

## ジャケット構造による岸壁の復旧

運輸省第三港湾建設局 及川 研\*

新日本製鐵株式会社 山本 邦弘\*\*

阪神・淡路大震災で被災した神戸港中突堤の岸壁復旧工事は、水深9.0m及び5.5mの被災岸壁前面に総延長774mの岸壁を新設するもので、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ため、本体幅が小さく、軽量で、起重機船の占有海域、海上施工期間の短いジャケット式岸壁（写真-1）が採用された。

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、我が国においても海洋石油掘削プラットフォーム、シーバースなどに広く利用されている。しかし、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った。

ここでは、ジャケット式岸壁の設計を主に述べる。

### 1. はじめに

#### (1) 被災状況

既設岸壁は昭和初期に設置された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図を示す。図-2に中突堤の全体配置図を示す。

#### (2) 工事内容

工事は、被災岸壁全周に工場で作られた鋼製ジャケット16基（重量50~426トン）を大型起重機船で仮受用H杭の上に据え付け、鋼管杭と鋼矢板を打設する。次に上部工のプレキャスト版を設置し、裏込め、付属物取り付け、舗装を行って完成する。施工数量を表-1に示す。ジャケット製作から舗装までの全体施工期間は18ヶ月であった。

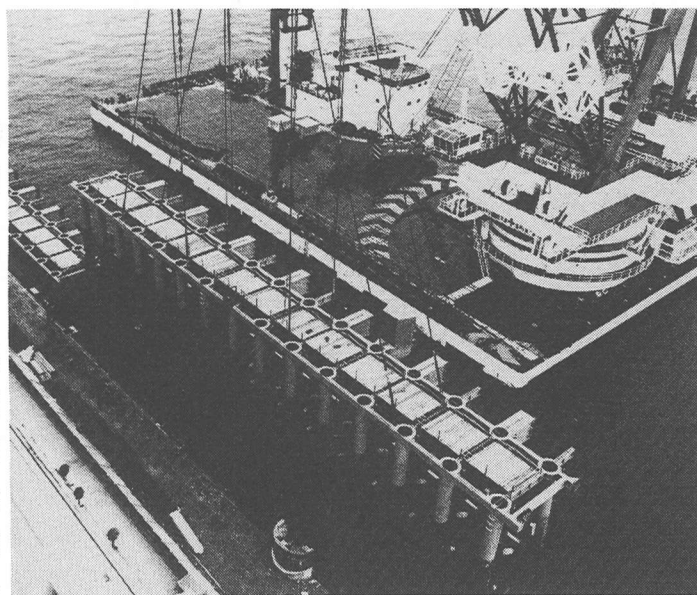


写真-1 ジャケット式岸壁

### 2. ジャケットの設計

#### (1) ジャケットの特徴

ジャケット構造は、水中部のトラス構造の剛性が高いため、杭の曲げモーメント、変位が他の杭式

構造物に比べ小さい。また、高次の不静定構造のためエネルギー吸収量が大きく、高靱性で耐震性に優れている。従って、大水深や水平荷重の大きい場合に合理的な基礎構造となる。また、杭基礎のため、地盤沈下の影響が少ないことも特徴である。製作面では、工場製作なので高品質、高精度であること、軽量で大型化できる点があげられる。施工面では、陸上加工ヤードで立体トラスを完成して台船で据付

