試錐資料からみた神戸・阪神間地域の地下地質

三田村 宗樹^{*1}・竹村 恵二^{*2}・北田 奈緒子^{*3}・斎藤 礼子^{*3}

本地域の旧自然海岸沿いで掘削された深層ボーリングの比較から、摩耶埠頭付近より東側では、第四系に挟まれる海成粘土層の分布深度はほぼ類似しているが、神戸港より西側の長田付近の海成粘土層の分布深度は、全体として浅くなり、和田岬断層・摩耶断層を境に相対的に隆起傾向にあることがわかった。Ma 3～Ma 6 層準の海成層は、低地部の地下に広く分布し、断層で境された基盤山地の近くまで及ぶ。その上位の層準は、山麓部に近づくほど粗粒化し、背後山地の上昇傾向による粗粒碎屑岩物供給量の増加を示唆するとみられる。

浅層ボーリングの資料をもとにした上部更新統以上の岩相の特徴から、神戸・阪神地域の低地部を、武庫川地区 (Ma 12・Ma 13 層が広く分布し、大阪平野の標準的な岩相と類似する)、東灘地区・中央地区 (基盤山地が存在し、粗粒堆積物が卓越する)、長田～和田地区 (更新統からなる丘陵地の南に位置し、低地の表層に軟質な粘土・シルト層が広く分布する) の 4 つに区分した。

キーワード：第四系、兵庫県南部地震、ボーリング、層序、地盤

I. はじめに

地震時に生じる地震動やそれによる震災の分布は、地下に厚く分布する第三紀～第四紀層の地震動特性や、その地質構造が大きく関与していることが従来から指摘されている。しかし、それらを具体的に示す資料が、この地震以前には神戸・阪神間地域では希薄であった。そのため、地震以降にこれらの基礎資料を得る目的で、各関連機関が深層ボーリング、弾性波探査などの調査を実施してきた。また、これまでに蓄積されていた建設基礎調査のボーリング資料を集約したデータベースを用いて地下浅層部の再検討も進められてきつつある。これらの結果は、関西地盤情報活用協議会 (1998) にその概要がとりまとめられて報告されている。ここでは、これをもとにして、ボーリング資料から読みとれる神戸～大阪地域の地下地質の特徴について報告する。

II. 大阪平野地下の研究史と第四系層序

大阪平野の深層の地下地質の研究は、1949～1951 年にかけて行われた天然ガス調査を発端としている。この調

査では、大阪平野周辺部の丘陵地に露出する第四紀層の地表調査と、東大阪地域における掘進長 500 m の 2 本のボーリング調査が実施された (大阪府商工部, 1950, 1951)。この調査から、平野地下に未固結な第四紀層が厚く分布し、それらと丘陵地に露出する第四紀層と対比が可能であることが明らかとなった。丘陵部については、これを契機に地表地質調査が進み、千里丘陵・泉南・泉北地域などをはじめとする岩相層序・生層序などの詳細な資料が収集された (市原ほか, 1955, 1977; Itihara *et al.*, 1987)。

天然ガス調査の際の 2 本のボーリング調査では、その試料採取率が悪く、細かな対比が確定されなかった。しかし、その後、地盤沈下対策のための 9 ヶ所での長尺ボーリング調査が 1960 年代に実施された。これらは OD ボーリング (OD-1～OD-9) と呼ばれている (Ikebe *et al.*, 1970; 三田村ほか, 1998)。その中でも大阪市港区で行われた OD-1 ボーリング資料は、大阪平野地下における第四紀層を主とする標準的な層序を示す基準とされている。OD ボーリングを基本として、平野地下の基盤岩を覆う新生代層の層序区分としては、当初、下位より神戸

2000 年 2 月 21 日受付。2000 年 3 月 15 日受理。1999 年度日本第四紀学会大会シンポジウムにおいて講演。

*1 大阪市立大学理学部地球学教室 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138. E-mail : [REDACTED]

*2 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町。

*3 (財)地域地盤環境研究所 〒550-0012 大阪市西区立売堀 4-3-2。

層群, 先大阪層群(下部~中部鮮新統), 大阪層群, 上部洪積層(段丘構成層相当層), 梅田累層(難波累層, 沖積層相当層)にあたとされた(Ikebe *et al.*, 1970). そして, 大阪平野地下の第四系には, Ma 0~Ma 13 層の少なくとも 14 層の海成粘土層が確認された. そのうち, 大阪層群には Ma 0~Ma 10 層が, 上部洪積層には Ma 11・Ma 12 層が, 難波累層には Ma 13 層が挟まれるとされている(Ikebe *et al.*, 1970). その後, OD-1, OD-2 ボーリングコアの再検討が行われ, 神戸層群, 先大阪層群とされていた地層は, 大阪層群最下部および下部に相当することが明らかとなった(吉川ほか, 1987). また, 吉川ほか(1987)は, Ma 0 層の下位に挟まれる海成粘土層を泉南地域で確認されている Ma-1 層に対比した.

