

ジャケット式岸壁による災害復旧

－神戸港中突堤復旧工事におけるジャケット式岸壁の設計・施工－

Application of a jacket structure to the repair of damaged pier by Hyogoken-Nambu earthquake
－Design and installation of jacket type pier for Nakatottei in Kobe port－

及川 研* 池上勝己** 丸岡 初*** 松尾 隆**** 山本邦弘*****

Ken Oikawa, Katumi Ikegami, Hajime Maruoka, Takasi Matuo, Kunihiro Yamamoto

A jacket structure is applied to the restoration work at Nakatottei pier in Kobe port damaged by the Hyogoken - Nambu earthquake in 1995 from the following reasons; the damaged old RC caissons can not be removed as a ferry terminal and hotel building has been built close to the pier, further, water area around the pier is not wide enough to reconstruct the RC caissons due to the area is one of the most congested water front in Kobe port.

This paper presents some topics in design and construction of the jacket structure.

Keywords: jacket, pier, Hyogoken-Nambu earthquake

1. はじめに

兵庫県南部地震で被災した神戸港中突堤の岸壁復旧工事は、水深9.0mおよび5.0mの被災岸壁前面に総延長約774mの岸壁を新設するものである。本工事では岸壁に隣接して旅客船ターミナルとホテルを兼ねた大型建築物があること、岸壁の前出し幅、工事占有海域、海上施工期間に制約があったことから、本体幅が小さく軽量で、起重機船の占有海域、海上施工期間が短いジャケット式岸壁が採用された。(写真-1)

ジャケットは、海洋石油掘削プラットフォーム建設のために米国で開発された、立体の鋼管トラス構造と鋼管杭基礎を一体化した有脚式海洋構造物で、1930年代からメキシコ湾を中心に建設が進められ、現在では世界各地で多数使用されている。わが国においても海洋石油掘削プラットフォーム、シーバースとしての利用の他、大島大橋多柱式基礎の栈台、東京湾横断道路川崎人工島の鋼製護岸、東京港臨海道路の仮防波堤などに広く利用されている。しかしながら、ジャケット構造を岸壁本体に適用した例はこれまでになく、土留部の構造決定、係船力、接岸力に対する全体構造の照査方法など岸壁固有の条件を加味した設計を行うと共に、本復旧工事の施工上の課題である鋼管杭打設に対する振動、騒音対策、上部工、洗掘防止工の工期短縮について検討・改善を行った。

本文は、ジャケット構造をわが国ではじめて岸壁に適用した本復旧工事の、設計・施工法についてのべたものである。

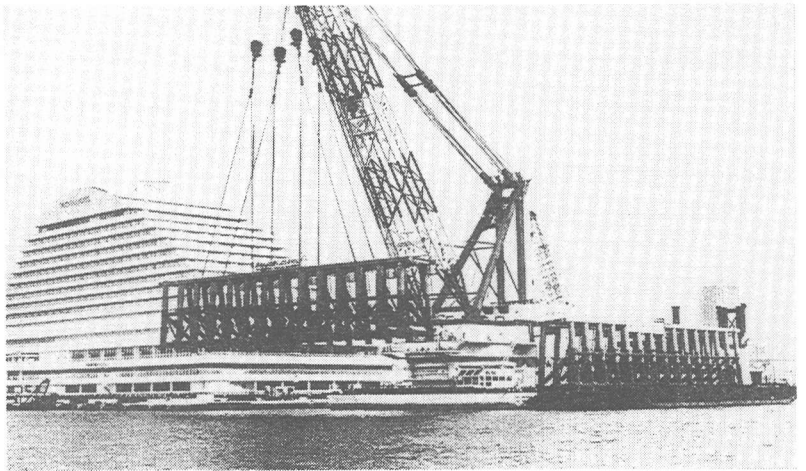


写真-1 ジャケット式岸壁

2. 工事概要

2.1 被災状況

既設岸壁は昭和初期に建設されたRCのL型ケーソンで、被災により岸壁全周にわたり1～2m前傾沈下した。図-1に被災ケーソンと新設岸壁の断面を示す。図-2に中突堤の全体配置を示す。

