

西神・北神地域の開発に関する 応用地質学的諸問題

—— 昭和60年度 見学会案内書 ——

1985年11月

日本応用地質学会関西支部

目 次

は じ め に	日本応用地質学会関西支部 支 部 長 鶴 巻 道 二	 2
西神ニュータウン、とくに神戸研究 学園都市付近の地質	神戸大学教育学部 中 島 和 一	 3
神戸市西部（研究学園都市～西神ニュータウン間） の大阪層群の概要	神戸市立教育研究所 前 田 保 夫	 10
神戸市北区の岩盤層における 幹線管渠の施工について	神戸市下水道局	 15
全地質対応形TBMによる 小口径トンネルの建設	日本下水道事業団 村山 哲夫 神戸市下水道局 白水 嘉夫 神戸市下水道局 杉本 茂	 33
近畿・京阪神地区における地球化学的手法による 地震予知の研究 ― 有馬温泉を例として ―	京都大学防災研究所 吉岡 龍馬	 42
有馬・宝塚周辺の有馬層群 ― 特に応用地質に関連して ―	地質調査所・大阪出張所 河田 清雄 大阪府立今宮高等学校 吉田 久昭	 56

見 学 コ ー ス 案 内

集 合 日 時	昭和60年11月30日（土） 午前9時30分
集 合 場 所	国 鉄 三 宮 駅
見 学 コ ー ス	三宮駅 → 新神戸 → 名谷 → 総合運動公園（ユニバー シアード・グラウンド）→ 学園都市 → 第2工業団地 → 農業公園（昼食）→ 押部 → 衛原 → 山の街 → 箕谷 → 有馬温泉 → 新大阪駅
見 学 内 容	都市計画に伴う諸施設の見学、神戸層群および大阪層群の造成地見 学、下水道諸幹線のトンネル工事現場の見学、有馬地区における温 泉と破砕帯に関連する有馬層群の見学および諸施設の見学、その他

は　じ　め　に

本支部の見学会では、54年度に西神地域、56年度に六甲山地を対象としてとりあげている。54年度には、各種の開発工事が計画または実施されつつある西神地域をとりあげ、とくに名谷地区の地質の見学をおこなうとともに、同地区の開発計画についてつぶさに視察した。56年度には、六甲山地における第四紀地殻変動と同山地周辺の応用地質学的諸問題をテーマとし、具体的には六甲の砂防・道路トンネルについての見学と、六甲山地の水質、有馬・宝塚の温・鉱泉群についての話題提供をおこなった。

今年は再び西・北部神戸地域をとりあげることとし、名谷地区においては神戸層群・大阪層群の造成地と都市計画に伴う諸施設を見学することとした。54年度の見学と関連させて、大いに意義があるものとする。北神地域における下水道幹線トンネルの見学は、工事そのものに対する興味もさることながら、この幹線の一部が有馬地区の温泉源に近接していることに問題があり、各種の事前調査が実施されている。

環境問題や建設計画などを考える上で、有意義な見学会となることを期待するものである。

本見学会の開催に当って、案内役と案内書の執筆をお引受け下さった諸氏と、多大の援助を寄せられた神戸市開発局・同下水道局・大林組の各位に対して深く感謝する。

日本応用地質学会関西支部

支部長 鶴 巻 道 二

西神ニュータウン，とくに神戸研究 学園都市付近の地質

神戸大学教育学部 中島 和一

1. はじめに

西神ニュータウンは、神戸市西区の中東部と須磨区西北端部を占める広大な地域であり、神戸研究学園都市はその東南部に位置している。神戸市によるその開発に際して、昭和45年頃から昭和52年頃までの間を主にして数多くの地質調査が行われた。そして、昭和54年までの研究学園都市とこれに隣接した総合運動公園および流通業務団地（いわゆる西神C地区）の地質についての知識は、昭和54年度の見学案内書で述べた。しかし、当時開発工事が行われていたのは、ニュータウン西北部の住宅第1団地および工業団地（西神A地区）と、総合運動公園および流通業務団地であった。

その後研究学園都市などの造成工事が進められ、現在では市営地下鉄西神線の延伸工事も、住宅第2団地（西神B地区）と住宅第1団地まで及んでおり、これらの工事に伴い、高塚山撓曲の露頭が現われたのを始めとして、いくつかの新しい地質学的資料が得られている。それらの資料は、先の見学案内書で述べたことの正しさを立証したが、造成中の昭和56～57年頃に調査した新しい資料を加えて、昭和58年の応用地質学会研究発表会で「神戸研究学園都市付近の地質について」報告した。以下に述べるのはその報告を核としたものであり、現在では土工の進行と多くの施設の構築により、昭和57年当時よりも地質の状況が不明確になっているが、基本的な変化はない。

2. 西神ニュータウンの地質概説

西神ニュータウンの東端付近にはほぼ南北の高塚山撓曲（一部断層）が通っており、これを境にして東方に神戸層群（白川累層）が主に分布し、西方の広い範囲には主に大阪層群が分布している（図1参照）。その大阪層群をおおって、住宅第2団地東南にある吹上の丘陵面などに高位段丘層が見られ、また、伊川、栢谷川、明石川沿いには中位段丘層が分布している。これら新生代層の基盤岩としては、流通業務団地北端に神戸層群と断層で接して六甲花崗岩が露出している。

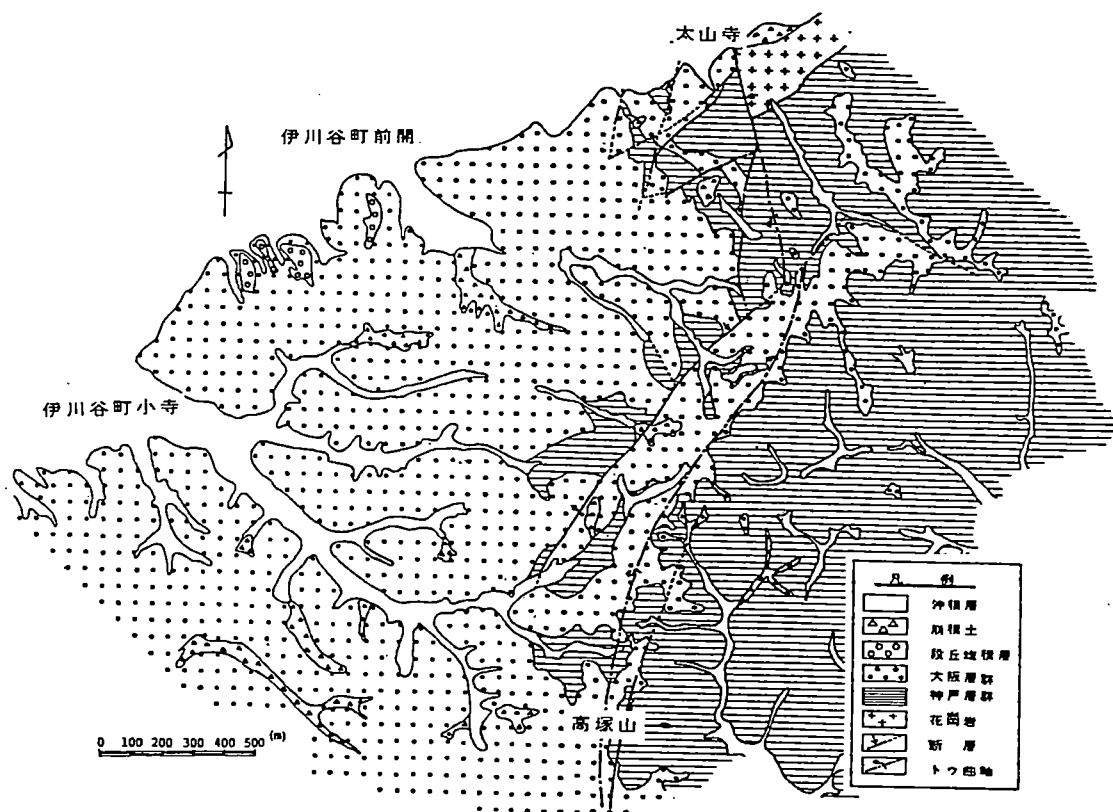


図1 学園都市付近地質概略図

この地域周辺の大阪層群の層序に関しては後述するような問題があるが（図4参照）、高塚山撓曲に近接した部分の大阪層群は殆んど砂礫からなり（図2）、市原等（1960）の垂水礫層に当る。これが学園都市西部から西方では砂礫と粘土の互層になり、ニュートン西北端では全体として粘性土が優勢となる。これらは層序的に大蔵谷層から長坂新田層に相当し、丘陵の比較的低位にあつて、酸性凝灰岩を挟む優勢な粘土層（層厚：10～20m）が大沢粘土層である。海成粘土である高塚山粘土層は学園都市西南部にあり、これに相当すると考えられる海成の砂層（サンドパイプを含む）が住宅第1団地の西南方に見られる。

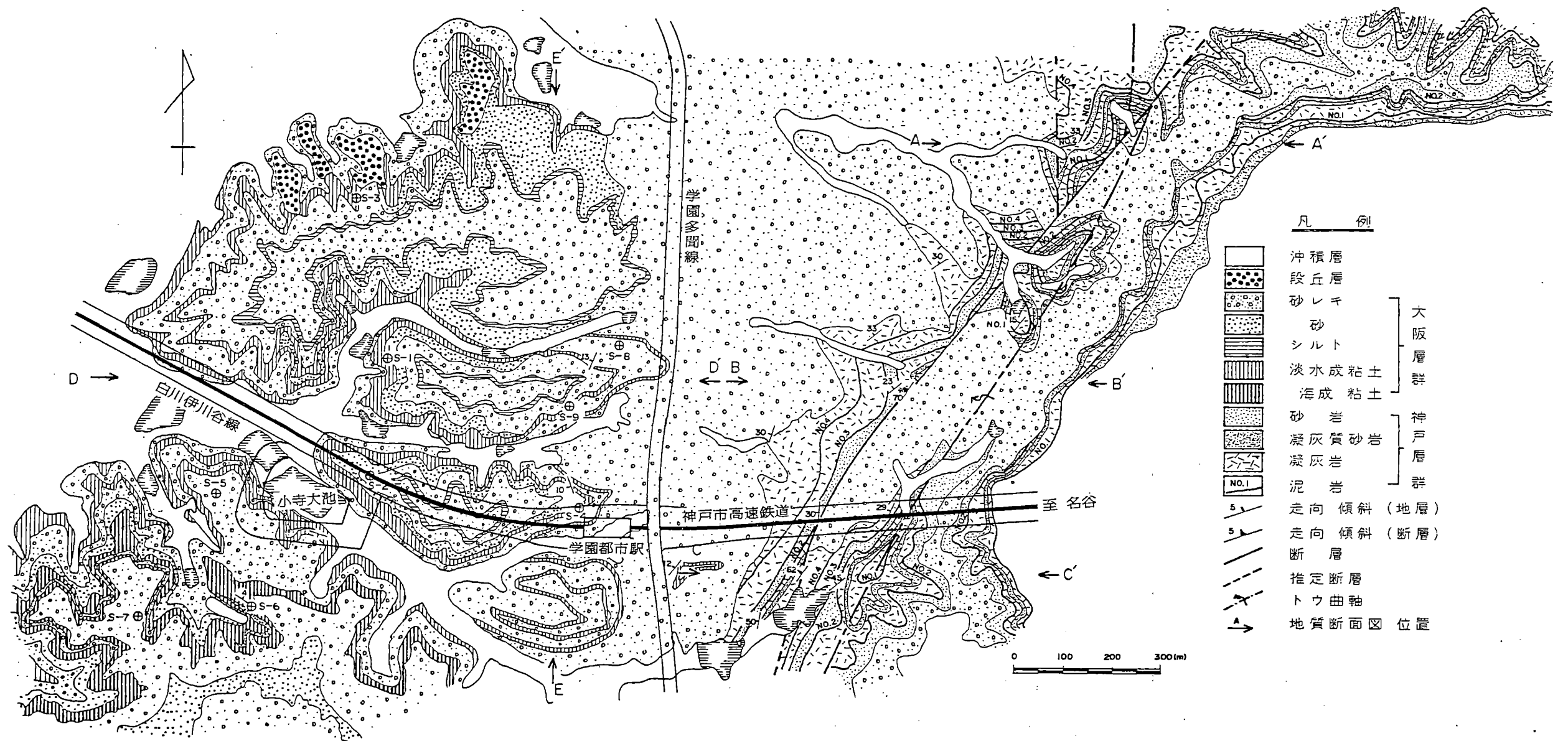


図2 神戸研究学園都市地図 地質図

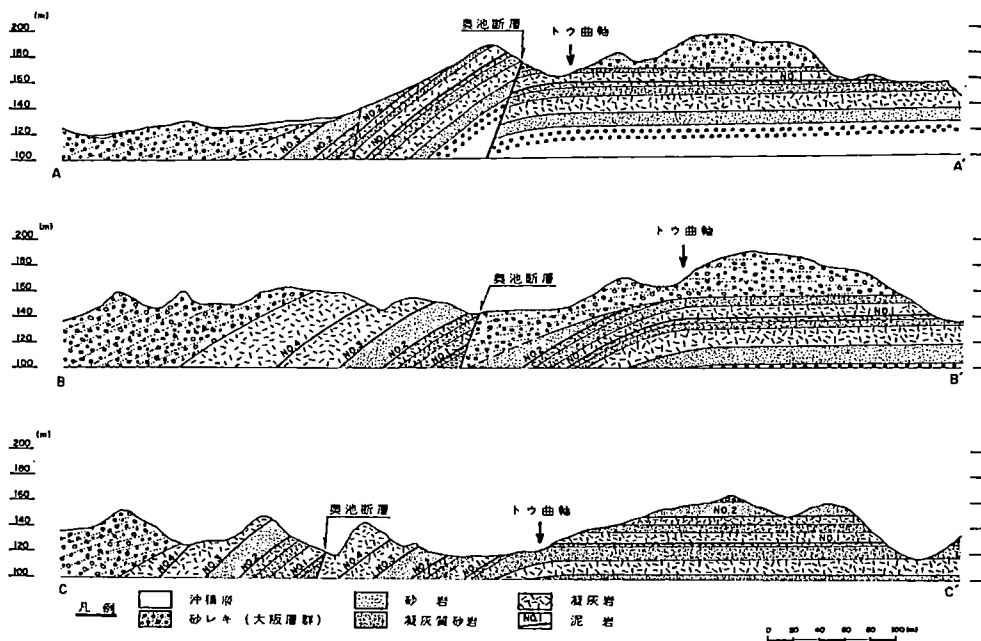


図3 トウ曲帯 地質断面図

3. 神戸研究学園都市付近の地質

図2は、昭和57年当時の地質図にその後構築された施設のいくつかを記入したものである。図2および図3から判るように、研究学園都市付近は主に神戸層群と大阪層群とからなり、大阪層群は神戸層群を傾斜不整合でおおい、部分的に断層で接している。

(1) 神戸層群

神戸層群は見られる限り約80mの層厚をもち、白川累層上部に属する酸性凝灰岩、凝灰質砂岩、砂岩、泥岩などからなっている。凝灰岩には厚さ10m内外のものが3枚ある。その構造は、高塚山撓曲軸以東ではほとんど水平か西へ5°程度傾斜しているのに対して、撓曲軸以西では30°～40°西へ傾斜している。

(2) 大阪層群

大阪層群の層序は図4に示したとおりであり、造成工事によって学園都市西南部に高塚山粘土層（海棲珪藻化石12種を検出）があることが明らかになった。この粘土層と下位の砂層との関係は地域内ではあまり明瞭でないが、地域南方で不整合関係にあることが確認される。そして、藤田・笠間（1983）はこの不整合より上位の地層を明美累層、下位の地層を明石累層と呼んでいる。大沢粘土層に伴う凝灰岩は帯紅白色ないし灰白色の酸性・凝灰岩で、層厚は変化に富み（最大2 m）少なくとも一部は層灰岩である。地域の大阪層群の砂礫は一般に淘汰悪く、粘土質の部分も含み黄褐色ないし褐色を呈する。その粘土部分はモンモリロナイト・バーミキュライト混合層鉱物と雲母を主とし、カオリン、ハロサイトなどを含む。

大阪層群の構造は、高塚山撓曲以西の巾約500 mの間（ほぼ垂直礫層の部分に当る）で、西に急斜しているが（最大約30°）、この部分を除く学園都市周辺から住宅第2団地にかけての大阪層群は、西に5°程度傾斜している。そして、ほぼ大沢粘土層の層準を通る地下鉄西神線の延伸部分では、長径20 m厚さ2 m規模の砂礫のレンズ状岩体が粘土層中に含まれるなどの、乱堆積構造が発達しているのが見られる。

(3) 高塚山撓曲（断層）と奥池断層

高塚山撓曲の名称は先の昭和54年度の見学案内書で始めて提唱したとのことであるが、造成工事によって、予想した通りの撓曲（高塚山撓曲）と断層（奥池断層と呼ぶ）の露頭が現われた（図3）。そして、藤田・笠間（1983）も高塚山撓曲（太山寺南方では断層）の名称を用いているが、奥池断層については高塚山撓曲と一連の高塚山副断層としている。

しかし、上述した神戸層群と大阪層群の構造や岩相から推定される、高塚山撓曲の主要な活動時期は大阪層群（狭義の明石累層）の堆積前から堆積中である（太山寺南方の断層はその後再活動していると考えられる）。これに対して、奥池断層や高塚山東方の断層は明らかに大阪層群堆積後のものであり、北北東－南南西の方向をもって高塚山撓曲を切り、かつ、その差動方向も高塚山撓曲（東上り）とは逆の西上りである（図1参照）。従って、奥池断層を高塚山撓曲の副断層とすることには明らかな無理がある。

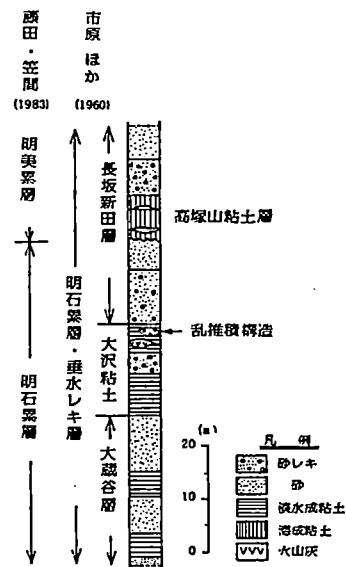


図4 大阪層群地質柱状図

4. あとがき

神戸市による名谷団地や西神ニュータウンの開発工事では、種々な応用地質学的もしくは土質工学的な問題が提起されており、そのうちのいくつかを以下に列記する。

- (1) 名谷・西神地域の開発を始めるに当たっての一つの大きな問題は、これまでのマサ土と異なる神戸層群や大阪層群の土を如何にしてベルトコンベヤーで運搬するかであり、神戸層群とくにその泥岩と凝灰岩の含水比の増大による軟弱化が懸念された。しかし、実際には、予想に反して神戸層群の運搬に大きな問題はなく、むしろ次に述べる大阪層群の砂礫の軟弱化が運搬上の問題になっているようである。
- (2) 地域の大阪層群の大部分を占める砂礫は、淘汰悪く、団結度も低く、かつ、顕著な風化をうけている場合が少なくない。このため、含水比が増すと軟弱になるという欠点があり、また、盛土の展圧をすると地山より体積が減るという現象がおこるようである。
- (3) 粘土層のうち海成粘土層は硫黄を含み、その中の地下水または表流水が硫酸酸性になるため、種々な問題を起こすことが良く知られている。しかし、その一方で海成粘土層中の水は凝固済としての働きをし、工事中の土砂を安定させるとともに、その混入によって濁水の流出を防止するという重要な効果も発揮する。

< 文 献 >

藤田 和夫・笠間 太郎(1983) 神戸地域の地質、5万分の1図幅、地質調査所。

市原 実・小黑 譲司・衣笠 博明(1960) 明石層群、播磨層群について(その2)、地質雑、66巻。

中島 和一(1979) 名谷付近の地質、西神戸地域における応用地質学的諸問題、応用地質学会関西支部。

中島 和一・中山 利忠・村橋 吉晴・末広 国基(1983) 神戸研究学園都市付近の地質について、応用地質学会昭和58年度研究発表会。

神戸市西部（研究学園都市～西神ニュータウン間） の大阪層群の概要

神戸市立教育研究所 前田 保夫

神戸市西部の丘陵地帯を構成する大阪層群は、最近の大規模開発にともなって新しい情報が蓄積されつつあるが、5万分の1図幅「須磨地域の地質」（藤田・前田1984）ではこの地域の大阪層群を下部より上部へ、下部亜層群及び未区分大阪層群下部（ O_1 ）、中部亜層群（ O_2 ）、上部亜層群（ O_3 ）の亜層群に区分している。

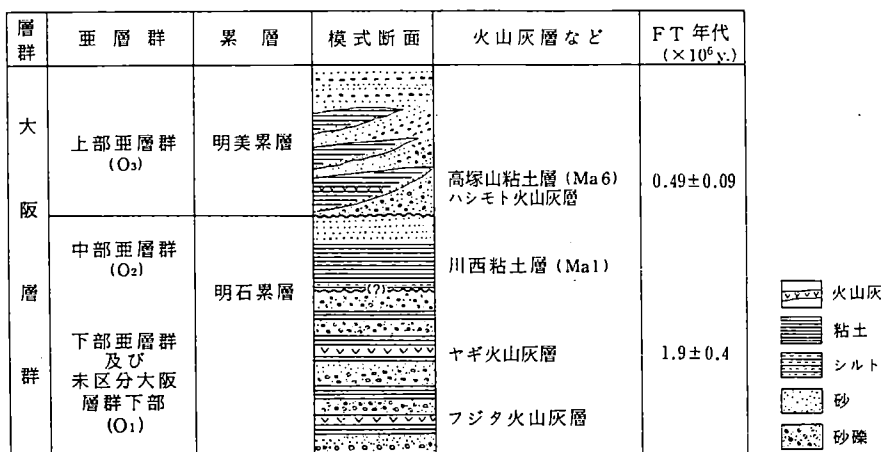


図1 須磨地域及び北隣神戸地域における大阪層群の模式柱状図

General columnar section of the Osaka Group in the Suma district and its northern Kōbe District.

