

関西国際空港 2 期護岸工事における 沈下層厚管理について

Advanced Technologies Introduced to Construction Works of Seawall for the Second Phase of Kansai International Airport Project

水上純一¹・下川義和²・播本一正³

Jyun-ichi MIZUKAMI, Yoshikazu SHIMOKAWA, Kazumasa HARIMOTO

¹正会員 関西国際空港(株) 建設事務所 技術課 (〒549-0001 大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

²正会員 同 工事課, ³正会員 同 工事課

The new airport island being constructed in the second phase is located 200 m offshore from the first phase airport island. With a total area of approximately 545 hectares, the second phase airport island will require an approximately 13 km extension to the seawall. The reclamation of the second phase airport island will make full use of the accumulated knowledge and technological expertise developed during the first phase construction, with the added advantages of new developments in measuring and information technologies. These will lead to minimizing the differential settlement and create a stable foundation for the airport facilities in as short a time as possible.

Key Words : Seawall, Settlement, GPS, Bathymetric Survey

1. まえがき

2 期空港島用地造成工事は, 延長約 13km の護岸を築造した後, その内側を山砂等で埋立て 545ha の空港用地を造成するものである。工事海域の水深は約 18~20m で, 海底には, 厚さ約 20~26m の軟弱な沖積粘土層, その下に 400m 以上の洪積層が堆積しており, 平均約 18m の沈下が見込まれている。また, 1 期空港島より沖側に位置するため, 波浪や潮流等の気象・海象条件についてもより厳しい条件下での施工となる。そのため, 2 期滑走路供用後 50 年間の沈下を考慮して施工層厚を設定し, その層厚に対していかに精度よく施工を行うかが一番の課題となる。

本論文では, 平成 14 年 8 月に完成した護岸工事の実施中特に留意した, 層厚・沈下管理の内容を主体として報告する。

2. 護岸工事の概要

2 期空港島の護岸構造の約 8 割は, 1 期と同様に環境に優しい緩傾斜護岸が採用されている。緩傾斜石積護岸の施工法は軟弱な沖積粘土を敷砂・サンドドレーン工法により地盤改良を行い, 沖積粘土層の地盤強度を増加させながら盛砂・捨石等を段階的に施工することにより, 堤体を築造していくものである。緩傾斜石積み護岸の標準断面図を図-1 に示す。

本工事の特徴は, 軟弱地盤上に大量急速施工により護岸を築造することである。そのため, 良質な資材を使用することや沈下量を考慮して所定の断面を築造することがポイントとなり, 施工管理として, 品質, 出来形管理の他, 沈下安定管理を含めた 3 本柱が重要となる。また, 完成後の不同沈下を抑制するために均一

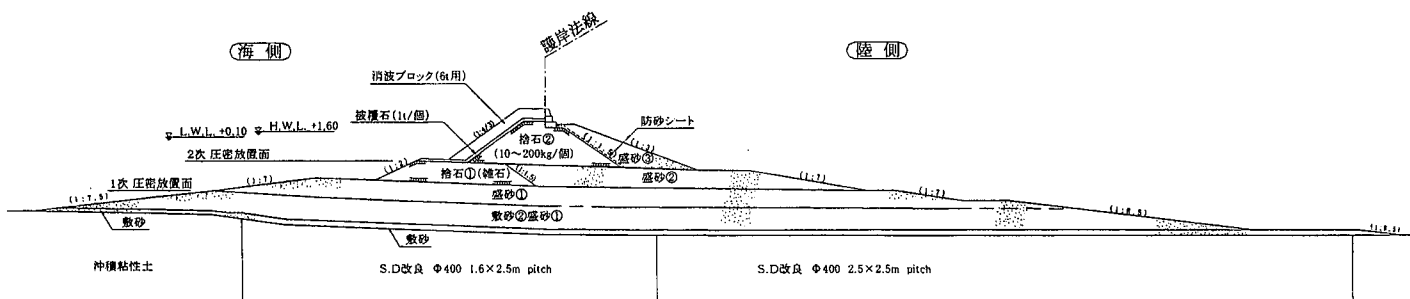


図-1 緩傾斜石積み護岸標準断面図

な層厚で施工する必要がある。そのため、本工事では、施工中の沈下量を考慮した層厚管理が採用されており、各工種において所定の層厚を満足するよう天端高を設定し、施工管理を行った。

