

3.2.2 大深度ボーリング掘削，検層および孔井内速度構造調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 大深度ボーリング掘削，検層および孔井内速度構造調査

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
独立行政法人防災科学技術研究所		
固体地球研究部門	総括主任研究員	笠原敬司
固体地球研究部門	主任研究員	関口渉次
固体地球研究部門	主任研究員	小原一成
防災基盤研究部門	主任研究員	藤原広行
固体地球研究部門	主任研究員	山水史生
固体地球研究部門	研究員	青井 真
固体地球研究部門	研究員	山田隆二
固体地球研究部門	研究員	木村尚紀
固体地球研究部門	研究員	汐見勝彦
固体地球研究部門	特別研究員	関根秀太郎
固体地球研究部門	特別研究員	松原 誠
固体地球研究部門	特別研究員	林 広樹
防災基盤研究部門	特別研究員	森川信之

(c) 業務の目的

強震動予測においては特に S 波速度構造が重要な問題となる。S 波速度構造については、地震基盤まで到達するボーリング調査によって、坑内計測などによる直接計測を行うことが最も有効である。首都圏・近畿圏でも既にいくつかの地点でこうした調査が実施されているが、測定点は大変少ない。本調査では、大規模ボーリングを掘削し、検層・VSP法によって弾性波速度構造を明らかにする。ボーリング調査によって得られる速度構造や地質構造は、現在、地震調査研究推進本部の主導によって進められている平野部の地下構造調査や、本研究で予定されている地殻構造探査の成果と合わせ、総合的な首都圏・近畿圏の速度構造モデルの構築に資する。また、調査井を利用して、地震調査研究推進本部のもとに進められている Hi-net の整備を推進する。

今年度は関西地区 2カ所において深度 1000m 級のボーリングを行い、地震基盤から地表までの P 波・S 波速度構造を、検層・VSP などの手法によって明らかにする。また、調査井を利用して、地震調査研究推進本部のもとに進められている Hi-net の整備を推進する。

(d) 5 年の年次実施計画

平成 14 年度：房総半島鴨川市西部で、深さ 2000m 級の調査観測ボーリングを実施し、関東盆地南部の基盤を構成する第三紀下部層の P 波・S 波速度構造を計測（地震動予測の明確化）し、基盤地質構造を解明する。ボーリング孔を利用し、Hi-net を整備する。

関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。

平成 15 年度：神奈川県西部（足柄平野）で深さ 2000m 級のボーリングを実施し、足柄平

野下に伏在する可能性の高い伊豆-小笠原弧の地殻と本州弧の地殻の接合部を観察し、伏在活断層を実証する。国府津-松田断層系全体の平均すべり速度の推定を行い、震源断層モデルの構築に貢献する。足柄平野の堆積層の速度構造や地層の微細な構造の調査のため、ボーリングはオールコアで採取し、詳細な年代決定などの地質学的分析を行う。地温勾配の高い地域であるため、高感度地震計の地中観測装置の高温試験を実施する。関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。

平成 16 年度：関西地区 2 箇所において、深さ 1000m 級の調査ボーリングを 2 箇所実施し、VSP 検層などによって、堆積層の物理特性を明らかにすると共に Hi-net を整備する。また、神奈川県西部のボーリング孔に高温試験済みの地震計を設置し、Hi-net 観測を開始する。関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。

平成 17 年度：観測点密度の低い北関東地域に深さ 1500m のボーリングを掘削し、関東盆地成初期に形成されたと考えられる P 波速度 4km/s 層の実態をコア調査、VSP 検層により調査する。関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。ボーリング孔を利用し、Hi-net を整備する。

平成 18 年度：千葉県北西部において、深さ 1500m のボーリングを掘削する。関東平野については、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究のまとめを行う。ボーリング孔を利用し、Hi-net を整備する。

(ボーリング地点および深さは概ね上記の地点とするが、事由が発生した場合は変更することができる。)

(e) 平成 16 年度業務目的

東京大学地震研究所が担当する大深度弾性波探査の近畿測線上の 2 点（大阪平野・京都盆地）において、深さ 1000m 級のボーリングを実施し、P 波・S 波速度構造の直接測定を行い、強震動予測地図作成のための基礎資料を得る。また、ボーリングから得られた試料（コア・スライム）を微化石分析して地層の地質年代を明らかにし、地表地質の情報や大深度弾性波探査の結果と合わせて解析することにより、地下の地質構造を明らかにする。

調査後のボーリング孔を活用して高感度地震計・強震計を地震基盤に設置し、防災科学技術研究所の高感度地震観測網（Hi-net）等と一体的な運営のもと、自然地震の観測等を行う。また、神奈川県山北町のボーリング孔に高温試験済みの地震計を設置し、Hi-net 観測を開始する。

(2) 平成 16 年度の成果

(a) 業務の要約

近畿圏の大阪平野、および京都盆地において、それぞれ深さ 1,000m 級のボーリングを行い、コア、ボーリング検層などの手法を用いて、地震基盤から地表までの P 波・S 波速度構造を明らかにした。また、鴨川観測井における S 波増幅特性の評価を行った。

(b) 業務の実施方法

強震動予測においては、特に S 波速度構造を把握することが重要な課題となる。首都圏・近畿圏では、測定点数こそまだ不十分であるものの、ボーリング調査による坑内計測が S 波速度を把握するのに重要な役割を担っている。本調査では、大深度ボーリングを掘削し、直接測定（検層・VSP 法）によって地下の弾性波速度構造を明らかにする。ボーリング調査によって得られる速度構造や地質構造は、現在、地震調査研究推進本部によって進められている平野部の地下構造調査や、本研究で実施している地殻構造探査の成果と合わせ、総合的な首都圏・近畿圏の速度構造モデルの構築に資する。また、ボーリングで得られたコア試料を解析し、地震防災に密接に関連する近畿圏の堆積層の構造やその成立過程を明らかにする。

