀裂

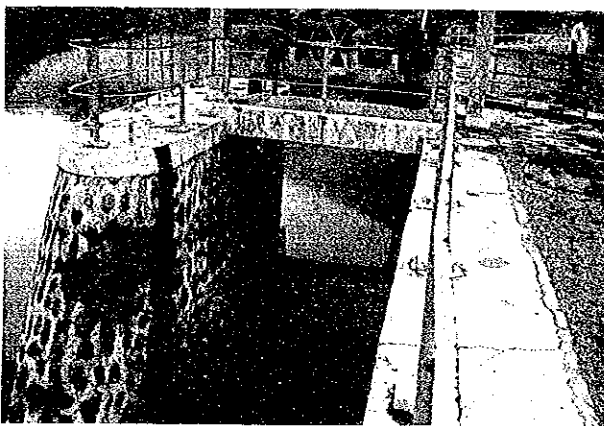


写真5.39 灌漑用水の取水塔の近くのパラペット壁に生じた亀裂



写真5.40 水門に生じた亀裂

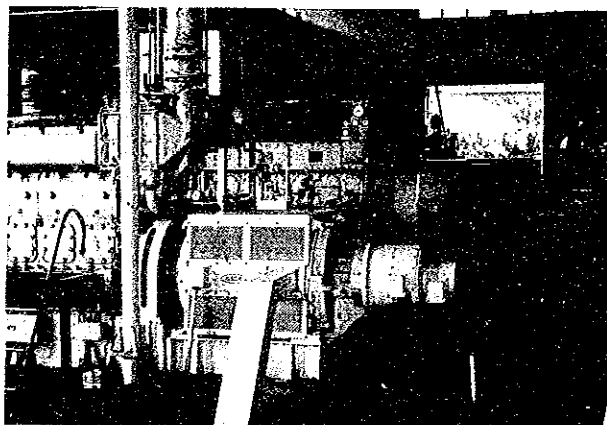


写真5.41 エンデのディーゼルエンジン発電機



写真5.4 2 水タンク車による緊急給水

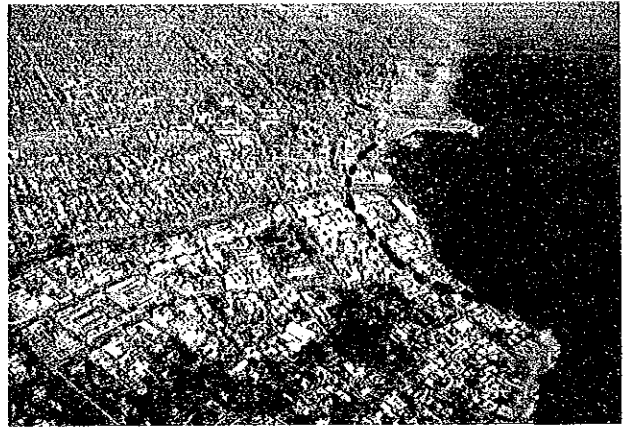


写真5.4 3 横方向の地面の残留移動と沈下(マウメレ市)



写真5.4 4 海岸に近い倉庫の前の広場の沈下



写真5.4 5 海岸線の沈下



写真5.4 6 海岸に沿って生じた亀裂(マウメレ市)



写真5.4 7 海岸に沿った舗装道路に生じた亀裂(マウメレ市)

## 6. 斜面崩壊(地すべり・斜面崩壊)と地盤の液状化

第6章では地すべり・斜面崩壊、地盤の液状化現象、及び地形学的変化について述べる。地すべり・斜面崩壊には種々の斜面の崩壊、例えば、地表の地すべり、崖崩れ、道路側面の斜面の崩壊も含める。

### 6.1 地理的環境

#### 6.1.1 フローレス島

フローレス島はインドネシアの東部に位置する。インドネシア諸島は、西から東に向かってスマトラ、チモール、ブルーなど多数の島から成り、これらは大スンダ列島、小スンダ列島と呼ばれる。

これらの島々の中でフローレス島は、南緯8~9°、東経120~123°に位置し、ジャカルタから東方約1,700kmにある。この島は、アジアプレートとインド-オーストラリアプレートの上に位置する。インド-オーストラリアプレートは、南からフローレス島の下にもぐり込む(図6.1)。

細長いフローレス島の中央部に多数の火山が帯状に並び、サンゴ礁と海岸線がフローレス島の外縁をなす。外洋に面する海底は、島から離れるにつれ急に深くなる。

これらの自然的な背景を基にして、長い期間をかけて二次的な景観が形成されてきた。山岳地帯には、やしの木などが森林を形成し、海岸線にそってマングローブの林が繁茂している。人々は、こういう自然環境とよく調和を保ちながら生活している。島の人口は、凡そ140万である。ここは西の島々と東の島々の人種の混ざるところであり、この島には9人種が住んでいる。最大の都市は、マウメレとエンデである。島の面積はおおよそ17,000km<sup>2</sup>である(写真6.1、図6.2 A、6.2 B)。

#### 6.1.2 地形及び地質

調査区域の地質は、石灰岩及び火山岩などの第三系及び第四系に属する岩石からなる。個々の火山は1個または複数の火口を持つ火山本体のほか、裾野を含む山地を伴う。山麓には火山性扇状地が広く発達している。火山が噴火すると大量の溶岩と火砕流及びその他の火山噴出物が周囲に流出する。

土地の起伏については、山岳地帯(ここでは火山地帯)の斜面は非常に急峻であるが、火山麓扇状地は傾斜が緩やかで波状に起伏をしており、エンデに近い山岳地帯は痩せ尾根からなる多数の尾根筋が羽毛状の形態の水系に流下する流域系を形成している。岩石の分解・運搬の営力が顕著であり、上流域は深く下刻まれて膨大な量の物質を下流の三角州に供給する。したがって三角州構成層は非常に若く軟い。この結果、マングローブ林が海岸線に沿って成育できる。マングローブは、非常に軟い土壌層及び多様な生物層を形成する。

山岳地帯では我々は、河川流路沿いには、大規模な人工改変の跡を見る事はなかった。この事は、フローレス島は、河川の形成過程が、未だに自然のままほぼ維持されていて、日本の例とは異なり、人の影響をあまり受け

