

関西国際空港人工島建設における情報化施工

鈴木 慎也, 南 兼一郎

1. まえがき

関西国際空港は、大阪湾泉州沖約5kmの海上に、わが国の航空ネットワークの新しい拠点として計画された。空港島の埋立造成工事は、昭和62年1月に護岸築造に着手して以来約5年の期間を経て、平成3年12月に当初予定どおり完了し、現在は平成6年夏頃の開港をめざして滑走路、エプロン、旅客ターミナルビル等の空港施設の建設工事にとりかかっている。

この埋立造成工事は、軟弱地盤が海底に堆積している平均水深18mという大水深において、面積511ha、層厚33m、埋立土量1億8,000万 m^3 もの大規模な埋立を5年という短期間で実施するという、土木史のエポックメイキングとなる大規模工事であった(表1)。

このような埋立工事を行なうにあたって土質工学的課題としては、埋立地の沈下特性の解明(特にわが国初めての洪積層の沈下特性の解明)、沈下特性をふまえた埋立地の沈下予測、幅輻する工事区域での沈下予測と埋立履歴等の施工情報の管理、沈下予測の埋立工事および空港施設工事への活用と沈下管理等があげられ、以上の技術課題に対処するため沈下特性の解明から工事の実施に至

るまでの体系化した総合的な取組みが必要であった。このため、空港島の埋立工事の実施にあたっては、沈下管理に対し情報化施工の手法を適用した。本稿は、この概要について報告するものである。

2. 関西国際空港の計画概要

関西国際空港は現在の大阪国際空港における航空機騒音問題を抜本的に解決するとともに、増大する関西圏の航空輸送需要に対処するため、わが国の航空ネットワークの2大拠点のひとつとして計画されたもので、環境保全に十分配慮した騒音公害のない海上空港であり、また、わが国で最初の24時間運用の国際空港という特色を有している。

全体構想は、面積約1,200haで、3本の滑走路を有する構想であるが、このうち現在建設中の第1期計画は、滑走路1本(3,500m)、面積511ha、年間離着陸回数約16万回で、開港目標を平成6年夏頃としている。

第1期計画の施設配置計画は図1のとおりである。空港の建設については、空港島の造成(護岸・埋立)は昭和62年1月着手し、平成3年末には完了した。現在、造成された空港島の上で、空港諸施設の工事が進められている。

3. 空港島造成工事の概要

3.1 建設地点の自然条件

表1 わが国における主要な人工島の例

名称	場所	海岸からの距離(km)	埋立面積(千 m^2)	水深(m)	建設期間(年)	埋立土量(百万 m^3)
大阪南港	大阪港	—	9,370	3~10	S33年~55年	123
神戸ポートアイランド	神戸港	0.2	4,360	12	〃41年~55年	80
扇島	横浜・川崎港	0.6	5,150	10	〃46年~50年	81
神戸六甲アイランド	神戸港	0.4	5,800	12	〃46年~	120
荻田土捨場	荻田港沖	3.5	1,530	7.5	〃52年~	
御坊火力発電所	和歌山県	0.2	350	4~17	〃55年~57年	3
志布志湾石油備蓄基地	鹿児島県	0.45	1,960	9	〃60年~	29
関西国際空港	大阪府	5.0	5,110	18.5	〃62年~H6	178

