

神戸港・緊急コンテナ棧橋の設計施工 — プレハブ式棧橋の試み

Design and Construction of an Emergency Container Wharf in the Reconstruction of the Port of Kobe

及川 研*・高岡佳輝*・前田 敏**・古川 清***

Ken Oikawa, Yoshiki Takaoka, Satoshi Maeda and Kiyoshi Furukawa

A new concept of prefabricated-piled-pier techniques is introduced into the design of an emergency container wharf in the reconstruction of the port of Kobe. Damaged caisson type quay walls are used as earth retainings and steel pipe piles are driven in front of them. Precast concrete procedures for upper concrete works are employed to shorten construction time. A precast floor slab with uniform thickness is applied instead of an ordinary beam and floor slab. PC hollow beams are used to connect the gap between them. These concrete members are installed by a large floating crane.

Key Word: container wharf, prefabricated-piled-pier, precast concrete

1. はじめに

阪神・淡路大震災により、我が国最大の国際貿易港神戸港の港湾施設は壊滅的な被害を受けたが、最優先されるべきコンテナ岸壁については、震災後4ヶ月経過した平成7年5月までに応急復旧により10バース（多目的岸壁2バース含む）が暫定供用されるまでに回復した。本格復旧工事は暫定供用岸壁における荷役と並行して神戸港の全域で展開されており、7年11月には緊急コンテナ棧橋の一部が供用開始の運びとなった。（写真-1）

この緊急コンテナ棧橋はわずか6ヶ月で供用開始にこぎつけるために、設計施工上でプレハブ式棧橋という新しい考え方を採用している。このプレハブ式棧橋では、従来の現場打ちの梁・床版構造の上部工に変わって、プレキャストの等厚コンクリート床版構造を採用するとともに、棧橋部と背後の土留部とをPCホロー桁で連絡する等、ほとんどのコンクリート工をプレキャスト化している。棧橋の杭打ち工事と並行して上部工等の製作が可能になったため、工程の大幅な短縮が図られた。

以下では、この緊急コンテナ棧橋の設計施工の考え方と具体的な設計施工について紹介する。

2. 緊急コンテナ棧橋の計画概要

緊急コンテナ棧橋の計画は総理大臣の諮問機関である「阪神淡路復興委員会（下河辺淳委員長）」から緊急提言されたものである。神戸港の港湾施設の復旧は、コンテナ埠頭の復旧を最優先として進めるが、全てが回復するまでに概ね2年を要する。この間のコンテナ荷役は、本格復旧工事と調整を図りながら応急復旧された岸壁で暫定的に実施され、順次本格復旧した岸壁へシフトしていく。

緊急コンテナ棧橋は、これらの復旧とは別に、非常に短期間で新規のコンテナ岸壁を完成させ、完全復旧までの間のコンテナ取扱能力を補完して、神戸港の空洞化を防止する目的で計画された。コンテナ棧橋の建設位置は、図-1に示すように六甲アイランドの南側で、その規模は外貿コンテナ船用

