

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	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
固体地球研究部門	主任研究員	藤原広行
防災基盤研究部門	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
国立大学法人島根大学		
総合理工学部地球資源環境科	助教授	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実施し、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。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

- 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 1 0 0 0 m 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 2 0 0 0 m 級のボーリングを実施し、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、検層などにより調査する。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：千葉県北西部から茨城県南部において、深さ 1 0 0 0 m 級のボーリングを実施する。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 17 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房総測線上の 1 点（千葉県）において、深さ 2 0 0 0 m 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。

(2)平成 17 年度の成果

(a) 業務の要約

観測点密度の低い千葉県北東部で深さ 1,661m のボーリングを実施し、関東堆積盆の構造をコアおよびカッティングスの分析、VSP 検層等により調査した。ケーシングおよびセメンチング終了後の坑井を Hi-net 観測点として整備した。

(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っている。そのためには、ボーリング調査による速度構造の坑内計測が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実施し、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首都圏の堆積層の構造やその成立過程を明らかにする。

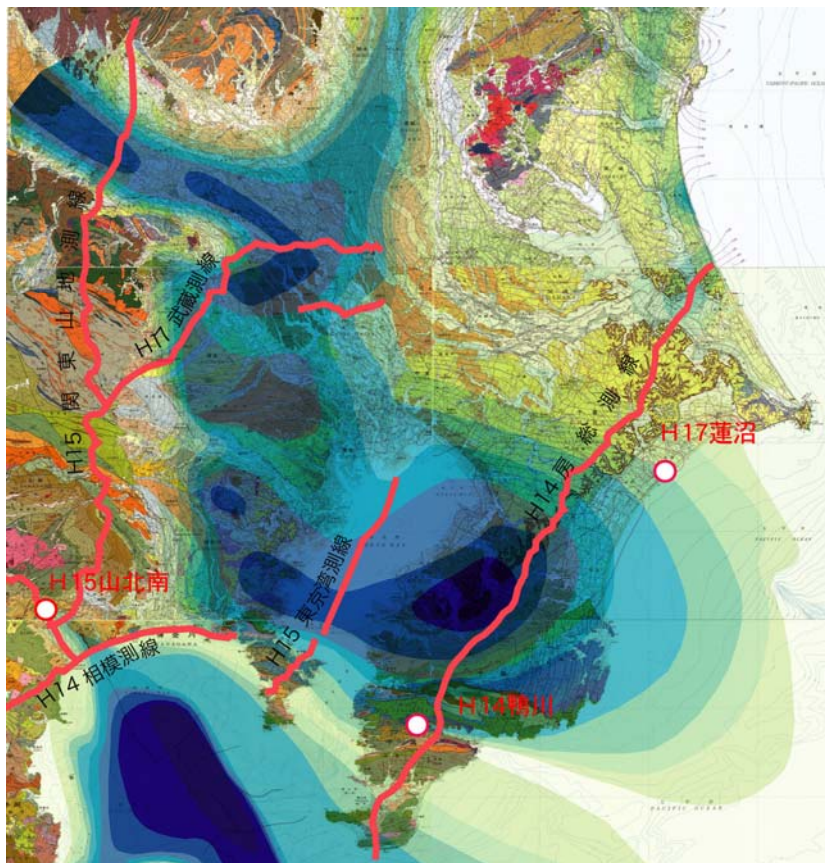


図 1 本計画における構造探査測線(赤線)およびボーリング調査地点(赤丸印)を地質調査所 20 万分の 1 地質図「水戸」「千葉」「大多喜」「横須賀」「東京」「宇都宮」上に示した。青のグラデーションは鈴木(2002)による先新第三系基盤深度分布を示している(一部改訂)。

本計画では、千葉県北東部の九十九里浜沿岸にて大深度ボーリング調査を実施し、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、東京大学地震研究所などが中心となって実施した地下構造探査の測線（房総測線、図 1 の H14）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 1,500m 未

満で先新第三系の地震基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、房総半島東部沿岸の千葉県山武郡蓮沼村を掘削地点として選定した。

