

震災フォローアップ

港湾施設耐震構造検討委員会の検討結果について

金子 俊六¹⁾ 矢島 道夫²⁾ 中野 俊彦³⁾

はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、兵庫県、大阪府、徳島県の24港において大きな被害が生じ、特に神戸港は多数の施設が被災した。この被害の甚大さに鑑み、運輸省では震災後直ちに「港湾施設耐震構造検討委員会」を設置し、阪神・淡路大震災における港湾施設の被害メカニズムの解析や今後の耐震基準のあり方等について検討を行ってきた。平成7年8月の中間報告の後、これまでに被災分析結果等を取りまとめたところである。ここでは当委員会の検討結果を紹介する。

委員会の経緯

委員会の構成は表-1に示すとおりであり、平

表-1 港湾施設耐震構造検討委員会の構成

委員長	野田 節男	運輸省	港湾技術研究所	所長
委員	家村 浩和	京都大学	教授	
委員	松井 保	大阪大学	教授	
委員	安田 進	東京電機大学	教授	
委員	渡辺 啓行	埼玉大学	教授	
委員	片岡 真二	運輸省	港湾技術研究所	企画部長
委員	小林 正樹	運輸省	港湾技術研究所	土質部長
委員	稲富 隆昌	運輸省	港湾技術研究所	構造部長
委員	岡山 義邦	運輸省	港湾技術研究所	機械技術部長
委員	金澤 寛	運輸省	第二港湾建設局	横浜調査設計事務所長
委員	南 兼一郎	運輸省	第三港湾建設局	神戸調査設計事務所長

- 1) 正会員 運輸省第四港湾建設局長（前運輸省港湾局技術課長）
- 2) 正会員 宮城県土木部港湾空港局長（前運輸省港湾局技術課技術指導官）
- 3) 正会員 運輸省港湾局技術課補佐官

成7年1月の設置以来、現地調査も含め合計8回にわたる検討をすすめ、平成8年3月に、被災原因など緊急に検討すべき課題についてとりまとめを行った。

検討結果の概要

(1) 検討過程

1) 被害状況とその原因の解明

神戸港の岸壁の約9割を占める重力式のケーソン式岸壁は、滑動、前傾、沈下等の変状が生じており、この被災原因の解明のため、次のような各種調査検討を行った。

地震動の規模等の特徴については、神戸港をはじめ各港湾に設置した強震計から得られた記録等を基に既往地震との比較を行うなどの分析を行った。また、岸壁等の被災状況把握のため変状等の現地調査をふまえ被災傾向を整理した。液状化現象については、岸壁付近のボーリングにより土試料を採取し、繰返し振動三軸試験を実施、現行の液状化予測判定法により検討を行った。

これら調査とともに模型振動実験や動的解析等を行い、被災原因を考察した。

2) 耐震基準のあり方の検討

これら被災事例等の解析をふまえ、当面の耐震性向上の方策をとりまとめた。

(2) 被災原因の解析

1) 地震動

神戸港で得られた強震記録（運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所構内）によると、神戸港で記録された地震波は、周期1秒程度の波が2～3波続くもので、地震断層とほぼ直交する南北方向の地震動が東西方向の地震動に比べて卓越していた（図-1）。これは、岸壁の法線方向により移動

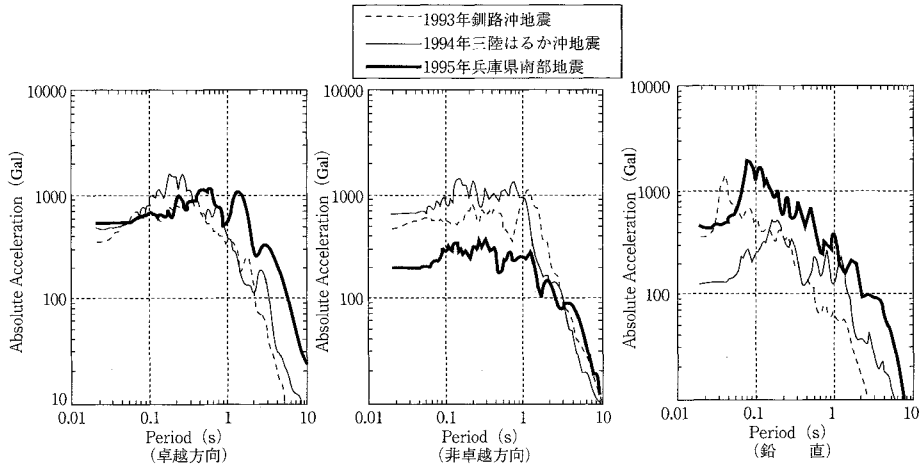


図-1 地震の特性比較 (周期特性)

