

LNG バース上部工のハーフプレキャスト化施工

LNG Tanker Berth RC Slab Construction by Half Pre-Cast Concrete Method

鳥居 雅之*	山根 淳**
Masayuki Torii	Jun Yamane
渡部 宏**	今井 元喜**
Hiroshi Watanabe	Motoki Imai
角野 太一**	小林 直人**
Taichi Sumino	Naoto Kobayashi

要 約

本工事の棧橋上部工タイプは、フラットスラブ構造と梁スラブ構造である。どちらの構造物タイプにおいても、基礎杭まわり以外のスラブあるいは梁を陸上製作して海上運搬し、基礎杭上に架設した後に海上打設コンクリートにより基礎杭と一体化するハーフプレキャスト工法により施工した。

同施工法の採用により、海上作業量を大幅に軽減することが可能となり、工事の安全性向上、工期の短縮および品質の向上が可能となった。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. ハーフプレキャスト化施工の計画および設計
- § 3. ハーフプレキャスト化施工
- § 4. おわりに

§ 1. はじめに

関西電力(株)は、年間約270万トンのLNG(液化天然ガス)の受入、貯蔵、気化、送出を行うため、大阪府堺市築港新町に「堺LNGセンター」を建設中である。その主要な設備は、LNGタンク(14万kl×3基)、棧橋設備、および取放水設備等である。

このうち本工事は、LNG船(80,000DWT級)および重油船(2,000DWT級)が離接舷し、荷役可能な棧橋を建設するものである。棧橋は、斜め組杭式の鋼管杭(φ600~1,100mm)による下部工と鉄筋コンクリートスラブの上部工から成る構造物であり、本工事では、海上作業量の低減による安全性向上、工期短縮および品質向上を目的として、棧橋上部工を全てハーフプレキャスト工法により施工した。

本稿は、このハーフプレキャスト化施工に関する計画、設計および施工について報告するものである。

§ 2. ハーフプレキャスト化施工の計画および設計

2-1 ハーフプレキャスト化施工の概要

(1) 工事概要

工 事 名：堺 LNG 棧橋建設工事のうち棧橋工事

発 注 者：関西電力株式会社

施工監理：堺 LNG 株式会社

施 工 者：西松建設株式会社

工事場所：堺市築港新町4丁地先公有水面

工 期：平成14年4月12日~平成16年3月25日

工事内容：下表に示すとおり

表-1 棧橋工事の概要

	LNG 棧橋	重油棧橋	海上配管橋
対象船舶	80,000DWT 級	2,000DWT 級	—
延 長	470m	105m	350m
基 礎 数	11 基	3 基	7 基
杭 諸 元	φ600~1,100 L=37~61m	φ800~1,100 L=44~61m	φ800~900 L=51~54m
設備構成	WP:1 基 BD:3 基 MD:4 基 CP:3 基	WP:1 基 MD:2 基	PP:7 基

