

港湾技研資料

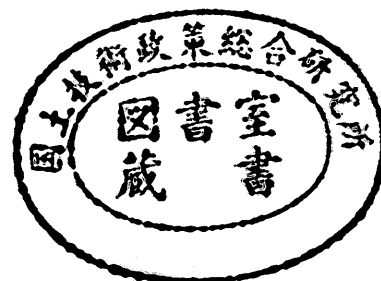
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 813 Sept. 1995

兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察

港湾施設被害検討委員会編

運輸省港湾技術研究所



序 文

稲富 隆昌*
稲垣 紘史**
輪湖 建雄***

平成7年1月17日午前5時46分に淡路島北部を震源とするマグニチュード7.2の地震が発生した。「平成7年（1995年）兵庫県南部地震」と命名されたこの地震は、高度に発達した都市を襲った初めての活断層型直下地震である。神戸市、芦屋市などでは震度7の激震を記録した。この強震により、神戸市を中心に5,500名を越す犠牲者を出すとともに、港湾施設、高速道路、新幹線、ライフラインなどの土木施設、また住宅、ビルなどの建築構造物に未曾有の被害を出し、長期間にわたり都市機能を麻痺させた。同時に、神戸港のポートアイランド、六甲アイランドなどの埋立地では、埋立土の「まさ土」が液状化し、その噴泥が地表面を大規模に覆い、液状化現象を全国に再認識させた。

運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所では、水平加速度が502Gal、上下加速度が283Galの地震動を記録した。被害が集中した神戸港の岸壁の多くはケーソン式岸壁で、被害形態は岸壁の移動と傾斜およびその背後地盤の沈下であった。全国のコンテナ貨物量の約3割を取り扱う神戸港のコンテナ埠頭においても、岸壁が数m移動するなど同様な被害が発生したため、クレーンの脚に損傷が生じ、港湾荷役は完全にその機能を喪失した。一方、このような被災状況下において、耐震性を高めた耐震強化岸壁はほとんど損傷することなくその機能を保持した。この耐震性の保証は、神戸港のみならず、全国に展開する港湾施設の耐震性強化にきわめて重要な技術情報を与えた。

地震から7カ月を経過した現在、被災地港湾では地震に強い港湾を目指して復興が始まっている。同時にケーソン式岸壁の被害の原因究明の調査、研究も図-1に沿って鋭意進められている。本報

兵庫県南部地震に対する ケーソン式岸壁の被害考察 —— 地震動・液状化を中心に ——

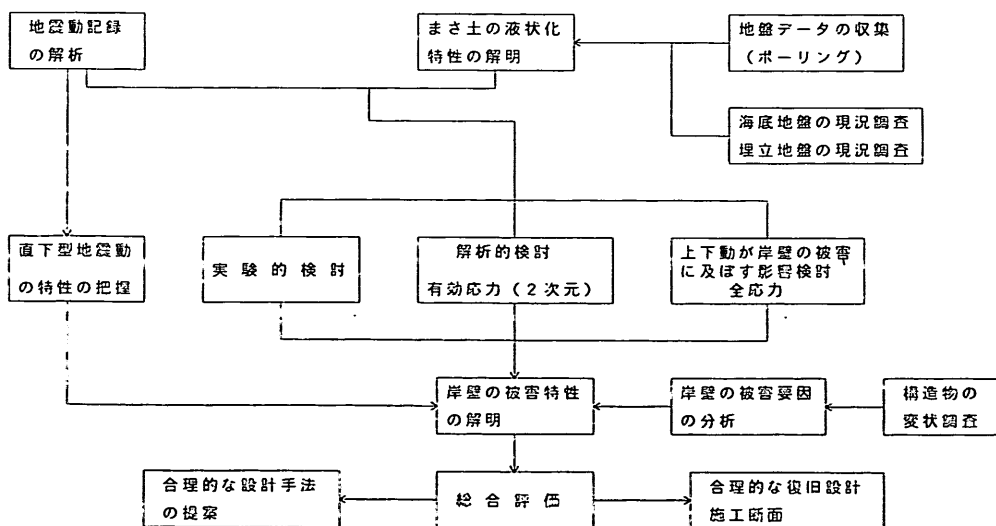


図-1 調査研究フロー

- * 構造部長
- ** 前 運輸省第三港湾建設局長
- *** 運輸省第三港湾建設局 震災復興建設部長

告は現在までに明らかになった研究成果等を速報的に紹介するものである。したがって、復興事業に伴って明らかになる現地情報の内容によっては成果の一部変更もあり、また、解析、実験的研究も継続して実施しているため、最終的な成果は後日に待つ必要がある。

報告では、港湾施設の被害状況および地震動の特性紹介から始まり、液状化を含む埋立地盤の特性、ケーソン式岸壁の変状の要因を明らかにし、また、実験的、解析的検討からケーソン式岸壁の変状を考察した。また、コンテナクレーンについても現地データを用いて被災の実態を明らかにした。

なお、本報告を取りまとめるに際して、運輸省港湾局、同第三港湾建設局、神戸市港湾局、同開発局、兵庫県土木部港湾課、神戸港埠頭公社等から多大なる支援をいただいた。ここに関係の方々に謝意を表す。

平成7年9月

兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察

目 次

序 文

- (その1) 強震記録宮田正史・佐藤幸博・井合 進..... 5
- (その2) 被災状況
- 岸壁、防波堤、海岸保全施設-外山進一・松永康男 51
 - 港湾荷役施設-藤本健幸 77
 - 臨港交通施設-横田 弘 95
- (その3) 神戸港のケーソン式大型岸壁の被災分析
.....上部達生・高野剛光・松永康男..... 127
- (その4) 埋立地盤の特性善 功企・山崎浩之・南 兼一郎・中島由貴..... 147
- (その5) 液状化の判定に関する検討山崎浩之・善 功企・佐渡篤史・館下 徹..... 167
- (その6) ケーソン式岸壁の被災に関する模型振動実験 ...菅野高弘・三藤正明・及川 研..... 207
- (その7) ケーソン式岸壁の有効応力解析井合 進・一井康二・森田年一..... 253
- (その8) ケーソン式岸壁の地震時滑動に関する数値解析
.....野津 厚・上部達生・高野剛光..... 281
- (その9) 神戸港ケーソン式岸壁の安定性に関する一考察
.....長尾 毅・小泉哲也・木阪恒彦・寺内 潔・細川浩二・門脇陽治・宇野健司..... 301
- (その10) コンテナクレーンの地震時挙動吉田由治..... 337

兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察

(その2) 被災状況 — 臨港交通施設 —

横田 弘*

要 旨

兵庫県南部地震における神戸港を中心とする臨港交通施設の主要な被害の状況をとりまとめ、被害原因についての若干の考察を行った。対象とする施設は、神戸港における港湾幹線道路の橋梁と高架道路およびポートライナーと六甲ライナーの2系統の新交通システム、さらには尼崎西宮芦屋港の西宮大橋である。

臨港交通施設の被害は、支承および耐震連結装置の破損・脱落、橋脚の破壊、橋脚の傾斜が主なものであった。また、港湾幹線道路では被害の大きかった施設はポートアイランド北部から新港埠頭、摩耶埠頭の範囲に集中していた。

これら被害の原因の解明には今後の詳細な検討が必要であるが、設計時の想定を超える激しい地震力の作用および基礎地盤の液状化の2つが主要な原因として考えられる。

キーワード：臨港交通施設，橋梁，高架橋，新交通システム

* 計画設計基準部 設計技術研究室長

Mechanism of Damage to Port Facilities during 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake

(Part 2) Damages

— Port Traffic Facilities —

Hiroshi YOKOTA*

Synopsis

This report presents the damages to port traffic facilities in Kobe Port and Amagasaki-Nishinomiya-Ashiya Port due to Hyogo-ken Nanbu Earthquake on 17 January 1995. The port traffic facilities include several bridges and elevated roads of Harbor Highway, two new transit systems: Port Liner and Rokko Liner, and Nishinomiya Oohashi Bridge.

The damages observed in these facilities are rupture of connecting bolts and bearing supports and collapse and inclination of piers. Comparatively heavy damages have been appeared in the region between the man-made Port Island and Maya Pier.

Although we need further detailed investigation and examination to draw conclusions, huge horizontal forces and liquefaction of the base ground can be considered as the principal reasons to cause these damages.

Key Words : port traffic facility, bridge, elevated highway, new transit system

* Chief of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division

目 次

要 旨	95
1. はじめに.....	99
2. 施設の沿革と概要.....	99
3. 橋梁の構造と被害状況	100
3. 1 神戸大橋.....	100
3. 2 摩耶大橋.....	100
3. 3 第2摩耶大橋.....	100
3. 4 灘浜大橋.....	103
3. 5 灘大橋.....	103
3. 6 六甲大橋.....	104
3. 7 ポートピア大橋.....	105
3. 8 西宮大橋.....	107
4. 高架道路の被害状況	108
5. 新交通システムの被害状況	110
5. 1 ポートライナー.....	110
5. 2 六甲ライナー.....	110
6. まとめ	111
参考文献.....	112
被災状況写真.....	113

1. はじめに

1995年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震（マグニチュード7.2）は、震源地に近い兵庫県を中心に甚大な災害をもたらした。本地震による災害の特徴の1つとして、新幹線、鉄道、道路、港湾など従来より耐震性を十分に考慮して整備されてきた社会基盤施設に致命的な被害をもたらしたことがあげられる。これは、「安全神話の崩壊」という表現でマスコミ等に取り上げられ、設計手法の根本からの見直しや安全性の評価方法などについて大きな課題を残した。

港湾施設では、岸壁、護岸などの被災に加え、港湾幹線道路および新交通システムの臨港交通施設にも大きな被害が生じた。これらの被害は、支承の損傷、橋脚の破壊や傾斜として現れ、臨港地区の交通が麻痺状態に陥った。また、ポートアイランドと六甲アイランドの2つの人工島へのアクセスとなる橋梁および取付道路が損傷したため、両島が一時孤立する事態となった。

ここでは、臨港交通施設の被害の状況を取りまとめるとともに、被害をもたらした原因についての若干の考察を行う。

2. 施設の沿革と概要

神戸港における臨港交通施設としては、ポートアイランドから新港埠頭～摩耶埠頭～東部第1工区～東部第2工区を経て六甲アイランドへと至る港湾幹線道路（ハーバーハイウェイ）¹⁾ およびポートアイランドあるいは六甲アイランドへのアクセスとしての新交通システムが導入されている。これらのルートおよび位置関係を図-1に示す。

神戸港では、取扱い貨物量の増大に対処するため、摩耶埠頭、ポートアイランド、六甲アイランドの建設など広範囲な港湾施設の整備拡充が進められ、現在に至っている。これら港湾施設の建設に伴い、発生する交通量もまた増大することになった。加えて、前述の2つの人工島と陸地とを結ぶ必要性や大型の埠頭相互を円滑に結び港湾機能の効率的な利用を図るため、新たな交通網の整備が必要となった。この要請に基づき、臨港交通と一般交通とを分離し、港湾施設と市街地主要幹線道路との円滑な連絡を図るとともに、大阪湾岸道路の補完的役割を持つ高架式ダブルデッキの道路である港湾幹線道路が計画され、1965年頃より港湾補助事業として建設が開始された。

まず、ポートアイランドの建設・稼働にあわせて、ポートアイランド～摩耶埠頭間4.0kmが1979年に供用開始された。その後、六甲アイランドの一部稼働にあわせて六甲アイランド～高羽ランプ（東部第1工区内）間3.5kmが1983年に供用開始された。さらに、残された区間である摩耶埠頭～高羽ランプ間3kmの工事が引き続き進められ、1993年2月に全線10.5kmが開通した。

既に述べたように、港湾幹線道路は人工島と陸地を結ぶほか、水路によって隔てられた埠頭間相互を連絡するため、神戸大橋をはじめとする5つの橋梁が水路をまたぐ施設として建設されている。これらの橋梁はいずれも特徴ある構造であり、神戸港の新たな景観を創り出すシンボリックな存在となっている。

一方、ポートアイランドおよび六甲アイランドで居住あるいは勤務する人々のアクセスとして2系統の新交通システムが導入されている。1つはポートアイランドに至る神戸新交通ポートアイランド線（ポータルライナー）

