

# UCISを用いたケーソン据付情報化施工について

神崎 稔\* 生島 俊昭\*  
中山 晋一\* 塩谷 宏一\*  
狭戸尾 秀一\* 真鍋 匠\*\*

## 要 旨

東京電力東通原子力発電所建設工事では、平成20年1月から3月の冬季期間中に放水口護岸のケーソン全7函を据付する工事が実施された。工事は、季節風による荒天状況下に36km離れた仮置き場から約10時間をかけてケーソンを曳航すること、さらには、曳航対象のケーソンが発電所運開後の放水口となる通路を有する異型形状であったため、曳航中に当該部分が浸水する可能性があるなど困難な施工になることが想定された。そこで本工事では、ケーソン曳航作業に無人化施工技術として開発されたUCISを用いて曳航中のケーソンの安定状態を伴走する作業船上からリアルタイムに観測し、函内への浸水の状況が確認された場合には遠隔操作で排水する工法を採用した。これにより、曳航中の動揺するケーソン上に人間が搭乗することなく、安全に浸水監視および排水を行うことが可能となり、ケーソン曳航作業の安全性を高めることができた。さらに、同技術を一連の据付作業にも適用し、特に、ケーソン据付や中詰投入管理の効率化ならびに安全性向上に有効であることを確認した。

## 1. はじめに

青森県下北郡東通村は太平洋に面しており、近隣の六ヶ所村に位置するむつ小川原港は、港湾共用係数ランク8に相当する国内有数の高波浪海域である。

東京電力株式会社はこの東通村に原子力発電所(1号機出力:138万kW改良型BWR、敷地面積:約450万m<sup>2</sup>)を新設することとなり、平成19年3月よりその準備工事に着手した。(工期約6年、**図-1**参照)

本稿で述べる工事はこの準備工事の一環として実施される港湾工事のうち、発電所専用港湾の重要構造の一つである放水口護岸を構築するためのものであり、発電所運用開始後には温排水(冷却水量92m<sup>3</sup>/s)の放水口として供用される有孔函ケーソン4函を含む全7函のケーソンを基礎捨石マウンド上に据え付けするものである(**図-2**参照)。

ただし、施工の対象となる放水口護岸は、建設コストの削減のため採用された新形式の堤体(半没水型上部斜面堤)であること、また、護岸中央に位置するケーソンには放水口となる通路に浸水の危険性があるなどの構造的条件がある。さらに、36km離れたむつ小川原港内の仮置き場所から海象条件の厳しい冬季季節風下に約10時間をかけてケーソンを曳航する必要があるなどの施工的条件により、通常のケーソン据付よりも高度な技術と安全対策が求められると判断されたため、UCIS(ケーソン無人化据付システム)による情報化施工を適用することとなった。

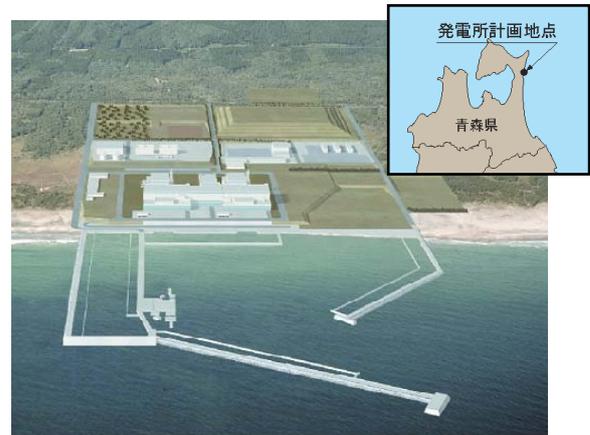


図-1 東電東通原子力発電所専用港湾平面計画図

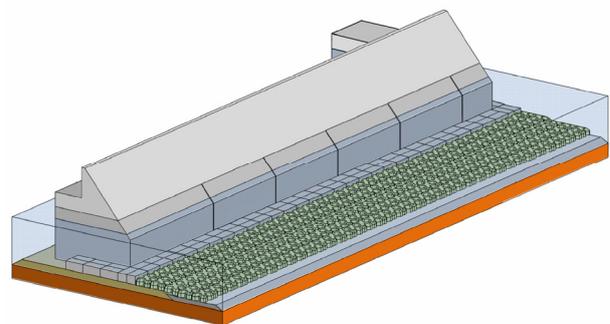


図-2 放水口護岸構造図(半没水型上部斜面堤)