すずき しんや, みなみ けんいちろう

関西国際空港(株) 建設事務所

〒596 岸和田市大北町9-25

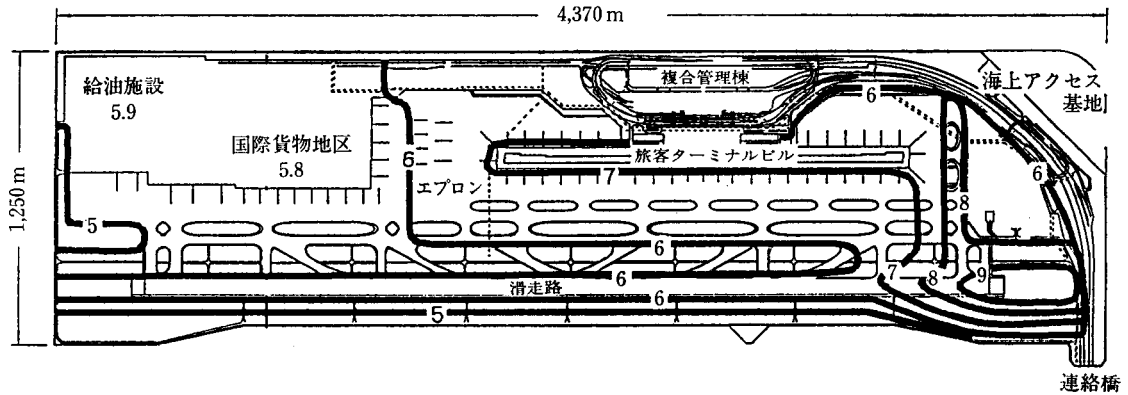


図 1 空港施設配置計画 (太線は平成 5 年 3 月末の計画高 (CDLm))

空港島の北端を通り、海岸線の直角方向の線上のボーリング結果を用いた地質構造断面図を図 2 に示す。空港建設予定地の地質は、湾の中央部に向けて傾斜する単斜構造をなしており、表層の軟弱な沖積粘土層 (Ac) の層厚は、沖側の護岸部で約 20m、岸側で約 16m となっている。この下には薄い砂礫層と粘土層が互層となった洪積層 (Ma : 海成粘土, Dtc・Doc : 非海成粘土) が数百 m の厚さで堆積している。

空港島の埋立層厚は平均で約 33m、その荷重は約 45tf/m²にも達する。空港島の面積は 511ha と広大であり、護岸近傍を除く空港島の内域では、洪積層の最深部においても応力が分散せず、ほぼ 1 次元載荷状態になる。この埋立荷重によって生じる沈下、特に洪積層の沈下は、従来の臨海部開発では経験したことがなく、その予測に対する、従来の土質工学の適用性を最終的には現地を確認する必要があった。現在の予測によると、空港島全体の平均的な最終沈下量は、沖積粘土層、洪積粘土層ともに約 5 m に達し、時間的なオーダーとしては、埋立終了までに 4 m、その後 1 年で 4 m、開港までに 2 m、開港 50 年後までに 1.5 m 程度である。

3.2 工事の概要

空港島の造成工事は、まず空港全域にわたる海底地盤の改良工事から始められた。地盤改良工法としては軟弱な沖積粘土層に直径 40cm の砂杭を打ち込み、埋立の重みによって粘土中の水が抜けやすくすることで沈下を早期に終了させる、サンドド

レーン工法を主に採用し、面積 511ha に約 100 万本の砂杭を 2 年で打設した。空港島の周囲を囲む護岸は、不同沈下に強く経済的な構造として、石を積み上げ上部にコンクリートブロックを設置する形式の緩傾斜石積護岸を、その大部分に採用した。護岸工事は昭和 62 年 1 月末に着工され、サンドドレーン工法等による地盤改良工事が行なわれ、それに引き続き護岸本体の工事が実施された。昭和 63 年 12 月上旬には当初予定より 2 カ月早く概成 (護岸が水面上に姿を現わし、空港島の外周を囲った状態、この段階で埋立が本格化した) した。

空港島の囲いができると、埋立工事が本格化された。埋立土砂は、大阪、和歌山、淡路島の土取場から土運船で空港島に運ばれ、土運船の喫水ぎりぎりの -3 m までは底閉式土運船で土砂を投入した (直投)。ただし、海底地盤の強度が上がるのを待ちながら埋めるため、直投①、②、③と 3 段階に分けている。さらに上の埋立は、ベルト

