

## 〈巻末資料〉

- 基準ボーリング調査結果

1. 調査概要
2. ボーリング調査
3. 物理検層結果
4. 地質時代同定

- 委員会，事務局の構成表

## 基準ボーリング調査結果

### 1. 調査概要

基準ボーリングは、収集したボーリングデータの空白域において、地層区分の基準となるような精度の高い地盤情報を得るために実施した。

ボーリングは図-1の調査地案内図に示した2ヶ所で実施した。

№1 地点……神戸市長田区四番町四番町公園

№2 地点……神戸市兵庫区荒田町2丁目荒田公園

今回実施した調査の概要は以下の通りである。

- (1) ボーリング：4孔延べ128.5m，水位観測孔設置 2孔延べ26.1m
- (2) 原位置試験：標準貫入試験，現場透水試験，密度検層，PS 検層，常時微動測定
- (3) 室内試験・分析：微化石総合分析，火山灰分析，放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代測定  
花粉分析，X線分析
- (4) 地下水位観測：自動記録地下水位観測

### 2. ボーリング調査

ボーリングはロータリー式のボーリングマシンを用いて行った。地下水位を確認するまでは無水掘りとし、その後は泥水を使用して掘進を行った。ボーリング終了後、水位観測をするため塩化ビニールパイプ製 VP50を設置した。

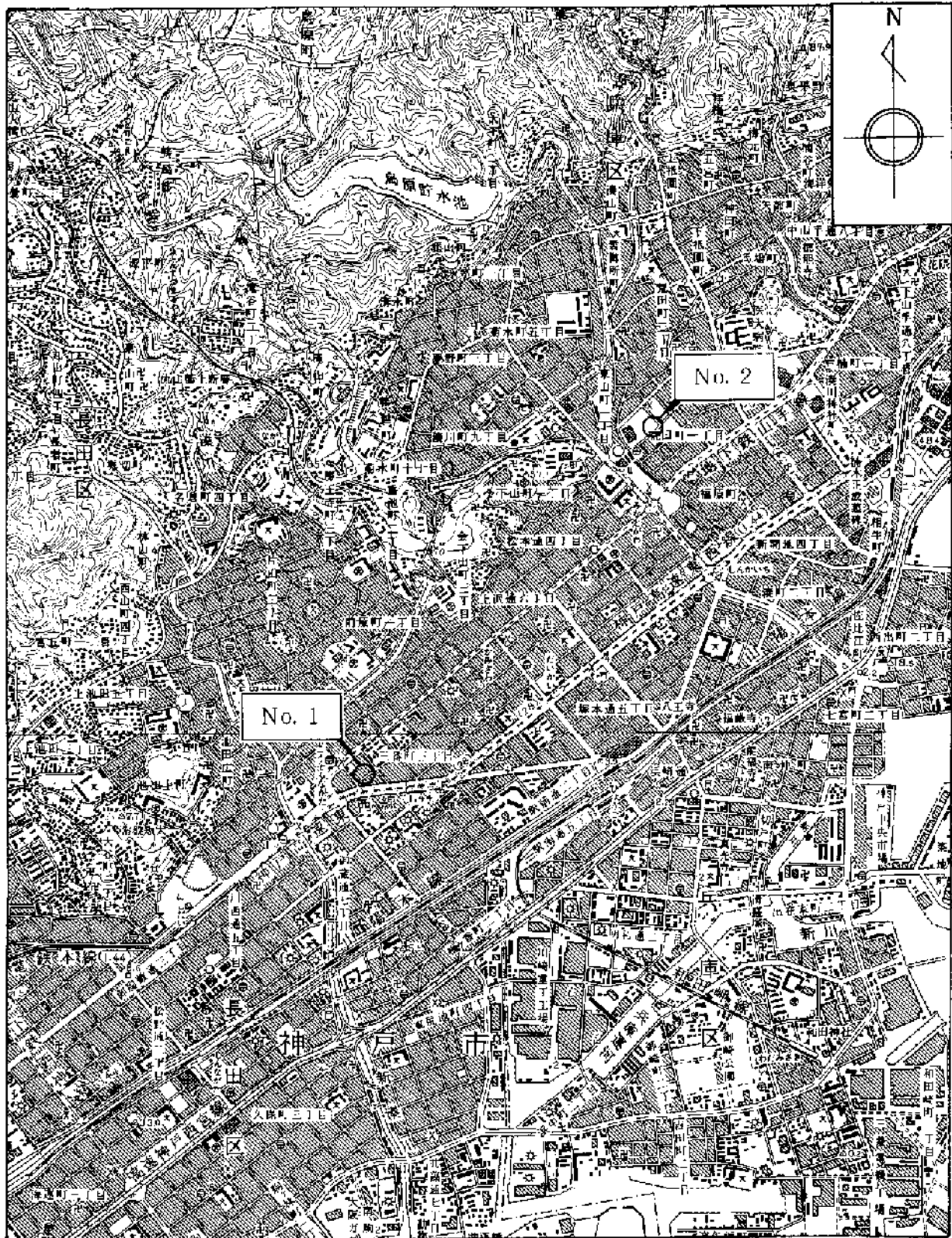
標準貫入試験は深度 GL-30m までは深度0.5m 毎に実施し、GL-30m 以深は深度1.0m 毎に実施した。標準貫入試験器により採取された試料は観察を行った後、土質標本として保管し、一部を各種分析に供した。

現場透水試験は、№1 および№2 地点で2箇所ずつ計4箇所で行った。試験結果は表-1の現場透水試験結果一覧表にまとめた。

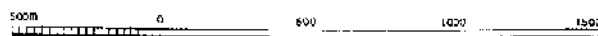
調査結果は次章に示す物理検層結果も合わせた総合柱状図として、図-2，図-3に示した。

表-1 現場透水試験結果一覧表

孔番号	試験深度	地質名	透水係数 $k$ (cm/sec)	平衡水位	
				標高	深度
1	GL-3.0~-3.5m	砂礫	$1.11 \times 10^{-2}$	TP+5.59m	GL-2.55m
1	GL-16.0~-16.5m	砂礫	$6.70 \times 10^{-4}$	TP+1.87m	GL-6.27m
2	GL-4.0~-4.5m	砂礫	$1.58 \times 10^{-3}$	TP+11.56m	GL-3.30m
2	GL-7.0~-7.5m	砂	$1.87 \times 10^{-4}$	TP+11.26m	GL-3.60m