(c) 業務の成果

1) 平成 17 年度掘削における成果

i) 蓮沼観測井の地震地質学的意義

平成 17 年度のボーリング調査地点として、千葉県山武郡蓮沼村の蓮沼海浜公園が選定された（図 2）。その地震地質学的な意義について総括する。

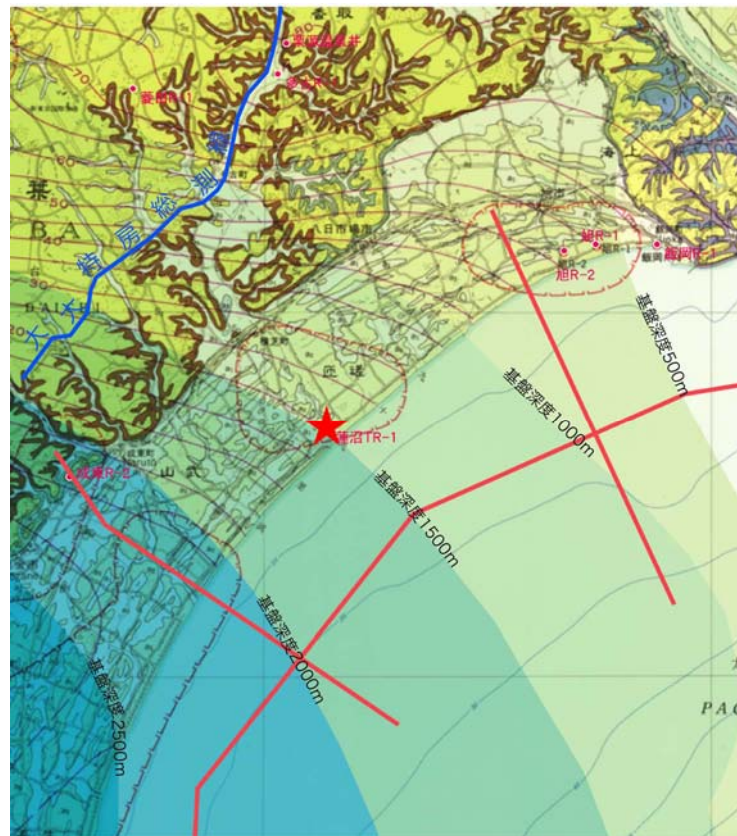


図 2 蓮沼ボーリング地点の位置（□印）。地質調査所発行 20 万分の 1 地質図「千葉」に、鈴木(2002)の基盤深度分布を青のグラデーションで重ねて示した。赤線は石油公団(2000)による音波探査測線、青線は大大特平成 14 年度房総測線を示す。

本年度の掘削地点が位置する房総半島は新第三紀以降の海成層が厚く分布する関東堆積盆の東部に位置し、その中央部の市原市付近における基盤深度は 4000m 以上に達する（鈴木、2002 など）。関東堆積盆を埋積する安房層群および上総層群は典型的な前弧海盆堆積物であると考えられている。関東堆積盆の南側、鴨川市から鋸南町にかけての山地にはオフィオリティックな蛇紋岩や斑縞岩等の岩体を伴う古第三系の嶺岡層群が分布し、さらに南には新第三紀に形成された付加体が地表に露出する。さらに南方、房総半島南端の沖合には、現在のフィリピン海プレートの沈み込み口である相模トラフがある。すなわち、房総半島は海溝から付加体を經由して前弧海盆までの沈み込み帯の断面が陸上に露出する、世界でも希有な地域であると考えられる。平成 14 年度に実施された房総半島を縦断する

大規模な地下構造探査でも、こうした沈み込み帯に特徴的な諸構造が明瞭に認められている。一方、千葉県北東部の銚子半島では地表に白亜系浅海堆積物とジュラ系付加体が露出している。房総半島東部の沿岸に沿って銚子沖から南西方向へ向けて行われた音波探査の結果によると（石油公団、2000）、銚子半島付近の地下構造断面には断層が多数認められ、いわゆる外側隆起帯の断面構造に類似している（図3）。これを東北日本前弧の阿武隈隆起帯の南方延長、すなわち太平洋プレート沈み込みに伴う外側隆起帯であると仮定すると（高橋、2006）、それより西側の関東堆積盆ではフィリピン海プレート沈み込みに伴う前弧海盆と太平洋プレート沈み込みに伴う前弧海盆とが一部重畳していることになる。こうした2つの沈み込むプレートの相互作用が、関東堆積盆の発達史に影響を与えている可能性がある。

