

## 第2章 神戸の地盤

### 2.1 地形概要

神戸市は六甲山を中心に広大な面積を占めている。近年の大規模造成によって、六甲山地北部から西部に広がる丘陵地にかけて宅地化が進んでいるが、依然として六甲山地南側の狭長な低地部が市の中心であり、市街地が海岸から山麓にいたるまで切れ目なく続いている。さらに最近では、臨海地域や海上を埋め立て、神戸の特徴ともいえる港湾施設の拡充や市街地の拡大がはかられている。

六甲山地南麓は、図-2.1.1に示すように、山地から海岸にかけて幅3～4 km程度の幅の狭い、緩傾斜地形が形成され、東西方向に延びる海岸低地地形となっている。この地域は、地形的にみて山側から丘陵、山麓扇状地、海岸平野、人工埋立地に大区分され、それぞれの境界は地質の境界ともほぼ一致している。

山麓に近い地域は丘陵や段丘よりなるが、芦屋川、住吉川、石屋川、都賀川、生田川、湊川などの各河川は、傾斜1～4°の急流河川であり、その流域は扇状地形を形成し、流心付近は天井川や自然堤防が形成されている。また、扇状地から海にかけての海岸平野付近は三角州、砂州、砂堆が形成されている。

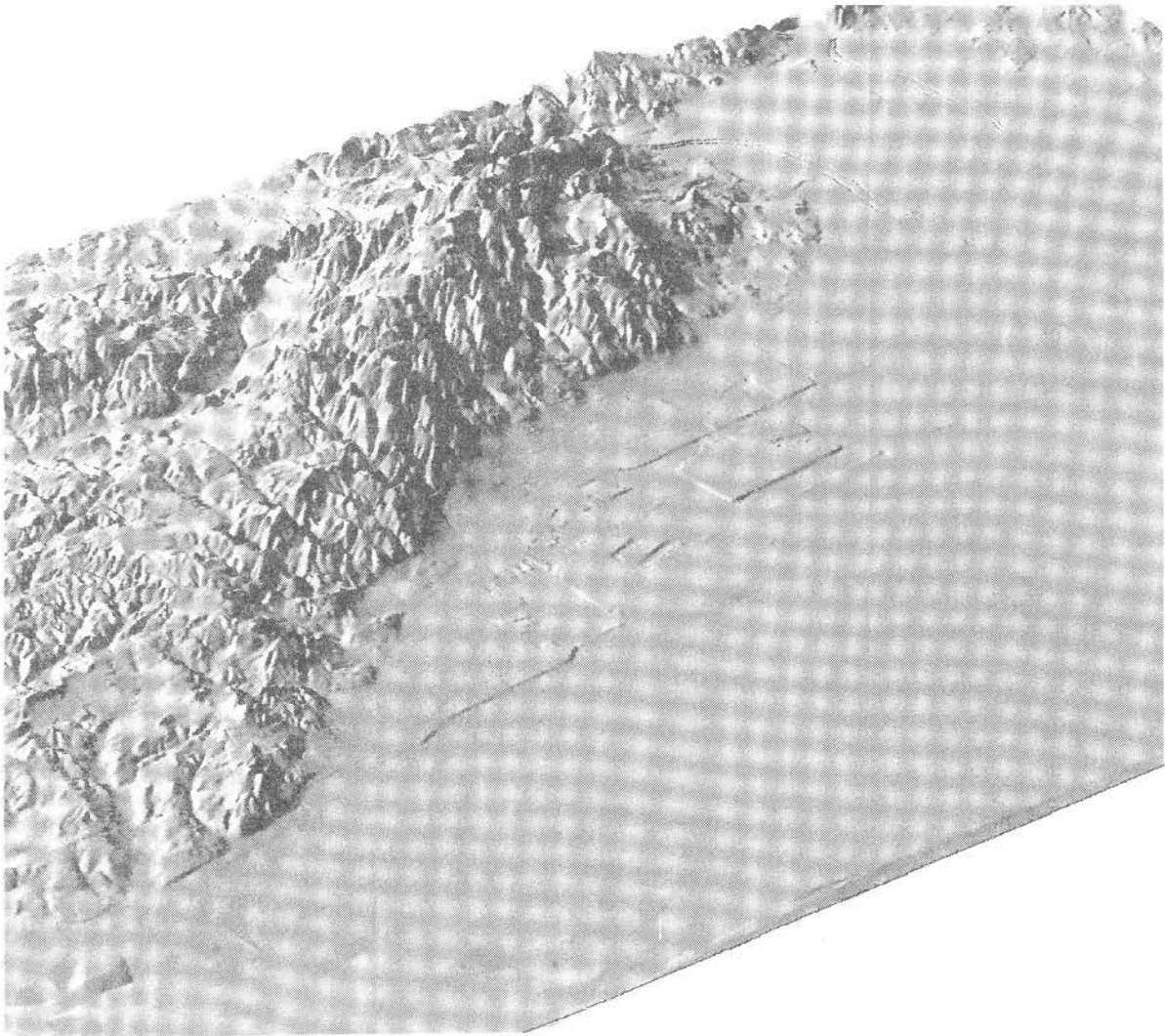


図-2.1.1 六甲山地鳥瞰図

この地域における詳細な地形区分図のひとつとして、図-2.1.2<sup>1)</sup>がある。この区分図の特徴のひとつは、兵庫県内に広く分布している麓斜面<sup>2)</sup>や扇状地形などの研究より、扇状地の形状・配置・形成時期には規則性があるとして、扇状地を形成期によって5つに区分していることである。

以下に、各地形区分の特徴および一般的な構成層などを文献<sup>3)</sup>をもとに以下にまとめる。

#### ①丘陵および開析扇状地（段丘化扇状地）

第三紀（約180万年以前）に堆積した未固結の砂岩や泥岩地域で構成されている。現在はそれらが隆起し、開析を受けて、丘陵化している部分である。

開析扇状地の部分は20～30万年前ころ、あるいはそれ以前に形成されたと考えられる扇状地群であるが、現在は段丘化している。神戸西部のものほど高度は低く、人工改変が進んでいる。構成層は主として砂礫層と、その基盤としての第三系の砂岩や泥岩（未固結）などである。

#### ②扇状地—1

最終氷期（7～8万年前ころ）以前に形成された扇状地群である。この扇状地も上流部は段丘化しているが、その場所の条件により新しい扇状地に覆われている場合もある。構成層は主として砂礫層である。

#### ③扇状地—2

最終氷期前半（6～4万年前ころ）に、寒冷な気候環境下において、山地内の土砂生産の多さを反映して形成されたと考える扇状地である。この扇状地も上流で段丘化しているが、その場所の条件により新しい扇状地に覆われる場合もある。構成層は主として砂礫層である。

#### ④扇状地—3

最終氷期後半（3～1.5万年前ころ）に形成された。この扇状地も寒冷な気候環境下において、山地内の土砂生産の多さを反映して形成されたと考える比較的急傾斜の扇状地である。一部その場所の条件により段丘化している場合もあるが、その場所の条件により新しい扇状地に覆われる場合もある。構成層は主として砂礫層である。

#### ⑤扇状地—4

晩氷期（1.5～0.6万年前ころ）の気候が温暖化する時期で、降水量が次第に増加するころ、上流側のより古い扇状地を侵食した土砂の再堆積による地形として、その下流側により緩傾斜で広く形成された。構成層は主として砂礫層および砂層である。この扇状地より古いものは海岸近くでは開析を受け、多少とも段丘化しているという特徴がある。

#### ⑥扇状地—5

後氷期（0.6万年前以降）の気候が温暖化し、降水量の増える時期に、(5)と同様に、上流側のより古い扇状地を侵食してその下流側に形成された。構成層は主として砂礫層および砂層、場所によりシルトなどの細粒物質が混入する。

六甲山南麓にはさらに新しい扇状地が部分的に形成されているようである。この場合も、上流側のより古い多くの扇状地を侵食して、その下流側に形成された。構成層は場所により、砂礫・砂・シルトあるいはそれらの互層となるが、より細粒質のものが優先する。また、上流域の地質によって、扇状地の形状、勾配、構成層に違いがでてくると予想される。

#### ⑦旧河道・開析谷・谷底平野

上記各期の扇状地形成の際の最終期の河道あるいは氾濫原部分をさし、この部分には河道放棄後の細粒

の物質、砂・シルトあるいは粘土などの堆積もあることが予測される。また、同時代に形成された低地もこの分類に含めている。構成層は砂礫層・砂層・シルト層などよりなる。

#### ⑧自然堤防・天井川

河川の洪水氾濫の際に流路外付近に堆積する物質によって形成された流路沿いの高まり、およびその反復によって河道と堤防が周辺の低地に比べ著しく高い状態で続いている河川をいう。構成物は主として均質な中粒砂よりなる場合が多い。

#### ⑨三角州

河川の最下流部に形成される低地である。構成層は砂・シルト・粘土などの細粒物質よりなる。

#### ⑩沿海低地・河川沿い低地

上記のいずれにも属さない低地をさす。構成層は砂・シルトなどよりなる。

#### ⑪後背低地

上記の天井川および後述する砂州の背後にある低地をさす。構成層は砂・シルト・粘土などの細粒物質よりなる。

#### ⑫砂州

沿汀流により運搬されてきた砂が堆積して形成した、海岸沿いの微高地をいう。

#### ⑬人工改変地

人工的に改変された場所をさす。構成層は改変された場所の特性により異なる。低地に関しては、丘陵部・開析扇状地部に広い。

ここに示された地形区分は、地質構成と密接に関係しており、花崗岩類などの基盤岩が露出している地域が山地に、神戸層群や大阪層群などの第三紀・第四紀の地層が露出している地域が丘陵地域にほぼ対応している。地盤区分においては、神戸から阪神間に広がる細長い低地は中・低位段丘相当層から構成される更新世の扇状地、さらにこれらを開析して広がる完新世の扇状地、河川沿いの氾濫平野、臨海部の海岸平野などに大きく分けられる。また、臨海地域の埋立地や、ポートアイランド・六甲アイランドで代表される人工島など、埋立地域が急速に拡大している。

兵庫県の調査<sup>4)</sup>によって明らかになった市街地直下の伏在活断層もあわせて考えると、この地域に分布する活断層はおおむね地形境界に対応していることになり、地形と活断層が密接に関係していることが明らかになってきた。

なお、約6,000年前に生じた縄文海進時の海岸線は、完新世の扇状地端と海岸平野との境界にほぼ相当していると考えられる。

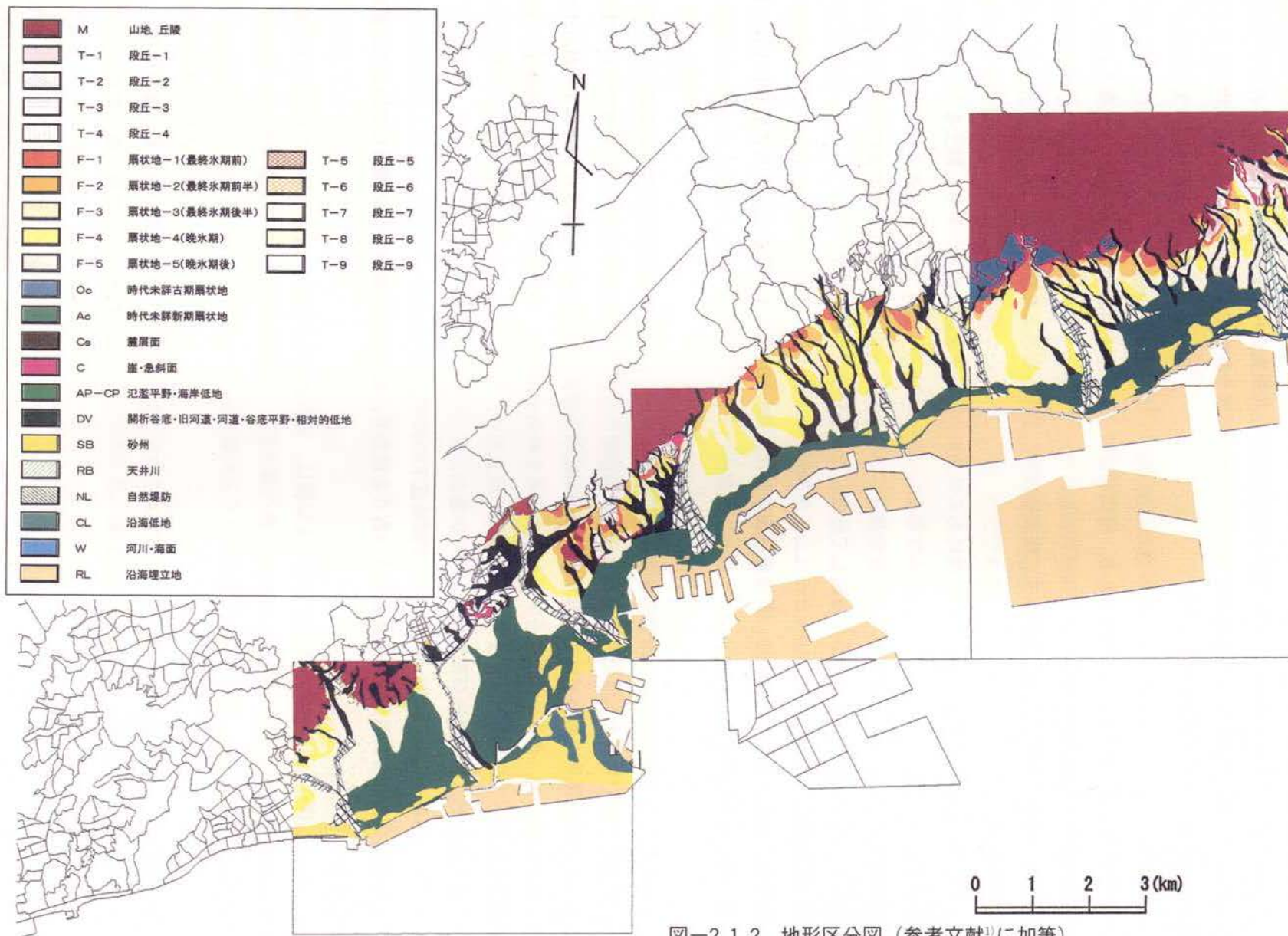


図-2.1.2 地形区分図(参考文献<sup>1)</sup>に加筆)

## 2.2 地質概要

神戸周辺の地質は図-2.2.1および表-2.2.1に示されるように、六甲山地に露出する花崗岩類など中生代白亜紀以前に形成された基盤岩類と、第三紀以降に基盤岩類を覆って堆積した被覆層に大別される。基盤岩類は、白亜紀に形成された六甲花崗岩や布引花崗閃緑岩などの花崗岩類が主体であり、一部の地域には、有馬層群（白亜系酸性凝灰岩類）や花崗岩上にルーフペンダントとして丹波帯起源のホルンフェルスが分布している。被覆層は形成時期の古い方から、神戸層群（古第三系）、大阪層群（鮮新統～中部更新統）、上部洪積層（段丘層および段丘相当層：上部更新統）、沖積層（上部更新統～完新統）に区分される。被覆層のうち神戸層群は、神戸市域西部に広く分布しているが、市域中部以東の丘陵地および低地部から海域にかけての地下には、大阪層群～沖積層が確認されている。基盤岩を覆って分布する大阪層群は、約300万年前から堆積を始めた地層と考えられており、大阪府北部の千里丘陵をはじめ、詳細な地質層序が総合的に研究されている。大阪層群は地質層序的に上位から上部、下部、最下部に区分されており<sup>5)</sup>、一方で、地質構造的な観点からは、上部、中部、下部の3重層群に区分されている<sup>6)</sup>。

大阪層群の上位には段丘地形を構成する地層として段丘層や、沖積低地から河川沿いの低地を構成する地層として約2万年前以降に形成された沖積層が分布する。段丘面は分布標高の高いものより、高位、中位、低位に区分されていることが多いが、高位段丘とされているものの多くは、大阪層群上部重層群の堆積面に相当するとされている<sup>6)</sup>。また、中・低位段丘においても、すべての地域で層序対比が完成されているわけではなく、未解明の問題点が残されている。

表-2.2.1 神戸地域の地質年代表

| 年代           | 地質時代 |          | 地質種類                                       | おもなできごと  |
|--------------|------|----------|--|--|
| 0.01<br>0.02 | 新    | 完新世      | 沖積層（2万年前以降）                                | 被覆層<br>縄文海進（約6000年前）<br>アカホヤ（約6300年前）<br>AT火山灰（約24000年）<br>段丘の形成 |
|              |      | 後期       | 低位段丘（7～2万）<br>中位段丘（13万ころ）<br>高位段丘（15～20万？） |  |
| 1.77         | 生    | 更新世 中期   | 上部重層群（20～60万）                              | 覆層<br>第二瀬戸内海時代<br>人類の誕生  |
|              |      | 前期       | 大阪層群 中部重層群（60～130万）<br>下部重層群（130～300万）     |  |
| 23.3         | 代    | 新第三紀 鮮新世 | ~~~~~ ? ~~~~~                              | 層<br>第一瀬戸内海時代（約1500万年前）<br>古神戸湖の時代                               |
|              |      | 中 新 世    | 神戸層群（3500万年前後）                             |  |
| 65.0         | 中生代  | 古第三紀 始新世 | ~~~~~                                      | 基盤岩類<br>花崗岩，火山岩の生成   |
|              |      | 白 亜 紀    | 六甲花崗岩<br>有馬層群 約7000万年<br>布引花崗閃緑岩           |  |
| 146<br>(百万年) | 先    | 白 亜 紀    | 丹波層群（2～3億年）                                |  |



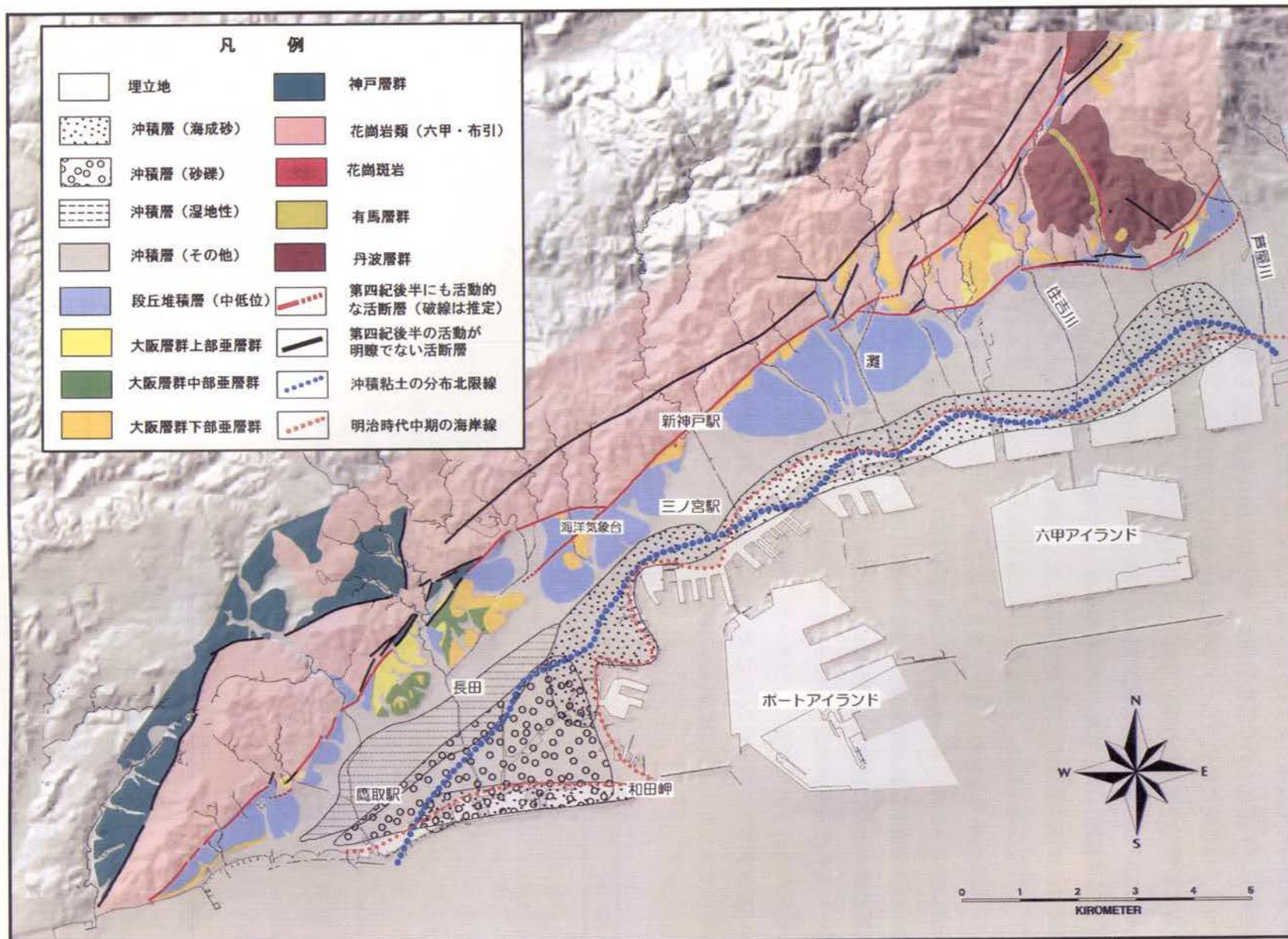


図-2.2.1 地質平面図 (参考文献<sup>7)</sup>をもとに作成)

2.2.1 地質構成

神戸市街地部の地質構成を検討する場合は、主としてボーリング調査の結果に基づいて、土の土質種類や標準貫入試験で得られたN値などの地盤情報をもとに行われる。しかし、神戸市街地のように、扇状地性の砂礫層が優勢な地域では、地盤の土質特性に明確な違いが見られず、地層の地質判別が困難なことが多い。このような場合には、火山灰や微化石分析などの地質的な分析手法が有用となる。各種の分析結果をもとに作成された、阪神地域における地下地質の地質構成を示すと図-2.2.2<sup>8)</sup>のようである。この図に示されるように、地質構成は新生代第四紀完新世と更新世に形成された地層よりなり、更新世の地層は段丘堆積層と大阪層群に区分されている。また、各地層にはMa番号が付された海成粘土層(MaはMarineの略)が挟まれており、ここではMa6より新しいものが示されている。さらに、この地質層序は火山灰層や火山ガラス濃集層準、花粉化石帯などが併記されており、阪神地域における標準層序のひとつになるといえる。また、阪神地域における火山灰層序は別途に詳しく研究され、地層対比の重要な指標となっており、大阪湾北部の平野地域において明らかにされている層序対比図の一例を図-2.2.3に示す。

| 地質時代       | 地層区分 | 単層区分<br>(海成層) | 岩相                                 | 層厚<br>m  | 堆積環境<br>(疎層化石)   | 火山灰層  | 花粉帯<br>(花粉化石) | 年代<br>( <sup>1</sup> )は推定 |           |           |
|------------|------|---------------|------------------------------------|--|--|-------|---------------|---------------------------|-----------|-----------|
| 新生代<br>更新世 | 完新統  | Ma13層         | 沿岸部では中部に海成(粘土)層を挟在する。神戸市内では礫層主体となる | 0  | 一部海成   | ----- | P1帯           | 3,230±100                 |           |           |
|            |      |               |                                    | 20   |  |       |               | 8,710±170<br>(10,000)     |           |           |
|            | 後期   | 低位段丘<br>堆積層   |                                    | 沿岸部ではごく薄いか、欠如している場合がある。全体に礫質層を主体とし、淡水成の粘土、腐植を挟在する                        | 0  |       | AT            | P2帯                       | >34,500   |           |
|            |      |               |                                    |  | 26   |       |               |                           | >36,200   |           |
|            |      | 中期            | 中位段丘<br>堆積層                        | Ma12層  | 沿岸～低地部では中部に海成層(Ma12層)を挟在する。上部と下部は淡水成の堆積物で、層厚・岩相変化が激しい    | 0     | 海成            | V1, V2                    | P3帯       | (70,000)  |
|            |      |               |                                    |  |  | 24    |               |                           |           | (130,000) |
|            |      | 前期            | 高位段丘<br>堆積層?                       | Ma11(3)層   | 3層の汽水～海成層を挟在し、全体として砂、礫層が卓越するMa11(3)層は場所によって欠如したり、淡水成層となる | 25    | +             | V3                        | P4帯       | (270,000) |
|            |      |               |                                    | Ma11(2)層   |  |       |               |                           | P5帯       |           |
|            |      |               |                                    | Ma11層  |  |       |               |                           | P7帯       |           |
|            |      |               |                                    |  |  |       |               |                           | P9帯       |           |
|            |      |               |                                    |  |  |       |               |                           |           |           |
|            |      |               |                                    |  |  |       |               |                           |           |           |
|            | 中期   | 大阪層群          | Ma10層                              | 大阪層群上部の海成層を5層挟在する西宮～芦屋の丘陵に近接した低地の地下で浅い深度に分布する西宮市神原のMa9層は特徴が明瞭で礫層として注目される | 30   | +     | 海成            | P11帯                      | (450,000) |           |
|            |      |               | Ma9層                               |  |  |       |               | P13帯                      |           |           |
|            |      |               | Ma8層                               |  |  |       |               | P15帯                      |           |           |
|            |      |               | Ma7層                               |  |  |       |               | P17帯                      |           |           |
|            |      |               | Ma6層                               |  |  |       |               | P19帯                      |           |           |
|            |      |               |                                    |  |  |       |               |                           |           |           |
|            |      |               |                                    |  |  |       |               |                           |           |           |