安定管理においては、2回の圧密放置期間を設け、放置期間終了後にはチェックボーリングにより、改良地盤の強度確認や円形すべりに関する安定計算を行い、護岸の安定について確認した。具体的には、層厚 30m におよぶ堤体断面内で敷砂・盛砂内と捨石施工後のそれぞれ1回、各 120 日間の圧密放置期間を設け、チェックボーリングによる地盤強度確認後に次工種の施工を行った。

(1) 迅速かつ高精度な沈下・層厚管理に用いた基礎技術

2期工事では、1期工事と同様に沈下を管理しながらの施工が必要であるが、1期工事以上の大量急速施工となるため、日々の施工情報を迅速かつ高精度に把握する必要がある。この要求を満たすために2期工事では作業船の位置確認に RTK-GPS (Real Time Kinematics Global Positioning System) を使用することとし、各作業船、測量船に GPS 受信機を搭載した。

また、日々の施工管理測量においては、従来の単素子方式の測量システムに加え、ナローマルチビーム方式の測量システムを採用した。ナローマルチビームは、指向角 1.5° の超音波を放射状に 60 本発信し、最大ビーム角 90° のエリアを一度に測深することができるシステムで、従来の単素子方式に比べ、ピッチングやローリング等の複雑な船の動きも動揺補正装置によって補正を行い、効率的に広範囲の測量ができ、測量時間の短縮を図ることができた。

さらに、盛砂工の薄層均一施工に対しては、ナローマルチビーム深浅測量システムにより測得された測量データをもとに、水理実験やコンピューターシミュレーションにより得られた各土運船毎の土砂堆積形状を予め把握することで対応した。

(2) 沈下安定管理

本工事は、SD (サンドドレーン) 改良地盤の地盤強度を増加させながら、護岸を段階的に築造していくため、地盤改良による圧密促進が計画通り進行している

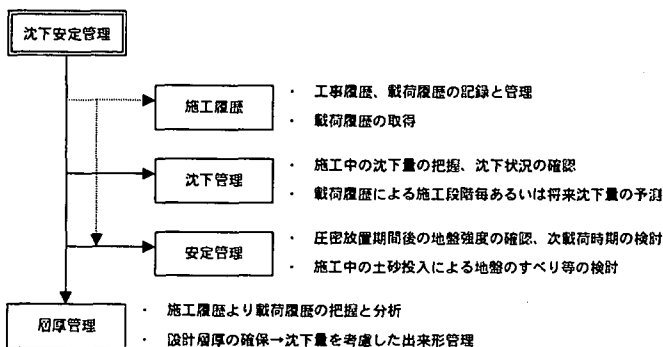


図-2 沈下安定管理概要

か、土砂載荷によるすべりや地盤の側方変位等が生じていないかなど常に把握しておく必要がある。沈下状況の異常やすべり等の地盤破壊が発生した場合、その調査や対策工に多大な時間と費用がかかるため、施工管理のうちでも特に沈下安定管理が重要となってくる。図-2 に沈下安定管理の概要を示す。

3. 沈下管理

沈下量を把握する方法としては、沈下板を用いる方法が一般的であるが、これらの情報はあくまでも沈下板位置周辺に限られた情報であり、沈下板の無い位置では沈下量を把握することができない。そこで本工事では、沈下板の無い位置の沈下量を、沈下計算を行って求めている。

したがって、沈下予測の精度は沈下計算の精度に大きく左右されることとなる。沈下計算の精度を向上させるために、沈下板位置において計算沈下量と実測沈下量の比較等を行い、大きくずれが生じた場合には、沈下計算に用いている土質定数等の見直しを行った。また、計算沈下量と実測沈下量に大きな差が生じていない場合も、実測値と計算値の比である沈下比を用いて計算沈下量の精度向上を行った。

