

PC ハイブリッド製浮棧橋の製作

— 石巻港内港地区浮棧橋製作工事 —

千葉 浩之*1・近藤 隆二*2・長谷川 剛*3

PC ハイブリッド製浮棧橋は、長手方向にプレストレスを与えたコンクリート部材と鋼部材からなるハイブリッド（合成）構造の浮棧橋である。本構造は、海水と接する面にプレストレストコンクリートおよび鉄筋コンクリートを使用することで耐久性を向上させ、浮体内部に鋼部材を使用することによって、軽量で剛性の高い構造とすることが特徴である。本工事報告では、PC ハイブリッド製浮棧橋の製作、および宮城県石巻港への曳航、仮係留工事について報告する。

キーワード：PC ハイブリッド、合成構造、浮棧橋、ポンツーン

1. はじめに

浮棧橋は、浮体本体（ポンツーン）および浮体を定位置に固定するための係留設備（係留鎖、係留杭など）、浮体と陸岸を結ぶ連絡橋から構成される。波浪や風による影響によって動揺を受けるものの、潮位の干満による高さ変動に対して浮体が追従して動揺するため、乾舷（水面から浮体天端までの高さ）を一定に保持することができ、着岸する船舶などの相対高さへの影響が少ないことが最大の特徴である。また、浮体構造のため、軟弱な地盤や大水深の場所への設置も比較的容易にできるという特徴を持ちあわせている。

浮体構造の種類には、鋼製、FRP 製、鉄筋コンクリート製、PC 製、ハイブリッド製などがある。その中で、鋼製は、製作が容易である反面、鋼部材を用いるため、腐食に対する耐久性がコンクリートに比べて劣り、維持管理費が増大する傾向にある。一方、鉄筋コンクリート製や PC 製のコンクリートを用いた浮棧橋は、耐久性に富んでおり、建造費や維持管理費も鋼製に比べて有利である。

一般的に、鋼製は喫水（浮体底面から水面までの垂直距離）が浅いため、流れによる影響が少ないといわれている。これに対して、コンクリート製の浮棧橋は、重量は鋼製に比べて増加するが、喫水が深いため動揺が小さい。

上記の点において、それぞれの構造の特徴をうまく取り入れた構造としてハイブリッド（合成）構造がある。ハイブリッド構造には、RC ハイブリッド構造と PC ハイブリッド構造があり、RC ハイブリッド構造は、鋼製の箱体に鉄筋コンクリートを巻いた構造となっている。本浮体で採用されている PC ハイブリッド構造は、浮体長さ方向に PC 鋼材を配置し、浮体の全断面を有効断面とみなした PC 構造として計算を行っている。また、幅方向および端部壁に対しては鋼製の骨組桁を内部鋼桁として設け、内部鋼桁で支持された四辺固定版構造の RC 版として設計されている。構造の概念図を図-1 に示す。