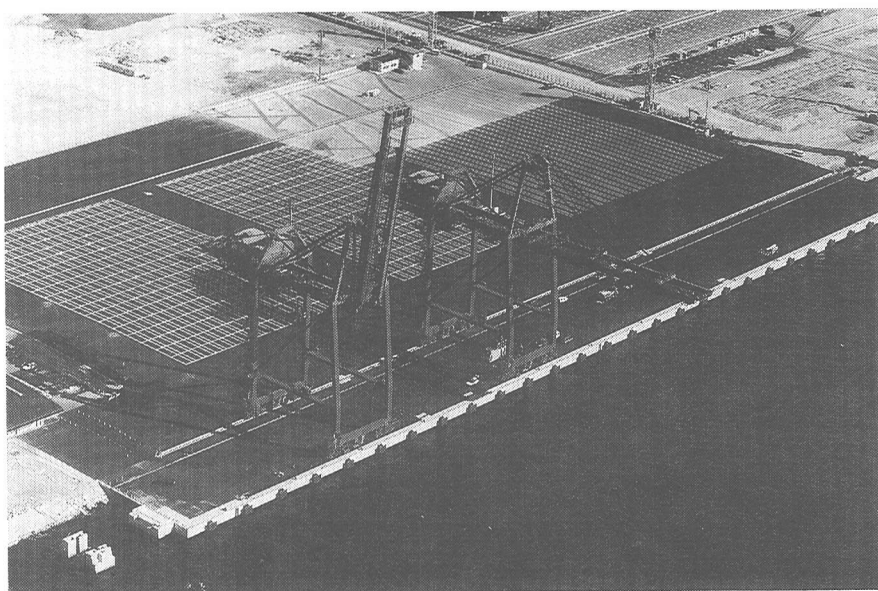


写真-1 完成した緊急コンテナ埠頭

*正会員 運輸省第三港湾建設局・震災復興建設部

**東洋建設（株）大阪本店

***正会員 ポートコンサルタント（株）

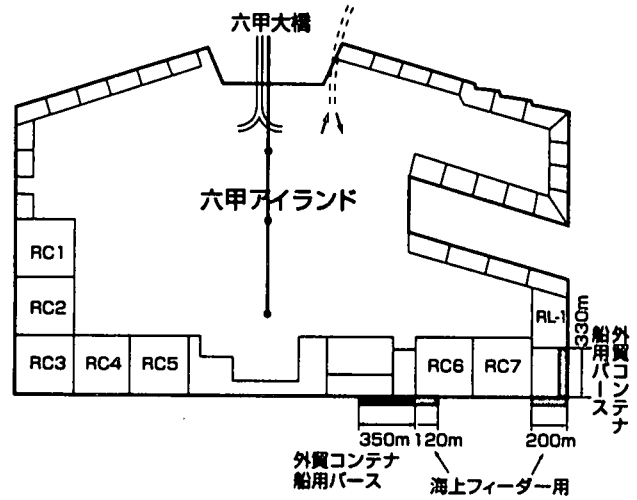
2バース（水深－13m、680m）、海上フィーダー用2バース（水深－14m、320m）、総延長1,000mである。緊急コンテナ棧橋の工事は、運輸省第三港湾建設局、神戸市港湾局および（財）神戸港埠頭公社により分担して実施され、第三港湾建設局は外貿コンテナ岸壁350mの工事を担当した。

この棧橋の供用により、コンテナ取扱能力は年間590万トン（平成6年の神戸港の取扱実績の15パーセント）増大することになるが、これは単に物理的な取扱量の増大に寄与するだけではなく、神戸港復興のさきがけとしての意義も有している。

3. 緊急コンテナ棧橋の設計施工の基本的考え方

3. 1 主な設計条件

- ① 計画水深と延長：－13m、350m
- ② 対象船舶：コンテナ専用船 50,000 D/W
- ③ 岸壁の耐用年数：50年
- ④ 設計震度：
 $0.15 \times 1.2 \times 1.2 = 0.216 \approx 0.2$
地域別震度（第一地区）0.15
地盤種別係数（第三種）1.2
重要度係数（A級）1.2
- ⑤ 上載荷重：常時 1.0 tf/m²，地震時 0.5 tf/m²
- ⑥ コンテナクレーン全重量：880 tf
レールゲージ：30.5m，ホイールベース：17.7m



