

港湾・空港・河川グループ調査報告

調査メンバー：今本博健（京都大学防災研究所附属宇治川水理実験所教授；河川工学・水理学）
 黒田勝彦（神戸大学工学部建設学科教授；港湾・空港計画）
 後藤芳顕（名古屋工業大学工学部社会開発工学科教授；構造工学）
 樫木 亨（大阪大学工学部土木工学科教授；海岸工学）
 長井正嗣（長岡技術科学大学工学部建設系助教授；橋梁工学）

1. 調査対象区間および施設概況

神戸港：兵庫突堤，高浜フェリーターミナル地区(ハーバーランド)，中突堤(メリケンパーク)，新港突堤，摩耶ふ頭，ポートアイランド，六甲アイランド

港湾幹線道路：摩耶ふ頭－ポートアイランド区間，ポートアイランド－高浜区間

関西国際空港：外周護岸，海上連絡バス，滑走路，外周道路，ターミナルビル

建設省直轄河川：淀川

兵庫県下河川：宇治川，生田川，高羽川，天神川，住吉川，天上川，夙川，東川，津門川，武庫川

大阪府下河川：中島川，左門殿川，神崎川，正連寺川，大川

訪問先：神戸市港湾局，運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所，関西国際空港株式会社，建設省近畿地方建設局，同・六甲砂防工事事務所，兵庫県土木部，神戸市土木局，大阪府土木部，大阪市建設局

2. 被害概況

2.1 港湾ふ頭施設

今回の調査の範囲で把握した被害状況は概略図-1に示したように、かろうじて使える岸壁は5～7バースに過ぎず、日本の外貿貨物の20%以上を取り扱う世界第六位の神戸港の機能が壊滅の状況である。但し、特記すべきことは、摩耶ふ頭第1突堤西側岸壁（通称、耐震バースと呼称）が健全に残っていることである。以下、図-1の個別の地区に含まれる突堤について被害の状況を概説する。

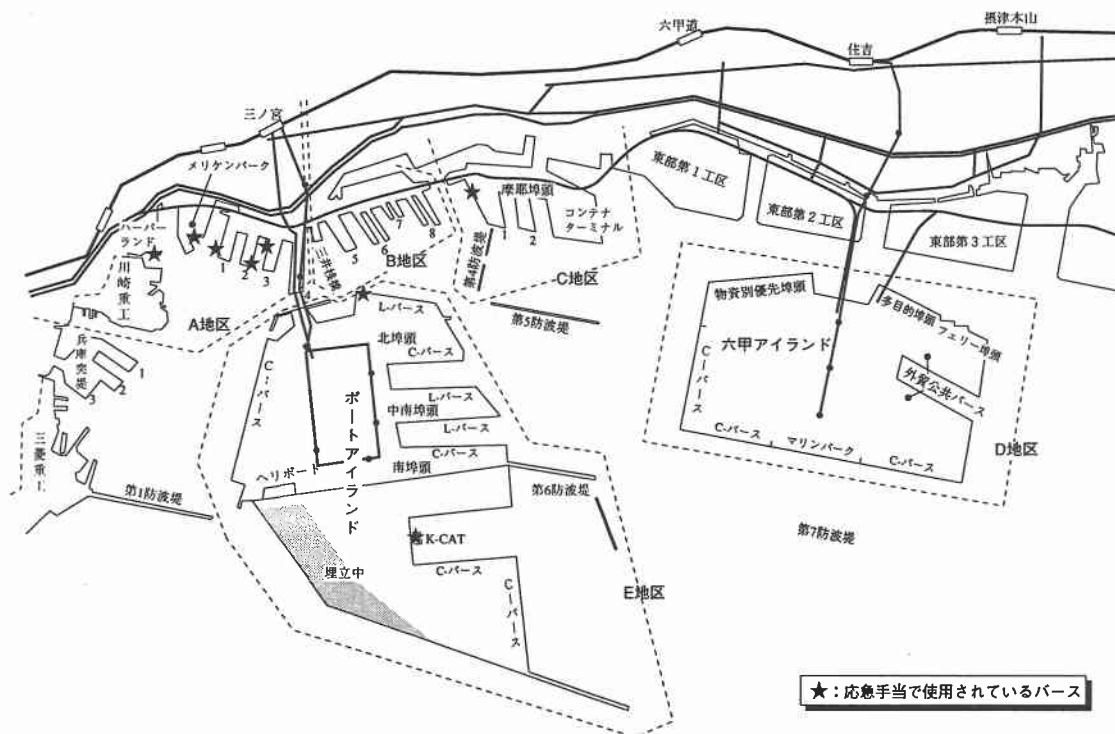


図-1 調査対象区域(1/22～1/24, '95)

