

関西国際空港 2 期空港島深層ボーリング (KIX18-1) 調査実施速報

Flash Report on a Deep Boring Survey KIX18-1 Conducted at Kansai International Airport 2nd Phase Island

水 谷 崇 亮 (みずたに たかあき)

関西国際空港機建設事務所技術・設計 G

江 村 剛 (えむら つよし)

関西国際空港機建設事務所技術・設計 G リーダー

岡 本 憲 三 (おかもと けんぞう)

応用地質・復建調査共同企業体 所長

池 田 俊 文 (いけだ としふみ)

関西国際空港機建設事務所技術・設計 G

田 端 竹千穂 (たばた たけちは)

関西国際空港用地造成機 執行役員

岩 根 清 信 (いわね きよのぶ)

応用地質・復建調査共同企業体 副所長

1. はじめに

関西国際空港では、1 期工事着工に先立つ 1977 年（昭和 52 年）より、多数のボーリング調査を実施し、その調査結果を工事の設計・施工・空港島の沈下予測等に活用してきた。これらの調査ボーリングの中で、調査深度が約 300～400 m に及ぶ長尺ボーリングが 6 本存在し、関西国際空港の海底地盤の深部の構造はこれらの調査結果を中心に推定されている（図一 1 参照）。長尺ボーリング調査では、港研式ワイヤーライン工法¹⁾により大深度から品質の良い試料を採取して各種土質試験を実施するとともに、微化石・ナノ化石の分析、砂層の堆積構造の検討など地質学的な見地もと入れた総合的な調査を実施している^{2),3)}。これらの長尺ボーリングでは基盤岩を確認することができず、深度 400 m に達しても粘土と砂が互層を成している状況であった。口絵写真— 8 に過去の調査結果から推定した関西国際空港の海底地盤の地質構造断面を示す。

基盤岩は確認できなかったものの、大阪地区の地盤沈下の調査結果によれば、Ma3 層（深度 200～300 m）以深の土層は実際上は非圧縮と考えられたこと、空港島造成による載荷重は 450～550 kN/m² 程度であり、Ma1

層（深度 250～350 m）以深では過圧密領域内におさまることなどから、調査深度としては十分であると考えられていた。現に現地計測の結果によると、Ma1 以深の沈下量は全体の沈下量の 2% 程度に過ぎない。とはいえ、学術的には未知の領域である Ma1～Ma0 以深（深度 400 m 以深）の調査が望まれるところであった。

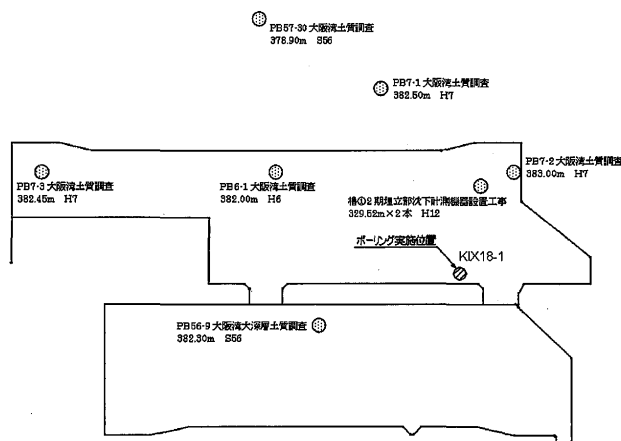
一方、大阪湾周辺の沿岸域・陸域に目を向けると、これまで多数の地盤調査・温泉開発が実施され、基盤岩深度の情報は多少は存在する。しかし多くのケースでコアの採取深度が限られており、地表から基盤岩まですべてのコアが採取されるオールコアの調査はごくまれである。大深度でオールコアの調査としては、神戸で実施された GS-K1⁴⁾（基盤岩深度 1 545.7 m）、大阪平野では OD-1⁵⁾（着岩せず）など限られており、南部あるいは海上での実績は無い。したがって、空港島海底地盤の基盤岩までの地質構造解明は、それだけで学術的価値の高い成果となり得る。

