

関西国際空港緩傾斜護岸工事における 盛土施工管理システム

関西国際空港(株) 建設事務所

浜田 一

〃

正会員

久保清志

佐伯・青木・若築・浅川・本間建設企業体

赤井一之

〃

正会員

○中條主也

1. はじめに

関西国際空港は、護岸、埋立、連絡橋、空港施設等の工事に分割して建設が進められている。これらのうち最初に着手した護岸工事は延長約11kmの空港島外周を約2年で概成するという大量急速施工が要求されている。しかも空港島は泉州沖5kmの海域にあって水深が16.5～19mと深く、更に海底には厚さ約20mに達する軟弱な沖積粘土層が堆積しており、きびしい施工条件となっている。空港島護岸の約7割の構造は緩傾斜石積護岸となっており、この施工断面の約60%は山砂投入により盛土を形成するものである。この工種では大量急速施工を実現するために作業船として、大型の底開バージを使用した。底開バージはこれまで埋立工事ではよく用いられているが、護岸本体の築造工事で用いられた例はあまりない。ここでは、関西国際空港B2護岸施工で行った底開バージによる盛土工の施工管理について紹介する。

2. 盛土の施工

(1) 工事概要

B2護岸は図-1に示すように空港島建設の第一期計画の内、大阪湾岸と平行な陸寄りの緩傾斜石積護岸である。法線延長は2606mで3ヶ所の開口部（埋立工事作業船通航用）と航空保安施設設置のための異形部を含んでいる。施工順序は図-2、及び図-3に示すように層厚1.5m程度のサンド・マットを敷設し、地盤改良としてサンド・ドレーン（SD）を打設した後層厚6.3mの盛砂①を法勾配1:7で投入する。その後安定上、圧密期間を考慮しながら順次捨石、及び盛砂を投入し、上部工を施工して完了することになっている。

尚、開口部については盛砂②まで施工し-6.0及び、-8.0mの航路としている。

(2) 盛土施工の課題点

大量急速施工であるため盛土工では、従来工事と同様にガット船によって施工した場合、工程上支障があった。また、作業船隻数が増大して安全上の問題もあることから、底開バージを使用することにしたが、施工に当たって以下のような問題があった。

- ① 盛砂①の施工中には強度の増加がほとんど見込めない。このため、斜面の安定上、施工中に急な法勾配になってはならない。
- ② 日当り施工量が多く出来形管理、及び安定管理上頻繁に深浅測量結果が必要となる。また、バージ誘導のための設標が頻繁かつ大量に必要となる。
- ③ 施工中に大きな沈下が生じる状況で、設計層厚を確保しなければならない。

