

D滑走路における埋立部ケーソン護岸の施工

- CDM施工からケーソン製作・据付まで -

護岸・埋立I工区 木原 太・渡邊 雅哉・神出 壮一

キーワード：地盤改良、CDM、ケーソン、エポキシ樹脂塗装鉄筋

1. はじめに

東京国際空港D滑走路建設外工事における埋立部の護岸工においては、そのほとんどが捨石による傾斜堤護岸構造を採用しているが、一部、施工時の仮物揚場となる護岸及び進入灯橋梁の取付部にあたる護岸においては、ケーソン式護岸構造を採用している。傾斜堤護岸では、軟弱な沖積粘性土層の地盤改良として低置換のサンドコンパクションパイル工法（以下、SCP）を採用しているが、ケーソン式護岸では、護岸の安定性確保や、本工事全体におけるSCP船の調達状況などから、深層混合処理工法（CDM）を採用している。

埋立部は、軟弱な粘性土層がA.P. -20m~A.P. -60mの約40mの層厚で厚く堆積した、水深A.P. -20mの大水深の海域に、A.P. +17.1mとなる非常に高い盛土を約3.5年の工期で施工する、これまでに類のない大量急速施工が特徴である。このような制約のもと、特に地盤改良工事では、多くのSCP船（埋立部で最大13隻）の作業が輻輳する中、平成19年9月から平成20年2月の期間でCDM船による改良杭の施工を完了した。CDM完了後、基礎捨石を敷設して中央防波堤内側埋立地に係留しているフローティングドック（FD）にて製作したケーソン10函（全16函据付予定。）を曳航して据付を行った。

本報告では、ケーソン式護岸における設計の概要ならびに、CDMとケーソン製作・据付の施工内容・方法・特徴について報告する。

2. ケーソン式護岸の概要

2-1 平面計画

埋立部の護岸は、図-2.1の埋立部の全体平面図に示すように、傾斜堤護岸（延長：4,144.1m）とケーソン式護岸（延長：321.2m）、総延長4,465.3m（接続部護岸を除く）からなる。ケーソン式護岸は、工事期間中の仮物揚場岸壁として利用される護岸（CW護岸、延長：221.0m）と、進入灯橋梁の橋台基礎としての機能を兼ね備えた護岸（CN護岸、延長：100.2m）からなる。

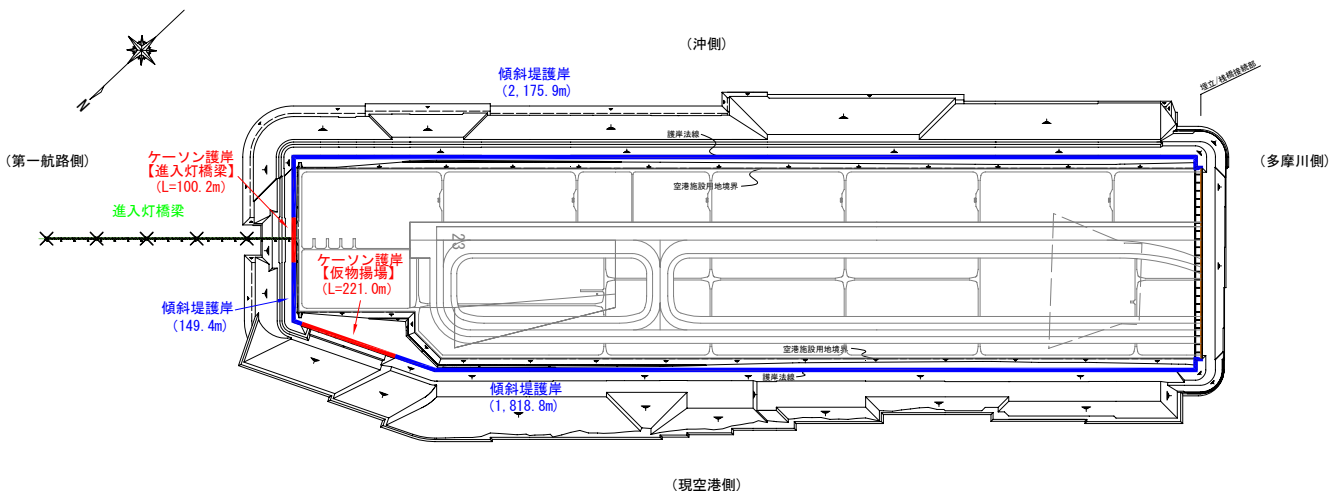


図-2.1 埋立部全体平面図

2-2 仮物揚場護岸

埋立部の施工を行うにあたっては、舗装路盤材や埋立用重機械等の資機材料の荷揚げを行う仮物揚場が必要となる。仮物揚場の場所としては、護岸背後にある程度まとまった敷地を確保することが可能な第一航路側誘導路コーナー部付近を選定し、クレーン付台船やガット船等の接岸が可能なケーソン構造を採用することとした。ケーソンの構造形式は、埋立部の舗装工事終了まで仮物揚場として利用できるように、消波ブロックで被覆を行わない直立消波（スリット）ケーソンを採用することとした。スリットケーソン諸元（開口率、スリットの上下端高さ、遊水室の幅）は、供用時の波浪条件（ $H1/3=1.97\text{m}$ 、 $T1/3=5.9\text{s}$ ）に対して、反射率が0.5以下となるように設定している。

ケーソン護岸の地盤改良形式としてCDM改良、高置換SCP改良が考えられるが、仮物揚場護岸では、次のような理由からCDM改良を採用することとした。

- ① 全工区におけるSCP船の調達状況（全13隻体制）。
- ② SCP用山砂の調達可能量。
- ③ 当該区域が工事区域拡大の関係から他区域からのSCP船の転船を待っての着手となるため、転船時期の遅れによる工程遅延リスクを回避するため。