図-2.2.2 阪神地域における地下地質層序<sup>8)</sup>

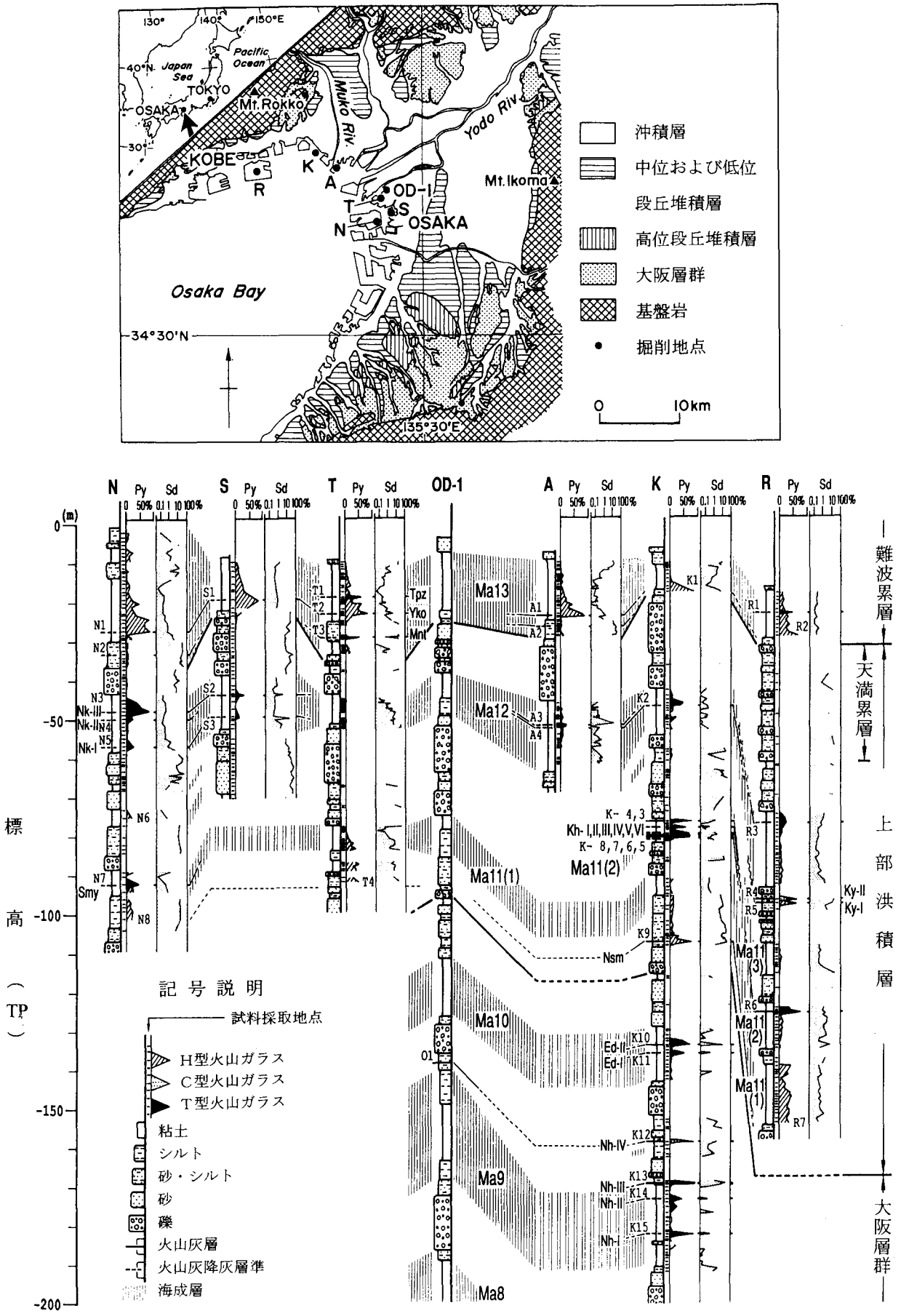


図-2.2.3 大阪平野北部における火山灰層序・対比図 (9)を一部改変



このように、神戸地域から阪神間には鍵層となる多くの火山灰が堆積していることが確認されており、地質の対比に重要な情報となっている。この地域における模式的な火山灰層序を示すと図-2.2.4<sup>9)</sup>のようであり、土木工学的な基礎地盤となる地層の対比に有用であることがわかる。これらの火山灰の多くは、中国・九州地方をはじめとして西日本各地の第四紀火山群が給源になっていることが明らかにされ、その噴出年代や降灰範囲などが詳細に研究されている<sup>10)</sup>。特に、30万年前以降に噴出した火山灰で近畿地方に分布が確認されている広域火山灰の対比（試案）をまとめると表-2.2.2のようになる。これらの各火山灰は、神戸のような地層の複雑な地域における地質層序を確立する上で有用な指標となり、その検出は今後の地質調査における課題のひとつといえる。

なお、ここにまとめた火山灰層序は必ずしも完全なものではなく、一部に矛盾があるが、研究の進捗により今後詳細に解明されていくものと思われる。

| 地質層序  |       |          | 火山灰層序   | 高島沖ボーリング<br>(琵琶湖)           |  |
|-------|-------|----------|---|-----------------------------|--|
| 完新世   | 難波累層  | Ma 1 3層  | 火山灰<br>天保山<br>横大路<br>港  | 火山灰<br>BT 1<br>BT 3<br>BT 4 |  |
|       |       |          | 鬼虎川<br>平安神宮   | BT 9<br>BT 10               |  |
|       |       |          | 吾彦<br>北花田   | BT 2 2<br>BT 2 5            |  |
| 後期更新世 | 天満累層  |          | 南港-III<br>南港-II   | BT 2 9<br>BT 3 4            |  |
|       |       | Ma 1 2層  | 南港-I<br>向洋-II<br>向洋-I   |                             |  |
| 中期更新世 | 上部洪積層 | Ma11(3)層 |   |                             |  |
|       |       | Ma11(2)層 | 甲子園浜-VI<br>甲子園浜-V<br>甲子園浜-IV<br>甲子園浜-III<br>甲子園浜-II<br>甲子園浜-I | BT 4 4-4 9<br>BT 5 1        |  |
|       |       | Ma11(1)層 | 住吉  |                             |  |
|       |       |          | 西宮  | BT 5 8                      |  |
|       |       |          |   |                             |  |
|       | 大阪層群  |          | Ma 1 0層   | 枝川-II<br>枝川-I               |  |
|       |       |          |   | 鳴尾浜-IV<br>鳴尾浜-III           |  |
|       |       |          | Ma 9層   | 鳴尾浜-II<br>鳴尾浜-I             |  |
|       |       |          |   |                             |  |
|       |       |          |   |                             |  |

図-2.2.4 大阪平野の中部更新統～完新統の模式火山灰層序図<sup>9)</sup>を一部改変

表-2.2.2 近畿地方において確認されている火山灰の給源とその対比(試案)

| 地 域     |                       | 九州地方                 | 中国地方               | 関西国際空港 | 近畿地方中部 | 大阪湾北部              | 琵琶湖高島沖  | 琵琶湖200m&1400m | 琵琶湖200m | 関空・琵琶湖     | 愛知県春日井 | 兵庫県篠山 | 兵庫県篠山          | 神戸市元町  | 全 国 版    | 記号その他                 |
|---------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------|--------|--------------------|---------|---------------|---------|------------|--------|-------|----------------|--------|----------|-----------------------|
| 年代(ka)  | 出典                    | 文献11~17              | 文献18・19            | 文献20   | 文献21   | 文献9                | 文献22・23 | 文献24・25       | 文献26    | 文献27       | 文献28   | 文献29  | 文献30           | 文献31   | 文献10     |                       |
| 3.0     |                       |                      |                    |        |        | 天保山                | BT1     | BB7           |         |            | 松河戸    |       |                |        |          | Ma 13上部               |
| 6.3     | 鬼界アカホヤ <sup>12)</sup> |                      | V1                 |        | 横大路    | ←                  | BT3     | BB15 B5-3U    |         | B5-3U      |        | 板井最上位 | K-Ah           |        |          | [K-Ah] Ma 13中部        |
| 9.3     | 霧陵隠岐 <sup>14)</sup>   |                      |                    |        | 港      | ←                  | BT4     | BB23 B5-3L    |         | B5-3L      |        |       |                |        |          | [U-Ok i] Ma 13下部      |
|         |                       |                      |                    |        | 阪手     |                    | BT6     | BB37          |         |            |        |       |                |        |          | [SUP]                 |
| 15~16   |                       | 三瓶浮布 <sup>17)</sup>  |                    |        |        |                    |         |               |         |            |        |       | 浮布(U2)         | 浮布(U1) |          | [SUP]                 |
|         |                       | 大山笹ヶ平 <sup>16)</sup> |                    |        |        |                    | BT7     | BB51 B14-2    |         | 大山ホーキ=BB51 |        | 板井上位  | 大山弥山<br>大山ホーキ? |        |          | [DMs]<br>[DSs]        |
|         |                       |                      |                    |        | 鬼虎川    |                    | BT9     |               |         |            |        |       |                |        |          | 天満層中                  |
| 24      | 始良Tn <sup>11)</sup>   |                      | V2                 |        | 平安神宮   |                    | BT10    | BB55 B15-2    |         |            |        | 板井下位  | AT             |        |          | [AT] 天満層中             |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    | BT14    | BB85a         |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    | BT15    | BB85 B22CC    |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    | BT16    | BB151         |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    | BT17    | BB152         |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    | BT18    | BB153         |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    | BT19    | BB155         |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    | BT20    | BB163         |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    | BT21    | BB164         |         |            |        |       |                |        |          |                       |
| 70~90   | 阿蘇4 <sup>16)</sup>    |                      |                    |        |        | (香 彦)              | BT22    | BB165         |         |            |        |       | 大山生竹           |        |          | [DNP]                 |
| 75~95   | 鬼界葛原 <sup>16)</sup>   |                      |                    |        |        | (北花田)              | BT25    | BB173         |         |            |        |       | K-Tz           |        |          | [Aso-4] Ma 12上位       |
| 100~110 | 阿多 <sup>13)</sup>     |                      |                    |        |        |                    |         | BB179 B53-3   |         |            |        |       |                |        |          | [K-Tz] Ma 12上位        |
|         |                       |                      |                    |        |        | 南港III              | BT29    |               |         |            |        |       |                |        |          | [A t a]               |
|         |                       |                      |                    |        |        | 南港II               | BT34    | BB207 B75-2   |         |            |        |       |                |        |          | Ma 12上部               |
| 105~125 | 阿蘇3 <sup>17)</sup>    |                      |                    |        |        | 南港I <sup>30)</sup> |         |               | BB207   |            |        |       |                |        |          | [Aso-3] Ma 12下部       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    |         | BB225 B83-2   |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        |                    |         | BB233 B78-3   |         |            |        |       |                |        |          |                       |
|         |                       |                      |                    |        |        | 向洋II               |         |               |         |            |        |       |                |        |          | Ma 12直下               |
|         |                       |                      |                    |        |        | 向洋I                |         |               |         |            |        |       |                |        |          | Ma 12直下               |
|         |                       |                      |                    |        |        | 甲子園浜VI             | BT44    | BB323 B125-3  |         |            |        |       |                |        |          | Ma 11(2)中             |
|         |                       |                      |                    |        |        | 甲子園浜V              | ~BT45   | &             |         |            |        |       |                |        |          | Ma 11(2)中             |
|         |                       |                      |                    |        |        | 甲子園浜IV             | BT47    |               |         |            |        |       |                |        |          | Ma 11(2)中             |
|         |                       |                      |                    |        |        | 甲子園浜III            | ~BT49   | BB337 B131-3  |         |            |        |       |                |        |          | Ma 11(2)中             |
|         |                       |                      |                    |        |        | 甲子園浜II             |         |               |         |            |        |       |                |        |          | Ma 11(2)中             |
|         |                       |                      |                    |        |        | 甲子園浜I              | BT51    |               |         |            |        |       |                |        |          | Ma 11(2)中             |
|         |                       |                      |                    |        |        | 佐吉                 |         |               |         |            |        |       |                |        |          | Ma 11(1)中             |
| 230~250 |                       |                      | V7 <sup>10)</sup>  |        | 西宮     |                    | BT58    | BB395u        |         | 阿多島浜       |        |       |                |        | V7       | [A t a - T h] Ma 11直下 |
| 300     |                       |                      | V10 <sup>16)</sup> |        |        |                    |         |               |         |            |        |       |                |        | 加久藤(V10) | [K k t]               |

注) 表中に示している火山灰において、ゴシック体文字は火山灰層をあらわし、明朝・斜体文字は火山灰降灰層準をあらわしている。

## 2.2.2 地質構造

神戸市街地の地質構造は、六甲山地南縁の断層系によって規制されている。これらの断層は、諏訪山断層で代表されるように地表に表れているものと、和田岬の先端付近を南北に通過する和田岬断層のように、大阪層群や段丘堆積層に覆われて地表には露出していない伏在断層に大別される。六甲山地南麓に見られる断層は、いずれも第四紀に活動した活断層に属しており、それらの活動は断層を覆う堆積層の変形や、花崗岩よりなる基盤岩の上面の変形などによって把握することができる。図-2.2.5は、主に、兵庫県南部地震以降に実施された反射法地震探査や深層ボーリング調査などの結果をもとに推定した基盤岩上面の等深度線図である。この図に示されるように、神戸市街地から神戸港域にかけての地域では、基盤岩深度は0~2,000m付近まで大きく変化しており、特に、東灘区の山地縁辺部では、約1,000mに達する基盤岩の急崖が形成されていることが推定されている。また、灘区から須磨区にかけての地域でも、基盤岩の上面は平均勾配30度以上の急斜面を形成し、六甲山地を隆起させた地質構造運動の形跡が明瞭に表わされている。

また、和田岬の南方から岬の先端付近を通過する和田岬断層は、兵庫港からポートアイランド北端付近を経て、六甲山地縁辺の断層系へと連続すると推定されている<sup>33)</sup>。この断層は反射法地震探査より、西側の基盤岩が東側に比べて相対的に上昇した逆断層であることが明らかにされており、この等深度線図にも表わされているように、和田岬付近で数100mの落差があると考えられている<sup>33)</sup>。一方、ポートアイランドの東部には、南側へ突出するような基盤岩上面のゆるやかな尾根が見られる。この構造は、後述するように約10万年前に形成された粘土層 (Ma 12) を変形させていることがボーリング調査によって確認されている。

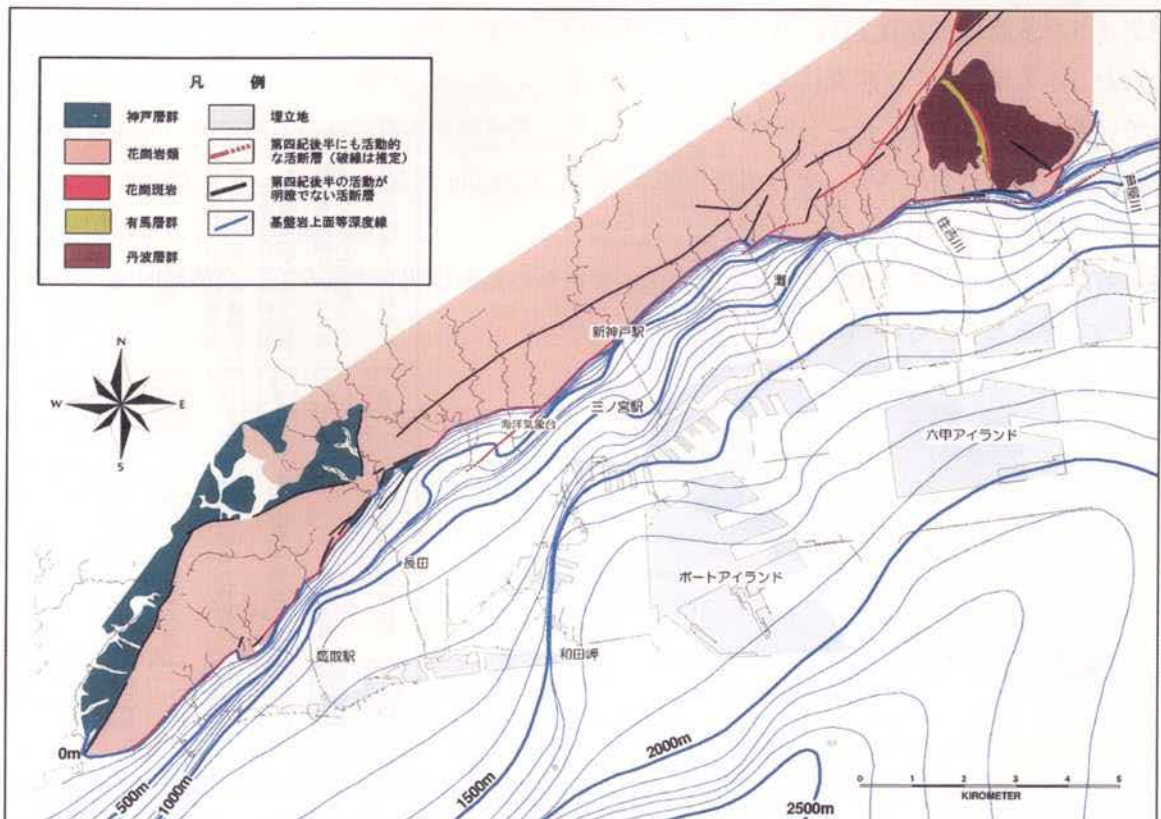


図-2.2.5 基盤岩上面の等深度線図(参考文献7)をもとに作成

なお、最近の研究によると、これらの和田岬断層やポートアイランド東部の変形構造は、いずれも大阪湾断層の北部への延長であることが指摘されているが<sup>34)</sup>、その詳細な地質構造はまだ完全に解明されていないようである。

次に、地盤の表層部における地質構造を明らかにするため、ボーリング調査結果をもとにMa 12上面の等高線図を作成した。Ma 12は図-2.2.2に示したように、中位段丘堆積層に属する海成粘土層であり、10万年前ころに堆積したことが確かめられている。この粘土層は、海域では、沖積粘土層の下位に比較的安定して分布していることが確認されており、10万年前以降における地盤変動を表す鍵層となっている。

得られた図を示すと、図-2.2.6のとおりであり、図-2.2.5に示された基盤岩上面の変形に対応して、Ma 12が撓曲する構造が明瞭である。特に、和田岬先端からポートアイランド北端部（神戸大橋付近）にかけて追跡される和田岬断層に起因した撓曲構造が明らかである。この構造は、和田岬先端付近の約300m離れた2地点で実施されたボーリング調査において、Ma 12の上面が22.7m、下面が26.5m、それぞれ西側が相対的に上昇していることが確認されている。海成粘土層は水平に堆積して形成されることが一般的であることより、粘土層はその形成後に地盤変動によって変形したと考えられる。このように考えた場合、この断層の鉛直方向における活動は、10万年間において約25mであり、その平均変位速度は0.25m/1,000年ということになる。この変形構造は、神戸大橋北部から摩耶埠頭の北側にかけて追跡されるが、その北方では海成粘土層が陸成堆積物に移化していくことや、連続性の明確でない扇状地性の粗粒堆積物に覆われることなどより明らかではない。

なお、和田岬の西側に見られる起伏も和田岬断層の上盤側における変形の一部であると考えられ、地質構造運動に起因した構造であると推定される。

一方、ポートアイランド東部に見られた基盤岩上面の変形は、図に示されるようにポートアイランドと六甲アイランド間にある第5防波堤付近に認められる。この変形は、約800m離れた防波堤の両端付近で行われた2本のボーリング調査によって、Ma 12の上面が30.9m、下面が34.4mの落差があることが確認されている。この落差は、ポートアイランド（第1期）南東端から東に延びる防波堤の先端と六甲アイランド南西端との間に追跡され、その落差は粘土層上面で28.6mとなっている。したがって、この構造はポートアイランドと六甲アイランド間では北西-南東方向であり、摩耶埠頭の西部付近で和田岬断層と会合する可能性があると考えられる。しかし、その陸域への延長は明らかでなく、今後解明すべき地質現象のひとつであると考えられる。



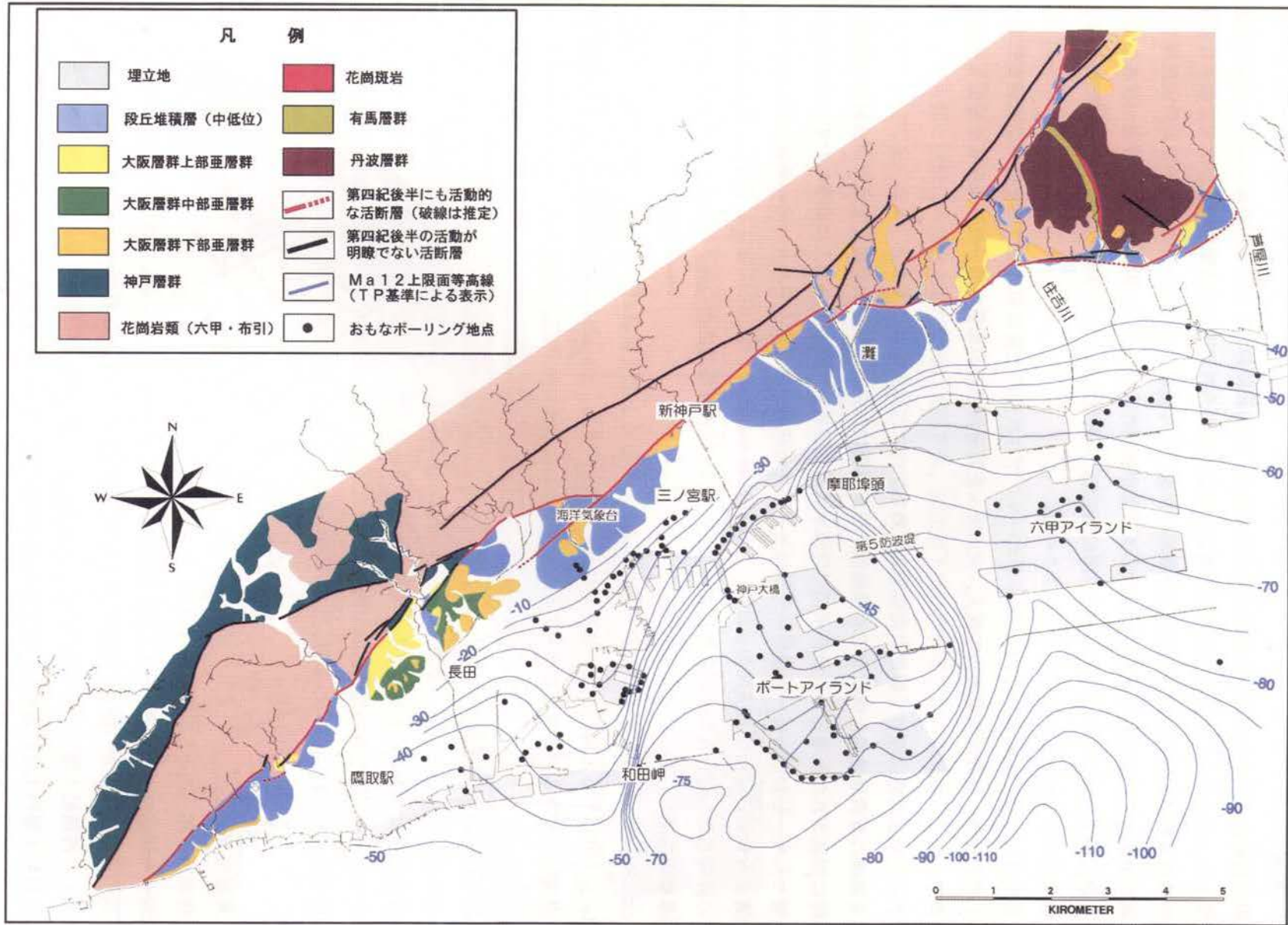


図-2.2.6 Ma 12上面の等高線図

## 2.3 地盤構成

### 2.3.1 概要

神戸市街地は六甲変動によって隆起する六甲山地と、第四紀において堆積場にある大阪湾との境界部分に位置する。そのため、市街地域の表層地盤は山地より供給される扇状地性堆積物と、気候変動による海水面の昇降運動によって形成された内湾性堆積物が混成して複雑な構成となっている。また、山地縁辺部には諏訪山断層で代表されるように、複数の活断層が確認されており、市街地地下に活断層が伏在していることが指摘されている。以下に「神戸 JIBANKUN」に集積された地盤情報をもとに、神戸市街地部の地盤構成について検討した結果を以下にまとめる。

表層地質区分は、集約された約5,000本のボーリング柱状図の土質種類に基づいて行い、N値で代表される工学的性質、貝殻片や腐植物の混入、火山灰・花粉分析などの地質学的分析結果などを考慮して総合的に判断した。

以下に、地質区分に際して留意した点をまとめる。

臨海地域の最表層地盤を構成する沖積層は、土质地質において一般的な定義にしたがい、最終氷期最盛期以降に形成された地層とし、最終氷期の低海面期に形成された不整合面上に堆積したすべての地層を沖積層とした。したがって、沖積層は完新統と上部更新統の一部を含んでおり、その基底面は約20,000年前と考えられる。沖積層基底面の追跡は、土質やN値とあわせて火山灰に着目して行い、特に約24,000年前に降灰したと考えられている始良 Tn 火山灰(AT)は沖積層基底面の直下にあり、基底面の特定において重要な指標とした。

一方、沖積層の下位は段丘堆積物に相当するといわれる上部更新統が分布する。この地層には Ma 11 と Ma 12 と呼ばれる海成粘土層が挟在される。これらのうち、Ma 12 は低位段丘堆積層の直下の地層であり、表層部における地質構造を検討するうえで鍵とした地層である。

### 2.3.2 各地域の地盤構成

「神戸 JIBANKUN」では、多角形で囲んだ任意の地域にある土質柱状図を、指定した断面線に投影して地質断面を表示することができるようになっている。

以下では、神戸市街地の地質構成を明確にするため、これらの機能を利用して、代表的と思われる地質断面線を図-2.3.1に示すように設定し、それに基づいて作成した各地質断面図における特徴をまとめて記す。

#### (1) 東部地域

##### ○ 住吉川東部 (図-2.3.2～図-2.3.4)

海域から埋立地(東部第3・4工区)付近にかけて、沖積粘土層が安定して連続する地域である。粘土層下面の標高は海域から陸域にかけて高くなり、その層厚は5～15m程度であるが、陸側ほど薄くなって尖滅し、沖積粘土層と同時異相の関係で貝殻混じりの海成の砂層に遷移する。この砂層は海浜部においては沖積粘土層の上位に連続し、縄文海進以降の海退期に対応した堆積様式であるといえる。また、この砂層は地形傾斜の変換点付近までの分布が確認されるが、住吉川の河川作用が形成した氾濫原地帯の堆積物が混在していると考えられる。したがって、この沖積砂層の分布域は、住吉川の後背低地に対応すると



いえる。また、傾斜変換点以北は、礫質堆積物で構成されており、地盤表層部は沖積層に対応する地層であると考えられるが、その下位層の形成時代は明確ではない。

一方、沖積粘土層の下位は、最終氷期における堆積物が分布し、いわゆる低位段丘相当層に対比される地層である。その土質は海域においては砂質土が、陸域においては礫質土が卓越するようであり、土砂供給源である六甲山地と堆積域との距離に依存する傾向が明らかである。

低位段丘相当層の下位にはMa 12が確認される。Ma 12は最終間氷期の高海面期に形成された海成粘土層であり、六甲アイランドでは、その上限面は標高-70m付近、下限面が標高-95~-100m付近にある。また、Ma 12は海域から陸域にかけて連続して追跡されると考えられ、その層厚は沖積粘土層と同様に、海域から陸域にかけて薄くなる。

○住吉川西部 (図-2.3.5)

六甲アイランド中央部から住吉川西岸の断面である。

住吉川東部と同様に沖積粘土層が明確に追跡され、粘土層下面の標高は住吉川東部と同じように海域から陸域にかけて高くなる。しかし、この地域においては後背低地が形成されなかったため、明瞭な海浜性の沖積砂層は認められず、山地南麓の扇状地域は礫質土砂で構成されている。