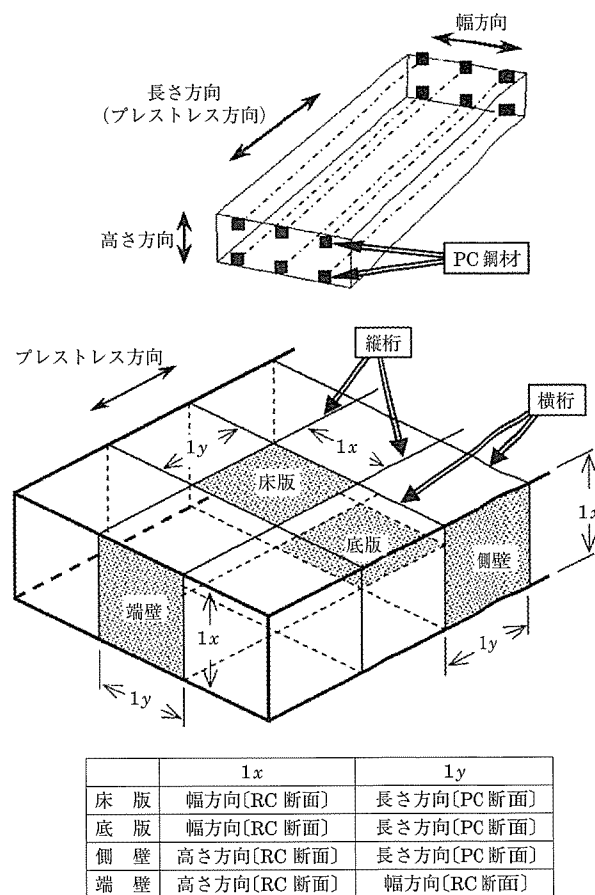


図-1 構造概念図

2. 浮棧橋工事概要

本浮棧橋は、宮城県石巻港内に係留され、石巻から牡鹿半島沖に位置する網地島を結ぶ定期運行船が着岸する予定である。本工事の施工範囲は、浮棧橋の製作、仮係留による引渡しまでであり、その後、係留杭の施工、浮体係留、浮体設備の施工、連絡橋設置が行われて供用開始となる。