1:25,000



この地図は、国土地理院発行の地形図（神戸首部）  
を使用したものである。（神戸南部）

図-1 調査地点位置図

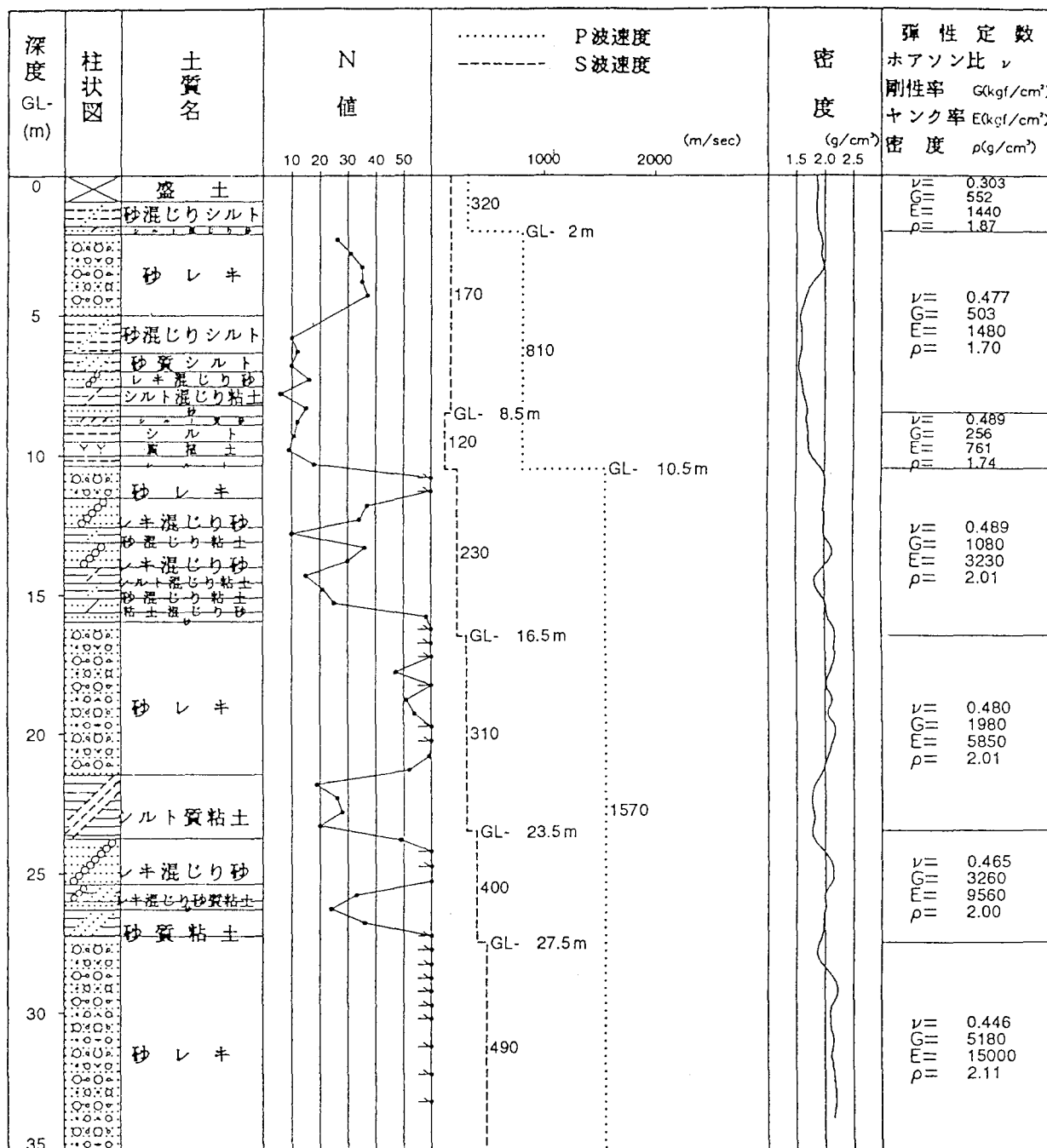


図-2 No.1地点の総合柱状図

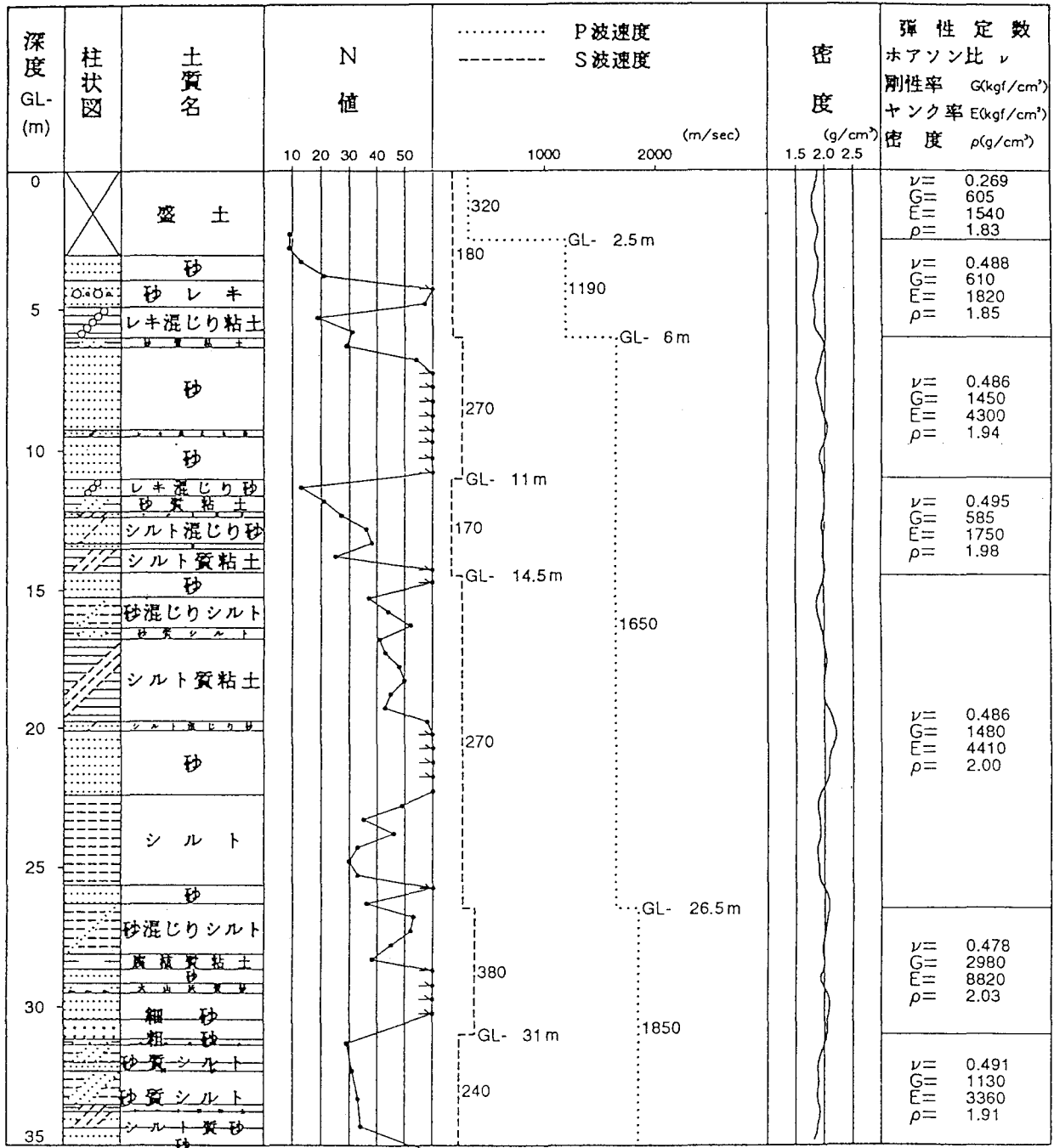


図-3 No.2地点の総合柱状図

### 3. 物理検層結果

両調査地においては、ボーリング孔を利用して、密度検層、PS 検層、常時微動測定を実施した。

PS 検層は原則として孔中で起振・受振の両方を行うことができるサスペンション法により行い、ケーシングが挿入されている等の理由によりサスペンション法の適用が困難な測定区間についてはダウンホール法（地表で起振し、孔中で受振する）を用いた。結果はP波・S波の深度分布図として図-2、図-3に示した。また、得られたP波速度、S波速度、密度から弾性論に基づき弾性定数を求め、同図中に示した。

常時微動は、No1孔において地表、GL-16mおよびGL-35mの3深度、No2孔において地表、GL-20mおよびGL-35mの3深度で測定した。測定成分についてはいずれも水平2成分（NS、EW成分）および上下1成分（UD成分）について行った。なお、今回の測定では地震計としてサーボ型加速度計を用い、地盤の加速度振幅（gal）を得た。