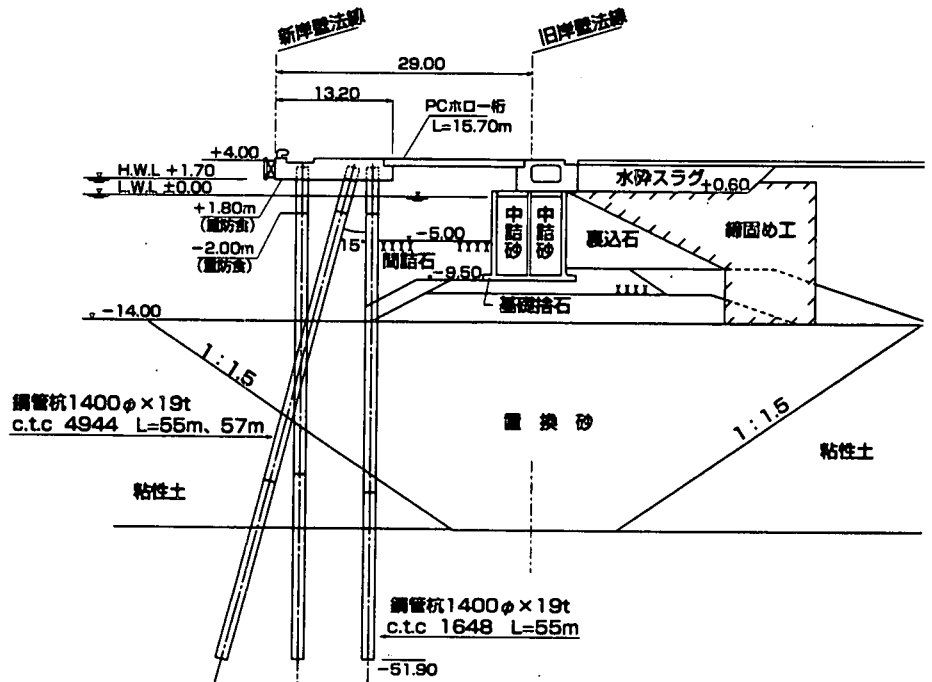
図－1 緊急コンテナ埠頭位置図

3. 2 工期短縮のための設計施工の方針

緊急コンテナ埠頭は、通常1年以上の工期を要する工事を6ヶ月で完成させて供用開始を図るために、次のような「プレハブ式棧橋」の考え方を採用している。

(1) 被災岸壁を土留壁として活用した棧橋構造

緊急コンテナ埠頭の岸壁構造は、図－2に示すように被災変形した既設のケーソン岸壁を土留壁として活用し、その前面に棧橋を建設する構造とした（既設のケーソン式岸壁はほぼ一様に最大4mはらみ出すとともに、最大2m程度沈下している）。岸壁法線の前出量は、コンテナクレーン（レールスパン30.5

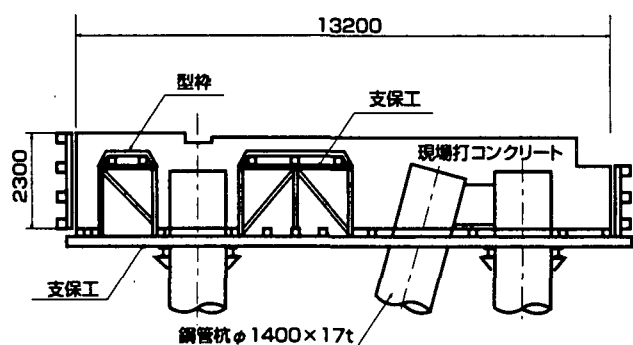


図－2 緊急コンテナ埠頭断面図

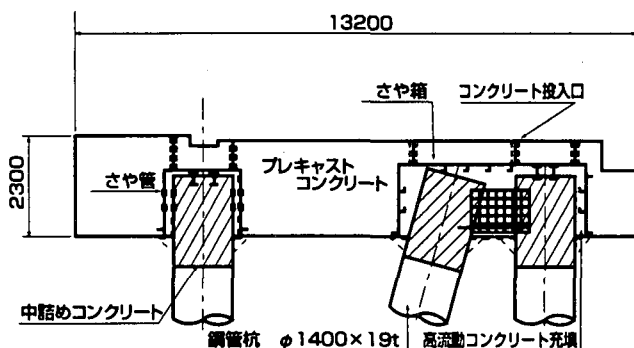
m)の陸側基礎が既設ケーソンの上に乗るように旧法線から2.9mとした。既設ケーソン岸壁は設計震度0.18で設計されているので、新しい設計震度0.20に対する土留壁の安定を確保するため岸壁背後を水砕スラグ（1.3tf/m³）で置換えるとともに、棧橋杭とケーソンの間に間詰石を投入する。また、棧橋の背後側は継手のない連続鋼管杭として打設能力の向上を図った。このため、連続鋼管杭側には間詰石の大きめのものを投入し隙間からの流失を防止した。

(2) 等厚コンクリート床版構造の上部工の採用

棧橋式岸壁では上部コンクリートの施工に相当の日数を要し、工程管理の重要な位置を占める。このため、図



図－3 場所打ちによる
梁・床版構造の栈橋上部工



図－4 プレキャストによる
等厚コンクリート床版構造の栈橋上部工

図－3に示すような従来の梁・床版構造（杭頭を場所打ちコンクリート製の梁で連結し、その上部にコンクリート床版を施工する構造）に変えて、図－4に示すようなプレキャスト方式を前提とする、等厚コンクリート床版構造（複雑な断面を避けて、重量が多少増大しても簡単な等厚断面とした構造）とした。杭頭部とプレキャスト部材との空隙は、無収縮高流動コンクリートにより充填し、両者の一体化を図った。