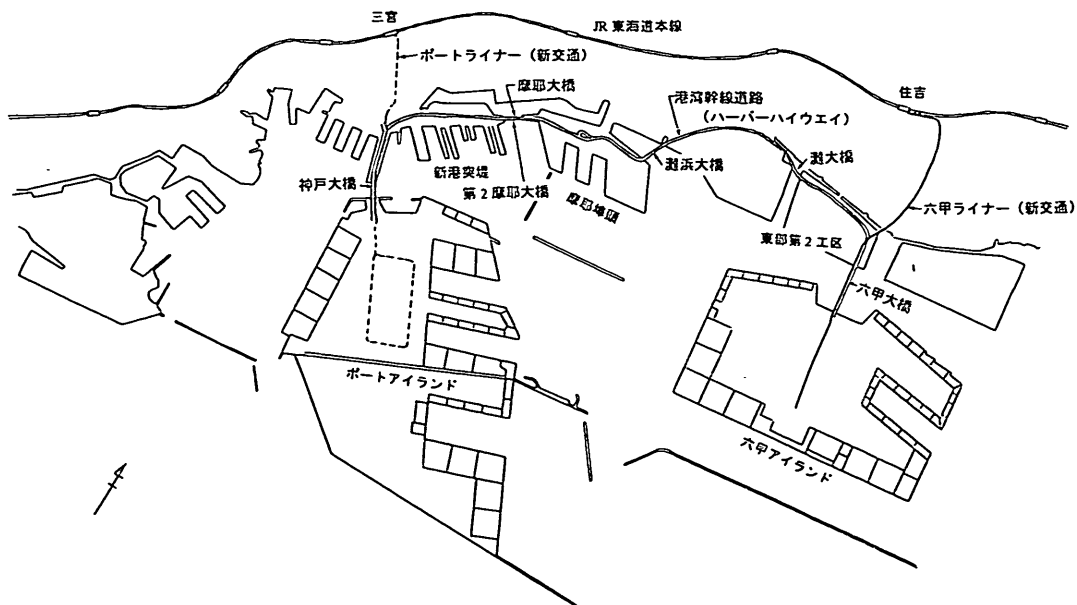


図-1 神戸港臨港交通施設の概要

で、1981年2月に開業した。ポータルライナーの軌道建設にあたっては、水路をまたぐ施設として神戸大橋の東側に隣接するポートピア大橋が新たに建設された。また、六甲アイランドへは神戸新交通六甲アイランド線（六甲ライナー）が建設され、1990年2月に開業した。水路の横断には、専用の橋梁を設けることはせず、既設の六甲大橋に軌道桁を添架する方式が採られている。

ここでは、港湾幹線道路の橋梁および高架部、さらには新交通システムにおける地震被害の状況を報告する。加えて、被災した他の臨港交通施設として、摩耶大橋、および尼崎西宮芦屋港に架設されている西宮大橋も取り上げることとする。

3. 橋梁の構造と被害状況

ポートアイランドから六甲アイランドに至るルート上にある5橋梁および摩耶大橋、ポートピア大橋、さらには西宮大橋の構造の概要と被害状況を述べる。

3.1 神戸大橋

神戸大橋²⁾はポートアイランドと神戸市街を結ぶために、新港第4突堤との間の幅200mの水路に架設された橋梁で、1970年3月に完成した。橋梁形式および構造は以下のとおりであるが、港内に設けられることによる種々の制約を検討した結果、図-2および写真-1に示すように、3径間のダブルデッキアーチ橋となった。わが国では初めてのダブルデッキ構造の橋梁で、その規模においても最大級のものである。

橋 長：322m
 支 間：51m+217m+51m
 幅 員：14m、歩道3m×2
 上部構造：3径間連続ダブルデッキアーチ橋
 鋼 重：6470tf
 下部構造：ニューマチックケーソン基礎
 断面15m×30m、深さ33m
 桁下空間：KP+49.2m

下部工にはニューマチックケーソン基礎が採用されているが、このケーソンは護岸を兼用させる構造となっている。そのため、巨大な鉛直荷重（死荷重7500tf、活荷重1700tf）とともに、背後土圧が作用する過酷な条件下にある。下部工位置周辺での代表的な土質条件を図-3に示す。また、上部工の支承は第4突堤側が可動で、ポートアイランド側が固定（回転のみ可能）である。

第4突堤先端部は地震動の影響により、写真-2に示すように、護岸が海側に変位し、背後の土砂が沈下・陥没した。この位置の護岸兼用のケーソン基礎も同様に変位し（写真-3）、その結果、写真-4に示すように可動支承に約63~65cmのずれが見られた。このずれ量は支承に許容されている値を超えている。また、可動支承のアンカーボルトに50mm程度の浮き上がりも見られた（写真-5）。