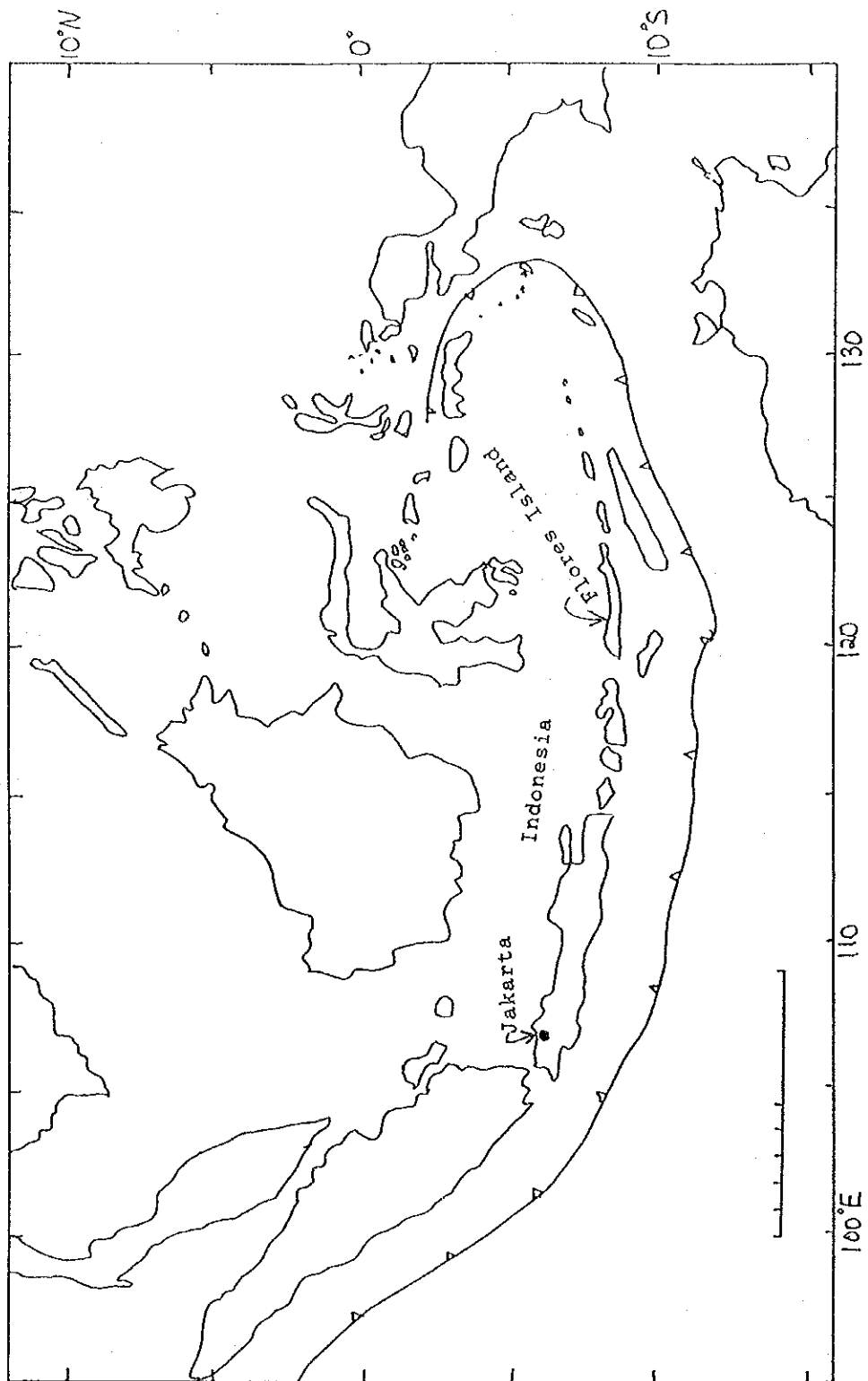


図 6.1 フローレス島の索引図

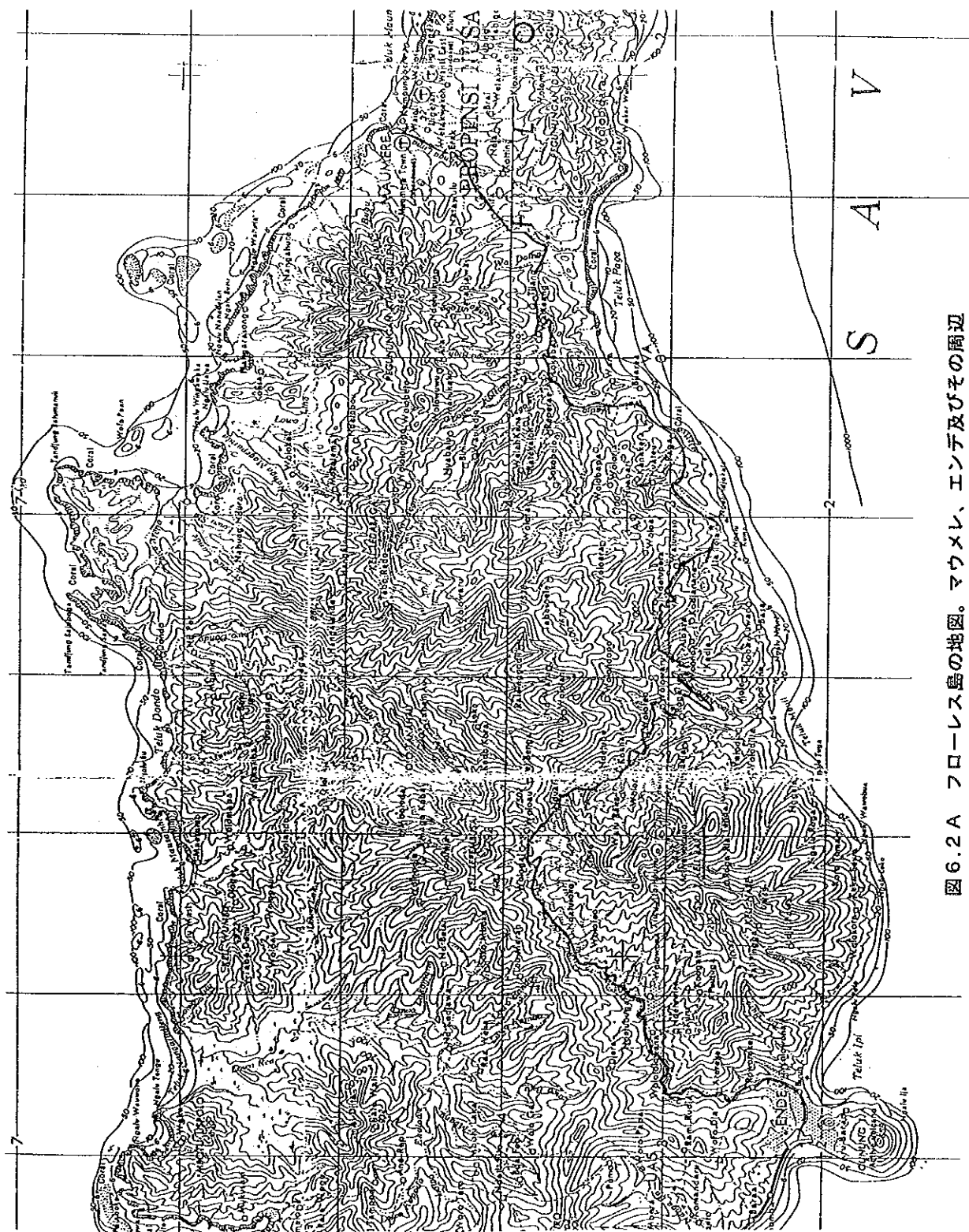


図 6.2 A フローレス島の地図。マウメレ、エンデ及びその周辺

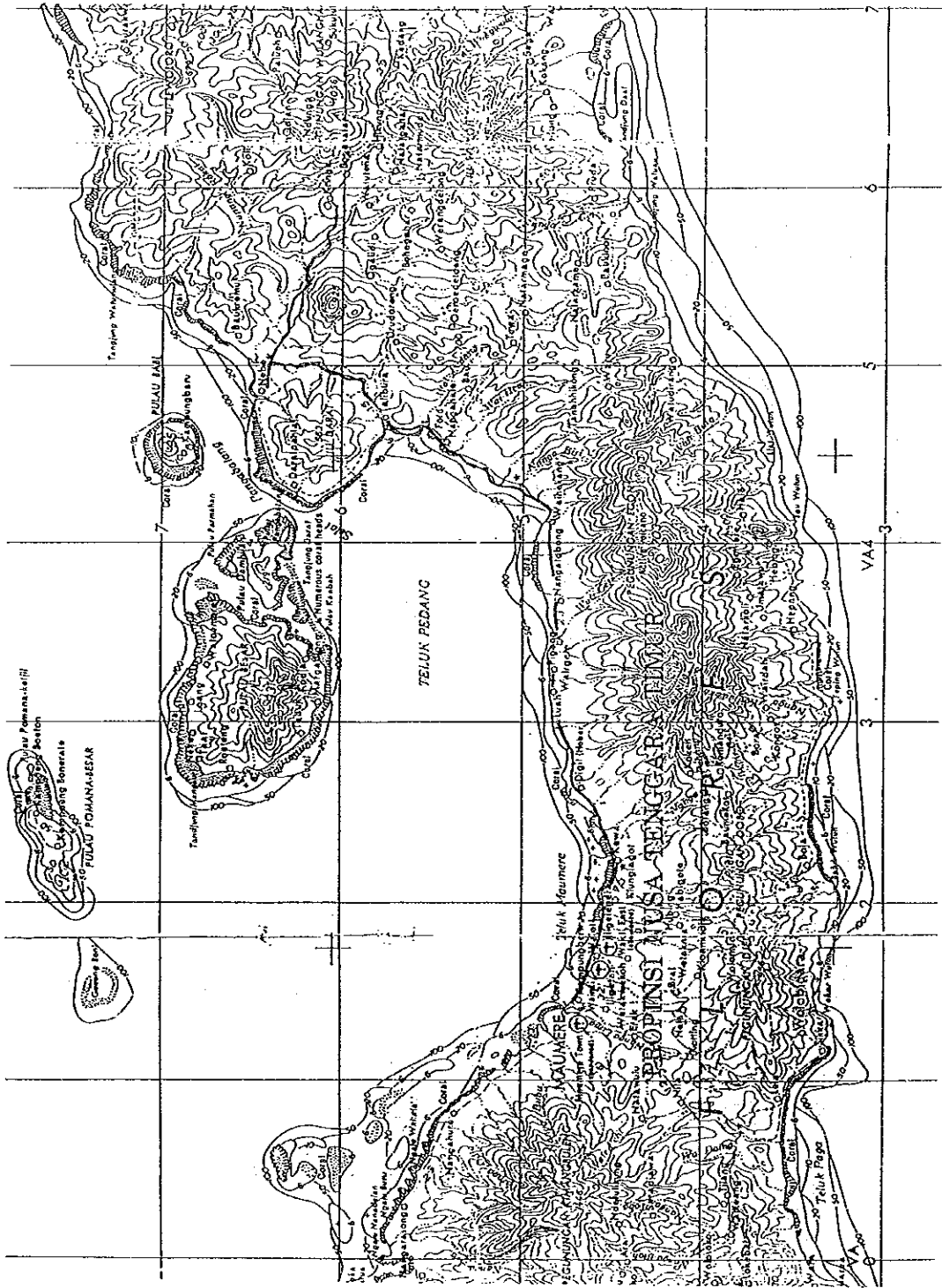


図 6.2 B フローレス島の地図。マウメレ、バビ及びその周辺

ていないということを示す。したがって、この地帯は自然の災害、例えば、地すべり、道路の崩壊、道路の両側の斜面崩壊、豪雨と地震動により惹起こされる土石流などに対して非常に弱い。

この地帯の地質、土地の起伏と高低の分布、地形的特徴、土壌分布、空中写真の判読解析を総合して次のことが明かとなった：

- 1) 山岳地帯は非常に風化の進んだ岩石で構成されているため、容易に風化する。
- 2) 河川流域には人工的な改変があまり加えられておらず、現在に至るまで自然の状態を保っている。
- 3) 調査地域は、自然災害に対して安全とは言えない状況にある。
- 4) 今回の地震による斜面の崩壊の発生地点は、日本に於ける同様の崩壊とほぼ同様の地形に発生している気候が、日本と異なるが、その崩壊機構は同様である。即ち、山地斜面の傾斜変換線の直下にその多くが発生している。

