

1990年7月16日

ルソン (LUZON) 地震

調査報告書

(社内技術資料)



基礎地盤コンサルタンツ株式会社

営業所一覧

本 社	〒102	東京都千代田区九段北1-11-5 ☎(03)263-3611 FAX(03)262-7737
技術センター	〒145	東京都大田区石川町2-14-1 ☎(03)727-6158 FAX(03)727-6247
関西技術センター	〒636	奈良県生駒郡三郷町立野南3-12-21 ☎(0745)32-6486 FAX(0745)32-5616
電 算 室	〒101	東京都千代田区神田神保町3-2-6(丸元ビル) ☎(03)234-0381 FAX(03)234-7439
海 外 事 業 部	〒101	東京都千代田区九段北1-11-5 ☎(03)263-3611 FAX(03)263-1448
札 幌 支 社	〒003	札幌市白石区菊水7条4-1-27(駒津ビル) ☎(011)822-4171 FAX(011)822-4727
釧路事務所	〒085	釧路市旭町30-12(尾崎ビル) ☎(0154)22-8356 FAX(0154)22-8357
函館事務所	〒040	函館市富岡町1-16-5 ☎(0138)43-1154
仙 台 支 社	〒983	仙台市宮城野区五輪2-11-1(上野興業ビル) ☎(022)291-4191 FAX(022)291-4195
青森事務所	〒030	青森市本町2-4-10(出沼ビル) ☎(0177)22-5861 FAX(0177)22-5876
秋田事務所	〒010	秋田市八橋大沼町5-12 ☎(0188)64-4770 FAX(0188)65-4259
山形事務所	〒990	山形市南栄町2-52-2 ☎(0236)32-3979 FAX(0236)32-3929
盛岡事務所	〒020	盛岡市中央1-12-14 ☎(0196)22-6577
東 京 支 社	〒102	東京都千代田区九段北1-11-5 ☎(03)239-7961 FAX(03)262-7737
千葉事務所	〒260	千葉市神明町13-1(大宗神明ビル) ☎(0472)41-9583 FAX(0472)41-9585
水戸事務所	〒310	水戸市梅香2-2-45(朝日ビル) ☎(0292)27-3423 FAX(0292)27-3422
新潟事務所	〒950	新潟市沼垂東1-9-18(餅徳ビル) ☎(025)243-2711 FAX(025)243-2712
横浜事務所	〒231	横浜市中区元浜町4-36(大宗マリーナビル別館) ☎(045)671-5466 FAX(045)671-5477
埼玉事務所	〒330	大宮市宮原町2-90-3 ☎(048)653-7291 FAX(048)653-7293
川口事務所	〒332	川口市川口2-17-48 ☎(0482)54-9121
川崎事務所	〒213	川崎市宮前区野川字南耕地2634-1 ☎(044)752-8171
名 古 屋 支 社	〒451	名古屋市西区上名古屋1-11-5 ☎(052)522-3171 FAX(052)524-2729
静岡事務所	〒422	静岡市稲川1-7-15 ☎(0542)84-2010 FAX(0542)84-2091
金沢事務所	〒921	金沢市西金沢5-273 ☎(0762)49-4492 FAX(0762)49-4495
大 阪 支 社	〒550	大阪市西区靱本町1-15-2 ☎(06)443-4951 FAX(06)443-4958
滋賀事務所	〒520	大津市京町4-3-33(滋賀プレスビル) ☎(0775)26-0755 FAX(0775)26-3507
兵庫事務所	〒658	神戸市東灘区御影中町1-14-10(新星和御影ビル) ☎(078)811-7916 FAX(078)811-7919
広 島 支 社	〒731-01	広島市安佐南区長束4-13-25 ☎(082)238-7227 FAX(082)238-7949
松山事務所	〒790	松山市土居田町486-1 ☎(0899)72-6554 FAX(0899)72-6616
岡山事務所	〒700	岡山市富田町2-6-5(第2戸川ビル) ☎(0862)25-2566 FAX(0862)25-2567
高知事務所	〒780	高知市鷹匠町1-2-51(木本ビル) ☎(0888)23-5210
山口事務所	〒753	山口市大字平井706 ☎(0839)25-2080
福 岡 支 社	〒814	福岡県早良区原2-16-7 ☎(092)831-2511 FAX(092)822-2393
長崎事務所	〒850	長崎市樺島町6-15(大信ビル) ☎(0958)21-7150 FAX(0958)21-7180
大分事務所	〒879-76	大分市大字中判田1746-1 ☎(0975)97-5511
熊本事務所	〒862	熊本市水前寺6-37-21(西原ビル) ☎(096)382-5158 FAX(096)382-2936
宮崎事務所	〒880	宮崎市松山1-8-42(第3三重野ビル) ☎(0985)25-3267 FAX(0985)25-3024
鹿児島事務所	〒890	鹿児島市上荒田町30-20(白井ビル) ☎(0992)57-1522 FAX(0992)57-1396
海上・設計・事務所	〒814	福岡市早良区原2-16-7 ☎(092)843-3711
シンガポール支社		☎(シンガポール)7473233~6
クアラルンプール事務所		☎(マレーシア)7826327, 7826388
ジャカルタ事務所		☎(ジャカルタ)512890, 5782909

1990年7月16日

ルソン (LUZON) 地震

調査報告書

基礎地盤コンサルタンツ株式会社



バギオ市ホテル「ハイアットテラス」の新館棟の倒壊



バギオ市「ヒルトップ」ホテルの倒壊



ダグバン市 液状化により大きく沈下，傾斜した建物



ディグディグ 断層により4.7m水平変位が生じた道路

目 次

	頁
1. はじめに	2
2. 地震の概要	3
2. 1 地震の諸元	3
2. 2 フィリピン周辺の地震活動	5
2. 3 過去の被害地震	9
3. フィリピンの地形と地質	11
4. 被害の概要	13
5. ダグパン市の地盤と被害	17
5. 1 地盤の概要	17
5. 2 地盤の液状化とその特徴	21
5. 3 構造物の被害	29
6. バギオ市の地盤と被害	41
6. 1 地形・地質	41
6. 2 構造物の被害	42
6. 3 斜面崩壊	53
7. 地震断層とその周辺地域の被害	55
7. 1 フィリピン断層の概要	56
7. 2 リサール地区	57
7. 3 サンホセ地区	61
7. 4 ディグディグ地区	63
8. その他の被害	67
8. 1 橋梁	67
8. 2 アゴー	77
8. 3 サンフェルナンド港	81
9. おわりに	85
参考文献	86
謝辞	87

ルソン地震調査団

団長 酒井運雄 技術部

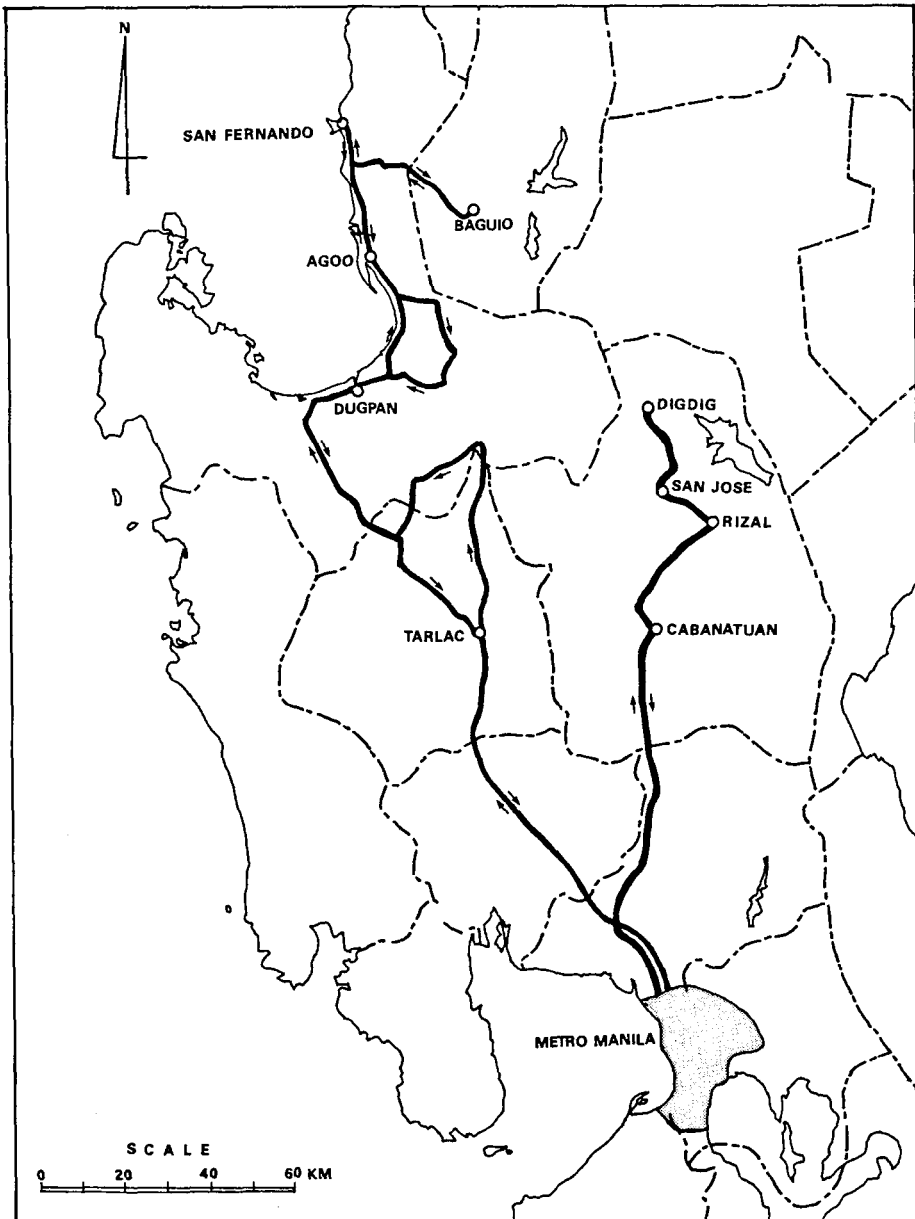
団員 森本 巖 技術部

団員 小林良明 海外事業部

団員 伴 夏男 東京支社

団員 城戸 渉 大阪支社

概略調査ルート



1. はじめに

1990年7月16日夕刻、フィリピン共和国ルソン島北部を震源とするM7.8の大地震が発生した。発生第1報は死者数人と伝えられたが、時間の経過とともに被害は拡大し、最終的には死者千六百余名という大災害であることが判明した。

地震による被害はルソン島北部を中心とする広範な地域に及んだ。特に首都マニラ市から北へ約200km離れた高原の避暑地バギオ市では、大規模なホテルや大学の建物が崩壊するなど大きな被害を出した。また、リングエン湾沿いの都市ダグパンでは市街地の広範囲で液状化が発生し、このためかなり多くの建物が傾斜や沈下などの被害を生じた。またこの地震では震源付近から北西-南東方向に断層が地表に出現し、その長さは100km以上に及ぶといわれている。

当社では新潟地震以来の大規模な液状化の発生に注目し、その被害を実見するとともに、このような大きな液状化被害が発生した地盤の特徴を地盤のコンサルタントの立場から探ってみようという主旨で地震調査団を編成し、約1カ月半後の8月31日より9月6日まで地盤調査を含む現地調査を行った。また城戸は「断層研究資料センター・フィリピン地震断層調査団」(团长 藤田和夫同センター理事長)の一員として10月8日より10月13日まで主に断層地域の調査を行った。概略調査ルートは左図に示すとおりである。

この報告書はこの調査結果をまとめたものである。地震被害をできるだけ正確に記録することに重点を置いて調査を行ったつもりであるが、被災後1.5カ月以上が経過し、取り壊されている構造物も多かったことと、調査時期が大雨による洪水と重なったため、河川付近の地盤変状の様子がよく観察できなかったこともあり、十分意を尽くせなかった部分も多々ある。本報告書が今後の耐震設計、特に地盤耐震の調査・設計に役立てば幸いである。

1990年11月

2. 地震の概要

2. 1 地震の諸元

1990年7月16日午後4時26分（日本時間同）フィリピン国ルソン島マニラ市の北北東約110kmを震源とするM7.8の地震（当初発表はM7.7）が発生した。地震の諸元は次のとおりである。

発生年月日 : 1990年7月16日7時26分34秒（グリニッジ標準時）

マグニチュード：M = 7.8

震源の位置 : 北緯15.658度, 東経121.227度 深さ25km

この地震の規模は1983年に秋田県沖で発生した日本海中部地震（M7.7）とほぼ同じである。また、わが国に大きな被害をもたらした1923年関東地震（M7.9）や1968年十勝沖地震（M7.9）に匹敵する大地震といえる。

地震動は40～60秒程度継続し、その後すぐに計7回の余震があった。そのうち最初の2回の余震が最も大きかった。最大の余震は翌日に発生したM6.6の地震である。この他、同じ翌日にM6.1の余震が発生している。

本震と余震の分布を図2-1に示す。余震域は本震より北西の断層沿いに分布しており、地震の主要エネルギーが本震の位置よりも北西側で放出されたと考えられる。

この地震は北部ルソンのラオアグ(Laoag)市から南のケソン(Quezon), バタングス(Batangas)両州までの広い地域で感じられた。各地の震度は、震源近傍のカバナツアン(Cabanatuan)市で8, バギオ(Baguio)市およびマニラ(Manila)市で7と発表されている。ただし、この震度はロッシ-フォーレル震度階による表示であり、日本で用いられている気象庁震度階では前述の値は震度5～6に相当する。

図2-2に示すように等震度線は北西にのびるフィリピン断層に沿った形状をしており、今回の地震がフィリピン断層またはその支断層の活動によることをうかがわせる。

今回の地震はフィリピン諸島を縦断する「フィリピン断層」の北部がずれて(左横ずれ断層)起こった。断層運動による地割れは震源付近から北北西に約120kmも続いており、ずれの量は最大6.1mに達している所もあったといわれている。昨年起きたロマプリエタ地震(米国)の際のサンアンドレアス断層のずれの量が2m程度であったのに比べるとかなり大きな変位量である。

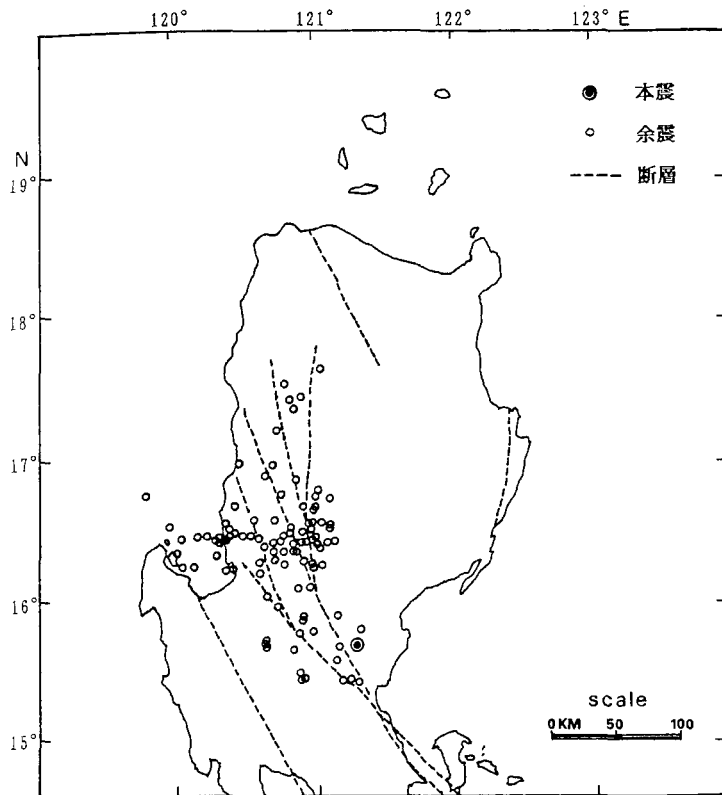


図2-1 余震の分布

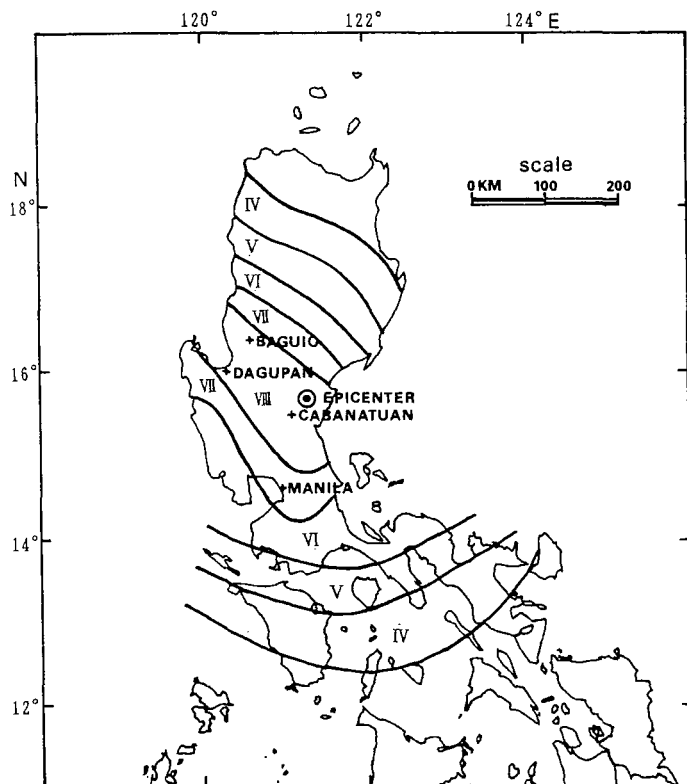


図2-2 震度分布

2. 2 フィリピン周辺の地震活動

フィリピン諸島は環太平洋地震帯に属しており、日本と同様にプレートの境界部に位置している（図2-3, 図2-4参照）。フィリピン諸島は地震構造的にはフィリピン海プレートとユーラシア-東南アジアプレートの境界に位置しており、諸島の西側には北からマニラ海溝, ネグロス(Negros)海溝, コタバト(Cotabato)海溝が連なり、東側には東ルソントラフとフィリピン海溝が存在し、諸島中央部を縦断する格好でフィリピン断層が走っている（図2-5）。図2-6に示すように地震はこれらの海溝沿いの地域に多く発生しているが、特にフィリピン海溝沿いの地域が最も活発である。東側のフィリピン海プレートが西側のユーラシアプレートの下にもぐり込んでいるため（図2-7）、フィリピン諸島の東側で発生する地震は一般に浅く、西側にいくほど深くなる。また、図2-8に示すようにフィリピン諸島周辺にはM7クラスの大きな地震が数多く発生している。

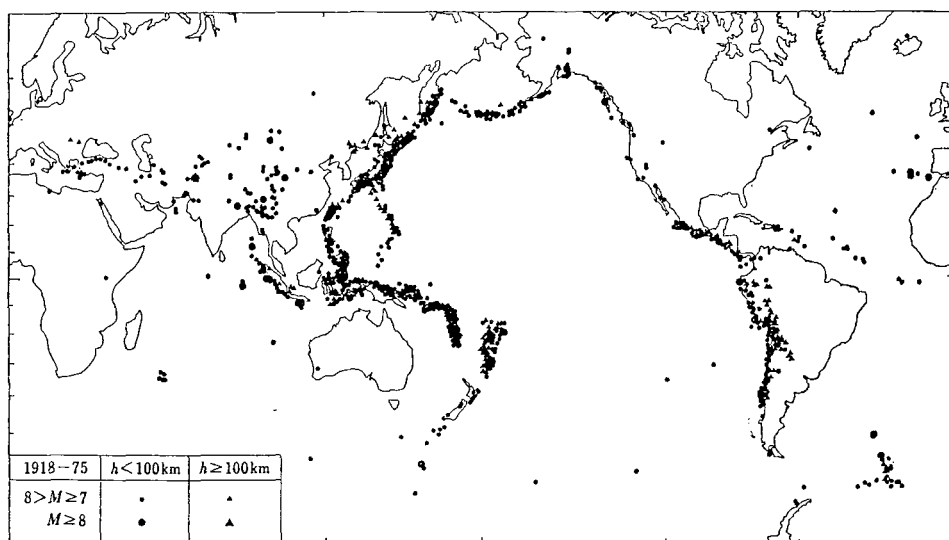


図2-3 M7以上の地震の震央分布(1918~1975)³⁾

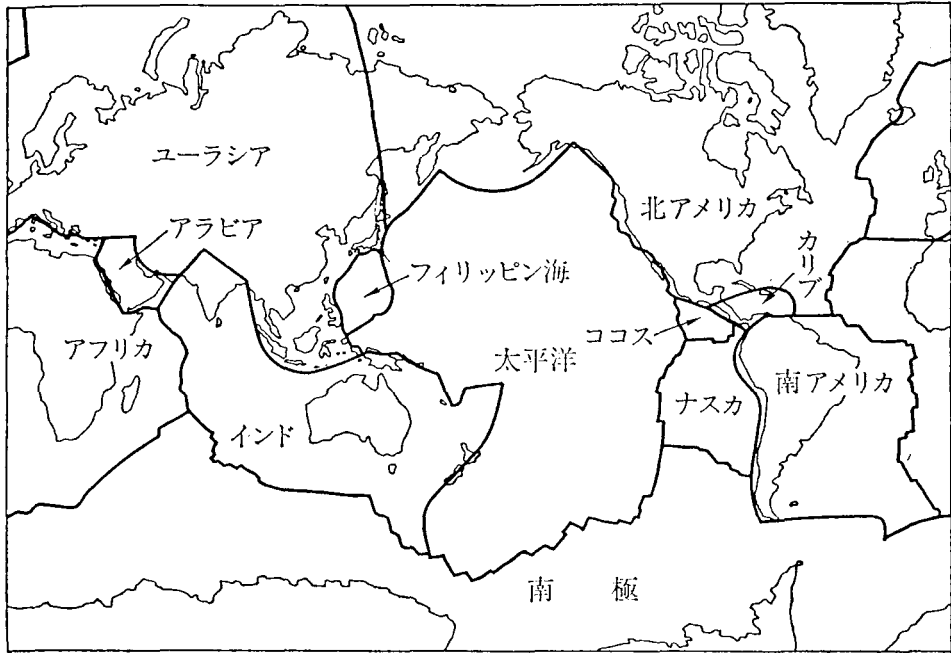


図2-4 地球上のプレート³⁾

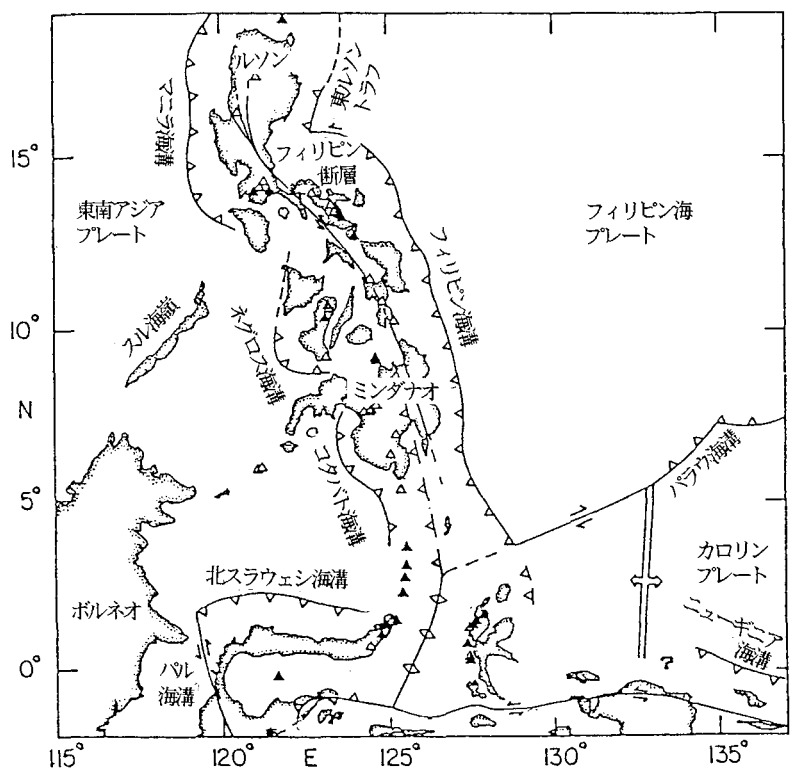


図2-5 フィリピン諸島周辺の地質構造
(After A. T. Barber, 1979)