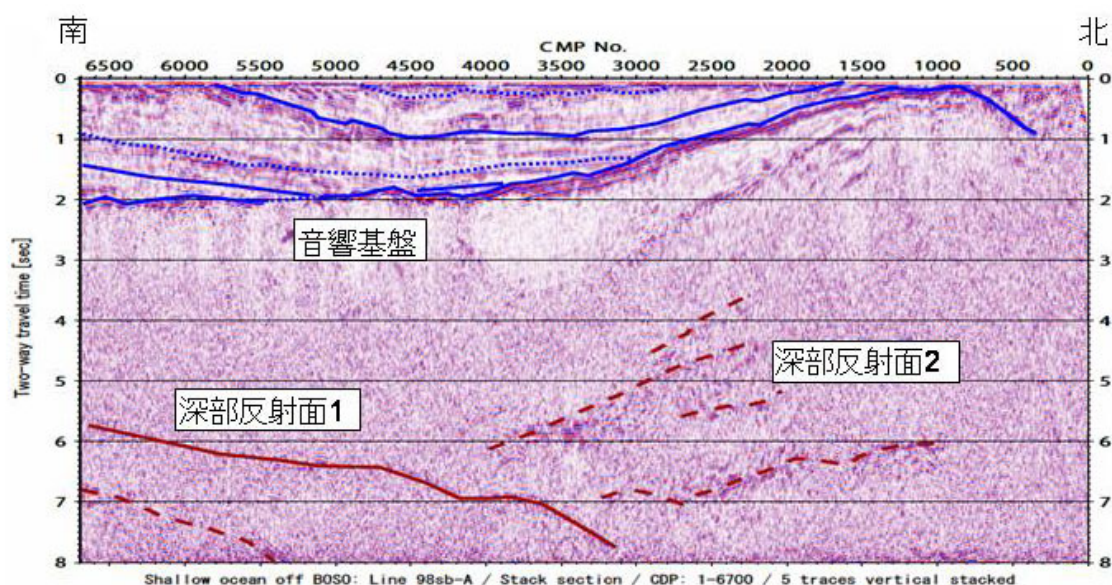


図3 房総半島の東部沿岸で実施された音波探査による地下構造断面（石油公団、2000の波形データを木村・笠原、2001により再解析）

房総半島東部の九十九里浜は、浜堤列を幾重にも発達させた隆起海岸平野である。この平野の地下では上総層群中に関東最大の水溶性ガス鉱床が分布しており、これまで資源探査を目的として活発にボーリング調査や物理探査が行われてきた（図4）。本調査地点の蓮沼については、そのごく近傍で1960年にガス資源の探鉱を目的として深度1444mに達するボーリング調査が行われている（蓮沼TR-1）。この坑井の地質は深度1359mまでが上総層群、それより下位の1429mまでが海成凝灰質泥岩および基底礫岩からなる中新統により構成され、基盤岩は硬質のグレイワッケからなる（Matoba, 1967; 福田ほか、1976）。中新統の年代および帰属は不明である。中新統の基底礫岩はチャートおよび砂岩の礫から構成されており、おそらく基盤は秩父帯の要素である可能性が高い。

秩父帯は東京都の江東深層地殻活動観測点でも基盤岩として認められ、ここでは平均4.81km/sのP波速度が得られている。したがって、本研究で実施される大深度掘削により、P波速度4km/s以上の地震基盤にじゅうぶん到達できるものと推測された。