ここで、WP:ワーキングプラットフォーム

BD:接岸ドルフィン,MD:綱取りドルフィン

CP:歩廊橋基礎,PP:配管橋基礎

図-1 に堺 LNG 棧橋の完成予想図を示す。

* 土木設計部設計課

**関西(支)堺LNG(出)

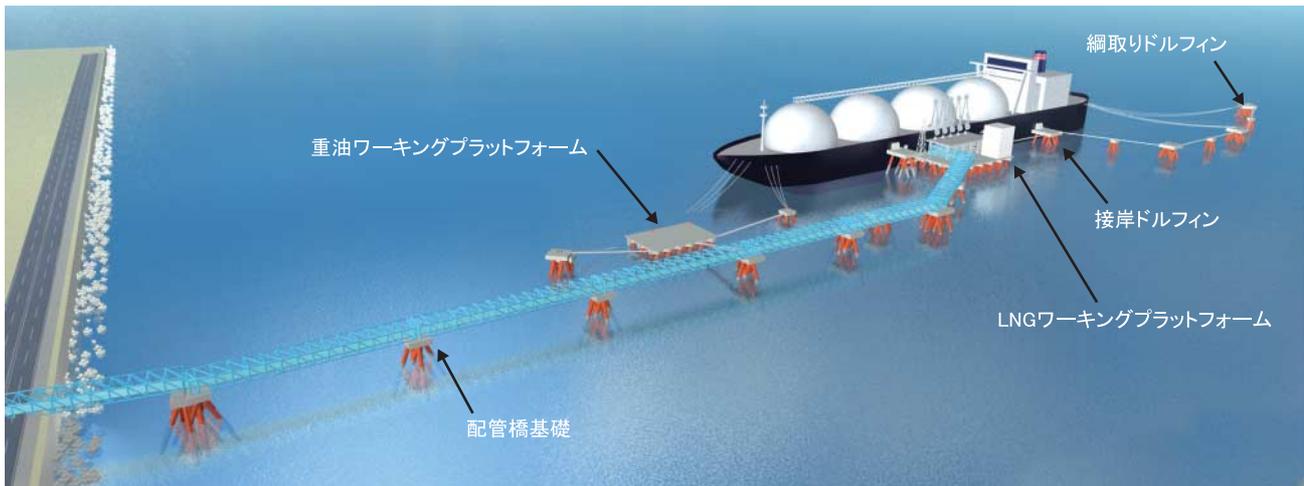


図-1 棧橋完成予想図

(2) 上部工の構造タイプ

本工事で建設する上部工上部工の構造タイプは、以下の2種類に大別できる。

①フラットスラブ構造 (BD, MD, CP, PP に採用)

図-2 は、フラットスラブ構造物のうち、BD (接岸ドルフィン) を示す。同構造物のスラブ形状は、平面寸法 10m×12m 程度、スラブ厚 1.8m である。

②梁スラブ構造 (WP に採用)

本工事では、LNG 船が荷揚げするための LNG WP および重油船のための重油 WP の 2 基を建設する(図-3)。

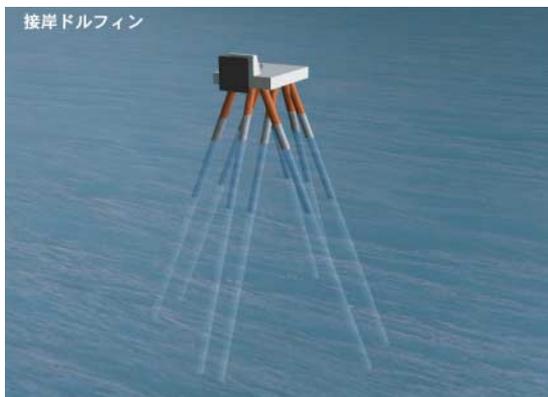


図-2 フラットスラブ構造物パース図 (BD)

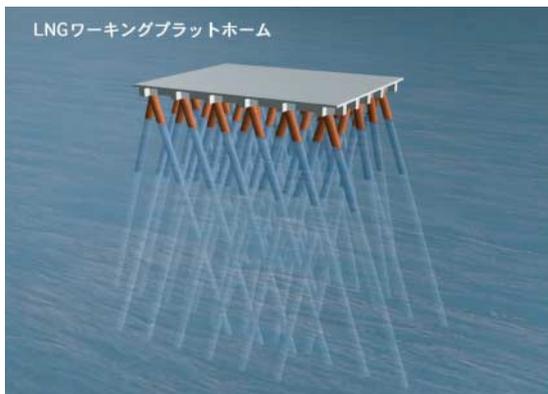


図-3 梁スラブ構造物パース図 (WP)

これら WP の上部工は、鋼管杭を支点とする梁スラブ構造物である。梁の断面寸法は、梁幅 1.2m~1.5m×梁高 2.0m(最大スパン 10m)であり、スラブの厚さは、0.4~0.8m(最大幅 6.3m)である。