キーワード：ジャケット、岸壁

\*：震災復興建設部 078-333-2554

\*\*：鉄構海洋事業部 0427-71-6102

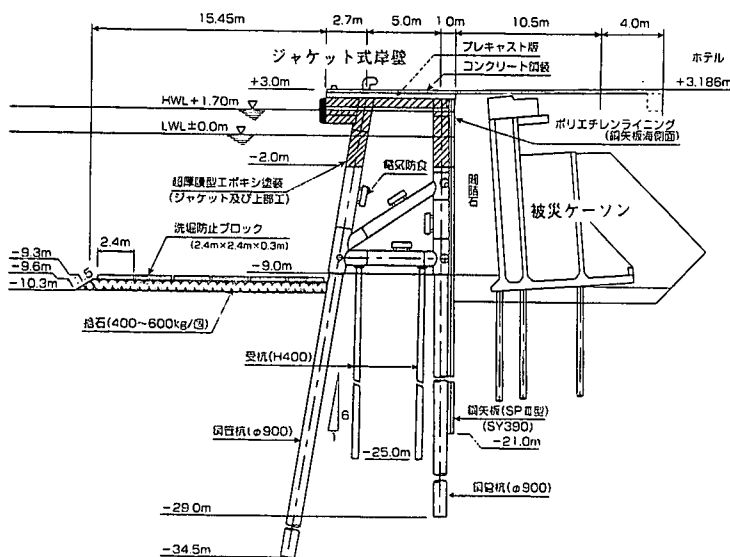


図-1 ジャケット式岸壁断面図 (-9.0m岸壁)

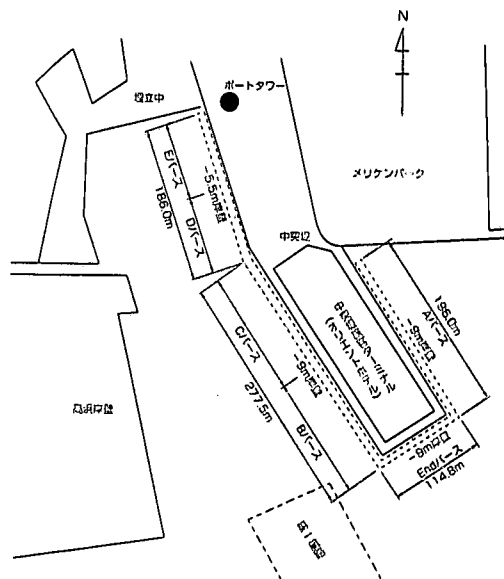


図-2 中突堤平面図

現場まで海上輸送できるため、大ブロックの一括架設が可能となるほか、大水深、軟弱地盤、悪海象でも比較的容易に施工できることから現場での施工工期が短いことが特徴である。

表-1 施工数量

ジャケット工	L×B×H=(60~12)×8.7×(11.8~8.3)	16基
	重量 426 ~ 50 トン/基	4909 トン
鋼管杭工	-9m岸壁 900φ L=38~24m 300本	4505 トン
	-5.5m岸壁 700φ L=38~24m 70本	660 トン
鋼矢板工	SPⅢ型 L=24~19m	1900 枚
上部工	プレキャスト版 t=320mm	5600 m²
舗装工	転圧コンクリート	14000 m²
裏込工	間詰石、裏埋土	22000 m³
洗掘防止工	洗掘防止パネル	1890 枚

(2) 設計条件

岸壁の計画条件、自然条件、荷重条件を表-2に示す。ジャケット式岸壁の設計に適用した基準は、港湾の施設の技術上の基準、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ジャケット格点部の設計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API-RP2Aを用いた。また、架設物である吊り金具、仮受工の設計には鋼構造仮設物設計指針を適用した。

(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)、及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

表-2 設計条件

計画条件	自然条件	荷重条件
水深: 9m および 5.5m	湖位: H.W.L. +1.70 L.W.L. ±0.00 R.W.L. ±1.10	上載荷重: 常時 1.0 tonf/m² 地震時 0.5 tonf/m²
法線長: -9m南側岸壁 114.8m -9m西側岸壁 277.5m -9m東側岸壁 186.0m -5.5m岸壁 186.0m	波浪: -9.0m岸壁 Hmax = 1.75 m T = 6.5 sec -5.5m岸壁 Hmax = 0.95 m T = 7.0 sec	輪荷重: 道路橋示方書 A活荷重・衝撃無し (TL-20相当)
耐用年数: 50年	設計震度: 水平震度 Kh = 0.2 鉛直震度 Kv = 0.0	対象船舶: -9.0m岸壁 16000DWTフェリー(接岸速度15cm/s) 20000GT旅客船(接岸速度10cm/s)
設備: -9m岸壁 70t曲柱 V型防舷材 フェリー用大型防舷 乗船用人工橋 給水設備 ゴミはしご	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=10~30 支持層はN=35以上の粘性土または砂質土	-5.5m岸壁 3000GT旅客船(接岸速度15cm/s)
-5.5m岸壁 35t曲柱 V型防舷材 係船環 スリット付プレキャスト版 給水設備 ゴミはしご		