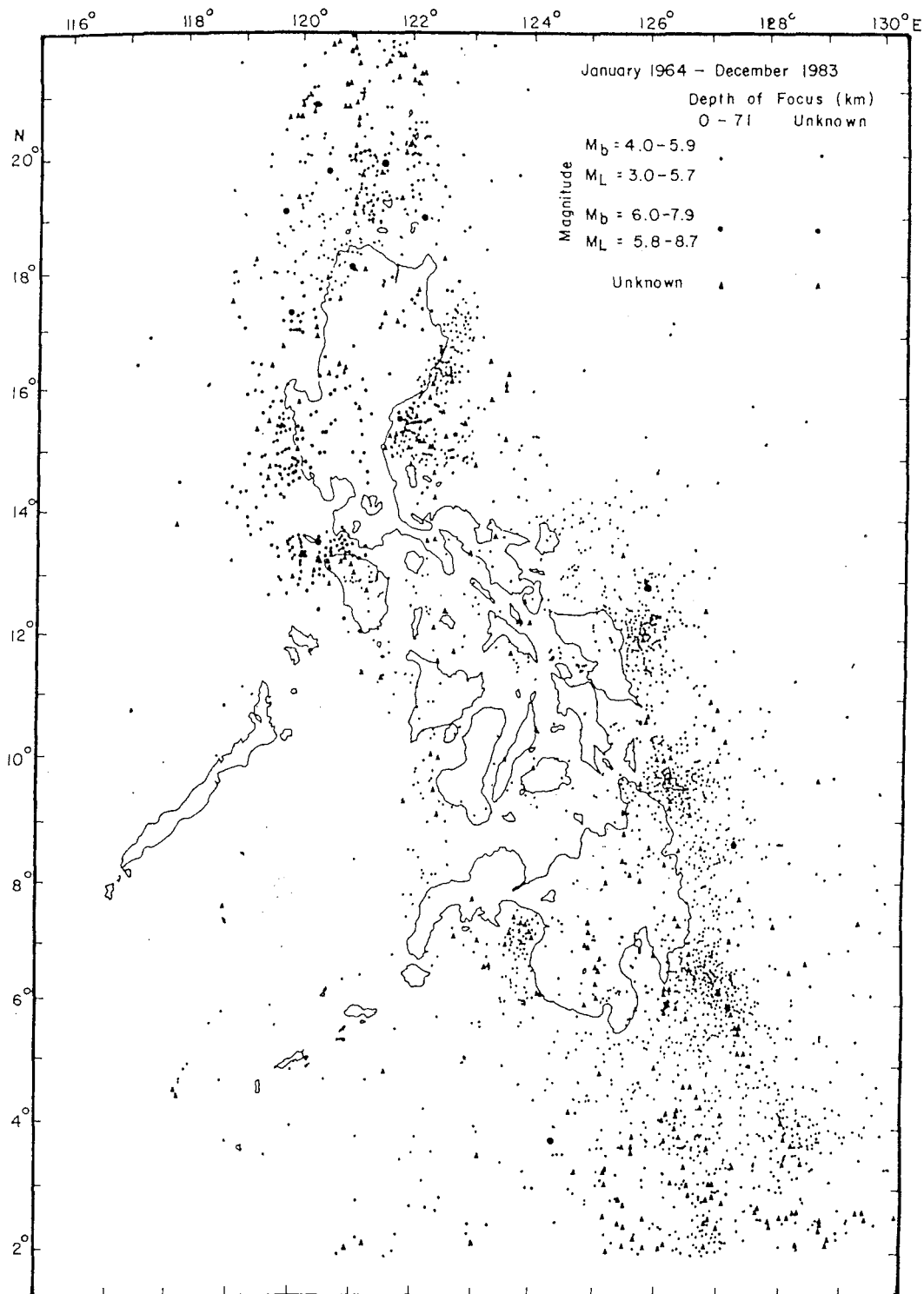


図2-6 フィリピン周辺の地震分布(1964~1983)¹⁰⁾

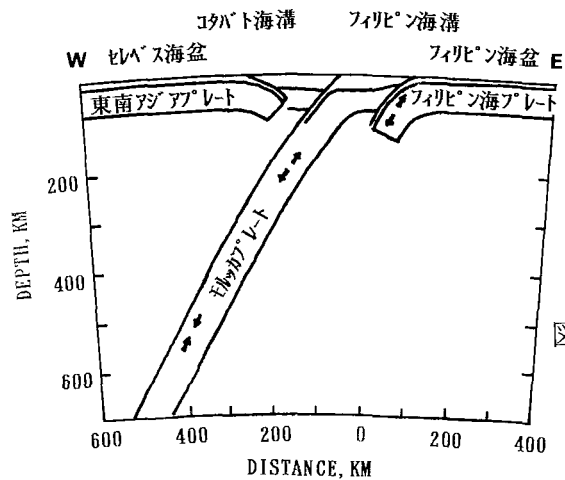


図 2-7 フィリピン諸島のプレートのもぐり込み
(After A. T. Barber, 1979)

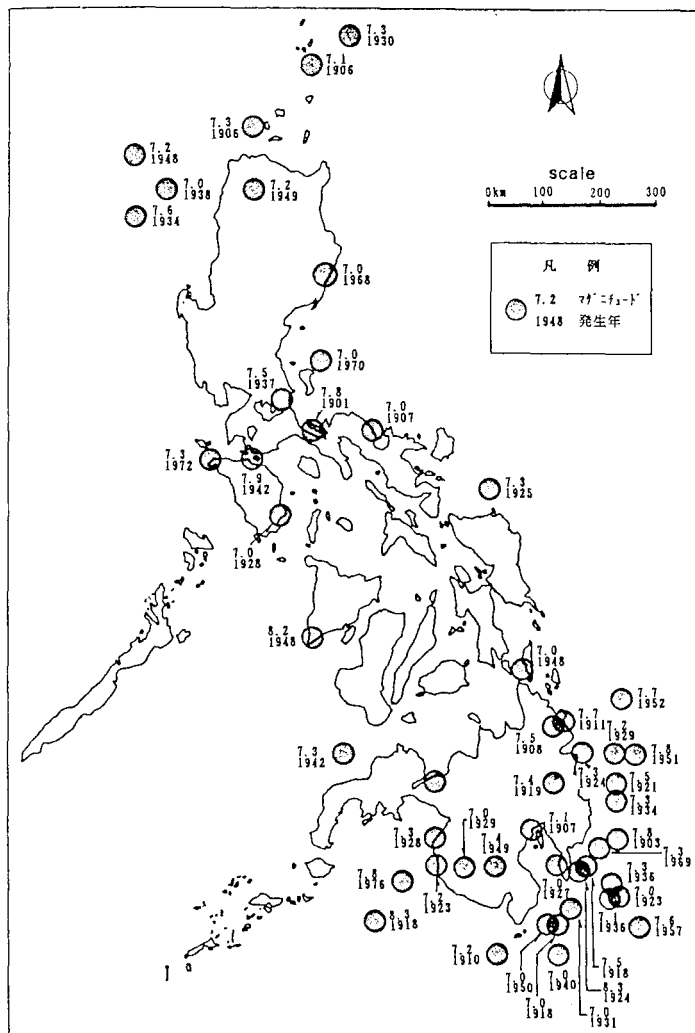


図 2-8 M ≥ 7 の地震分布

2. 3 過去の被害地震

フィリピンは前述したように日本と同じ地震国であり、過去にも多くの地震で被害を受けている。1589年から現在までの被害地震は総計65個を数える。ここでいう“被害地震”とは、建物が使用不能になるような被害をもたらした地震をさしている。これらの地震のうち震源の位置が推定されている42個の地震の震央位置は図2-9に示すとおりである。また、北部ルソン地区の顕著な被害地震をまとめると表2-1のようになる。今回の地震の被害については第4章で説明するように死者は千六百余人、全壊家屋2万5千戸を数え、過去のフィリピンの被害地震の中でも群を抜いて大きいものであることがわかる。

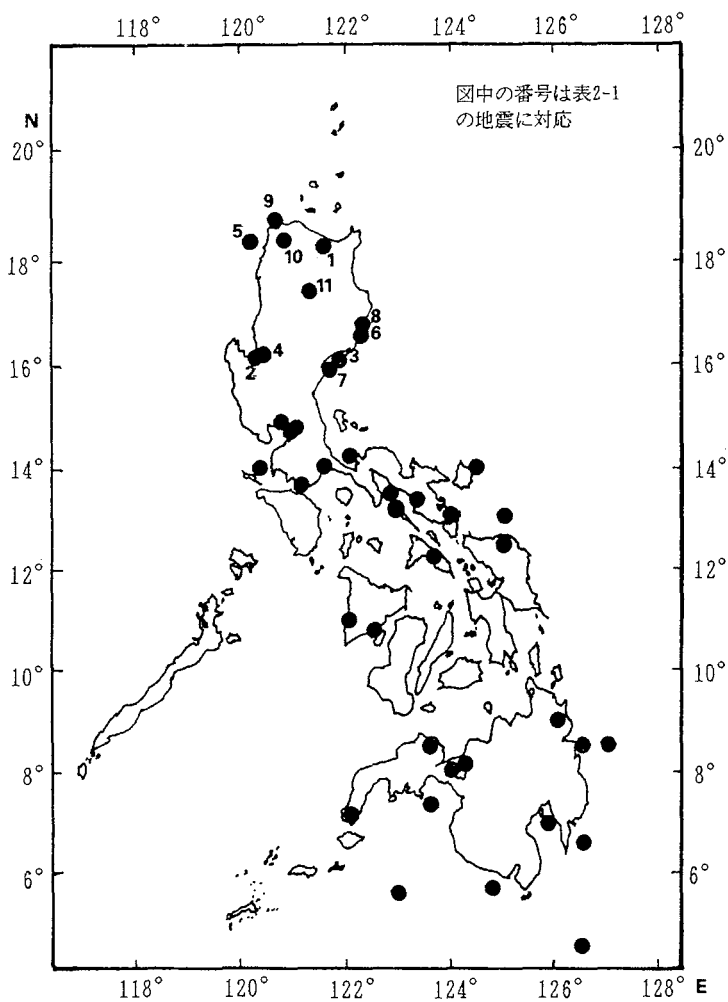


図2-9 フィリピンの被害地震分布

表2-1 北部ルソンの主要被害地震一覧表

No.	発生年月日	震央位置(度) 北緯 東経	マグニチュード Ms	震度 (MMI)*	被害概要
1	1619 11. 30	18.17 121.60 ルソン島北部	—	10	北部ルソン地区で最も大きな被害地震といわれている。幾つかの教会、穀倉、家屋が壊れた。2つの丘が崩れ、村の住民すべてをのみこんでしまった。
2	1796 11. 5	16.05 120.30 Pangasinan東部	—	10	9つの教会が被害を受けた。バギオでは長さ90m以上、深さ9m以上の地割れが生じた。砂や水が割れ目から噴き出した。
3	1880 7. 18	16.00 121.85 Casiguran	—	10	Balerでは地割れが生じ、斜面崩壊が発生した。Pampangaでは木造の教会が壊れ、Caviteでは公共の建物が幾つか倒壊した。死者4人以上。
4	1892 3. 16	16.06 120.42 Pangasinan東部	—	9	多くの家屋が壊れたり、被害を受けたりした。
5	1931 3. 19	18.30 120.20 ルソン島東北部	6.9	8	被害の多くが教会、公共施設、鐘楼、学校であった。電話・電信線は一時的にマヒした。
6	1968 8. 2	16.50 122.30 Casiguran	7.3	9	この地震は過去20年間で最も破壊的な地震といわれている。死者312人、負傷者169人を出した。マニラではルビータワーが倒壊した。
7	1970 4. 7	15.80 121.70 Baler	7.3	9	死者17人、負傷者280人。
8	1977 3. 19	16.70 122.31 ルソン島北部	7.0	8	死者3人、負傷者10人。Palananでは健康センターを含むすべての公共の建物が壊れた。
9	1981 11. 22	18.71 120.65 ルソン島北西部	6.7	8	死者51人。コンクリート橋に亀裂が入った。
10	1983 8. 17	18.33 120.87 ルソン島北部	6.5	8	過去52年間に北部ルソンで最も大きな被害を出した地震。少なくとも150戸の家屋が倒壊し、250戸が被害を受けた。直径8.5mの噴砂孔が生じた。斜面崩壊が急斜面を中心として発生し、地震前の降雨が被害を拡大した。死者19人。
11	1987 8. 18	17.4 121.3 ルソン島北部	5.9	—	地震によって生じた斜面崩壊が豪雨のために拡大し、死者8人、負傷者5人の他、家屋や水田に被害を出した。

*MMI 改正メルカリ震度階 (Modified Mercalli Intensity)

3. フィリピンの地形と地質

フィリピン諸島は北緯4°から22°、東経116°から127°にわたって分布する7,107の大小の島々から構成されており、その総面積は約30万km²である。最大の島はルソン島(106,000km²)で、ミンダナオ島(96,000km²)がこれに次ぎ、総人口5,800万人の半分以上が両島に住んでいる。年平均気温は32℃であり、7月から10月までは雨期となる。

フィリピンは、フィリピン・プレートと東南アジア（ユーラシア）プレートの接点にあり、東側を太平洋、フィリピン海、フィリピン海溝、東ルソン海溝、西側を東シナ海、マニラ海溝、クタバト海溝などに囲まれている。陸上の山脈などはそれらの海溝の方向と概ね平行に発達している。

これらの島々は、地質構造上、次の2つのグループに大別される。即ち、

- ① パラワン島からミンドロ島、スルー諸島、ミンダナオ島西端サンボアングに及ぶ南西および北西方向の構造線を形成する島々。

主として中生代ジュラ紀～白亜紀（一部古生代石炭紀及び新生代を含む）の地層が分布している。

- ② ルソン島、レイテ島、ミンダナオ島を通してインドネシアのスダ列島に続く南北方向の構造線を形成する島々。

このグループはフィリピン群島の大部分を占め、新生代（第三紀中新世を主とする）から現世までの新しい時代の堆積岩や火山岩が分布している。

これらの岩石の表層部は熱帯地方特有の高温・多湿という気候条件下で強い風化作用を受けラテライト土となっている。

フィリピン群島は環太平洋造山帯・地震帯に属し、日本列島と同様に地震や火山活動が激しい。陸上部では多くの断層が確認されているが、最大のものはNNW-SSE系のフィリピン断層（Philippines Fault）であり、北はルソン島リングエン湾から南下し、ミンダナオ島ダバオ湾に至る1,200km以上にも及ぶ左横ずれ断層である。その活動は第三紀初期から現在に及んでいる。この断層は中部ルソン付近からいくつもの派生断層を作り、その延長はルソン島北端にまで至っている。

ルソン島中部から北部へかけての地質図を図3-1に示す。



凡 例

- | | |
|---|---|
| 堆積岩類 | 貫入岩類 |
| <ul style="list-style-type: none"> 第四紀堆積物 第三紀鮮新世～第四紀 火山性堆積物 第三紀鮮新世～第四紀更新世 海成、陸成堆積層 第三紀上部漸新世～上部中新世 堆積岩及び火山岩類 第三紀暁新世～漸新世堆積岩及び火山岩類 白亜紀～古第三紀 岩石類 白亜紀堆積岩及び火山岩類 | <ul style="list-style-type: none"> 閃緑岩, 花崗閃緑岩等 中性～酸性岩 はんれい岩, かんらん岩等 塩基性～超塩基性岩 |
| 変成岩類 | 断層 |
| 結晶片岩, 千枚岩, 片麻岩等 | 断層 |

図3-1 ルソン島中北部の地質（文献7を修正）

4. 被害の概要

ルソン地震による被害の全体像は地震後2カ月経過してもまだ明かではないが、8月15日時点で判明した被害は次の通りである。

死者	1,666人
負傷者	3,561人
行方不明	460人
被害額	99億ペソ（約600億円）

（8月16日 日経新聞より）

物的損害では、全壊家屋が2万5千戸余り、一部損壊家屋が約7万戸に達するとされている。主要な被害地点とその特徴をまとめると図4-1および表4-1になる。死者の多くはバギオ市を中心として中高層建物の倒壊の犠牲になったものである。夏期には政府機関も移動する高原都市バギオでは、近代的な大規模ホテルが軒並み倒壊し、多くの犠牲者を出した。しかし老朽化した建物や1,2階建の一般住宅にはほとんど被害がなく、単純に地震動の強さのみでは片づけられない。

マニラからバギオに通じる道路も地震による崖崩れで交通が途絶し、救援活動が著しく阻害された。現在も主要道路のケノン(Kennon)道路は復旧しておらず、西海岸の方からバギオに入るナギリアン(Naguilian)道路のみが一方通行の状態に通じている。同様に震源に近いカバナツアン(Cabanatuan)市でも単科大学が倒壊し、数十人の犠牲者を出した。

一方、マニラ北方約170kmのリンガエン(Lingayen)湾沿いの都市ダグパン(Dagupan)では、市中のかなりの範囲にわたって地盤の液状化が発生し、2,3階建以上の建物に大きな沈下や傾斜が生じた。沈下量は大きな所で1mを超えると推定されている。液状化のため市中を流れるパンタル(Pantal)川に架かる2本の橋のうちマグサイサイ(Magsaysay)橋が落橋した。この他、ガソリンスタンドの地中タンクの浮き上がりの被害もみられた。

橋梁にも多くの被害が発生した。被害を受けた道路橋の総数は39にのぼり、特にマニラとバギオを結ぶ道路に架かる長さ655mのカルメン(Carmen)橋は液状化によるとみられる橋脚の変状のため橋桁が落下し、通行不能となった。この他、橋に異常はないものの、取り付け道路が崩壊して通行不能になったものもある。

現地調査においてみられた主要な被害については次章以降に詳しく説明する。

以下に紹介する新聞記事によっても地震発生から日数が経過するにつれて被害が拡大していくのがよくわかる。

◇フィリピン・クリスチャンカレッジ（6階建）倒壊（カバナツアン），◆2階建公設市場「ラ・トリニダド」倒壊（カバナツアン），◆ハイアットテラス・バギオ（5階建），ネバダホテル（4階建）倒壊（バギオ），◆マニラ市内で4箇所のビルが損壊，◆市内のアグノ川にかかる2つのコンクリート製の橋が壊れ、1つは完全に倒壊（ダグパン）（以上7／17 朝日新聞朝刊）

◇国際観光ホテル（ハイアット・テラス・バギオ，ホテルネバダ，バギオパークホテル，ヒルトップ）4棟倒壊（バギオ），◆ホテル・モンテセロ（木造2階建）一部損壊（バギオ），◆テキサス・インスツルメンツの工場，事務所棟の倒壊（バギオ郊外），◆サンルイ大学で死者5人（バギオ）（以上7／17 朝日新聞夕刊）

◇市内の水道管，電線，電話線が寸断（バギオ），◆「ケノン道路」は約500m間隔の土砂崩れで寸断（バギオ），◆一番被害の少ない「ナギリヤン道路」は200～300mにわたる大量の土砂崩れによって分断（バギオ），◆空港は地震により大きく波うち、ヘリコプターのみ着陸可能（バギオ）（以上7／18 朝日新聞朝刊）

◆ルソン中・北部全域にわたってM6.3およびM5.8の地震があり、山間部で土砂崩れが相次いだ，◆市南東部の工業団地の工場が倒壊・火災（バギオ），◆ハイアット・テラスは10階建のビルの2/3ほどが折れ曲がってつぶれている（バギオ）（以上7／18 朝日新聞夕刊）

◆空港近くの西独系電子部品工場「アラックス・フィリピン」の建物（3階建，延べ床面積9000m²）が完全につぶれている（バギオ），◆海岸沿いの商業地区で広範囲にわたって砂混じりの海水が地表の裂け目から噴出する液状化が発生。このため多数のビル・住宅が倒壊したり、傾くなどの被害がでている。ビルの大多数は30cmから1mほど地下に沈み、道路にはヒビが入り、噴き出た砂ででこぼこに盛り上がっている。ビルの多くは傾いているか、隣の建物によりかかっている状態で、4、5棟は特にひどく傾いている。各建物の1階部分には泥が10～30cmほどの高さに積もっており、そのわきに海水がたまっているところもある。被害は約140億円（ダグパン）（以上7／19 読売新聞朝刊）