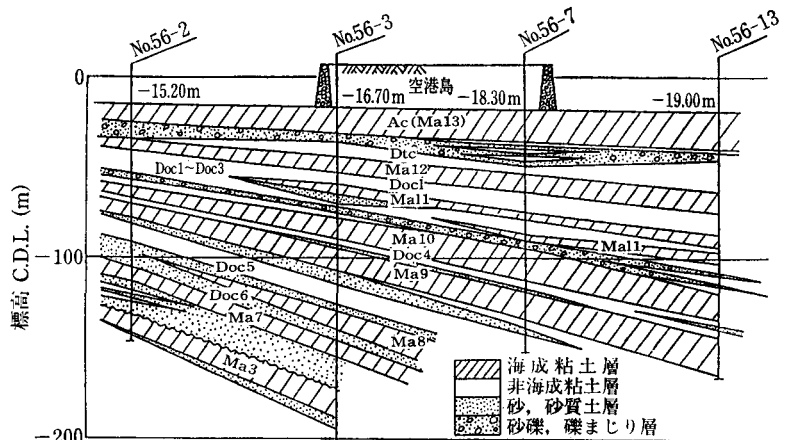


図 2 地層構造断面図 (横断方向)

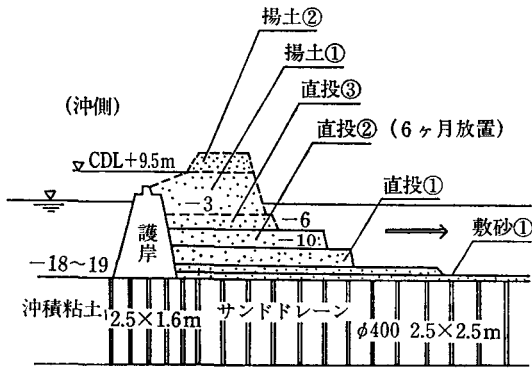


図3 空港島の造成方法

コンベアーを備えた揚土船によって行なった(揚土①)、揚土船の限界(+9.5m)以上に揚土が必要な区域は、さらにダンプカーなどを使用して所定の層厚の揚土②を行ない、埋立を完了した(図3)。

4. 空港島造成工事における沈下管理

空港島の造成は、「大水深」「軟弱地盤」という自然条件下において、「(沈下が進行するなかでの)大規模急速施工」という点で、従来の臨海部埋立造成と一線を画している。このため、調査、設計、施工の各段階において特に沈下を中心とした土質工学上の課題を克服していく必要があった。

このため、情報化施工の手法、すなわち、事前の土質調査にもとづく当初設計(あるいは予測)→本格的な工事に先行した調査工区における設計・施工法の確立(あるいは沈下予測手法の確立)→本工事の実施、というトータルな沈下管理システムを構築し(図4)、このシステ

ムに従って調査・計測・工事を進めた。

沈下管理の最終的な目標は、空港供用期間中において空港利用に支障をきたさない施設高、具体的には所要の勾配が確保され、開港後50年間少なくとも既往最高潮位CDL+3.2mを下まわらないような高さを確保するとともに、不同沈下に対し万全を期することである。

この目標達成のため、第1段階では、沈下計測結果をふまえて沈下予測精度の向上を図り、これにもとづいて管理目標を満足する空港施設計画高(あるいは埋立地盤計画高)を設定した。前述のとおり、事前調査だけでは沈下予測に不確定要素が大きいため、海底地盤の土質特性を把握したうえで、空港島の中でも最も沈下が大きいと予想されるエリアに約6haの調査工区を造成し、沈下に関する計測を集中的に実施した。その結果、当初の沈下予測よりも大きい速度で沈下が生じていることが確認されたため、実測沈下を再現できるように沈下予測手法の見直しを行ない(図5)、この手法による沈下予測計算にもとづき、埋立地盤計画高および空港施設計画高を設定した(図1)。なお、この計画高は沈下によって時間的に変化するが、空港施設の大部分が工事に入っている平成5年3月末時点(基準日)における高さを設定している。