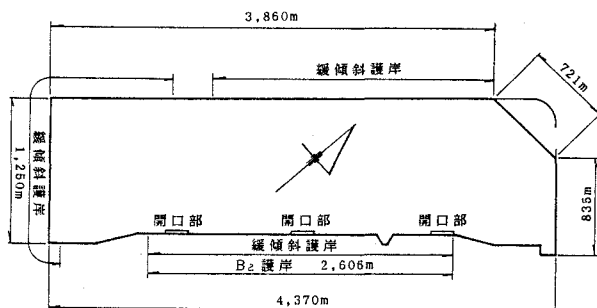


図-1 全体平面図

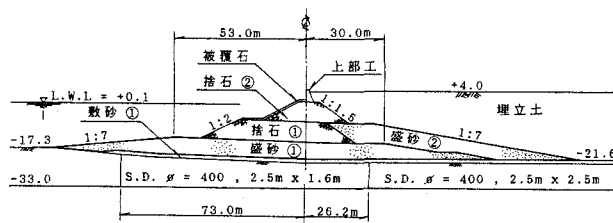


図-2 B2護岸標準断面図

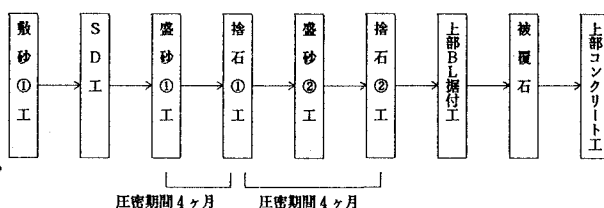


図-3 施工フロー図

(3) 主要作業船

盛土工の土砂投入においては、主要作業船として底開バージを用いた。図-4に底開バージと、プッシャーの側面図を示す。底開バージは底部が油圧によって開閉することができる船体両サイドにフローターを取り付けた非自航式のバージ（土運船）である。このバージはこれと対になるプッシャー（押船）によって操船され、土砂積込場で船体形状に応じて、1000~6000m³の土砂を積載して投入予定位置まで航行しすみやかに投下することができる。また、このバージは船体形状によって数が異なるが、船倉がいくつかに仕切られ、各部の底部ハッチを別々に開閉することができ、更に左右のハッチを別々に開閉できる構造になっている。

尚、沈下板回りについてはガット船を用いた。

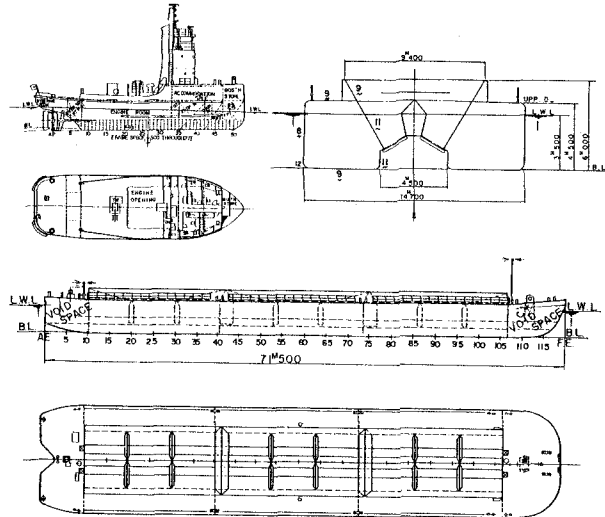


図-4 使用作業船
(プッシャー・底開バージ)

3. 盛土の施工管理

(1) 投入管理の位置づけ

盛土工の底開バージによる実施は土砂の投入である。そこで、投入の方法と位置を決定すること、すなわち投入管理が管理の中心となる。ここで、工事管理全体の中での投入管理の役割と、他の管理項目との関係について見ることにする。空港島建設工事の事前調査によれば工事管理面において、種々の問題が発生することがわかった。またこれに対処するために工事管理を機能面から分析し、システム化することが考えられた。この分析結果の概要を図-5に示す。これによれば工事管理は関連し合う6つの機能システムで構成されている。この内中心となるシステムは意志決定レベルの高い管理を行う工程管理システムと、施工を直接管理する作業管理システムである。また船舶機械管理や沈下安定管理といった専門的な分野の管理は独立したシステムが対応し、これらのスタッフ的なシステムが中心となるシステムをサポートする形となっている。この構成を実施状況をふまえて、工種を盛土工に限定して、投入管理の周辺について、ブレイクダウンすると図-6の様になる。

ここでは、投入管理は作業管理システムの中にある出来形管理機能の一部としてに位置づけている。投入管理は同じく出来形管理上の深浅測量に必要情報の提供を指示し、深浅測量結果を受け取ったり、工程管理機能より進捗面の指示を受け、これに対して投入計画を立てて実行可能性を検討している。また、他の管理システムとの関係では船舶機械管理システムに対して使用船等について指示し配船予定を受け取っている他、深浅測量結果、及び沈下計測結果等から技術的な検討を適宜行っている沈下安定管理システムから沈下、及び安定検討結果を受け取っている。このように、投入管理は他の管理項目と多くの情報をやりとりしながら実施である土砂の投入を指示している。