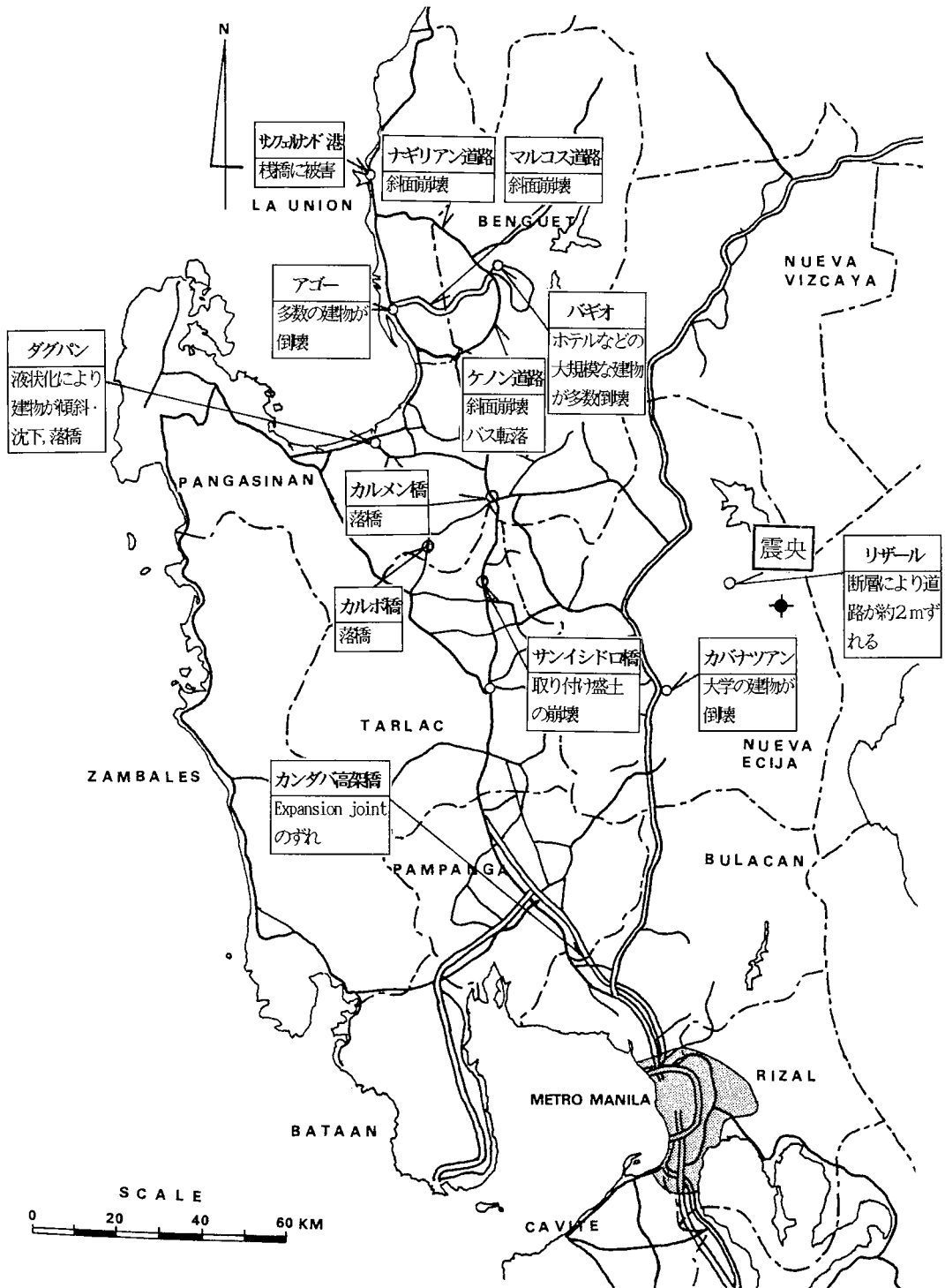


図4-1 ルソン地震の主要な被害位置図

表4-1 主要な被害一覧表

地 点	被 害 の 概 要
<p>バギオ Baguio</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 22の建物が大きな損害を受けた。 ・ ハイアットテラス(Hyatt Terrace), ネバダ(Nevada), バギオパーク(Baguio Park), ヒルトップ(Hilltop), シエスタイン(Siesta Inn), ロイヤルイン(Royal Inn), F R Bの各ホテルが倒壊。死者多数。 ・ バギオカレッジファウンデーション(Baguio College Foundation), バギオ大学(Univ. of Baguio)が倒壊。 ・ バギオ輸出加工区(Baguio Export Processing Zone)の第2ビル(EPZA Building, 5社入居, 死者12人)が倒壊後に火災。 ・ ケノン(Kennon)道路, ナギリアン(Naguilian)道路斜面崩壊のため通行止め。土砂崩れのためバスが谷底に転落。 ・ バギオ空港: 約200mにわたる亀裂が入り、約30cmの段差ができた。
<p>ダグバン Dagupan</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 死者十数人, 被害額20~50億ペソ。 ・ 広い範囲の液状化により沈下・傾斜を生じた建物が多数あり。橋が落橋。地中ガソリタンクの浮上。
<p>アゴー Agoo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多数の建物が倒壊した。
<p>カバナツアン Cabanatuan</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ フィリピンクリスチャン大学(Christian Colleges of Philippines)が倒壊。死者多数。
<p>マニラ Manila</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 約25のビルで壁にヒビが入ったり、ガラスが壊れた。
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁の被害が多い。落橋: カルメン(Carmen)橋, カルボ(Calvo)橋, マグサイサイ(magsaysay)橋など。 橋取付け盛土崩壊: サンイシドロ(San Isidro)橋など。 ・ 鉄道橋や盛土にも被害が多い。

5. ダグバン市の地盤と被害

5.1 地盤の概要

ルソン島中部にあるダグバン市は、南は首都マニラ市から続くルソン中央平野 (Luzon Central Plain) の最北端に位置し、 リンガエン湾に面した海岸沖積平野上に発達した地方都市である。

ルソン中央平野は、東西をコルディレラ (Cordillera) 山脈とザンバレス (Zambales) 山脈に挟まれた低地であり、ダグバン市付近の基盤は市の東方約15kmに見られる第三紀中新世から鮮新世のロザリオ層 (Rosario Formation) と考えられる。

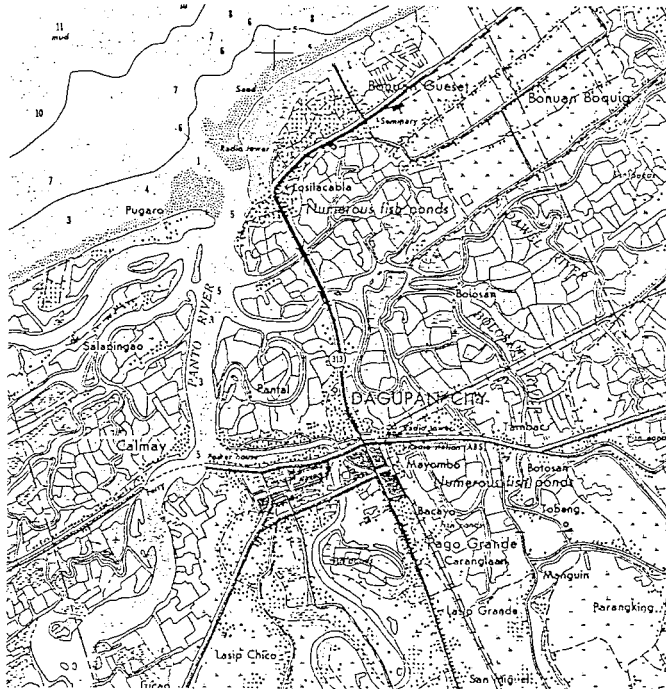
ダグバン市周辺にはリンガエン湾流による幾条もの海岸線に平行な砂州が発達し、さらにアグノ (Aguno) 川支流の大小河川が不規則に合流して形成された沖積堆積物が分布している。図5-1に示すように砂州の間や河川付近の低地を利用して古くから養魚業が盛んであり、街の発達と共に養魚池が埋め立てられて今日に至っているものと考えられる。

既往ボーリング資料 (ダグバン市による) よると、ダグバン市街地周辺では10地点のボーリング調査が実施されており、標準貫入試験も行われている。調査結果によると砂層のN値は20以上と比較的高い値を示すところが多い。ただし現地標準貫入試験のハンマー落下方式は、わが国で一般に用いられているトンビ法やコーンプリー法ではなくウィンチとワイヤーを使用する方法であり、国内でいう通常のN値とは落下エネルギーに違いがあることに留意する必要がある。わが国とフィリピン国で実施されている標準貫入試験の打撃エネルギーの違いを調べるため、比較試験を実施した。この結果、次ページに示すようにウィンチ法の落下エネルギーは、トンビ法の約半分であることがわかった。

従って現地ボーリング資料のN値を単純にわが国で測定されるN値の2倍であると考えると、砂質土層のN値は5~20程度、下部粘性土層のN値は5前後となり、わが国の沖積地盤と類似した値となる。

図5-2に示す地質想定断面図によると、地表面近くからGL-11m前後までは比較的均一な砂層 (A_s 層) があり、以深-17m前後までは砂層と粘性土層が不規則あるいは互層状に堆積 (A_{sc} 層) し、下部粘性土層 (A_{c2} 層) に続いている。

A_s 層はN値の大きさから A_{s1} 層と A_{s2} 層に分けられが、 A_{s2} 層は比較的細粒分を含んでいると考えられる。 A_{sc} 層は砂分および細粒分の卓越状況から A_{sc1} 層と A_{sc2} 層に分けられ、 A_{sc1} 層は粘性土主体、 A_{sc2} 層は砂質土主体であるといえる。



縮尺 1/62,500

図5-1 ダグバン市付近の地形図

標準貫入試験の打撃エネルギー測定

測定場所：当社千葉機材センター

測定方法：ノッキングブロックの下に取り付けた大型貫入試験用のロッド（φ60mm、長さ1m）の中間にひずみゲージを装着し、動ひずみアンプで荷重を測定。

測定器：大型貫入試験エネルギー測定装置（電力中央研究所所有）

測定結果：ウインチ法はトンビ法の約半分の打撃エネルギーしかない

打撃方法	打撃エネルギー-比率(トンビ法を1.0)
①. トンビ法	1.000 (3回平均)
②. ウインチ法	
a: ブレーキをはずして落下	0.502 (3回平均)
b: クラッチを切って落下	0.503 (1回)
③. コーンプリー法	
a: 2回巻き付け	1.137 (2回平均)
b: 3回巻き付け	0.985 (2回平均)

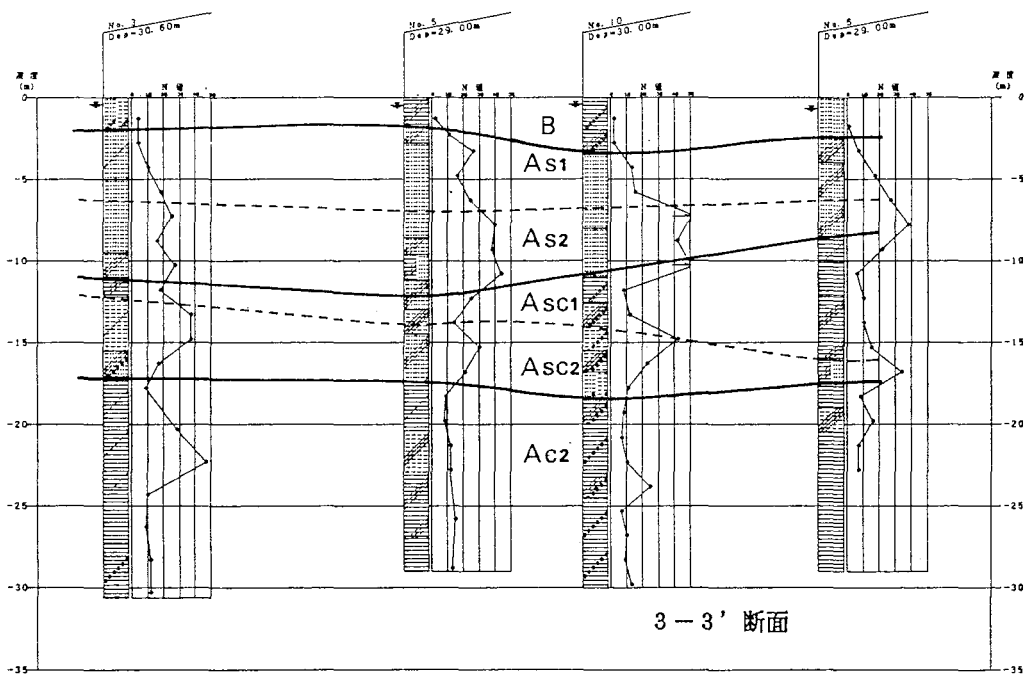
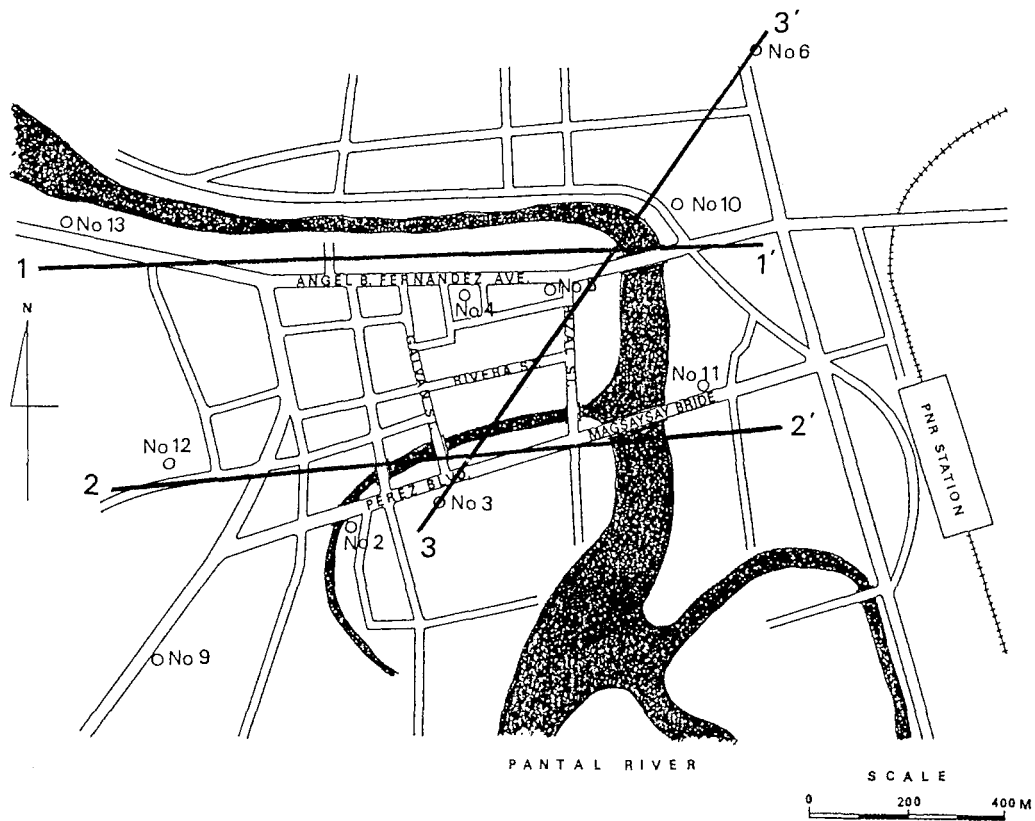


図5-2(a) ダグパン市街地の地質想定断面図 Scale V:1/400 H:1/10,000

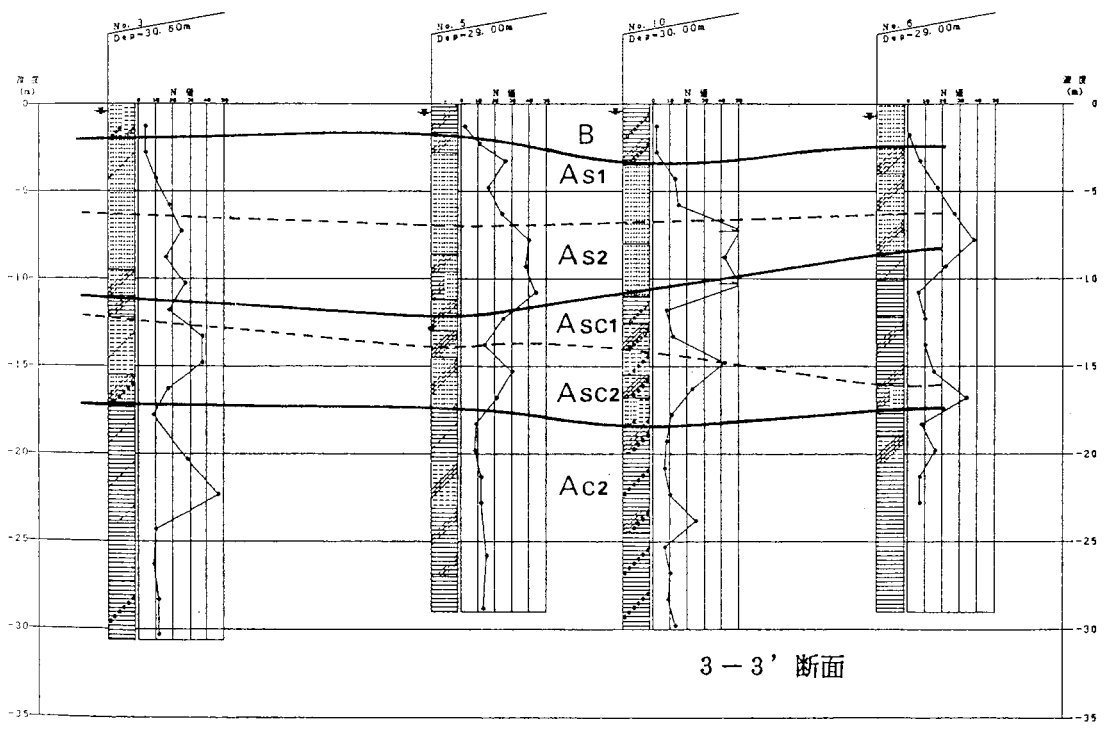
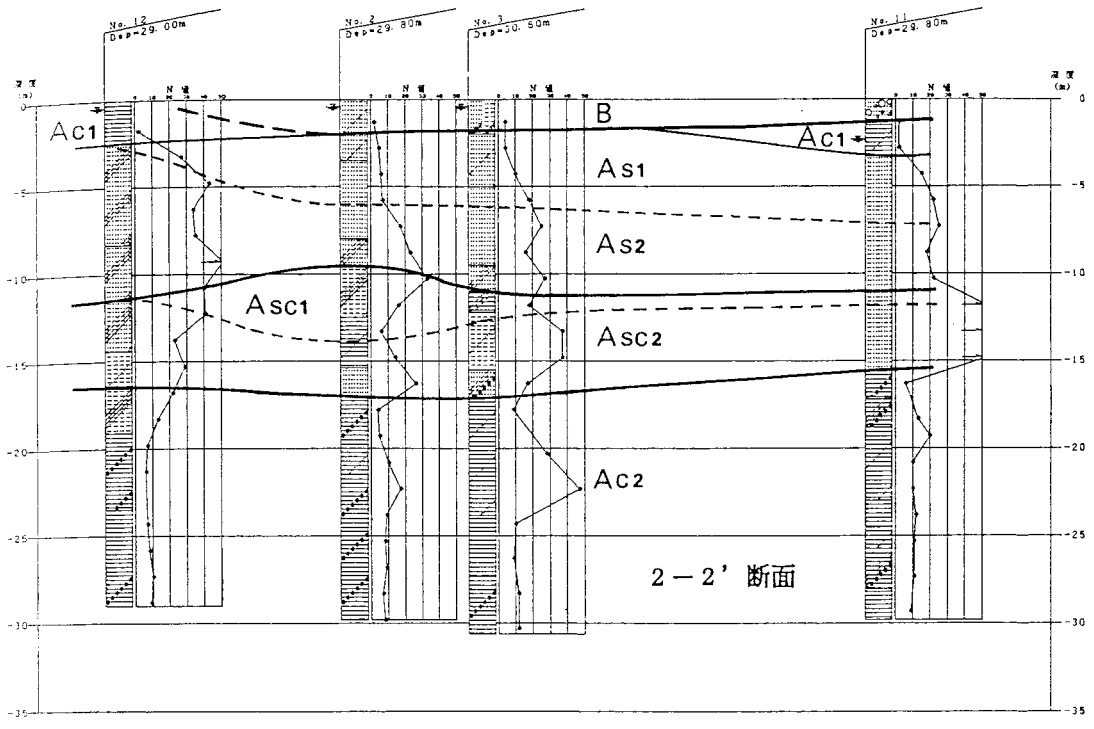


図5-2(b) ダグパン市街地の地質想定断面図 Scale V:1/400 H:1/10,000

5. 2 地盤の液状化とその特徴

(1) 液状化の範囲

ダグパン市の市街地はリングエン湾に注ぐパンタル(Pantal)川(アグノ川の支流)が北から西に大きく方向を変える地点に位置し、川の両岸に広がっている。標高が1~2mの低地で、地下水位は1~2mと浅い。

液状化は、噴砂現象や建物沈下状況等より図5-3に示すような範囲で発生したと考えられる。また、同図には後述する粒度試験の実施地点およびスウェーデン式サウンディング調査地点も併記した。