*1 Hiroyuki CHIBA：宮城県石巻港湾事務所

*2 Tatsuji KONDO：ドービー建設工業(株) 工事部

*3 Tsuyoshi HASEGAWA：ドービー建設工業(株) 技術部

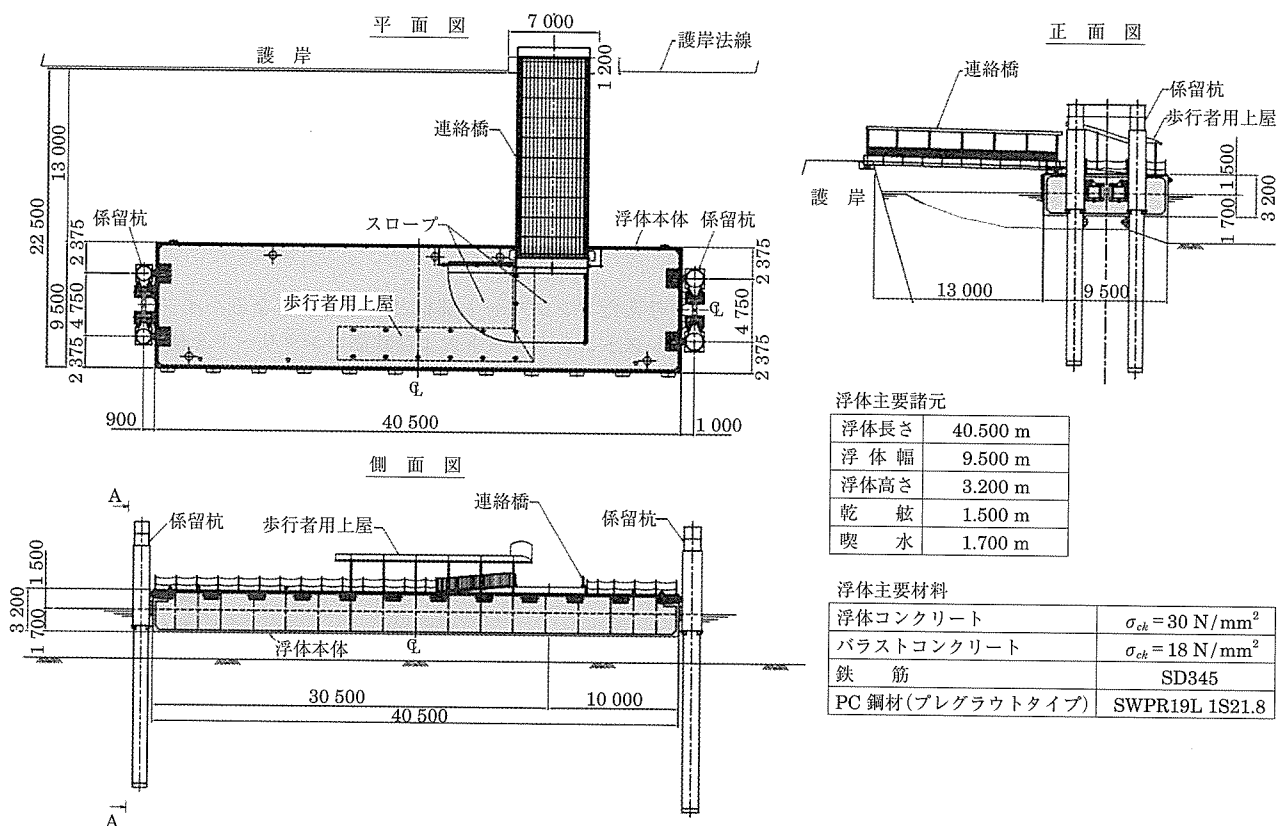


図 - 2 係留配置図・浮体主要諸元

工事概要を以下に示し、係留配置図および浮体主要諸元を図 - 2 に示す。着色部分が施工範囲の浮体を示す。

工 事 名：石巻港内港地区浮棧橋製作工事
 工事場所：宮城県石巻市門脇町 3 丁目地内
 製作場所：大分県大分市日吉原 3 番地
 発 注 者：宮城県石巻港湾事務所
 工 期：平成 21 年 7 月～平成 22 年 3 月

3. 浮体の製作

3.1 施工フロー

浮体の製作は、主に現場製作と海上および係留現地作業に大きく分けられる。現場製作の作業は、浮体製作ヤード(定盤)での本体の製作のほか、同一工場内で鋼桁の製作が含まれる。また、海上および係留現地での作業は、進水後の浮体曳航、仮係留作業が行われる。本工事の施工フローを図 - 3 に示す。

3.2 鋼桁製作工

鋼桁は、縦桁と横桁および水密隔壁(浮体に損傷が生じて浮体内部に浸水した際に、浮体全体に浸水が進まないように浮体を区画分けする仕切壁)から構成され、おのおの桁および水密隔壁は高力ボルト接合により一体化される。製作は、浮体製作ヤードと同じ敷地内の工場事前に製作され、ブロックごとに部材を組立てて塗装を施して浮体製作ヤードへ搬入される。塗装は、コンクリートとの接触面以外の部分すべてに施している。鋼桁の材質および寸法は、縦桁が H 300 × 150 × 6.5 / 9 (SS 400)、横桁が H 350 ×

175 × 7 / 11 (SS 400) および ϕ 114.3 ($t = 4.5 \text{ mm}$, STKR 400)、水密隔壁が 9 mm と 12 mm 厚さの平鋼板 (SS 400) で製作される。鋼桁の製作状況を写真 - 1 に示す。

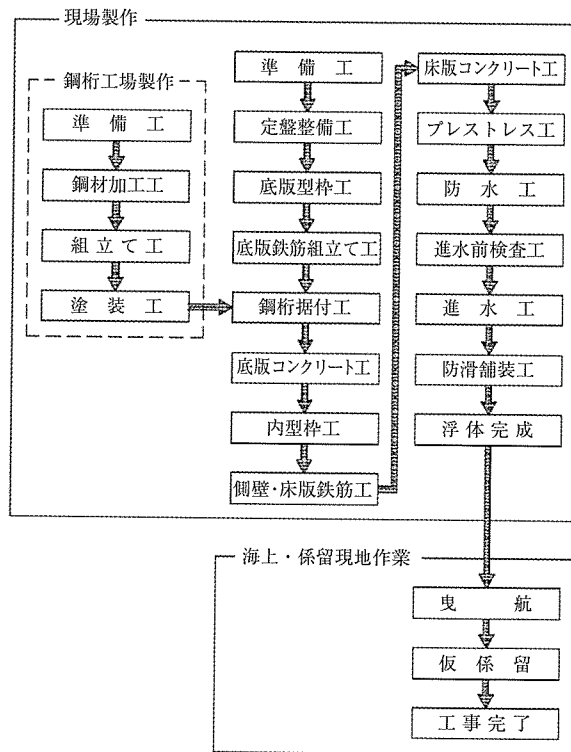


図 - 3 施工フロー



写真 - 1 鋼桁製作状況

本製作工では、横桁 3 列と水密隔壁 1 枚を 1 ブロックとして組立て、トレーラーに積載して工場敷地内を運搬した。鋼桁ブロックの運搬状況を写真 - 2 に、各鋼桁と水密隔壁の配置を図 - 4 に示す。

コンクリートと鋼桁、水密隔壁との接合は、スタッドジベルによって接合される。スタッドジベルは、 $\phi 19 \times L = 80 \text{ mm}$ (JIS B 1198) を使用し、コンクリートとの接合面すべてに設けられている。