また、CDM改良では、盛上り土を改良し基礎マウンドの一部として利用することで、盛上り土の有効活用を図ることとした。

図-2.2に仮物揚場護岸の標準断面図を示す。

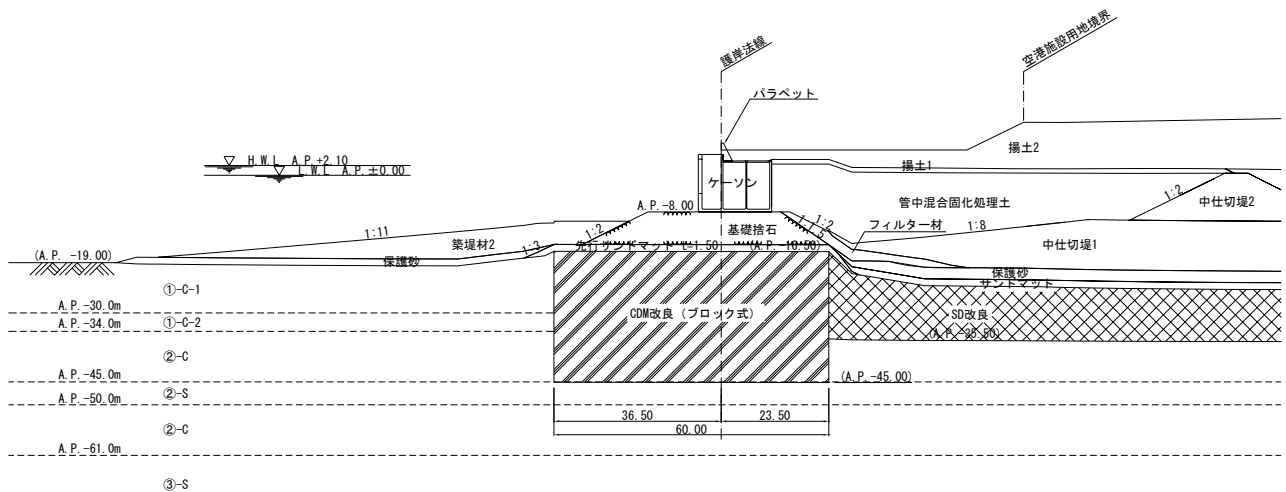


図-2.2 仮物揚場護岸標準断面図

2-3 進入灯橋梁部護岸

進入灯橋梁取り付け部の護岸は、護岸と橋梁基礎としての機能を兼ね備えた構造とし、ケーソン上部に橋台を設置する構造形式とした。橋梁の基礎としては、①橋台の沈下・水平変位の抑制、②護岸前面の橋脚杭に対し護岸背面の埋立に伴う地盤変形の抑制を図る必要がある。基礎地盤の改良としてSCPを採用した傾斜堤護岸構造では、供用開始までに約3.0mの沈下、供用開始後の残留沈下として約1.0m発生する。また、護岸背後の埋立により約1.0mの護岸前面への水平変位が発生する。このため、これらの沈下・水平変位が進入灯橋梁に及ぼす影響を軽減するために、護岸基礎地盤の改良として、CDMを採用している。進入灯橋梁部護岸でも、仮物揚場護岸と同様に改良により生じる盛上り土を改良することで、盛上り土の有効活用を図ることとした。

図-2.3に進入灯橋梁部護岸の標準断面図を示す。

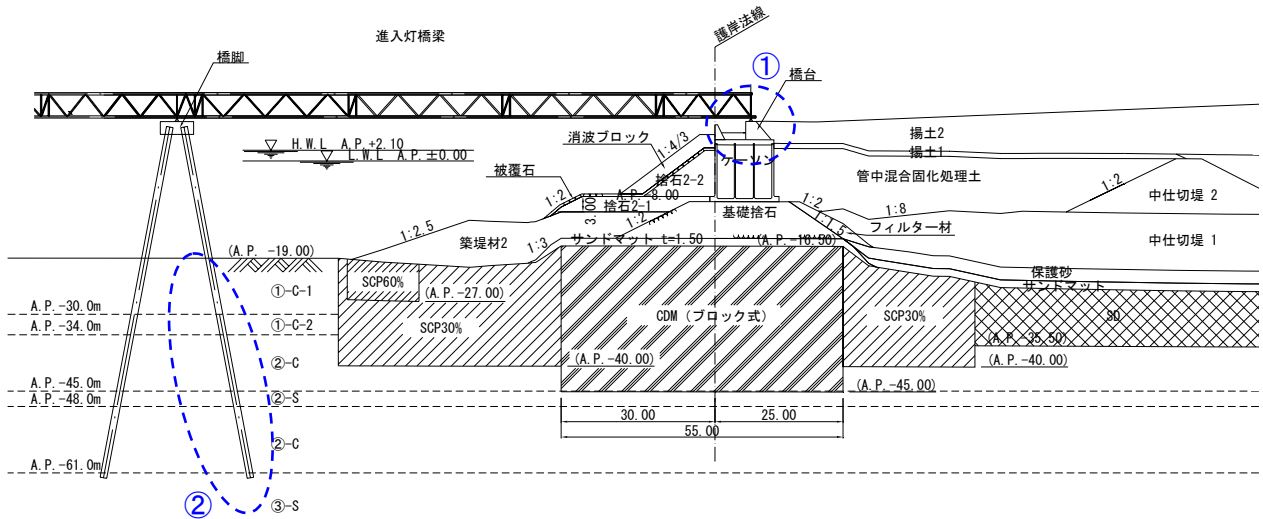


図-2.3 進入灯橋梁部護岸標準断面図

2-4 施工フロー

図-2.4 にケーソン護岸の施工フローを示す。CDM改良により発生する盛上土を有効活用するため、事前にサンドマットを敷設し盛上部分の改良を行う。その後、基礎捨石の投入・本均しを行ない、FDにて製作されたケーソンの曳航・据付を行なう。護岸背面では、埋立材の基礎捨石からの吸出しを防止するためのフィルター材の腹付けを行い、前面では、護岸安定上カウンターとして必要となる築堤材2の投入を行なう。さらに、進入灯橋梁部護岸では、上部コンクリートの打設、護岸前面の捨石2・被覆石の投入、消波ブロックの据付を順次行なっていく。

(ケーソン堤護岸)

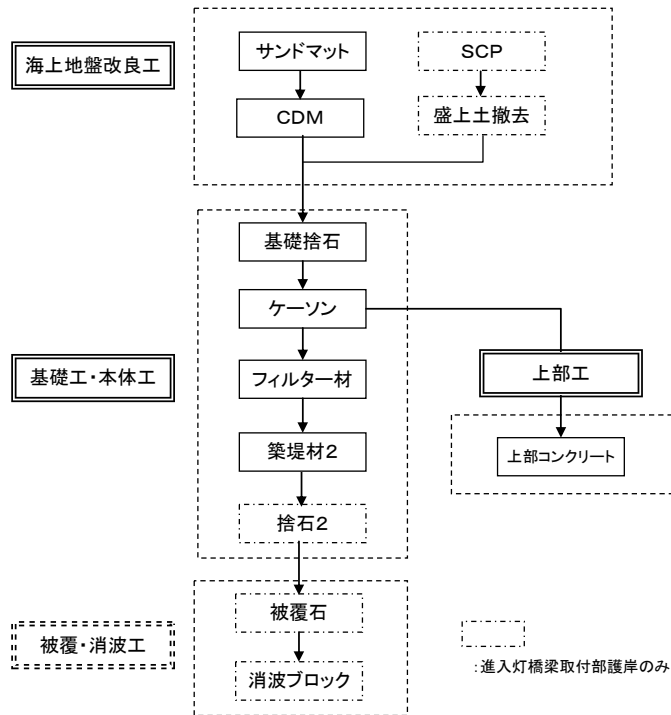


図-2.4 ケーソン護岸の施工フロー

3. 深層混合処理工（CDM）

3-1 施工概要

CDMIは、進入灯橋梁護岸に延長125m×幅55m×改良長28.5mと仮物揚場護岸に245m×60m×28.5mの範囲で総面積21,575m²の総改良土量約62万m³を施工した。施工平面図を図-3.1に示す。