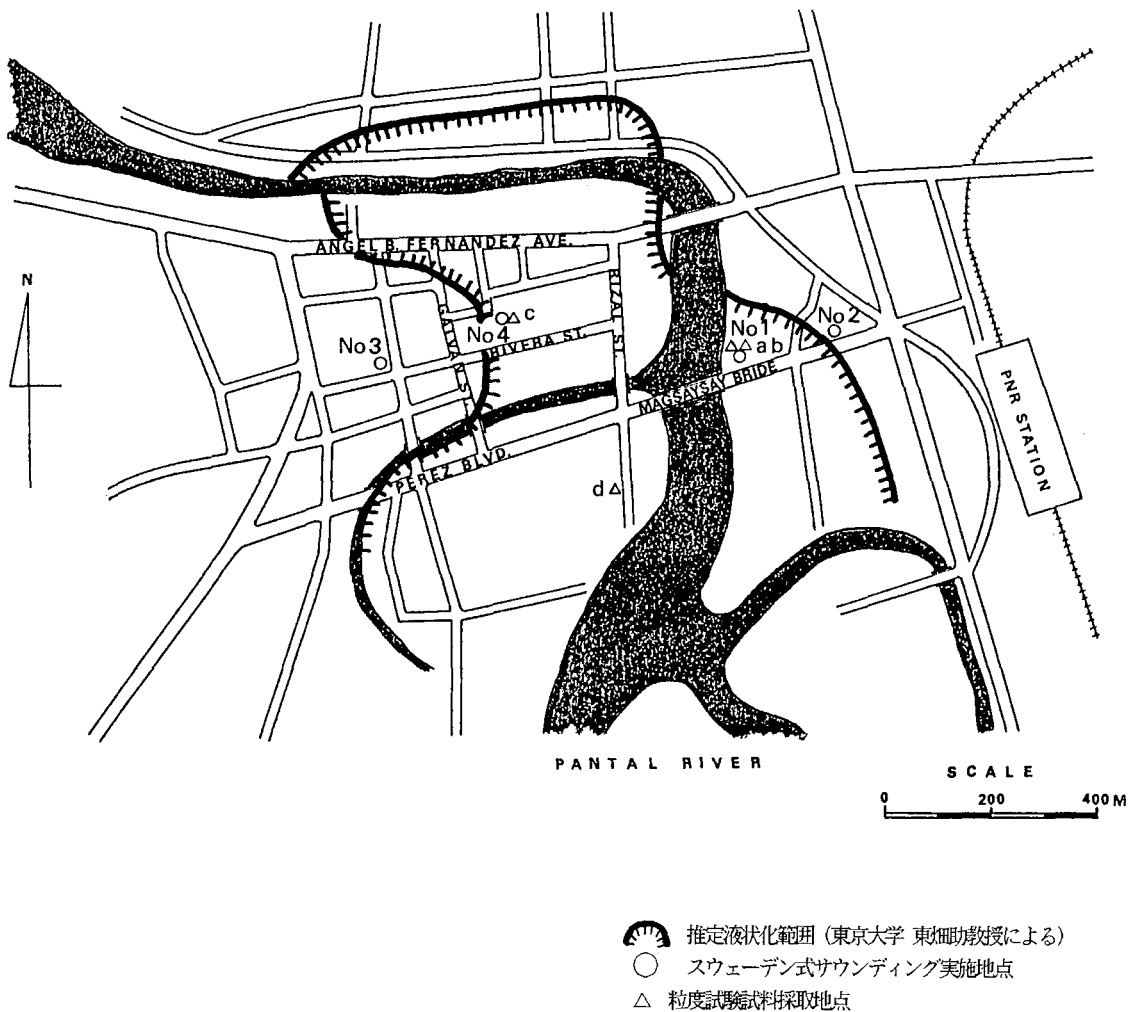


図5-3 ダグパン市街地における液状化範囲

(2) 噴砂の粒度特性

5.1で述べたように、ダグパンの地質は地表面近くからGL-11m付近まで砂層があり、地下水位も高いことからこの砂層が液状化したものと推定される。

液状化層の粒度特性を調べるために噴砂を採取して粒度試験を行った。その結果は図5-4に示すとおりである。サンプルは地震後1ヶ月以上も経過しているため、降雨等により多少細粒分が流されてしまった可能性はあるが、粒径はほぼ揃っており、平均粒径； $D_{50}=0.2\text{mm}$ 程度であり、液状化を起こしやすい砂質土であるといえる。同図には8.2で述べる、アゴーで採取した噴砂の粒径加積曲線も併記したが、ほぼ同じ粒度特性を有している。

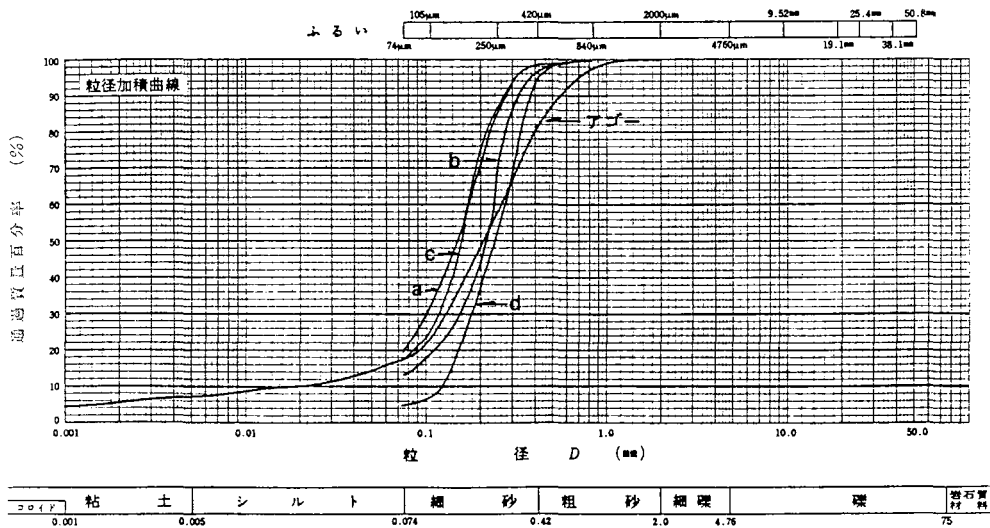


図5-4 採取した噴砂の粒径加積曲線

(3) スウェーデン式サウンディングによる調査

今回の調査においては、深さ15m付近までの地層が確認でき、かつ簡易な調査方法として改良型スウェーデン式サウンディング試験機を用いて、液状化地点2地点、非液状化地点2地点、合計4地点の調査を実施した。

改良型スウェーデン式サウンディング試験機の概略は図5-5および写真5-1に示すとおりである。この試験機の特長は、従来の鑄鉄製の錘の代わりに、袋状の厚肉ホースに現地砂を詰めたものを錘として用いているため、軽量で運搬に便利なことである。

調査位置は前記図5-3に示したとおりで、各地点の概略状況は以下に示すとおりである。

- No. 1 バンタル川に近接したDWEC FM放送局の裏手で、いたる所に液状化により噴出した砂があり、放送局の建屋は沈下している。また、すぐ近くのマグサイサイ橋も落橋等の大きな被害を受けており、液状化の度合いはかなり激しいものであったと考えられる。
- No. 2 No. 1地点より200m程度東側にあるバランガイ・アパート(Barangay Apartelles)の裏手で、液状化による被害は見受けられない。調査地点の表層部分は砂主体で $\phi 10\sim 15\text{cm}$ 程度の玉石が敷き詰められている。
- No. 3 セント・ジョーンズ・カセドラル・スクール(St. Jone's Cathedral School)のグラウンド脇にあたり、この近辺では液状化による被害は見られない。
- No. 4 シティホール(City Hall)の裏側付近にあたる地点で、簡易舗装した表面は一面噴出した砂によって覆われ、その厚さは約13cmである。この近辺では液状化による地盤沈下等、数多くの被害が見られる。

調査結果は図5-6に示すとおりである。同図には後述するN値と N_{sw} の関係より求めた換算N値の深度分布図も併記した。

これによると、サウンディング結果は5.1で述べた概略の地層構成とよく対応している。特に既存ボーリングデータが近傍にあるNo.1とNo.4では、地層境界のレベルおよび地質の漸移的な変化も捉えているといえる。

図5-7には今回のサウンディング結果の N_{sw} と近隣地点の既往ボーリング調査のN値との相関関係を示した。ただし、N値は貫入試験の落下エネルギーの違いを考慮して1/2倍した値を用いている。図では各地層別に、粘性土系を黒ヌリ、砂質土系を白ヌキで表示したが、地層あるいは土質の違いによる明確な傾向はみ

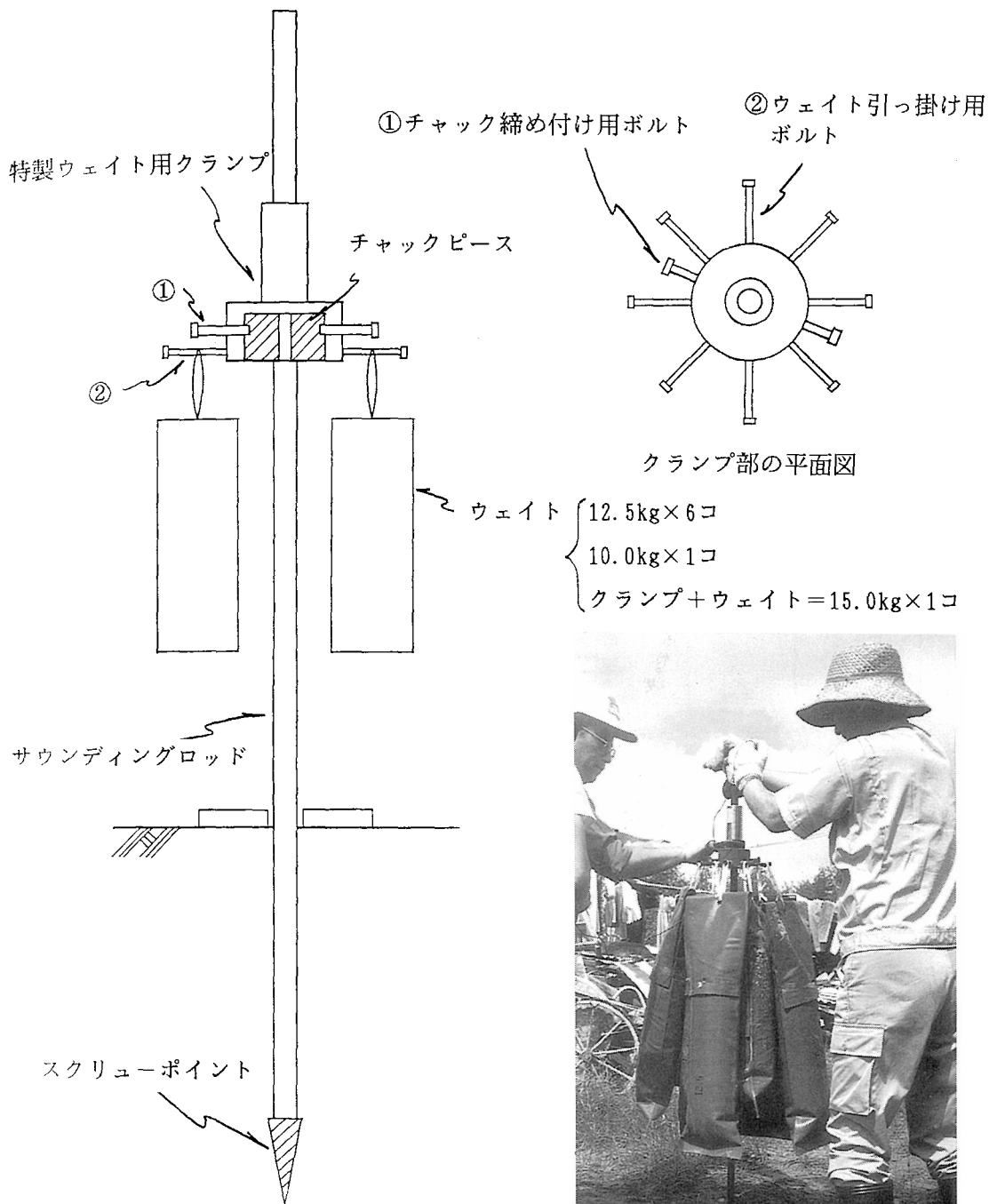


図5-5 改良型スウェーデン式
サウンディング概略図

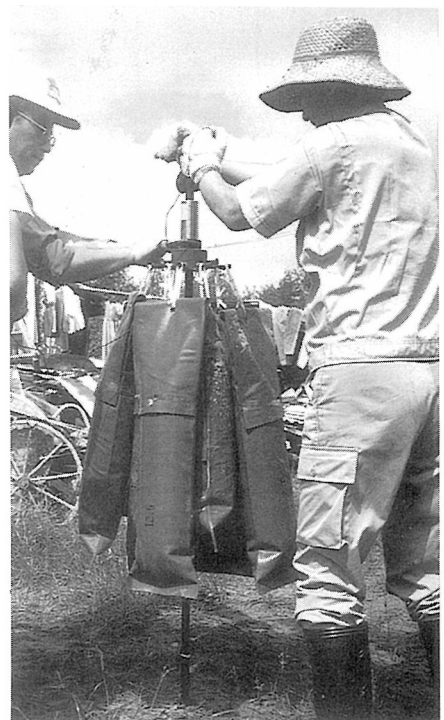
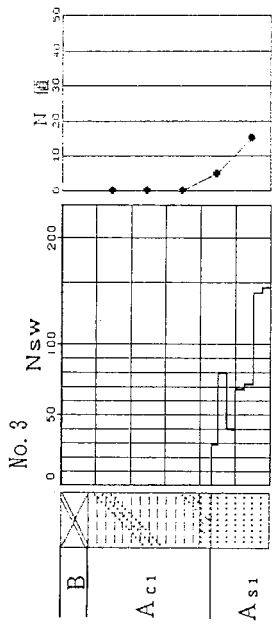
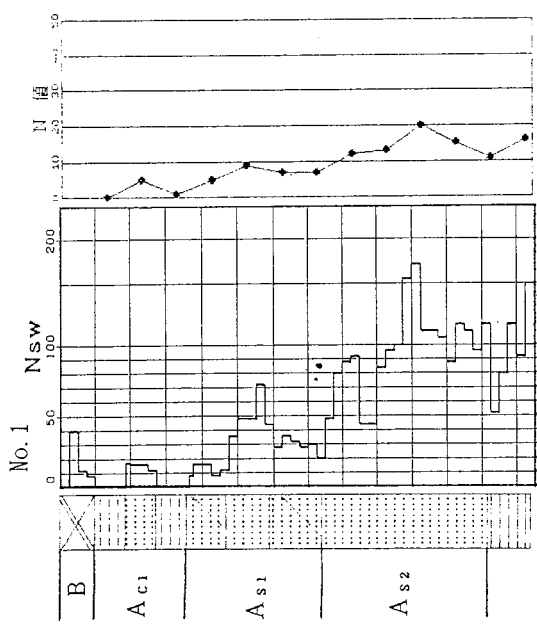
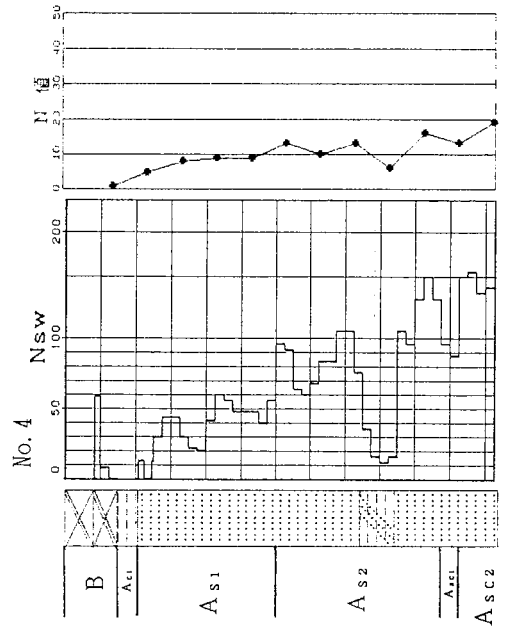
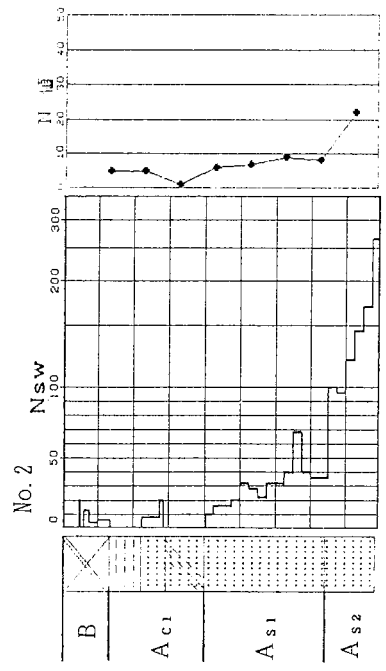


写真5-1

スウェーデン式サウンディング作業中



深度 (m) 0 -5 -10 -15

0 -5 -10

図5-6 スウェーデン式サウンディング結果

られない。図中には三木および稲田による砂質土の関係を併記したが、この調査結果ではN値を1/2にしてもなお既往研究と比べて、同じN_{sw}値に対してN値が大きくなる傾向を示している。データ数が少ないので、目測でN_{sw}～N値の回帰式を求めると、 $N = 4 + 0.1 \cdot N_{sw}$ 程度となる。図5-6のスウェーデン式サウンディング調査結果に表示したN値はこの式により算出した値である。

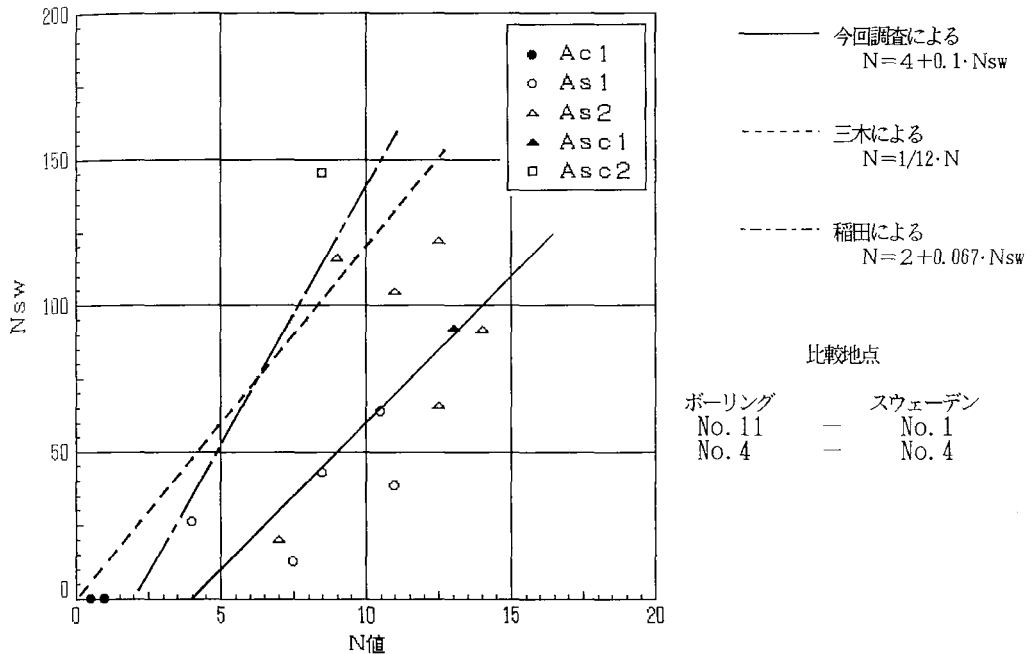


図5-7 N値とN_{sw}の関係

サウンディング調査結果より得られた地盤の特徴は次に示すとおりである。

No. 1地点ではGL-3.7m～-7.5m付近にN値5以下程度と推定される緩い砂層(A_{s1}層)があり、この層で液状化が発生したと考えられる。

No. 2地点は地層構成はNo. 1地点とほぼ同様であるが、A_{s2}層でN_{sw}に大きな差がでている。A_{s1}層は層厚、N_{sw}とも同程度であり、地表面からの地層状況だけからみると液状化発生の可能性は高いと考えられるが、地表面付近の埋土の状況等、不明な部分も多く、原因解明にはより詳細な情報が必要である。

No. 3地点は地表面付近の非液状化層の層厚が4m程度と多少厚いことと、液状化対象層であるA_{s1}層の層厚が薄い(1.5m程度)ことにより、地表面への噴砂あるいは構造物への影響等が現れなかったと考えられる。

No. 4地点はNo. 1同様の地盤状況であり、液状化による被害は大きくなっている。

(4) 簡易法による液状化判定

ここでは「道路橋示方書・同解説」(平成2年2月、日本道路協会)の方法により、既往ボーリングデータを用いて液状化簡易判定を行った。

液状化判定用地震力については、強震記録が全く得られていないので推定が難しいが、土木学会の調査報告¹⁾を参考にして、地表面最大加速度を200galとした。また判定に必要な地盤情報(単位体積重量、平均粒径、細粒分含有率)は同判定法参考資料の概略値を用いた。なおN値については1/2にした換算値を用いている。

判定結果は、推定液状化層断面図として図5-8に示した。

これをみると、1-1'断面ではNo.4、No.5、No.10ではほぼ同程度の液状化が発生したように見受けられるが、No.10では実際にはそれ程の被害は生じていない。この原因としては、No.10のN値等から判断すると、細粒分の混入が推定値よりも多かったこと等が考えられる。

2-2'断面では、No.2およびNo.3付近では液状化層厚が7~8m程度もあり、この層での液状化は地表面および構造物に大きな影響を及ぼしたと考えられる。実際にもこの付近では、噴砂と思われる砂の堆積をあちこちで確認することができ、構造物も主に地盤沈下により大きな被害を受けている。No.11は液状化しないという判定結果になったが、この近辺は液状化による被害の有無の境界にあっており、判断としては微妙なところである。

3-3'断面は1-1'および2-2'断面と交差するラインであるが、パンタル川を越えて北に行くにつれて液状化層厚は薄くなる傾向にある。特にNo.6ではN値が大きくなり、かつ細粒分の混入も多くなるようで、このような地盤条件の変化が川を挟んだ両側の被害の差にもなっていると思われる。

既往ボーリングデータを基に簡易液状化判定の試算を行ったが、全体的にみると実際の液状化領域と判定結果は調和していると考えられる。しかし細かな点では被害と計算結果が矛盾する場合もあった。