同様にポートアイランド側の支承周辺でも、写真-6に示すように護岸の移動および背後土砂の沈下・陥没が

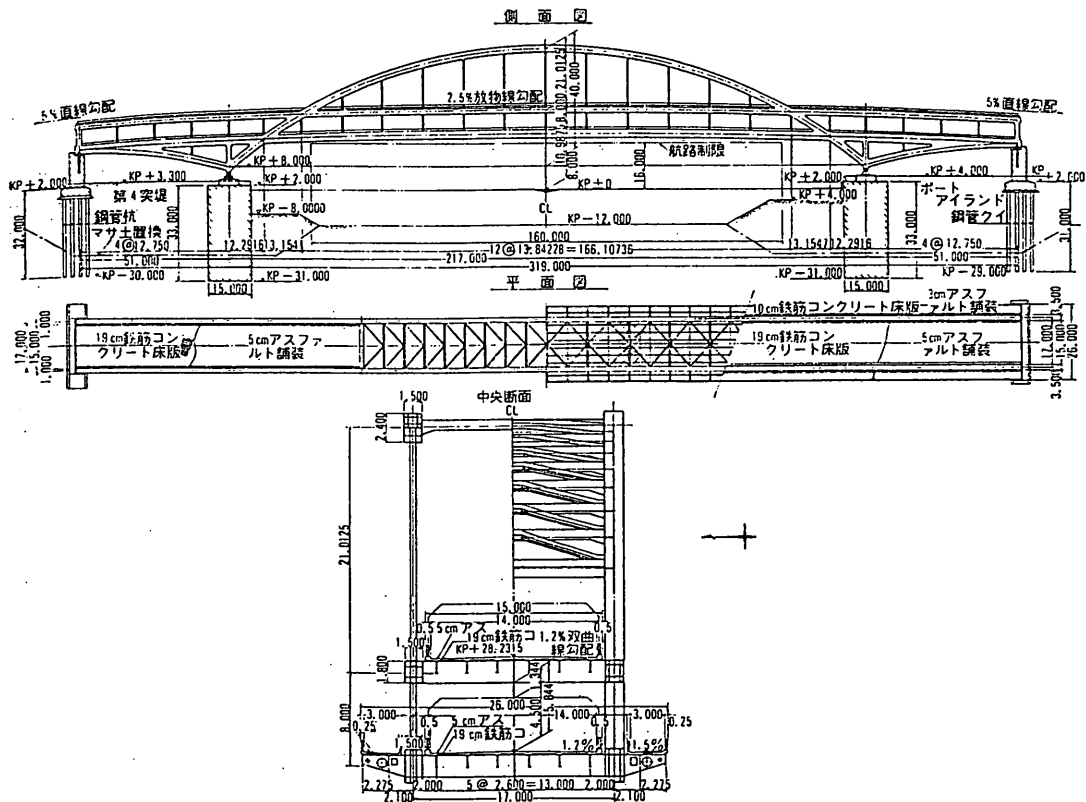


図-2 神戸大橋一般図

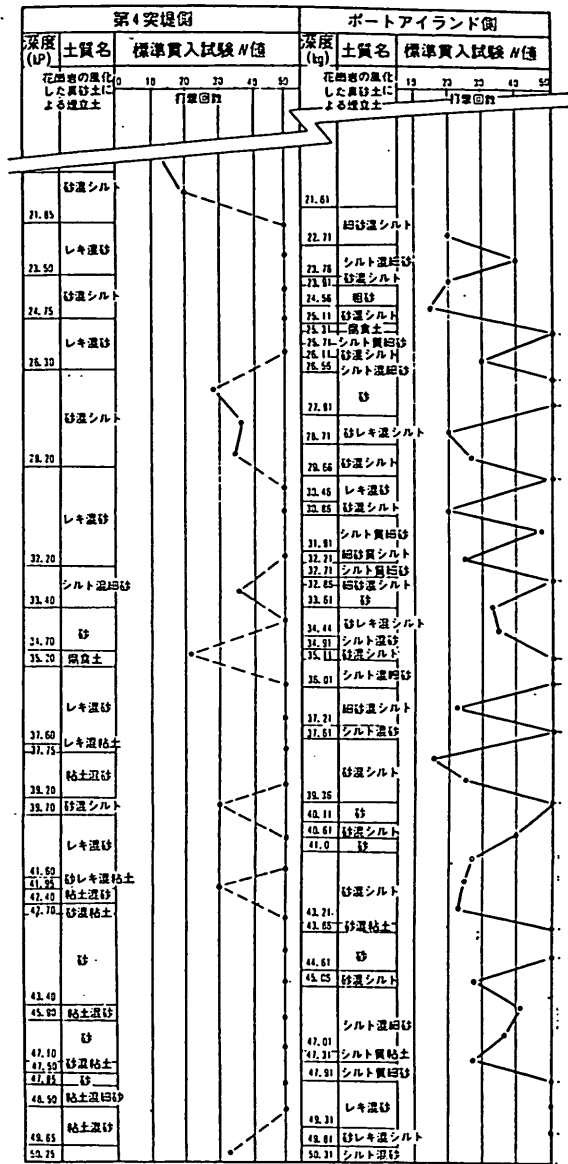


図-3 神戸大橋基礎部土質試験結果²⁾

見られた。この位置のケーソンも20~25cm程度の変位および回転移動を起こしたが、支承は固定支承であることから、大きな変状は観察されなかった(写真-7)。

2つの主橋脚がそれぞれ海側に変位したことにより、橋脚の間隔が約80cmほど縮まった。可動支承のずれの傾向より、上部工が相対的に北側にこの距離だけ移動したことになる。図に示したように、第4突堤側の前面水深は-8.0mで、ポートアイランド側のそれは-4.0mである。このため、地震による水平荷重の影響は第4突堤側の方が大きく受けることになり、これら橋脚の被害の傾向と一致している。

上部工では、伸縮装置の破損により橋桁間の遊間部の開口などが見られたが、大きな損傷はなかった。

3.2 摩耶大橋

摩耶大橋³⁾は、摩耶埠頭と新港第8突堤を結ぶ橋梁で、1966年6月に完成した。南側には後述する第2摩耶

大橋が併設されている。港湾幹線道路は新しく架設された第2摩耶大橋の方を通るが、無料の一般道路として本橋はその役目をはたしている。

構造形式は当時としては数少ない2径間連続斜張橋構造が採用されている。構造諸元等を以下に、また図-4に橋梁一般図を示す。

- 橋 長 : 210m
- 支 間 : 139.4m + 69.4m
- 幅 員 : 14m(うち歩道3m)
- 上部構造 : 2径間連続斜張橋(鋼床版連続箱桁)
- 鋼 重 : 1360tf
- 下部構造 : 鉄筋コンクリート(RC)製橋脚
- P6, P7) ニューマチックケーソン
- (13m × 8m × 28m)
- その他) 門型ラーメン(12m × 10m × 31m)
- 桁下空間 : H.W.L. + 18m

上部工はP6, P7, およびP8橋脚上の支承の破損に伴って全体が移動し、その結果写真-8に見られるように、主塔が北側に傾斜した。上部工のずれに伴って伸縮装置が破損し、写真-9および写真-10に示すようなかなりの段差・ずれが見られた。

P5橋脚を含む第8突堤側の橋脚には有害なひびわれなどの顕著な破損は見られなかったが、周辺地盤の沈下に伴って橋脚の傾斜が生じたものもあった。P6橋脚およびP8橋脚では幅1mm程度のひびわれの発生が観察された。また、この橋脚の基礎工は護岸を兼ねる構造となっているが、周辺護岸には倒壊などの大規模な被害が見られており、この基礎工も海側に移動した可能性がある。

P8橋脚にはコンクリート製の歩行者用の通路(階段)が設けられているが、上部工のずれによって階段の取付部が破損した(写真-11)。また、写真-12に示すように、階段中間部の支柱付近でコンクリートに大きなひびわれが見られた。

P9橋脚より摩耶埠頭側の橋脚では、橋脚の躯体自体に有害なひびわれなどは認められなかったが、周辺地盤が沈下して橋脚下面に空隙が生じたり、橋脚が傾斜したものもあった。摩耶側のA2橋台では、ひびわれの発生とともに、取付部においてずれが生じた(写真-13)。

