

4.5 提言

地震に対してより安全性の高い煉瓦建築を造る対策として、現在よりも格段に改良された仕組みが不可欠である。とくに面外で煉瓦壁構造が崩壊するのを防ぐに足る地震強度を実現するための工夫が必要である。

このような仕組の開発を始めるには下記のような項目が効果的であろう。

- a) 基礎構造の回転抵抗を高めること。
- b) 煉瓦構造が低層建築物であるかぎり、煉瓦壁の面内剪断力は今回の地震と同じ程度の地震については充分であろう。しかし面外曲げ抵抗力は非常に小さい。鉄筋コンクリート構造、または鉄筋・ワイヤ・竹などを用いるプレストレスを壁に用い、コンクリート基礎を強化することが必要である。補強材料としてシッカ県で入手の容易な竹を使うときは、竹のヤング率と引張強さがそれぞれ $1.25\sim 1.55 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、 $1700\sim 2400 \text{ kg/cm}^2$ であるから建築施工の際に適切に使えば竹は壁面構造を強化するのにすこぶる有効である。地元住民向けの詳細な建築マニュアルを作るときは、各種の実験検証結果をもとにすべきである。そしてその検証はバンドンにある公共事業省の居住環境研究所が計画し、実施すべきである。



写真4.1 エンデ空港の煉瓦建物。無傷



写真4.2 エンデ空港の煉瓦建物。側壁上部が落下した。

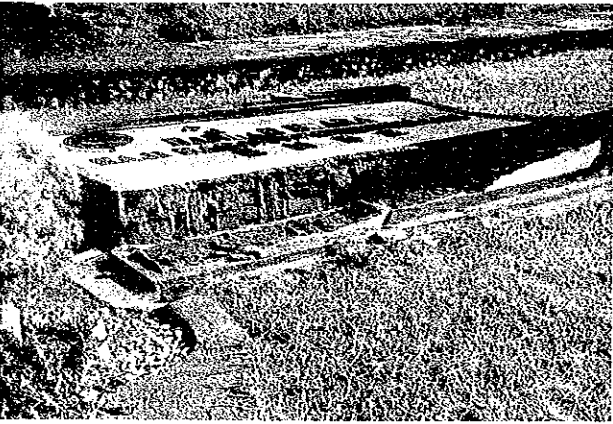


写真4.3 空港の名を印した銘板が倒れた。鉄筋が入っていないかった。

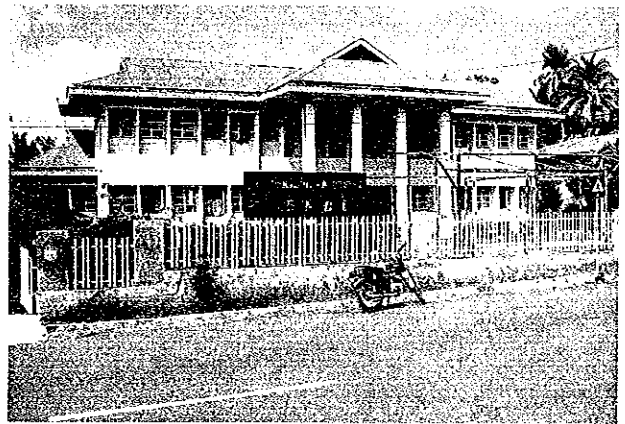


写真4.4 エンデ市庁舎。大きな被害を受けて層間変形が10cmほど横すべりを起こした。



写真4.5 エンデ市庁舎。クローズアップ写真。

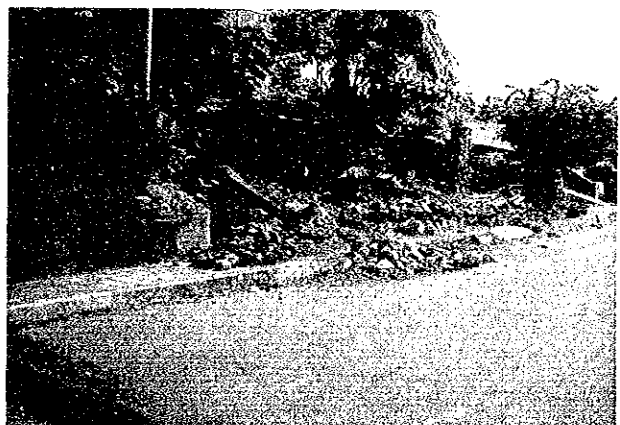


写真4.6 倒壊した擁壁の一例、エンデ市にて。

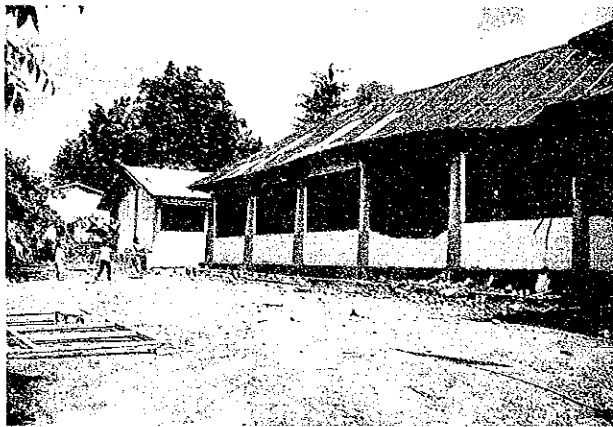


