

[復旧・補修技術]

# 阪神・淡路大震災における被災港湾施設の 復旧・補強技術

—神戸港を中心とした港湾施設の復旧事例—

佐村 維 要  
(本社 土木技術本部設計第4部)

垣見 年 和  
(本社 土木技術本部設計第4部)

森山 信  
(本社 土木技術本部設計第4部)

上村 誠  
(本社 土木技術本部設計第4部)

## 1. はじめに

阪神・淡路大震災において神戸港の港湾施設は壊滅的打撃を受けたが、神戸港の岸壁・護岸の約9割がケーソン等を用いた重力式構造であった。このため被災の状況にも以下のような著しい特徴があった。

1) 外力(地震力)が極めて大きく、神戸港の海岸線のほとんど全域に渡って被災した。

2) 岸壁法線直角方向の加速度は南北方向で500gal以上となり、港湾地域においては東西方向と比較して南北方向の地震動が卓越する傾向があり、被災の状況も南北方向が大きかった。

3) 神戸港の岸壁・護岸のほとんどがケーソン等を用いた重力式構造であり、被災のパターンがほとんど同一である。すなわちFig.1に示すように、地震時土圧および貫性力によるケーソンの前面への滑動、基礎地盤の支持力不足による沈下およびこれらに伴い背面地盤が沈下した。また、護岸の滑動量、背面の沈下量とも1~3m(最大6m以上)と極めて大きい。

4) ポートアイランドの周辺部分と六甲アイランドの一部では、土質性状・地下水位・地盤高等の諸条件から、従来液状化しにくいといわれていた地盤(まさ土、レキ等)が液状化し、その範囲では0.5m前後の地盤沈下が生じた。

## 2. 神戸港港湾施設の復旧方針および復旧技術

### 2.1 神戸港港湾施設の復旧方針

神戸港は今回の地震で甚大な被害を受けたが、我国経済活動における神戸港の重要性に鑑み、以下の方針で神戸港の本格復旧が行われることとなった<sup>1)</sup>。

(1) 港湾機能の早期回復 港湾機能を早期に回復させるため、荷物・旅客等の目的別・地区別に、応急復旧により早期の暫定供用と、本格復旧の併用により段階的に供用を開始する。

(2) 港湾施設の耐震性の強化 計画水深7.5m以上の重要施設の耐震性の強化、耐震強化岸壁の分散設置、構造様式の多様化等について考慮する。

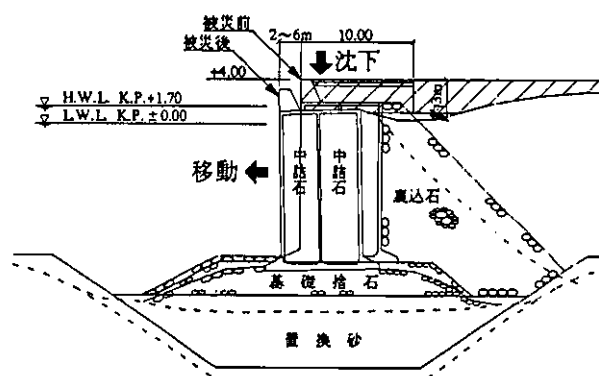


Fig.1 重力式岸壁の被災パターン  
Damaged Quaywalls of Gravity Type

(3) 国際ハブ機能を持つ拠点港湾として復興 特に水深15m級の大水深コンテナバースの整備、テクノスーパーライナーの対応および陳腐化した在来埠頭の再整備を並行して行い、より充実した国際拠点港としての復興を目指す。

(4) 市街地復興との連携

### 2.2 神戸港港湾施設の復旧技術の概要

神戸港復旧に当たって最適と考えられる工法を採用する上では、神戸港港湾施設の特徴および今回の被災の状況から以下の条件によることとなった。

1) 原則として原形復旧とし、必要に応じて設計震度の見直しをする。

2) 法線の前出し量は操船性を考慮して最小限にとどめる。

3) 再利用可能な施設は最大限利用するとともに早期施工可能な工法を検討する。

以上の条件と、神戸港港湾施設の地震被害が前述のように変形量、沈下量とも極めて大きいという特徴があったため、上部工の嵩上げ等による簡易な補修方法が適用できる範囲は極めて少なかった。護岸・岸壁の復旧方法はその構造および被災状況に応じて以下に示す方法が考えられた<sup>2)</sup>。

a) 被災した施設の被災後の法線を変えず、主として施設前面を補強し、護岸（岸壁）全体の安定性を増すため前面を地盤改良または、背後の土圧軽減を行う。（ポートアイランドⅡ期西・南護岸，東部第4工区外周護岸他）

b) 被災した施設前面にケーソン，鋼管矢板および棧橋等を新設する。施設前面の水域制限が少ない場合に適用される。（六甲アイランドRC4バース，東灘処理場護岸，摩耶埠頭南側バース他）

c) 被災した施設を撤去し，新たに建設する。護岸本体がケーソンの場合は状況に応じて据え直しをする。前面の水域制限が厳しい場合に適用される。（神戸商船大学繋船池周辺岸壁他）