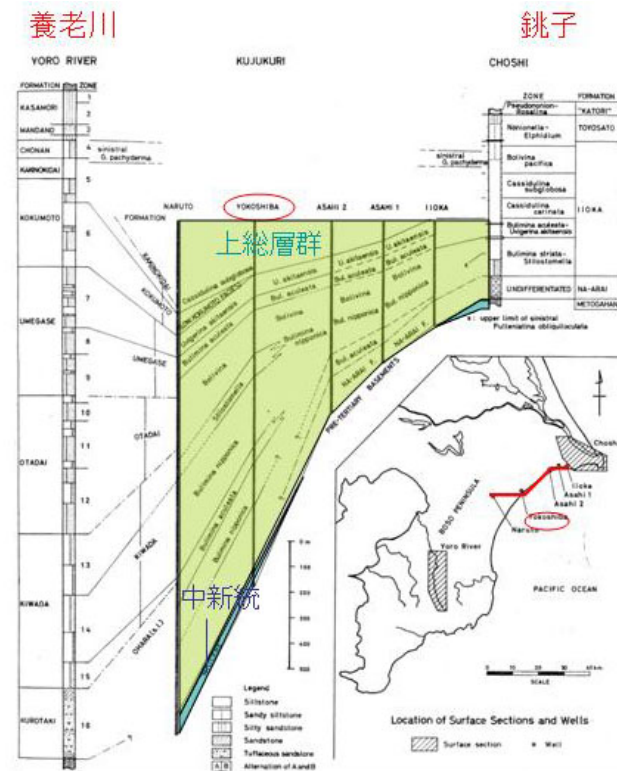


図4 房総半島外房地域の地表地質と代表的な坑井の対比 (Matoba, 1967 に加筆)。黄緑色は上総層群、水色はその下位の中新統を示す。丸印で囲まれた坑井が、蓮沼観測井とほぼ同位置の蓮沼 TR-1 である。この周辺の坑井は底生有孔虫化石により対比されている。

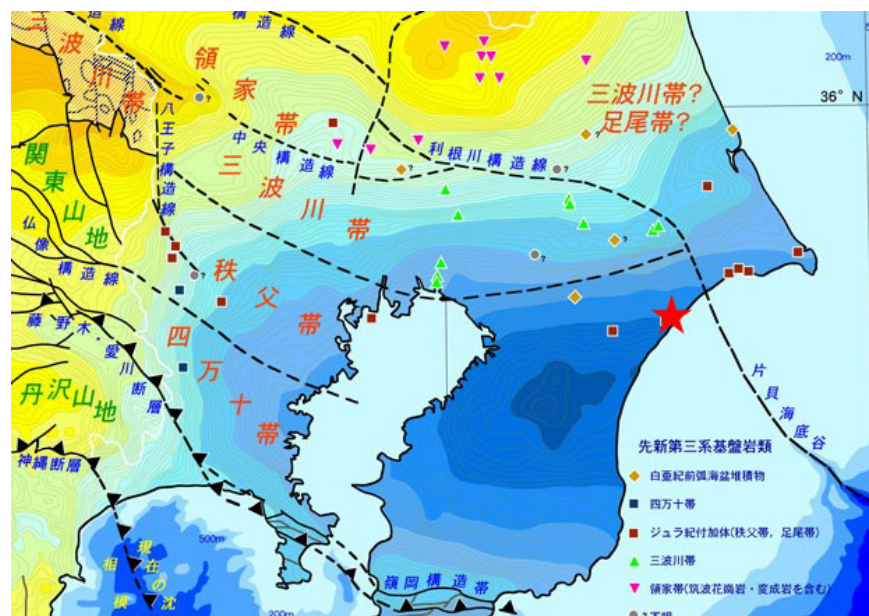


図5 高橋(2006)による関東平野地下の地体構造の新たなモデル。□印が蓮沼である。東北日本と西南日本との境界断層（利根川構造線）が蓮沼付近を通る。

最近、高橋(2006)は関東平野地下の基盤岩分布について新たなモデルを提唱した(図5)。それによると、房総半島北東端の銚子半島には東北日本前弧海盆堆積物と連続する下部中

新統が分布しており、したがって日本海拡大前の東北日本・西南日本境界が銚子半島よりも南側を通るといえる。房総半島北部の多古町や栗源町で行われたボーリングでは基盤岩として西南日本の三波川帯に相当する結晶片岩類が得られていることから、彼のモデルに基づけば日本海拡大の境界は多古町・栗源町付近と銚子の間を通して太平洋へ抜けることとなる。したがって蓮沼付近にこの境界が存在している可能性が指摘されるため、ボーリング調査によってその地体構造上の帰属を慎重に決定することが重要な課題となる。