一方, 浅層のボーリング資料の収集が行われ, 『大阪地盤図』(日本建築学会近畿支部・土質工学会関西支部, 1966)・『新編大阪地盤図』(土質工学会関西支部・関西地質調査業協会, 1987)・『関西地盤』(土質工学会関西支部・地下空間の活用と技術に関する研究協議会, 1992)としてとりまとめが行われている. また, 炭素同位体年代測定や縄文期以降の遺跡分布などの資料をもとに, 大阪平野地下の上部更新統より上位の地層の分布状況が徐々に明らかとなってきた(梶山・市原, 1972; Mitamura *et al.*, 1994; 三田村, 1997).

これに対して, 神戸・阪神間地域は『神戸の地盤』(神戸市企画局総合調査課, 1980)・『関西地盤』(土質工学会関西支部・地下空間の活用と技術に関する研究協議会, 1992)でその概要が報告されているが, 地層分布に関する詳細は不明であった.

神戸・大阪沿岸部のボーリング試料の層序学的調査から, Ma 11 層の層準には 3 層の海成層準が存在することが明らかになり, Ma 11(1), Ma 11(2), Ma 11(3)が認定された(Furutani, 1989). また, 沿岸部のボーリング資料はデータベースとして集約され, 「海底地盤—大阪湾を例として—」(土質工学会関西支部, 1995)としてとりまとめが行われた.

1995 年兵庫県南部地震の後, 主要な地震被災地である神戸・阪神間の地下の地質資料がほとんどなかったことから, 地質調査所・兵庫県などが長尺ボーリングや弾性波探査をはじめとする地下地質調査を実施している(衣笠・水野, 1996; 兵庫県立人と自然の博物館, 1997 など). これについては後述する.

また, 大阪平野では, 地質調査所・大阪市が実施した 4 本の長尺ボーリングによって, 細かな岩相記載が行われた(吉川ほか, 1997, 1998). そして, それらをもとに

した層序対比がなされるとともに, Ma 0 層と Ma 2 層の間に新たな海成層の層準(Ma 0.5, Ma 1.3, Ma 1.5, Ma 1.7 層)が認定された(吉川ほか, 1998). したがって, これまでに確認された大阪平野地下の第四系に挟まれる海成粘土層は 21 層準である.

大阪平野で行われた OD ボーリングや震災後に実施された深層ボーリングをもとに, OD-1, OD-2 コアを模式層序として, 大阪平野地下の岩相層序は再区分された(吉川・三田村, 1999). 再区分された大阪平野地下の第四系を主とする岩相層序は, 下位より淡水成層のシルト・砂・礫の互層からなる都島累層(大阪層群最下部から下部の下半部の地層に相当)と, 海成粘土層と淡水成の砂礫層との互層からなる田中累層(大阪層群下部上半部, 大阪層群上部および段丘構成層に相当), およびそれらを不整合に覆い, 主として軟質な海成粘土層(Ma 13 層)と砂層とからなる難波累層(上部更新統の上部~完新統)に区分される. さらに, 大阪平野地下第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対比が行われ, 各海成粘土層(Ma-1~Ma 12)の形成時期は酸素同位体の奇数ステージ 37~5 の高海面期に対比できることが示された. また, OD-1 ボーリングとほかの大阪平野のボーリングに挟まれる海成粘土層の深度分布は, 顕著な相関関係がみられ(三田村・吉川, 1999), 規則的な造構運動のもとに, 海水準変化の影響を受けて地層形成がなされたことがうかがえる.

III. 神戸・阪神間の長尺ボーリングコアの岩相と対比

神戸・阪神間地域では, 地質学的検討の加えられた掘削深度 200 m を超える長尺ボーリングのうち, 資料の公表されているものは 8 ヶ所ある(図 1: 関西地盤情報活用協議会, 1998). そのうち, 地質調査所を中心として実施された神戸市東灘区魚崎浜の掘削長 1,700 m の東灘ボーリング(衣笠・水野, 1996; 関西地盤情報活用協議会, 1998)は, 従来行われた長尺ボーリングの中で最も掘削長が深く, コア採取率も良好で, この地域の標準的なボーリング資料の一つである. ここでは, 東灘ボーリングコアについてふれるとともに, そのほかの長尺ボーリングとの比較を行う.

