

報 告

[1137] 海洋環境下における耐久性を向上させた橋脚の施工

内藤 英晴*¹・鈴木 英生*²・竹内 春繁*³・真田 吉憲*⁴

1. まえがき

現在、青森県八戸港においては、将来予想される物流需要の増大や船舶の大型化への対応、市民の憩いの場の創造、といった総合的な港湾空間の形成を目指して各種の施設の整備が押し進められている。その一環として八戸港海上部に85ha（第1期:35ha, 第2期:50ha）の埋立てによる人工島（八戸港ポートアイランド）の整備が計画された。しかし、この事業計画地が海上部となるため、諸施設の整備には計画埋立て地と陸地側とを結ぶ連絡橋（(仮称)八戸港ポートアイランド連絡橋）の建設が急務とされ、現在はこの連絡橋の主橋梁部であるPC2径間非対称連続斜張橋を建設しているところである。

本橋梁は海上部という非常に過酷な環境下に置かれることになる。そこで、本橋梁を海洋コンクリート構造物と位置づけた基で、その設計および施工においては海洋環境下で十分な耐久性を確保できるような配慮を行っている。

特に、PC2径間連続斜張橋の短径間側に位置する橋脚の施工においては、作業空間等の制約から仮締切方式によるドライ施工が困難であり、海面下には水中コンクリートを施工する必要があった。しかし、この水中コンクリートは平面的に30m×5mといった広い領域に施工する必要があり、通常の水中コンクリートでは材料分離による品質低下が予想されたため、水中不分離性コンクリートにより施工を行った。また、水中コンクリートとその上部の気中コンクリートとの打継ぎ面からの塩分の浸入防止、躯体コンクリートの凍結融解作用からの保護、躯体鉄筋組立てのためのドライな空間確保、等を目的としてプレキャストコンクリート製の埋設型枠を使用した。

本報告は、これら水中不分離性コンクリートや埋設型枠の使用により、海洋環境下における耐久性を向上させた橋脚の施工方法について述べるものである。

2. 橋梁の概要

(仮称)八戸港ポートアイランド連絡橋はPC2径間連続斜張橋、PC3径間連続箱桁橋、およびPC単純中空床版橋から構成される全長292.5mの橋梁であり、そのうち現在建設中の主橋梁部であるPC2径間連続斜張橋（橋長165.5m）は、図-1に示すように道路橋としては我国で初めての傾斜独立一本柱形式（傾斜角75°）の主塔を持った橋梁である。斜材ケーブルはファン型の一面吊りを基本とし、短径間側の上3段のケーブルは、橋軸直角方向の耐震安定性改善のために橋梁幅員外に定着する構造となっている。主桁は逆台形の3室箱桁断面となっており、また主塔は橋面からの高さが47mのRC造となっている。

主橋脚であるP5橋脚は大規模な荷重を支持する必要があるために鋼管矢板井筒基礎が用いられており、P4およびP6橋脚には鋼管杭基礎が用いられている。本報告で述べるP6橋脚は短径間側に位置し、既設防波堤を改良利用したA2橋台に近接して設けられたものである。