## 6.2 地盤の液状化現象

### 6.2.1 地盤の液状化現象

地盤の液状化現象は次のように説明できる：地層が地震動の衝撃を受ける(剪断力の繰り返し)。このため、地層中の土壌粒子間の間隙水圧が突然かつ急速に上昇し、有効応力が減少する。地層は、剪断強度を失う。即ち、地層が固体としての性質を失い、液体としての性質を持つようになる。この結果、比重の小さな物質は表面に浮上し、比重の大きな物質は液体化した地層の底部に沈む。図6.3 Aは液状化が起こる前の状態を示す。図6.3 Bは液状化が進行している時の状況を示し、図6.3 C液状化の後を示す。

一般に、地盤の液状化は、地形的に限られた場所で発生する。例えば、埋立地や地下水で飽和している砂質分の多い微地形の端等である。後者の例としては、自然堤防、河川を埋立てたところなどである。調査対象地域には、三角州、扇状地、沿岸沿いの低地(後浜)などがある。これらの場所は、単独に存在するものではなく、幾つかがまとまって分布している。

### 6.2.2 調査区域における液状化現象の概要

低地の多くの場所で液状化現象が発生した。殆どの場合、地震の衝撃が最初に来て、砂・水の噴出が続き、最後に津波が襲来した。津波の後に砂及び水が噴出した例は稀であった。

液状化の発生した場所は次のように分類される。

- (1) マウメレ市：マウメレ港及びその後背地の住宅街。
- (2) 沿岸地域：ウリンからマウメレ、ナンゴラクにいたる区域を含む。恐らく海岸線に沿った線状の区域よりも液状化した地域は広いと推定される。
- (3) バビ島：海岸の砂質微高地に広く発生した。

今回、地盤の液状化は、以前から、この分野の専門家たち(今回、日本から派遣された調査団ではない。)が地形

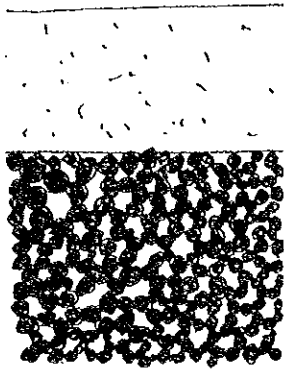


図 6.3 A 液状化が起こる前の地層

液状化が起こる前には、土壌は砂層でできていてこれが固粒構造をなしている。砂粒子は互いに砂粒子同志を支え合っている。それでもこの砂層は固体の性質を備えている。

砂層の孔隙率は細かい砂粒子、ないし中程度の大きさの砂粒子の場合は 30~40%程度である。

孔隙は地下水で満たされている。地表面は人工的に締め固められた層で覆われている。この地表層は埋め立てのために土を投入して締め固めた層であるか、または人の日常の歩行などで踏み固められた層である。

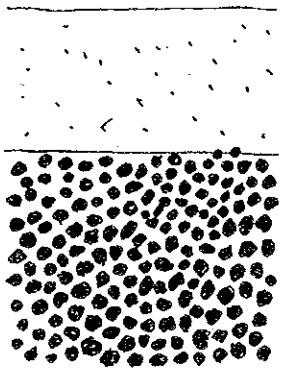


図 6.3 B 地盤の液状化が進行中の地層

地震がこの層に繰り返し衝撃を与える。すると短時間のうちにゆるい層は破壊されて砂粒子が地下水の中で浮遊する。すなわち固体としての性質が失われて地層は液体の性質を帯びる。

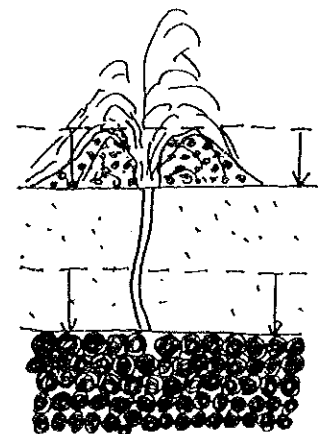


図 6.3 C 地盤の液状化後の地層

地震の衝撃により、締め固められた地表層に亀裂が発生する。地下水が亀裂から表面に出て来て噴出する。噴出する水には砂が混じる。この結果、地表面が沈み、水が土と一緒に吹き出る。水に混じる土砂の比重が小さければ上方に(中空の埋設管など水路など) 浮上する。比重が大きければ土砂は下方に(たとえば電信柱の底の方へ) 沈む。家屋の基礎で液状化が起こるとその家屋は簡単に傾く。

図 6.3 地盤の液状化現象



学的な観点に基づき、以前から予知していた地形で発生した。但し、海岸線から離れた浜の高い場所（後浜）では液状化は発生していない。

### 6.2.3 マウメレ港における地盤の水平移動

マウメレ港の港湾施設及びその周辺区域で地盤の液状化現象が発生した。舗装されていた場所も液状化により、破壊された(写真6.3～6.5)。海岸に沿った埠頭、棧橋周辺の荷揚場にある倉庫、魚市場のある場所等では水と土が一緒になって噴射したため、地表面が凡そ1m陥没し、穴が形成された。マウメレ市の一部は土地の陥没により浸水した(写真6.3)。

液状化した砂は垂直方向に移動しただけでなく、海に向かって水平方向にも移動した(川島一彦氏談)。筆者の観察でも港湾施設の舗装面から噴出した液状化した砂の分量は土地の陥没及び港区域の家屋と施設の傾斜を惹起こすに足るだけの分量には達していなかった。しかし、液状化した砂が水平方向に移動したとすれば現場の陥没及び傾斜を十分に説明できる(写真6.7)。マウメレ港区域の一部では施設の建物の水平移動が起こった可能性がある。マウメレ付近で噴射した砂は灰色の砂であって、これが、水で飽和した地層として存在していたものである(写真6.8)。

地震による地盤の液状化によって引き起こされた地盤の水平移動の例は日本の信濃川にかかる橋の周辺にも見られる。これは1964年の地震で発生した現象である(安田ほか、建設省国土地理院の空中写真により、水平移動の跡は筆者も1992年に確認済である)。また、秋田県若美町では1983年の地震により、水田の水平移動量が空中写真測量により測定されている(国土地理院第1課：1984)。

### 6.2.4 マウメレ市における液状化による家屋の損壊

マウメレ港の郊外の住宅街では、地震動と液状化により、多数の家屋が破壊された(写真6.9)。家屋内部で液状化した砂が噴出して、建物に亀裂が発生した(写真6.10)。このような被害を受けた家屋は住めなくなった。この付近で砂の噴出による様々な規模の噴砂丘が形成された。乾燥した土地では地下水が噴出してその分地表面を陥没させた。道路には多数の細かく、長い亀裂が生じた。

