

# 情報化施工を活用した低置換率改良地盤上におけるケーソン式岸壁の築造

## The System of Intelligent Construction of Caisson Breakwater on the Low Improved Ground

足立雅樹\*・北詰昌樹\*\*・渡邊 孝\*\*\*

ADACHI Masaki, KITAZUME Masaki and WATANABE Takashi

\* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

\*\* (独) 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 地盤改良研究室 室長

\*\*\* 国土交通省 東北地方整備局 仙台港湾空港技術調査事務所 設計室 前任建設管理官

In order to realize the cost reduction of a caisson type quay wall, the foundation ground under it is designed as low improvement. Because deformations of the improved ground are unavoidable to some extent in the case of the low improvement, deformation prediction analysis by FEM and dynamic observation are jointly used in the actual construction works. It is called as “the intelligent construction”. The present paper describes the outline of the intelligent construction which enables to construct the safe and economical caisson type quay walls with low improved ground.

Key Words: low improvement, caisson breakwater, the system of intelligent construction

### 1. はじめに

本工事は、コスト削減を目指して低改良とした基礎地盤上にケーソン式岸壁を築造しその背面を埋め立てるものである。低改良の場合、ある程度の地盤変形が生ずることから、本工事に際しては、FEMによる変形予測解析や動態観測を併用して地盤挙動の分析評価を行う情報化施工を行い完了した。

本論文では、平成17年3月に無事完了した本工事について情報化施工結果を中心に報告する。

### 2. 地盤条件及び標準断面

当該地盤は KP(北上川基準面)-60mの基盤上に厚く粘土層が堆積している。KP-30mまでの上部沖積粘土層 (Ac1) は圧縮性が高く、KP-30m~60mまでの下部沖積粘土層 (Ac2) は部分的に砂層が挟在する過圧密な粘土である。図-1に地盤物性値を示す。ばらつきはみられるものの、KP-30m付近で明らかに物性値が異なっていることが分かる。

本ケーソン式岸壁の標準断面図および土質柱状図を図-2に示す。前面水深は13mであり、ケーソン、基礎割石、裏込割石、SCP改良体で構成され、改良範囲及び改良率をおさえた改良断面となっている。KP-18m~30mは SCP改良率  $as=75\%$ 、KP-30m~45mは SCP改良率  $as=25\%$ とし、それ以深は未改良となっている。背面の埋立地盤は裏込割石直下を除いて、KP-30mまでバーチカルドレーン工法による圧密促進対策が実施されている。

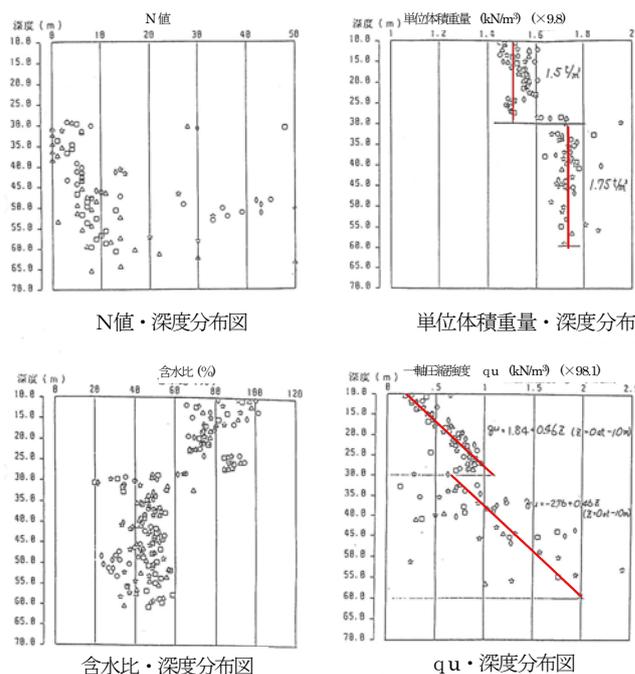


図-1 地盤物性値

### 3. 情報化施工のための計測内容

本工事では、情報化施工に備えて地盤挙動および岸壁全体の挙動を適切に把握するため計測機器を配置した。表-1に計測内容を、図-2に計測機器の配置を示す。具体的には、背面地盤の沈下挙動を見るために、岸壁法線から16mと30mに層別沈下計、岸壁法線から45m、60mに沈下板を、地盤の水平変位を見るために岸壁法線から16