*1 五洋・東洋・ドーピー・寺下JV 八戸港橋梁工事事務所工事主任、工修（正会員）

*2 青森県八戸港管理事務所次長

*3 青森県八戸港管理事務所工事第二課課長

*4 五洋・東洋・ドーピー・寺下JV 八戸港橋梁工事事務所所長

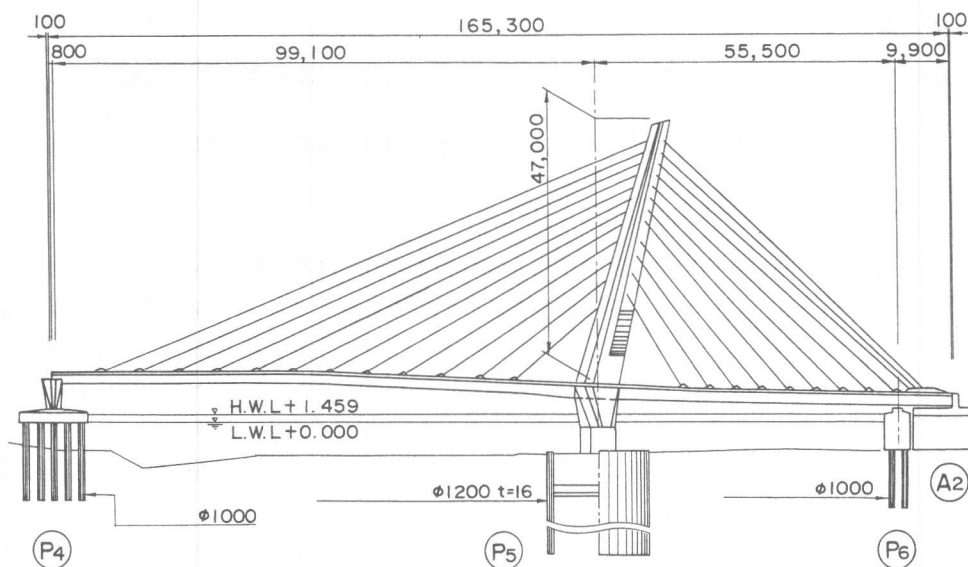


図-1 PC 2 径間連続斜張橋一般図

3. 橋脚の施工内容

3. 1 橋脚の構造と特徴

P 6橋脚は、図- 2 に示すように30m×5mの平面形状を有し、高さ方向には海底地盤面(-5.00m) ~ ±0.00mの区間が水中コンクリート(無筋)、±0.00m~+2.61mの区間が気中コンクリート(RC)である。埋設型枠(厚さ20cm)は、-1.00m~+1.80mの区間において躯体を取り囲むように配置されている。鋼管杭(φ1000mm)の上端は+1.00mにあり、気中コンクリート中に1m埋め込まれている。

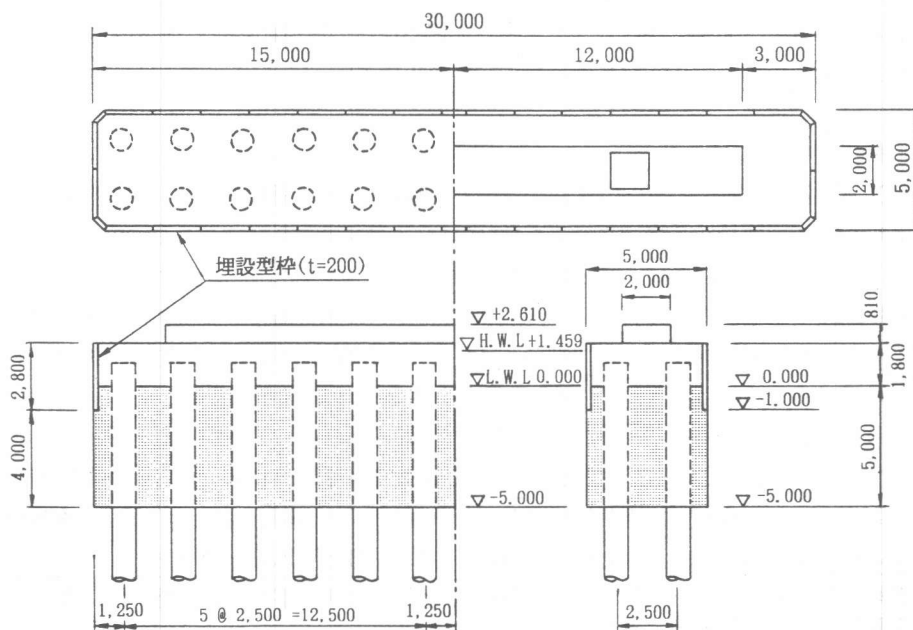


図- 2 P 6橋脚の構造

なお、埋設型枠の補強鉄筋および躯体鉄筋には、エポキシ樹脂塗装鉄筋（以下E P 筋と呼ぶ）を使用することにより耐久性の向上を図っている。

3. 2 施工手順

図- 3 のP6橋脚施工手順に示すように、水中型枠を設置後-5.00m～±0.00mの区間に水中不分離性コンクリートを3層に分けて打設した。同コンクリート硬化後に水中型枠の撤去と埋設型枠の据付けを行った。その後、4層目の水中不分離性コンクリートを-1.00m～±0.00mまで打設し、硬化後に埋設型枠内の排水を行って内部をドライな状態とした。そのドライな状態で躯体鉄筋の組立ておよび気中コンクリートの打設を行った。