その原因としては、①N値の過大評価、②地下水位の不確かさ、③地震動の推定の不確かさ、④細粒分の影響、のような要素が考えられる。地震動の大きさがよく分からないという大きなハンディはあるものの、このような大きな被害が発生した地域の液状化を検討することは予測手法の妥当性を検証する上でも重要であり、今後調査・解析が進展することが期待される。

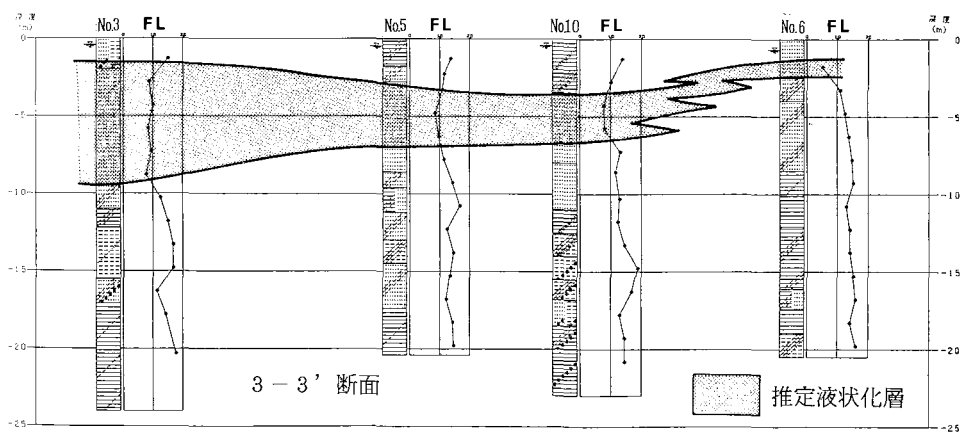
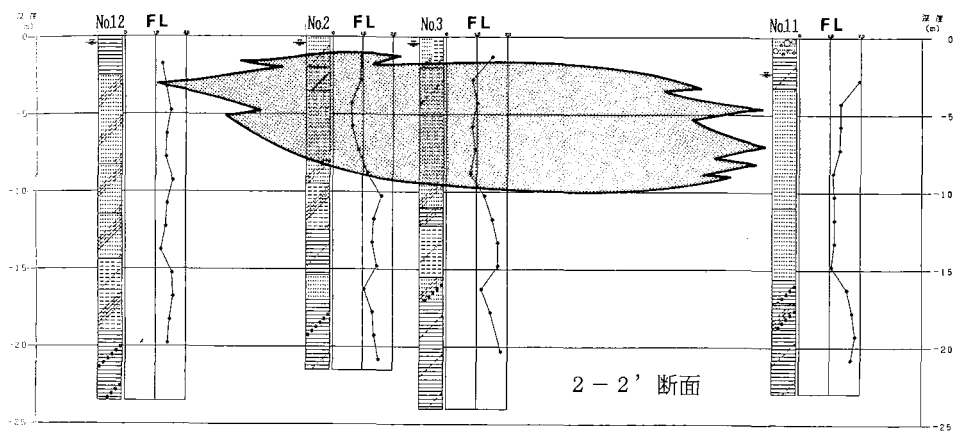
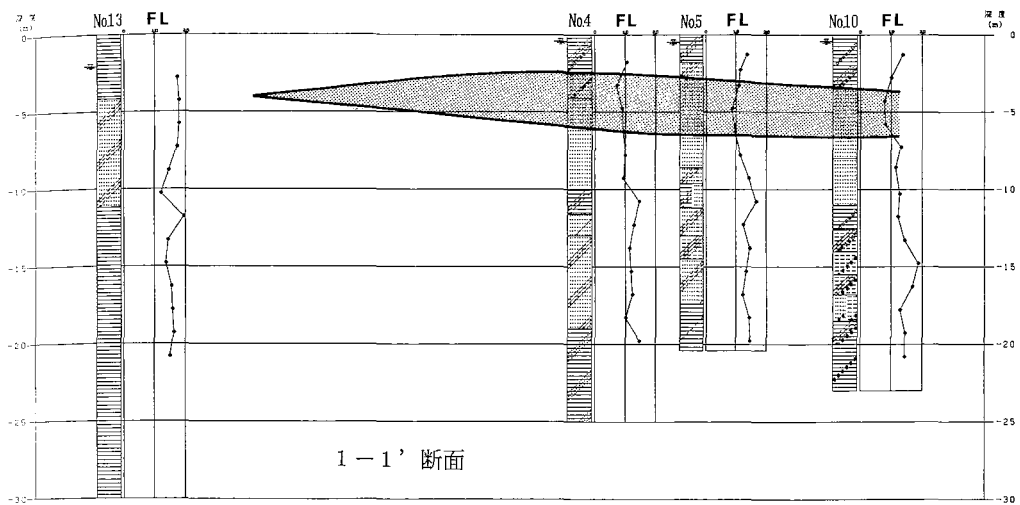


図5-8 ダグバン市街地の推定液状化層断面図 Scale V:1/400 H:1/10,000

5. 3 構造物の被害

ダグパン市内では大規模な液状化が発生し、種々の構造物が被害を被った。特に建築物の沈下及び傾斜の被害が目立った。また、市内の橋梁の一つも液状化のため落橋した。本節ではダグパン市内でみられた被害について簡単に説明する。

(1) 建築物

ダグパン市内では液状化による2階建以上の建物の沈下が顕著であった。写真5-2～写真5-6はその典型的な被害である。写真5-3には道路舗装の一部がそのまま残っていた。この路面の高さが元の地盤面を示しているとする、この道路に面した建物は1m弱沈下したことになる。道路も沈下していると考えられるので、絶対的な沈下量はもっと大きいものになる。

写真5-5, 5-6は沈下するとともに傾斜した建物である。傾斜の方向はまちまちであり、方向性は見いだされなかった。写真5-7は隣接の建物の沈下・傾斜により被害を受けた建物である。この被害は両側の高い建物(3, 4階)の沈下量が大きいため、一緒に引きずられるように沈下したためとみられるが、両側の建物の傾斜によって押された影響もあるのかもしれない。

写真5-8～5-10はNo. 1地盤調査地点である放送局の被害である。マグサイサイ橋そばのパンタル川右岸にあるこの5階建の建物は液状化による沈下により1階部分に特に大きな被害が生じた。また屋上のアンテナが傾いたため、撤去作業中であった。2階以上に外面的な被害が認められなかったのは、沈下が一様であったことと建物の剛性が大きかったためと考えられる。

写真5-11～5-13は特に傾斜が顕著な建物の被害である。この傾斜の原因が地盤の差異によるものか建物の構造によるものかは不明であるが、写真5-14, 5-15がマグサイサイ橋に続く南側のペレス(Perez)通りに面した建物で、北側のエンジェル・フェルナンデス(Angel Fernandez)通りに比べると被害の程度が大きいことを考えると、このような建物の傾斜は液状化の激しさに原因を求めることができるのではないかとと思われる。

写真5-14でも建物の沈下の程度がよく分かる。くぐり戸の高さからみると元は手で示しているくらいの高さにあったようであり、これより道路と建物の相対的な沈下量は50cm程度と考えられる。沈下した建物のそばには、まだ噴き出した砂が溜っており、足を入れると30cm以上もぐり込む状態であった(写真5-15)。

写真5-16は道路は沈下したけれど建物は沈下しなかった例である。



写真5 - 2

液状化により沈下した建物



写真5 - 3

液状化により沈下した建物。舗装が一部残っている。



写真5 - 4

液状化により沈下した建物。地震の後の水害で水がたまっている。



写真5-5

液状化により沈下・傾斜した建物。



写真5-6

液状化によって沈下・前傾した建物。

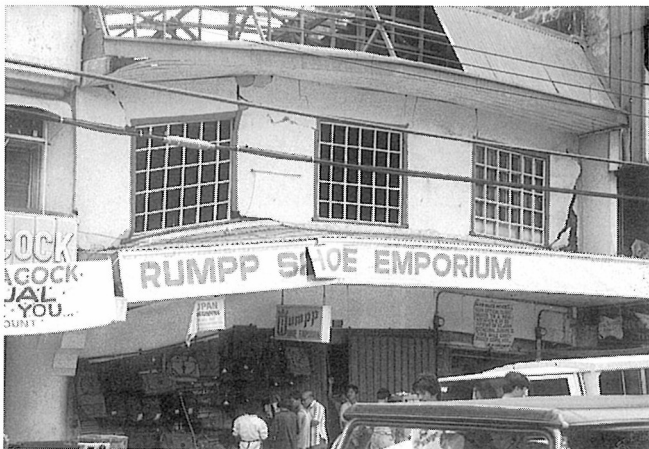


写真5-7

両隣の建物との沈下の差異によって生じた建物の破壊。



写真5-8
液状化により沈下・傾斜した放送局。2階以上には被害がみられない。



写真5-9
液状化によって沈下・前傾した放送局1階部分を拡大したもの。



写真5-10
放送局裏の空き地に生じた噴砂。



写真5-11

液状化により大きく傾斜した5階建の建物。隣のビルに寄りかかる形で転倒を免れている。



写真5-12

液状化により前傾した建物。

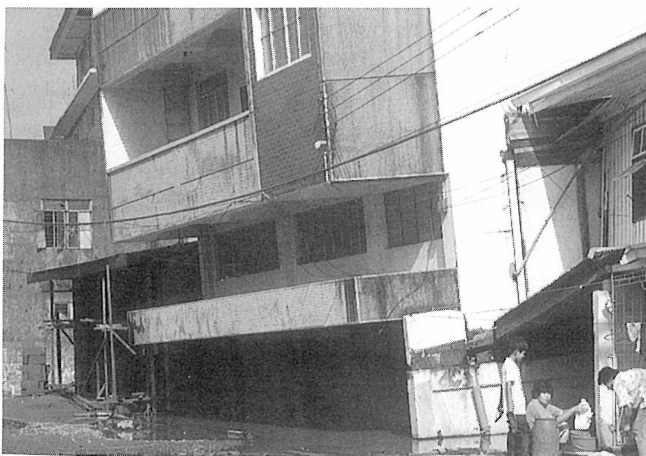


写真5-13

液状化により沈下・前傾した建物。重い建物ほど沈下量大きい。

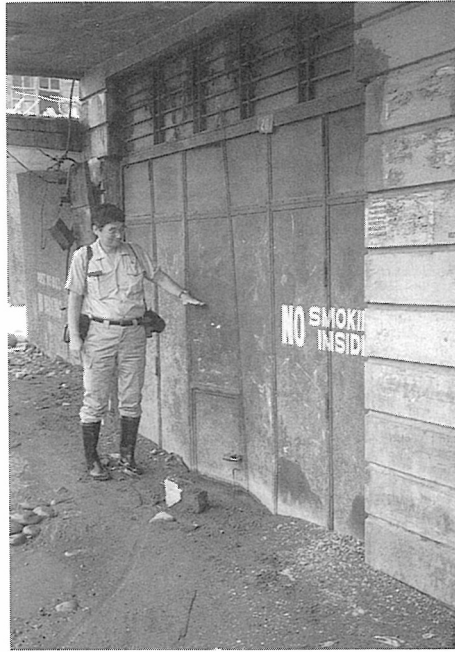


写真5-14

液状化により大きく沈下した建物。沈下の大きさはドアの位置で推定できる。

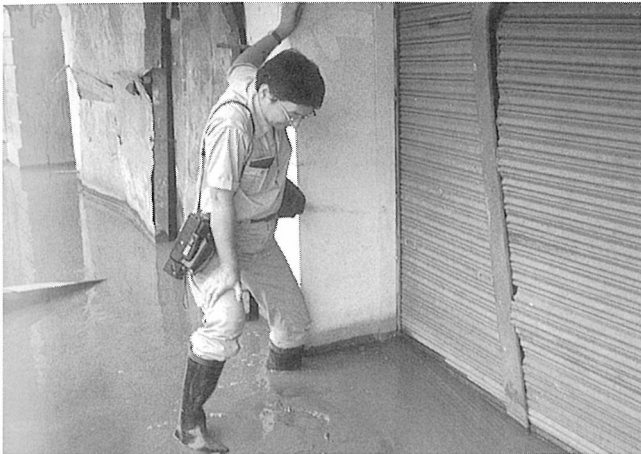


写真5-15

建物のそばには砂がたまっており、その厚さは長靴が全部めり込む位ある。



写真5-16

道路は沈下したが、建物は沈下しなかった例。建物の高さからする直接基礎と考えられる。

(2) マグサイサイ橋

マグサイサイ (Magsaysay) 橋はパンタル川の兩岸に広がる市街地を結ぶ2つの橋梁の1つで、長さ約120mの7連のコンクリート橋（一部合成桁）である。図5-9に示すように東側の4スパンが橋脚の沈下により落橋した。写真5-17は東側より落橋した部分を見たものである。写真5-18はA1橋台からG1, G2スパンを見たものである。P1橋脚の沈下で床版の一部が水没しているが、桁はまだ橋脚の上に乗っているようである。写真5-19, 写真5-20はP3橋脚の沈下により、もう一端がP4橋脚より外れて完全に落橋したG4である。欄干が水面に顔を出しているの、橋脚はほぼ真下に沈下し、桁はまだ橋脚の上に乗っているように見えるが、外れたP4側は何の上に乗っているのだろうか。沈下したP1, P3橋脚の沈下量を写真から目測すると2m程度であったと考えられる。

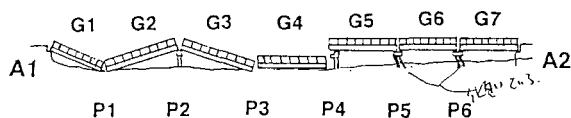


図5-9 マグサイサイ橋の被害状況¹⁾



写真5-17

右岸よりみたマグサイサイ橋の落橋部分



写真5-18

P1橋脚の沈下により橋桁も沈下した。



写真5-19

P3橋脚の沈下によってP4橋脚から落下したG4橋桁。



写真5-20

落下したG4橋桁を上の写真とは反対方向からみたもの。

(3) 地中構造物の被害および地盤変状

地中構造物の被害で見かけたのは、ガソリンスタンドのタンクの浮き上がりや浄化槽の浮き上がりである(写真5-21~5-23)。被害のあったのはマグサイサイ橋左岸にあるガソリンスタンドで、調査時点では写真5-21に示すようにすでにタンクが掘り上げられていたが、コンクリートスラブの亀裂などはそのまま残っていた。地震直後には写真5-22のようにタンクが地盤を押し上げて地表に浮き上がってきた。また写真5-23はこのガソリンスタンドのやや上流側の学校の浄化槽の浮き上がりの状況である。この他、下水道管も液状化による被害を受けたといわれている。

写真5-24~5-29は液状化に伴う大きな地盤変状による被害である。写真5-24はパンタル川が北東から北に流路を変える地点での大きな地盤変状である。写真正面と左側の建物の裏は共に川が流れているが、地盤が主に右から左の方向に流動したため、このような大きな変状を生じたと考えられる。写真5-25に示すように地盤の流動によって教会(写真5-24の右側の建物)の塀が引き裂かれたような状態になっていた。写真5-26は写真5-24正面の川の護岸の様子である。増水していたのではっきりしたことは分からなかったが、写真から判断すると護岸の沈下や前面へのはらみ出しがあったようである。

写真5-27は液状化によると考えられる地盤沈下の後、大雨によってさらに水かさが増した道路の様子を示している。水の深さは長靴による通行が不可能であったところから50cm以上あると判断される。正面右手にある家屋が前に傾斜しているのがわかる。この地点は現在埋め立てられて無い小河川の近くであり、このような地盤条件が大きな地盤沈下の原因の一つであると考えられる。

写真5-28と5-29は前述した浮き上がった浄化槽がある学校の地盤変状の様相である。写真5-28ではブランコ等の遊び場が大きく沈下し、手前の舗装部分が大きく割れている。写真5-29は前述の遊び場の手前にある体育館の壁が地盤変状により引き裂かれたような格好になっている様子である。被害の状態を観察すると建物の基礎地盤が写真右側に移動したために生じたものと推定される。しかし建物の反対側ではこのような被害は見られなかった。

この学校の背後はやはりパンタル川が流れており、このため液状化により地盤の流動が発生したことが被害の原因と考えられる。

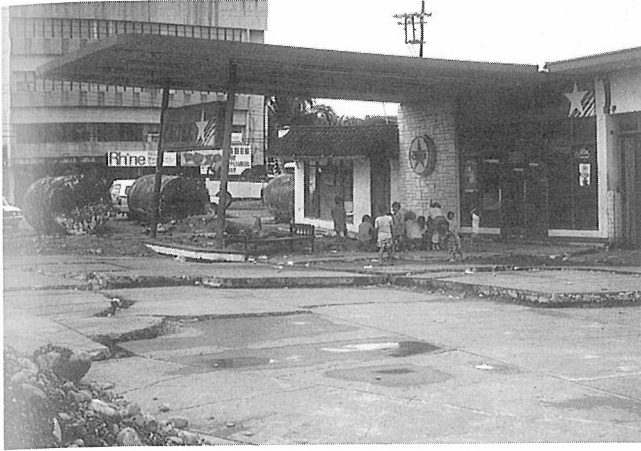


写真5-21

タンクが浮き上がったガソリンスタンド。タンクは掘り出されている。

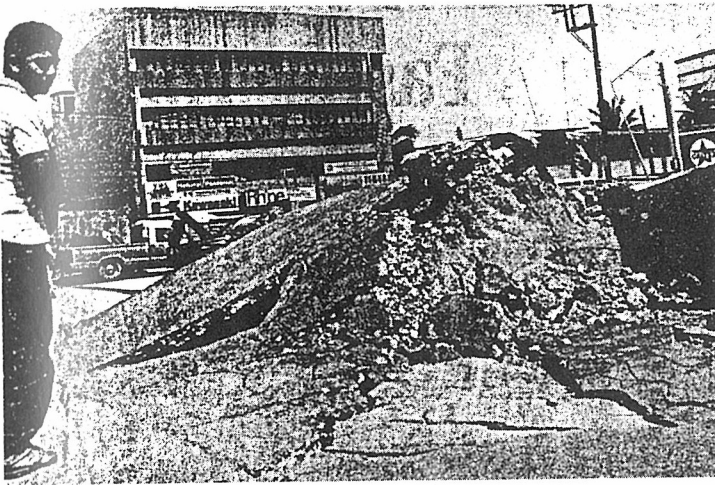


写真5-22

地震直後に撮影されたタンクの浮き上がり。(7/20付Daily Inquirerより)



写真5-23

浄化槽の浮き上がり。



写真5-24

液状化による地盤の流動のため変状した道路と塀。



写真5-25

地盤変状によって引き裂かれた状態になっている教会の塀。

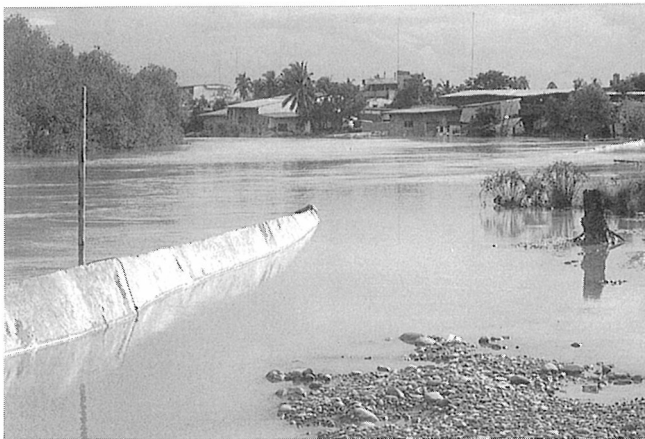


写真5-26

液状化に伴う地盤の流動によって前傾・沈下したと考えられる護岸。

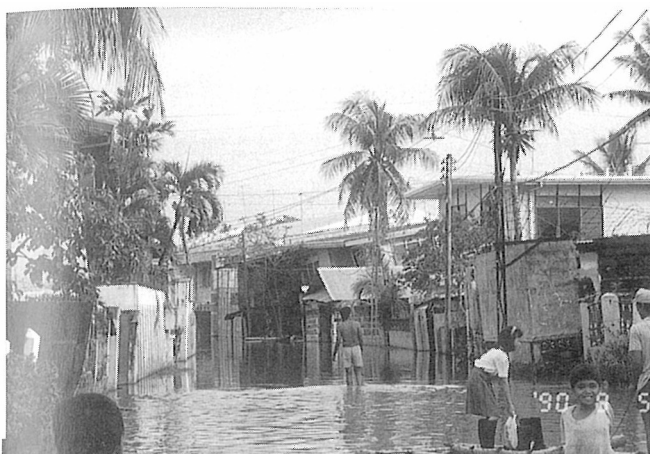


写真5-27
液状化により地盤沈下した後、大雨によって冠水した道路。



写真5-28
液状化による地盤の沈下と地盤の流動を示すスラブの大きな亀裂。



写真5-29
液状化に伴う地盤の流動によって引き裂かれた体育館の壁。

6. バギオ市の地盤と被害

6.1 地形・地質

バギオ市は、北緯16° 付近のルソン島北部に位置し、マニラ市からはケノン道路を通過して約250kmの距離にある。

バギオ市は、周囲を標高1,300mから1,600mの山地に囲まれ、1,000m前後のゆるやかに起伏を繰り返す丘陵と30° 内外の傾斜面上に発展した街である。5月から10月迄は雨が多く年平均雨量は3,500mm 以上にも達するが、平均気温が10°C前後と低いため暑いマニラからの避暑観光地としても有名で斜面上の針葉樹林の中に多くの別荘やホテルが散在している。バギオ市の基盤地質は新生代第三紀下部～中部中新世のジグザグ層(Zigzag Formation)であるが、付近には中部中新世カノン石灰岩(Kanon Limestone) 及び上部中新世のクロンダイク層(Klondyke Formation)が分布し更に花崗閃緑岩, 安山岩, 玄武岩等の火成岩の貫入もみられる。ジグザク層及びクロンダイク層は共に集塊岩, 凝灰岩, 熔岩等の火山碎屑岩を主とし、海成砂岩, 泥岩等を挟在するが、ジグザク層は一般に急峻な地形を作りだしている。カノン石灰岩はジグザク層中に沢山のレンズ状の薄層として分布するが地表部では比較的なだらかな地形を作り出している。