写真 - 2 鋼桁運搬状況

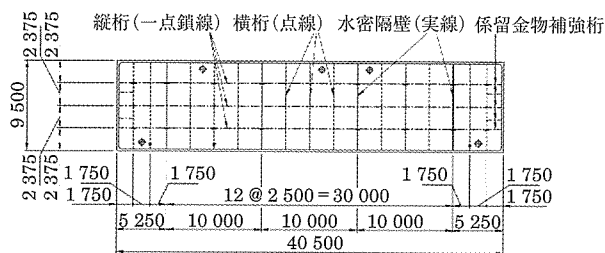


図 - 4 鋼桁・水密隔壁配置図

3.3 底板工

底板工の施工に先立ち、製作ヤードにコンクリートで平滑な面の定盤を整備し、アスファルトルーフィング(屋根下葺材)を敷き詰めて底板型枠とした(写真 - 3)。定盤整

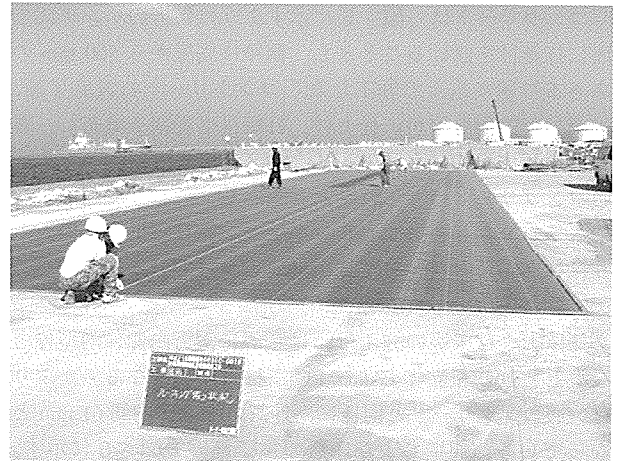


写真 - 3 ルーフィング設置状況

備が完了した後、はじめに鉄筋とプレグラウト PC 鋼材を組立てる。使用する鉄筋は、海辺での加工作業となること、構造物の耐久性を向上させることを目的として、鉄筋入荷後に防錆処理剤を塗布して錆の発生を抑制した。

鉄筋、PC 鋼材の組立て完了後、鋼桁を搭載する。鋼桁の搭載は、横桁の縦部材に仮支持鋼材を取り付け、その仮支持鋼材を受け台およびジャッキで受け、高さを調整しながら、所定の底板コンクリート厚、通りなどを確認して据え付ける。鋼桁の搭載状況を写真 - 4 に示す。仮支持鋼材は、底板コンクリートが硬化した後に切断して撤去する。



写真 - 4 鋼桁受け台設置状況

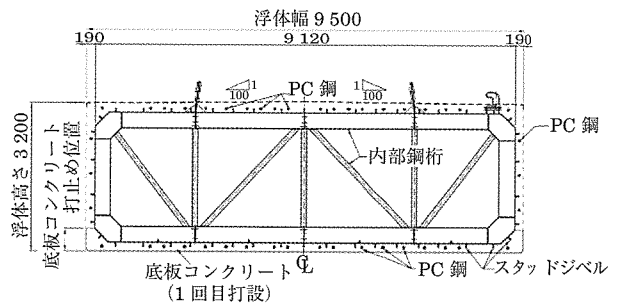


図 - 5 底板工 (打継面概念図)

コンクリートは、図 - 5 に示すように鋼桁のハンチ部上面に打継目を設けることとし、側枠は底版から 500 mm の高さまで建て込んで施工した。コンクリート打設完了後、コテで打設面を平坦に仕上げ、打継目処理剤を塗布し、翌日に高圧洗浄機で表面のレイタンスを除去する。また、底版コンクリートの養生は澁水養生とし、急激な乾燥や収縮によるひび割れを抑制した。底版コンクリートの外側かぶりは 70 mm、内側かぶりは 61 mm となっている。

3.4 側壁工および床版工

側壁および床版の施工は、はじめに鋼桁内側に内型枠を設置し、鉄筋組立ておよび PC 鋼材の配置となる。かぶりは底版コンクリートと同様に、外側 70 mm、内側 61 mm となっている。側壁および床版の施工範囲を図 - 6 に示す。また、鉄筋および PC 鋼材の組立て状況を写真 - 5 に示す。