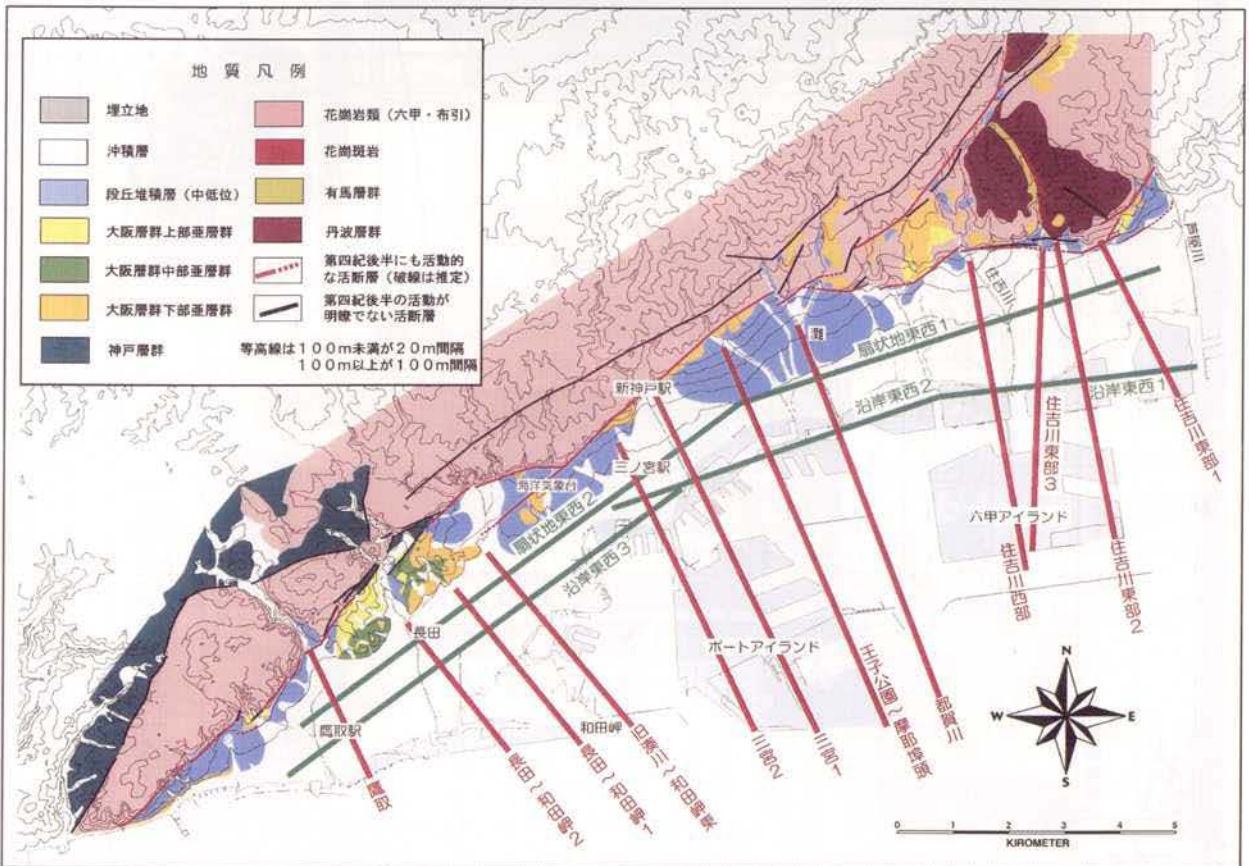


図-2.3.1 地質断面位置図

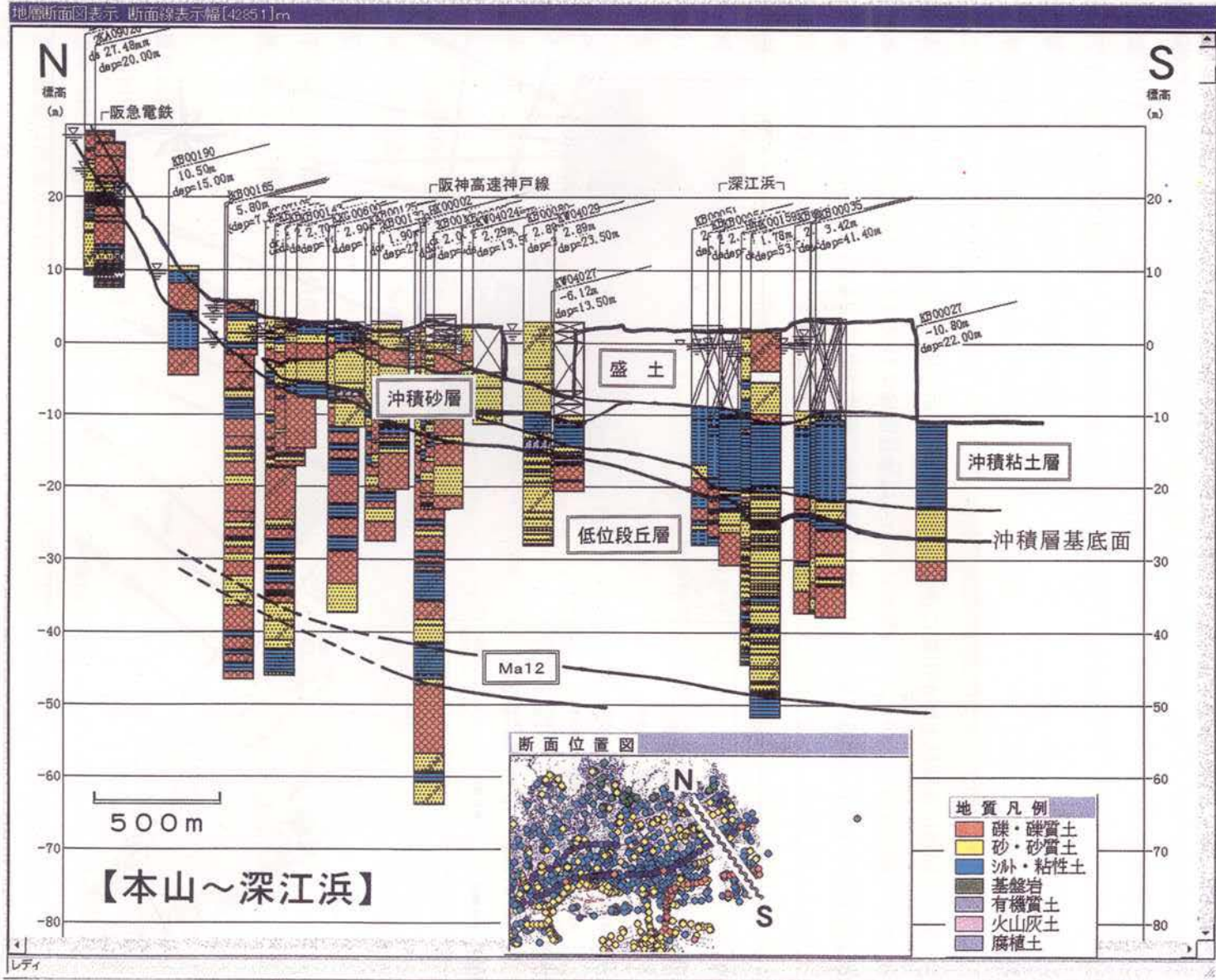


図-2.3.2 住吉川東部断面：1



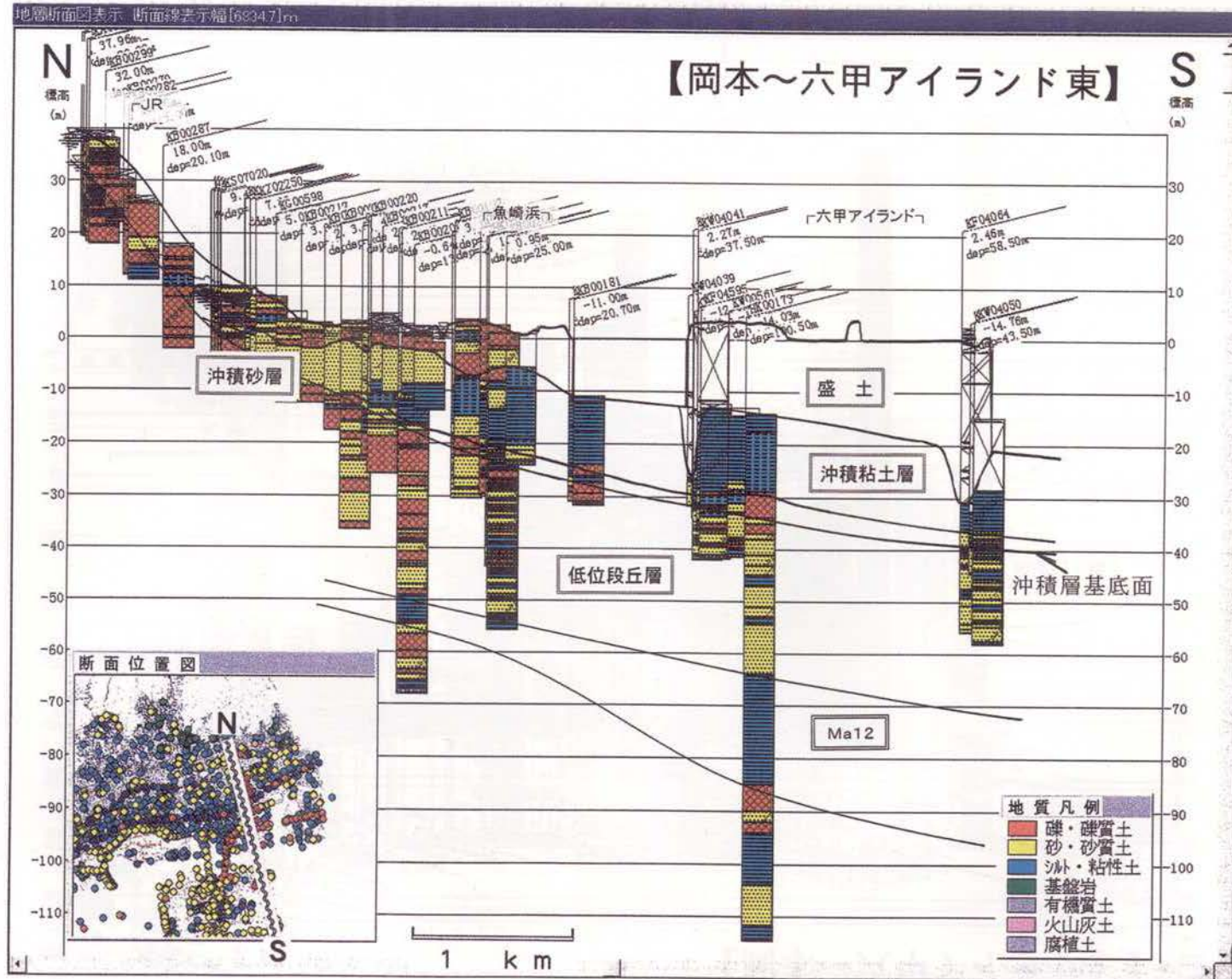


図-2.3.3 住吉川東部断面：2

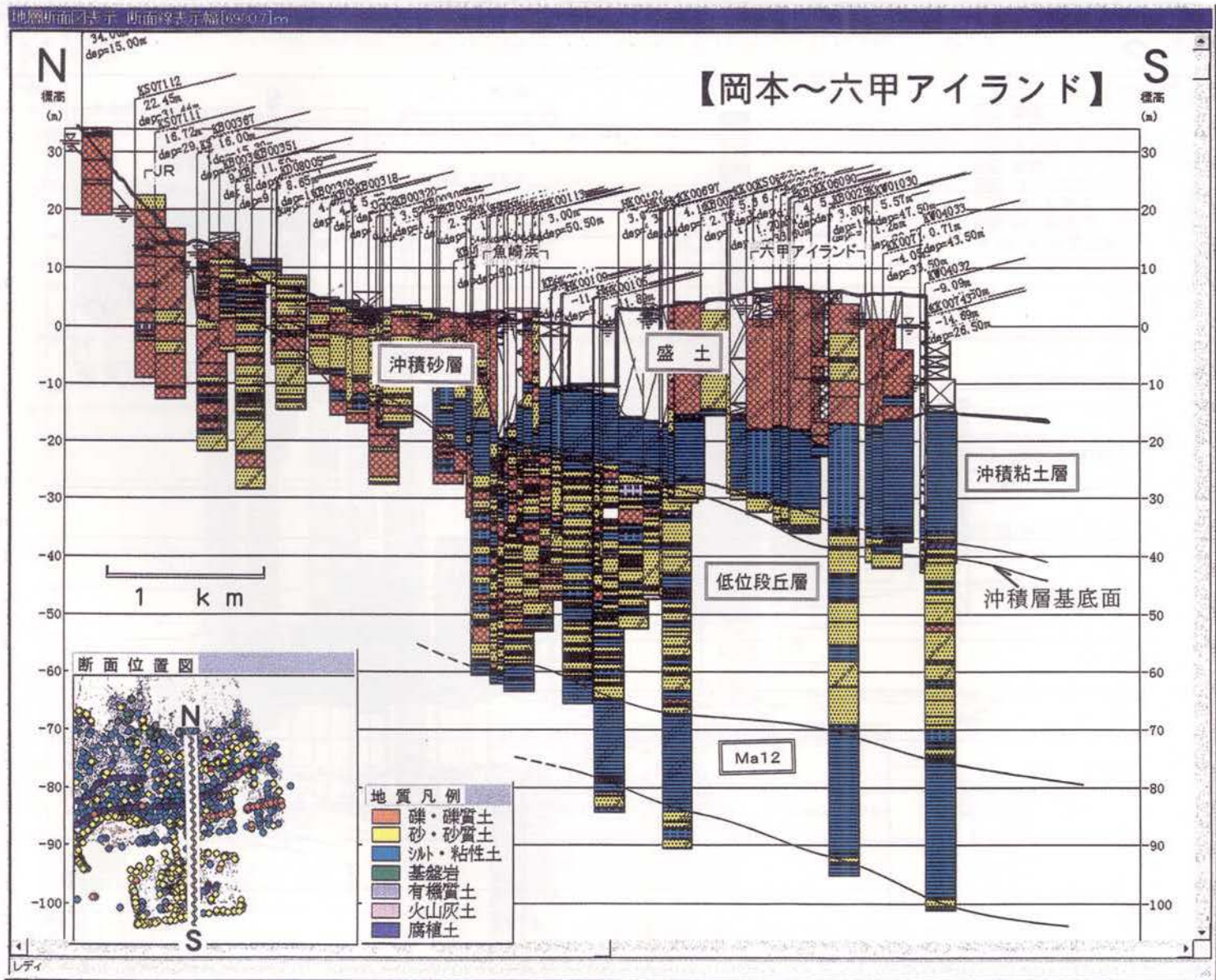


図-2.3.4 住吉川東部断面：3



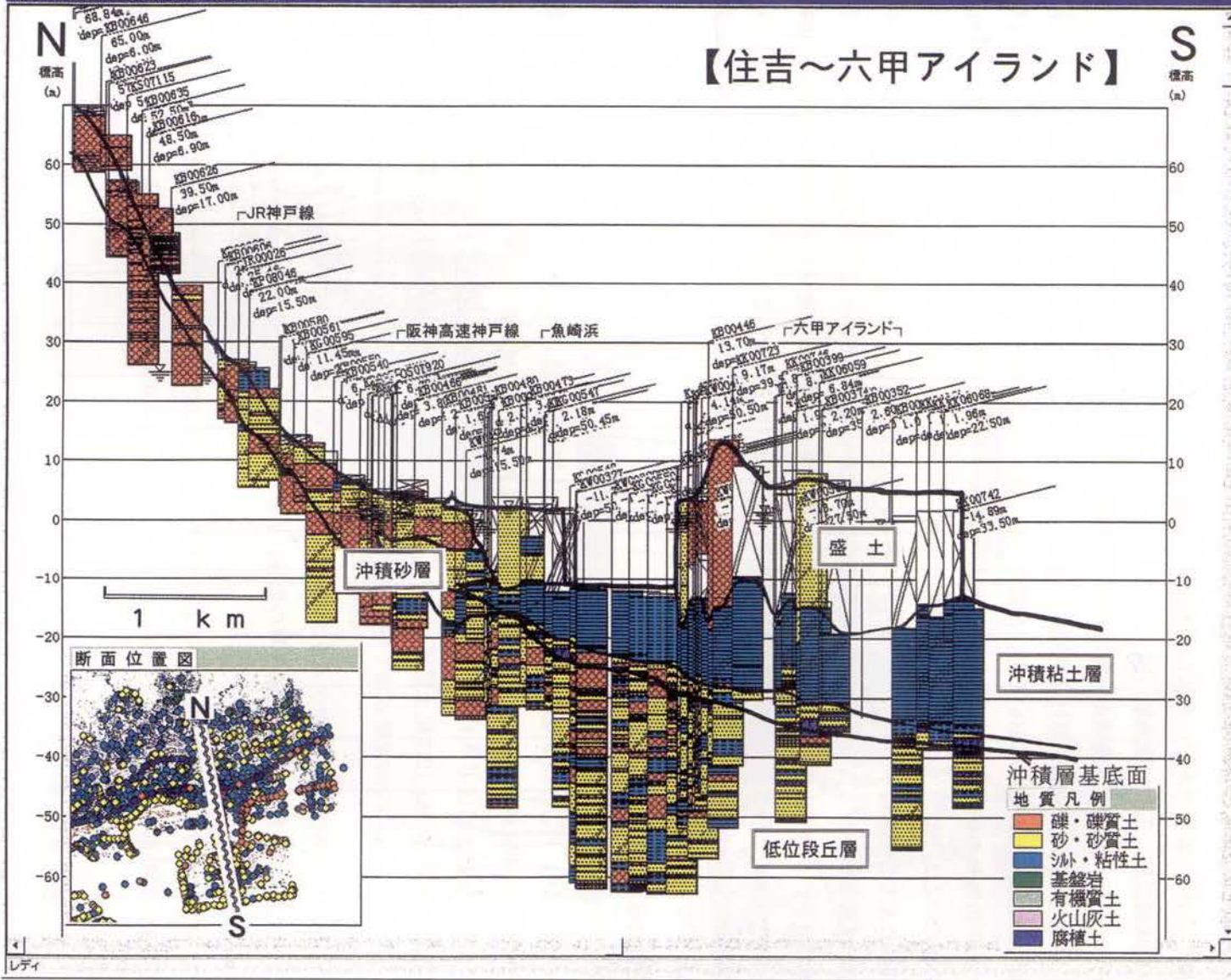


図-2.3.5 住吉川西部断面

## (2)中央部地域

### ○都賀川地域（図-2.3.6）

都賀川に沿った断面であり、ポートアイランドと六甲アイランド間の海域に至る。

上記した住吉川西部地域とほぼ類似した地層構成の地域である。しかし、沖積粘土層の分布北限がやや南寄りであり、海浜部における堆積環境が東部地域とやや異なる。この特徴は、次に示す摩耶埠頭～王子公園地域において顕著であり、それに関する要因は後述する。

### ○摩耶埠頭西部～王子公園地域（図-2.3.7）

ポートアイランドの東方海域から摩耶埠頭西部を経て王子公園付近に至る断面である。

この地域の特徴は、海域における沖積粘土層の分布が狭いことである。すなわち、明治時代の地形図に示されている旧地形の海域においても、沖積粘土層がほとんど堆積していないことである。このような傾向は、神戸市街地の旧地形が示す他の海浜地域では認められず、特異な地域となっている。この断面図にも示されているように、沖積粘土層は、摩耶埠頭西部の埠頭埋立地内において尖滅しており、それより陸域にはほとんど分布していないことが明らかである。したがって、この断面付近における海浜域は、沖積粘土層が堆積形成されるような安定した堆積条件ではなかったことがわかる。つまり、この地域は、諏訪山断層で境される六甲山地南縁と（旧）海岸線との間が狭く、神戸市街地域においては、山麓から供給される流出堆積物の土砂供給経路が最短地域であり、かつその地表面が最急勾配の地域でもある。したがって、摩耶埠頭西部地域の海浜域は、粘土粒子の堆積作用と山地から供給される粗粒堆積物が混濁する堆積場であったと考えられる。

### ○三宮地域（図-2.3.8～図-2.3.9）

三宮付近からポートアイランド中央部に至る断面である。

ポートアイランドにおける地盤は、上位より沖積粘土層・低位段丘相当層・Ma 12の順に成層した構成となっており、沖積粘土層やMa 12などの明確な海成粘土層は陸域にかけて薄くなる傾向が明らかである。また、沖積粘土層はポートアイランド内では明瞭に追跡されるが、陸域においては不明瞭となる。これに対して、下位のMa 12は粘土層厚が減少しながら臨海域においても連続すると考えられるが、神戸大橋付近を境に陸側の分布深度が浅くなる傾向にあり、断層運動の影響を受けた構造の存在が推定される。

なお、図-2.3.6に示した六甲アイランド西部海域におけるMa 12の分布標高が、ポートアイランドにおけるそれと大きく異なるのは、断層等の影響によって形成された撓曲構造によるものと推定されるが、その詳細は未解明となっている。

一方、陸域における堆積物は生田川によって形成された河川性堆積物と、その氾濫堆積物であり、砂および砂礫質の粗粒堆積物より構成されるが、それらの堆積物の詳細な形成年代は明確とはなっていない。