付近には複雑な断層系が発達するが一般的にはNW方向及びNE方向の断層が多く、フィリピン断層北縁のNNW系の活性断層がバギオ市南方に近接して存在すると考えられている。

6. 2 建造物の被害

バギオ市は前述したように市街地が丘陵斜面に発達した街である（写真6-1）。建物の多くは斜面上にあり、大規模な建物を除くと大がかりな切り盛り造成は行われていないようで、一般住宅では斜面上に前面を突出杭で支えられた建物が多く見受けられた。

バギオ市は夏期には政府が移転してくる高原の避暑地であり、国際会議を行えるような施設も多い。今回の地震で被害を受けたのは比較的新しい大規模なホテルや大学の建物で、倒壊やそれに近い被害を生じたものは10棟を越える。大きな被害を受けた主な建物の位置を示すと図6-1になる。

これに対して構造の脆弱な低層の一般住宅や老朽化した建物にはほとんど被害が無かった。

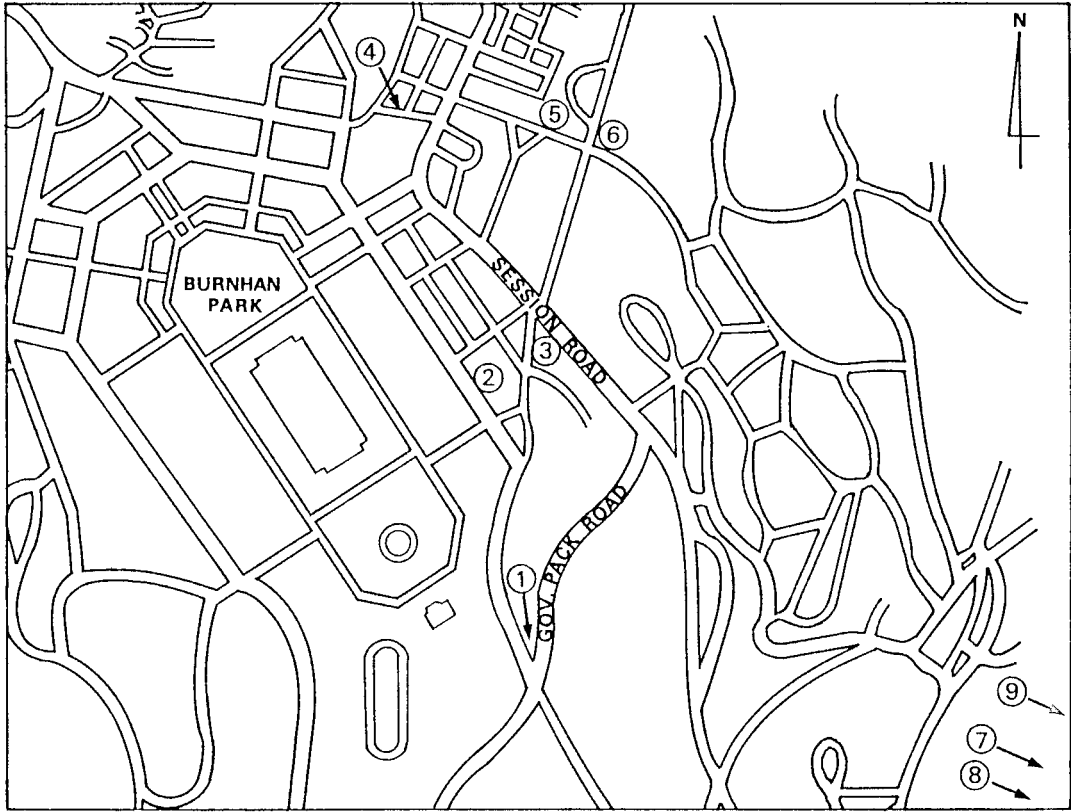
(1) ホテル ハイアットテラス

このホテルはバギオ市街の南東の緩やかな丘陵を造成して造られている。2棟の7階建の建物に挟まれるように玄関を含む4階建ての建物があり、その背後に11階建の新館（タワー）がある。倒壊したのは側面が傾斜した構造になっている玄関の建物と新館である。

玄関の建物は背後の高い部分が崩壊し（写真6-2）、大きなバルコニーをもつ新館は完全に倒壊している（写真6-3）。新館は現在取り壊しが進んでおり、原形を保っているのは6階分位しかない。写真6-4は倒壊した新館の柱の破断の様子を示している。鉄筋の太さや本数についてはわが国の建物と比較してそれほど遜色はないが、フープ筋の間隔が大きいことや鉄筋の接合部における重複の長さが短いことなどが指摘されている。またコンクリートについても山岳地であることから適当な骨材の入手が困難なため、粗悪な材料が使われていた可能性が指摘されている。

倒壊には到らなかった南側の7階建の建物でも壁面に多くのせん断亀裂が発生していた（写真6-5）。また、石積擁壁によって保護されている北側の建物は明らかに不同沈下やはらみ出しによって変形している（写真6-6）。この擁壁の一部は崩れており、これが建物の変形の原因の一つとも考えられる。

この場所は緩やかな丘陵であり、正面の庭付近は盛土しているような印象を受けたが、建物付近は切土造成と推測され、被害原因が地盤変状や切盛地盤の振動特性の差異によるものとは考えにくい。



- | | |
|-------------------------|------------|
| ① バギオ・カレッジ
ファウンデーション | ⑤ バギオ大学 |
| ② バギオパークホテル | ⑥ FRBホテル |
| ③ スカイワールド | ⑦ ネバダホテル |
| ④ ヒルトップホテル | ⑧ バギオ輸出加工区 |
| | ⑨ ハイアットテラス |

図6-1 バギオ市における主な被害地点

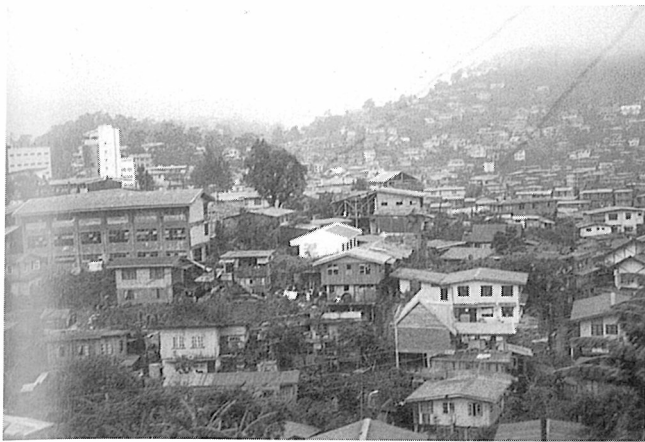


写真6-1

丘陵斜面にかなり密集して建てられている家屋。



写真6-2

崩壊したハイアットテラスの正面棟。



写真6-3

崩壊したハイアットテラスのタワー。元は11階建であったが、取り壊されて6階分しか見えない。



写真6-4

崩壊したタワー部の柱の鉄筋。



写真6-5

南側（正面右側）の建物の壁に生じた亀裂。壁はレンガで出来ている。



写真6-6

北側（正面左側）の建物の被害。窓の白い布は脱出に使われたシート。

(2) ネバダホテル

バギオ市のメインストリートであるセッション(Session)通り沿いの斜面に立つ4階建のホテルである。調査時点では建物は骨格を除いて取り壊されていたが、1, 2階がつぶれている様子がよく分かる(写真6-7、写真6-8)。



写真6-7 下層部分が崩壊したネバダホテルの全景



写真6-8

崩壊したネバダホテルの
玄関付近。

(3) バギオ カレッジ ファウンデーション

バギオ カレッジ ファウンデーション(Baguio College Foundation)はハリソン(Harrison)通りとゴブパック(Gov. Pack)通りが交差する位置に立つ5階建の建物である。3階部分の柱が完全に折れて4階の梁が3階の梁の上に落下している様子が分かる(写真6-9)。写真6-10は崩壊した3階の柱の被害状況を示したものである。



写真6-9

取り壊し中の建物。4階部分が崩壊した。



写真6-10

崩壊部分の柱の近影。

(4) ヒルトップホテル

バギオ市中心街にあるヒルトップホテルの被害である。ホテルの周辺は市場になっているが、市場やその周辺の建物は被害を受けた様子は見られなかった。ホテルを囲むように市場が密集しているため、近づいての調査は困難であり、詳細は不明である。写真6-11はホテルの入口の建物(?)の被害であり、写真6-12は反対側からみた被害状況である。



写真6-11

崩壊したホテルの玄関付近。

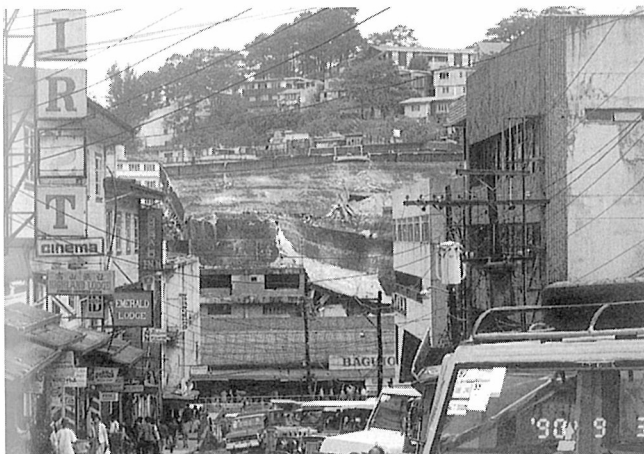


写真6-12

反対側より見た被害状況。崩壊したホテルの屋根が見える。

(5) バギオ大学周辺

セッション通り北方の丘の上には道路を挟んでF R B ホテルとバギオ大学(University of Baguio)がある。写真6-13、写真6-14はバギオ大学の被害の様子である。8階建の建物の4階部分がつぶれた。写真6-15は隣の6階建のF R B ホテルの被害の様子である。このホテルは四角形の1、2階部分の上に円形の建物がのった形をしており、このうち1、2階部分が崩れた。最上階は取り壊しの最中であり、地震による被害ではない。F R B ホテル手前(写真6-15では手前の塀の部分)にはLittle Angels Nursery Schoolの建物があるが、一見したところほとんど被害を受けた様子は見られなかった(写真6-16)。写真6-17はバギオ市でみかけた数少ない木造建物の被害である。この建物はF R B ホテルの奥に位置している。

被害のあったバギオ大学とF R B ホテルは200m四方程度の区域の中にあり、この区域だけに被害が集中的に発生したのは局地的な地盤条件に差異があるのかもしれない。大きな地盤の変状が見られないことから、地盤条件の差異によって局所的に大きな地震動が生じたことが被害の原因と考えられる。

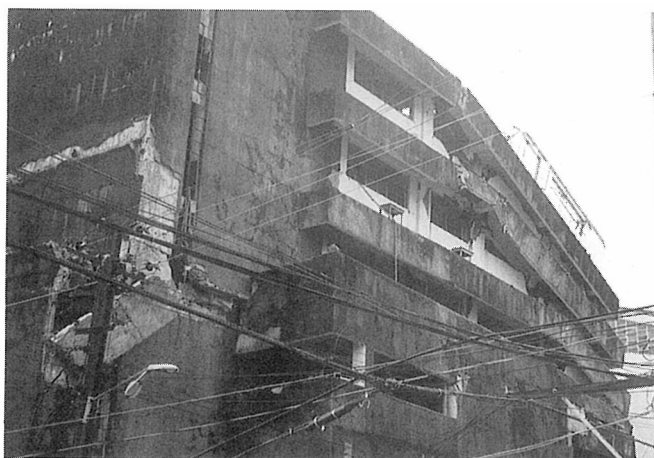


写真6-13
側面よりみた被害状況。
4階部分が崩壊し、その
ため上階の床が傾いた。



写真6-14
後ろから見た被害状況。

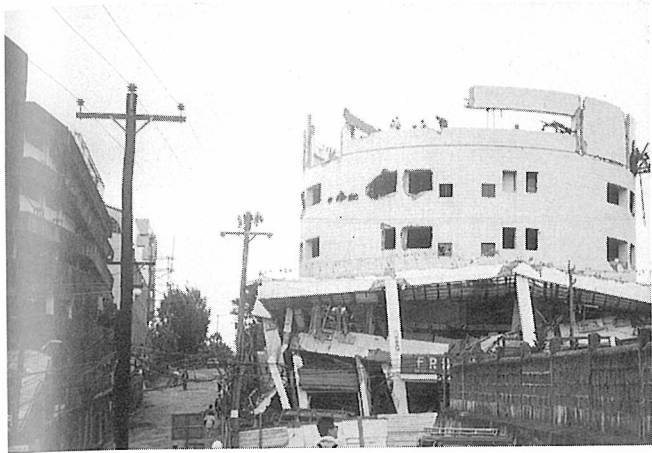


写真6-15

1, 2階部分が崩壊したFRBホテル。左側はバギオ大学。

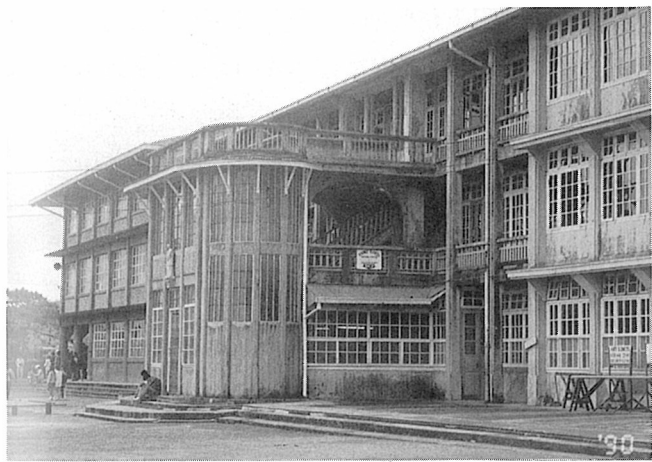


写真6-16

被害が軽微であったFRBホテル手前の学校の建物。



写真6-17

数少ない木造家屋の被害。

(6) その他の被害

写真6-18はスカイワールドビルで、かなり老朽化した9階建の建物である。倒壊こそ免れてはいるが、全体にかなり傷んでおり、特に1階部分の被害が大きく立ち入り禁止になっている。写真6-19はスカイワールドビルからバギオ大学に到る坂道でみられた地盤の大きな亀裂の跡であるが、周辺の建物には大きな被害は見られなかった。バギオ市内の調査では全体に余り大きな地盤変状は見られなかった。写真6-20はハリソン通りに面したパークホテルの被害である。各階の柱が完全に崩壊し、床だけがマッチ箱をつぶしたような格好で重なり合って倒壊していた。

写真6-21はバギオ空港に近いバギオ輸出加工区にある3階建の工場の崩壊の様子である。かなり取り壊し作業が進んでおり、被害の様子はよく分からない。

この工場は被災後に出火し、当初150人以上が倒壊した建物の下敷きになったと伝えられたが、最終的には12人の死者にとどまったのは不幸中の幸いであった。



写真6-18

1階部分の柱が座屈した
スカイワールドビル。

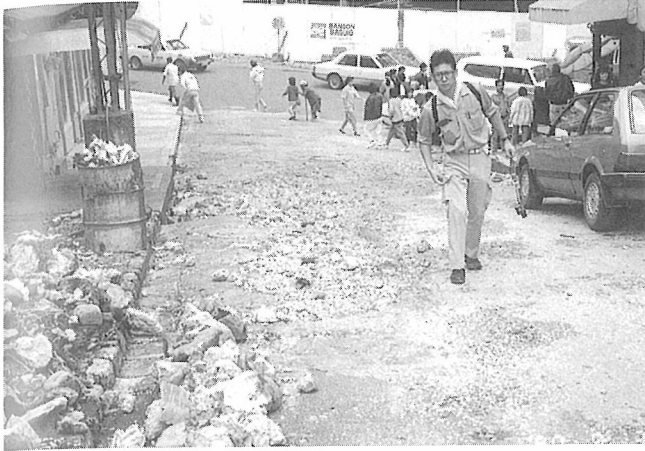


写真6-19

バギオ市街地の坂道でみられた大きな亀裂。



写真6-20

マッチ箱をつぶしたような格好で倒壊したバギオパークホテル。



写真6-21

バギオ輸出加工区の3階建工場の倒壊。

6.3 斜面崩壊

バギオ市に至る陸上自動車ルートは3本ある。マニラ市から最短のルートは南方からのケノン(Kennon)道路であり、次は西方からのマルコス(Marcos)ハイウェイで、更には北西方からのナギリアン(Naguilian)道路があるが、両ルート共に西海岸道路からの進入路である。

これら3本のルートは全て山岳道路であるがマルコス・ハイウェイは今回の地震以前の斜面崩壊(豪雨によるものか?)により不通であったが、今回の地震により残る2本のルートも不通となった。しかし比較的損害の少なかったナギリアン道路がなんとか復旧され、調査実施時には午前・午後の時間制限による一方通行がかりうじて確保されていた。

ナギリアン道路が急峻になりバギオ市に近づくにつれて、周囲の山々の急斜面は無数の崩落や土石流により山肌が露になっていた(写真6-22)。崩落した土砂、巨礫岩塊が道路端に見られ、道路の路肩は処々崩れていた(写真6-23, 写真6-24)。

バギオ市付近の斜面崩壊の背景には次の事柄が考えられる。

- ① バギオ市付近はフィリピンで最も雨の多い地区の一つといわれ、雨季のピークである8月には月間雨量は1,000mmを越す。
- ② 活断層であるフィリピン断層北縁の派生断層に近く、複雑な断層系が発達し、それ等は断層粘土、鏡肌、湧水等を伴っている。
- ③ 古くから鉱床地帯として知られ、銅・モリブデン・金等の鉱山が多いが、接触交代および熱水変成作用による岩石の粘土化が見られる。
- ④ 急峻な地形を作り出す第3紀中新世のジグザク層は集塊岩等の不安定な火山碎屑岩類を主とし、山岳道路の切土部が更に斜面の不安定さを増大させている。この現象は特に流れ盤構造の場合に顕著である。

これ等の諸条件下で、激しい地震動が今回の大規模な斜面崩壊の引金となったものと考えられる。



写真6-22
ナギリアン道路よりみた
地震と降雨による周辺の
山の斜面崩壊。

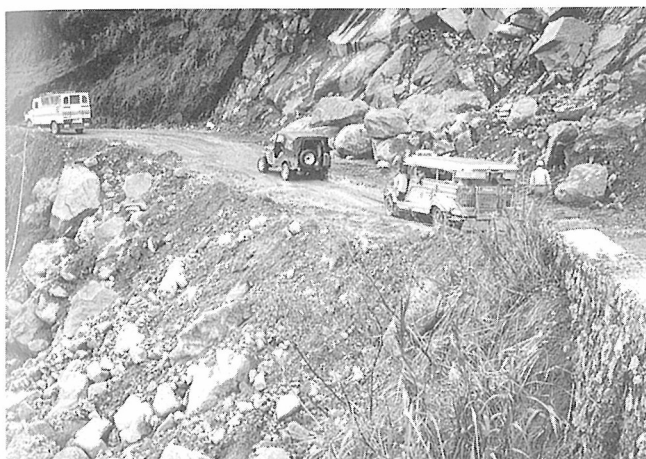


写真6-23
山腹斜面をぬうようにし
てつけられた道路の崖崩
れ。



写真6-24
同上。3枚の写真はいず
れもナギリアン道路。

7. 地震断層とその周辺地域の被害

断層研究資料センター 藤田和夫理事長を団長とする「フィリピン地震調査団」計21名が、10月8日～10月13日の日程で、主に地震により生じた断層変位地形や家屋・土木構造物の被害状況などについて調査を実施した。

本章ではこの調査結果について概略的に報告する。なお、前記調査団の報告書は別途出版される予定である。

現地調査を始めるにあたって、フィリピン地震火山研究所 (PHIVOLCS) 所長 Raymundo S. Punongbayan博士の状況説明をうけ、同所の若いスタッフのBart Baututa氏および Rorrie Torres氏から具体的な地震断層の特徴の説明があった。

調査した地区は、ルソン島中部の①リサル (Rizal)地区、②サンホセ (San Jose)地区、③ディグディグ (Digdig) 地区、④ダグパン (Dagupan) 地区、⑤バギオ (Baguio) 地区であるが、ここでは断層が生じた①～③までの地区について、断層の特徴とその周辺の被害について記述する。

7. 1 フィリピン断層の概要

今回の地震で動いたフィリピン断層は、フィリピン諸島を斜めに縦断する大規模な断層である。その長さは1200kmに及び、規模はサンアンドレアス断層（米国）に匹敵するといわれている。

図7-1に示すようにルソン島中部におけるフィリピン断層の両側は地形的に際だった差異がある。すなわち断層の北側は標高1000m以上の山が連なるシエラマドレ山地や標高2000mに達するコルディラセントラル山脈があるのに対して、南側は広大なルソン中央平野が広がっている。

同図から本地域のフィリピン断層は、1本の断層ではなく、北部、中部、南部の3つの断層系によって構成されていることがわかる。

今回の地震で生じた断層は、南はディンガラン(Dingalan)湾からリサル(Rizal)、ディグディグ(Digdig)を通して、北はバギオの東約30kmの地点に及んでおり、その長さ約110kmになる。

今回は、このうちボンガボン(Bongabon)付近から北北西～北方向に走り、リサル、サンホセ、ディグディグ付近を通過してコルディラセントラル山脈へ連なる約90kmの地震断層の一部について調査を行った。

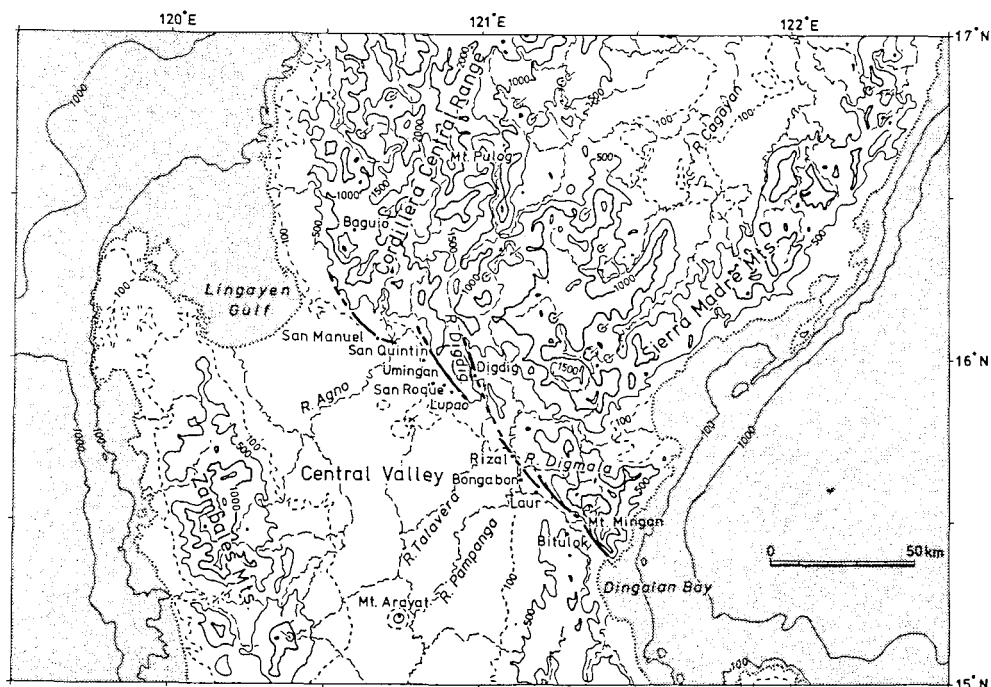


図7-1 ルソン島中部の地形¹¹⁾

2 km の埋谷接峰面図。等高線間隔500m, 等深線の単位は fathoms.