関西国際空港においては、以上のような要請を考慮した上、実務的な必要性も検討し、2 期空港島において着岩を目指した深層ボーリング調査を実施することとした。2006 年（平成 18 年）12 月に調査に着手し、2007 年 9 月末 C.D.L. - 1 328～1 329 m 付近で領家帯のものと思われる花崗閃緑岩に着岩したところである。本稿では、本調査の仕様ならびに実際の掘削状況について速報的に紹介する。

2. 深層土質調査の概要

2.1 調査目的

本調査の第 1 の目的は、1999 年の 2 期空港島の工事開始から 7 年が経過し用地造成がおおむね完了した現時点において、海底地盤の圧密状況が、別途実施している現地計測（層別沈下計測）の結果や沈下予測で想定されている圧密挙動と整合しているかどうか、乱れの少ない試料の土質試験を実施して確認することである。いわば、洪積粘土層の圧密のチェックボーリングである。第 2 の目的は、これまで調査対象とされていなかった深度 400 m 以上の大深部について、地層・地質構造を基盤岩



図一 1 関西国際空港における調査深度 300 m 以上のボーリング実施位置および KIX18-1 の実施位置

深度まで解明すると同時に、その成果を設計地震動の検討などの基礎資料に資することである。

2.2 調査仕様の決定手続

調査計画の策定にあたっては、実務・学術の両面および土質・地質の両面の見地を広く採り入れる観点から、学識者による委員会を開催して詳細仕様を決定することとした。委員会のメンバーは表―1に示すとおりである。なお、委員の方々には、調査実施段階においても随時助言を受け、調査に反映しているところである。

2.3 調査仕様の概略

(1) 調査実施位置

調査実施地点は、2007年8月の第2滑走路の供用開始を見越し、制限表面などの諸条件ならびに用地造成事業の施工展開を勘案した結果、図―1に示す地点が選定された。この付近には過去に長尺ボーリングを実施した実績がなく、新たな地盤情報の取得という観点からも有利な地点であると考えられる。

(2) 調査深度および掘削方法

調査目的で述べたとおり、本調査では基盤岩に着岩することを目標とした。既存の各種資料⁵⁾や別途実施された重力探査⁶⁾、常時微動計測など様々な調査結果を総合し、調査地点における基盤岩深度はC.D.L. - 1 200 ± 200 m程度と推定された。そこで、一応の調査深度をC.D.L. - 1 200 mとし、さらに200 m程度は掘削を続けられるよう多少の余裕を設けることを基本方針とした。すでに述べたとおり、実際の基盤岩深度はC.D.L. - 1 328 ~ 1 329 mであり、予想の範囲内であった。

また、調査目的で述べたとおり、本調査は洪積層の圧密のチェックボーリングであるとの位置付けから、これまで関西空港での調査実績がある土層については、過去の調査と同等な方法で乱れの少ない試料採取を行うことが必要である。そこで、深度400 m程度までは港研式ワイヤーライン工法によるオールコアサンプリングを実施し（実調査ではC.D.L. - 407.65 mまで実施）、それ以後については、汎用の深層岩盤用コアパレルを用いてオールコアではあるが乱れの多い試料の採取を実施することとした。なお、埋立土層および地盤改良された沖積粘土層については、今回の調査目的上試料採取が不要と考えられたため、サンプリングは実施しなかった。ケーシングプログラム（実績）を図―2に示す。

(3) 原位置試験の仕様

原位置調査は、実調査の際にコアが脱落した深度においても何らかの形で連続データを取得すること、近隣地域におけるボーリング調査結果との比較を容易にすることなどを目的として実施した。実施項目は、電気検層（ノルマル比抵抗・インダクション電導度）、密度検層、自然ガンマ線検層、温度検層である。

