

### 3. 阪神地域における地盤構成と神戸市街地地盤の特徴

#### Geology and Geotechnical Characteristics of Hanshin Area and Kobe City Area

南部光広, 寺田幸次, 村田芳信

Mitsuhiro Nambu, Kouji Terada, Yoshinobu Murata

#### Abstract

The subsurface geology of Hanshin area consists of Osaka Group, terrace deposit and Alluvium. Each stratum consists of alternating layers of clay, sand and gravel, however, clay tends to become more prominently seen when moving from the coast to the offshore ground. When comparing the ground structure by region, we find that from Osaka City to Amagasaki City, the Alluvium deposit is thickly distributed, while in the Kobe City area, the Alluvium deposit is shallower in depth, on the overall. When comparing various soil properties in both regions, we find a major difference in the stratum structure between both regions. However, there was no significant difference identified in the soil properties of both regions when studying the stratum with the same stratum phase and same depth.

When taking a closer look at the topography of Kobe City area, we find that it manifests a thin-long fan-like geography. Since there are numerous small rivers and streams flowing from the mountains, the fan-like deposit was most likely delivered through the riverflow and settled into a complex sedimentation. The aspects of the eastern and western regions also vary geographically. The distance between the mountain and coastal line of the eastern portion is narrow and consists mainly of sand and gravel, with distinctive fan-like sedimentation. On the other hand, since the western portion is located between a bar and back marsh behind it, there is both sand and gravel distribution in the region developed with a bar, however, in the back marsh area, there is clay distribution.

When overlapping the subsurface geology, former topographic map and underground water level distribution of the buildings destroyed with the Hyogo Nanbu Earthquake, we find that the damages were fairly limited in the fan-like geographical around the mountain skirts of the eastern district, with the damages concentrated in the areas of slightly lower altitudes of that area. On the other hand, in the western district, it was found that damages were concentrated in clay distributed areas. When overlapping the underground water level distribution with these facts, we find that the damages were significant, mostly in shallow underground water levels, on the overall.

#### 1 阪神地域における表層地盤の概要

図-1は新編大阪地盤図<sup>1)</sup>に掲載されている近畿地方第四紀地質図(藤田和夫氏作成, 1995)である。これによると阪神地域周辺の山地には, 六甲花崗岩類, 丹波層群, 領家花崗岩類, 和泉層群, 神戸層群などの基盤岩類が分布しており, 平野部においては, それら基盤岩類を覆って, 大阪層群, 上部洪積層(図-1の凡例では低位段丘層~高位段丘層に相当), 沖積層などが分布する。

表-1(地盤工学会, 1995)<sup>2)</sup>はこれら被覆層の年代区分の特徴を示したもので, 大阪層群は新第三紀鮮新世(約300万年)以降, 第四紀更新世中期の約20万年前までに堆積した地層であり, 粘土, 砂, 砂礫などからなっている。大阪層群中には, Ma-1~Ma10の12枚の海成粘土層が存在し, これらの海成粘土層と, その間に挟まれる40枚以上の火山灰層を鍵層として層序区分がなされており<sup>3) 4)</sup>, 大別すると上部, 中部, 下部の3つの垂層群に分けられている。このうち下部垂層群は, Ma-1より

図-1の凡例

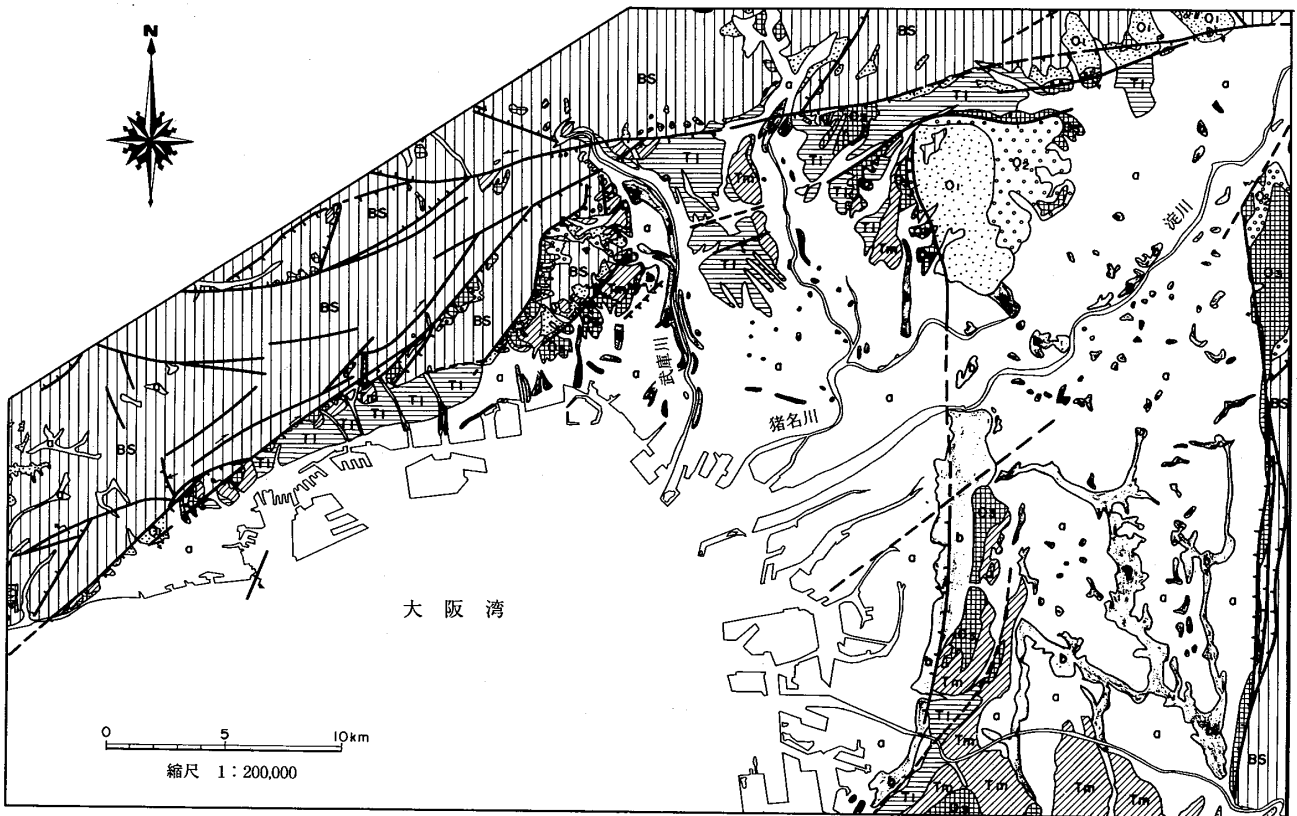
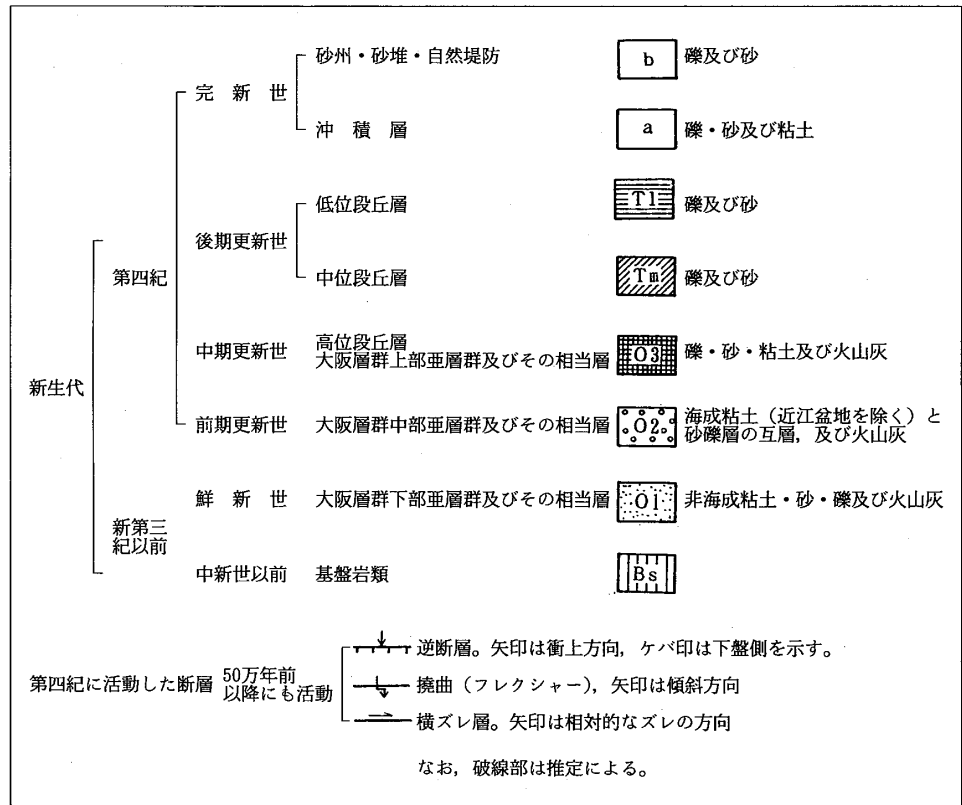


図-1 阪神地域における表層地質図（藤田和夫氏作成「近畿地方第四紀地質図」<sup>1)</sup>による）  
 Fig.1 Subsurface geologic map of Hanshin area.<sup>1)</sup>

表-1 大阪盆地周辺の被覆図(第四系)の概要<sup>2)</sup>  
Table 1 Outline of covering layer around Osaka basin (Quaternary period).<sup>2)</sup>

地質時代	絶対年代(万年)	地質区分	地質の特徴	
第四紀	完新世	沖積層	軟弱な粘性土層, ゆるい砂・砂礫層からなり, 沖積低地, 微高地(砂堆, 砂州, 自然堤防など), 扇状地などを形成する。その他, 大阪湾岸を取り囲むように人工の埋立地が形成されている。	
			1	
	更新世	後期	上部洪積層	海成の粘土・砂層と淡水性の砂礫・砂・粘土層が交互にあらわれる。砂・砂礫層は通常構造物支持層となる。
			13	
		中期	上部亜層群	海成の粘土・砂層と淡水性の砂礫・砂・粘土層が交互にあらわれる。山地に近い地域では全体的に砂礫層が優勢となる一方で, 現在の堆積盆地より外側(内陸地域)にまで広く分布している。
			(20)	
前期	中部亜層群	海成の粘土・砂層と淡水性の砂礫・砂・粘土層が交互にあらわれる。現在山地となっている基盤の小起伏面上にまで海成粘土層が分布している。		
	(60)			
鮮新世	下部亜層群	淡水成の砂礫・砂・粘土の互層からなり, 海成層はみられない。粘性土は一般に固く締まり軟岩状を呈する。現在山地となっている基盤の小起伏面上にも, わずかながら残存している。		
		70		
新第三紀	(120)			
	170			
	(300)			