1. 東灘ボーリングコア

東灘ボーリングは, 神戸市東灘区魚崎浜町 1 丁目(北緯 34°42'9", 東経 135°16'35", 地表面標高 2.68 m)の埋立地で行われたオールコアボーリング(掘進長 1,700 m, コア採取率 96%)である(関西地盤情報活用協議会,

図1 神戸・阪神間地域の長尺ボーリング対比図
 谷本・竹山(1992), 衣笠・水野(1996), 石原ほか(1997), 竹村ほか(1997),
 関西地盤情報活用協議会(1998), 三田村ほか(1998)をもとに作成。

1998). 採取されたボーリングコアは未固結～半固結の堆積物と花崗岩質の基盤岩類からなる。深度 1,545.7 m より下位は花崗閃緑岩からなり、上位の堆積層に不整合で覆われている。

堆積層は、主として粘土・シルト・砂・礫からなり、少なくとも 16 層の海成粘土層と 37 層の火山灰層あるいは火山灰質シルト層が挟まれている。堆積層は、その岩相の特徴から、主として淡水成のシルト・砂・礫などからなる深度 1,545.7～691.8 m の K1-L 層と、海成粘土層とシルト・砂・礫などからなる深度 691.8～23.3 m の K1-U 層の 2 つに大きく区分される。

K1-L 層は、主として淡水成のシルト・砂・礫から構成され、5 層の火山灰層を挟む。K1-L 層は、その岩相の違いから、アルコース質砂層優勢のシルト・砂・礫の互層からなる深度 1,545.7～1,509.6 m の K1-L 層下部、シルト・砂の互層からなる深度 1,509.6～1035.9 m の K1-L 層中部、礫混じりの砂層とシルトの互層からなる深度 1,035.9～691.8 m の K1-L 層上部に区分できる。

K1-U 層は、厚い海成粘土層とシルト・砂・礫層から構成される。K1-U 層は、少なくとも 16 層の海成粘土層を挟むほか、少なくとも 32 層の火山灰層や火山灰質シルト層を挟んでいる。本層は、岩相の違いにより、砂層・シルト層が優勢な深度 691.8～445.2 m の K1-U 層下部と、厚い海成粘土層を主体とする深度 445.2～176.8 m の K1-U 層中部と、砂礫層が優勢となる深度 176.8～23.3 m の K1-U 層上部の 3 つに細分される。

衣笠・水野(1996)は、これらの肉眼観察による特徴と海成粘土層との層序関係から、深度 648.00 m, 565.55 m, 536.53 m, 433.85 m, 422.10 m, 350.90 m, 245.32 m, 174.75 m, 26.15 m の火山灰層をそれぞれイエロー、ピンク、光明池Ⅲ、アズキ、狭山、八町池、カスリ、鳴尾浜Ⅳ、始良火山灰層に対比している。また、これらの火山灰層の対比と同時に、16 層の海成粘土層を下位より順にそれぞれ Ma-1, Ma0, Ma1, ……Ma10, Ma11(1), Ma11(2), Ma11(3), Ma12 層に対比している。

上記の海成粘土層や火山灰層の対比のうち、Ma3 層(深度 445.2～411.3 m)・アズキ火山灰層(深度 433.85 m)の対比は、その下位にメタセコイア属(*Metasequoia*)帯とブナ属(*Fagus*)帯の境界が設定されるという花粉分析結果とも整合的である。

2. 地層分布深度と岩相の比較

まず、対比が確実であるとみられるアズキ火山灰層の挟まれる深度を比較する。掘削箇所が旧海岸線付近に位置している OD-1, 東灘(GS-K1), 摩耶埠頭(MY)の各

ボーリングでは、アズキ火山灰層は深度 400～450 m の類似した分布を示す。しかし、海岸付近に位置する長田(GS-K4)ボーリングでは、アズキ火山灰の存在深度は深度 260 m となり、ほかの 3 地点と比べると浅くなる。これは、摩耶埠頭と長田ボーリングの地点間に和田岬断層や摩耶断層が存在し、その垂直変位によるとみられる。反射法地震探査結果(横倉ほか, 1998)によると、大阪湾北西部に確認されている大阪湾断層の北東延長部は、六甲アイランド沖の海域ではその垂直変位が不明瞭となり、これより北東へは延長しないと考えられている。このことから、大阪湾断層で生じている垂直変位は、より北側の和田岬断層や摩耶断層へと分散していくとみられる。つまり、GS-K4 とほかの海岸沿いのボーリングとの間のアズキ火山灰層の分布深度の違いはその現れであろう。また、内陸低地側で掘削されたボーリングの石屋川南(GS-K3), 兵庫駅南(HS)ボーリングも、GS-K4 ボーリングと類似した 200～300 m の深度にアズキ火山灰層が存在している。海岸線付近に比べると、アズキ火山灰層の層準で 100～200 m の垂直変位が生じているようである。

