

兵庫県南部地震による建造物の被害と 地形・地質および地盤条件

石川 浩 次¹⁾

1. はじめに

1995年1月17日5時46分に発生したマグニチュード7.2の兵庫県南部地震は、5500人の犠牲者と10兆円にも及ぶ多大な被害、大災害をもたらした。

筆者は、地震発生の直後より現地におもむき、「中央開発(株)災害調査団」を組織して、主として建造物の被害の状況を調査した。その範囲は、神戸市全域から芦屋市、西宮市、伊丹市から宝塚市に至る延長約40 km、面積にして約170 km²に及ぶ。

建物の被害は、六甲山地南麓部の平野を東西方向に幅1.0~2.5 kmで帯状あるいは島状に東に向って延び、震度6以上の大きな被害は、震源地から約33 km離れた武庫川右岸迄連続して続くことが分かった。

また、六甲山寄りの丘陵地や海岸近くの沖積低地では、比較的被害の小さいことも分かった。

本報告は、地震発生直後から、約1カ月半(延人員300名以上)を要して行った災害調査の報告であり、また、この被害の状況と地形・地質および地盤との関係について若干の考察を加えたものである。ただし、地震後1カ月までの被害状況調査結果については、石川ほか(1995)として既に報告した。

2. 被害状況の調査

2.1 調査の方法

〔概況調査〕：調査は、ほぼ南北と東西を向く主要川筋や道路沿いに、町・丁(5,000~10,000 m²)を1ブロック単位として、木造家屋および鉄筋コンクリート建屋(5~10階建RC造)を対象として、第1表のランクに従って係数を乗じ、単位ブロック当りの倒

壊率の概数を算出した。さらに、この算出した倒壊率や被害の程度から、被災状況のランク分けを気象庁震度階(JMA)に準じて行った。ただし、JMAには設定されていないが、木造家屋の倒壊率が50%以上でかつ鉄筋コンクリートの倒壊の多い(50%以上)区域については、「超震度7」として別に表示した。

〔詳細調査〕：概況調査に引続き、2,000 m²(20×100 mまたは40×50 m区)を調査単位とした被害状況の詳細調査を行い、調査単位のライン幅の倒壊率を算出し、震度を算定した。次に、概査の照査を行った上、これらの結果をもとに縮尺1万分の1地形図を基図に使用して被害度マップを作成した(第1図)。

詳細調査で行ったライン沿いの倒壊率調査結果の例を示す(第2図上、下)。

2.2 被害分布と破壊の概況

木造家屋の倒壊が発生する震度6以上の被害は、西は震源地の明石海峡に近い神戸市須磨区から始ま

第1表 倒壊率の判定ランク(1)木造家屋 (2)鉄筋コンクリート建屋

(1) 木造家屋(プレハブ、モルタル造含む、枠組壁工法で10年以内のものは除く)

ランク	分類	係数	損壊の程度
1	全壊	1.0	倒壊、90°以上の傾き、修復不能
2	半壊	0.5	5~30°の傾き、瓦ほとんど落失、修復不能又は大々の修理必要
3	損傷	0.1	5°以内の傾き、壁のひび割れ大、瓦の落失見られる。修復可
4	被害なし	0	少量の壁のひび割れ、瓦の少量の落失あり

(2) 鉄筋コンクリート建屋(RC造等、S.R.C.造で10年以内のものは除く)

ランク	分類	係数	損壊の程度
A	全壊	1.0	倒壊、傾斜あり、柱座屈大、修復不能
B	半壊	0.5	柱、ハリ大幅損傷、壁大幅キレツ、修復不能又は大々の修理必要
C	損傷	0.1	柱、ハリにキレツ多い、壁ひび割れ大
D	被害なし	0	柱、ハリにキレツ少ない