2.1.1 A地区（高浜岸壁、中突堤、新港第1～第4突堤）

当地区は神戸港でも古い時代に建設された地区で、高浜フェリー岸壁を利用したハーバーランドおよび中突堤の旅客ターミナルを残したメリケンパークとしてそれぞれウォーターフロント開発が進められている地区である。これら両地区では、高浜フェリー岸壁、中突堤西側岸壁北端部、メリケンパーク波止場南端部、新港第1突堤南西部岸壁、第2突堤東側岸壁、第3突堤西側岸壁が比較的被害が軽微である。その他は岸壁の崩壊もしくは沈下によって形状を留めていない惨状である。ハーバーランドおよびメリケンパーク内は液状化により陥没箇所が多い。ハーバーランド内の建築物（フェリーターミナルビル・モザイク）等も大きな被害を受けている。メリケンパーク内のホテルオークラ・海洋博物館等の建物は調査していないが中突堤で建設中のオリエンタルホテル兼旅客ターミナルは岸壁の崩壊および液状化により被害を受けている。写真1は高浜フェリー岸壁から大阪港天保山岸壁に向けて遊覧船サンタマリア号が臨時旅客輸送船として活躍している状況である。写真2は崩壊した中突堤の一例であるが岸壁の構造形式、海中の様子が現時点で不明であるので崩壊のメカニズムの詳細は判らない。



写真1 臨時旅客輸送船として活躍する
遊覧船サンタマリア



写真2 崩壊した中突堤

第1突堤は西側岸壁および東側岸壁とも被害が軽微でエプロンの液状化による沈下部の応急手当てで緊急物資搬入船（主として海上自衛艦の着岸）の岸壁として使用している。第2突堤は西側岸壁の被害が大きくエプロン上のトラック貨物等が撤去出来ず緊急用に使用出来ない。第2突堤東側岸壁および第3突堤の東西両岸壁とも比較的被害が少なく、液状化で沈下したエプロンに緊急に土砂を投入する応急手当てによって第2突堤東側岸壁は海上保安庁の巡視艇岸壁として、また、第3突堤西側岸壁はその他の小型船の着岸用に使用されている。東側岸壁ではひび割れたエプロンにコンテナ、トラック等が陥没したまま残されており現在使用されていない。第4突堤は浜手バイパスおよびポートライナーが神戸大橋を通じてポートアイランドに通じる橋脚が建設されている突堤であるが東西両岸壁の被害が大きくコンテナが数十個海中に散乱している様子であり、エプロンの液状化による沈下・陥没も激しく、トラック、コンテナが散乱し使用出来ない状況である。A地区の岸壁被害状況を図-2に示す。

2.1.2 B地区（新港第5～第8突堤）

三井棧橋は立ち入ることが出来なかったので被害状況は把握出来なかったがふ頭上の三井倉庫の被害は大きい。新港第5突堤は西側岸壁の基部が少し張り出しているものの東西両岸壁の被害は軽微である。突堤上のサイロには亀裂が入り三井倉庫・川西倉庫は液状化によって少し沈下している。第5突堤基部の三菱倉庫は被害が大きい。第6突堤は西突堤と東突堤に分かれているが阪神高速神戸線生田インターとポートアイランドを結ぶ路線が東西両突堤の間に現在建設中であり、東突堤東岸壁と西突堤西岸壁が使用されていた。東突堤東岸壁の被害は軽微であるが西突堤西岸壁は孕み出

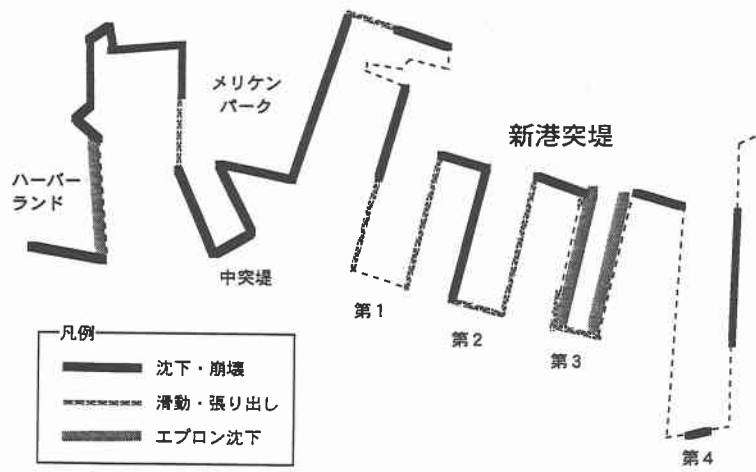


図-2 A地区突堤の被災状況

している。西突堤上の三菱倉庫および東突堤の上屋は若干沈下している。第7突堤も東西の突堤に分かれているが、岸壁の被害は軽微であるものの、突堤上の上屋は1階部分の柱が破壊しほとんど壊滅状況である。第8突堤も東西の突堤に別れているが、いずれも岸壁の被害は軽微であるものの突堤上の上屋は1階柱が破壊され甚大な被害である。写真3,4 はそれぞれ第6, 第8突堤の被害状況の写真である。この地区全体の岸壁被害状況を図-3に示す。



