鉄骨プレキャスト構造による ケーソン構築工法の開発

DEVELOPMENT OF PRECAST FORM CAISSON

関口信一郎[1]・高田稔年[2]・岡崎光信[3]・宮部秀一[4]・横沢和夫[5]
Sin-ichiro SEKIGUTI,Narutoshi TAKADA,Mitunobu OKAZAKI,Shuichi MIYABE, Kazuo YOKOZAWA

[1]正会員 工修 北海道開発局港湾部空港課（〒060-8511 札幌市北区北8条西2丁目）
[2] 北海道開発局農業水産部水産課（〒060-8511 札幌市北区北8条西2丁目）
[3] 北海道開発局苫小牧港湾建設事務所（〒053-0011 苫小牧市末広町1丁目1-1）
[4]正会員 北海道開発局開発土木研究所港湾研究室（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-1）
[5]正会員 工博 前田建設工業㈱技術本部技術研究所（〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16）

This study describes the design and benefits of a new type of caisson called the "precast form caisson". Many recently developed caisson construction methods use full-precast plates, whose joints are poor in durability and load bearing capacity. Design and construction methods that compensate for these weaknesses by using full-precast members are very complicated, making them inferior in cost and effectiveness. The authors overcame those drawbacks by using a precast form concrete caisson that has half-precast members and a reinforced concrete composite structure. The caisson is made of H-steel and comprises a high-durability precast form and an RC precast form, which are filled with super-plasticized concrete. In July 1999, we produced a precast form caisson measuring 14 m long, 12 m wide and 11 m high in Tomakomai Port, to verify the method's effectiveness and economic feasibility.

key Words : precast form caisson, construction method, highly durable permanent formwork, reiforced concrete permanent formwork, embossed H-section steel

1．研究の目的

通常、ケーソンは鉄筋コンクリート構造で造られており、配筋の施工に熟練した技術と大きな労力を要することから、労働環境の改善、ケーソン製作の省力化、将来の熟練技術者不足の解消などのために、新しいケーソン構築工法が試みられている。従来の鉄筋コンクリートを前提とした工法としては、鉄筋組みのユニット化が一部実用化されているほか[1]、ケーソンヤードにおける型枠作業や製作工程の自動化が検討されている[2]。

現在までに新しい構築工法によって実証試験が行われ、あるいは実用化されている主なケーソンとしてハイブリットケーソン、パネルシステムケーソン、プレキャストケーソンがある。これらの構築工法では、ハイブリットケーソンのように工場およびケーソン製作現場の立地に地理的制約を受けたり[3]、パネルシステムケーソンやプレキャストケーソンのようにフルプレキャスト部材の接合部が耐荷性、耐久性の弱点になるため特別の工夫が必要で、工費が高くなるという欠点があった[4)5)]。

本研究の目的は、従来の工法の問題点を解決する経済的で効率的な構築工法（プレキャストフォームケーソン工法と称す）を開発することにある。そのために設計、施工方法について検討し、ケーソンを製作して工法の優位性を実証する。

2．プレキャストフォームケーソンの特徴

プレキャストフォームケーソンは、図-1の構造概念図に示したように、高耐久性埋設型枠、突起付きH型鋼、水平鉄筋、RCプレキャスト版、型枠間に充

表-1　中流動コンクリートの配合条件

設計基準強度 (N/mm²)	空気量 (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプフロー (cm)	水セメント比の限度 (%)	最小単位セメント量 (kg/m³)	混和剤の種別
24	4.5	20	50	50	300	高性能AE減水剤

填された中流動コンクリート(スランプフローが流動化コンクリートと高流動コンクリートの中間値である35～60cm程度であることから中流動コンクリートと称し、配合は表-1のとおりである。)から構成される。底版は場所打ちコンクリートのRC構造であり、以下のような特徴を有する。