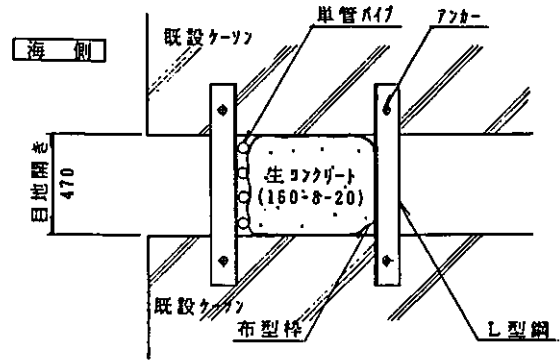


Fig. 2 目地復旧工実施例  
Restoration Work of Joint

2.3 応急復旧にかかわる補強技術

2.3.1 目地復旧工 ケーソン等による重力式護岸は，被災により各ブロック間の目地が開いており，これらの部分からの波浪および高潮の影響により土砂の流出等が懸念された。被災年度の台風襲来前の応急措置としてFig. 2に示す方法が実施されている。

目地開きの程度に応じて，上部工および下部工とも使用材料の使い分けを行っている。

2.3.2 応急止水処理工 震災により生じた，ドック側壁（重力式ケーソン）目地部よりの異常出水を止める目的で応急止水処理工が実施された<sup>3)</sup>。

この工法は“ランエース”と呼ぶ超吸水性の繊維を用いた注入工法であり，アクリル繊維を特殊処理して吸水性を高めたもので，吸水すると最大で150倍にも膨張する。

従来の薬液注入剤に混合すれば膨張が10倍程度に抑えられ，潤滑剤のような“ぬめり”が見れる。その結果1mm程度のすき間でも注入でき，繊維が地盤の土粒子にからみつくので膨張効果と相まって流水のある地盤でも止水可能である。今回の工事ではセメント系の瞬結型薬液にランエースを混ぜて使用したが，出水が激しく押し戻されるなど，当初は思うように注入できなかった。そこでFig. 3に示すように出水箇所を鉄板で覆い，その上にインゴットやH型鋼などの重しを載せた。さらにドック内に水を満たし，注入を実施した結果，所定の止水効果を得ることができた。

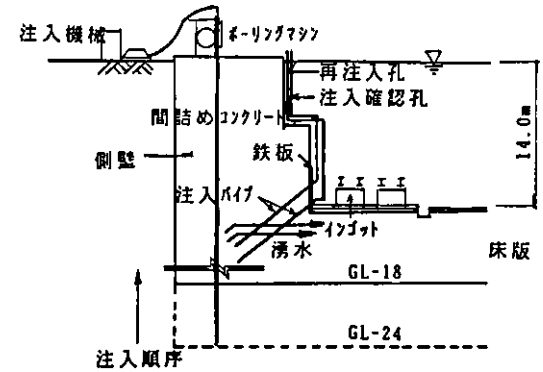


Fig. 3 ランエース実施例  
Grouting Method with Runace

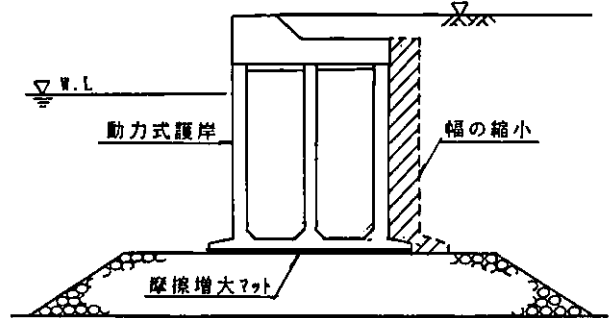


Fig. 4 摩擦増大マット使用例  
Friction Increasing Mat

2.4 本格復旧にかかわる補強技術

2.4.1 摩擦増大マット設置による護岸安定化技術 重力式護岸の安定を確保するためには，堤体幅を一定量以上確保する必要がある。これは，1) 転倒に対する安定性を確保する，2) 地盤反力を均一化する，3) 全体の重量を増し，滑動抵抗を得ることを目的とする。通常，3) の理由で一定値以上の幅を確保する必要がある。ここで摩擦増大マットを設置し，摩擦力を増すことにより滑動抵抗を増加し，堤体幅を減少することができる。Fig. 4による例では，捨石とケーソン底面の静止摩擦係数 $\mu = 0.6$ を $\mu = 0.70$ まで改善することが可能である。

2.4.2 事前混合処理工法による護岸安定化技術 重力式護岸に限らず，堤体背面から作用する土圧軽減と，背面

地盤の液状化防止の目的で，今後利用が有力視されている方法がFig. 5に示す事前混合処理工法である。

この工法は，土に少量のセメントと分離防止剤を事前に添加・混合し，新材料（処理土）に改良した後，運搬・投入して，そのまま安定した地盤を造成するもので，この工法によって埋立てられた地盤は，液状化防止，支持力増大，洗堀防止に効果がある。特徴は以下に示す通りである。

- 1) 埋立造成後の地盤改良が不要になるため，工期の短縮が図れる。
- 2) 大水深海域で大規模急速施工が可能である。
- 3) 地盤の強度を任意に設定できる。

