

ワイヤライン方式による大深層土質調査 — 関西国際空港建設のための土質調査 —

運輸省港湾技術研究所

堀江 宏保

同

正会員 ○石井 一郎

同

正会員 善 功企

1. はじめに

関西国際空港は、大阪湾南東部の泉州沖約5 kmの海上に建設が予定されている。これに伴い、より合理的な空港島建設のための基礎資料を得ることを目的として、大阪湾泉州沖海域において昭和52年から57年にかけて合計65の地点でボーリングを行ない、総合的な地盤調査を実施した。これらの調査は、従来から港湾を中心に行なわれている土質調査に比べて次のような特徴を有している。すなわち、①調査深度が大深度に及び、工事基準面から最大— 400mに達すること、②ワイヤライン方式による調査を一部で採用したこと、③洪積粘土層の土質工学的特性の把握を行なったこと、等である。

これらの調査のうち運輸省港湾技術研究所が担当して実施した2孔のワイヤライン方式による大深層土質調査について報告することにする。

2. ワイヤライン方式による大深層土質調査の目的

空港の建設が予定されている泉州沖周辺の海底地盤は、約25mの軟弱な沖積粘土層の下に薄い砂礫層をはさんだ洪積粘土層が数百メートルの厚さで堆積している。平均水深約20mの海域を約 500 ha にわたって埋め立てることによって生じる原地盤の応力は、沖積層のみならず洪積層深層部にまで影響を及ぼすことが予想されている。このため、最大— 400mにおよぶ大深度土質調査を実施して高品質の乱さない試料を効率よく採取し、洪積層深層部の地盤の土質特性を把握する必要がある。

これまでの港湾における土質調査は水深15m以下の海上での実績が多く、またそのほとんどが海上に設置した足場やぐらの上でボーリングマシン、サンプラー、ボーリングロッドなどを組み合わせて、ボーリング・サンプリングを行なってきた。ボーリングロッドを用いての作業には調査深度が大きくなるとロッドの伸びやバックリングによる限界があり、高品質の乱さないサンプルを得ることは困難であると予想される。さらに、ボーリングロッドの昇降作業は深度が増すにつれて使用するロッドの本数も多くなり、またその重量も増加してくるので、作業に費やす時間と労力の負担は大きく、作業効率も著しく低下する。これらの問題点を解消するために、剛性の高いボーリングロッド（ワイヤラインロッド）内を各種のサンプラーをワイヤによって昇降させるワイヤライン方式による土質調査方法を一部で採用した。

3. ワイヤライン方式による土質調査方法

1) 調査位置および調査深度

関西国際空港建設予定地である大阪湾泉州沖での土質調査は、図-1に示すように、昭和52年度、53年度、56年度、57年度の計4回におよび、合計65の地点でボーリング調査が実施された。このうち図-1に示す+印で示した4つの地点でワイヤライン方式による土質調査を行なった。ワイヤライン方式による調査深度は工事基準面から— 200m、および— 400mであり、昭和56年度に港湾技術研究所が、57年度に運輸省第三港湾建設局がそれぞれ2孔ずつ担当して実施した。また、残り