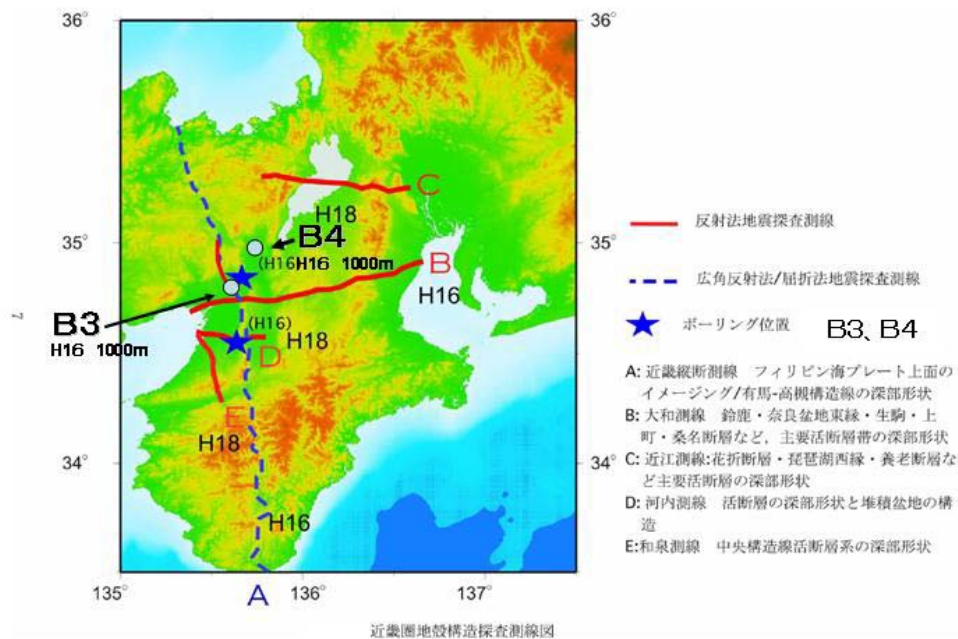


図 1 本計画における構造探査測線(A、 B)およびボーリング調査地点(B3、 B4)

本計画では、近畿地方の大都市圏が形成されている京都盆地、大阪平野にて大深度ボーリング調査 (1,000m) を実施し、精度の高い速度構造を求めることとした。掘削地点の選定にあたっては、大学などを中心として実施する地下構造探査の測線（近畿縦断測線、および大和測線、図 1）にできるだけ隣接し、かつボーリング調査の終了後に地震観測を行うことを考慮して、深度 1,000m 未満で P 波速度が 4~5km/s の岩盤に到達する可能性のある地点を候補とした。既存の地球物理・地質データを総合的に検討し、図 1 に示した京都

盆地北部および大阪平野中央部を掘削地点として選定した。

本年度の掘削地点は「新潟-神戸歪み集中帯」と呼ばれる歪み速度場の大きな地域に属し、周辺には花折断層をはじめとする顕著な活断層が多数集中している。活断層はスラストないしは右横ずれ成分を含むスラストが卓越し、大局的に東西方向の圧縮応力場を反映している。京都盆地および大阪平野は、周辺山地との境界を活断層によって隔てられた、地質学的には新しい時代に形成された構造盆地である。これら構造盆地には厚さ数百 m に達する海成-陸成の更新統が堆積し、大阪層群と呼ばれる。大阪層群は、これら構造盆地の形成と密接に関連して堆積したものである。したがって、この地層には現在知られている活断層の成立過程をも含む、大阪・京都構造盆地の発達過程が記録されているものと考えられる。強震動予測を行う立場からは、厚い大阪層群の存在が地震波の増幅や長周期後続波の励起に影響を与える事が予測されている。したがって、本調査では地震基盤の上を厚く覆う大阪層群の構造を詳細に把握することが、重要な課題のひとつとして想定された。

大阪平野では、淀川左岸の沖積低地にある公園内に掘削地点が選定された（図 2）。この掘削地点は、本計画で東京大学地震研究所が中心となって行う大深度弾性波探査の大和測線に隣接しており、この測線の速度構造解釈に貢献することが期待される。地質学的には、本地点は活断層である上町断層（南北走向のスラスト）の上盤側に位置しており、基盤深度が下盤側（西側）に対して急激に浅くなる（600m 前後）と考えられる。周辺の坑井資料を検討した結果、先新第三系の基盤として想定される岩石は領家帯の花崗岩である。したがって、予定されている 1,000m の掘削で十分に P 波速度 5km/s 以上の岩盤に到達可能であると予想された。また、上町断層は大阪層群を累積的に変位させているので、この地点で大阪層群の層序を詳細に明らかにすることにより、上町断層の平均変位速度に対して制約を与えるようなデータが得られることが期待される。

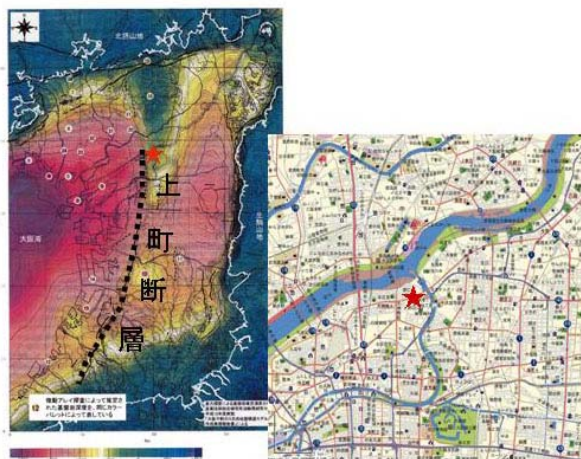


図 2 大阪ボーリング地点の位置（★印）。

左図：大阪平野全体の重力基盤等高線図（大阪府、2004¹⁾を一部改訂）。

右図：周辺の詳細地図。

京都盆地では、盆地北部の公園内に掘削地点が選定された（図 3）。京都盆地内では、南部の久御山町に既に高感度地震観測井が設置されている。したがって、この両者の観測データを総合することにより、盆地の振動特性を明らかにできることが期待できる。周辺の

坑井資料を検討した結果、この地点では深度 300m 前後でジュラ紀の付加コンプレックスである丹波層群に到達するものと予想される。したがって、予定されている 700m の掘削で、P 波速度 5km/s 以上の岩盤に十分到達可能であることが予想された。