- 4) 液状化対策に優れた効果を発揮する。
- 5) 土圧低減効果により、土圧を受ける矢板および重力式岸壁のスリム化が図れ、経済性が高まる。
- 6) 浚渫土をはじめとして、各種の土が良好な埋立材料として利用できる。

2.4.3 高炉水砕スラグの利用による護岸背面地盤の安定化技術 ケーソン岸壁の背後土圧を軽減する工法の1つに、軽量材である高炉水砕スラグを使った置換工法がある。Fig. 6に示す材料は単位体積重量 $\gamma = 1.3\text{tf/m}^3$ 、同水中 $\gamma' = 0.7\text{tf/m}^3$ と軽く、強度持性も砂質土同様安定した性質を示す。また、体積変化も少なく、水中でも長期的な安定を示す。

2.4.4 PCパネルを利用した水中型枠工法 護岸復旧工事における補強工の水中型枠に以下の理由より、工場製作(特注製品)によるPCパネルが採用されている。

- 1) 震災により不安定な状態にある護岸前面を早急に水中コンクリートで補強する必要がある。
- 2) 船舶の出入りする企業の岸壁を早期復旧、供用し、操業可能な状態にする必要がある。
- 3) 施工数量が多く、クリティカルパスとなっている為、この工法を採用することにより、全体工期を短縮することができる。
- 4) 通常の鋼製型枠による工法に比べ、アンカーセパレーターの必要本数を減少できるため、潜水作業時の安全性が高い。
- 5) 現場の立地条件により、仮設ヤードが確保できないため、プレキャスト製品利用にメリットがある。
- 6) この型枠は完成時補強コンクリートの一部となり、撤去不要であり、出来上がり品質が確保できる。

PCパネルを利用した水中型枠の実施例をFig. 7に示す。

2.4.5 捨石部への鋼管矢板打設工法 被災時に変状して安定度が低下した重力式護岸の前面に自立式鋼管矢板護岸を新設する際など、捨石部への鋼管矢板の打設工法として用いられるものに、オールケーシング回転掘削工法がある。これは、捨石等の地中支障物が存在する場合に、Fig. 8のように、オールケーシング回転掘削工法により捨石等を精度良く確実に除去し、土砂に置き換えて鋼管矢板を打設するものである。