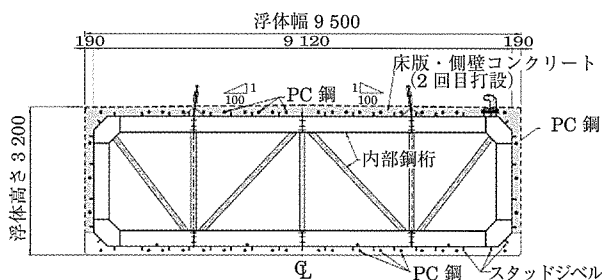


図 - 6 側壁工・床版工施工範囲



写真 - 5 鉄筋および PC 鋼材組立て状況

側壁や床版には、艀装品（浮体に装備される付属品）が多数設置される。側壁には船舶が着岸する際の緩衝材として、ゴム防弦材（ $1\,150 \times 600 \times h = 300$ ）が設置されるため、固定用のアンカーが配置される。また、コンクリートの角欠け防止用のコーナーアングルが側壁天端部に設けられる。これらを固定しながら側枠を組立てる。

さらに、床版コンクリートの打設が完了した後、連絡橋を受ける場所に固定スロープを施工する。本橋の固定スロープは、スロープ高さが 450 mm と高く、10.750 m（幅） \times 6.500 m（長さ）と大きい。そのため、すべてを鉄筋コンクリートで製作した場合、約 30 tf もの重量になってしまう。そこで、スロープ重量を軽減するために発泡スチ

ロールを埋設型枠として用いた中空構造としている点が特徴である。浮体構造のため、重量が片側に偏ると左右のバランスが崩れ、必要以上にバランスをとるためのバラストが求められる。そのため、できるかぎりの軽量化が求められる。写真 - 6 に固定スロープの施工状況を示す。

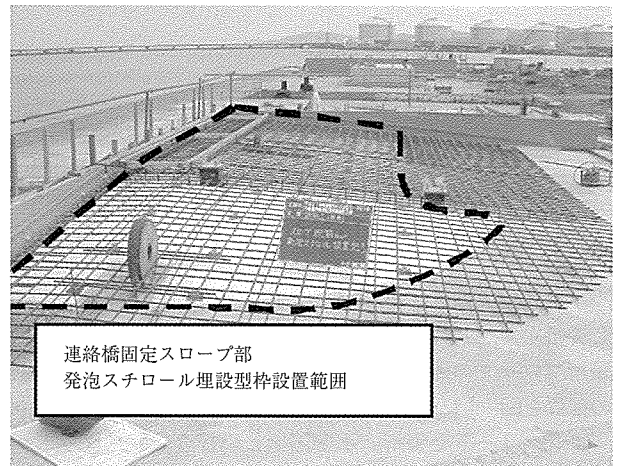


写真 - 6 固定スロープ施工状況

3.5 プレストレス工

プレストレスは、1S21.8 mm（SWPR19L）のプレグラウトタイプのシングルストランドを 44 本使用する。床版に 20 本、底板に 18 本、側壁に片側 3 本配置されている。緊張管理方法は、圧力計示度と PC 鋼材の伸び量による管理方法を採用した。緊張順序は、底板、床版、側壁の順で緊張を行った。緊張順序を表した断面図を図 - 7 に示す。

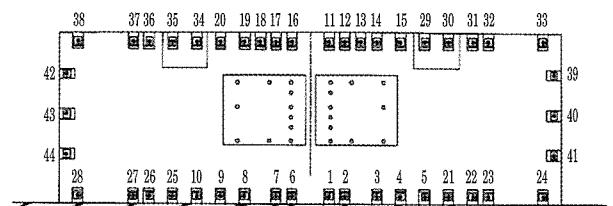


図 - 7 PC 鋼材緊張順序（断面図）

3.6 防水工

防水工は、コンクリートの打継面、PC 鋼材定着箱抜き部や型枠セパレータのあと埋め部を対象とした、新旧の継目部に施す防水加工と底版下面を除く浮体全体を対象として防水剤で覆い保護する外面防水の 2 種類としている。

新旧の継目部を対象とした防水加工では、打継部に鉛直方向 80 mm、深さ 35 mm ほどの V カットで下地を調整した後、コテ塗り型の急結高強度無収縮既調合モルタルを用いて防水加工を施した。また、PC 鋼材定着箱抜き部は、あらかじめグラウトタイプの急結高強度無収縮既調合モルタルを充てんし、後日、充てん口にコテ塗り型モルタルを施した。概要図を図 - 8、施工状況を写真 - 7、8 に示す。