* 正会員 運輸省第三港湾建設局 震災復興建設部

** 正会員 運輸省第三港湾建設局 広島港工事事務所

*** 非会員 運輸省第五港湾建設局 設計室

**** 非会員 五洋建設株式会社 中突工事事務所

***** 非会員 新日本製鐵株式会社 鉄構海洋事業部 (229 相模原市西橋本5-9-1)

3. 2 設計条件

ジャケット式岸壁の設計に適用した基準は、港灣の施設の基準上の基準、道路橋示方書、コンクリート標準示方書を基本とし、これらに規定のない項目についてはジャケットの設計基準であるアメリカ石油協会の A P I - R P 2 A を用いた。また、架設物の設計には鋼構造物架設物設計指針を適用した。計画条件、自然条件、荷重条件を表-3に示す。

表-3 設計条件

計画条件	自然条件	荷重条件
水深: 9m および 5.5m 法線長: -9m南側岸壁 114.8m -9m西側岸壁 277.5m -9m東側岸壁 196.0m -5.5m岸壁 186.0m 耐用年数: 50年 設備: -9m岸壁 70t曲柱 V型防舷材 フェリ-用大型防舷 乗船用人道橋レール 給水設備 ゴムはしご -5.5m岸壁 35t曲柱 V型防舷材 係船環 スリット付ブレイクスト版 給水設備 ゴムはしご	潮位: H.W.L. +1.70 L.W.L. ± 0.00 R.W.L. ± 1.10 波浪: -9.0m岸壁 $H_{max} = 1.75$ m T = 6.5 sec -5.5m岸壁 $H_{max} = 0.95$ m T = 7.0 sec 設計震度: 水平震度 $K_h = 0.2$ 鉛直震度 $K_v = 0.0$ 土質条件: 海底面下約4mまでは粘性土 その下約20mは砂質土と粘性土の互層 $N=10 \sim 30$ 支持層は $N=35$ 以上の粘性土または砂質土	上載荷重: 常時 1.0 tonf/m ² 地震時 0.5 tonf/m ² 輪荷重: 道路橋示方書 A活荷重・衝撃無し (TL-20相当) 対象船舶: -9.0m岸壁 16000DWTフェリ- (接岸速度15cm/s) 20000GT旅客船 (接岸速度10cm/s) -5.5m岸壁 3000GT旅客船 (接岸速度15cm/s)

3. 3 構造計画

ジャケットは、図-3に示すように、鋼矢板を支持する陸側レグ(杭)と岸壁の変位を抑制するために傾斜をつけた海側レグ(杭)、およびこれらをつなぐ鋼管トラスで構成される。鋼管杭は、ジャケットのレグをさや管として建込み打設される。地盤改良は行わない。レグと鋼管杭はジャケット天端で溶接され、間隙にセメントグラウトを充填して一体化される。杭の間隔は4 m~5 mで陸側レグには、ジャケットの水平材を兼ねた腹起し用パイプが取り付けられている。鋼矢板はジャケット天端で桁と溶接され陸側杭とともに引抜力を負担する。上部工は、レグ頭部のリング補強とH型钢の桁を接合し、ジャケットと一体の構造である。桁にはスタッドジベル取り付けでプレキャスト床版を固定し、暴風時の波による揚圧力に抵抗する構造とした。V型防舷材および大型のフェリー用防舷材はレグから張り出した鋼製架台に取り付ける。係船曲柱は反力が大きいため、ジャケットレグの頂部に鋼製の台座を直接溶接する構造である。-5. 5 m岸壁には、小型船も係留されることから、エアフェンダーが使用でき、かつ反射波も低減出来るように、スリット付のプレキャスト版を岸壁前面に設置している。