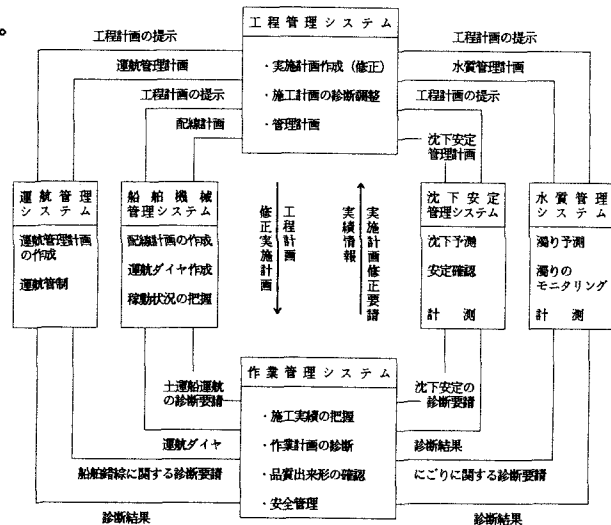


図-5 工事管理システムの構成

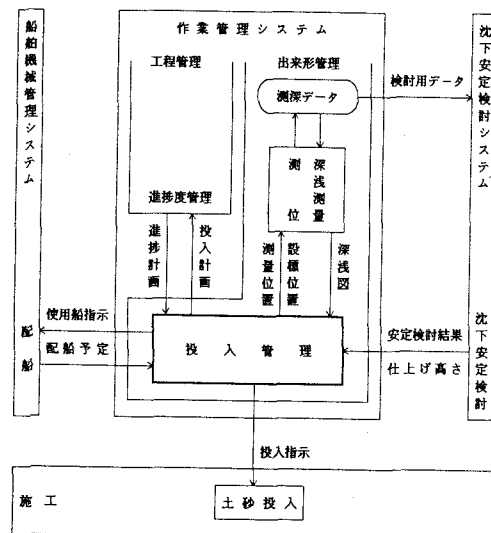


図-6 投入管理を中心とした関連

(2) 投入管理のプロセス

投入管理の目的は、設計層厚（天端高）を確保して、出来形を設計どおりに仕上げるだけでなく、盛砂工施工中の法勾配を1：7程度に保ちながら斜面の安定と急速施工を両立させることでもある。従って図-7に示すように機能の流れはこれにそって作業計画レベルで全体の投入計画を立て、安定面の検討結果をふまえて施工方法、及び施工手順を決める。また、日々の管理レベルでは施工前日に入場作業船一船ごとに投入位置を決めておき、現地で状況に合わせて調整して、バースを誘導、投入指示する。投入後測量して深淺測量結果をもとに出来形、及び安定面のチェックを行い問題がある場合は対応策を検討し実施するようになっている。また測量結果は翌日の投入位置を検討するためのデータとしても用いる、というサイクルで管理を行なっている。

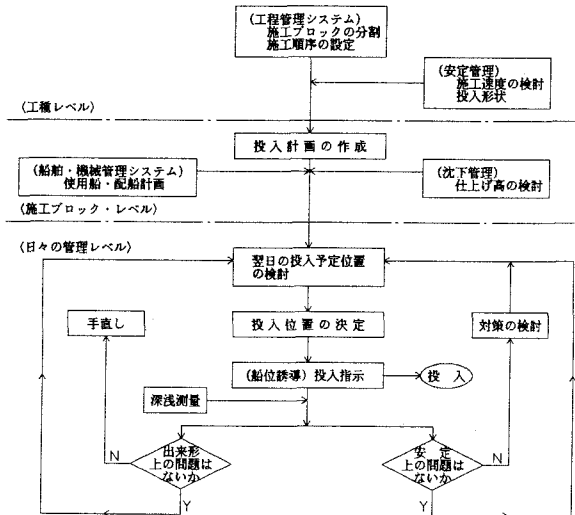


図-7 投入管理プロセス

(3) 測位・深淺測量方式

海中構造物の出来形確認のための測量は、船によって測位と同時に潮位が常に変化する状況下で深淺測量を行なうため（ x, y, z, t ）データとして測量点位置、水深、計測時刻をセットにする必要がある。また、急施工であるため測量結果を即座に処理して施工に情報をフィードバックする必要がある。このため測位システムを中に取り込める深淺測量システムでコンピュータ制御で、データ収集から提出図面作成までを機械処理できる方式を導入した。この方式での処理とデータの流れを図-8に示す。測量は船上でフロピーディスク（FD）に測位、水深データを取り込む外業と、事務所内で水深データを補正し管理資料（深淺図）を出力する内業に大きく分けられる。測量船には音響測深機の送受波機と電波測位機の主局アンテナが同一鉛直線上に取りつけられ、陸上に設置した複数の従局と主局間を電波測距して瞬時に主局の位置を計算、出力する。また、あらかじめ測量しようとする測線の座標を入力しておき操船者の前にこの測線からのずれが表示され船を誘導するようになっている。このように測位システムが稼働している状態で測深すべき位置に船が誘導されて来た時、同時に深淺測量システムを稼働させれば測量位置と船体の動揺を補正した水深が、アナログ及びデジタルの生データとして採取される。外業終了後船上で航跡図を出力し、実測線をチェックして問題が無ければFDを持ち帰り内業に移る。内業は全てコンピューターによって処理されるが、まず潮位補正と音測補正を行うことによって生データを標高に変換する。ここで、深淺測量データと、測位データを、計測時刻データを介して結合させて、1つのデータファイルとし、これによって航路にそった深淺図を出力できる。更に実際の測量位置を測線の格子に合わせる格子補完を行って提出用の深淺図を出力する。また、この方式では測位システムだけをを用いて設標等にも利用できる。