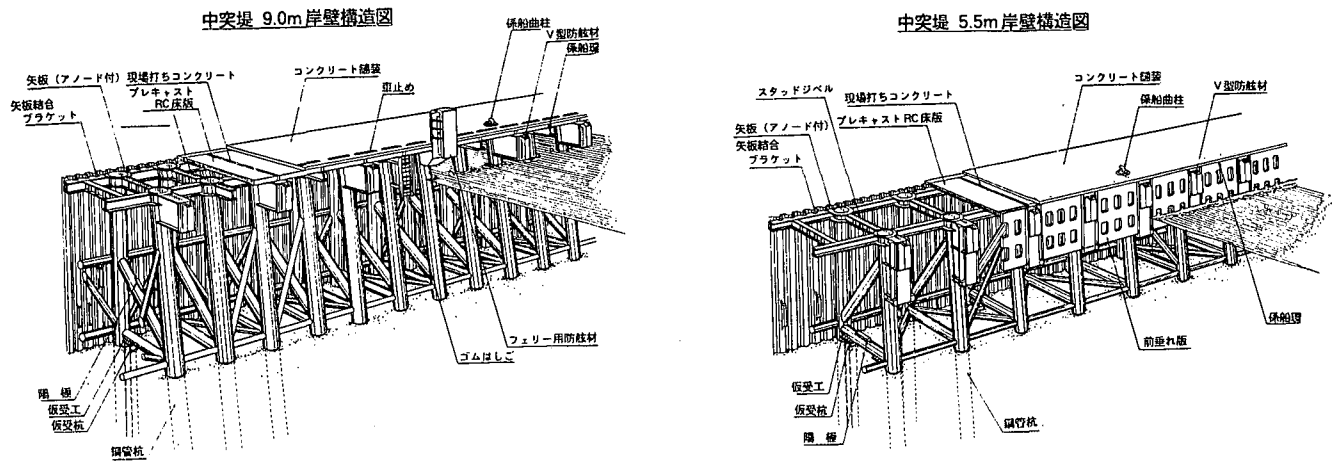


図-3 ジャケット式岸壁構造図

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、間にセメントグラウトを充填して一体化される。ジャケット1基の全長は100m程度にすることも可能であるが、据付け現場での取り回しから最長で60mとした。杭の間隔は4～5mで、陸側レグにはジャケットの水平材を兼ねた腹起し用鋼管を取り付けた。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構造とした。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を取り付けて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型防舷材及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ので、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。-5.5m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、かつ反射波も低減できるように、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。