六甲山麓部に近い地点で掘削された石屋川沿いの 2 本のボーリング(GS-K2, GS-K3)のうち、南側の GS-K3 ボーリングには、Ma7 層以下の海成粘土層が挟まれるほか、その上位の層準とみられる海成砂層も挟まれている。また、御影撓曲を挟んで GS-K3 の約 300 m 北側に位置する GS-K2 でも海成砂層が 3 層準挟まれている。GS-K2 ボーリングコアでは、メタセコイア属(*Metasequoia*)の花粉をほとんど含まないという花粉分析の結果(衣笠・水野, 1996; 関西地盤情報活用協議会, 1998)から、これらの海成砂層の層準は Ma3 層準よりも上位の海成層であるとみられている。つまり、Ma3 層準より上位の層準の海成層は、内陸低地部の地下に比較的広く分布し、その北縁は渦ヶ森断層のすぐ南まで達しているようである。

いずれのボーリング地点でもその岩相は、上方へ向かって礫層を顕著に挟むという共通した特徴を持つ。その傾向は、石屋川(図 1 の GS-K2・GS-K3)のように、基盤山地に近い地点ほど全体に粗粒層が多く、礫層が顕著になる層準は Ma6 層準前後からである。それに対して、沿岸部の東灘(図 1 の GS-K1)や南芦屋浜(図 1 の SA)では、より上位の層準から粗粒化が顕著となる。

IV. 建設基礎調査ボーリングデータベースからみた表層地質

ここで報告する神戸・阪神間地域の浅層建設基礎調査ボーリングを用いた検討結果は、関西地盤調査情報データベースをもとに行ったものである。このデータベースは、1989年に発足した「地下空間の活用と技術に関する研究協議会」において、DIG(Database for Information of Ground)と呼ばれるデータベース管理システムを用いて構築された(山本ほか, 1991)。ここで入力されているボーリング資料は、地質柱状図をはじめとして土質試験・検層など多岐に及び、京阪神地域の低地部を中心として、その入力本数は30,000本を優に超えている(関西地盤情報活用協議会, 1998)。神戸・阪神間地域で集積されたボーリング本数は約8,000本に及ぶ。入力されている本地域のボーリング資料の調査深度は、沿岸部で30~50m、内陸部ではそれより短く、長いものでも30m程度である。

本地域の地層区分を行うため、データ密度の高い路線沿いの断面をもとに大きく区域分けをし、その基準断面と、層序の明確ないくつかの基準ボーリングをもとに地層区分を行った。また、側方連続性の高い海成粘土層が広く分布する湾岸域において、層序の明確な地域南側から内陸部の北側に向けて地層の追跡を行い、平面的な地層分布の把握に努めた。

1. 上部更新統以上の地層分布

神戸・阪神間で建設基礎調査ボーリングが最も密に存在する断面が描けるのは阪神高速神戸線沿いである。阪神高速神戸線では、旧自然海岸線の北側の沖積低地に沿って、六甲山地と海岸に広がる細長い低地部を縦断する断面が描ける(図2)。

神戸・阪神間は全般的には、Ma 12・Ma 13層の厚い海成粘土層としての分布は、自然海岸線付近より南側の海域部を主とする(図3)。一方、内陸低地部には、扇状地成の砂礫層を主とする粗粒堆積物が卓越している。各河川の後背地の違いを反映して、地域ごとに特徴的な堆積物が分布する。阪神高速神戸線沿いの断面では、その特徴の違いが顕著に表現されている。

大阪平野の沿岸部では、Ma 12・Ma 13層が側方に良く連続し、岩相の多様性は比較的少ないのに対して、神戸・阪神間は上記のように岩相変化が著しく、地下表層部の地層区分が難しい。これは、神戸・阪神間の主要部では六甲山地が地区の北側に隣接していて、山麓扇状地が顕著に発達し、粗粒碎屑物を主とする土砂供給が多いことが影響しているとみられる。北側に丘陵・台地が位置する西宮・長田などでは、表層部に比較的細粒な堆積物からなる地層が連続よく分布する。

この断面を基本断面として、表層部の岩相の特徴から、この地域を東から武庫川(Ma 12・Ma 13層が内陸まで連続して確認される地区)・東灘(旧海浜部の砂堆とみられる砂層が住吉川を中心に東西に帯状に広がる地区)・中央(扇状地成の砂礫層が顕著に発達する地区)・長田～和田(Ma 12・Ma 13層の分布が認められ、沿岸部の表層に礫層が発達する地区)の4地区に区別した(図2)。

Ma 12層以上の地層について、東側から順に地区ごとの特徴を示す。

(1) 武庫川地区

本地区は、神崎川から芦屋市宮川までの主として沖積低地からなる地区である。中央部に武庫川が南北に流れ、神崎川・武庫川の後背低地と沿岸砂州・自然堤防などの微高地とからなる(国土地理院, 1983)。