(基図は、The Philippine Coast and Geodetic Survey による25万分の1地形図 Dagupan City, Solano, Tarlac, Laur.)

7. 2 リサル地区

リサル地区の市街地はパンパンガ(Panpanga)川の右岸側の低平な平野(中央平原)に位置し、町を挟むように東西方向に標高180~200m程度の丘陵地形がみられる。これらの丘陵を縁取るように数段の段丘が発達している(図7-2)。

断層は、西方の丘陵の段丘面と平野部との境界付近を北西~南東方向に延びている。段丘は洪積世の玉石混じり砂礫層で形成されている。また基盤岩はシルト岩~砂岩で固結度は低い。

この地区では家屋自体の倒壊は比較的少ない。特に木造平屋建の家ではほとんど被害は認められず、家屋にはさまれた道路の横ずれ(写真7-1)やフェンスの横ずれ(写真7-2)などが見られた程度である。

逆に、写真7-3に示すように断層直上のコンクリート製の建物が壊滅的な被害を受けているのが印象的であった。また、断層の横ずれ運動により道路のコンクリートが押しつぶさるような変状を生じている(写真7-4、写真7-5)。

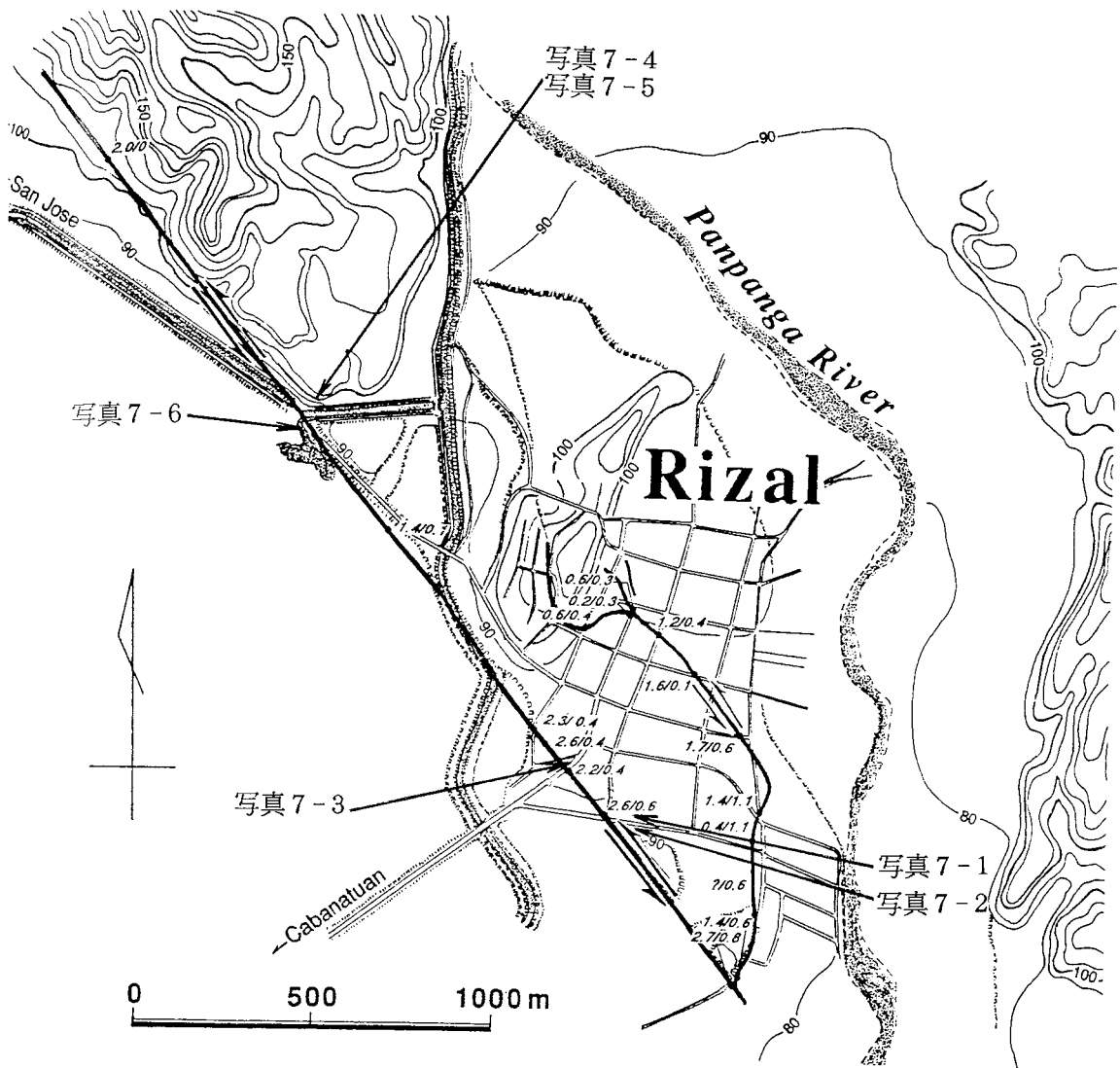
写真7-6は河川の下を通る断層のため、橋梁が破壊された状況である。



写真7-1 道路の左横
ずれ(水平2.6m 鉛直0.6m)



写真7-2 フェンスの
左横ずれ



図中の数字は変位量 (単位m) を示す (水平/鉛直)

図7-2 リサル地区の断層位置と変位量 (中田高 原図)



写真7-3
破壊された断層直上の
コンクリートブロック
造の家屋



写真7-4

断層による道路の変状

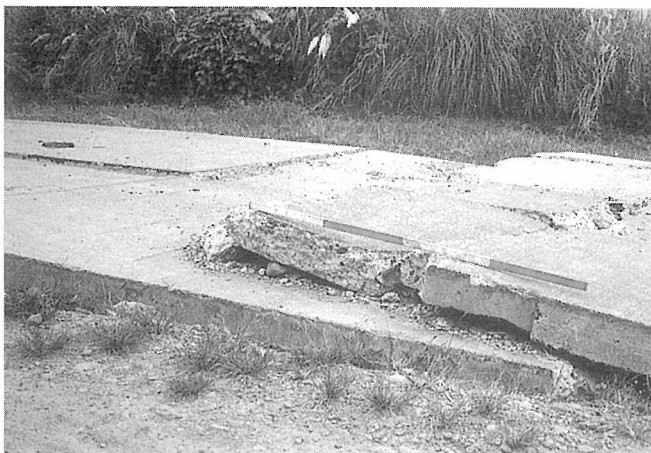


写真7-5

断層による道路の変状



橋梁の崩壊

写真7-6 河底を走る断層のために破壊された橋梁

7. 3 サンホセ地区

この地区の地形は河川に沿って2つの段丘面（低位，高位）が認められる。地質は地表付近に砂礫層が厚く分布し、基盤は固結度の低いシルト岩～砂岩である。断層地形としては図7-3に示すように典型的な河川流路の屈曲が見られる。この屈曲は過去の地震による断層変位が集積した結果であり、今回の地震でも2～3mのずれが新たに生じた。

Pant abanogan Dam Roadに横ずれ変位地形がみられ、その直下には崩壊跡がみられる（写真7-7）。また今回の地震により高位段丘で円丘のような盛り上がり認められ、断層上には幅60cmの割れ目を生じている（写真7-8）。



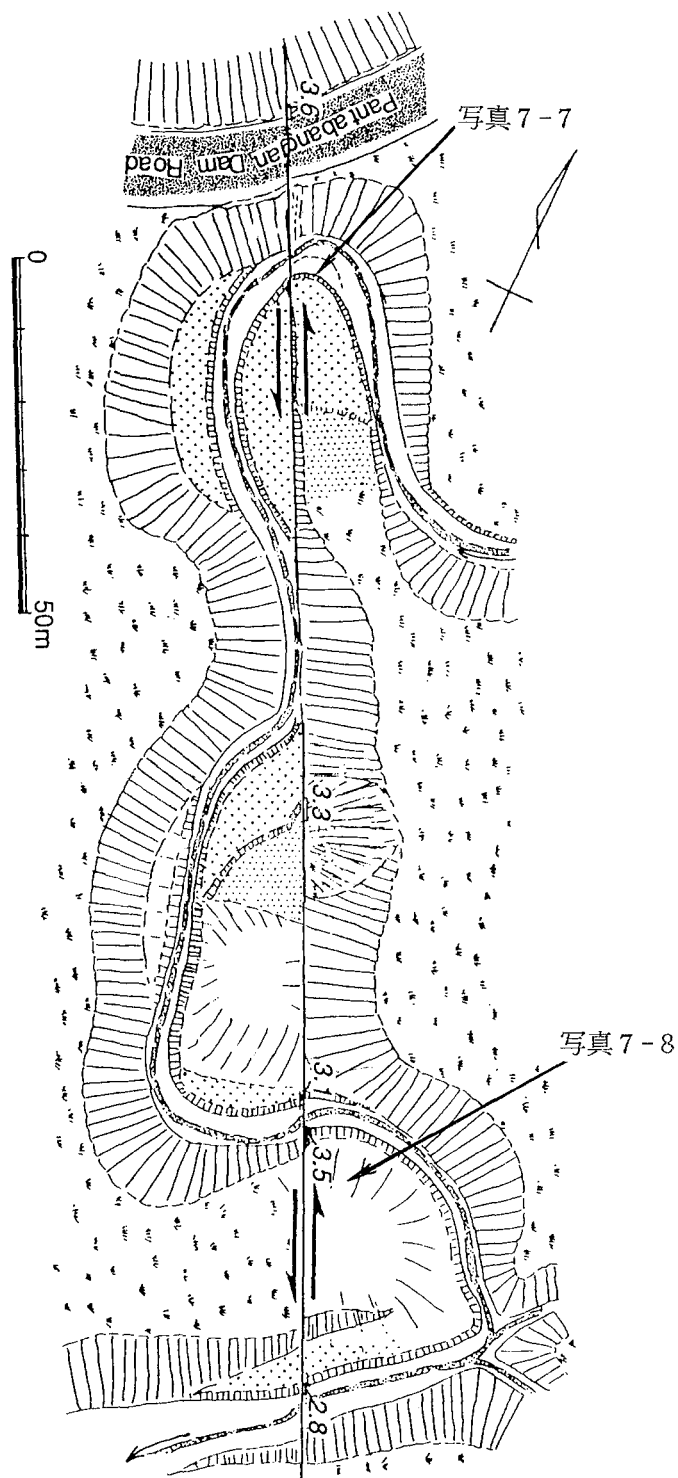
写真7-7

断層の横ずれ変位地形と崩壊跡



写真7-8

小河川の流路の屈曲と高位段丘の盛り上がり



図中の数字は水平変位量（単位m）を示す

図7-3 サンホセ地区の断層位置と変位量（中田高原図）

7. 4 ディグディグ地区

この地区ではディグディグ(Digdig)谷に沿って発生した地震断層による地表の変位や山地崩壊についての調査を行った。

リサール以北では図7-4に示すように、山麓沿いに北西方向から次第に北北西方向に延び、背後の山地を横切りタラベラ(Taravera)川や支流のディグディグ川沿いに断層地形が連続している。

山地の地質は火山砕屑物または凝灰岩質の岩からなる。風化しやすく軟質となっており、所々ラテライト化している。山地では、表層崩壊が著しく、山肌は禿げた状態である。一方、平地部は巨石、玉石を大量に含む砂礫層が厚く分布している。

この地区では写真7-9に示すように、左横ずれによる典型的な断層地形がみられる。写真7-10に見られるように雁行状にならぶ亀裂(Echelon Crack)や圧縮じわ(Pressure Ridge)による割れ目には粘土がはさまれていることが多く、しばしば水たまりを形成している。同写真の背後の山肌の崩壊は、今回の地震で生じたものである。また写真7-11では、地震断層による明瞭な道路面のズレ(水平変位量約4.7m)がみられる。

写真7-12および写真7-13は同地区の家屋の被害状況を示しているが、断層直上にある建物でも必ずしも壊れていないものもあることがわかる。脆弱な建物の方が、コンクリート製の剛な建物よりも地盤のずれに対する許容値が大きいせいであろうか。

以上のように断層近傍の被害が断層上の建物に限定されていることから考えると、断層近傍の地震動(構造物に悪影響を及ぼすような周波数帯の地震動成分という意味)は今まで言われてきたように震源域(断層)で最も大きいとは必ずしもいえないようである。しかしバギオ市のように副次断層がバギオ市近傍に生じたため、大きな地震動が構造物に作用したことが被害原因といわれている場合もある。

このように断層近傍の地震動の大きさについては、地震記録が全くないため何ら確実なことは言えないが、断層からの距離に比例して地震動(例えば加速度)が減衰していくといった単純なものではなく、かなり複雑な分布を示すような気がする。

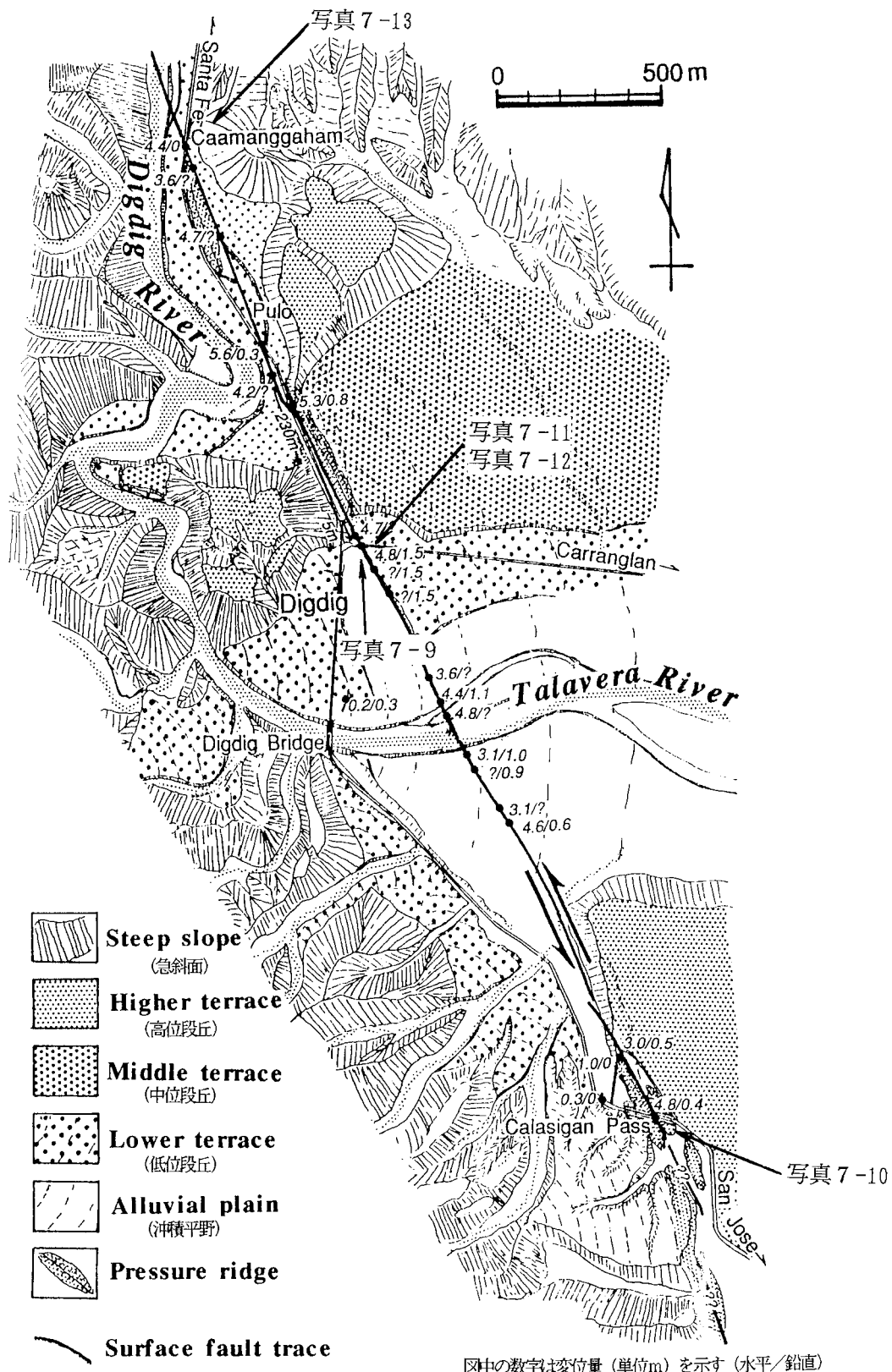


図7-4 ディグディグ地区の断層位置と変位量 (中田高 原図)



写真7-9 断層による左横ずれ地形



写真7-10 断層沿いに見られる雁行状の亀裂や圧縮じわ (Pressure Ridge)



写真7-11
地震断層による道路面の
横ずれ
(水平変位 約4.7m)



写真7-12
断層上の家屋の被害
手前のコンクリート壁の
家は倒壊したが、奥の家は
倒壊を免れた。



写真7-13
カマンガム地区(ディグ
ディグから北方約1 km)
の家屋の被害

8. その他の被害

8. 1 橋梁

今回調査を行った橋梁の数は合計5橋であるが、本節ではダグバン市の被害として紹介した「マグサイサイ橋」を除く4橋について説明する。

(1) カルメン橋

カルメン(Carmen)橋はアグノ川に架かる長さ655mの13連単純鋼トラス橋であり、マニラからバギオに向かう主要道路上にある。

図8-1に示すようにカルメン(南)側の橋脚が沈下・傾斜し、そのため上部のトラスが橋脚から外れて落下したり、傾いたりする被害が生じた。写真8-1は北側より南のカルメン側を望んだもので、手前の本流部分では大きな被害がないが、南側の河川敷の部分でトラスの落下など大きな被害が出ていることがわかる。写真8-2はカルメン側の橋台部分であり、そばに見えているトラスが外れた。この橋台のすぐ脇には写真8-3に示すようなブロック積の脆弱な構造の建物があったが、特に被害を受けておらず、また地盤の移動を示すような亀裂は認められなかった。写真8-4はG13トラスの様子である。桁が途中で折れており、それが隣のP12橋脚に乗り上げている。また写真8-5は桁が乗り上げたP12橋脚付近を拡大したものである。写真8-6はG12トラスの様子で、このトラスは両端とも橋脚から外れ落下している。写真8-7は中央部のG8の様子である。トラスの南側が落下し、桁の一部が折れ曲がっている。写真8-8はP1橋脚上に生じた約30cmの段差である。この段差は写真8-9に示すように桁が支承から外れたために生じたものである。

調査した時期は運悪く大雨の直後であったため河川敷が泥寧と化しており、橋脚の変状の様子は細かに観察できなかったが、他の調査団の話では河川敷に多くの噴砂の跡があり、亀裂も入っていたようである。従ってカルメン橋では液状化に伴う地盤流動によって橋脚が変位し、そのため上部構造の落下などの被害を生じたと考えられる。