藤田・前田1984

下部亜層群及び未区分大阪層群（ O_1 ）：明石川以東の丘陵地には地表に露出するが、明石川以西では段丘崖や海岸の波食崖にその一部があらわれている。主に山麓扇状地性の粗粒堆積物（砂礫及び砂層）と数枚の淡水成粘土層からなるが、厚さは場所による変化が大きく、最大厚層部の神戸層群隣接地では約100mに達する。淡水成粘土層からアカシゾウ（*Stegodon akashiensis*）が産出するが、植物化石はいわゆるメタセコイア植物群を構成するメタセコイア、オオバラモミ、オオバタグルミなどが豊富に産出する。化石内容からみて、これらの堆積物は非海成域の淡水成堆積物である。火山灰層は野外で観察しうるもので8枚が認められているが、大阪盆地との対比は充分でない。フィッシュントラック年代としては、後述するように 1.9 ± 0.4 [$\times 10^6$ 年]、 1.6 ± 0.3 [$\times 10^6$ 年]などの測定例がある。産出化石やF. T.年代からみて前

期更新世に形成されたものと考えられるが、今後の調査によってはさらに下位の年代相当層の存在も推定され、その一部は鮮新世に形成された可能性もある。今回の見学ではこの下部亜層群をみることになる。

中部亜層群（O₂）：明石海峡に面した舞子～朝霧間及び明石市野々池水源池、藤江等に分布する海成粘土層で、朝霧駅付近のものは川西粘土層と呼ばれている。葉理構造が発達する厚さ10数mの海成層で印象化石ではあるが内湾性貝類化石を産するが、メタセコイアをはじめ、オオバラモミ、フウなどのメタセコイア植物群を構成する植物遺体を産出する。年代決定に有効な火山灰は発見されていないが、メタセコイアを産出することから第一海成粘土層（Ma1）に対比している。今回の見学コースでは見られない。

上部亜層群（O₃）：神戸市研究学園都市小寺大池と若葉学園を結ぶ線から南西側に3～4枚の海成粘土層が分布する。若葉学園東南の道路脇には豊富に海生化石を産出する粘土層があり、かつては高塚山粘土層として知られ、第二海成粘土層（Ma2）に対比されていた。この露頭から多孔質の火山ガラスで、角セン石に富む（他に磁鉄鉱、紫蘇輝石、普通輝石、黒雲母）火山灰が発見されたが、そのガラスの屈折率は1.505～1.509である。この火山灰のフィッシュントラック年代は 0.49 ± 0.09 [$\times 10^6$ 年]と測定され、メタセコイアを産出しないことなどからみて従来の対比よりも若く中部更新世に形成されたことが確実になった。このハシモト火山灰層は後述するヤギ火山灰、春日台火山灰層とともに神戸西部の第四紀編年上、非常に重要な意味をもつ。高塚山粘土層の貝化石群はマガキ *Ostrea* (*Crassostrea*) *gigas* を多産するが、*Volachlamys yagurai*, *Chlamys harimensis* などの絶滅種を含む。またメジロザメ *Carcharhinus ganteticus* やシオガマサンゴ *Oulangia stockesiana miltoni* など温帯以南の暖流域に生息する海生動物の化石を産出する。この地域の上部亜層群の年代は未確定であるがMa6～Ma10間に形成された可能性が強い。今回の見学コースには含まれていない。

研究学園都市～西神ニュータウン間の大坂層群

神戸市西部の明石川以東に分布する丘陵地帯は最近まで水利の便が悪く、雑木林として放置されるところが多かった。しかし約10年前から神戸市はここに住宅団地、工業団地の造成を開始した。大規模開発にともなって新しい露頭観察が可能になり、その結果、大坂層群の層序や分布について情報が蓄積されつつある。今回の見学コースでは主として大坂層群の下部亜層群に相当する表1の地層をみることになる。従来の知識では、この地域はいわゆる大坂層群下部が分布するとされていたが、現在のところ図2のようにまとめることができる。

地質系統	層 相	淡水成粘土層	火 山 灰	F.T.年代 (Ma)	主 要 化 石
大 阪 層 群	下 部	平野粘土層 (仮称)春日台火山灰		1.6+0.3	
	中 部	伊川谷粘土層 (ク)			Stegodon akashiensis Metasequoia disticha Juglans manchurica
	上 部	小寺粘土層	ヤギ火山灰	1.9+0.4	Stegodon akashiensis Metasequoia disticha Paliurus nipponica Fagara schinifolia
神 戸 層 群	白 川 累 層	本多聞粘土層 (ク)フジタ火山灰			

図2 神戸市西部(研究学園都市～西神住宅団地)の大阪層群

大阪層群は基盤の神戸層群白川累層を不整合におおい、砂礫層を主体とする粗粒堆積物が南西方向にゆるく傾斜して分布する。砂礫層はチャート、流紋岩からなり、カコウ岩礫はきわめて少い。堆積構造は明瞭な成層状態をなすことなく、いわゆる扇状地性堆積相の特徴をよくあらわし、礫径の淘汰も悪い。この砂礫層に4枚の顕著な淡水成粘土が挟在されている。下部より本多聞粘土層、小寺粘土層、伊川谷粘土層、平野粘土層の各層で、それらは何れも東部の六甲側では非常に発達が悪く、南西方向の各丘陵末端部では10～20mの層厚をもつ。これらの淡水成粘土層は淡緑灰色を呈し、固結度は高い。局部的に腐植質に富む淡黒褐色～暗青灰色を示し海成粘土と紛わしい色調を呈する。このような個所からは植物遺体が産出する。小寺粘土層および伊川谷粘土層から次の植物遺体が認められた。

Metasequoia disticha, Juglans manchurica, Sapium sebiferum, Pterocarya paliurus, Prunus salicina, Paliurus nipponicus, Berchemia sp, Wikstroemia sp., Phellodendron amurense, Fagara schinifolia, Ampelopsis brevipedunculata, Symplocus sp., Viburnum sp., Clerodendron sp., Fagus microcarpa 型, Querus cfr, Mongolica, Corylopsis cfr. epigyna.

また動物化石では *Stegodon akashiensis* (アカシゾウ) が研究学園都市駅近くと伊川谷高等学校西側の2地点の小寺粘土層から採集されているが、最近、伊川谷町吹上の地下鉄路線工事場の伊川谷粘土層から発見されたが、3個体は何れも臼歯である。

火山灰層は8枚発見されているが、そのうちフィッシュントラック法による年代測定が行われたのは、今回の見学地域には2層準ある。小寺粘土層中のヤギ火山灰は 1.9 ± 0.4 [$\times 10^6$ 年] を示し、平野粘土層中の春日台火山灰は 1.6×0.3 [$\times 10^6$ 年] と測定されている。またヤギ火山灰はアカシゾウ産出層準の1m上位にある。なお、これらのフィッシュントラック年代は火山灰の含有ジルコンを用い、京都フィッシュントラックが測定したものである。

神戸西部の大阪層群下部亜層群はいっばんに水平に近いが、やや緩く南西方向に傾斜する。基盤の神戸層群に近い東部と高塚山断層に接する部分には大きく南西方向に傾くところがある。顕著な断層としては、従来より高塚山拗曲とされていたものゝ露頭が開発工事によってあらわれた。地下鉄総合運動場駅と学園都市駅との中間に垂直変位量が100mを超える見事な露頭があらわれていたが、現在掘削工事で失われつつある。その断面層の走向傾斜はN42E80Wであり、ここにその露頭スケッチを示す。(藤田・前田1984:須磨図幅より)。

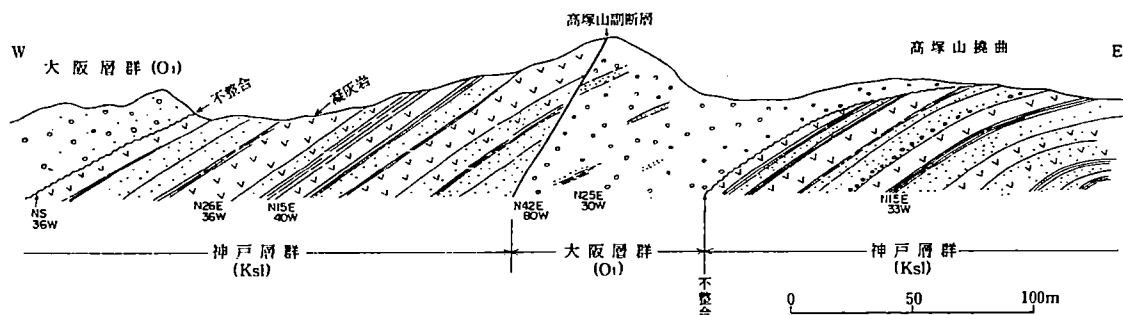


図3A. 高塚山(基盤)断層に沿う被覆層の拗曲と副断層を示すスケッチ図

A sketch showing the flexure of overlying layers along the Takatsukayama Fault and associated thrust.

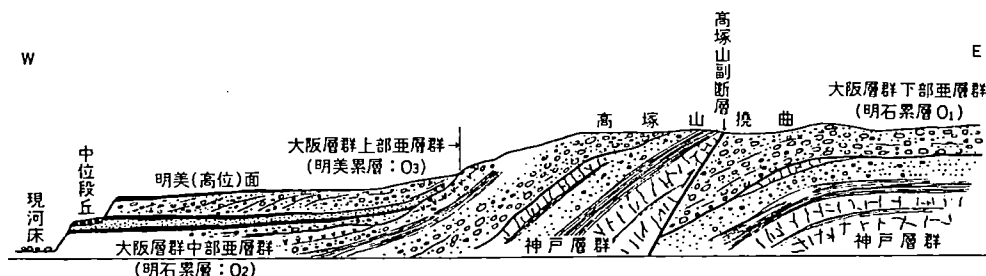


図3B 高塚山拗曲と明美累層との関係を示す概念図(藤田・笠間、1983にもとづく)

A diagrammatic cross-section showing the relation between the Takatsukayama Flexure and the Meimi Formation.

藤田・前田1984

なお、現在この地点の北東延長方向の上水道配水池予定地の北西側にも高塚山断層の断層面の観察は可能である。この2か所の露頭では神戸層群と大阪層群とは平行不整合をなすが、断層帯を挟む100m前後で地層は30～40°西落ちを示し、大阪層群下に沈み込んでいた神戸層群は断層を境に再び浮上する衝上断層の形をとっている。

神戸市北区の岩盤層における 幹線管渠の施工について

神戸市下水道局

1. ま え が き

神戸市の下水道整備については、西北神地域をのぞく大部分の市街化区域が水洗化され、昭和59年度末で人口普及率は91%の高率に達している。

従来までの下水道管渠工事においては、沖積地盤等（軟弱地盤地帯）でいかにすれば安全で経済的な施工が可能であるかに主眼がおかれていたが、最近は岩盤層に立地する地域での管渠布設が全国的に注目されるようになってきている。

今回紹介する事例は、現在、神戸市が北区で施工している加古川上流流域関連公共下水道幹線の工事例である。

2. 幹線の概要

2-1 幹線の位置

神戸市北区のうち、加古川上流流域関連公共下水道幹線の污水は玉津污水幹線を経て、暫定的に玉津処理場で処理するように計画している。

この幹線の下流部（西区押部谷町～北区山田町衝原）は、東播用水呑吐ダムに近接する丘陵地を貫通し、上流部（北区山田町衝原～下谷上、上谷上）は加古川の支川、志染川に添う既存の道路直下及び山の街ニュータウン造成地内に布設される。

この幹線の名称は下流から順に玉津連絡污水幹線、衝原幹線、山田幹線及び山の街幹線であり、位置は図-1に示すとおりである。

2-2 計画汚水量と断面

(1) 計画汚水量

加古川上流流域関連公共下水道幹線の処理面積は1.466ha 時間最大汚水量は1.271 m^3/sec である。

(2) 計画断面

計画断面は、 $\phi 700 \sim 1000mm$ であるが施工上必要な断面として、各工法により下記のように決定した。

シールド工法 ————— $\phi 1,500mm$

全地質形TBM工法 ——— $\phi 1,350mm \sim \phi 1,800mm$ (階段渠)

小断面NATM ————— $\phi 1,800mm$

計画断面は、図-2に示す。

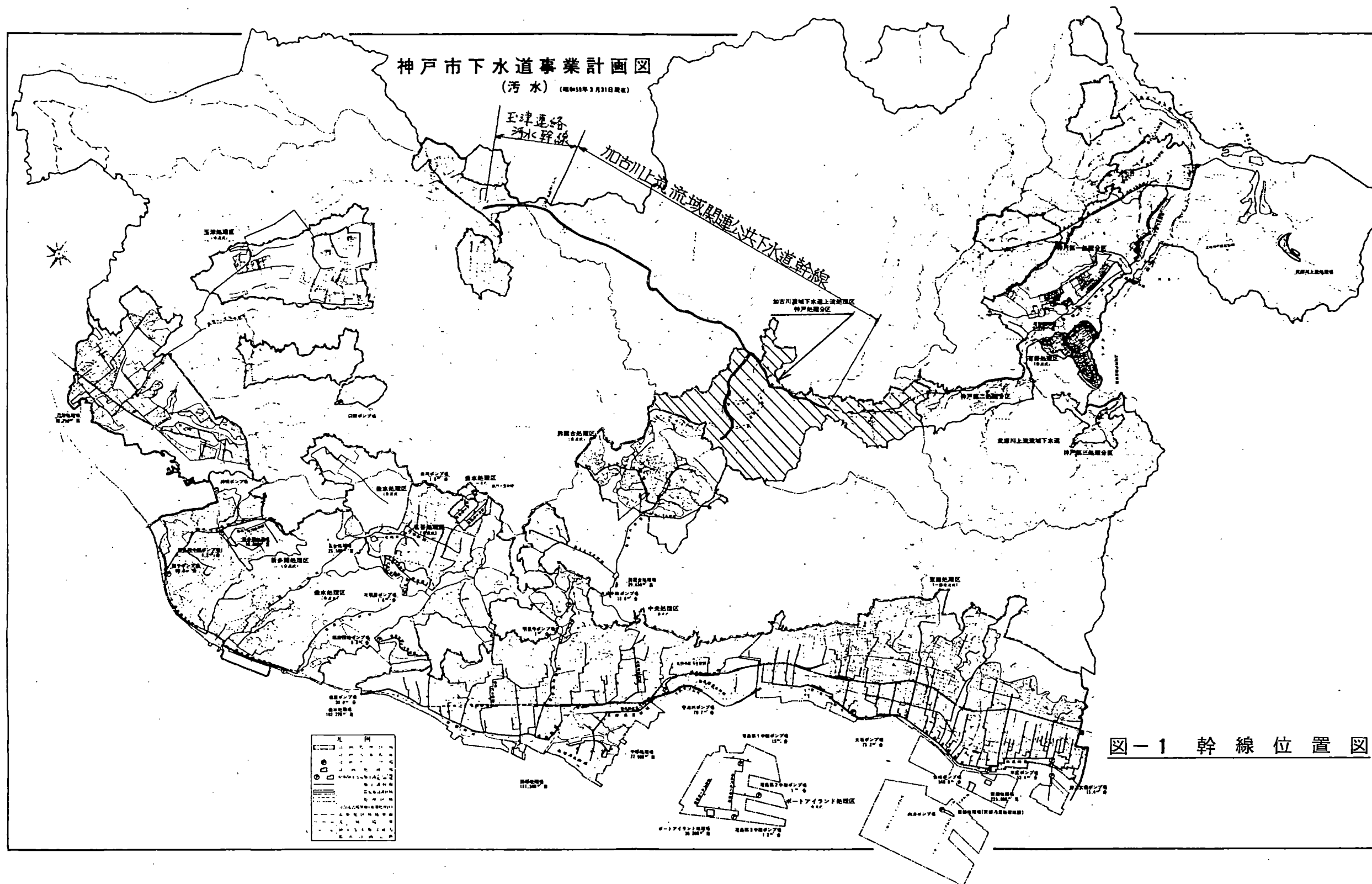
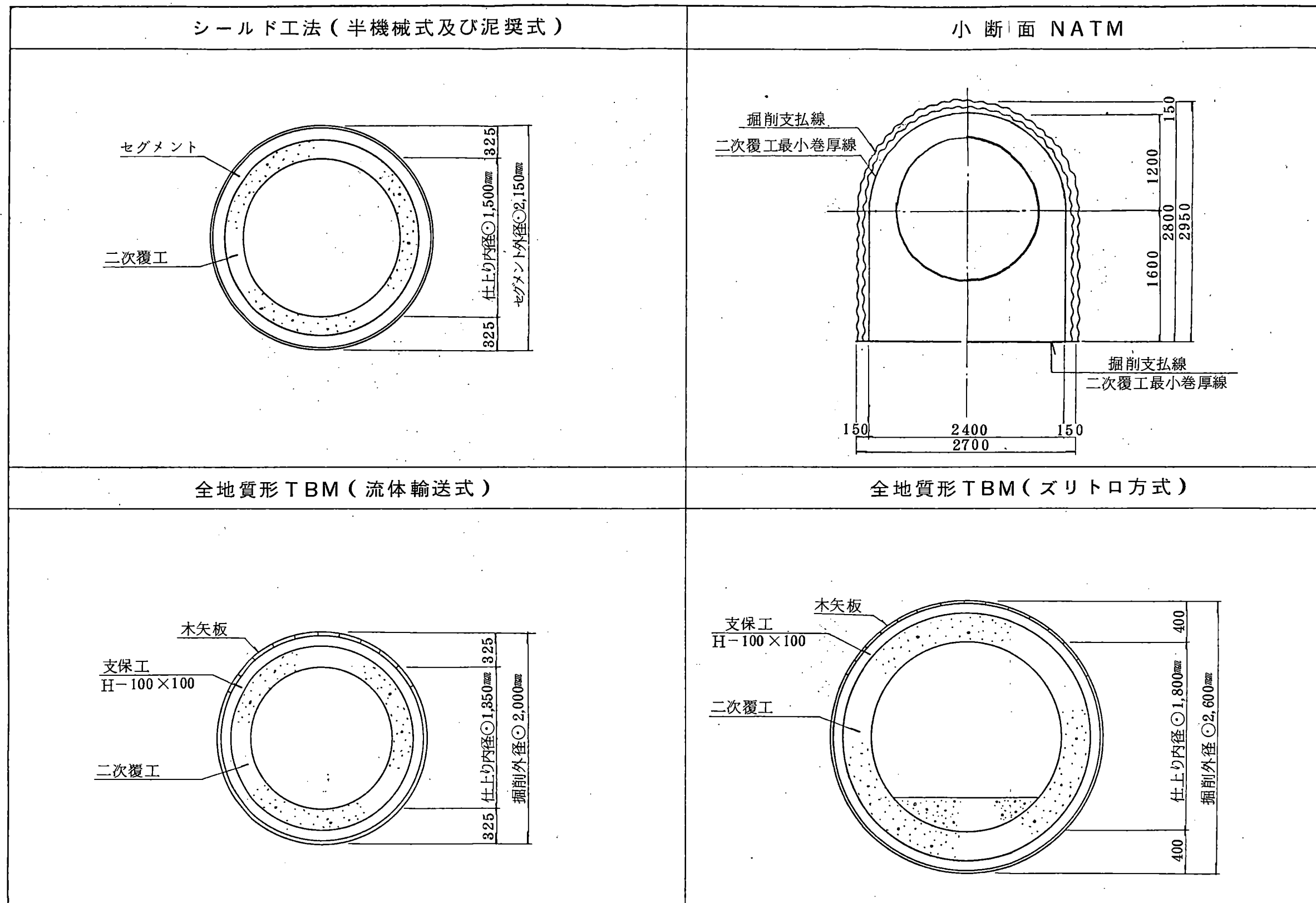