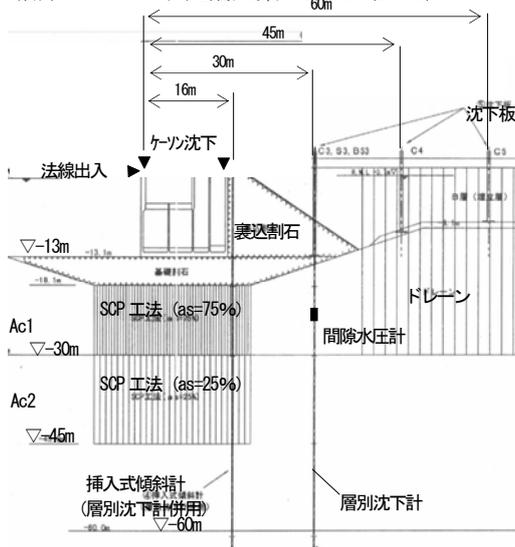


図-2 標準断面図と土質柱状図

表-1 計測内容及び計測方法

計測内容	計測方法	計測位置
背面地盤の沈下	層別沈下計	法線から 16m 及び 30m
	沈下板	法線から 45m 及び 60m
地盤の水平変位	挿入式傾斜計	法線から 16m (函体背面から 1m 離れ)
ケーソン函体挙動	水準測量	函体の前面側と背面側
	基準点測量	法線方向出入り
間隙水圧	間隙水圧計	法線から 30m Ac1 層中心 1 箇所計測

表-2 工事工程と動態観測の概要

	平成 13 年度	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度
工事工程	裏込 1 次埋立		2 次埋立	3 次埋立 竣工
変形の動静予想	変形が大きい時期		変形が小さい時期	変形が大きい時期
観測方法	ケーソン計測 (水準測量, 法線方向出入) 挿入式傾斜計, 沈下板, 層別沈下計		ケーソン計測 (水準測量, 法線方向出入) 挿入式傾斜計, 沈下板, 層別沈下計 間隙水圧計	
計測頻度	2回/月		1回/月	8回/月
施工管理及び情報化施工	標高管理による施工管理		管理図による安定管理を実施 層管理による施工管理	

mに挿入式傾斜計を設置した。また、岸壁の安定性評価及び地盤の残留沈下検討の目的で、岸壁法線から 30mの位置で裏込割石下の未改良粘土の中央部に間隙水圧計を設置した。

#### 4. 工事工程と動態観測

平成 10 年度に検討対象断面のケーソン函体を据付け、その後、平成 13 年から裏込工に着手した。主な工事の概

略工程は、表-2 に示す通りである。背面の埋立造成工事は裏込工完了後、1 次埋立 (バージ船直投) 及び 2 次埋立 (ダンプ直投) を実施し、その後、陸上からドレーンを打設した後、最終の 3 次埋立工事を実施した。

事前の変形予測解析によると、バーチカルドレーン打設～3 次埋立の段階においては、急速に沈下が進行するとともに、岸壁の安定性が急激に変化する時期であると予測されており、安定管理上特に慎重な対応を要する期間であった。そこで、安定管理図による管理手法や管理体制の整備等について、事前に観測・設計及び工事の各関係者間で協議し、情報化施工のシステム構築を行った。

#### 5. 解析手法及び解析結果

変形予測解析では、2次元 FEM 解析プログラム (修正 Cam-clay モデル) を用いて検討を行った。ここでは、粘土の圧縮特性や排水条件など様々な地盤のばらつき幅を見込んで検討を進めることとした。その結果、膨潤指数  $\kappa$  を、図-3 に示す圧密試験結果を参考にして地盤のばらつき幅の指標として定めた ( $\kappa=1/5\lambda\sim 1/20\lambda$  の範囲でケーススタディ実施)。なお、解析に用いた定数の一例として  $\kappa=1/10\lambda$  の場合を表-3 に示す。また、この変形予測解析結果の一例を図-4 に示す。