量が相違していることと対応している (図-2)。また、今回の地震動は強い水平動だけでなく、強い上下動があったことも大きな特徴であった。

この観測記録を釧路 (1993年釧路沖地震の際に釧路港で得られた記録) 及び八戸 (1994年三陸はるか沖地震の際に八戸港において得られた記録) と比較すると、水平方向の最大加速度は、八戸、神戸、釧路の順、また、上下加速度では神戸、釧路、八戸の順となった。速度、変位についても同様な比較を行ったところ、水平、上下動のいかんを問わず、神戸が釧路、八戸の2、3倍に相当する大きな値を示した。兵庫県南部地震における神戸港の被害の程度は、釧路沖地震における、三陸はるか沖地震における八戸港の被害と比較できないほど甚大であった。

これらから単純な推論をおこなえば、被害の程度は、地震動の加速度の大きさのみならず、速度等に依存すると推定されるが、今後これらの点について、種々の視点から研究を推進する必要がある。

2) 岸壁の被災状況の概要

岸壁の被災は、施設の設計震度、構造型式および法線の方位により被害の程度に差が見られる。

設計震度の小さな施設は大半のものが被害を受けているが、神戸港の中で最大の設計震度をもつ耐震強化岸壁 (摩耶埠頭地区3バース) は、ほと

んど被害がない。構造型式については、ケーソン式、ブロック式など重力式構造物と比べると、栈橋式等の被害程度は小さい。ケーソン式、ブロック式の岸壁は本体 (ケーソン、ブロック) が最大5m程度、平均3m程度海側へ水平移動し、前傾、沈下した。また、その変位に応じて直背後の地盤は最大3m陥没した。同様の構造型式でも東西方向にならぶ施設は南北方向のそれと比較して被害が大きい。

3) 液状化

今回の地震動により、地盤面の沈下が生じたものの、甚大な液状化被害が発生した新潟地震、日本海中部地震での被災状況とは、大きく異なる被害形態であった。このため、まさ土の液状化特性を検討した。

ポートアイランド、六甲アイランドの岸壁直背後の埋立地盤、岸壁の置換土層において、大口径凍結サンプリング2本を含む9本のボーリングを行い、凍結試料を用いて繰返し三軸試験等を行った。また、現行の基準による液状化の判定や模型振動実験、動的解析により埋立地盤、置き換え土層の過剰間隙水圧比やせん断変形の状態を詳細に調べた。これらの検討の結果、地震時のまさ土地盤の挙動に関する考察は以下のとおりまとめられる。