3.3 第2摩耶大橋

第2摩耶大橋⁴⁾は、港湾幹線道路の整備に伴って建設された摩耶埠頭と新港第8突堤を結ぶ橋梁である。既設の摩耶大橋の南側に併設され、1975年8月に完成した。構造諸元等を以下に、また一般図を図-5に、第8突堤側の全景を写真-14に示す。

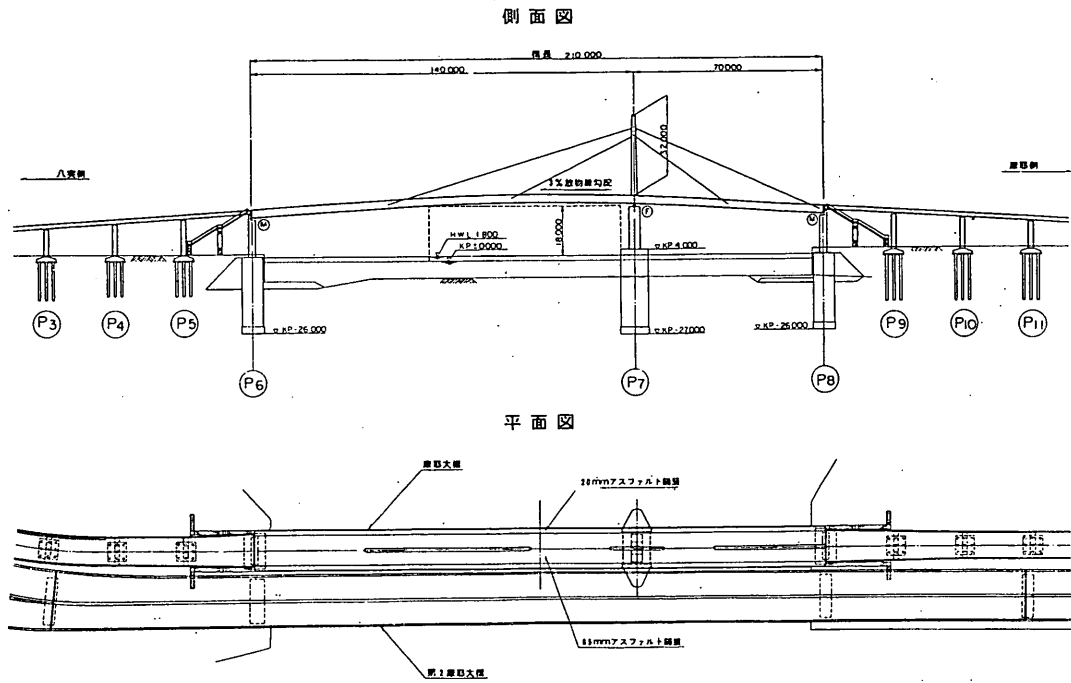


図-4 摩耶大橋一般図

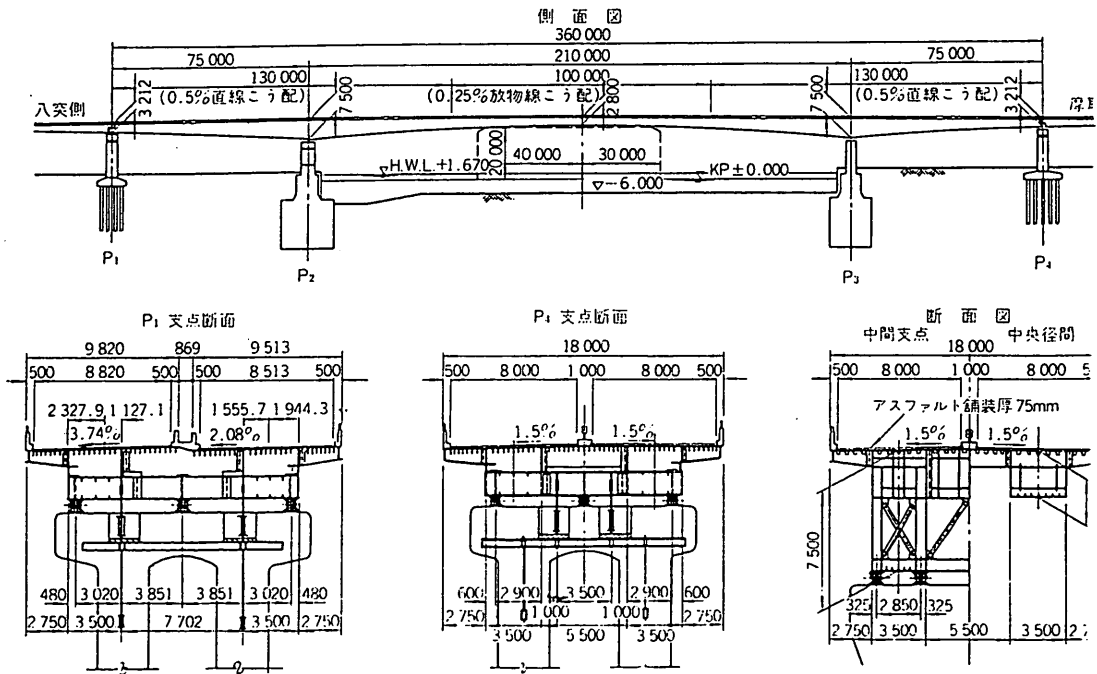


図-5 第2摩耶大橋一般図

橋 長：360m

支 間：75m+210m+75m

幅 員：18~19.2m (4車線)

上部構造：3径間連続鋼床版箱桁橋

鋼 重：4645tf

下部構造：

P1) 場所打ちRC杭 $\phi 1000\text{mm}$, $l=17\text{m}$, 24本
RC門型ラーメン

P2) ニューマチックケーソン基礎
(14m×20m×28m)

RC壁式構造

P3) ニューマチックケーソン基礎
(13m×16m×28m)

RC壁式構造

P4) 鋼管杭 $\phi 1000\text{mm}$, $l=15\text{m}$, 25本
RC門型ラーメン

桁下空間：H.W.L.+18m

本橋梁は4本の橋脚を有しており第8突堤側（西側）から順に番号が付けられている。一方で、港湾幹線道路を構成するすべての橋脚にはポートアイランド側より一連の番号が与えられている。橋梁以外の港湾幹線道路の被害の状況は後述するが、参考のため港湾幹線道路としての橋脚番号も合わせて記しておく（「港幹P××」）。