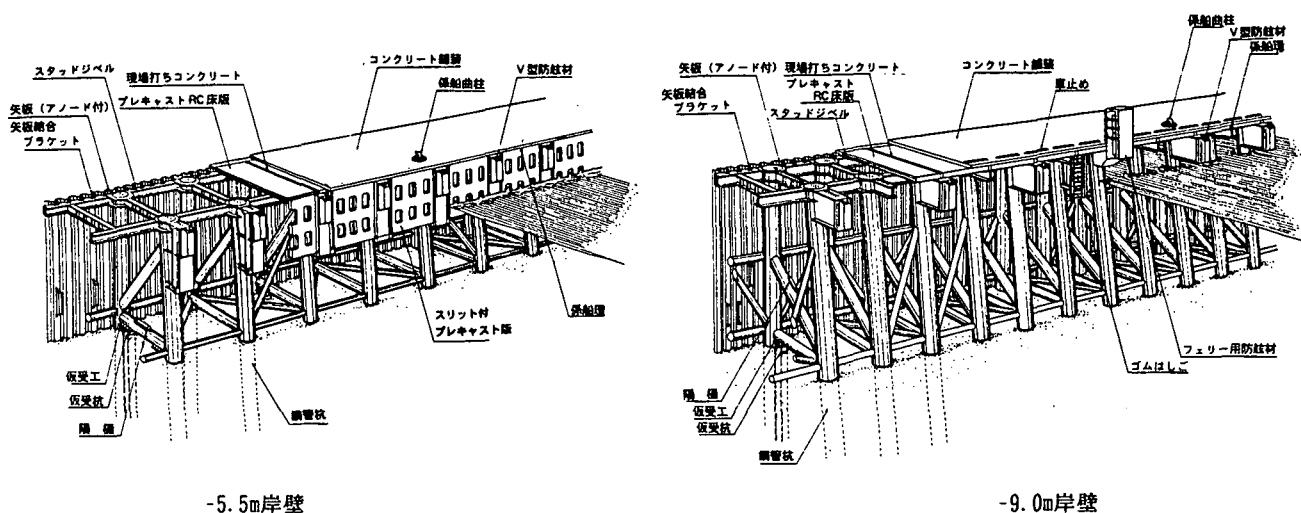


図-3 ジャケット式岸壁構造図

3. 4 設計手法

供用時のジャケットの構造解析は、法線直角方向の鋼管トラス、鋼管杭、鋼矢板および桁部材を線材に置き換えた2次元骨組モデルとし、地盤を線形バネにモデル化して杭と構造物を一体で解析した。施工時の吊り解析、仮受時の構造解析は立体骨組モデルを用いた。

ジャケット構造を岸壁に適用する上で、設計手法が確立されていない項目について以下のような手法を用いた。

1) ジャケットと一体になった土留矢板の設計手法

海底面下の鋼矢板は、ジャケット杭のある部分を除いて地盤の横抵抗を考慮し、横方向地盤反力係数は既往の

研究から杭の3/4とした。鋼矢板に作用する土圧は、主動土圧が受動土圧を超える部分について、その差分を荷重として作用させた。鋼矢板の根入れ長は、港湾の施設の技術上の基準に従い、ジャケット最下段の腹起しまわりの地震時の主動土圧と受動土圧の釣合深さから決定した。

2) 接岸力に対する裏込土の抵抗評価

ジャケットに作用する接岸力はおもに上部工を通じて鋼矢板背後の裏込土に伝達される。接岸力によって陸側に押さえつけられた状態のジャケットの強度検討を行うには、裏込土を含めたジャケット全体の変形を評価する必要がある。このため、構造解析モデルに裏込土の受動抵抗に相当するバイリニアの地盤バネを考慮した。

3. 5 詳細設計

ジャケットの鋼管格点部はAPI-RP2Aに従って支管による主管の押し抜き剪断（パンチングシア）耐力を照査し、必要に応じた主管格点部の板厚、材質を決定した。上部工のH型鋼桁とジャケットレグの接合部は外ダイアフラム形式、防舷材取付架台とレグの接合部はガセットプレート継手式として、鋼管構造設計施工指針に従って設計した。

ジャケット本体の耐用年数は50年で、防食は、L.W.L-2.0以上の干満帯および飛沫帯を超厚膜エポキシ樹脂塗覆、海中部と土中部を30年対応のアルミニウム陽極を用いた電気防食と20年相当の鋼材の腐食代を併用した。鋼矢板も同様に干満帯、飛沫帯にはポリエチレンライニング、海中部、土中部は電気防食と腐食代の併用とした、なお鋼矢板の裏込側は全て腐食代で対応した。また-9m岸壁のジャケットレグのうち4本には干満帯、飛沫帯に試験的にステンレス鋼板(SUS316L t=1.5mm)による防食被覆を用いた。ステンレス鋼による金属ライニングは、チタンやモネルに比べて安価で、電気防食との併用により異種金属間腐食、隙間腐食が防止できるため今後の重防食材料として期待されている。

4. ジャケットの製作

4. 1 製作

ジャケットは、北九州、播磨、清水、千葉の工場で作られた。鋼管トラスは、工場内で管端部の部材加工をしたのち、陸上ヤードで法線直角方向の平面パネルを組み立て、次に平面パネルを建て起こして法線方向に順番に接続して立体組み立てを行う。製作順序を図-3に示す。使用鋼材の種類は道路橋示方書に従って板厚に応じて定めた。ジャケットレグの格点部は、溶接時に板厚方向に強い拘束応力が発生する可能性があり、これによる層状剥離を防止するために、JISに規定された耐ラメラティア鋼を用いた。

