

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

(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。

今年度は房総半島南部の鴨川市において深度 2 0 0 0 m 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 カ年の年次実施計画

1年目：

房総半島鴨川市西部で、深さ 2 0 0 0 m 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。

2年目：

神奈川県西部（足柄平野）で深さ 2 0 0 0 m 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。

3年目：

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。

4年目：

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。

5年目：

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14年度業務目的

鴨川市西部において、深さ2000m級の調査観測ボーリングを実施し、P波・S波速度構造の直接計測を行い、強震動予測地図作成のための基礎資料を得る。また、ボーリングコアなどの地質資料の堆積年代を解析し、地質構造の解明を行う。房総半島に設置された既存の地震計による自然地震の観測データを用い、詳細な弾性波速度地下構造を明らかにする。強震動予測地図作成に向けた堆積層の地下構造モデルの構築に関する研究を組織し、総合的な地下構造モデルについての研究を推進する。ボーリング孔を利用しHi-net観測網を整備し高精度地震観測を行い、データ公開を進める。

関東南部房総半島において掘削されたボーリングコアと周辺に露出する地層の地質学的検討を行い、それらを対比することにより、地下地質構造の解釈に資する。

(2)平成14年度の成果

(a) 業務の要約

房総半島南部の鴨川市において深さ2000m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した。

ボーリング孔を利用し、Hi-netを整備した。

(b) 業務の実施方法

強震動予測においてはとくにS波速度構造が重要な問題となる。首都圏・近畿圏でも、測定点は大変少ないが、S波速度調査は、ボーリング調査による坑内計測が有効であり、このボーリング孔を利用した直接P、S波速度測定を行う。本調査では、大深度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研究を準備する。

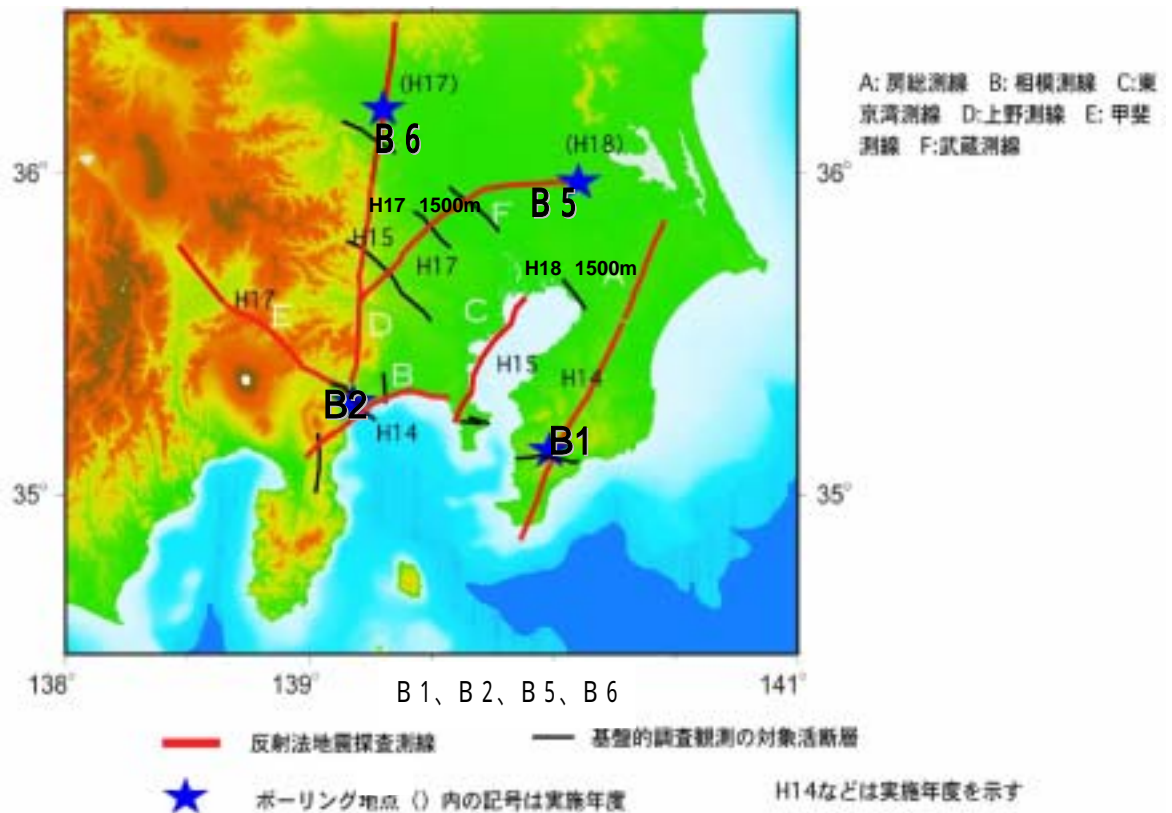


図1 首都圏地殻構造探査測線

強震動予測において、S波速度構造を把握することが大きな課題であり、本計画で大学などを中心として実施する房総半島地下構造探査測線の部分にて、ボーリングを行い精度の高い速度構造を求めることとした。調査観測井掘削地点を決めるに当たっては、その後の地震観測を行うことも考慮して、2000m未満でP波速度構造が4～5Km/secの岩盤に到達する可能性がある地点について、既存の地球物理・地質データから検討した。平成14年度は図1で示す、房総測線に対応する鴨川 B1を選定し、掘削を行った。多くの資料を検討し、本掘削地点の地層は保田層群相当層であり、2000m近く掘削することで4Km/secの岩盤に到達することを予想した。

この地点は、別の視点でも重要性が指摘される。

上記で示す掘削予定地点を、1923年関東地震の地殻上下変動、木造建築物全壊率の分布図上に合わせ図2に表示する。これらの地点にボーリングを行うことは、地殻変動・被害とも甚大な地域をターゲットにして、精緻な速度構造計測や、その後の高感度・強震地震観測を行うことを可能とする。本計画の推進によって、当地の防災についての知見を高め、被害軽減に資する第一歩となることを示している。言い換えれば、関東地震型の地震断層モデルを精緻に捕らえることが本計画の大きな課題であるので、初年度については、関東地震(フィリピン海プレートの詳細な形状把握)の断層域直上に掘削地点を選定したことになる。この考え方は、計画2年目においても図中B2地点として引き継がれる。