マウメレ市は非常に軟弱な地盤の上にあり、地表面は人が住むため、人工的に固められている。地形学的には、マウメレ市域は過去の河川敷と三角州を埋め立てた埋立地に分類される。液状化はこのような地形に発生する。

### 6.2.5 沿岸地域とウリンにおける地盤の液状化

液状化を起こした地点の多くは海岸線に近いところであった。ウリンは砂州上に形成された市街地であり、地表面は人々の住むことが出来るように踏固められている。ウリンでは地盤の液状化は住宅地域に発生した。水が噴出したが、その温度はかなり高かった(浅層地下水が地中であたためられたものである)。

海岸線の他の部分では、フロレス海に面した長い海岸線に沿って、植生に覆われている砂浜の高い部分（後浜）で、或いは住宅の庭等の多数の地点で液状化が発生した。但し、液状化の痕跡は僅かに残っているだけであった。なぜならば噴出した砂は津波によって洗い流されてしまったからである。海岸に近いところでは液状化の跡に少

量の砂が残っているのが認められたが、詳細は不明である。

#### 6.2.6 バビ島における地盤の液状化

バビ島では砂質及び地形の多数の地点で液状化現象が発生した。噴砂丘の大半は津波で洗い流されてしまったが、一部は、原型を留めている(写真6.12～14)。

液状化の痕跡の多くは津波により浸水した村落とその周辺に見られた。バビ島の東部の村落では、津波により破壊されずに完全な原型を保っていた噴砂丘の多くは流失した噴砂丘の跡とほぼ同じ地区に発見された。この現象は次の事を意味する：1)幾つかの地点で、地震動の後、津波の来襲前に液状化が起こった。2)別の地点では津波の最中または津波の後、または、地震動後に液状化が発生した。砂州では、噴砂丘は白い巻貝と様々な種類のサングの破片からなる。

バビ島では地盤の液状化は砂州上の家々の庭の部分、住宅の床下(写真6.15)、及び海面からの高さが1～3mの土地で草の生えたところで起こった。しかもこれらの場所は全て津波によって冠水した(写真6.14)。液状化の起こった箇所がグループとしてまとまっているところでは、液状化の地点は直線状の長くて細い亀裂に沿っており、住宅の有無に関係なく発生するが、単独の液状化は住宅等の床下に発生した(写真6.12～15)。

#### 6.2.7 地盤の液状化現象の特性

液状化の発生箇所は次の3つに分類される：(1)マウメレ港と背後の住宅区域を含むマウメレ区域；(2)ウリンからマウメレ、ナンゴラクを含む沿岸区域；恐らく海岸に沿って更に広い区域を含むと見られる；(3)バビ島。

今回、地盤の液状化については以前から専門家たちが地形学的観点から予告していた地形で発生したが、海岸線から離れた浜の高い地点（後浜）では液状化は発生しなかった。

調査対象地域全域にわたって次のような条件を備えた場所で発生した。土地の標高が約1mないし3mの所；人の歩行で踏固められた場所、及び埋立地。このような場所は、地表面は固められているが、下位の地層は地下水で飽和した締っていない砂層で構成される。

### 6.3 地すべり・斜面崩壊

#### 6.3.1 概要

本章の初めに説述べたように、本報告書においては、地すべりの説明には各種の斜面崩壊の説明を含む。ここにいう斜面崩壊は、いわゆる地すべり、崖崩れはもとより、表層地盤の崩壊、山岳地帯における大規模な崩壊、道路側面の斜面の崩壊等を含む。

大規模な地震はしばしば道路側面の斜面の崩壊を惹起す。今回の地震は主に山岳地帯で幾つかの型の地すべり・斜面崩壊を多数惹き起こした。丘陵地帯でも道路斜面の崩壊が発生した。マウメレからエンデにかけての山岳地帯では地すべり・斜面崩壊が集中的に発生した。これらの地すべり・斜面崩壊の多くは道路網に無関係に発生したものである。

筆者は軍用ヘリコプターにより斜面の崩壊と地すべりの発生状況を調査した。対象地域は、山岳地帯あり、道路交通が途絶しており、しかも迂回路が無いため地上ルートを通って地すべり・斜面崩壊現場に到達することができなかったからである。マウメレ市以東ネベまでは地上調査した。

筆者は地すべりと斜面崩壊の分布とそれらの特性を地質及び地形学的方法に基づき調査した。その際、調査団メンバー自身が撮影した斜め航空写真を用いた。日本の国土地理院の方法は、集中豪雨によって惹起こされる道路側面の斜面崩壊を予測するのに使われている。しかし、多くの場合、この方法は、地震による道路側面の斜面崩壊対策を考えるのに利用できる(国土地理院：1976)。

今回の調査結果により、数百箇所以上で斜面崩壊が起こったことが明らかとなった。斜面の崩壊は、豪雨によるものと、地震によるものがある。豪雨によるものは、斜面の傾斜と斜面形、集水面積などが重要であり、一方、地震によるものについては、傾斜が非常に重要である(江川1979)。江川が取りまとめているように谷頭斜面と谷壁斜面の性質の違いから、水の集る谷頭斜面は豪雨により崩し易いのに対し、急傾斜で下部に谷の下刻作用や側刻作用により新しい開析前線が発生していることが多い谷壁斜面では、相対的に地震時に崩壊しやすい。特に、急傾斜地でしかも傾斜変換線の形成されている地点では斜面が不安定であり、特に崩壊しやすい。

今回の地震による山岳地帯の崩壊ではこの事がそのまま適用できる事例が多数存在した。尾根両側の傾斜変換線の直下、道路側面の切土斜面の2種類の斜面では不安定になり、多数の崩壊が発生した。このことは、上記の崩壊の規則性が、湿潤温帯である日本の事例で解明されたものであるが、サバンナ気候であるフロレス島において今回、この考え方をそのまま適用できることが判明した。

### 6.3.2 マウメレから東の海岸沿いのルートにおける道路側面の斜面の崩壊

道路側面の斜面の崩壊は、マウメレから東に向かう国道の数箇所が発生した。さらにマウメレ近辺では地表面が暖く波状に起伏する火山麓扇状地の丘陵地帯でも道路側面の斜面の崩壊が発生した(写真6.17～23)。これらの現場では、道路交通が一時的に復旧したが、調査期間中には本格的な復旧には至らなかった。これらの現場では道路側面の斜面崩壊は切土斜面または盛土斜面で発生した。