（3）コンクリート工のプレキャスト化と施工単位の大型化

（2）の方針と関連して、栈橋の上部工だけではなく、既設ケーソン上のクレーン基礎等のほとんどのコンクリート工を、陸上ヤードで製作可能なプレキャスト方式とし、栈橋杭の打ち込みと並行して作業が可能にした。さらに、その大きさを1スパン25mと大型化して据付工程の短縮化も図った。

また、栈橋本体と土留壁を連絡する渡版工には工場製作のPCホロー桁を採用し、近接ヤードで横締めして栈橋上部工と同一幅の1ブロック25mの一体構造化を図り、大型起重機船による一括架設とした。

3. 3 全体工程

表－1は前節で示した設計・施工の方針に基づいて作成した実施工程表である。鋼管杭の打ち込みと並行的に、栈橋上部工、陸側クレーン基礎およびPCホロー桁をすべてプレキャスト構造とし、更に施工単位を大型化することにより、6ヶ月で完成する工程になっている。

表－1 実施工程表

工 種	単位	数量	4 月		5 月		6 月		7 月		8 月		9 月		10 月	
			10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
準備工	式	1														
撤去工	m	350														
鋼管杭工	本	355														
間詰石工	m	350														
栈橋上部工	m	350														
陸上クレーン基礎工	m	350														
PCホロー桁架設工	m	350														
締固め工	m	350														
舗装工	m	350														
付属工	式	1														
後片付け	式	1														

4. 緊急コンテナ埠頭の設計施工

4. 1 栈橋本体工の設計と施工

栈橋本体工には、背後の間詰石からの主働土圧により大きな水平力を受けるため、大きな水平抵抗を有する斜め杭式とした。地震時に栈橋に作用する外力の模式図を図－5に示す。後列の鋼矢板には、主働土圧の他に間詰石より上方にウェスターガードによる地震時動水圧を作用させている。

栈橋本体の諸元は、いずれの鋼管杭・矢板もφ=1400mm、t=19mm、L=55mで、斜杭のみL=57mである。海側の直杭と斜杭ピッチは、図－6に示すように、陸側の鋼管矢板3本に対応させて4.9mピッチとした。ただし、海側の直

杭と斜杭は交互に配置した。

これらの鋼管杭・矢板あわせて355本は、各々1本もので工場製作し、+1.8m~-2.0mの区間に重防食を施したものを3,000t積台船に積載して現場に搬入した。この内、陸側の直杭については、継手の製作に時間がかかることと杭打ち時に継手がせりあって打設能率が下がるため、継手を設けないこととした。

杭打ちは、パイプロハンマー（VM4-30000A×2）と油圧ハンマー（PMJ-200）を各々装備した杭打ち船2船団にて行った。

4. 2 棧橋上部工の設計と施工

（1）棧橋上部工の諸元

棧橋上部工の1ブロックの諸元は、図-6に示すように、法線方向長さ24.7m、幅13.2m、高さ2.3mである。ここで法線方向長さは、コンテナクレーン1基（長さ24.0m）を1ブロックで耐荷できるように決定した。また、高さは（2）で述べる杭頭部の構造から決定した。プレキャスト化を前提とする等厚コンクリート床版構造の上部工を採用した結果、上部工の重量は5.0tf/m²まで増大した。これは、同様の断面を場所打ちの（梁+床版）形式で設計施工した場合の3.7tf/m²と比較して大きくなり、それに対応して鋼管杭の肉厚も若干厚くなる。

（2）棧橋上部工の杭頭部の構造

棧橋上部工をプレキャストとする場合、杭頭部の剛結方法が重要な課題となるので以下のように対応した。

① 杭頭部は「道路橋示方書」の基礎杭の杭頭剛結合の設計法に準じて設計し、上部工へ杭径以上埋め込み、ずれ止めを取り付ける方法とする。

② 上部工のプレキャスト製作時にあらかじめ杭頭部を箱抜きし、据付後に箱抜き部に高流動コンクリートを充填して杭頭剛結する。

③ 箱抜きに用いる型枠は、図-4に示すように、海側直杭部はφ1800mmの鋼管（さや管と称す）、陸側組杭部は板厚16mmの鋼製の箱（さや箱と称す）とし、充填コンクリートとの一体性を確保するためにずれ止めとしてさや管には鋼板、さや箱には山型鋼を取り付ける。