写真3 新港第6突堤西岸壁

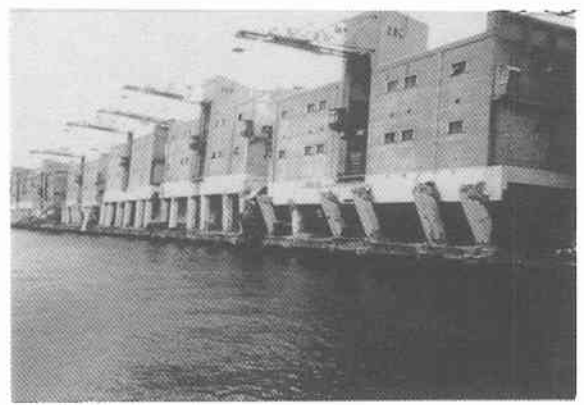


写真4 新港第8西突堤の上屋

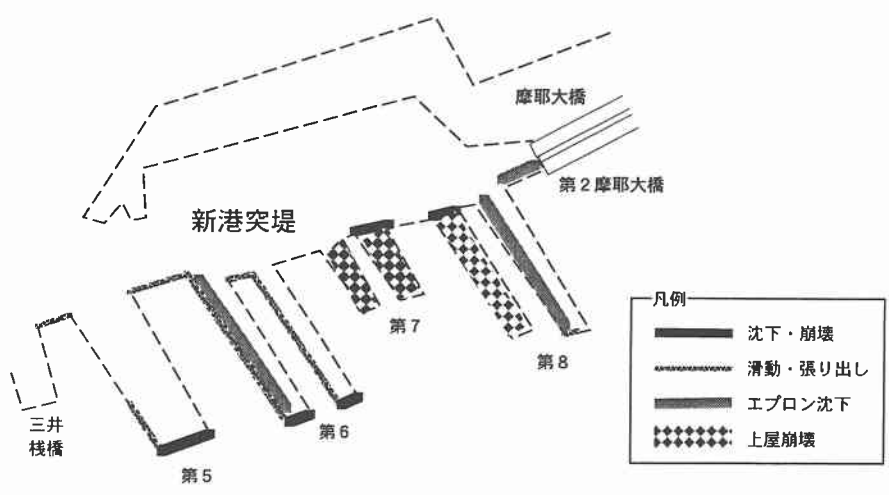


図-3 B地区の被害状況

2.1.3 C地区（摩耶ふ頭）

摩耶ふ頭は第1突堤、第2突堤および日本で最初のコンテナターミナルから構成されている。第1突堤西岸壁は既存のセル型岸壁のエプロンを鋼管杭で棚を支える形式に拡張し、設計震度（水平設計震度）が他の岸壁では0.18のところを0.25まで高めて耐震強化を図った岸壁で全く無被害であるのが印象的であった。これに対し、同じ第1突堤東側岸壁では上屋が岸壁の破壊・沈下等の原因で破壊し、エプロン舗装が液状化で陥没している。摩耶第2突堤および摩耶コンテナターミナルの岸壁の損傷は海上から観察した限り軽微であるように見受けられたが上陸して確認はしていない。また、エプロンが液状化によって陥没したために、クレーンが陸側に傾斜しており、コンテナの陥没が見られる。写真5は生き残った耐震バース、写真6は同じ第1突堤東側岸壁の様子である。この地区の岸壁被災状況を図-4に示す。



写真5 生き残った耐震バース
(第1突堤西岸壁)