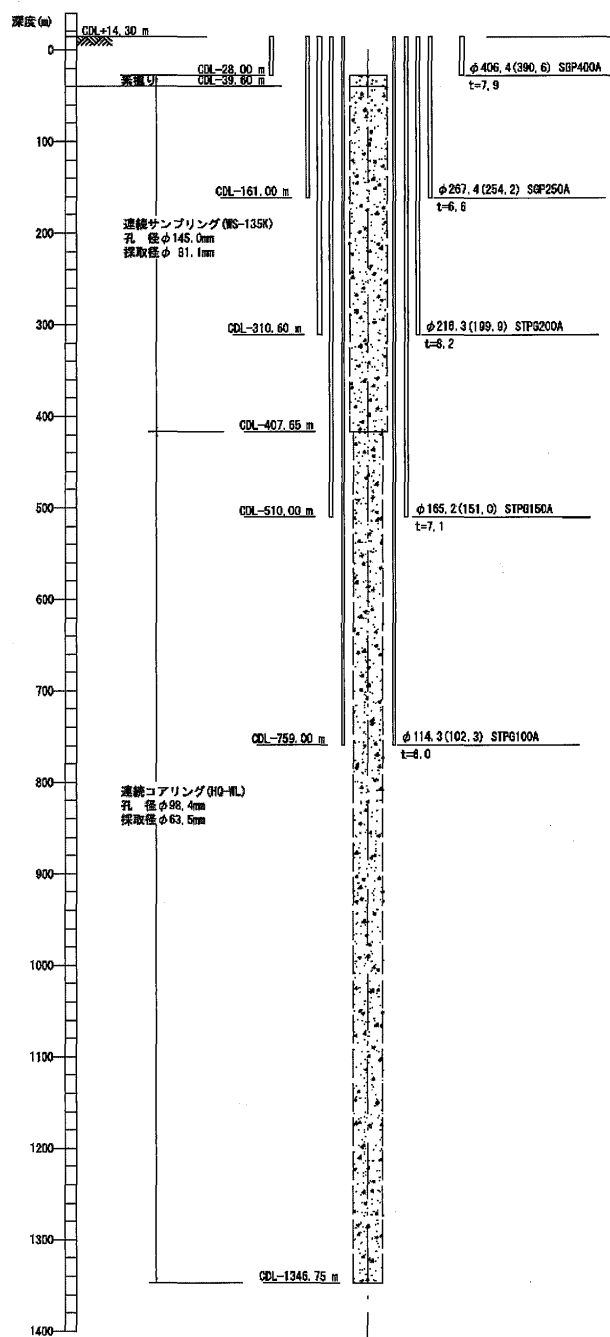
(4) 土質試験の仕様

土質試験は、主として過去のデータとの比較が重要であることから、段階載荷圧密試験を中心に実施した。その他に、定ひずみ速度圧密試験や長期圧密試験もあわせて実施している。実施項目を表―2に示す。力学試験は

表―1 KIX18-1の仕様検討委員会メンバー

氏 名	所 属	備 考
小林正樹	小林ソフト化研究所所長	土質
竹村恵二	京都大学教授	地質
増田富士雄	同志社大学教授	地質
渡部要一	港湾空港技術研究所土質研究室長	土質

(敬称略)



図―2 ケーシングプログラム（実績）

C.D.L. - 407.65 m 以浅の港研式ワイヤーラインによる採取試料を対象としたが、物理試験および動の変形特性試験については、C.D.L. - 407.65 m 以深についても実施した。

(5) 地質調査の仕様

本調査では、地質調査について過去の調査よりも詳細な観察を実施することとした。火山灰等の地質年代を特

速 報

定する鍵層はもらさず確認し、全コアについて地質の専門家による観察を実施して堆積環境の解明を進めることとした。主な実施項目は表—3に示すとおりである。

ここで問題となったのは、C.D.L.-407.65 m以浅における土質試験と地質調査の試料の取り扱いである。火山灰層等をもらさず確認するには、土質試験前に地質観察を行い、要求があった場合は土質試験用試料を地質調査用試料に振り換えるなど柔軟な対応が必要である。そこで、あらかじめ図—3に示すようなフローを作成し、土質・地質の調査担当者が緊密に連携して調査を進めるよう工夫した。