図-2 標準断面図



3. 地 質

3-1 地形概説

図-3の六甲山地周辺の地質構造図に示すごとく、神戸市の北側等の山地がほぼ東西方向に連なり、大阪平野と三田、播磨盆地とを区分している。

今回の施工工区は上述した帝釈山地と六甲山地の境界部付近をほぼ東西方向に東から西へと流下し加古川へ合流している志染川沿いの細長い盆地状地形を呈する地域である。

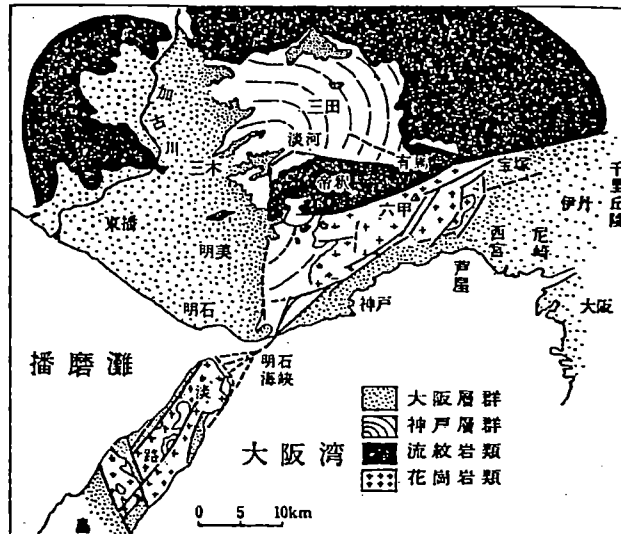


図-3 六甲山地周辺の地質構造図

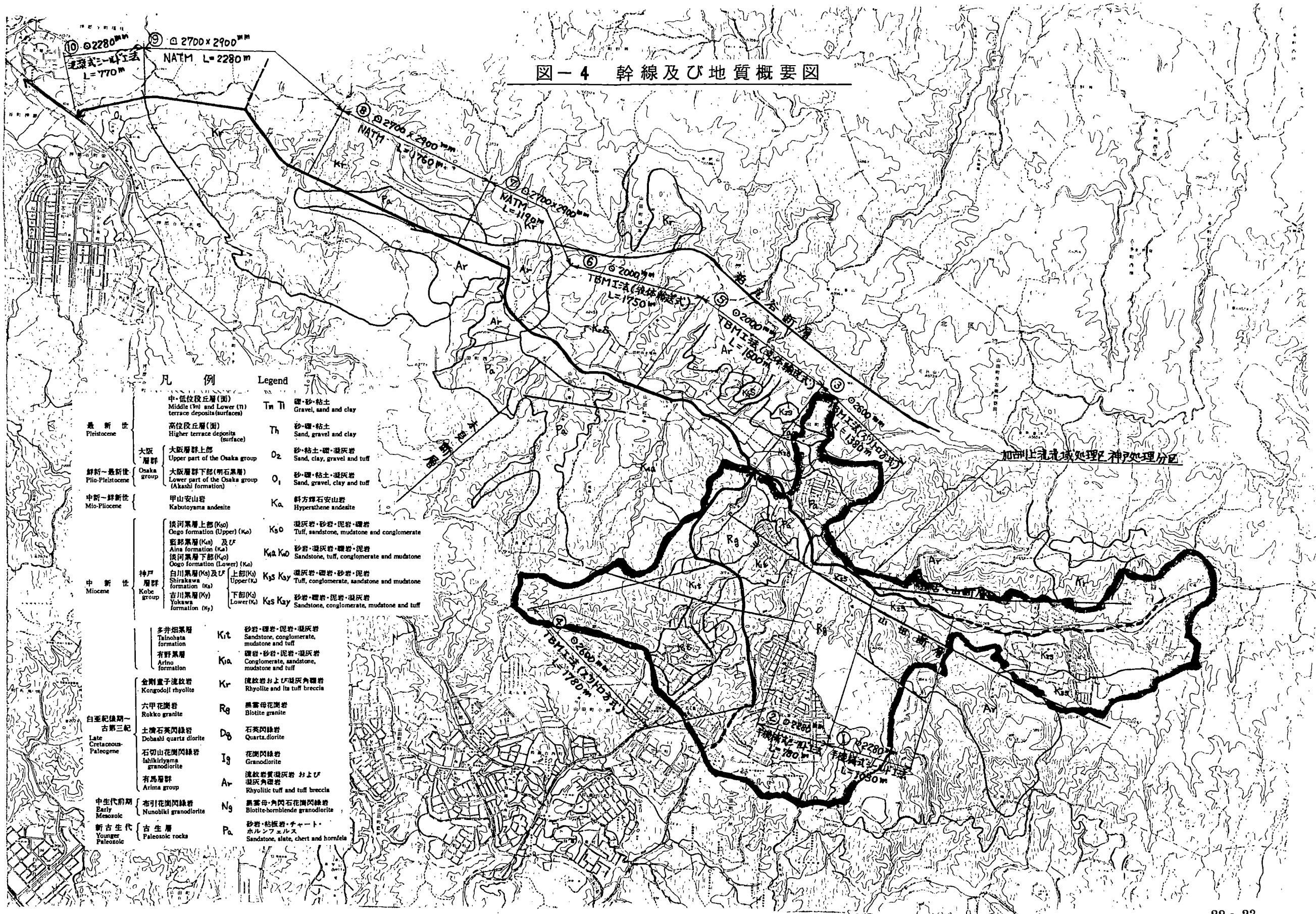
3-2 地質概要

神戸市付近は、大きな地質的構造部分において西南日本内帯に属し、古生代～中生代といわれる丹波層群および中生代白亜紀とされる有馬層群ならびに六甲花崗岩等の岩石を基盤岩とし、それを被覆するように第三紀中新世の神戸層群、第三紀鮮新世、第四紀更新世の大阪層群、第四紀完新世の沖積層等の被覆層が分布している。

本工区の地質分布については、図-4にその概要を示す。

また、下流部丘陵地における地山弾性波及び上、下流部における物理試験結果は、表-1のとおりである。

図-4 幹線及び地質概要図



凡 例 Legend

- | | | | |
|---|---|---------|---|
| 最新世
Pleistocene | 中・低位段丘層(面)
Middle (Tm) and Lower (Tl)
terrace deposits (surfaces) | Tn Tl | 礫・砂・粘土
Gravel, sand and clay |
| | 高位段丘層(面)
Higher terrace deposits
(surface) | Th | 砂・礫・粘土
Sand, gravel and clay |
| 大阪
層群 | 大阪層群上部
Upper part of the Osaka group | O2 | 砂・粘土・礫・凝灰岩
Sand, clay, gravel and tuff |
| 鮮新-最新世
Plio-Pleistocene | 大阪層群下部(明石層)
Lower part of the Osaka group
(Akashi formation) | O1 | 砂・礫・粘土・凝灰岩
Sand, gravel, clay and tuff |
| 中新-鮮新世
Mio-Pliocene | 甲山安山岩
Kabutoyama andesite | Ka | 斜方輝石安山岩
Hypersthene andesite |
| | 淡河層群上部(Ks0)
Ogo formation (Upper) (Ks0) | Ks0 | 凝灰岩・砂岩・泥岩・礫岩
Tuff, sandstone, mudstone and conglomerate |
| | 藍部層群(Ks1) 及び
Aino formation (Ks1) | Ks1 | 砂岩・凝灰岩・礫岩・泥岩
Sandstone, tuff, conglomerate and mudstone |
| | 淡河層群下部(Ks2)
Ogo formation (Lower) (Ks2) | Ks2 | 凝灰岩・砂岩・泥岩
Tuff, conglomerate, sandstone and mudstone |
| 中新世
Miocene | 神戸層群
Kobe group | Ks3 Ks4 | 凝灰岩・砂岩・泥岩
Tuff, conglomerate, sandstone and mudstone |
| | 白川層群(Ks5) 及び
Shirakawa formation (Ks5) | Ks5 | 砂岩・礫岩・泥岩・凝灰岩
Sandstone, conglomerate, mudstone and tuff |
| | 古川層群(Ks6)
Yokawa formation (Ks6) | Ks6 | 砂岩・礫岩・泥岩・凝灰岩
Sandstone, conglomerate, mudstone and tuff |
| | 多井畑層群
Tainoheta formation | Ks7 | 砂岩・礫岩・泥岩・凝灰岩
Sandstone, conglomerate, mudstone and tuff |
| | 有野層群
Arino formation | Ks8 | 凝灰岩・砂岩・泥岩・凝灰岩
Conglomerate, sandstone, mudstone and tuff |
| | 金剛童子流紋岩
Kongodoji rhyolite | Kr | 流紋岩および凝灰角礫岩
Rhyolite and its tuff breccia |
| 白堊紀後期-
古第三紀
Late Cretaceous-
Paleogene | 六甲花崗岩
Rokko granite | Rg | 黒雲母花崗岩
Biotite granite |
| | 土橋石英閃緑岩
Dobashi quartz diorite | Ds | 石英閃緑岩
Quartz diorite |
| | 石切山花崗閃緑岩
Ishikiryama granodiorite | Ig | 花崗閃緑岩
Granodiorite |
| | 有馬層群
Arima group | Ar | 流紋岩質凝灰岩 および
凝灰角礫岩
Rhyolite tuff and tuff breccia |
| 中生代前期
Early Mesozoic | 布引花崗閃緑岩
Nunobiki granodiorite | Ng | 黒雲母・角閃石花崗閃緑岩
Biotite-hornblende granodiorite |
| 新古生代
Younger Paleozoic | 古生層
Paleozoic rocks | Pa | 砂岩・粘板岩・チャート・
ホルンフェルス
Sandstone, slate, chert and hornfels |

表 一 1 地 質 調 査 結 果 一 覧

(上 流 部)

地 質 年 代				地 質 名		圧 縮 強 度 (kg/cm ²)		超音波弾性波(km/sec)	
新 生 代	第 四 紀	完 新 世	沖 積 層	粘 砂 砂 質 土 土 礫					
		更 新 世 鮮 新 世	段 丘 層 大 阪 層 群	粘 砂 砂 質 土 土 礫					
	新 第 三 紀	中 新 世	神 戸 層 群	泥 凝 灰 砂 岩 礫	岩 岩 岩 岩	9 ~ 55	1.10 ~ 1.20		
						15 ~ 229 13 ~ 385	0.30 ~ 2.50 0.35 ~ 2.68		
中 生 代	古 第 三 紀 白 垩 紀 後 期		六 甲 花 崗 岩 閃 綠 岩			204 ~ 975	2.91 ~ 3.60		
	白 垩 紀		有 馬 層 群	玢 流 紋 岩 凝 灰 角 礫 岩	55 ~ 505 649 ~ 856 50 ~ 856	1.67 ~ 3.10 2.74 ~ 2.78 1.75 ~ 4.24			
古 生 代	丹 波 層 群			粘 板 岩 輝 綠 凝 灰 岩 砂 岩		65 ~ 546 250 ~ 1689	1.07 ~ 2.35 2.53 ~ 4.89		

(下 流 部)

	地 質 名	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)	超音波弾性波(km/sec)	弾 性 波 (km/sec)
丹 波 層 群	砂 岩 粘 板 岩	458 ~ 953	2.68 ~ 3.38	4.0 ~ 4.6
有 馬 層 群	流 紋 岩 凝 灰 角 礫 岩	41 ~ 1349	1.50 ~ 3.96	4.0 ~ 4.6
大 阪 層 群	砂 礫			

4. 工法の選定

4-1 岩盤掘進における基本的な考え方

岩盤の掘進は、従来、発破使用による山岳トンネル工法、すなわち、鋼アーチ支保工と木矢板による一次覆工と、その後のコンクリートによる本覆工が基本であった。

しかし、近年の施工環境面からは岩盤層であるからといって発破の使用が許容されるような状況ではなく、かといってブレイカー等による無発破は施工能率面から極めて限られた場所では適用できないのが実態であろう。

本市における基本的な考え方は、環境面の制約がなければ発破使用が原則であり、特殊な環境で延長が短ければ静的掘削、長大であれば機械掘削というように使い分けをすべきと考えている。

機械掘削のなかでどのタイプにするかは、地質条件、延長を、比較検討した上で決定することになるが、今後の課題となるものは、中硬岩～硬岩層で、環境面の制約を受け、工事延長が短い場合である。

本市における工法選択の概念を示せば図-5のようになる。

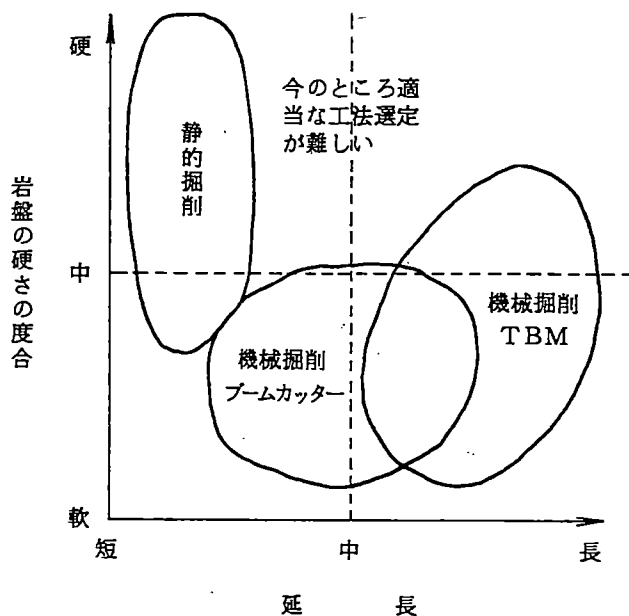


図-5 工法選択の概念図（発破の制約ありの場合）

4-2 工法の選定

加古川上流域関連公共下水道幹線の幹線概要は、図-4及び表-2に示すとおりである。

表－２ 幹線の施工概要

幹線番号	掘削断面 (mm)	施工延長 (m)	施工方式	岩区分
①	⊙ 2,280	1,030	半機械式シールド工法 (ブームカッターシールド)	軟 石
②	〃	780	〃	〃
③	⊙ 2,600	1,380	全地質形TBM工法(ズリトロ方式)	中硬岩 ～軟岩
④	〃	1,780	〃 (〃)	〃
⑤	⊙ 2,000	1,600	〃 (流体輸送式)	〃
⑥	〃	1,750	〃 (〃)	〃
⑦	⊙ 2,700 × 2,950	1,190	小断面 NATM	中硬岩
⑧	〃	1,760	〃	〃
⑨	〃	2,280	〃	〃
⑩	⊙ 2,280	770	泥漿式シールド工法	砂 礫
計		14,320		

本工区は全線約14kmのうち、ほとんどが岩盤層である。

本工区上流側については、在来の道路直下であり、原則として発破による掘削は認められないため、機械掘削工法（無発破による岩盤掘削工法）とし、半機械式シールド工法（ブームカッターシールド）と全断面掘削方式（TBM）との2工法を採用した。

本市においては、半機械式シールド工法は神戸層群の泥岩、砂岩、凝灰岩又は風化花崗岩のような軟岩に限定している。

これに対して、古生層、中生層及び神戸層群礫岩層については、全断面掘削方式(TBM)とした。今回施工に用いたTBMは従来から使用されているTBMに全地質に対応でき、曲線施工が可能のように改造を加えたものである。TBMについてはずり搬出方式がズリトロによるものと、流体輸送によるものとの2種類を用いた。このうちズリトロ方式のTBMの構造を図-6に示す。

また、本工区下流側は、丘陵地で家屋への影響もない区間であるから、発破使用を原則とし、小断面NATMを採用した。掘削関係と吹付け関係との機械が錯そうすることを懸念し、図-7に示すようにガントリー型ジャンボ、シャトルカー、吹付口ロボット等の一連のシステムを用いることとして、急速施工を可能にした。

図-6 全地質形TBM(ズリトロ方式)構造図

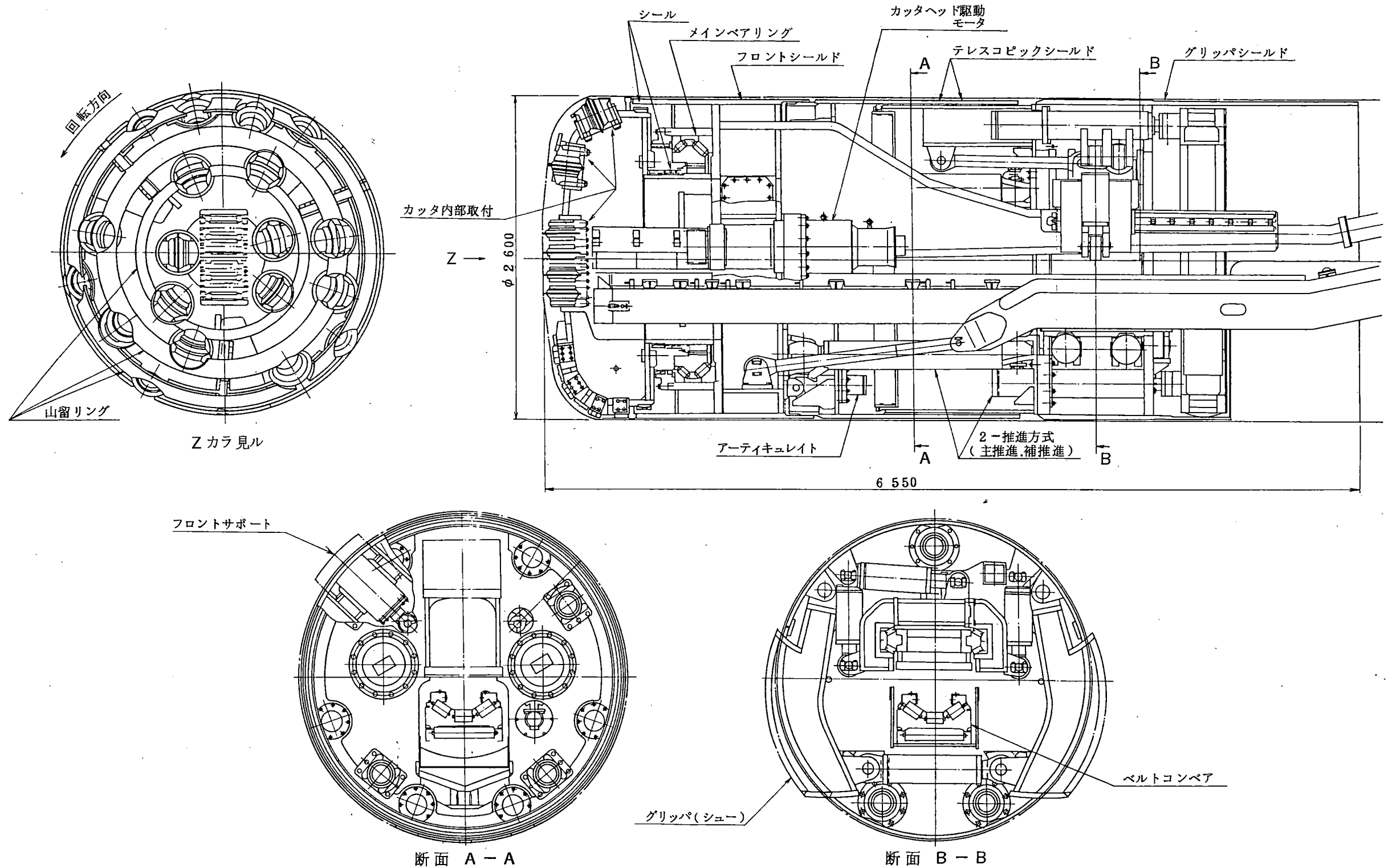
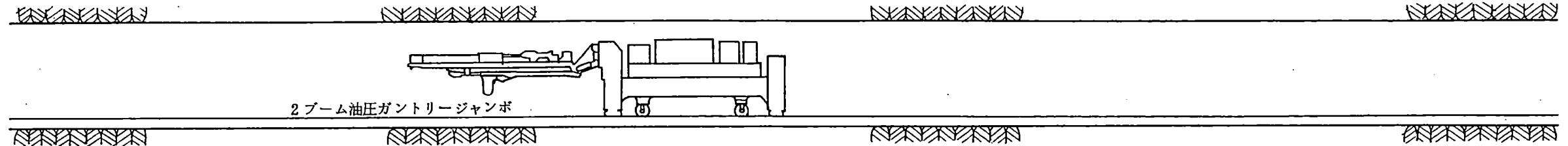
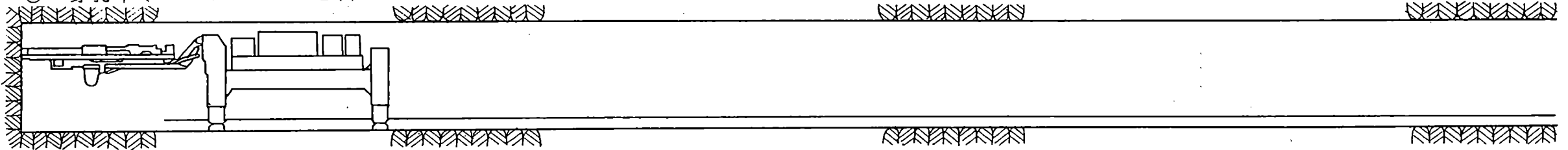