図-5 に、岸壁法線から 30m と 45m 地点における沈下量の経時変化を、実測値はプロットで、解析による予測値 (以下、解析値) は細線 (上:  $\kappa=1/20\lambda$  および下:  $1/5\lambda$ ) で示す。また、図-6 に、岸壁法線から 16m の地点における水平変位の深度分布を示す。図-7 の変形模式図に示すように海側を前面側としており、左図が実測値、右図が解析値である。解析値はやや大きめの値となっているが

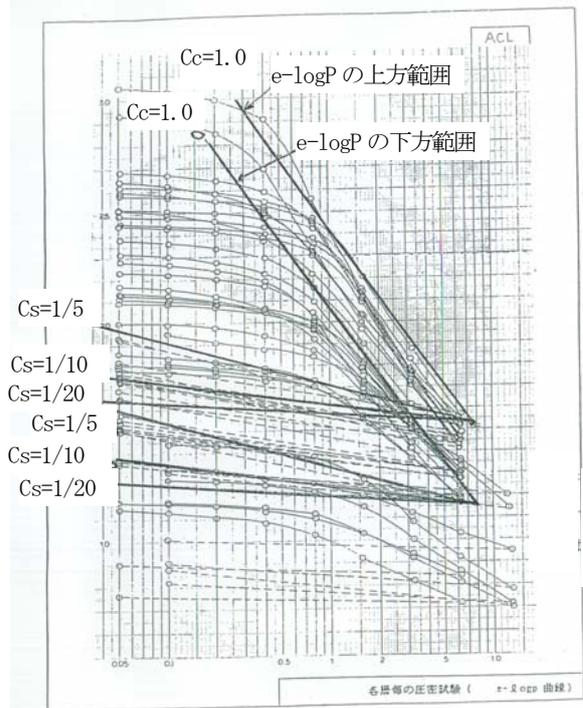


図-3 圧密沈下曲線

表-3 解析地盤定数

	圧縮指数 $\lambda$	間隙比 $e_0$	Pc・P0 (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
Ac1	0.521	2.2	0	0.33
Ac2	0.304	1.2	70	0.33
SCP as=75%	0.130	2.2	0	0.33
SCP as=25%	0.213	1.2	70	0.33

$\lambda = 0.434C_c$ ,  $\kappa = 1/10\lambda$ , Pc・P0: 粘土の過圧密応力を示す。

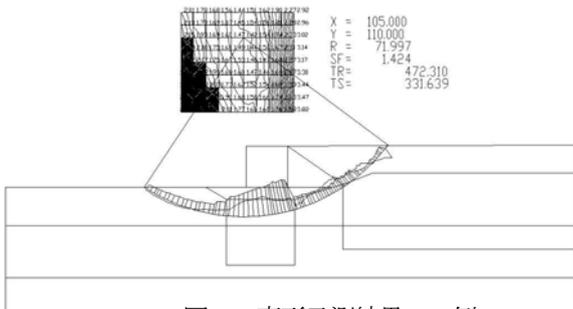
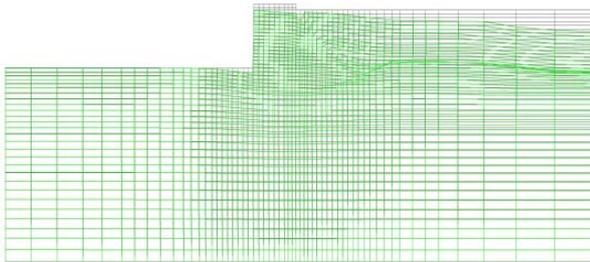


図-4 変形予測結果の一例

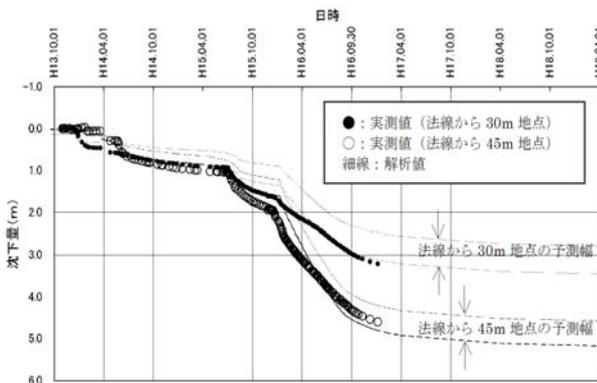


図-5 沈下量の径時変化

実測値の傾向を概ね適切に予測しているものと思われる。また、図-6 からドレーン打設後、3次埋立において、埋立荷重増大により地表面が急激に背面側に変位していることが分かる。