スペクトル解析の結果、得られた各測定深度毎のパワースペクトル一覧を図-4に示す。このパワースペクトル一覧は、微動の振幅の二乗平均の周波数領域における各周波数成分の分布を示したものである。

次に、各測定深度間の地盤増幅特性を把握するために、水平成分におけるパワースペクトル比を求め図-5に示した。これは地表のスペクトルをボーリング孔内のスペクトルで除して得られるスペクトル比であり、これを用いると地震の被害に密接に関係するS波の地盤による増幅特性を推定することができる。つまり微動源のスペクトルと伝播経路の影響を微動の振幅スペクトルから取り除くことにより、地盤構造の影響のみを推定しようとするものである。

地盤の卓越周波数としては、No1孔で2.5~3.5Hz、No2孔で3~4Hzと考えられる。また、社団法人日本道路協会による「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成8年12月発行）」で地盤種別の判定を行うと、表-2のようになる。

表-2 調査地における卓越周波数および地盤種別

ボーリングNo	卓越周波数	地盤種別
No1孔	2.5~3.5Hz	第2種
No2孔	3~4Hz	第2種

### 4. 地質時代同定

各地層の地質学的位置づけを明らかにする為、オールコアボーリングにより、土質試料採取を行った。この試料を詳細に観察するとともに、火山灰、粘土層、泥炭層等より試料採取を行い、火山灰分析、微化石分析、花粉分析等を行うことにより、各地層の時代同定を行った。