1) 中央開発(株)技術本部：
〒169 東京都新宿区西早稲田3-13-5

キーワード：兵庫県南部地震、建造物の被害、気象庁震度階表示、被害度マップ、地形、地質、地盤

は、第3図の接峯面図(藤田ほか, 1982)にも示されるように、東六甲で上昇の大きい傾動地形を示している。図にはこの六甲山の隆起状況と南山麓に分布する扇状地の発達状況を併せて示した。図に示すように、扇状地の発達程度は、現主要河川部分の扇状地を除くと、3つの地域に分けられる。すなわち、①六甲山地の隆起がもっとも大きく、緩斜面(1°以下)が山麓まで迫る住吉川以東地域(扇状地パターンB)、②三宮駅を中心とした扇状地の発達が著しい神戸市中央部地域(扇状地パターンA)、③六甲山の隆起の小さい長田区付近西部地域(扇状地パターンC)である。

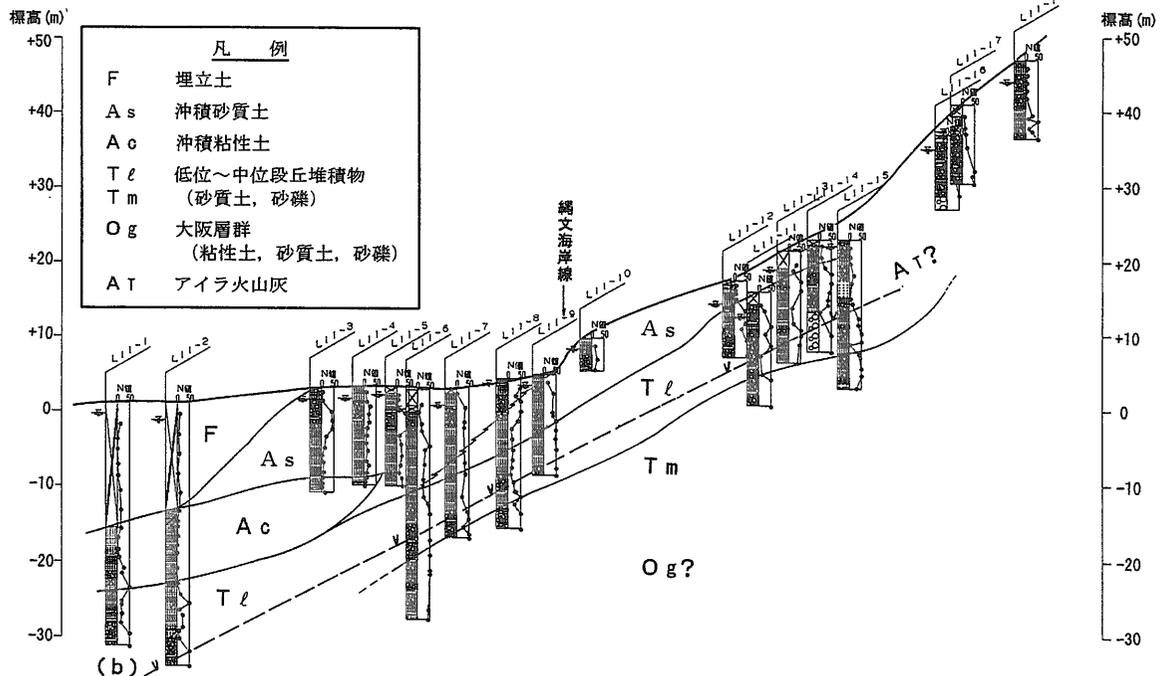
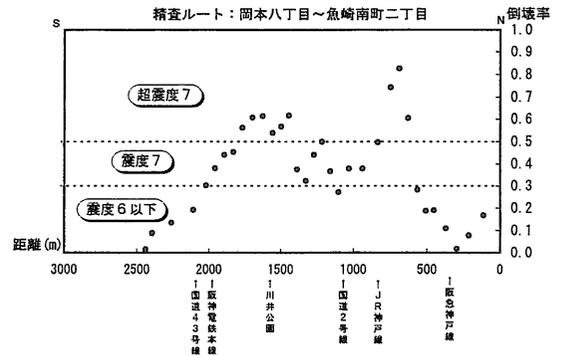
この地形のうち震度7の分布域北限の標高は、緩扇状地から段丘・丘陵に変る部分である。東灘区の東六甲では標高40 m に対し、長田区の西六甲では標高20 m に位置し、先述の山頂標高の1/20に当たり、被害分布が六甲山の上昇運動の東西の差すなわち山地からの供給物質量の違いによってできた扇状地の規模と密接に関係することを示唆する。