3. 3 水中不分離性コンクリートの施工

(1) リフト割り

水中不分離性コンクリートは計4回に分けて打設したが、そのリフト割りを図- 4 に示す。1～3層目までは、1回の打設量がほぼ等しくなるように打設高さを設定した。また、各層および全体の打設量を表- 1 に示すが、同表に示すように水中不分離性コンクリートの総打設量は640m³であった。



図- 3 施工手順

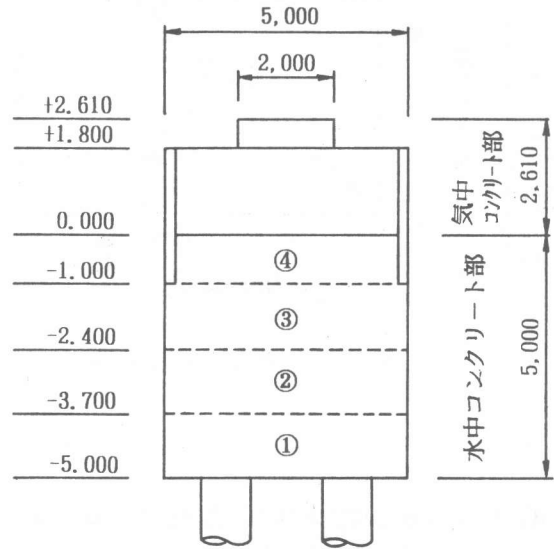


図- 4 リフト割り

表- 1 コンクリート打設量

リフト No.	位 置	層 厚 (m)	体 積 (m³)
①	-5.000 } -3.700	1.300	170
②	-3.700 } -2.400	1.300	170
③	-2.400 } -1.000	1.400	183
④	-1.000 } 0.000	1.000	117
計		5.000	640

(2) 配合

水中コンクリート部には、24本の鋼管杭が地盤から突出した形となっており、この鋼管杭がコンクリートの流動性を阻害することが考えられた。また、埋設型枠を設置することになる第3層

目の上面には大きな不陸を生じさせないことも必要であった。そこで、「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」[1]での標準値を参考にして、水中不分離性コンクリートの目標スランプフローを50cmとした。なお、所定のスランプフローおよび材料分離抵抗性を得るために、単位水量 $W=200\text{kg/m}^3$ とし、水中不分離性混和剤の添加量 H は単位水量の1.2%(重量比; $H=2.4\text{kg/m}^3$)とした。また、高性能減水剤をセメント重量の2%添加した。

(3) 打設

打設はポンプ車による直打ち工法とし、橋軸直角方向の一端から他端に向かってホースを徐々に移動させて行った。打上がり高さの管理はレッドと潜水土により行った。また、打継ぎ面は潜水土によりワイヤブラシがけを行い、良好な付着が得られるようにした。

(5) 強度管理結果

圧縮強度管理用供試体として、「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」に準じて、水中作製供試体と気中作製供試体とをそれぞれ採取した。これより得られた圧縮強度の発現状況を図-5に示す。材令28日強度に対する材令7日強度の比 $f'_c(7)/f'_c(28)$ は、水中作製供試体で65%、気中作製供試体で70%であった。また、材令7日および28日について、気中供試体強度と水中供試体強度との関係をプロットしたものを図-6に示す。気中供試体強度に対する水中供試体強度の比(水中/気中強度比)は、材令7日で86%、材令28日で92%、全体では90%であった。