図-7 小断面NATM施工図

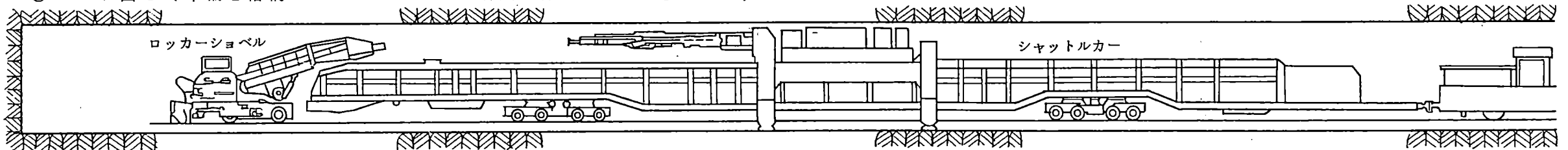
① ジャンボ移動（本線上を走行）



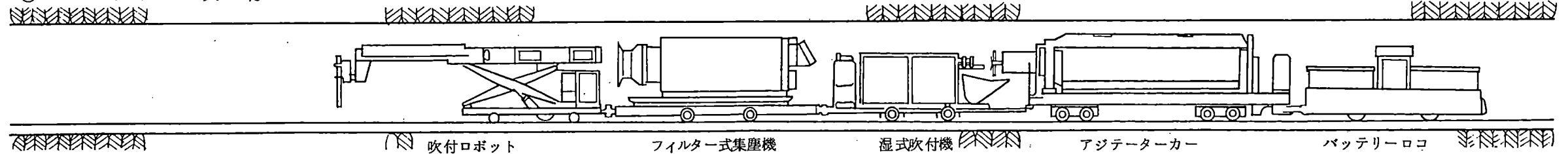
② 穿孔中（アウトリーガーを出してジャンボを固定）



③ ブリ出し（車輪を格納してアウトリーガーで断面一杯にジャンボをあげる）



④ コンクリート吹き付け



5. 結 び

以上、本市北区における岩盤層での下水道幹線管渠の施工事例を紹介したが、さほど大きなトラブルもなく、幹線の施工もほぼ終局の段階に至っている。今後、流域下水道等内陸部での下水道整備においては、このような岩盤地帯での工事施工が増加するであろうと考えられるが、さらに新たな創意工夫が行なわれ、より適切な工法が実用化されることを期待する。

全地質対応形 TBM による 小口径トンネルの建設

村山 哲夫* 白水 嘉夫** 杉本 茂***

はじめに

神戸市の下水道整備については、北区をのぞく大部分の市街化区域が水洗化され、昭和 59 年度末で人口普及率は 91% の高率に達している。

今回紹介する事例は、現在、神戸市が北区で施工している加古川上流流域関連公共下水道幹線の工事例である。この幹線通過地域は山間部岩盤地帯であり、その通過ルートは国道、県道直下で周辺には民家も多い。このような施工環境下では岩盤層といえ発破工法は採用しがたく、TBM 工法が最適と判断し採用したものである。

わが国で最初に TBM 工法が採用されたのは昭和 39 年の東平発電所導水路トンネルである。その後、水路、鉄道、道路等のトンネル掘削に使用されるに至ったが、成功した事例の大部分は地質が安定し良好な条件で掘削されたものであり、わが国の複雑な地質条件には対応できず不成功例が相次いだ。そして、昭和 50 年代には国内での施工は激減している。

しかしながら、トンネル工事の高速化、省力化等の必要性より TBM 工法は捨てがたく、国の補助金を受け研究開発を進めていた全地質対応形小

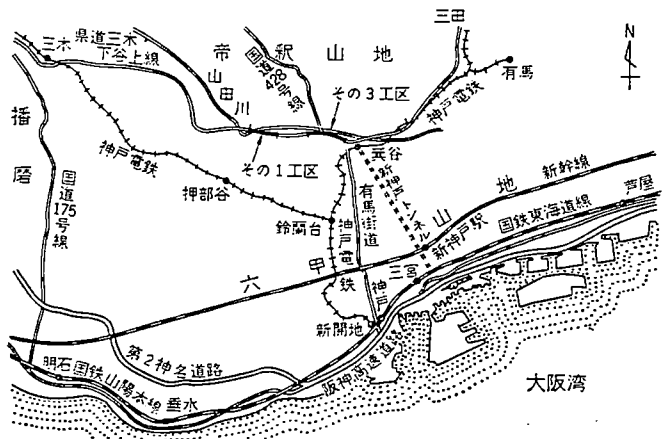


図-1 位置図

口径トンネル掘進機を下水道トンネル施工用に改造し、その性能を実証しようと考え採用したものである。

工事は大きなトラブルもなく順調に進み、現在掘進も完了したので、その実績について報告するものである。

(1) 工事概要

本工事は、神戸市の六甲山地北側に位置する北神地区(図-1)で、兵庫県施工の加古川上流流域下水道に接続する汚水幹線管渠を築造する工事である。施工概要は表-1 のとおりである。

(2) 地形、地質概要

神戸市の北側には神戸の脊山と呼ばれている六甲山地(標高 400~900 m)、ならびに帝釈山地

* 日本下水道事業団計画部調査役

** 神戸市下水道局参事(前 同局工務課長)

*** 同局計画課(前 同局工務課)

表-1 施 工 概 要

工 事 名	山田汚水幹線布設工事(その1)	山田汚水幹線布設工事(その3)
工 法	流体輸送方式 TBM 工法	レール方式 TBM 工法
掘 進 延 長	1 745m	1 373.5m
掘 削 径	◎ 2 000mm	◎ 2 600mm
掘 削 面 積	3.14m ²	5.31m ²
掘 削 岩 量	5 479.3m ³	7 301m ³
掘 進 こ う 配	8.5%	24.5%
線形(曲線率)	70~200mR 18箇所(43%)	100~200mR 12箇所(52.3%)
土 被 り	県道下 11.0~24.0m	国道(428)下 12.0~26.9m
立 坑 築 造	親ぐい(H形鋼-300)横矢板工法	親ぐい(H形鋼-300)横矢板工法
立 坑 形 状	内空 10.0×10.5m 深さ 13.5m	内空 16.0×6.0m 深さ 15.8m

(標高 500~600 m)等の山地がほぼ東西方向に連なり、大阪平野と三田、播磨盆地とを区分している。

本工事区域は上述した帝釈山地と六甲山地の境界部付近をほぼ東西方向に東から西へと流下し、加古川へ合流する山田川沿いの細長い盆地状地形を呈する地域である。

一方、通過路線となっている山田川沿いの地域は、段丘堆積層(150~250 m)が広く分布し、西に低く東に高い平坦面を形成している。

地質は「基盤岩類」と「被覆層」に大別することができる。

表-2 地 質 層 序

地 質 年 代				地 質 名	圧縮強度 (kg/cm ²)	超音波弾性 波 (km/s)
新 生 代	第 四 紀	完 新 世	沖 積 層	粘 性 土 砂 質 土 砂 れ き		
		更 新 世	段 丘 層	粘 性 土 砂 質 土 砂 れ き		
	新 第 三 紀	新 鮮 新 世	大 阪 層 群	粘 性 土 砂 質 土 砂 れ き		
		中 新 世	神 戸 層 群	泥 岩 凝 灰 岩 砂 岩 れ き 岩	13~385	0.35~2.68
中 生 代	古 第 三 紀	白 亜 紀 後 期	六 甲 花 崗 岩 閃 緑 岩		204~371	2.91~3.04
		白 亜 紀	有 馬 層 群	玢 岩 流 紋 岩 凝 灰 角 れ き 岩	55~505 649~856 50~856	1.67~3.10 2.74~2.78 1.75~4.24
古 生 代	丹 波 層 群		粘 板 岩 凝 緑 凝 灰 岩		65~546	1.07~2.35
			砂 岩		250~1 689	2.53~4.89

基盤岩類は古生代二疊紀の丹波層群、中生代白亜紀の有馬層群、花崗岩類および玢岩(丹波層群に貫入した火成岩脈)より構成されている。

被覆層は新生代新第三紀中新世の神戸層群、新第三紀鮮新世~第四紀更新世の大阪層群、第四紀更新世の段丘層そして第四紀完新世の沖積層から成っている。

トンネル通過部の地質は下流側より有馬層群、神戸層群、丹波層群、閃緑岩、神戸層群と種々の岩盤から成る。事前調査により予想された地質縦断等

と、掘進後トンネル坑内において確認された地質の概要は、表-2、および表-5、6に示すとおりである。

次に、それぞれの岩相について述べる。

i) 丹波層群

岩相は主に砂岩、粘板岩等から構成される。砂岩は中粒~粗粒の珪質砂岩で、風化すると脆弱になる傾向をもつが、本工区は新鮮で堅固なものである。粘板岩は黒色~黒灰色を呈する珪質粘板岩で、砂岩と比較すると相対的に強度は低く、著しく割れ目が発達している。

また、この層は主として玢岩から成る火成岩脈が貫入し互相となっている。さらに、全体的に熱変成を受けホルンフェルス化している。

ii) 有馬層群

この地層は流紋岩、角れき凝灰岩から構成される。流紋岩は硬質岩であるが、全般的に節理、割れ目が発達している。さらに、割れ目に沿って風化が進み一部粘土化する部分もある。角れき凝灰岩は軟~中硬岩質岩で固結度も比較的良好である。

iii) 神戸層群

神戸層群はれき岩、砂岩、凝灰岩および泥岩で構成されるが、今回の掘削はすべてれき岩である。れき岩は一般に暗青灰~暗灰色を呈し、亜円~亜角れきから成り、れき種は有馬層群流紋岩質岩を主体に、丹波層群砂岩、粘板岩、チャート等から成る。このれき岩はれき自体が堅硬で、なおかつマトリックスも固結が進んだ砂岩から成っている。

事前調査で調査ボーリングに加え深礎掘削を行ない、れき岩の状況（大きさ、割合、硬軟、粒度分布）、固結状態等を調べた。この結果は施工後坑内における調査結果とよく整合していた。

iv) 閃緑岩、玢岩

閃緑岩は割れ目が多く、風化も進み脆弱となっているが、中心部は堅固である。

玢岩は全体的に多少変質を受けているが岩質は堅固である。しかし、割れ目に沿って分離する傾向がある。

最後に、トンネル通過路線に露頭で確認される数本の断層があり、かつ、3工区立坑の近くに六甲山塊の北側を限る山田断層（活断層）が認められる。さらに、ボーリング調査より丹波層および貫入岩中に破碎帯および著しく風化を受け破碎帯の性状を示す部分が認められる。

(3) 設 計

i) 工 法 選 定

現在、岩盤層の掘削工法としては、図-2の工法が考えられる。

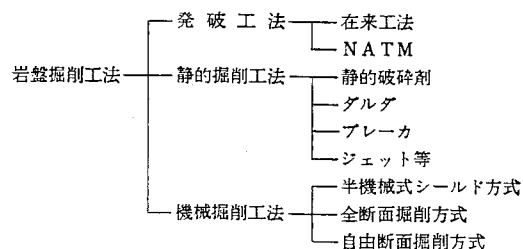


図-2

工法の選定にあたっては、地質、計画断面、工事延長、施工能率、工事場所の立地条件、施工に伴う周辺環境に与える影響の程度、工法の実績、経済性等を把握し、総合的に検討を行ない決定する必要がある。

本工事計画に際し、従来、岩盤の掘進は発破使用による山岳トンネル工法が一般的工法であったが、近年の施工環境面よりの制約から岩盤層といえ発破使用が容認される情勢でない。かといって無発破工法である静的掘削は施工能率面より適用範囲が制約される。そこで、上記要因について検討した結果、本工事では機械掘削工法が最適工

法であるとの結論を得た。

ii) 機械掘削工法

機械掘削工法は、掘削方式より全断面掘削方式、シールド併用方式、自由断面掘削方式、掘削形式（適応地質）より圧縮破碎形、切削破碎形、切削形に区分される*。

この工法は掘削する地質条件や施工条件によって種々の工法があるが、いずれも発破を使用することなく、機械でトンネル全断面を破碎あるいは切削し掘進するものである。

しかし、トンネル掘進機はすべての地質条件や施工条件を満足するものでなく、各方式ごとに適用範囲が決められ、さらに、使用をさしひかえるべき条件も整理される。

次に、適用範囲を決める要因として

(イ) 地質的要因からみた適用範囲

(ロ) 機械的要因からみた適用範囲

(ハ) トンネルの形状、立地条件からみた適用範囲

があげられる。

iii) 機種決定

前項の適用範囲をさらに細部項目まで検討した結果、硬岩用掘進機（TBM）が最適機種との結論に達した。しかし、従来より使用をさしひかえるべき条件とされている。

(イ) 脆弱な岩石から成る地質の場合

(ロ) 岩盤の硬軟の変化が激しい場合

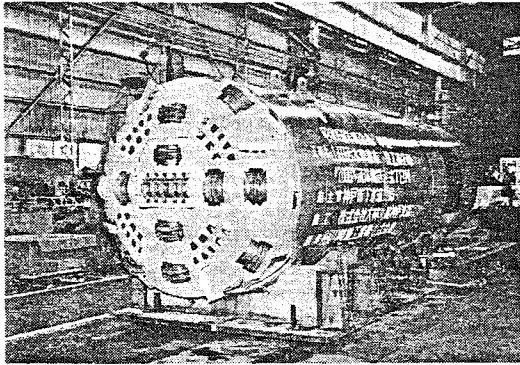
(ハ) 断層や破碎帯が存在する場合

をいかに克服するかの問題が残った。

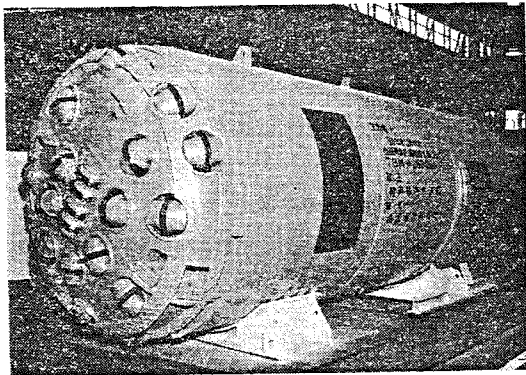
このことは、通産省の石油代替エネルギー開発促進策に沿って昭和55年度より「中小水力動力エネルギー回収システム技術に関する実用化開発」の研究を新エネルギー財団と機械メーカーが補助金を受け開発を進めていた全地質対応形小口径トンネル掘進機に着目し、下水道トンネル施工用（曲線施工性を重視）に改造することで対処することにした。

機種は総合的に検討した結果、流体輸送方式TBM〔図-3(a)、表-3〕を「1工区」に、レール方式TBM〔図-3(b)、表-4〕を「3工区」と決定した。両機とも全地質対応形小口径TBMの実用化第1号機である。

* 参考一土木学会岩盤力学委員会編「我国におけるトンネル掘進機の実績と展望」



(a)



(b)

図-3 トンネル掘削機

表-3 主要諸元

掘削径（実掘削径 2 010～1 990）	mm	2 000
本 体 長	"	6 580
機 械 全 長	"	68 000
装 備 重 量	t	70
カッタヘッド		油圧駆動
回 転 ト ル ク	t・m	14
回 転 数	rpm	0～12
主推進推力×ストローク	t×mm	320×1 000
シリンダ伸長速度	cm/min	7
補助推進推力×ストローク	t×mm	200×550
グリップ推力×ストローク	"	430×100
接 地 圧	kg/cm ²	38
最小曲率半径	m	70
流体輸送能力	m ³ /min	1.7

表-4 主要諸元

掘削径（実掘削径 2 590～2 610）	mm	2 600
本 体 長	"	6 755
機 械 全 長	"	52 200
装 備 重 量	t	91
電動機総出力	kW	243.2
推 進 装 置		
スラストシリンダ伸長速度	cm/min	12
スラストシリンダストローク	mm	1 050
総 推 力	t	360
カッタヘッド		電動駆動
回 転 ト ル ク	t・m	26
回 転 数	rpm	7.3
グリップ 押付け力	t	200
シュー張出し量	mm	200
接 地 圧	kg/cm ²	25
最小曲率半径	m	80

(4) 施 工

i) 1 工 区

(イ) 設備配置 (図-4)

初期掘進時は、後続台車 (11 台) を立坑底と地上に分割配置し、流体輸送関係の設備 (水槽、ポンプ、振動ふるい等)、および仮設土砂ホッパを地上に仮置きした。

本掘進時は、立坑周辺住民に対する公害 (騒音、振動) を考慮し、発生源となる機械類 (振動ふるい等) を立坑内に設置した。地上には土砂ホッパ、および湧水と流体輸送水中に含まれるシルト、粘土分を除去するための 3 次処理の設備まで設置した。

(ロ) 初期掘進

推進反力を得るため、掘進機本体を囲むよう H 形鋼で支圧壁を作り、掘進を開始した。

約 50 m 掘進後、支圧壁撤去と後続台車 (No. 1 ～No. 7) 接続作業の第 1 回段取り替えを行ない、さらに、全数の後続台車が送り込める 75.3 m まで掘進し、流体輸送に関連する設備の配置替え作業である第 2 回目の段取り替えを行なった。