また、浮体全体を対象として行う外面防水では、無機質浸透性塗布防水剤を用いて防水加工を行った。この防水剤

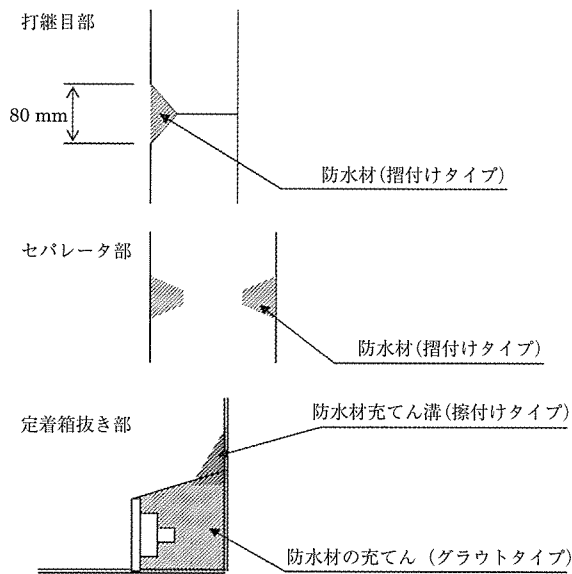


図-8 防水工概要図

おり、1層目は金コテで防水剤を塗り付け、その後吹付け塗装によって表面仕上げを行う。外面防水の1層目の施工状況を写真-9に示す。

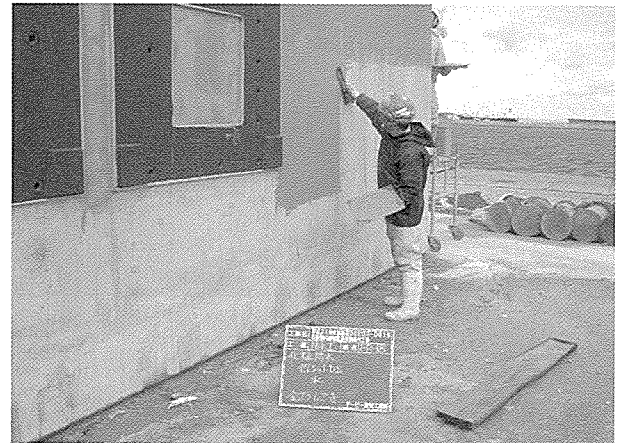


写真-9 外面防水施工状況(1層目)

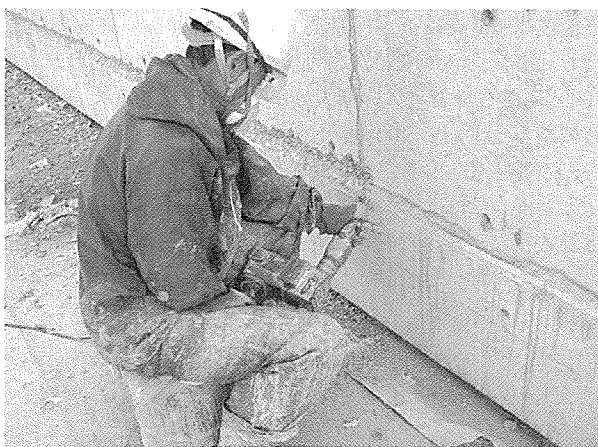


写真-7 打継部はつり状況

3.7 進水前検査工

進水前検査は、浮体製作完了後に浮体出来形検査、外観目視検査、気密検査を行う。

気密検査は、浮体内部に圧縮空気を充てんし、内部に圧力をかけることにより、浮体進水後の水圧を受けた状態を擬似的に作り出し、打継部の施工状態やひび割れ発生有無などを確認することが目的である。事前に気密検査を行うことで、浸水箇所がある場合に場所を特定することが可能となる。

浮体への加圧は、水密隔壁にて仕切られた各室に設けられたマンホールから行う。気密検査で採用する内部圧力は、 0.02 kg/cm^2 (水頭差 0.2 m) とする。確認方法の概要図を図-9に示す。