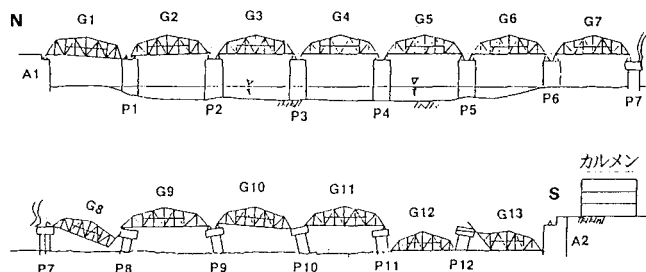


図8-1 カルメン橋の被害状況¹⁾



写真 8 - 1

13径間のうち3径間が落
橋したカルメン橋。南側
を望む。



写真 8 - 2

カルメン側のA2橋台。左
側に見えるのは外れたト
ラス。



写真 8 - 3

A2橋台の横にある建物。
下がブロックで脆弱な建
物だが地盤変状の影響は
見られない。



写真 8 - 4
床版の一部が橋脚に乗り
上げて折れたG13トラス。
付近は洪水による流木や
草がからみついている。



写真 8 - 5
P12橋脚をG12トラス側か
らみた様子。



写真 8 - 6
両端とも橋脚からはずれ
たG12トラス。

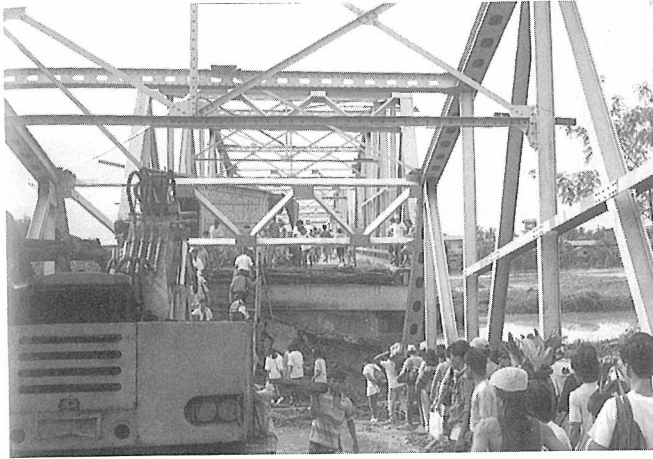


写真 8 - 7

P8橋脚が傾斜したためG8
トラスがG9トラスに押さ
れるようにして落下した。



写真 8 - 8

P1橋脚上に生じた段差

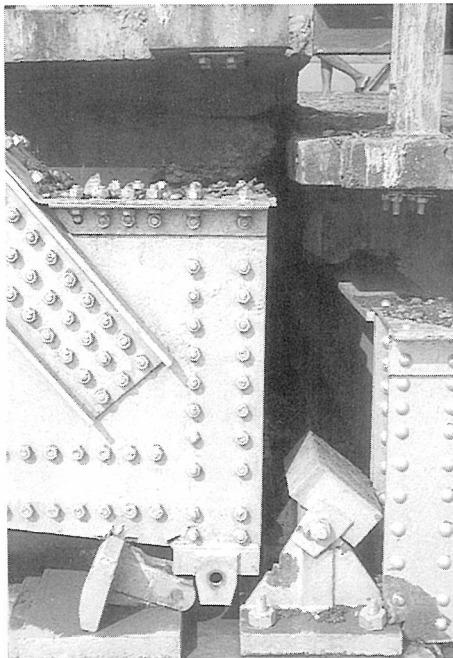


写真 8 - 9

段差の原因は桁が支承か
ら外れたためである。

(2) カルボ橋

カルボ(Calvo)橋はバヤンバン(Bayamban)東方を流れるアグノ川に架かる長さ200mの4連単純トラス橋である。図8-2に示すようにパイルベントのP1橋脚が河心方向に移動するとともに沈下したため、G1トラスが落下しG2トラスも傾いた。写真8-10はA1橋台より被害のあった2つのトラスを見たものである。調査時点では、すでに落下したトラスの中に仮設の橋が架けられ、対岸のバヤンバンへの通行は可能であった。写真8-11はP1橋脚の上にG2トラスが乗り上げている様子を示している。また、対岸のA2橋台では写真8-12に見られるように大きな亀裂が生じていた。写真8-13はカルボ橋のすぐ右岸上流側の護岸の崩壊の様子である。この他、数百m上流にある鉄道橋も落橋していた。

この橋梁の被害もカルメン橋と同様に、液状化に伴う地盤流動が原因であるといわれている。

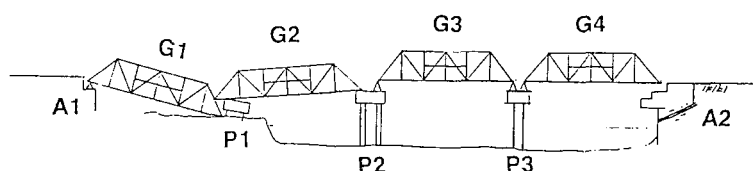


図8-2 カルボ橋の被害状況



写真8-10

橋脚の沈下によって落下した橋桁。



写真8-11

移動・傾斜したP1橋脚の
支承部。G2桁が乗り上げ
るような形ですべったた
め支承が壊れている。



写真8-12

落橋したトラスの対岸の
A2橋台に入った亀裂。



写真8-13

カルボ橋上流右岸の護岸
の沈下。

(3) サン・イシドロ橋

サン・イシドロ(San Isidro)橋はタルラック北方のマニラとバギオを結ぶ幹線道路上にある。写真8-14に示すように取付け道路が大きく沈下し、一時車両の通行が不能になった。しかし橋そのものには顕著な被害は見られず、また対岸の取付け道路には異常は見られなかった。写真8-15は橋台付近を示しているが、手前のガードレールと欄干が元は同じ高さにあったと思われるので、沈下量は2m近くに達するかもしれない。写真8-16は付近の大きな亀裂であり、沈下だけではなく水平移動もあったことを示している。写真8-17の隣接する鉄道橋には目立った被害は見られないが、盛土が沈下または滑り破壊したことによってレールが宙吊り状態になっている。写真8-18は川のそばのやや傾斜している建物を示している。洪水のため冠水していてよく分からないが、沈下もあったようである。被害原因は液状化による盛土の沈下および側方流動と考えられる。



写真8-14

橋梁手前の取付け道路が大きく沈下して一時通行不能となった。



写真8-15

手前のガードレールが元は欄干と同じ高さにあった。



写真8-16

橋の手前の道路脇でみられた地盤の亀裂。



写真8-17

道路橋と平行して走る鉄道橋取付け盛土が沈下し、レールが宙吊りになっている。



写真8-18

やや傾いた橋のそばの屠殺場。洪水のため冠水している。

(4) カンダバ高架橋

カンダバ(Candaba)高架橋はマニラからバギオに向かうハイウエーがサンフェルナンド付近の広大な湿地帯を横断する場所にある。長さはおそらく2,3kmに及ぶのではないと思われる(写真8-19)。この橋の複数のエクспанションジョイント(EJと略称)と思われる部分が橋軸直角方向に変位していた。写真8-20はEJ部の変位を表しているが、この地点での変位量は約70cmであった。この側方変位は写真8-21および写真8-22の道路上の白線によっても分かる。

写真8-23はEJ部を側方から写したものであるが、両側の桁の間に載っているだけの様に見える。従って、橋軸直角方向にはなんの拘束も受けないEJ部が地震動によって片側に移動したのではないかと推測される。



写真8-19

湿地帯に向けてのびる高架橋の上下線。



写真8-20

上り線でみられたエクспанションジョイント部の側方移動の状況。



写真 8-21

エクспанションジョイント部の側方移動により生じたラインマーカーのずれ。

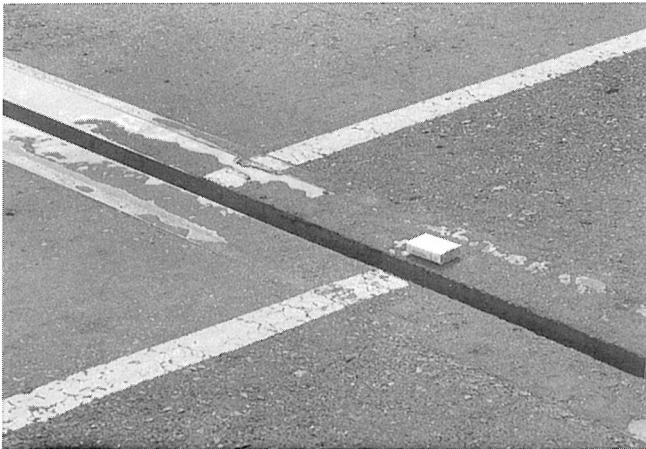


写真 8-22

上の写真を拡大したもの。ラインマーカーのずれの量は約70cmである。



写真 8-23

エクспанションジョイント部を側方から見たもの。両方の桁に挟まれているだけのように見える。

8. 2 アゴー

アゴー(Agoo)はダグパンの北約30kmにあるリングエン湾沿いの町である。ここでは多くの建物が壊れ、地震動が他の地域と比べてかなり大きかったのではないかとされている。写真8-24～8-27はいずれも地震によって壊れた建物で、海岸と平行に走る幹線道路沿いにある。壊れた建物の近くには大きな地盤変状の跡も見受けられないことから、液状化などによる地盤被害ではなく地震動による被害と考えられる。写真8-28～8-30は町外れにあるガソリンスタンドの被害である。かなりコンクリートスラブに亀裂や不同沈下が見られることや地下タンクが掘り上げられていることから、液状化による被害と考えられる。写真8-31～8-33は幹線道路からやや海岸よりの地区の被害である。ブロック塀が倒れたり、大きな地盤の亀裂がみられた。また、ある家屋では床の亀裂から噴砂が入り込み、砂が十数センチ堆積していた。

アゴーの近くのサントトマス(Sto. Tomas)では集落全体が液状化により沈下し、満潮になると床上まで浸水する所もあったということである。



写真8-24

地震動により倒壊した建物。



写真 8 - 25

1 階部分が崩壊した 3 階
建の建物。



写真 8 - 26

崩壊した建物。



写真 8 - 27

崩壊した建物。



写真 8-28
液状化によるものと思われるガソリンスタンドの被害。



写真 8-29
ガソリンスタンドのコンクリートスラブの亀裂の状況。



写真 8-30
ゆがんだガソリンスタンドの建物。



写真 8 - 31

液状化による地盤変状で
倒れたブロック塀。

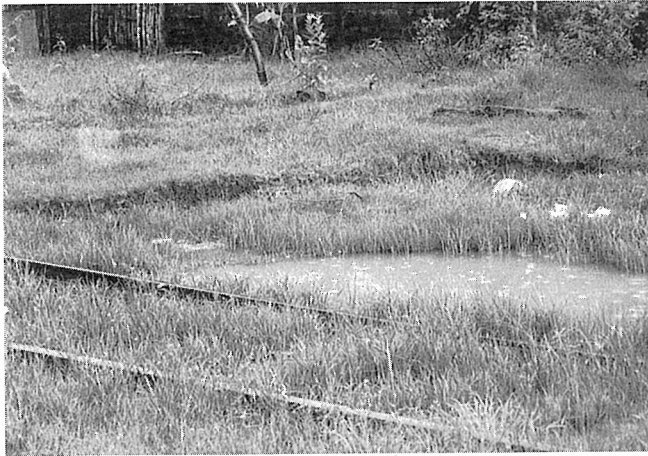


写真 8 - 32

鉄道線路脇でみられた地
盤の亀裂。



写真 8 - 33

家畜小屋の床の亀裂から
吹き出した砂。

8. 3 サンフェルナンド港

サンフェルナンド(San Fernando)港はラ・ウニオン(La Union)州サンフェルナンド湾に位置している。サンフェルナンド港は図8-3に示すように幅3km奥行き3kmの馬蹄形をした湾であり、西側の岬および東側には丘陵地が点在し、湾奥には沖積低地が広がっている。また海岸線には砂州が形成されている。

地震による被害は写真8-35に示すように栈橋式の埠頭が2箇所にわたって開口し、沈下した。栈橋を支えている柱はかなり老朽化しており、一部はすでに支持機能を失っていた(写真8-36)。この栈橋と平行して約200m程離れた所に石油の埠頭があり、この埠頭の付け根の長さ5.7mの桁が幅18cmの受台から外れて落下していた(写真8-37)。この埠頭の基礎は組杭でしっかりしたものであるとの印象を受けたが、若干傾斜していたのかもしれない(写真8-38)。




この両埠頭の被害より埠頭部分が陸地に比べて数十センチから1メートル程度沖合いに移動したことがわかる。

他に護岸の一部や管理事務所に軽微な被害があった。案内の人の話では噴砂・噴水は見られなかったとのことであり、護岸背後の空き地で噴砂の跡を探したが見つからなかった。

既往土質調査結果によれば海岸線付近では地表から10m程の厚さで細砂、シルト混じり砂が堆積している。一部締まった地点もあるが、表層5mはN値10以下の緩い砂が多く、液状化したとしても不思議ではない。これに加えて図8-3に示したように栈橋がある付近は水深のコンターが狭まっており、海底面の勾配が大きそうである。従って、完全な液状化にまで至らなくとも、砂層の間隙水圧が上昇し、そのために海底地すべりを誘発した可能性も考えられる。

サンフェルナンド港の被害は従来の地震でよくみられる護岸背後の液状化による被害ではなく、海底の液状化による地盤流動の発生の可能性を想像させる。今後、原因説明が行われるかどうか分からないが、何か新しい発見があることを期待したい。

Legend

-  Alluvial Lowland : Sandy and Cohesive Soil
-  Pliocene : Hilly Area, Sandstone Shale and Pleistocene : Gravelly Rock
-  Coral Zone

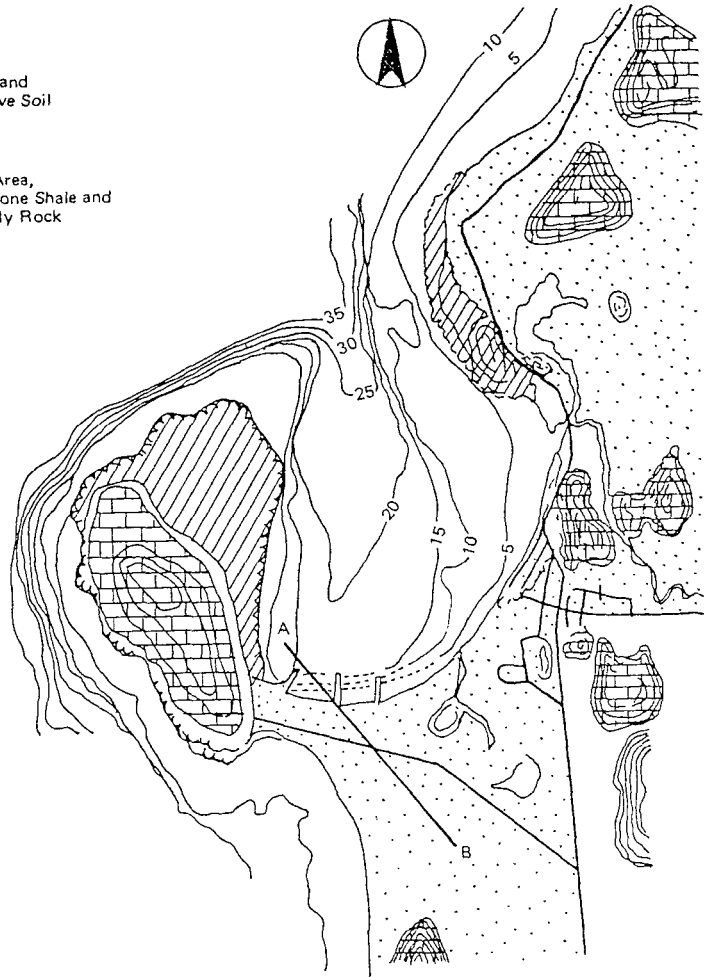


図8-3(a) サンフェルナンド港付近の地質図²⁾

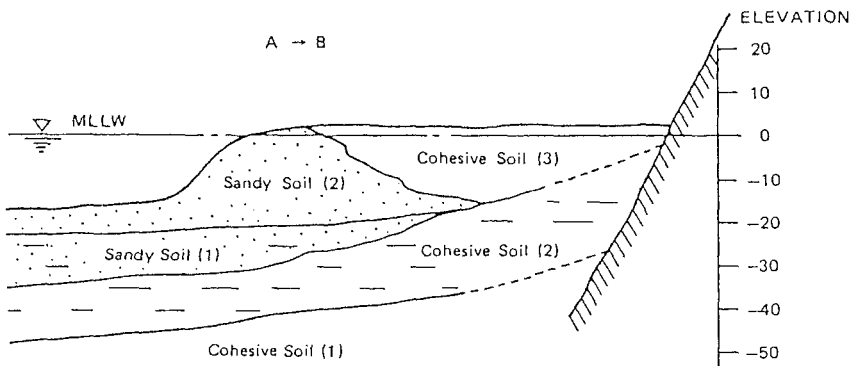


図8-3(b) 沖積低地の土層断面図 (A-B断面) ²⁾



写真 8 - 34

サンフェルナンド港入口



写真 8 - 35

開口した棧橋式の埠頭

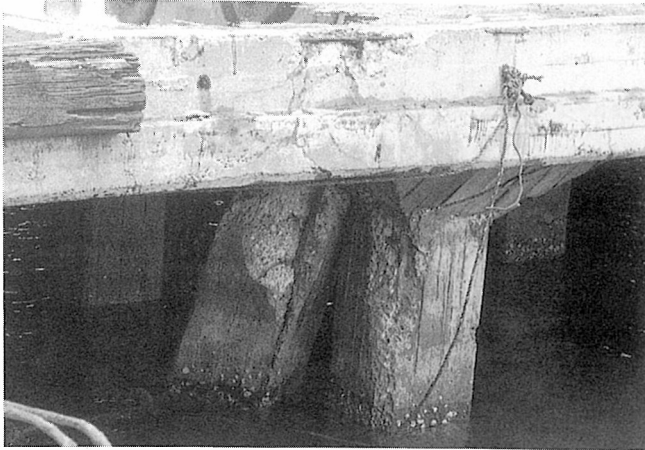


写真 8 - 36

貨物棧橋の杭の傾斜

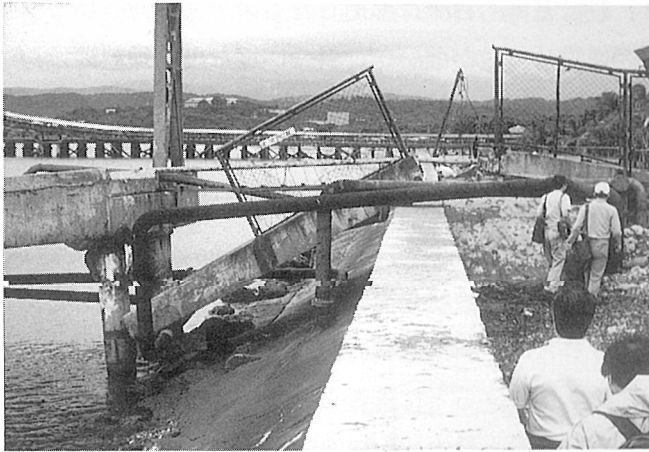


写真 8 - 37

上の棧橋に隣接する石油用棧橋の桁の落下。



写真 8 - 38

石油用棧橋の杭。組杭でしっかりしているように見える。

9. おわりに

最近、海外での大地震の発生が多く報じられているような気がする。死者の多かった地震だけでも「メキシコ地震」（1985年、死者約5千人）、「ネパール地震」（1988年8月）、「スピタク地震」（1988年12月ソ連、死者4.5万人）、「イラン北西部の地震」（1990年6月、死者約3万人）などが記憶に新しい。

ルソン地震の死者は千六百余名にのぼったが、中高層建物の崩壊による死者が多かったという点では「メキシコ地震」や「スピタク地震」に似ているかもしれない。前者は軟弱地盤上の建物に設計荷重に数倍する地震力が働いたことが原因と考えられており、後者はプレキャストコンクリート造高層住宅の耐震構造に問題があったといわれている。しかし、フィリピンの地震の場合は地盤の良い山岳地における建物の倒壊であり、設計基準も日米に準拠したものであったという。設計・施工上の欠陥に被害原因を求める声が強いが、斜面崩壊などの地盤破壊以外では被害を受けにくいと信じられている山岳地で、何らかの地盤の特性（例えば振動の増幅性）が被害の原因になっているとすれば、フィリンだけにとどまらずわが国の耐震設計においても由々しき問題となる。今後、被害原因の速やかな解明を期待したい。

今回の地震のもう一つの特徴は、大きな液状化災害が発生した点にある。傾いた5階建のビルがNHKで放映された時、新潟地震の被害を思い起こされた方も多いと思われる。建物が1～2mも沈下するとは筆者らにとっては予想外であったが、新潟地震の被害報告を調べてみると最大3mの沈下が報告されていた。建物の沈下には過剰間隙水圧の消散による1次元的な沈下だけでなく、水平方向の地盤の流動による沈下も含まれていると考えられる。

このような貴重な被害記録や地盤資料をもとに今後研究が進められ、液状化地盤の有効な被害予測・防止手法が一日も早く確立されることを期待したい。

最後に地震で亡くなられた多くの方々のご冥福と災害の痛手から一日も早く立ち直られることをお祈りいたします。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：フィリピン共和国地震(1990.7.16)報告会資料, 1990.
- 2) 国際協力事業団：フィリピン国サンフェルナンド港整備計画調査報告書, 1984.
- 3) 宇津徳治：地震学, 共立全書, 1977.
- 4) Bureau of Mines and Geo-Science, Ministry of Natural Resources, Philippines: Geology and Mineral Resources of the Philippines, 1982.
- 5) Bureau of Mines and Geo-Sciences: Geology and Mineralization in The Baguio Area, Northern Luzon, 1987.
- 6) Baguelat, C.L. and Cabalda, A.B. : Report on the mass movement problem affecting the eastern limit of Baguio City and the adjacent areas with in Barangay Tuding, Itogon, Benguet, 1987.
- 7) Bureau of Mines and Geo-Sciences: Geological Map of The Philippines (1:2,500,000).
- 8) Bureau of Mines and Geo-Sciences: Geological Map of The Philippines (1:1,000,000).
- 9) Bureau of Mines and Geo-Sciences: Geological Map of Dagupan City Quadrangle (1:50,000).
- 10) Garcia, L.C. et al : Series on Seismology vol.5 Philippines, Southeast Asia Association of Seismology and Earthquake Engineering, 1985.
- 11) 平野信一・中田高・寒川旭：ルソン島中部におけるフィリピン断層の第四紀後期の断層運動, 地学雑誌, Vol. 95, No. 2, 1986
- 12) 日本建築学会フィリピン地震災害第1次調査団：1990年フィリピン地震災害調査速報, 1990.

謝辞

調査に当たっては、現地において東京大学石原教授および東畑助教授には地盤調査地点についての適切なアドバイスをいただくとともに、現地の貴重な地盤資料をお貸しいただいた。(財)地震予知総合研究振興会 池田氏には調査準備にあたり色々お世話になった。(財)電力中央研究所 吉田氏には調査後の標準貫入試験の打撃エネルギー測定でお世話になった。

断層位置や変位地形の地表踏査にあたっては、メンバーの一人である広島大学の中田高先生に研究資料等もいただくとともに、ご指導をあおいだ。また、調査期間中尾池和夫先生、松田時彦先生、岡田篤正先生、岩崎好規氏には終始御指導、御助言をいただいた。この他、現地調査および報告書作成にあたって社内外の多くの方々にお世話になった。

末筆ながらここに篤くお礼を申し上げます。