施工期間は、平成19年9月から平成20年2月までの約5ヶ月間に渡りCDM船4船団（最大）で施工を行った。改良杭1本を打設すると改良面積5.7m²（改良軸8本）を施工することが可能なCDM船「ポコム2号」、「デコム7号」、「DCM3号船」の3船団と、改良面積4.6m²（改良軸4本）を施工することが可能なCDM船「ポコム10号」の1船団にて施工を行った。写真-3.1に写真内の左から、「デコム7号」、「ポコム2号」、「DCM3号船」のCDM船による施工状況を示す。

本工事のCDMでは、施工途中に改良体の品質・強度確認を行い、配合設計を見直すことで合理的な施工管理を実施している。また、今回の技術提案・施工では、盛り上り土を撤去せず、CDMの施工前に敷砂を施工して盛り上り部分までCDMIにて改良を行い、床掘りなしで上部の基礎捨石を施工する方法を採用することで盛り上り土の有効利用を図っている。CDM改良仕様および施工数量を以下に示す。

改良パターン：ブロック式改良・着底型

改良長：28.5m（AP-16.5m～AP-45.0m）

改良土量：614,888m³

施工本数：4,524本（CDM船4隻の合計）

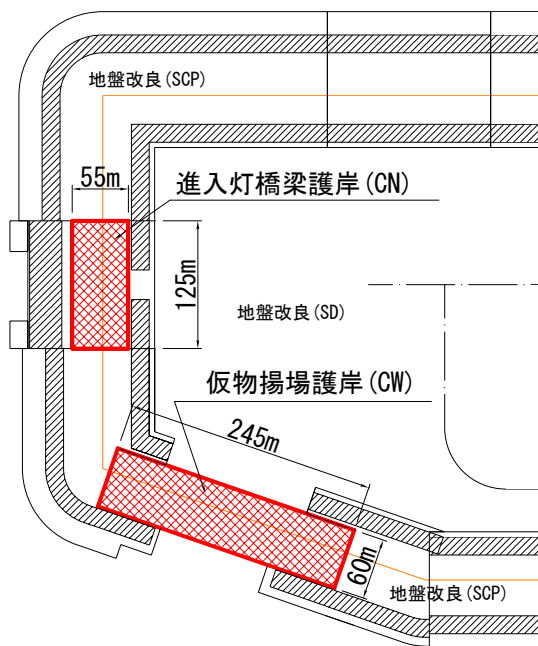


図-3.1 CDM施工平面図



写真-3.1 CDM船による施工状況

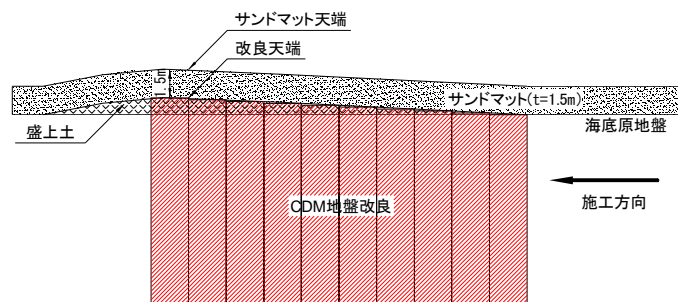


図-3.2 改良天端（盛上土部分）の施工詳細図

3-2 改良深度・幅・改良パターン

改良体の安定検討において滑働抵抗を確保するため、改良型式は、改良下端を下部有楽町層（沖積粘性土）の下端レベルにあたる②-C層のA.P.-45mに存在する支持層（②-S層）に着底させる着底型とした。また、改良により発生した盛り上り土は、改良後に床掘り、撤去するのが一般的な方法であるが、盛り上り土を基礎マウンドの一部として有効活用を図ることを目的として、改良前にサンドマットを敷設し盛り上り部分（約2.5m）をCDMIにて改良を行う方法を採用している。施工管理として、図-3.2に示すように施工時にレッド測定により改良杭1本毎の地盤高を測定し、敷砂厚を引いた値を改良天端とした。

改良幅は、外力に対する改良体の安定検討（滑働・転倒・支持力）により設定している。ケーソン堤護

岸背面は軽量盛土材（管中混合固化処理土）により埋戻しを行なうことから、改良体の安定検討における主働土圧は分割法により算定した。分割法とは、固化処理土による埋め戻し範囲が有限の場合、壁体背後の固化処理土の滑りや、処理土内の亀裂を考慮できる土圧算定方法である。計算の結果、改良幅は、図-2.2、図-2.3 示す通り、CW 護岸で 60m、CN 護岸で 55m となる。

港湾構造物で一般的に用いられる改良パターンには、ブロック式、壁式、格子式があるが、改良体が比較的薄い中間支持層に着底することから、改良体底面の端趾圧が中間支持層下端の粘性土層の支持力以下となるようにブロック式改良を採用している。

3-3 ブロック式改良

CDM改良体構造がブロック式であり改良杭を約 30cm オーバーラップする必要があった。ラップは原則、セメント硬化の初期段階である 24 時間以内で施工する必要があった。ラップ施工を行うため、気象海象の予測に努め、特に台風等の来襲が予想されるときには、新しい改良ブロックの作業に入らず待機するなど、常時処理船の整備、点検を十分に行うと共に、不時の故障に備えて必要部品の予備を確保した。

改良区域を CN 護岸で 10 ブロック、CW 護岸で 15 ブロックに分割して 1 ブロックあたりは、施工目地が無いように改良杭をラップさせた配杭にて連続的に施工を行った。代表的な 1 ブロックの配杭図を図-3.3 に示す。

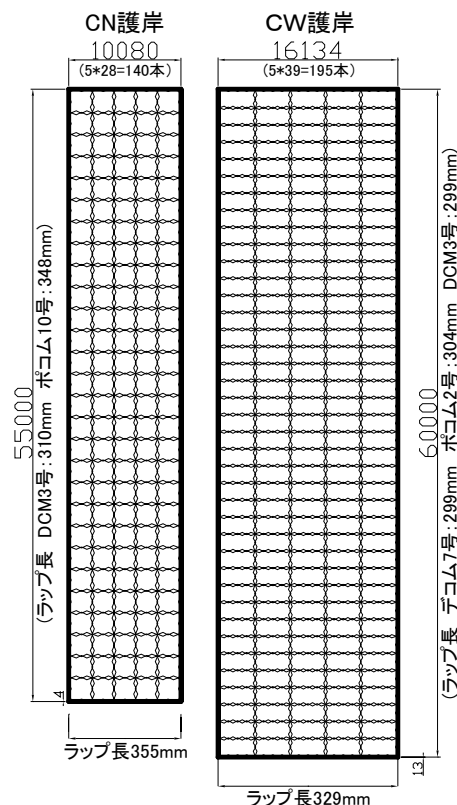


図-3.3 1 ブロック当たりの配杭図

3-4 施工方法

CDM工法は、仕上り状態を直接確認出来ないため、計器による施工管理が主体となる。設計で与えられた出来形を満足させるために、各船ともに GPS による船位誘導システム機器、スラリープラント制御機器、施工管理機器等の集中コントロールシステムを備えた海上施工の専用船を用いて施工を行った。また、施工開始前には、それらのシステムおよび自動記録計の作動確認として船体検査(キャリブレーション)を実施している。