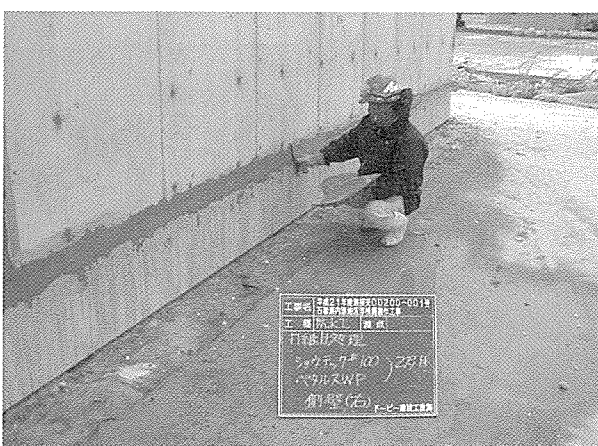


写真-8 防水工施工状況

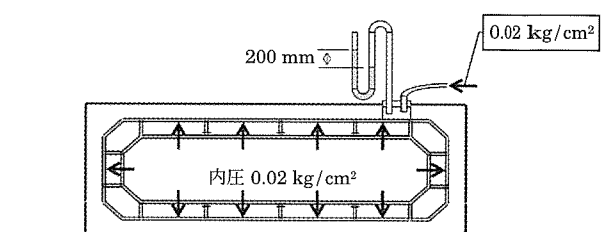


図-9 気密検査概要図

気密テストを行う圧力まで圧縮空気を加圧した後、20分間、圧力変化を確認する。圧力変化は、15 mmの透明ビニールホースU字管に着色水を入れ、左右の水頭差の変化を確認する。圧力変化が著しい場合には、浮体に石鹸水を塗布し、内部空気の漏れが無いかを確認する。内部圧力に関する施工管理基準は、水頭差で50 mm以内 ($\Delta P \leq 0.005 \text{ kg/cm}^2$) であること、15分から20分の経過時に圧力変化を起こさないこととされている。気密検査の実施状況を写真-10に示す。

は、特殊活性剤がコンクリート内部に浸透し、内部の未反応石灰と反応することにより安定した結晶体を作り、コンクリート表面を緻密にするという特徴も持っている。無機質のため、経年変化が少ない。施工は2層仕上げとなつて



写真 - 10 気密試験実施状況

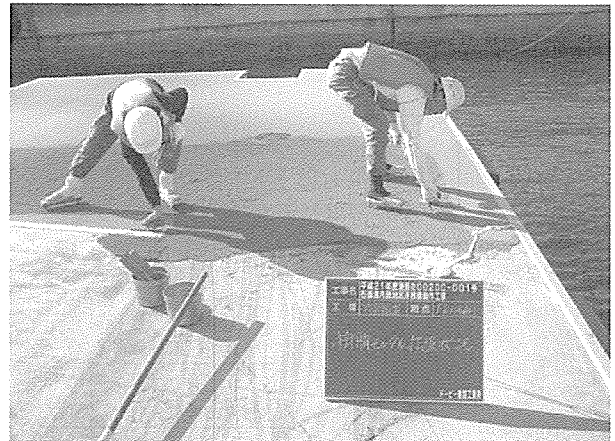


写真 - 12 防滑舗装施工状況

3.8 進水工

浮体の進水は、2 200 t 吊起重機船により作業を行った。艀装品を含めた浮体総重量は 640 t である。浮体の吊金具は横桁に溶接されており、浮体全体を 16 箇所の吊金具で吊り上げて進水する。進水完了後、吊金具は切断してモルタル充てんし、防滑舗装を施す。進水作業の状況を写真 - 11 に示す。