3.2 地質地盤特性

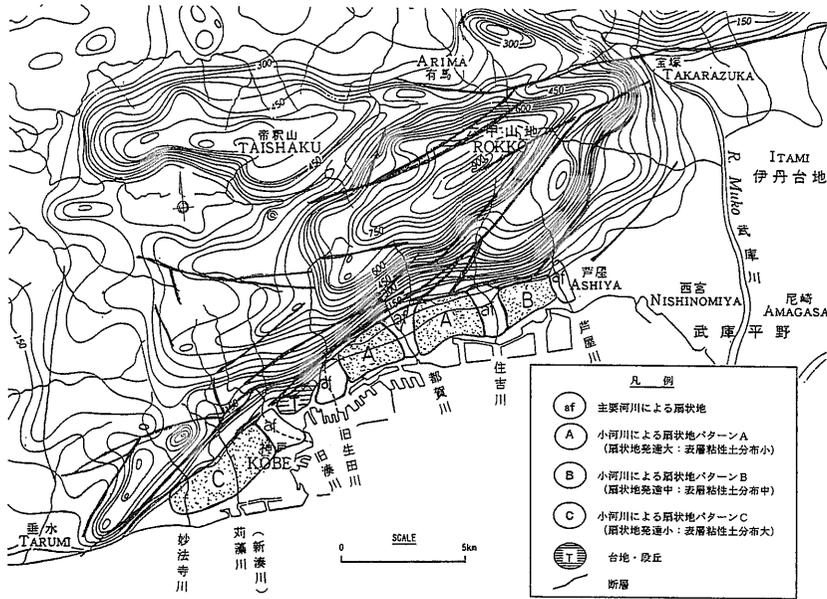
六甲山地および平野下の基盤は、白亜紀の花崗岩

類からなり、これを中新世の神戸層群と鮮新世、更新世中期の大阪層群(内湾海成層～陸成層)が覆う。神戸層群は六甲山地南麓ではごく一部しかみられない。大阪層群は丘陵地を構成し、平野の下に伏在する。更新世中期～後期の高位(Th)・中位(Tm)・低位段丘(Tl)の堆積層は丘陵および平野を、更新世後期末～完新世の沖積層は平野の地盤をそれぞれ構成する。段丘堆積層は、陸成一部海成の粗粒な地層群で、大阪層群を不整合に覆い、段丘面や台地面を形成する(藤田・笠間, 1982; 藤田・前田, 1983)。

平地の地形を形成する段丘・扇状地の表層部の地盤は、更新世後期から現在までの砂礫・砂・粘性土



第2図 精査による建造物の倒壊率(上)と地質断面図(下)。被害は山寄り大きく、標高5 m 以上の扇状地性堆積物(As)で大きい。



第3図 六甲山接峯面図と隆起による扇状地の発達区分。
住吉川付近を頂点として西に傾動し、かつ扇状地の発達がかつとも著しい

からなり、扇頂-扇中部は粗粒砂礫土を主とし、側扇部や緩扇状地では細粒土を主としている。また、沖積低地のうちで標高5m以下の縄文海進に伴う旧海岸線より海岸寄りには砂州と砂堆が発達し、地表付近に砂層が、その直下に海成粘土が分布する。

岩見(1980)によると、河川沿いには玉石混りの礫質層が、河道間(扇状地間)と海岸線沿いには砂質層が分布する。市街地である平野の下に分布するこれらの地層と大阪層群の区別は、かなり困難なのが現状である。