④ 上部工の吊り上げ時および設置時の自重に対応するため、杭頭部の断面急変部を中心に鉄筋や鋼材で補強した。

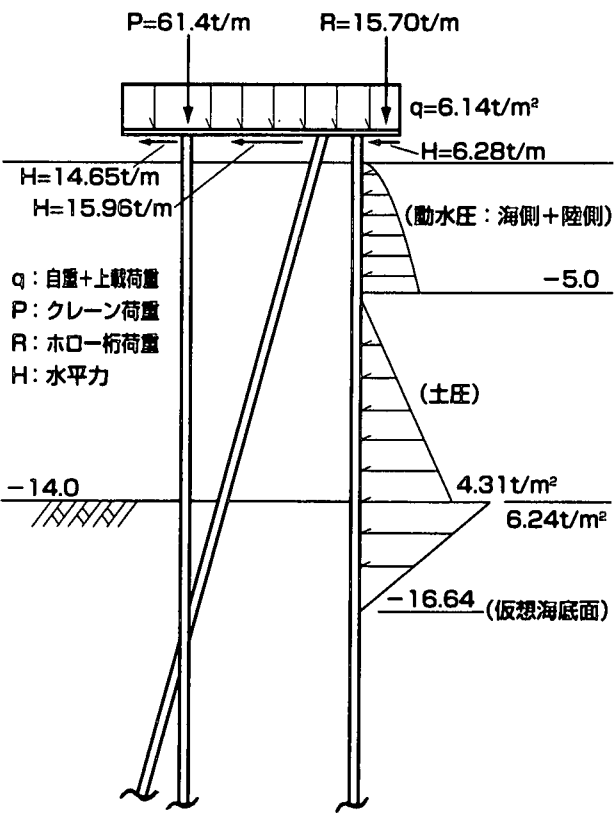


図-5 棧橋に作用する外力の模式図

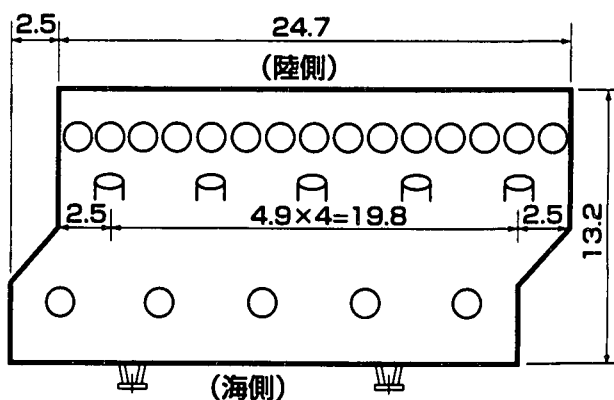


図-6 棧橋上部コンクリートの形状と杭の配置

（3）棧橋上部工の施工

棧橋上部工のプレキャストブロックは、現場から約8km離れた鳴尾浜ケーソンヤードにて製作した。14基のブロックを現地の杭打ち工事の進捗等に合わせて2回で据え付けることとした。

ブロックの箱抜き部と鉄筋の組立状況を写真-2に示す。製作は通常のコンクリート工事と見なせるが、岸壁としての付属品の他にコンテナクレーンやPC桁設置のための種々の付属品の埋め込み用の箱抜きや取り付け金物が多く、補強や配筋が複雑となって工程管理を難しくした。

プレキャストブロックは、コンクリートの養生期間を待つて所定の強度が得られてから2,200t~3,600t吊り起重機船にて3,000t積台船に積み込み、現地に曳航して、鋼管杭の上に据え付けた。ブロックの据付は、写真-2