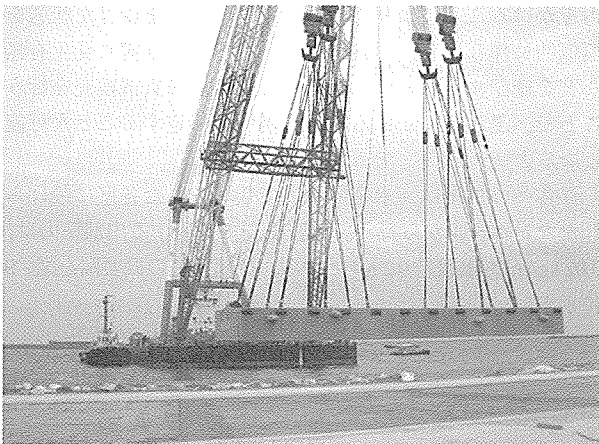


写真 - 11 進水状況

3.9 防滑舗装工

浮体の主構造が完成した後、天端面には防滑舗装を敷設する。防滑舗装は、エポキシ樹脂カラー薄層舗装を使用する。浮体コンクリート面の汚れ、レイタンスなどをサンダーにてケレンし、舗装面の下地処理を施す。その後、舗装材の基材と硬化材を規定の配合で混合し、ローラーおよびハケにて下塗りする。舗装は、金コテで均一な厚さになるように敷き伸ばしながら金コテで押し固めて施工する。舗装敷設完了後、養生中に水などがかった場合、防滑舗装のエポキシ樹脂が白濁するため、舗装の発色にムラが生じる可能性がある。そのため、湿度が低い好天日に行った。防滑舗装の施工状況を写真 - 12 に示す。

4. 曳航および仮係留

曳航距離は約 715 海里（約 1 330 km）で、瀬戸内海を經由して約 5.5 ノット（時速約 10 km）で太平洋沿岸を東航した。航行時の安全航行条件は、原則として風速 15 m/s 以下、波高 1.5 m 以下、視界は 1 海里以上とし、気象条件に合わせて、あらかじめ非難港を決定して曳航を開始した。2009 年 12 月 9 日に大分県大分市日吉原を出港した浮体は、宮城県石巻港内に 2009 年 12 月 17 日に到着した。浮体係留先の石巻港へ入港した状況を写真 - 13 に示す。

入港後、浮体は仮係留作業を行う。仮係留は、図 - 10 に示すように、護岸に設けられた係船柱（浮体などを繋ぎ止めるための柱）と 2 箇所に据え付けた 2 t アンカーを使用してロープで係留した。2 t アンカーは、50 t 吊ラフタークレーンを用いて沈設した。



写真 - 13 曳航状況（石巻港入港）

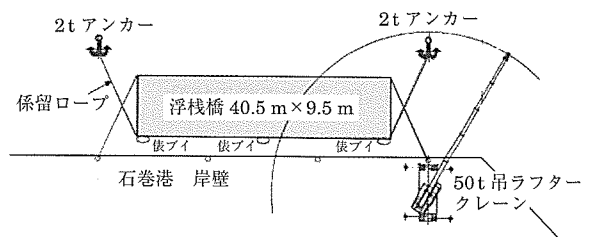


図 - 10 仮係留設置図

5. おわりに

浮棧橋は晴天に恵まれて曳航が完了し、係留先の石巻港内で無事に仮係留作業を完了できた。PCハイブリッド製浮棧橋の施工報告例は事例も少なく、本報告が今後の参考になれば幸いである。

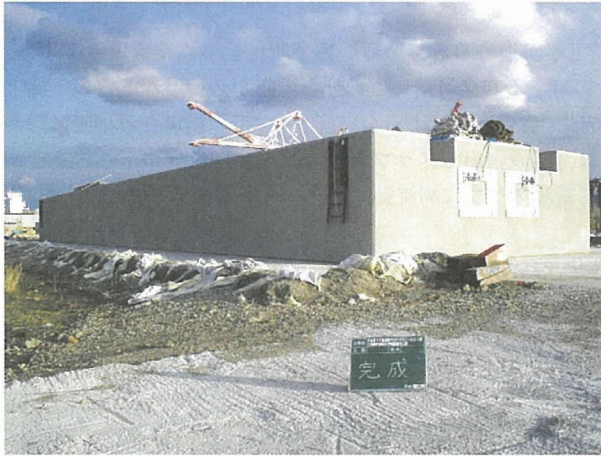


写真 - 14 浮体製作完了

製作ヤードでの浮体製作完了後の状況を写真 - 14 に、仮係留の完了後の状況を写真 - 15 に示す。



写真 - 15 仮係留完了

参考文献

- 1) 漁港漁場新技術研究会：浮体式係船岸の設計・施工マニュアル(案), 2000.12

【2010年4月6日受付】



刊行物案内

第38回 PC 技術講習会テキスト

PC 技術の新たな適用と展開

平成22年 2 月

定 価 6,000 円 / 送料 500 円

会員特価 5,000 円 / 送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会