図2 関東地震による木造家屋全壊率および地殻変動

上図

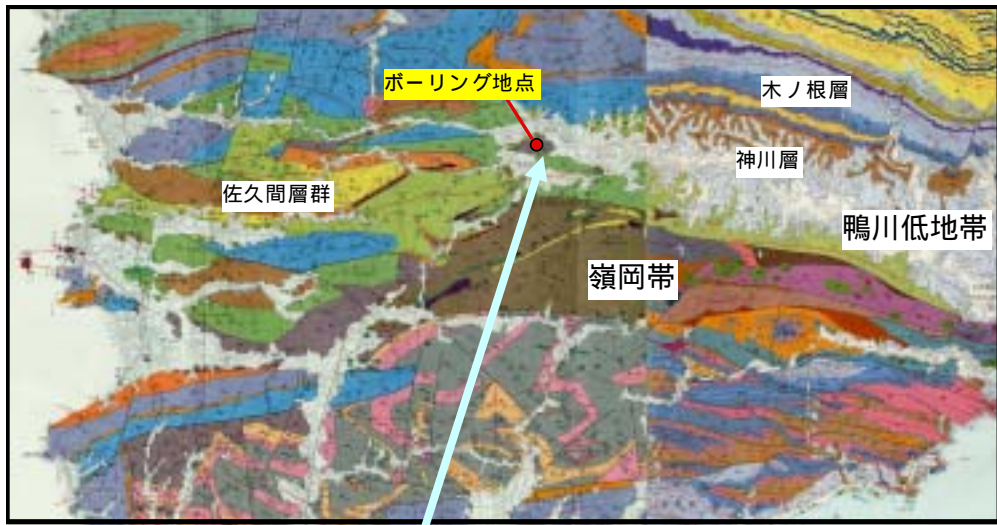
関東地震による木造家屋全壊率

房総半島南部から三浦半島・神奈川県西部にかけて甚大な被害を受けた

下図

1923年関東地震がもたらした地殻変動、地震に伴って、小田原付近から房総半島先端にかけての地域で、地面が最大約2m隆起し、南東方向へ2～3m移動。内陸の東京都南西部から神奈川県北部にかけては、地面が数十cm沈降したことが示されている。

プロジェクト関係者との討議の中、関東地震の情報を可能な限り理解する為に、その被害や地殻変動が大きかった房総半島先端でサイト選定を行うこと、また地震観測も有効な「保田層群」相当層での掘削を行うため、地点が選定された。図3にその背景となった地質図と掘削地点の写真を示す。