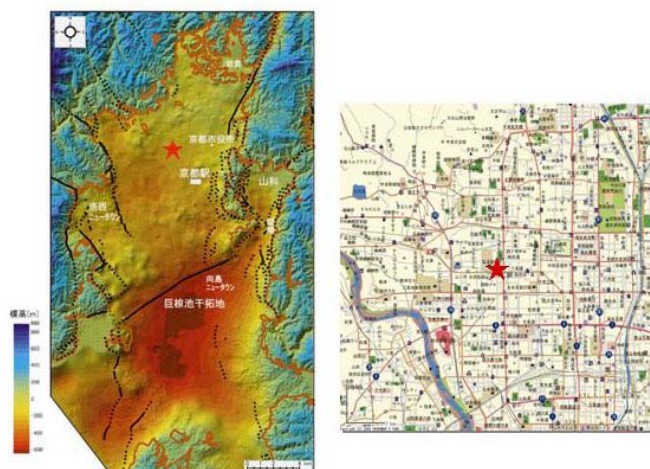


図 3 京都ボーリングの位置 (★印)。

左図：京都盆地全体の活断層および重力基盤等高線図 (京都市、2003²⁾)。

右図：周辺の詳細地図。

(c) 業務の成果

1) 山北南観測井における追加成果

前年度 (平成 15 年度) に掘削された神奈川県山北町の山北南観測井について、前年度報告書の作成後に追加された地質学的知見の概要を報告する。なお、得られたコア岩石試料の分析については、現在共同研究体制によって進められているところであり、ここでは予察的な成果にのみ触れる。

