

報告 港湾用プレキャストケーソン製作工法の開発

舟橋政司*1・佐藤文則*2・横沢和夫*3・岡崎光信*4

要旨: 港湾用ケーソンの製作を合理化するために、高耐久性埋設型枠、RCプレキャスト型枠、突起付きH形鋼を使用して在来工法に比べて工期を大幅に短縮した。また、プレキャスト部材間に打設する後打ちコンクリートには、分離低減型高性能減水剤を使用し、簡易な締固めで高い充填性が得られるコンクリートを用いた。本報告は、プレキャスト部材および鋼材を用いて、港湾用ケーソンを製作する新しい工法について、開発経緯と実施工の結果について報告するものである。

キーワード: プレキャスト型枠、港湾用ケーソン、H形鋼、分離低減型高性能減水剤

1. はじめに

一般の土木構造物と同様に、港湾用構造物の製作工事においても熟練工の不足や高齢化が懸念されている。また、現在の社会情勢から、今後新たな社会資本整備を行うためには可能な限りのコスト縮減が求められる。

港湾用ケーソンをフローティングドック(FD)上で製作する場合には、工期の短縮がFDの使用期間を短くすることになり、コストの縮減につながる。そこで、港湾用ケーソンを対象に、プレキャスト埋設型枠と鋼材を使用したプレキャストケーソン製作工法を開発し、ケーソン製作の省人化と工期の短縮を図った。

本報告は、港湾用ケーソンを対象とした新しいプレキャストケーソン製作工法の開発と、苫小牧港東港での本工法による防波堤ケーソン製作工事の施工結果について報告するものである。

キャスト型枠、外壁の鉛直鉄筋の代わりに用いた突起付きH形鋼である。

高耐久性埋設型枠は、水セメント比30%のモルタルにステンレスファイバーを体積で1.5%混入して補強した厚さ50mmのモルタル板である。また、RCプレキャスト型枠は隔壁用の鉄筋を内部に配筋した厚さ75mmの鉄筋コンクリート板であり、ともに本体構造の一部をなしている。そして、突起付きH形鋼はH形鋼のフランジにコンクリートとの付着を確保するために圧延時に縞状の突起を設けたものである。

また、プレキャスト型枠で挟まれた外壁・隔壁部には、分離低減型高性能減水剤を使用し、簡易な締固めで高い充填性が得られるコンクリート(以降、流動コンクリートと称す)を用いた。

これらの主要使用材料を表-1に示す。

表-1 主要使用材料

名称	数量	仕様
高耐久性埋設型枠	572 m ²	厚さ50mm、【材齢14日】曲げ強度7.85N/mm ² 、圧縮強度70N/mm ² (設計上24N/mm ²)、H=1800mm×5段、H=1000mm×2段
RCプレキャスト型枠	1,417 m ²	厚さ75mm、【材齢14日】曲げ強度4.5N/mm ² 、圧縮強度35N/mm ² (設計上24N/mm ²)、H=900mm×10段、H=575mm×2段
突起付きH形鋼	15.0 ton	SM490A、H=150×158×7×10、突起高さ1.5mm、突起ピッチ15mm、L=10.7m-36本、L=3.85m-14本
流動コンクリート	217.0 m ³	設計基準強度24N/mm ² 、Gmax20mm、スランプフロー=500±100mm

2. 港湾用プレキャストケーソンの概要

2.1 使用材料

プレキャストケーソン製作に使用した主な材料は、ケーソンの外壁外面に用いた高耐久性埋設型枠、中詰め室内の型枠に使用したRCプレ

- *1 前田建設工業(株)技術研究所 研究第一グループ 工修 (正会員)
- *2 前田建設工業(株)技術研究所 研究第一グループ (正会員)
- *3 前田建設工業(株)技術研究所 研究第一グループ 工博 (正会員)
- *4 北海道開発局 室蘭開発建設部 苫小牧港湾建設事務所 第2工事課長

2.2 防波堤ケーソンの施工概要

苫小牧港東港で施工したプレキャストケーソンの形状・寸法は、**図-1**に示すように、長さ14m×幅12m×高さ11mの直方体であり、質量は1209tonである。また、沈設時に砂が投入される中詰め室は9マスである。