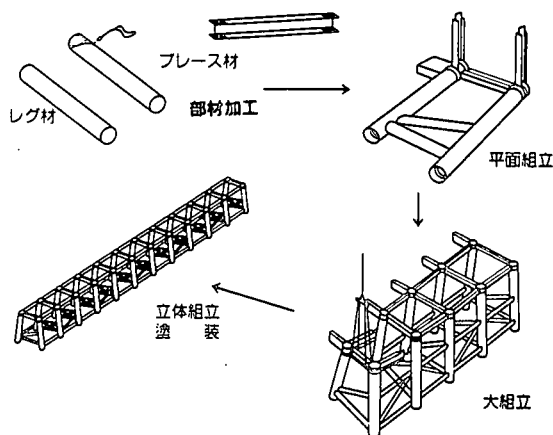


図-3 製作順序

4. 2 出荷、輸送

完成したジャケットは通常台船で海上輸送される。台船への積込みは、そりを使って架台上をすべらせるスキッピング方式と起重機船で吊り込む方式があり、本ジャケットは起重機船による積込方法をとった。台船に積込まれたジャケットは固縛設計に基づいて甲板に固定される。固縛設計は予定の曳航ルート、時期から台船の動揺条件を決定し、動揺によるジャケットの慣性力に対して固縛材サイズおよび台船の甲板強度を検討した。

5. ジャケット式岸壁の施工

5. 1 調査試験工事

1) 土質・地形調査

実施設計にあたって、基準測量をはじめ、土質の把握（ボーリング）および既設岸壁の傾斜・出入等を調査した。また、施工時の既設岸壁の動態を把握するため、定点観測を継続的に行うことにした。

2) 鋼管杭打設試験

現地にて旋回式起重機船を用いて各種の工法にて試験工事を行った。その結果、施工性、経済性および、振動・騒音に対し最も適した大型電動バイプロハンマー、ウォータージェットカッター併用を採用することにした。

5. 2 捨石・土砂撤去工

-5.5m岸壁は、仮受杭、鋼管杭、鋼矢板打設に支障をきたす捨石(層厚2~3m)が全域にわたって敷き詰められていた。しかしながら、撤去することにより既設ケーソンが倒壊する恐れがあったので、スリット式大型バケット(7.0m³)を取り付けたバックホウ式浚渫船を使用し捨石と砂を置き換えながら撤去を行った。

5. 3 据付工

1) 仮受工

ジャケット1基(60m)あたり8本の仮受杭(H鋼)を杭打船にて公害対策用バイプロハンマー(特殊水中ヤットコ使用)を用い打設した。

2) ジャケット据付工

海上輸送されたジャケット(最大重量約430t/基)を水域の制約より旋回式起重機船(1,600t吊横付)で仮受杭上に据付けた。(写真-2)

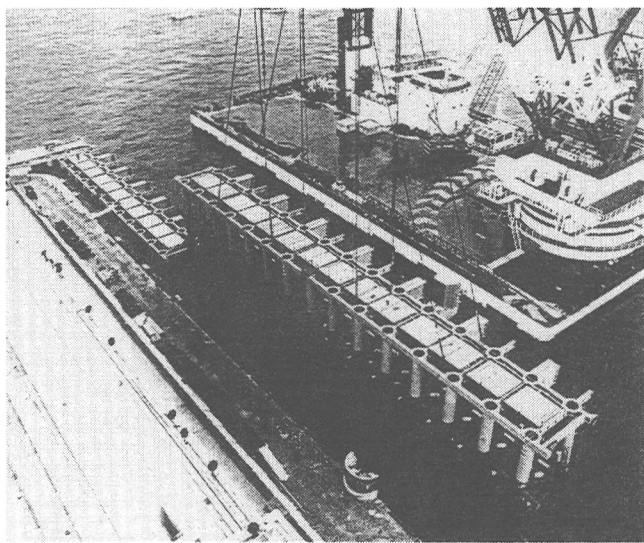


写真-2 ジャケット据付状況

5. 4 鋼管杭・鋼矢板工

1) 鋼管杭打設

試験工事より採用したバイプロハンマ、ウォータージェット併用で旋回式起重機船(350t吊横付)を用いジャケットレグ内に挿入後打設した。ジェット配管は鋼管杭内側に取付けた。(写真-3)