本地区では、内陸までMa 12層・Ma 13層が側方によく連続して広い範囲に分布することが特徴となっている(図4)。本地区は、大阪平野主要部の北西域に連続する部分であり、地層構成は類似している。

Ma 12層は、地区東部では基底面標高-40m付近にあり、層厚20mに達する。旧自然海岸線より南では、厚さ20m前後で基底面は南西に傾斜し、その標高は西宮浜南で-60mとなる。またMa 12層は、武庫川以西で基底面標高が徐々に高くなるとともに、その層厚を減じ、全体に粗粒化して、夙川東方でその分布が西に追跡できなくなる。Ma 12層は、武庫川・猪名川間に広がる伊丹台地地下の伊丹粘土層(藤田・前田, 1971)に連続する(図3)。山陽新幹線付近では、基底面標高は約0m、厚さ2~3mとなる。武庫川以西から本地区西縁までは、名神高速道路と阪神電鉄本線がほぼその北限となっている。

Ma 12層とMa 13層との間の地層は、主として砂礫層から構成される。この砂礫層は層厚数~10mあり、武庫川に沿う地域では厚くなる傾向にあり、図4の断面でも15mに達する所がみられる。この砂礫層は地区の北側に分布する伊丹礫層(藤田・前田, 1971)に連続するほか、東方へは大阪平野域に広く分布する天満層(土質工学会関西支部・関西地質調査業協会, 1987)に連続する。東灘区本山北町の標高15.46mには始良Tn火山灰に対比される火山灰層が挟まれている(竹村ほか, 1997)。

旧海岸線の南に位置する西宮浜埋立地の地下では、内陸部から連続する礫層の下位に粘土・砂・礫からなる互層が発達する。この互層は、南に向かってその厚さを増し、西宮浜南部で10m以上となる。

Ma 13層は、旧自然海岸線より南に標高-20m前後に

図2 沿岸部に沿う地質断面図
 関西地盤情報活用協議会(1998)をもとに作成.

図 3 Ma13 層・Ma12 層の層厚分布図
 関西地盤情報活用協議会(1998)をもとに作成。

基底面を持って広く分布し(図3), 厚さ10~15mである。Ma13層の基底面の標高は, 地区の東部で-24m, 西部で-10mと徐々にその標高は高くなっていく。基底面の標高の変化とともに地区西部に向かって, その層厚は14~3m程度に薄くなる。武庫川以西ではMa13

層は, 徐々に砂質となり, 夙川付近では砂層に側方変化する(図2の断面)。Ma13層の上位には, 砂優勢のシルト・砂・礫の互層が広く分布する。

(2) 東灘地区

本地区は芦屋市宮川から石屋川東方までの沖積低地と

図4 4地区の代表的な地質断面図

関西地盤情報活用協議会(1998)をもとに作成。

扇状地からなる地区である。

本地区の Ma 12 層の基底面は、六甲アイランド北方で標高 -75 m、その南方で標高 -100 m で、全体に南西に緩やかに傾いている。その厚さは 10~20 m で、北に向かって薄くなる(図 3)。旧海岸線より北側では、掘進長の長い資料がほとんどないため、その分布は確認できない。

Ma 12 層と Ma 13 層との間の地層は、厚さ 30~40 m の礫・砂優勢のシルト・砂・礫の互層からなり、腐植土層を挟む。この互層は、南方へ向けて全体に細粒化して、六甲アイランド南方では砂優勢の互層となる。一方、北部では調査深度が浅いため、その上部とみられる層準しか確認できないが、礫層優勢となる。魚崎浜の GS-K 1 ボーリングでは、本層最上部の標高 -23.47 m で始良 Tn 火山灰に対比される火山灰層が挟まれている。

Ma 13 層は、旧自然海岸線よりも南側に広く分布し、南に向かって厚さを増し、六甲アイランド南部では基底面標高 -35 m、層厚 20 m に達する。旧自然海岸線よりも北側の低地部には、淘汰の良い中粒~粗粒砂層が標高 -10~0 m 付近に発達する(図 2, 図 4)。この砂層は、国道 43 号付近で海岸線に平行するように厚い箇所が帯状に存在し、その南北両側で薄くなっている。この砂層は青木砂層と呼ばれ(関西地盤情報活用協議会, 1998)、砂浜海岸の堆積物とされ、Ma 13 層とは同時異相またはその上位に位置するものとみられる。魚崎浜や六甲アイランドでは、Ma 13 層の上位に 10~15 m の沿岸埋立土層が分布する。