図-3.4 に改良杭 1 本当たりの施工サイクルを示す。GPS の位置決めから、貫入・着底・先端処理を行い、計画のセメントスラリーを吐出し、攪拌しながら、引き抜き造成を行った。

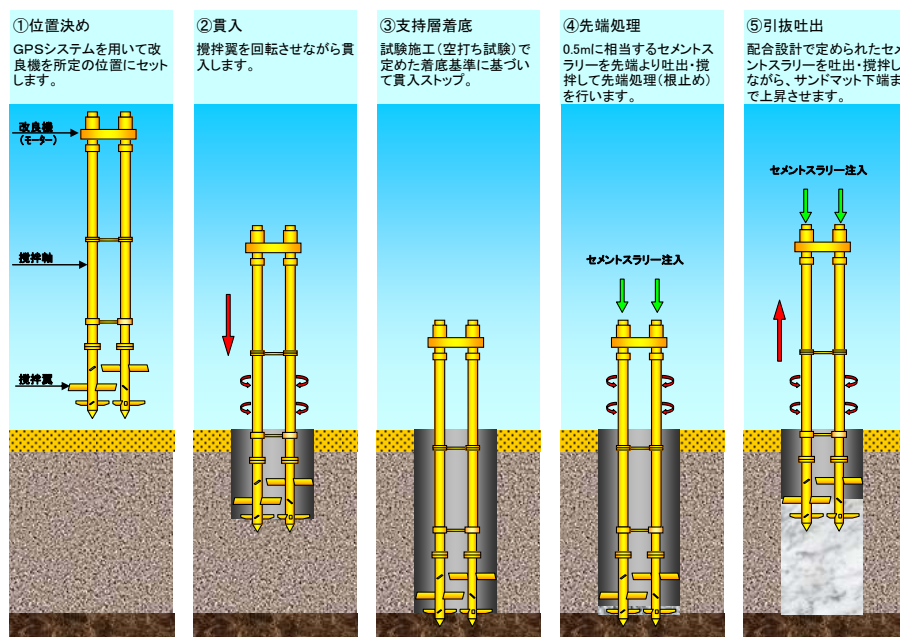


図-3.4 施工サイクル

3-5 改良体強度および配合設計

改良体内部に発生する応力の設計応力度を設定する際に基本とする設計基準強度が必要となり、設計基準強度を満足させるために改良する対象土を用いた室内配合試験を行い、安定材の添加量を決定しなければならない。また、室内配合試験結果を元に実際の現場処理土の設計定数の仮定を行う配合設計が重要となる。

3-5-1 事前配合試験

CDMの施工に先立ち、事前配合試験として各護岸部原地盤から不攪乱試料採取を行い、物性・地質構成を把握するとともに、室内配合試験にて改良体が所要の強度を満足するための安定材の添加量を決定した。当工事で事前に配合設計した定数および強度は、「海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル 平成11年4月 p.80」（以下、技術マニュアル）に則り、以下の式を用いて計画した。

$$\begin{aligned} \overline{q_{ul}} &= \frac{\sigma_{ca} \cdot F_s}{\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \lambda} \quad \dots \text{式(1)} \\ &= \frac{600 \times 3}{0.8 \times 2/3 \times 0.8} \\ &= 4,219 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{q_{uf}} &= \frac{\overline{q_{uck}}}{\gamma} \quad \dots \text{式(2)} \\ &= \frac{2,250}{2/3} \\ &= 3,375 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

- σ_{ca} : 改良体許容圧縮応力度 (= 600kN/m²)
- F_s : 安全率 (常時 $F_s = 3$)
- α : 断面有効係数 (0.8~0.9)
- β : ラップ部の信頼度係数 (0.8~0.9)
($\alpha \cdot \beta \cong 0.8$ で評価される場合が多い。)
- γ : 現場強度係数 (ばらつきを表す係数: 標準 2/3)
- λ : 現場強度の平均値と室内強度の平均値の比 ($\lambda = 0.8$)
- $\overline{q_{uck}}$: 設計基準強度 (= 2,250kN/m²)
- $\overline{q_{uf}}$: 現場における一軸圧縮強さの平均値 (kN/m²)
- $\overline{q_{ul}}$: 室内における一軸圧縮強さの平均値 (kN/m²)

表-3.1 土層および安定材添加量

設定した土層および安定材添加量を表-3.1に示す。

なお、試験において材令7日・28日・91日の一軸圧縮強さを確認し、材令91日まで強度増加することを確認している。

AP (m)	柱状図	土質物性値					安定材添加量	
		自然含水比 w_n (%)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	塑性指数 I_p	CW護岸 (kg/m ³)	CN護岸 (kg/m ³)
-19 ~ -21	表層 盛上改良	168~177	1.290	-	-	-	165	165
-21 ~ -30	上層 ①-C1	132~145	1.34~1.36	132~137	51~54	78~85	140	145
-30 ~ -34	中層 ①-C2	42~117	1.38~1.79	41~118	22~47	19~70	130	135
-34 ~ -45	下層 ②-C	35~52	1.75~1.84	32~55	18~24	14~31	110	120
-45 ~	②-S	37	1.827	-	-	-		