図-3 に沈下予測精度の向上フローを示す。

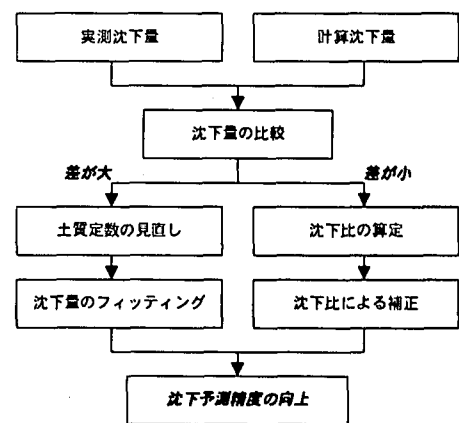


図-3 沈下予測精度の向上フロー

本工事では、沈下計測を主目的とした C 沈下板と沈下計測とともにチェックボーリング時のガイド管にも使用する CB 沈下板を設置し沈下管理を行った。沈下板の配置は、施工丁場割り (施工開始場所) や施工管理ブロックの配置、1 期工事の実績等を考慮して決定した。

CB 沈下板は、基本的に護岸延長方向に約 1km 毎に 1 断面 3 基設置 (図-4) し、護岸工事全体では 19 ヶ所設置した。C 沈下板は CB 沈下板の間に約 360m 毎に 1 断面 2 基設置し、護岸工事全体では 15 ヶ所設置された。

また、南側連絡誘導路の一部や埋立部では磁気伝送水圧式沈下計が設置された。

4. 層厚管理

(1) 層厚管理の考え方

施工中に沈下が生じる軟弱地盤上での護岸築造工事では、完成後の不同沈下を抑制する観点から均一な層厚で施工することが重要である。そのため、本工事では、施工中の沈下量に合わせて施工段階毎に目標天端高設定し、所定の層厚を確保する管理方法（層厚管理）が採用された。

層厚管理を精度良く行うためには、沈下板のある施工管理ブロックと沈下板のない施工管理ブロックとで極力载荷履歴に差が生じないように施工を行うことが重要であった。

(2) 目標天端高の設定

盛砂の目標天端高は、既施工層である「敷砂①工」での設計と出来形との差分調整層厚および盛砂設計層厚から、盛砂実施工層厚を求め、これを盛砂施工前の事前天端高に加算し、さらに事前測量～施工完了予定日までの施工中の沈下量を差し引いた値とした。

施工中の沈下量は基本的に沈下板で得られた実測沈下量を用いたが、沈下板は施工管理ブロック3～4個に1カ所程度しか設置されていないため、沈下板のない施工管理ブロックの沈下量は計算により算出した。このとき、沈下板のある施工管理ブロックにおいて、沈下板の実測沈下量と「護岸・埋立施工安定計算システム」による計算沈下量の割合を沈下比として算出し、沈下板のない施工管理ブロックの計算沈下量に乗じて補正を行った。図-5に沈下管理フローを、図-6に計算沈下量の補正方法を示す。

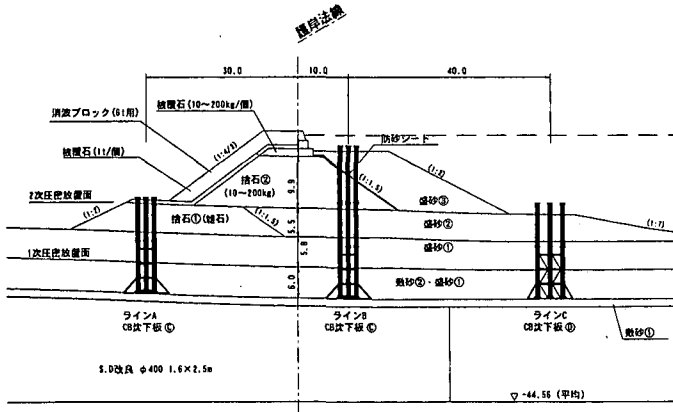


図-4 CB沈下板

本工事では、護岸堤体の層厚を均一仕上げるために施工管理ブロック毎に施工中の沈下量を考慮して層厚管理を行うこととした。各工種の層厚は事前・事後の深浅測量値の差に施工中の沈下量を加算して算定することができる。施工中の沈下量の把握は、沈下板のある場所については、携帯型水位計にて沈下板の天端高を計測（1回/週）して実測沈下量の把握を行った。

また、沈下板のない場所は「護岸・埋立施工安定計算システム」を用いて求めた計算沈下量を補正することにより沈下量の推定を行った。本計算システムでは m_v 法による圧密沈下計算を行っており、地中応力の算定はブーシネスクの弾性解析法、SDの圧密度はバロンの式で求めている。