写真4.7 大きな被害を受けた小学校の建物。屋根、木製梁、煉瓦構造、柱、鉄筋コンクリートなどが被害を受けた。

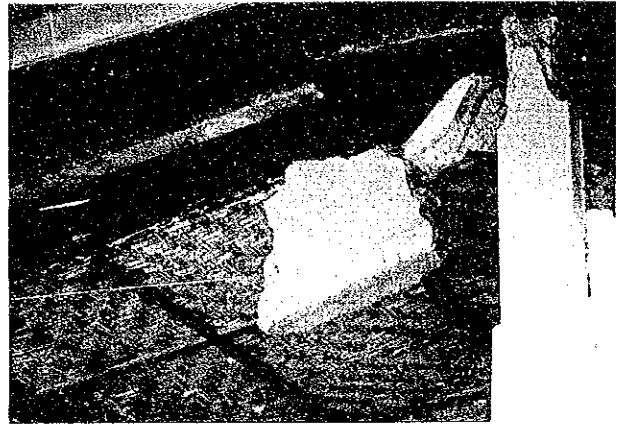


写真4.8 この小学校の建物の一部のクローズアップ写真。柱頭部と天井。



写真4.9 アドベで造った平屋住宅。大きな被害を受けている。



写真4.10 公共事業省の支局。一部が倒壊した。

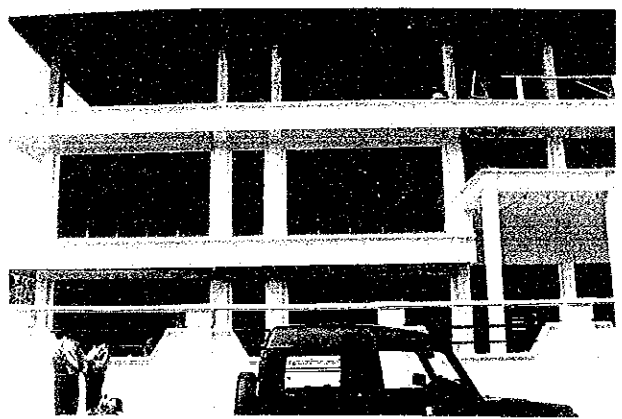


写真4.11 鉄筋コンクリート3階建て。建築途中であったが、被害は軽微であった。

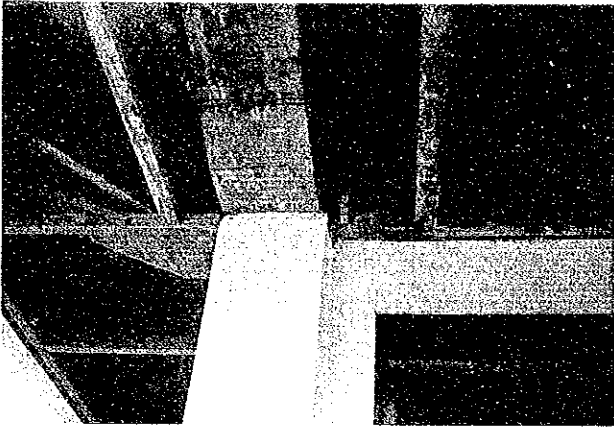


写真4.12 上記と同じ建物。最上階の梁と柱の接合部のクローズアップ写真。

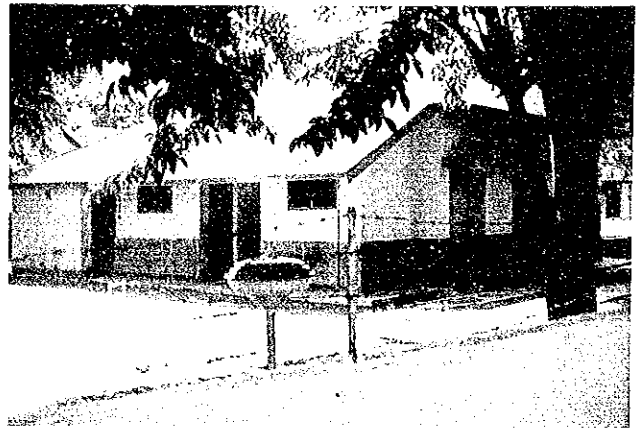


写真4.13 軽度の被害を受けた煉瓦造りの住宅の一例



写真4.14 中程度の被害を受けた煉瓦造りの教会



写真4.15 倒壊した鉄筋コンクリート建物



写真4.16 3階建ての鉄筋コンクリートフレーム+煉瓦壁建物。倒壊した。



写真4.17 エンデの集会場。側壁が倒壊した。

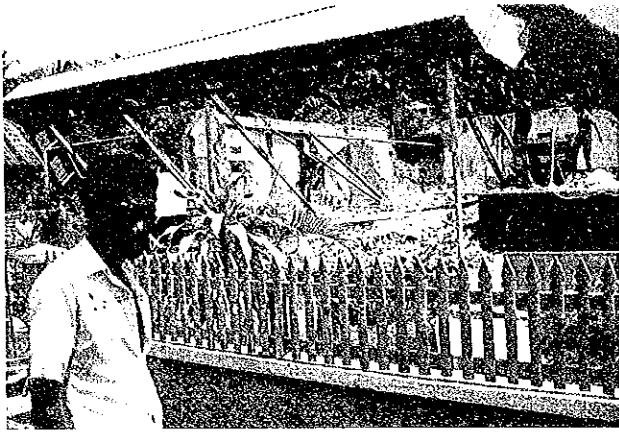


写真4.18 煉瓦壁建物の典型的被害パターン。完全な崩壊。



写真4.19 煉瓦壁建物の典型的被害パターン。完全な崩壊。

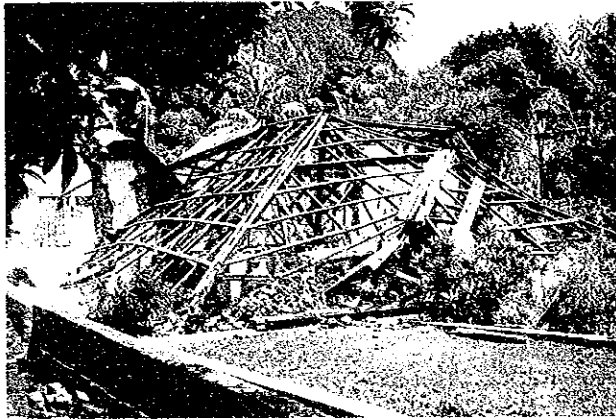


写真4.20 倒壊した煉瓦造り住宅。木製屋根材だけが辛うじて認められる。

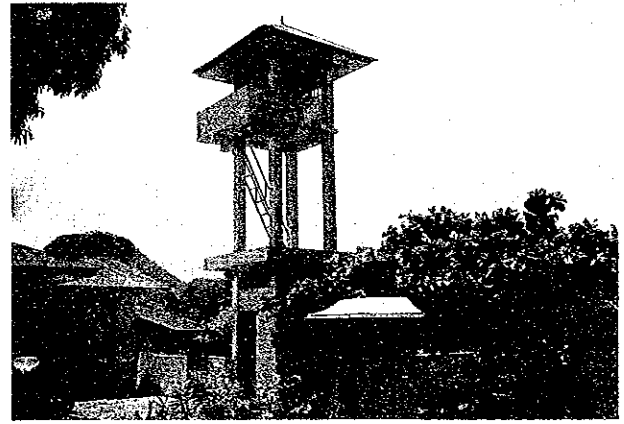


写真4.21 鉄筋コンクリート塔建築。軽微な被害で済んだ。



写真4.22 上記と同じ形式の鉄筋コンクリート塔



写真4.23 鉄線補強コンクリート彫像。倒れた。

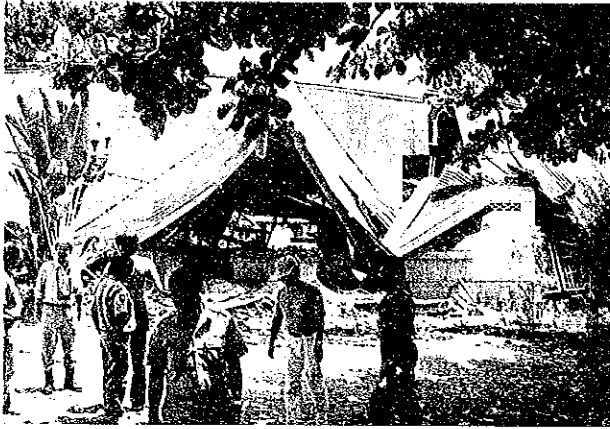


写真4.24 倒壊したエンデ市の修道院

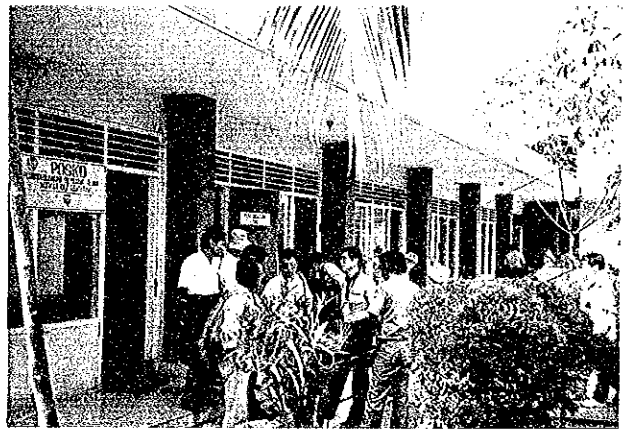