①鉄骨コンクリートは鉄筋コンクリートと比較し、高い耐荷性能を有し、配筋作業を大幅に縮小でき、さらに埋設型枠を大組して組立てるため、工期を大幅に短縮できる。

②流動性の高いコンクリートを埋設型枠間に充填して一体化するため、フルプレキャスト部材の接合部のような構造上の弱点がない。

③工場およびケーソン製作現場の立地に地理的制約を受けず、どこでも製作できる。

④高耐久性埋設型枠は高い耐荷性能と耐久性を有するプレキャスト部材であるため、これまでのケーソンと比べ優れた品質を有する。

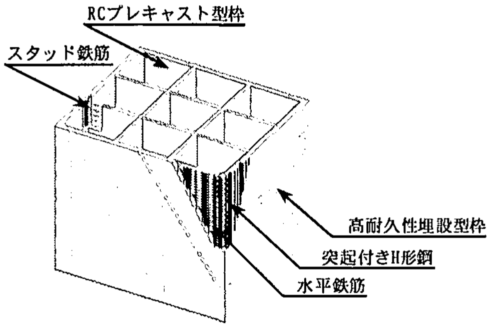


図-1　構造概念図

3．プレキャストフォームケーソンの設計法

(1)プレキャストストフォームケーソンの設計上の課題

プレキャストフォームケーソンは側壁が鉄骨鉄筋コンクリート構造であること、埋設型枠の応力を期待すること、流動性の高いコンクリートを用いることから、その設計に当たっては表-2に示すような課題を解決する必要がある。そのうち、突起付きH形鋼の間隔および流動性の高いコンクリートの充填性能については実験により[6]、他の項目は既往の文献に基づき決定あるいは確認を行った。

表-2　プレキャストフォームケーソン設計上の課題

構　造　等	検 討 課 題
鉄骨鉄筋コンクリート	突起付きH形鋼の間隔
高耐久性埋設型枠と後打ちコンクリート（流動性コンクリート）	一体性の確保
流動性コンクリート	充填性
側壁の内側(RC埋設型枠)の不連続面	水平鉄筋の継手方法
高耐久性埋設型枠	型枠の接合方法
隔壁のRC埋設型枠の接合面	接合面の境界条件

(2)突起付きH形鋼の配置間隔

本工法では、鉛直鉄筋に代えて必要鉄筋量相当の突起付きH形鋼をある間隔で配置することによって必要な耐荷力を確保する。その場合許容される鋼材の最大間隔を把握する必要があるので実験によって確認した。

試験体はいずれも高さ30cm、全長300cmの供試体内に，100サイズのH形鋼を表-3の間隔で2本配置、帯鉄筋（D13）を10cmピッチで配筋した。突起付きH形鋼および鉄筋の材質はおのおのSS400、SD345、コンクリートは呼び強度240kgf／cm²(24N/mm²)のレディーミクストコンクリート（早強、G_{max}＝20mm）である。H形鋼の突起高さは15mm、1.5cm間隔である（図-2）。

表-3　試験体の主な仕様

実験ケース	H形鋼の中心間隔(L)	(L)/フランジ幅
CASE-1	1,000 mm	10
CASE-2	800 mm	8
CASE-3	600 mm	6
CASE-4	400 mm	4

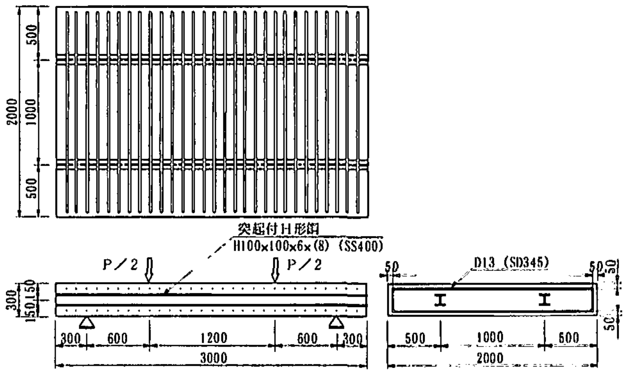


図-2　試験体の形状・寸法および配筋(CASE-1)