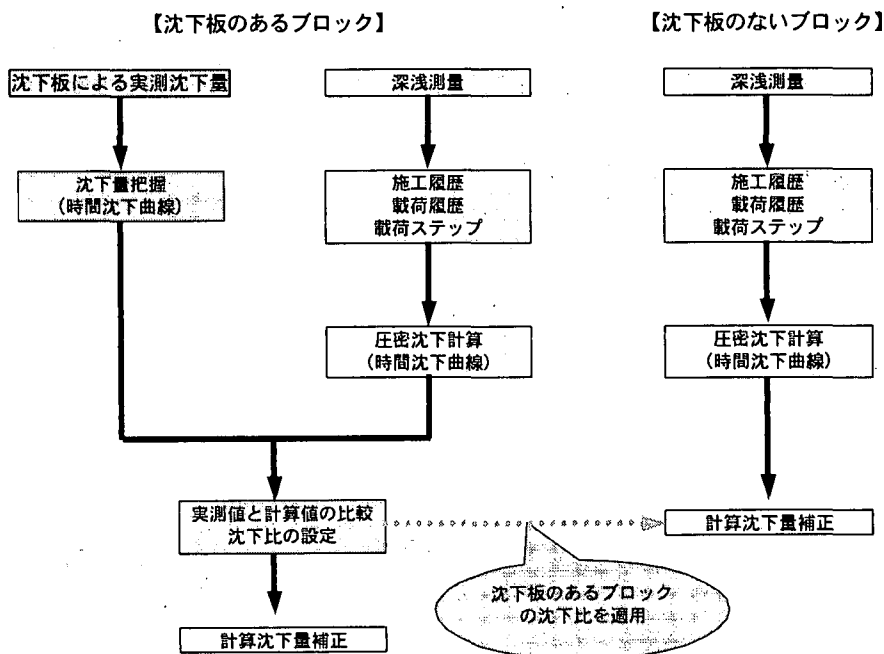


図-5 沈下管理フロー

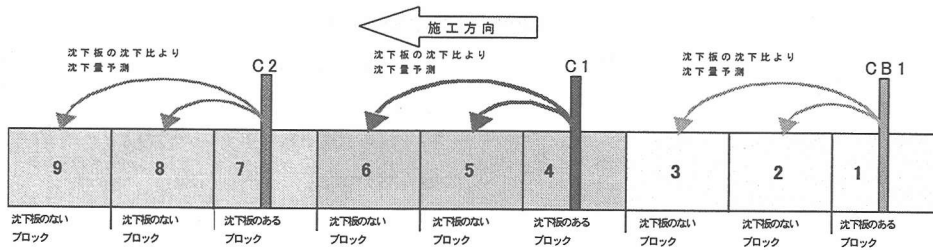
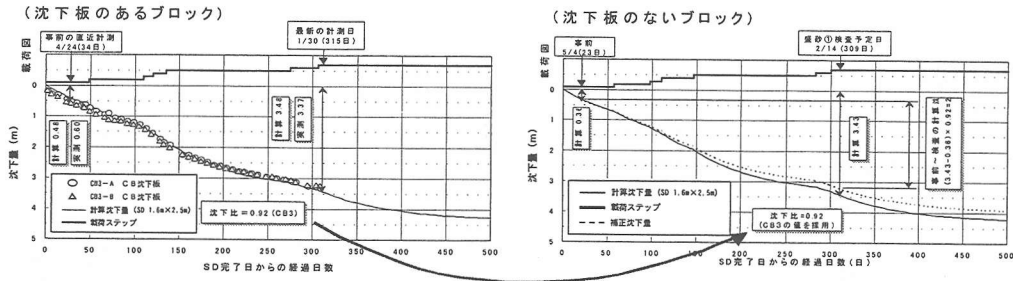


図-6 計算沈下量の補正方法

前述のように、護岸工事では将来の不同沈下を抑制する観点から層厚を均一となるように層厚管理を行うこととしている。しかしながら、施工では深浅測量等の出来形計測を行うため、目標となる天端高を設定して、高さ管理による目標層厚を確保する必要がある。そのため、各施工段階の深浅測量値から図-7 に示すフローにより沈下量を算定し、目標天端高の設定を行った。以下、その具体的な手法について述べる。