2) グラウト工

杭頭処理後、ジャケットと鋼管の隙間に無収縮モルタルを充填して一体化を図った。

3) 鋼矢板打設

公害対策用バイプロハンマー、ウォータージェットカッター併用方式で鋼管杭と同様に旋回式起重機船で打設した。ジェット配管は転用方式とした。

4) その他

騒音防止対策として鋼管杭打設時はゴム付特殊リングを、鋼矢板打設時は特殊金具を用いてジャケットとの接触音の低減を図った。(写真-4、5)

また、振動・騒音測定及び動態観測を定期的に行い、周辺の環境に配慮した。

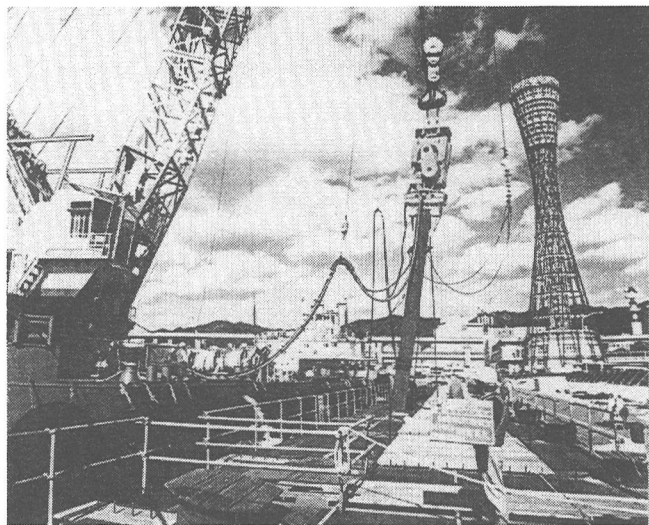


写真-3 鋼管杭打設状況

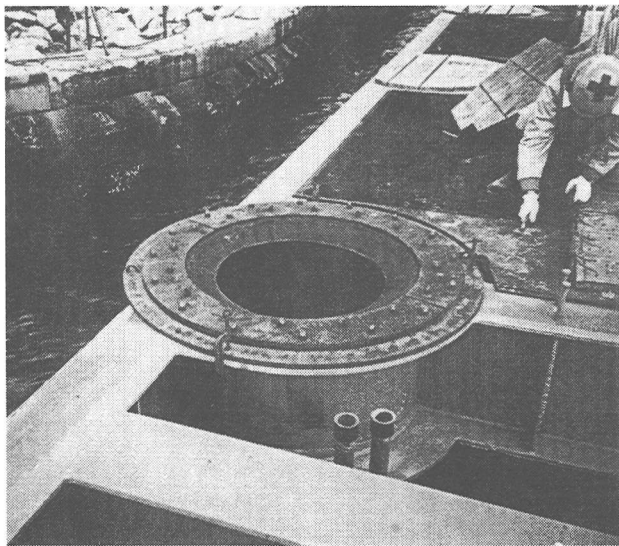


写真-4 鋼管杭打設用騒音防止金具

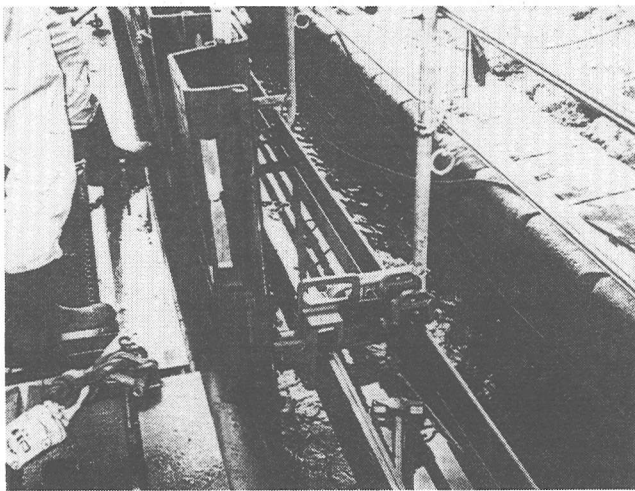


写真-5 鋼矢板打設用騒音防止金具

5. 5 裏込・裏埋工

鋼矢板打設後、既設岸壁との間にガット船にて間詰石を投入した。その上に、山土を投入して敷均し・転圧を行った。

5. 6 上部工

1) 上部コンクリート

鋼矢板打設後、工場製作したRCプレキャスト版(3.8m×8.0m×0.32m、約24 t/基)を海上輸送し旋回式起重機船で据付けて工期短縮を図った。ジョイント部は、超速硬コンクリートを打設し、ジャケットとの一体化を図った。(写真-6)