大阪層群堆積以前は, 基盤岩類が長期にわたって浸食され, 小起伏面を形成していた。

下部の地層を指しており, 概ね120万年より以前の淡水成堆積物より成っている。

中部亜層群はMa-1からMa5までの7枚の海成粘土層を含み, 海進期の海成粘土層と海退期の砂, 砂礫層との互層状となっている。約100万年前に堆積したとされるMa-1は東播磨野, 大阪平野, 京都盆地, 奈良盆地に及ぶ広い範囲に分布しており, 堆積相も安定している。しかし, これより上位の海成粘土層の分布域は狭くなり, 背後の山地の上昇に伴う堆積盆の縮小があったとされている。

上部亜層群は概ね60万年前から20万年前までの堆積物であり, Ma6からMa10までの5枚の海成粘土層を含んでいる。同亜層群は堆積した海域毎に層相の変化が激しく, 六甲山南麓では山麓扇状地性の堆積物が主体であるが, 大阪湾の沖合へ向かうにしたがって, 粘土主体の層相に変わっている。こうした分布や堆積状況から, 上部亜層群堆積時期に六甲山地は激しく隆起し, その運動は完新世にも引き続けていると考えられている。

大阪層群より上位に分布する上部洪積層は段丘堆積層

相当層であり, 約20万年前から2万年前に堆積した地層である。Ma11とMa12の海成粘土層を挟み, 砂, 砂礫, 粘土層が交互に現われている<sup>3)</sup>。図-1の近畿地方第四紀地質図によると, 段丘堆積層は高位, 中位, 低位の3層に区分されているが, 高位段丘堆積層と大阪層群上部亜層群とは同一層(O<sub>3</sub>層)として表現されている。その分布域は, 山地の縁辺部を形成する丘陵地域であり, 阪神地域においては, 上町台地, 千里丘陵, 伊丹丘陵, 六甲山南麓に分布する。これらの地域に分布する段丘堆積層は砂, 砂礫を主体としている。

沖積層は淀川, 猪名川, 武庫川の流域ならびに大阪平野沿岸域において, 段丘堆積層(上部洪積層)を覆って広く分布する。その厚さは海岸に近くなるほど厚くなり, 河口付近では30m以上に達している。

図-2(社)土質工学会関西支部, 1992)<sup>4)</sup>には大阪市内の東西方向の地質断面図を示したが, それによると沖積層の層相は一般的に, 腐植質な粘土層と砂層の互層からなる下部層(10000~7000年), 貝殻を含み, 軟弱な海成粘土層からなる中部粘土層(Ma13層, 梅田粘土層とも呼ばれる, 7000~2000年), 淘汰の良い砂層を主とする上部層(2000年以降)の3層に区分されている<sup>4) 5)</sup>。

一方, 神戸地域においては, 山地と海とが狭っているため, 沖積層は大阪市内に比べると薄く, 堆積物も扇状地性の砂礫, 砂を主体としている。ただし, 神戸地域においても沿岸部では海成の沖積粘土層(Ma13)が分布しており, その厚さは沖合になるほど厚くなり, 陸上部と違って粘土, 砂が主体をなすようになる。

## 2 地盤物性の概要

兵庫県南部地震においては, いわゆる震災の帯と呼ばれる被害の大きな地域が特徴的に現れた。発生直後には未発見の活断層があるなど様々な理由が識者からコメントされた<sup>6)</sup>。その後, 多くの研究機関で地震波形の分析や表層地盤の挙動解析が行われ, 活断層説だけではいろいろな事実を説明できないことが明らかになり, 原因は地盤物性と地下構造にあると理解されるようになってきた<sup>7)</sup>。

ここでは筆者らが阪神地域において収集した地盤調査資料をもとに, 動的解析に必要な物性値の地層別頻度分布を求め, 神戸地区と大阪地区の各種物性値について比較・検討した。

### 2.1 地盤調査資料の収集

図-3に収集対象範囲を示す。図中の斜線で囲まれた地域で行われたボーリング調査のうち, データが整って

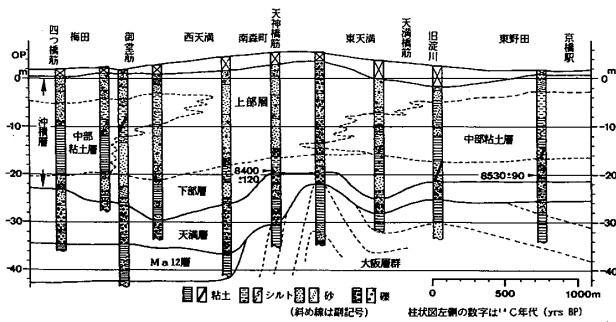


図-2 大阪平野天満地域の地質断面図とC年代<sup>4)</sup>  
 Fig.2 Subsurface geologic map and carbon Age of Osaka Hirano Tenman district.<sup>4)</sup>

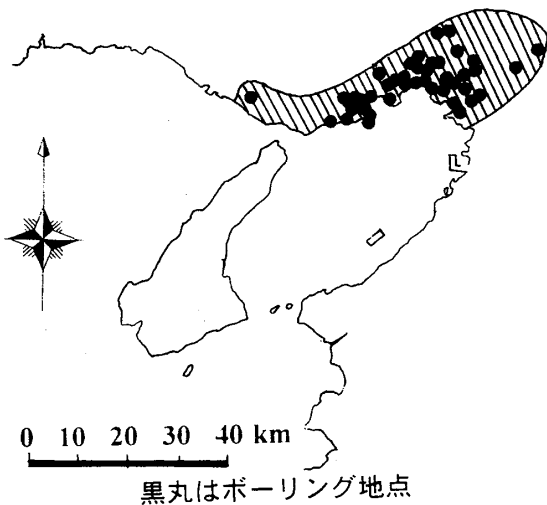


図-3 地盤調査資料収集範囲  
 Fig.3 Range to collect references upon ground survey.

いる44箇所、延べ掘進長3900mの調査資料を収集した。図中の黒丸印で示したように、ボーリング地点は斜線部の地域でほぼ均等に分布している。一箇所でも複数本のボーリングが実施されている場合は、代表的なボーリングデータを採用することとした。地域的には、武庫川を境にこれより西側を神戸地区、東側を大阪地区とした。これは、武庫川河口付近は三角州で、地形上は淀川や猪名川の河口付近と類似しているが、これより西部域の資料は1地点を除き、六甲山麓扇状地に位置するためである。なお、地層名の同定は、既往資料<sup>2) 4) 5) 8)</sup>から各地層の基底コンターなどの情報をもとに行った。土質構成は粘土、砂、砂礫の3つに分類した。

PS検層は、ダウンホール法とサスペンション法で行われているが、サスペンション法では速度値が深度1m区間毎に得られるので、地層との対応付けは容易であるが、ダウンホール法では平均速度を示す区間(速度区間)として示されるので、地層との対応付けが困難な場合がある。そこで、一つの速度区間に同一の地層が7割以上

占有する場合のみデータを抽出し、それ以外(複数の地層が混在する場合は集計から除外することとした。速度区間の深度としては、区間の中央にあたる深度とした。

剛性率比と減衰定数は、乱さない試料による振動三軸試験結果を用い、 $10^{-3}$ ひずみレベルでのG/G<sub>0</sub>、hの値がG/G<sub>0</sub>~ $\gamma$ 、h~ $\gamma$ 曲線の特徴をよく表すと考え、このひずみレベルでの値について比較することとした。

2.2 地盤の物性値

(1) N 値

図-4に地層別N値の頻度分布図を示した。これによると沖積層のN値は、粘土で1~8、砂で3~22である。神戸地区と大阪地区とで有意な差は認められない。上部洪積層(高位~低位段丘堆積層)では、粘土が5~20、砂が20~60以上、砂礫が40~60以上と値が広範囲に及んでおり、地層が不均一であることがわかる。次に大阪層群では、粘土が10~60、砂が20~60以上、砂礫が60以上であり、砂でも60以上を示すものが多い。

地層別の比較では上部洪積層の粘土で、神戸地区の方が大阪地区よりも多少大きい値を示す傾向にあるが、他はばらつきが大きく有意の差は認められない。

(2) 密度

図-5は地層別密度の頻度分布図である。沖積層粘土の密度は、1.5~1.9g/cm<sup>3</sup>と広範囲に分布しているのに対し、砂では1.75~2.0g/cm<sup>3</sup>と分布範囲は狭い。上部洪積層も粘土では、1.5~2.0g/cm<sup>3</sup>と広範囲に分布しているが、砂では1.8~2.1g/cm<sup>3</sup>の範囲に分布している。大阪層群も同様で、粘土では1.5~2.0g/cm<sup>3</sup>に分布しているのに対して、砂では1.9~2.1g/cm<sup>3</sup>に分布している。

(3) P波, S波速度

各地層別、土質別のP波速度とS波速度の頻度分布図を示したものが図-6, 7である。これによるとP波では、沖積層の粘土、砂が1.3~1.8km/sで大きな違いが見られず、上部洪積層になると粘土で1.4~1.8km/s、砂で1.7~2.0km/s、砂礫で1.7~2.2km/sと多少差が認められる。大阪層群では粘土が1.6~2.2km/s、砂で1.5~2.3km/sと両方で大きな違いは認められない。

S波は、沖積層の粘土、砂が0.1~0.3km/sとP波同様、差が認められないのに対して、上部洪積層になると粘土で0.16~0.38km/s、砂で0.22~0.46km/s、砂礫で0.26~0.5km/sと多少差が認められている。大阪層群では、粘土、砂ともに0.5~0.8km/sを示すものが多い。神戸地区と大阪地区の比較ということであれば、P波はほとんど差が認められないのに対して、S波では上部洪積層の粘土において差が認められ、神戸地区の方が多少