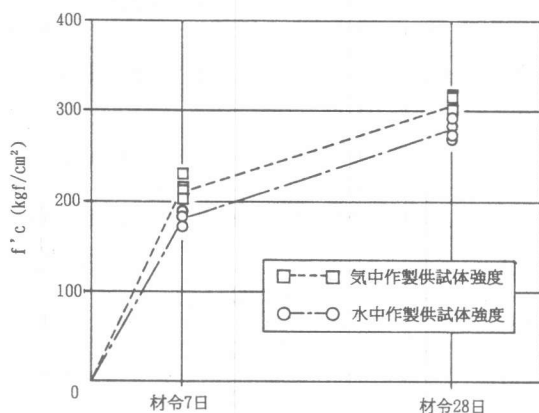


図-5 圧縮強度の発現状況

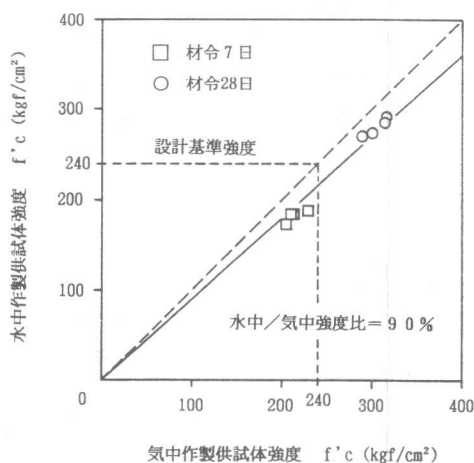


図-6 水中/気中強度比

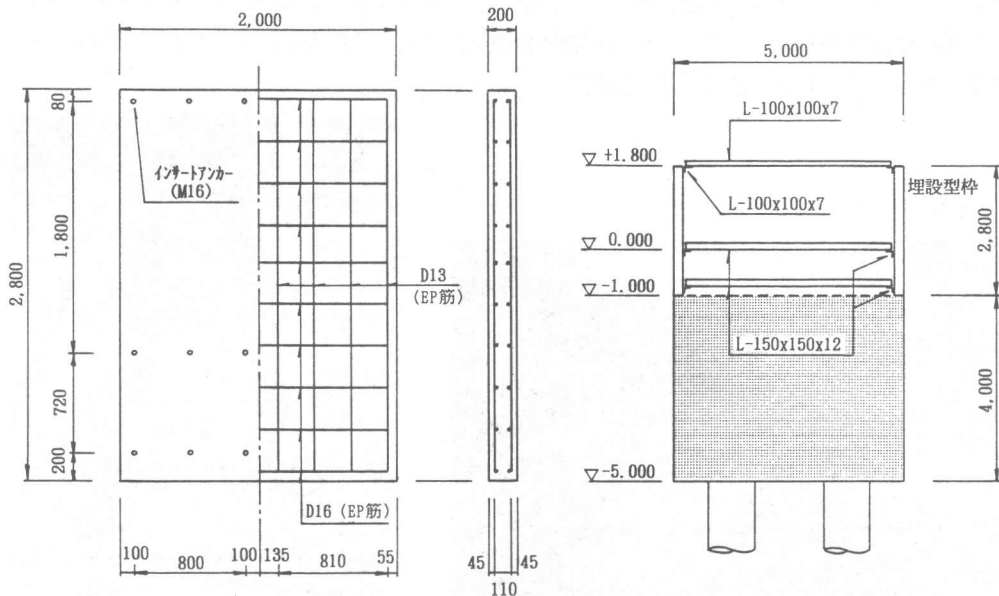
3. 4 埋設型枠による施工

(1) 埋設型枠の構造と諸元

躯体の回りを取り囲む埋設型枠は、全部で38枚のパネルから構成される。高さ2.8m、幅2.0m、厚さ0.2mのパネルを基本とし、このサイズのものが32枚、隅角部用(面取り用)が4枚、中央部用(幅1m)が2枚より成る。幅が2.0mの基本パネル1枚の重量は約2.7tonであった。図-7には基本パネルの構造と設置要領図を示す。

(2) 製作

埋設型枠の製作はプレキャストコンクリート製造工場で行い、製作に当たっては以下の点に留意し、埋設型枠自体の耐久性向上に努めた。



図－7 埋設型枠（基本パネル）の構造と設置要領図

①補強鉄筋へのE P筋の使用

埋設型枠自体の耐久性を高めるために、補強鉄筋にE P筋（D13、D16）を使用した。「コンクリート標準示方書」[2]によると、土木学会の指針に従って防せい効果の確認されたエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合には、かぶり厚さを定める時に環境条件を「一般の環境」と考えてもよいとされており、これに従い補強用E P筋のかぶりが35mm以上となるようにした。なお、同示方書によると、工場製品の場合にはかぶりを20%まで低減できるとしているが、非常に厳しい腐食性環境に置かれることを考慮し、この低減は行わないこととした。38枚のパネルから成る埋設型枠に使用したE P筋量は約3.5tonであった。