写真4.25 ベースキャンプの建物。
鉄筋コンクリート造。

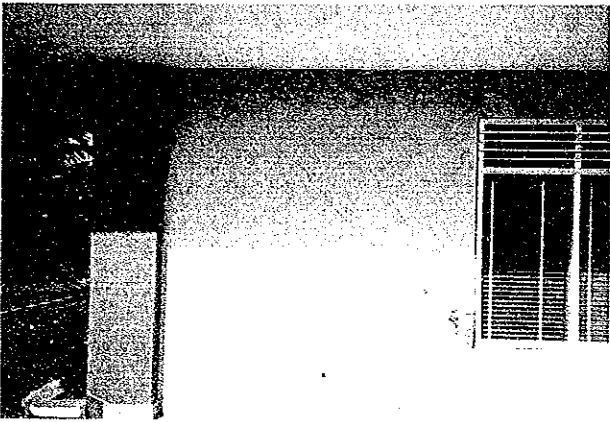


写真4.26 同じ建物。斜めに走る剪断亀裂が認められる。



写真4.27 津波によって崩壊した住宅。バビ島、
マウメレ市から30kmの地点。



写真4.28 バビ島のモスク。屋根だけが残った。

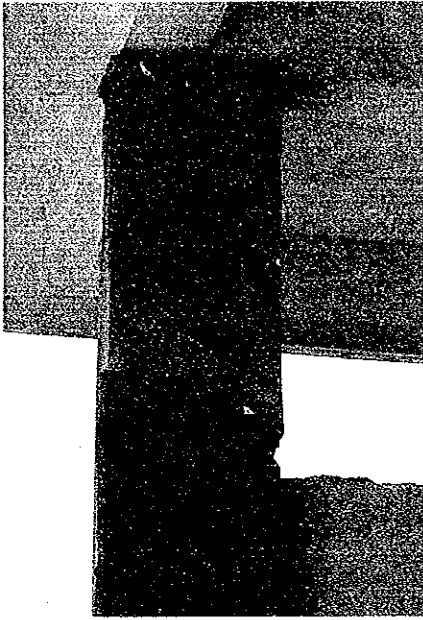


写真4.29 空港ターミナルビル(鉄筋コンクリート、平屋)。柱の頂上部が剪断破壊を起こしている。

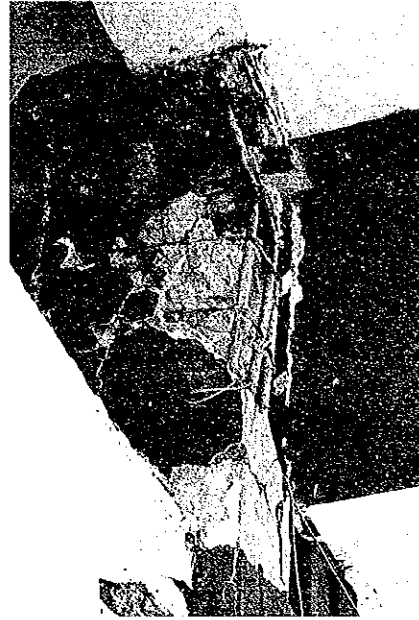


写真4.30 空港ターミナルビル(鉄筋コンクリート、平屋)。柱の頂上部が剪断破壊を起こしている。



写真4.31 バビ島の遠景



写真4.32 マウメレ港の被害。津波によって汽船が埠頭に乗り上げた。



写真4.33 津波によるマウメレ港の被害



写真4.34 津波によってウリン町(マウメレ市の3km西)は完全に破壊された。

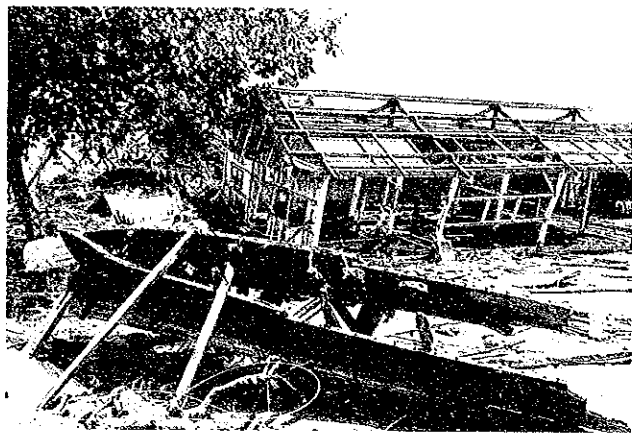


写真4.35 ウリンの高床式の木造家屋が倒壊した。
この住民は南スラウェシ漁業民族
ブギス族の末裔である



写真4.36 倒壊した煉瓦造りの家屋。マウメレ市にて。



写真4.37 被害が軽微であった煉瓦造りの学校建築。
マウメレ市にて。



写真4.38 マウメレ市の海岸通り沿いにある、倒壊したモスク。
壁は煉瓦造り、屋根は木製。



写真4.39 煉瓦造りの倉庫の壁構造が大きな被害を
受けた(面外破壊による)。

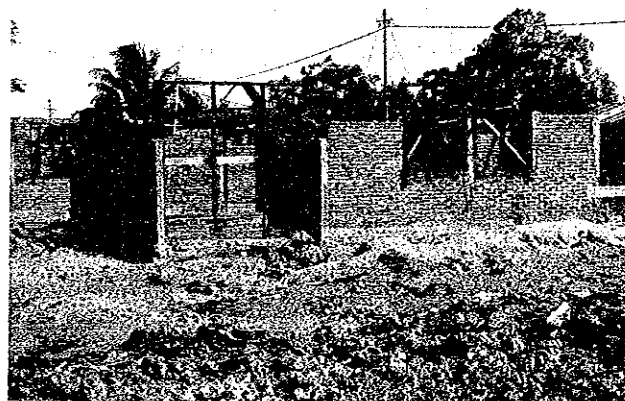


写真4.40 煉瓦壁構造であるが、鉄筋コンクリートの
フレームで補強してある新しい建物。
建築途中であった。

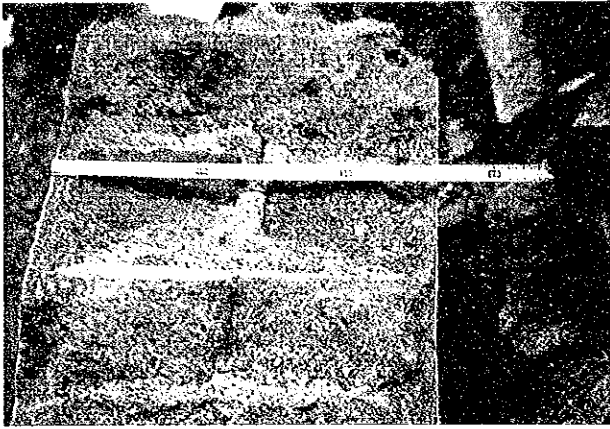


写真4.4 1 倒壊した建物の煉瓦造りの壁の断面。

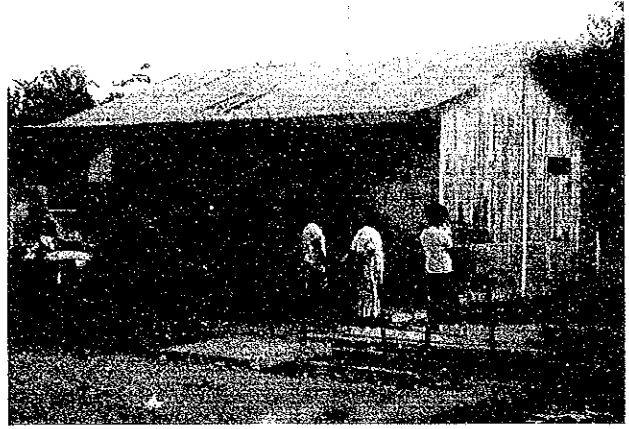