2) 舗装工

プレキャスト版上は、厚さ10～15cmのコンクリート舗装をし、陸側は工期短縮のため単位水量が著しく少ない超硬練りコンクリート(スランプ0 cm)を用いた転圧コンクリート舗装(RCCP)を行った。(写真-7)

舗装工標準断面を図-4に示す。RCCPの特長としては、以下があげられる。

- ・アスファルト舗装と同様の機械編成で施工でき、人力による均しがほとんど不要なため施工速度が上がる。
- ・3日程度の養生で供用可能で強度的にも従来のコンクリート舗装と変わらない。

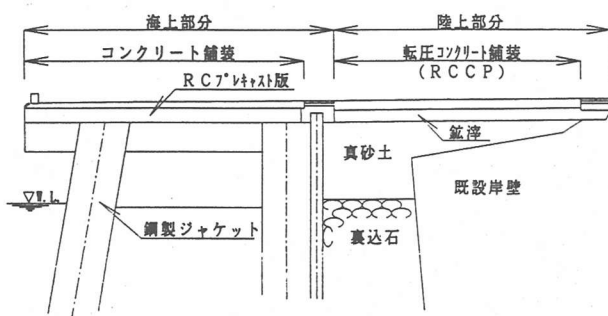


図-4 舗装工標準断面図

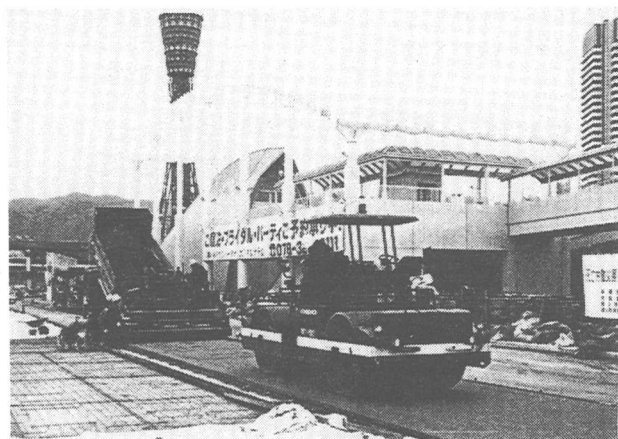
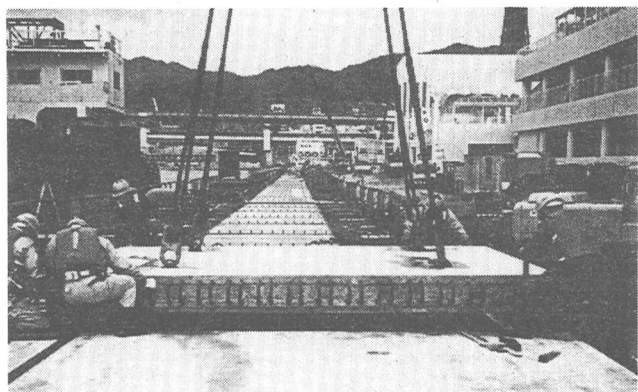


写真-7 RCCP施工状況

5. 7 洗掘防止工

グラブ式浚渫船にて土砂撤去し、捨石を投入、均した後、陸上ヤードで製作された洗掘防止ブロック(コンクリート製 約3.5 t/個:図-5)を海上輸送し旋回式起重機船で据付けた。

5. 8 その他附属工

防舷材・ジャケット用アルミニウム陽極(電気防蝕)・タラップ等はジャケット製作時に、係船環はRCプレキャスト版製作時に取付を行う等、現地での施工を極力省いた。

6. おわりに

神戸港中突堤復旧工事に、ジャケット式岸壁の設計、施工法を採用することによって、期待された現場工期の短縮、占有海面の縮小が達成された。今後、船舶の輻輳する海域、海上作業の期間、占有面積に制約のある工事での利用だけでなく、ジャケット構造の特徴を活かしてさらに大水深、大荷重条件への適用の拡大が期待される。

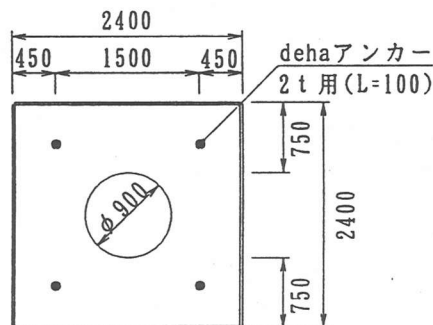


図-5 洗掘防止ブロック一般図