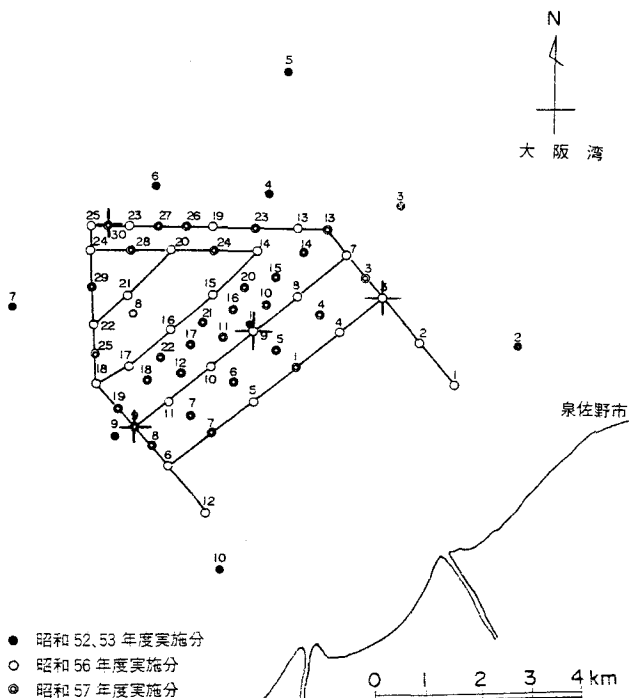
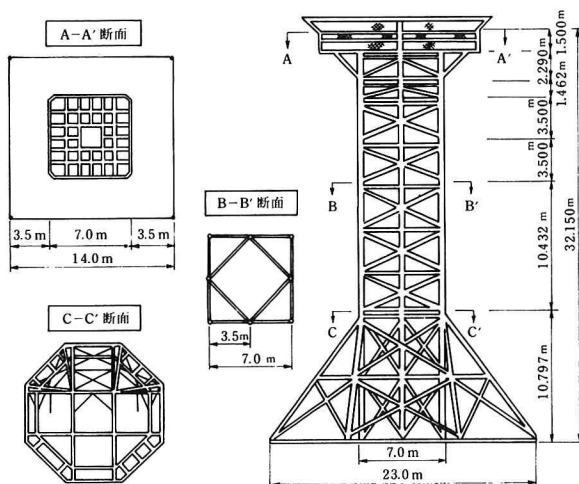


図-1 関西国際空港土質調査位置図

の地点では、在来方式による調査を工事基準面から－100m～－150mの深度まで行なっている。

2) 足場やぐら

調査海域の水深は、－15m～－20mであり、調査深度も－400mまでと、従来の港湾分野での調査深度に比較して格段に深い。したがって、調査のための足場やぐらも図－2に示すように規模の非常に大きな可搬式の鋼製のものをを用いた¹⁾。足場やぐらの底部から上段作業ステージまでの高さは約32m、重量約150トン、ステージの広さは、14m×14mである。また、写真－1は、足場やぐらの設置状況を示したものである。



図－2 足場やぐら

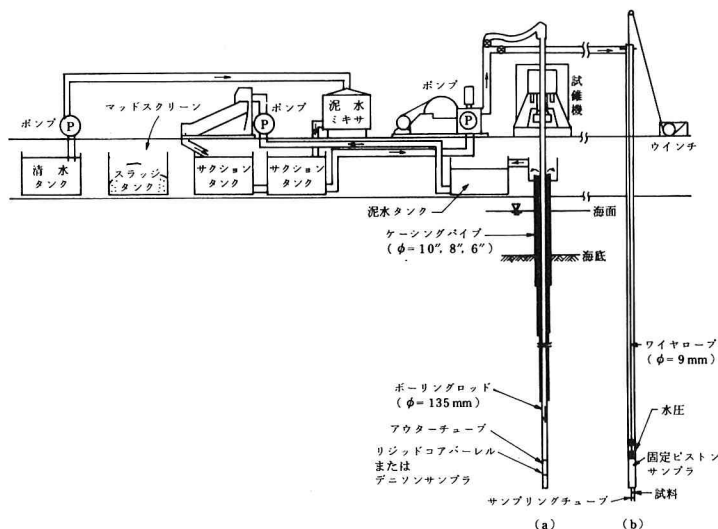


写真－1 足場やぐらの設置状況

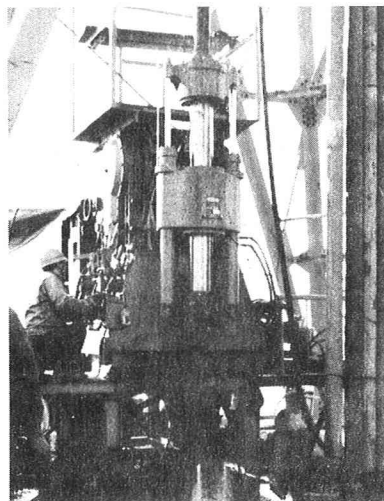
3) ボーリングおよびサンプリング

ワイヤライン方式による土質調査方法は、主として深層岩盤のコア採取用に開発されたワイヤラインの原理を応用して、軟弱な粘土地盤から硬質粘土地盤までの幅広い地層を対象として乱さない試料採取を行なえるように改良したものである²⁾。このワイヤライン方式は、図－3に概略を示すように外径135mm，内径117mm，肉厚9mmの鋼製のワイヤラインロッド（ボーリングロッド）を用いて地盤の掘削を行ない、この中を直径9mmのワイヤロープと小型高速巻上機を用いて各種のサンプラーを昇降させて試料の採取を行なうものである。