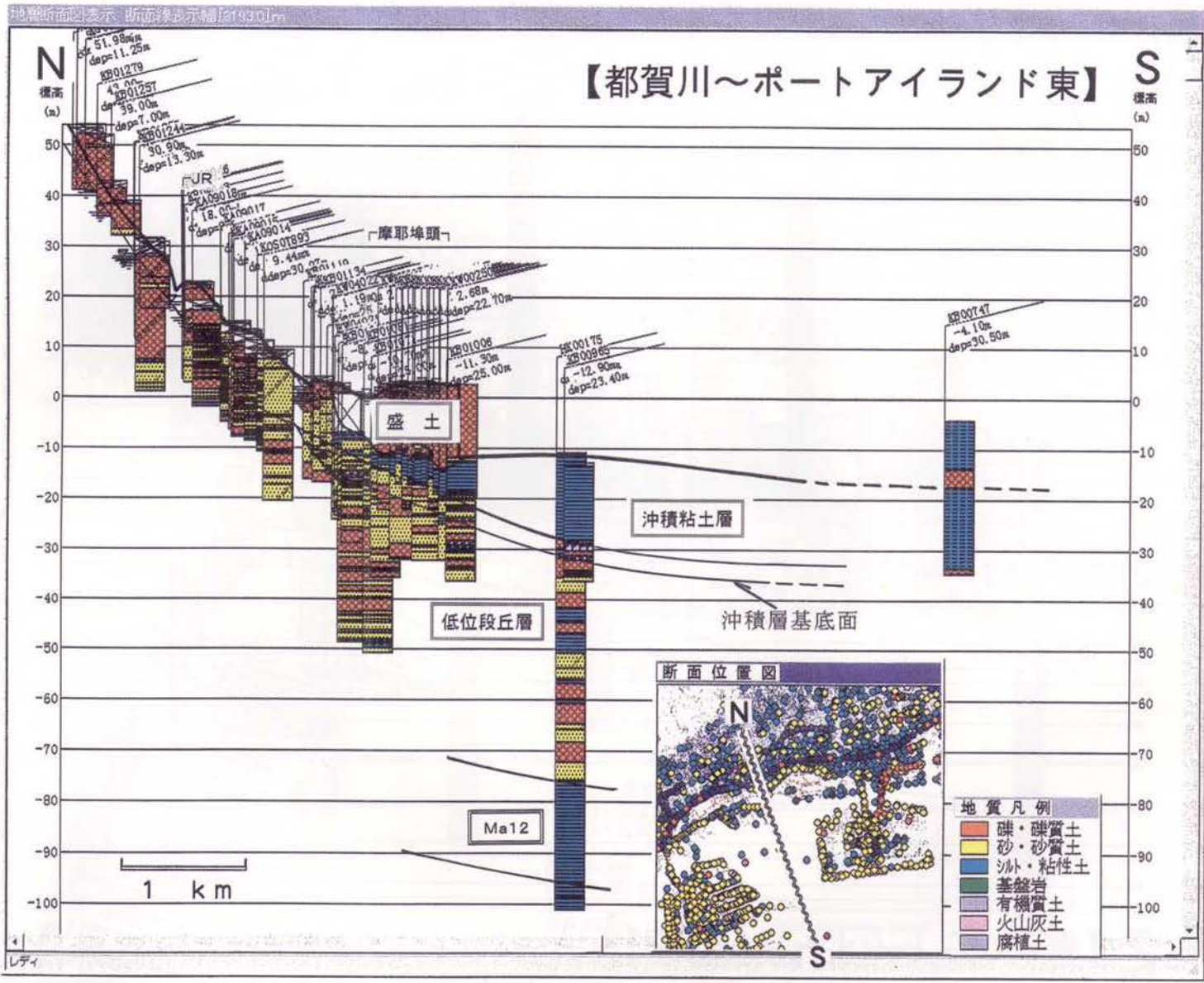


図-2.3.6 都賀川地域断面

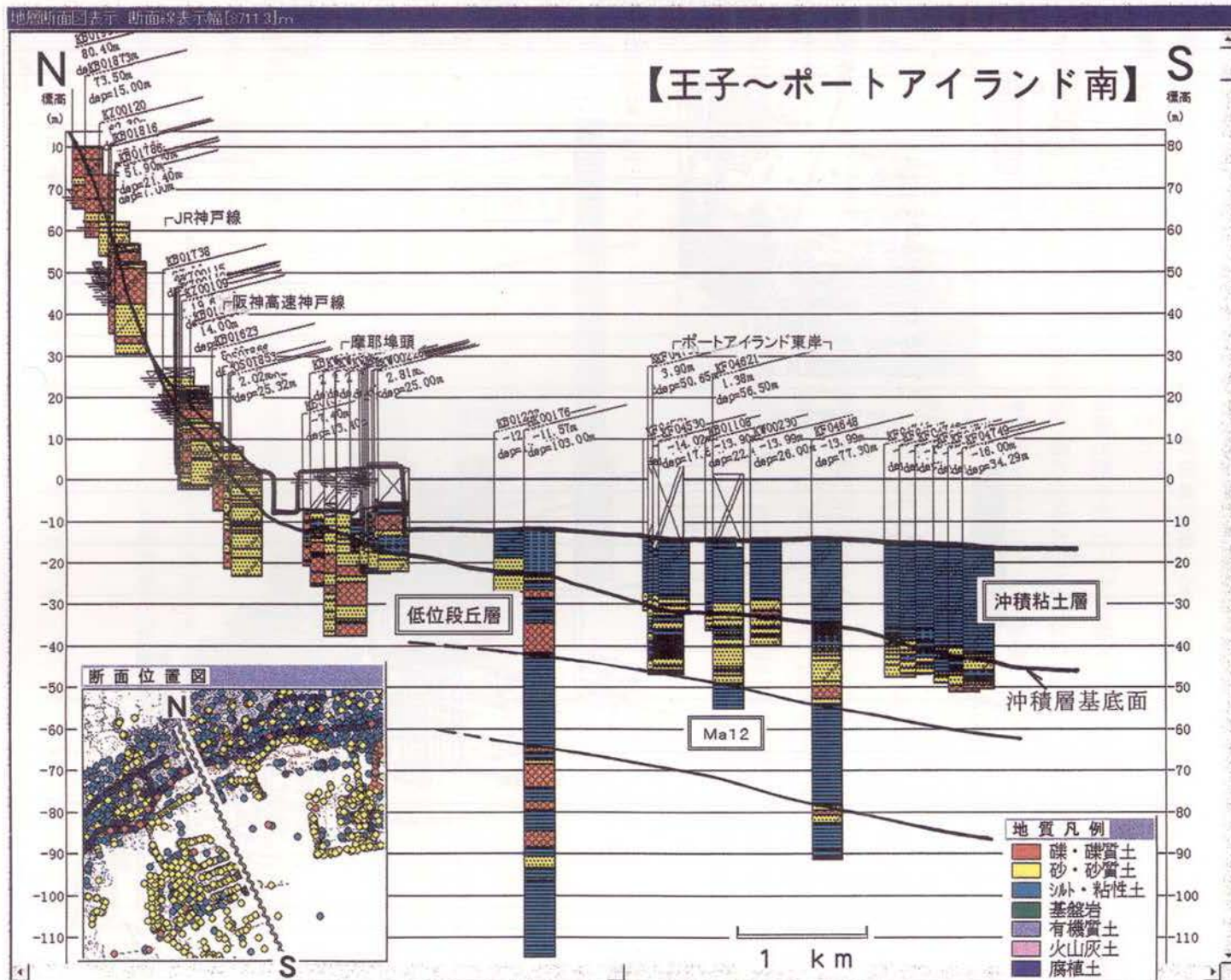


図-2.3.7 摩耶埠頭西部～王子公園地域断面



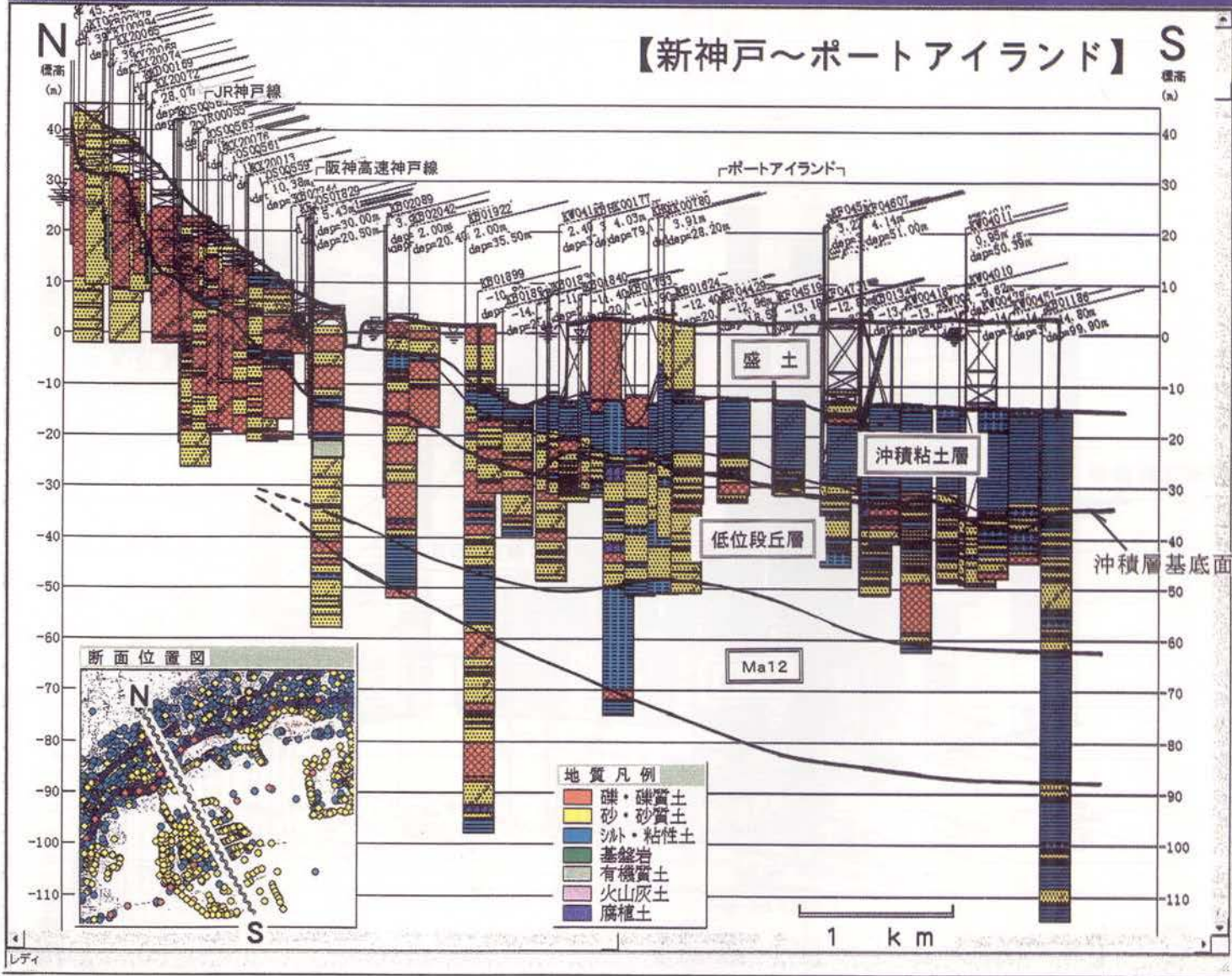


図-2.3.8 三宮地域断面：1



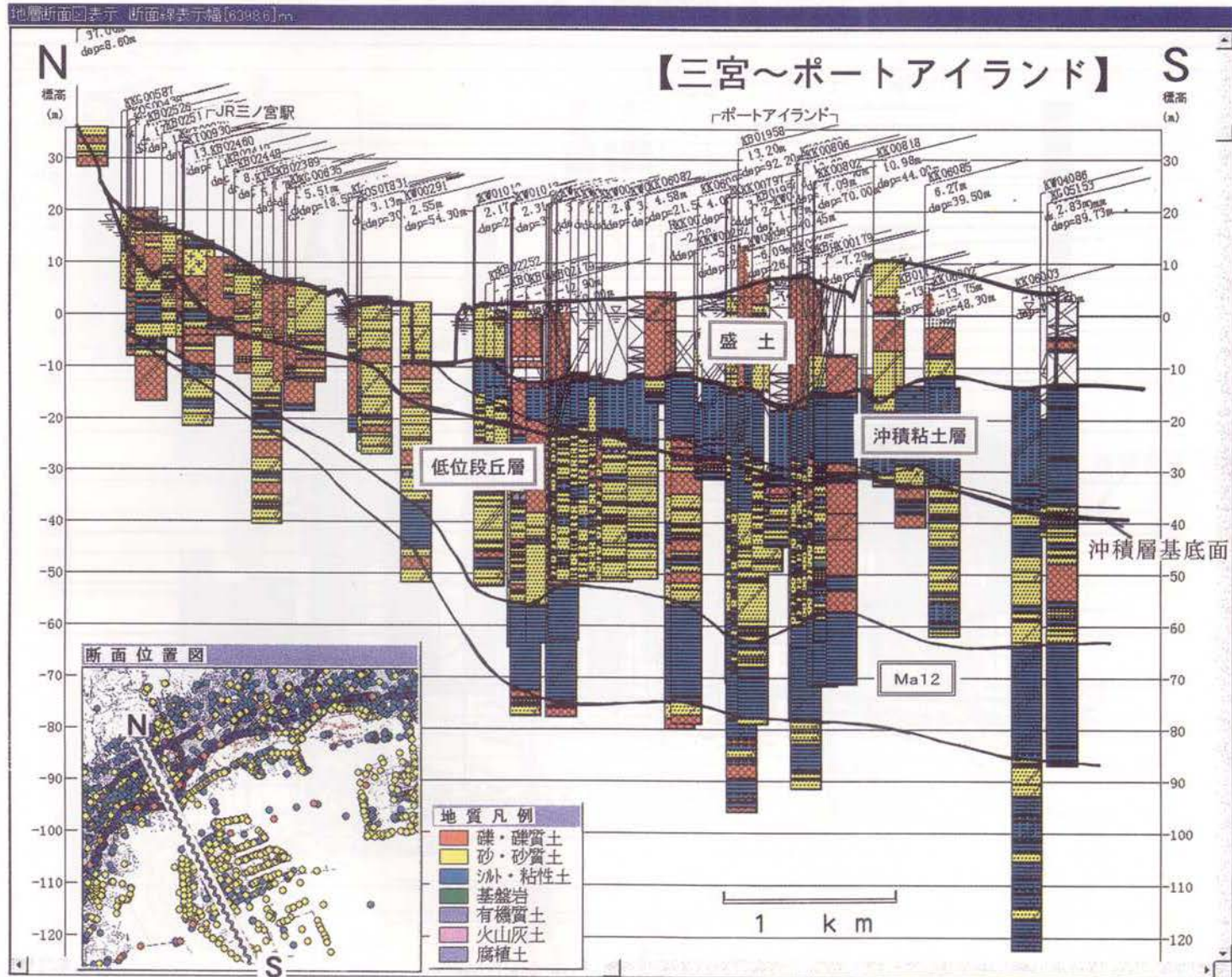


図-2.3.9 三宮地域断面：2



**(3)西部地域**

## ○旧湊川～和田岬東方地域（図-2.3.10）

湊川公園から兵庫突堤付近を経て和田岬東方に至る断面である。

海域から旧海岸線にかけて沖積粘土層が明瞭に追跡される。断面北部の表層部が砂質土層で占められており、旧湊川の河川作用によって形成された堆積物に相当する。沖積粘土層の下位は、礫質堆積物が卓越する粗粒堆積物が分布する。この礫質堆積物は、沖積粘土層が尖滅した付近より山側にも追跡され、地表面の傾斜に沿って山側が隆起した形態となっている。また、その下位には海域より連続する Ma 12 およびその相当層準の地層が断面北部まで分布する。

## ○長田～和田岬地域（図-2.3.11～図-2.3.12）

和田岬付近は、沖積粘土層の上位に砂礫を主体とする礫質土層が発達する。この層は中礫大の円～亜円礫で構成されており、礫種はチャートが主体である。大阪層群の2次堆積物であると考えられ、和田岬の発達形成に密接に関係する海浜性堆積物であると推定される。

一方、会下山付近の南側には軟弱な沖積層に属する粘土層が表層に分布し、和田岬を形成した砂州の後背低地における堆積物であると考えられる。この沖積層の下位には大阪層群に属する地層が伏在し、会下山断層やその前縁に分布する断層によって、臨海地域から追跡される段丘堆積相当層の連続性が不明瞭となっている。

## ○鷹取地域（図-2.3.13）

神戸市街地の西端部付近に位置する。全般的に礫質の粗粒堆積物が主体的であり、土砂供給源である山地が、堆積地域の背後にせまっているためと考えられる。

**(4)市街地東西断面**

沿岸部および扇状地地域を東西方向に作成した断面図を以下に示す。

## ○沿岸地域東西断面（図-2.3.14～図-2.3.16）

神戸市街地の臨海地域を横断する断面図であり、地表面の標高は0～5m付近となっている。

沿岸地域においては沖積粘土層や Ma 12 などの鍵層が明確に追跡することができ、地質層序の特定に有力な情報が得られている。それにより、神戸市街地における沖積層の分布特性や、Ma 12 の分布を鍵とした地質構造の検討が可能となっている。

特に、Ma 12 の分布より図-2.3.15に示すように摩耶埠頭付近における和田岬断層による地層の屈曲や、図-2.3.16の和田岬断層の西部に推定される地層の背斜構造などが推定され、地質構造の検討に有用な情報となっている。

## ○扇状地地域東西断面（図-2.3.17～図-2.3.18）

前に記した沿岸地域断面よりやや山側の東西断面であり、標高10～20m付近に設定されている。これらの図で明らかのように、地質層序の特定に有力な指標となる地層が明確でなく、全般に砂や砂礫を主体とした粗粒堆積物が卓越し粘土層の連続も明瞭でない。これは、現在の海域で確認されていた鍵層の沖積粘土層（Ma 13）や Ma 12 などが陸域において粗粒堆積物に変化するとともに、山麓部から供給される扇状地堆積物と混成し、明確に追跡できない状況にあるためである。これは、神戸市街地の典型的な地盤構成ともいえるが、広域火山灰の検出や年代測定技術などの適用により、今後の解明すべき問題のひとつであると考えられる。