### 3. 港湾施設の復旧事例

#### 3.1 主な港湾施設の復旧事例の概要

今回の震災発生当初より、当社も港湾施設の調査復旧活動に深く関わって来た。Fig. 9およびTable 1にそれら港湾施設の復旧事例を示す。

#### 3.2 復旧事例

以下に当社が施工に関わった主な復旧事例について紹介する。

3.2.1 ポートアイランド(第II期)西・南護岸 本施設の構造はケーソンを用いた重力式護岸である。被災状況は、ケーソン式護岸が海側に最大6m変位し、3m沈下

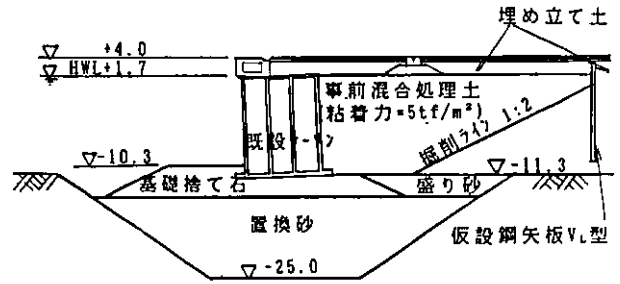


Fig. 5 事前混合処理工  
Dry Premix Method

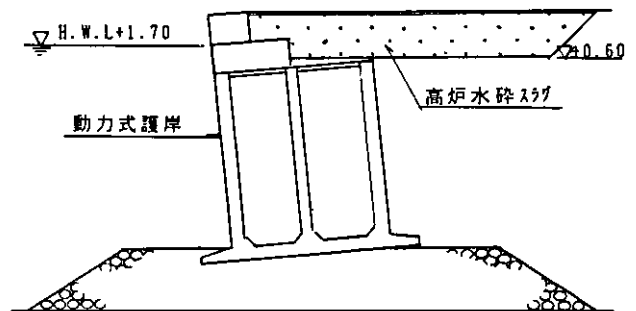


Fig. 6 高炉水砕スラグ利用例  
Restroration Work by Granulated Slag

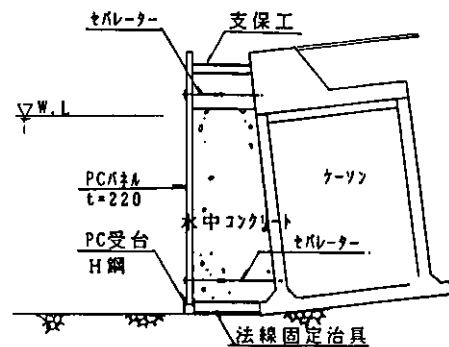


Fig. 7 PCパネルによる水中型枠  
Underwater Shuttering by PC Panel

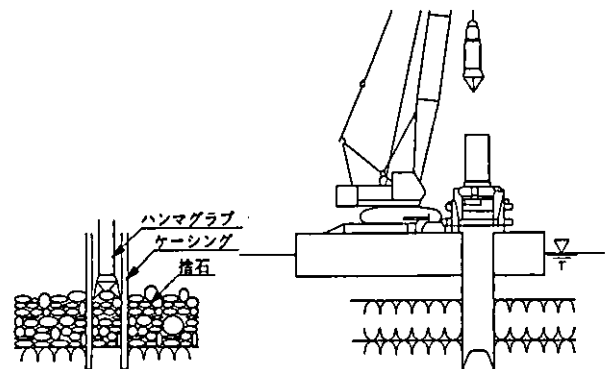


Fig. 8 捨石部への鋼管矢板打設工法  
Steel Pipe Pile Driving Method to Rubble Base

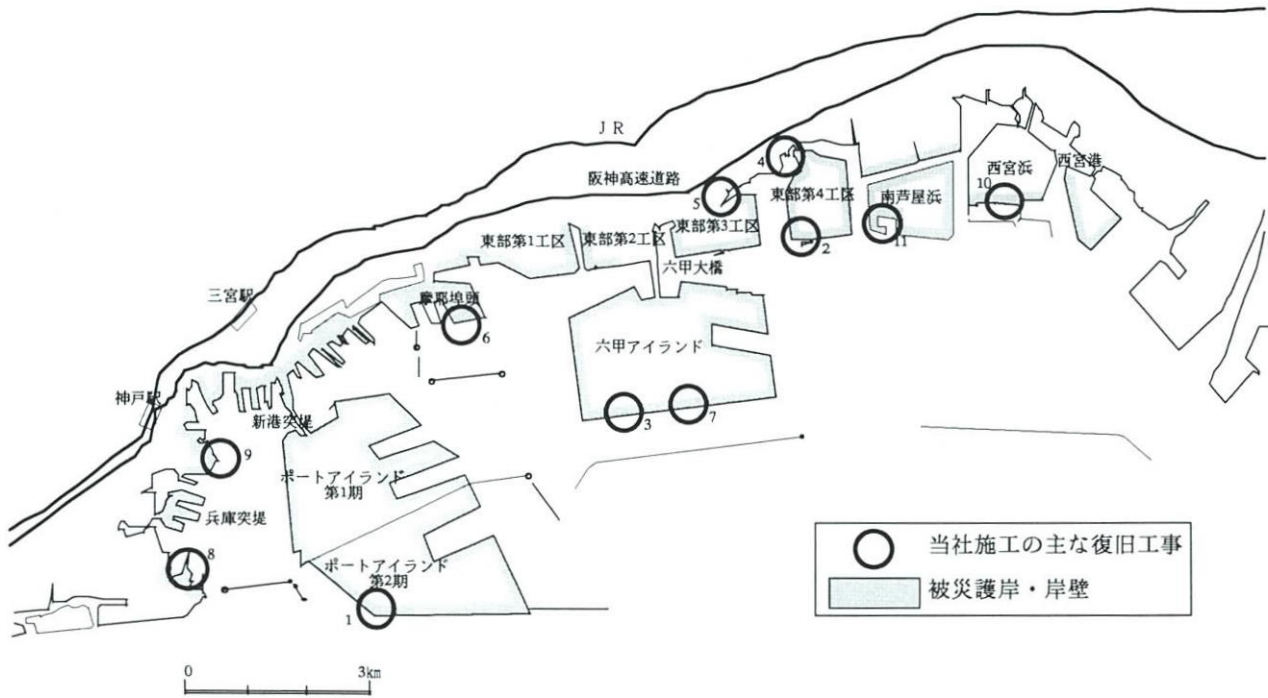


Fig. 9 当社が携わった主な港湾施設の復旧事例  
Location of Restoration Works

Table 1 当社による主な港湾施設の復旧事例  
List of Restoration Works by O.C.

①	ポートアイランド西・南護岸
②	東部4工区外周護岸
③	六甲アイランドC4バース
④	神戸商船大学繋船池周辺岸壁
⑤	東灘処理場護岸
⑥	摩耶岸壁 (-12m) (ケーソン製作)
⑦	六甲マリンパーク護岸
⑧	三菱重工業 神戸造船所護岸
⑨	川崎重工業神戸工場 製缶浜岸壁
⑩	新西宮ヨットハーバー浮桟橋
⑪	南芦屋浜埋立



Photo 1 被災状況 (P.I. II 西・南護岸)  
Damage to Revetment (No. 1)

した。護岸背面はケーソンの前面移動に伴い2~3m 陥没しており、ケーソン間の目地が最大1m 程度開いている (Photo 1 参照)。

最も被災程度の大きい西・南護岸コーナー部の復旧方法、状況について Fig.10, Photo 2 に示す。当護岸は外海に面しており、施工中・完成後の波浪対策が必要であるが、航路等の水域制限は少ない。したがって、被災時の法線を変えず、護岸本体の安定性を回復し、かつ耐波性能を強化するため、護岸前面に根固めマウンドおよび根固め消波ブロックを設置し、あわせて耐震性能が向上された。根固めマウンドの天端高は、設計波高来襲時に護岸本体への波圧が最小である KP+3.5m とされた。なお、護岸上部工は一部撤去、KP+10.0m (被災前天端高) まで復旧し、背面は碎石等で埋戻された。