ボーリングは、先端に掘削用のビットを取り付けたワイヤラインロッドにボーリングマシンによる回転力を与えて地盤を攪拌しながら、ロッドの最上部から給水ポンプによって供給する水によって掘削くず（スライム）を孔外に排出して循環させる、いわゆるケーシング掘りによるロータリーボーリングによって行なった。この方式は、従来から港湾地域での調査で用いられてきたものであるが、本調査のように掘



図－3 ワイヤライン方式のシステム



写真－2 ボーリングマシン

削深度が 400m にもおよぶ場合には、ワイヤラインロッドの重量だけでも約12トンになるため、写真-2 に示すようにわが国にあるボーリングマシンのうちで最大級のものを使用した³⁾。また、地盤の掘削はロッド先端部にクロスビットを取りつけて行なうようになっている。これは、サンプリングの精度を高めるために孔底の仕上げを確実にすること、および硬質粘土などの掘削の能率を高めるために使用するも

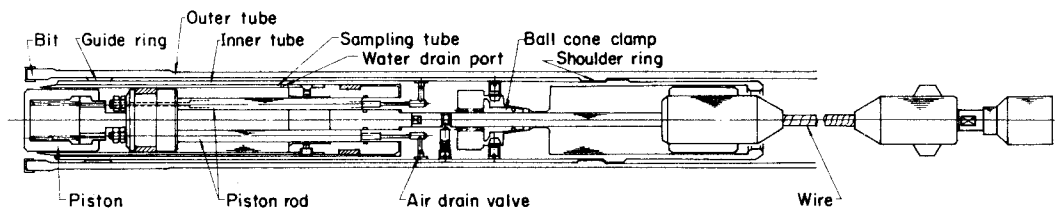


図-4 水圧式固定ピストンサンプラーの構造図

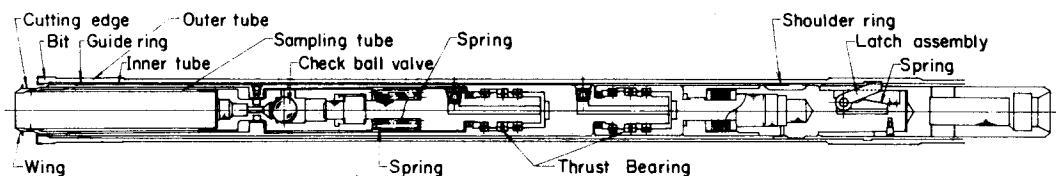


図-5 デニソン型サンプラーの構造図

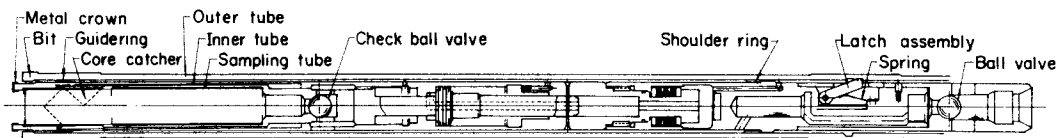


図-6 サンドサンプラーの構造図

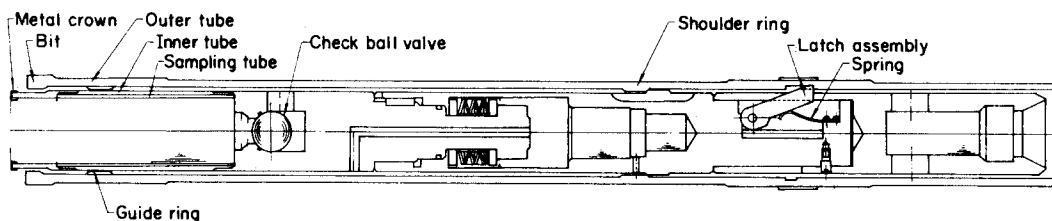


図-7 リジットサンプラーの構造図

表-1 ワイヤライン方式サンプラーおよびサンプリングチューブの寸法・材質

対象土質	サンプラー			サンプリングチューブ		
	名称	外径	長さ	内径	肉厚	長さ
軟弱粘性土	水圧式固定ピストン薄肉サンプラー	(mm) 108	(mm) 2753	(mm) 90	(mm) 2	(mm) 1250
硬質粘性土	水圧式固定ピストン厚肉サンプラー	108	2753	81.1	4	1170
硬質粘性土	デニソン型サンプラー	108	2850	81.1	4	1000
軟質砂質土	サンドサンプラー	108	3058	81.1	4	620
硬質砂礫土	リジットサンプラー	108	2875	90	2	1000