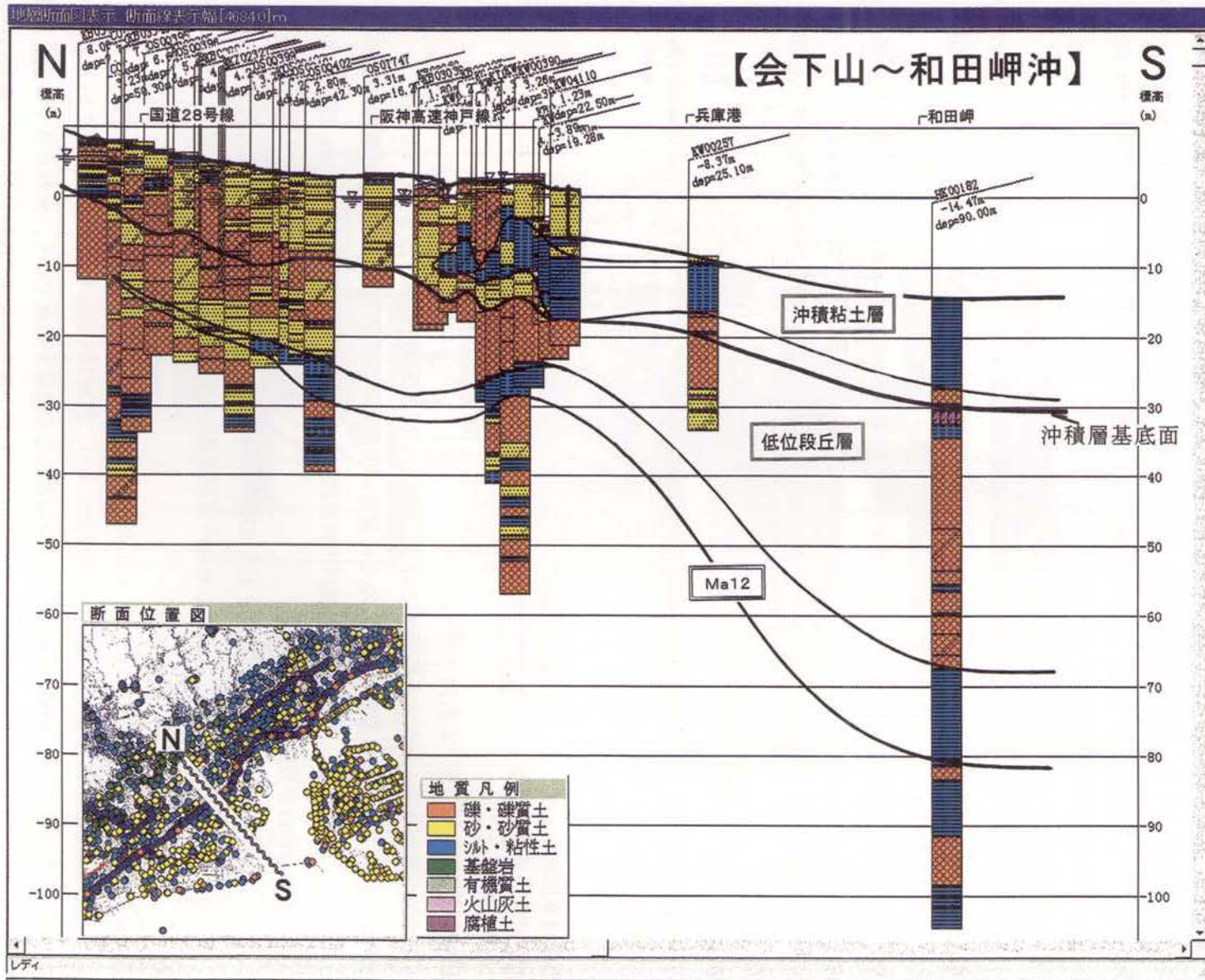


図-2.3.10 旧湊川～和田岬東方地域断面

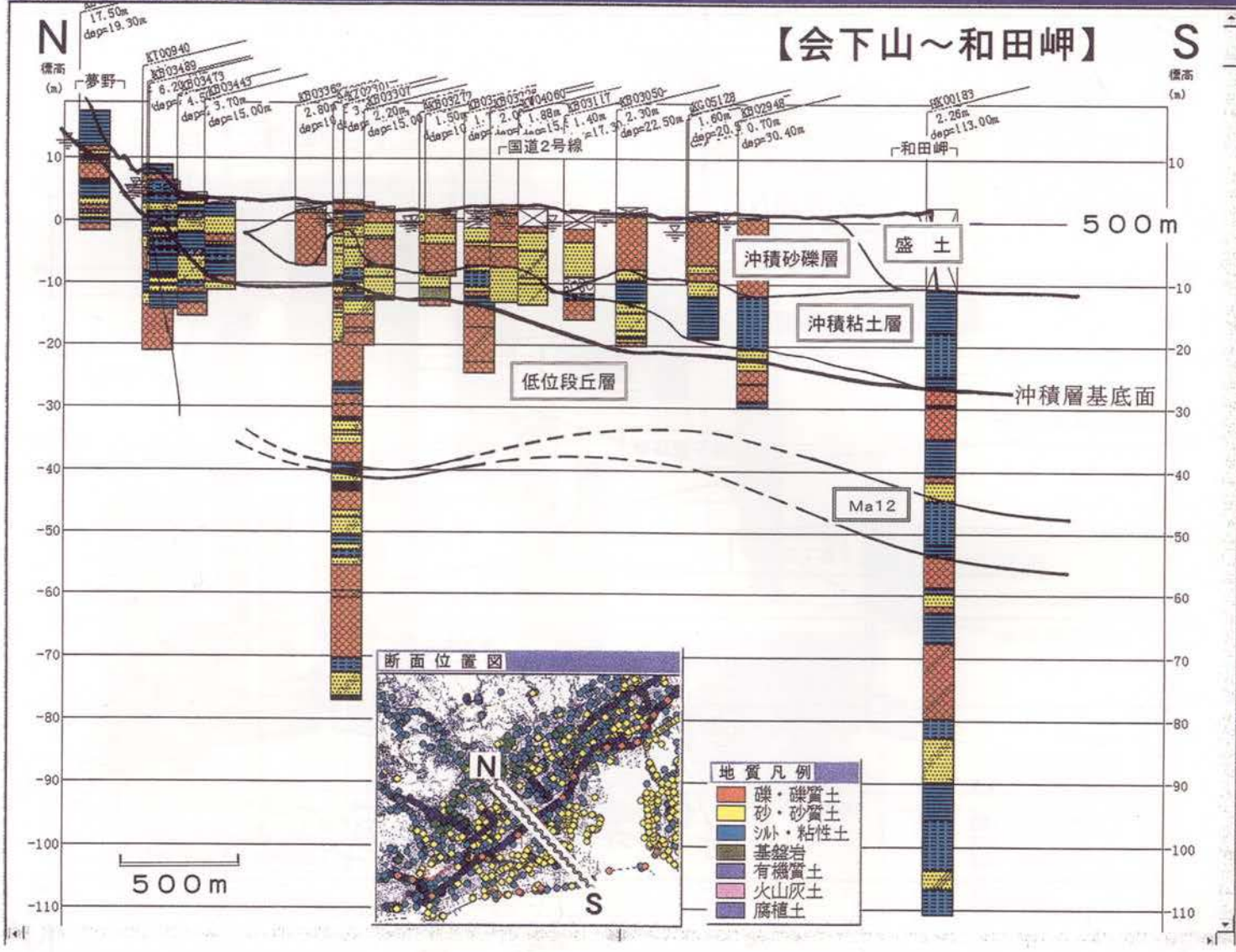


図-2.3.11 長田～和田岬地域断面：1



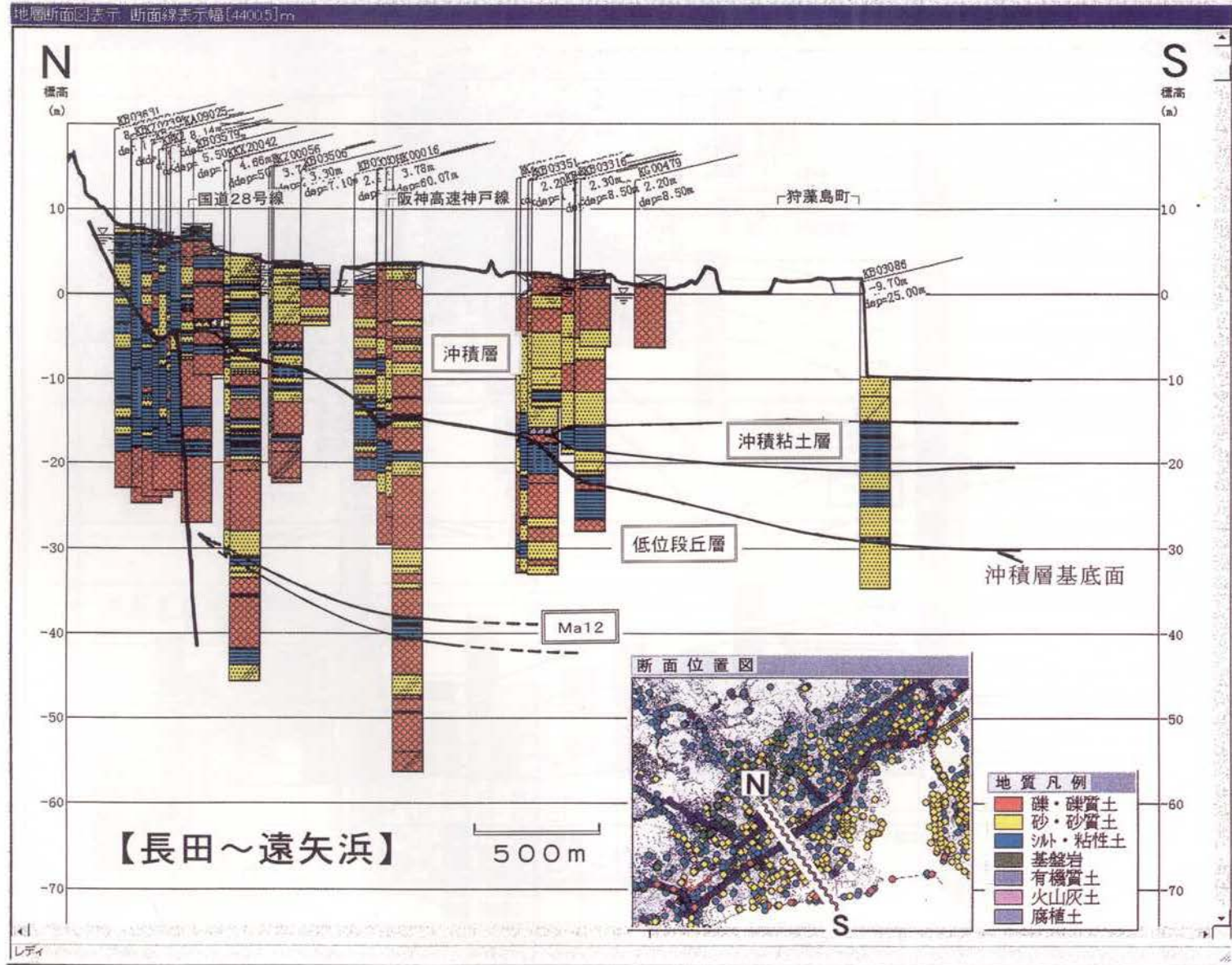


図-2.3.12 長田～和田岬地域断面：2

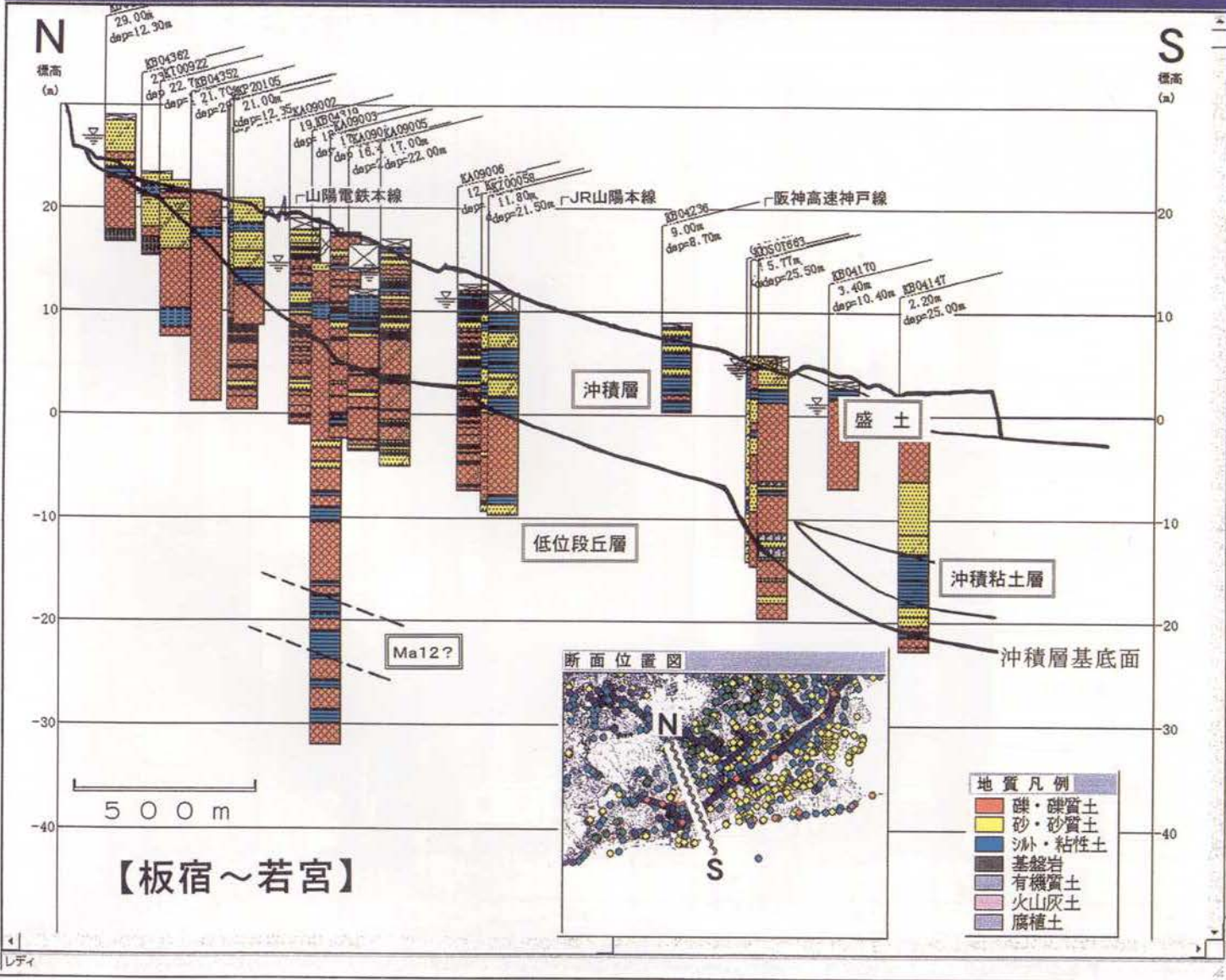


図-2.3.13 鷹取地域断面



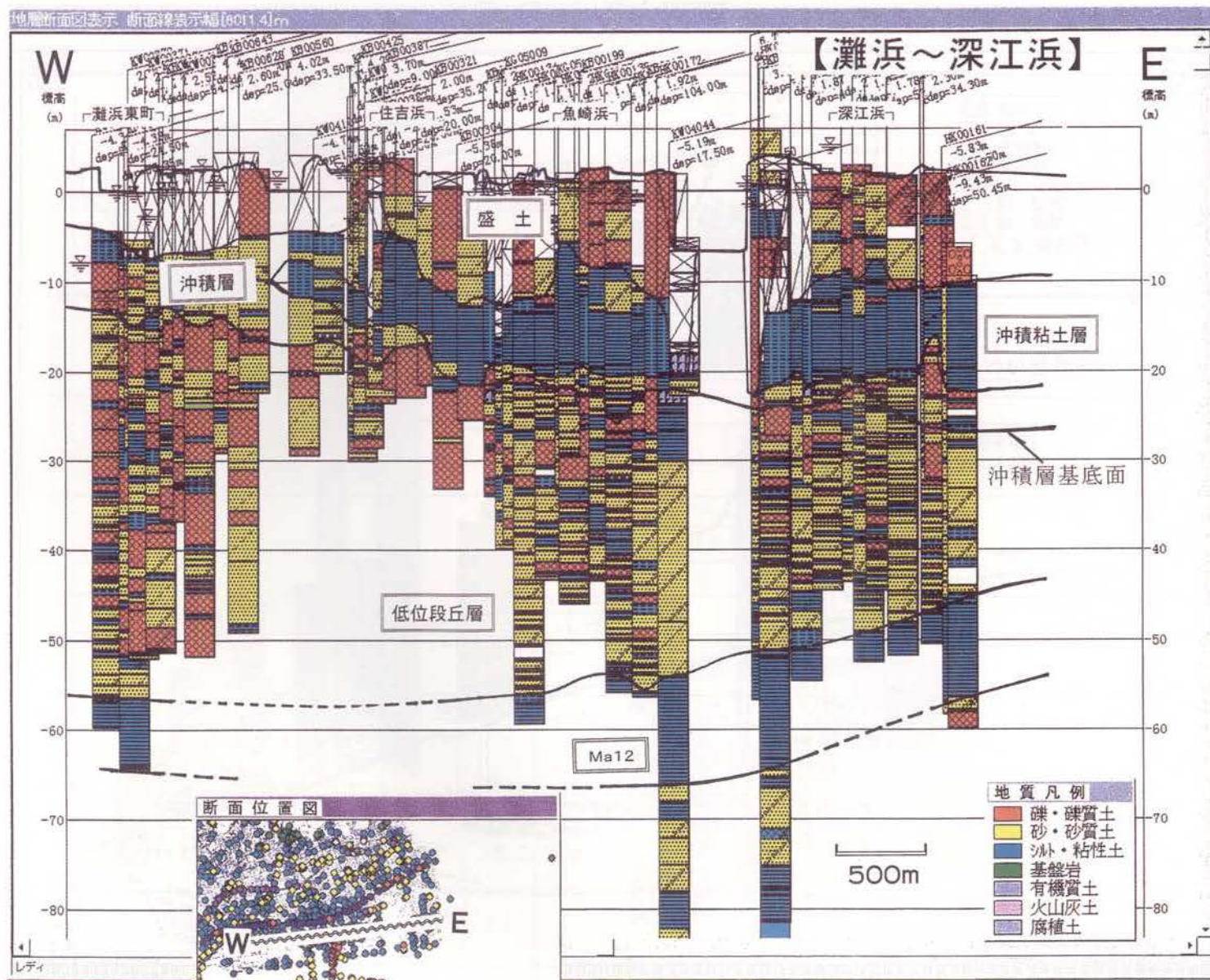


図-2.3.14 沿岸地域東西断面：1



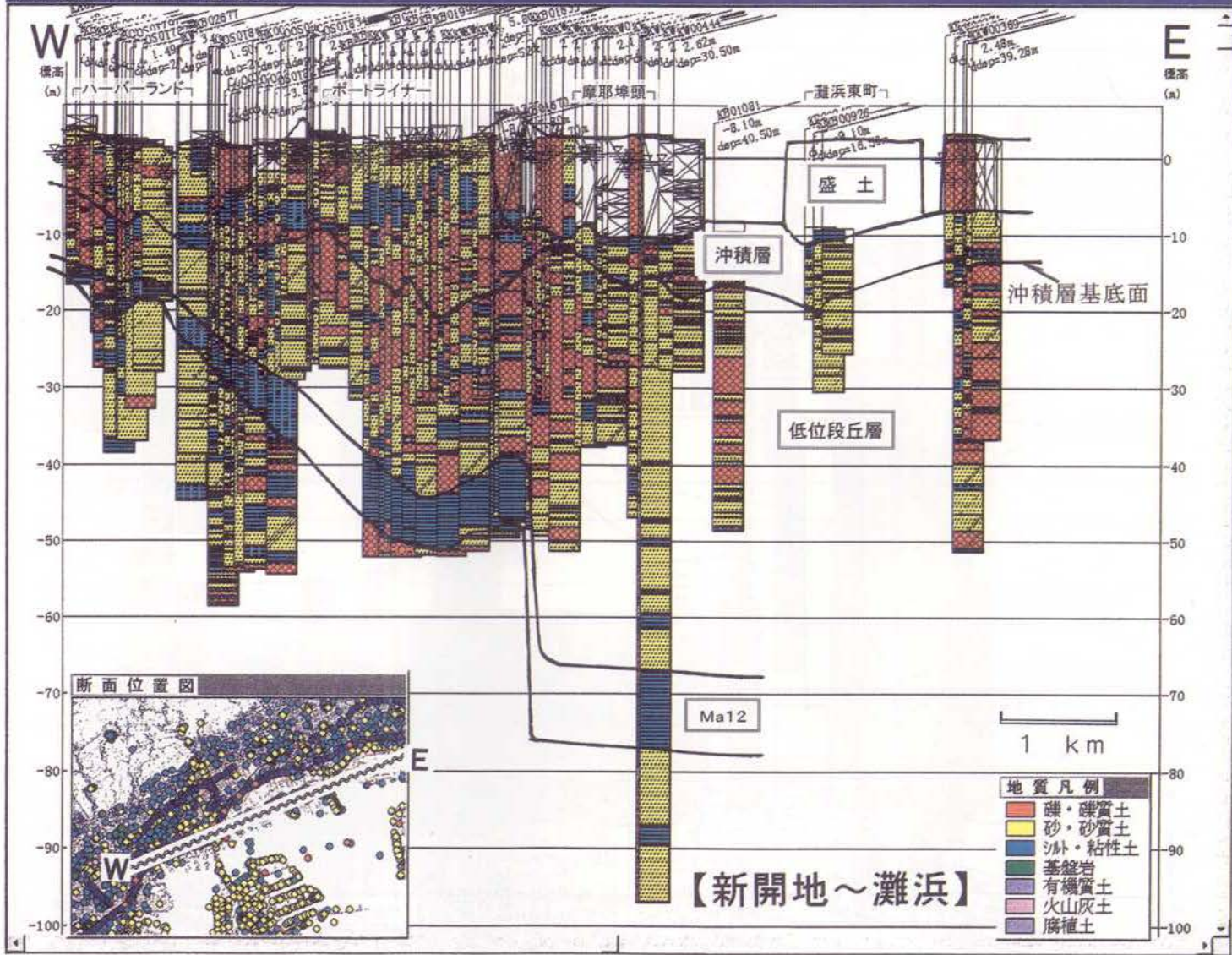


図-2.3.15 沿岸地域東西断面：2

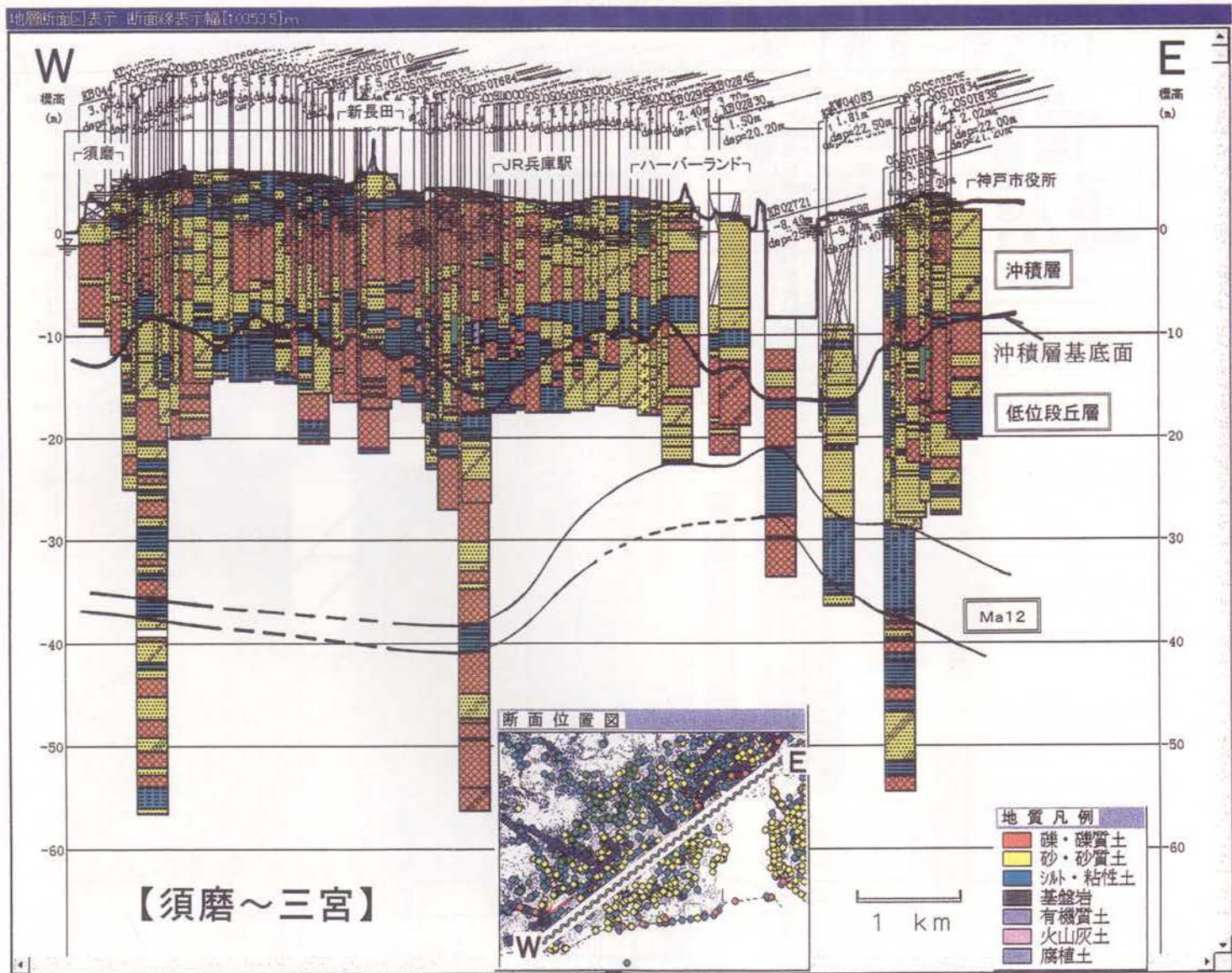


図-2.3.16 沿岸地域東西断面：3



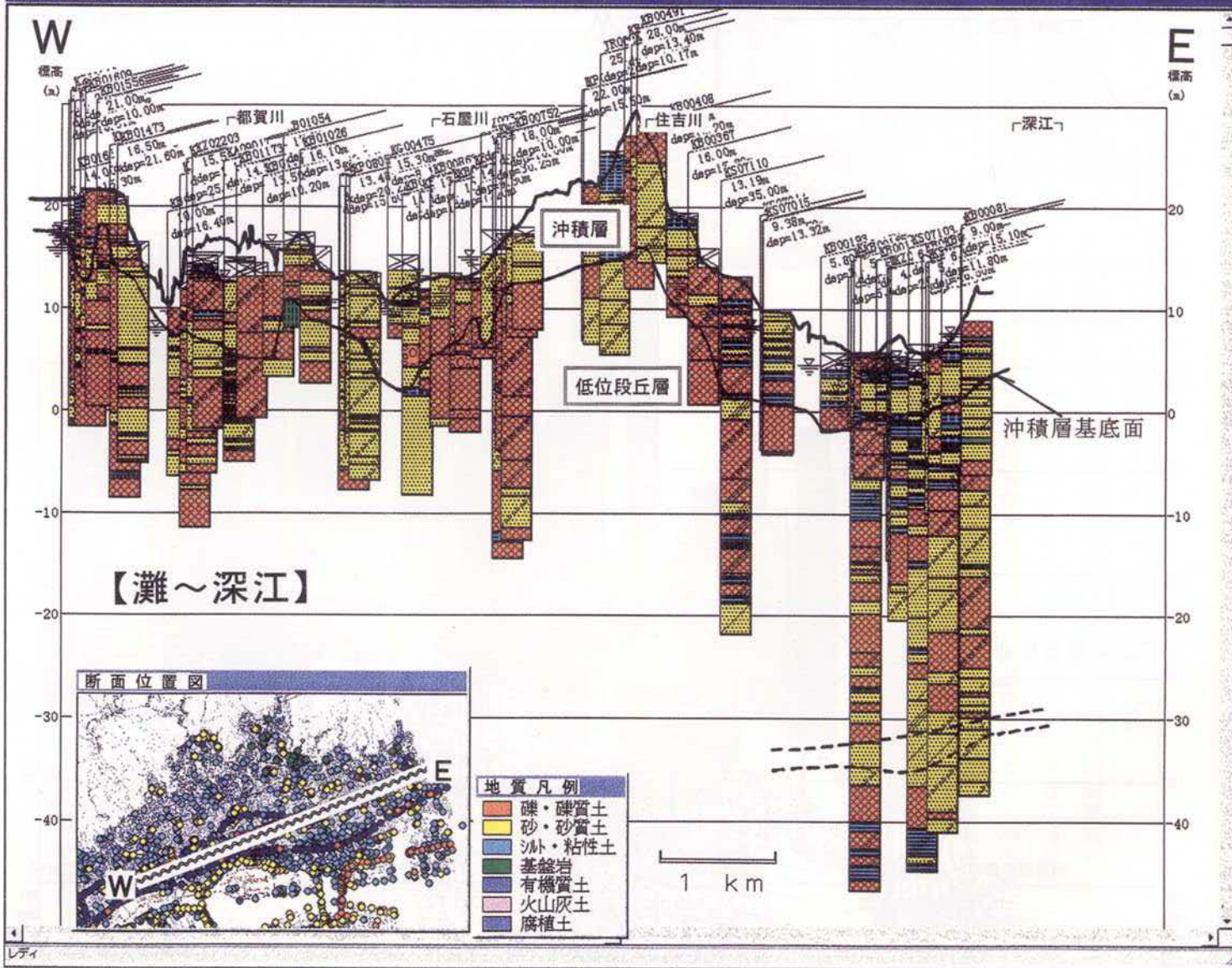


図-2.3.17 扇状地地域東西断面：1



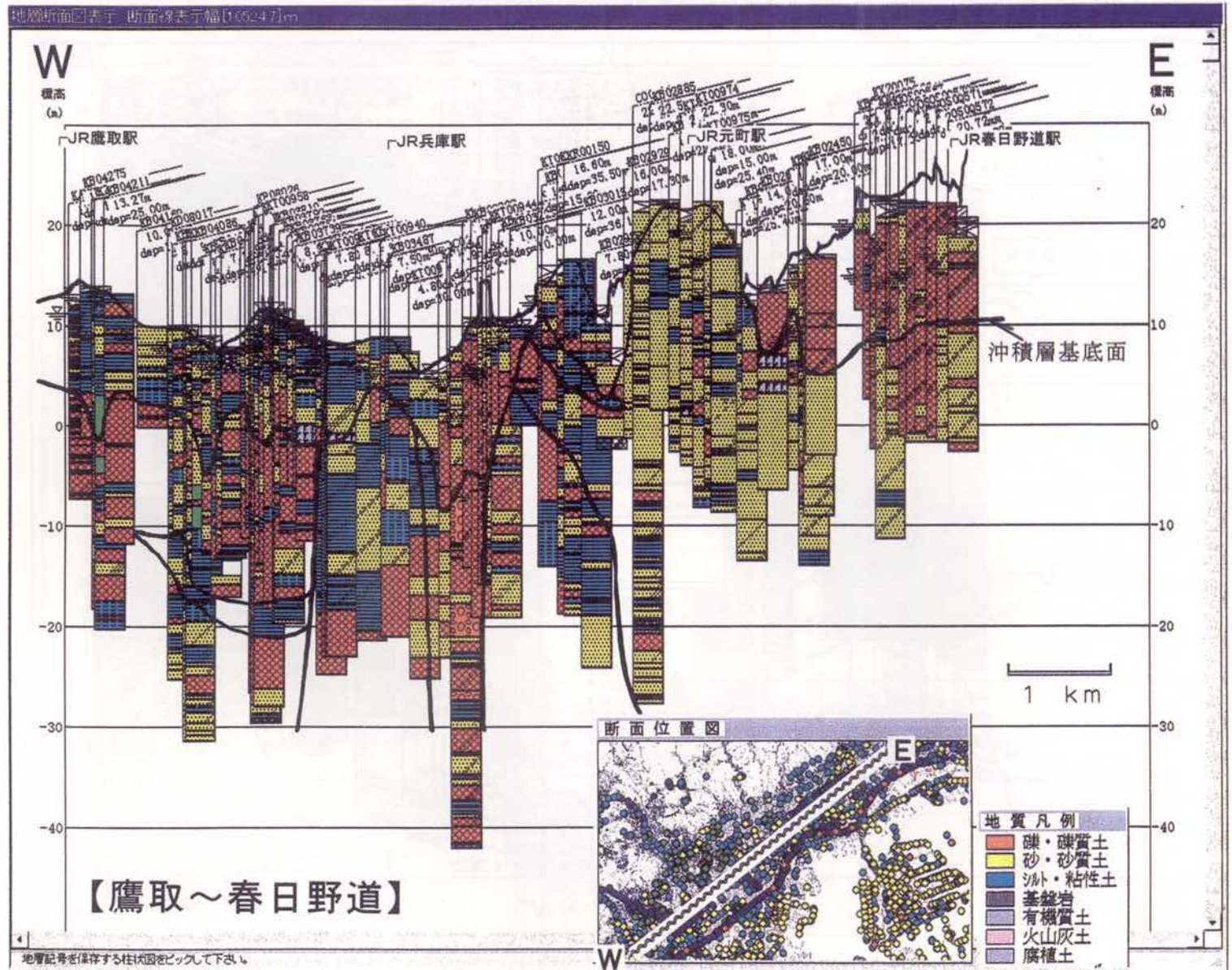


図-2.3.18 扇状地地域東西断面：2



2.3.3 沖積層の特徴

神戸市街地域の表層地盤はこれまでに示してきたように、主に砂礫や砂などの粗粒堆積物で構成されている。そのため、地層区分の手がかりにできるような基準が明確に得られていなかった。しかし、関西国際空港やポートアイランド第2期などの大規模な造成工事に係わる地質調査において、火山灰や花粉分析など各種の分析技術を駆使した詳細な地質調査が行われてきた結果、多くの新知見が得られ、表層地盤の地質特性がしだいに明確になってきている。

ここでは、市街地域の表層を占める沖積層について、その特徴をまとめる。

図-2.3.19は前述したように、約20,000年前の時間面とした沖積層基底面の等高線図である。図示されるように、等高線は現在の地形等高線にはほぼ平行するが、必ずしも一致しているわけではなく、和田岬付近をはじめとして沖積層基底面にゆるやかな谷や尾根が存在することが指摘される。その要因としては、過去の河川流路や地質構造運動など、さらに土砂供給源と堆積地域との距離などが関係する可能性が高いと考えられる。また、沖積層の分布は約6,000年前の縄文海進期における海域分布と密接に関係しており、その当時の海岸線は、大阪湾北部では標高+3m程度であることが指摘されており<sup>35)</sup>、表層地盤構成をもとに今後詳細に考察すべき問題のひとつと考えられる。

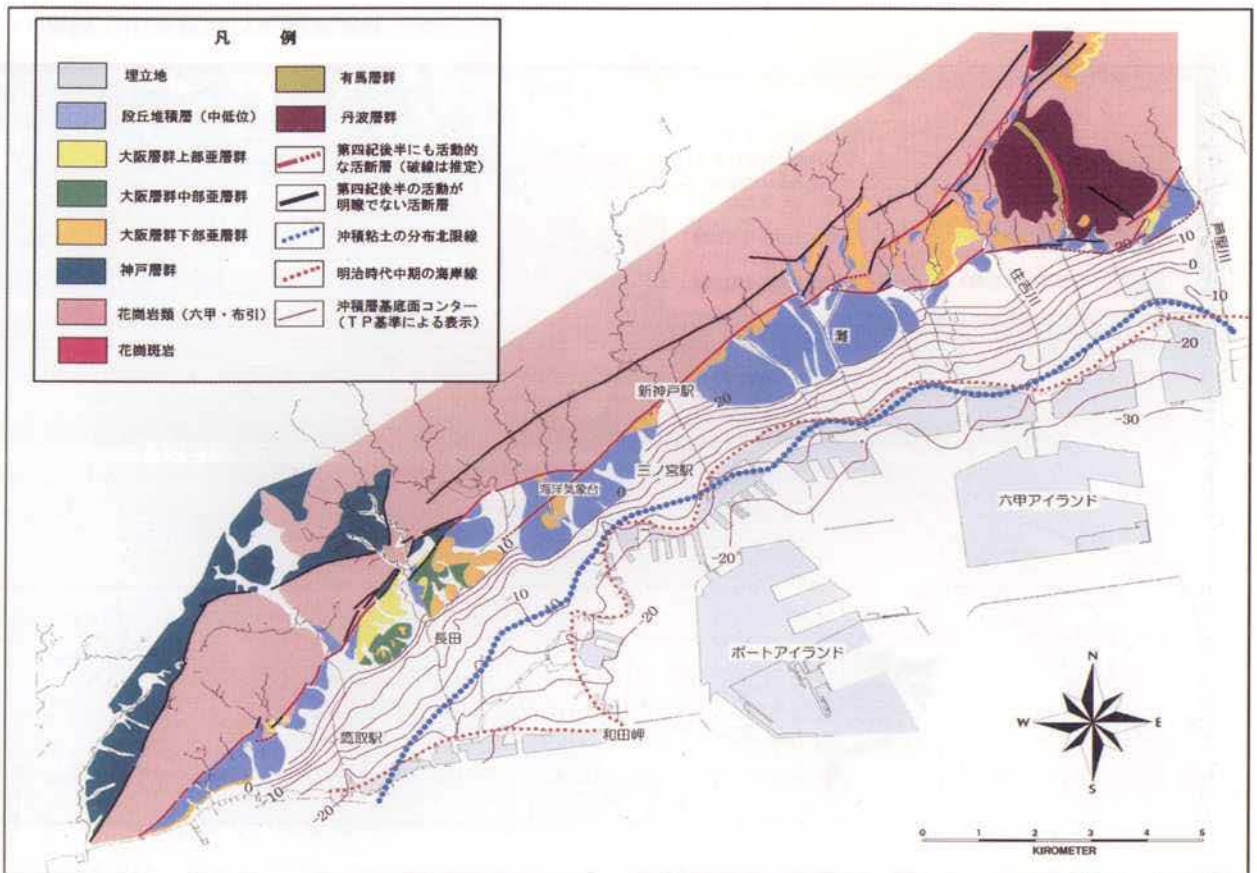


図-2.3.19 沖積層基底面の等高線図

次に、この地域における沖積層の特徴的な地層として、海成砂層、和田岬付近に分布する礫層、長田地域の丘陵南縁に見られる軟弱な粘土層などについて、これらの分布域を図-2.3.20に示す。

海成砂層は、図中に示した沖積粘土層の北限線にほぼ平行して分布する。この地層は沖積粘土層の上位に分布し、縄文海進期から現在の海面への海面低下に伴って堆積した海浜砂であるといえる。特に、住吉川東部地域では分布域が山側へ深く入り込み、現在の地形条件と密接に対応している。一方、JR 神戸駅付近から川崎浜にかけて分布する砂層は上述した形成条件とはやや異なり、むしろ旧湊川によって供給された粗粒土砂と海浜砂とが混在した状態にあると考えられる。なお、和田岬先端付近から西方にかけて分布する砂層は、埋立前の砂堆に対応する堆積物と考えられる。

和田岬付近に広く分布する礫層は、岬の形成に深く関係する堆積物である。この地層は沖積粘土層の上位にあることより、その堆積時期は新しいことが明らかであり、岬の形成が縄文海進期以降であるといえる。また、これらの大量の礫の供給源は明確ではないが、東播海岸からの沿岸漂砂による説<sup>36)</sup>もあり、礫種や堆積構造などの詳細な解析が今後必要であろう。

長田地区に分布する最表層の沖積層は、軟弱な粘土層とゆるい砂層などとの互層からなるが、上述した礫層の北限に沿ってその北側に分布することより、この堆積物は和田岬を形成した砂堆の背後に位置する後背低地の堆積物であると考えられる。

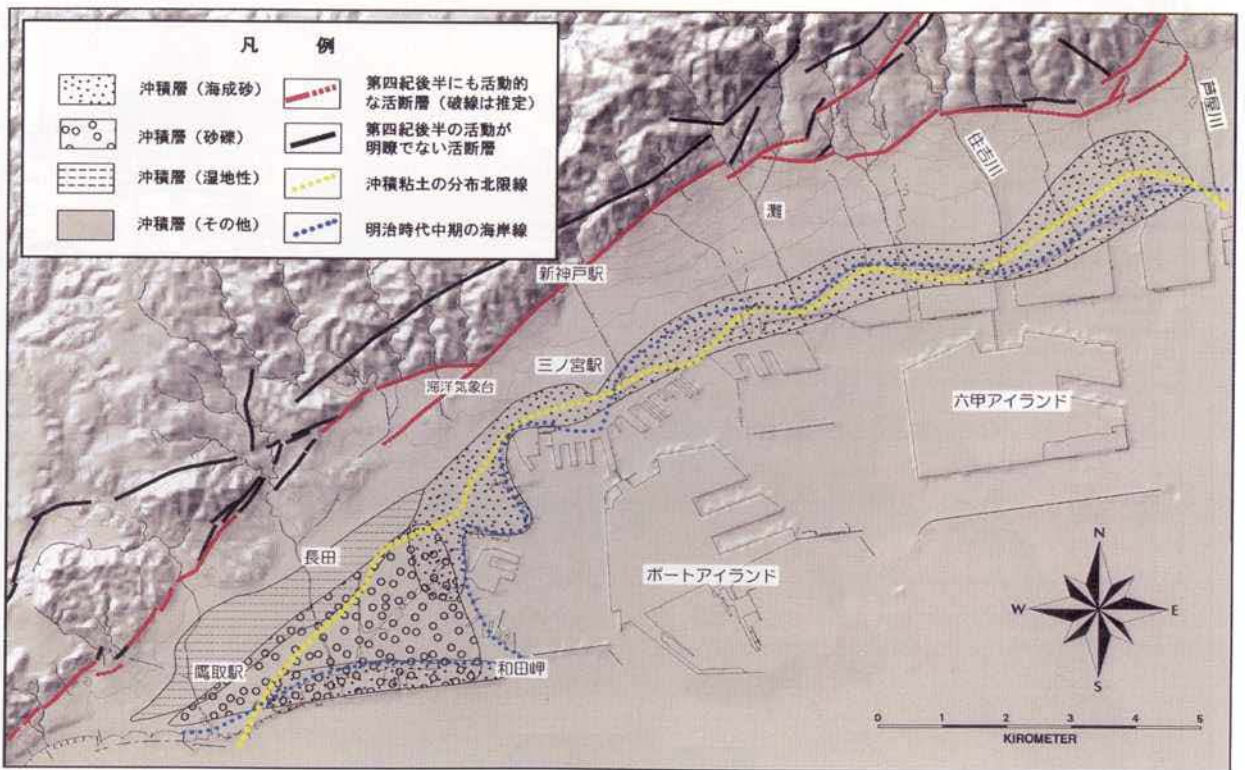


図-2.3.20 特徴的な沖積層の分布



## 2.4 土質特性

### 2.4.1 概要

神戸市街地は六甲山南縁の丘陵地から低地にかけて発達しており、大阪湾の北西縁沿いに約20kmと細長く伸びている。

山地南麓部では、後背の六甲山の急峻山地より流出した花崗岩起源の粗粒砕屑物が山麓扇状地を形成しながら徐々に下流部へと移行しており、いろいろな時代の堆積物が複合した地形を成している。