プレキャストケーソンの概念図を**図-2**に示す。また、本工法の特徴は以下の通りである。

- ① プレキャストケーソン製作の作業は、工場での作業、陸上(製作ヤード)作業およびFD上作業に分類される。
- ② 工場で作成された高耐久性埋設型枠、RCプレキャスト型枠および加工された突起付きH形鋼は、工程に合わせて必要な時期に製作ヤードへ搬入される。

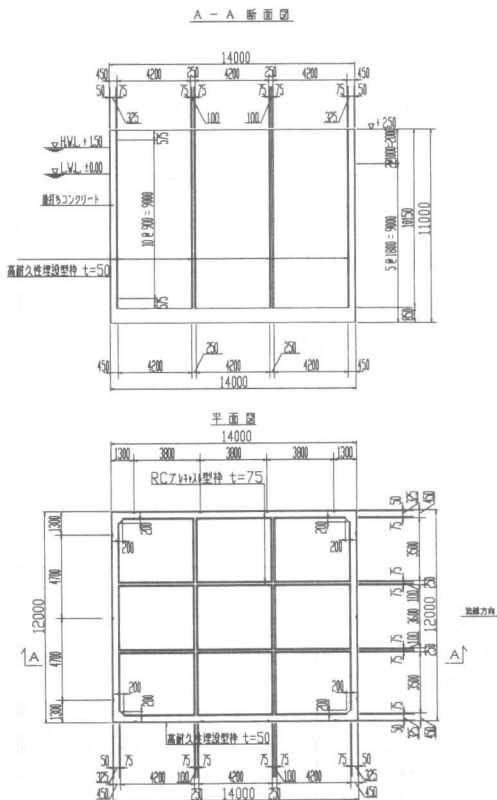


図-1 プレキャストケーソンの形状・寸法

- ③ 陸上で高耐久性埋設型枠、RCプレキャスト型枠を組み立てて、仮置きしておく。
- ④ 外壁の水平鉄筋は、大組みされた高耐久性埋設型枠に取り付けておく。
- ⑤ FD係留後に組み立てた高耐久性埋設型枠、RCプレキャスト型枠をFD上で積み重ねてケーソンを製作する。