写真6 第1突堤東岸壁

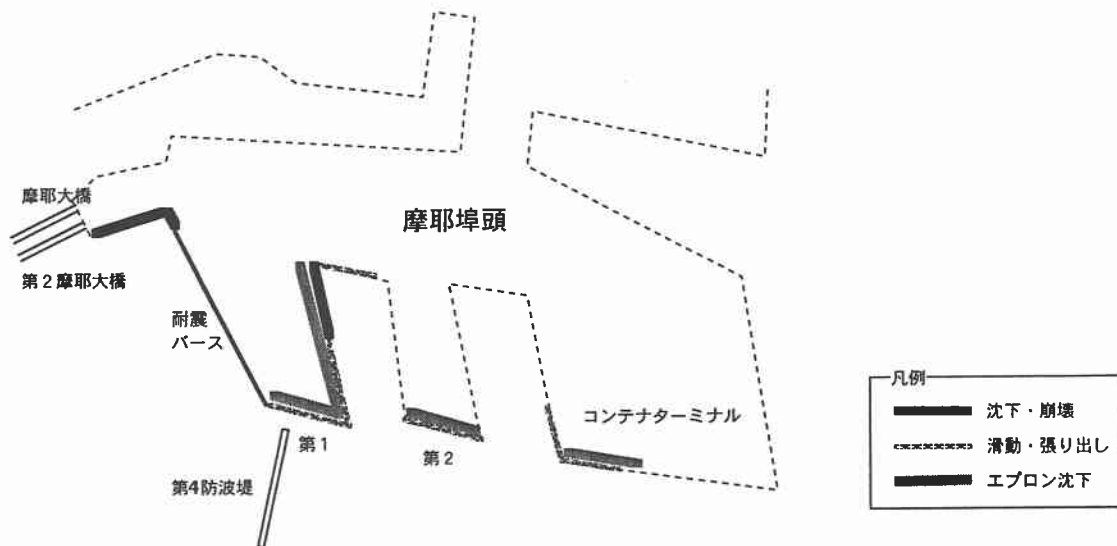


図-4 C地区の岸壁被災状況

2.1.4 D地区（六甲アイランド）

六甲アイランドはポートアイランドとともに本格的な沖合い人工島として、港湾機能と都市機能を併せ持ったニュータウンであり、神戸港の港湾機能の重要な一翼を担っている。船社の専用コンテナバースは岸壁の被害はほとんど目立たないが、ヤードの液状化による陥没が甚だしく、クレーン基礎が損傷している様子で、クレーンは倒壊もしくは支柱の破壊により100%被害を受けている。写真7はヤードの陥没で倒壊したクレーン、写真8は陥没したフェリーターミナルの様子を示している。D地区（六甲アイランド）の岸壁被災状況を図-5に示す。



写真7 ヤード陥没によるクレーンの倒壊



写真8 陥没したフェリーターミナル

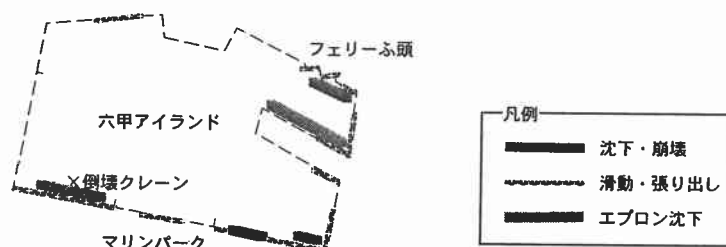


図-5 六甲アイランドの岸壁被災状況

2.1.5 E地区（ポートアイランド）

ポートアイランドは現在もなお2期の埋め立てが続行中で六甲アイランドの規模を凌ぐ港湾都市の沖合い人工島である。ここでは、岸壁そのものの被害は軽微であるが、液状化による地盤の陥没・沈下が激しく、調査した岸壁周辺では2.0m以上も沈下している箇所が見られ、荷役機械の基礎がむき出しになり、傾いている荷役機械もある。また、北公園付近の護岸および梱包団地物揚場は完全に護岸またはエプロンが沈下している箇所もある。関西国際空港との連絡路となっているK-CATでは地盤の液状化による支持力喪失により、ターミナルビルからの乗降用ブリッジが破壊しているものの、連絡ジェット船は就航しており、関西国際空港および大阪との貴重な連絡機能を果たしている。また、ヘリポートも健全で救援物資および人員の輸送手段として機能している。陸地からのアクセス・イグレスが壊滅した島での貴重な連絡交通手段である。K-CATが曲がりなりにでも機能を

保っているのは耐震性の高い栈橋形式の岸壁を採用している為である。写真9は北ふ頭コンテナバース背後の液状化による沈下状況で、写真10は機能しているK-JETである。また、図-6にこの地区の岸壁被災状況を示す。



写真9 沈下した北ふ頭



写真10 機能しているK-JET

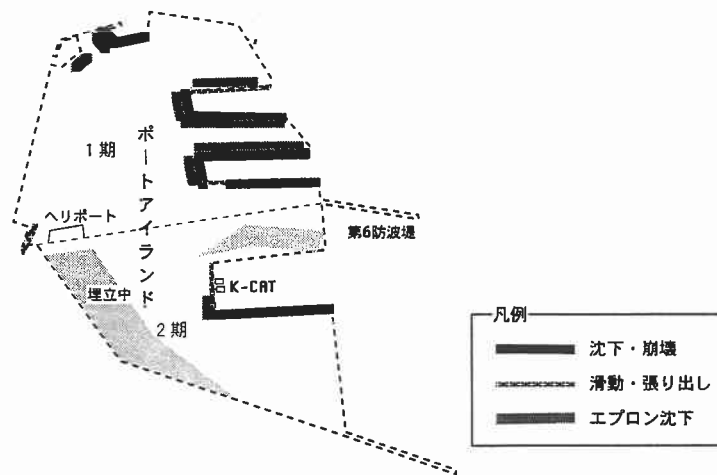


図-6 ポートアイランドの岸壁被災状況

2.2 港湾荷役機械

2.2.1 被害の概況

六甲アイランドの岸壁上に建造されているコンテナクレーンは2層1スパンの立体ラーメン構造の上にクレーンが設置されているが、これらの多くがほぼ同じパターンで被害を受けている。ラーメンの一層目の隅角部位置やその近傍で脚柱、梁の板要素が局部座屈し、塑性ヒンジが形成された例が多く見られる。また、完全に倒壊したクレーンもある。神戸市港湾局の報告では、現状で使用可能なコンテナクレーンは1基も無いとのことである。