表-4　実験値と解析値の比較

		実験値①	解析値②	①／②
CASE-1	ひび割れ発生荷重 (tf)	16	25.7	0.62
	終局荷重 (tf)	61.8	57.1	1.08
	終局変位 (mm)	93.5[1)]	82.1	1.14
CASE-2	ひび割れ発生荷重 (tf)	14	20.6	0.68
	終局荷重 (tf)	63.7	60.7	1.05
	終局変位 (mm)	90.7[1)]	58.92	1.54
CASE-3	ひび割れ発生荷重 (tf)	10	13.0	0.77
	終局荷重 (tf)	61.1	57.6	1.06
	終局変位 (mm)	66.0[1)]	40.8	1.62
CASE-4	ひび割れ発生荷重 (tf)	7	8.1	0.86
	終局荷重 (tf)	56.2	51.4	1.09
	終局変位 (mm)	48.0[1)]	29.4	1.63

1) 最大荷重後に荷重が明らかに低下した時点を終局と定義した。

表-4に実験値と解析値の比較、図-3、4にそれぞれの荷重と支間中央点のたわみの関係、幅方向におけるコンクリートひずみの分布を示す。

最もH形鋼の間隔が離れているCASE-1では、H形鋼間の中央点のひずみが小さく有効幅の影響が現れているように見えるが，表-4における耐荷力、変形性状およびひびわれ幅を比較して実用的に問題ないと判断できる。すなわち、H形鋼のフランジ幅の10倍の間隔まで突起付きH形鋼の間隔をとることができる。

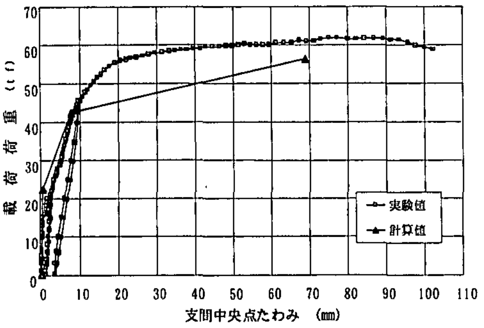


図-3 荷重と支間中央点のたわみの関係
～計算値との比較～(CASE-1)

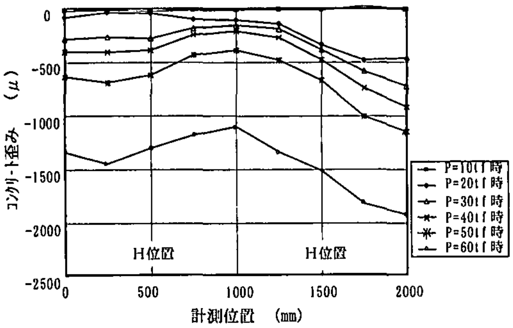


図-4 幅方向におけるコンクリートひずみの分布状況(CASE-1)

(3)後打ちコンクリートの充填性能

側壁および隔壁は、高耐久性埋設型枠あるいはRCプレキャスト埋設型枠に挟まれた狭隘部にコンクリートを充填することにより構築する。空隙の幅を150mm程度、打設高さを4.0～5.0m程度に予定している。

普通コンクリートでは，施工性や品質に問題が生じる可能性があるので、中流動コンクリートを採用することとし，所要の成果が発現することを確認した。

中流動コンクリートは，セメント分散成分と特殊分離低減型減水成分を複合したポリカルボン酸系高性能AE減水剤を使用した。これは、流動性・材料分離抵抗性に優れ、ジャンカ等の初期欠陥を防止でき、かつ製造が容易で経費を低く抑えることができる。