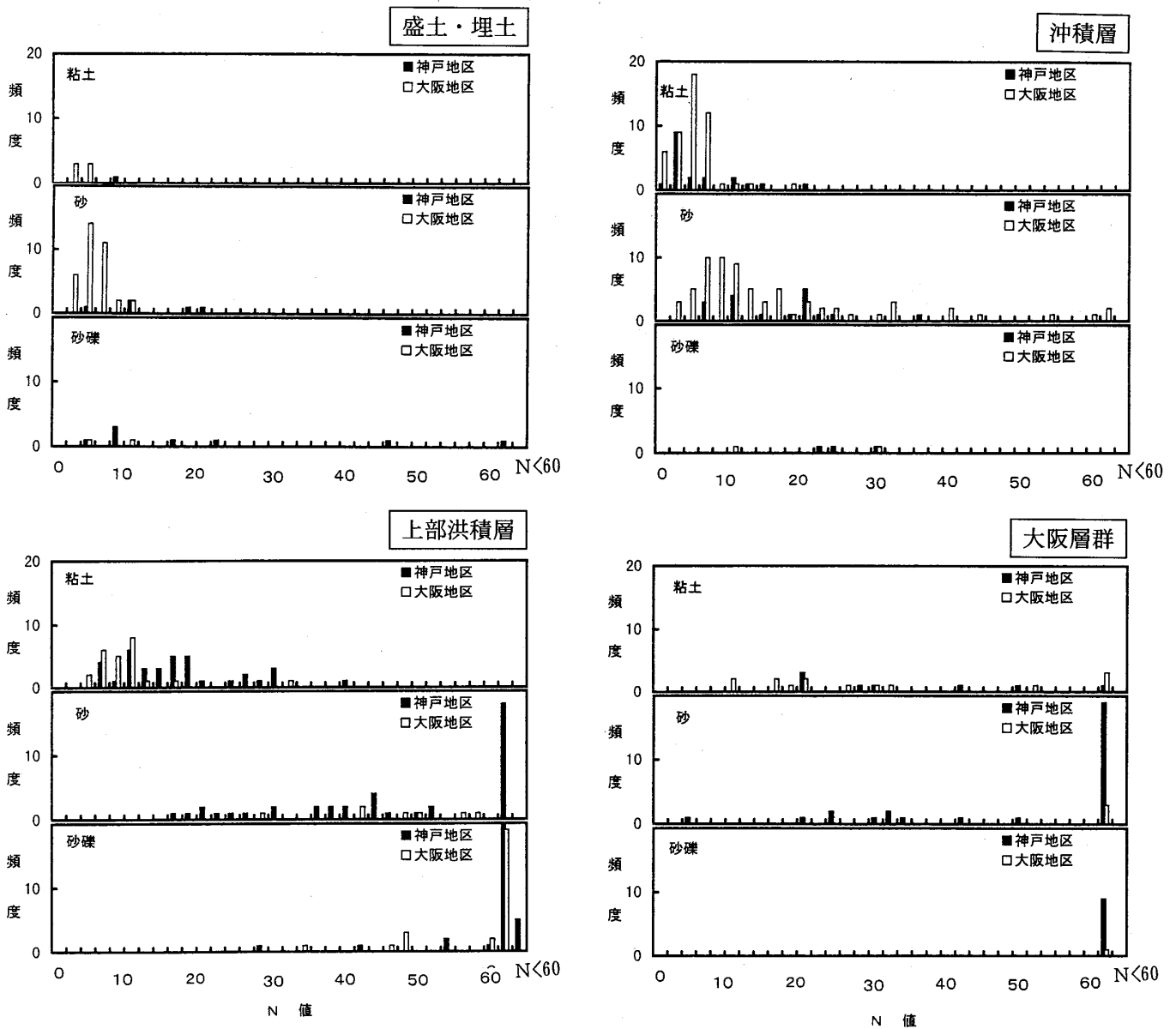


図-4 地層別N値の頻度分布図  
 Fig.4 Frequency distribution of N value according to stratum.

大きくなっている。ただし、その他の地層あるいは土質では、S波においても顕著な差が認められない。なお、これらの値と今井ら(1982)<sup>9)</sup>が全国の地盤を対象としてまとめた成果(図-8)と比較すると、各地層毎のピークはほぼ一致する傾向にある。

(4) 剛性率比, 減衰定数

図-9は、各地層別の剛性率比とひずみとの関係、減衰定数とひずみとの関係を示したものである。これによると、上部洪積層の砂礫と粘土では曲線が広範囲に分布しており、地層が不均質であることを物語っている。

兵庫県南部地震以後、その地震波形を用いて地盤モデルの逆解析がいくつか試みられている。<sup>10) 11) 12) 13)</sup> これら

の文献で、逆解析によって得られたG/G<sub>0</sub>, hの値と、今回収集したデータとを対比させたものが図-10である。値そのものは多少ばらついているように見えるが、両者はほぼ同様な傾向にあることがわかる。なお、ここで示したGならびにhの値は、10<sup>-3</sup>ひずみレベルでの値である。

(5) 地層別の比較

これまでに述べてきた各地層の物性値のうち、沖積層における各種物性値を、神戸地区と大阪地区とに分けて平均値と標準偏差を求めたものが表-2である。表中で神戸地区における砂礫のP波速度平均値が0.8km/sと小さいのは、3個のデータのうち2個が地下水位以浅のデー

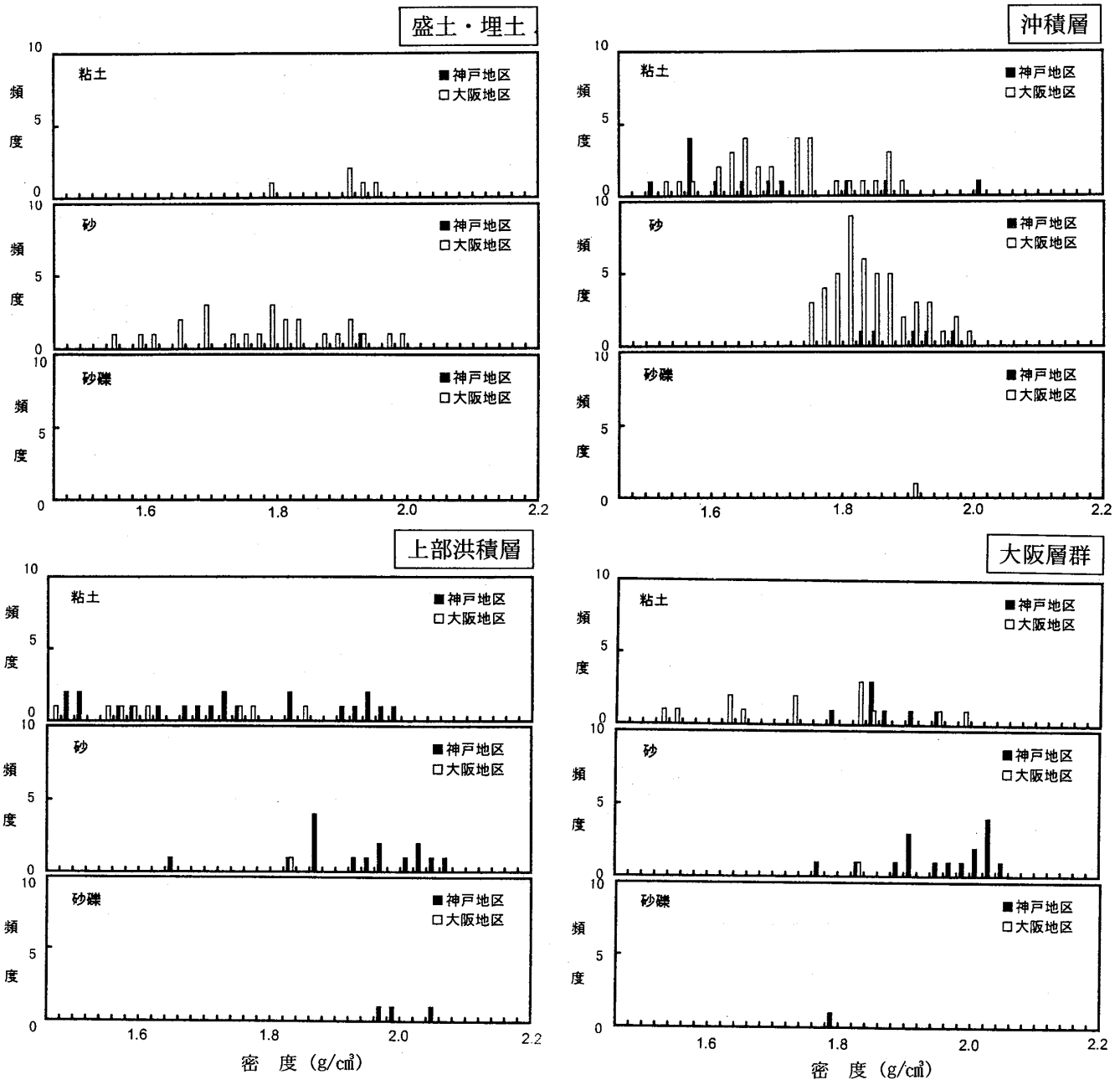


図-5 地層別密度の頻度分布図  
 Fig.5 Frequency distribution of density according to stratum.