3に示すように、H形鋼等で製作した吊枠を用い、吊筋に極力均等な荷重が作用するようにイコライザー（平衡滑車）を使用して4点フックで行った。



写真-2 栈橋上部エプレキャストブロックの箱抜き部と鉄筋の組立状況

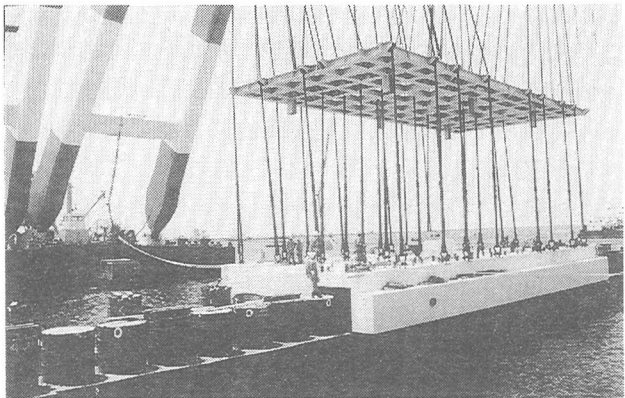


写真-3 栈橋上部工の据付け状況

4. 3 高流動コンクリートの利用

栈橋杭頭結合部の空隙充填と類似の事例では、従来無収縮モルタルの用いられることが多かった。しかし、今回のように直杭と斜杭による組杭形式の構造物ではこの部分のせん断耐力が必要なためコンクリート部材とする必要があり、更に、箱抜き部の空隙容量が大きくて充填材の使用量が非常に多くなり、無収縮モルタルではコストが高くなるため、これに替わる材料として高流動コンクリートを用いることとした。高流動コンクリートを採用する場合の課題として次のようなことが考えられる。

- ① 杭頭結合部の空隙に問題なく充填されること。
 - ② 充填後にブリージングや硬化収縮等により上面に有害な空隙ができないこと。
 - ③ 夏場の高温の施工条件下でも、所定の品質のコンクリートが安定した状態で製造、供給できること。
- これらの課題に対して、室内配合試験による基本配合を基に、本施工で使用するコンクリートミキサー船を用いた試験を行って品質を確認して配合を設定した。さらに、杭頭結合部の実物大モデルを用いた充填実験を実施して充填性や施工性を確認した。

本施工における高流動コンクリートの配合は表-2に示すとおりである。コンクリートミキサー船は、高流動コンクリートの製造に有利なサンドスタビライザーを装備しており、夏場の高温時での施工に備えて製氷装置をも有している。品質管理は主にスランプフロー試験で行い、その広がりを65±5cm、50cmの広がりに到達する時間を10秒以下とした。本施工は、平成7年7月29日～8月3日と8月18日～8月20日の2回に分けて行われ、合計で1,170m³の高流動コンクリートが打設された。施工中のスランプフローのデータは、図-7のとおりで、すべてのバッチで管理基準内に収まっている。

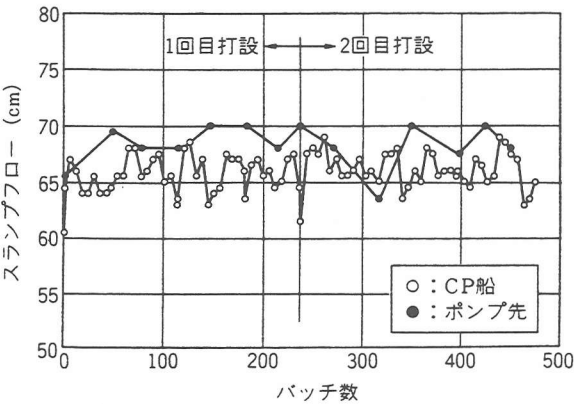


図-7 高流動コンクリートのスランプフロー

表-2 高流動コンクリートの配合

空気量 (%)	W/P (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)							
				W	C	Sg	石こう	S	G	増粘剤	高性能AE減水剤
4.5	40.3	54.9	50.0	180	328	87	33	806	822	W×0.2%	(C+Sg+石こう)×2.5%

4. 4 P Cホロー桁の設計と施工

栈橋上部工と陸側クレーン基礎とを連絡するためにP Cホロー桁を用いているが、道路橋などの一般的な利用と異なって、荷役機械が法線方向（P Cホロー桁と直角方向）にも走行する。この法線方向の走行荷重に対して

は横締め桁数をできるだけ多くすることが望ましいため、栈橋上部工の1ブロックの大きさに合わせることにし、長さ15.7m、高さ0.7m、幅0.7mのPCホロー桁を33本横締めしてひとつのブロックとした。このように横締めしたホロー桁について、荷役機械走行時のたわみ量を計算してみると、最大2.5cm程度であった。