(3) ハーフプレキャスト化施工の目的

本工事の上部工を全て海上打設コンクリートにより施工する場合には、基礎杭にブラケットを設置して鋼材によるコンクリート支保工を設置し、足場工、型枠工、鉄筋工、コンクリート工など全てを海上にて施工する必要がある。この場合、上部工のスラブ厚ならびに梁断面が共に大断面であるため、支保工ならびに型枠仕様が大规模となり、海上での施工期間が長期に亘る。さらに一部構造物レベルは、海面以下であるため、原位置にて施工する場合には、水中コンクリートを使用する必要がある。支保工、型枠等の仮設材は、波力、潮力などに対して安全な構造とする必要がある。またこれらの仮設構造物は、台風などの荒天時には、飛散防止のため撤去する必要がある。天候による工程への影響が非常に大きい。

以上の海上工事に関わる問題を軽減するため、上部工を可能な限りプレキャスト化して陸上製作し、杭とスラブの接合部など必要最小部分のみを海上にて施工するハーフプレキャスト化施工を採用した。

その結果、全てを海上打設コンクリートにて施工する場合に比較して、海上施工期間を短縮し、工程ならびに品質を安定化することが可能となった。

表-2 ハーフプレキャスト化施工の効果比較表

項目	効果	
海上作業量	海上打設案より少ない	○
工期	海上打設案より短い	○
周辺海域への影響度	海上打設案より小さい	○
荒天による工程への影響度	海上打設案より小さい	○
上部工コンクリートの品質	海上打設案より高品質	○
陸上の施工ヤード	海上打設案では不要	×
運搬・据え付け用起重機船	同上	×
鉄筋の継ぎ手箇所数	海上打設案より多い	×
工費	ほぼ同等	-

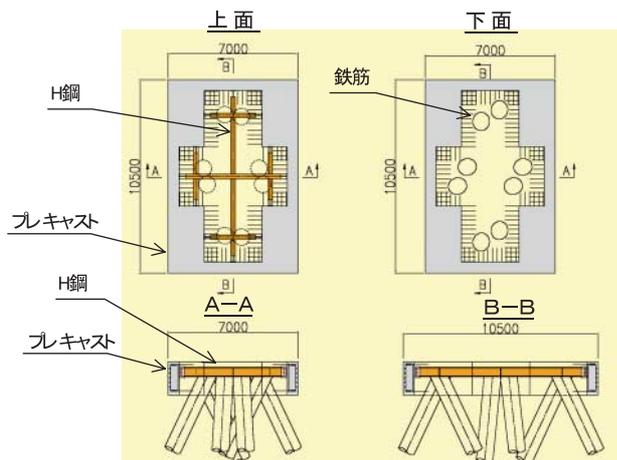


図-4 配管橋基礎プレキャスト部材構造図

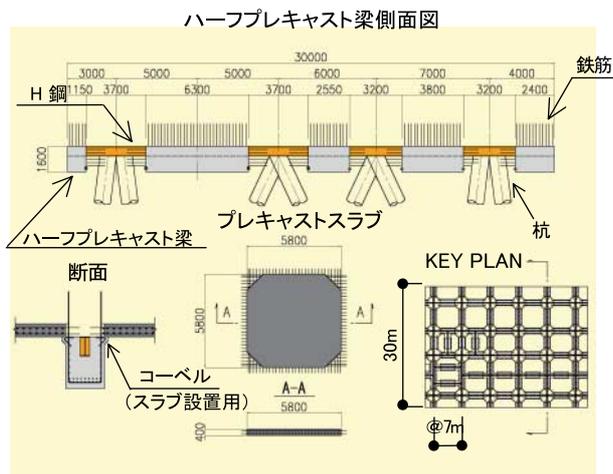


図-5 LNG WP プレキャスト部材構造図

2-2 フラットスラブ構造物のプレキャスト化

(1) プレキャスト部材の概要

フラットスラブ構造物である配管橋上部工のプレキャスト部材の構造は、図-4 に示すとおりである。

フラットスラブ構造物では、基礎杭をスラブ内に1.0m埋め込んで一体化するため、基礎杭まわり以外の部分をプレキャスト化した。またプレキャスト部材を基礎杭上に設置するため、H鋼材をプレキャスト部材の内側(海上打設部分)へ埋め込んだ。H鋼材は、海上打設部の底型枠を吊る梁としても使用した。