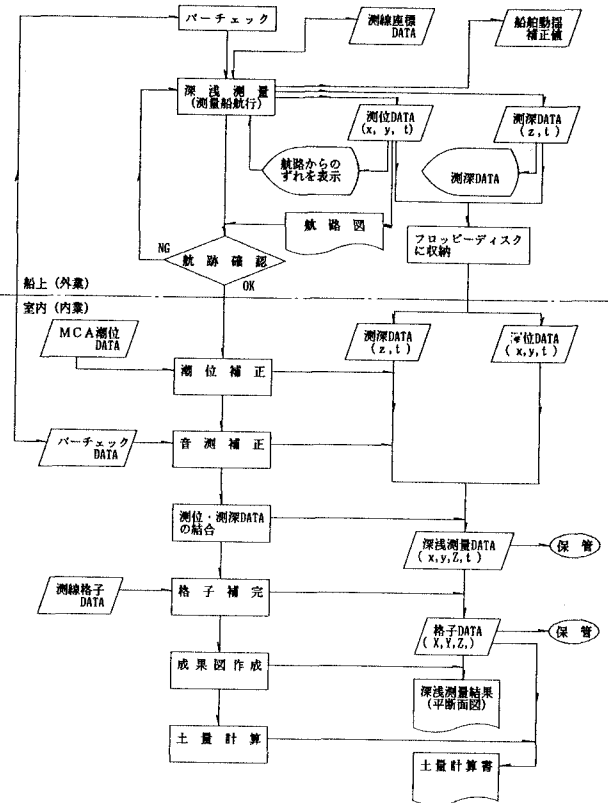


図-8 深淺測量の処理・データの流れ

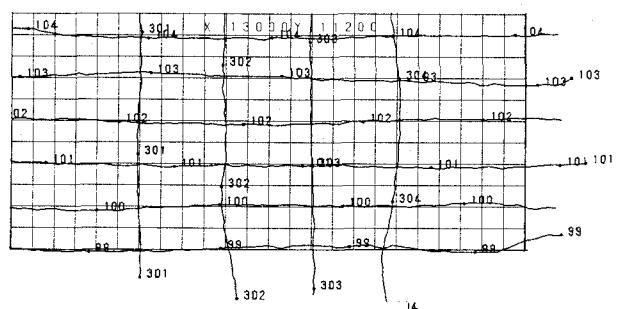


図-9 航跡図の出力例

4. 施工管理状況

(1) 投入計画

投入管理のプロセスに従って、施工開始に先だち、土砂の納入可能数量とそれに伴う進捗状況を検討し、更に盛土の層厚管理に必要な実測沈下データの必要量についても検討し、以下の基本的な計画をたてた。

- ① 原則として和歌山側から片押しで施工し1ブロック 200mで管理する。
- ② 当初計画では沈下板は約 500mピッチで設置することになっていたが、施工開始位置近くでは沈下の傾向をつかむために、更に密なピッチ(200m)で設置する。(図-10 参照)
- ③ 主に底開バージを使用し、沈下板回り、及びバージ投入で不陸が生じた場所ではガット船を用いて施工する。

設計検討では、事前までのボーリング調査の結果から土質定数を表-1に示すように設定し、図-11のように仮定した荷重履歴によって、沈下による形状変形と地盤の強度増加を加味して各施工ステップごとの安定計算を行っている。その結果によれば、表-2に示すように最初の施工ステップである盛砂①施工完了時では安全率が約1.2で最も危険であった。このため盛砂①に対して施工に先立って安定計算のシミュレーションを行い、その結果以下のことがわかった。