写真4.4 2 マウメレ市にある木材と竹で造った家屋。被害なし。マウメレ市の竹造りの家屋(棟数)はほとんど無傷であった。

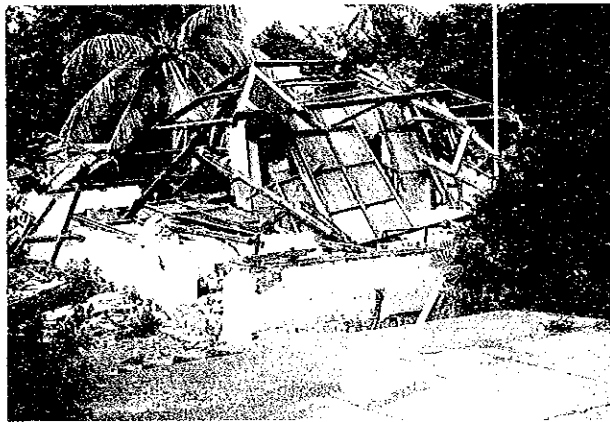


写真4.4 3 煉瓦家屋の倒壊パターンの典型例。マウメレ市では煉瓦造りの家屋の多くはこういう形で倒壊した。

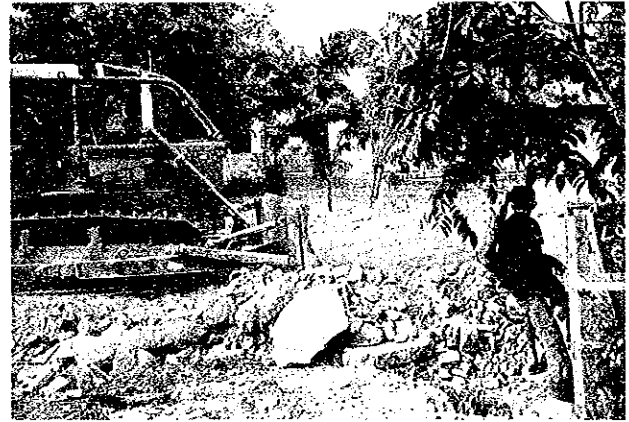


写真4.4 4 地震の2週間後に軍のスタッフが残骸の取り壊しと修復作業を行なっている。煉瓦造りの建築物の場合、残った建物の取り壊しは容易である。



写真4.4 5 2階建て鉄筋コンクリート/煉瓦造りの建物。甚大な被害をこうむったので、執務は仮設のテントで続けられている。

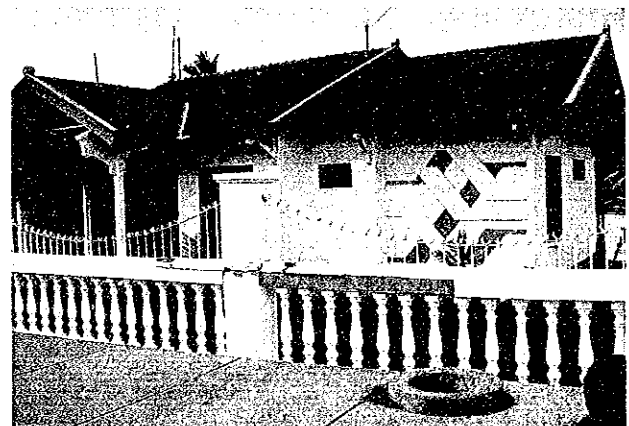


写真4.4 6 造りの良い鉄筋コンクリート/煉瓦壁構造の住居。被害なし。このタイプの建物で無傷であった建物はまれである。

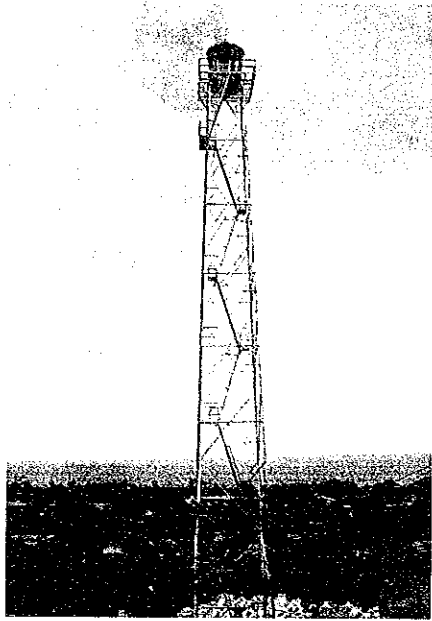


写真4.47 南部の丘陵中腹に建つ鉄塔。被害なし。



写真4.48-1 マウメレ市の全景。左側に見えるのがウリン町。



写真4.48-2 左記と同じ。

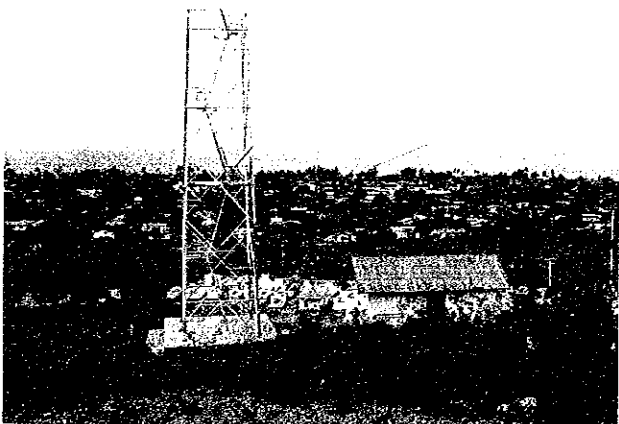


写真4.48-3 マウメレ市。パビ島が右手に見える。

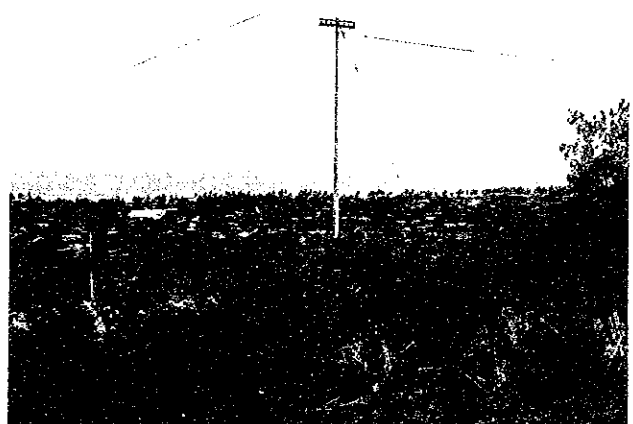


写真4.48-4 48-3と同じ。

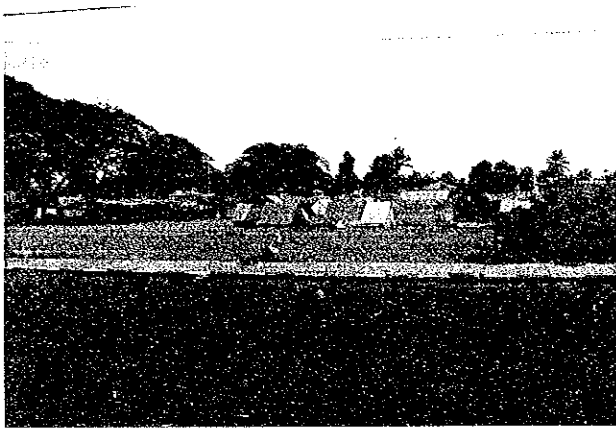


写真4.49-1 マウメレ市の中心部に設けられた避難民のテント村



写真4.49-2 49-1と同じ。

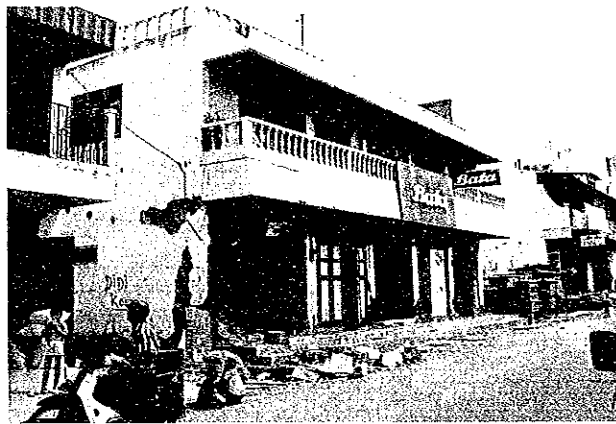


写真4.50-1 大きな被害を受けた鉄筋コンクリート/煉瓦壁構造の建物。



写真4.50-2 細い柱の中の細い補強鉄筋

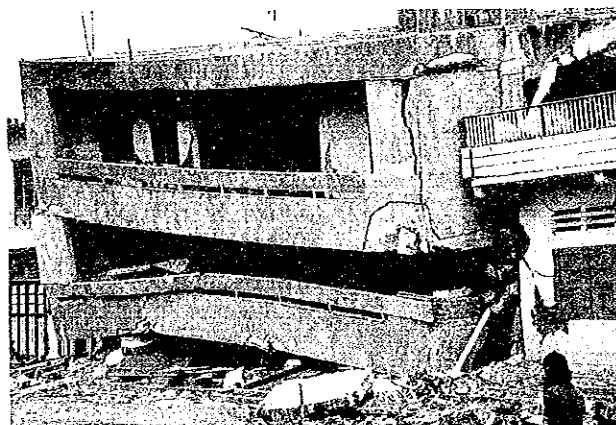