房総半島南部の地質図



ボーリング掘削サイトを大まかに示す写真（千葉県鴨川市大山）

図3 房総半島南部の地質図とボーリング掘削サイト

(c) 業務の成果

1) 観測井掘削工事

i) ケーシングプログラム

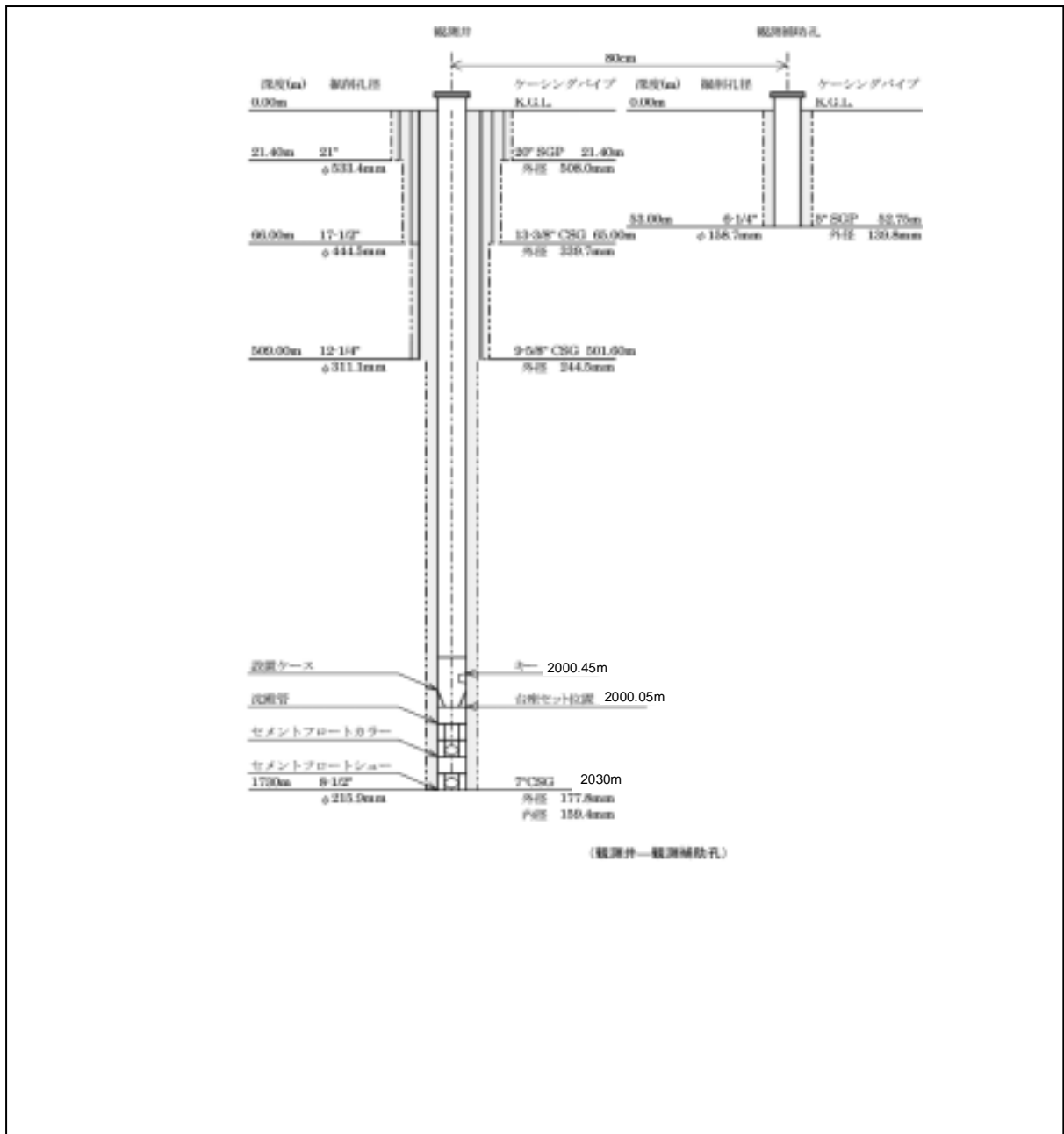


図4 調査観測井概念図

図4 調査観測井概念図にしめす調査観測井の掘削を計画した。そのケーシングプログラム（観測井ケーシングパイプの諸元長さ）は次のとおりである。

表 ケーシングパイプ諸元 (暫定)

名称・規格	内径×外径(mm)	単位長(m)	数量(本)	接続方法
20 STPG-sch20 JIS G 3454	489.0×508.0	5.50	4	熔接接続
13-3/8 ST0-J JIS G 3439	320.3×339.7	10.11～10.21	5	ネジ接続
9-5/8 ST0-J JIS G 3439	226.7×244.5	8.83～9.58	50	ネジ接続
7 ST0-J JIS G 3439	159.4×177.8	10.06～10.22	203	ネジ接続
フロートシュー	20	0.50	1	熔接接続
	13-3/8	0.70	1	ネジ接続
	9-5/8	0.43	1	ネジ接続
	7	0.39	1	ネジ接続
フロートカラー	9-5/8	0.48	1	ネジ接続
	7	0.48	1	ネジ接続
7 F0 セメンター		1.11	1	ネジ接続
7 マーカーパイプ JISG3439	159.4×177.8	5.53	1	ネジ接続
設置ケース	非磁性管	6.84	1	ネジ接続

ii) 作業工程

ボーリング作業について概観することとする。

ここで本事業で行われた掘削について説明しておく。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。大まかには、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を回転させ、最下部のビットを回転し岩盤を粉碎し、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碎された岩石(スライム)は、