さらに、コアの連続データを取得するという観点から、すべてのコアの写真を同一規格のもとで撮影することとした。特に、土質試験に供さない試料については、コアの半割作業を行った上で精細な写真を撮影した。撮影した写真の例を口絵写真—9に示す。また、写真撮影と合わせて土色計を用いた色計測を実施し、コアの変色前の色調を数値データとして取得した。

3. 実調査における掘削状況

3.1 使用機材

基盤岩深度がC.D.L.-1 200±200 mと予想されたことから、試錐に用いる機材としては1 500 m級の掘削が可能なものが必要となった。使用したボーリングマシン、ポンプの仕様を表—4、5に示す。試錐槽は、ボーリング作業足場までの高さが2.2 m、槽自体の高さが33 mで計35.2 mの高さとなった。現場の様子を口絵写真—10に示す。

3.2 埋立土の掘削

埋立土層については、使用している材料が最大粒径300 mmの岩砕材料であり、ボーリングマシンによる掘削では時間がかかると推定された。そこで、全周回転式掘削機によるオールケーシング工法を採用し、ハンマグラフでケーシングの中掘りを行いながらφ1 000 mmのケーシングを旧海底面まで建て込んだ。その後、φ406.4 mmのケーシングを設置し、外周部を埋め戻すことで、埋立地盤天端から旧海底面まで到達するφ406.4 mmの調査孔を確保し、試錐槽等の設置作業に移行した。

3.3 港研式ワイヤーラインによるサンプリング

港研式ワイヤーラインの詳細な仕様については、既発表の論文を参照されたい¹⁾。本調査では水圧式の固定ピストン式サンプラー ($q_u < 0.2$ kPa程度の軟粘土層用)、デニソンサンプラー(硬粘土層用)、リジッドサンプラー(砂層用)の3種を用い、土質に合わせて使い分けた。実際の土層は砂、粘土の互層であるため、サンプラーの選択はボーリングオペレータの感覚に頼る面が多く、サンプリング実施中の状況次第で急きょサンプラーを変更する場面も多々あった。

また、空港島造成の荷重増により、洪積層中には大きな過剰間隙水圧(現地計測によると最大約500 kPa)が発生しており、これへの対応も課題となった。このよう

表—2 土質試験実施項目

項 目	実 施 頻 度	数 量
物理試験	2~3m 毎及び力学試験実施深度	
段階載荷圧密試験	粘土層毎に層厚に応じて2~7 深度	74
CRS 圧密試験	各粘土層に2 深度程度	33
長期圧密試験	同上	24
分割圧密試験	Ma9, 10 層で各1 深度	2
CU 試験	Ma7 以浅の各粘土層に1 深度	11
動的変形試験	各粘土層に1 深度、C.D.L.-407.65m 以深は概ね100m 毎	27