プレキャストケーソン製作の施工手順を**図-3**および**図-4**に示す。

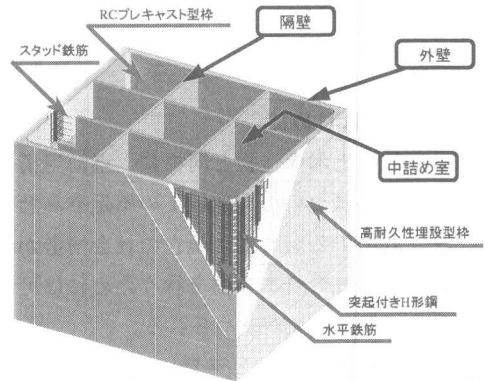


図-2 プレキャストケーソンの概念

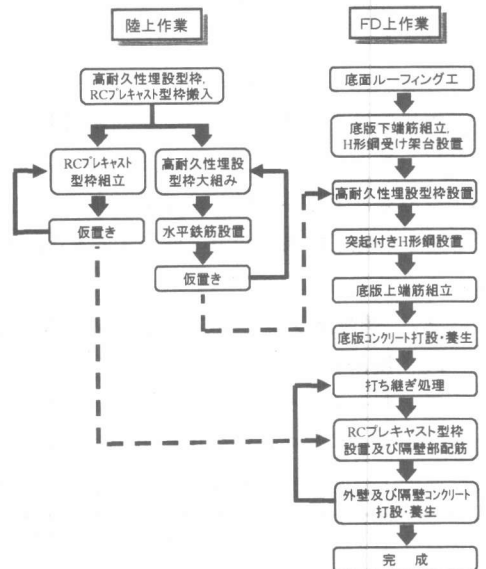


図-3 施工フロー

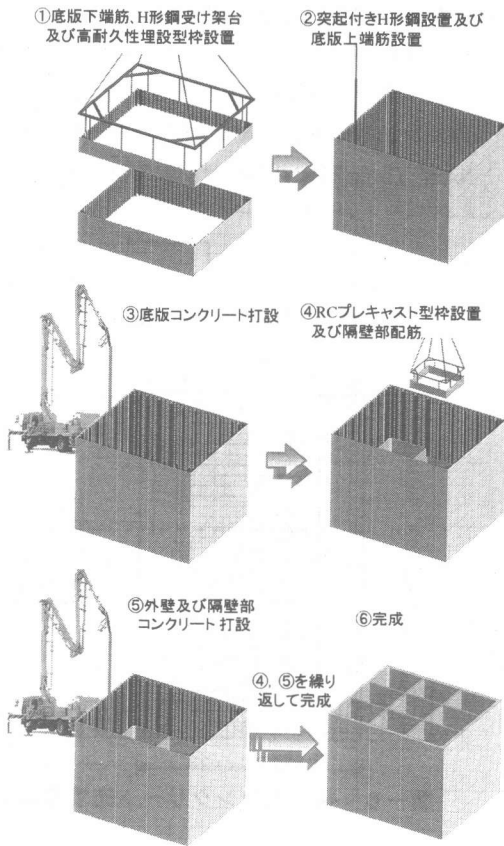


図-4 プレキャストケーソン製作手順

3. 設計、施工上の課題の検討

プレキャストケーソン製作工法の開発に当たって、設計上、施工上の課題を検討した。その中の主な検討事項について以下に述べる。

3.1 突起付きH形鋼間隔の検討

外壁の鉛直鉄筋の代わりに突起付きH形鋼を用いる場合、鉄筋に比べて断面積の大きい鋼材に置換するため、H形鋼の間隔が広がる。その場合、ひび割れが分散しにくくなるため、ひび割れ幅が拡大し、耐久性に影響を及ぼす可能性があることが懸念された。

また、プレキャストケーソンの設計をする上では、突起付きH形鋼の許容される最大間隔を把握する必要があった。そこで、表-2および

図-5に示すような、突起付きH形鋼の間隔をパラメータとした鉄骨コンクリート版(SC版)を製作し、曲げ載荷試験を行った¹⁾。

表-2 実験ケース一覧

実験ケース	H形鋼の中心間隔①	①/フランジ幅	試験体の幅
CASE-1	1000mm	10	2000mm
CASE-2	800mm	8	1600mm
CASE-3	600mm	6	1200mm
CASE-4	400mm	4	800mm

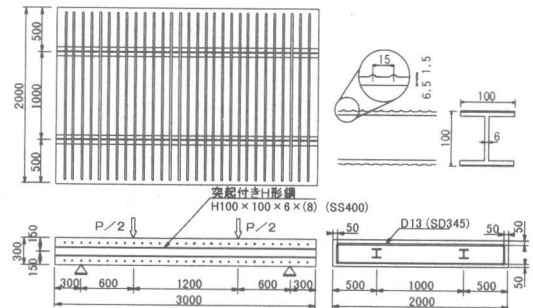


図-5 試験体の形状・寸法(CASE-1の例)

その結果、表-3の(A)欄に示すように、突起付きH形鋼の間隔が大きくなるほど、中心軸線上での最大ひび割れ幅が大きくなっている。

コンクリート標準示方書²⁾の「特に厳しい腐食性環境」下での許容ひび割れ幅の規定を基に、許容ひび割れ幅を0.35mm【 $0.0035C=0.0035 \times 100=0.35\text{mm}(C:\text{かぶり})$ 】とすると、H形鋼間隔がフランジ幅の6倍までは、この許容ひび割れ幅を満足している。

既往の実験結果で、ステンレスファイバーで補強した高耐久性埋設型枠を引張側に配置すると、ひび割れ幅が60%に低減できることが明らかとなっている³⁾。そこで、高耐久性埋設型枠を取り付けた場合の最大ひび割れ幅を算定すると、表-3の(B)欄に示すようにH形鋼間隔がフランジ幅の10倍(CASE-1)でも許容ひび割れ幅を満足するものと考えられる。