3-5-2 中間試験

従来、CDMの1工事あたりの施工期間は1~2ヶ月程度であり、全施工完了後にチェックボーリングにて品質(強度)確認を行うのが一般的である。

しかし、本工事では5ヶ月もの長期に亘る工程のため施工途中に中間試験として、チェックボーリングによる品質確認を行った。中間試験結果を元に事前配合設定を見直すことと

した。図-3.5に当工事の品質確認の流れを示す。

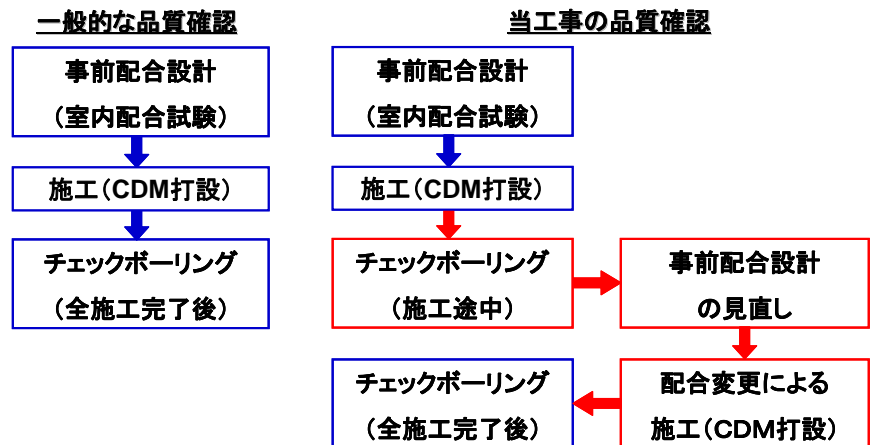


図-3.5 品質確認の流れ

(1) 施工途中のチェックボーリング結果

図-3.6 および表-3.2 に強度結果を示す。改良体の現場目標平均強度 (q_{uf}) 3,375kN/m² に対して、現場平均強度 4,094kN/m² と約 1.2 倍の結果となった。変動係数 (V) は、当初計画の 35% に対して 28.3% と 2 割ほどばらつきが少なく良好な結果となった。現場強度と室内強度の強度比 (λ) は、層毎でばらつきがあるものの、特に盛上改良・表層部分では設定値と同等の 0.8 ではあったが、層全体では平均 0.97 と相当以上の結果となった。本工事の事前配合設計は、改良体の品質を満足し十分に安全側な配合設計であることが確認された。

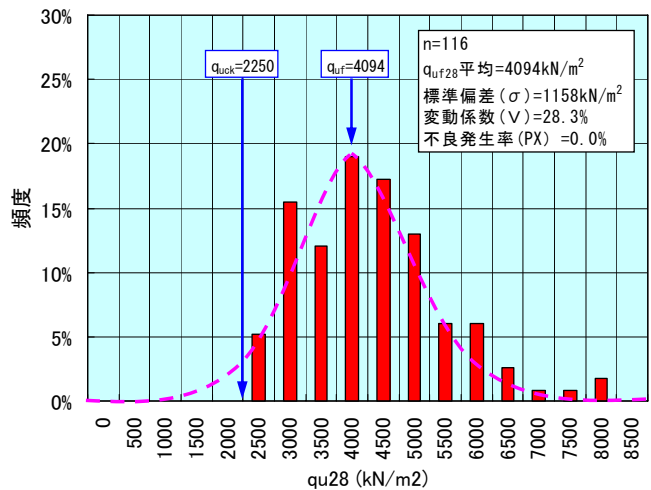


図-3.6 一軸圧縮強さ (q_{u28}) の頻度分布

(2) 配合設計の見直し内容

中間試験結果を元に、式(1)の現場と室内の強度比 (λ) を各層毎の結果を反映させて、室内目標強度が下げることとした。また、室内配合試験および中間試験では、材令 28 日における強度を管理材令としていたが、工程上、養生期間が十分にあり、事前配合でも確認済であった材令 91 日を管理材令として変更した。2 点について配合設計を見直しすることで、表-3.2 内に示す見直しセメント量に変更がすることが可能となった。

表-3.2 施工途中に行った品質結果 (見直し安定材添加量)

試料番号	改良深度 (AP- m)	換算28日 現場強度 q_{uf28}				変動係数 V (%)	室内現場強度比 λ	見直しセメント量	
		検体数 (検体)	平均 (kN/m ²)	最大 (kN/m ²)	最小 (kN/m ²)			CW工区 (kg/m ³)	CN工区 (kg/m ³)
表層 盛上改良	16.5 ~ 21.0	20	3,409	5,608	2,391	27.1	0.81	160	160
上層 (①-C1)	21.0 ~ 30.0	36	4,009	7,981	2,568	28.9	0.95	120	125
中層 (①-C2)	30.0 ~ 34.0	16	3,929	6,116	2,257	21.3	0.93	110	120
下層 (②-C)	34.0 ~ 45.0	44	4,534	7,595	2,617	26.4	1.07	80	95
平均		合計116	4,094	7,981	2,257	28.3	0.97		
計画		-	3,375 以上	-	2,250 以上	35.0	0.80		

3-5-3 チェックボーリング

配合設計見直し後のチェックボーリング結果を表-3.3 に示す。配合を見直した結果においても、現場平均強度 4,066kN/m² と目標強度 3,375kN/m² を確保した。変動係数 35%以内、不良率も 3.4% (計画 15.9%以下) と設計想定以内に留まった。写真-3.2, 3 に採取した改良体を示す。

表-3.3 配合変更後の改良土の品質結果一覧表

試料番号	改良深度 (AP- m)	換算91日 現場強度 q_{uf91}				変動係数 V (%)	室内現場強度比 λ	不良率
		検体数 (検体)	平均 (kN/m ²)	最大 (kN/m ²)	最小 (kN/m ²)			
盛上改良	16.5 ~ 19.0	30	3,568	6,923	2,027	35.8	0.72	10.0%
表層	19.0 ~ 21.0	16	4,010	6,052	2,009	31.7	0.81	6.3%
上層 (①-C1)	21.0 ~ 30.0	72	4,410	7,313	2,013	29.8	1.00	2.8%
中層 (①-C2)	30.0 ~ 34.0	32	4,561	7,726	2,092	33.9	1.04	3.1%
下層 (②-C)	34.0 ~ 45.0	88	3,871	6,076	2,038	26.2	0.98	1.1%
平均		合計238	4,066	7,313	2,009	31.4	0.97	3.4%
計画		-	3,375 以上	-	2,250 以上	35.0	-	15.9% 以下

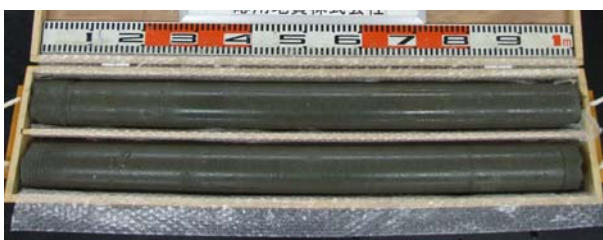


写真-3.2 採取した改良体

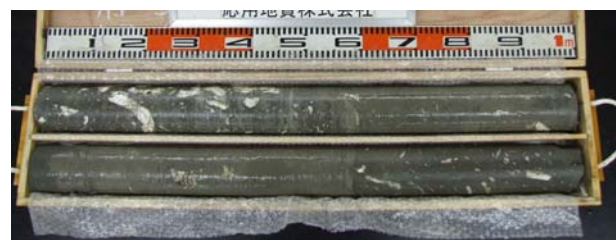


写真-3.3 採取した改良体 (貝殻混り)

3-6 盛上り土改良

従来、CDMの施工は、打設に伴い発生する盛上り土を改良天端までグラブ船にて床掘・撤去し処分することが多く行われている。今回の提案・施工では、盛上り土を撤去せず、CDMにて改良を行い盛上り土の有効利用を図っている。盛り上り土改良の品質は、表-3.3内の盛上強度を示すとおり計画3,375kN/m²以上の3,568kN/m²と確保されていることが確認出来た。しかし、現場強度と室内強度の強度比では、0.72と計画の0.8を下回る結果となった。他層と比べると変動係数および不良率においてやや高い数値を示し、ばらつきがあるが、現場平均強度および不良率(15.9%以内)ともに計画内であり改良体としては、満足している。今後、盛り上り土の改良を行う際は、事前配合設計において変動係数や強度比等への配慮が必要と思われる。