表—3 地質調査実施項目

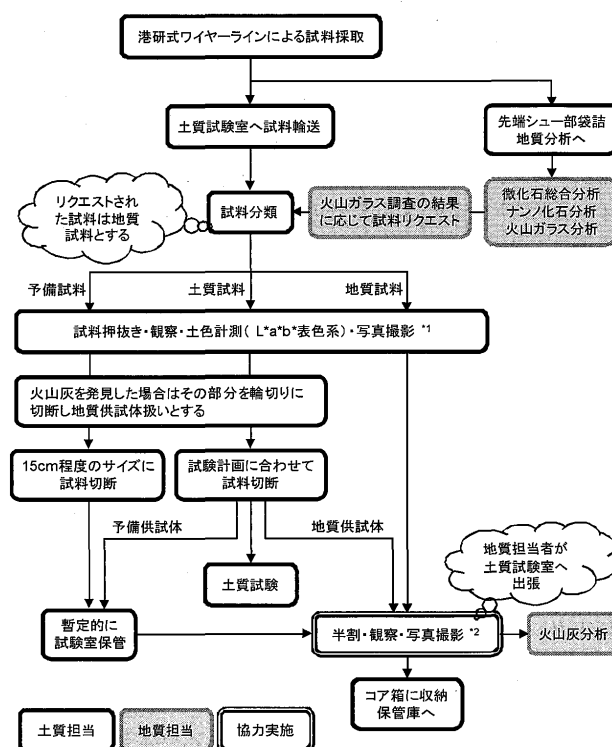
項 目	実 施 頻 度
堆積物総合調査(観察)	全コアについて実施
微化石総合調査	乱れの少ない試料採取の際の先端シュール内の試料全数
ナノ化石概要調査	同上
火山灰・火山ガラス調査	コア観察や先端シュールの分析により発見したすべての火山灰凝集層について実施
古地磁気調査	古地磁気イベントの想定される層で実施

表—4 ボーリングマシンの仕様

メーカー	型 式	ホイスト	スピンドル			重 量 (除原動機)
		最大 巻上げ能力 (t)	最大 スラスト力 (t)	最大 バランス力 (t)	ストローク (mm)	
東亜利根	TSL-1	50	16.8	33.0	750	11,000

表—5 ポンプの仕様

メーカー	型 式	最大 吐出量 (t/min)	最大 吐出圧力		重量 除原動機 (kg)	用 途
			(MPa)	(kg/cm ²)		
ガードナーデンバー	FD-FXD	344	10.34	105.47	2,751	港研式WL
鉦研工業	MG-40	220	5.88	60	1,410	港研式WL
鉦研工業	PG-60TV	105	19.61	200	3,100	コアリング



図—3 採取試料の取り扱いフロー

(*1 と *2 では写真の撮影スペックが異なる)

な状況下における試錐は過去にあまり例がなく（関空における過去の調査は用地造成前の実績である）、新たな挑戦となった。この問題に対しては、基本的に泥水比重を増す（最大比重1.48）以外の方法がなく、各種機器類への大きな負担増となった。特に、C.D.L.-80 m (Ds3層と考えられる) 付近では、毎分最大0.13 m³の湧水に遭遇するなど、試錐は困難を極めた。この湧水区間については、掘削後のφ267.4 mm ケーシング建込時にφ406.9 mm ケーシングとの間にモルタルを注入するなど、止水に万全を期した上、掘進を進めた。

以上のように困難なサンプリング作業となったが、最終的にC.D.L.-407.65 m までサンプリングを実施し、採取率は88%と良好な成績をおさめることができた。

3.4 汎用コアバレルによる試料採取（コアリング）

C.D.L.-407.65 m 以深のコアリングには、深層岩盤用の汎用品であるHQ-WLを用いた。HQ-WLの孔径はφ98.4 mm、採取コア径はφ63.5 mm である。

コアリング時における問題の一つは、土層の固結度が想定よりも低かったことである。当初、C.D.L.-1000 m 程度で6段目のケーシングパイプを設置してコアリング径を落とし、着岩まで試錐を進めることとしていた。計画時点では、深度の増加とともに、土層の固結度が上がっていくものと考えていたが、実際に掘削を進めてみると、C.D.L.-1000 m 付近に達してもなお固結度の低い砂層が確認された。そのため、試料採取に少しでも有利となるよう、コアリング径を維持しHQ-WLのまま掘り進めることとした。そのため、6段目のケーシングパイプの設置が不可能となった。しかしながら、HQ-WLによっても砂層のコア採取は困難であり、コアリフター部分に様々なタイプのものを用いて工夫したものの、相対的に砂層のコア採取率は低くなった。