タであるためであるが、この表によっても神戸地区と大阪地区とでは物性値に大きな差は認められない。

一方、図-11は地層の同定が明確な上部洪積層のMa12層について、神戸地区と大阪地区における密度、N値、P波速度、S波速度を整理したものである。同図に示したデータは神戸地区ではポートアイランドから三宮周辺、大阪地区では尼崎周辺のものである。同図を見ても同深度では神戸地区と大阪地区で大きな差は認められないが、神戸地区の沖合では深度の深いところにMa12層が分布

しており、そこではN値も大きく、S波速度も大きくなっている。

### 3 神戸市街地地盤の特徴

#### 3・1 表層地質

神戸市街地は、北側に六甲山地を控えた東西に狭長な扇状地に位置している。地質的には、六甲山地の隆起に伴ない、継続的に供給された堆積物によって構成されている。このため、基盤岩を覆っている被覆層の層相変化

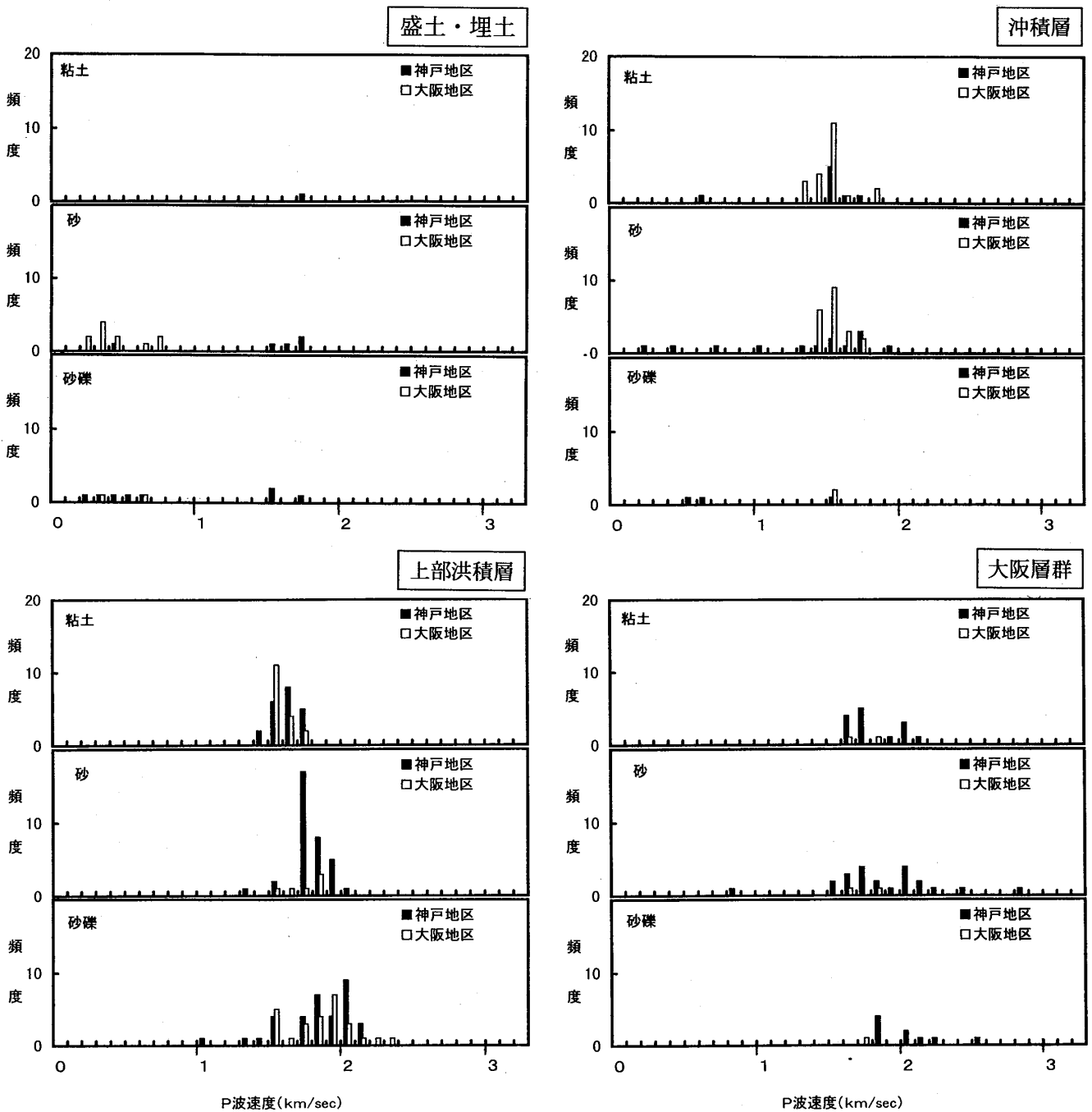


図-6 地層別P波速度の頻度分布図  
 Fig.6 Frequency distribution of P-wave velocity according to stratum.

が著しく、連続性に乏しい。

被覆層は古いものから新生代第三紀鮮新～第四紀更新世に属する大阪層群，更新世の段丘堆積層，完新世の沖積層などである。最も表層に分布する沖積層は，最終氷期における海水準の最低下期の約2万年前以降に形成された地層であり，沿岸部では主として海成粘土層(Ma13)により構成されている。しかしながら，市街地の中心部においては，山地から供給された土砂が，扇

状地性堆積物となって分布しているため，表層地盤を構成する地層は礫質土が主体となっている。

このような特徴は段丘堆積層や大阪層群にも認められ，気候変動に伴う海水面の昇降によって，堆積物の種類が異なるとともに，河川における堆積場と侵食場が繰り返したため，地層の変化が著しい特徴がある。

図-12は，これまでに発表された各種資料<sup>14)～21)</sup>をもとに，一部加筆をして作成した神戸市街地の表層地質図

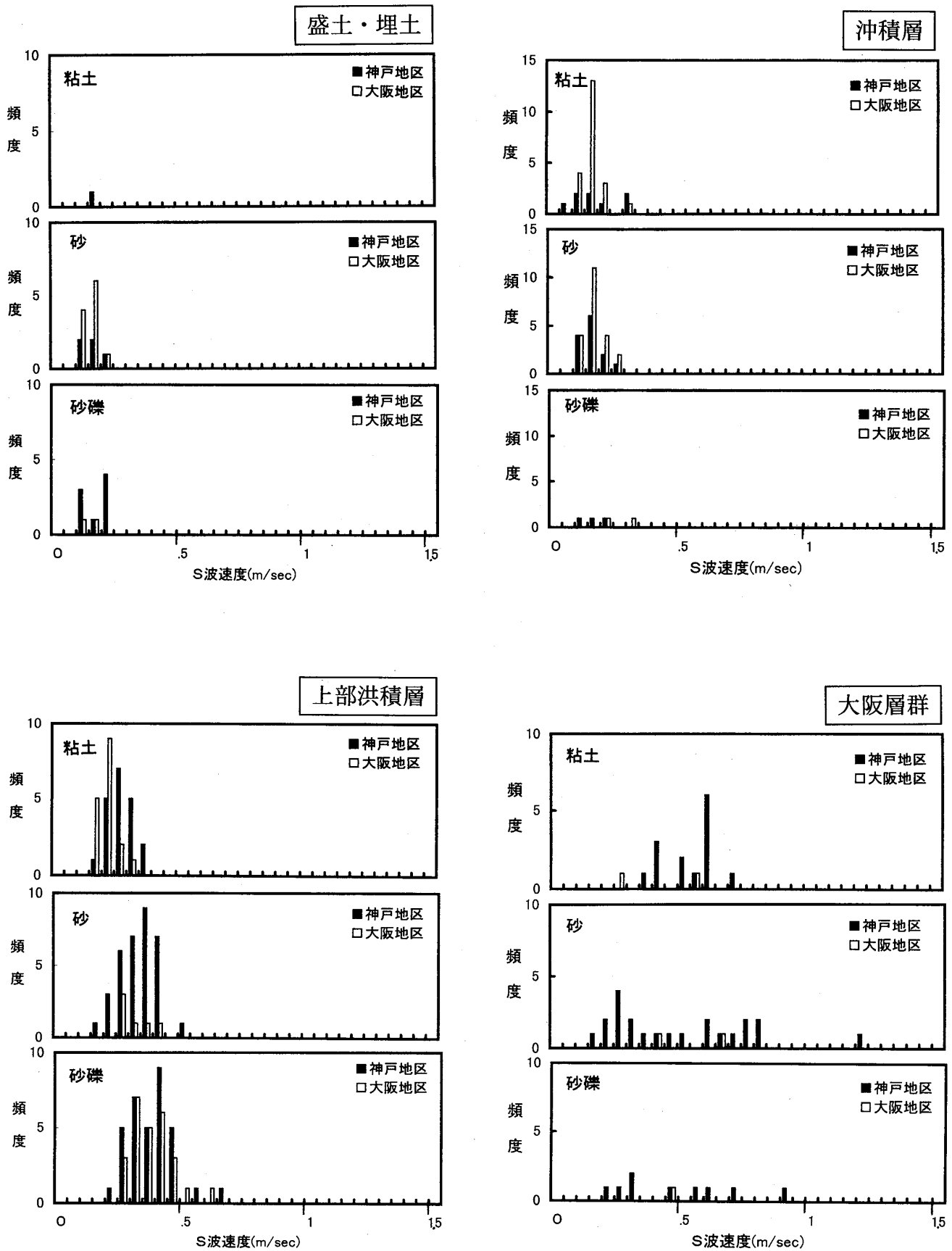


図-7 地層別S波速度の頻度分布図

Fig.7 Frequency distribution of S-wave velocity according to stratum.