②耐久的なコンクリートの使用

埋設型枠は干満帯という非常に厳しい環境下に置かれること、当地が東北という寒冷地であることを考慮して、同示方書（海洋コンクリート）の規定に従い、使用するコンクリートの水セメント比は45%、目標空気量は6%とした。

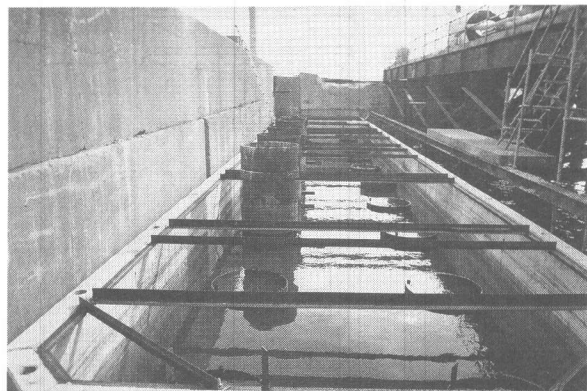
③蒸気養生の禁止

プレキャスト製品工場においては一般に蒸気などによる促進養生が取られる。しかし、若材令時に温度上昇を受けた場合には、温度上昇を受けない場合に比べて塩化物イオンが浸透しやすくなり、また中性化深さも大きくなるといった報告もある[3]。そこで、本埋設型枠の製作においては、コンクリート打設直後の蒸気養生を行わず、通常の散水シート養生を行った。

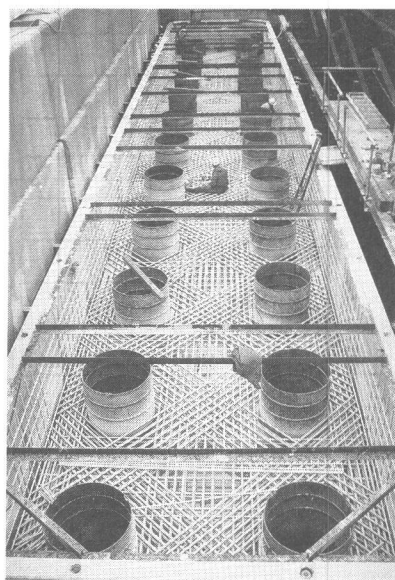
(3) 据付け

埋設型枠の据付けにおいては、クレーン能力や作業性を考慮し、2枚ずつパネルを陸上で組んで順次据付けることとした。2枚のパネルを組むにはアングル材を使用した。据付け後の埋設型枠の安定性と安全性とを確保するために、パネル組立て時に上段、中段および下段に取付けたアングル材を利用して、切梁・腹起し方式により固定した。この他、下端においてはアンカーボルト

トにより下の水中コンクリート部に固定した。なお、これらのアングル材はコンクリート打設の進行に伴い順次撤去した。写真－１には埋設型枠の据付け完了状況を、写真－２には埋設型枠内部ドライアップ後における鉄筋組立て状況を示す。



写真－１ 埋設型枠の据付け完了状況



写真－２ ドライアップ後の鉄筋組立て状況

４． あとがき

(仮称)八戸港ポートアイランド連絡橋は海上という非常に厳しい腐食性環境下に置かれるため、その設計と施工においては十分な耐久性を確保するよう努力をしているところである。現在建設中の主橋梁部であるＰＣ斜張橋においても、本報告で述べた種々の対策により、耐久性を高めることができたものと判断する。本工事においては、本報告で述べたＰ６橋脚以外の橋脚、橋台および上部工においても、海洋コンクリート構造物としての位置付けの基で、種々の防食法の適用を図っているところである。

５． 謝辞

本工事においては、施工技術検討委員会（委員長：伊藤 学東京大学名誉教授）が設置されており、数々の貴重な御意見と御指導を頂いている。委員各位、運輸省の関係各位には深く感謝申し上げます。特に、本報告をまとめるに当たっては、副委員長である三浦 尚東北大学教授に多大の御指導と御助言を賜り、厚く感謝いたします。

参考文献

- [1]「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」、土木学会、コンクリートライブラリー67号、平成3年5月
- [2]「コンクリート標準示方書(設計編)」、土木学会、平成3年
- [3]福手 勤他；マスコンクリートの耐久性に関する基礎的研究、土木学会第47回年次学術講演会、V-158、平成4年9月