造船所内のクレーンについても一部が倒壊しており、またクレーン上部の折れ曲がりが見られる(接近できなかったため詳細は不明)。

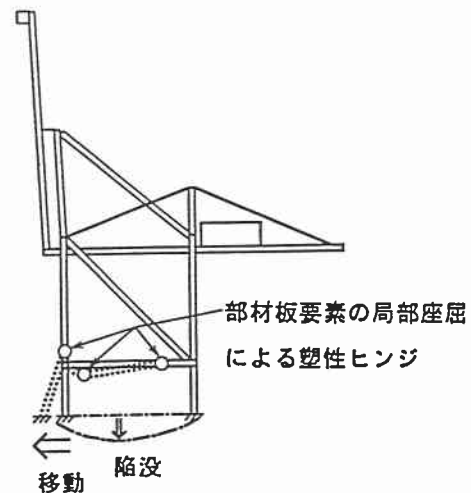
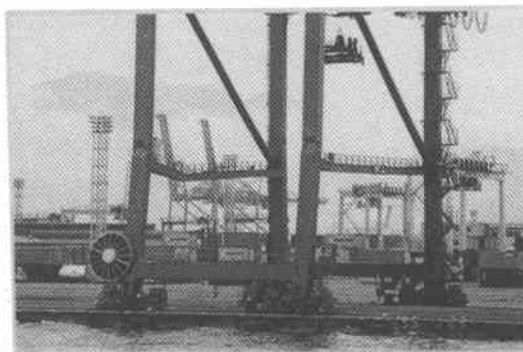


写真11 脚柱、はり板要素の座屈と塑性ヒンジの形式

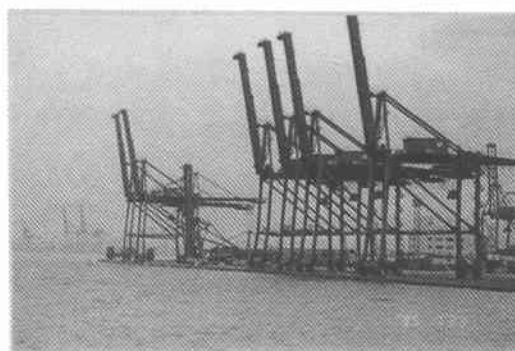


写真12 クレーンの崩壊

2.2.2. 被害の主要因

コンテナクレーンは、一方の脚が岸壁上にある。岸壁が海側に大きく移動し、2つの脚の間が陥没している。そのため、ラーメン基部が水平方向の強制変位を受け板要素が局部座屈して全体に変形している。損傷の多くがこのパターンであって、原因は片側脚基部の大きな水平移動と考えられる。

今回のコンテナクレーンのラーメンはスレンダーな構造である。地震時の応答解析が実施されていると聞けるが、地震発生と同時に、岸壁の移動に伴って脚の大きな水平移動が生じたものと考えられる。もし岸壁の移動が生じなかったとした場合のクレーンの応答がどうであったかは現状では不明で、今後調査されるであろう。

2.3 港湾連絡道路施設

2.3.1 ポートアイランド連絡橋

連絡橋としては、神戸大橋(1970年、アーチ橋、中央径間217m)と新交通システムのポートピア大橋(1979年、アーチ橋、中央径間250m)がある。神戸大橋自体では目視によると構造的な被害は認められないが、北側の可動支承部が南側へ30~40cm程度移動し(写真13)、それに伴い支承直上の数本の斜材(2次部材)が引張り力により、定結ボルトがせん断破壊している。また、ポートアイランド側の伸縮継手も若干損傷している。さらに、新港第4突堤からの神戸大橋へのループ橋が基礎の移動により落橋している(写真14)。ポートピア大橋も目立つ被害はないが、支承が損傷している。一方、三ノ宮側からの神戸大橋へのアプローチ部では被害が大きく、鉄筋コンクリート製の2層ラーメン橋脚の柱部分に曲げ破壊が目立つ(写真15)。ポートピア大橋へのアプローチ部では脚柱自体の損傷は認められないが、基礎部分の変形により鋼脚柱が傾斜している。なお、新交通システムの高架橋は三ノ宮市街では鉄筋コンクリート製脚柱(1本脚柱)基部の曲げ破壊ならびに支点直下の片持

り部分の曲げせん断破壊が目立ち、落橋している所もあるが、鋼脚柱の被害は認められなかった。

以上のような被害から、新交通システムは全面ストップである。連絡道路橋はポートアイランド内に残留していたシャーシーを島外に出し、現在は重車両の通行は禁止されているが、緊急車両、歩行者の通行は可能である。