(3) 中央地区

本地区は、石屋川東方から JR 元町駅の西方までの沖積低地と扇状地からなる地区である。

本地区の Ma 12 層は、旧自然海岸線よりも南側に広く分布する。その基底面標高はポートアイランドでは -70~-80 m、旧海岸線付近では -50 m 付近にある。東側の東灘地区と比べると、その分布標高は 30 m 以上浅くなる。これは、六甲アイランドとポートアイランドの間に存在する摩耶断層によるものである。内陸低地部では、調査深度が深い資料がなく、その分布は不明である。本地区西部の国道 43 号~2 号沿いの断面では、Ma 12 層の撓曲構造が現れている。撓曲部で Ma 12 層は東あるいは東南東の傾斜を示し、その基底面は標高 -20~-40 m に変化する。この撓曲構造は和田岬断層の北側に連続する構造とみられる。

Ma 12 層と Ma 13 層間の地層は、東灘地区と同様、砂礫優勢のシルト・砂・礫の互層からなる。その基底面標

高は、ポートアイランド中央部で -40~-60 m、厚さ 20~40 m で、摩耶断層の影響を受け、東灘地区に比べると相対的にその分布は浅く、層厚は薄くなる。北側の内陸低地部へ向けて粗粒化し、礫優勢の砂礫互層となる。地層の側方への連続は悪い。ポートアイランド南端部の標高 -40.35 m には、始良 Tn 火山灰に対比される火山灰層が挟まれている(宮川ほか, 1996)。

Ma 13 層はポートアイランド以南に広く分布し、その基底面標高は -20~-30 m で、厚さ 10~20 m である。旧自然海岸線より北側には分布しない。ポートアイランドと六甲アイランドの間にある摩耶断層による垂直変位は、Ma 12 層のように明瞭ではない。

(4) 長田~和田地区

本地区は、JR 元町駅の西方から妙法寺川までの主として沖積低地からなる地区である。

Ma 12 層は、中央地区との境界部にみられる和田岬断層に伴う撓曲でいったん基底面標高が -20 m 付近に浅くなるが、南西方向に徐々に深くなり、JR 新長田駅南方の GS-K 4 地点では標高 -45 m となる。ほかの地区に比べ、全体にその厚さは数 m と薄い。本地区の Ma 12 層は、全体に砂質粘土となっている。調査深度の深い資料が少なく、分布の詳細は不明である。

Ma 12 層と Ma 13 層の間の地層は、厚さ 20 m 前後で、礫優勢のシルト・砂・礫の互層からなる。ほかの地区と同様、南方へ砂優勢の互層となり、腐植物層を挟むようになる。

Ma 13 層は基底面標高 -20~-15 m 付近にあり、厚さ 2~数 m で、JR 山陽線新長田駅付近までその連続が確認できる。

Ma 13 層の上位には厚さ 10 m 程度の N 値 40 前後の礫層が分布する。礫層の基底面標高は -6~-2 m で、東は花隈付近、西は妙法寺川付近まで海岸線よりやや内陸部に帯状に分布する。この礫層は長田礫層と呼ばれている(関西地盤情報活用協議会, 1998)。また、標高 0 m 以上に植物片を多量に含む厚さ数~10 m の粘土・シルト層が挟まれる。この層は、長田礫層の北側に平行するように西は妙法寺川、東は JR 兵庫駅の西方まで帯状に分布する。このシルト・粘土層は長田泥層と呼ばれている。長田礫層と長田泥層とは同時異相の関係にあるとみられ、その分布と岩相から、沿岸州とその内側に形成された後背湿地の環境で形成された堆積物と考えられる。表層部に軟弱な泥層が顕著に分布する地域としては、神戸・阪神間の中ではこの地域が最も広い。長田泥層が分布する地域で、1995 年兵庫県南部地震の建物被害が相対

的に大きくなり、表層軟弱地盤での地震動増幅に伴う被害集中が生じたとみられる(関西地盤情報活用協議会, 1998)。

V. ま と め

旧自然海岸沿いで掘削された深層ボーリングの比較の結果、摩耶埠頭付近より東側では、第四系に挟まれる各海成粘土層の分布深度はほぼ類似し、大きな地質構造の変化は認められない。しかし、神戸港より西側の長田付近の海成粘土層の分布深度は全体として浅く、相対的に隆起傾向にあることがわかった。この間には、大阪湾断層の北東への延長とみられる和田岬断層、摩耶断層が存在し、これによって垂直変位が生じているとみられる。

沿岸部から内陸への岩相変化について、Ma 3 層準より Ma 6 層準の海成層は、内陸低地部の地下に比較的広く分布し、断層で境された基盤山地の近くまでその分布が及んでいる。一方、より上位の層準では、山麓部に近づくほど粗粒化が顕著となる。これは、背後の山地の上昇に伴う粗粒碎屑岩物供給量の増加を示唆するとみられる。