3. 設計手法

(1) 構造解析

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

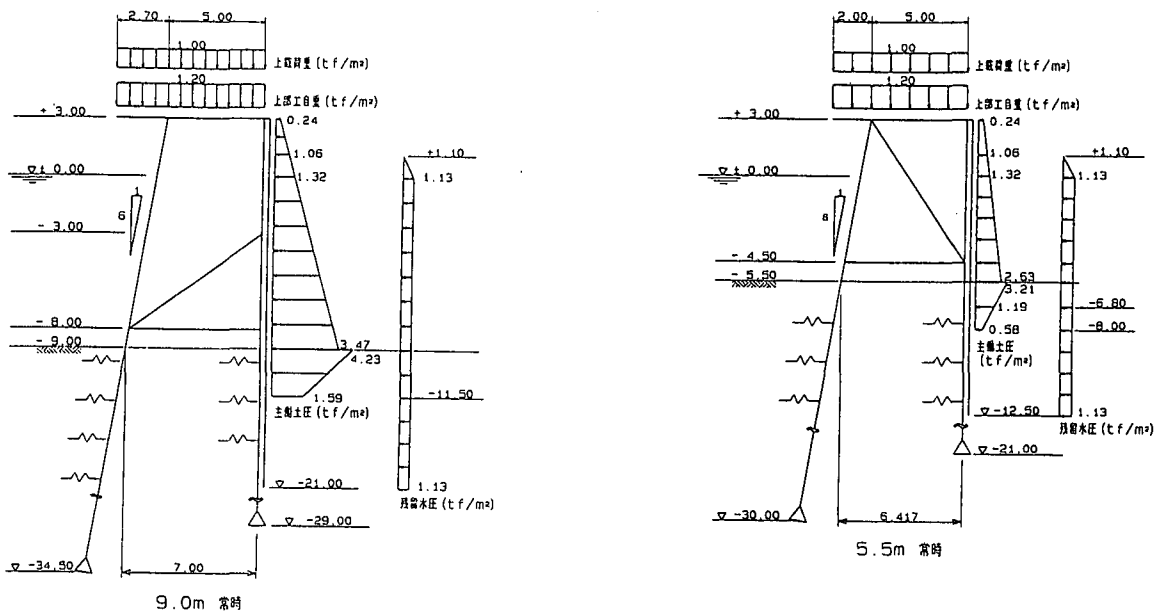


図-4 解析モデル

バネにモデル化して杭と構造物を一体で解析した。

作用荷重は、ジャケット上部に上部工自重、上載荷重を作用させ、鋼矢板には土圧の他に残留水圧を作用させている。図-4に解析モデルを示す。ジャケットの主要部材のサイズは、主に地震時に発生する断面力により決められた。

施工時の吊り解析、仮受け時の構造解析は3次元立体骨組モデルを用いた。吊り解析モデルを図-5に示す。

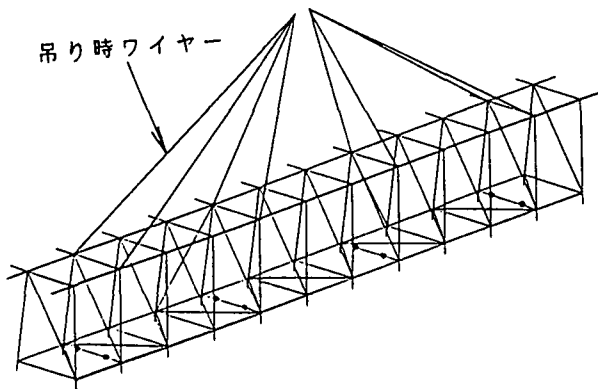


図-5 吊り解析モデル

ジャケット構造を岸壁に適用する上で、設計事例のない以下の項目について次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鋼矢板の設計

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(港湾技術資料No. 219)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は、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主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-

地盤バネを考慮した3次元立体骨組モデルを用いた。接岸時の解析に立体モデルを用いたのは、部分的に大きな接岸力が作用するため、接岸力作用構面以外の構面の剛性(強度)を考慮するためである。

### 3) 地盤バネの比較

石油掘削プラットフォームなどのジャケットでは、一本あたりの杭が負担する水平力が大きいことから、杭の設計に用いられる水平方向の地盤バネは、API-RP2Aに示される非線形バネを使用している。一方、一般的な直杭式棧橋の設計では、港湾の施設の技術上の基準の直杭式棧橋の規定に従って、横方向地盤反力係数 $kh=0.15N$ とする線形バネを用いる。中突堤ジャケット式岸壁の地盤バネは、上記の直杭式棧橋に従って、線形バネを用いているが、この線形バネを用いるにあたり、-5.5m岸壁の土質条件をもとに非線形バネと線形バネの比較を行った。対象とした非線形バネはAPI-RP2Aおよび港研方式(C型地盤)の非線形バネである。図-6に-5.5m岸壁の土質条件を示す。地盤バネの比較は杭の解析に影響を及ぼすと考えられる以下の表層から第三層について行った。

- (1)表層:粘性土(-6.0~-9.5m)
- (2)第二層:砂質土(-9.5~-11.5m)
- (3)第三層:粘性土(-11.5~-14.5m)