第2段階では、基準日において所定の埋立地盤計画高あるいは、空港施設計画高になるように、各施設の建設予定区域において沈下予測を行ない、施工から基準日までの沈下量の分だけ地盤が高くなるように沈下管理を行なった。管理の精度としては、平均的に所定の地盤高が確保でき、かつ、つづいて行なわれる空港施設工事において大きな切土・盛土が発生しない程度の精度を目標とした。

第3段階では、最終段階として空港諸施設を建設するにあたって、基準日に施設計画高となるように管理を行なう。地盤の沈下は、基本的には埋立荷重によって支配されるが、建物荷重と排土荷重のバランスが大きく崩れる場合などには、若干沈下に変化が生じる。このため、施設建設による沈下への影響の有無を判断し、必要に応じて沈下予測を修正する。また、各施設の基礎部の施工時から天端高計測を行ない、場合により部材高さ等を修正することで、施

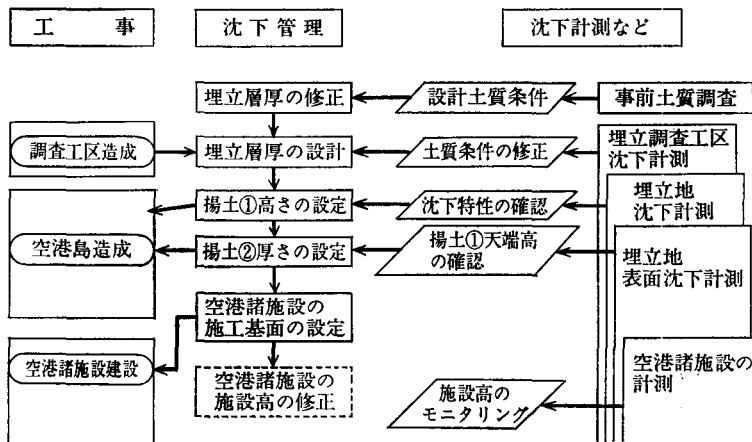


図4 沈下管理システム

設高の管理を行なっている。

5. 情報化施工に必要な情報とデータベース化

5.1 情報化施工に必要な情報

空港工事の一連の流れの中で、絶えず実測値を予測にフィードバックするためには沈下に関する3要素、すなわち、空港島全域にわたる「土質」「荷重」「沈下変形」に関する情報を取得しそれら进行处理するためのデータベース化が不可欠であった。以下には、各要素の情報の取得、データベース化のプロセスについて示す。

5.2 土質に関する情報

建設海域の沖積粘土層の土性は、多少のばらつきはあるものの、ほぼ均一な土質特性をもつ地盤であると評価できる。また、層厚も沖側の護岸で20m、岸側で16mで、その間は単斜構造をなしている。このため、土質定数については、空港島内の沖積粘土層は同一の値を用い、この値は実測沈下にもとづいた逆解析により精度向上を図った。層厚については、深浅図、音波探査結果、ボーリング結果等をもとに層厚図を作成し、100mメッシュ毎に層厚を設定した。その間の任意の点は、周囲の点からの補間により求めるようにデータベース化を図った。洪積層についても、沖合に向かって地層が傾斜し、沈下の対象となる最下層の出現深度は、沖側の護岸で-170m、岸側で-130mであり、空港島横断方向に粘土層、砂礫層の層厚が徐々に増加している。

一方、土質特性については、個々の粘土層の各ボーリングの土質試験結果はばらつきが大きい、サンプリングの乱れ等を勘案すると個々のボーリング点毎に異なる土質特性を設定するのは問題があるため、堆積過程がほぼ同様であると考えられる、海岸線平行方向、すなわち、空港島縦断方向には同一の土層モデルを設定することとし、横断方向に3つの土層のモデル(A, A', B)化を行なった。空港島の任意の点はこの3つのいずれかの土層モデルを適用した。