図-5は中流動コンクリートの流動性実験の一例である。中流動コンクリートは、締固めの前後で状態にほとんど差がなく，極めて流動性の高いことがわかる。

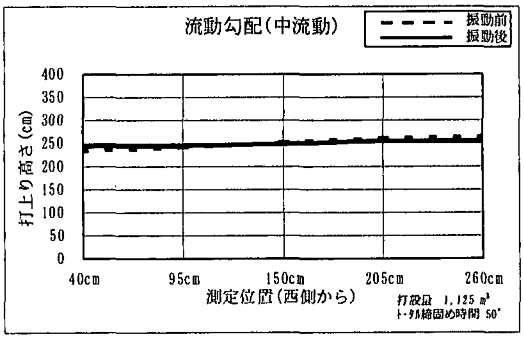


図-5 中流動コンクリートの流動性

また、高耐久性埋設型枠は，高強度モルタルをステンレスファイバーで補強したものである。特徴として充填コンクリートとの付着性能に優れ、凍結融解作用や腐食因子の侵入に対する抵抗性が強く荷重に対する疲労特性にも優れており、(財)土木研究センターより土木系材料技術・技術審査証明を受けている（表-5)。

表-5 高耐久性埋設型枠材料の特性値

項　目	特 性 値
圧縮強度	68.6×10³kN/m²以上
曲げ強度	11.8×10³kN/m²以上
ヤング係数	3.4×10⁷kN/m²
単位体積重量	23.5kN/m³

(4)側壁と隔壁の交点における抜出し耐力の向上のための配筋

図-6のように、側壁と隔壁の交点において、あらかじめジベル筋を溶接したH形鋼を設置し、側壁の抜出し防止筋とした。

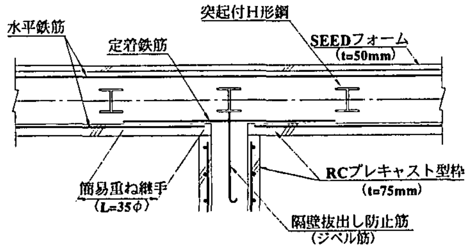


図-6 側壁・隔壁部の継手構造概念図

(5)側壁と隔壁交点における内側水平鉄筋の継手構造

直接波浪の影響を受けない部分にはRCプレキャスト埋設型枠を用いる。その際RCプレキャスト埋設型枠内の配筋を水平鉄筋として設計する。

ただし，図-6から明らかなように、側壁の内側鉄

筋および隔壁の鉄筋はRCプレキャスト埋設型枠内にあり、側壁と隔壁の交点および隔壁同士の交点においては鉄筋間隔が離れ、継手が必要になる。

前者については文献7)において主筋と継手筋を分離した簡易継手が開発されているので、これを採用することとした。この簡易継手は従来の重ね継手とほぼ同程度の最終耐力を有しており、継手筋の最小重合わせ長さは35φ程度である。後者については継手として十字鉄筋を採用した1)。

(6) プレキャスト型枠接合面の断面欠損に対する構造モデル化

図-7のように、積上げたRCプレキャスト埋設型枠の水平接合面において、配筋が連続しないため断面が減少するので、隔壁の設計に際して最下端の部分を3辺固定1辺自由版、それより上の部分を2辺固定版にモデル化して設計した。

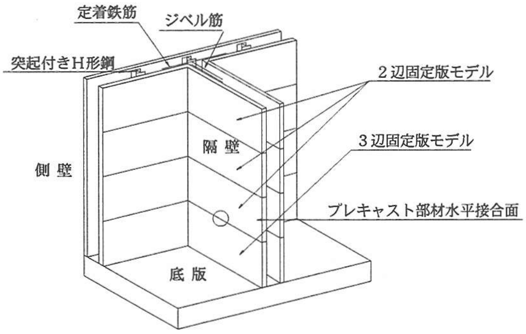


図-7　プレキャストボックスで挟まれた隔壁の設計モデル概念図

4．実証実験

(1) 施工方法

構築工法を実証するために、平成11年7月から8月にかけて、苫小牧港東港区において、内防波堤の堤頭部ケーソン1函を製作した。

ケーソン寸法は長さ14m、幅12m、高さ11m、隔室数9室(3×3)、底版厚85cm、側壁厚45cm、隔壁厚25cmである。

ケーソン製作は、図-8に示すように陸上作業とフローティングドック(FD)上の作業に分けられる。陸上ではFD上の作業の前作業を行う。

施工計画は表-6のとおりであり、RC構造によるケーソン製作の場合と比較し工期は1/2となる。

施工は、以下の手順で行った。

①高耐久性埋設型枠、RCプレキャスト型枠等を工場から陸上現場に搬入する。高耐久性埋設型枠(縦1.8m、横4.7m、厚さ50mm)を架台上に大組し、その裏側に水平鉄筋を配置する(写真-1)。RCプレキャスト型枠を箱形に組み隔室用型枠とする(写真-2)。