(2) プレキャスト部材の構造検討

プレキャスト部材の構造検討は、吊り上げ時、基礎杭上への設置時、海上コンクリート打設時のそれぞれのケースに対して行った。

構造モデルは、プレキャスト部材ならびに埋め込みH鋼材を考慮した平面骨組みモデルとし、吊り位置、あるいは基礎杭位置を支点としてプレキャスト部材の自重、作業荷重、海上打設のコンクリート重量を面外方向に載荷して設計断面力を算出した。なお基礎杭が偏心しているため、プレキャストスラブにはねじりモーメントが作用する。したがってプレキャスト部材の断面は、曲げモーメント、せん断力ならびにねじりモーメントに対して部材が許容値を満足するだけでなく、ねじりモーメントによるひびわれが発生しないことを条件に設定した。

2-3 梁スラブ構造のプレキャスト化

(1) プレキャスト部材の概要

梁スラブ構造物(WP)では、杭頭部以外の梁部材(下半断面)ならびにスラブをプレキャスト化した。

梁部材の杭頭周りは、基礎杭と一体化するため、フラットスラブ構造と同様に海上打設となる。その結果、プレキャスト梁部材は、図-5の側面図に示すとおり、H鋼材とハーフプレキャストコンクリートからなる複合部材となる。

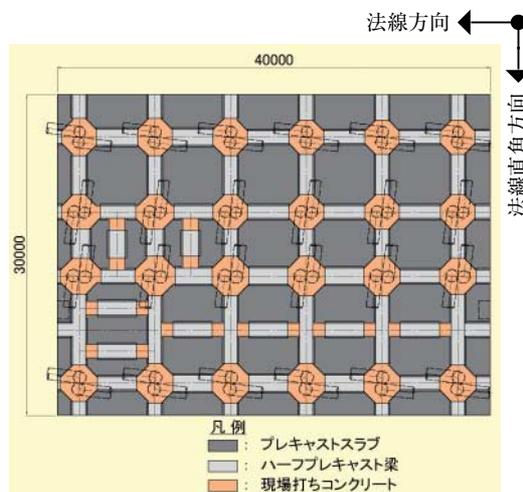


図-6 LNG WP プレキャスト部材割付図

梁部材は、法線方向と法線直角方向の格子状配置である。このうち、法線直角方向の梁は、30m区間を連続した大梁としてプレキャスト化し、法線方向の小梁は、杭間隔(7.0m)に分割した。

法線直角方向の梁を基礎杭に設置した後、小梁の端部H鋼材を杭上で結合し、杭頭周りの配筋後、海上打設コンクリートにより基礎杭と梁部材を一体化した。

なお、梁のプレキャスト高さは、スラブ下端レベルまでとし、梁の両サイドには、プレキャストスラブを設置するためのコーベルを設けた(図-5断面図参照)。

プレキャストスラブ版は、端部の張り出し鉄筋を海上打設する梁の上半断面へ定着して梁と一体化した。

WPのハーフプレキャスト部材、プレキャスト部材、海上打設コンクリートの割付は、図-6に示すとおりである。

(2) プレキャスト部材の構造検討

ハーフプレキャスト梁部材のH鋼材下端には、ずれ止めのスタッドジベルを配置してコンクリートと一体化

し、鋼コンクリート複合断面（SRC）として、断面耐力ならびに曲げひびわれ幅の検討から断面を決定した。なお設計断面力は、プレキャスト梁を連続梁にモデル化し、吊り上げ時、基礎杭上への設置時、海上コンクリート打設時の荷重に対して算出した。

WP 完成時のスラブの構造系は、4 辺固定版であるが、プレキャスト部材吊り上げ時には 4 点支持版、コーベルに設置した時点では、4 辺単純支持版となる。したがってスラブの断面は、それぞれのケースに必要な耐力を満足するとともに架設時の断面力が完成時に残留する場合にも所要の耐力を満足するように決定した。