(ハ) 掘進状況

在来形の TBM では掘進不可能ではなかったか。

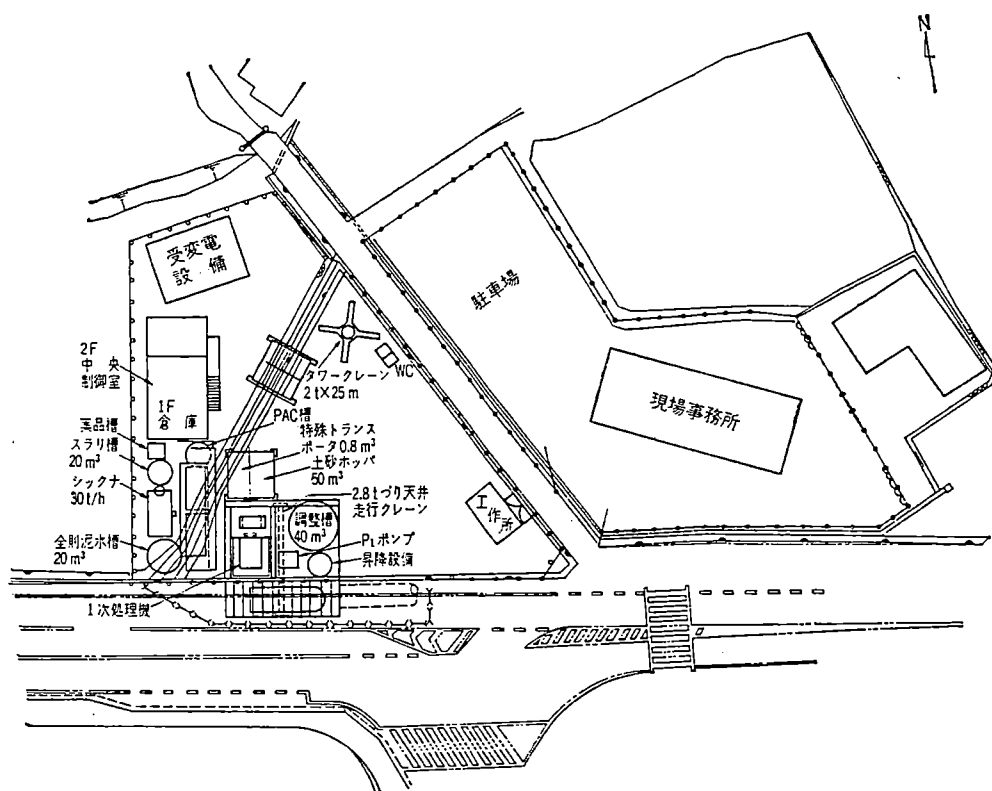


図-4 設備配置図 (1工区)

と思われる劣悪な地山

a) 約 130 m 付近の破碎帯, 約 15 m 区間

b) 約 460 m 付近の軟弱層, 約 15 m 区間に遭遇したが, シールド掘進をし突破した。

神戸層群れき岩は, 着手前, マトリックスとれきの硬軟の差が激しいので, 掘削時にれきが剥離

し, 掘進トラブルの原因になるのではと懸念したが, 全般的に固結状態もよく, 順調に掘進することができた。ただ, 凝灰質のマトリックスから成る個所では, 送泥比重が大きくなり送泥泥ポンプが過負荷となることにより, 掘進効率の低下が認められた。

(二) 曲線施工

平面線形は 70~200 mR が 18 箇所 (70 mR S 字カーブを 1 箇所含む), 曲線施工率は 43 % という難条件であったが比較的容易に施工できた。ただし, 左 70 mR 施工の際, TBM 本体は問題ないが, 後続台車が支保工に接触した。

(ホ) 軌条設備 (図-5)

軌条設備は, 送泥泥中継ポンプ設置個所で建築限界が決定されるため, 資機材運搬用にレールゲージ 410 mm の 1 t バッテリロコを製作し使用した。

(ヘ) 換気設備

換気設備は掘削径が 2.0 m と小断

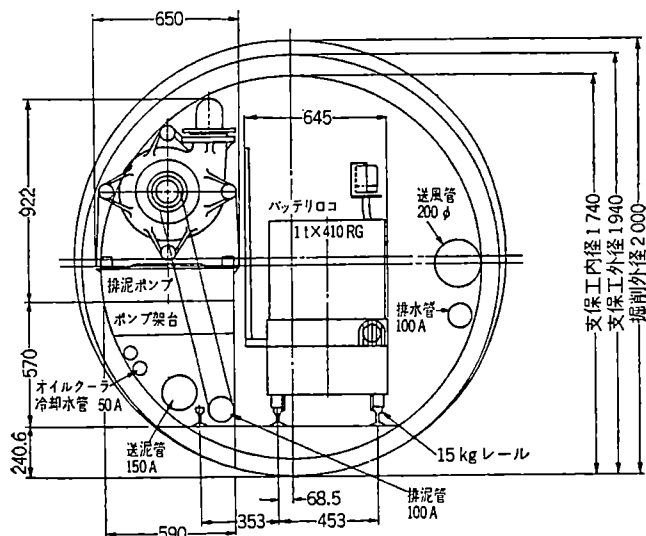


図-5 坑内設備配置図 (1工区)

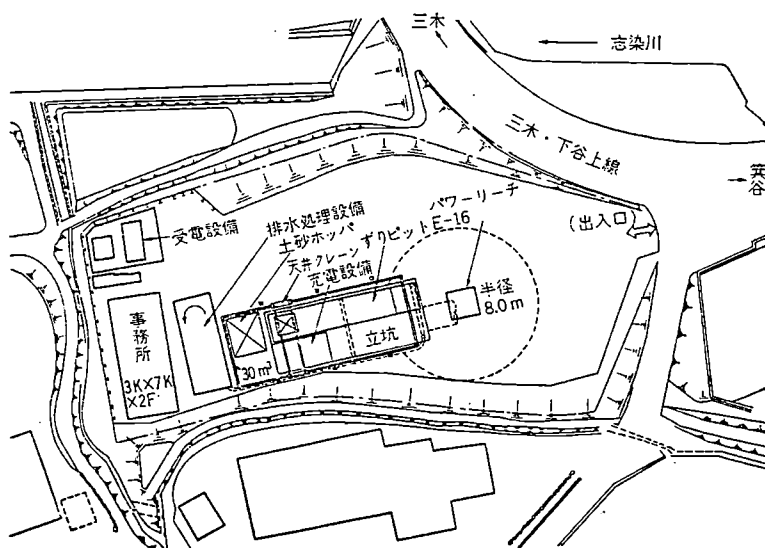


図-6 設備配置図(3工区)

面であるため、中継ファン等を設置することなく、坑口で一気には換気できる設備とした。また、TBM の機構上、切端での粉塵が少ないので送気方式をとった。

(ト) 濁水処理

岩盤を圧砕する過程において、1次処理機で処理できない74 μ 以下のシルト、粘土分が発生し、湧水および流体輸送水中に浮遊する。これが掘進することにより蓄積され、比重が高くなり、送排泥ポンプが過負荷となる。この現象を防止するため3次処理設備を設けた。

ii) 3 工 区

(1) 立坑築造

神戸層群れき岩から成る上部 (GL-12m) はアイオンで取りこわし、グラブバケットで搬出した。十止めは親ぐい横矢板工法を採用した。

下部は丹波層群砂岩の硬質岩が現われたために
静的破砕剤を用い1次破砕を行ない、イオンで
2次破砕を行なう施工法をとった。土止めはロッ
クボルト金網併用で行なった。

(口) 設備配置 (図-6)

掘削ずりは夜間残土処分が行なえないため、立坑底にずりピットを設け仮置きし、昼間に天井走行クレーンとグラブバケットを使用しずりホッパに投入した。

トンネルで使用する資機材の搬入は、立坑上に設置したパワーリーチで行なった。なお、立坑周

刃住民対策上、夜間使用ができないため、夜間用資材は立坑底に仮置きした。

(八) 初期掘進

掘進機本体の両側に反力壁を打設し、後続台車 No. 1 (運転台車) は立坑底、No. 2～No. 4 は立坑上に設置して配線配管を行ない初期掘進を開始した。

掘進機本体がトンネル内にはいった時点で反力壁を取りこわし、レールの布設をして、No. 1 台車を本体に連結し掘進を 19 m 行なった。この時点で、立坑上の後続台車を搬入し配線配管を行ない、さらに 26 m 掘進をしトレーンコンベアを据え付け初期掘進を完了した。

(二) 掘進狀況

掘進した岩質は、丹波層群砂岩、泥岩、粘板岩、玢岩、閃緑岩、神戸層群れき岩と多種にわたり、その圧縮強度も $160 \sim 2700 \text{ kg/cm}^2$ と硬軟の変化が激しかった。さらに、小規模な破砕帯も 18 個所認められた。

上記のような複雑な地質条件にもかかわらず、当工区は大きなトラブルもなく順調に掘進することができた。

支保工は、種々に変化する岩質に応じて、支保形式を区分し使用した。すなわち、地山が良好な場所は無支保、肌落ち程度の場所（主として矽岩部）は溝形支保工、荷重が乗りそうな場所はH形支保工、さらに山が悪い場所ではセグメントを使

表-5 1 工 区 史 績 表

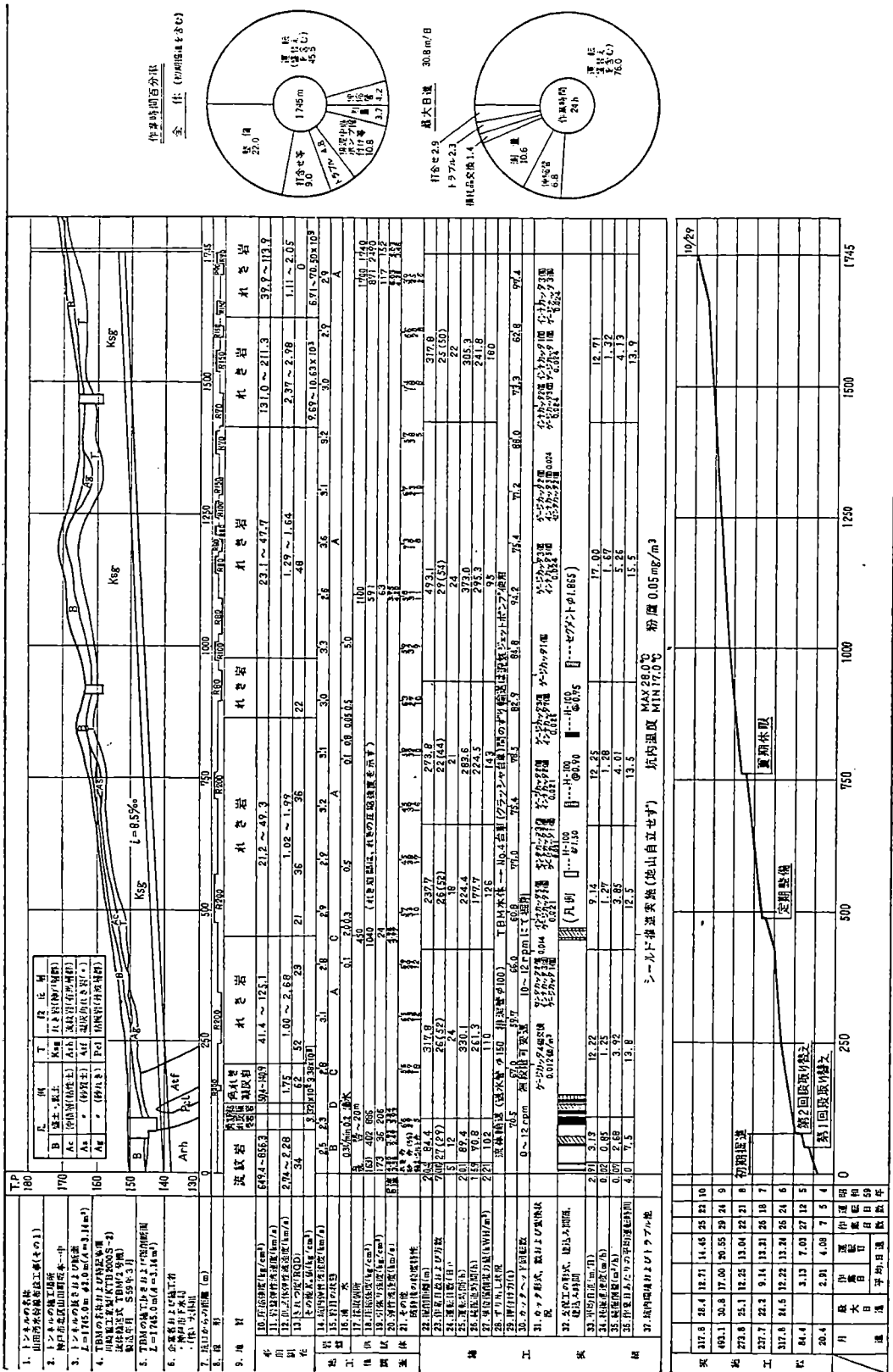
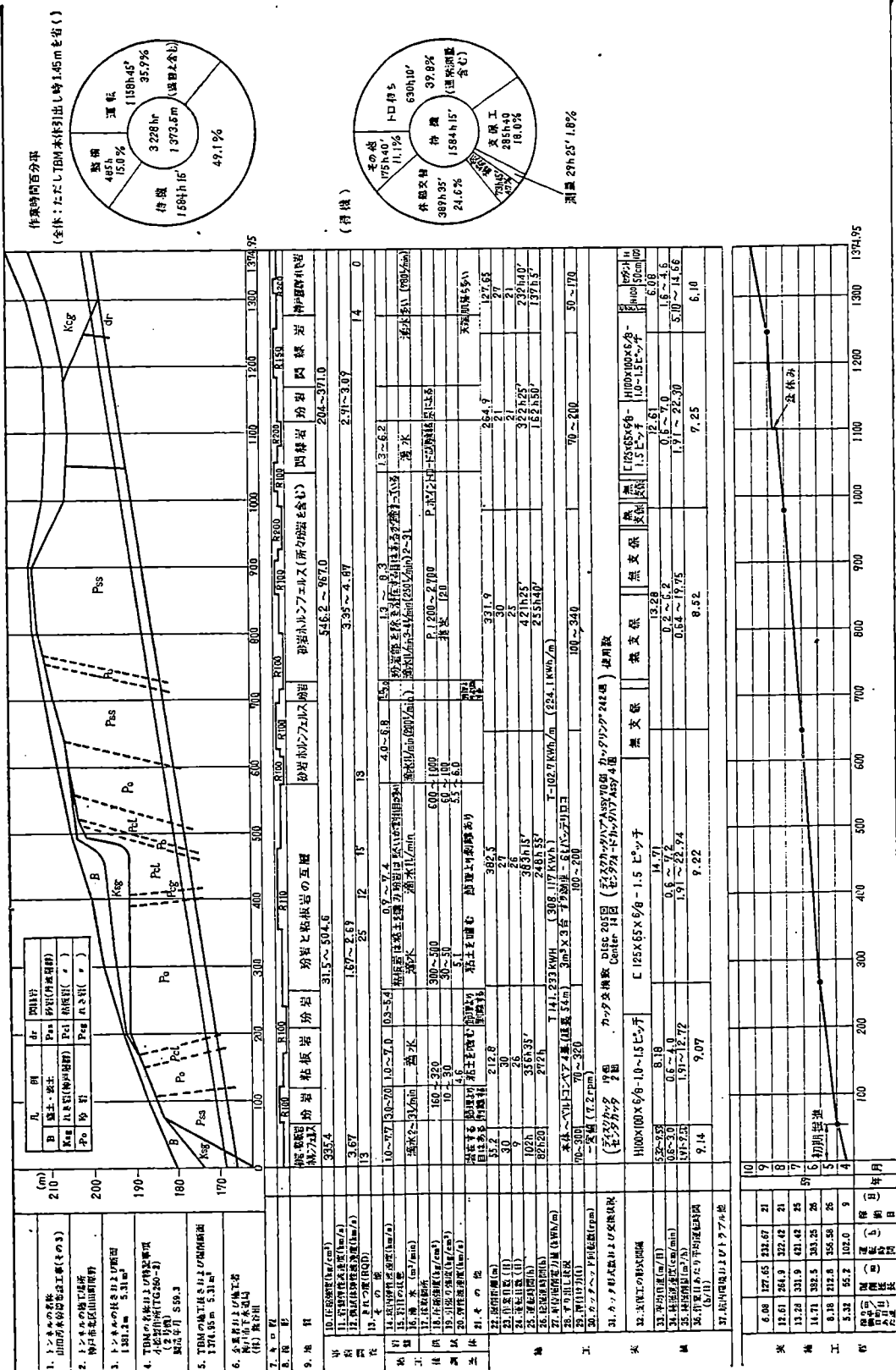


表-6 3 工区'实'绩表



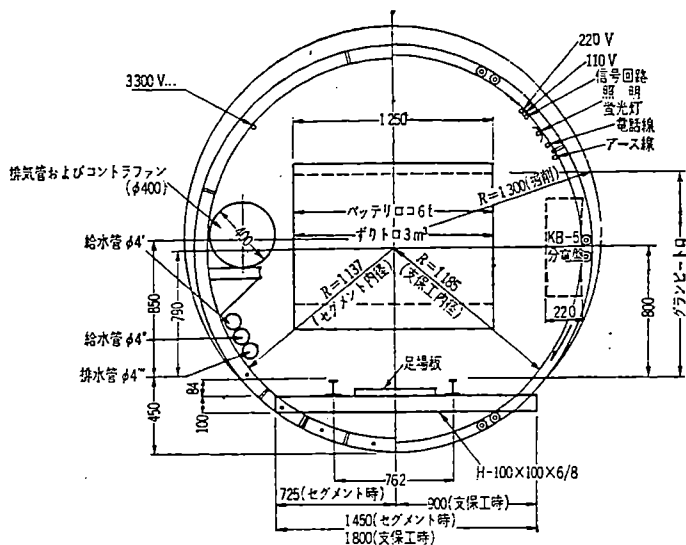


図-7 坑内設備配置図(3工区)

用した。

約1.0 km 掘進時よりずり鉋車待ちが目立つようになった。このことはTBMの能力を十分に発揮させるためにも、坑内退避所の設置等の対策が必要と思われる。

(ホ) 曲線施工

線形は、100～200 mR が12箇所あり、曲線率も52.3%と直線より曲線のほうが多いという過酷な条件である。

曲線施工は、掘進機本体が3折式テレスコピックシールドとなっており、さらに操作の簡単なステアリング機構で方向制御も容易にできるため、比較的楽に施工できた。

(ヘ) ずり搬出設備(図-7)

ずり搬出は、掘進機の1ストロークの掘削土量相当分の容量をもつ3 m³ 鉋車3両編成とし、6 t バッテリロコでけん引した。レールは22 kg/m を使用し、軌間ゲージは762 mm とした。

(ト) 換気設備

掘進時切端で発生する粉塵を強制的に切端先端で吸引排気し、かつ、粉塵の発生量を少なくするため切端に噴霧散水を行なった。

換気設備は坑内に吸引排気用のコントラファン(150 m³/分、450 mmAq) を400 m ごとに設置した。

(チ) 濁水処理

当初、約40 m³ の沈砂池を設け自然沈殿を計

画したが、粉塵防止のための散水中に74 μ以下の塵埃が混入し湧水とともに流出してきたため、凝集剤を使用して強制沈殿を行なった。

(5) 施工実績

施工実績は、土木学会岩盤力学委員会編「我国におけるトンネル掘進機の実績と展望」に示されているTBM掘進実績記入様式に基づき、データ整理を行なった。

それぞれの工区の実績は表-5、6のとおりである。

あとがき

隣接する工区でタイプの異なる2種類のTBMを採用し掘進を終えた。両工区とも実用化第1号機による掘進であったにもかかわらず400～500 m/月という高速掘進が得られた。これにより、岩盤地帯から成る市街地でのトンネル工法としてTBM工法が再評価されと考えている。

本工法実施にあたり、施工業者である大林組、熊谷組および機械メーカーの川崎重工、小松製作所の技術陣の絶え間ない研究と熱意により満足のいく成果を収めることができたことに対し、本誌面をもって厚くお礼申し上げる次第である。

最後に、下水道管渠建設においては種々の特殊工法が採用されるようになってきた。この報告はTBM工法の再評価と岩盤地帯での下水道管渠建設の一例を述べたものである。今後、さらに、新たな創意工夫が行なわれ、より適切な工法が実用化されることを期待する。

本論文は土木施工第26巻9号(1985・7)より転載

* * *

近畿・京阪神地区における地球化学的手法 による地震予知の研究 — 有馬温泉を例として —

京都大学防災研究所 吉岡 龍馬

はじめに

近畿・京阪神地区は地震予知連絡会によって特定観測地域に指定されている。この地区は社会的にみて重要な地域であり、数多くの活断層が存在し、また過去には多くの被害地震が発生した。これらの活断層が将来、ふたたび活動し、大地震をおこし、京阪神地区に甚大な被害をもたらす可能性がある。