のである。クロスビットは、サンプリング時に障害になるのでワイヤロープによってロッドより取り外せる仕組みになっている。

サンプラーには、図-4～7の4種類があり、これらを採取試料の種類に応じて使い分けた。軟弱粘性土および若干硬い粘性土に対しては、サンプリングチューブの貫入力に水圧を利用した Osterberg型の水圧式固定ピストンサンプラーを、水圧による押し込みが不可能な硬質粘土についてはデニソン型サンプラーを、砂質土に対しては試料の脱落を防止するために特殊なコアキャッチャーのついたサンドサンプラーを、そして硬質の砂礫土に対してはリジットサンプラーを用いた。これらのサンプラーは、試料採取時にワイヤロープを用いてワイヤラインロッド内を降下させる。また、ロッド先端部とサンプラーの両者にショルダーリングと呼ぶ高さ5mmほどの凸部を設けて、サンプラーのストッパーの役目を果たすようになっている。

サンプラーおよびサンプリングチューブの諸元を表-1にまとめる。なお、本調査では水圧式固定ピストンサンプラーとデニソン型サンプラーによるサンプリングを全体の8割ほど実施した。

水圧式固定ピストンサンプラーには、一軸圧縮強度が 2 kgf/cm^2 以下の軟弱粘性土用と $2 \sim 20 \text{ kgf/cm}^2$ のやや硬質の粘性土用の2種類があるが、サンプリングチューブの内径、肉厚などが異なるだけで構造は同じである。このサンプラーは、水圧を利用してサンプリングチューブを地盤に貫入させるものである。まず所定の試料採取深度までボーリング作業を実施したあとクロスビットを後述