このように、神戸市街地の陸域部は、河川の後背湿地性粘性土が分布する一部を除いて、ほとんどが粗粒土で構成されているのが特徴である。これに対し、海岸沿いの低地から海域へは海浜性の砂層や粘性土層の分布が明瞭となり、Ma 13に代表される沖積粘土層が発達する。

本節では表層地盤の土質特性を礫質土と粘性土に分類し、また、分布域を東部から中央部（東灘区から元町付近までの地域）と西部（須磨から和田岬にかけての地域）に区分し、地域と土質特性の観点からその特徴を述べる。

### 2.4.2 砂礫質土の粒度分布

#### (1)東部・中央部陸域の表層地盤の粒度特性

東灘から元町にかけて約12kmの区間は、山麓から海岸線までの幅は概ね2kmの細長い形状の低地で、沖積層の基底面等高線（図-2.3.19）も多少の起伏はあるがほぼ地形等高線に平行している。

沖積層の堆積層厚は海岸部付近で20m程度で、山側へ漸次薄くなる。また、この区間には住吉川、石屋川、都賀川、生田川などに代表されるほぼ直線的な河川が存在し、何段もの扇状地形をつくり出している。

また、東部・中央部域の内陸部では沖積層に相当する堆積物のほとんどは粗粒土が主体をなし、粘性土は河川の後背地の一部や沿岸部に近いところに分布しているに過ぎない。

ここでは図-2.4.1に示した以下の5つのエリアに区分して、表層地盤の粒度組成を調べた。

- ① …… 住吉川左岸域で本山付近から住吉川までの区域
- ② …… 住吉川右岸域で西は石屋川付近までの区域
- ③ …… 都賀川を中心として東西約1kmの区域
- ④ …… 摩耶埠頭西より生田川までの区域
- ⑤ …… 新神戸を頂点に生田川沿いを含んで三宮付近を中心とした区域

それぞれの区域で表層を構成する粒度組成を比較するため、沖積砂質土（As）、沖積礫質土（Ag）毎に整理したものを図-2.4.2、図-2.4.3に示す。ただ、AsとAgの分類については必ずしも明瞭な判定根拠に基づくものでなく、技術者の目視・触感などによるものが多いことを予め断っておく。

図-2.4.2は、各エリアごとのAs層の粒径加積曲線の集積したものである。これによると、西の④摩耶、⑤三宮地区の方が東の地区に比べ粗粒側に寄っていることがわかる。例えば、 $D_{50}$ を概観すると、①、②、③エリアでは $D_{50} \approx 0.1 \sim 0.4 \text{mm}$ に対し、④、⑤エリアでは多少幅はあるが $D_{50} \approx 0.3 \sim 2 \text{mm}$ と違いが見られる。また、住吉川の両岸について比較すると、②の右岸側は非常に広い範囲でバラツキが見られる。これに対し、①の左岸側は比較的粒径が揃っており、全体としてはやや細粒側に位置するものが卓越する。

図-2.4.3は同様にAg層についてまとめたものである。これによると、全地区とも比較的類似した粒

度組成で  $D_{50} \approx 1 \sim 2 \text{ mm}$ ，細粒分の含有も15%前後ではほぼ等しい。ただし，最も東に位置する①住吉川左岸では細粒分が多いものもかなり見られる。

以上のように，東部から中央部にかけての地域における砂礫質土の分布の特徴としては，東部地区よりも中央部地区，つまり西側ほど細粒分の混入が少なくなる傾向が読み取れるようであるが，特に有意な差ではない。ただし，住吉川の左岸域は粒径の揃ったものや細粒分混じりのものが多く混在している。これは同河川が他の河川に比べ流路長が長く，また，後背地の六甲山花崗岩の風化が激しく，そのため土砂量の供給が多くなり自然堤防や後背地性の堆積物が発達したためと思われる。

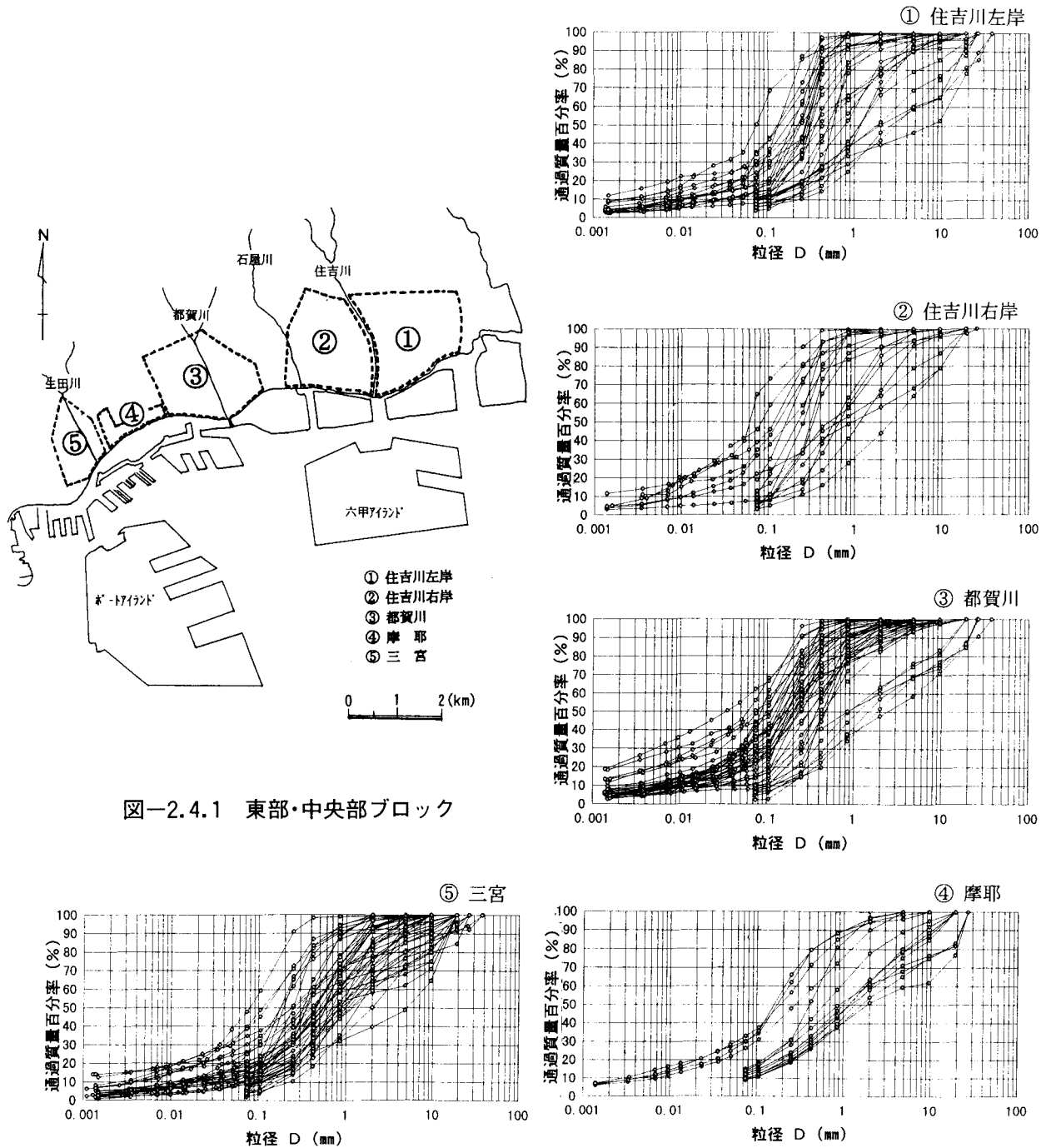


図-2.4.1 東部・中央部ブロック

図-2.4.2 各エリアにおける粒径加積曲線集積図〔As層〕

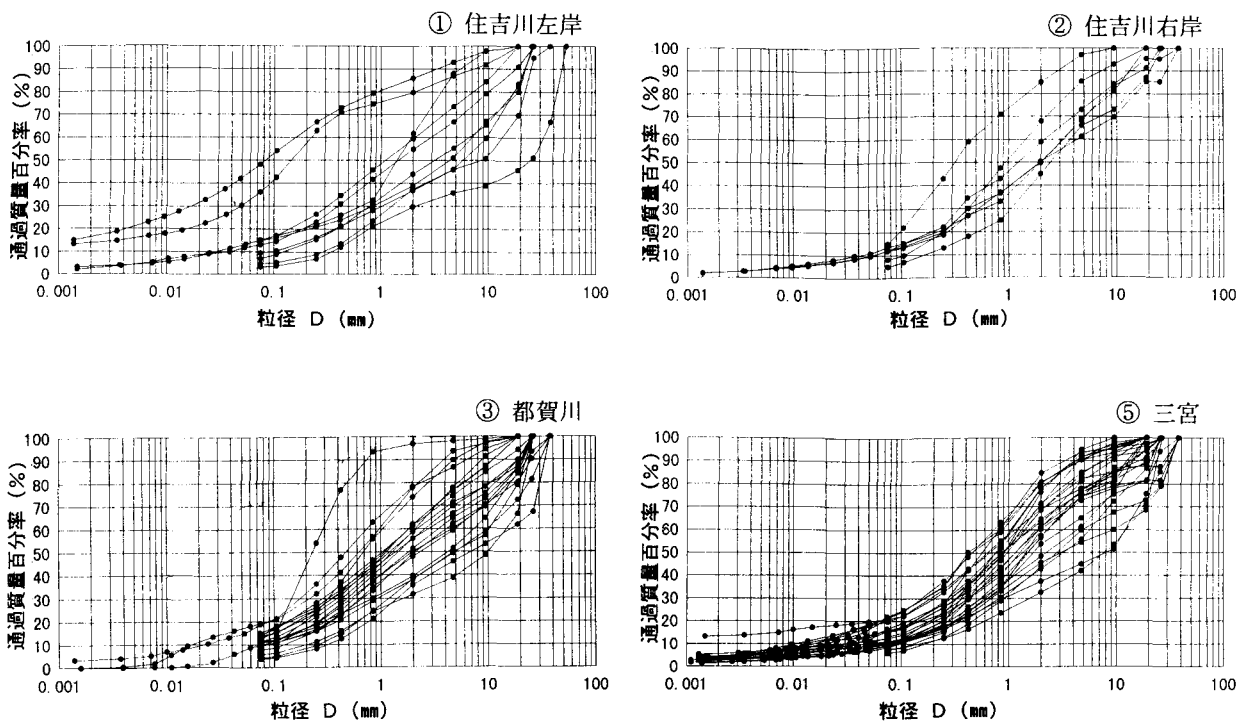


図-2.4.3 各エリアにおける粒径加積曲線集積図 [Ag 層]

(2)西部陸域の表層地盤の粒度特性

当該区は、和田岬を頂点とし、底辺に当る北西側の山地とは須磨断層、諏訪山断層などで限られた三角形を呈し、兵庫県南部地震により甚大な被害（建物倒壊と火災）を生じた長田地区を含み、須磨から兵庫区にかけての神戸市街地の西部に位置する。

地形的な特徴としては、須磨海岸から和田岬までは直線的に延びる海岸を形成し、海岸線は和田岬から急激に北側に方向を変え、湾曲して神戸港の西岸部を形成している。

低地部の表層地質を見ると、直線的な海岸線および和田岬北西の一部には海浜性（成因としては東播海岸からの沿岸漂砂による可能性も考えられる）と思われる礫層が分布している。この海岸線に沿って発達したと思われる砂嘴の後背に当たる鷹取～新長田にかけての地域には細粒物を主体とした沖積粘性土層が分布している。一方、西の妙法寺川や旧湊川流域では山麓部に扇状地を伴い、河口付近までは河川により運搬された堆積物が分布している。

このように、当地域の平地部は成因の異なると思われる地層が特徴的に分布している。

ここでは、海浜性と思われる礫層と、山地を起源とする砂および礫層を対象にローカルな区分を行い、それぞれの粒度特性を調べた。

なお、図-2.4.4の区分は以下のようにまとめられる。

- Ⓐ …… 妙法寺川による扇状地堆積層を主体に分布する地区
- Ⓑ …… J R兵庫駅南の礫層が分布する地区
- Ⓒ …… 海起源と考えられる礫層主体に分布する地区
- Ⓓ …… 旧湊川による扇状地堆積層を主体に分布すると考えられる地区
- Ⓔ …… 沖積粘性土を主体に分布する地区

各区分毎の粒度特性をまとめ図-2.4.5に示す。また、Ⓔ地区の粘性土については後の粘性土の特性に



ついでに項で述べる。

図-2.4.5に示した4つの地区の曲線群の概観からは、㉓地区、㉑地区のものが比較的類似している。両者の粒度特性を表-2.4.1に示す。

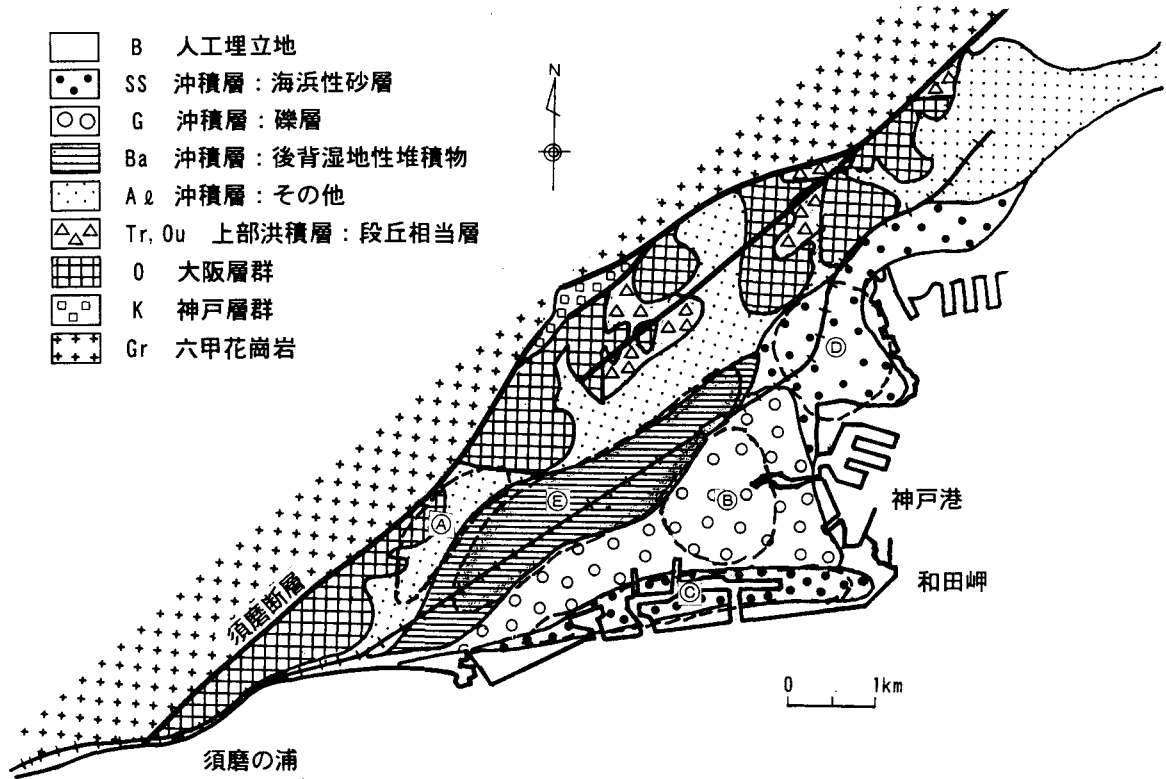


図-2.4.4 西部地域の表層地質図とローカル区分図<sup>37)</sup>

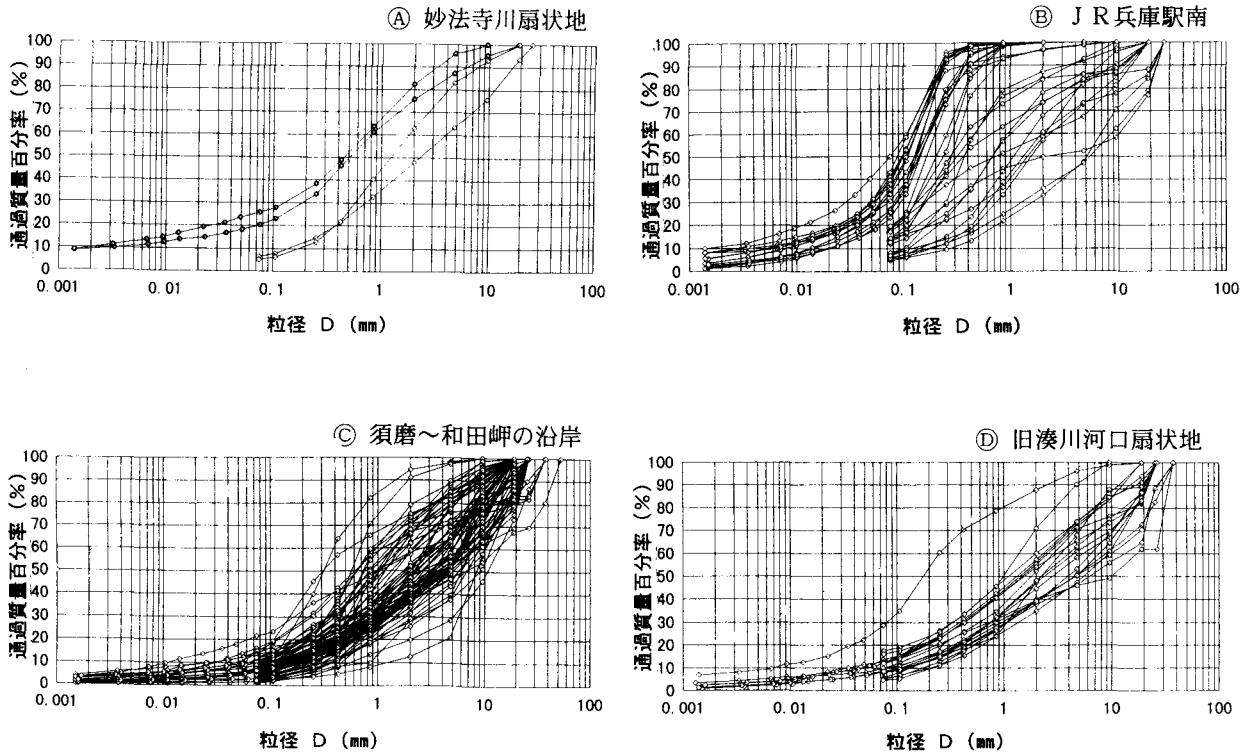


図-2.4.5 10m 以浅の沖積層（粗粒土）の粒径加積曲線集積図

表一2.4.1 ㉔地区、㉕地区の粒度特性比較表

| 地 区 | D <sub>10</sub><br>(mm) | D <sub>30</sub><br>(mm) | D <sub>50</sub><br>(mm) | D <sub>60</sub><br>(mm) | 均等係数<br>U <sub>c</sub> | 曲率係数<br>U'c |
|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------|
| ㉔   | 0.1                     | 0.7                     | 2.0                     | 5.0                     | 50                     | 1.0         |
| ㉕   | 0.07                    | 0.6                     | 2.0                     | 5.0                     | 71                     | 1.0         |

(採用粒径は目視による概値)

これによると、共に粒度分布の良い礫に分類される。また、㉔地区ではAg層中の比較的大きい礫は、円摩され角張ったものが少ないのが特徴である。

㉕地区はAg層よりもAs層に分類されるものが多い。つまり、粒度特性からは明らかに他の3地区とは異なる。

㉖地区は、曲線の密集ゾーンは見られないが、どちらかといえば㉕地区、㉔地区に近い。

### (3)砂礫質土の粒度分布の特徴

粗粒土の組成は全体的に見れば特に大きな変化はなく、D<sub>50</sub>≒1～3mmの粒度分布の良い礫である。

ただ、JR兵庫駅南区域の砂礫質土は粒径が揃っており、全体にやや細粒側に寄っている。これは供給源が山地よりもむしろ海起源である可能性も考えられ、西側の細粒分卓越地域へ漸移するものと思われる。

住吉川流域についても他地域の礫層に比べ粒度分布の範囲が大きく、細粒分を混えるものも含まれているが、これについては先述の通り河川流路長が比較的に長いこと、後背山地の花崗岩の風化が著しいことなどによるものと思われる。

## 2.4.3 粘性土の特質

神戸市街地および海域（埋立地）を西部（元町～須磨付近）、中央部（六甲道～三宮付近およびポートアイランド）、東部（本山～御影付近および六甲アイランド）と大きく3区分し、沖積粘土層（Ac, Ma 13）と上部洪積層のうちMa 12についてその特性を以下に示す。

Ma 13は縄文海進期を中心に海底に堆積した海成粘土に明確に分類されるもので、現在の陸域の沿岸部および海域を主体に分布している。これに対し、ここで扱うAcは後背湿地性の粘土およびMa 13を除く非海成沖積粘土で、当該地域においては主に陸域に分布する。

取り扱うデータの地域対象は図一2.4.6に示す海岸線に近い平地部と海域とした。また、六甲アイランドとポートアイランドの両埋立地内のデータは埋立以前のデータだけを選択した。

### (1)物理特性

#### ○粒度組成

図一2.4.7には、Ma 13およびMa 12に区分されている粘土層を地域別に示した。Ma 13の粒度組成では、各地域とも広い範囲で分布するが、曲線の密集ゾーンに着目すると、西部地域では密集ゾーンが見られず、全体にかなりバラツキが大きい。これに対し、中央部、東部のものは細粒分がほぼ90%以上を占めているものが卓越する。また、東側ほど粒径が小さくなる傾向が見られる。粒度分布からは、Ma 13は西

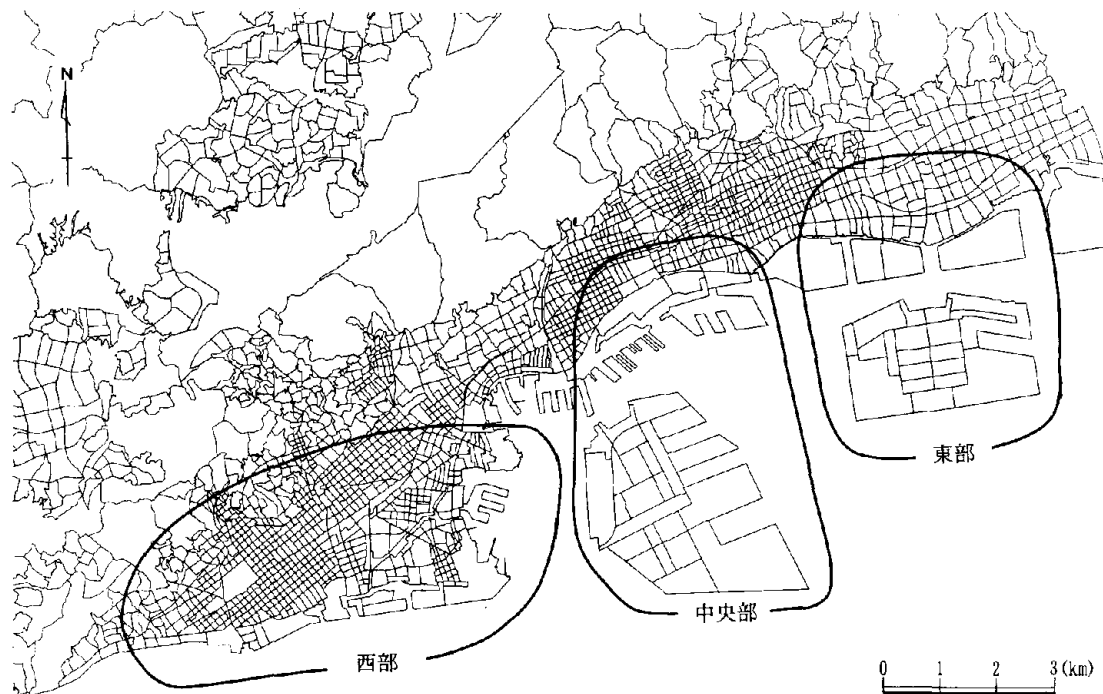


図-2.4.6 粘性土の特性区分図

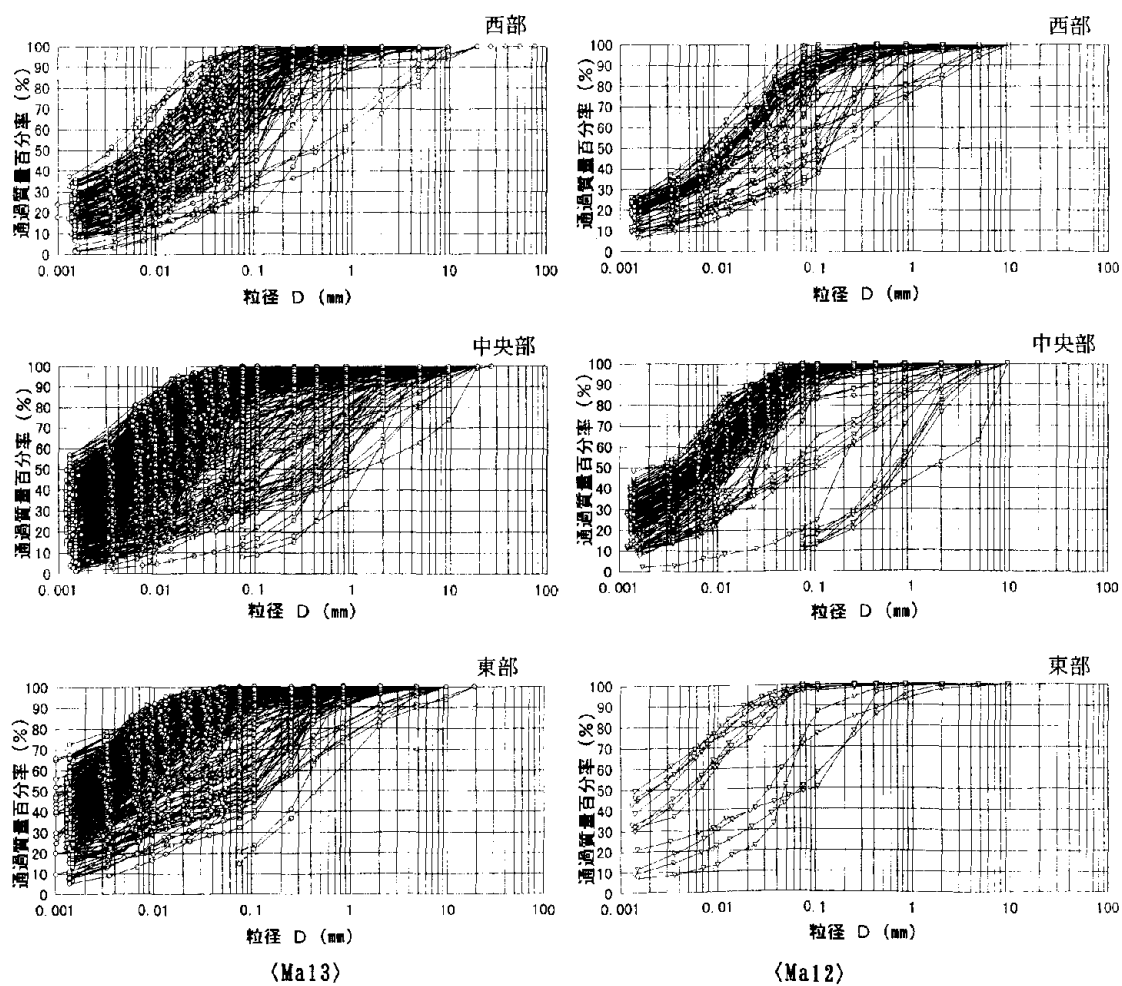


図-2.4.7 Ma 13, Ma 12の地域別粒径加積曲線図



部のものが粗粒側に位置していることで特徴付けられる。

Ma 12はしばしば砂質土の組成へと移行するところが見られ、中央部ではこれが読み取れる。全体を見れば細粒分を80%以上含有するものが多い。Ma 12の地域特性を見ると、東部でのデータが少ないものの、Ma 13との類似性が読み取れる。すなわち、東部ほど粒径が小さくなっており、大阪湾海底地盤における研究成果と同様に、Ma 13と Ma 12の堆積環境はほぼ類似であった可能性を示唆している。