これらの地域の地質は隆起サンゴ礁に由来する第三紀石灰岩、第三紀火山岩類及び火砕流れとテフラなどの第四紀の火山麓扇状地からなる。調査地域全域を通じて地質は非常に脆い。災害に対する構造物は橋梁の周辺に見られるのみである。

マウメレから東の海岸沿いの国道では、地震の後数日間、道路全域が通行止めとなった。我々の調査時点では、交通は部分的に可能であったが、復旧は応急段階に留っていた。この国道は、被災地区住民にとって重要であり、完全に迅速な復旧が必要である。

数多くの地点で道路舗装面に亀裂が発生し、数箇所の崩壊が発生した(写真6.21)。火砕流及び石灰岩からなる地域では崩壊が少なかった。そのうちの1ヶ所で、過去に繰返して崩壊が発生した事を示す証拠が確認された。

### 6.3.3 マウメレからエンデにいたる山岳地帯における地すべり・斜面崩壊

マウメレからエンデまで山岳地帯を貫いて1本の国道が通じている。このルートは数十箇所以上で交通が遮断された。迂回路がないため、奥の方の被害箇所には到達することが出来ず、道路復旧チーム(地元の)はマウメレ

とエンデの両方から1カ所ずつ工事を進めなければならなかった(写真6.40)。このため、調査チームはヘリコプターを使って上空から全地域の特徴を調査した。斜面の崩壊は数百箇所に達していた(山岳地帯における斜面の崩壊も含む)。この地域での震度は5ないし6であった。

ヘリコプターを使って調査した。しかし、これはヘリコプターから観察した結果に基づくもので予備的な調査であり、包括的な観察に過ぎない。斜面の崩壊の種々の型を一層効果的に明らかにしようとする場合には航空写真で判読をするという方法が可能である。

この地域は火山地域であり、山地における定高性の丘陵地形、前輪廻の種々の型の浸食による地形と大規模で複雑な火山麓状地からなるのが特徴である。水系は、山地においては、羽毛状、樹枝状、放射状型をなす。

マウメレからエンデ迄の山岳地帯では、様々な型の地すべりと道路側面の斜面の崩壊が発生した。マウメレからほぼ南に向かうルート(チラン近辺)の一部の崩壊箇所及び、エンデから内陸に向かう短距離区間で応急的な復旧がなされていた。その他の道路の不通区間は全く復旧していなかった。

今回の地震は山地斜面と、道路側面の斜面で、多様で多数の地すべり・斜面崩壊を惹き起こした。これらの地すべり・斜面崩壊は、2種類に分類できる。1つは新しく発生した地すべり・斜面崩壊であり、もう1つは同一地点で繰り返し発生している地すべり・斜面崩壊である。

#### 6.3.4 地すべり・斜面崩壊と道路側面の斜面の崩壊

地すべり・斜面崩壊と道路斜面の崩壊は次のように分類できる。2)~7)は道路の立地とは無関係である。

- 1) 道路側面の斜面の崩壊
- 2) 山地の尾根の傾斜変換線(斜面の傾斜角度が変化する線)
- 3) 傾斜変換線の直下で発生した表層崩壊
- 4) 大規模崩壊。下流域に赤茶色(ラテライト)の土石流堆積物の尾を引いている
- 5) 頭部と尾部が明瞭に認められる小規模な崩壊
- 6) 崩壊を起こした斜面の上側に多数の亀裂を伴う地すべり
- 7) 岩壁の崩壊

##### (1) 道路側面の斜面の崩壊

マウメレからエンデの間の道路の側面では、多数の小規模な斜面崩壊が発生した(写真6.36~42)。一部は、復旧したが、マウメレとエンデ間約1/3は調査時点では復旧工事中であった。この型の崩壊はさらに3種類に区分される。

- 1) 道路の山側斜面の崩壊(図6.4B)
- 2) 道路の山側斜面と谷側斜面の両方で発生した斜面崩壊で、崩壊土砂が道路を横断したもの(図6.4C)。

3) 道路の谷側斜面の崩壊(図6.4B)

また、道路の斜面崩壊は、更に2分類できる。

4) 切土と盛土で構成されている道路斜面が地震によって崩壊した。上記の1)、2)、及び3)はこの区分に該当する。

5) 地形学的及び地質学的に見て斜面崩壊は特定の地点で起こりやすい。

このような崩壊多発地点を通る道路が被害を受け易いのは当然である。調査区域において、このような場所が多数認められた。グループ5)は、空中写真を利用して調査した。この方法により、崩壊地点の大部分について、写真判読によりそれらが、まだ活動中であるのか、或いは既に活動停止したものであるかについて系統的に解明することができた。

(2)と(3) 山の斜面の表面崩壊

道路とは無関係な場所で、山地斜面で多数の崩壊が発生した。これらの崩壊は、山地尾根のすぐわきに分布する斜面の傾斜変換線の直下で発生した(写真6.25~27)。多くの場合、地表面が崩壊した後に広い面積にわたり赤土層(ラテライト)が露出した。このタイプの崩壊は繰返し発生する型であり、定高性山地における羽毛状水系の急斜面において惹起こされる。