橋脚のうち特に主橋脚は既設の摩耶大橋と4.5mの距離しか離れておらず近接施工が必要とされたとともに、護岸も兼用する構造となっている。橋脚位置での代表的な土質性状を図-6に示す。

第2摩耶大橋は港湾幹線道路の構造物の中で最も大きな被害が生じた。P1橋脚（港幹P68）では、支承の破壊・脱落が生じた。写真-15に示すように、この支承の破壊は主桁が山側（北側）に20cm程度移動したことによるものと推察される。P2橋脚（港幹P69）では、写真-16に示すように、山側支承基部のコンクリートが圧縮破壊したとともに、この圧縮破壊部よりせん断ひびわれが進展し、破壊に至った。また、山側の支承にはピボット部リングの破壊・脱落が見られた（写真-17）。

東側の主橋脚P3（港幹P70）では、写真-18に見られるように、鉄筋コンクリートの躯体が完全に崩壊した。とくに橋脚基部より上方3m付近の箇所では水平にひびわれが発生し、上下のコンクリートが完全に分離した。また、この破壊面においてほとんどの鉄筋が破断した（写真-19）。P4橋脚（港幹P71）では、躯体に損傷はなかったものの、P1橋脚と同様に支承の破壊・脱落が生じた。

3.4 灘浜大橋

灘浜大橋⁵⁾は、ハーバーハイウェイの中では最も新しい橋梁で1993年2月に完成した。摩耶埠頭と東部第1

工区間の水路をまたいでいる（写真-20）。

構造諸元等を以下に、また図-7に橋梁一般図を示す。

- 橋 長：400m
- 支 間：59.2m+60m+160m+60m+59.2m
- 幅 員：18.0~20.6m（4車線）
- 上部構造：5径間連続V脚ラーメン橋
- 鋼 重：約5000tf
- 下部構造：
 - P1,P2）ニューマチックケーソン基礎
 - P0,P3）場所打杭基礎、RC橋脚
- 桁下空間：NHHWL+27m
- 地震荷重：水平震度0.24

本橋梁には大きな被害は発生しなかった。写真-21に見られるように、P1橋脚（港幹P107）およびP2橋脚（港幹P108）上のピボットシュアのリングが破損・脱落した（全4個の内2個）。また、桁全体が山側（北側）に数十cm移動し、桁下部の排水管がずれて脱落した。同時に、桁の移動に伴って、伸縮装置の変形・破損が生じた（写真-22）。

3.5 灘大橋

灘大橋^{6,7)}は東部第1工区と東部第2工区の水路上に架設された橋梁で、鋼床版型ニールセン橋2連からなっており、1983年6月に完成した（写真-23）。

構造諸元等を以下に、また図-8に橋梁一般図を示す。

- 橋 長：370m
- 支 間：190m+180m
- 幅 員：30.5~18m
- 上部構造：ニールセン橋2連
- 鋼重8200tf
- 下部構造：ニューマチックケーソン基礎