\*東北支店 東電東通原子力工事事務所

\*\*本社 土木本部機械部

## 2. 工事概要

### 2.1 放水口護岸の構造

東電東通原子力発電所専用港湾の放水口護岸はケーソン式混成堤であり、発電で使用した温排水を放流するための通路が函体中央部に3列組み込まれた有孔函ケーソンと、他の矩形函などを加えた全7函のケーソンにて構成される。また、堤体の断面構造には建設コスト縮減を図るための新形式防波堤(半没水型上部斜面堤)が採用されている。一般的な防波堤は、波力を受ける堤外側の堤体面が鉛直であり、波力を全て受け止める断面構造であるが、新形式防波堤では、堤外側の堤体面上部を斜面にすることで、水平波力を低減し鉛直下向き波力を得ることができると、ケーソン断面の縮小による建設コストの縮減が可能となる。

図-3に放水口護岸の断面図を示す。

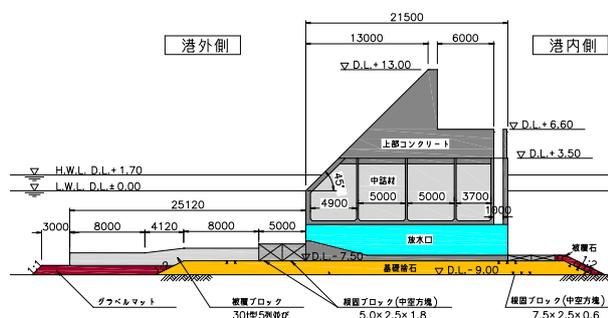


図-3 放水口護岸断面図

### 2.2 放水口護岸の施工条件

放水口護岸の施工は、ケーソンが異型(斜面形状)であることに加え、通路を有するといった構造的な条件、さらには、ケーソンの据付時期が1月から3月の厳冬期となることから季節風の影響により曳航作業が困難となることが予想された。当ケーソンは建設地点より南約36kmに位置するむつ小川原港にて製作され仮置状態となっており、社給資材として引き渡された後に仮置マウンド上で曳航ならびに据付準備を行い、静穏日を待っての浮上となる。また、通路を有する4函のケーソンについては浮上時の安定性と据付に必要な吃水を確保するため、製作時に通路両側を鋼製止水蓋で止水する計画となっていたが、ケーソン進水ならびに仮置、浮上等の一連の作業において、通路についても注排水を繰り返すことから、“締付けボルトの緩み”や“止水パッキンの損傷”等による止水機能の低下が懸念された。

また、周辺海域は磯漁やイカ漁、サケ漁などの良好な漁場となっており、特に、ケーソン中詰め時には発生する濁りによる影響を低減させる必要があるなど環境影響上の配慮が必要となった。

以上、放水口護岸については通常のケーソン据付よりも高度な技術と安全対策を求められると判断し、UCIS(ケーソン

無人化据付システム)<sup>1)</sup>を用いた情報化施工を実施することを計画した。UCISは、高波浪地域によるケーソン据付作業の効率化ならびに作業安全性の向上を目的として五洋建設(株)が開発した技術であり、宮崎県宮崎港沖防波堤(2004年)を皮切りに、宮崎県細島港沖防波堤(2005年)、鹿児島県名瀬港沖防波堤(2007年)など外洋に面した波浪条件の厳しい海域における施工実績を有する。また、同技術は2006年に沿岸技術研究センターより港湾関連民間技術の確認審査・評価事業にて評価証を受け、2007年7月には国土技術開発賞を受賞している。

## 3. UCISを用いたケーソンの曳航管理

### 3.1 ケーソン曳航時リスクの評価

ケーソン曳航時のリスクとしては、有孔函ケーソンに設置された鋼製止水蓋の止水機能低下による通路への浸水を評価した。通路への浸水が発生した場合には、浮遊時のケーソンの安定性が損なわれる可能性があり、その場合にはケーソンの曳航や据付作業に支障をきたすこととなる。