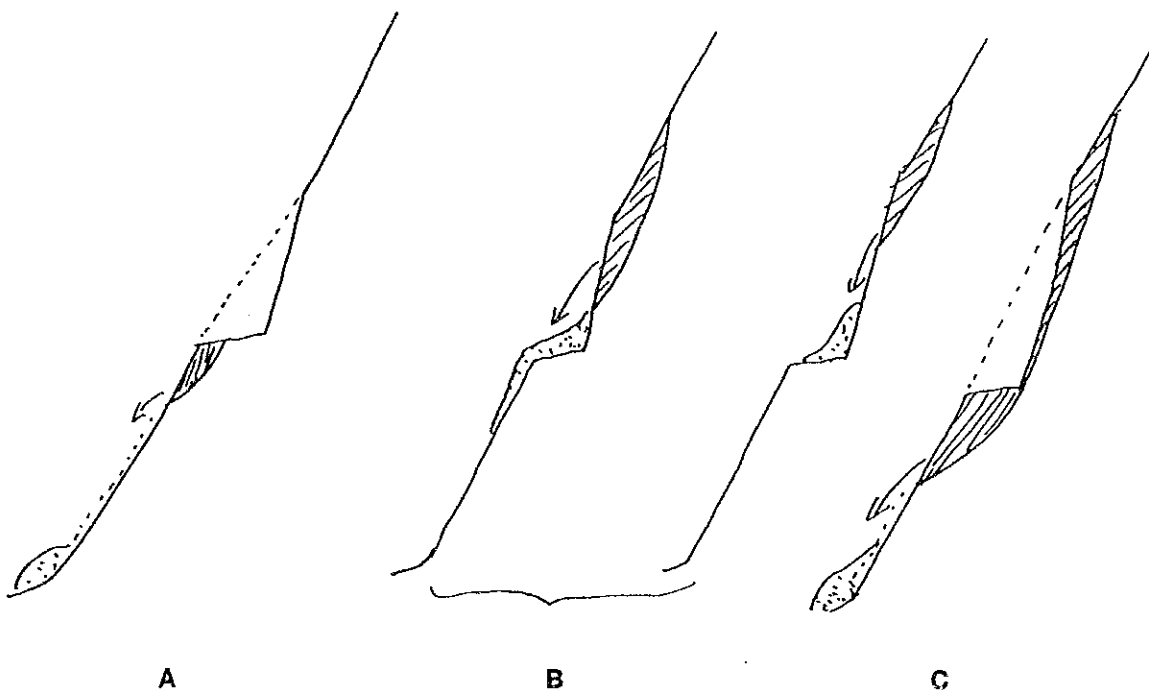
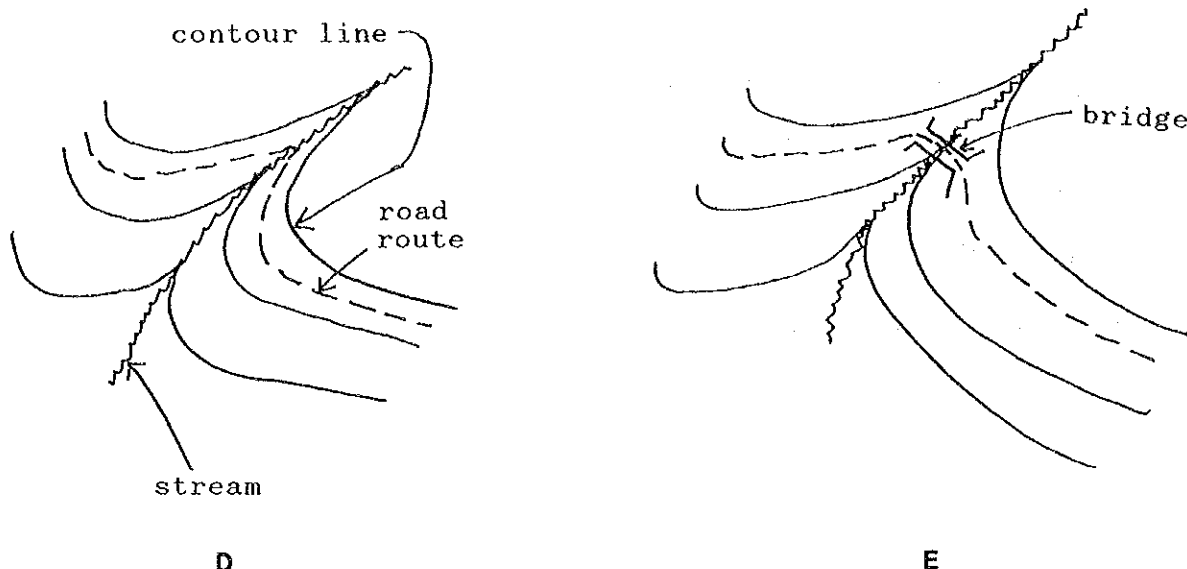


図6.4 道路側面の斜面の崩壊



D図の場合、1本の溪流が山を流れ下り、道路がこの谷を横切っている。橋はかかっていないので岩石や土砂の流れ及び洪水の水はこの道路を直撃する。今回の地震で起こった現象はこうして発生した。地震の発生前に橋が建設されていれば、岩石や土砂、あるいは洪水の水は橋の下をくぐって通過したに違いない。

自然災害に対する備えは全く存在しない。したがってこういう場所ではいろいろな自然災害による被害を受けやすい。

この山岳地帯に多くの橋がかけられていれば、道路の多くは破壊されることなく原形を維持したことはほぼまちがいない。

図 6.5 谷と道路が交差する箇所で発生した被害

(4) 深層大規模崩壊

深くて広範囲に及ぶ崩壊は火山の周辺で発生した。頂上に3個の河口をもつ活火山が存在する。この火山を取巻く地域には、そこから供給される物質が厚く堆積している。この型の崩壊は崩壊面積が広く、長い尾(流送域堆積及び域)を伴う。(写真6.24)。

(5) 樹枝状水系に発生する単発の崩壊

この型の地すべり・崩壊は、尾根の両側の急峻な斜面に発生する。調査地域では樹枝状水系の0次流であった。この型の地すべり・崩壊は崩壊頭部が小さく、尾(流送部)が長く、細い(写真6.24)。

(6) 緩慢な地すべり

この型の地すべりは傾斜の緩やかな尾根の頂上付近で発生した(写真6.31)。地すべりを起こした部分の上部には多数の亀裂が認められる。これは緩慢な地すべりの一種である(日本語でいう極く一般的な地

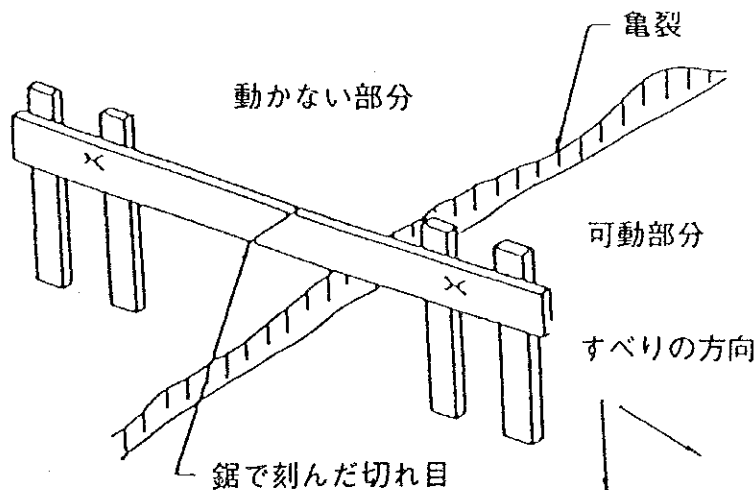
すべりの語のイメージ)。“スロープステーク”(図6.6)がこの型の地すべりの動き出すのが間近に迫っているかどうかの監視に利用できる。