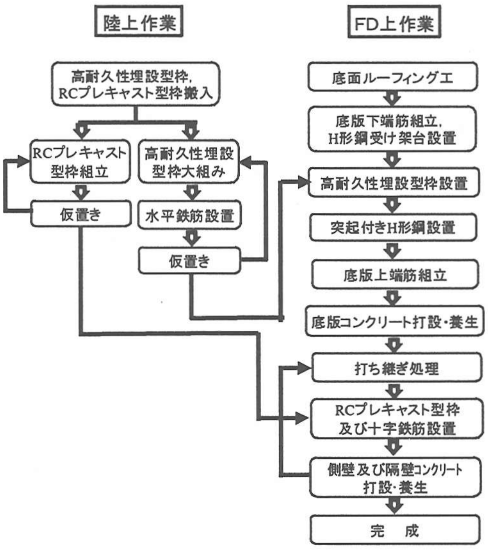


図-8　ケーソン製作のフロー

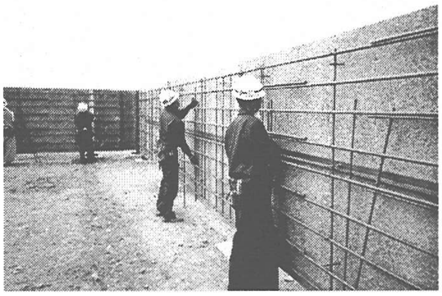


写真-1　側壁外側水平鉄筋配筋状況

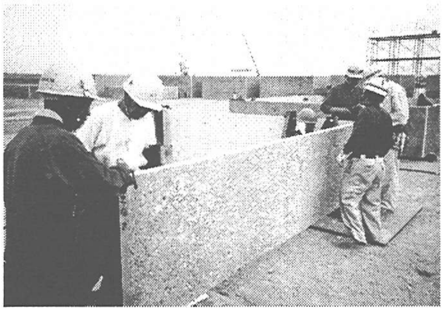


写真-2　ＲＣプレキャスト埋設型枠組立状況

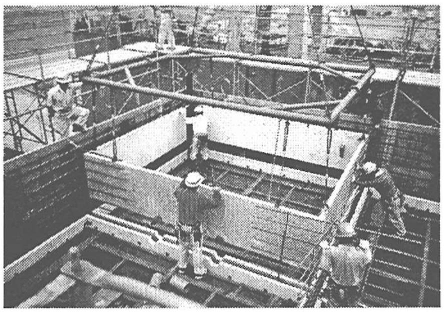


写真-3　ＲＣプレキャスト埋設型枠設置状況

表-6　在来工法とプレキャストフォームケーソンの製作日数

在来工法

	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	27	28	29	30	31	32	33	34	35
鉄筋工	—	—	—							—	—					—	—					—	—												
型枠工				—	—	—			—			—	—					—	—					—	—						—	—			
コンクリート工							—							—						—						—									
打継処理・養生								—							—						—						—	—	—	—	—	—			
進水																																	—		

暦日工程 ： 27×1.65(供用係数) +6(最終養生日数)＝50.6日

プレキャストフォームケーソン

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
鉄筋工	—			—																
H形鋼受け架台設置	—																			
高耐久性埋設型枠設置		—	—																	
突起付きH形鋼設置			—	—																
RCプレキャスト型枠設置						—	—		—	—	—									
コンクリート工				—				—			—									
打継処理・養生					—			—	—			—	—	—	—	—	—			
進水																		—		