#### ○コンシステンシー特性

図-2.4.8は Ac および Ma 13と Ma 12の塑性図を示したものである。

Ac, Ma 13は、概ね A 線より上部にプロットされるが、分布傾向を見ると、西部では B 線（液性限界 ( $W_L$ ) 50%) を挟んで液性限界が20~120%でバラツキが見られるのに対し、中央部や東部では B 線より右上側にプロットされるものが多くなり、集中位置は中央部が80~110%、東部が100~130%と東部ほど高塑性になる。

Ma 12は、西部、中央部、東部において有意な差が見られる。西部のものが液性限界30~70%、塑性指数 ( $I_p$ ) が60以下に対し、中央部は60~100%、東部では100~130%とさらに高塑性なものが卓越する。

これらのコンシステンシー特性の地域的変化は、前述の粒度特性と良く一致した傾向を示し、神戸市域では東部ほど細粒分が多く高塑性なものとなっていると考えられる。

### (2)力学特性

#### ○一軸圧縮強度と自然含水比

図-2.4.9は Ac, Ma 13および Ma 12について自然含水比と一軸圧縮強度の関係を見たものである。なお、東部は Ma 12のデータが少ないためこの関係図は省略した。

Ac は全体的にバラツキが見られ、特に西部は相関性がほとんど認められない。Ma 13も同様に、西部はバラツキが顕著であるが、中央部、東部では含水比が概ね50%以上でやや相関があると判断できる。このことは、先のコンシステンシー特性で示したように西部の Ac, Ma 13は粒度組成が多様で、また、液性限界  $W_L$  の卓越範囲も30~80%と中央部や東部に比べ塑性が低いことにも起因していると思われる。

一軸圧縮強度と自然含水比の関係については、液性限界が80%以上のケースについて良い相関が得られることが指摘されている<sup>38)</sup>。高塑性なものが卓越している東部の Ma 13からはその傾向が読み取れる。

一方、Ma 12は含水比が西部では50%、中央部では60%以下で、特に中央部では40~60%の間に集中している。なお、図のように強度は大きく変化しているが、洪積粘土層などのある程度以上の時代を経て年代効果の影響を受けているものは、発生強度におよぼすセメンテーション効果や脆性的破壊の影響、あるいは潜在クラック等の影響があるため、一軸圧縮試験の結果の評価には注意が必要である。

#### ○圧縮・圧密特性

図-2.4.10に Ac および Ma 13の圧縮曲線 ( $e$ - $\log P$  関係) を示す。

西部および東部については、曲線にバラツキはあるがおおむね次のようなことがわかる。

$e$ - $\log P$  曲線の正規圧密領域の勾配を比較すると、西部では緩く、圧縮指数 ( $C_c$ ) は比較的小さいものが多いのに対し、中央部ではこれよりも勾配がきつくなり、東部ではさらに大きくなる。また、曲線の空間位置は、西部がかなり下方にあるのに対し、中央部、東部と順次高位に移行する。

以上のような地域による圧縮性の変化は、神戸地域においても大阪湾全体の傾向と整合しており、東部から西部にかけて圧縮性が低下するようである。

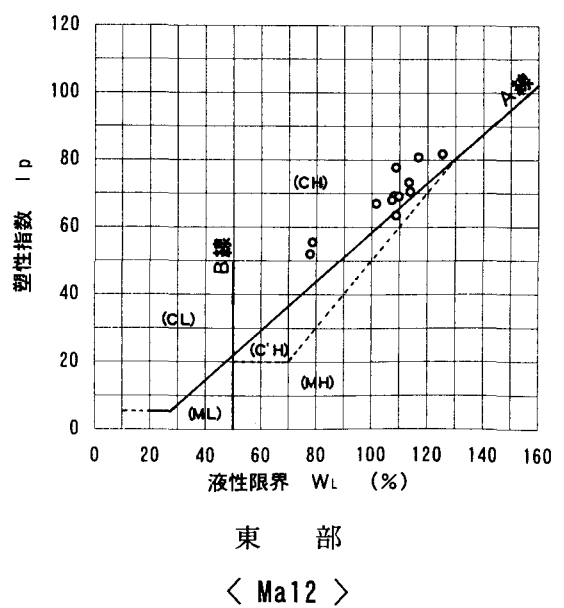
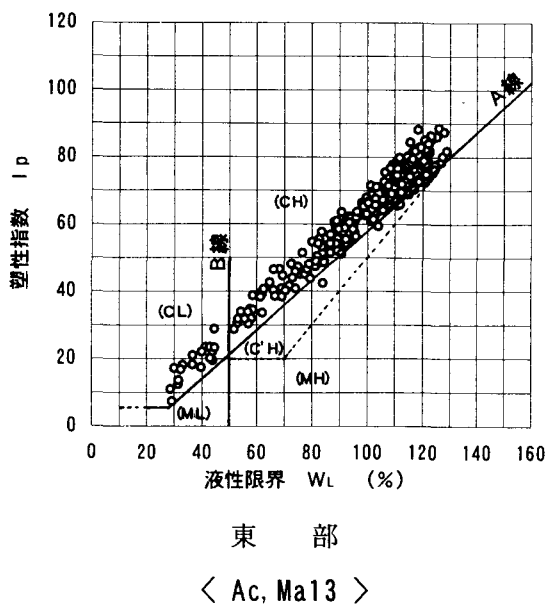
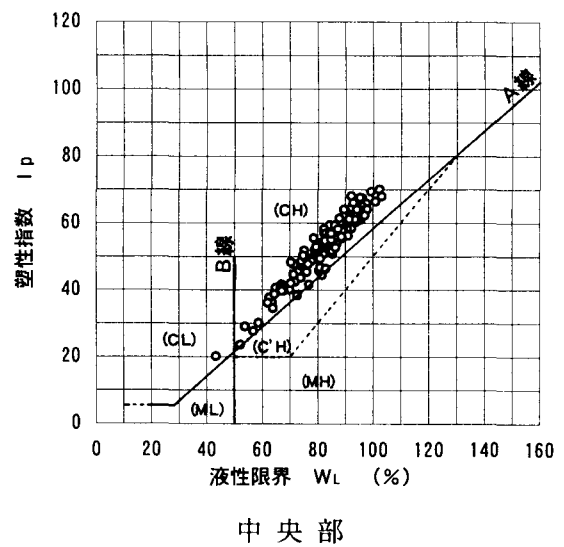
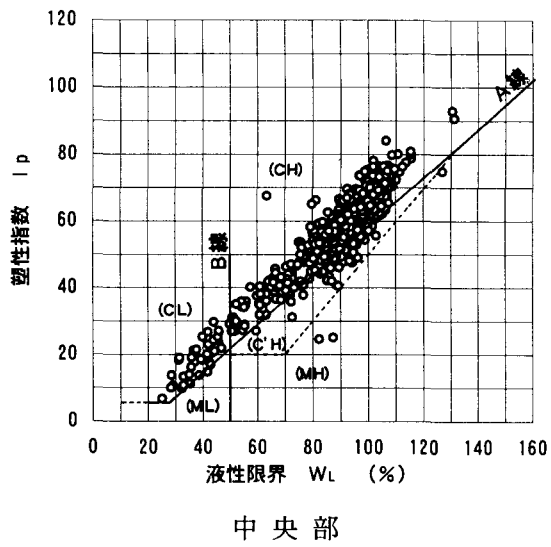
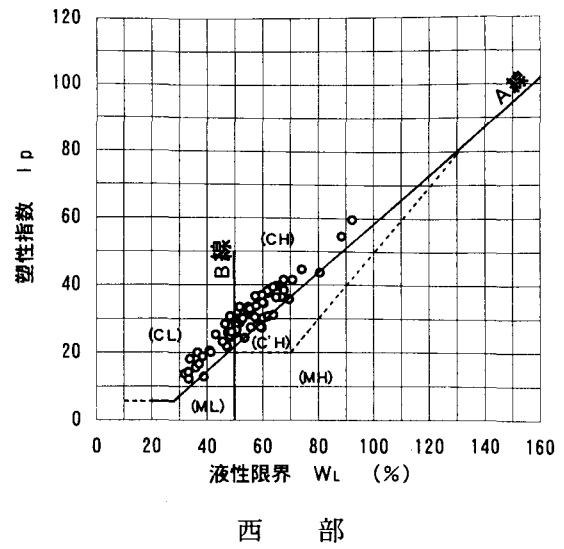
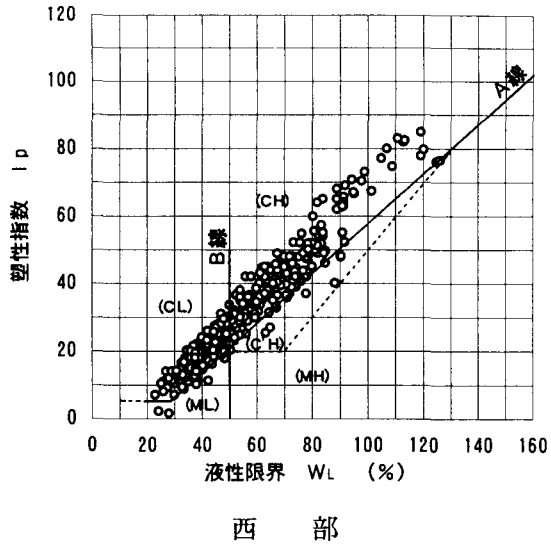
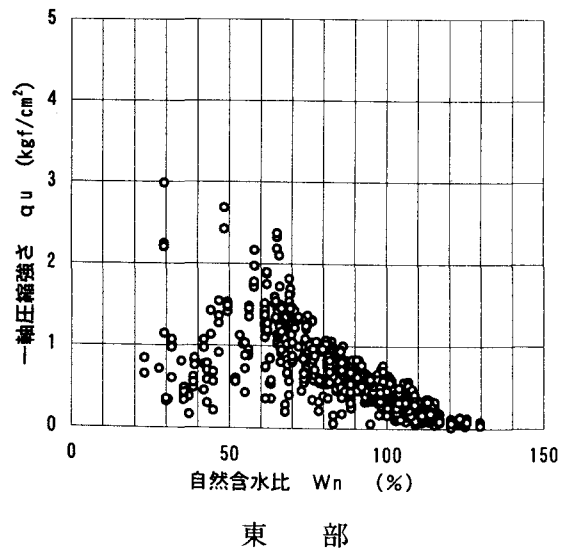
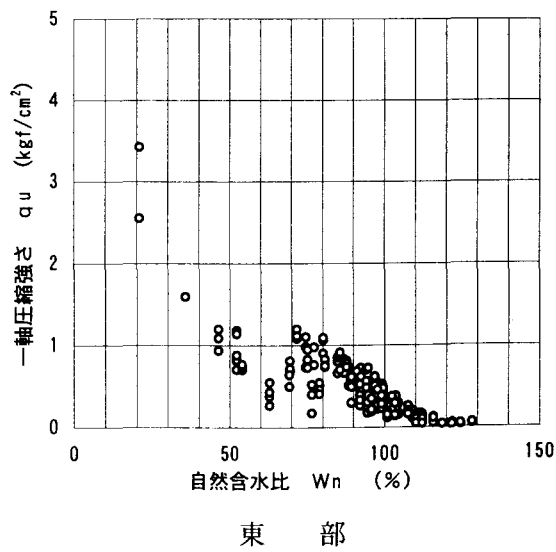
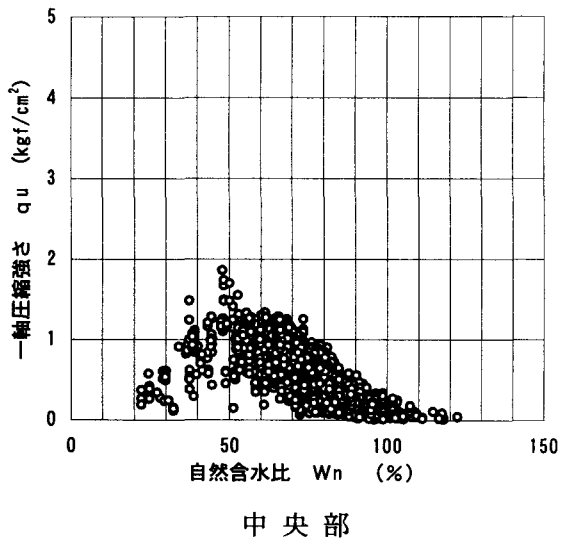
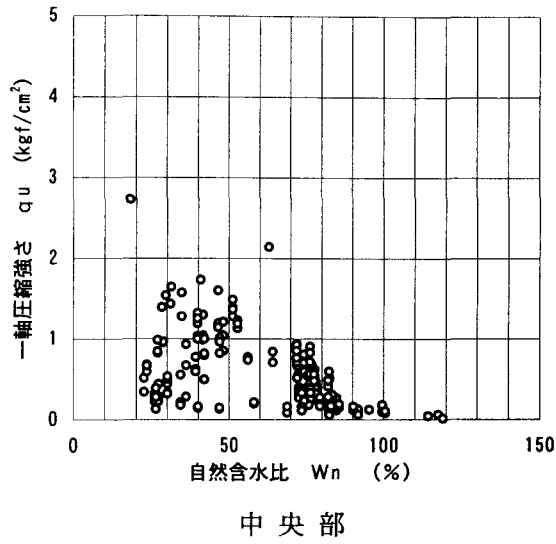
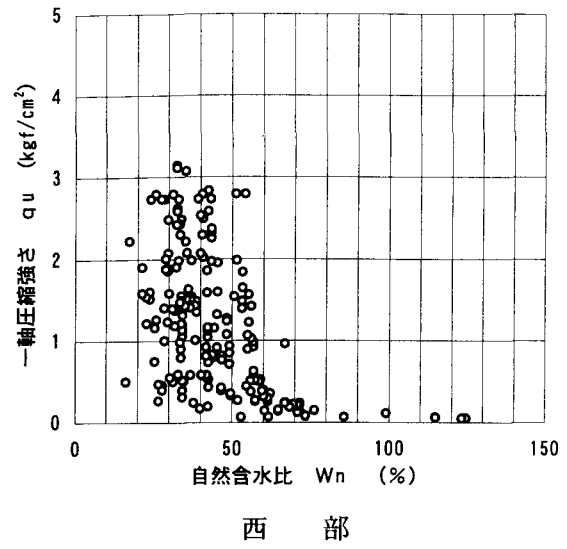
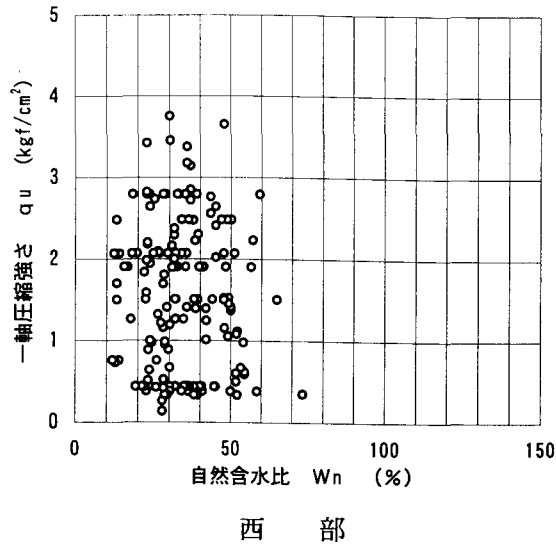


図-2.4.8 Ac, Ma 13, Ma 12の地域別塑性図

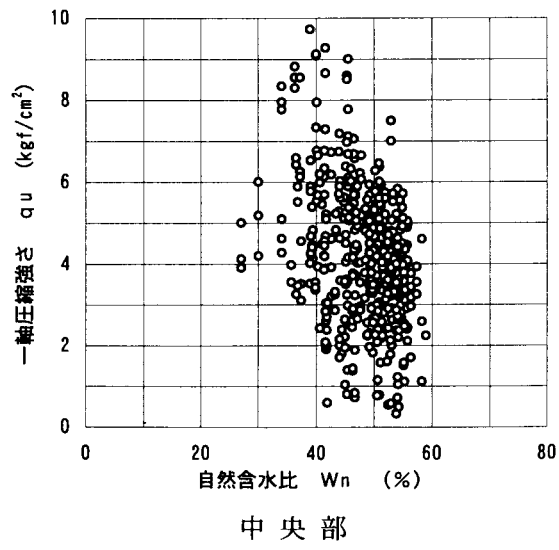
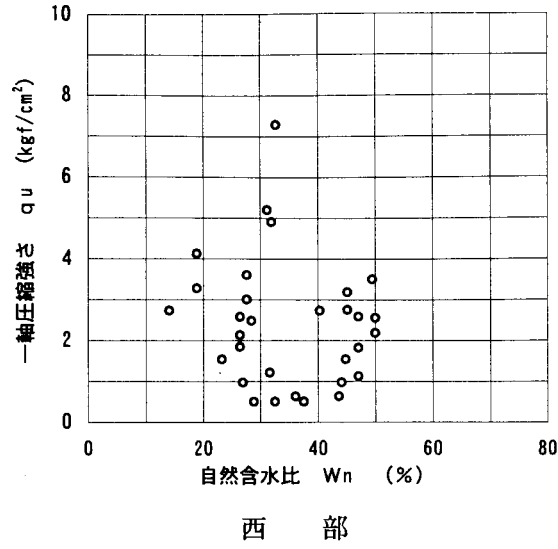


< Ac >

< Ma13 >

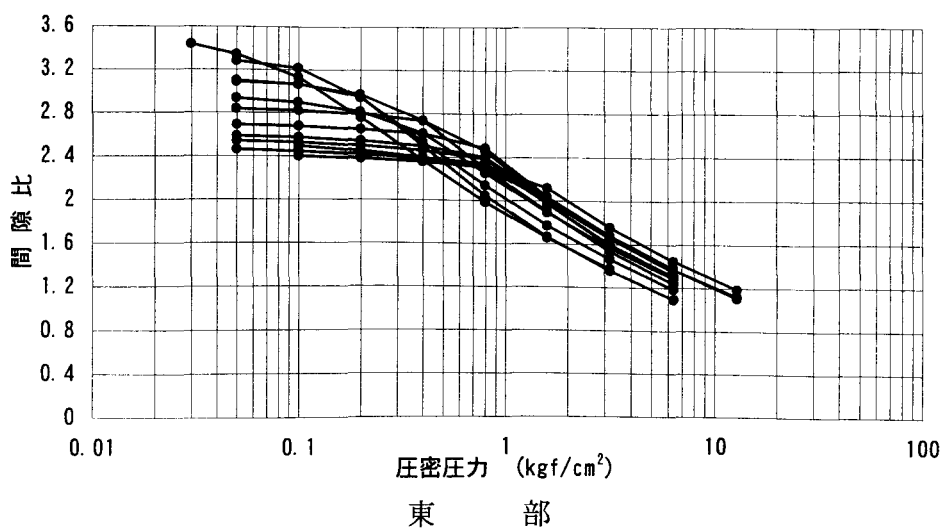
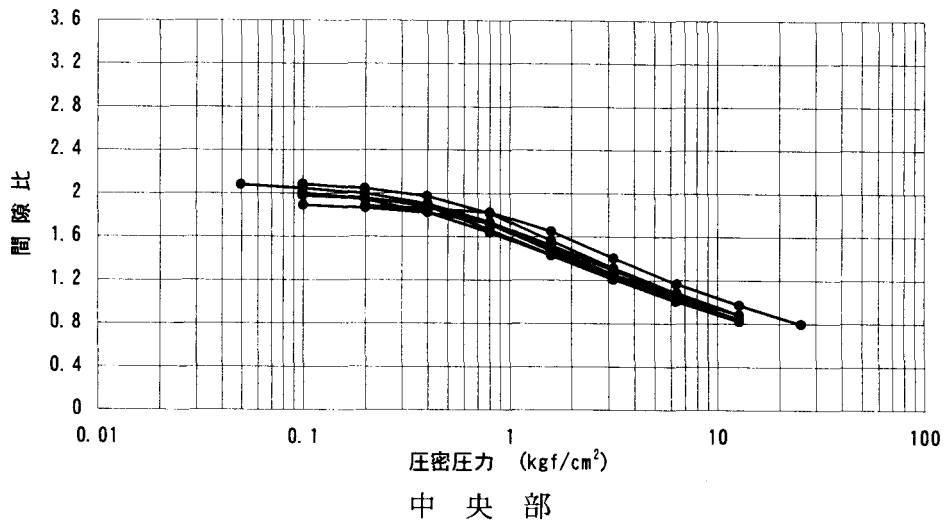
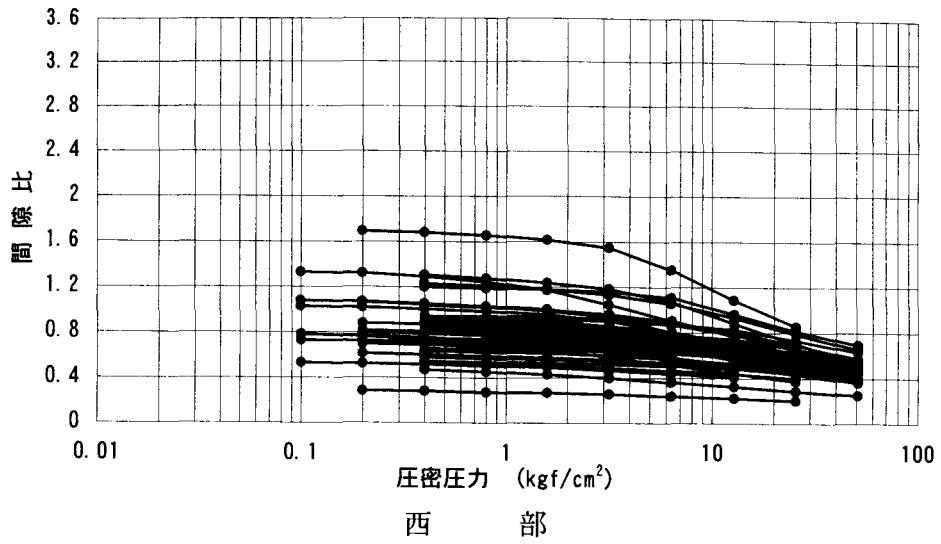
図-2.4.9 自然含水比と一軸圧縮強さの地域別関係図 (その1)





< Ma12 >

図-2.4.9 自然含水比と一軸圧縮強さの地域別関係図 (その2)



< Ac , Ma13 >

図-2.4.10 地域別 e-logP 曲線図

図-2.4.11は  $A_c$  と  $Ma_{13}$  の液性限界と圧縮指数 ( $C_c$ ) の関係を表したものであるが、西部は  $C_c$  がほとんど0.7以下で、図中に示した Skempton の経験式によるラインで近似される ( $A_c$  は下位にプロットされるものが多い) のに対し、中央部では同線より上位のものが多く、 $Ma_{13}$  について見ると  $C_c$  は0.7~1.2 に集中している。さらに東部では同線よりかなり上部の離れたところにプロットされるものが増え、 $C_c$  は1.0以上が卓越する。これは、 $e$ - $\log P$  曲線は液性限界が大きいほど正規圧密領域の曲線が凹状となることに起因していると考えられ、このような大きな圧密圧力の範囲では、基準圧縮指数  $C_{cr}$  を考慮してデータを整理する方法が提案されている<sup>38)</sup>。図の結果からもわかるように、概ね液性限界80%以下では、ほぼ Skempton の線上にプロットされるようである。

図-2.4.12は  $A_c$ ,  $Ma_{13}$  の圧密降伏応力 ( $P_c$ ) と一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) の関係を表したものである。西部、中央部、東部ではほぼ同様な相関が見られ、 $P_c \approx 1.5q_u$  で近似されるものが多い。これに対し、西部は、 $Ma_{13}$  で  $q_u$  が  $1 \text{ kgf/cm}^2$  以上の範囲において  $P_c \approx 2.0q_u$  前後の関係が見られるが、強度のバラツキが大きく、相関性が悪くなるようである。

今回の検討から  $P_c \approx 1.5q_u \sim 2.0q_u$  の値が得られているが、神戸地域の海底地盤では正規圧密粘土について  $C_u/P = 0.35 \sim 0.40$  の値が代表値とされている。したがって、 $P_c \approx 1.5q_u$  はその下限値に近く、陸部でのコンシステンシーの低下や強度のバラツキを考慮すると、今回得られた値の範囲も妥当なものと考えられる。

### (3)粘性土の全体的傾向と特徴

地域による粘性土の特性は、西部と中央部、東部では有意な相違が認められる。

これは、基本的には粒度組成、コンシステンシー特性の違いに見られる。つまり、西部の粘性土の粒度特性を見ると、中央部、東部に比べ砂分を混えているものが多い、そのため液性限界や塑性指数が低い傾向にある。