4. ケーソン製作・進水・仮置

4-1 施工概要

本年度のケーソンの製作函数はCWケーソン5函、CNケーソン5函の計10函である。CWケーソンは全11函であり、残り6函は来年度(平成21年度)に製作する。製作は中央防波堤内側埋立地に係留されているフローティングドック(以下FDと記す)3隻及びその前面のヤードで行ったが、他工事との関連から4月~7月の限られた期間での製作となった。

製作したケーソンは進水させ、据付まで一時的に係留仮置した。ケーソンの進水場所は若洲の木材埠頭前面水域であり、一時仮置場は木材投下泊地防波堤の前面を水域占有した。なお、1隻のFDで同時に3~4函のケーソンを同時に製作したため、仮置場には最大4函を仮置できるよう水域を確保した。

図-4.1にケーソン製作・仮置のフローを示す。また、図-4.2にケーソン製作・進水・仮置場所の平面図を示す。

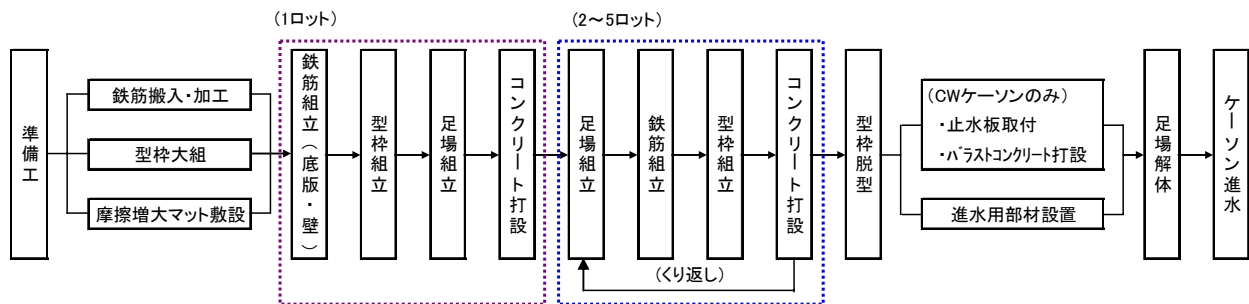


図-4.1 ケーソン製作・仮置 施工フロー

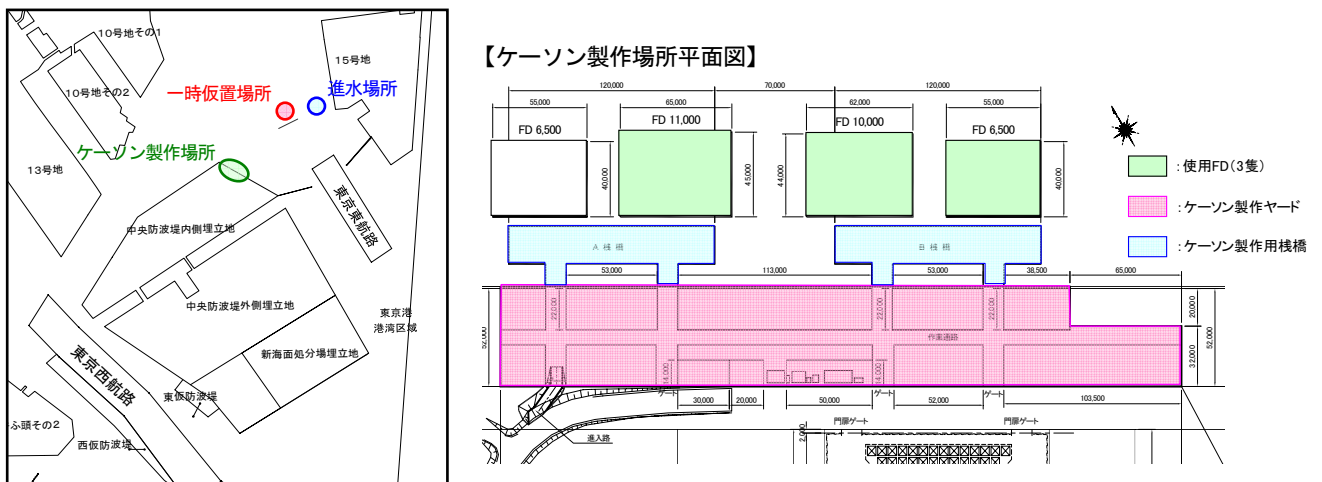


図-4.2 ケーソン製作・進水・仮置場所平面図

4-2 ケーソンの構造

(1) 構造概要

ケーソンの構造図を図-4.3に示す。CW ケーソンはスリットケーソンであり、ケーソン浮上時の傾きを防止するためバラストコンクリートを打設する。函体重量はCW ケーソンが約 24,500kN (約 2,500t)、CN ケーソンが約 14,300kN (約 1,460t) である。また、函体の高さは 11.1m(CW ケーソン遊水室部は 12.5m) であり、5 ロットに分割してコンクリートを打設する計画で配筋計画を行なっている。