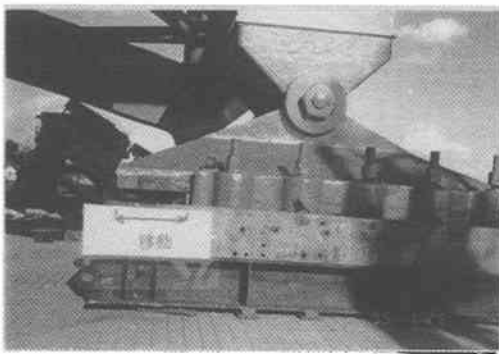


写真13 神戸大橋の支点移動



写真14 神戸大橋へのループ橋の落下



写真15 神戸大橋へのアプローチ部の鉄筋コンクリート製ラーメン橋脚の破壊

2.3.2 港湾幹線道路

港湾幹線道路の新港突堤付近の合流部では、中空円形断面鋼脚柱を持つ2層2径間の鋼製ラーメン橋脚が数基用いられているが、脚柱部での塑性座屈による鋼管の局部変形が認められる(写真16)。新港突堤から摩耶ふ頭へ至る高架部では鉄筋コンクリート製脚(1本柱脚)への被害が多く、脚の断面変化部で曲げ(せん断)破壊が生じている(写真17)。一方、鋼製橋脚でも点検用マンホール部分が弱点となった局部座屈が2箇所(ラーメン橋脚、1本柱脚)で認められた(写真18)。付近では地盤の液状化も認められるが、中低層の建物やブロック塀の外見上の損傷は認められず、被害は高架部の脚柱に集中している。



写真16 港湾幹線道路合流部での円形断面鋼脚柱の局部座屈



写真17 港湾幹線道路鉄筋コンクリート製橋脚の破壊

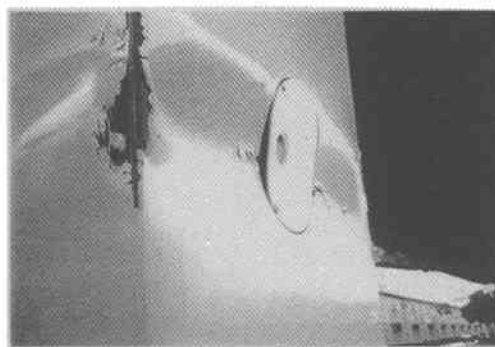


写真18 港湾幹線道路鋼脚柱マンホール部の局部座屈

新港突堤と摩耶ふ頭間の第2摩耶大橋(1975年、箱桁橋、中央径間210m)では、東西のコンクリート製橋脚が損傷しているが、特に東側の橋脚の被害が著しい(写真19)。なお、第2摩耶大橋に並行した摩耶大橋(1966年、斜張橋、中央径間139m)の橋脚に対する被害は少なく対照的である。摩耶ふ頭内でも高架橋の鉄筋コンクリート製脚の被害は多い。ここでは、鋼製ラーメン橋脚1基の横ばりと柱接合部がぜい性破壊し、柱下部のみならず、はり中央が局部座屈している(写真20)。このような鋼製ラーメン橋脚の破壊形状は他では認められなかった。



写真19 第2摩耶大橋鉄筋コンクリート製橋脚の破壊

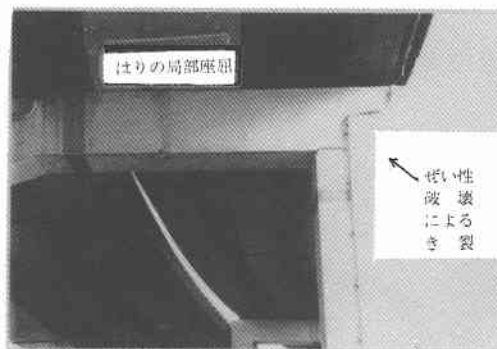


写真20 港湾幹線道路鋼製ラーメン橋脚はり・柱接合部のぜい性破壊

2.3.3 被害の主要因

ポートアイランドへの連絡橋の北側部分は新港第4突堤部分に位置しており、地盤の液状化による沈下、移動等の変形が著しい。神戸大橋の支点移動、ループ橋の落橋、ポートピア大橋アプローチ部の鋼脚柱の傾斜等は、地震動に加え、上記の地盤変形による橋脚基礎の移動によるものと思われる。

港湾幹線道路では、地震動によると思われる被害が主である。円形断面鋼製ラーメン橋脚の柱部分に生じた塑性座屈によるふくれは、横揺れに加え縦揺れが激しかったことを示唆するものと言えよう。構造的には、上部質量の大きい2層の鉄筋コンクリート製橋脚に被害が集中する傾向にあり、断面変化部において破壊している。鋼製橋脚においては、マンホールが弱点となり局部座屈が生じているものが目立った。