(3) 荷履歴の整理

投入後の地盤形状をナローマルチビームによる深浅測量により取得し、深浅測量の重ね合わせ図を作成する。この測量データ重ね合わせは、基本的に管理ブロック中央の管理測線とその両隣20mの測線の平均値（3測線の平均値）を用いて作成した。また、施工の進捗に伴い、沈下板の水深が浅くなった場合（管理測線の計測ができなくなった場合）は、管理測線の20m両隣の測線の平均値（2測線の平均値）を用いて重ね合わせ図を作成した。（図-8）

深浅測量の重ね合わせ図より、法肩～法肩の区間にて平均処理した各層毎の天端高を時系列で整理し、天端高推移図を作成した。

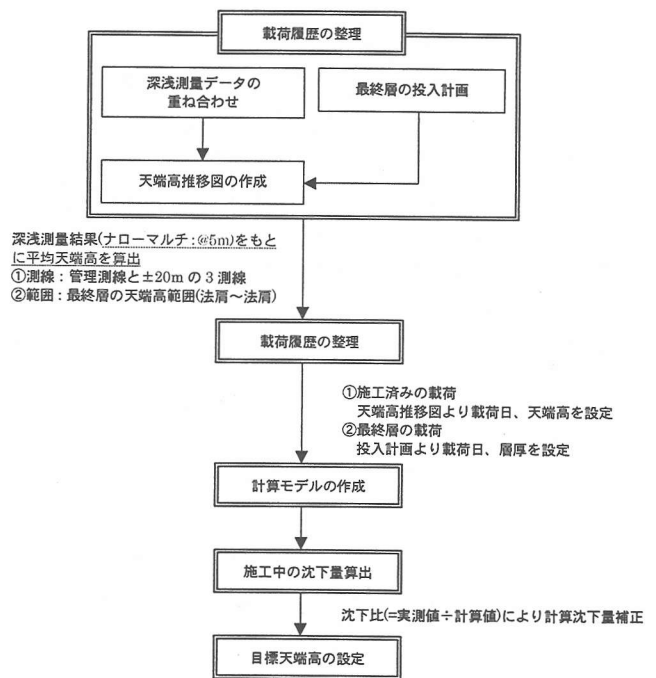


図-7 天端高設定フロー図

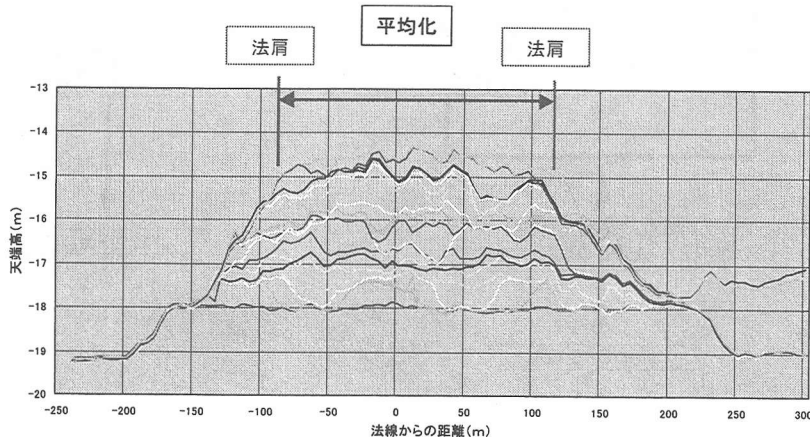


図-8 深浅測量重ね合わせ図

(4) 載荷モデルの作成

護岸・埋立施工安定計算システムを用いて沈下計算に用いる載荷モデルの作成を行った。載荷モデルは、前述の載荷ステップ毎の断面形状および天端高を入力する。本計算システムは、ステップ間の計算沈下量をもとに自動的に層厚を計算するため、最終層の載荷については層厚入力により設定した。

※ 最終層の層厚 = 目標層厚 - 施工済み層厚
(施工済み層厚はシステムによる計算値)