一方、基盤岩はC.D.L.-1200 m を越えても現れず、C.D.L.-1300 m 以深ではボーリングマシンの能力限界を常に意識しながらの試錐作業となった。幸い、前述のとおりC.D.L.-1328~1329 m で着岩を確認し、さらに20 m 程度試錐を進め、風化岩を抜けて比較的新鮮な花崗閃緑岩を確認するまでコアリングを行うことができた。最終的にボーリング孔は、C.D.L.-1346.75 m に到達し、コアリングにおける平均的な採取率は88%と港研式ワイヤーラインによるサンプリングと同等な結果であった。

3.5 調査結果の概要（速報）

着岩時点における暫定柱状図を口絵写真—11に、採取された花崗閃緑岩を口絵写真—12に示す。柱状図からも分かるとおり、C.D.L.-1200 m まで砂と粘土・シルト（深部では固結状態）の互層が続くという結果であった。大阪層群の下部層と最下部層の境界付近と考えられる福田火山灰がC.D.L.-580 m 付近で確認されている。C.D.L.-1268 m からのレキ岩については、一部をのぞいてレキのみ採取されており、マトリックスの砂〜レキ

は掘進中に流失したと考えられる。したがって、固結度があまり高くないものであった可能性もある。

港研式ワイヤーラインで採取した乱れの少ない試料については、計画どおり各種土質試験を実施して、過去の調査結果との比較を進めているところである。

一方、地質調査の成果として相当数の火山灰を確認し、同定を行った。また、Ma1層以深では海成を示す粘土層は観察されておらず、湖成堆積物の泥と砂の互層からなることがわかった。C.D.L.-1268 m のレキ岩以深は河床堆積物であると考えられており、その下位は泥質の堆積物が基盤岩までの間に存在している。したがって、過去の文献や周辺地域の地質から想像されていた新第三紀中新統に相当する土層（口絵写真—11参照）は存在していないか、存在していてもごく薄い可能性が強いと判断される。

なお、以上の結果はいずれも速報であり、今後詳細検討が進むに従って結果の解釈が変更される可能性があることを付記しておく。

4. おわりに

本調査の試錐作業は終了したが、土質試験や地質調査の結果に基づく各種検討は開始したばかりである。今後の解析により、圧密進行中の洪積粘土の挙動や、大深部の地盤の力学挙動に関して貴重な情報を得られると考えている。また、これまで情報が無かった大阪湾南部の地下地質に多くの新しい知見を加えたという意味で地質学的にも大変重要であり、今後の検討結果次第では、近畿地方あるいは西南日本の構造発達史や環境変遷史に影響を与え、あるいは基盤物性の深度方向変化や深層基盤について重要な情報を提供することができると考えている。読者の皆様からも、今後検討すべき課題等についてご意見・ご助言等お寄せいただければ幸いである。

参 考 文 献

- 1) 堀江安保・善功 企・石井一郎・松本一明：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，港湾技術研究所資料，No. 498，pp. 5～45，1984.
- 2) 中世古幸次郎 編：関西国際空港地盤地質調査，災害科学研究所報告，1984.
- 3) Takemura, K. and Nakaseko, K.: Subsurface geology of Kansai International Airport, central Japan, Proc. of the Symposium on Geotechnical Aspects of Kansai International Airport, Osaka, Japan, pp. 17～22, 2005.
- 4) 関西地盤情報活用協議会：新関西地盤—神戸および阪神間—，1998.
- 5) 例えば，市原 実：続・大阪層群—古瀬戸内河湖水系—，アーバンクボタ，No. 39，2001.
- 6) Inoue, N., Kitada, N. and Takamura, K.: Basement and Stratigraphic Characteristics around Kansai International Airport (KIX), Osaka sedimentary basin, Japan—Integrated Analysis of Geophysical Data—, AGU Fall Meeting, 2007.

（原稿受理 2007.10.26）