3.2.2 東部第4工区外周護岸 東部第4工区は昭和40



Photo 2 復旧状況 (P.I. II 西・南護岸)  
Restoration Work (No. 1)

※カッコ内のNo.はTable 1の番号示す。

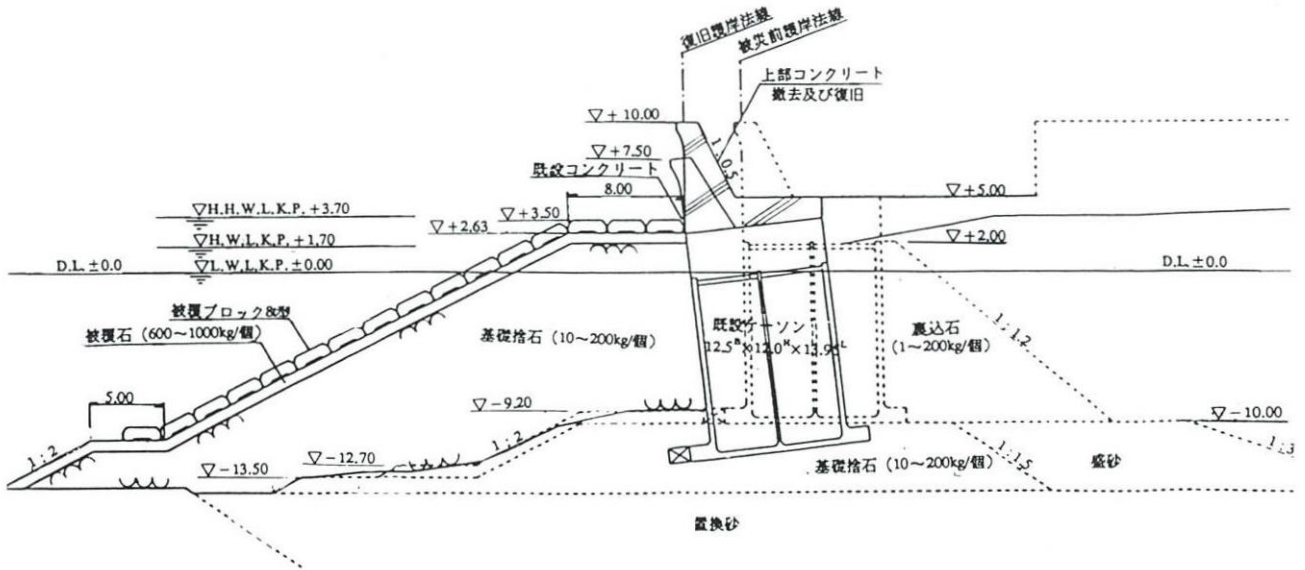


Fig. 10 ポートアイランド（第Ⅱ期）西・南護岸復旧図  
Typical Section of Restoration Work (No. 1)

年代に埋立てられた人工島であり、工場、流通機能施設等が立地しており、外周護岸の構造はケーソンまたはL型ブロックを用いた重力式構造である。

被災状況としては、延長約4,800mの外周護岸が、法線が最大6.2m変位、天端沈下2.1mおよび12°程度の傾斜が生じており、護岸背後に段差・沈下が生じている。

本施設の復旧においては、護岸背面に民間企業が立地・営業中であること、本護岸の大半の部分が岸壁を兼ねていることなどから、護岸前面の水深を確保し、かつ急速施工が可能な工法が必要であった。このためケーソン前面を現場打水中コンクリートにより補強し、護岸天端はコンクリートを打増し、嵩上げし、あわせて高潮対策に必要な天端高に復旧された。護岸沈下および補強コンクリート等の重量増加に伴う護岸の安定性については、護岸前面をサンドコンパクションパイルまたは深層混合処理工法により地盤改良を行うことによって回復された。

Fig. 11に復旧計画図、Photo 3に被災状況、Photo 4に復旧状況を示す。

3.2.3 六甲アイランドC4バース<sup>2)</sup> 本施設は我国最新のコンテナバースであり水深は14mである。構造はケーソンを用いた重力式岸壁である。

被災状況は、法線が前面に3~4m程度変位し、天端の沈下は2m程度、ケーソンの傾斜は5°程度である。岸壁背面は2~3m程度の陥没を生じた。

本施設の前面水域は比較的余裕があり、なるべく早期にコンテナバースを再利用する必要があったため、比較的工期の短い、デタッチドケーソン（ケーソンを前面に設置し、新旧ケーソン間を桁にて連結する）構造が採用された。既設ケーソンの耐震性を高めるためと同時に新設ケーソンの地震時土圧を低減するために新旧ケーソン間に間詰め石を設置するとともに、既設ケーソン背後に水



Photo 3 被災状況（東部第4工区）  
Damage to Quaywall (No. 2)



Photo 4 復旧状況（東部第4工区）  
Restoration Work (No. 2)