浮遊時ケーソンの安定に対するリスクを以下に示す。

#### ①浮体としての安定性

ケーソン浮遊時の安定性は(1)式により判定する。

$$I/V - CG = GM \geq 0.05D_f \quad (1)$$

ここに、

V; 排水容積(m<sup>3</sup>)

I; 吃水面の長軸に対する断面2次モーメント(m<sup>4</sup>)

C; 浮心高(m)

G; 重心高(m)

M; 傾心高(m)

D<sub>f</sub>; ケーソン喫水(m)

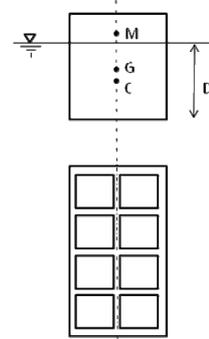


図-4 浮体安定検討の概念

#### ②ケーソン天端への波の遡上の有無

曳航中のケーソンに対して来襲する波浪は、ケーソン壁にぶつかり壁面を遡上する。当該ケーソンは前壁上部が斜面形状になっていることから、波浪の遡上高は(2)式により算定する。

$$R = 1.25 \times H \quad (2)$$

ここに、

R: 波浪の遡上高(m): 斜面壁を考慮

H: 来襲波浪(m)

以上、当該ケーソン曳航中のリスクとしては、止水蓋の機能低下による通水路への浸水の発生、さらには、ケーソン吃水の増加およびケーソンの傾斜に伴う乾舷の減少により、波浪がケーソン天端まで遡上することにある。ケーソン天端には鋼製の曳航蓋が設置されているものの、構造的には密閉構造でなく、遡上した水塊が隔室内に浸入する可能性があることから、ケーソンが曳航不能状態に陥った場合、大きな手戻りが発生する。

図-5に浸水によりケーソンが傾き曳航不能となる場合の概念を示す。また、表-1に浸水状態ごとのケーソン浮体安定計算結果を示す。

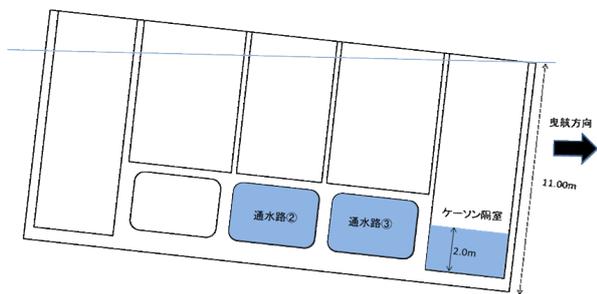


図-5 浸水により曳航不能となった場合のケーソン

表-1 浸水状態ごとのケーソン浮体安定

項目	記号	通常状態	通水路③/浸水	通水路②③および隔室内浸水
ケーソン形状	L×B×H (m)	24.8×21.5×11.0		
ケーソン重量	Wc (kN)	37057		
ケーソン内水重量	Ww (kN)	0	2909	7121
重心	G (m)	4.06	4.32	4.45
吃水	Df (m)	6.88	7.42	8.2
浮心	C (m)	3.44	3.71	4.1
排水量	V (m <sup>3</sup> )	3669	3957	4374
断面2次モーメント	I (m <sup>4</sup> )	20539	20539	一部没水
傾心	I/V (m)	5.6	5.19	一部没水
傾心高	GM=I/V-CG	OK	OK	NG

### 3.2 UCISを用いたケーソン曳航

本工事ではUCISの持つ函内水位の遠隔監視ならびに自動注排水機能を適用し、上述のケーソン曳航時のリスクを低減することを試みた。(関連内容にて特許出願中<sup>2)</sup>)

図-6にシステムの構成図を示す。システムは、水位センサ、データロガー、無線LANからなる計測部と発電機を始動し排水ポンプを作動させるPLC、リレーおよび無線LAN等からなる無線制御部を組み合わせたケーソン上の設備ならびにケーソンに伴走する作業船上に設置された遠隔監視操作室により構成される。その主な機能について以下に示す。