ところで、京都大学では、社会的道義的責任の立場から、近畿地区に地震予知研究の実践的テストフィールドを設けることを、第5次地震予知計画に盛り込んでという呼びかけが、三木晴男教授(地震予知観測地域センター)からなされ、数回にわたる議論の後、「近畿・京阪神地区における総合的研究」という研究課題で文部省に概算要求が提出され、さいわいにも、第5次地震予知計画に採択された。

そこで、まずこの研究計画の主旨を述べ、ついで、地球化学的手法による地震予知の研究、有馬温泉の概要、有馬温泉有明2号井での地球化学的観測の結果について記述する。

1. 第5次地震予知計画「近畿・京阪神地区における総合的研究」の主旨

京都大学は近畿・京阪神地区の地震予知研究に責任をもっている。京都大学には、さまざまな分野の専門家がおり、地震予知計画の進捗にともない施設や設備が充実されてきたので、欠けている若干の部分を補うことにより、総合的研究の実施が人的にも物的にも可能になってきた(京都大学地震予知研究会・1984)。

全体計画は時間的にみると長期予知と短期予知に、地域的にみると近畿と京阪神に大別できる。
すなわち

長期予知 — 近 畿 — 活断層の診断

短期予知 — 京阪神 — 地震前駆現象の研究

長期予知の研究は地質学的地球物理学的地球化学的手法による活断層の診断とみなすことができる。この診断内容は断層構造の明確化、断層の年代決定、断層の現在の物理的状況の3つに分けられる。

断層の特性は地域的にも過去の地震との関連においても多様であるが、近畿地方の活断層は地形

的に比較的明瞭で歴史地震も遠く過去にさかのぼることができるので、当地の活断層は過去および将来の地震発生とのかかわりで研究するのに適している。

長期予知の研究目標を活断層のカルテ作りだけでなく、次に大地震をおこすのはどの断層か、そこでどんな観測が地震予知により有効かを結論することに置く。

論理的には、次に大地震をおこす断層の見当がついてから、そこで短期予知のための集中観測を行うのが正当である。が、予想される前兆的諸現象の平常時の挙動がより小さな地震による試験研究の基礎付けがなければ、突発事象への対応はできない。したがって、京阪神地区に注目した短期予知のための総合的研究も同時に開始させる。

さいわい微小地震観測網、地殻変動総合観測線が完成し、総合移動班（測地測量）も稼動しているので、これらを補足する分野として電磁気学および地球化学を充実することによって総合観測の体制はできあがる。

短期予知の研究は前駆的異常現象の観測にとどまらず、過去のデータも見直し、総合的視野をもって異常現象から地震の前兆と非前兆とを識別する客観的基準を導き出し、各手法の有効性と無効性を評価し、前兆をとらえることを目標とする。

2. 地球化学的手法による地震予知の研究

本研究計画において、われわれは地球化学的観測を担当している。本節については西村(1984)がとりまとめたものを以下紹介する。

今までの被害地震は活断層、又はその近辺の主要活断層と平行に発生する断層が活動するとき発生する。

I. 断層は、その地域で多くの共通した性質をもっている。

II. 「断層と地震」の関係

1. 活断層が動くときは $M=6.5$ 以上の大地震がおこる。
2. 活断層から生じた地震の M とその地震で出現した断層の長さとの間には対数比例の関係がある。
3. 活断層がおこす大地震の規模やその発生の時間間隔は活断層ごとにだいたい決っている。
4. 短かい活断層が多数密集していたり、分岐断層の多い断層系はあまり大きな地震をおこさない。
5. 同じ活断層から大地震のおこる時間間隔は日本内陸の場合数百年以上である。
6. 活断層の一部で大地震がおこると近接の部分が連続的に地震をおこす傾向がある。

III. 断層と地下水

活断層は何回もくり返して地震がおこっていることが普通である。そこに岩盤が破碎され、地下

水がかん養、貯溜され、被圧地下水として移動する。もし活断層に歪がたまり、地震がおこるときこの被圧地下水に何らかの情報が与えられる。これまでに知られる地震の前後の地下水の変化には(1)自噴量の増減、地下水位の変動、(2)水温の変化、(3)色・味・臭気・混濁などの変化、(4)噴砂・噴水、(5)渦・泡の発生、(6)地下水中の元素の変化などがある。

Ⅳ. 地球化学的手法の現状

1. 現状は種々の方法を意欲的に取り入れて来た。しかし、一つの方法が良いと云われるとすべての断層について適用できると考えたことがある。
2. 化学者と地球物理学者とが急に結びついたので、非常に啓蒙されたと同時に、その教育訓練の面で非常にことなることから相互理解のむづかしい面もはっきりした。
3. 地質学者の参加が少ないことから活断層のもつ個々の特徴に対応することが少なかった。

Ⅴ. 「近畿・京阪神地区における総合研究」での計画

1. 活断層の診断をする。
 - (イ) 近畿地方の各地域ごとの断層の性質を明確にする。
 - (ロ) 活断層の最終活動の年代を求める。
 - (ハ) 活断層に伴う地下水の性質を明確にする。

2. 短期予報

今まで被害地震の起った記録のない活断層で、既存の温泉やトンネル内の地下水が得られ、かつ他の方法でも観測できるところをえらび、その地下水の性質を活かした連続観測を実施する。

候補地：有馬温泉・有明 1, 2 号

：大山寺温泉

：布引トンネル内の被圧地下水

有馬温泉では水銀、ガス分析を湧出量、温度、伝導度とともに測定する。大山寺温泉ではガス分析、湧出量、温度、伝導度を、布引トンネル内の被圧地下水はラドン量、湧出量、温度、伝導度の測定を行なう。

西村のⅡ、「断層と地震」の関係の項目 1～6 に対して、三木(1985)は以下のようなコメントをあたえている。次の項目 1～6 は西村のそれに対応するものである。

1. $M \geq 6.5$ の内陸部の浅い地震のうち地震断層を伴った地震(11例)とそれ以外の地震(12例)を比較検討し、 $M7$ の地震の場合、地震断層ができる確率は約 5 割で、 M が大きくなると地震断層はできやすくなり、小さくなるとできにくくなる。 $M6.5$ でもできることがある。

2. これは松田(1975)の式のことを言っている。

$$\log L = 0.6 M - 2.9 \cdots \cdots (1)$$

1, 2 も地震の後からしか分からない土地のずれについて言っているが、活断層と地震断層とは必ずしも一致しない。地震予知を指向するならば、まず、地震の前に既知であった活断層と地震、あるいは地震断層との関係を調べておく必要があるとして、(A)既知の活断層と地震断層の一致・不一致、(B)既知の活断層だけを監視していた場合どれだけの地震をとらえ得るか、(C)断層の長さで地震のMについて、種々な検討を試みている。

3. この結論は時期尚早としている。松田(1975)は「断層ごとに発生する地震の規模に固有値がある」という仮説を次の3つの地震をその例に挙げている。

745年と1891年の濃尾地震M7.9

841年と1930年の北伊豆地震M7.0

887年と1847年の善光寺地震M7.4

1891年の濃尾地震の地震断層が温見断層、根尾谷断層、梅原断層であったことは分っているが、これらの断層が745年の地震の際にも動いたかどうか不明である。善光寺地震断層系については、887年の地震の存在に疑問が投げかけられている。北伊豆地震断層系についての例証を否定する根拠はいまのところない。しかし、A級活断層が固有地震規模をもって1000年に1度動くという話しは普遍性をもたないといえよう。

4. 近畿・京阪神地区でその場所を具体的に指摘してほしい。

5. 次の松田(1975)の式に

$$\log R = 0.6 M - 4.0 - \log S \cdots \cdots (2)$$

平均変位速度SとマグニチュードMの数値を入れると、再来周期Rが求まる。数百年は短かすぎ、もっと長くてもよい。

6. 「連続的」という用語は「連鎖的」という意味か。連鎖的という言葉は三木(1980)は「近畿地方中央部の大地震活動は特定の地域に年代的に集中し、しかもその期間にその地域の主な活断層はほとんどすべて地震に関与した。つまり、その地域の活断層群は1つの断層系と称し得るほどに連鎖的に活動した」という意味で使っているが、松田(1975)は分割放出型と言っている。すなわち、断層のデイメンションLから(1)式をもちいて求まるMに比べて有意に小さい地震が断層区間を異にして発生した場合、それを分割放出型と称し、こんな地震の例として、

会津断層系における1433年M6.7および1611年M6.9

福島断層系における1731年M6.6および1956年M6.1

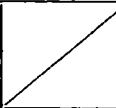
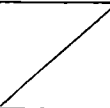
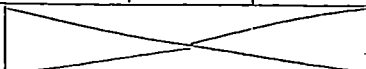
を挙げている。この例をみると分割された期間は約200年であり、三木(1980)が指摘している地震活動期間もほぼこの程度である。

3. 有馬温泉の概要

当学会関西支部の56年度(1981・11)の見学会のコースの1つに有馬温泉があった。

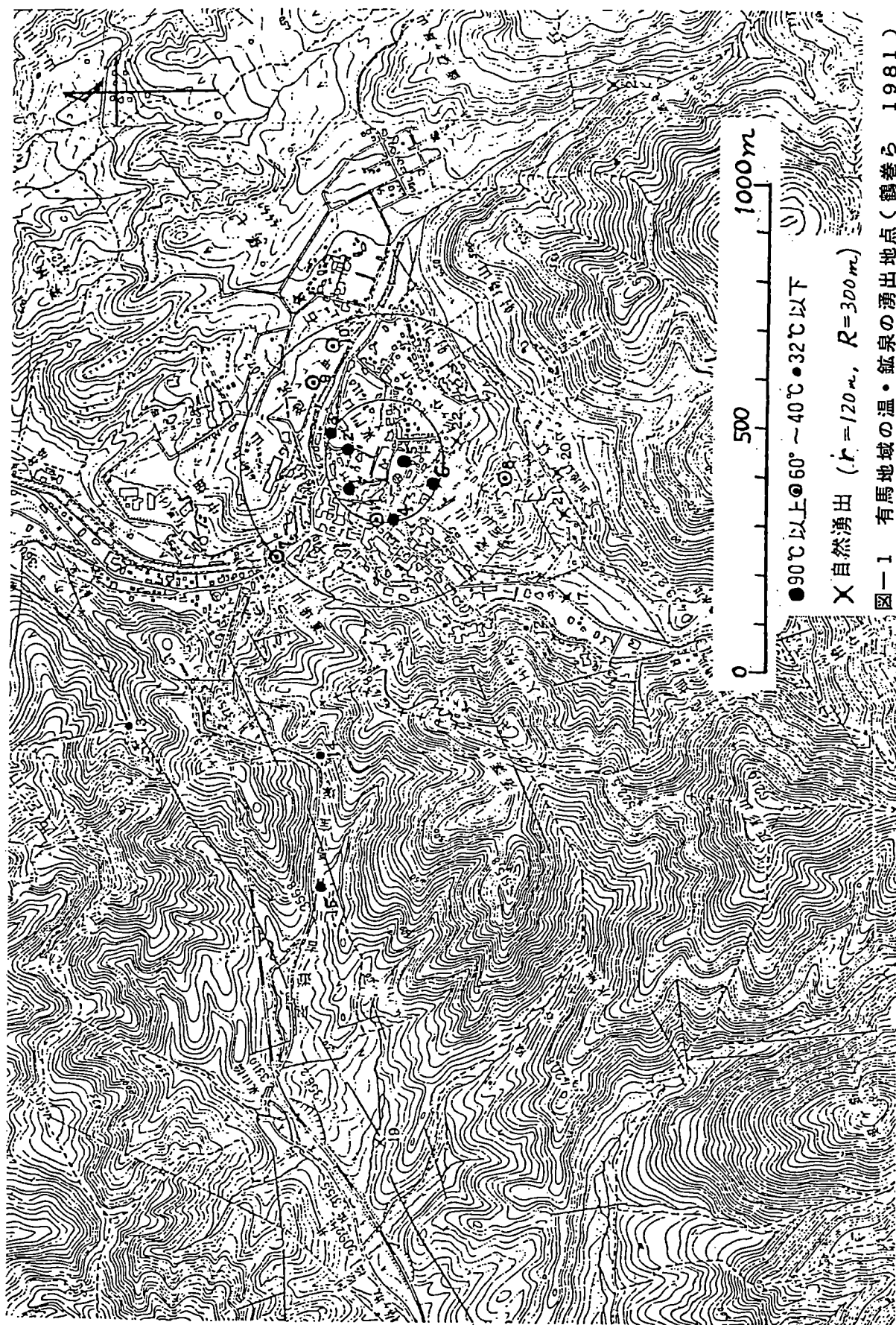
その際、鶴巻ら(1981)によってまとめられた「有馬・宝塚地域の温・鉱泉群に関する最近の知見」から、われわれの観測項目や有馬温泉についての理解に必要な事項を以下抜粋する。

有馬温泉は利用された日本最古の温泉とみられる。鶴巻ら(1981)によりまとめられた有馬周辺の温・鉱泉の湧出状況と泉質を表-1に示す。これによると100℃に近い高温泉から冷泉まで、また強食塩泉から含炭酸土類塩化物泉、単純炭酸泉にいたるまで、多種多様のものが分布している。また一部には放射能泉も存在する。これらの位置は図-1に示してある。

種 別	1 ボーリングしたもの			2 天然湧出するもの		
	1-1 高 温 泉	1-2 中 温 泉	1-3 鉱 泉	2-1 鉱 泉	2-2 鉱 泉	2-3 鉱 泉
分布地域	愛宕山北方 (200m) ²	1-1 を中心とする (400m) ²	広 範 囲	広 範 囲	射場山北方 (射場山断層)	六 甲 川
泉 源 名 称 又は湧山地	天神(1) 有明1号(2) 有明2号(3) 御所(4) うわなり(5) 極楽(6)	決石(7) 筒保保養所(8) ヘルセンター(9) ヘルセンター(10) 温泉会館(11)	月光園(12) 蛇谷(13) グランド(14) 新有馬(15) 五社、生類 宝塚	撫 琴 荘 水 無 谷 井 屋 谷	地獄谷1.0(1) 地獄谷2.0(1) 炭酸ホテル(2)	瑞 宝 寺
水 温 °C	90 ~ 97	43 ~ 60	Max. 32.5(五社)	気温に支配される		
Cl ⁻ g/ℓ	23 ~ 41	2.3 ~ 31	1.7 ~ 33	1.1 ~ 4.8	0.01~0.02	0.3
HCO ₃ ⁻ mg/ℓ	60 ~ 170	350 ~ 500	500 ~ 2400	150 ~ 1000	0 ~ 30	192
f. CO ₂ mg/ℓ	少 い	多いものあり	750 ~ 1300	1300 (撫琴荘)	300 ~ 1600	37
SO ₄ ²⁻ mg/ℓ	nd ~ tr	5 ~ 35	nd ~ tr	0 ~ 12	0 ~ 100	0
Br ⁻ mg/ℓ	←———— Br ⁻ = 0.0016 × Cl ⁻ —————→					
HBO ₂ mg/ℓ	←———— HBO ₂ = 0.015 × Cl ⁻ —————→					
F ⁻ mg/ℓ	←———— 分 析 困 難 —————→				0 ~ 0.44	5.5
Fe mg/ℓ	←———— Fe ≐ (0.004~0.006) × Cl ⁻ —————→				0.1 ±	0.18
Ca+Mg mg/ℓ	高温泉の Ca+Mg ≐ 0.17 × Cl ⁻ Mgは極めて少い、10~50mg/ℓ				0.3 ~ 1.5	2.78
泉 質	強 食 塩 泉	(強) 食 塩 泉	含炭酸~含土類 食塩泉	単純炭酸泉 放射能泉		
湧 出 状 況	ラッパ管に よる自噴	間歇泉或は 動力 水	各種あり			

※()の数字は図1の地点に対応する。

表-1 有馬周辺の温・鉱泉の性質の要約(鶴巻ら 1981)



図一1 有馬地域の温・鉱泉の湧出地点(鶴巻ら 1981)

表-1の「ボーリングしたもの」は深度200～300mのものであるが、泉温90℃以上の高温泉に属するものの湧出地点は、愛宕山北方の半径およそ150mの狭い範囲に限定されている。

40～60℃の中温泉の湧出地点を含めても、半径およそ300mの範囲内となる。

現在利用されている高温泉は、全般的に多量のガスを伴っているので、ラッパ管の挿入によって自噴させている。中温泉としたものには、間欠自噴するものと短時間のエアリフトの後に自噴を継続させているものがある。

鶴巻ら(1981)は有馬温泉の湧出機構を、 $Cl-HCO_3$ 、 $\delta D-\delta^{18}O$ (図-2)、 $\delta^{18}O-Cl$ 、 $\delta^{13}C-(CO_2+HCO_3)/Cl$ などの関係から、次のように要約している。①低温で CO_2 に富む塩水が広く分布し、それが局所的な熱源によって加熱され CO_2 を失ったものが高温食塩泉として湧出する。②泉源による塩濃度の水温などの差は地下水による希釈や加熱の程度の差による。③散失した CO_2 は浅層の地下水に溶解して炭酸泉となっている。

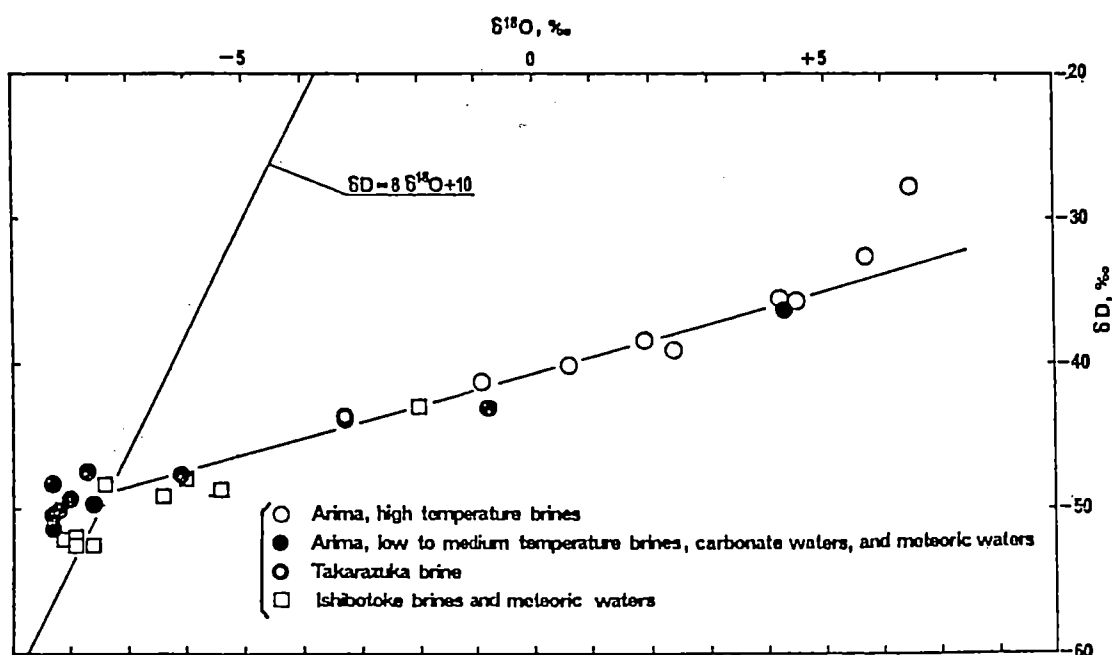


図-2 有馬・宝塚・石佛の温・鉱泉の δD と $\delta^{18}O$ の関係(松葉谷ら 1974)

図-3に有馬地域における岩石中の水銀含有量の分布図を示す。これから水銀濃度の高い地区は地獄谷の射場山断層沿い、愛宕山の破砕帯、道場山、落葉山で、この区域の射場山断層が熱水またはガスの通り道になったことが推測される。

水銀濃度の異常値と高温泉源との位置関係をみると、水銀異常値(度数分布図より判断して320 PPb以上の地域)は高温泉源をとり囲み、特に1000 PPb以上の水銀含有量を示す岩石は高温

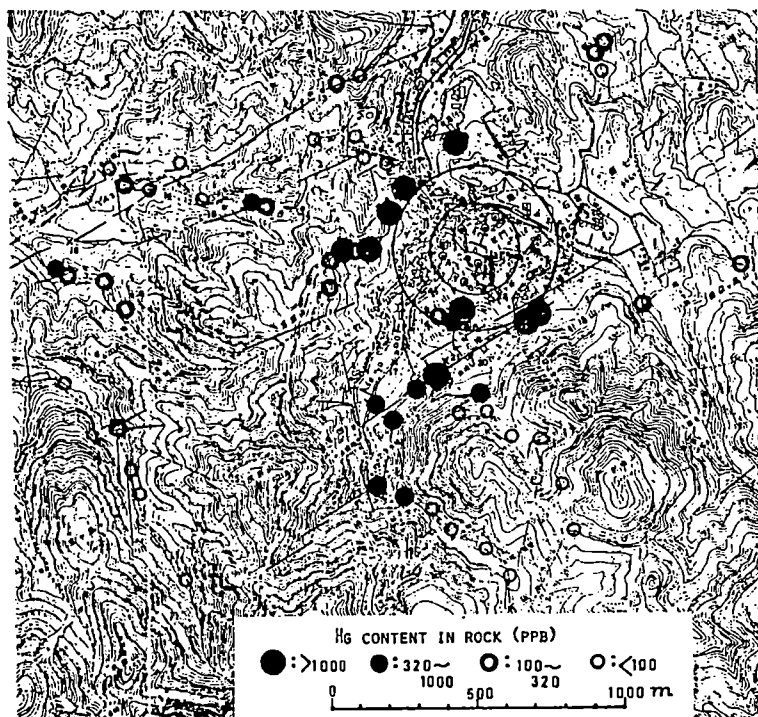


図-3 有馬地域における岩石中水銀含有量の分布図(鶴巻ら 1981)

泉源群から500m以内の狭い地域に限定されている。このように水銀含有量の異常域が狭いのは地下熱源の大きさに関係しているものと、鶴巻らは推定している。

さらに、鶴巻らは有馬の温・鉱泉に伴うガスの分析を行っている(表-2)。泉質が含炭酸食塩泉、単純炭酸泉であることを反映して、湧出するガスもその大部分がCO₂であり、含有量が95～99%程度ある。また泉温の高いものほどHe濃度も高くなっていることから、熱源とHe濃度とに何か関係があるのかも知れないと彼等は指摘している。これはSANO and WAKITA(1985)の有馬の高温泉の³He/⁴Heの値が 9.22×10^{-6} (空気のこの比は 1.42×10^{-6})を示すことから支持される。

※ 採水地点は表-1の泉源名称と対応する。

Locality	Samp. Date	CO ₂ (%)	N ₂ (%)	CH ₄ (%)	He(ppm)	H ₂ (ppm)
1	81. 5.13	94.5	98.2	0	5500	13000
3	81. 5.13	98.2	77.4	17.8	2500	46000
7	81. 5.13	98.5	75.1	24.7	2300	110
11	81. 5.13	98.1	80.3	19.6	1200	t.r.
20	81. 1.17	99.5	48.9	51.0	550	250
12	81. 1.17	84.1	97.0	2.96	380	t.r.