4. 地形・地盤と被害との関係

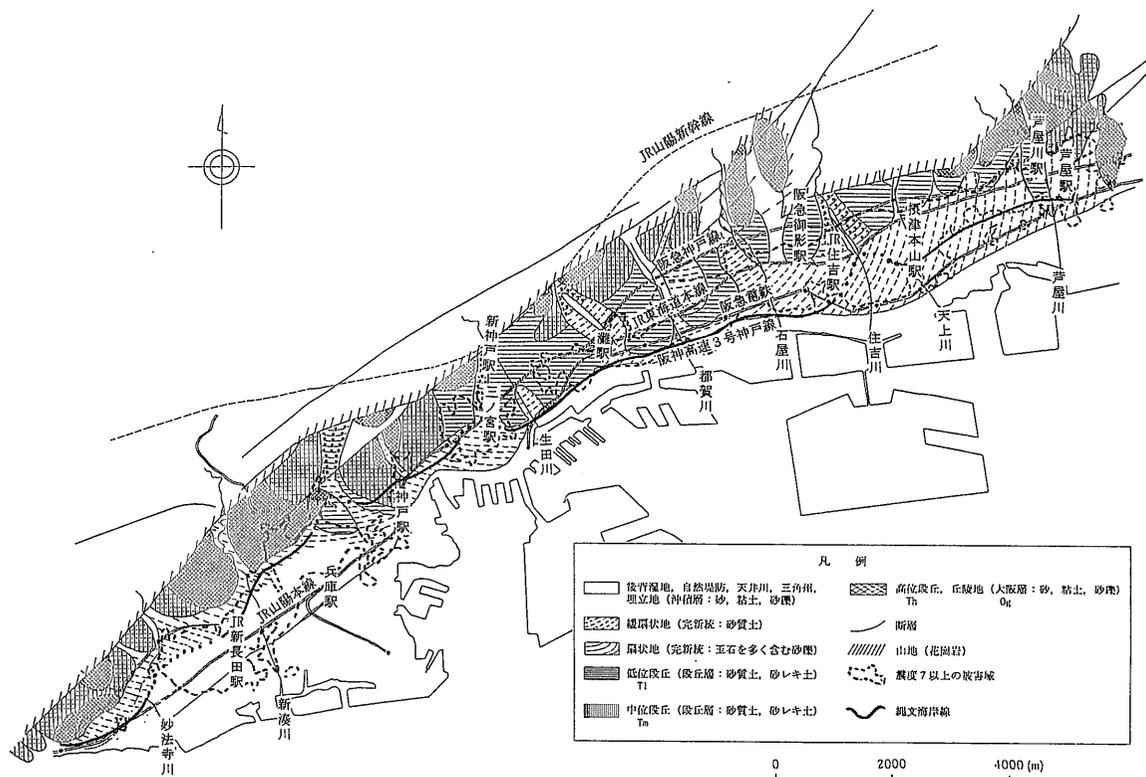
明治初期に建設された国鉄東海道本線(現在のJR神戸線)は、標高10~20mの地形線に沿って、低位段丘(TI)(傾斜2~3°以上)と完新世の緩扇状地(傾斜2°以下)あるいは沖積低地との地形変換点付近に沿って布設されている。被害はこの鉄道路線を挟んで南北で大きく異なるのが目立った。北側の山麓側寄りでは、扇状地・段丘を形成する低位・中位段丘の粗粒堆積物、南側では緩扇状地(2°以下)を形成する完新世(一部更新世後期)扇状地や後背湿地、沖積低地などの粗粒堆積物の分布する地域で、かつ沖積層と細粒の段丘堆積物の厚い箇所では被害が大き

い傾向があった。一方、縄文時代の旧海岸線より海側の砂層や海成粘土層が厚く分布する地域では、比較的被害は少ない傾向にあった(第4図)。以下、被害の特に大きかった①長田区付近(後背湿地)、②中央区三宮、神戸市役所付近(沖積谷)③東灘区住吉川流域周辺(緩扇状地)の3地域について、その被害状況と地質・地盤との関係について述べる。