5.3 荷重に関する情報

空港島の埋立荷重は最終的には $45\text{tf}/\text{m}^2$ に達するが、埋立工程は敷砂①、②、直投①、②、③、揚土①、②と鉛直方向に7段階、さらに、各工程の平面的な展開を考

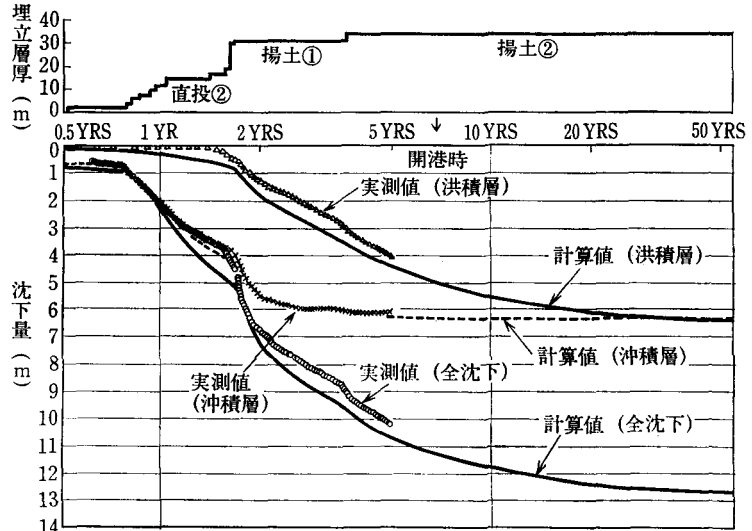


図5 調査工区における沈下実測値と予測値

えると、ある地点における地中応力に影響する荷重は非常に複雑である。この荷重条件を正確に、かつ、迅速に把握するとともに、あわせて埋立の工程管理の基礎データとするため、埋立施工履歴データベースを構築・運用した。データは、埋立時期、位置、土量から構成される。

土量については、土運船に土砂を積み込む棧橋において計測した。空港島埋立工事の最盛期には、約 600万m^3 ／月を越える土砂運搬体制が必要となり、これに就役する土運船の便数は1日86隻におよんだ。これらの土運船について、1隻毎に積載土量の検収を行なったが、この検収には、従来的人力方式が変わって、光波式土量計測方法を採用した。このシステムは、積出棧橋に設置された光波式土量検収装置により、土運船に積み込まれた山砂の形状を光波によって連続的に正確に測定するもので、土砂量の最終計測結果は約15分後にアウトプットされた。

埋立位置については、海上施工である直投までの施工段階の管理が問題である。直投用の底開式土運船は目標投入地点まで、新たに導入した船位測定装置を使用して誘導した。この電波式位置出しシステムは、従来、外航船舶等が洋において自船の位置を確認する双曲線航法を海洋土木工事に応用したもので、精度が工事区域全域において約1mと安定しており、設備費、運用費が既存の方式に比べ安価である。一方、水上の工事である揚土作業については、揚土完了後数日間のうちに揚土区域、揚