- ① 急速に設計層厚まで施工した場合、安全率は1.2を割り込み危険な状態となる。
- ② 層厚が4m程度以上になった場合、設計法勾配である1:7以上の勾配では滑り破壊を起す可能性が生じる。
- ③ 層厚が10m程度になった場合でも1:7の法勾配で緩速に施工すれば滑り破壊は生じない。

これらをふまえ、盛土形状を考慮して、バージの投入位置を決める指針として、以下のような計画を立てた。

- ① 施工は3層に分けて段階施工し、天端仕上げまでに1ヶ月程度の時間をかける。(図-12 参照)
- ② 各3層の施工の段階で、勾配は断面方向を1:7とし延長方向はそれより緩やかにする。
- ③ バージは法線直角方向に向けて投入することを基本とし、不陸が生じた場合は状況に応じて法線平行投入も行う。
- ④ 各断面において、両法尻部から投入し、法部を設計に合わせて、形成した後天端部を施工する。
- ⑤ 砂工は、層厚管理となっているが、実際に深浅測量によって把握できるのは天端高である。このためブロックごとに、沈下板の沈下計測値を基に短期的に仕上げまでの沈下量を予測し、天端高さで管理して施工する。

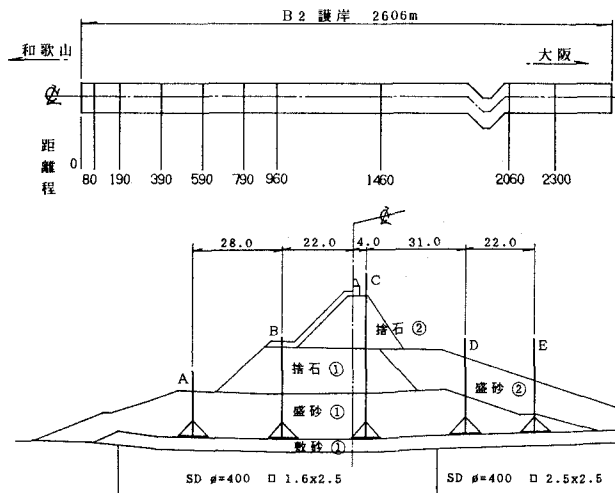


図-10 沈下板設置位置

表-1 土質定数

	単位体積重量(t/m³)		粘着力 (t/m²)	内部 摩擦角 (deg)	体積圧縮 係数 (cm/kgf)	圧密係数 (cm²/day)
	γ	γ'				
捨 石	1.8	1.0	0	40°	—	—
盛 土	1.8	1.0	0	30°	—	—
原地盤	-17.6~-28.0	1.45	0.45	0.2 Z	0.18 P ^{-0.6}	90
	-28.0~-32.7	1.55	0.55	"	"	"

(C.D.L.)

Z: 深度 (m) Z=0 at G.L.
P: 平均圧密応力 (kgf/cm²)

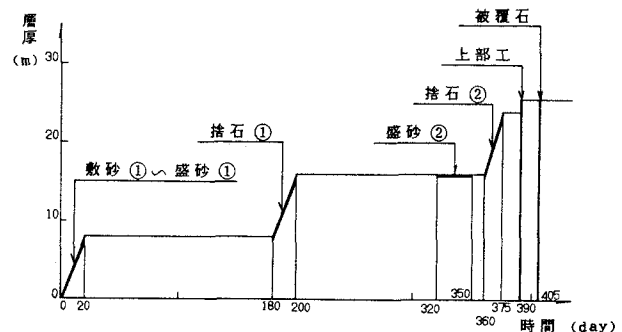


図-11 設計計算用荷重履歴

表-2 施工段階での設計安全率

検 査 項 目	円形すべりの安全率		
	前 面 側	背 面 側	
盛 砂 ①	1.22 ≥ 1.2	1.33 ≥ 1.3	Sfa = 1.2
捨 石 ①	1.58 ≥ 1.3	1.55 ≥ 1.3	
盛 砂 ②	—	1.60 ≥ 1.3	Sfa = 1.3
捨 石 ②	1.56 ≥ 1.3	1.63 ≥ 1.3	
被覆石及び上部工	1.40 ≥ 1.3	1.56 ≥ 1.3	