4.1 兵庫区、長田区、JR新長田駅付近

長田区の新湊川、妙法寺川流域付近は、標高5m以下の荻藻低地、妙法寺低地と称せられる緩扇状地と後述の海岸砂州の後背湿地からなる地域である。また、旧海岸線は北の山地側に最も深く入り込んでいる。地質は段丘堆積物と沖積層であり、主として泥層よりなる。海岸寄りの和田山通や御崎町等和田岬付近は卓越する沿岸流によってできた海岸砂州であり、砂層からなる。

土質は後背湿地性堆積物である細粒の粘性土を主体とし、N値は5以下である。粘性土層の厚さは4mを超え、また軟質な段丘堆積層と沖積層の厚さは合計15~20mの箇所もあり、新長田駅付近の被害は震度7~超震度7である。これに対し、兵庫駅南の区域の被害は、砂質土と礫質土を主体とし、震度5~6程度であった。なお、震度7の分布北限はすでに述べた通り20m付近であった。そこより山



第4図 地質・地形分類と被害度図。震度7の被害は、更新統後期末期以降の低位段丘、扇状地(一部)と、完新統の緩扇状地後背湿地等でみられる。

側は中位・高位面の段丘および丘陵地となっており、震度も5~6と低い(第5図(a))。

4.2 旧生田川および旧湊川水系(新神戸駅~三宮駅~神戸市役所, JR 神戸駅)付近

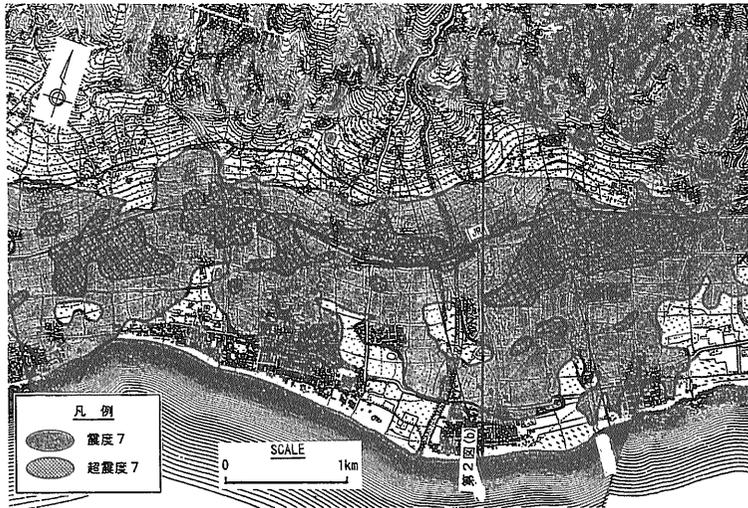
1938年7月の大水害では、とくに住吉川と生田川水系の氾濫が激しく、その際現在の神戸駅から三宮駅市役所に向う通りは大規模な土石流の通路となり、道路は埋没した。この道筋は、生田川の旧河道でかつ沖積谷の中心付近に当たる。土質は、市役所付近の表層は砂質土を主体とし、一部砂礫土よりなるが、段丘堆積物と沖積層の厚さは10~20 mに及び、この区域での被害は震度7と甚大であり、木造家屋の倒壊率が50%以上、鉄筋コンクリート建屋(RC造)の倒壊が目立った。なお、震度7の分布北限は標高30 m付近であった。この旧河道から外れた直線状の現生田川や元町付近では、段丘堆積物と沖積層の厚さが薄く(概ね2~5 m程度)旧生田川付近は沖積谷に一致している。一方、元町駅や新生田川付近の表層部に砂礫層が卓越している地域