浅層ボーリングの資料をもとにした上部更新統以上の岩相の特徴から、神戸・阪神地域は武庫川・東灘・中央・長田～和田の4地区に分けられる。武庫川地区は、背後に更新統から構成される伊丹台地・西宮付近の丘陵からなり、大阪平野の標準的な岩相と類似する。一方、背後に基盤山地が存在する東灘・中央地区は、粗粒堆積物が卓越し、山地からの粗粒碎屑岩物の供給が多いことを示唆する。長田地区では、更新統からなる丘陵地の南に位置する低地の表層に後背湿地に堆積したとみられる粘土・シルト層(長田泥層)が広く分布している。この分布範囲では、兵庫県南部地震による建物被害が集中し、表層の軟質層による地震波の増幅が生じたものとみられる。

引用文献

- 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会(1987)新編大阪地盤図。285 p, コロナ社。
- 土質工学会関西支部・地下空間の活用と技術に関する研究協議会(1992)関西地盤。212 p, 土質工学会関西支部。
- 土質工学会関西支部(1995)海底地盤—大阪湾を例として—。590 p, 土質工学会関西支部。
- Furutani, M. (1989) Stratigraphical subdivision and pollen zonation of the middle and upper Pleistocene in the coastal area of Osaka Bay, Japan. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 32, 53-83.
- 兵庫県立人と自然の博物館(1997)阪神・淡路大震災と六甲変動—兵庫県南部地震域の活構造調査報告—。106 p, 兵庫県神戸土木事務所。
- 藤田和夫・前田保夫(1971)伊丹の地質構成。伊丹市史編纂室編「伊丹市史」: 7-53, 伊丹市。
- Ikebe, N., Iwatsu, J. and Takenaka, J. (1970) Quaternary geology of Osaka with special reference to land subsidence. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 13, 39-98.
- 石原奈津子・三田村宗樹・田中幸英・衣笠善博(1997)神戸市長田区GS-K 4ボーリング資料の深度75 m以浅の火山ガラス分析。Fujii, S. *et al.* (eds.) *The Proceedings of the 7th Symposium on Geo-environments and Geo-technics, 1997*: 331-336.
- 市原 実・藤田和夫・森下 晶・中世古幸次郎(1955)千里山丘陵。地質学雑誌, 61, 433-441。
- 市原 実・吉川周作・林 隆夫(1977)泉南・泉北地域の大坂層群と大阪層群の標準層序。地質学論集, 14, 209-220。
- Itihara, M., Kamei, T., Yoshikawa, S. and Nasu, T. (1987) Late Neogene and Quaternary stratigraphy of Kinki district, Japan. Itihara, M. and Kamei, T. (eds.) *Proceedings of the First International Colloquium on Quaternary stratigraphy of Asia and Pacific Area, Osaka, 1986*: 74-83.
- 梶山彦太郎・市原 実(1972)大阪平野の発達史— ^{14}C 年代からみた—。地質学論集, 7, 101-112。
- 関西地盤情報活用協議会(1998)新関西地盤—神戸および阪神間—。270 p, 関西地盤情報活用協議会。
- 衣笠善博・水野清秀(1996)神戸地域の地下地質。地質調査所編「兵庫県南部地震の地質学的背景(第11回地質調査所研究講演会資料)」: 77-80, (財)日本産業技術振興協会。
- 国土地理院(1983)1/25000土地条件図「大阪西北部」。
- 神戸市企画局総合調査課(1980)神戸の地盤。254 p, 神戸市企画局総合調査課。
- 三田村宗樹(1997)大阪平野西大阪地域の天満層に関わる ^{14}C 年代とその問題点。Fujii, S. *et al.* (eds.) *The Proceedings of the 7th Symposium on Geo-environments and Geo-technics, 1997*: 213-218.
- Mitamura, M., Matsuyama, N., Nakagawa, K., Yamamoto, K. and Suwa, S. (1994) Stratigraphy and surface structure of Holocene deposits around