山北南観測井の位置、および最終的な観測井の構造を図 4、図 5 に示す。

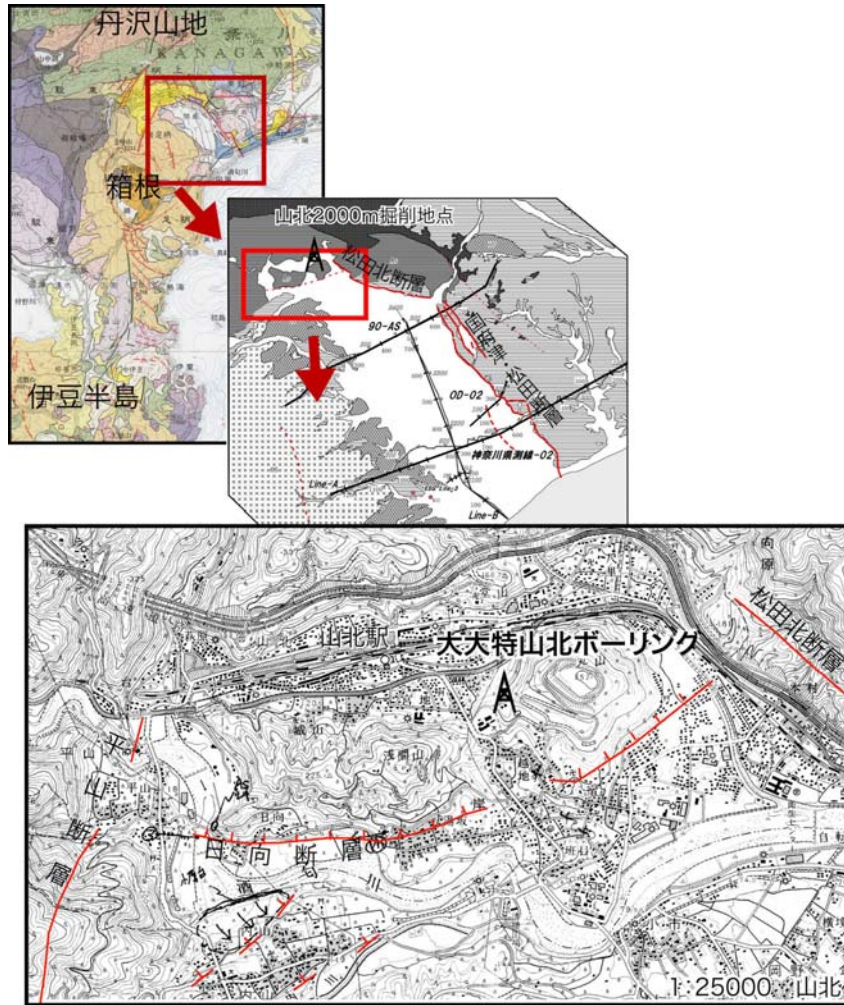


図4 山北南観測井の位置（国土地理院発行 1:25,000 地形図「山北」を利用）。

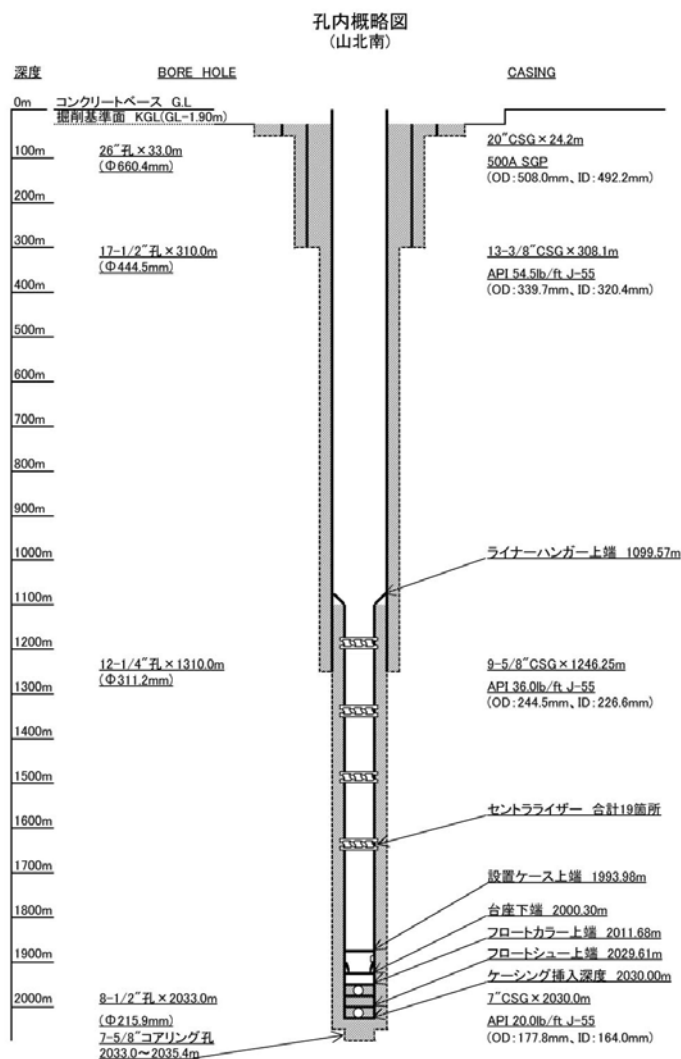


図 5 最終的な観測井構造図

観測孔はオールケーシング・オールセメンチングで仕上げられた。採集されたスポットコアの一覧を表 1 に示す。また、スポットコアの写真を図 6 に示す。

表 1 コア採取一覧

No.	コア区間 (m)		掘削長 (m)	コア長 (m)	採取率 (%)	岩相
	自	至				
1	0.0	1076.6	1076.6	1023.7	95.1	火山角礫岩など
2	1491.7	1494.0	2.3	1.2	52.2	火山角礫岩
3	1799.0	1801.0	2.0	1.2	60.0	細粒安山岩
4	2025.0	2026.3	1.3	0.7	53.8	細粒安山岩



図6 山北スポットコアの写真。コア箱の内側長は全て1m、コア箱中の小目盛りは10cm。

カッティングスやコア試料の観察、掘削時の技術者からの情報、物理検層やVSP法地震波速度探査等の結果を総合的に解釈し、地質柱状図を作成した(図7)。

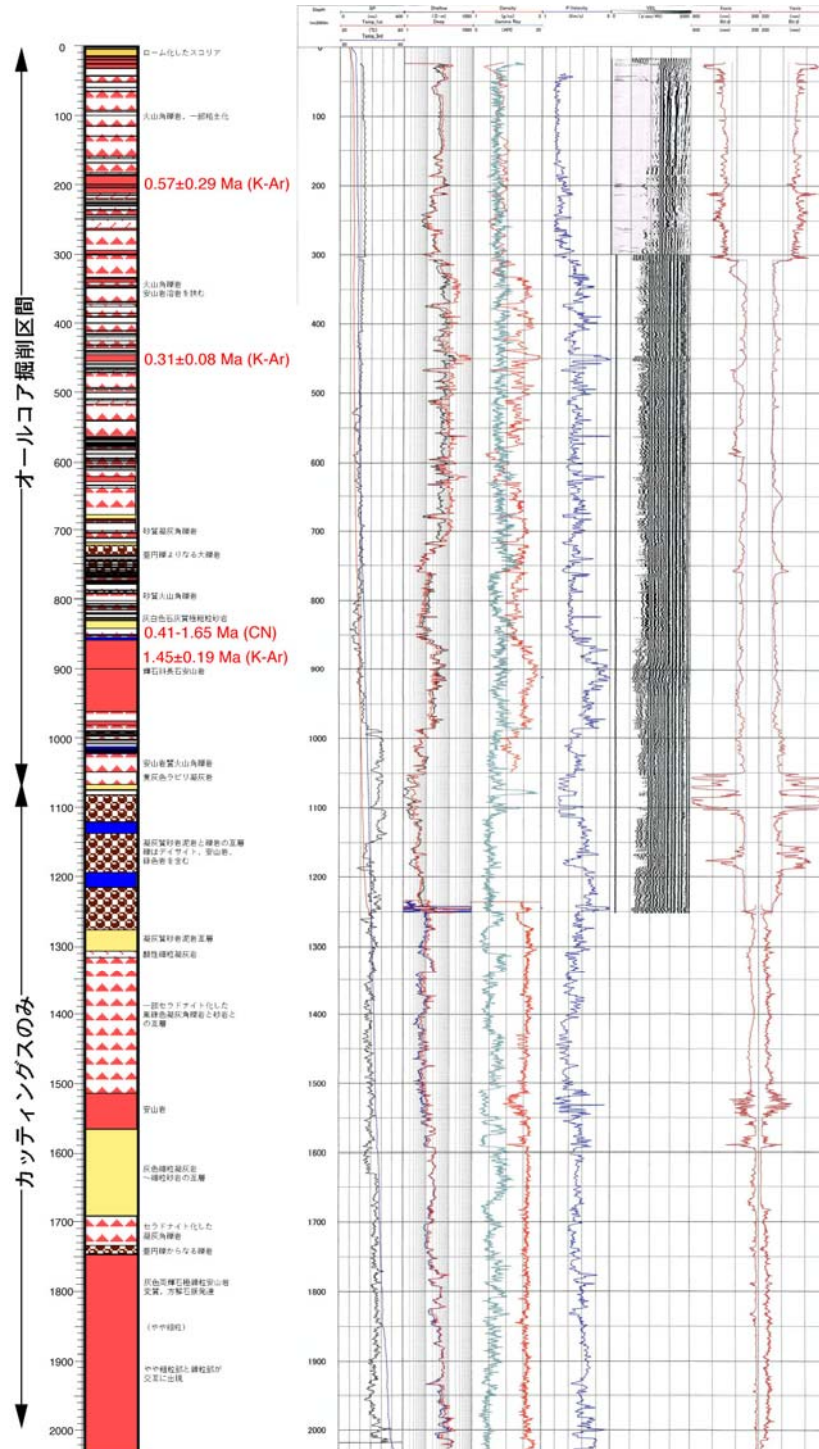


図7 総合地質柱状図（現在も詳細な解析が進行中であるため、暫定版である）

スポットコアやカッティングスで実際に観察された岩相は、主に安山岩および同質の火山角礫岩であった。検層の結果、密度値は最下部で 2.5g/cm^3 以上の値を示した。また、音波検層によるP波速度は 5km/s 以上に達している。これらの結果から総合的に判断すると、本掘削孔では下部で伊豆弧の基盤を構成する中新統に到達した可能性が高い。詳細なコア分析結果、および年代層序学的検討については、この報告書の「大深度ボーリング試料による地質年代調査」を参照されたい。