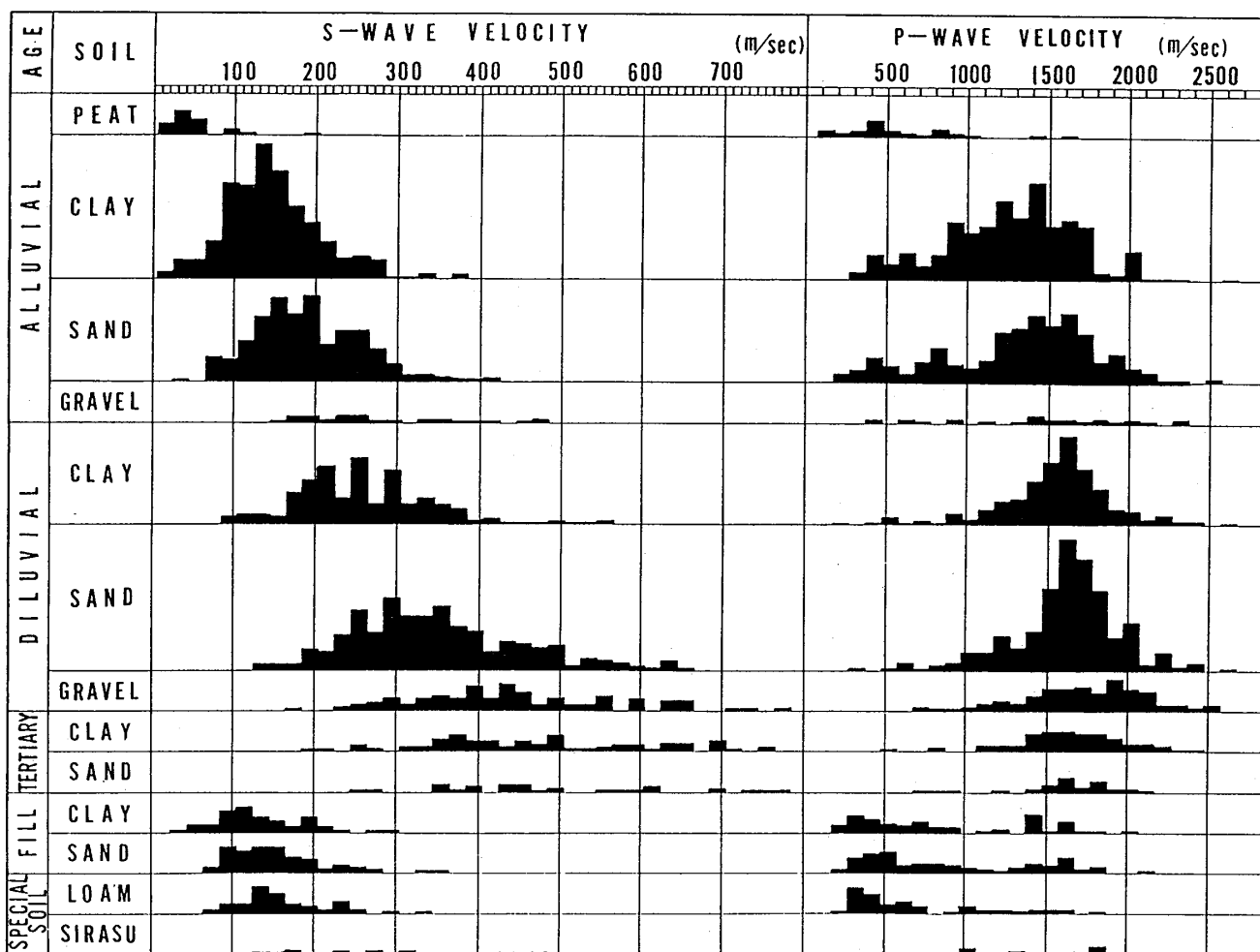


図-8 全国を対象とした各地層毎のP波, S波速度値 (今井ら, 1982)<sup>9)</sup>  
 Fig. 8 P and S wave velocity of each stratum around the country.<sup>9)</sup>

表-2 神戸地区と大阪地区の物性値比較 (対象: 沖積層)  
 Table 2 Difference in soil properties between Kobe and Osaka areas (Target: Alluvium).

密度	神戸地区		大阪地区	
	平均値	個数	平均値	個数
粘性土	1.697 ± 0.147	12	1.733 ± 0.097	32
砂	1.917 ± 0.058	5	1.863 ± 0.062	49
砂礫	-	0	1.939	1

N値	神戸地区		大阪地区	
	平均値	個数	平均値	個数
粘性土	6.1 ± 5.3	19	5.2 ± 3.4	53
砂	16.6 ± 8.2	17	19.1 ± 26.9	69
砂礫	25.7 ± 4.7	3	20.5 ± 14.9	2

速度	神戸地区			大阪地区		
	P波 (m/sec)	S波 (m/sec)	個数	P波 (m/sec)	S波 (m/sec)	個数
粘性土	1460 ± 350	180 ± 90	8	1530 ± 130	180 ± 50	21
砂	1300 ± 530	170 ± 40	13	1480 ± 290	180 ± 50	21
砂礫	880 ± 560	170 ± 40	3	1500 ± 0	260 ± 80	2

である。これによると神戸市街地の表層地質は、大きく東灘区～中央区にかけての東部地域と兵庫区～須磨区にかけての西部地域に大別される。すなわち、東部地域に分布する沖積層は砂、砂礫を主体としているのに対して、西部地域は、和田岬を突端とする砂州の後背湿地である

ことを反映して、表層には粘性土が広く分布している。東部地域をもう少し詳しく見ていくと、沖積層が分布するのは、住吉川を中心とする東灘区全域と中央区の生田川を中心とする区域である。一方、西部地域に属する兵庫区南部の和田岬とその西方に分布する砂州の周辺や

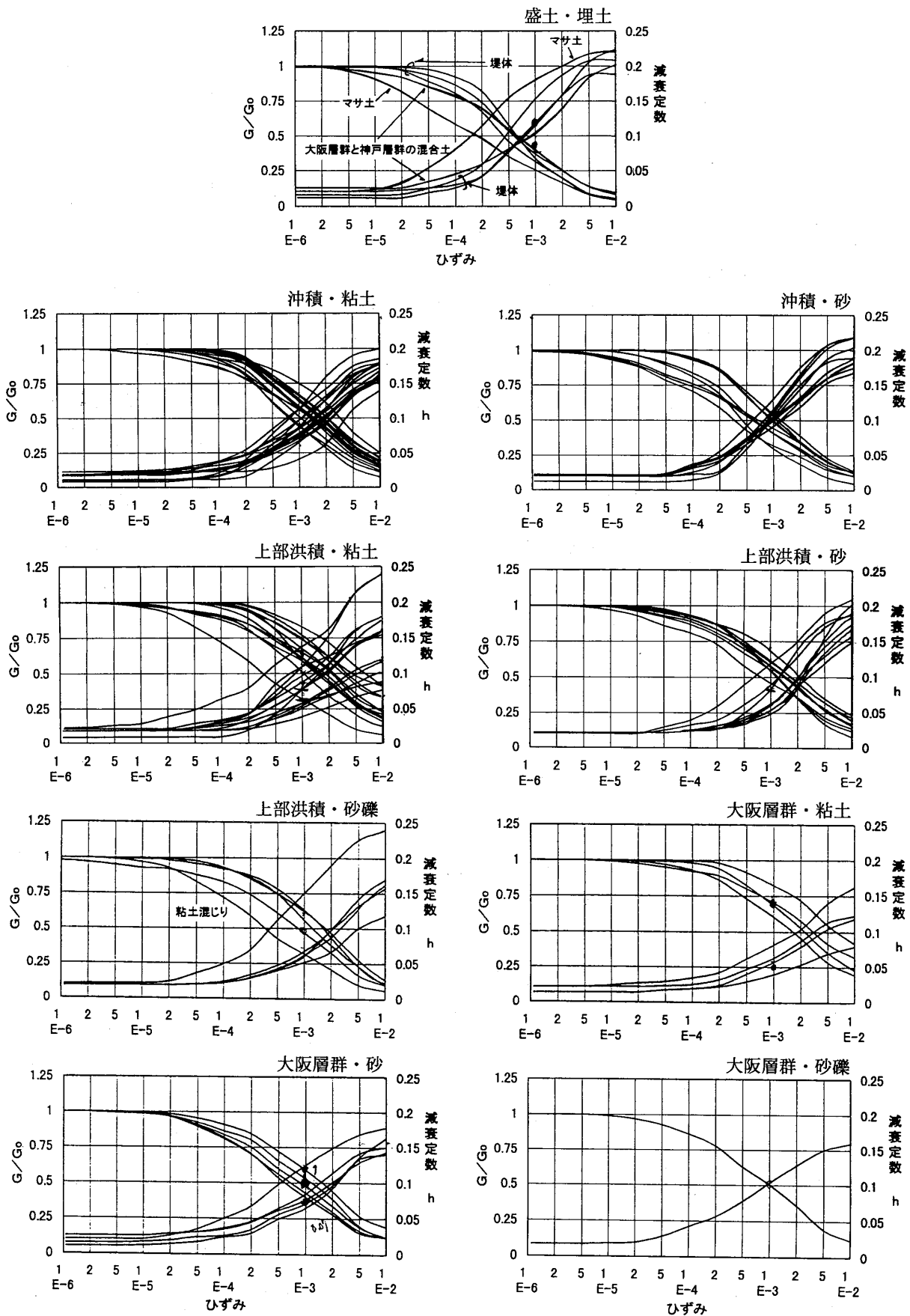


図-9 地層別剛性率比と減衰定数のひずみ依存性

Fig.9 Strain dependence of stratum ratio of rigidity  $G/G_0$  and damping coefficient.

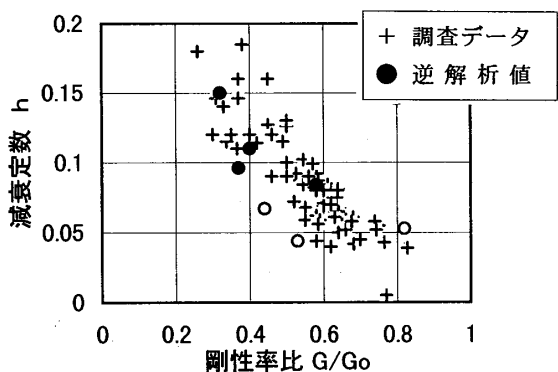


図-10 剛性率比と減衰定数との関係図 (調査データと逆解析結果の比較図)  
 Fig.10 Correlation between ratio of rigidity  $G/G_0$  and damping coefficient (Comparison of survey data and inverse analysis results.).

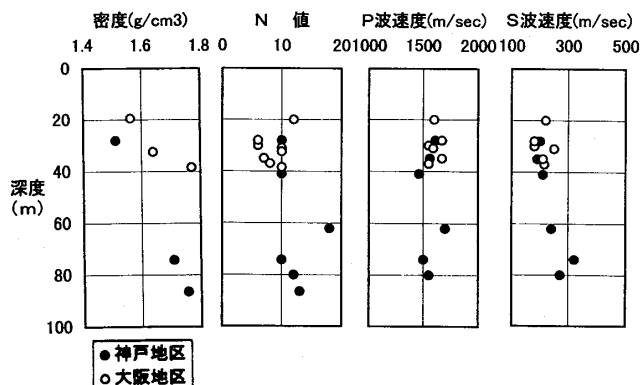


図-11 Ma12層の物性値比較  
 Fig.11 Comparison of soil properties of Ma 12 stratum.