泥水の循環によって、地上に運び出される。ロータリー式掘削機のおよその機能を示す為、その模式図、配置図を図5に示す。

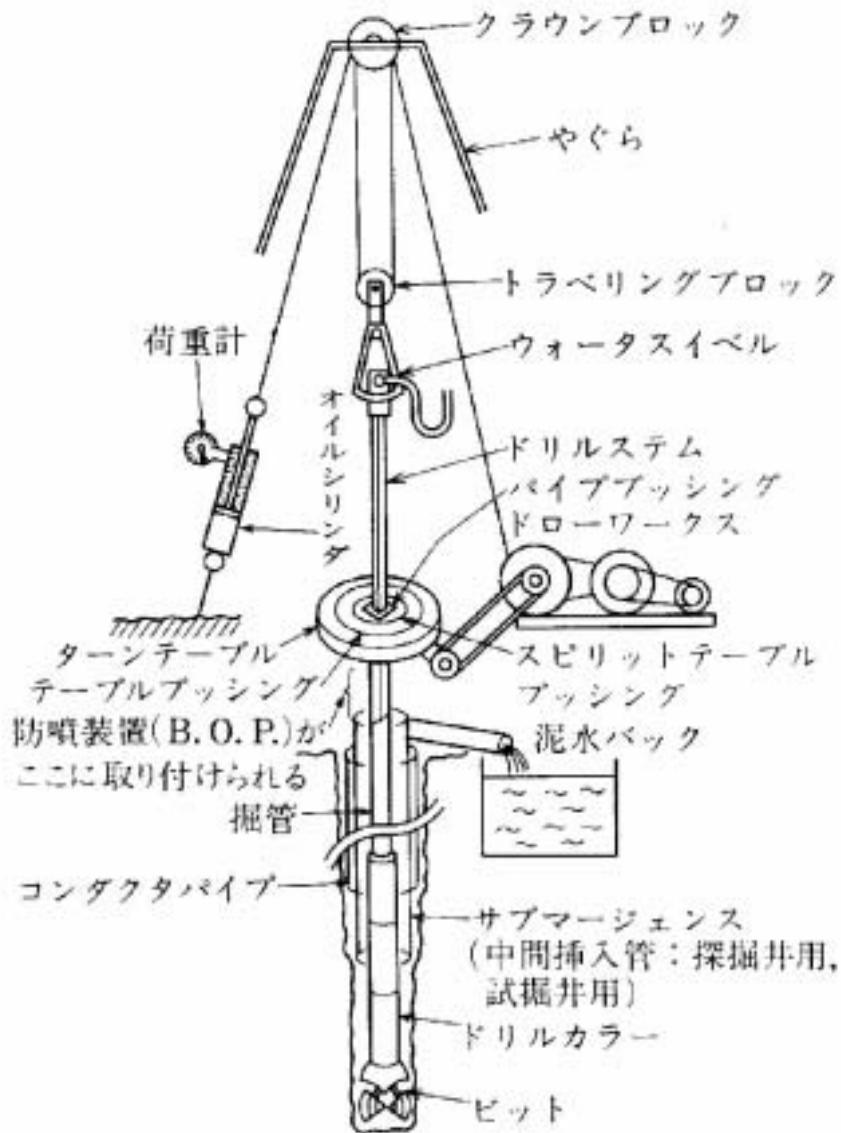
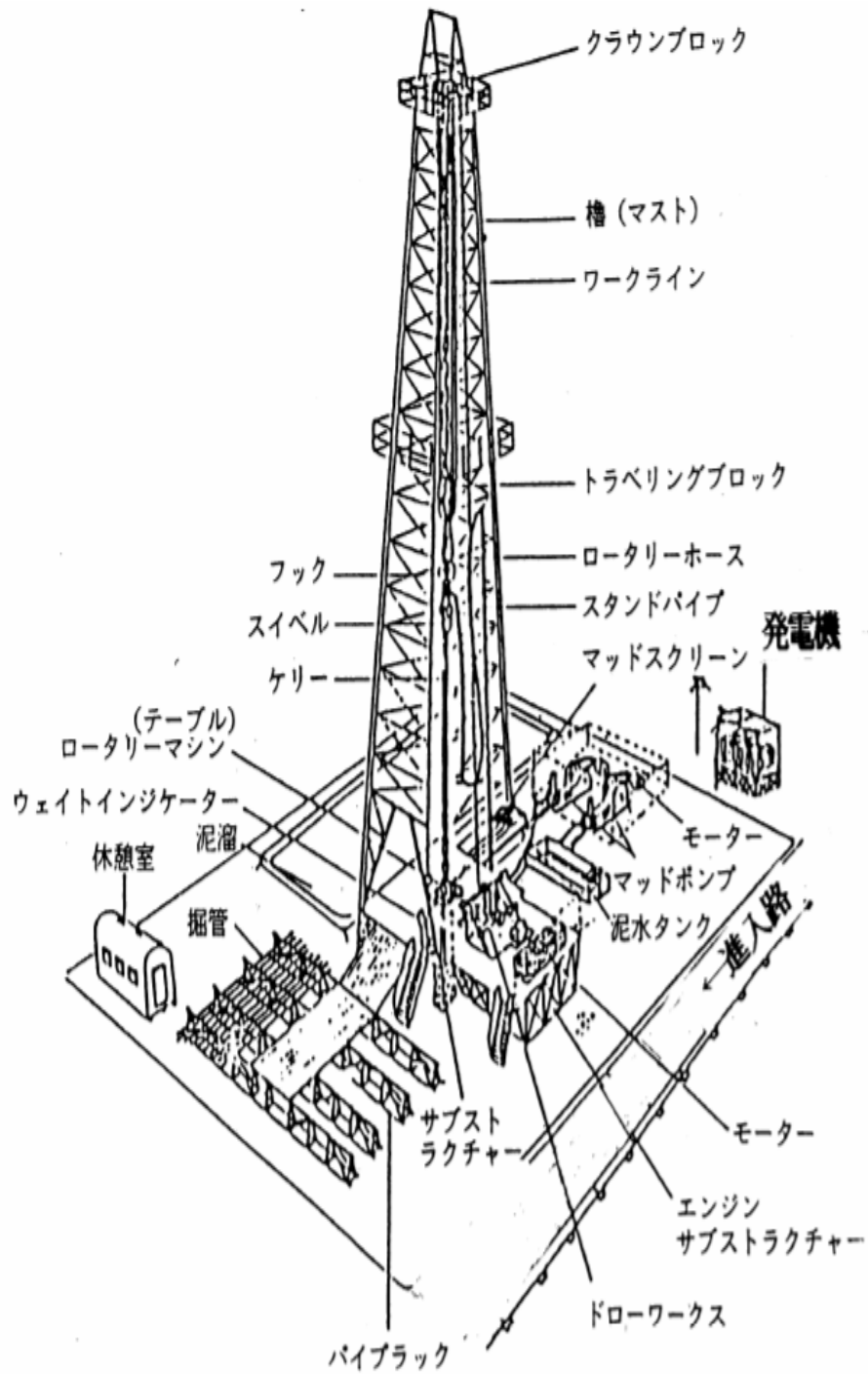


図5 (a) ロータリー式掘削機の模式図 (ボーリングポケットブック : 1993による)



ロータリー式掘削機 配置図

図 5 (b) ロータリー式掘削機の作業配置図

NR-715型 温泉リグ

NR-715型温泉リグは、大深度・大口径の温泉井を短期間、かつ、安全に掘削する目的で開発され、主な特長として以下の点があげられます。

- リグアップおよび掘削期間を短縮し、掘削コストの低減を図れます。
- 84トンのフックロードを有し、増産、その他不測の事態にも充分対応できます。
- 温泉、天然ガス、蒸気地熱開発、改修作業など、多目的に使用可能なコンパクトリグ



NR-715 RIG 諸元

	名 称	規 格
トローワークス	機 組 装 置	34.9m x 2.000m x 44.7m x 1.000m
	最大吊上重量	84 t (3.8噸)
	駆動エンジン	2台 (400/1,000/1,000 PS/7.00/10kW)
	ワイヤーサイズ	25.4mm
ハイドロリックキャットヘッド	ラインプル(ネーフ)	44 t (10.4噸) (40T)
	ラインプル(ブレイク)	55.2 t (12.3噸) (50T)
ロータリー	部 品 径	442.5mm (17.4-インチ)
マスト	最大吊上重量	60 t
	有効高さ	37.8
	ラック径	34.9m x 2.000m x 24.0m x 2.000m x 2.000m
クラウンブロック	定 格 吊 上 重 量	60 t
	ファーストシェフ	1.8m x 1.275m (10.0-インチ)
	ワーキングシェフ	2.8m x 1.92m (10.0-インチ)
	ワイヤー重	25.4mm
サブストラクチャー	ケーシング保持重	60 t
	キャットバック重	70 t
フックブロック・スイベル	定 格 吊 上 重 量	60 t

その他構成機器

3.5メートルインジターボ、1トンボルトのメーカ、3.0インチスタンバイパイプ/スタンバイパイプマニホールド、カブリ型カリードワイズ/パッドリングゲージ/ロータリーホース/ワーキングライン

記水システムは、ケーシングプログラムに基づき最適なシステムをご提示致しますが、概算 150-225 kW (200-300 PS) の記水ポンプ・システムを推奨致します。