は、震度6で被害の少ない傾向にあった。また、旧湊川沿いの被害も比較的少ない傾向にあったが、土質は砂礫質で玉石の多い地域である。

4.3 住吉川扇状地(神戸市東灘区, 灘区)付近

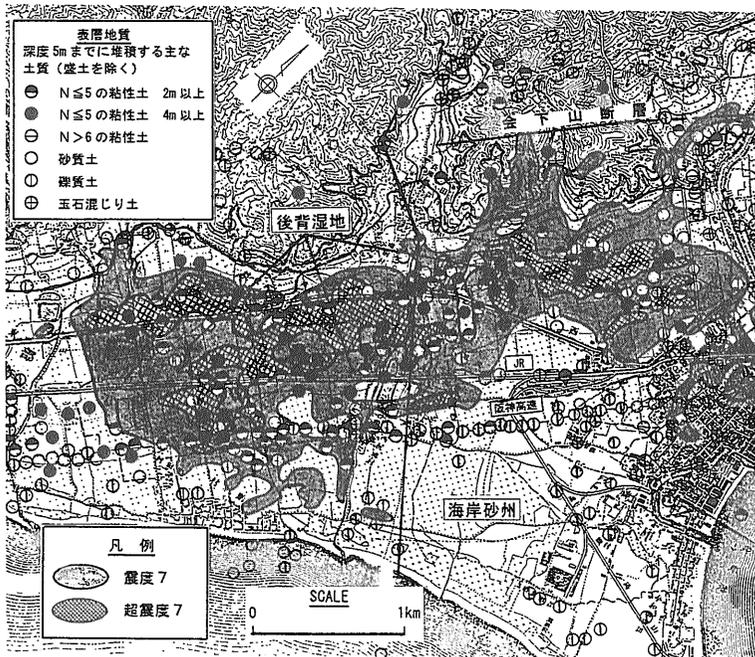
住吉川は、流域面積が18.6 km²と六甲山地から南下流する河川中では最も大きく、河川長も9.5 kmと長い。その河床勾配は30~60°/100 mで、比較的急峻な河川である。この住吉川は、更新世後期から現在まで山地から平野部に向って多量の砂礫や砂を運搬し続け、山麓部より低位段丘・扇状地・緩扇状地・海岸平野三角州を形成している(第5図(b))。

現住吉川扇状地の扇央付近は、幅150~250 m程度の天井川をなし、玉石や砂礫に富む粗粒の堆積物からなっている。住吉川の西側の石屋川と東側の天上川は、住吉川と比較するとその土砂の搬出量は少く、後背湿地となっており、堆積物は比較的細粒である。また、JR 神戸線の南側(標高20 m以下)は扇端部緩扇状地へ移り変わり、大礫は少く主に砂層から



第5図(a) 神戸市東地区(灘区・東灘区)の古地図と震度7以上の分布域。

JR神戸線は地形変換点である標高20m付近に沿って布設されている。この線の南側は完新統緩扇状地であり、また石屋川、天上川流域は細粒土が堆積しており、超震度7となっている。現住吉川流域は扇状地の扇央にあたり、玉石混砂レキが堆積し、震度6の区域もみられる。



第5図(b) 神戸市西部域(長田区)の地震被害と表層土質の関係

N ≤ 5の粘性土が4m以上堆積している区域(後背湿地)で被害が大きい。砂質土、レキ質土の堆積している区域(海岸砂州)では被害が小さい。

なる。

この晩氷期から後氷期に堆積したと思われる緩扇状地の細粒堆積物からなる標高10~20mの間で被害はもっとも大きく、震度7~超震度7となっている。JR 摂津本山駅、住吉駅、六甲道駅南側がこれに当たる。また、住吉川扇状地付近で震度6となっている地域は、径50~100 cm 大の玉石が多く分布している。山地側の阪急線の北側にある標高40~50 m 以上の中位~高位段丘や丘陵地(傾斜4°以上)では被害は少く、震度5となっている。JR

摂津本山駅(標高20 m)付近は、駅を挟んで北側は震度6、南側は超震度7と被害の様相は線路を挟んで大きく異にしている。これは、北側は最終氷期の低位段丘(T1)の砂質土、砂礫混堆積物に対し、南側は後氷期の緩扇状地の砂質土堆積物よりなり、この堆積時期と粒度特性の差によることが大きいものと思われる。標高5 m 以下の海岸側の魚崎西町、南町付近の海浜砂州、沖積粘性土~砂質土からなる地域は、比較的被害は少く、震度5程度であった。