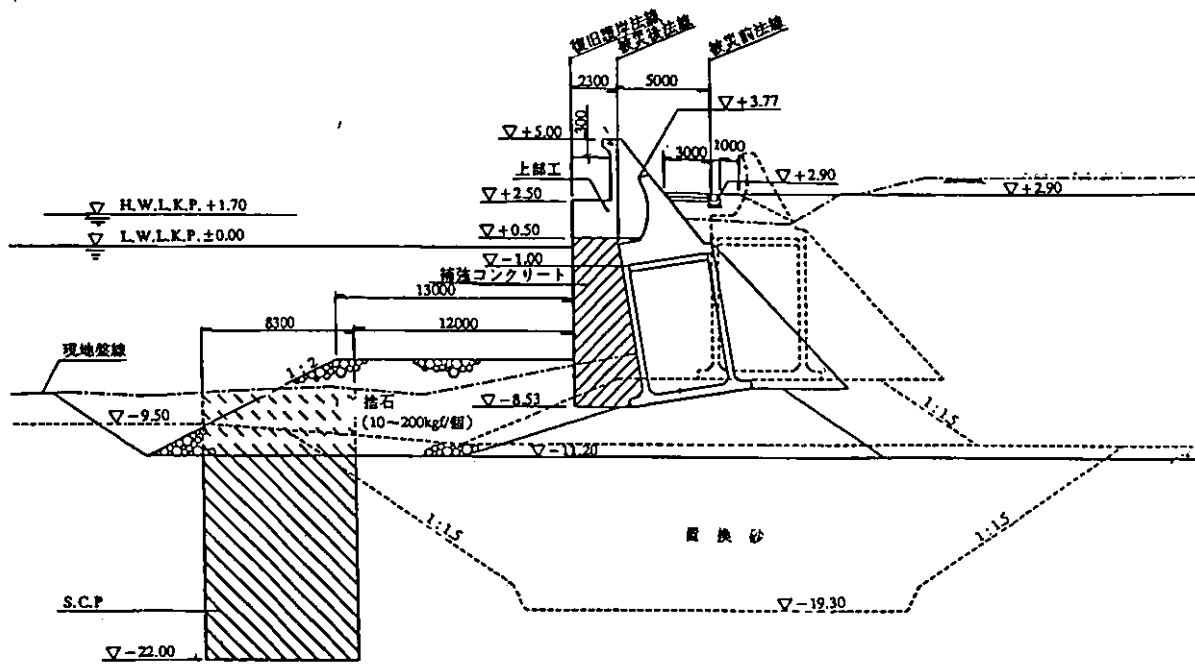


Fig. 11 東部第4工区外周護岸復旧図  
Typical Section of Restoration Work (No. 2)

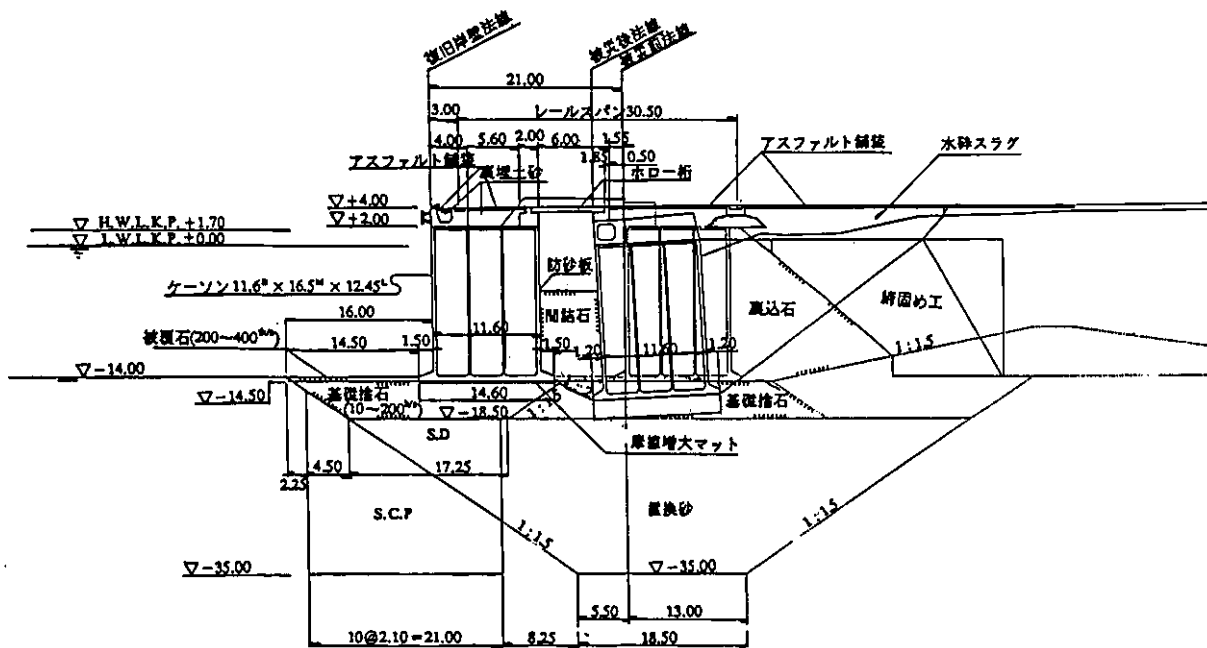


Fig. 12 六甲アイランドC4バース復旧図  
Typical Section of Restoration Work (No. 3)