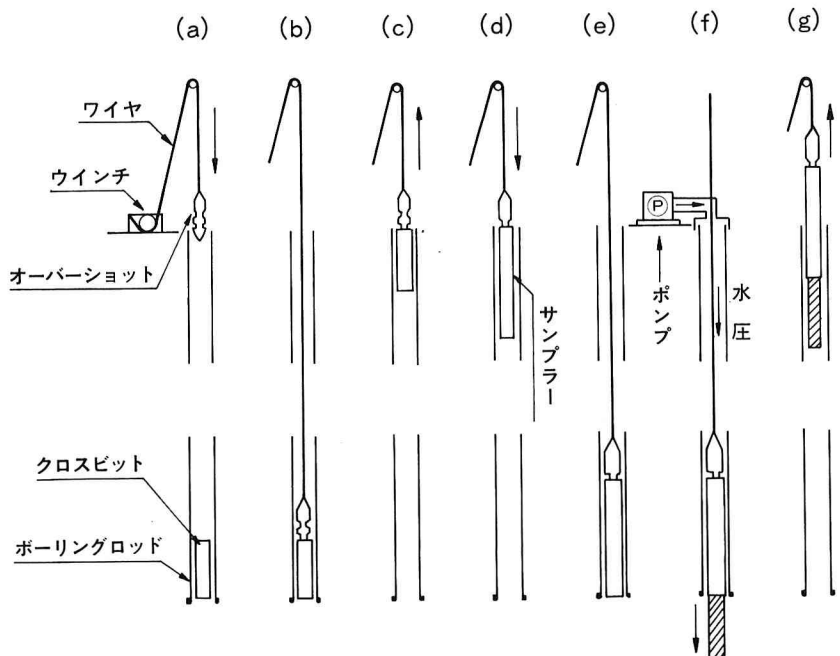


図-8 サンプリングの手順

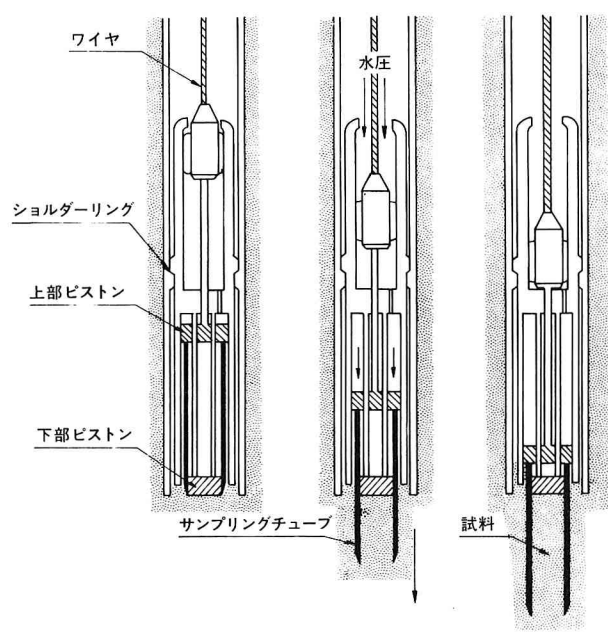


図-9 水圧式固定ピストンサンプラーの貫入過程の概略

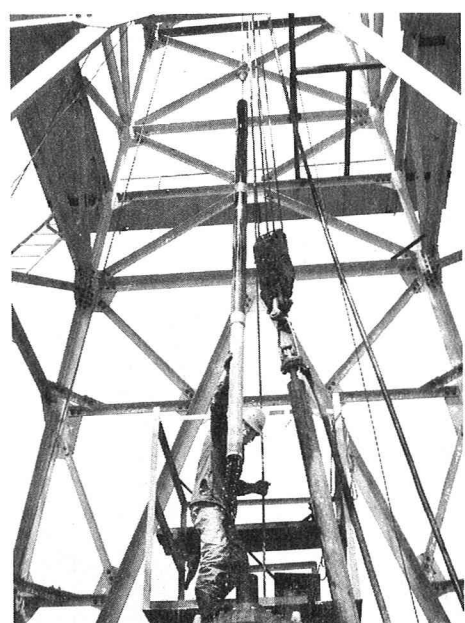


写真-4 サンプリング状況

のオーバーショットを介してワイヤで引き上げ（図-8（a）,（b）,（c））、ワイヤに取りつけられたサンプラーを孔底に降下させる（図-8（d）,（e））。次にワイヤラインロッドの最上部に給水用のアタッチメントを取りつけてポンプを利用してロッド内に高圧の水圧を加え、サンプリングチューブを地盤に貫入させる（図-8（f））。つまり、図-9に示すように、ロッド内に加えられた水圧がサンプラーの上部ピストンに作用してサンプリングチューブを地盤に貫入させるのである。このとき、サンプラーにはワイヤを取りつけたまま作業を行なうのでサンプラーの貫入過程が明確に把握できる。サンプラーの回収は、ワイヤを巻き上げて行なう（図-8（g））。写真-4は、水圧式固定ピストンサンプラーによる試料採取状況を示したもので、サンプラーからサンプリングチューブが押し出され、試料を採取して引き上げられたところである。

一方、デニソン型サンプラー・サンドサンプラー・リジットサンプラーは、ワイヤラインロッドと組み合わせて使用する。すなわちボーリングマシンによる回転と給水ポンプによって供給される水によって、ワイヤラインロッドで周囲の土を削りながらサンプリングを行なうものである。これらのサンプラーは、ラッチプレートによってロッドにしっかりと結合され、ロッドの回転力が伝達される。特に、ワイヤラインロッド内での着脱が自由に行なえるようにするため、ワイヤロープとサンプラーの接続は、ワイヤロープ先端部のオーバーショットによって行なうようになっている。また、図-5に示したようにデニソン型サンプラーにはロッドとの共回りを防ぐためにサンプラー上部にスラストベアリング、サンプリングチューブ先端に突起部（ウイング）が設けられている。