旧湊川河口付近の沖積層では、砂、砂礫を主体としているのに対して、その後背地には、すでに述べたように粘

性土が分布している。一方、六甲山地縁辺部にあたる会下山、池田上町等の丘陵地には、大阪層群やこれを覆って段丘堆積層などが分布している。

以上のように、神戸市街地の中心域は、六甲山麓に発

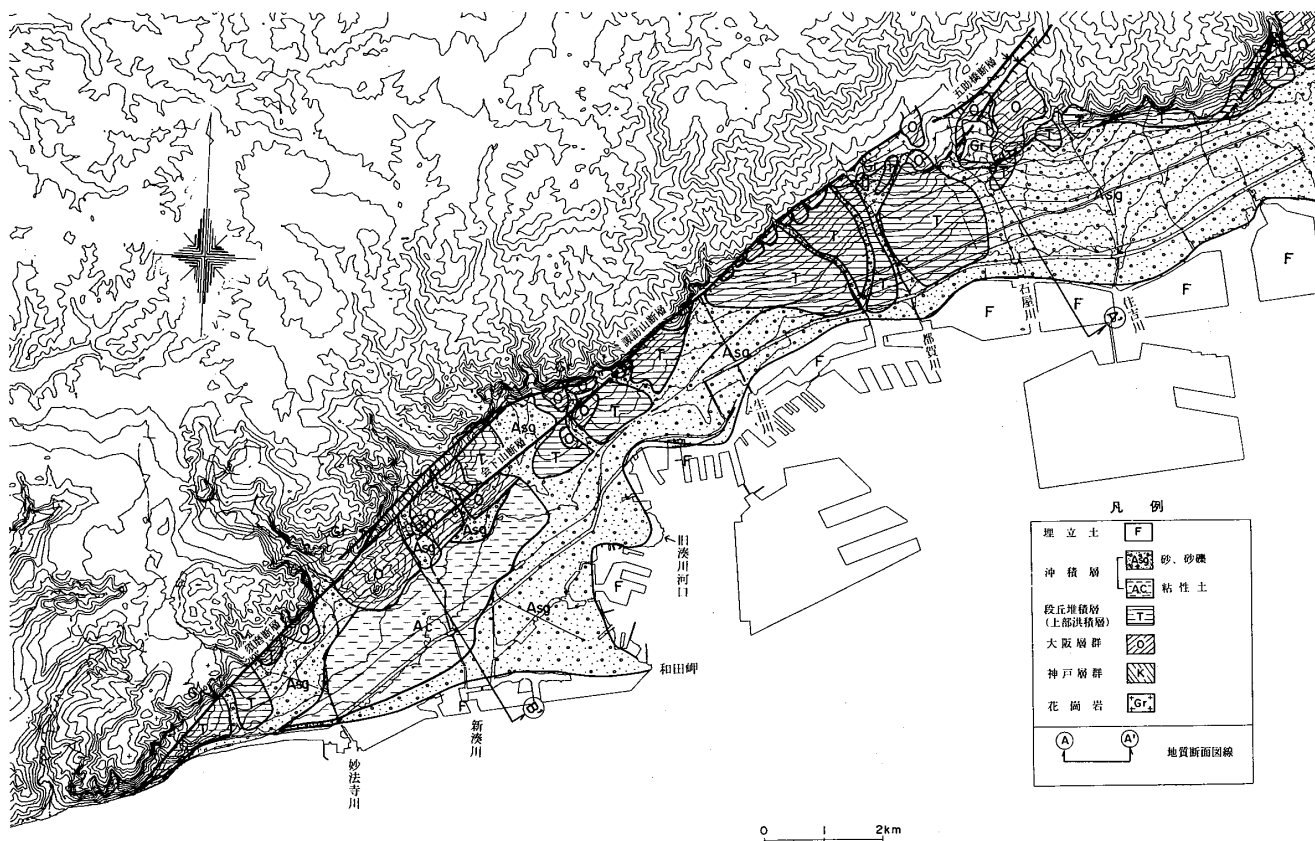


図-12 神戸市街地の表層地質図  
 (神戸市, 1980)<sup>14)</sup>  
 (財建設工学研究所, 1995)<sup>15)</sup>  
 (兵庫県, 1996<sup>16)</sup>, 1997<sup>17)</sup>  
 (建設省近畿技術事務所, 1997)<sup>18)</sup>  
 (地質調査所, 1982<sup>19)</sup>, 1983<sup>20)</sup>, 1984<sup>21)</sup>) に一部加筆  
 Fig.12 Subsurface geologic map of urban strip in Kobe City area.<sup>14)~21)</sup>

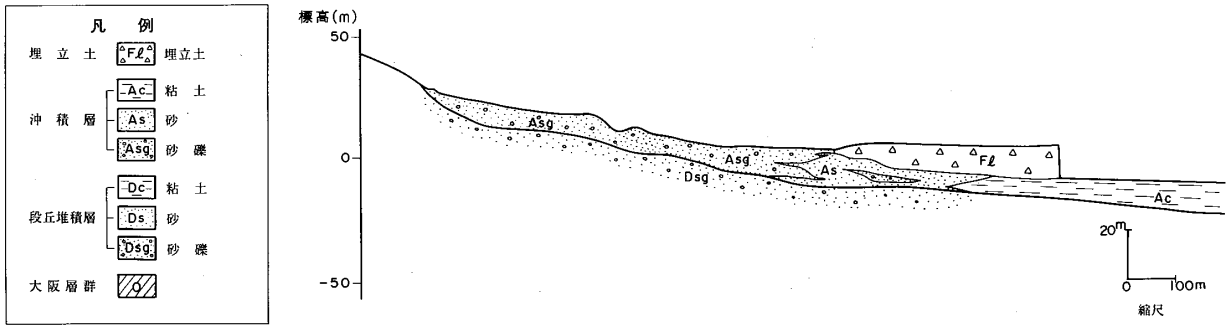


図-13 東部地域の代表地質断面図 (A-A' 地質断面図) (財建設工学研究所, 1995)<sup>15)</sup> に一部加筆  
 Fig.13 Notable geological profile of eastern district (A-A' geological profile).<sup>15)</sup>

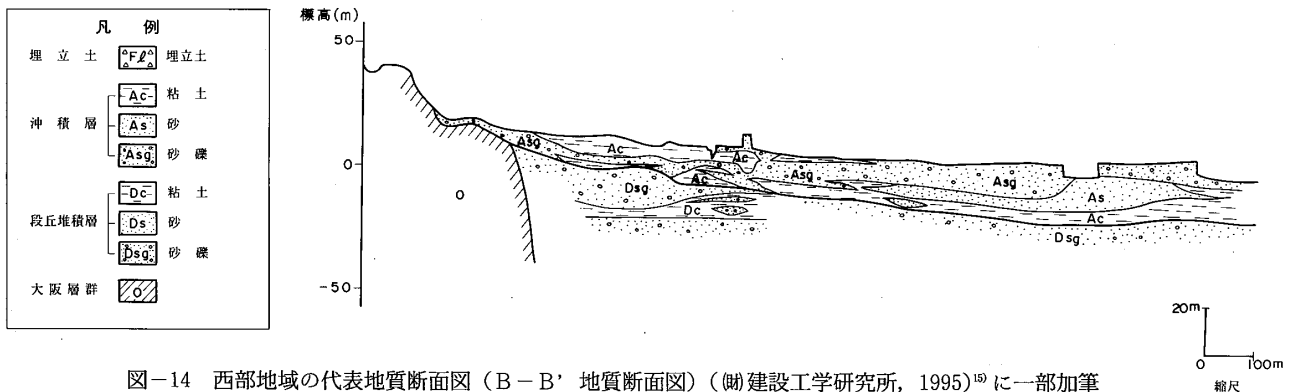


図-14 西部地域の代表地質断面図 (B-B' 地質断面図) (財建設工学研究所, 1995)<sup>15)</sup> に一部加筆  
 Fig.14 Notable geological profile of western district (B-B' geological profile).

達する小規模な扇状地の複合帯に位置している。このため、河川の流下方向である南北方向だけでなく、それと直角の東西方向にも地層の連続性は乏しく、その地盤は大阪の地盤などに比べると極めて複雑である。

### 3・2 地盤構成

#### (1) 東部地域

図-13は神戸市街地東部地域(図-12のA-A'断面)の概略的な地質断面図を示したものである。同図に示すように、東部地域においては砂、砂礫が主として分布しており、粘性土は海岸沿いに分布するだけである。なお、同図には既往資料<sup>15)</sup>を参考に沖積層と段丘堆積層の境界を示しているが、両者とも同じような層相であり、必ずしも判然とするものではない。

#### (2) 西部地域

図-14は神戸市街地西部地域(図-12のB-B'断面)の地質断面図である。和田岬を含む海岸に近い地域では、砂、礫が分布しているが、内部の後背湿地にあたる低地には沖積粘性土が表層付近より分布している。沖積層の厚さそのものも東部地域に比べると多少厚くなっている。また、海岸付近には沖積層の海成粘土層(Ma13)が分布しているが、東部地域と異なって、Ma13の上部に沖

積の砂、砂礫が堆積している。なお、同図にも、沖積層と段丘堆積層の境界線を示しているが、東部地域に比べると、その精度は多少高いものと判断される。

### 3・3 地下水位分布

図-15は既往の調査資料をもとに、神戸市街地における地下水位分布を地表面下3mより浅い地域とそうでない地域に分けたものである。これによると、東部地域においては、住吉川東部で地形が多少低いことも反映して地下水位が浅いのはじめ、石屋川西部、都賀川西部で地下水位が浅くなっている。これ以外の区域では、概ね地下水位は3m以深となっている。

一方、西部地域である兵庫区～須磨区にかけては、全般に地下水位が浅い状態にある。大阪層群が分布する丘陵部においても、旧谷地形のところでは、地下水位の浅いところが見られる。

### 3・4 地盤と建物被害との対比

兵庫県南部地震は、阪神・淡路地域に大被害をもたらしたが、大きな特徴のひとつに、被害が震源地から北東方向に延びる地域に集中し、“震災の帯”を形成したことである。地震動は、震源からの距離に伴って減衰する