#### (7) 岸壁の崩壊

岩の多い山地斜面では岸壁が崩壊した。垂直に切り立った崖の直下には堆積物が形成されている(写真6.3.3)。

#### 6.3.5 地すべり・斜面崩壊の特徴

- (1) 今回の地すべり・崩壊は、サバンナ気候下の山地において地震動により斜面が数百箇所において崩壊したものである。これらの崩壊は、湿潤温帯である日本における大地震による斜面の崩壊と同じである。傾斜の急な地点、下方に傾斜変換線の形成されている不安定斜面で多数の崩壊が発生した。従って、地形学的に、発生しやすい地点で発生していると言える。
- (2) マウメレとエンデを結ぶ道路は住民にとって重要な道路であり、何時でも使用できる状態になければならない。道路が不通になった時には不通箇所は数日ないし1週間のうちに開通させる必要がある。この道路は、自然発生的に長い年月を経て作られたものである。一般に道路を造る時には、地質学的、地形学的な特徴—土地条件—を明らかにして道路の両側の斜面の傾斜角度を決定するとともに、岩石が風



地すべりを定量的に把握するためにこのスロープステークを設置する。これを地すべりによって生じた地割れの上に、動かない部分と可動部分を地割れの片側ずつにかかるとように設置する。水平板(1)は鋸切で2つに分割されている。可動部分が動けば亀裂が広がっているということを意味する。緊急処置を構ずるべき“事項”を表1にまとめて示す。

図6.6 スロープステーク

表1 評価のための標準的な値（日本の場合）

表1. 評価のための標準的な値(日本の場合)

		対応する区分			
	計器	注意	警報	避難	立入禁止
標準値	伸び計	1mm/日超え	10mm/日超え	・2時間以上にわたって2mm/h超え ・1mm/h超え	10mm/h超えが立入禁止の基準。専門家の意見によって最終決定。
	値の例	10秒/10日超え 100μ超え(累積値)	—	—	—
基本的な 対応方向	土地の傾斜計	1日1回、監視結果を通報する。	1000μ(累積値)	—	—
	パイプの歪みゲージ	1日1回、監視結果を通報する。	※監視体制を強化 ※避難準備	※避難開始	※地帯りの危険箇所に住民を近づけない。 必要などときは住民は一時的に自宅に戻ることが出来る。
主な仕事	地帯り監視(県の建設局)	※市、町、村に通報する。 ※ハットルール ※検査システムをチェック ※システムによる監視(1日1回) ※情報が伝わっていることを確認する。	※下記のことを実行し、体制を強化する。 ※24時間休みない監視 ※移動しているブロックを確認し、そのブロック拡大の可能性を調べる。危険区域であると予測されている場所を調べる。	※下記のことを実行し、体制を強化する。	※下記のことを実行し、体制を強化する。 ※立入禁止 ※生命安全を最優先とする。
	市、町、村ごとの災害予防工事	※住民、道路当局、鉄道当局その他に情報を提供する。 ※警報システムの動作を確認する。	※情報提供 ※避難準備 ※24時間休みない監視	※災害予防本部の責任者を決める。 ※避難の可否を判定し、勧告する。 ※避難の案内責任者を決める。 ※避難先の場所を用意する。	※立入禁止 ※生命安全を最優先とする。
注記	観測値が標準値より小さいときは、我々は対応する区分の仕事の取消しの可否を検討する。そのあと市、町、村当局が最終的に判定して決定内容を住民に通報する。				



化しているか、或いは、十分に地盤として堅牢かどうかなどを明らかにしなければならない。

- (3) 今回の調査でわれわれはこの道路に沿ってヘリコプターで飛行しただけであったので、亀裂をともなった地すべりを2、3見ただけであった。もしそういう地すべりが現在も進行中であるならば、“スロープステーク”とという簡単な道具を用いて地すべりの動きを監視することが是非とも必要である。
- (4) 自然災害に対する土地の特徴を判読するために空中写真を土木技術者や計画担当者が使用するのは最も効率的な方法である。この理由でこのような目的のために空中写真はもっと利用されるべきである。国土地理院の方法はこの目的のために利用できる

#### 6.4 地形変化

地震によりひきおこされた地形変化には地盤変動、地震動による地すべり、地割れ、津波による侵食・堆積作用などがある。

我々の調査では、被災地域全域を調査したわけではなく、また調査そのものも詳細さを欠いていたので、我々は地殻変動を明らかにする事が出来なかった。今回の地震は大規模な地震に属し、隆起や沈降などの土地の変動が発生したと推定するのが自然である。

多くの地点で直線状の地割れが生じた。これらは長く、しかも、細い地割れである。一部の地割れは海岸の後浜にも発生した。それらは長さがおよそ100m、深さが1m、幅が1mほどであった。地割れの走る方向は海岸線に平行であった(写真6.4.4)。

マウメレ市では、地盤の液状化が起こらなかった場所でも多数の地割れが発生した。マウメレ港とその周辺地域の地盤の変位及び沈下と東部のそれとは互に独立した現象であり、局部的なものである。しかし、共通して変位は海の方角に向っていた。

この地域全域に当り、地割れは海岸線に平行に発生し、しかも地割れによる地盤の変位は海の方角に向っていた。今回の調査では、残念なことに定期的な調査を実施しなかった。

津波による侵食と堆積に付いては、我々は、詳細を知ることができなかった。しかしバビ島では海岸線に沿った砂州が深さ1m、幅20m、かつ相当な長さにわたって侵食され、洗掘、流失した(写真6.4.3)。津波の破壊力は、強大であり、多数の施設と住宅を破壊した。しかし、陸上の地形は著しくは侵食されなかった。

#### 6.5 全体的な説明

- (1) この地震の特徴は、次の通りである。：1)大規模地震であった。2)大きな津波が発生した。3)30,000棟の建物が破壊された。4)山地で多数の斜面崩壊が発生した。5)2,000人以上が命を失い、そのうち1,000人は家屋の倒壊により、残り1,000人は津波による。