図-10は、水圧式固定ピストンサンプラーのサンプリング時における送水圧、送水量、一軸圧縮強度の関係である。一軸圧縮強度が大きくなると送水圧も増大することは当然であるが、シルト分・砂分が多くなるとより大きな送水圧が必要となる。また、送水量は160～220 l/minが記録されており、サンプリングチューブの押し込みは、4～10秒程度であった⁴⁾。また、-200 m以深で用いたデニソン型サンプラーでも、採取深度が深くなるにしたがって、送水圧・送水量・掘削時間が増大し、それぞれ最大で20 kgf/cm²、6 tf/min、10分程度を要した。

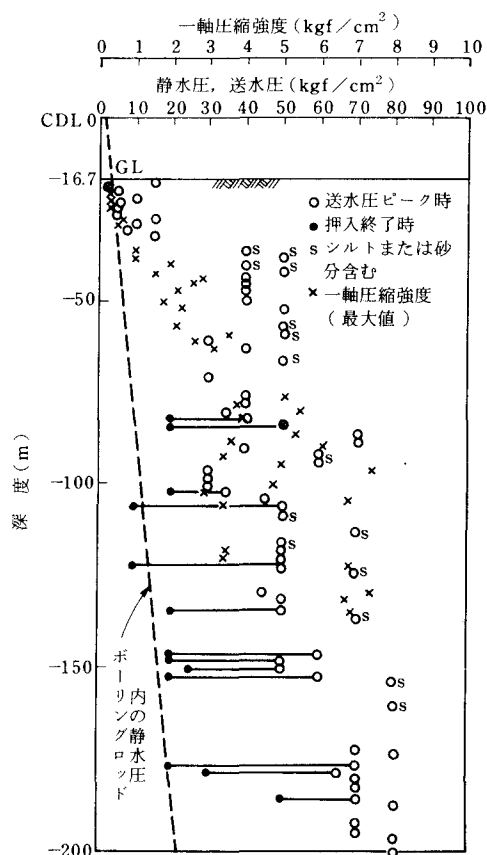


図-10 サンプリング時の送水圧、送水量、一軸圧縮強度の関係

4) 採取試料の品質

ワイヤライン方式による土質調査は、深層地盤より乱さない試料の採取を目的としたものである。採取した試料の品質を評価するために、ワイヤライン方式によって採取した試料に対して行なった一軸圧縮試験結果と、在来方式で採取した試料の一軸圧縮試験結果の比較を行なった。その結果を図-11を示す。図の○印がワイヤライン方式（No.56-9 孔）、●印が在来方式（No.52-1 孔）による採取試料の一軸圧縮強度である。在来方式による調査深度が-120 mであるためそれ以深の結果を比較することはできないが、この図から分かるように-50m以浅では両者に顕著な差は見られないものの、それ以深ではいく分在来方式の方が小さい値を示している。特に、-100 m以深では、ワイヤライン方式による一軸圧縮強度で3 kgf/cm²以下のものは少なく、最大値、平均値ともに在来方式より大きい値が得られている。しかし、深度が増すにつれてばらつきの幅が大きくなっており、これは、洪積粘土中のクラック・貝殻などの混入物に起因するものと思われる。この結果から、試料採取深度が深くなるにつれて、在来方式よりもワイヤライン方式による方が高品質の試料を採取することができるといえる。

5) 作業効率

ワイヤライン方式による大深層土質調査では、在来方式の調査のようにボーリングロッドの昇降の必要がなく、ワイヤロープによりサンプラー類のセット、回収を行ない試料の採取を行なうため、掘進深度が大きくなればそれだけ相対的に掘進速度が速くなる。図-12は、No.56-9 孔における-400 mボーリングの作業工程を示したものである。作業の内容は、ボーリング・サンプリング・孔壁保護と泥水管理のため