したがって、本工法では、外壁部に高耐久性埋設型枠を使用することを前提に、突起付きH形鋼の最大の間隔はH形鋼フランジ幅の10倍以下で設計するものとした。

表一 3 SC版試験体の最大ひび割れ幅

実験ケース	SC版試験体 (A)		高耐久性埋設型枠を取り付けた場合(算定値) (B)	
	H形鋼位置	中心軸線上	H形鋼位置	中心軸線上
CASE-1	0.31mm (0.93)	0.51mm (1.56)	0.19mm (0.93)	0.31mm (1.56)
CASE-2	0.36mm (1.06)	0.41mm (1.25)	0.21mm (1.06)	0.25mm (1.25)
CASE-3	0.32mm (0.96)	0.34mm (1.02)	0.19mm (0.96)	0.20mm (1.02)
CASE-4	0.34mm (1.00)	0.33mm (1.00)	0.20mm (1.00)	0.20mm (1.00)

ひび割れ幅は、H形鋼下フランジが許容引張応力度140N/mm²時の値。
()内の数字は、CASE-4に対する比率を示す。

3.2 後打ちコンクリートの充填性確認試験

対象となるケーソンを在来工法で施工した場合、コンクリート打設回数は底版コンクリートを含めて4回となる。この時、現場でのコンクリートの打設回数を減らすことが、FD上での工期を短縮することとなる。そこで、底版コンクリートを1回、外壁・隔壁部コンクリートを2回で打設することとした。その場合、外壁・隔壁部の1回の打設高さは約5mとなる。

また、壁厚450mmの外壁部の後打ちコンクリート部の厚さは325mmとなる。しかも、外壁内には150mmの突起付きH形鋼がある。一方、隔壁部は厚さ250mmであり、RCプレキャスト型枠の厚みを除くと、100mmの厚さに後打ちコンクリートを打設しなければならない。

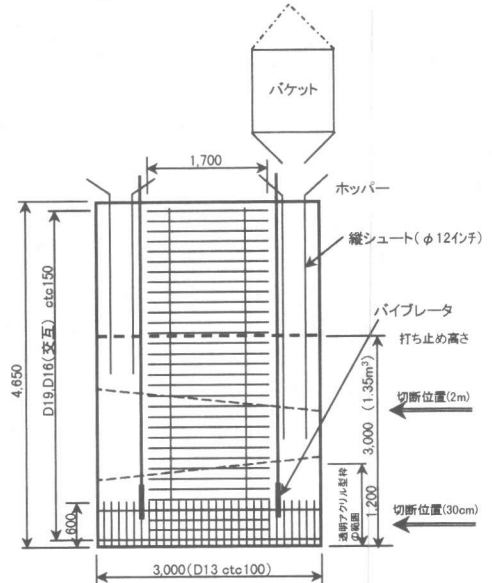
プレキャスト型枠で挟まれた部分にコンクリートを打設する場合、充填状況の確認が困難となる。しかも、型枠の幅が狭く、打設高さが高い。高流動コンクリートを使用すれば、確実な充填が確保できるが、側圧に対する補強が必要となることと、材料コストがかなり高くなる。

したがって、外壁・隔壁部に用いるコンクリートは、普通コンクリートよりも流動性・充填性がよく、高流動コンクリートよりも安価な、しかも簡易な締固めで高い充填性が得られるコンクリートが望ましい。

そこで、分離低減型高性能減水剤を使用することで、単位セメント量を抑制しながら、流動性、充填性を確保できる流動コンクリート⁴⁾を使用した。また、図一6に示す隔壁部を模擬した壁状の型枠を用いて充填性を確認した⁵⁾。

その結果、直接締固めを行っていない鉄筋周辺にも十分コンクリートが充填されており、コ

ア採取による圧縮強度も、締固めの有無で大差はない(有:36.7N/mm², 無:34.6N/mm²)ことが認められた。また、型枠に作用する最大側圧は2.5m打上がり時の0.037N/mm²(液圧0.059 N/mm²)と普通コンクリートを振動締固めた場合の0.039 N/mm²(2.0m打上がり時)と同等であった。



図一6 後打ちコンクリート充填確認試験

4. プレキャストケーソンの実施工

4.1 工場でのプレキャスト部材製作

高耐久性埋設型枠製作用の型枠内に所要のインサートをセットし、オムニミキサで混練したステンレスファイバー混入モルタルを打設した。

一方、RCプレキャスト型枠は、粗骨材最大寸法20mmのコンクリートを使用して製造した。

また、高耐久性埋設型枠、RCプレキャスト型枠ともに、常圧蒸気養生を行い、打ち継ぎ面は、後打ちコンクリートとの付着を確保するために、高圧洗浄水により目粗し処理を行った。