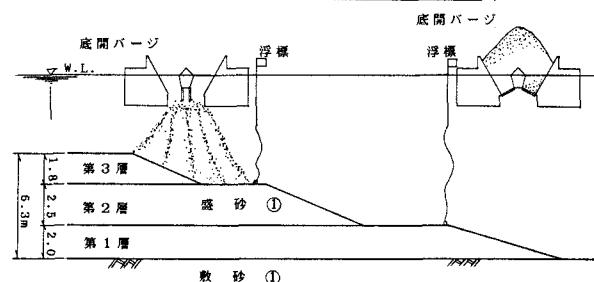


図-12 段階施工状況

(2) 日々の管理

土砂投入位置を決定するためには、土砂を堆積すべき位置を知るだけでなく、投入後の堆積形状が条件によってどのように変化するかをあらかじめ知っておく必要がある。盛土形状が変化する要因はおおむね以下の様である。

① 水深（深い程全体的に拡散し層厚が薄くなる）

1500~2000㎡バージの場合、

水深 15 m —— 層厚 0.5m

“ 10 m —— “ 0.7m

“ 6 m —— “ 1.0m

② バージから土砂が落ちるのに要する時間（早い程拡散する）

③ 潮流速度（早い程流れの方向にずれる）

④ 積込土砂量（多い程盛土層厚は厚くなる）

⑤ 土質（シルト分は潮流の影響を受け、礫分が多い程拡散が少ない）

⑥ バージの種類（構造の微妙な違いによってバージから落ちるのに要する時間が異なる）

⑦ バージの向き（縦方向より横方向に拡散する）

⑧ 土砂載積からの経過時間（ある程度以上長くなるとバージから落ちる時間が早くなる。）

⑨ 投入中のバージの速度（バージが移動していれば速度に応じて移動方向への拡散を生じる）

⑩ 地盤に不陸がある位置に投入した場合凸凹が更に大きくなるように堆積する。

1 船当たり1000~3000㎡と積載量が多く、これら傾向としての要因が絡み合い、最盛期には日当たり2万㎡を投入する工程となっていることから図-13に示す作業を繰り返した。投入は1・2層施工の粗投入の場合と仕上げを行う場合に大きく分けられるが、いずれの場合でもあらかじめバージ1船ごとの投入位を決め、複数の浮標を設置した。現場では浮標によって平面的な位置を確