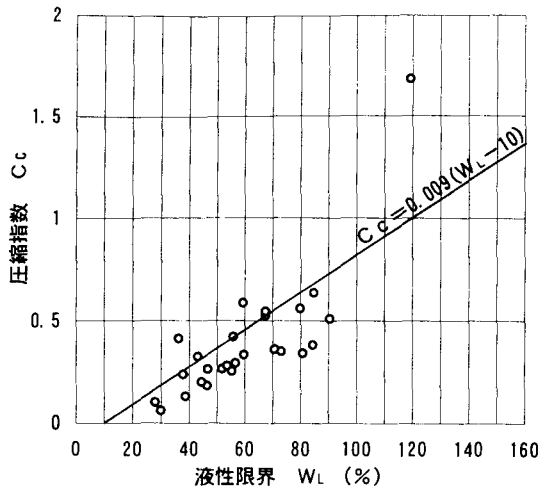
また、含水比と一軸圧縮強度との関係を見ても、中央部、東部のものは相関はあるが、西部の粘土は低塑性であるためバラツキがみられる。

物理特性の違いは、特に圧縮性にも関係しており、 $A_c$ ,  $Ma_{13}$  の圧縮曲線の比較では明らかに西部、中央部、東部と空間位置が順次高位に移行する。

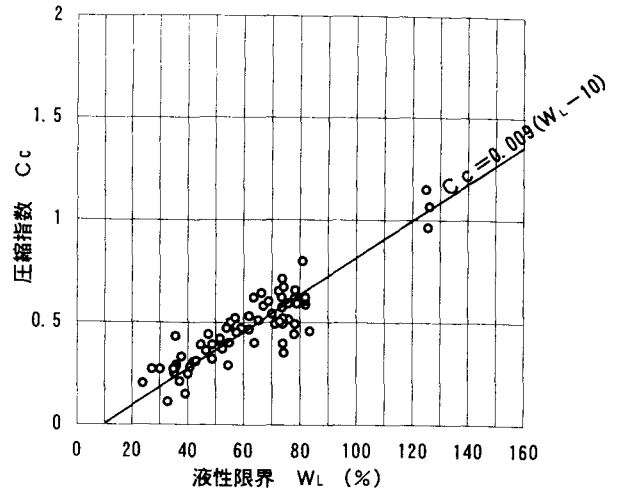
例えば、初期間隙比を見ても、西部が0.6~0.8に対し、中央部では2.0、東部では2.5~3.0を示し、東部ほど圧縮性が高いといえる。

このように、粘性土の地域による工学的な違いは、今回の収集データ域が西部のものは陸域が主で、中央部、東部は海域も含んでいることも多少関係していると思われるが、今後はさらに多くのデータを収集し、神戸地域の粘性土の工学的性質の地域的特性の変化を検討していく必要がある。

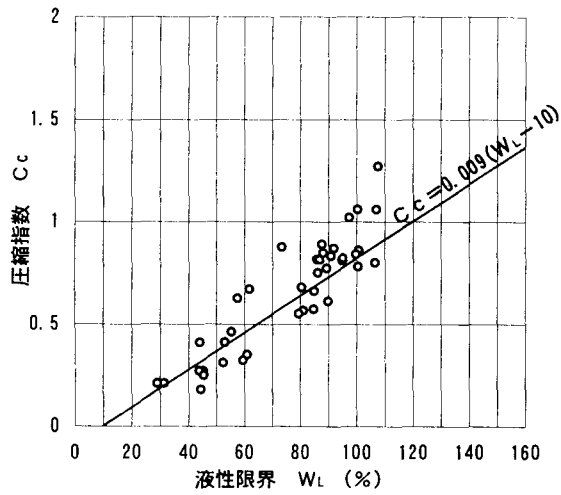




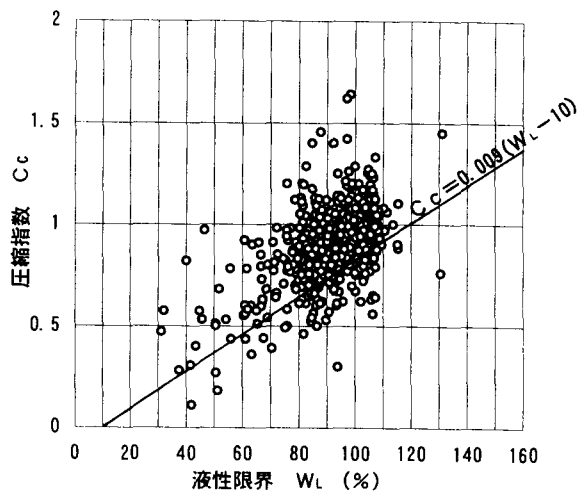
西部



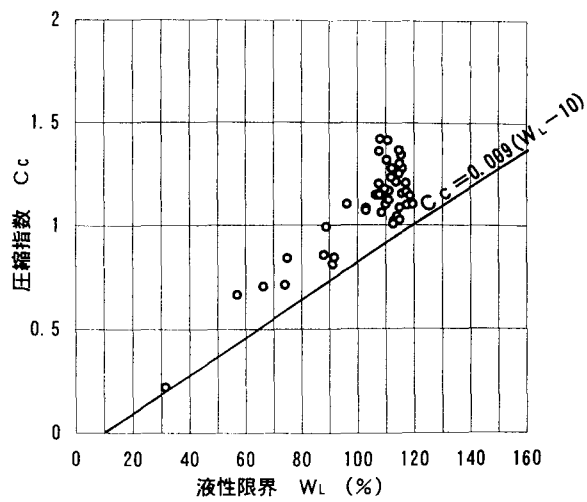
西部



中央部

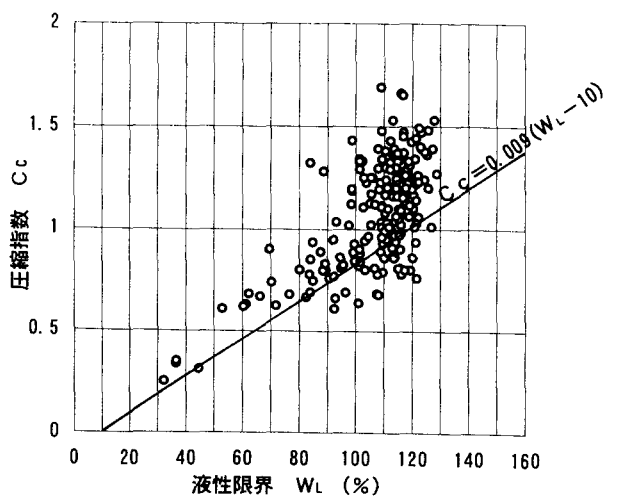


中央部



東部

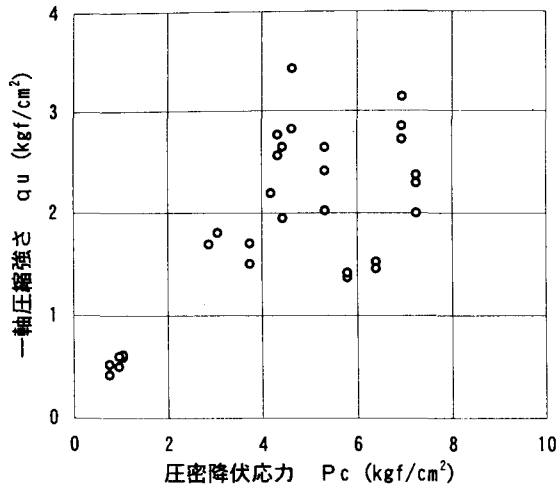
< Ac >



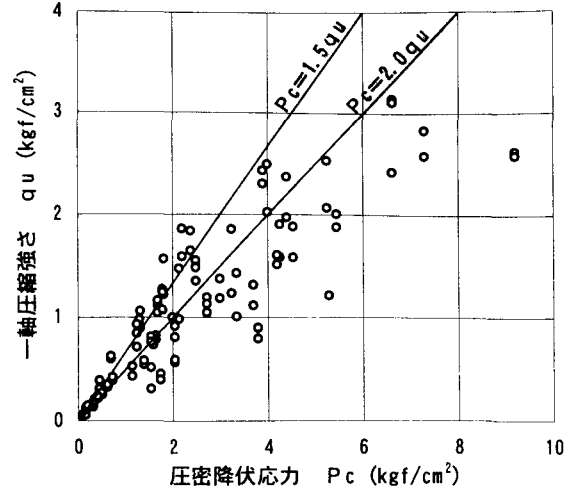
東部

< Ma13 >

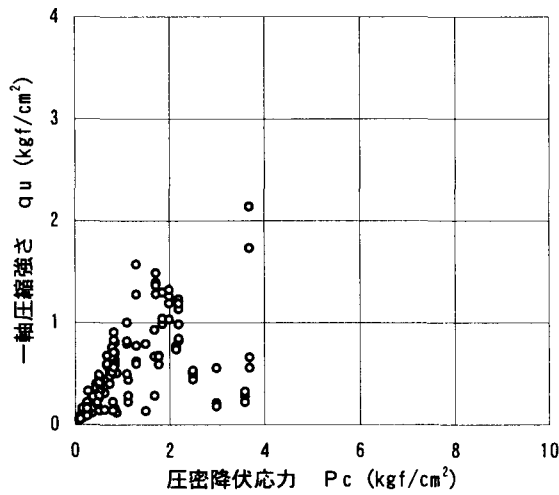
図-2.4.11 液性限界と圧縮指数の地域別関係図



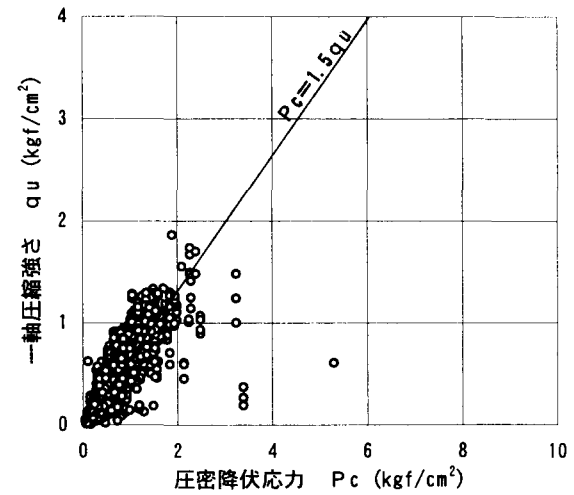
西部



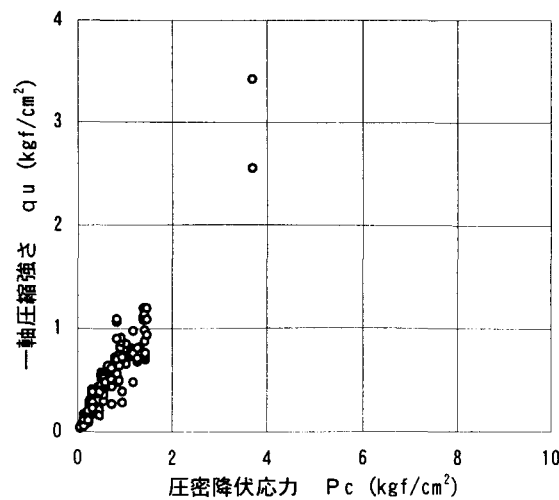
西部



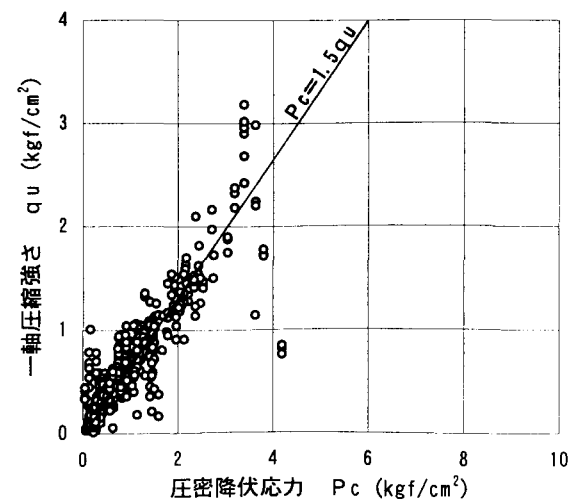
中央部



中央部



東部



東部

< Ac >

< Ma13 >

図一2.4.12 圧縮降伏応力と一軸圧縮強度の地域別関係図

## 2.5 地下水位

### 2.5.1 地下水位分布

神戸市街地は北の六甲山地と南の大阪湾に挟まれた東西に細長い地域に発達している。地形的には比較的急傾斜の山麓部から扇状地性の緩傾斜地を経て沖積低地へと変化し、北に高く南に低い地形となっている。

市街地の地下水は、北側の六甲山地からの浸透水・河川伏流水などの形で供給されており、地下水位の分布は地表勾配、微地形や表層地質などと密接な関係があるものと考えられる。

「神戸 JIBANKUN」に収録されたボーリング柱状図の内、調査時の地下水位が記載されている柱状図データは、約2,100本（地震前：約1,800本、地震後：約300本）である。市街地全域での地下水位状況を見るために、地震前の約1,800本について地下水位分布図を作成したものを図-2.5.1に示した。

なお、ボーリング柱状図に記載された地下水位は、無水掘により確認した自然水位であるのか泥水位であるのかの区別が不明なものがほとんどである。また、長期間にわたる調査データを収集しているため、経年変動・季節変動の影響を考慮する必要がある。さらに、埋立地（特に、ポートアイランドおよび六甲アイランド等の人工島）でのデータに関しては、各埋立段階での調査データが含まれている。したがって、これらの地下水位データを利用する場合には、上記した測定条件を考慮した上での取り扱いが必要である。

図-2.5.1において地下水位の全体的な傾向をみると、G.L.-1～3mを示す地点が多いことがわかる。特に、緩傾斜地から沖積低地にかけてはその傾向が強くなっている。区域的には、東灘区の住吉川左岸側、石屋川と都賀川間、灘区から中央区にかけての海岸沿い、兵庫区から長田区において、全般的に地下水位が浅く得られている。

一方、住吉川右岸側、都賀川および西郷川沿い、灘区西部から中央区東部の国道2号線より北側においては、G.L.-4mよりも深い地点が多くみられる。

### 2.5.2 表層地質との関連

地下水位分布と表層地質との関連は次のようになっている。

#### ①住吉川の左岸と右岸

住吉川左岸では阪神電鉄線とJR神戸線に挟まれた区域で、G.L.-1m以浅の地点が多くみられる。一方、住吉川右岸では地形的には同一と考えられる区域において、G.L.-3～5mの地点が多くなる。この区域での微地形区分をみると、左岸側では旧河道や氾濫平野に分類される所が多く、右岸側では扇状地に分類される所の多いことが判る。

住吉川を挟む東西断面をみると、左岸側では表層部に細粒土砂の分布がみられ、これに対して右岸側では礫・砂の優勢層が分布することが判る。すなわち、微地形区分やそれに伴う地層の土質特性等が地下水位に大きく影響していると考えられることができる。

#### ②新生田川沿い

この区域では地下水位が、G.L.-5m以深の地点が多くなる。この理由として、砂・礫を優勢とする扇状地性の地層が厚く堆積するためと考えられる。



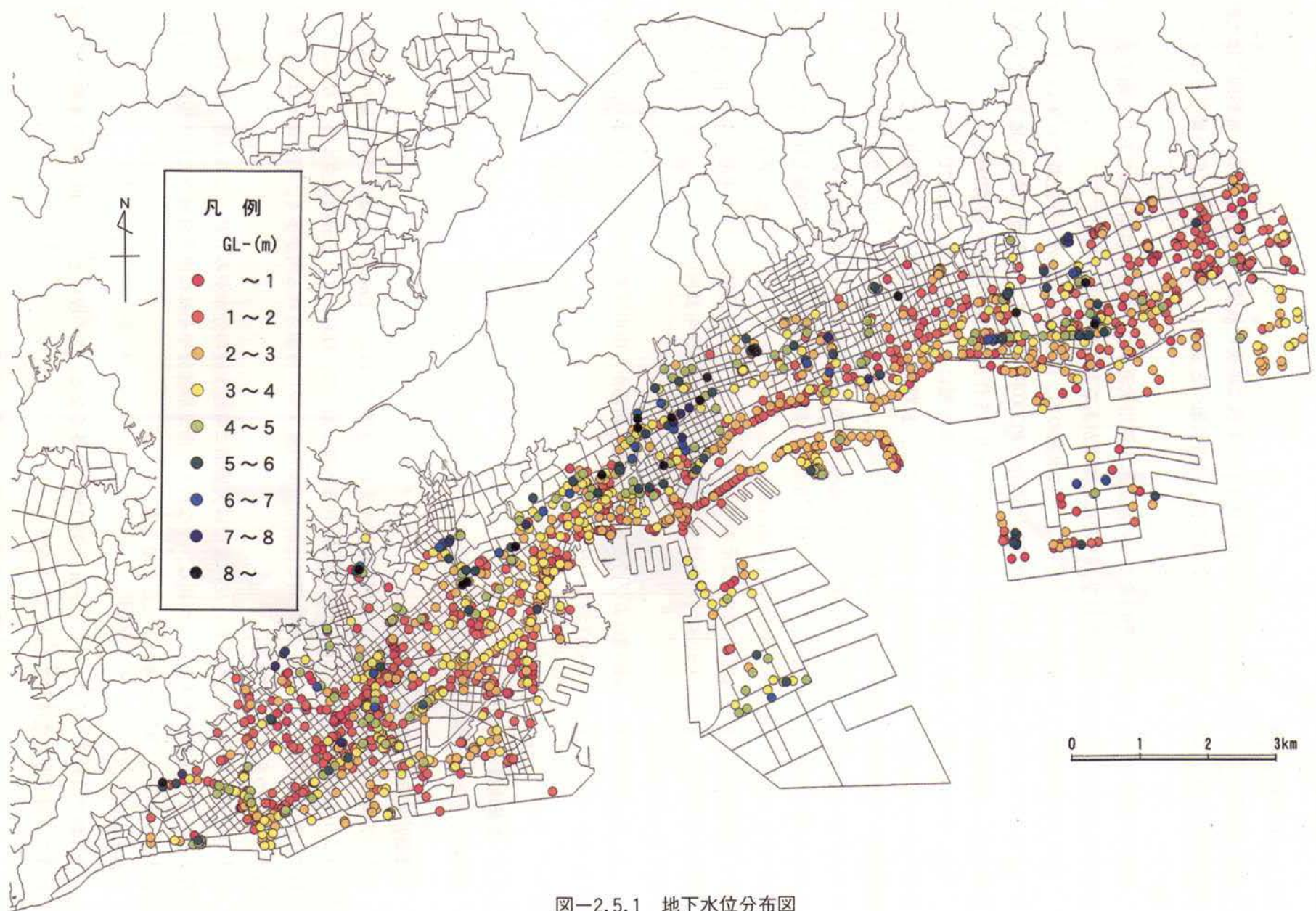


図-2.5.1 地下水位分布図

## ③和田岬から西へ伸びる砂堆部

この区域では地下水位がG.L. - 1 ~ 3 m程度と、北側に分布する沖積低地部に比べてやや低くなっている。

## ④新湊川～妙法寺川間

この区域においては地下水位が、G.L. - 1 m以浅の地点が多くみられる。この区域での微地形区分をみると、氾濫平野・海岸低地に分類され、表層部に細粒土砂の分布がみられるためと判断される。

## 2.5.3 まとめ

神戸市街地での地下水分布の特徴をまとめると次のとおりである。

- ①地盤標高を反映し、全体的には北に高く南に低い分布を示している。等高線に沿う形で区分される。
- ②傾斜地から沖積低地にかけての地下水位は、G.L. - 1 ~ 3 mの地点が多い。
- ③天井川（住吉川，石屋川）付近においては伏流水の影響から河道沿いに高い傾向がみられる。
- ④住吉川以東では阪急神戸線付近まで、表層に細粒土砂の分布が多いことから、G.L. - 3 m以浅の比較的浅い地点が多い。
- ⑤石屋川から都賀川間では阪急神戸線付近まで、G.L. - 3 m以浅の地点が多くなっている。
- ⑥新湊川から妙法寺川間の神戸高速鉄道とJR神戸線間では、表層に細粒土砂の分布が多いことから、G.L. - 2 m以浅の非常に浅い地点が多くみられる。
- ⑦人工島（ポートアイランド，六甲アイランド）においては島の中央部で高くなる傾向が認められる。
- ⑧経年変動，季節変動については，調査年月の不明なデータが多いため明らかではない。また，地震前後での差違についても，地震後のデータが少なく，調査位置に偏りがあるため，比較検討はできなかった。

## 2.5.4 今後の問題点

地下水位に関する情報は，掘削工事における地下水対策の検討，液状化の判定などの際に必要な不可欠である。しかし，既存の調査ボーリング資料において，確実に自然水位を測定しているものは非常に少なく，特に，兵庫県南部地震以前の調査データではその傾向が強い。

地盤情報データベースをより有効に活用していくためには，今後，これら精度の高い地下水情報を収集していくとともに，経年変動や季節変動に対する検討を行うために，代表的な地点での連続的な地下水位観測の実施が望まれる。

## (参考文献)

- 1) 国土地理院：1/10,000地震防災土地条件図（微地形）「長田」，「三宮」，「六甲アイランド」，「芦屋」，「西宮」，国土地理院技術資料D・1-No.334，1996。
- 2) 田中眞吾・井上茂・野村亮太郎：杉原川流域の山麓緩斜面の形成機構ならびに形成年代について－兵庫県南半部の麓斜面の研究 第1報。地理学評論，vol.55，pp.525-548，1982。
- 3) 田中眞吾：神戸および阪神間の地形分類。阪神・淡路大震災調査報告書（解説編），(社)地盤工学会阪神大震災調査委員会，pp.56-62，1996。
- 4) 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。兵庫県，1996。

- 5) 市原実編著：大阪層群。創元社，340p，1991。
- 6) 藤田和夫・笠間太郎：大阪西北部地域の地質。地域地質研究報告（5万分の1図幅），地質調査所，112p，1982。
- 7) 神戸市：阪神・淡路大震災と神戸の活断層，(財)建設工学研究所，作成中，1999。
- 8) 建設省近畿地方建設局：大阪・兵庫地域の地質構造特性調査業務概要版。建設省，59p，1997。
- 9) 吉川周作・小倉博之・福西佐代：大阪平野地下の中・上部更新統火山灰層序。地質学雑誌，vol.99，no.6，pp.467-478，1993。
- 10) 町田洋・新井房夫：火山灰アトラス。東京大学出版会，276p，1992。
- 11) 町田洋・新井房夫：広域に分布する火山灰ー始良 Tn 火山灰の発見とその意義，科学，Vol.46，pp.339-347，1976。
- 12) 町田洋・新井房夫：南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラーアカホヤ火山灰，第四紀研究，Vol.17，No.3，pp.143-163，1978。
- 13) 新井房夫・町田洋：日本のテフラ・カタログ Iー西日本～東北地方の第四紀後期示標テフラの岩石記載的研究ー，軽石学雑誌，No.6，pp.65-76，1980。
- 14) 町田洋ほか：日本海を渡ってきたテフラ，科学，Vol.51，pp.562-569，1981。
- 15) 町田洋・新井房夫：鬼界カルデラ起源の新広域テフラと九州における更新世後期の大火砕流の噴出年代，火山（第2集），Vol.28，No.1，206p，1983。
- 16) 町田洋ほか：阿蘇4火山灰ー分布の広域性と後期更新世示標層としての意義ー，火山（第2集），Vol.30，No.2，pp.49-70，1985。
- 17) MACHIDA,H.：Frequency and magnitude of catastrophic explosive volcanism in theJapan region during the past 130 ka, Geol. Soc. Australia Symposium Proc., No.1，pp.27-36，1990。
- 18) 松井整司・井上多津夫：三瓶火山の噴出物と層序，地球科学，Vol.25，pp.147-163，1971。
- 19) 津久井雅志：大山火山の地質，地質学雑誌，Vol.90，No.9，pp.643-658，1984。
- 20) 竹村恵二・西田史郎：火山ガラス調査，関西国際空港地盤調査，災害科学研究所報告，pp.141-154，1984。
- 21) 吉川周作ほか：近畿地方中部に分布する後期更新世～完新世の火山灰層について，地球科学，Vol.40，No.1，pp.18-38，1986。
- 22) 吉川周作・井内：琵琶湖高島沖ボーリングコアの火山灰層序，地球科学，Vol.45，No.2，pp.81-100，1991。
- 23) 吉川周作・井内：琵琶湖高島沖ボーリング火山灰から見た中期更新世～完新世の噴火活動史，地球科学，Vol.47，No.2，pp.97-109，1993。
- 24) 横山卓雄：琵琶湖深層試錐中の火山ガラスの屈折率測定値からみた現琵琶湖堆積物の火山灰層序，地質学雑誌，Vol.92，No.9，pp.653-661，1986。
- 25) 横山卓雄・西田史郎：琵琶湖深層試錐中の火山ガラスのEDX分析による火山灰の同定と対比，地質学雑誌，Vol.93，No.4，pp.275-286，1987。
- 26) 町田洋ほか：琵琶湖200m コアにおける指標テフラ層の再検討，第四紀研究，Vol.30，No.5，pp.439-442，1991。
- 27) 竹村恵二ほか：近畿地方の第四紀テフラ研究，第四紀研究，Vol.30，No.5，pp.353-360，1991。
- 28) 森勇一ほか：愛知県町田・松河戸遺跡から発見された縄文時代後・晩期の境界付近に位置する火山灰層について，Vol.29，No.1，pp.17-23，1990。
- 29) 竹村恵二・檀原徹：遺跡土壌中の火山灰降灰層準の認定ー兵庫県篠山板井遺跡を例としてー，第四紀研究，Vol.26，No.1，pp.69-78，1987。
- 30) 加藤茂弘ほか：兵庫県神戸市で発見された三瓶火山起源のテフラ，第四紀研究，Vol.35，No.5，pp.383-389，1996。



- 31) 野村亮太郎・田中眞吾：兵庫県内陸部における最終氷期以降の地形形成，第四紀研究，Vol.27，No.4，pp.219-228，1989.
- 32) 熊井久雄：諏訪湖の生い立ち，アーバンクボタ，No.36，pp.2-11，1997.
- 33) 兵庫県立人と自然の博物館：阪神・淡路大震災と六甲変動，兵庫県神戸土木事務所，106p，1997.
- 34) 横倉隆伸ほか：大阪湾における反射法深部構造探査，地質調査所月報，Vol.49，No.11，pp.571-590，1998.
- 35) 前田保夫：縄文の海と森．蒼樹書房刊，238p，1980.
- 36) 宇多高明・西原在浩：兵庫県南部地震による神戸市の被害集中域と砂嘴地形の関係について．日本応用地質学会関西支部平成10年度研究発表会概要集，pp.10-13，1998.
- 37) 財建設工学研究所：阪神大震災被害状況調査報告書，342p，1995.
- 38) 社土質工学会関西支部：海底地盤（大阪湾を例として），406p，1995.

※ 1) については、建設省国土地理院長の承諾を得て、同院の技術資料D・1-No334「1万分1地震防災土地条件図（微地形分類図）」を複製したものである。（承認番号 国地企調発第20号、平成11年3月2日）