4.2 陸上でのプレキャスト型枠の組立

(1)高耐久性埋設型枠の組立

高耐久性埋設型枠は、コーナーパネル4枚、平パネル10枚で14m×12mの大きさに大組みした。1段の高さは、1800mm(5段)および1000mm(2段)である。

高耐久性埋設型枠の組立ヤードは、レベル調整した組立架台を各パネルのジョイント部に配置した。組立架台には、パネルの鉛直性および型枠の直線性を調整できるように、上下にジャッキが付いている。また、パネル両端のリップ(高さ 50mm)にボルトを通しパネル同士を連結した。各鉛直目地部には止水ゴムを取付けてある。

高耐久性埋設型枠の組立には、クローラクレーン(60ton)を使用し、大組みした高耐久性埋設型枠は、レベルを保持して仮置きした。

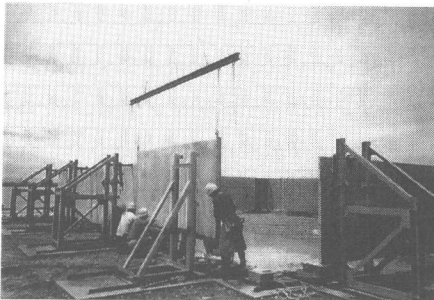


写真-1 高耐久性埋設型枠組立て状況

(2) RCプレキャスト型枠の組立

RCプレキャスト型枠は、RCプレキャスト型枠組立架台を使用し、平パネル4枚をボックス状に組み立てた。ボックスの数は合計108個で、高さは標準部で900mm(90個)、最下段および最上段では575mm(18個)である。この高さはFDのクレーンでの吊り込みを考え、ボックスの質量が3ton未満になるように設定した。

4.3 FD上でのケーソンの製作

(1) 底版下端筋およびH形鋼受け架台設置

FD上にルーフィングシートを敷設した後、底版の下端筋を配筋し、その上に突起付きH形鋼を建て込むための受け架台を設置した。

(2) 高耐久性埋設型枠の設置

大組みした高耐久性埋設型枠をFD上に設置するために、専用の吊り治具を使用し、吊り治具と各ジョイント部の全てのジョイント部にレバブロックを取り付け、水平に吊り上げられるようにした。

FD上への設置にはトラッククレーン(500ton)を使用した。高耐久性埋設型枠の水平目地には止水ゴムを取り付け、エポキシ樹脂で上下の埋設型枠を接着した。

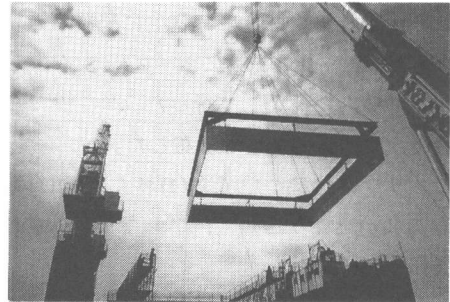


写真-2 高耐久性埋設型枠設置状況

(3) 突起付きH形鋼・底版上端筋設置および底版コンクリート打設

突起付きH形鋼を受け架台にボルトで締結し、中段では高耐久性埋設型枠のインサートを利用し、上段では外足場を利用して固定した。

その後、底版の上端筋を配筋し、陸上に配置したポンプ車により、スランプ12cmの普通コンクリートで底版(850mm厚)を打設した。

(4) RCプレキャスト型枠の設置

外壁・隔壁部のコンクリートは2回に分けて打設するため、まずRCプレキャスト型枠を9マス×6段分(575mm×1段、900mm×5段)=54個設置した。FDのクレーンを用いてボックスを設置し、高耐久性埋設型枠あるいは隣接するRCプレキャスト型枠とセパレータで固定した。また、内足場は、RCプレキャスト型枠の上昇に合わせて移動可能なものとした。