図-8 は、円弧すべり安全率(予測値)の経時変化を示している。ドレーン打設～3次埋立において、ドレーン打設直後に急激に安全率の低下が生じ、3次埋立が完了した時点で最小安全率となっている。粘土に大きなせん断

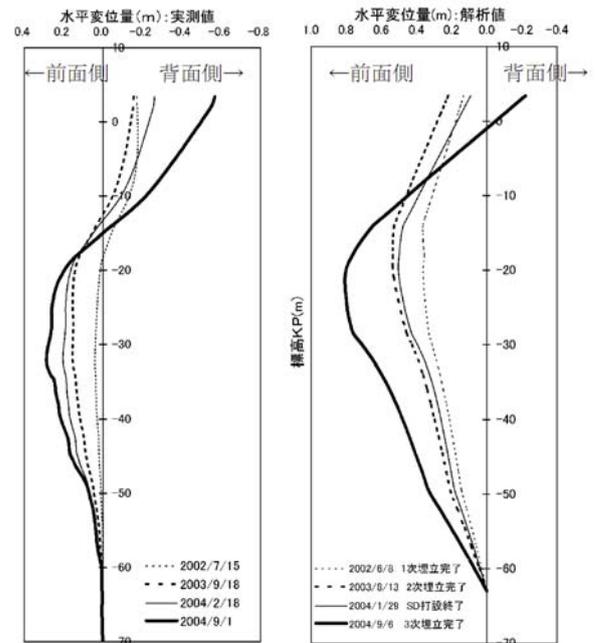


図-6 水平変位の径時変化(護岸法線から16m)

変形が生じた場合、粘土の強度低下が発生することを考慮して、残留強度を100%～0%として円弧すべり解析を行い、安定性の確認を行った。ここで、残留強度が0%とは残留強度≒0%のことである。3次埋立完了後は圧密進行による地盤の強度増加により、徐々に安全率が回復すると予想された。

## 6. 施工管理と情報化施工

3次埋立においては層厚管理による緩速盛土施工を実施することにより、大きな荷重が局所的な载荷されることによって岸壁に悪影響を与えないよう配慮した。そこで変形予測結果に基づいて、安定上問題とならない40cm/2週間の施工速度で3次埋立を実施することとした。盛土施工直後は地盤の変形を適切に評価できるように、週3回の動態観測による管理体制の下で情報化施工を実施した。

## 7. 安定管理手法

本工事では、陸上盛土工事の安定管理手法<sup>1)</sup>を参考として、安定管理図を作成した。各管理図に用いた変位量は、図-7の変形模式図に示すように、水平変位 $\delta$ は、地中部の最大水平変位(海側へ変形)と地表部分の最大水平変位(陸側へ変形)の差として評価し、沈下量 $S$ は、岸壁法線から30m地点の沈下量に着目した。図-9～11に示す管理図には、計測値(図中●)を随時プロットして、解析値(太実線)と比較検討した。