図-6、図-7には、各分析結果の一覧を示した。以下に各分析項目の分析方法とその結果について述べる。

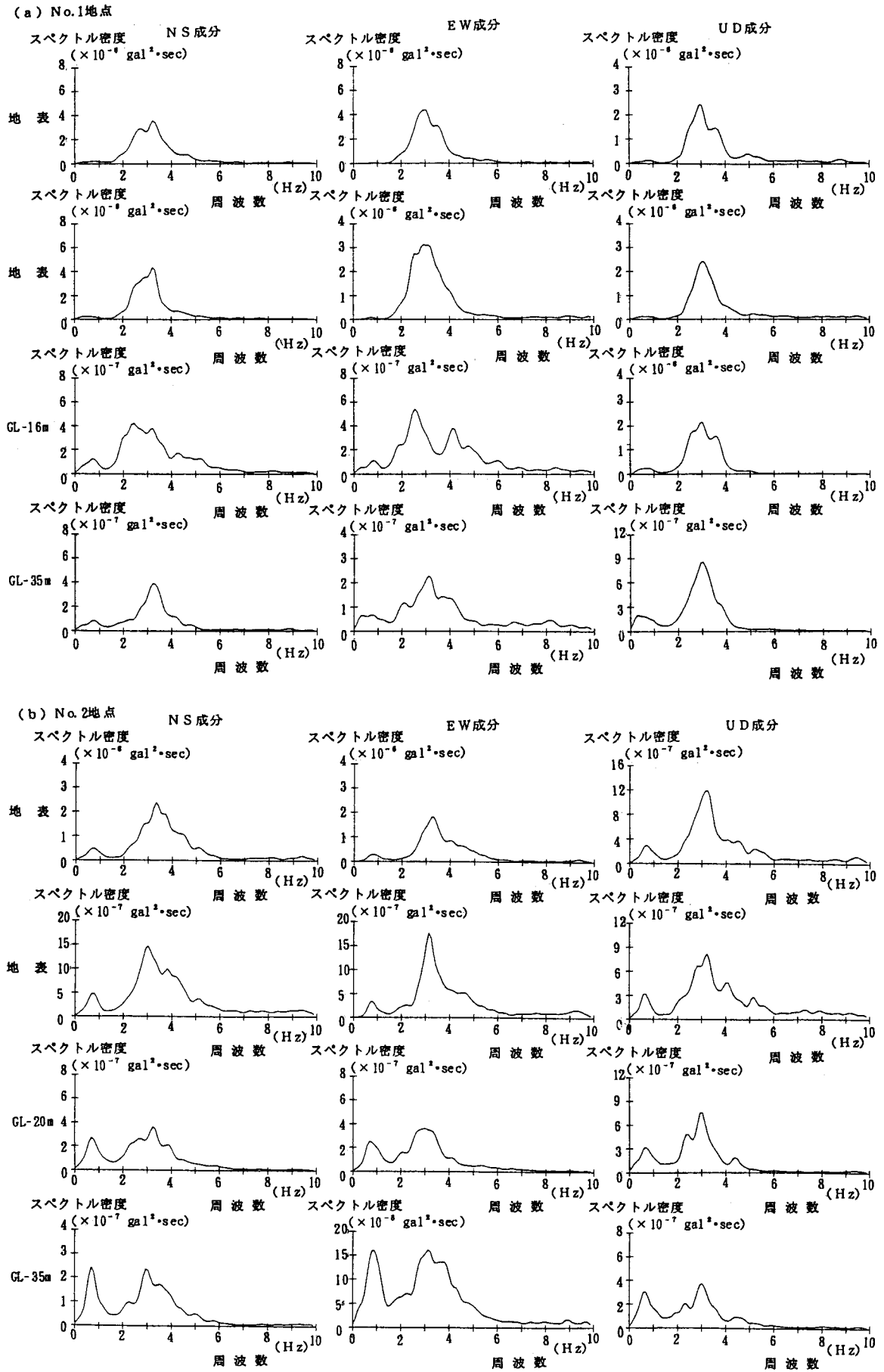


図-4 常時微動測定によるパワースペクトル一覧図