この横締め作業は、現地に架設したあと行うのではなく、あらかじめ別途製作ヤードにて1ブロック当たり33本の桁をPC鋼棒で横締めして、全幅約25m、重量約600tのブロックを製作した。このブロックを3,000t積台船に積み込んで現地まで曳航し、起重機船により据付けを行った。しかし、このように大組みして一体化したPC桁の吊り込み実績はないため吊り上げ方法について検討を加え、長手方向の吊り上げ時の変位が均等となるように「のれん式」のワイヤー掛け吊枠を用いた吊り込み方法を採用した。

PC桁の支承については、被災したケーソンへPC一桁から作用する水平力を極力小さくするため、栈橋上部工側を固定、陸側クレーン基礎側を可動とした。現地での据付けは、チルホールを用いて微調整し、栈橋上部工と陸側クレーン基礎の桁受け部に設けた支承上に所定の目地間隔を確保して据え付けた。PCホロー桁の据付け状況を写真-4に示す。

4.5 岸壁背後地盤の締固め

既設岸壁の背後はまさ土で埋立てられている。今回の震災では、これまで比較的液状化しにくいと言われていた「まさ土」が液状化し、岸壁の被害を増大させた。このため（-7.5m）岸壁以上の大型岸壁は背後地盤の液状化対策を講じることにした。当該岸壁の液状化対策としては、最も一般的なSCP工法による締固め（改良率15パーセント）を採用した。図-8は改良前と後のN値を比較した代表的な例を示しており、改良前にはN値10以下だった地盤がN値10～40に締固められている。

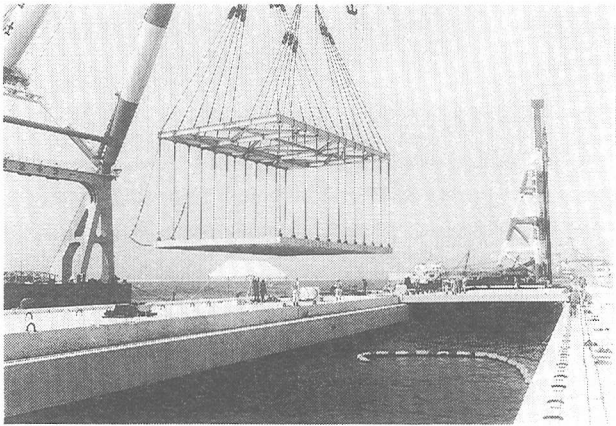


写真-4 PCホロー桁の据付け状況

5 まとめ

- ① 神戸港・緊急コンテナ栈橋は、阪神淡路復興委員会の緊急提言を受け、半年と言う非常に短期間でコンテナ岸壁を完成させ、完全復旧までの間のコンテナ取扱能力を補完して、神戸港の空洞化を防止する目的で計画された。
- ② 緊急コンテナ栈橋はわずか6ヶ月で供用開始にこぎつけるために、設計施工上でプレハブ式栈橋という新しい考え方を採用している。このプレハブ式栈橋では、従来の現場打ちの梁・床版構造の上部工に変わって、プレキャストの等厚コンクリート床版構造を採用するとともに、栈橋部と背後の土留部とをPCホロー桁で連絡する等ほとんどのコンクリート工をプレキャスト化している。栈橋の杭打ち工事と並行して上部工等の製作が可能になったため、工程の大幅な短縮が図られた。
- ③ 緊急コンテナ栈橋は、ほぼ計画とおりに平成7年11月に供用開始された。このプレハブ式栈橋という新しい考え方は、今後の災害復旧は勿論のこと、新規の港湾工事・海洋工事に十分応用可能と考えられる。

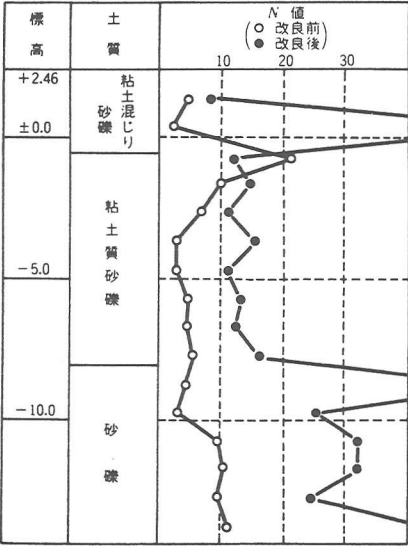


図-8 岸壁背後地盤の地盤改良結果