AP 株式会社 新潟鉄工所 エネルギー開発部

〒144 東京都大田区蒲田本町1-10-1
TEL (03)5710-7759 FAX (03)5710-4754

図6 使用した掘削機器（カタログ）

仮設工事

機資材の搬入、搬出のため既設道路の路肩強化などを行い工事を進めた。また、工事に使用する工事用水は、関係者と協議の上、掘削工事用水は、現場に隣接する農業用水路を利用し、仕上げ洗浄用水は水道水を分岐利用することとした。水路用水は直接ポンプ揚水利用、水道水はタンクに一括貯水して使用した。汚泥の汚水処理対策として、敷地内に廃泥および掘屑を一時的に溜めるための廃泥ピットを掘り、漏水防止として防水シートを敷設した。発生した廃泥は産業廃棄物処理業者に委託して処理した。

設営作業

観測井の掘削には、中深層(2000m級)の掘削には十分な能力を持ったロータリー式掘削機(新潟鉄工 NR-715 図6カタログ参照)を使用し、敷地の形状、孔井位置を考慮して機資材の配置据付を行った。

工事は、機資材搬入路、孔井敷地の借地手続きを経て、搬入路の整備、孔井敷地の造成などの準備作業を実施した。掘削機資材の搬入、設営を開始し、口元崩壊防止の28コンダクターパイプをセットして準備作業を完了した。

掘削作業を開始し、種々の作業過程後、防食剤混入液に入れ替えて、本孔井作業を完了した。この間の作業は2交替制の昼夜作業を行った。

以下に櫓の組み立ての様子の写真、現場の全景などを図7、8に示す。



図7 櫓 (左図 サブストラクチャーの組み立て、右図 櫓の組み立て)



掘削装置全景 1



掘削装置全景 2

図 8 掘削装置全景

2) 各段の掘削状況

i) 1 段目掘削

1 段目の掘削は、孔口の崩壊防止用 28 コンダクターパイプ(6.0m)をセットした後、22 トリコンビットにて GL-23.0m まで掘削した。作業状況 (図 9) と泥水記録表を次に示す。



図 9 22 トリコン掘削作業写真

GL		泥水記録表	
28 SGP (コンダクターパイプ) 6.0m	1 段目 22 掘削	使用ビット	22 トリコン (掘削)
		ビット荷重(kg)	1000 ~ 2000
23.0m		回転数(rpm)	50
		泥水の種類	ベントナイト泥水
		添加剤の種類	クニゲルV ₁ ・CMC
		比 重	1.08
		粘 速 (s)	50
		送水圧(kg/cm ²)	5.0
		送 水量 (L)	1200
湧 逸水 (L)	0		

ii) 2 段目掘削

1 段目のケーシング(20)・セメンチング後、17-1/2 トリコンビットにて GL-23.0m から 53.0m まで掘削した。作業状況 (図 1 0) と泥水記録表を次に示す。

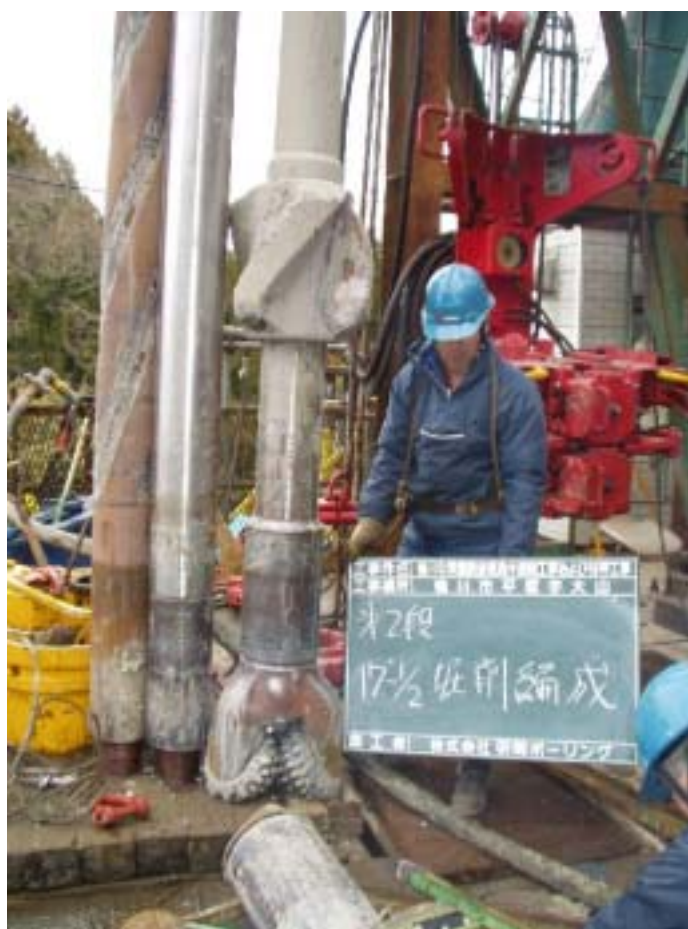
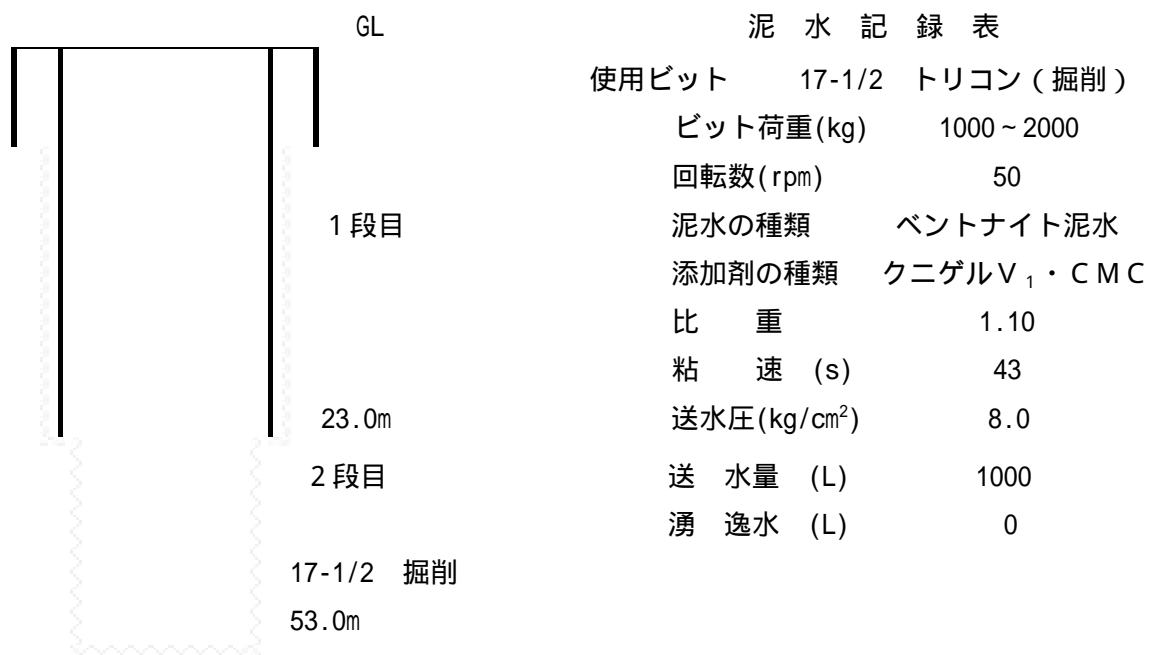