なお、千葉県で先新第三系基盤に到達している観測点は銚子中と下総、成田の3地点のみであり、他の観測点は全てP波速度2~3km/s前後の新第三系の中に設置されている。蓮沼周辺を含む千葉県北東部は太平洋プレートに関連した地震が多い地域であり、ここで地震基盤中に高感度地震計を設置することは、首都圏における観測精度を向上させるうえで大きな意義があると考えられる。

ii) 蓮沼観測井の掘削とその成果

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。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6）。ロータリーテーブル型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役割を果たす。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するものである。

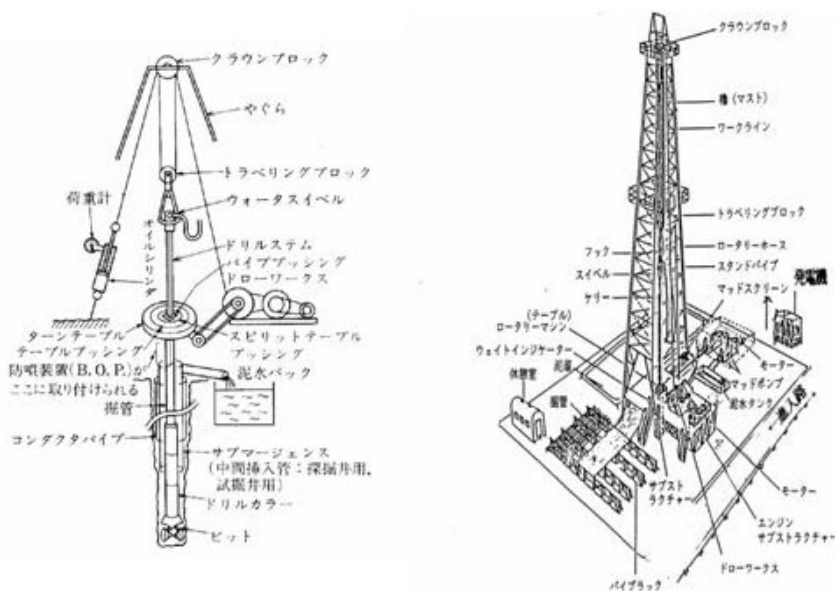


図6 ロータリー式掘削機の模式図および作業配置図

ロータリーテーブルの回転はドロワークスの主軸からローラチェーンで伝動され、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、ドロー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。

蓮沼観測井の掘削における櫓の組み立ての様子の写真、全景を図7に、計画時の観測井構成図を図8に示す。



図7 櫓設営風景(左図:櫓の組み立て、右図:櫓の全景)

掘削は深度1661mまで行われた。深度約1584mで硬岩のため掘進速度が大幅に低下し、この深度で先新第三系基盤岩に到達したものと判断された。過去に行われた蓮沼TR-1と比べ、基盤深度は100m程度深く、また上総層群の軟質な砂岩層から基底礫岩を伴わずに基盤に達するなど、幾つかの点で興味深い違いが認められた。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、およそ50~200m毎にスポットコアサンプリングを行った(表1)。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められている(図9、10、11)。掘削された坑井について、電気・音波・密度・温度等の各種坑内検層を行った。それらのデータについては現在解析中である。