写真4.51-1 崩れ落ちた鉄筋コンクリートの建物。見たところ重量がありそうである。

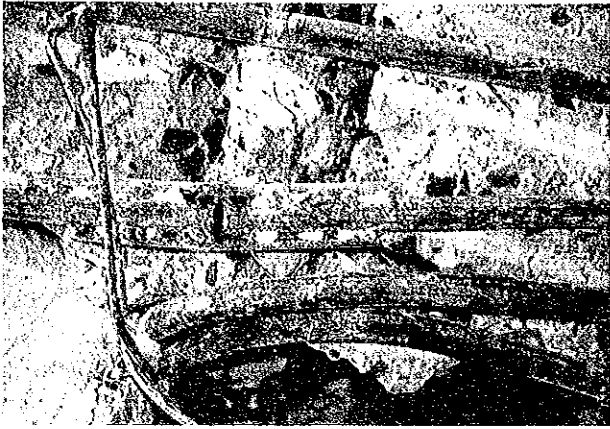


写真4.51-2 この建物の一部のクローズアップ写真。長手方向の29mm径の鉄筋が2本の13mm径の鉄筋で溶接でつなぎ合わされている。

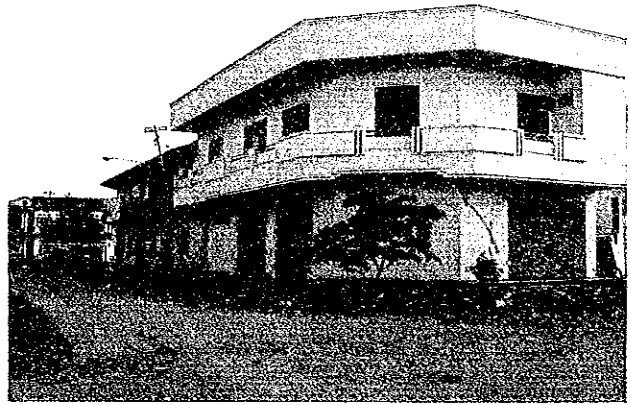


写真4.52 鉄筋コンクリート煉瓦壁構造の建物。これは写真4.51の建物に隣接した建物で、被害は軽微であった。

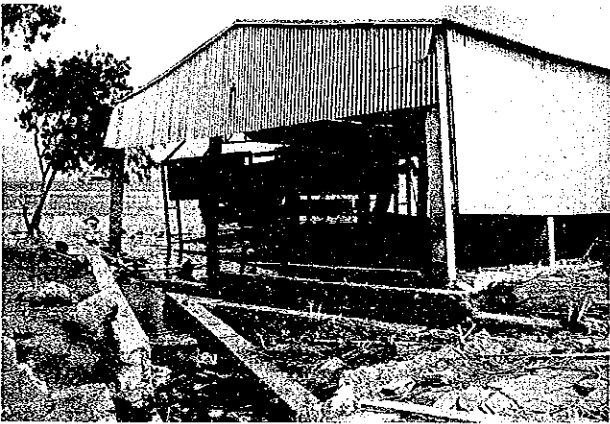


写真4.53 魚市場の冷蔵工場。液状化によって沈下が起こった。



写真4.54-1 マウメレ市の道路の被害。道路で被害を受けたのはこの区域だけであった。



写真4.54-2 写真4.54-1と同じ



写真4.55 マウメレ市の丘陵の中腹地帯にあるガソリンスタンド。鋼製の屋根は無傷であった。

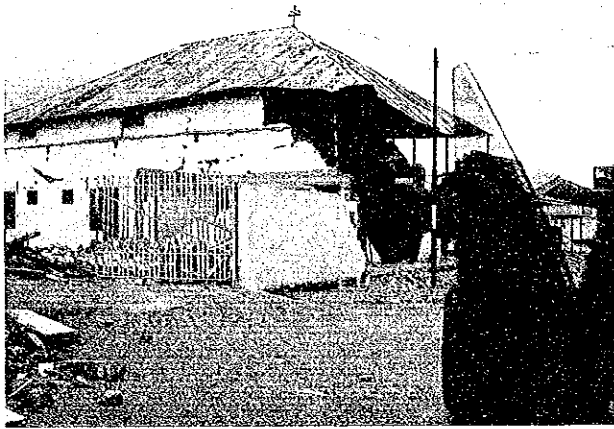


写真4.56 鉄筋補強のない、煉瓦造りの壁構造の面外破壊。

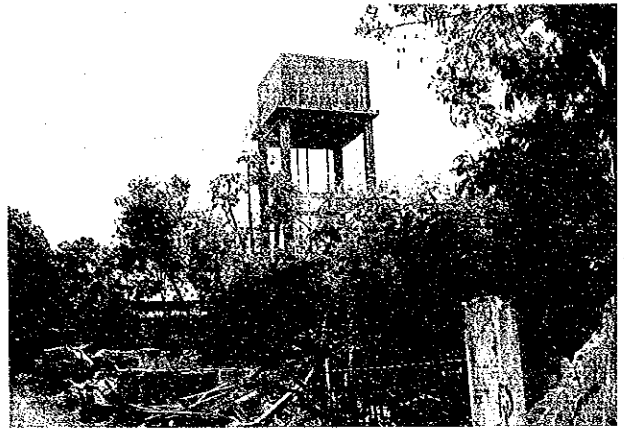


写真4.57-1 鉄筋コンクリート貯水タンク構造。
高さ=15m。軽微な被害。



写真4.57-2 径間：約3m、柱：30cm、被りモルタル：
厚さ10cm



写真4.58-1 バタメラの原料粘土は雨季にヤシ林の中で
採取される（マウメレ市付近）

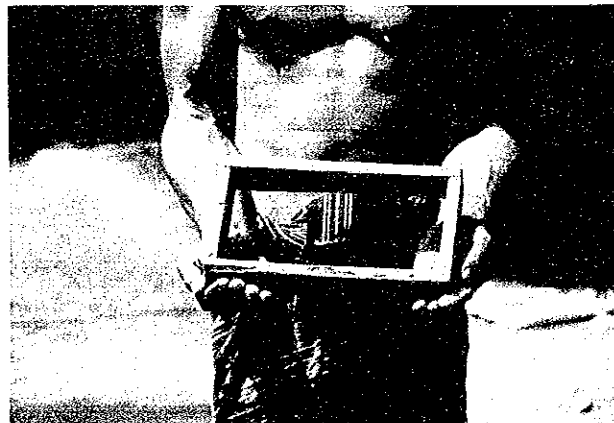


写真4.58-2 採取された粘土は木の枠にはめ込まれる。
煉瓦の寸法は 16×10×23cm。



写真4.58-3 次いでこの原料粘土を24時間かけて
焼き上げる。燃料としてはバナナの木を使う。

5. ライフライン施設に対する被害

5.1 まえがき

道路、橋梁、港湾、空港、電気、水道、電話施設などは国民の生活にとって必須の施設である。したがってしばしばライフラインと呼ばれる。これらの施設がこうむった被害の特徴をこのセクションでは説明する。