工事中止の目安値となる管理基準値は変形予測解析の結果を参考にして、安定上問題とならない水平変位として日変化量2cm/日を限界値とした。日変化量1cm/日以

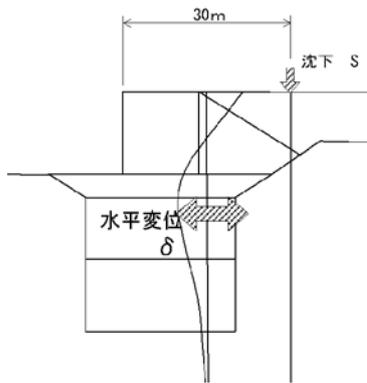


図-7 変形模式図

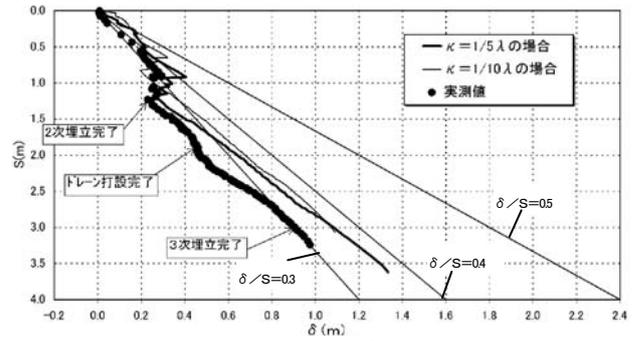


図-10 S ~ delta 管理図

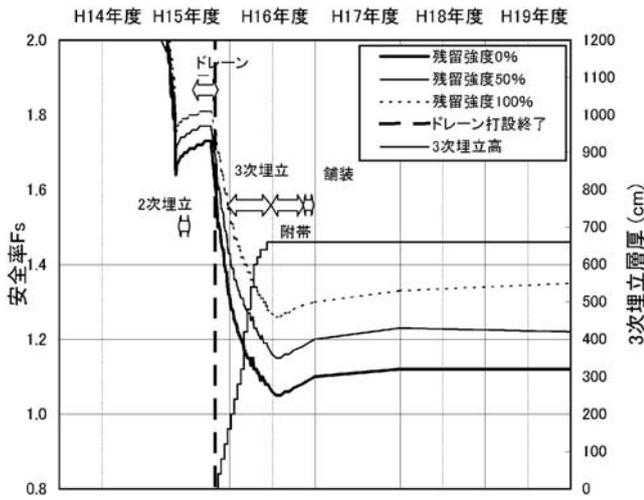


図-8 円弧すべり安全率の経時変化

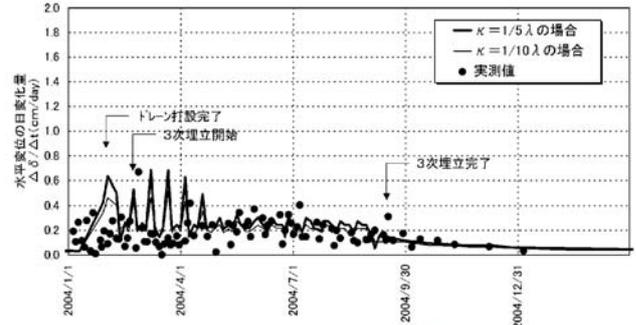


図-11  $\Delta \delta / \Delta t \sim t$  管理図

沈下が進行するとともに、地表面が背面側にひきずりこまれるような挙動を示した。

- 2) ドレーン打設～3次埋立完了までの期間は地盤の安全率が急激に低下しており、この期間中は動態観測を密に行う等の慎重な対応を要した。
- 3) 施工期間中の地盤挙動の計測値は、おおむね変形予測解析結果と同様な傾向を示す結果となり、変形を予測することが可能であった。3次埋立は最も危険な状態になると予測したため、40cm/2週間の緩速盛土施工とするとともに、日変位量を2cm/日とする管理基準を設けることで岸壁の安定性を確保した。
- 4) 今回のように、ある程度の変形を許容した構造物を構築する場合の安定管理には、地盤変形を考慮した安定解析が重要であると考えられる。

結果的に、変形予測解析を用いた安定解析ならびに動態観測による情報化施工を行うことにより、低置換率SCP改良地盤において安全かつ経済的なケーソン式岸壁を築造することができた。

下であれば、予測通りの挙動をしていると判断し、予定通りの緩速盛土施工を実施するものとした。

## 8. まとめ

上記の結果をまとめると以下の通りとなる。

- 1) FEM による変形予測解析は実測の地盤挙動の傾向と概ね一致する妥当な結果が得られた。変形の特徴はドレーン打設及び3次埋立以降、急激に背面地盤の

最後に、本報告は、宮城県および国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所が実施した情報化施工の概要を取りまとめたものである。多大なご協力をいただいた関係各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 実用軟弱地盤対策技術総覧編集：実用軟弱地盤対策技術総覧，産業技術サービスセンター，1281p.，1993.