2-4 杭頭結合

本構造物の基礎杭（斜め組杭式、最大傾斜角 25 度）にプレキャスト部材を設置し、海上コンクリートを打設する時点で、組杭天端に最大 1570kN/箇所 の鉛直力が作用する。この場合、杭には軸方向力が発生し、それぞれの傾斜方向に水平分力（最大 360kN/本）が作用する。したがってプレキャスト部材の設置前には、組杭の頭部を固定しておく必要があるが、水平分力が大きく、偶力アーム長が長いので、従来の扇形の鋼板を組杭の周りに溶接してそれぞれの杭を固定する方法では、鋼材ならびに溶接仕様が過大となり、杭頭結合工のための足場を別途準備する必要があった。そこで、組杭の頭部を比較的容易に結合でき、大きな水平力に耐えられる結合方法について検討し、図-7 に示す杭頭結合方法を採用した。

本杭頭結合の構造は、スタッドジベル付きの鋼板を組杭の天端に設置して、杭頭コンクリートを打設することにより一体化し、杭頭を固定するものである。

同構造では、杭の水平力をスタッドジベルのせん断耐力により負担させることができ、組杭の天端面にフラットな鋼材を配置するため、プレキャスト部材を高精度に設置すること、ならびにプレキャスト部材に埋め込んだ H 鋼材を杭頭部へ溶接接合することが可能となった。

§ 3. ハーフプレキャスト化施工

栈橋上部工の施工について述べる。

3-1 プレキャスト部材の製作

(1) プレキャスト製作ヤード

プレキャスト製作ヤードは、プレキャスト部材を大型起重機船により積み出しすることが可能で、栈橋施工位置に近いことを条件に選定した。

使用した製作ヤードは、栈橋施工位置から航行距離にして約 6km 離れた広さ 100m×100m の護岸背面のヤードである。ヤードでは、据付工程より、前期、後期に分けてプレキャスト部材の製作を行った。

(2) プレキャスト部材の製作

プレキャスト部材の製作にあたっては、プレキャスト

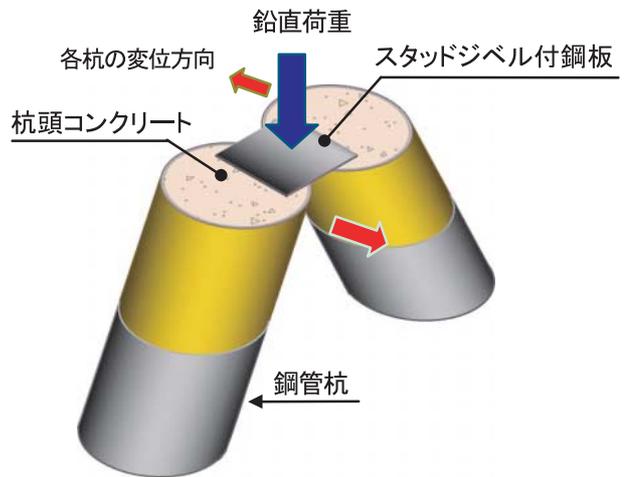


図-7 組杭の結合方法



写真-1 プレキャスト製作ヤード全景



写真-2 プレキャスト部材鉄筋組上がり状況

部材と海上打設コンクリート部の打ち継ぎ部の一体化を考慮して打ち継ぎ面をラス網型枠で施工し、コンクリート打設後、ハイウォッシャーでレイタンス処理をした。

コンクリートの養生は、天端面を金ごて仕上げした後表面塗膜養生剤を散布し、ブルーシートで覆って乾燥対策を行い、翌日には、養生マットを敷いて散水養生する方法とした。



写真-3 フラットスラブタイプ PC 部材据え付け状況



写真-4 梁スラブタイププレキャスト梁据え付け状況

3-2 プレキャスト部材の据え付け

(1) プレキャスト部材の吊り上げ方法

プレキャスト部材のブロック総数は、140ブロックとなった。それぞれのブロック重量は、2.5~30tとまちまちであり、形状も様々であったため、それぞれの重量ならびに形状に応じて起重機船（150~600t 吊り）および吊具を使用した。