5.2 道路と橋梁の被害

フローレス島では広い範囲にわたって道路と橋梁が被害を受けた。図5.1は被災区域における主要国道と県道を示す。大きな被害はエンデーマウメレーランツカを結ぶ国道と、マウメレーマガバンダを結ぶ県道に集中している。そのほか地方道路にも多くの被害が生じたが、日程に制約があったためこれらの調査は実施できなかった。

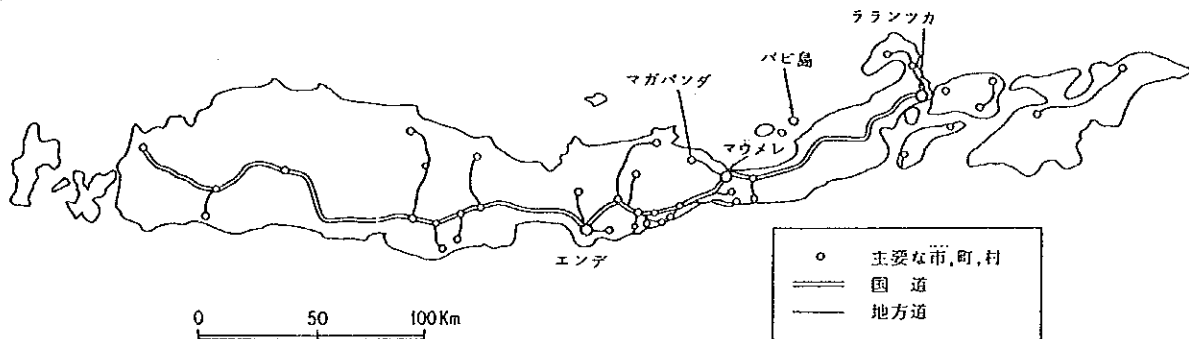


図5.1 フローレス島の主要国道と県道

被害の特徴は地盤と地形条件によって異なっている。代表的な被害形態は次の通りである：

(1) エンデからマウメレへの国道

図5.2はエンデとマウメレを結ぶ国道に発生した主な被害を示す。エンデから数キロメートルまでの区間と、マウメレとレカバイ間の数ヶ所で調査を行なった。エンデに近い側では被害範囲が広がったが、交通が遮断されていたため調査を行なうことができなかった。この道路は山岳地帯を横断しているため、斜面の崩壊が数多く発生した。

被害をこうむった現場の表面は大量の土に覆われているので、大量の土と一緒に斜面が崩れた。写真5.1はエンデから数キロメートル地点の国道で起こった路肩の崩壊を示す。丘陵の中腹は非常に急峻な岩である。写真5.2は道路上及び道路下の斜面の崩壊を示す。写真5.3～5.5はこれによく似ているがより大規模な斜面崩壊の様子を示す。落石も認められた。ただし、落石はマウメレとレカバル間では稀であった。岩は風化した石灰岩と砂岩である。

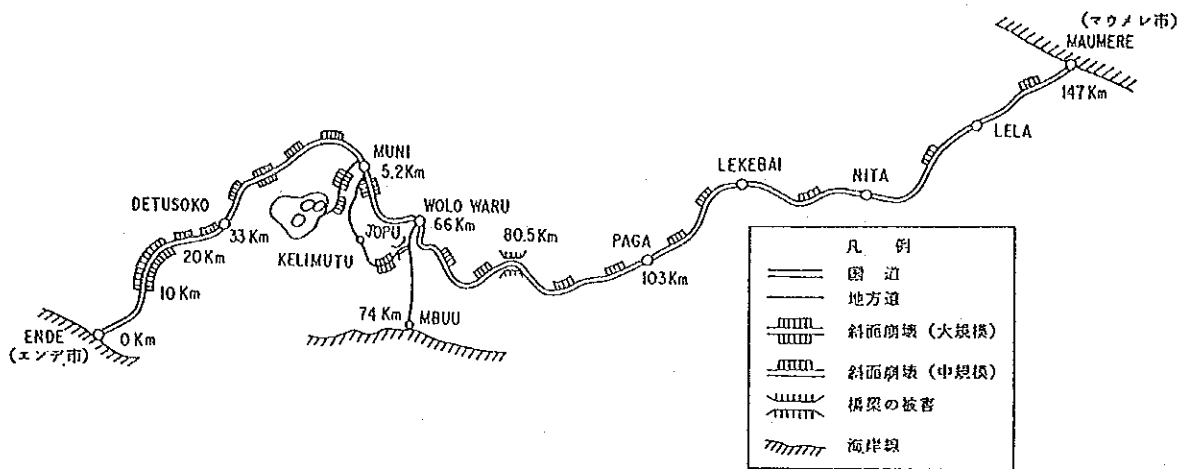


図 5.2 エンデからマウメレに至る国道における主な被害

図 5.3 は調査した崩壊の種類を分類したものである。片側が切り取られ、反対側が盛土されている場所 (片切り片盛) では埋め戻された盛土部分がしばしば沈下し、その結果として広範囲にわたって舗装面に亀裂が走った (図 5.3 (a) と (b))。切土斜面 (図 5.3 (c)) と自然斜面 (図 5.3 (d)) でも崩壊が多く認められた。斜面から崩れ落ちた土によってしばしば道路がふさがった。こういう種類の崩壊は頻繁に見受けられた。切土斜面だけでなく、自然斜面が崩れ落ちるような破壊力の大きな崩壊も広く認められた (図 5.3 (e))。

土が柔らかくて水分を多く含んだ粘土質 (火山灰) なので、斜面の崩壊は被害が大きい。スコリアの存在が認められる場所 (写真 5.6 と 5.7) ではこの層を境界として崩壊が引き起こされた。

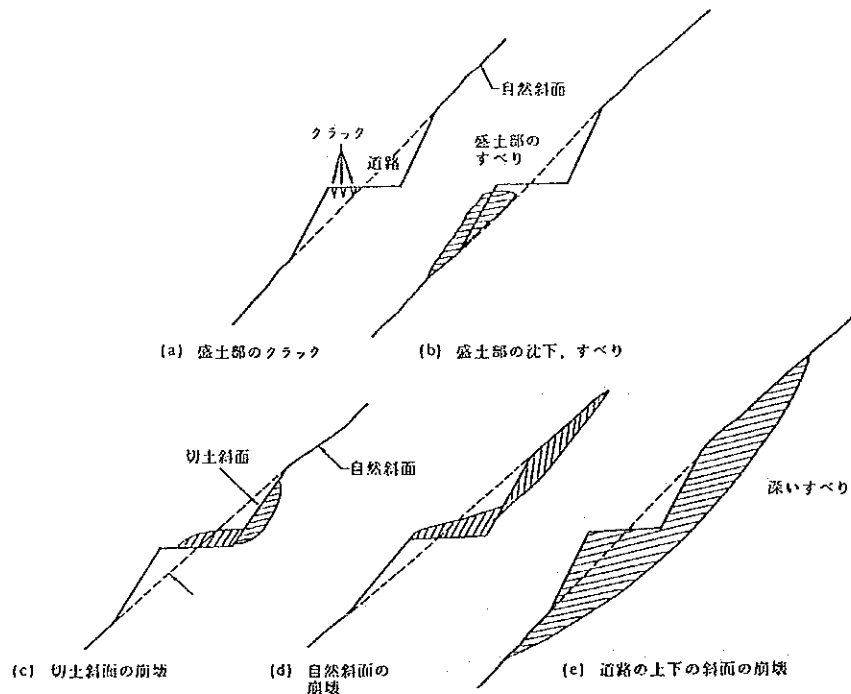


図 5.3 斜面崩壊の種類

(2) マウメレからラランツカにいたる国道

地盤の脆弱さから広範囲にわたる舗装路と橋梁に被害が生じた。橋梁には2つの種類がある。1つは1車線で径間長の短い橋である。この種類の橋は大部分が1径間又は2径間単純支持の桁橋である。またこの種類の橋は非常に古く、多分、第二次大戦前に建設されたものである。もう1つの種類は新しい橋で、鉄筋コンクリート単一柱またはラーメン橋脚で支持された鋼製トラス桁橋である。被害の大半は古い橋梁に見られた。