なお、沖積下端の深度は SD 着底深度データを反映させて設定している。

載荷モデル作成後、沈下計算を行い、計算沈下量と沈下板による実測沈下量から得られる「沈下比」を用い、施工管理ブロック毎に施工中の沈下量を算定した。

上記方法にて算出した施工中の沈下量と事前測量地盤高さ、目標層厚を考慮し、図-9 に示すように目標天端高の設定を行った。

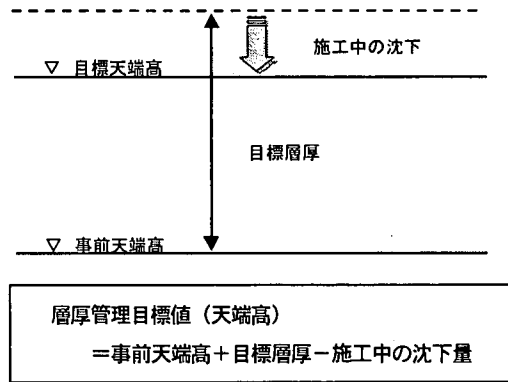


図-9 目標天端高設定の概念図

(5) 沈下管理/層厚管理結果

図-10 に沈下板位置における「捨石②」迄の施工層厚と粘土層厚を示す。捨石②までの層厚は、設計通りの層厚で施工されており、精度の高い層厚管理ができたものとする。

図-11 に平成 14 年 4 月末時点での CB 沈下板 (B ライン) の沈下状況を示す。実測沈下状況は西(沖)側護岸では 6.5~7.4m, 1 期側護岸は 4.1~6.5m であり、施工の進捗が早く、粘土層厚の厚い西(沖)側護岸の沈下量が大きくなっている。

図-12 に代表的な CB 沈下板の時間沈下曲線 (B ライン) を示す。「拡張 m_v 法」により算定した計算沈下量と実測沈下量はほぼ同様な沈下傾向を示しており、精度の高い沈下予測を行ってきたものとする。