#### ①浸水監視

曳航中のケーソン隔室内の浸水を監視するための水位セ

ンサをケーソン隔室内に設置する。計測したデータをデータロガーでスキミングして、無線により伴走する作業船上操作室に伝送し、パソコン画面に表示する(図-7参照)。

#### ②遠隔操作による排水

漏水による貯水量が予め設定した量以上溜まった場合、遠隔監視操作室内のパソコンがアラーム音を発し、監視員に知らせる。さらに、アラーム音が会話用無線機で送信され、無線制御盤内の音感センサが反応して発電機が始動し、浸水箇所に該当する排水ポンプが作動する。また、排水が終了すると水位センサの計測値がゼロとなり、PLCからの指令により排水ポンプが停止する。

図-8に遠隔監視ならびに自動注排水機能のフローを示す。本システムの適用により、ケーソンの曳航が長時間に及ぶ場合や夜間の場合、さらには、風浪の影響によりケーソンの動揺が大きい場合にも、ケーソン上に人間が搭乗する必要がなくなったため、安全に漏水監視および排水を行う方法が確立することができた。

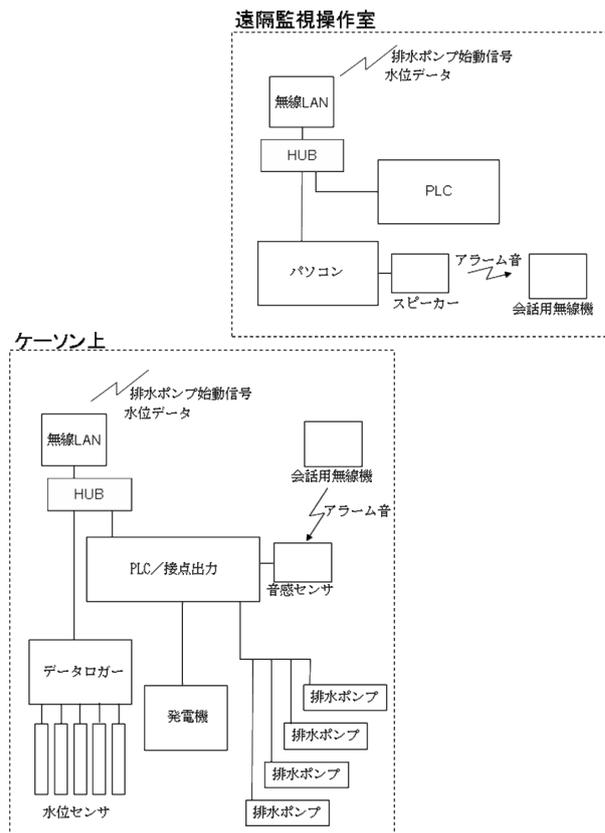


図-6 システムの機器構成

### 4 UCISを用いたケーソン据付管理

本工事では、有孔函ケーソンの曳航後に行われた据付作業においても、引き続きUCISを適用した施工を実施した。本来、UCISはケーソン据付の支援を目的として開発された