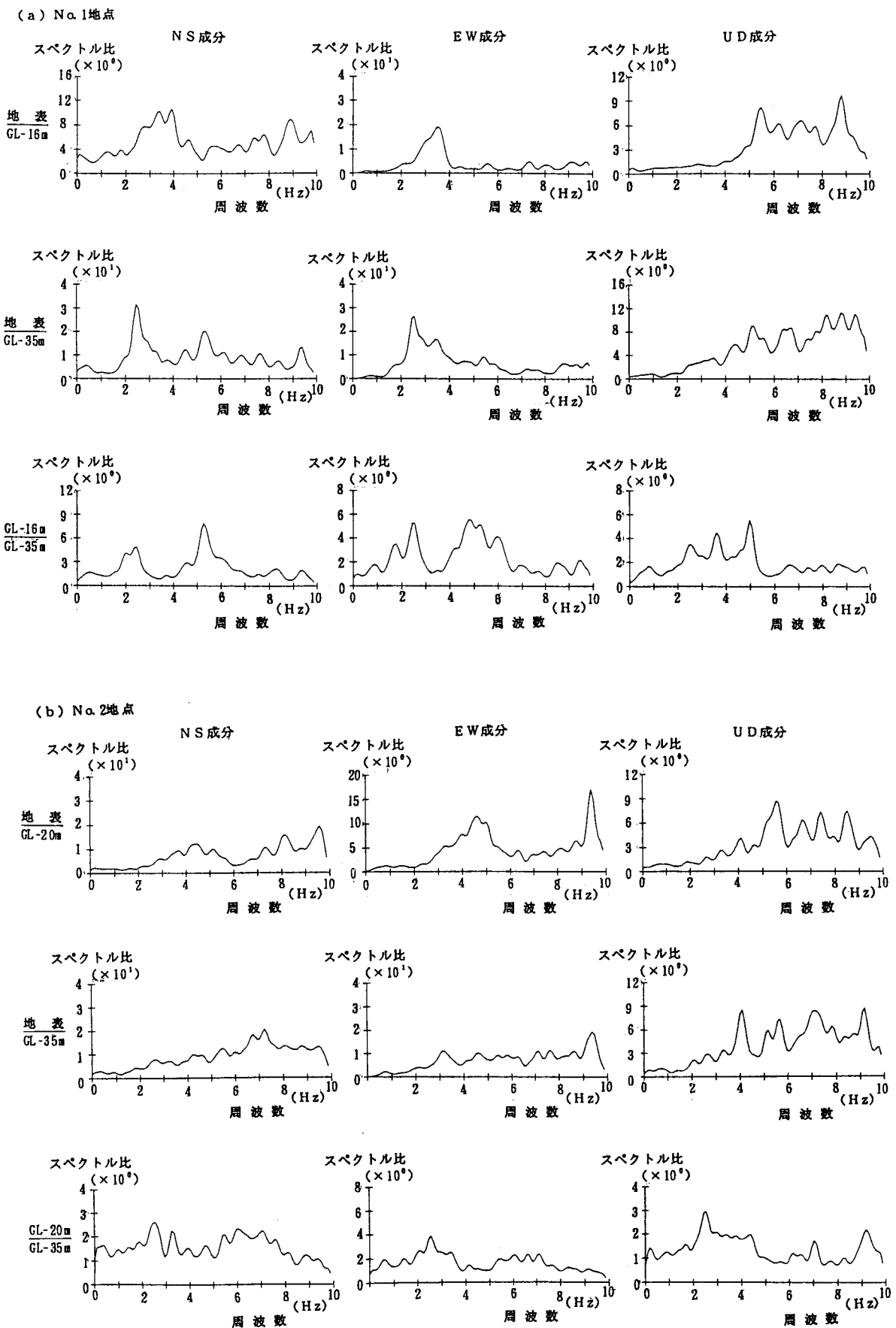


図-5 常時微動測定によるパワースペクトル比一覧図



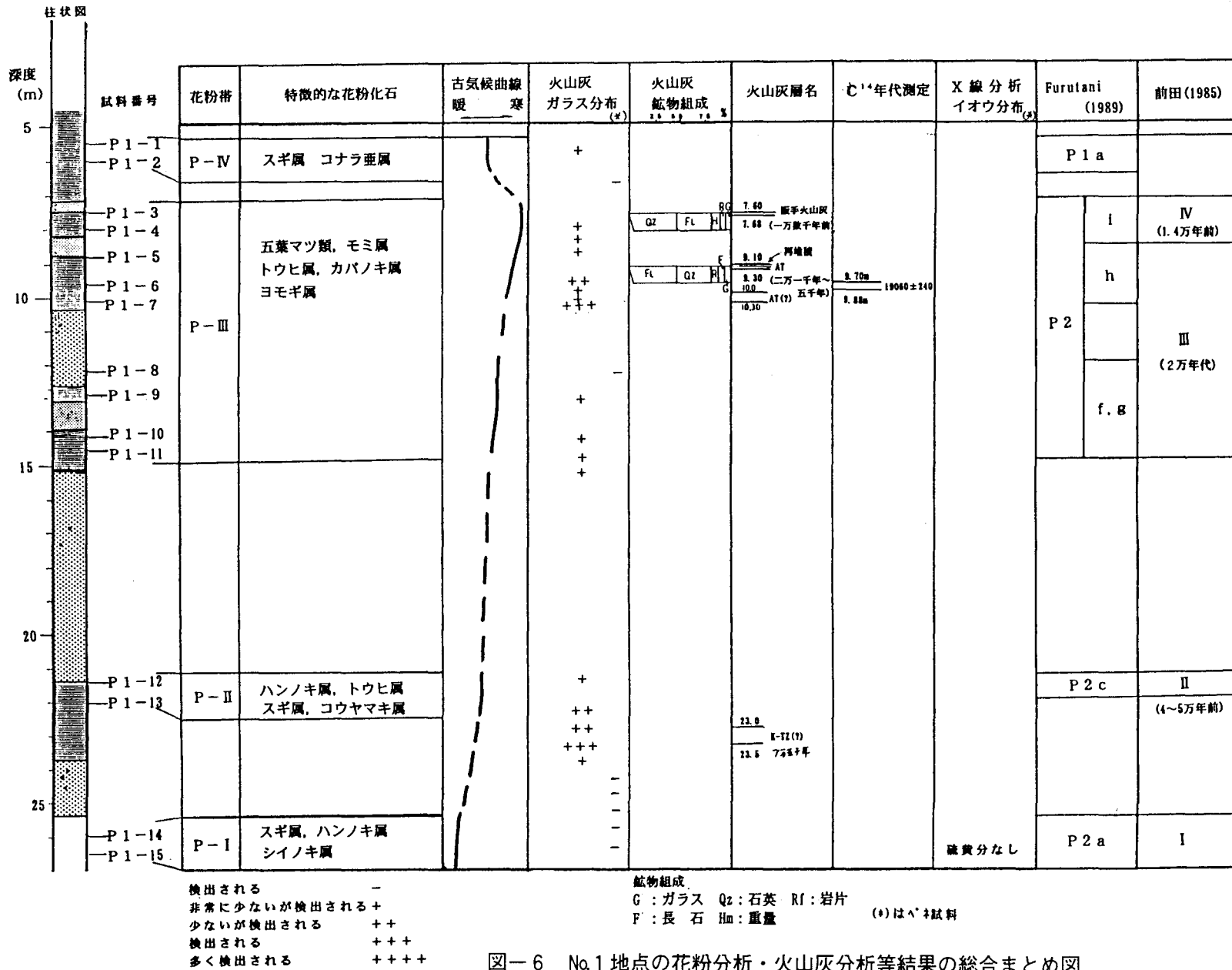
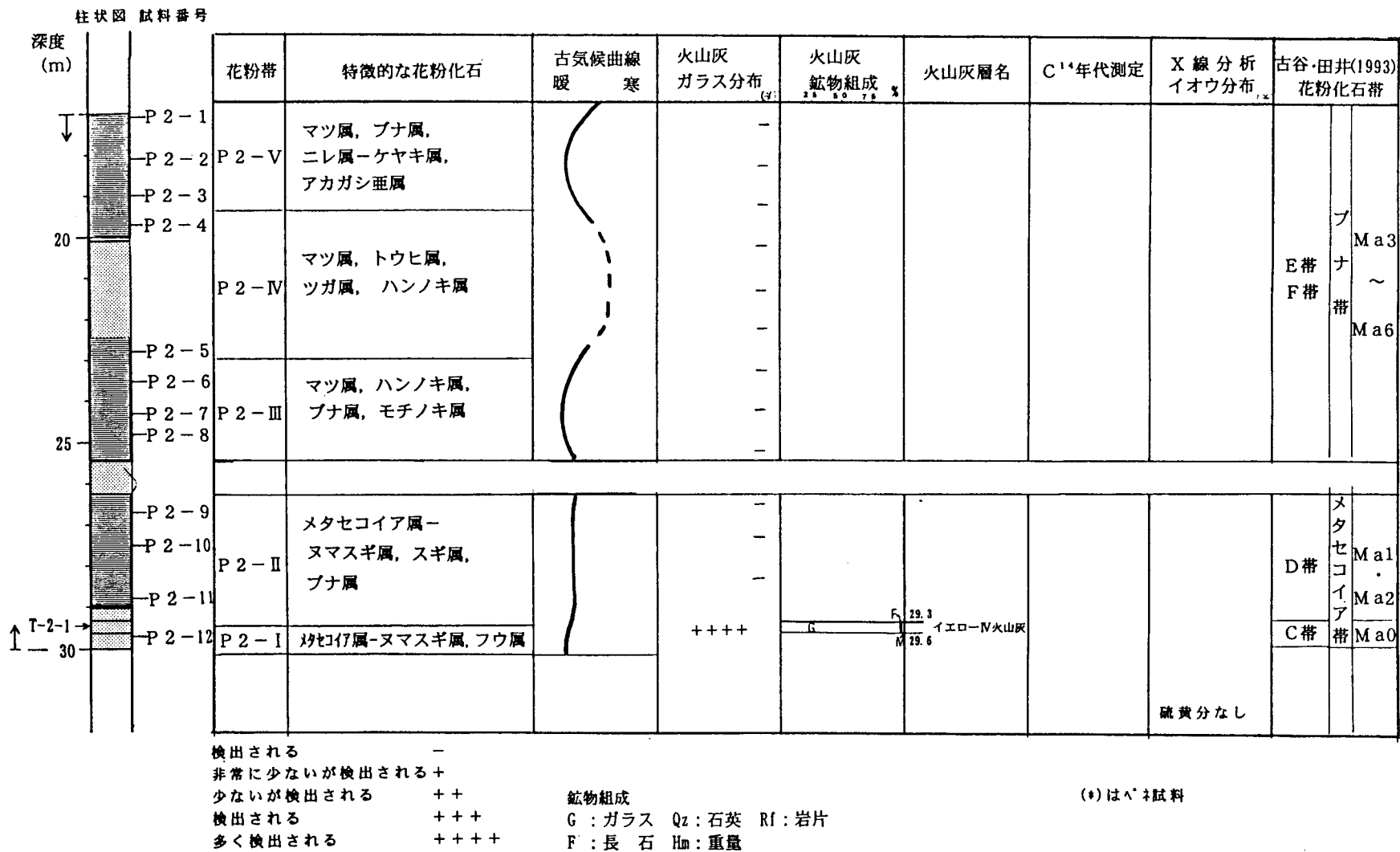