なお、被害の要因をより明確にするには、今後、構造詳細や地震動等を考慮した定量的な検討を行う必要がある。

2.4 空港

関西国際空港では、土木関連施設の被害はほとんど無く、滑走路に15本×60m、誘導路に13本×45mの最大幅2mmのヘアークラックが、整備エプロンに0.2mm×100mのヘアークラック(写真21)、場周道路の一部にクラックが入った程度である(写真22)。また、海上アクセス船の岸壁が少しずれた程度でよく見なければ判別出来ない程度である。なお、地震後しばらく電車がストップしたのは、60galの振動を検知した場合、安全のために自動的に停車するシステムを導入しているためであり、特に、橋梁、軌道系に被害があったわけではない。また、空港全体の各施設の安全点検のため、一時、航空機の離発着を停止したとのことであり、異常無しが確認された直後から平常運営をしている。



写真21 エプロンのヘアークラック

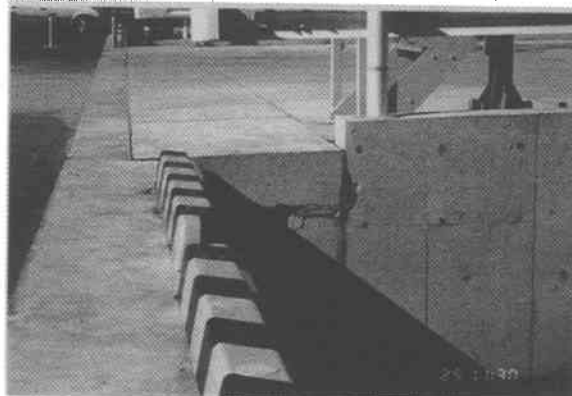


写真22 岸壁の軽微被害

2.5 河川

2.5.1 被害の概況

(1) 河川関連の被害が見られた地域は以下の通りである。（*：特に被害が顕著な地域）

高羽川*、天神川、住吉川*、天上川、夙川*、武庫川、淀川*、中島川*、左門殿川*、神崎川*、正連寺川*

(2) 上記の地域では、以下のような河川構造物の被害が生じた。（*：これらの内、特に被害の大きかったもの）

護岸・天端のクラック、護岸崩壊*、堤体崩壊*、裏法崩壊

2.5.2 主要な被害

(1) 堤防崩壊および特殊堤（パラペット）崩壊

淀川下流左岸西島地区(0-3K)では、砂質性の地盤が液状化したなどにより、盛土でできた堤防本体

が陥没し、表層のコンクリートが大破・崩壊した(写真23)。また、この付近の堤防天端上には高潮の氾濫防止用として高さ 1.6m の特殊堤 (パラベット) が設置されていたが、堤防の崩壊とともにこの特殊堤もまた大破・崩壊した。崩壊前の特殊堤の天端高はOP+8.10mであったが、崩壊により最大で3m近くも沈下したため、崩壊後の有効堤防高はOP+3.5m程度であり、当時の淀川での満潮位 OP+1.7mをかるうじてクリアーしたことになる。なお、止水用矢板が表法尻に打設されていた区間と比較すると、打設されていなかった区間の堤防の破損度はより大きいようであり、止水用矢板が堤防の壊滅を防いだ可能性がある。



写真23 淀川下流左岸における堤防の崩壊状況

(2) 堤防天端陥没

神崎川の神崎大橋上流右岸では、堤防全体が 10~15cm沈下し、さらに堤防天端の中央部が 680m にわたって割れ、裏側が最大 60cm も沈下した。しかしながら、天端表に設置された防潮堤は幸い破損を免れ、堤防としての機能を維持している。この付近の堤防は鋼管杭・鋼管矢板・タイロッドなどによる耐震工法が実施されており、これらが機能して堤防の破損を防いだものと評価される。

3. 応急処置と緊急物資・人員輸送

緊急の物資輸送は海陸から行われている。図-7は被災地と周辺都市を結ぶ臨時および定期航路である(1月25日;朝日新聞朝刊による)。神戸港の応急処置による利用岸壁は、高浜フェリー岸壁、メリケンパーク南東部岸壁、新港第1、第2、第3突堤、摩耶埠頭第1突堤西側岸壁(耐震岸壁)およびポートアイランド内のK-CATである。これ以外にポートアイランドのヘリポートが関西国際空港からの空輸に重要な役割を果たしている。

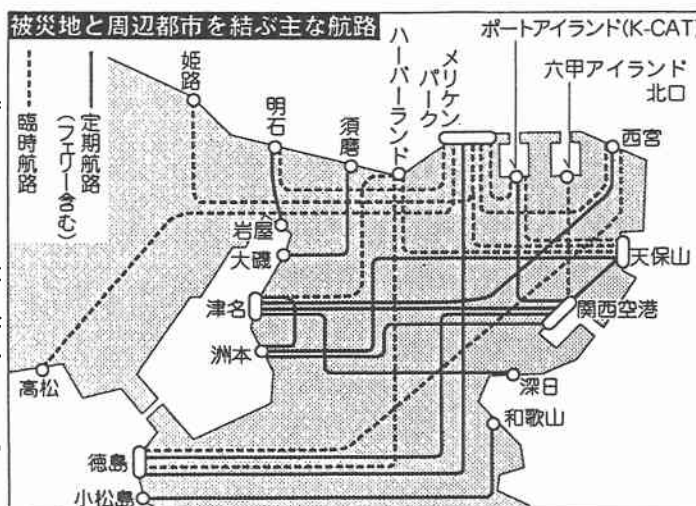


図-7 臨時および定期の海上航路(朝日新聞)