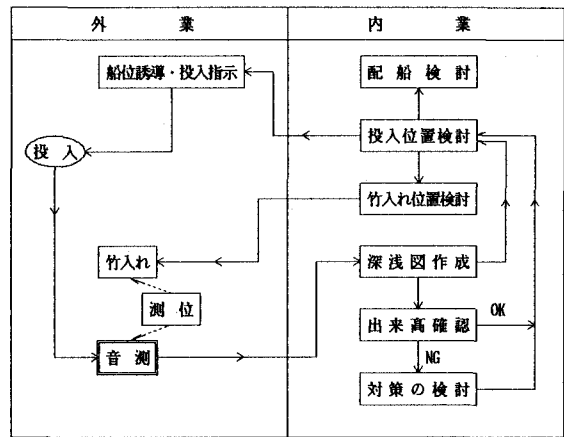


図-13 日々の業務の流れ

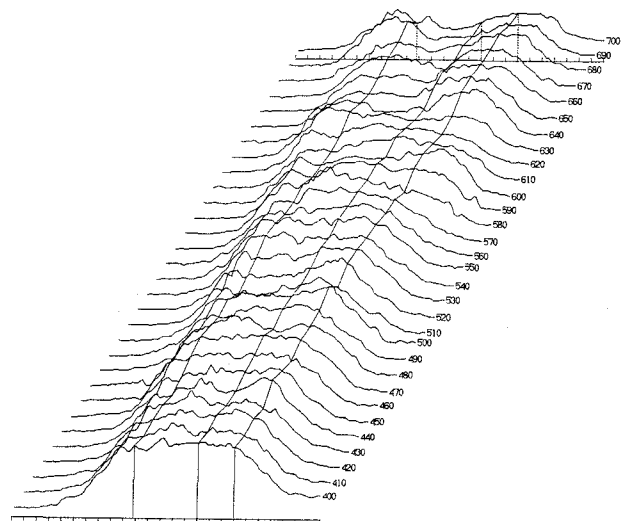


図-15 鳥瞰図出力例

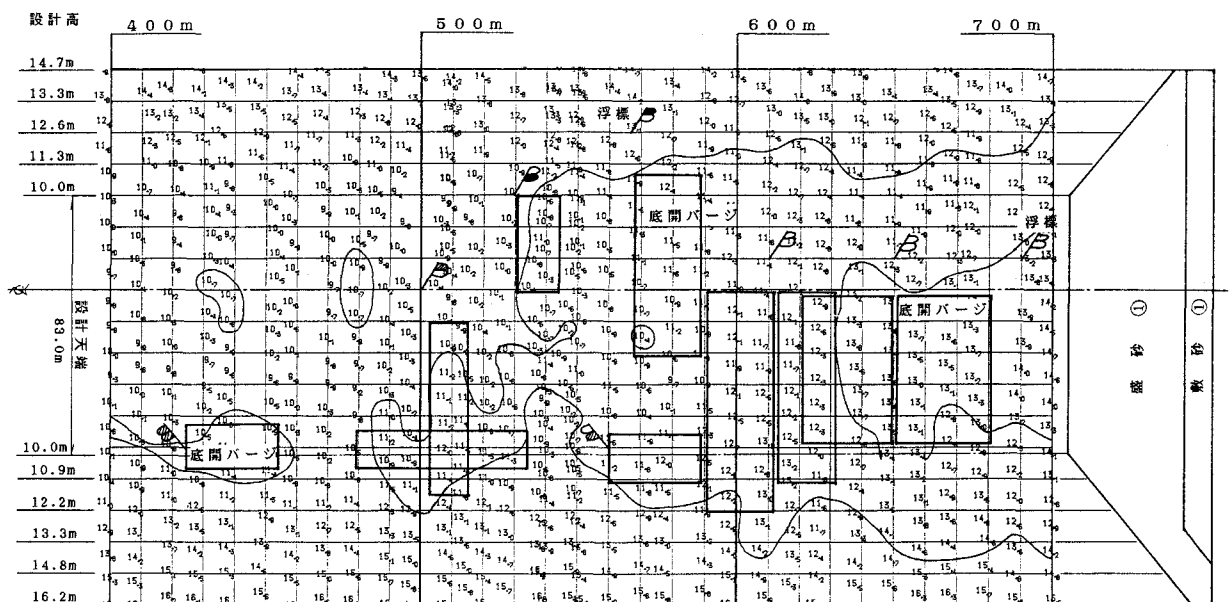


図-14 投入位置検討例

認し、船上のジャイロコンパスで船の向きを調整しながら潮の流れにそってバージを投入位置へ誘導した。投入位置の検討、及びその時点の鳥瞰図の例をを図-14、15に示す。

粗投入の場合には、安定面の配慮から、法部から盛土を形成するようにバージの全ハッチを同時に開いて施工した当工区の場合、土砂の採取場が限定され、比較的均質の土砂が用いられ、水深も深かったことから1:7勾配の法面は法線直角方向の投入によって無理なく形成できた。このため安定面での法勾配のチェックは出来形管理に吸収される形となった。天端仕上げの場合には、仕上げ間近かの段階から検査基準高に留意して投入していたため、天端面に生じた窪みをフラットにすることが主な作業となった。あらかじめできるだけ天端部をフラットにしておき、まず粗投入時に把握した各バージごとの投入後の形状の特性を基にバージを選定する。次に、投入位置での必要土量、必要層厚を検討し、全ハッチ同時に投入、1ハッチでの投入、1ハッチの片側だけの投入のいずれの投入方法を用いるかを決めて、積載量を山元と内合わせ、設標位置を測量担当者に指示した。これらの検討の結果、底開バージで仕上げるのが無理と判断された場合には、ガット船による施工に切り変えた。仕上げには1000~1500 m^3 積の小型のバージを用いて各ハッチごとに開閉できる機能をフルに利用すると共に、水深が深いためできるだけ潮止りに投入した。同一断面での施工履歴の状況の例を図-16に示す。