図-7 パソコン画面による水位監視状況

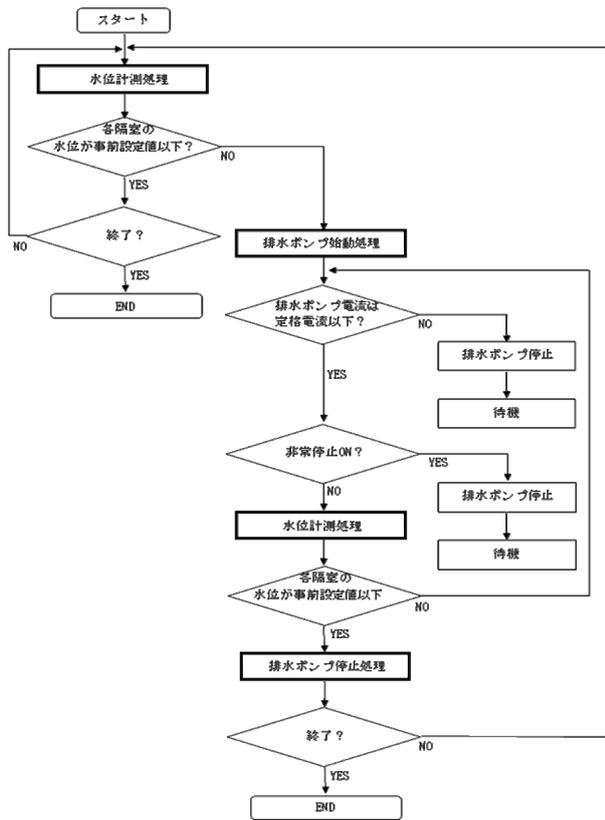


図-8 システムの処理フロー

技術であり、注排水ポンプだけでなく据付ウインチの遠隔操作を含む完全無人化に対応することが可能である。ただし、本工事では据付作業に起重機船のウインチを用いる必要があるなどの施工条件を勘案し、曳航時と同様に遠隔監視と注排水ポンプの操作機能のみを用いることとした。

図-9に据付に適用したシステムの基幹技術を、また、図-10にそのモデル図を示す。システムは無線制御盤ならびに無線アンテナ、GPS機器、監視カメラ、水位計、傾斜計な

どの遠隔監視ならびに操作に必要となる機器類にて構成されており、ケーソン曳航に先立ち、むつ小川原港の仮置マウンド上にて艀装されている(図-11参照)。

ケーソン据付では、UCISの持つ遠隔監視機能により必要な情報がリアルタイムに確認でき、一連の据付作業の判断が的確かつ一元的に行えることから、作業の効率化が達成された。さらに、ケーソン上の作業員も作業合図や目地緩衝材設置のため最小限必要となる4、5名程度に限定することが可能となり、安全に据付作業を実施することができた。また、ケーソン着底後に、レベルを用いた水準測量やトータルステーションを用いた測距を実施し、システムの動態観測機能を使用した出来形精度を確認することで、その適用性の高さを改めて確認している。