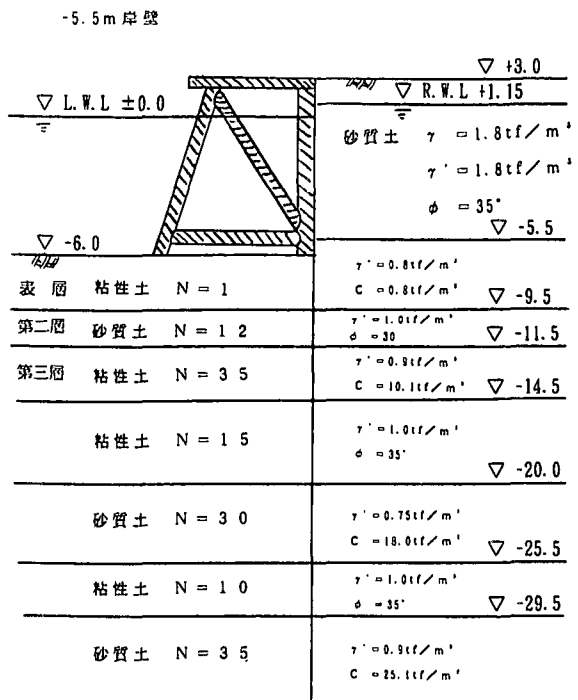
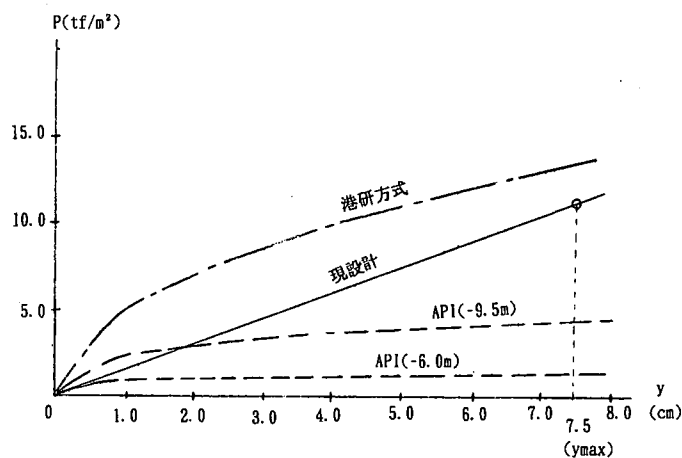