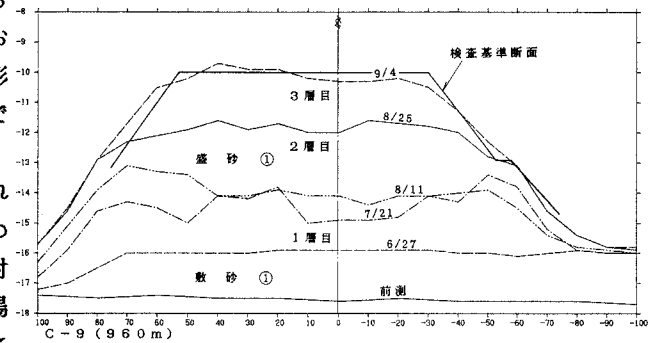


図-16 実施工履歴断面図

(3) 施工管理の結果

盛砂①だけが載荷された沈下板の計測結果を図-17に示す。これによれば、護岸の延長方向で沈下量にばらつきを生じていることがわかる。また、各断面では施工履歴が異なるため、天端仕上げを行うまでに1.0~1.5mの範囲で沈下した。このため天端の基準高さを何度か変更したが、チェックボーリングを実施した結果、設計層厚がよく確保されており、図-18に示すように強度の発現もほぼ設計どおりであることが確かめられた。

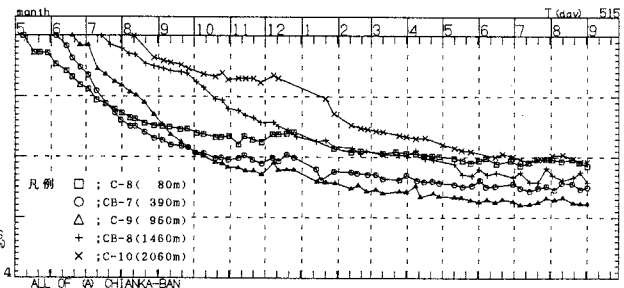


図-17 盛砂①の載荷による実測沈下

5. まとめ

底開バージによる盛土工の管理の中心は投入管理であり、関空護岸工事では大量急速施工を実施したため出来形、及び安定面でいくつかの問題があった。そこで、

- ① 管理項目の関係を把握し投入管理をサポートする体制をとった。
- ② 事前検討結果をもとに投入画を検討し、管理サイクルに従って施工した。
- ③ 迅速な処理が可能な深浅測量システムを導入した。

これらのシステムで対応し、また1:7の設計法勾配は水深との関係もあり、バージの直投によって比較的作り易いものであったため、施工をスムーズに完了することができた。また、ここで上げた管理方法では

- ① 投入盛土形状と4.(2)に示する要因について定量的な検討を行わずに施工している。
- ② 測位システムは設標に利用され、直接、バージの誘導までには至っていない。

となっており、今後の課題となっている。

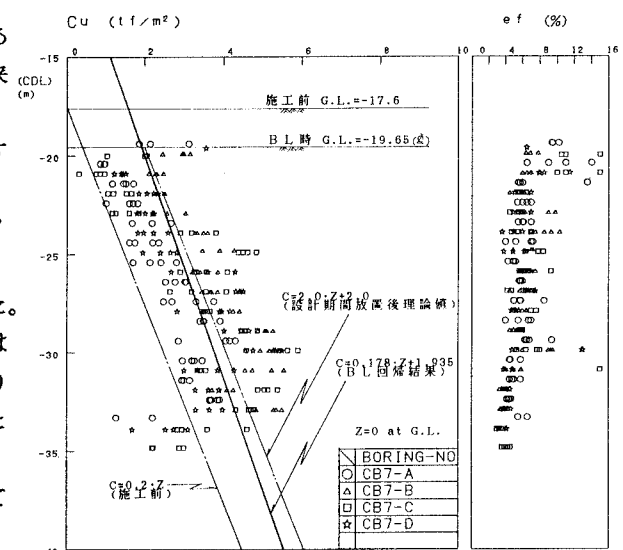


図-18 一軸圧縮試験結果
(盛砂①施工終了後2ヶ月経過時点)