表-2 温・鉱泉にともなうガス分析の結果(鶴巻ら 1981)

一方、鶴見(1985)は有馬温泉に湧出するガスがどのようなガスの混合で成り立っているのかを、Self-consistent な最小自乗法を用いた解析により、表-3 のような結果を得ている。これから有馬温泉の地下に Source-1 と2 に示す2つのガスリザーバーが存在することが推定される。彼はこの3つのガスの混合で、表-4 のように温泉ガスの組成を説明している。

Source-1 の特徴となるガス成分は H_2 、Source-2 のそれは CH_4 である。したがって2つのガスの混合比を反映するのは CH_4/H_2 比である(図-4)。天神泉と有明泉の間でガス組成が大きく変化していることから、これら2つの温泉のガスが混合比の変化を示しやすく、その中の CH_4/H_2 比が地震予知に有効であると、鶴見は予想している。

SOURCE	He	H ₂	Ar	O ₂	N ₂	CH ₄
1	0.016	71	0.55	6.8	20	2.3
2	0.28	0	1.3	1.7	75	22
3	0.0038	0	0.95	20	79	0
AIR	0.00052	0.00005	0.93	21	78	0.00015

表-3 計算した混合の源になるガス組成 (in vol%) (鶴見 1985)

Sample	He	H ₂	Ar	O ₂	N ₂	CH ₄	1	2	3
TENJIN calc.	0.00073 0.00057	0.00021 0.00026	0.011 0.011	0.20 0.18	0.77 0.78	0.023 0.025	0.0070	0.19	0.80
ARIAKE calc.	0.00055 0.00043	0.0038 0.0037	0.0093 0.0098	0.20 0.19	0.78 0.79	0.0076 0.0091	0.13	0.069	0.81
TANSAN calc.	0.0012 0.0012	0.014 0.014	0.013 0.013	0.044 0.047	0.88 0.88	0.049 0.048	0.47	0.37	0.16
GINSEN calc.	0.0015 0.0016	0.000084 0.000069	0.015 0.015	0.062 0.065	0.82 0.82	0.098 0.097	0.0017	0.75	0.25
AIR calc.	0.0000052 0.00022	0.00000050 0.000075	0.0093 0.0089	0.21 0.23	0.78 0.76	0.0000015 0	0	0	1.0

表-4 ガスの分析値と計算値 (in vol fraction) および混合の源とになるガスの混合比 (鶴見 1985)

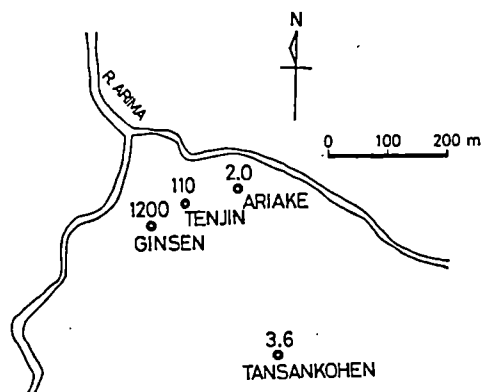


図-4 ガス採取地点と CH_4/H_2 比 (vol/vol) (鶴見 1985)

4. 有馬温泉有明2号井での地球化学的観測

われわれによって行われている有馬温泉有明2号井での溶存ガスなどの連続観測の結果を、西村(1985)がとりまとめたものから抜粋する。

第5次地震予知計画「近畿・京阪神地区における総合的研究」に長期予知とともに地球化学的手法による短期予知にも乗りだし、とくに技術の開発をはじめることが大切である(西村, 1984)と考え、有馬・高槻構造線との関係や、前述の溶存成分やガスから有馬温泉の何処かに最初の観測点の設置を考えた。現地踏査の結果、成分および管理上の面から、有明泉源が最適と考えられ、また観測上の問題から有明2号井をえらんだ。

有明2号井は株式会社有馬温泉企業の所有泉源で、兵庫県衛生試験所の記録(昭和48年3月)によれば、掘さく深度250m、泉温91℃、湧出量40〔1/min〕で溶存ガスが多く、有馬温泉独特のラップ管の挿入によって自噴力を強めている泉源である。事務的な問題から、観測開始は1985年1月中旬である。

1596年の伏見大地震以降、1899年の有馬の鳴動に至るまでの有馬温泉の泉温湧水量変化について、大森(1917)は次のように解釈した。有馬温泉は、高濃度の食塩分が不溶性の沈澱物を形成するために、温泉の流路を閉鎖する傾向にある。地震や鳴動のたびに、その流路が大きく開くために、浅層地下水との混合比が変化して、地震後は、湯量、泉温ともに増加する。すなわち有馬泉源は地震時にその泉温、湧出量を変化した記録がある。またその成分から、その源はかなり深いものと考えられ、この地域にかかる非常に良い感度の歪計となりうることを示している(第3節参照)。

温度の高い温泉水には水蒸気を多く含み、その分離をする必要がある。分離しないときは測定機器が正しく動作しない。そこで、種々の工夫がなされる。今回は、図-5に示すような、ガス分離の方式をとった。図-5のガスは、更に観測室近くに導かれ、水の蒸発熱を利用したり、冷蔵庫を利用して、もう一回水分を取り除く。今後、テフロン製の微小孔をあけたものを利用する工夫を考え

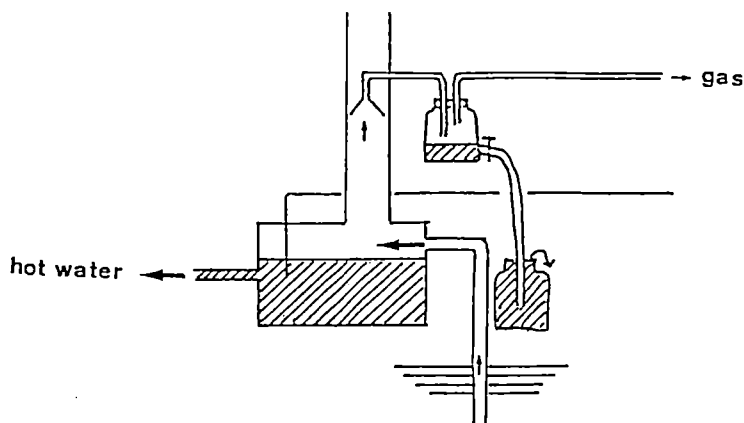


図-5 溶存ガス分離法(西村 1985)

ている。

水温測定には抵抗温度計、溶存ガスの H_2 , He , Ar , N_2 , CH_4 はガスクロマトグラフが自動的に作動さす方式で、Sugizaki , et al. (1982)の方法を採用した。測定は3時間ごとである。その流れ図を図-6 に示す。Hg ガスは原子吸光で自動的に作動さし、現在は20分ごとの測定を行っている。その機器の概要を図-7 に示した。

測定結果の一部を図-8 , 9 , 10 に示す。この他、雨量、気圧、観測室の室温を自動的に計測している。

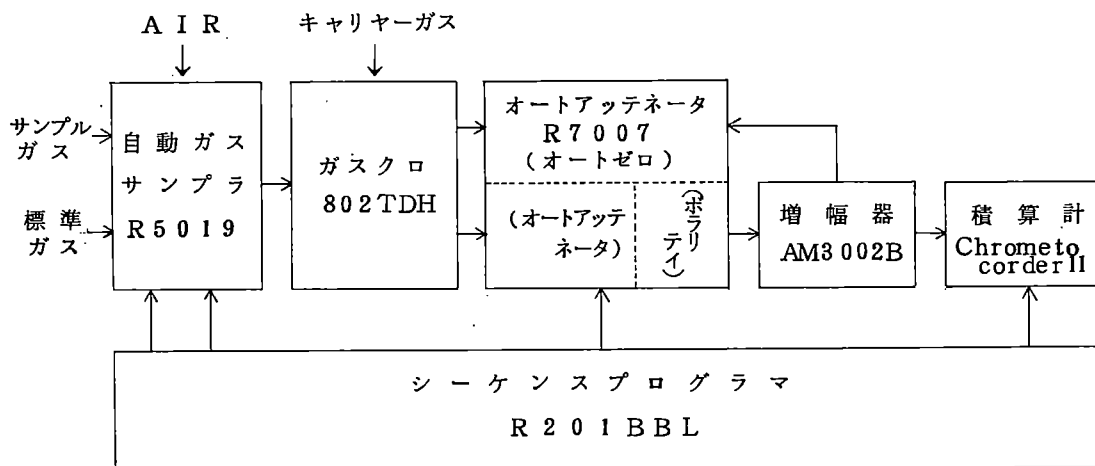


図-6 溶存ガスのガスクロマトグラフ自動分析装置流れ図(西村 1985)

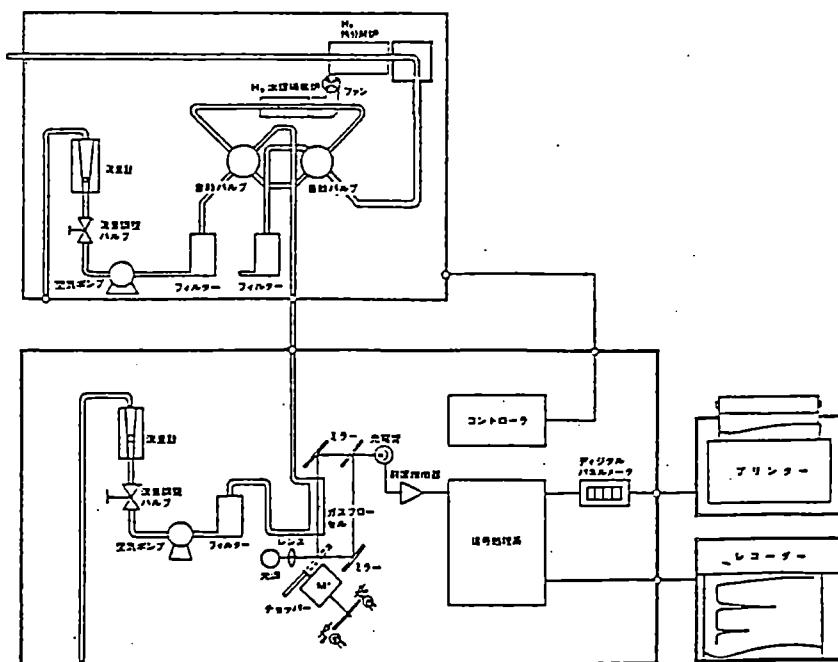


図-7 Hg ガスの原子吸光装置概略図(西村 1985)

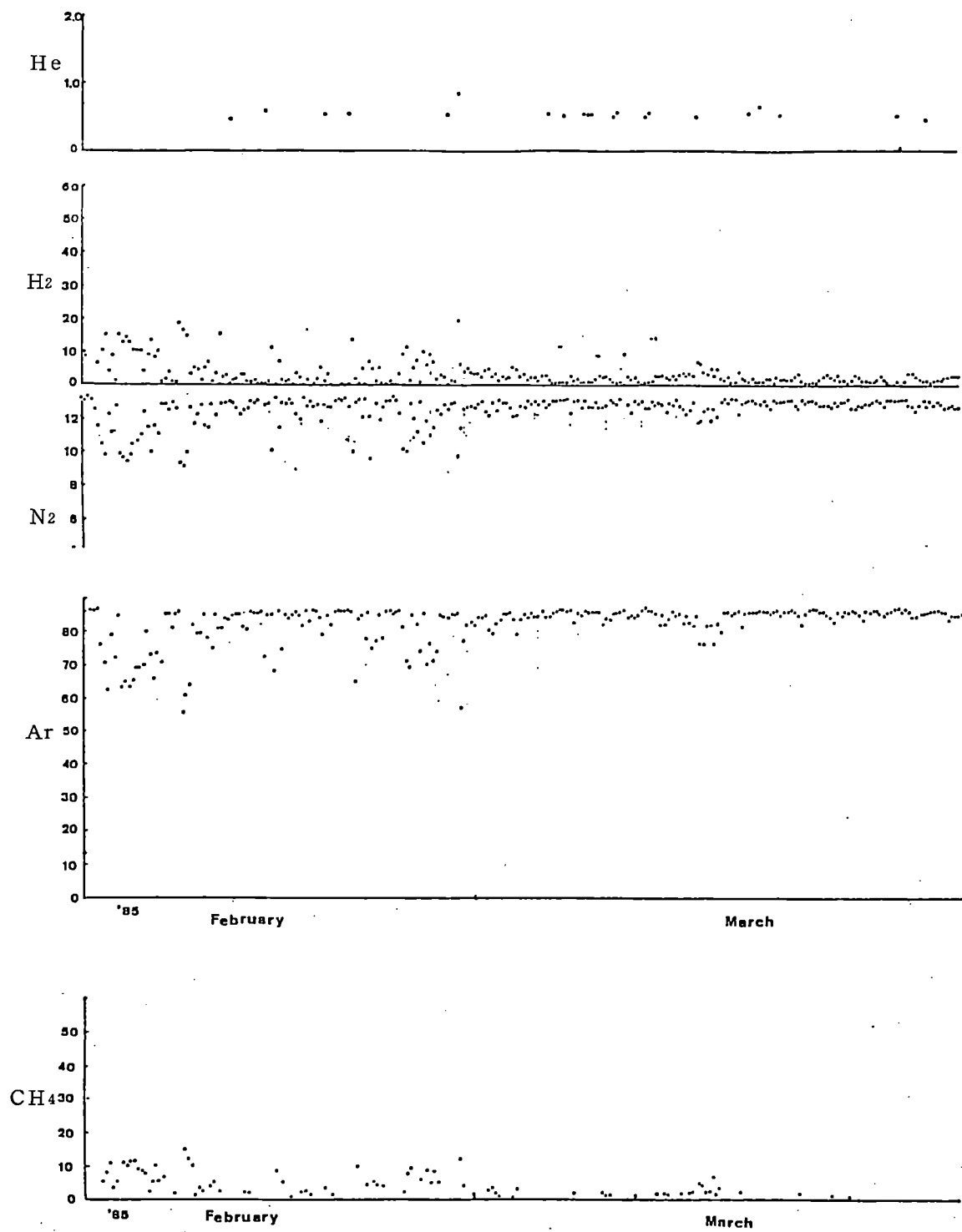


図-8 He, H₂, N₂, Ar, CH₄の変化図(西村 1985)

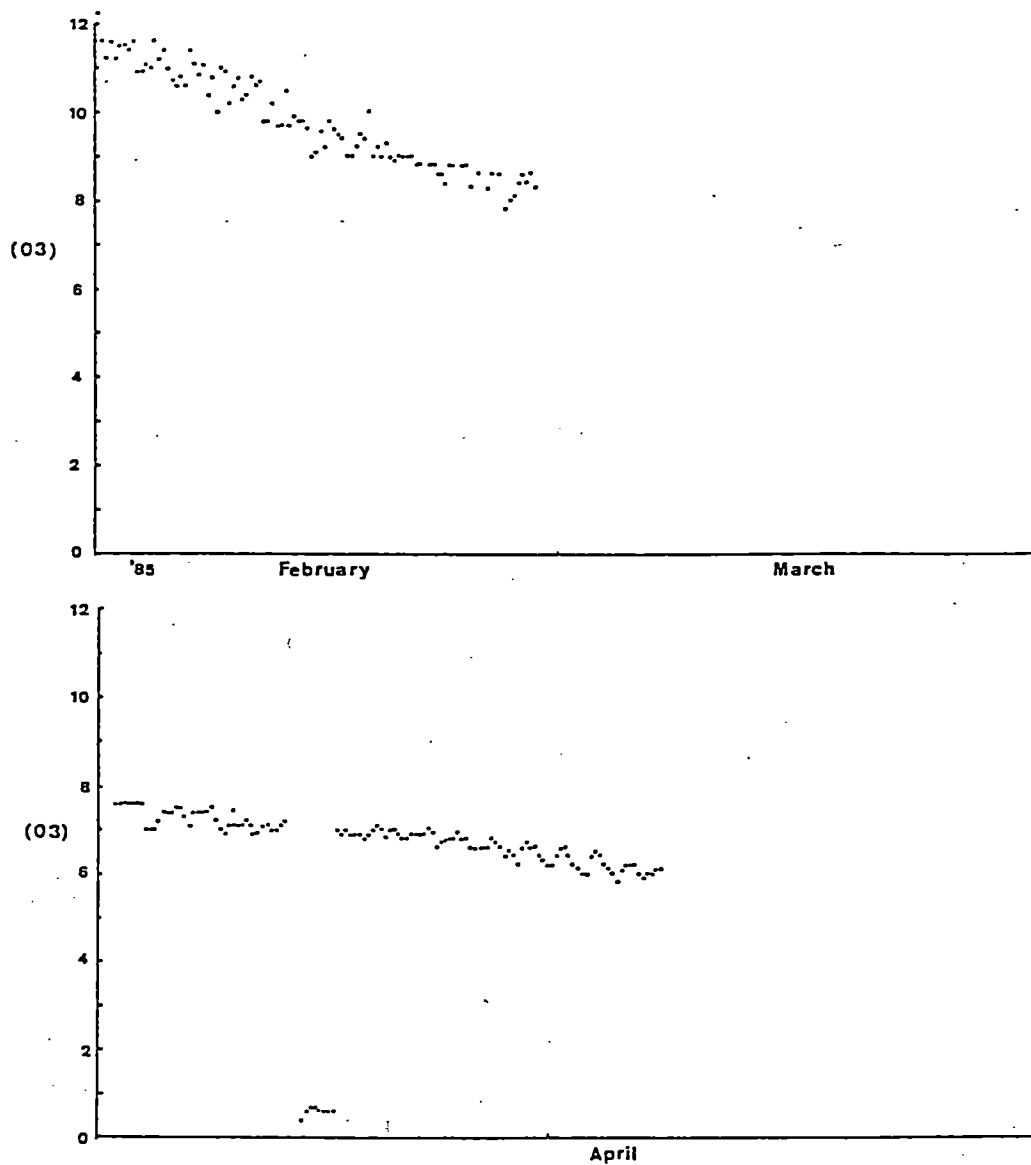


図-9 Hg の変化図 (西村 1985)