図 1 0 17-1/2 トリコン掘削作業写真

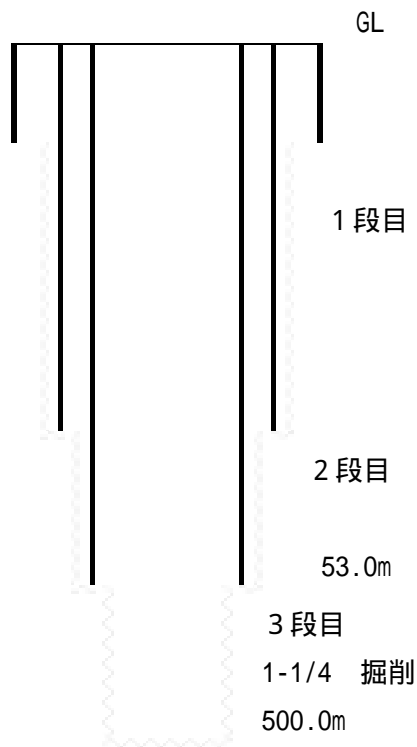


iii) 3 段目掘削

3 段目の掘削は 13-3/8 ケーシング・セメンチング (2 段目) 完了後、12-1/4 トリコンビットで GL-53.0m から 500.0m まで掘削した。地質は主に砂岩および泥岩であった。作業状況 (図 1 1) と泥水記録表を次に示す。



図 1 1 12-1/4 トリコン掘削作業写真



泥 水 記 録 表

使用ビット	12-1/4 トリコン (掘削)
ビット荷重(kg)	1000 ~ 8000
回転数(rpm)	40 ~ 70
泥水の種類	リボナイト泥水
添加剤の種類	クニゲルV ₁ ・リボナイト
比 重	1.16 ~ 1.20
粘 速 (s)	50 ~ 70
送水圧(kg/cm ²)	20.0 ~ 25.0
送 水量 (L)	1200
湧 逸水 (L)	0

iv) 4 段目掘削

4 段目の掘削は 3 段目のケーシング (9-5/8)・セメンチング完了後、8-1/2 トリコンビットにて、最深部 GL-1236.0m まで掘削した。深度 GL-304.0m から 1236.0m までの間で P Q ダイヤモンドビットおよびリーマーで 6ヶ所のスポットコア (2.0m) 採取を行った。地質は主として泥岩・泥岩互層 (神川層相当) で泥岩が軟弱、砂岩が硬質であったため、掘削は困難を極めた。作業状況 (図 1 2) と泥水記録表を次に示す。



8-1/2 トリコン掘削作業写真

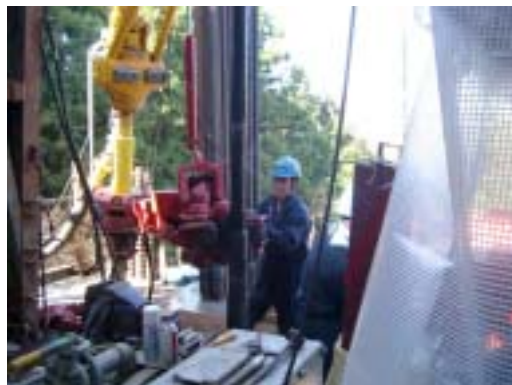


図1 2 8-1/2 トリコン掘削作業写真

		泥水記録表	
	使用ビット	8-1/2 トリコン (掘削)	PQダイヤ (コアリン
	ビット荷重(kg)	3000 ~ 9000	0 ~ 3000
	回転数 (rpm)	50 ~ 60	50 ~ 60
	泥水の種類	リボナイト泥水	リボナイト泥水
	添加剤の種類	クニゲルV ₁ ・リボナイト	クニゲルV ₁ ・リボナイト
	比 重	1.18 ~ 1.20	1.16 ~ 1.20
	粘 速 (s)	40 ~ 46	40 ~ 45
	送水圧(kg/cm ²)	30.0 ~ 50.0	6.0 ~ 10.0
	送 水量 (L)	1100 ~ 1200	100 ~ 130
	3段目 湧 逸水 (L)	0	0
500.0m			
4段目			
8-1/2 掘削			
2030.0m			