2)平成 16 年度掘削における成果

i)掘削工事の概要

調査観測井の工事には、ロータリー式掘削機が使用された。一般に、ロータリー式掘削機（ロータリーテーブル型ドリル）は、ロータリーテーブル（ターンテーブル）と呼ばれる回転装置とドロワークスと呼ばれる巻上げ装置が主要な機能であり、送水ポンプ、櫓、サブストラクチャー及びこれらを駆動する為の原動機等の装置から構成される（図 8）。ロータリーテーブルドリルの巻上げ装置であるドロワークスは、掘削具（ロッド、ビット）の巻上げ、降下やロータリーテーブルに回転を伝達する機能を有する。また、ロータリーテーブルはロッドから最下部のビットへ回転を伝達し、岩盤を掘り進むものである。

ロータリーテーブルの回転は、一般にドロワークスの主軸からローラチェーン伝動され、ベベルギヤにより伝えられる。テーブルの回転部は、ボーリングロッドやビット、ケーシングなどを通過させるため四角状ないし六角状の穴が貫通している。テーブルにはマスターブッシング（テーブルブッシング）とケリードライブブッシングと呼ばれるケリーロッド（ケリーバー）に回転を伝える装置が挿入される。ロータリーテーブルでは、接続したボーリングロッドの最上部に正方形断面または正六角形断面のケリーロッドを 1 本接続して、マスターブッシング、ケリードライブブッシングの角部を利用して回転をロッドに伝える。ケリーロッドは、ドロワークスによりワイヤロープでつり下げられ、巻上・降下が行われる。ロッドの継ぎ足しは、ケリーロッドの長さ分を掘削すると、いったんその長さ分だけ巻き上げ、ケリーロッドをはずして追加するロッドを順次繋ぐ。クラウンブロックなどは、ボーリングの櫓の頂点につけ掘削器具の昇降に使用する滑車装置である。ウォータスイベルは、送水ポンプからの泥水などの流体を回転しているボーリングロッド内に送る装置である。回転しているビットによって粉砕された岩石（スライム）は、泥水の循環によって、地上に運び出される。

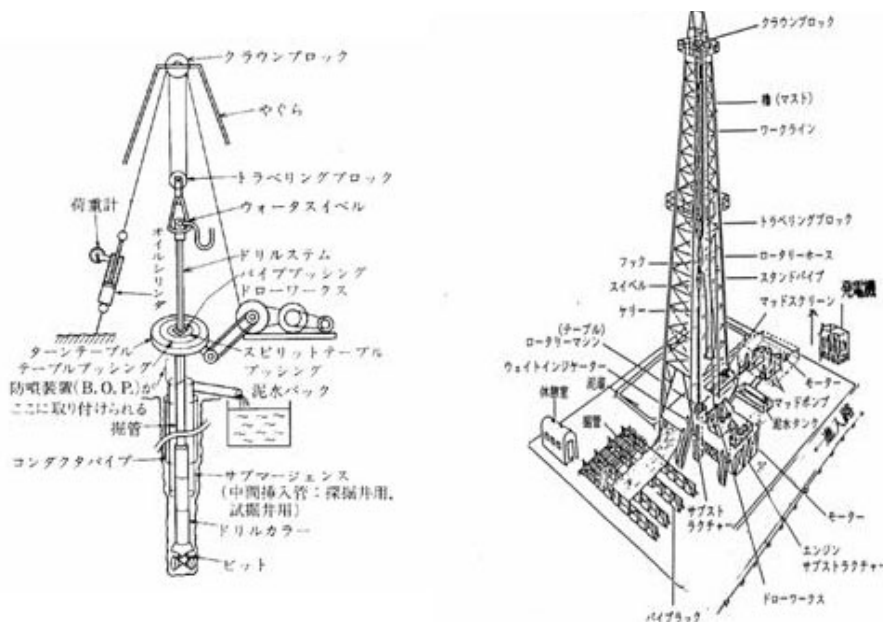


図 8 ロータリー式掘削機の模式図および作業配置図
(ボーリングポケットブック：1993 による)