砕スラグが使用された。また、この既設ケーソン背後には液状化対策工を行っている。

復旧計画図を Fig. 12 に、被災状況を Photo 5 に示す。

3.2.4 神戸商船大学繋船池周辺岸壁 本施設は同大学

の練習船等の係留に利用される専用港岸壁および周辺護岸であり、構造はL型ブロックによる重力式岸壁(または護岸)である。

被災状況は、法線が前面に3~4m程度変位し、天端沈



Photo 5 被災状況 (R.I.C4 パース)  
Damage to Quaywall (No. 3)  
(財団法人神戸港埠頭公社写真提供)

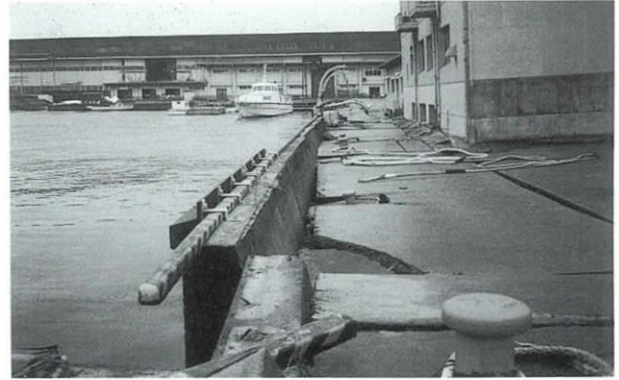


Photo 6 ケーソン被災状況 (神戸商船大学)  
Damage to Quaywall (No. 4)

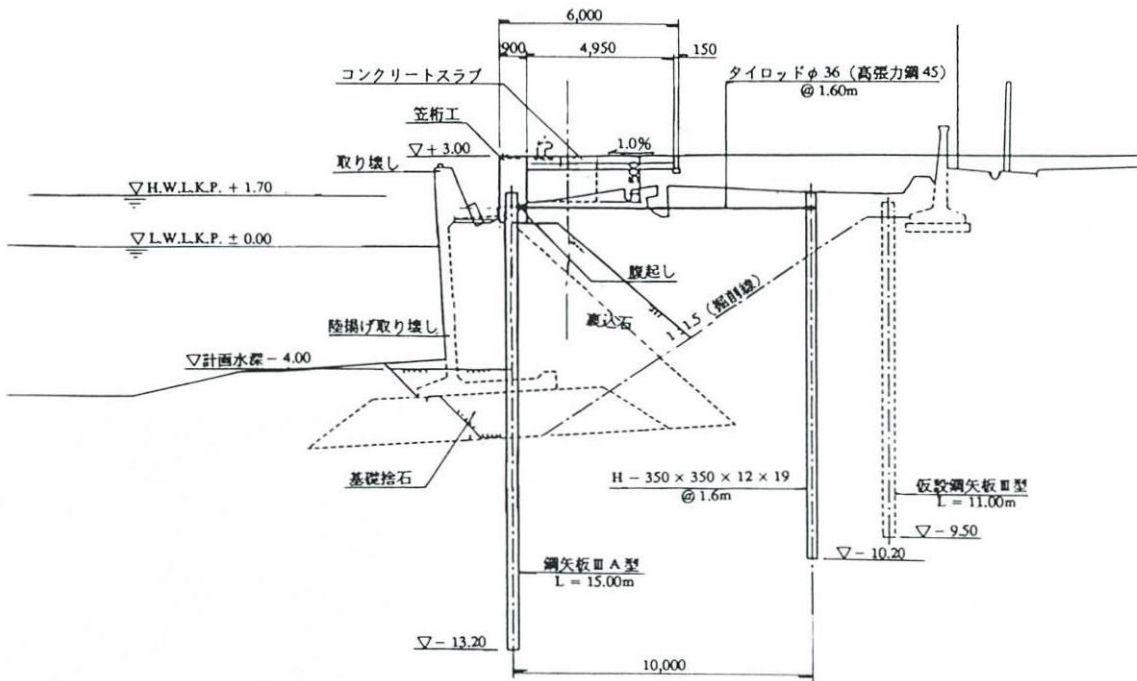


Fig. 13 神戸商船大学繋船池周辺岸壁復旧図  
Typical Section of Restoration Work (No. 4)

下量は0.5~1.0m程度、ブロックの傾斜5°程度(一部30°以上)であり、護岸背面は1.5~2m程度陥没した。

本施設は、前面水域を被災前と同様確保する必要があること、水深が比較的浅く被災した旧岸壁の撤去が容易であること等から、旧岸壁を掘削・撤去し、新たに鋼矢板式(控え杭式)岸壁を新設することとされた。

復旧計画図を Fig.13 に、被災状況を Photo 6、復旧状況を Photo 7 に示す。

3.2.5 東灘処理場護岸<sup>4)</sup> 当施設は昭和30年代後半に埋立が行われた東部第3工区北側にある下水処理場の護岸である。護岸構造はケーソンによる重力式構造である。

復旧状況は、法線が前面に2~3m程度変位、天端の沈下量1m程度、護岸背面は3~4m程度陥没した。

復旧方法は、用地上の制約と耐震機能を向上するため



Photo 7 復旧状況 (神戸商船大学)  
Restoration Work (No. 4)