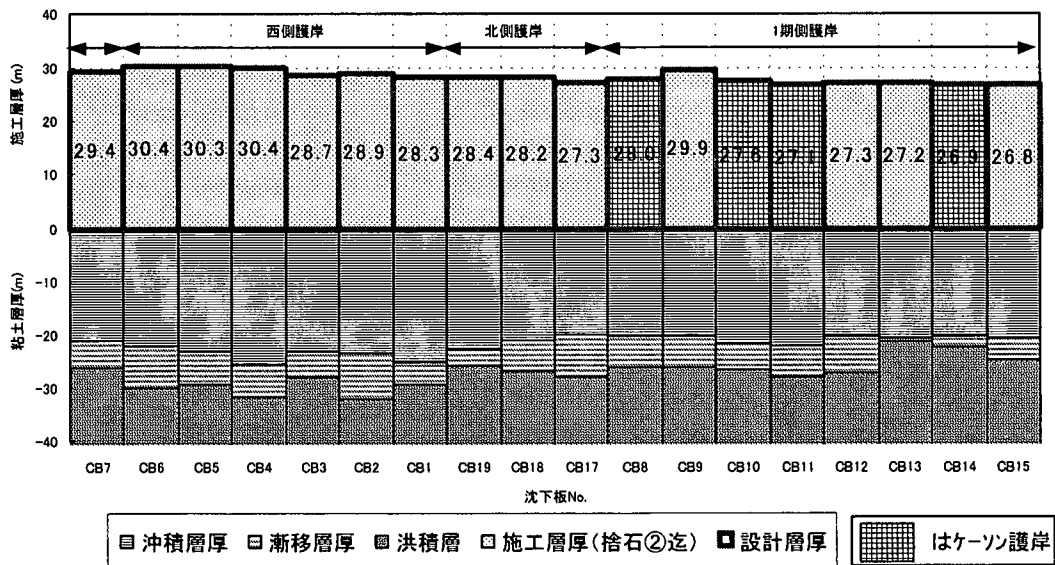


図-10 施工層厚と粘土層厚

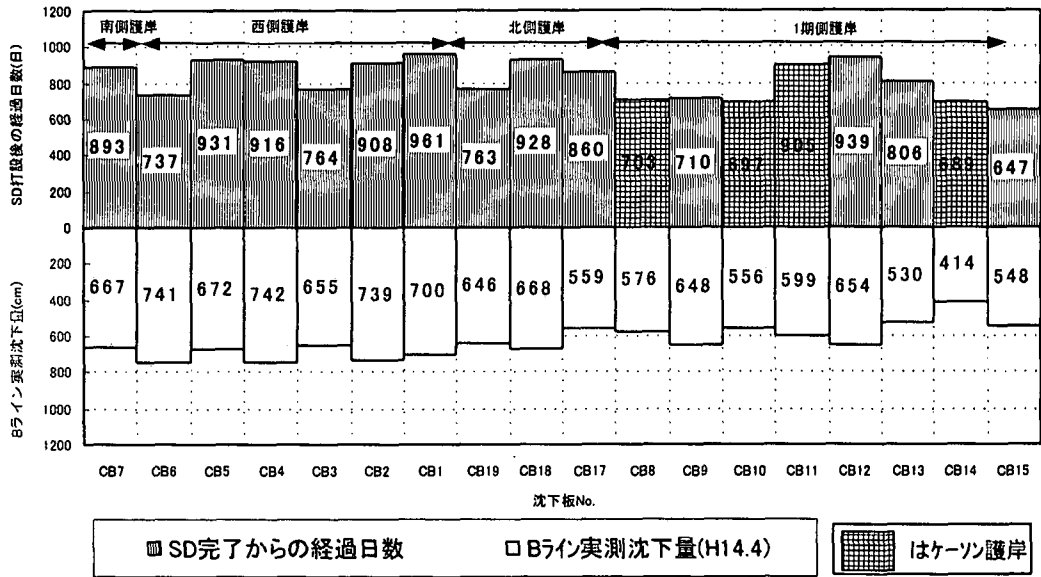


図-11 CB沈下板 (Bライン) 沈下状況

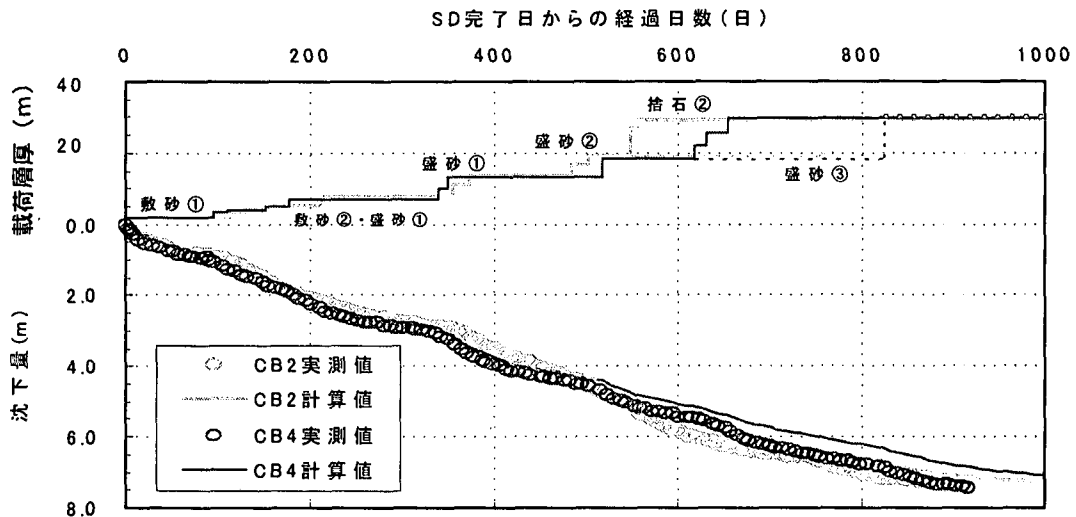


図-12 護岸部での時間沈下曲線 (例)

5. まとめ

長期的な沈下予測を基に設定した層厚に対して、実際の施工時に、短期の施工期間を対象とした沈下予測を組み合わせ、より精度の高い層厚・沈下管理を行った。その結果、適切な最終施工天端高さを設定することができた。また沈下についても、現在、予測通りの沈下で推移している。

安定管理では、強度増加予測とチェックポーリングによる確認を適切に実施することにより、大量急速施工であったが安全に施工を実施することができた。

2期工事は、平成14年8月に護岸工事が完成し、平成15年の現時点では一次揚土を実施しており、日々陸地が造成されている。平成19年の滑走路供用開始に向け、次工種である二次揚土の検討も進められており、工事は順調に進捗している。

謝辞：本稿は、東洋建設 岸本和重氏および、港湾空港建設技術サービスセンター 増井孝英氏の協力のもと作成された。ここに記して謝意を表します。