ii)大阪観測井の掘削とその成果

大阪観測井の掘削における櫓の組み立ての様子の写真、現場の全景を図9に示す。また、計画時の観測井構成図を図10に示す。



図9 櫓設営風景（左図：櫓の組み立て、右図：全景）

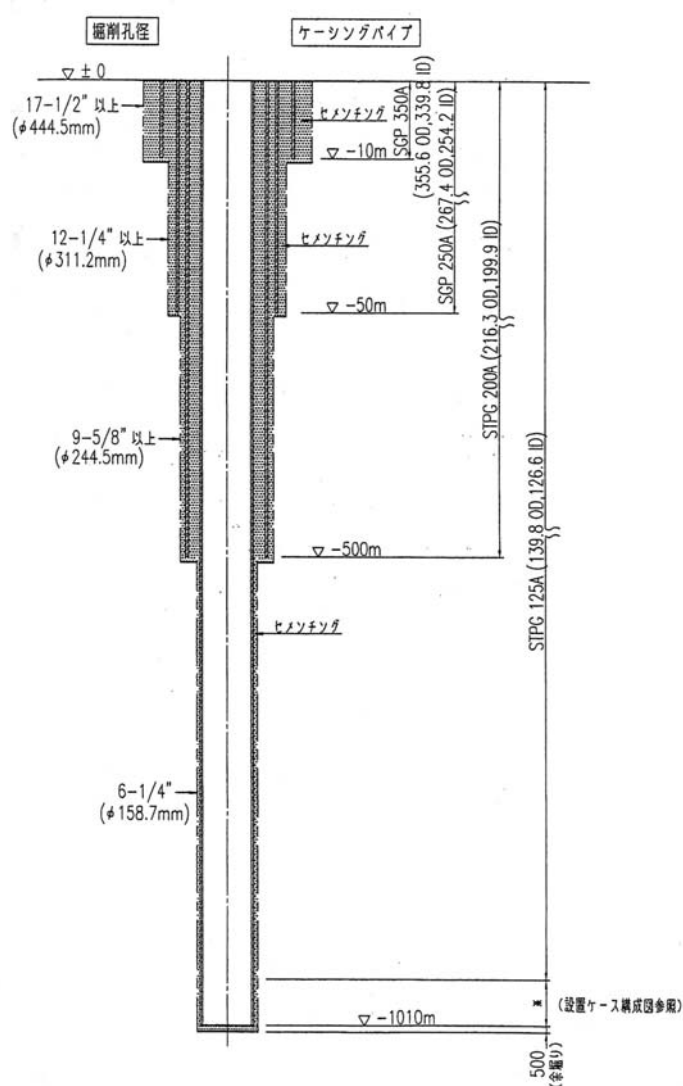


図10 大阪観測井のドリリングプラン

コアの採取は HQ(97.5mm)サーフェスダイヤモンドビットを用いて、計画深度約1,000mのうち10～210mまでは回収率50%まで、それより深い箇所については深度100m毎に2mの回収を目標にして行った。さらに、孔底においてもスポットコアリングを行

った。また、掘進 5.0m 毎にカッティングスを採取し、500ml 瓶に入れ保管した。採取されたコア試料については、現在詳細な地質学的検討が進行中である。

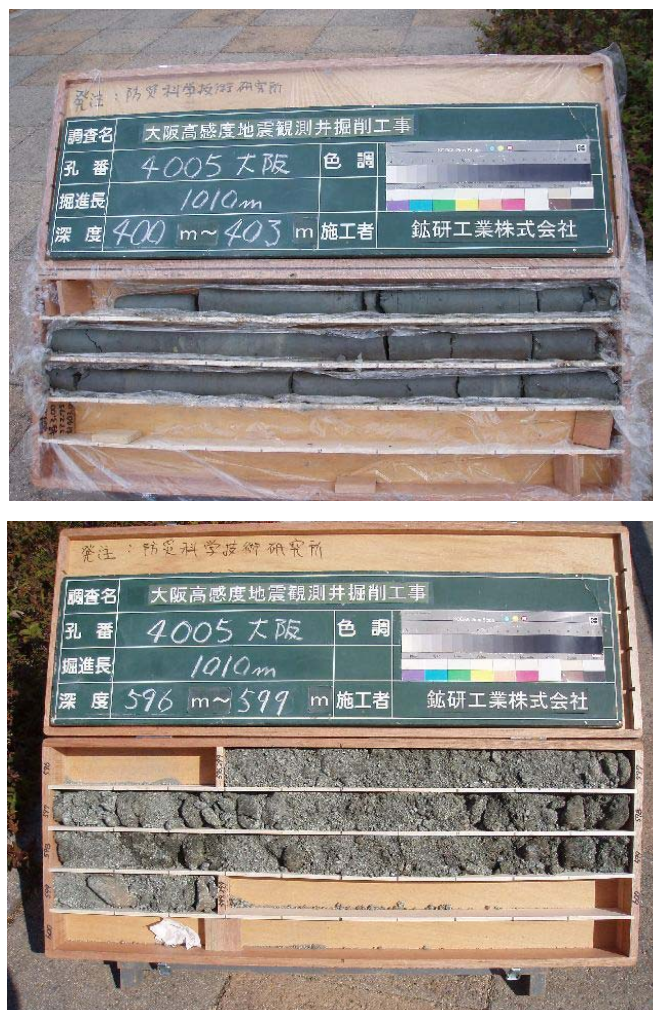


図 11 大阪観測井で得られたコア写真。上図：深度 400-403m 区間のスポットコアで、大阪層群（更新統）の青灰色シルト。下図：深度 596-599m 区間のスポットコアで、風化によりマサ化した領家帯の花崗閃緑岩。

コアおよびカッティングスの観察により、暫定的な柱状図を作成した（図 12）。コア回収率は、深度 10~210m の区間で 73.6%である。コアで得られた地質は、岩相上 2層に区分される。地表から深度約 590m までは、粘土層を挟む砂礫層から主に構成される。それより下位については、花崗閃緑岩、およびそれが破碎変質した岩石によって構成される。