図-12.1、12.2にケーソン据付状況写真を示す。また、表-2にケーソン据付の出来形管理表を示す。

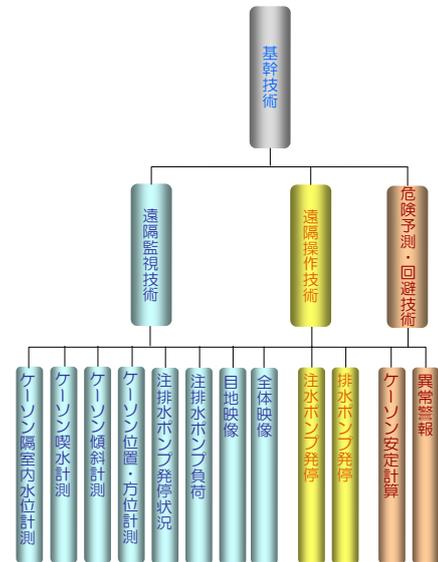


図-9 本工事に適用したUCISの基幹技術

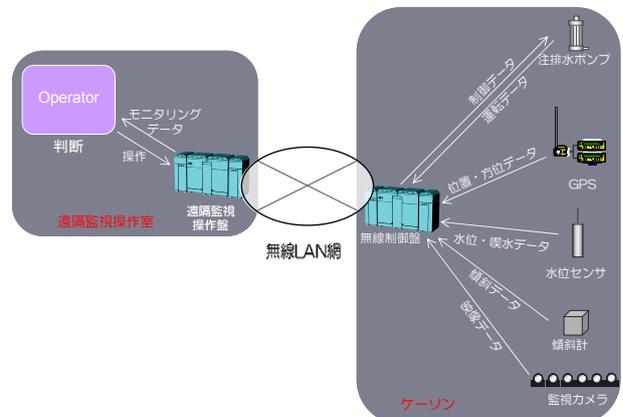


図-10 システムのモデル図

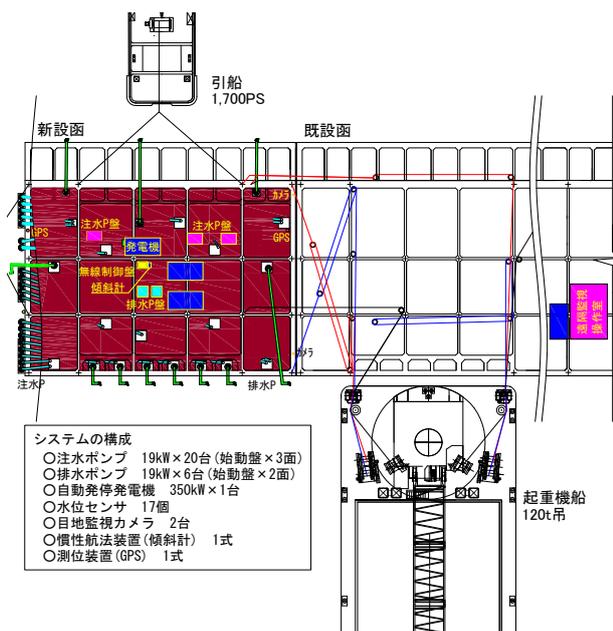


図-11 システム関連機器の配置図



図-12.1 ケーソン据付状況(監視室からの誘導状況)



図-12.2 ケーソン据付状況(着底完了)

表-2 ケーソン据付出来形

項目	測定位置	1函目 (TYPE-1)		2函目 (有孔函)		3函目 (有孔函)		4函目 (有孔函)		5函目 (有孔函)	
		許容値	実測値	許容値	実測値	許容値	実測値	許容値	実測値	許容値	実測値
法線出入り	南側	±300	+19	±300	+70	±300	±0	±300	-10	±300	-18
	北側	±300	+157	±300	+105	±300	-25	±300	+5	±300	+3
目地間隔	港内側			300以下	160	300以下	164	300以下	155	300以下	207
	港外側			300以下	200	300以下	205	300以下	127	300以下	188

単位:mm

6函目 (TYPE-2)		7函目 (矩形函)	
許容値	実測値	許容値	実測値
±200	-75	±200	±0
±200	-73	±200	+13
200以下	200	200以下	153
200以下	200	200以下	155

※ 網掛けシステムを用いた据付

### 5 UCISを用いたケーソン中詰投入管理

東通原子力発電所港湾工事においては、サイト近傍海域が良好な漁場であることから、環境影響負荷を低減することが不可欠となっている。特に、ケーソンの据付作業においては中詰材投入時に濁りが発生することが多く、本工事においても中詰材として碎石(C40)を用いるため大量の濁り発生が懸念されたため、これらを低減するための施工的な工夫が必要となった。このため、ケーソンの曳航、据付作業と同様にUCISの持つ遠隔監視ならびに操作機能を用い、中詰材投入時に函内水位ならびに濁度をリアルタイム計測し、排水量の管理と周辺海域の濁度拡散を防止する施工を行った。

図-13に排水管理の要領図を示す。ケーソンの排水は着底したケーソンの安定状態を保ちながら、隔壁に作用する水圧が設計条件以上にならない水位の範囲内にて実施する必要があったが、UCISによる遠隔監視ならびに注排水ポンプの遠隔操作機能を用いることで正確かつ迅速にこれらを管理することが可能となった。通常、中詰投入時のケーソンからの排水作業は、作業員がケーソン上に搭乗して中詰材の投入状態や函内水位を確認した後に、発電機を発動ならびに停止する必要がある。しかし、当システムを用いることで、作業船による作業を中断させることなく、また、ケーソン上に作業員を搭乗させることなく、安全かつ効率的に作業を行うことが可能となった。

図-14に中詰材投入時の排水状況を示す。

### 6. おわりに

東通原子力発電所放水口護岸工事におけるケーソン据付工事に対しUCISを用いた情報化施工を実施し、以下に示す主な成果を得た。

#### ①ケーソン曳航について

ケーソン曳航作業に当たっては、その構造的、施工的条件により困難な施工となることが想定された。実際の現場では止水蓋の止水機能は損なわれることなく、ポンプの緊急始動などUCISの機能を用いることはなかったが、UCISの持つ遠隔監視ならびに操作機能を適用することで、安全な