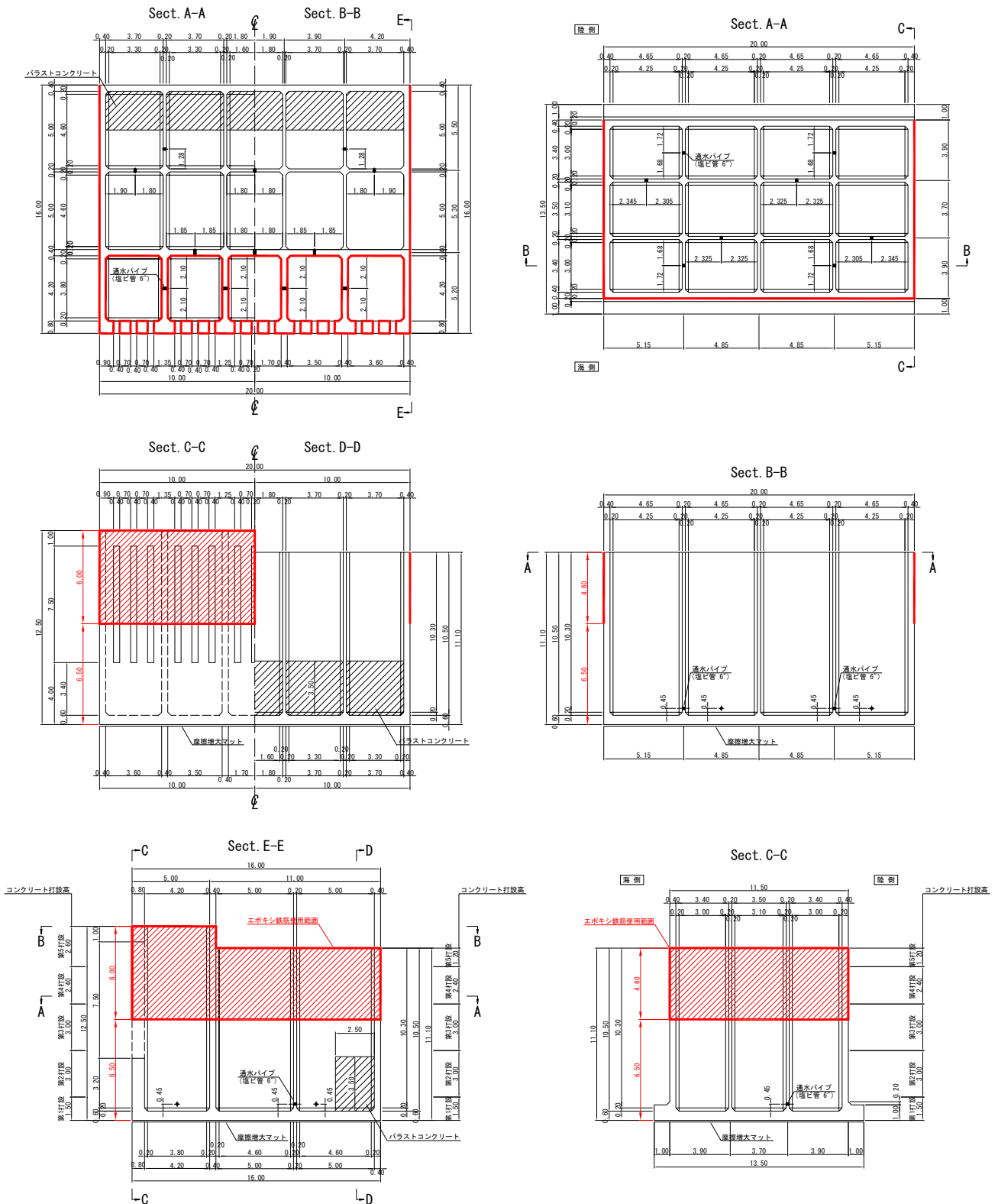


図-4.3 ケーソン構造図 (左側 : CW ケーソン、右側 : CN ケーソン)

(2) コンクリートの耐久性

ケーソン本体には100年間の耐久性を確保することが要求されている。ケーソンの場合、非常に厳しい塩害環境下におかれるため、鉄筋の腐食によるコンクリートの劣化が生じ、耐久性が低下することが考えられる。そのため、塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食に関する照査（参考文献：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改定版] 土木学会）を行い、耐用期間中にコンクリート中の鋼材に腐食を発生させないように、次のような方策を講じることとした。

- ①飛沫帯部のかぶりを90mm（通常は70mm程度）とする。
- ②水セメント比を50%以下としコンクリート中の塩化物イオンの拡散速度を抑える。このため、コンクリートの設計基準強度を30N/mm²（高炉セメント）とする。（通常は24N/mm²程度）
- ③飛沫帯部（A.P.-1.5m以浅）にエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる。なお、海中部（L.W.L以深）では、コンクリート表面の塩化物イオン濃度は高いものの、酸素供給量が少なく鋼材の腐食速度は遅くなると考えられるため、通常の鉄筋を用いることとする。（図-4.3参照）
- ④使用限界状態（限界状態設計法）におけるひび割れ幅を、許容ひび割れ幅の半分程度に抑えた配筋計画を行い、塩化物イオンの拡散を抑制する。

塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食に関する照査は、エポキシ樹脂塗膜で覆われた素地鋼材表面における塩化物イオン濃度の設計値 C_d の鋼材腐食発生限界 C_{lim} に対する比に構造物係数 γ_i を乗じた値が、1.0以下であることを確かめることにより行なう。前述した対策を講じた場合の設計耐用期間100年における照査結果を表-4.1に示す。

(照査式)

$$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1$$

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{c}{\sqrt{D_d}} + \frac{c_{ep}}{\sqrt{D_{epd}}} \right) \right) \right)$$

……(エポキシ樹脂塗装鉄筋)

$$D_d = \gamma_c D_k + \left(\frac{w}{l} \right) \cdot \left(\frac{w}{w_a} \right)^2 \cdot D_0$$

$$D_k = \gamma_p D_p$$

$$\log D_p = -3.0(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.2$$

……(高炉セメント)

表-4.1 照査結果

項目		値
設計基準強度	$f_{ck}(N/mm^2)$	30
水セメント比	W/C(%)	50
塩化物イオンの拡散係数の予測値	$D_0(cm^2/year)$	0.562
予測値の精度に関する安全係数	γ_p	1.2
コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値	$D_k(cm^2/year)$	0.675
鉄筋のヤング係数	$E_s(N/mm^2)$	2.00E+05
鉄筋の増加応力度	$\sigma_{ss}(N/mm^2)$	67.23
かぶり	c(mm)	90
ひび割れ幅の増加を考慮する値	ε'_{csd}	0.00E+00
ひび割れ幅	w(mm)	0.170
許容ひび割れ幅	$w_s(mm)$	0.347
ひび割れ幅とひび割れ間隔の比	w/l	0.0010
コンクリートの材料係数	γ_c	1.0
コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す定数	$D_0(cm^2/year)$	200
塩化物イオンに対する拡散係数の特性値	$D_0(cm^2/year)$	0.723
安全係数	γ_{cl}	1.3
コンクリート表面における塩化物イオン濃度	$C_0(kg/m^3)$	13
エポキシ樹脂塗膜の厚さの期待値	$c_{ep}(mm)$	0.22
エポキシ樹脂塗膜内の塩化物イオンに対する見かけの拡散係数の設定値	$D_{epd}(cm^2/year)$	2.00E-06
設計耐用期間	t(year)	100
鋼材表面における塩化物イオン濃度の設計値	$C_d(kg/m^3)$	1.091
構造物係数	γ_i	1.0
鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度	$C_{lim}(kg/m^3)$	1.2
$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}}$	-	0.909
判定	-	OK

4-3 ケーソンの施工方法

(1) ケーソンの製作

前述の通り、飛沫帯部にエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。エポキシ樹脂塗装鉄筋は防錆性能に優れているが、塗装が剥がれた場合はその性能が大幅に低下するため施工時の取扱いには細心の注意を払った。鉄筋加工時に主に切断面に対してエポキシ樹脂塗料によるタッチアップ塗装を行い、組立にはビニル被覆された結束線を使用した。ま



写真-4.1 鉄筋組立状況 (CW)

た、組立完了後に塗装の剥がれが無いが確認し、見つかった場合にはタッチアップ塗装を行って補修した。

コンクリートは打設時の施工性の向上を目的として、現地添加による流動化剤を使用して打設した。スランプアップの目標値を4cmとし、予め試験練りを行い流動化剤添加によるコンクリート強度への影響が無いことを確認した。なお、本年度のケーソン製作においてコンクリート生産工場は3社を使用したため、それぞれの工場において試験練りを実施した。