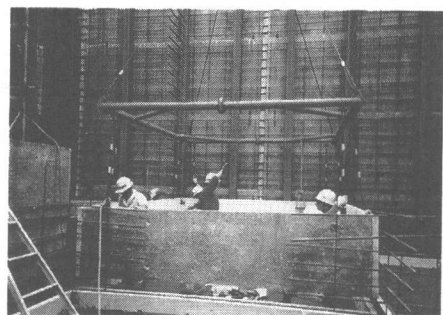


写真-3 RCプレキャスト型枠設置状況

(5)外壁・隔壁部コンクリート打設

外壁・隔壁部には表-4に示す流動コンクリートを使用し、1リフト目は高さ約4.8mを、打ち上がり高さ1m/hr以下として、外壁、隔壁の順で打設した。打設には陸上に配置したポンプ車を用い、配管の先端にホース(φ8インチ)を取付けて壁内に挿入して行った。コンクリート打設後、打継ぎ処理剤を散布した。

2リフト目についても(4)および(5)(打設高さ約5.2m)を繰り返して、プレキャストケーソン製作を完了した。

なお、外壁と隔壁交差部のH形鋼フランジ内側や隔壁交差部の鉄筋位置に、高さ方向に1mピッチで熱電対を設置し、コンクリート打設中に計測を行った。その結果、充填が困難な場所にも確実に充填されていることが確認された。

表-4 外壁・隔壁部コンクリートの配合

粗骨材最大寸法(mm)	スランブロー(mm)	空気量(%)	単位粗骨材絶対容積(m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)							高性能減水剤	空気量調整剤
				W/C(%)	s/a(%)	W	C	S	G			
20	500±100	4.5±1.5	0.310	43	55	155	360	1003	837	C×0.90%	適量	

4.4 工期

なお、今回の実施工におけるFD上での実稼働工程(養生を含め24日)を図-7に示す。

また、暦日では26日で製作できており、在来工法による暦日50.6日(積算上)の約半分であった。

工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
ルーフィング・外足場、他	■																									
底版鉄筋工		■																								
H形鋼受け架台設置			■																							
突起付きH形鋼設置				■																						
高耐久性埋設型枠設置					■																					
RCプレキャスト型枠設置						■																				
コンクリート工							■																			
打継ぎ処理・養生								■																		
進水・仮置き																										■

図-7 プレキャストケーソン製作実工程

5. まとめ

- (1) 本プレキャストケーソン製作工法のFD上での工期は、在来工法の約半分であった。
- (2) 分離低減型高性能減水剤を用いた流動コン

クリートを使用することにより、H形鋼フランジ内側や厚さ100mmの隔壁の鉄筋周りにもコンクリートが確実に充填できた。

- (3) 流動コンクリートを用いることで、本構造形式の外壁・隔壁部を5m程度の高さで打設することが可能であると考えられる。
- (4) 今後、今回の施工結果を再検討し、構造、施工方法を改良することで、さらに工期短縮およびコスト縮減が可能であると考えられる。

謝辞

本工法については、北海道開発局の新構造形式ケーソン製作工法開発検討委員会(委員長:佐伯浩北海道大学教授)の中で討議され、貴重なご意見を頂きましたことを厚く御礼申し上げます。

また、共同開発者として、実験等のご協力を頂いた川崎製鉄(株)の皆様にも感謝いたします。

参考文献

- (1) 大久保浩弥, 芥川博昭, 舟橋政司, 小原孝之: 突起付きH形鋼の配置間隔がSC板部材の耐荷性能およびひび割れ性状に及ぼす影響, 土木学会第54回年次学術講演会, pp.794-795, 1999.9
- (2) (社)土木学会, 「コンクリート標準示方書設計編」, pp.87-88, 1996
- (3) 河野一徳, 篠田佳男, 長崎利哉, 大久保浩弥: 突起付きH鋼を用いた鉄骨コンクリート梁部材のひび割れおよび変形性状, 土木学会第50回年次学術講演会, pp.870-871, 1995.9
- (4) 柳澤太一, 中島良光, 舟橋政司, 渡部正: 分離低減型高性能AE減水剤を用いたコンクリートの材料分離抵抗性および締固め特性に関する検討, 土木学会第53回年次学術講演会, pp.390-391, 1998.10
- (5) 舟橋政司, 渡部正, 柳澤太一: 分離低減型高性能AE減水剤を用いたコンクリートの施工性試験, 土木学会第53回年次学術講演会, pp.400-401, 1998.10