- Uemachi upland in the central Osaka Plain. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 37, 182-212.
- 三田村宗樹・吉川周作・石井陽子・貝戸俊一・長橋良隆 (1998) 大阪平野 OD ボーリングコアの岩相. 大阪市立自然史博物館研究報告, 52, 1-20.
- 三田村宗樹・吉川周作 (1999) 大阪平野第四系の海成粘土層基底深度分布の統計的検討. 応用地質, 40, 149-158.
- 宮川ちひろ・吉川周作・池田善考 (1996) 神戸市中央区ポートアイランド, ボーリングコアの中・上部更新統火山灰層序. 地球科学, 50, 456-465.
- 日本建築学会近畿支部・土質工学会関西支部 (1966) 大阪地盤図. 171 p, コロナ社.
- 大阪府商工部 (1950) 大阪天然瓦斯調査報告書 (昭和 24 年度). 97 p, 大阪府.
- 大阪府商工部 (1951) 大阪天然ガス調査総合報告書 (昭和 25 年度). 29 p, 大阪府.
- 竹村恵二・加藤茂弘・井上善夫・石沢一吉・大鹿明文・戸来正嗣・野尻誠二・檀原 徹・林田 明・佐野正人 (1997) 六甲南縁部の地下堆積物の研究—神戸市摩耶埠頭および東灘区でのボーリング調査—. 兵庫県立人と自然の博物館編「阪神・淡路大震災と六甲変動—兵庫県南部地震域の活構造調査報告—」: 10-56.
- 谷本喜一・竹山征治 (1992) ポートアイランド (第 2 期) の地質構成. 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編「関西地盤の地質構造と土質特性に関する最近の知見シンポジウム発表論文集」: 113-118.
- 山本浩司・岩崎好規・諏訪靖二 (1991) 地盤情報データベースシステムの開発と大阪地盤への適用. 土質工学会地盤情報のデータベース化に関する研究委員会編「地盤情報のデータベースに関するシンポジウム」: 143-150, 土質工学会.
- 横倉隆伸・加藤直巳・山口和雄・宮崎光旗・井川 猛・太田陽一・川中 卓・阿部 進 (1998) 大阪湾における反射法深部構造探査. 地質調査所月報, 49, 571-590.
- 吉川周作・中川康一・川辺孝幸・古谷正和・大四雅弘 (1987) 大阪市深層ボーリング OD-2・OD-1 コアの再検討. 地質学雑誌, 93, 653-655.
- 吉川周作・佃 栄吉・三田村宗樹・中川康一・水野清秀・東脇愛子・片岡香子 (1997) 大阪市天王寺区夕陽丘 600 m ボーリングコアの岩相・火山灰層序. 地質調査所月報, 48, 661-672.
- 吉川周作・三田村宗樹・中川康一・長橋良隆・岩崎好規・越後智雄・辻江賢治・北田奈緒子 (1998) 大阪市津守・大手前・浜ボーリングコアの岩相・火山灰層序. 地質学雑誌, 104, 462-476.
- 吉川周作・三田村宗樹 (1999) 大阪平野第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対比. 地質学雑誌, 105, 332-340.

Subsurface Geology Reviewed with Drilling Data in the Kobe – Hanshin Region, Central Japan

Muneki Mitamura*¹, Keiji Takemura*², Naoko Kitada*³
and Reiko Saito*³

The subsurface geology in the region of the 1995 Kobe (Hyogoken-Nanbu) earthquake in central Japan is significant for understanding the causes of severe earthquake damage. This paper introduces the subsurface geology in the Kobe and Hanshin region (between Osaka and Kobe) based on the stratigraphy of Pliocene–Pleistocene unconsolidated sediments collectively called the “Osaka Group” and the distribution pattern of late Pleistocene to Holocene sediments in shallower areas.

Subsurface geology revealed by deep drilling : All deep drilling cores in the Kobe region were correlated by marine clay number (Ma-1 to Ma 13) and volcanic ash layers. The depth difference of Azuki volcanic ash layer between the eastern part (400–450 m deep) and the western part (260 m deep) indicates activity of the faults with NE–SW or N–S directions across the present sea coast (Wadamisaki and Maya Faults). Coarser sediment supply at the upper part of sequence might be influenced by recent acceleration of uplifting of mountainous area.

Distribution of late Pleistocene to Holocene

sediments in shallower areas : The Geo-Database Information Committee of Kansai collected shallow drilling data from more than 30,000 wells in the Osaka and Hanshin–Kobe area. The data alignment along National Highway No. 43 clearly revealed the lateral lithological variation of the shallow subsurface geology in this area. The shallow subsurface geology can divide the area into 4 regions (Mukogawa, Higashinada, Chuo, Nagata–Wada from east to west). The Mukogawa region is characterized by the continuity of Ma 13 and Ma 12 marine clay beds with inland areas. In Higashinada, distribution of well sorted sand deposits along the coast (Ogi sands) is characteristic. Fluvial sands and gravels are developed near the coast in the Chuo area. In the Nagata–Wada area, we can recognize the Holocene marine transgression inland, but coarse gravel beds are also distributed at shallowest part along the coast. These differences result from sediment supply from the mountainside, rock type of provenance, tectonic activity, and topography differences between mountain and coast areas.

* 1 Department of Geosciences, Osaka City University. 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka, 558-8585, Japan. E-mail : [REDACTED]

* 2 Department of Geophysics, Graduate school of Science, Kyoto University. Kitashirakawa oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502, Japan.

* 3 Geo-research Institute. 4-3-2 Itachibori, Nishi-ku, Osaka, 550-0012, Japan.