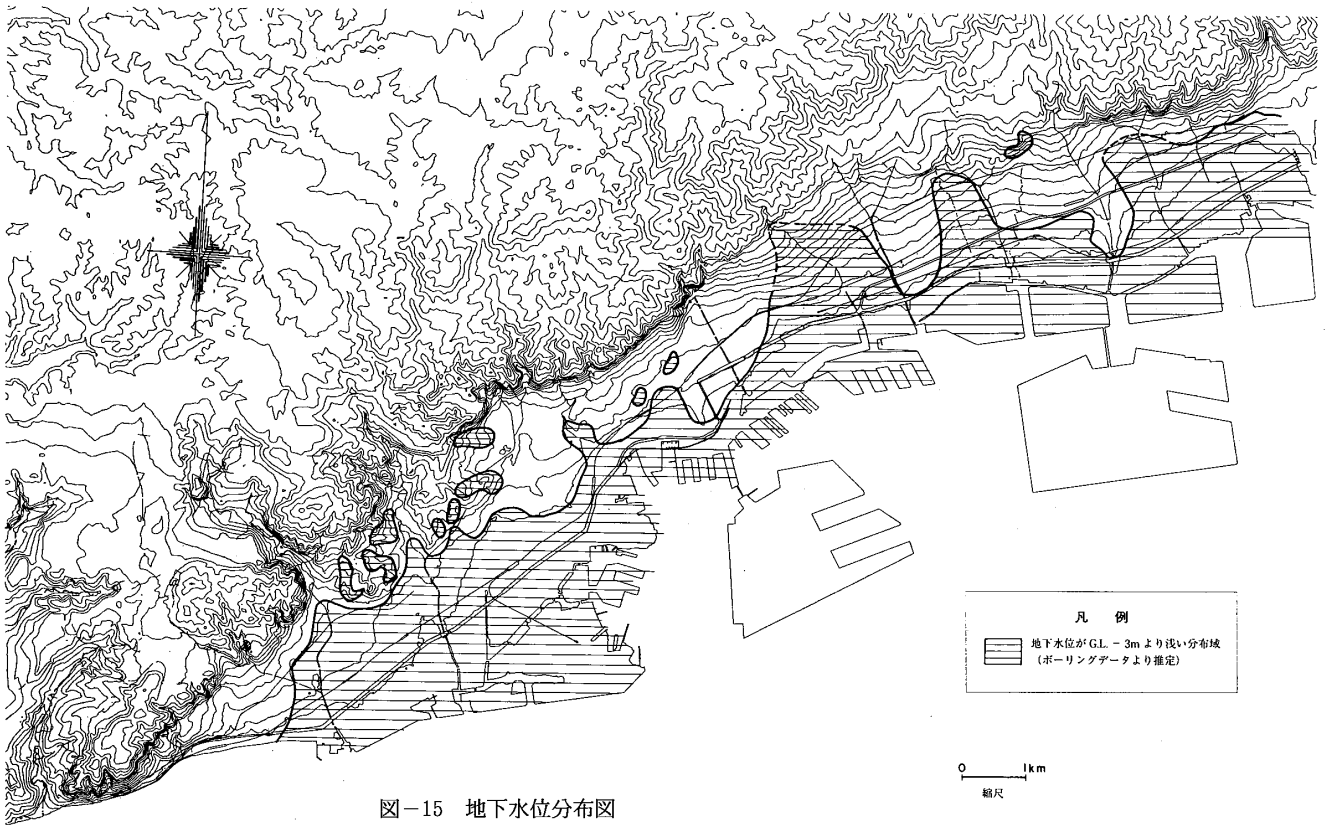


図-15 地下水位分布図

Fig. 15 Underground water level distribution map.

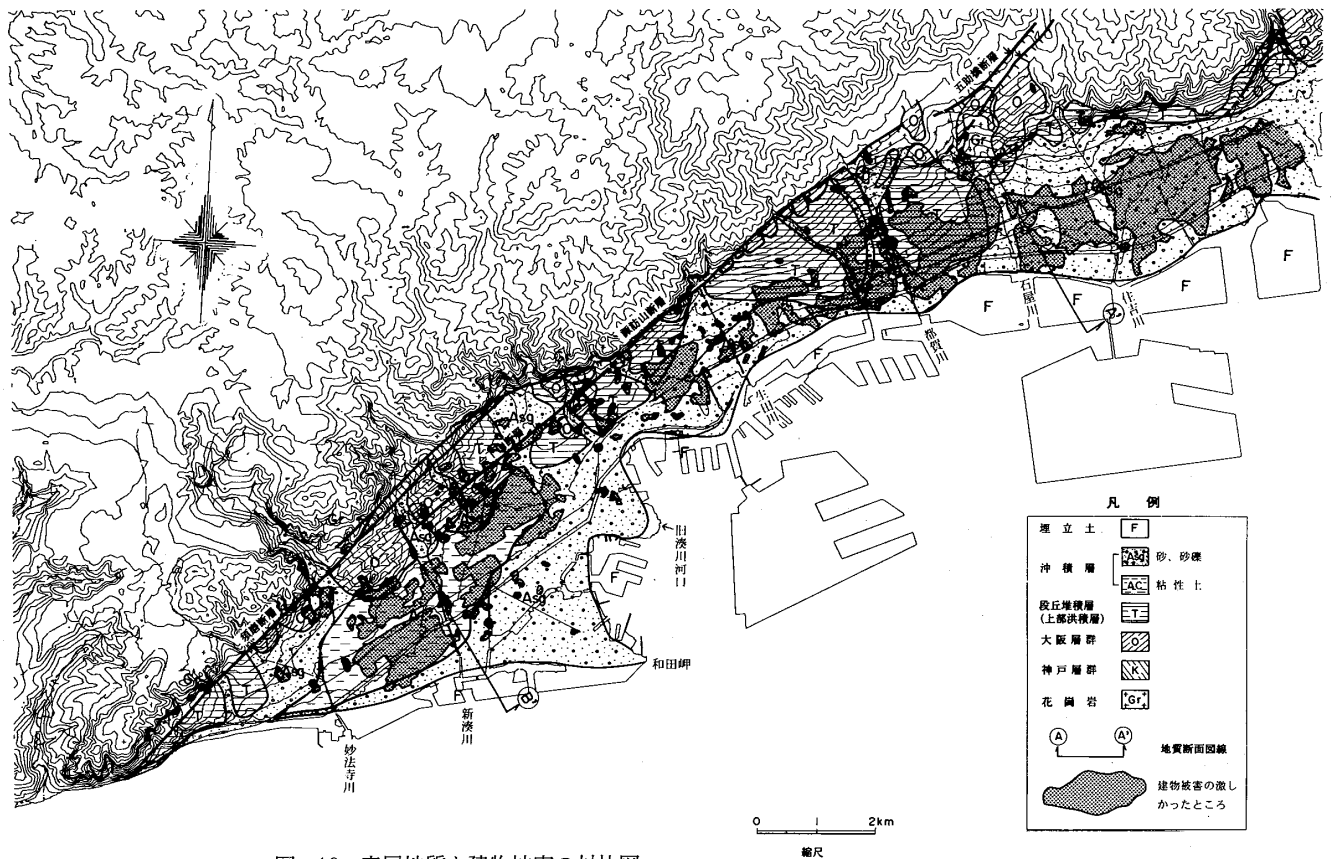


図-16 表層地質と建物被害の対比図

Fig. 16 Comparison of buildings destroyed in terms of subsurface geology.

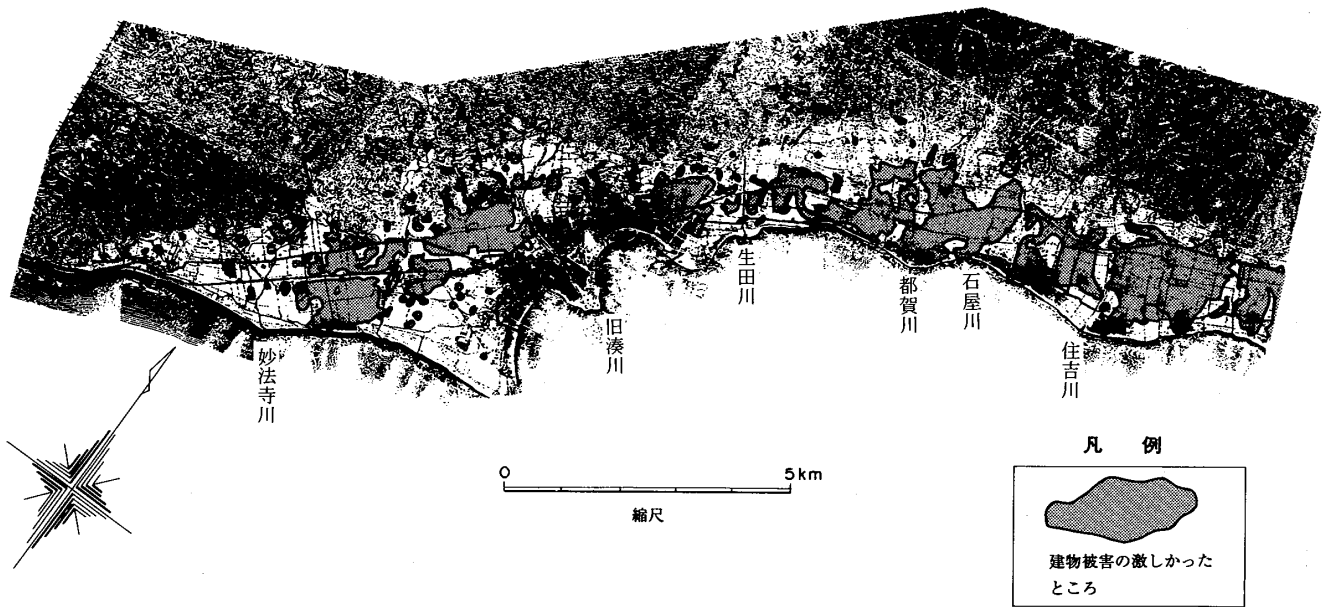


図-17 旧版地形図と建物被害との対比図  
 (旧版地形図：明治18年，陸軍部測量局作成)

Fig. 17 Comparison of buildings destroyed in terms of former topographic map.