以上のように、被害の程度は地形・標高・堆積時

期や地盤構成等と密接な関係がある。

5. ま と め

今回の大地震による被害分布が、帯状に長くまた一部で島状をなすのは、震源位置・地形・地質・地盤特性等各種要因が複雑にからみ合った結果と思われるが、とくに以下の点が指摘される。

1) 震度7の島状分布は、次の地形・地質・地盤条件からなる所で起った。

- (a) 地形条件：(緩)扇状地(東部域)，沖積谷(中央部域)，後背低地(西部域)。標高5 m～20 m(一部40 m)。
- (b) 地質条件：更新世後期以降の扇状地性堆積物(As, Ac 一部 Ts)の砂層，泥層を主とする
- (c) 地盤条件：
 - ・粘性土(Ac, Asc, Agc)で $N \leq 5$
 - ・粘土混砂(Acs)，また砂質土(As)で $N \leq 15$
 - ・砂礫土(Ag, Acg)で， $N \leq 20$

このうち，被害域の東部，西部域の標高差は，西六甲と東六甲の隆起の差を反映した土砂供給量の違いによるものと推察される。

2) 超震度7は，上記の震度7の内で，完新世の緩扇状地・後背低地・沖積谷の場所で細粒砂質土の厚い(4 m以上)部分で起った。一方，標高5 m以下の海成堆積物(As, Ac)からなる地域は，共通して震度5～6前後であった。

3) 低位段丘(TI)，沖積扇状地の発達する扇頂から扇中央部の現天井川や微高地では，一般に砂礫土と玉石からなり，周辺の細粒土層の分布する地域より，1ランクほど震度の小さい傾向にあった。

4) 被害の島状分布について，地区別の地盤条件を要約すると以下のようにまとめられる。

- (a) 西部域(長田区)：沖積低地の後背湿地性粘性土($N \leq 5$)の厚い(4 m以上)地域。
- (b) 中央部域(中央区)：沖積層と段丘堆積物の合計層厚が周辺より厚い(20 m以上)埋谷性の

地域。

- (c) 東部域(東灘区)：更新世後期末期以降の緩扇状地を形成する扇状地性堆積物である砂質土，細粒土($N < 15$)を主体とする地域。

各部地域は，各々地盤の特徴をやや異にしているが，地盤と被害の関係については，何れの地域も建造物に対する地盤震動特性の影響が，他の地区より特に大きかったものと推察される。

このように，従来考えられていた海成沖積層の厚く分布する地域が一樣に被害を受けたのではなく，更新世後期以降の扇状地性堆積層(砂質土主体)の分布する地域で被害が大きかった。

地盤種別と設計震度の再検討，地盤種別の地盤の動特性の検討等が今後の課題であり，地盤工学にたずさわる者にも多くの貴重な教訓を与えた災害であった。

謝辞：本文執筆にあたり，大阪市立大学名誉教授藤田和夫博士(現断層研究資料センター 理事長)から貴重な御教示と御指導を頂いた。また，本報告は，中央開発(株)災害調査団による地震直後からの調査成果によるものが大きいものである。これら関係各位の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 石川浩次・溝口昭二・大鹿明文(1995)：兵庫県南部地震の神戸の地盤と被災状況調査。応用地質 36, 62-80。
- 田中真吾(1988)：六甲山の地理。神戸新聞総合出版センター，297p。
- 岩見義雄(1980)：神戸の地盤。神戸市，254p。
- 藤田和夫・笠間太郎(1982)：大阪西北部の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。地質調査所，112p。
- 藤田和夫・前田和夫(1983)：須磨地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。地質調査所，101p。
- 市原 実編(1993)：大阪層群。創元社，340p。

ISHIKAWA Koji (1995): Geologic condition in Kobe area and investigation of disaster on the 1995 south Hyogo earthquake.

〈受付/受理：1995年4月28日/6月20日〉