①フラットスラブ構造のプレキャスト部材据え付けには、写真-3 に示す鋼製吊枠（8m×12m）を使用した。

プレキャスト部材は、常に重心位置を吊り上げて部材を水平に保つことにより、ひびわれの発生など、吊り上げによる部材への悪影響がないように配慮した。このため、吊り上げに際しては、鋼製吊枠のワイヤーガイド管位置を調整して水平に吊り上げ、各ワイヤに作用する張力が均等となるように平行滑車（イコライザー）を使用した。

②梁スラブ構造のプレキャスト部材のうち、法線直角方向の大梁（30m）の吊り上げには、写真-4 に示す吊りビーム（2-H-900×300）を用いた。

プレキャスト部材へワイヤ分力による軸力が作用しないようにするため、中間部材（吊りビーム）を設け、下段ワイヤにて部材を水平に吊り上げた。

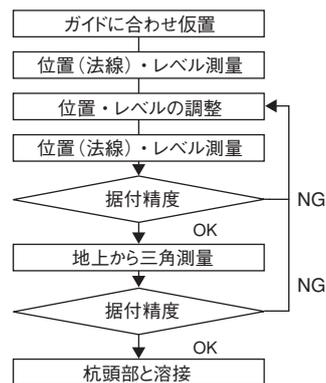


図-8 プレキャスト部材据え付けフロー図

(2) プレキャスト部材の据え付け

a) 据え付けフロー

図-8 にプレキャスト部材据え付けフロー図を示す。

b) 測量方法

プレキャスト部材の最終位置確認は、部材上面に2点の測点を設け、陸上の基準点からトータルステーションを使った三角測量により行った。また陸上の基準点からのレベル測量により、プレキャスト部材のレベルと傾斜の確認を行った。

c) 据え付けレベルの上げ越し施工

プレキャスト部材設置時の重量により、杭は弾性変形して杭頭部が沈下する。杭を地盤バネに支持された骨組みモデル化して計算すると、杭の頭部沈下量は、最大16.9mmとなり、プレキャスト部材の高さ管理値±10mmに比べて大きな値となった。そこでプレキャスト部材の設置高さを管理値以内とするため、据え付け前の杭頭高さを計算結果に応じて上げ越した（5~15mm）。

測量の結果、プレキャスト部材据え付け完了後の杭頭沈下量は2~5mm、海上コンクリート打設時に2~3mm、合計4~8mm程度の沈下が確認されたが、沈下量を見越して杭頭を上げ越し施工したことにより、プレキャスト部材の設置高さを管理値以内とすることができた。

d) プレキャスト部材据え付け位置の最終調整

プレキャスト部材据え付け位置は、杭頭部に鋼材のあて板を溶接してガイドにし、プレキャスト部材の位置・高さ・傾斜の測量を行いながら、H鋼材と杭頭部にプレートを挿入して、徐々に正規の位置に修正することにより最終微調整した。

(3) プレキャスト部材据え付け時の問題点と対策

a) 波浪によるプレキャスト部材の揺動

プレキャスト部材据え付け時には、波浪の影響により、位置調整・測量を繰り返し行うケースもあったが、上述の方法により海上での据付精度（水平±30mm、鉛直±10mm）を確保することができた。