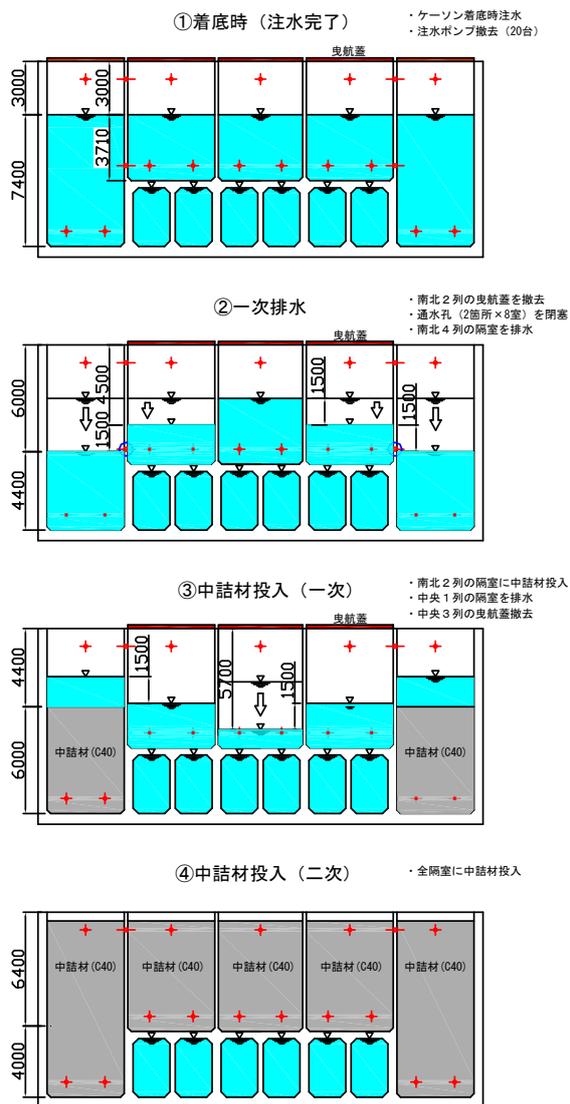


図-13 ケーソン中詰材投入時の排水管理要領図



図-14 中詰材投入時の排水状況

計画のもと確実な施工を実施することができた。

②ケーソン据付について

本来UCISはケーソン据付作業を支援するための技術として開発されており、ウインチ操作等を含む機器類の完全遠隔操作によって、ケーソン据付を無人にて実施することのできる技術である。本工事では施工的制約から、注排水ポンプの自動発停止などの遠隔操作のみの適用であったが、遠隔監視を含むその機能を有効に活用することで、安全かつ正確な施工を実施することができた。

③ケーソン中詰について

本工事では周辺海域環境への負荷影響低減のため、ケーソン中詰材投入時に発生する濁度拡散を防止する工法を適用した。工法の実施に当たっては中詰の水位をリアルタイムに観測し、排水量を管理する必要があったが、UCISの持つ遠隔監視ならびに操作機能を用いることでこれらを円滑に実施することができた。この結果、濁度を全く発生させることなくケーソン中詰材投入作業を完了することができ、発注者ならびに周辺漁協関係者を含め高い評価を得た。

図-15にケーソン据付完了の全景写真を示す。



図-15 放水口護岸ケーソン据付完了全景

【謝辞】

本ケーソン据付の施工に際し、計画段階から適切な指導、助言を頂き、実施段階でも、多方面のご協力を頂いた東京電力株式会社東通原子力建設準備事務所港湾土木グループ各位に、あらためて深謝する次第です。

【参考文献】

- 1) 真鍋 匠 : Development of Unmanned Caisson Installation System(UCIS) ISARC(国際建設ロボットシンポジウム)2006 発表論文集、pp62～65.
- 2) 特願 2008-157764、開口付き中空コンクリートケーソンの曳航時安全制御装置(出願中)