破損形態のうち最も多かったのは橋台または背面盛土の沈下もしくは傾斜であった(写真5.8と5.9)。沈下量は大きいものは1mにも達した。こういった橋台の沈下と傾斜の多くが周辺地盤のすべりによって引き起こされたことに注目すべきである(図5.4)。

写真5.10は橋台の近くで発生した大規模な地盤のすべりを示す。ここでは、川に向かって数ヶ所で地盤のすべりが起こった。写真5.11は橋台正面で発生した地盤のすべりの様子を示している。

地盤のすべりが浅い位置で生じた場合には橋台は橋桁側に傾く傾向が強いが、深いところで地盤がすべった場合には橋台は裏込め盛土の方向に傾く傾向が強かった。これが橋桁と橋脚の振動に起因して起こったのではなく、不安定な地盤が地震によって移動したことに原因がある、ということを理解しておかなければならない。橋脚を囲む不安定な地盤に起因して大きな土圧が生じることを正しく考慮することが大切である。

橋台と橋桁が接触して橋台に亀裂が発生した。これは、桁が2つの橋台の間を支持する横梁のはたらき

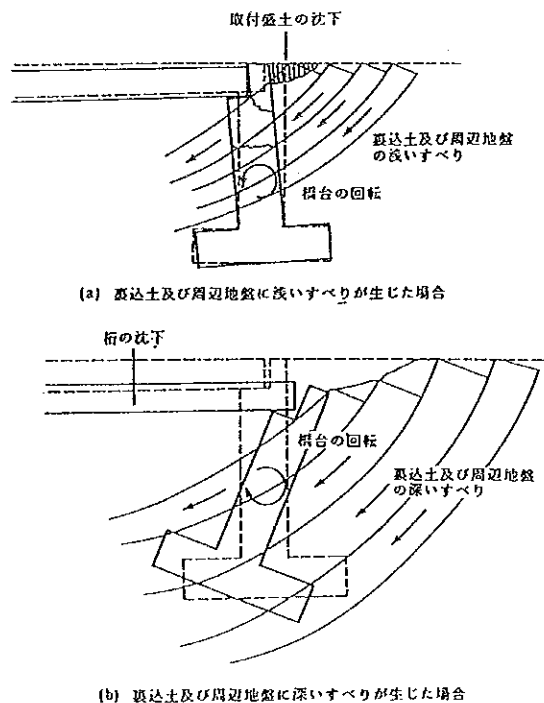


図5.4 不安定な地盤に起因する橋台の被害

をするからである。一部の橋台は甚大な被害を受けたので(写真5.12)、全面的な改修を要する。

写真5.13に示すような新しいトラス橋梁の耐震性は基本的には良好であった。我々が観察した損害の形態はアンカー・ポールの破損と胸壁(パラペット)に生じた亀裂である。橋桁の端部に設けた緩衝ゴム(写真5.14)は、橋桁と橋台の間に作用する衝撃を緩和するのに有効であった。一部の緩衝ゴムは地震によって損傷を受けたが(写真5.15と5.16)、ごく簡単に修理が可能である。ネベの近くにある橋において、トラスの第1パネルの下弦材(H型鋼)が座屈した(写真5.17)。この原因は橋桁と橋台の衝突と推定される。

地盤の液状化が原因となって、数ヶ所で舗装面に亀裂を生じた(写真5.18)。地盤のすべりの規模と程度によるが、舗装面上には長手方向と横方向の亀裂が発生した。

(3) マウメレからマガパンダに至る県道

マウメレからマガパンダに至る県道上で、地盤の液状化にともなって舗装面上の数ヶ所で亀裂と沈下が起こった。最大の沈下はマウメレの西15km地点で発生し(写真5.19)、沈下量は1mもあった。この地点では地盤の液状化にともなって多数の噴砂孔が観察された。最も大きな噴砂孔の直径は3.1m、深さは1.2mであった(写真5.20)。

写真5.21は橋桁を単純支持している橋台の損傷の様子を示す。この橋の周囲では写真5.22に示すような、大規模な地盤のすべりが認められた。

マガパンダの近くでは落石が生じた(写真5.23)。

5.3 空港における被害

マウメレ空港とエンデ空港の管制塔は大きな損傷を受けた。マウメレ空港の管制塔は4階建ての煉瓦構造で、壁は剪断破壊を起こし、窓ガラスも割れた(写真5.24)。エンデ空港の管制塔は3階建ての煉瓦構造で、壁は全体にわたって剪断破壊を起こした(写真5.25)。両方の管制塔は損傷により、使用不能となった。エプロンとすべ走路はいずれの空港もほとんど無傷であった。

5.4 港湾における被害

マウメレ港は、地盤振動に加えて地盤の液状化と津波によって至るところで被害を受けた。埠頭の擁壁は海側に倒れ、大きな被害をこうむった(写真5.27～5.29)。地盤の液状化によって埠頭エプロンの舗装面に数ヶ所で亀裂、破壊が生じた(写真5.30及び5.31)。

地盤の液状化は、港にある数棟の建物の沈下と傾斜の原因となった(写真32と33)。

写真5.34と5.35は津波に襲われた船とトラックを示す。

5.5 河川施設が受けた被害

ネベの近くを流れる川の堰で水門のパラペット部分に損傷を受けた(写真5.36～38)。パラペットが傾斜し、裏込め土との間に隙間を生じた。また、パラペットに沿った背面盛土部分で大きな沈下が起こった。パラペットからの漏水が認められた。漏水が増加するのを防ぐため、水の経路を詳しく調べる必要がある。写真5.39及び40は水門の損傷状況を示す。

5.6 公益事業施設の被害

調査期間が短かったため、電力、電話、水道、下水およびガス供給設備については調査ができなかった。今回の調査期間に得られた情報は次の通りである：

エンデでは7台のディーゼルエンジン発電機を用いて発電している(写真5.41)。発電機は無傷であったが、発電機を格納している建物では煉瓦壁の落下が2ヶ所で発生した。また、送電ケーブルが数ヶ所で切断され、地震のあと停電した。しかし停電はすぐに復旧した。

フローレス島では広範囲な区域で断水が起こった。そのため飲用水は水タンク車で配られた(写真5.42)。

5.7 地震動

インドネシアでは57台の強震計が設置されているが、強震部の所在位置は不明であり、今回の地震による強震記録の所在は不明である。強震記録は地震動と構造物の応答を調べるために不可欠であるから、強震記録の利用システムを確立することが望まれる。

測定データが得られなかったので、日本で用いられている距離減衰式をもとにしてピークの地盤振動を推定し

た。394成分の地表面上の強震記録の統計解析結果にもとづいて、地震動の最大加速度は震央距離の関数として次のように表現される¹⁾：

$$a_{\max} = 232.5 \times 10^{0.313M} \times (\Delta + 30)^{-1.218} \quad (5.1)$$

ここに

- a max : 最大加速度(cm/sec²)
- M : 地震のマグニチュード(リヒタースケール)
- Δ : 震央距離(km)