3) 観測井の洗浄

観測井の仕上げ洗浄は、7 ケーシングパイプ内壁の付着物を取り除くとともに、セメンチングによる非磁性管の方位設定機構、地震計設置台座の機能を損なわないようにする目的として、孔内の洗浄作業を行った。始めに、ファーストステージセメンチングにおけるセメントスラリーを予定数量送入後、脱圧チェックをしフロートカラーからシーリングアダプターを切り離し、泥水循環による沈殿管、台座上を洗浄し、余剰セメントを排出した。次に、セカンドステージセメンチングによるセメントスラリーが孔口に完全に回帰したことを確認し、FOセメンターを閉じて脱圧確認後、泥水循環による7 ケーシング管内のセメント排出、ならびに洗浄を行った。7 ケーシングセメンチングに引き続き、パイプ内壁の付着状況確認のため、6-1/4 トリコンビットを取り付けた残留セメント (セカンドセメンチング部) 浚い編成を 1195m まで降管し、異常がないことを確認した。次に 3-1/2 ドリルパイプに 2-7/8 チューピングを継ぎ足して、台座の中を通して台座下の沈殿管下部まで降下し、管内の清掃を兼ねた泥水を清水に入れ替え循環洗浄をした。さらにケーシングスクレパーによる台座上部ケーシングパイプ内壁の清掃を行った。洗浄にはケーシングウォッシュとスパーサー洗浄を施し、管内が清水になったことを洗浄帰水の透明度により確認した後、防錆剤を添加した清水を注入した。

4) コア採取

コアの採取はPQ(123.0mm)サーフェスダイヤモンドビットを用いて、計画深度 100m、150m、200m、250m、300m、400m、500m、1000m、1200m、1400m、1600m、1800(未収)、2000(未収)の各13ヶ所で行った。採取されたコアを図13(a)-(k)に示す。掘さく中においては、5.0m 毎にカッティングを採取し0.5リットル瓶に入れ整理した。

コア及びスライム鑑定によれば、350-450mに泥岩卓越のユニットが認められ、続いて泥岩、砂岩が互層状になって分布している。鴨川800mスポットコアの岩相はやや破碎した塊状泥岩で、破碎の程度は400m地点の泥岩と比べると軽度となっている(400mスポットコアの泥岩は、ほとんど「破碎角礫岩」と呼べるほど破碎されている)。1000mのスポットコアの岩相は最上部50cmが砂岩、それ以下は泥岩となっている。他のスライム鑑定で求めた泥岩卓越の泥岩砂岩互層を証左するものであろう。1400mスポットコアの岩相はレキを含む破碎された泥岩と考えられ、1200m地点とほとんど同質のものであった。1600mのコアに至っても破碎された泥岩が卓越している。

スライムの鑑定によると、深度600mより上位は主に砂質シルト岩、もしくはシルト質の砂岩により構成され、泥岩卓越部を挟む。深度600mより下位はおそらく泥岩・砂岩互層で、下位に向かって泥岩卓越に移り変っている。1295mより下位は淘汰の悪い礫岩が存在すると考えられる。レキは砂岩レキが多く、これはそれより上位にまれに含まれているレキ種と同じものであると考えられる。その後泥岩・砂岩、砂岩・頁岩の卓越する地層が交互に続いていた。詳細な地質学的記載については、「2.4 大深度ボーリング試料による地質年代調査」に記載している。



図13 コア採取サンプル (a) 100mスポットコア



図13 コア採取サンプル (b) 150mスポットコア



図13 コア採取サンプル (c) 200mスポットコア



図13 コア採取サンプル (d) 300mスポットコア



図13 コア採取サンプル (e) 400mスポットコア



図13 コア採取サンプル (f) 500m スポットコア



図13 コア採取サンプル (g) 800m スポットコア



図13 コア採取サンプル (h) 1000mスポットコア



図13 コア採取サンプル (i) 1200mスポットコア



図13 コア採取サンプル (j) 1400m スポットコア



図13 コア採取サンプル (k) 1600m スポットコア

5) 物理検層および垂直地震探査(VSP)の測定結果

i) 概要

物理検層および垂直地震探査(VSP)の概念図を図14に示す。

・物理検層

ボーリング孔を利用して孔壁周辺の地層の物理的性質を原位置で計測する、物理検層を実施した。検層項目として、音波検層（超音波領域におけるP波、S波弾性波速度）、電気検層（比抵抗検層、自然電位検層）、密度検層等を実施した。

物理検層の第1次検層は口径 12-1/4 で深度 500.0mまで掘削後、9-5/8 ケーシングパイプ挿入前、また第2次検層は口径 8-1/2 で 2030.0mまで掘削、7 ケーシングパイプ挿入前に実施された。

・垂直地震波探査 (VSP)

地表で人工的に弾性波を発生し、地中への伝播する波形を孔内に設置した地震計で観測する、垂直地震波探査 (VSP) は、7 ケーシング・セメンチング後、実施された。7 非磁性台座を深度 2000.0mの位置にセットしている関係上、測定は 500.0m ~ 1990.0mとした。