図-6 No.1地点の花粉分析・火山灰分析等結果の総合まとめ図



図一七 No.2地点の花粉分析・火山灰分析等結果の総合まとめ図

#### 4.1 試料採取および分析方法

##### (1)地質観察および試料採取

地質観察ならびに室内試験試料採取のため、No 1 孔の GL-5.5m~GL-14.8m, GL-21.5m~GL-27.80m, No 2 孔の GL-17.0m~GL-20.0m, GL-22.5m~GL-24.5m, GL-26.3m~GL-30.0m でコアボーリングを実施した。

##### (2)微化石総合分析試験

微化石とは顕微鏡を用いて観察研究を行う微小な化石の総称であり、分類学上いろいろな種類の生物を含んでいる。微化石総合分析試験は、1) 有孔虫、2) 貝殻片、3) 貝形虫、4) ウニ、5) 珪藻、6) 火山ガラス、7) 雲母、8) 植物片、9) 黄鉄鉱を実体鏡下で観察し、その多少を明らかにする定性的な分析手法である。

本調査ではレイモンドサンプラーによって得られた試料について、ボーリングNo 1, No 2 孔とも0.5m ピッチに分析を実施した。

##### (3)火山灰分析

コア観察により火山灰と考えられるユニット (No 1' では3 試料, No 2' では1 試料) についてサンプリングし、分析を行った。

火山灰分析は吉川 (1976) の方法により1/4~1/16mmの間でふるい分けし、重液分離し、ガラスを含む軽鉱物と重鉱物に分離した。そしてガラスの屈折率を計測し、全鉱物組成、重鉱物組成を求めた。

##### (4)放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代測定

No 1' の GL-9.7m~GL-9.8m の木炭を用いて実施した。

##### (5)花粉化石

花粉、孢子の形態は個々の植物群により特異的であり、その特性より母植物群を知ることができる。これら植物群の質的、量的構成を知ることにより、過去の植生を優先したり、当時の気候や古環境を推定することが可能となる。ここでは、花粉を含んでいると考えられている試料をNo 1', No 2' 各ボーリングコアより採取し、花粉分析を行った。

##### (6)X 線回折法

X 線回折法は、堆積物中に含まれるイオウ (S) の含有の有無を明らかにする為を実施する。一般に海性の堆積物はイオウ分の含有があり、堆積物中にジアロサイト ( $\text{KFe}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) や貴鉄鉱等を二次的に形成する。設定方法は粉末法を用いて行い、X 線源としては銅管芯を用いて行った。

#### 4.2 堆積年代の推定

ここではまず、花粉分析によって得られた結果に基づいて花粉分帯(同じ花粉群集を持つグループ分け)を行い、No 1 ならびにNo 2 ボーリングコア試料が堆積した当時の古植生および古気候の変遷を考察する。あわせて、この結果と他の分析結果を既存の花粉生層序および標準火山灰層序と比較検討し、堆積年代について考察する。

## (1)No.1 孔

## ①花粉分帯

花粉化石組み合わせの特徴から以下に示す4帯の花粉帯に区分した。

## ・P-I帯 (P1-14, P1-15)

古気候的にはやや冷涼であったと判断され、スギ属やハンノキ湿地林を伴うことから、湿潤な気候であったと考えられる。

## ・P-II帯 (P1-12)

スギ属、コウヤマキ属、トウヒ属がI帯よりやや増加し、冷温帯要素のブナ属が出現するようになる。古気候的にはI帯よりさらに冷涼化が進み、湿潤な気候が推定される。

## ・P-III帯 (P1-3 ~ P1-11)

マツ属、モミ属、トウヒ属などの針葉樹が増加するが、スギ属は出現しなくなり、コウヤマキ属もほとんど出現しなくなる。古気候は冷涼であり、ヨモギ属が高率なことから乾燥が進んだと推定される。

## ・P-IV帯 (P1-1, P1-2)

古気候は中間温帯林要素が増加することから、気候の温暖化が推定され、やや冷涼で湿潤な気候であったと推定される。

## ②既存花粉生層序からの堆積年代推定

今回得られた花粉化石群集では、主として冷温帯～亜寒帯要素の五葉マツ類、トウヒ属、モミ属などが高率に出現することから、試料採取地点にあたる現在の神戸（暖温帯）より寒く、氷期の堆積物と推定される。