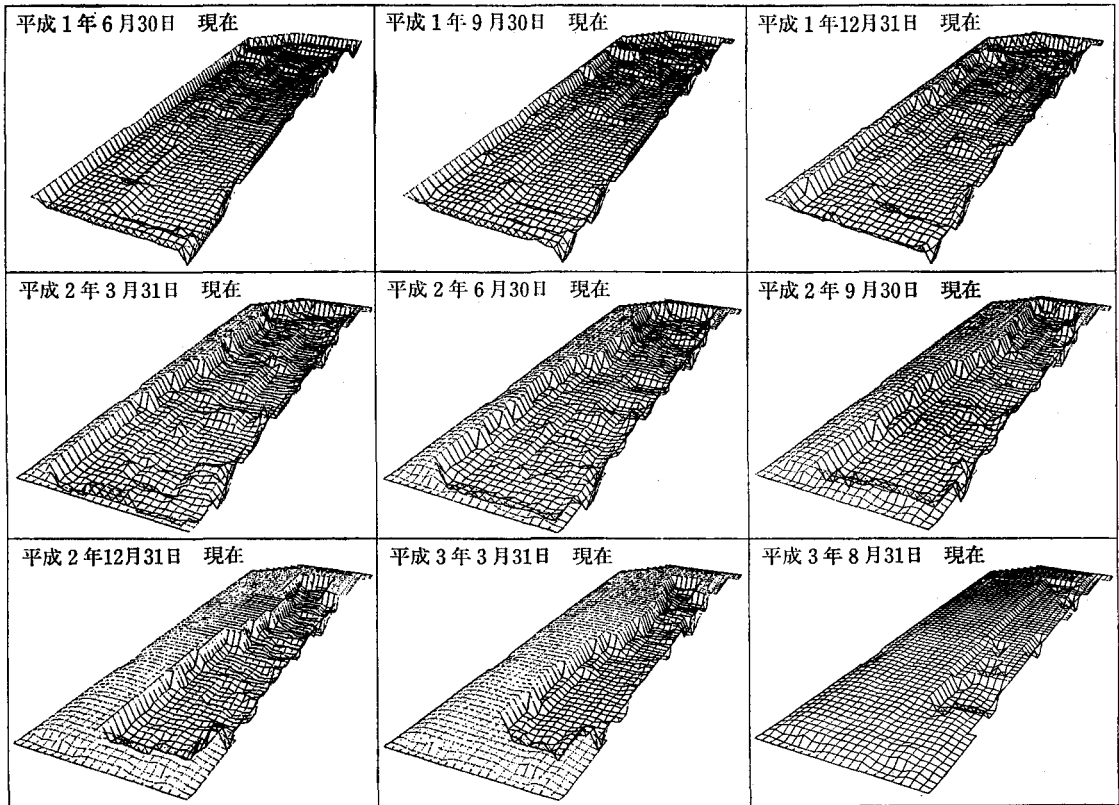


図6 埋立展開履歴図

土高さが測量された。

これらのシステムによって取得された、埋立土砂の投入量、位置、日時に関するデータは、施工翌日にはフロッピーディスクの形で施工業者から報告され、パーソ

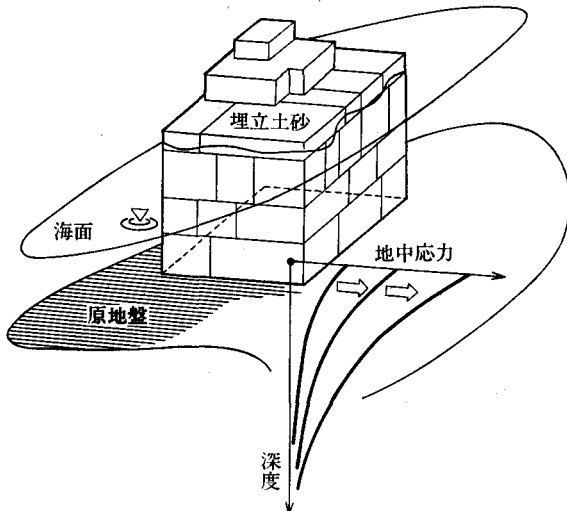


図7 ブロック化された埋立荷重データの概念図

ナルコンピュータのデータベースに集約化される。このデータ进行处理し、埋立の工程管理がなされる(図6)とともに、図7に示すように載荷ブロック毎に荷重データとして蓄積され、任意の点の地中応力の経時変化を計算することが可能となった。