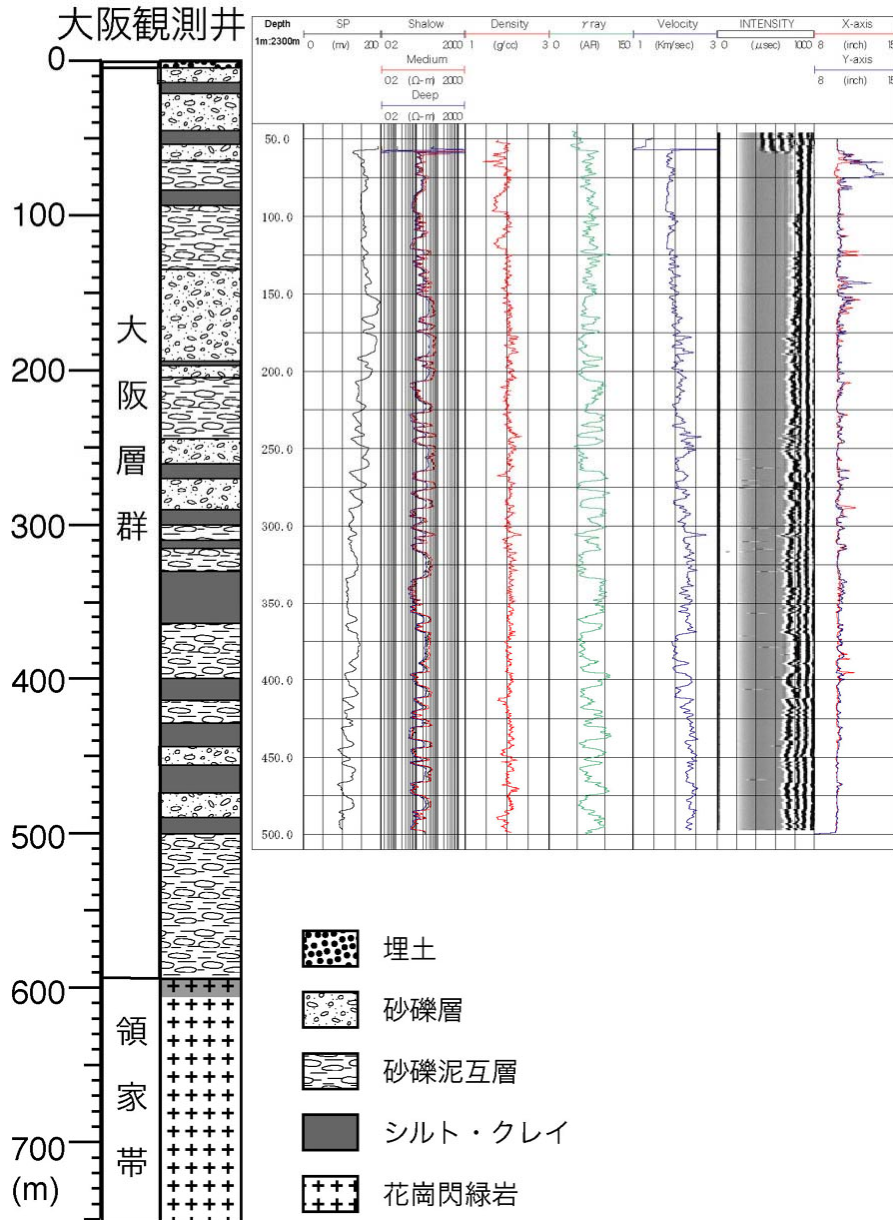


図 12 大阪観測井における、深度 0～750m までの地質柱状図（暫定版）

最上部の深度約 590m までの地層は軟弱であり、海成および陸成の粘土層を挟む砂礫層から主に構成され、稀に降下火山灰層を挟む（図 11）。これらは更新統の大阪層群と考えられる。深度 590m より下位は、花崗閃緑岩、およびそれが破碎変質を受けた岩石によって主に構成される。花崗閃緑岩は、最上部約 15m が風化してマサ化している（図 11）。この花崗閃緑岩は、白亜系の領家帯花崗岩であると考えられる。以上の地層対比の根拠および詳細な年代層序学的検討については、この報告書の「大深度ボーリング試料による地質年代調査」を参照されたい。

iii) 京都観測井の掘削とその成果

京都観測井の掘削における現場の全景を図 13 に、計画時の観測井構造図を図 14 に示す。



図 13 掘削槽の組み立て全景

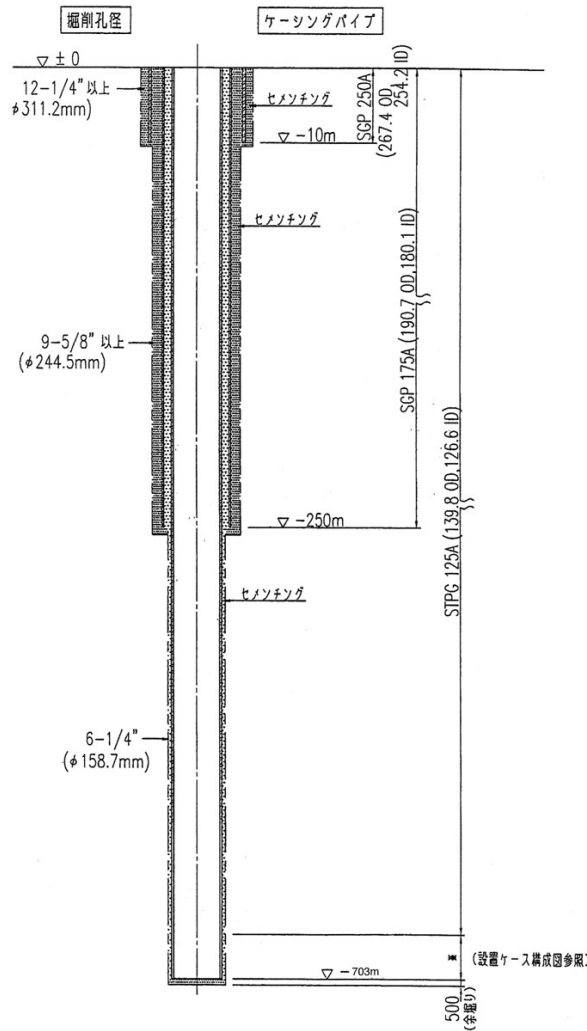


図 14 京都観測井のドリリングプラン

コアの採取はHQ(97.5mm)サーフェスダイヤモンドビットを用いて、計画深度約700mのうち10~250mまでは回収率50%まで、それより深い箇所については深度100m毎に2mの回収を目標に行った。さらに、孔底においてもスポットコアリングを行った。