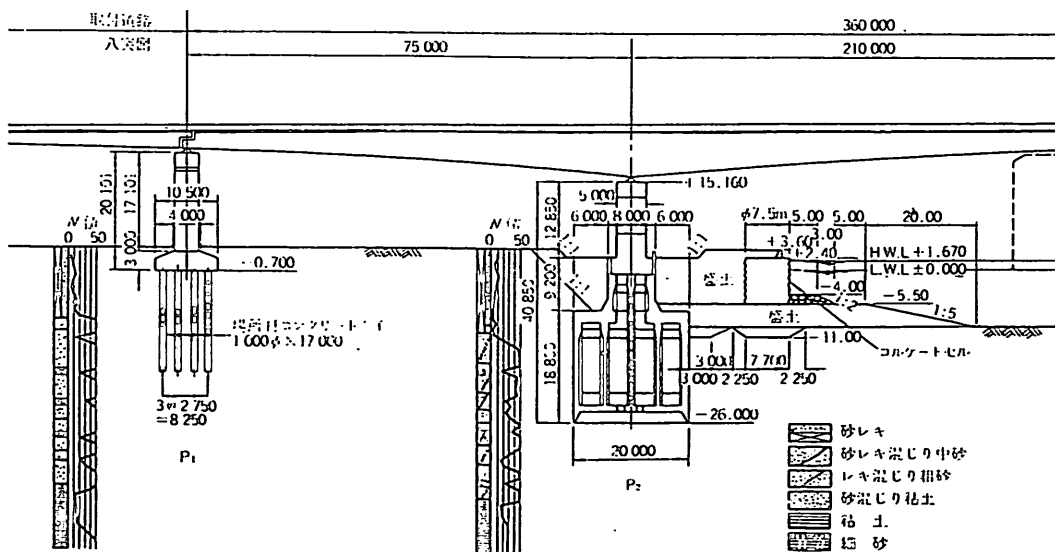


図-6 P1およびP2位置での土質柱状図⁴⁾

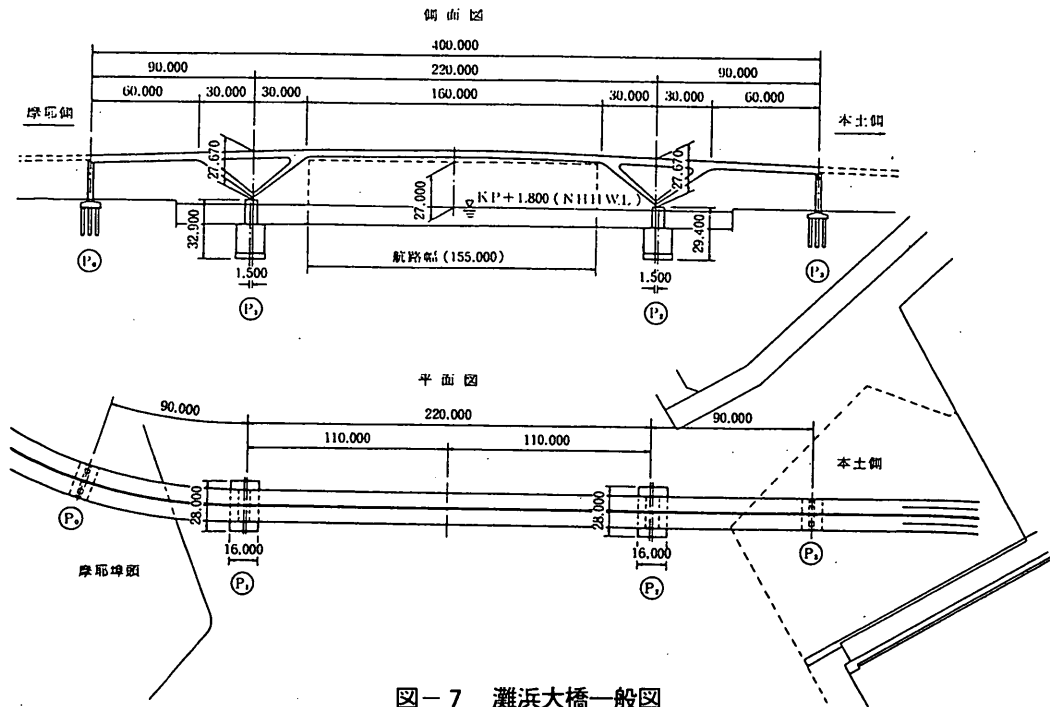


図-7 灘浜大橋一般図

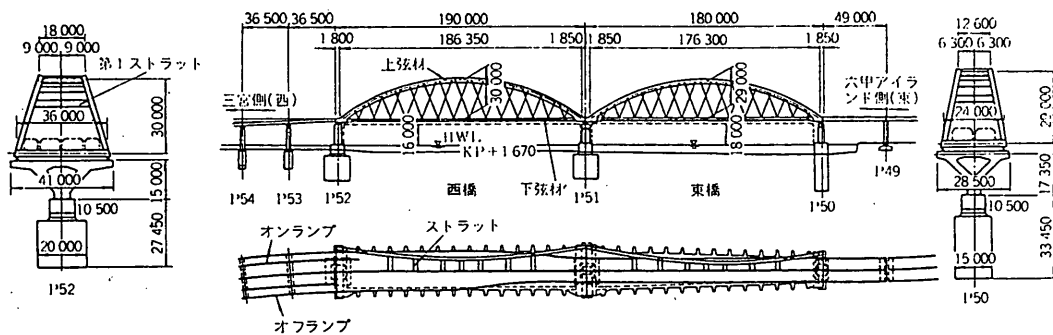


図-8 灘大橋一般図

鋼製Y形橋脚3基
 鋼重3000tf
 桁下空間：H.W.L.+16/18m
 地震荷重：水平震度0.28

橋脚は民間施設の岸壁近くの水域上に設けられるため、基礎工断面を可能な限り小さくすることが求められ、その結果、図-9に示すように、1本柱のY形鋼製橋脚が採用された。

本橋梁でも大きな被害は見られなかった。上部工のケーブルソケット部の緩み、およびケーブル定着部が破損し、ケーブル3本が脱落した。また、桁が移動したことにより伸縮継手にずれが生じ、路面舗装に段差が生じた(写真-24)。

3.6 六甲大橋

六甲大橋^{8,9)}は六甲アイランドと東部第2工区を結

ぶ連絡橋で、1976年6月に完成した。

構造諸元等を以下に、また図-10に橋梁一般図を示す。

橋 長：400m
 支 間：90m+220m+90m
 幅 員：12.5m(3車線), 4m×2(歩道)
 上部構造：3径間連続鋼床版ダブルデッキトラス斜張橋
 鋼 重：7540tf
 下部構造：RC橋脚

- P6(固定) ニューマチックケーソン
 32m×22m, 根入れ深さKP-30m
- P7(可動) ニューマチックケーソン
 26m×20m, 根入れ深さKP-30m
- P5,P8) 鋼管矢板ウエル
 22.3m×10.6m, KP-32m
 鋼管矢板φ1219mm・36本,

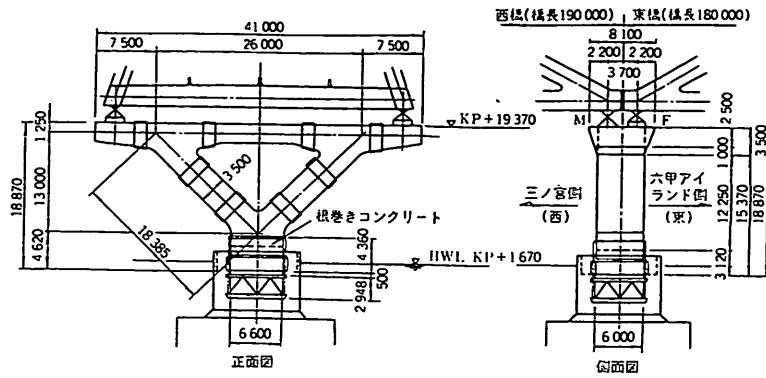
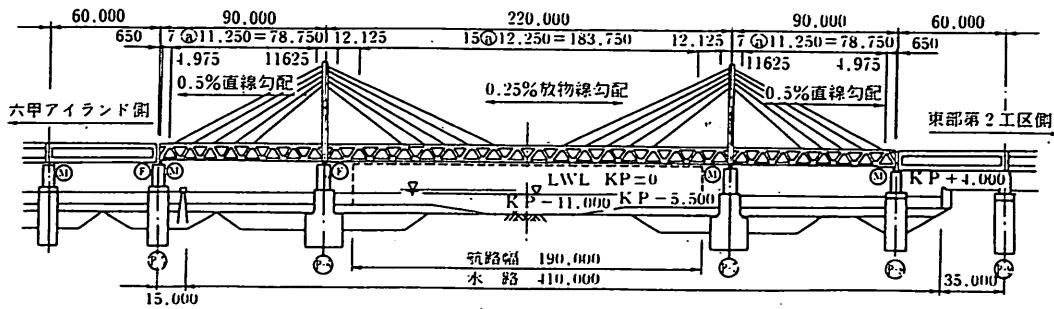


図-9 灘大橋橋脚一般図



断面図

(P6), (P7)