地震前に行われていたまさ土の粒径加積曲線を

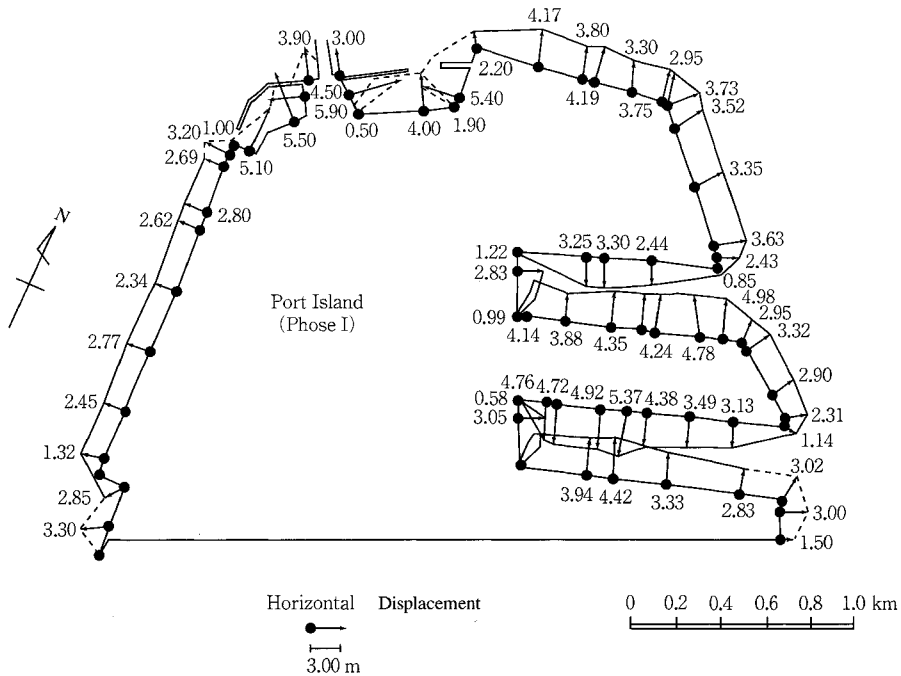


図-2 ポートアイランドの岸壁および護岸の法線変位量（水平変位量）

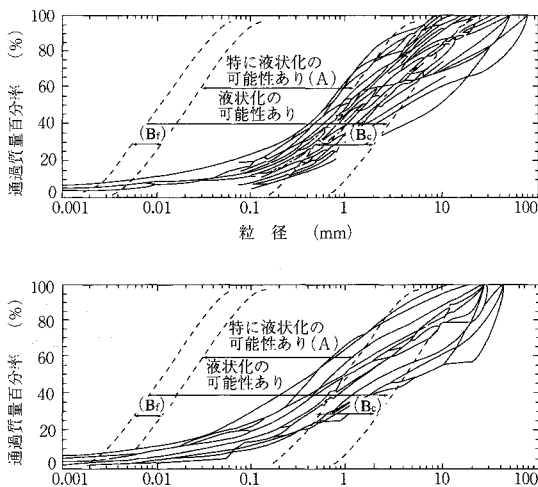


図-3 粒径積和曲線（地震前）

図-3に示す。ただし、図-3には、標準貫入試験で得られた試料と自然の状態の試料の結果が混在している。

これらを一括してみると、均等係数の大きな、粒度の良い土であるといえる。

図-3には、液状化の可能性のある粒度範囲もあ

わせて破線で示しているが、破線をまたがった分布となっており、「特に液状化の可能性あり (A)」の範囲に属するものか「液状化の可能性あり」の範囲に属するものか判断が困難である。

今回の地震では、水平方向に500 Gal以上の大加速度の地震動を受け、ポートアイランドI期をはじめとする埋立地盤においては、液状化の発生にともなう噴砂が多々みられた。ただし、ケーソン背後20～30 mの範囲の地盤では、液状化の痕跡はほとんどなかった。これは、ケーソンの移動によって過剰間隙水圧の上昇が抑制された結果と推定される。

置換土層にも、同様の大加速度が加わったが、重量のあるケーソンから加わる初期せん断応力の影響により、置換土層では、過剰間隙水圧比が100%に達するという意味での液状化には至らなかった。

現行の液状化判定法（粒度とN値に基づく方法、および繰返し三軸試験の結果に基づく方法）によると、今回の地震の大加速度では埋立地盤、置換土層のいずれも「液状化」と判定された。こ

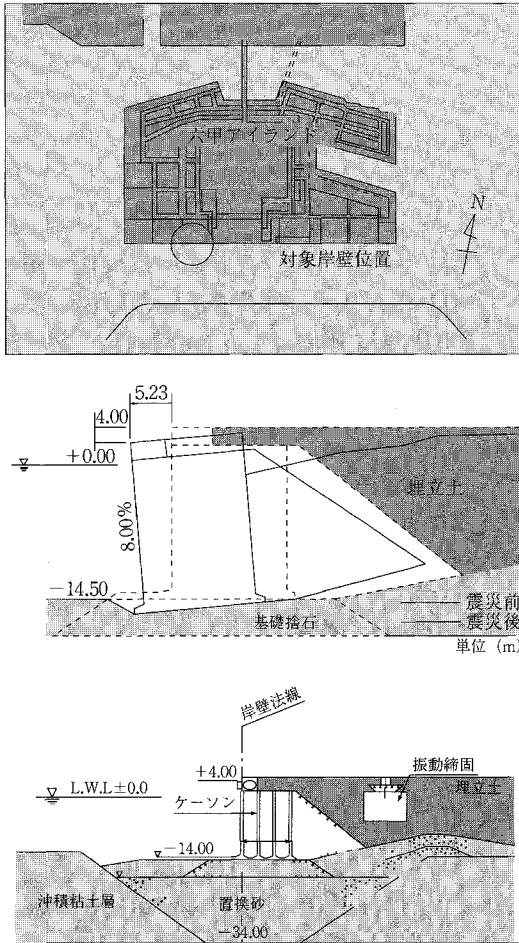


図-4 解析対象岸壁の位置、被災状況および構造断面
(六甲アイランド、南側のコンテナ埠頭 (-14m) 護岸)

の結果は、埋立地盤の液状化現象とは整合する結果であるが、置換土層の状態とは矛盾する結果となったが、これは、初期せん断応力の存在の有無による相違と考えられる。現行の液状化判定法は、過剰間隙水圧比の予測という点では簡易法もしくは全応力法としての限界があるが、実務上は合理的な対策がとれるような、設計上の有用な道具としての機能を有していると考えられる。