写真-4.2 補修作業状況

コンクリート打設時の品質管理は、表-4.2 に示すように流動化前後で行った。試験頻度は1日当りの打設数量に対して150m³を越える場合は2回、それ未満の場合は1回とした。スランプ試験・空気量試験は現場での流動化剤添加による攪拌の影響を受けるため流動化前後で行った。また、単位水量試験は流動化前にエアメーター法で行った。なお、コンクリート現場試験及び圧縮強度試験は生産工場では実施されないため、JNLA（工業標準化法試験事業者登録制度）に登録し、東京都の試験機関審査基準に適合している業者を選定した。図-4.4 に単位水量試験、圧縮強度試験結果を示す。

また、コンクリート硬化後のクラックの発生には特に留意して施工した。夏場の打設であるため、コンクリート温度管理、打設後の養生、打設中の締め固めを丁寧に行なうなど厳しく管理した結果、クラックの発生を抑えることができた。特に、スリット開口部の隅角部はクラックの発生が懸念されたが、下記の理由で発生を阻止できた。

- ① 開口部の打設ロットを分割して施工（図-4.3 参照）することで、外部拘束の影響を最小限に留めることができ、温度降下時の引張応力の発生を抑制できた。
- ② 開口部の縦方向は柱部材、また横方向は梁部材で、スターラップ等の補強筋が密に配置されており、クラックが発生しにくい配筋計画を行っていた。

表-4.2 コンクリート現場試験一覧表

試験内容	ベース	流動化後	規格値	単位	備考
スランプ試験	○	○	8±2.5	cm	流動化後は12±2.5cm
空気量試験	○	○	4.5±1.5	%	
コンクリート温度測定	○	○	5~35	°C	
単位水量試験	○	×	右参照	kg/m ³	各製造工場における配合表の水量±15kg/m ³ (A社156、B社157、C社158)
塩化物含有量試験	×	○	0.3以下	kg/m ³	
供試体採取	×	○	-	-	σ ₇ 、σ ₂₈ 各3本採取（型枠脱型時期確認用に別途採取する場合あり）

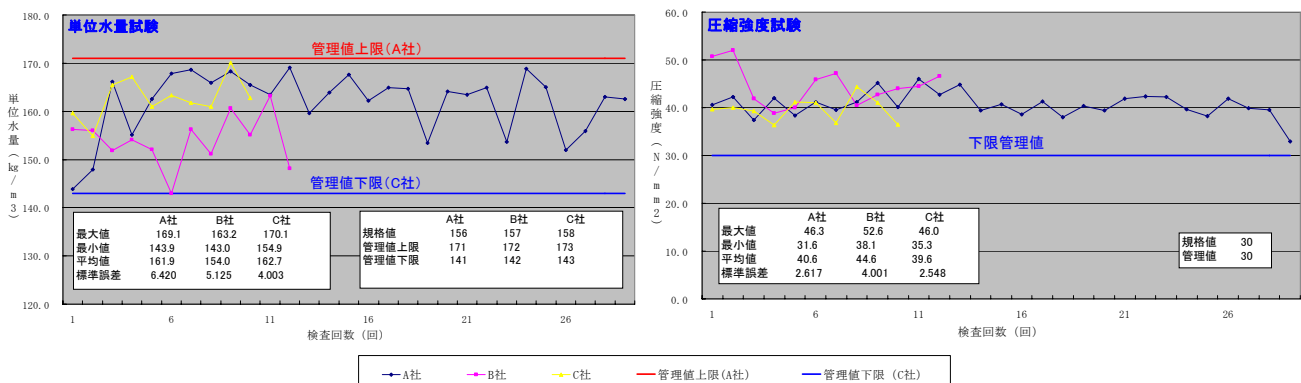


図-4.4 単位水量試験・圧縮強度試験結果 (30-8-20 BB)

ケーソンの中詰材は通常の場合据付日に必要量を投入するが、据付が連続して行われたことや、中詰砂投入時の濁りの流出を防ぐため、施工時の波浪条件 ($H_{1/3}=2.78\text{m}$ 、 $T_{1/3}=6.9\text{s}$) に対して、ケーソンの安定性や部材に影響のない、最小限の中詰材の投入 (1/3 程度) にとどめ、計 10 函の据付が完了してから残りの投入を行った。

5-3 施工方法

ケーソン曳航は、一時仮置場を早朝に出発し、第一航路の入出港船舶が少ない時間帯を選んで曳航した。曳航中は警戒船を配置し、周辺を航行する船舶の警戒を行った。写真-5.1 に曳航状況を示す。

ケーソン据付時は、ケーソンを平衡に保ちながら着底させることが据付出来形に大きく影響するため、水中ポンプ (6 吋) の配列・注水時間の管理方法の検討を綿密に行った。特に CW ケーソンには遊水室があり、また堤内側と堤外側の隔室の形状が異なるため、各ポンプの注水速度を一定に保って注水を行なった場合、徐々にバランスを崩していくことになる。そこで、全 15 室の隔室を 6 つのブロック (通水孔によりブロック内の隔室の水位は一定に上昇する。) に分割し、平衡に保ったまま徐々に吃水を大きくしていくために必要な、各ブロックの注水量と吃水の関係を整理し、この関係をもとに注水管理を行った。据付中は、ケーソン天端からの注水面までの下がりやポンプの稼働時間を確認することで、各ブロックの注水量を把握した。また、同時にケーソンの四隅の天端高を連続計測して水平の保持を図った。なお、据付は、可能な限り下げ潮を狙って行い、注水量を最小限にとどめ、平衡状態を保った状態で、着底が出来るよう配慮した。その結果、法線の出入り及び目地間隔とも規格値を満足することができた。

ケーソンの着底を確認した後、前述したように、中詰材投入時の濁りの流出を防止するため、隔室の 1/3 程度の注水を行い、中詰材の投入を行なった。全 10 函の据付が完了した後、上澄みの排水及び投入を繰り返し、残りの中詰材の施工を行った。中詰材には、ケーソンの安定上必要な単位体積重量 ($\gamma_{\text{sat}}=20.0\text{KN/m}^3$) を確保することが可能である、千葉県保田産の岩ズリを選定し、土源にて試料を採取して単位体積重量試験を行い、材料承諾を得て使用した。中詰材の投入中も自主管理で試験を 2 回行い、単位体積重量の確認を行なった。

6. おわりに

2008 年 12 月現在、ケーソン護岸は、仮物揚場護岸部の開口部 (120m 区間) を除き、地盤改良からケーソン据付後の蓋コンクリートの打設までが完了している。2009 年 4 月 (予定) からは、開口部に据え付ける残り 6 函のスリットケーソンの製作に取り掛かることになる。来年度も、安全かつ確実に迅速な施工を行なうことはもとより、品質の高い構造物の提供ができるよう、事前計画を十分に行い、万全の体制で臨む所存である。



写真-5.1 ケーソン曳航状況



写真-5.2 ケーソン据付状況