また、掘進 5.0m 毎にカッティングスを採取し、500ml 瓶に入れ保管した。採取されたコア試料については、現在詳細な地質学的検討が進行中である。

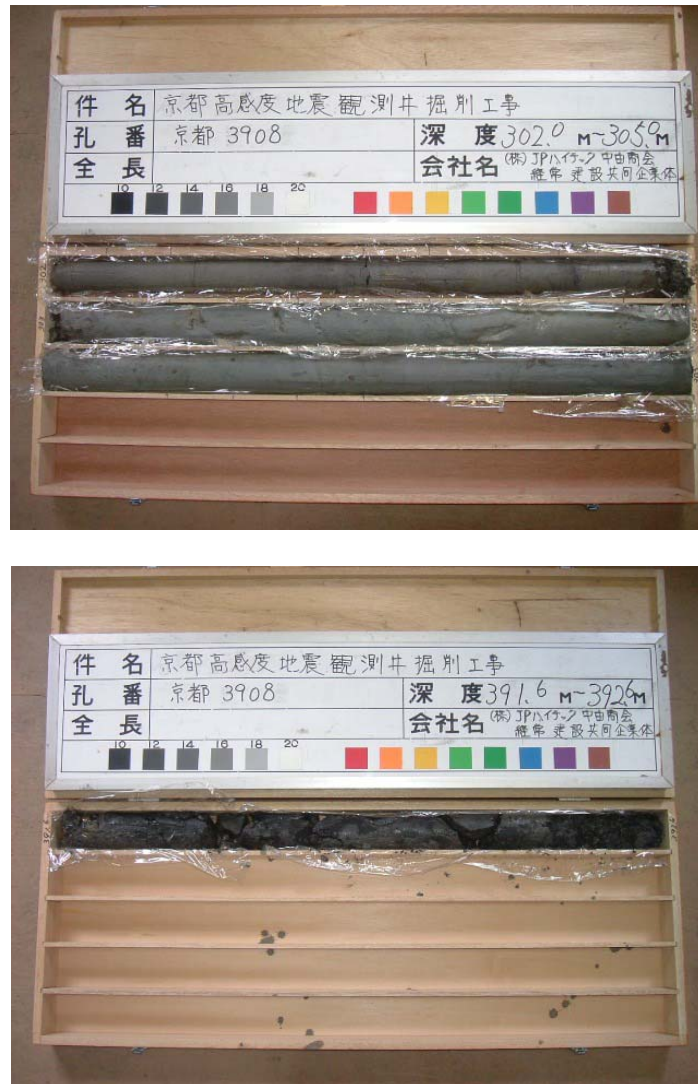


図 15 京都観測井で得られたコア写真。上図：深度 302-305m 区間のスポットコアで、大阪層群（更新統）の暗灰色シルト。下図：深度 391.6-392.6m 区間のスポットコアで、丹波層群（ジュラ系）の破碎された頁岩。

コアが得られた深度 250m までの区間について、暫定的な柱状図を作成した（図 16）。コア回収率は、深度 10~210m の区間で 24.8%である。コアおよびカッティングスで得られた地質は、岩相上 2 層に区分される。最上部約 355m までは、泥層を挟む砂礫層により構成される。それより下位には、シアされて断片状になった黒灰色頁岩がカッティングスとして得られた。

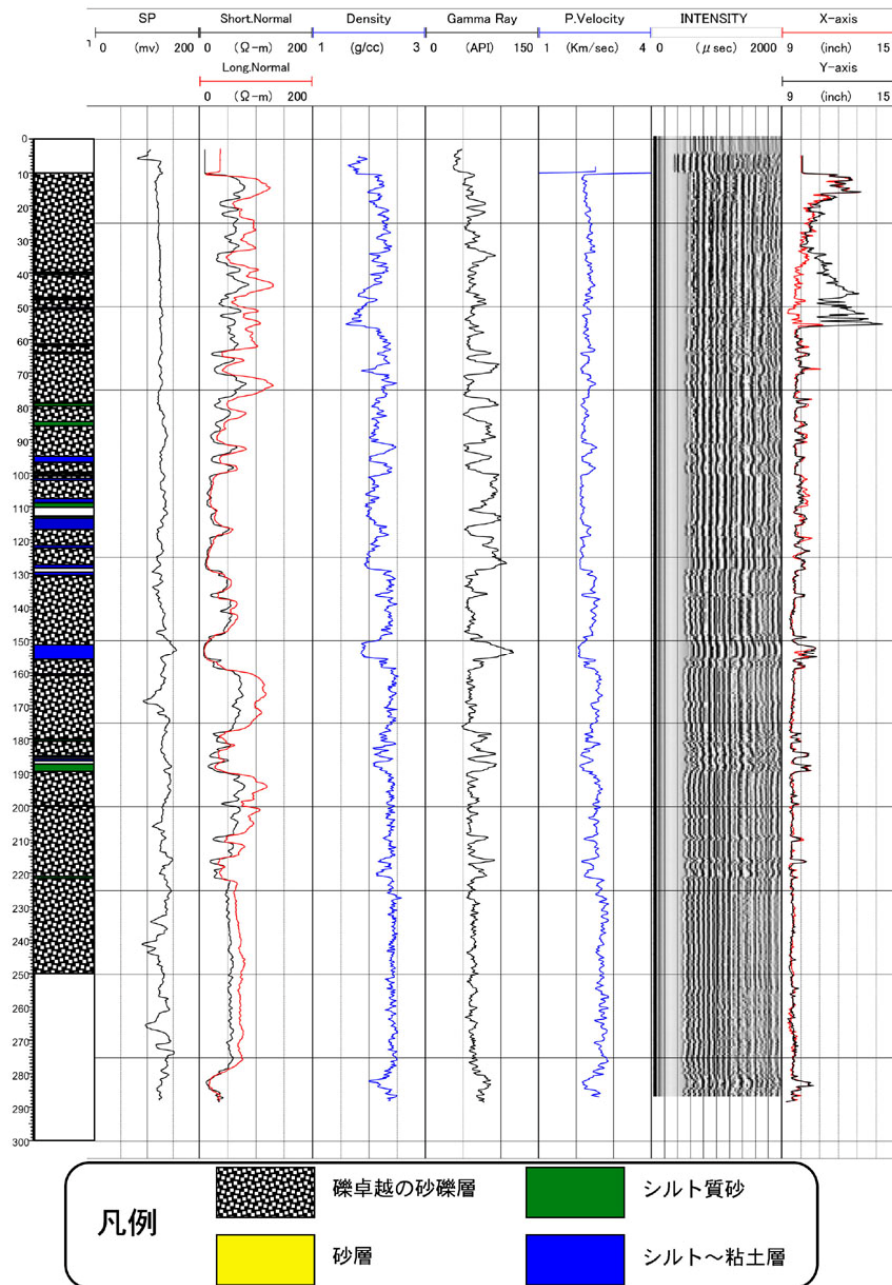


図 16 京都観測井における、深度 0～250m までの地質柱状図（暫定版）

最上部 355m の泥層を挟む砂礫層は非常に軟弱であり、炭化した植物化石以外の化石を含まない。この地層は陸成の湖または河川堆積物と考えられ、大阪層群に対比される。それ以深の破碎した頁岩は、京都盆地の周辺に分布する丹波層群に相当すると考えられる。

以上の地層対比の根拠および詳細な年代層序学的検討については、この報告書の「大深度ボーリング試料による地質年代調査」を参照されたい。