5.4 沈下に関する情報

沈下に関する情報は、沈下予測法の妥当性を確認していくための基本的な情報であるが、空港島造成工事のように大水深かつ、多数の作業船が輻輳する条件下で沈下計測を機動的に継続して実施することは、多くの困難を伴う。調査工区では、沖積層と洪積層の沈下を分離して計測することを目的に、各種の沈下計が設置、計測されているが、一般工区においては、作業船に支障をきたすことが許されないため、約30地点の沈下板によって全沈下量のみが計測されている。これら沈下板の計測は、埋立工事の開始から終了後も継続的にデータを取得している。

一方、埋立終了後の地盤高の計測は、100mメッシュ毎に、空港施設高はさまざまな施設の基礎部が打ちあが

った後に、それぞれレベル測量で実施されている。

これらの膨大な沈下データは、時系列データとしてデータベース化され、土質情報、荷重情報をもとに解析された沈下計算値と定期的に比較検討されて、沈下予測の精度向上、埋立地盤高の管理、施設高の管理へと利用されている。

6. ま と め

空港島の埋立造成工事では、平均水深18mという大水深において、面積511ha、層厚33m、埋立量1億8,000万 m^3 もの大規模な埋立を5年という短期間で実施するとともに、10mを越える沈下に対し適切な対応が必要であった。

このため、情報化施工の手法、すなわち事前の土質調査にもとづく当初設計（あるいは予測）→本格的な工事に先行した調査工区における設計・施工法の確立（あるいは沈下予測手法の確立）→本工事という一連の流れの中で絶えず実測値をその後の予測・管理にフィードバックする総合的なアプローチを図った。

空港島造成工事および空港施設工事は、沈下が進行中という状況におけるかつてない大規模急速施工であるため、沈下管理を行ないながら工事を進めた。

空港島造成工事については、基準日において埋立地盤計画高を確保できるよう地盤高の管理を行なった。空港島を揚土①施工→沈下計測→（沈下予測をふまえた）揚土②層厚の決定→揚土②施工→沈下計測を行ないつつチェック、というフローで沈下管理を進めた。

空港施設工事についても、必要に応じて沈下予測を修正しながら基準日において所定の空港施設計画高になるように、沈下予測計算にもとづき施工時にあらかじめ上げ越しておく方法をとった。また、荷重差によりやむを得ず不同沈下が予想される個所については、できるだけ詳細に予測計算を行ない、所要の対策を講じている。

この一連の沈下管理を効率的に行なうため、沈下に関する3要素、すなわち、空港島全域にわたる「土質」「荷重」「沈下変形」に関する情報を取得し、それらを処理するためのデータベース化を図った。

以上のような技術的成果に支えられ、関西国際空港における空港島埋立造成工事は当初予定どおりに完成することができた。

参 考 文 献

- [1] 新井洋一, 及川 研, 鈴木慎也, 元野一生: 関西国際空港の建設における沈下管理システム, 第9回建設マネジメント問題に関する研究・討論講演集, 土木学会, 1991
- [2] 及川 研, 小松 明, 鈴木慎也, 山縣延文: 関西国際空港の埋立に伴う洪積層の沈下, 土質工学会第26回研究発表会, 1991, 1201—1204.
- [3] 鈴木慎也, 新井洋一, 及川 研, 元野一生: 沈下進行中の空港施設施工基面設定法, 土質工学会第27回研究発表会, 1992, 1701—1704.

●会員名簿刊行委員会からの

お詫びと訂正

1992年版会員名簿を刊行いたしました、「所属機関別会員名簿」に誤りがありました。ここにお詫び申し上げますとともに、以下のとおりご訂正くださいますよう、お願い申し上げます。

所属機関別会員

(2) 大学・短大・専門学校等

大阪大学 榎原博之 神谷和也 真田英彦 塩出省吾 新森修一 鈴木 胖 田中正夫 田畑吉雄 田村坦之 中野秀男 萬代三郎 朴 炳植
大阪府立大学 浅井勇夫 石沢久生 市橋秀友 太田 宏 金川明弘 岸 光男 河野通威 高橋浩光 田中英夫 寺岡義伸 長野祐弘 西村ミチコ 西山 徳幸 室津義定