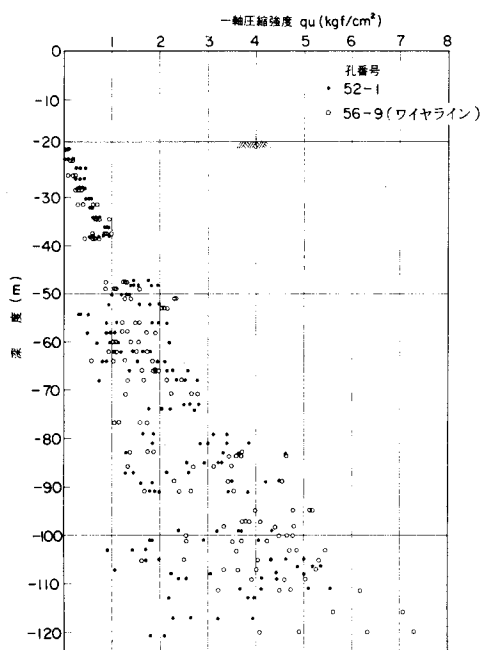


図-11 採取試料の品質の比較

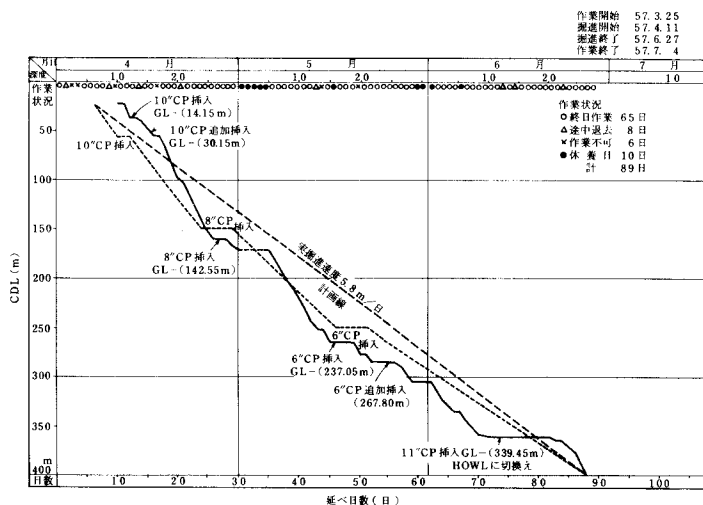


図-12 -400 mボーリングの作業工程

のケーシングパイプの立て込み・泥水の処理などである。ケーシングパイプの立て込みに時間を要しているものの、掘進深度が深くなっても作業能率が低下することなく、平均 5.8m/日の速度で調査を進めることができた。

4. おわりに

関西国際空港建設のための土質調査事例を中心にワイヤライン方式による大深層土質調査について述べてきた。本調査を通して、ワイヤライン方式による調査手法は港湾地域で行なわれている在来方式に比べ、採取試料の品質、作業効率などの点で優れていることが分かった。特に、調査深度が増大するにつれてその差が顕著になるといえる。

また、今回の関西国際空港調査では、ワイヤライン方式による土質調査のほかに、港湾地域において従来から行なわれている調査手法に見られない特殊な試験を実施した。特に、深層部の洪積粘土の工学的性質の把握のために特殊な土質試験⁵⁾を実施したり、調査地点の地盤の層序や成因の究明のために微化石や火山灰の分析・年代測定など地質学的な手法⁶⁾を導入して総合的な調査を行なっている。これらの調査手法は、他の海洋開発部門でも活用することができるであろう。

最後に、ワイヤライン方式による調査手法の開発および本調査への適用にあたっては、港湾技術研究所松本一明前土質調査研究室長、奥村樹郎前土質部長の御尽力に負うところが大きい。また、本調査の実施にあたっては運輸省第三港湾建設局ならびに応用地質調査事務所の御協力を得た。ここに記して深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 奥村樹郎・松本一明・善 功企：関西国際空港における土質調査工事，建設の機械化 '82 年 8 月，pp.11～16.
- 2) 松本一明・堀江宏保 ほか：ワイヤライン方式サンプラーによる乱さないサンプリングについて，昭和56年度サンプリングシンポジウム発表論文集，pp. 9～16.
- 3) 善 功企・松本一明：海上における大深層土質調査事例，海洋土質調査に関するシンポジウム発表論文集，昭和57年 9 月，pp.285～294.
- 4) 堀江宏保・善 功企 ほか：大阪湾泉州沖海底地盤の工学的性質（その 1）ボーリング及びサンプリング，港湾技研資料 No. 498，昭和59年 9 月，pp. 5～30.
- 5) 例えば 石井一郎・小川富美子・善 功企：大阪湾泉州沖海底地盤の工学的性質（その 2）物理的性質・圧密特性・透水性，港湾技研資料 No. 498，昭和59年 9 月，pp. 47～86.
- 6) 例えば 中世古幸次郎 ほか：関西国際空港地盤地質調査，災害科学研究所報告，昭和59年，286p.