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。

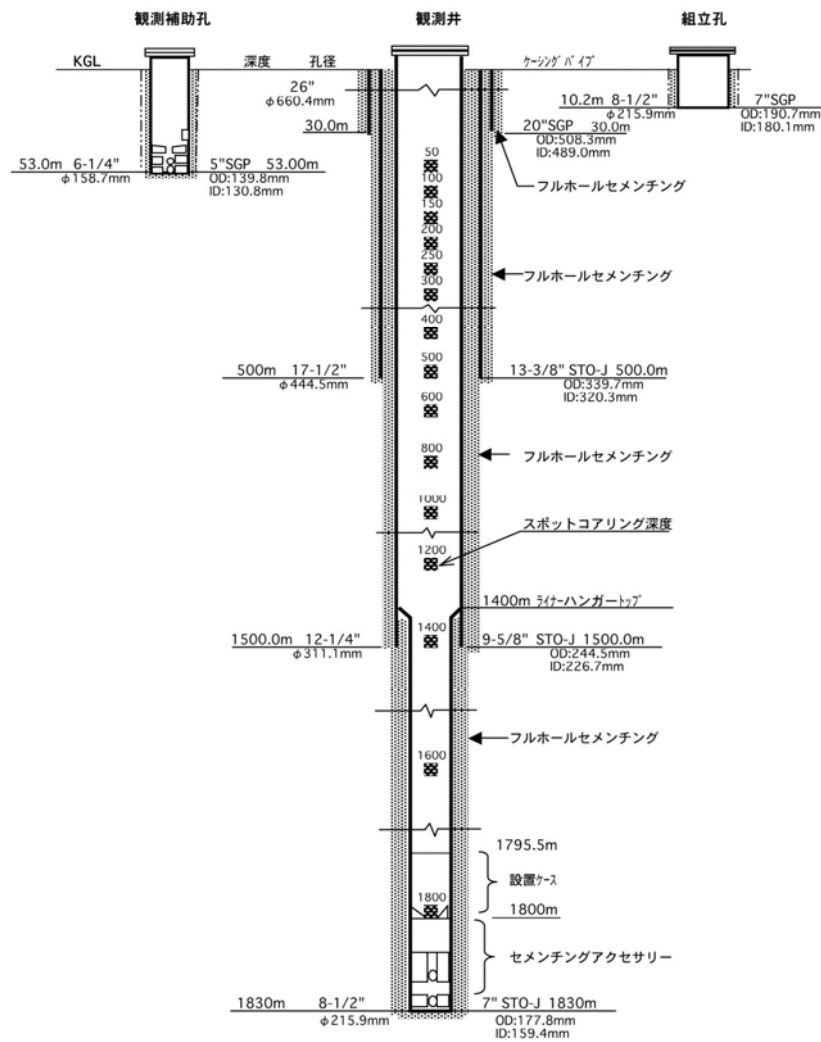


図 8 蓮沼観測井のドリリングプラン

表1 蓮沼で採取されたコアサンプルのリスト

コア	採取深度(m)		採取長 (m)	回収率	岩相
	自	至			
1	55.00	59.00	4.00	1.00	貝殻片含む緑灰色シルト岩
2	100.00	105.00	1.54	0.31	貝殻片含む緑灰色砂質シルト岩
2-1	105.00	108.00	3.00	1.00	貝殻片含む緑灰色砂質シルト岩
3	149.00	154.00	5.00	1.00	緑灰色砂質シルト岩
4	200.00	205.00	5.00	1.00	緑灰色シルト岩
5	249.00	252.00	2.70	0.90	緑灰色シルト岩
6	300.00	303.00	1.18	0.39	緑灰色シルト岩
6-1	303.00	306.00	1.79	0.60	緑灰色シルト岩
7	400.00	405.00	2.75	0.55	緑灰色砂質シルト岩
8	498.00	503.00	4.40	0.88	緑灰色砂質シルト岩
9	600.00	605.00	3.00	0.60	緑灰色砂質シルト岩
10	803.00	805.00	1.70	0.85	緑灰色シルト岩
11	999.00	1004.00	4.70	0.94	泥岩を挟む灰色中粒砂岩
12	1198.00	1202.50	3.00	0.67	泥岩を挟む灰色中粒砂岩
13	1398.00	1402.50	2.80	0.62	泥岩を挟む灰色中粒砂岩
14	1598.00	1599.30	0.80	0.62	灰色硬質中粒砂岩
14-1	1599.30	1600.35	1.00	0.95	灰色硬質中粒砂岩
15	1659.50	1661.00	1.35	0.90	灰色硬質中粒砂岩



図9 深度200mのコアサンプル（上総層群の緑灰色泥岩）



図 1 0 深度 500m のコアサンプル（上総層群の緑灰色泥岩）



図 1 1 深度 1659.5-1661.0m（孔底）のコアサンプル（先新第三系の硬質灰色中粒砂岩）