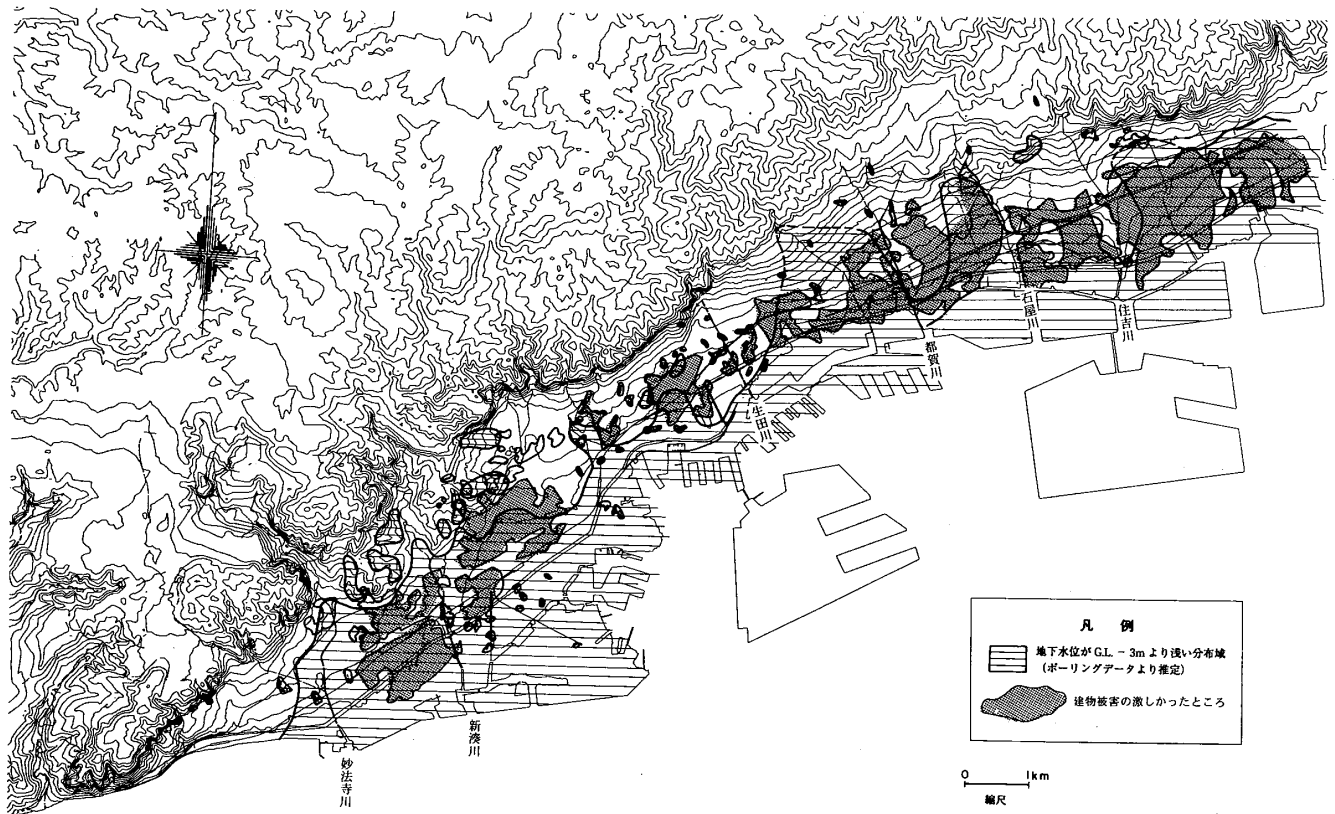


図-18 地下水位と建物被害との対比図

Fig. 18 Comparison of buildings destroyed in terms of underground water level.

とされていたこれまでの傾向と異なる現象に対して、様々な見解が提示されている。例えば嶋本（1995）<sup>20</sup>は伏在断層説をいち早く唱えたほか、断層変位運動説、地形および表層地盤説、基盤構造説ならびに建物強度差などの影響の表われとする説などが示された。

“震災の帯”の形成には様々な要因が複合するものと考えられるが、ここでは(財)建設工学研究所（1995）<sup>15</sup>で調べられた建物被害と表層地質、地形、地下水位との関係について、概括的に述べることにする。

#### (1) 表層地質と被害

兵庫県南部地震による建物被害の集中域を表層地質図と重ね合わせたものを図-16に示す。“震災の帯”の分布域は神戸市の市街地を縦断する形で延びるが、特徴的なことのひとつに、海岸線から離れた地域に、しかも六甲山と海に挟まれた古くからの市街地に集中していることが挙げられる。

神戸市街地の地形や表層地質を詳しく見ると、市街地の東部地域では、比較的勾配のある住吉川、石屋川、都賀川、生田川などの急流河川沿いに砂礫を主体とする扇状地が分布している。現在の地形傾斜も比較的急な勾配をもっているが、建物被害の集中する地域はやや勾配の緩い傾斜 $2^{\circ}$ 以下の緩扇状地に分布することがわかっている（石川、1995）<sup>20</sup>。すなわち、傾斜が緩勾配となり地下水位が浅くなるような地域に建物被害が集中したと考えられる。

一方、西部地域では、小部峠（418m）を水源とする菊藻川（新湊川）や妙法寺川などにおける土砂供給は比較的少ない。あわせて六甲山地の傾動と和田岬を先端とする沿岸砂州の発達により、その背面にやや広い後背湿地が形成され、これら地域では粘性土を主体とする沖積層が分布しているが、建物被害はこの平坦な後背湿地に集中する傾向にある。すなわち、西部地域では地震動の大きな増幅特性をもつ粘性土分布地域に建物被害が集中したものといえる。これに対して和田岬の発達とともに形成された砂州地域では、一部で液状化現象が確認されているが、顕著な建物被害は少ない。

#### (2) 旧地形と被害

図-17は今回の地震による建物被害の分布と旧版の地形図（明治18年）を重ね合わせたものである。現在の神戸市街地の地形は、市の急成長とともに活発な人工改変を受け、昔の名残りはほとんど見ることが出来ないが、旧版の地形図をみると、六甲山麓から広がる扇状地形が住吉川、石屋川、都賀川、生田川、旧湊川沿いに広がり、海岸線に消える様子がよくわかる。この頃には、神戸港は既に貿易港として開港されており、居留地などが開か

れ、兵庫を中心に集落が分布しているが、住居集落は散在しており、灌漑用の溜池は約500余が分布していたようである。同図によると建物被害の集中域は当時水田として利用されていた地域に合致している。すなわち、ここでも比較的平坦な地形面に建物被害が集中していることを示している。また、旧溜池を埋めたところにも被害が集中する傾向にある。

#### (3) 地下水位と被害

今まで見てきたように、神戸市街地に現れた“震災の帯”は、比較的平坦な自然地盤上に分布していることがわかってきた。そして、このような地域では、地下水位が比較的地下表面近くに分布することが想定される。

図-18には、図-15の地下水位分布図に、建物被害の著しかった地域を重ね合わせたものを示す。

地下水位は季節による変動を受けており、また必ずしも正確で万遍な情報に基づいた整理を行っている訳ではないが、地下水位の浅いと予測される地域と建物被害の激しい地域は比較的一致することがわかる。

## 4 むすび

神戸市街地の大部分は、六甲山地より流下する小河川によって形成された複合扇状地上に位置しており、地盤の構成も極めて複雑である。地域的にみると、東部地域と西部地域では少し様相を異にしており、東部地域は山地と海岸線との間が狭く、砂、礫を主体とする扇状地堆積物が卓越している。一方、西部地域は和田岬を先端とする砂州の発達とその背後の後背湿地を主体に構成されており、砂州の発達する区域では砂、礫が分布しているのに対し、後背湿地にあたる区域では粘性土が分布する。

兵庫県南部地震によって発生した建物被害を表層地質ならびに旧地形、地下水位分布に重ね合わせて見ると、東部地域では沖積層の砂、礫が分布している区域、西部地域では粘性土が分布している区域に被害が集中していることが明らかになった。

一方、都賀川を中心とする灘区内においては、沖積層が全般に薄く、地表付近より段丘堆積層が分布しているにも関わらず、被害の著しいところが幅広く認められている。これに上述した地下水位分布を重ね合わせて見たところ、地下水位の浅いところに被害が集中する傾向が認められた。

旧地形との対比で見ると、東部地域では山麓部に近い扇状地地形を示す区域の被害は比較的少なく、それら区域よりも少し標高の低い区域に被害が集中しているが、標高の低い区域は概ね地下水位の浅いところに相当している。西部地域においては、和田岬を先端とする砂

州地帯では被害が少なく、それよりも少し奥まった後背湿地の区域で被害が著しくなっている。

### 参 考 文 献

- 1) (株)土質工学会関西支部, 関西地質調査業協会; 新編大阪地盤図, 付図-1 近畿地方第四紀地質図, コロナ社, 1987.
- 2) (株)地盤工学会阪神大震災調査委員会; 阪神・淡路大震災調査報告書, pp.62~72, 1996.
- 3) Itihara, M., Yoshikawa, S. and Kamei, T.; The Pliocene-Pleistocene boundary in the Osaka Group. Proc.27th International Geol. Congr, Vol.3, pp.23~34, 1984.
- 4) (株)土質工学会関西支部, 関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究委員会; 関西地盤, pp.25~32, 1992.
- 5) (株)土質工学会関西支部, 関西地質調査業協会; 新編大阪地盤図, コロナ社, pp.285, 1987.
- 6) 藤田和夫, 岡田篤正監修; 地震と活断層-阪神大震災にみる関西各新聞社の報道-, 断層研究資料センター, 1995.
- 7) 日経コンストラクション; 震度7の地域はなぜ, ベルト状に広がったのか?, No.151, pp.50~52, 1996.
- 8) (株)土質工学会関西支部:海底地盤-大阪湾を例として, pp.75~86, 1995.
- 9) Tsuneo Imai, Keiji Tonouchi; Correlation of Nvalue with S-wave velocity and shear modulus, Proceedings of the second European Symposium on Penetration testing, 1982.
- 10) 山口晶敬, 白石修章, 近澤龍一, 山田雅行; 関西国際空港における兵庫県南部地震動の解析, 土と基礎, Vol.44, No.2, pp.19~24, 1996.
- 11) 源栄正人, 永野正行; 神戸市の不整形地盤を考慮した地震動の増幅特性に関する解析的検討, 土と基礎, Vol.43, No.7, pp.15~20, 1995.
- 12) 國生剛治, 佐藤清隆, 松本正毅; 1995年兵庫県南部地震での地盤の非線形震動特性, 土と基礎, Vol.43, No.9, pp.39~42, 1995.
- 13) 吉田望; 1995年兵庫県南部地震におけるポートアイランドの地震応答解析, 土と基礎, Vol.43, No.10, pp.49~54, 1995.
- 14) 神戸市企画局総合調査課; 神戸の地盤, 付図-2 市街地地盤図, 神戸市都市整備公社, 1980.
- 15) (財)建設工学研究所; 阪神大震災被害状況調査報告書(概要版), pp.66~80, 109~121.
- 16) 兵庫県阪神地域活断層調査委員会; 阪神・淡路地域活断層調査報告書, 付図-2~3 地質図, 1996.
- 17) 兵庫県都市住宅部土地対策課; 土地分類基本調査-神戸-, 付図 表層地質図, 1997.
- 18) 建設省近畿地方建設局近畿技術事務所; 大阪・兵庫地域の地質構造特性調査業務報告書(概要版), pp.7, 1997.
- 19) 通産省工業技術院地質調査所; 大阪西北部地域の地質5万分の1地質図, 1982.
- 20) 通産省工業技術院地質調査所; 神戸地域の地質5万分の1地質図, 1983.
- 21) 通産省工業技術院地質調査所; 須磨地域の地質5万分の1地質図, 1984.
- 22) 嶋本利彦; “震災の帯”の不思議, 科学, Vol.65, No.4, pp.195~198, 1995.
- 23) 石川浩次; 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, 地質ニュース, 7月号, pp.17~23, 1995.