暦日工程 ： 12×1.65(供用係数) +6(最終養生日数)＝25.8日

②上記作業と並行して、FD上で底面ルーフィング工を行い、ケーソン底版の下端筋を組立て、H形鋼の受け台を設置する。

③大組した高耐久性埋設型枠を陸上クレーンで吊って、FD上の所定の位直に設置する(写真-3)。最下段の設置精度がそれ以後の製作精度に影響するため、高さについては接合位置でライナープレートを用いて調整する。水平および鉛直精度についてはサポートなどの支保材料を用いて調整する。2段目以降はガイドプレートを使用して精度を保ち施工した。

④ケーソン底版の上端筋を組立て、普通コンクリートを打設・養生する。その後打継ぎ処理を行う。

⑤箱形に組んだRCプレキャスト型枠をクレーンで吊ってFD上の所定の位置に設置し、十文字筋を設置する。

⑥3段目の箱形RCプレキャスト型枠を設置後、中流動コンクリートを打設し養生する。打継ぎ処理後、7段目まで箱形RCプレキャスト型枠を設置し、中流動コンクリートを打設・養生して、ケーソン製作を完了する。

(2)現地計測

コンクリートの充填性、型枠を固定するセパレータの配置、高耐久性埋設型枠およびRCプレキャスト埋設型枠の厚さについて確認調査を行った。

図-9～12に計測結果の例を示す。H形鋼フランジ背面、十字鉄筋位置に設置した熱電対は高さ方向の各点でコンクリート到達時刻に良く反応しており、

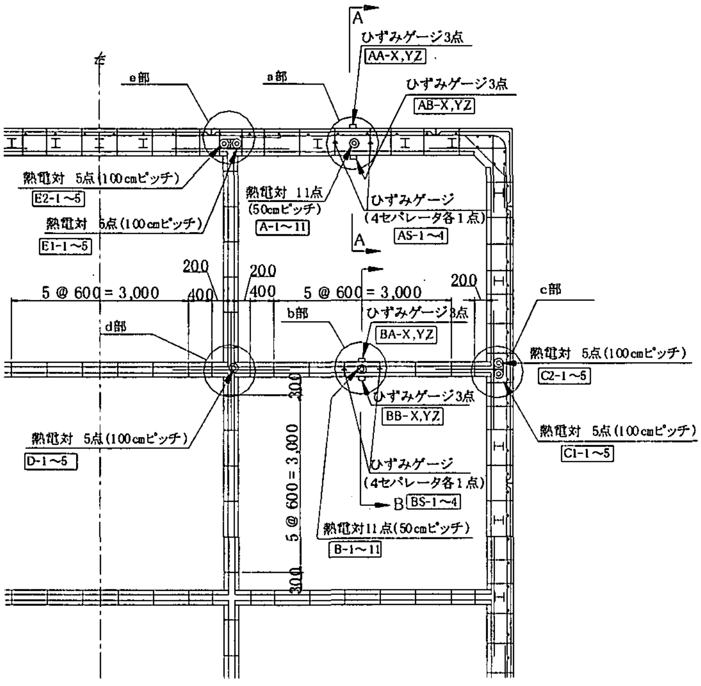


図-9　測　定　位　置

構造的にコンクリートが充填されにくい箇所にも十分ゆき渡っていた[10]。

また、発生した最大応力は高耐久性埋設型枠が許容応力度50kgf/m²(490N/m²)に対し21.7kgf/m²(213N/m²)、RCプレキャスト埋設型枠が許容応力度22kgf/m²(216N/m²)に対し16.3kgf/m²(160N/m²)であり十分余裕のあることを確認した。