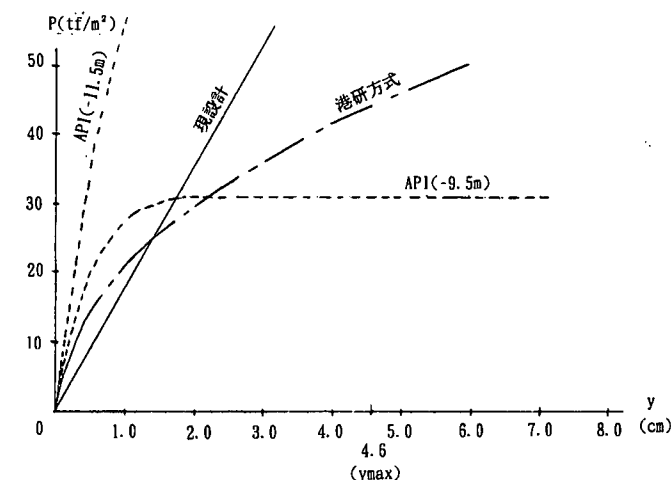
図-6 -5.5m岸壁土質条件

なお、それぞれの比較結果の荷重-変位曲線（ $p-y$  曲線）を図-7に示す。

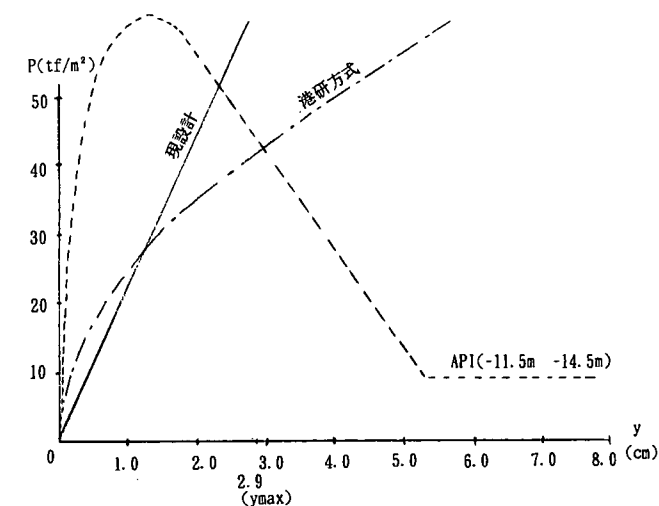
比較の結果港研方式とAPI-RP2Aの $p-y$  曲線には、かなりの開きがあるが、現設計の線形バネは、解析で得られた最大変位（ $y_{max}$ ）までの範囲では港研方式とAPI-RP2Aの非線形バネのほぼ中間に位置しており、港湾の施設の技術上の基準の直杭式栈橋の線形バネは、ジャケット構造物の設計に用いても妥当であるといえる。



表層 粘性土 (-6.0~-9.5m)



第二層 砂質土 (-9.5~-11.5m)



第三層 粘性土 (-11.5~-14.5m)

## (2) 格点部の設計

### 1) 鋼管格点部

ジャケットの格点部はAPI-RP2Aに従って支管による主管の押し抜きせん断（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。

### 2) 上部工接合部

上部工のH型鋼桁とジャケットのレグの接合部は外ダイヤフラム形式、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。

## (3) 防食設計

ジャケット本体の耐用年数は50年で、防食は神戸港の他の杭式栈橋と同様の仕様で、L.W.L-2.0m以上の干満帯及び飛沫帯を超厚膜エポキシ樹脂塗覆

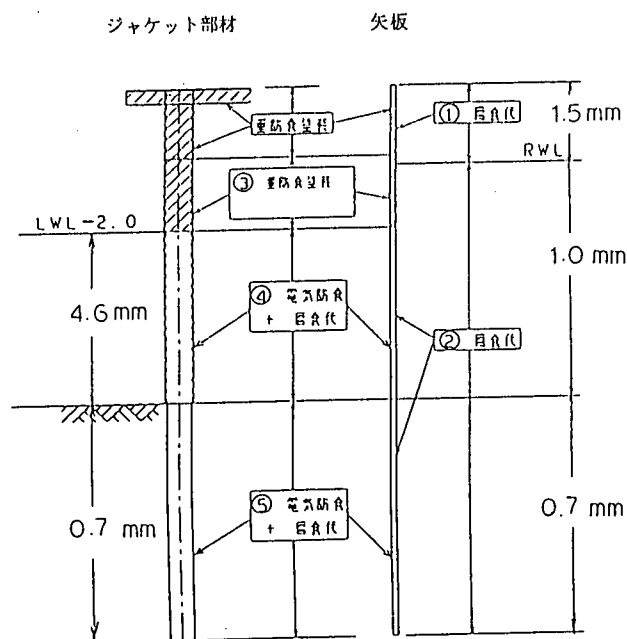


図-8 防食区分

図-7 荷重-変位（ $p-y$ ）曲線

(2.4mm厚)、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(図-8)。電気防食は防食効率90%とし、防食電流密度を海中部130mA/m<sup>2</sup>、採石部65mA/m<sup>2</sup>、土中部30mA/m<sup>2</sup>とした。また腐食代は海水中0.2mm/年、土中0.03mm/年とした。なお、鋼矢板の裏込側は全て腐食代で対応した。また、-9.0m岸壁のジャケットのうち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って異種金属間腐食や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) 上部工床版の設計

上部工床版は、厚さ32cmの鉄筋コンクリート床版で、ジャケット上部桁とはスタッドにより

固定された連続版として設計した。上載荷重は1.0tf/m<sup>2</sup>(常時)、また活荷重は道路橋示方書のA活荷重とした。道路橋示方書のL荷重は上載荷重より小さいので、設計ではT荷重を用いた。

岸壁コーナー部などの特殊な床版は、FEM解析を用いて発生断面力を求めて設計した。

#### 4. 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、占有海域の縮小が達成された。今後、船舶の輻輳する海域、海上作業期間、占有面積に制約が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。

## Application of jacket structure to repair of damaged pier

Ken Oikawa, 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 of the jacket structure.