また、現行の液状化判定法は、既往地震での液状化発生の実実に基づいて提案されている。今回の強大な地震動は、埋立地の被災状況から現行判定法の適用範囲を越えていたものといえる。今後、液状化判定手法の精度向上の検討が必要である。

4) 重力式岸壁の被災メカニズム

現地調査、模型振動実験、動的解析結果から、神戸港のケーソン式岸壁の被災原因及び被災の特徴は、以下のとおりにまとめられる。

①重力式岸壁の被災原因

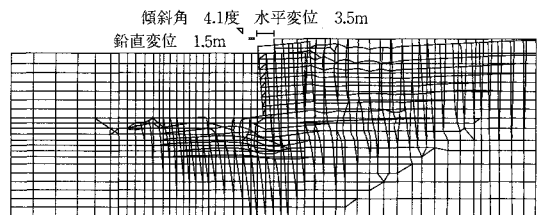
ケーソン式岸壁は、海側へ最大5m程度、平均3m程度水平移動し、沈下および海側への傾斜をみた(図-4)が、これは設計で想定した以上の地震時慣性力と土圧が作用したことに加え、ケーソン背後の埋め立て地盤およびケーソン直下の置換土層の過剰間隙水圧が上昇し、これらのせん断抵抗が低下したことによって生じたと推定される。

埋立地盤、置換土層におけるせん断抵抗の低下の影響は、これらの地盤、土層全体に著しい変形をもたらす形で現れ、ケーソン式岸壁の変形を、地震動のみの影響による変形の2倍程度に大きくしたと推定される。

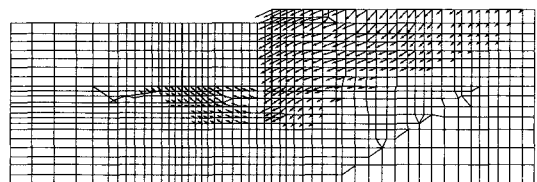
②重力式岸壁の被災の特徴

想定地震動(250 Gal程度)の2~3倍の地震動により、ケーソンは急激に海側に水平移動した。ケーソン本体だけでなくマウンドを含む岸壁全体が移動した可能性がある(図-5)。

水平動の卓越方向(南北)に法線が直交する岸壁の移動量が大きかったことは、ケーソンの水平移動の主要原因が地震動による過大な慣性力と土



(a) 変形メッシュ図



(b) 変形ベクトル図

図-5 地震後の残留変形(ケーソン周辺の詳細図)

圧によったことと一致している。

ケーソンの背後地盤はその移動に追従できず、陥没亀裂が生じた。

今回の地震では、大きな上下動が加わったが、動的解析によれば、基盤への入力地震動の上下動が岸壁に与えた影響は小さい。

(3) 今後の耐震基準のあり方

1) 港湾施設の耐震設計の充実

①設計震度の適正な運用

コンテナターミナル岸壁など、重要な岸壁については、重要度係数の適正な運用を徹底する。なお、人身事故に直結する恐れのある施設や二次災害を引き起こす可能性のある施設の重要度係数については、特に配慮する。

②耐震強化岸壁の十分な耐震性能の確保

今後、耐震強化岸壁については、今回の活断層型のような直下型地震が想定される場合には、これを設計対象地震に加え、十分な耐震性能の確保を図る。

③臨港交通施設の耐震設計

水際の橋梁基礎については、前面の護岸の構造と一体的な技術的検討を行う。

④耐震性向上工法の充実

液状化対策の積極的な実施、港湾施設の構造型式の多様化、既存港湾施設の補強工法の充実を行い、港湾全体としての耐震性の向上を図る。

⑤フェリーの着岸・乗降形式の汎用化

フェリーターミナルの着岸・乗降形式の設備について、災害時に異なる方式でも利用しやすいよう汎用性の確保を図る。

2) 今後の検討課題

①直下型地震も考慮した耐震設計の統合化

②コンテナクレーンの転倒防止技術の開発

③液状化に対する予測手法の精度向上

④既存港湾施設に対する耐震性評価手法、耐震強化工法の開発

⑤地震災害復旧事例集、復旧対策工の設計ハンドブックの作成

おわりに

今後、運輸省では、委員会での検討結果をふまえ、港湾施設の耐震設計法の充実を順次図っていくこととしている。

また、個々の港湾施設の耐震性だけでなく、港湾全体としての地震への対応のあり方についても取り組んでいる。「地震に強い港湾のあり方に関する検討調査委員会」を設置し、平成7年8月には「地震に強い港湾をめざして」と題した報告をまとめている。根幹となる物流機能の全国規模での代替・補完機能の確保、耐震強化岸壁や防災拠点の整備などにより、総合的な防災機能の向上を図ることとしている。