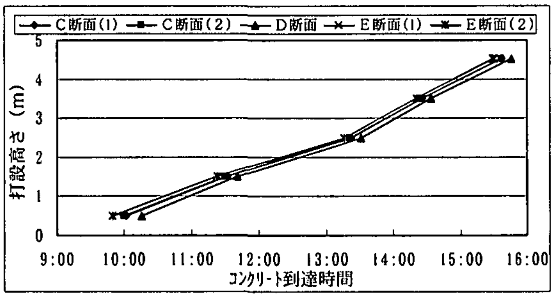
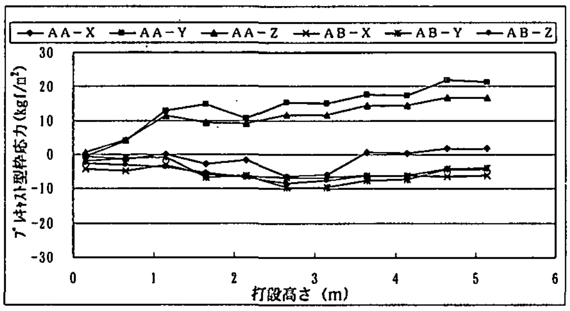


図-10　熱電対高さとコンクリート到達時間の関係図



(AA-X~Zは高耐久性型枠、AB-X~ZはRCプレキャスト型枠の応力を示す)

図-11　A断面打設高さとプレキャスト型枠応力の関係図

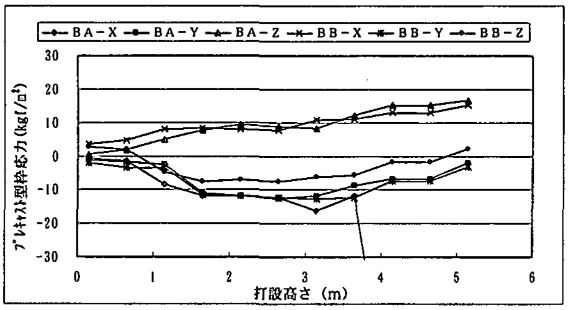


図-12　B断面打設高さとプレキャスト型枠応力の関係図

5．結論

①プレキャストフォームケーソン工法によってケーソン製作現場の地理的制約やフルプレキャスト部材の接合部における弱点などこれまで開発されたケーソンの問題点を解決できた。

②従来のRC構造のケーソンと比較し、工期、製作費は各々50%、99.4%であり、本工法の有効性が確認できた。

ケーソンの製作函数が増えるほど型枠の減価償却費が低減することから、より経済性が増す。また、ケーソンの急速施工が可能になった。

③中流動コンクリートの充填性能、セパレータの配置、型枠の厚さの確認ができた。

謝辞：プレキャストフォームケーソン工法の開発にあたって委員会(委員長：佐伯浩北大大学院教授)を設け、検討頂いた。ご指導頂いた委員の方々に謝意を表する次第である。

参考文献

1)運輸省第二港湾建設局横浜機械整備事務所、(財)沿岸開発研究センター：鉄筋ユニット工法技術資料、平成8年8月

2)運輸省第二港湾建設局横浜機械整備事務所、(財)沿岸開発研究センター：平成8年度大型ケーソン製作自動化技術調査、平成9年3月

3)運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻)、(社)日本港湾協会、平成11年4月

4)運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所：パネルシステムケーソン設計・施工技術資料、平成10年6月

5)運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所：プレキャストケーソン設計・施工マニュアル、平成9年3月

6)(財)港湾空港建設技術サービスセンター北海道支部：突起付きH形鋼の配置間隔が耐荷力に及ぼす影響を評価する板曲げ実験結果報告書、1998年

7)(財)先端建設技術センター・(社)日本建設機械化協会・建設機械化研究所：プレキャスト型枠の設計・施工技術の開発に関する要素実験

8)杉山篤、竹下治之、浅沼潔、松井健一、伊藤忠彦：プレキャストコンクリート型枠を使用した合理化技術の開発(その4)ー鉛直接合部における鉄筋継手の検討(継ぎ手性能実験)、土木学会第48回年次学術講演会、平成5年9月

9)河野一徳、篠田佳男、長崎利哉、大久保浩弥：突起付きH型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

10)室蘭開発建設部苫小牧港湾建設事務所：プレキャストフォームケーソンの開発と施工、第41回港湾工事研究会資料、平成12年1月