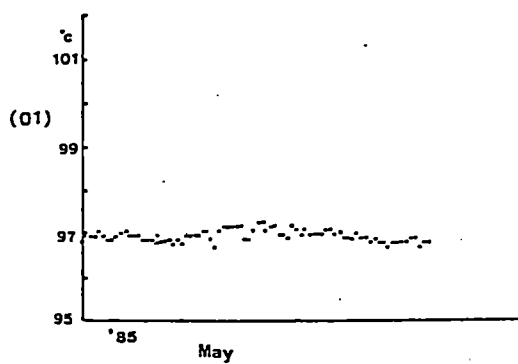


図-10 泉温変化図 (西村 1985)

おわりに

近畿・京阪神地区における地球化学的手法による地震予知の研究を、以上4項目で概説したが、有馬温泉有明2号井での溶存ガスなどの連続データは段々蓄積されつつあるので、今後これらのデータの解析をすすめるとともに測定器の改良も行い、より信頼性の高いデータの収録につとめ、地球化学的手法による地震予知の確立を計りたい。

文 献

京都大学地震予知研究会(1984):第5次地震予知計画「近畿・京阪神地区における総合的研究」の主旨、地震予知「きんき・けいはんしん」会報,2,10

西村 進(1984):地球化学的手法による地震予知の研究,同上,1,4-5

三木晴男(1985):活断層研究の問題点 - 地震予知からみた -, 同上,5,24-32

松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について,地震,28,269-283

三木晴男(1980):地震の超長期予測,玉城教授記念講演集,14,10-27,財団法人京都理学研究協会玉城記念会

鶴巻道二・桜本勇治・奥田庸雄・岡田昌訓・益田晴恵(1981):有馬・宝塚地域の温・鉱泉群に関する最近の知見,六甲山地の地質構造と応用地質学的諸問題,日本応用地質学会関西支部22-50

松葉谷 浩・酒井 均・鶴巻道二(1974):有馬地域の温泉・鉱泉の水素と酸素の同位体比について、岡山大学温泉研究所報告,43,15-28

Sano Y. and H.Wakita (1985): Geographical distribution of $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in Japan: Implications for arc tectonics and incipient magmatism, J.G.R., 90, B10, 8729-8741

鶴見 実(1985):有馬温泉から採取したガスの起源,日本地球化学会年会講演要旨集,51-52

西村 進(1985):有馬温泉有明2号井での溶存ガス等の連続観測について、地震予知「きんき・けいはんしん」会報,7,18-29

西村 進(1984):地球化学グループの計画と見通しについて、地震予知「きんき・けいはんしん」会報,2,2-3

大森房吉(1917):有馬温泉ノ温度変化ニ就キテ(地震ト温泉トノ関係ノ一例),震災予防調査報告,88丙,34-39

Sugizaki, R., Takeda, H., Kawabe, I. and Miyazaki, H. (1982) Simplified gas chromatographic analysis of H_2 , He, Ne, Ar, N_2 and CH_4 in subsurface gases for seismogeo-chemical studies, Chem. Geol., 36, 217-216.

有馬・宝塚周辺の有馬層群

－ 特に応用地質に関連して －

地質調査所・大阪出張所 河田 清雄

大阪府立今宮高等学校 吉田 久昭

“石英斑岩”の実態

西南日本内帯と呼ばれる地域には、1800年代の後半頃から“石英斑岩”と命名された岩石が花崗岩と密接に伴って分布していることが知られていた。この種の岩石は半深成岩として、または花崗岩の周縁相として貫入したものと考えられてきた。しかし、“石英斑岩”は中部地方、近畿地方、中国地方へと連続的に広く分布しており単純な貫入岩としては説明できない程の巨大な規模の岩体を形成している。そして、よく注意して見るとこれらの岩体の内部に凝灰岩、泥岩、礫岩などの堆積岩が挟まれていることが分かり、問題の“石英斑岩”は地表に溢流した火山岩ではないかという認識が高まってきた。

1960年代に入り、日本地質学会により総合研究として「西南日本内帯における後期中生代の研究」が取り上げられたのを契機として、中国・近畿・中部の各地域で詳細な野外調査が行われ、これらの岩石の大部分は流紋岩 — デイサイトに至る火山岩類であることが判明し、層序と岩質による区分がなされるに至った。

その後の研究により“石英斑岩”とされていた岩石の大部分は強烈なガス爆発を伴う珪長質マグマの噴出によって生じた熱雲が降下して流動しながら時速100 kmを超える猛スピードで斜面を埋めつくした堆積物、つまり火砕流堆積物として地表で冷却したものである。火砕流はマグマの発泡した粉体からなり、その堆積物はガラス片や軽石片が500℃を超える熱のもとで圧密により飴のように引き伸ばされて生じた岩石、つまり“溶結凝灰岩”であり、“石英斑岩”の大部分はこの岩石であることが明らかとなった。

このような火山性の厚い層（シート）に対して、研究者の間では地層と同様の概念で層群と呼ばれ、近畿では有馬層群、姫路では相生層群などと命名されている。しかし、中部地方の濃飛流紋岩類のように火山岩としての岩石名を重視した命名も行われている。

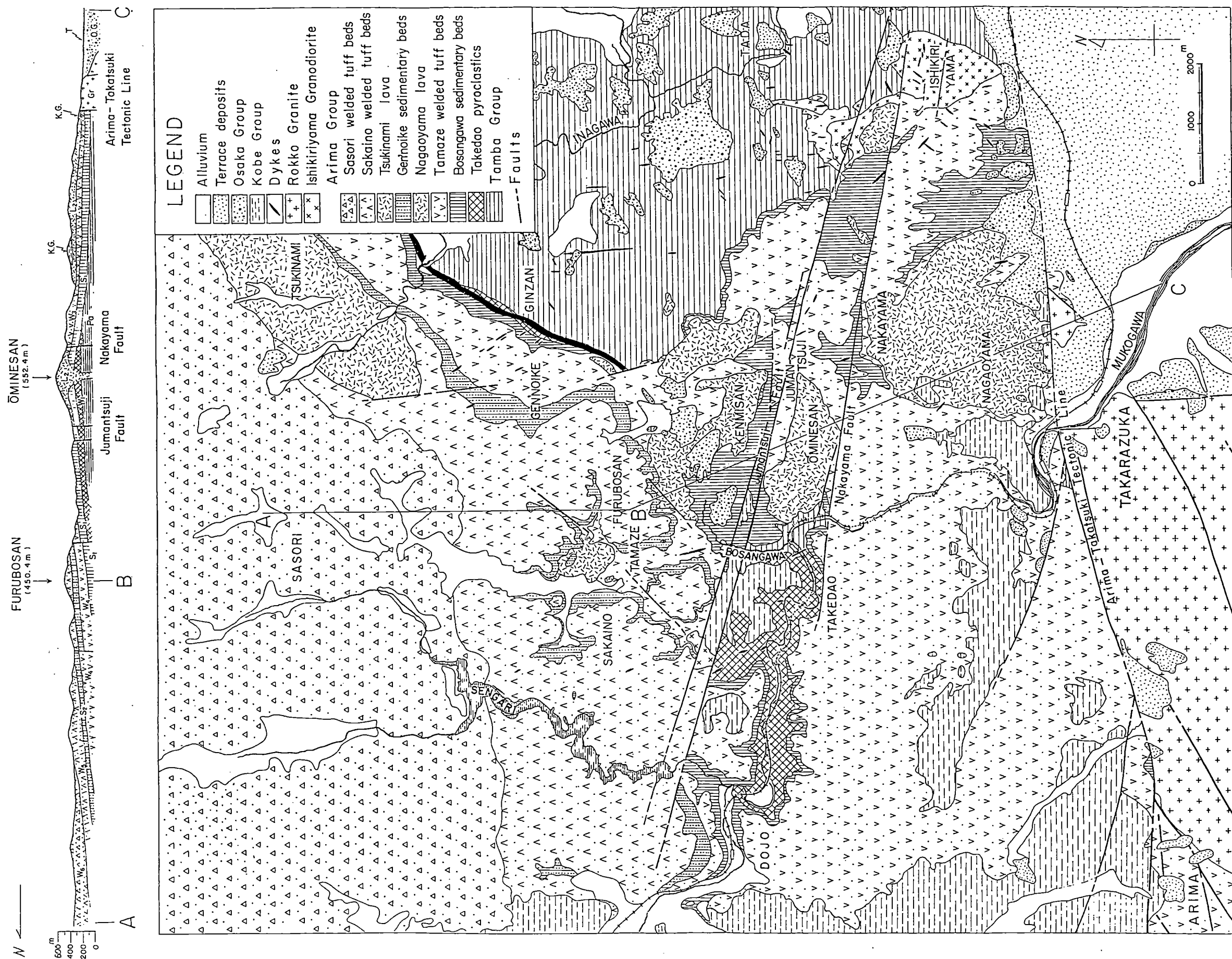


図1 有馬層群南部地域の地質図

概 要

有馬層群の大部分は溶結凝灰岩などの火砕流堆積物からなり、顕著な流紋岩溶岩の活動も各地域で知られている。模式地は宝塚市とその周辺の北摂山地とされており、この地域では2枚の顕著な水底堆積層により層序・岩相区分がなされている (Kasama & Yoshida, 1976)。

溶結凝灰岩、溶岩を噴出した火山活動期を下部のステージⅠ、中部のステージⅡ及び上部のステージⅢに区分し、全体の積算層厚は2,000 mに達する。

ステージⅠは武田尾溶結凝灰岩と同細礫凝灰岩からなり厚さは200 m以上である。この直上部は僧川層と呼ばれる凝灰質泥岩や砂岩からなる互層で層厚がかなり変化するが、厚いところで200 mに達する。ステージⅡは僧川層の上位で、玉瀬溶結凝灰岩(400m)と長尾山流紋岩溶岩(200m)で構成される。これより上位のステージⅢとの間には、砂岩・泥岩などの碎屑岩からなる玄能池層(200m)を介し、その上にステージⅢの境野溶結凝灰岩(200m)と槻並流紋岩溶岩(150 m)が覆う。

本地域の有馬層群の構造は、東西方向の軸をもつ緩傾斜の背斜構造を示し、基盤の丹波層群にオーバーラップするかまたは断層で接する。

有馬層群の形成年代

公表された有馬層群の火山岩年代値はないが、六甲花崗岩により貫入され、熱変成作用を被っている。したがって、年代の上限は六甲花崗岩よりも古いことは明らかである。六甲花崗岩の黒雲母のK-Ar年代は72-75 Maが報告されている(河野・植田, 1966)。下限については、篠山町西方で白亜紀前期の篠山層群を不整合に覆うことから、白亜紀後期と考えられ最少とも75 Maよりも古い時期と考えられている。

碎石・石材への利用

碎石には有馬層群中の流紋岩類の中でも溶結凝灰岩が主として利用されている。

一般に溶結凝灰岩は、火砕流堆積物として堆積後の荷重による圧密を被わり、2次噴気孔による

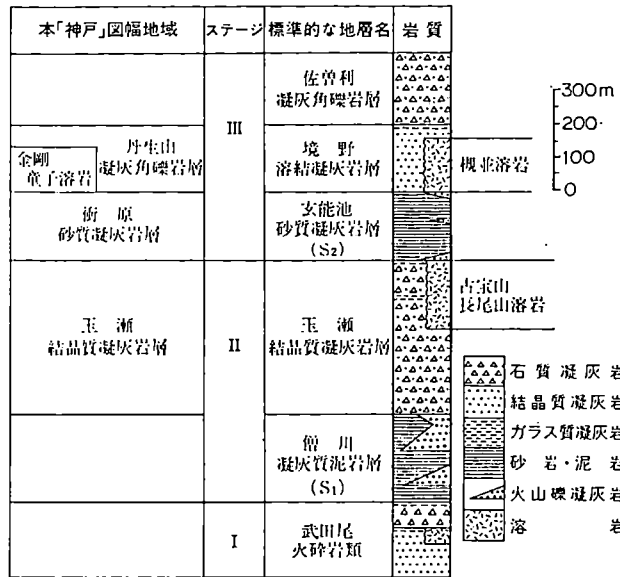


図2 有馬層群の総合柱状図(Kasama and Yoshida, 1976,に追加)
General columnar section of the Arima Group.

結晶作用や脱ガラス化作用を受けて堅硬緻密な岩石となっている。この特徴的な岩相が従来、“石英斑岩”と呼ばれた一因ともなっている。また、六甲花崗岩の貫入により熱変成作用を被わり、マトリックスのガラスが再結晶によりモザイク状となってホルンフェルスになる。この場合は著しく堅く貝殻状の割れ口を示す。

参考までにここで火山岩の斑晶鉱物のモード比による識別区分について述べてみよう。

凝灰岩について、全体の容積の75%以上がガラスのときはガラス質凝灰岩(vitric tuff)、75—50%がガラスでその他が結晶ならガラス質結晶凝灰岩(vitric-crystal tuff)と云う。主要構成物がマグマから晶出した結晶(斑晶)である場合は結晶凝灰岩(crystal tuff)、既存岩石の破片である場合は石質凝灰岩(lithic tuff)と呼ばれる(久野、1954)。

表1 有馬層群、流紋岩溶岩及び凝灰岩の化学分析値
Chemical compositions of rhyolite lava and tuff of the Arima Group.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	70.23	74.06	73.89	64.89	71.26	65.29
TiO ₂	0.25	0.14	0.13	0.26	0.24	0.24
Al ₂ O ₃	15.18	13.90	13.23	14.96	13.23	17.05
Fe ₂ O ₃	1.35	0.31	0.97	2.58	0.42	1.82
FeO	0.45	0.92	0.91	2.32	1.86	0.94
MnO	0.08	0.07	0.02	0.07	0.03	0.05
MgO	0.61	0.01	0.06	0.56	0.27	0.67
CaO	1.80	1.47	0.85	2.06	1.75	1.30
Na ₂ O	4.84	4.78	3.99	4.83	2.54	4.57
K ₂ O	3.39	3.33	4.07	4.74	4.72	5.48
P ₂ O ₅	0.04	0.02	0.01	0.06	0.05	0.06
H ₂ O±	1.54	0.70	1.31	1.73	2.91	2.56
Total	99.76	99.71	99.44	99.06	99.28	100.03
分 析 者	吉 田 久 昭					

1 神戸市北区金剛産子溶岩 2 宝塚市長尾山溶岩 3 猪名川町殿並溶岩 4 宝塚市玉瀬結晶質凝灰岩 5 宝塚市境野溶結凝灰岩
6 宝塚市佐竹利凝灰岩礫岩

強烈な爆発により基盤の岩石を吹きとばし、地表を流動した火砕流の常として、既存の岩石破片や結晶とその破片は多かれ少かれ含まれる。また、火道に近い程、岩片のサイズは大きく量も多いのが一般的である。

碎石としては、岩片や斑晶の少ないガラス質凝灰岩が適している。白亜紀後期の溶結凝灰岩には、第四紀の火山岩に含まれるようなクリストバライトやトリデイマイトが含まれることは稀れである。マトリックスは一般に再結晶作用が進み、多くの場合は珪長質鉱物の集合体となっている。

碎石には“凝灰岩”というイメージがよくないので、業界では一般に流紋岩または石英粗面岩

などと呼ばれることが多い。

稼行の状況

砕石用の採石場は、主に宝塚の北方地域に集中している。

宝塚市生瀬北方の武庫川支流の惣川、大多田川に沿った地域では、10ヶ所ほどで有馬層群の岩石を採石している。惣川地域では、ステージⅡの長尾山深岩と呼ばれる細粒緻密な無斑晶質流紋岩溶岩が主として用いられているが、大多田川地域では玉瀬溶結凝灰岩が砕石として稼行されている。

有馬層群の砕石に関して、アルカリ骨材反応については、現在のところクレームはきいていない。

砕石としては長尾山溶岩はやや軟質であるが、均質で砕きやすくコンクリート用、鉄道道床用及び道路用などとして利用されている。溶結凝灰岩では異質岩片の少ないガラス質凝灰岩が適しているが、大多川北側の玉瀬溶結凝灰岩は、少量の岩片を伴うガラス質凝灰岩である。しかし、六甲花崗岩のすぐ北側にあり、節理が発達し破碎しやすいため利用されている。

石材としての利用は、以前に宝塚市北方の佐普利凝灰角礫岩が間知石に使用されたことがある。また、兵庫県氷上郡柏原町石戸付近には、水平な節理の発達したガラス質溶結凝灰岩が広く分布している。鉄平石のように薄く剥がれる性質を利用し、“丹波石”と呼ばれ建築石材として稼行されている。

採石場の跡地利用

宝塚市北西部の川面長尾山の大阪砕石の採石場跡の44.6ヘクタールを宝塚市と宅地開発業者の間で昭和64年度にグリーンタウンを誕生させる計画がある。建設者は「破壊した自然を修復させる目的で宅地開発させるのは初めてだろう」と注目している。計画では、ニュータウンは2,900戸、人口約1万2千人の規模で、宅地と道路、公共用地を除いた全面積の52.17%はすべて緑地とする。東側のクラレの中山ニュータウンは有馬層群の凝灰質泥岩、砂岩の地域を開発造成してできた宅地であるが、このニュータウンは流紋岩溶岩の岩盤の上である。盛土や緑化計画など新しい試みであるから経費の面で難点が予想されるが、採石場の跡地利用として将来のモデルケースともなるため評価されている。

有馬層群中のカオリン質ろう石鉱床

加東郡社町平木にカオリン質ろう石鉱山として昭和36年から稼動している平木鉱山がある。この地域では、凝灰角礫岩、流紋岩溶岩とこれを覆ってキャップロックとしてのガラス質溶結凝灰岩が分布する。

流紋岩溶岩の1部が熱水変質により良質のカオリン質ろう石鉱床となっている。このカオリン質ろう石は韓国や北朝鮮、兵庫県明延地域のカオリン質ろう石をブレンドしてグラスファイバー用クレーとして利用されている。

山南町久下の金屋では、やゝ鉄分が多く優良なカオリン質ろう石ではないが、タイルなどの陶磁

器原料用として採掘されている。

山地災害

昭和58年9月28日、台風10号による豪雨で西宮市塩瀬町生瀬、長浜砕石工業宝塚工場で、採石場の高さ250m付近の凝灰岩が崩れ、下の事務所に避難していた従業員12人が大量の土砂で流され、うち8人が死亡、1人が行方不明という惨事があった。この事故についての新聞報道などによれば、採取の許可を受ける際、山の斜面を階段状に削り、安全を確保する「ベンチカット工法」での採石を認められたが、採石量を増し、運搬費を節約するため、尾根に近い頂上部分の傾斜度を50度と下方の40度に比べて急な傾斜にしたため、降り始めから372mmという大雨が引き金になって山崩れを起した。

一般に、有馬層群のような白亜紀の凝灰岩では、岩体として表面の風化がかなり進んでいるとともに、かなり急傾斜の地形をつくっている。また、地下水を貯えるための割れ目などの多い貯溜層に乏しく、沢に水が少なく、植生の多くは雑木からなる疎林である。このため、表層の植生がはげると、大雨のとき流水がその場所を流れ、山崩れが起きやすい。特に近くに断層などがある場合には破砕されており、危険を伴うので防災対策が必要である。

引用文献

藤田 和夫・笠間 太郎（1983）神戸地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1図幅）、地質調査所、115p.

Kasama, T and Yoshida H. (1976) Volcanostratigraphy of the Late Mesozoic Acid Pyroclastic Rocks of the Arima Group, Southwest Japan. Jour Geosci. Osaka City Univ., Vol. 20, p. 1-17.

河野 義礼・植田 良夫（1966）本邦産火成岩のK-Ar dating (IV). 岩鉱, Vol. 56, p. 41-55.

久野 久（1954）火山及び火山岩．岩波全書、196、255p.