4. 復旧状況

港湾施設は現在被災状況を目視観察した段階であり、構造物の大部分が海中にあることから被災の詳細な状況は現在行われつつある測量や潜水夫による調査を待たなければ復旧の具体的作業は始まらない。しかし、エプロンやヤード上に散乱したトラック、コンテナおよび海中に沈んだそれらを徐々にではあるが取り除く作業が開始されている。また、倒壊した、あるいは部材が座屈したクレーンの解体作業も開始されつつある。

被害が少なかった神戸大橋では、北側支点の移動を拘束するための応急処置がなされ、下層部のみ使用されている。他は被害が大きく使用されていない。新交通システムのポートピア大橋も損傷は少ないが、アプローチ部の橋脚の傾斜、三ノ宮市街での橋脚の破壊等で復旧には時間がかかるものと思われる。港湾幹線道路では、高架部や第2摩耶大橋のコンクリート製橋脚の被害が大きいが、全く復旧工事はなされていない。

河川構造物の被害は、小規模の護岸の破損、同クラックの発生などを含めて、直轄河川では6水系・

8河川・77箇所、兵庫県下では67河川・228箇所、大阪府下では12河川・34箇所の多数に上っている。これらのうち出水時に氾濫する恐れのある箇所については盛土・土嚢積などによる応急的な復旧が直ちに実施され、すでに完了している箇所も多数見られる。また石積・ブロック積・築堤などの本格的な復旧も重要度に応じて直ちに始められている。さらに鋼矢板・鋼管杭・鋼管矢板・タイロッドなど従来の耐震工法に加えて、スーパー堤防化などが検討されている。

5. 将来計画的視点からの意見

5.1 港湾・空港について

- (1) 神戸港は日本の外国貿易取り扱い貨物量の20%以上を分担する極めて重要な港湾であり、本港の復旧が送れると日本経済にとっても重大な影響を及ぼすことが予想されると同時に、神戸市の震災復興にとっても大きな障害となることが懸念される。したがって、岸壁の復旧は、貿易、市街地復旧の両面から順位付けられる必要がある。また、震災による瓦礫の処分は緊急の課題であるので、当面、フェニックスプランによる埋立地を活用することが考えられるが、将来的に近畿一円の終末廃棄物の処理にも必要であるので、早急に方策を練る必要がある。
- (2) 今回、沖合い人工島と陸地を連絡する鉄道・道路が一挙に機能を停止したことを考えると、少なくとも、連絡交通手段の一つが生き残れるようリダンダンシーを考える必要がある。さもなくば、沖合い人工島は孤島になる恐れが強い。
- (3) 今回の震災で得た教訓は緊急時の海上輸送の重要性である。多くの都市の防災計画で指摘されていたように、今回も陸上の輸送は混雑し、緊急物資の搬入が遅れた点である。このことを考え併せると耐震パースの重要性が指摘される。地震応答解析等を今後実施して、このような耐震パースの有効性が証明されたとしたら、何本かの耐震パースを整備する方向で検討がなされる必要がある。
- (4) 最近整備された親水性護岸の多くが崩壊したことは一考を要する。すなわち、今回、たまたま、早朝時であったために人的被害は無かったが、多くの市民が集う海辺での護岸の崩壊は多くの人命を一挙に失う危険性を秘めている点である。デザイン的にも強度的にも再考を要すると思われる。
- (5) 今回の災害で判明したことは、コンテナクレーンの座屈・倒壊の被害が100%であった点である。このような、クレーンの被害が復旧を遅らせる要因になることが考えられるので、これらの基礎構造を含めた耐震安定性の検討が必要と思われる。

5.2 河川について

河川堤防は例え1箇所でも破損していれば治水機能を喪失するため、いかなる場合においても壊滅的な損傷を受けないようにしなければならない。今回の地震でも、耐震工法を実施された堤防は、裏法崩壊などが見られても、堤防本体に壊滅的な損傷を受けたものはなく、従来の耐震工法でもかなりの大地震に対応できると評価されるが、スーパー堤防化はもちろん、堤体の軽量化・堤内水の排水促進化など、堤体構造の改良についても検討するべきである。

おわりに

今回の調査に際し、超多忙にも拘わらず、快く調査にご協力下さいました関係各機関に対し、心より謝意を表します。

また、本報告を取りまとめるに際し、京都大学工学部交通土木工学教室内田敬講師に御協力頂いたことを記し、感謝申し上げます。

(文責；黒田、今本、後藤、長井)