式(5.1)は中程度の地盤における地盤加速度のピーク値を表わす。式(5.1)は平均値を与えるものであり平均値からのばらつきは相当大きいことに注意する必要がある。平均値から標準偏差の1倍に相当する変動幅を見込むと、式(5.1)で得られる値の1.7倍または1/1.7の値となる。

マグニチュードM=7.5の地震を想定すると、式(5.1)から得られる地盤加速度は図5.5に示すように変化する。震央は南緯8.48° 東経121.9°であるから、震央からマウメレまでの距離はおよそ50kmである。しかしフローレス島のごく近傍に断層があるので震央距離を字義通りに評価するのは適切でない。断層の中心点からの距離を式(5.1)の震央距離であると仮定すると、マウメレとエンデの震央距離はそれぞれ約25km、80kmとなる。それゆえ式(5.1)から地盤の最大加速度はマウメレでは0.4g程度、エンデでは0.2g程度と推定される。

5.8 地盤の液状化

フローレス海の沿岸に沿って広い範囲で液状化が起こった。よく知られていることだが、水分で飽和した沖積砂層においてその地表面から10m以内に地下水面が存在し、しかも粒径加積曲線上のD50-値が0.02~2.0mmの間にあるときは、この砂の層は液状化しやすい。²⁾

図5.6はマウメレの地盤構成を示す。厚さが30m~50mの砂の多い土の上に厚さ5mの表土がある。地下水面が非常に高いところにあるので、マウメレでは液状化しやすい。

図5.7はフローレス海沿岸に沿った3ヶ所で採取した試料の粒径加積曲線である。D50-値は0.15mmないし0.44mmである。

また、地震のマグニチュードが大きいほど液状化が起こる範囲が広がるということも知られている。この関係は経験的に次のように表される³⁾。

$$\log \Delta = 0.77M - 3.6 \quad (5.2)$$

ここに

- M : 地震のマグニチュード(リヒタースケール)
- Δ : 震央距離(km)

図5.8は式(5.2)による経験的な関係を示す。過去の経験に照らして考えると、1992年12月12日の地震では震央から約150kmの範囲で液状化が起こったとしても驚くにはあたらない。

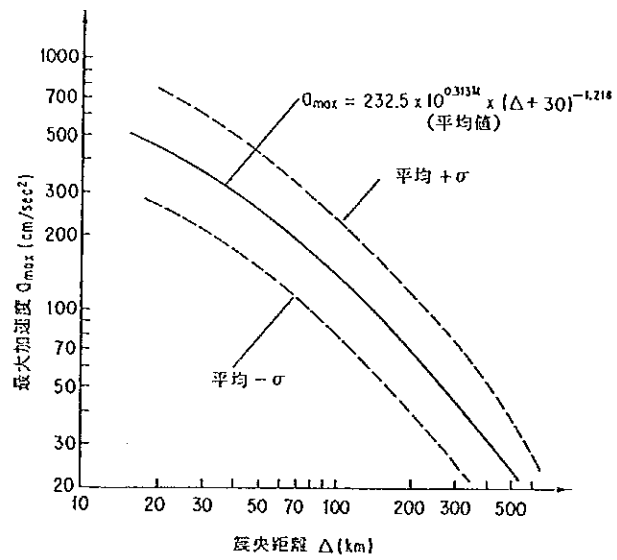


図 5.5 地盤のピーク加速度の距離減衰

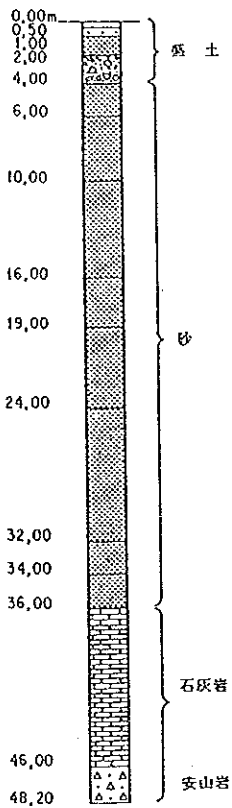


図5.6 マウレ市の地盤構成

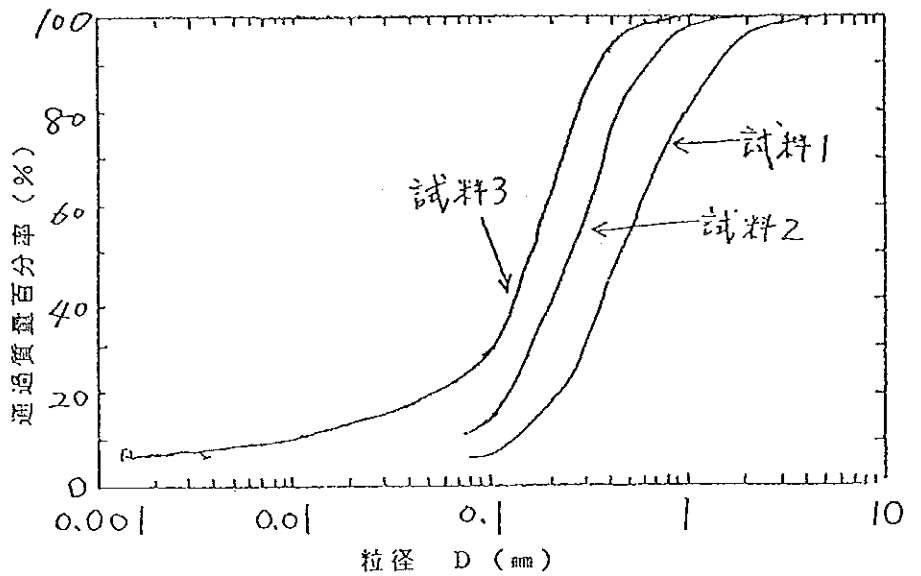


図5.7 砂の粒径加積曲線

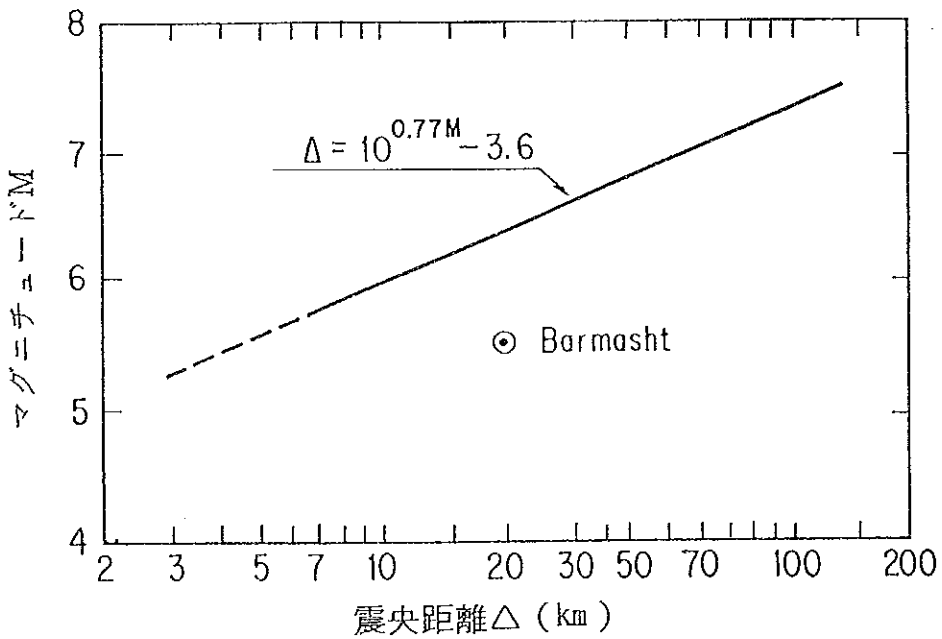


図5.8 地盤の液状化が起こる可能性のある地点までの距離