大阪湾周辺における最終氷期以降の花粉生層序学は、多くの研究者によって行われている。それらの中で、最終間氷紀以降の連続した分析結果を示すものとして、古谷（1984, 1993）、Furutani（1989）、前田（1985）の研究があげられる。

Furutani（1989）は、大阪平野および大阪湾の地下ボーリング試料から、Ma 10層からMa 13層と呼ばれる層準の花粉化石群集を解析し、下位より順にP11帯からP1帯までの11帯の花粉帯を提案している。それによるとP2帯がほぼ低位段丘相当層にあたり、最終氷期の堆積物に相当する。P2帯はさらに花粉化石の出現傾向に基づいてa-iの9亜帯に区分されている。それらの中でd-i亜帯が最寒冷期に相当する。

古谷（1984）の花粉ダイアグラムのP2 d-i亜帯は、ヨモギ属、カヤツリグサ科、ツガ属、五葉マツ類、コナラ亜属が高率に出現することから、今回の分析結果により設定されたP-III帯に対比される。また彼のP1a帯は、スギ属の出現により今回のP-IV帯に相当する。

前田（1985）は、六甲アイランドにおける花粉分析を行い、I帯からIV帯の4つの花粉帯を提案している。その4帯はいずれも最終氷期を示している。今回のP-I帯は、五葉マツ類が少なく、トウヒ属がほとんど出現せず、アカガシ亜属が出現することから、前田（1985）のII帯に対比される。またP-II帯は、スギ属、コウヤマキ属が10%近く出現し、トウヒ属も増加することから、前田（1985）のI帯に類似すると考えられる。さらに、P-III帯は、五葉マツ類、トウヒ属、モミ属の出現が高率で、コナラ亜属が出現することから、彼のIII帯とIV帯に相当する。一方、今回の分析試料のうちP1-3では、五葉マツ類の出現率が最大値を示すが、それは前田（1985）で示されたIV帯における五葉マツ類の最大値に対応する可能性がある。なお、前田（1985）によると<sup>14</sup>C年代値が示されており、II帯のスギ・ハンノキ林期では4～5万年前、III帯では2万年代、IV帯では約1.4万年前の年代値が得られている。

### ③火山灰の年代推定

今回、分析を行った3試料のうち、T1-1とT1-2は、それぞれ単一の火山灰層の再堆積物であると考えられるので、標準火山灰層序との対比によって、堆積年代の下限が推定できる。

T1-2 (GL-9.1~9.3m)は、花粉分析結果から最終氷期の最寒冷層準に近いと推定される。このことから始良Tn(AT)火山灰(25,000~21,000年前)とも対比される。これに含まれるガラスの特徴は、無色透明、厚手の扁平型で、屈折率が $n=1.498-1.501$ の範囲を示し、これはT1-2のガラスの形態と屈折率がよく似ている。花粉分析結果ではT1-2がP-Ⅲ帯に相当し、AT火山灰起源の火山ガラスが含まれても問題はないと思われる。ただしAT火山灰の降下層準については、花粉化石群集より推定すると、P1-7とP1-8の間と考えられる。

T1-1のガラスについて検討すると、BT-10より上位の火山灰で、かつ最終氷期終わり頃のものとして仮定すれば、BT-8、BT-6のガラスの屈折率に相当する。ガラスの形態は中間型~多孔質型であり、どちらにも一致する。BT-6に対比されている阪手火山灰層は<sup>14</sup>C測定によって、1万数千年B.P.前後の値が得られている(吉川ほか, 1986)。この火山灰付近の層準の花粉分析結果は、五葉マツ類、トウヒ属、モミ属、ツガ属が優勢な花粉組成を示す(吉川他, 1986)ことから、今回の花粉分析結果とも矛盾しない。

## (2)No.2 孔

### ①花粉分帯

花粉化石組み合わせの特徴から下位より順にP2-I、P2-II、P2-III、P2-IV、P2-Vの5花粉帯に区分した。

#### ・P2-I帯 (P2-12)

針葉樹では、第三紀型要素のフウ属と暖温帯要素のシイノキ属-マテバシイ属、ヤナギ属が高率に出現し、メタセコイヤ属-ヌマスギ属を伴う。古気候は暖温帯要素や第三紀要素の植物が産出することから温暖であったと思われる。

#### ・P2-II帯 (P2-9~P2-11)

マツ属、メタセコイヤ属-ヌマスギ属、ブナ属、ニレ属-ケヤキ属がP2-I帯より増加することから、針広混交林の植生が推定される。古気候は暖温帯要素の花粉が減少していることから中間温帯から冷温帯と推定され、全体に比べ少し寒くなっている。

#### ・P2-III帯 (P2-7・P2-8)

常緑広葉樹のモチノキ属、温帯針葉樹マツ属がP2-II帯より増加し、第三紀型要素のメタセコイヤ属-ヌマスギ属が消滅する。古気候は暖温帯から冷温帯要素の植物からなるため、やや冷涼であったと考えられる。

#### ・P2-IV帯 (P2-4・P2-5)

マツ属を始めモミ属、トウヒ属などの針葉樹がP2-III帯より増加し、ブナ属や暖温帯要素の植物が減少する。古気候は冷温帯~亜寒帯針葉樹が増加することから気候の冷涼化が進み、冷涼な気候であったと推定される。

#### ・P2-V帯 (P2-1~P2-4)

温帯針葉樹がP2-IV帯より減少し、ブナ属、アカガシ亜属、ニレ属-ケヤキ属が増加する。古気候は落葉広葉樹の増加から気候が回復しやや冷涼程度に回復したと思われる。

## ②既存花粉生層序からの堆積年代推定

Tai (1973), 古谷・田井 (1993) は, これまでの研究をまとめ, 大阪層群最下部から上部の Ma 9層 (海成層) までの花粉帯を提案した。その花粉帯は大きくメタセコイヤ帯とブナ帯に区分され, メタセコイヤ帯はさらに A, B, C, D 亜帯に区分され, 大型植物化石によるメタセコイヤ植物群繁栄期・消滅期に相当する。ブナ帯はさらに E, F, G, H 亜帯に区分される。P2-I 帯 (P2-12) では, メタセコイヤ属-ヌマスギ属, フウ属が産出し, スギ属が産出しないことからメタセコイヤ帯 C 亜帯に類似し, 特にイチヨウ属が産出しないことから C 亜帯の最上部と推定される。P2-II 帯では, メタセコイヤ属-ヌマスギ属, スギ属が共存することからメタセコイヤ帯 D 亜帯に類似する。