しかし、重油 WP のうち防舷材を設置する垂れ壁プレキャスト部材は、水中に設置するため、垂れ壁部が波浪および海面のうねりの影響を受け、杭天端を支点とし



写真-5 重油棧橋プレキャスト大梁結構状況



写真-6 大型足場の状況

て左右に揺動することが懸念された。

対策として写真-5のとおり、垂れ壁プレキャスト部材の側面にガイドレールを取り付け、プレキャスト大梁を杭上に据え付けた直後に、隣り合う垂れ壁部材のガイドレール間に揺れ止め鋼材を挿入して、垂れ壁の揺動を止めた。

b) 据え付け時のプレキャスト部材の変形

LNG WP プレキャスト梁材のうち、端部張出し部では、プレキャストブロックの重量によるたわみを杭頭部に立てた支柱天端からワイヤとレバーブロックにて引き起こして修正した。またプレキャスト大梁に設置する小梁の重量が左右不均衡となる部分では、プレキャスト部材のねじれをワイヤとレバーブロックにて修正し、仮止め鋼材を溶接して基礎杭と固定した。

これらのプレキャスト部材を接合するH鋼材変形の問題は、H鋼材の剛性を上げるだけでは完全に解決できず、例えば梁端部の張り出し幅をなるべく少なくするなど、構造形式の設定時点から上部工のプレキャスト化を前提にした対策が必要である。

3-3 海上躯体工

(1) 足場工および型枠支保工

海上躯体工では、プレキャスト底面下に設ける足場および型枠支保工の省力化に重点を置いた。

フラットスラブタイプのプレキャスト部材では、写真-6に示すプレハブの大型足場部材を陸上で製作し、プレキャスト部材に被せて設置・固定して足場とした。

スラブ下部の足場は、下段の外周枠材上に鋼材を通し、その上に足場板を敷く構造とした。プレハブ大型足場は、同様の形状の躯体施工時の足場として転用した。

梁スラブタイプのプレキャスト部材では、プレキャスト梁から吊足場を設置して施工した。この足場は、台風時の飛散・流出を防止するため、台風の接近時には撤去し、通過後に再設置する必要があった。

海上打ちコンクリートの型枠支保工は、プレキャスト部材に埋め込みしたH鋼材から吊ボルトで吊る構造とした。スラブ下の支保工材の設置、撤去は、全て人力作業となるため、できるだけ軽い鋼材を採用した。

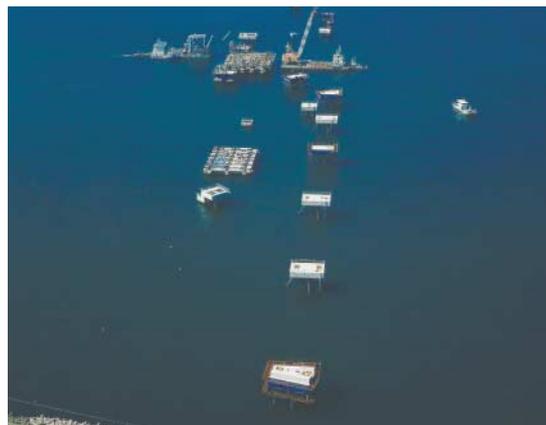


写真-7 海上躯体工事の全景

(2) 鉄筋工およびコンクリート工

海上打設となる杭周辺部の鉄筋は、プレキャスト据付後、海上足場を利用して配筋した。プレキャスト部との打継面での鉄筋の継手は、重ね継手を基本としたが、継手長が確保できない箇所については、機械継手工法のFDグリップ継手による施工を行った。

海上でのコンクリート打設では、特にブリージング水、コンクリートの流出防止対策に重点を置いた。対策として、型枠の目地部および鋼管杭と型枠の隙間をなくし、鋼管杭の周りにスポンジを巻き付け、ブルーシートを敷いてコンクリートの海上への流出防止を図った。

§ 4. おわりに

本工事では、上部工をハーフプレキャスト化施工とすることにより、海上作業の大幅な軽減が可能となり、安全性の向上ならびに工期の短縮が可能となった。また、綿密な事前検討と対策により、プレキャスト部材には目立ったひびわれの発生もなく、高品質の棧橋上部工を施工することができた。

平成16年1月現在、上部工施工は無事完了し、当初の工程から約3ヶ月の工期短縮が達成できる予定である。

最後に、本工事の施工に際して多大なるご指導とご協力を頂いた関係者の皆様に深く感謝申し上げます。