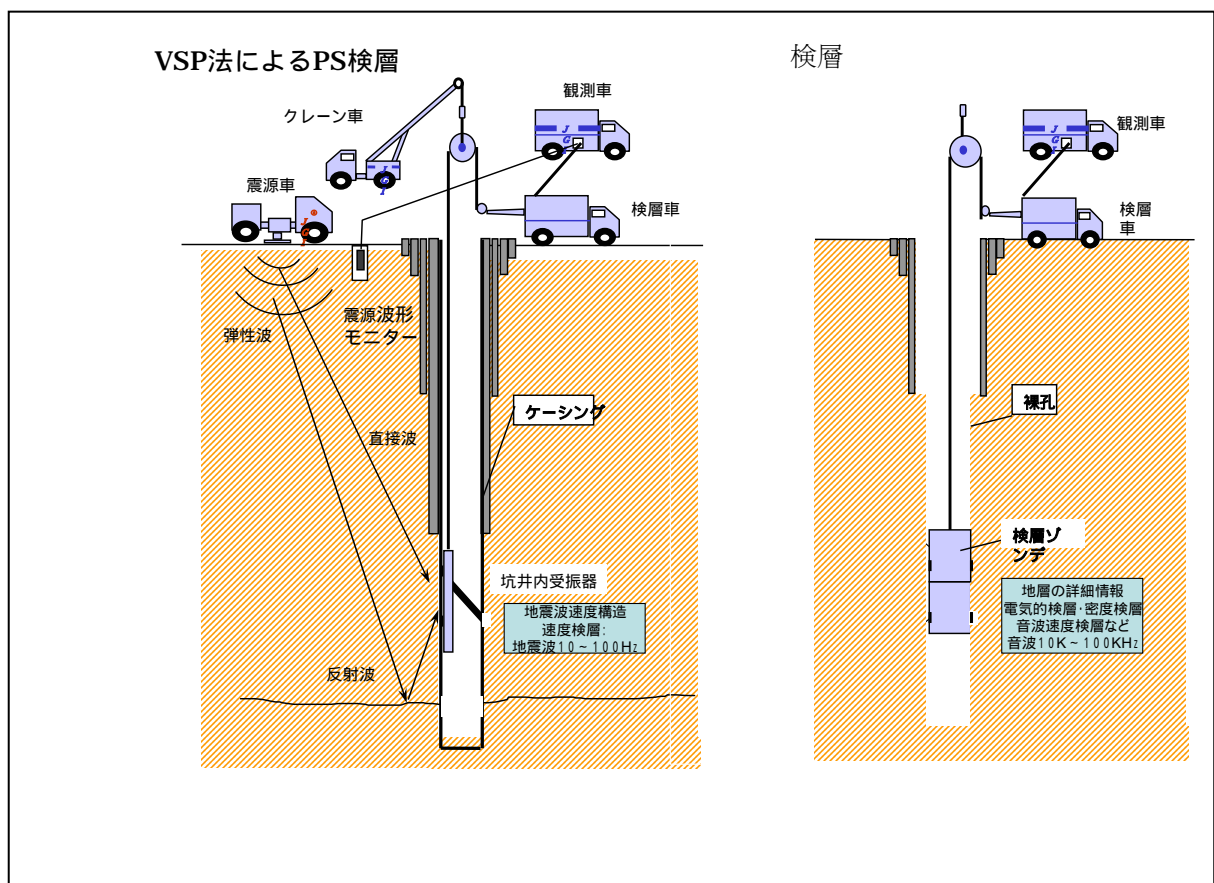


図14 垂直地震波探査 (VSP) 概念図 (左図) と物理検層概念図 (右図)

ii) 物理検層

比抵抗検層 (デュアルラテロログ)

本孔井の比抵抗検層にはデュアルラテロログ(DLL)ツールを用いた。

DLL では探査深度が深いラテロログ・ディープ(LLD)、孔壁近傍の比抵抗を測定するラテロログ・シャロー(LLS)および自然電位(SP)の3測定値が得られる。

比抵抗測定結果の1例を図に示す。

自然電位(SP)の変位は地層が砂質である場合や地層内より孔内に地層水が移動する場合はマイナス(-)側に、また、地層が泥質である場合や孔内より地層内に孔内水が移動する場合にはプラス(+)側に変位する。

一般に頁岩におけるSPの値を基準とし、その基準からの変位をmV単位で表示し、SP偏差とする。本解析ではSP対象層は十分な層厚をもち、SP偏差になんら影響を及ぼさないものとする。自然電位(SP)は地層水、泥水ろ過水のイオン移動度に関係し、一般に次の関係を示す。

$$SP = -0.2403 \times (273+T) \times \log(Rmf / Rw)$$

上式を変形することにより次式が導かれる。

$$Rw = Rmf \times 10^{SP / \{0.2403 \times (273+T)\}}$$

ただし SP: 自然電位 (mV) T: 温度 (°C) Rmf: 泥水ろ過水比抵抗 (Ω·m) Rw: 地層水比抵抗 (Ω·m) 泥水ろ過水比抵抗は検層時に採取した掘削泥水より次式を用いて算出した。

$$Rmf = C \times Rm^{1.07} \quad \text{ただし } C : \text{ 泥水比重に係る定数}$$

算出された地層水の比抵抗値を基に、NaCl 溶液と比抵抗の関係を用いて各層の塩分濃度を求めた。

音波検層 (低周波ダイポールソニック)

本孔井の音波検層には低周波ダイポールソニック(LFDL)ツールを用いた。Dipole 測定系、Monopole 測定系によりP波速度、S波速度を算出した。

・ Monopole 測定系

Monopole 測定系では Compressional 波、Shear 波を処理することにより Compressional 弾性波速度(Vp)、Shear 弾性波速度(Vs)を求める。

破碎帯や孔径拡大区間において4受信器で測定された各波形の相似性が悪く、速度値の信頼性がやや低い部分もあるが、全区間においてVp値を得ることが出来た。Shear 波は、一般に浅部未硬結区間、破碎帯、孔径拡大部では認められずVs値の欠損区間が発生する。

・ Dipole 測定系

未硬結部では Compressional 波が卓越しているが4000μ秒以降に Flexural 波が確認できる。受信波はエネルギーレベルが極端に低く速度値の算出は難しい。孔径変化が著区では波形にはノイズが多く含まれ不安定である。Flexural 弾性波速度(Vf)は算出できた。Shear 波と Flexural 波の速度関係は、一般に、一対一の比例関係になることが知られているが、地層が複雑な為か測定関係にバラツキが見られる。孔径拡大部や破碎帯では音波エネルギーの減衰や位相ずれが発生しやすく、Compressional 波から Shear 波を抽出する過程において波形のクオリティーが低下すると考えられるので、Flexural 波より求められた弾性波速度値(Vf)の方が Shear 波からの速度値(Vs)より信頼性が高いと考えられる。

密度検層

密度検層では孔内機器の孔壁密着度低下がデータに大きな影響を及ぼす。これは孔内機器の孔壁密着度が低下すると、孔壁と測定器の間に泥水などが介在されるためである。これらの区間は