P2-III 帯以降は, メタセコイヤ属の花粉化石が産出しないことから, 田井 (1933) によるブナ帯に相当すると思われる。田井 (1993) におけるブナ帯は, E, F, G, H の 4 亜帯に区分されるが, G, H 亜帯とはブナ属, スギ属, コウヤマキ属が卓越し, H 亜帯では現在のブナに近い L 型ブナ属が産出することで, 明らかに区別することができる。よって, P2-III ~ P2-V 帯は E 亜帯, F 亜帯のどちらかに相当する。しかしながら, これより細かい対比については, E と F 亜帯間で消滅種や新しい種がこの時期に産出しないこと, および花粉化石群集が類似していることから E, F 亜帯のどちらかに対応させることは困難である。そのため, 今回の結果については E, F 亜帯に対応するという表現にとどめる。

## ③火山灰の年代推定

GL-29.3~29.6m (T2-1) の火山灰の鉱物組成は, ガラスが95%も占め, 長石, 重鉱物の順に多い。ガラスの屈折率は1.503付近に集中し, 1.502-1.504の範囲で示される。その形態では, 多孔質型, 中間型, 扁平型がほぼ均等に産出する。重鉱物組成は角閃石, 斜長石の順で産出する。

これを吉川 (1976, 1983) ・Yoshikawa (1994) に記載されている大阪層群の火山灰と比較する。この火山灰のガラスの屈折率と同じ値を持つ大阪層群の火山灰を記載されている表から探すと, 8つの火山灰が対比される。

次にこれら8火山灰と T2-1 火山灰に含まれるガラスの形態を比較する。T2-1 のように3種類のガラスの形態をもつ火山灰は, 泉南-泉北地域の4火山帯だけである。さらに重鉱物組成で比較すると, 土生滝II 火山灰は斜方輝石, 単斜輝石の順に多く, 角閃石が少ない特徴をもつことから, T2-1 とは組成が異なっている。

層相の特徴から, 朝代火山灰は, その厚さおよび色調が T2-1 火山灰と大きく異なっており, イエローIV とサクラ火山灰と共に T2-1 火山灰によく類似する。

T2-1 火山灰は, 花粉分析用試料 P2-11 と P2-12 の間に位置し, 層序的には大阪層群下部に相当する。T2-1 火山灰と同じ特徴を持つ2火山灰のうち, サクラ火山灰は大阪層群上部層に挟まれ, イエローIV 火山灰は大阪層群下部層中に挟まれる。このことから, 今回の T2-1 火山灰はガラスの形態や重鉱物組成の量比に若干の違いはあるものの, 層準が一致するイエローIV 火山灰と同一の火山灰であると推定される。

花粉分析結果と火山灰分析の結果をまとめると, 今回のボーリングコア試料の堆積年代は以下のように推定される。

- ・ P2-I 帯は Ma 0 付近の大阪層群下部層に対応する。
- ・ P2-II 帯は, イエローIV 火山灰より上位の Ma 1, Ma 2 層を含む大阪層群下部層に対応する。
- ・ P2-III 帯~P2-IV 帯の時期は, Ma 3~Ma 6 層までの大阪層群上部層に対応する。

以上のことから, 神戸市兵庫区の Nq2 ボーリング・コア試料から得られた堆積物は, 大阪層群下部層・上部層 (約100万年前~50万年前) にまたがる Ma 0 層から Ma 6 層の堆積物と推定される。

## 委員会、事務局の構成表

### 神戸市地盤調査検討委員会 委員名簿（敬称略 順不同）〔平成7年度～平成9年度〕

委員長	田中 茂	神戸大学名誉教授	委員	河村 廣	神戸大学教授
副委員長	堯天 義久	神戸大学名誉教授	委員	日下部 馨	神戸大学教授
副委員長	谷本 喜一	神戸大学名誉教授	委員	櫻井 春輔	神戸大学教授
顧問	田中 眞吾	神戸大学名誉教授	委員	田中 泰雄	神戸大学助教授
顧問	中世古幸次郎	地盤地質研究室	委員	土岐 憲三	京都大学教授
委員	足立 紀尚	京都大学教授	委員	松井 保	大阪大学教授
委員	内田 一徳	神戸大学教授	委員	越智 秀 (瀬川 栄治) (前田 増夫)	兵庫県土木部次長
委員	沖村 孝	神戸大学教授	委員	安藤 嘉茂	神戸市震災復興本部 総括局参与

### 神戸市地域活断層調査委員会 委員名簿（敬称略 順不同）〔平成8年度～平成9年度〕

委員長	岡田 篤正	京都大学教授	委員	宮田 隆夫	神戸大学教授
委員	沖村 孝	神戸大学教授	委員	山崎 晴雄	東京都立大学教授
委員	加藤 茂弘	兵庫県立人と自然の 博物館研究員	委員	東田 雅俊 (小西 康夫)	兵庫県知事公室次長
委員	衣笠 善博	通産省工業技術院 地質調査所首席研究官	委員	田中 登	神戸市市民局 市民防災室室長
委員	鈴木 康弘	愛知県立大学助教授	委員	安藤 嘉茂	神戸市震災復興本部 総括局参与
委員	竹村 恵二	京都大学助教授			

**実施機関** 神戸市役所

**事務局** 財団法人 建設工学研究所

応用地質株式会社

株式会社 阪神コンサルタンツ

中央開発株式会社

サンコーコンサルタント株式会社

川崎地質株式会社

株式会社 応用地学研究所

株式会社 建設企画コンサルタント

株式会社 ドーン