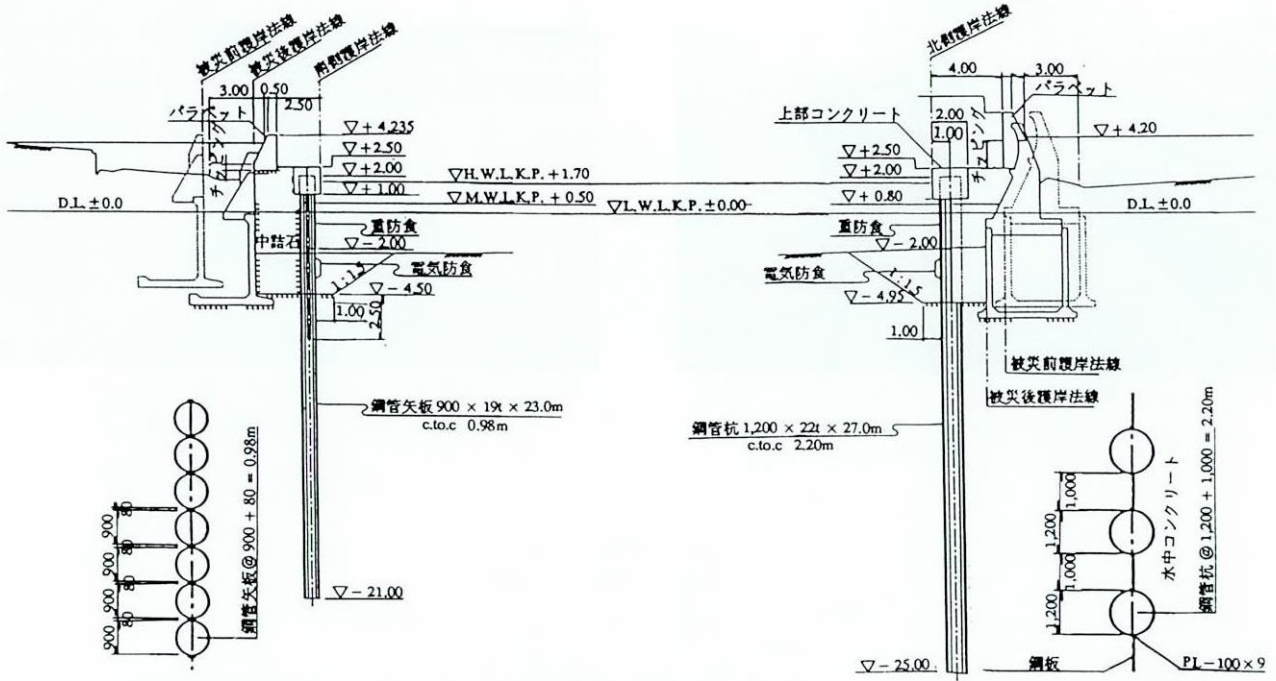


Fig. 14 東灘処理場護岸復旧図  
Typical Section of Restoration Work (No. 5)

に、被災旧護岸の前面に自立式鋼管矢板護岸を新設することとし、新旧護岸間は水中コンクリートを打設することとされた。Fig.14に復旧計画図を、Photo 8に被災状況を示す。

#### 4. あとがき

震災後1年以上が経過し、神戸の街の復旧とともに神戸港も世界の代表的な港としてのにぎわいを取り戻しつつあり、港湾施設の復旧も急ピッチで進んでいる。

また各方面より神戸港復旧・復興に対する提言も多数提出されている。

本報告書を作成するに当たっては、運輸省、神戸市をはじめとして多数の関係者の方に資料等をご提供いただいたり、その他大変お世話になりました。ここに謝意を表するとともに、本報告書が神戸港復興の一助になれば幸いです。

#### 参考文献

1) 和田：神戸港復興の基本的考え方，土木施工 Vol.36 No.9，p.33～36，(1995)，他

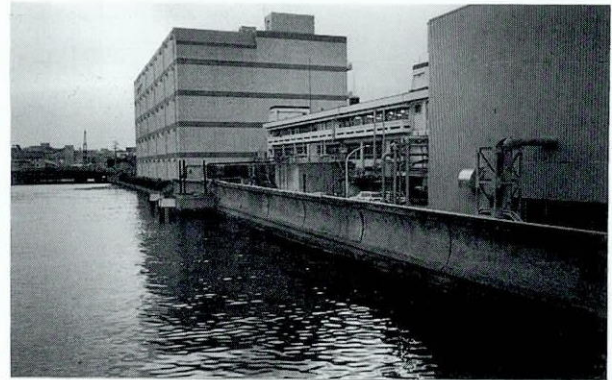


Photo 8 被災状況（東灘処理場護岸）  
Damage to Revetment (No. 5)

2) 運輸省港湾局他：神戸港における被災した港湾施設の復興・復旧について，(社)沿岸開発センター，地震に関する港湾技術セミナーテキスト，p.105～138，(1995)，他  
3) 日経BP社：日経コンストラクション11-10，p.35～37，(1995)  
4) 竹中：東灘処理場復旧計画，土木施工 Vol.37 No.2，p.71～76，(1996)