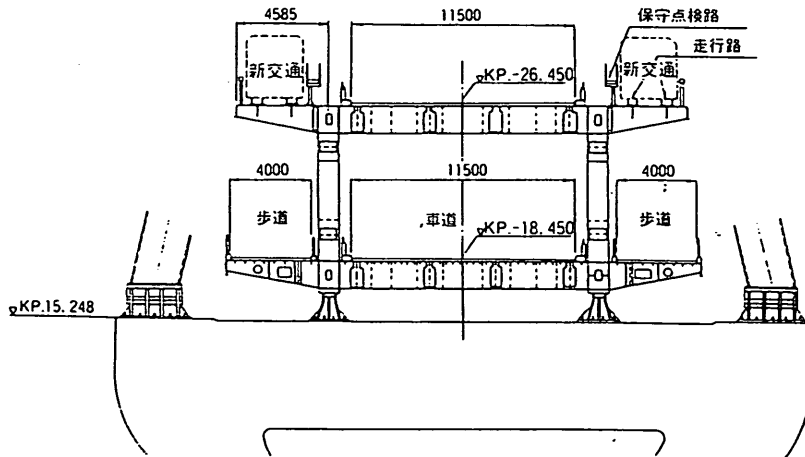


図-10 六甲大橋一般図

φ1066mm・6本

桁下空間：H.W.L.+16m

地震荷重：水平震度0.28

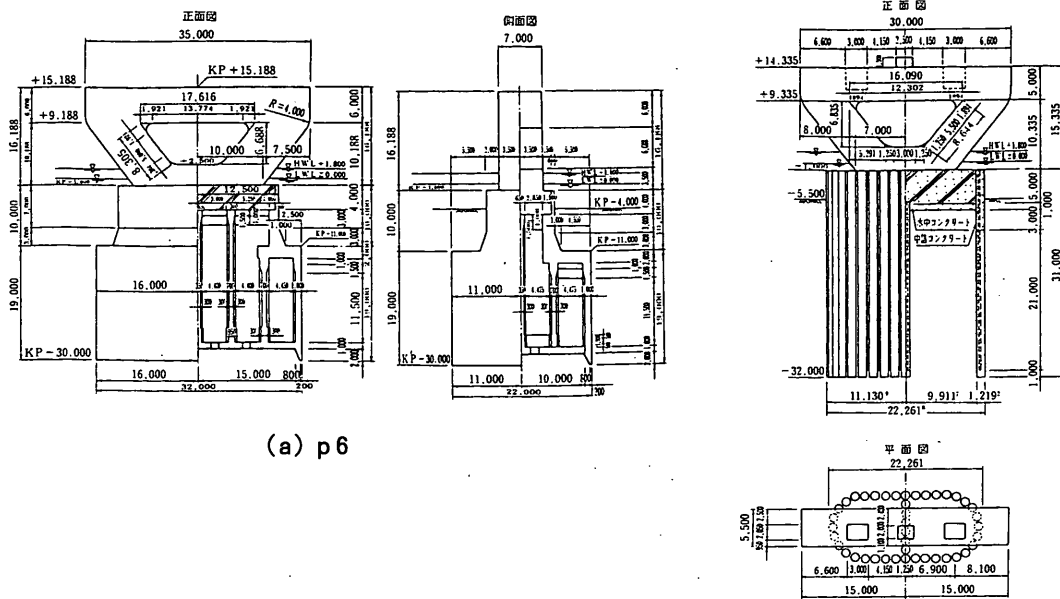
六甲大橋にはダブルデッキの上路部に六甲ライナーの軌道が添架されている。橋脚の構造および主橋脚部の土質性状をそれぞれ図-11および図-12に示す。

橋脚には被害がほとんど見られなかったが、一部の支承には破損が生じた。また、鋼桁の門構の一部に変形や

座屈が生じたことも報告されている。写真-25および写真-26に示すように、橋桁の下面に固定されて設置されているライフラインが数箇所切断され、垂れ下がっている状況も見られた。

3.7 ポートピア大橋

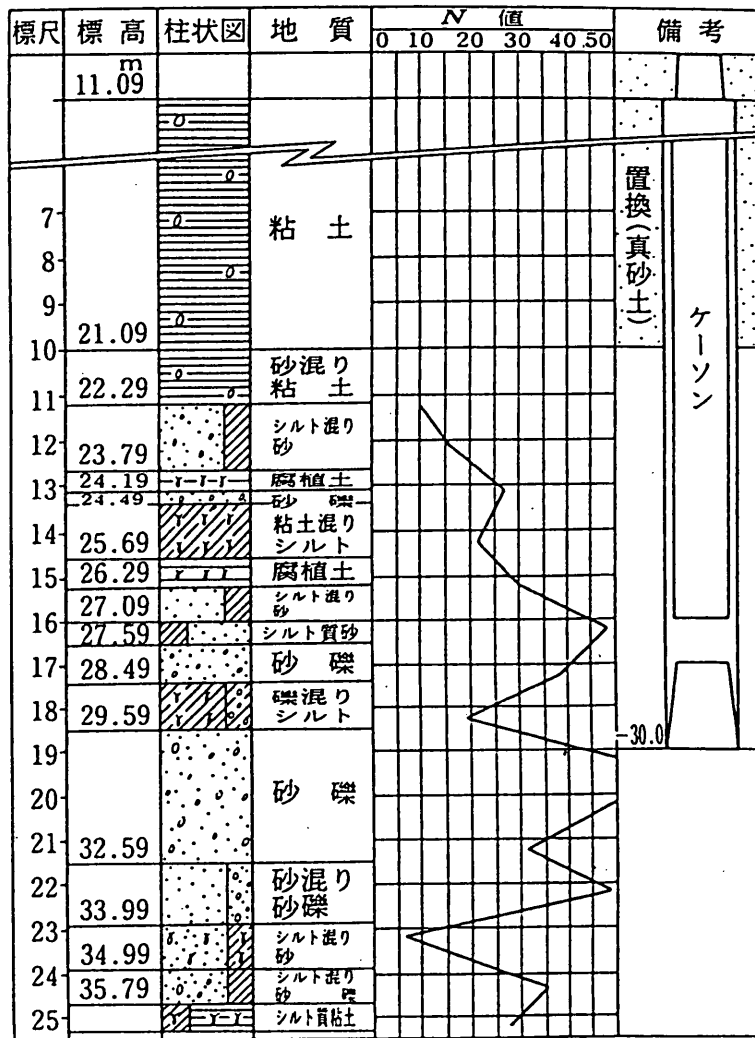
ポートピア大橋¹⁰⁾は、神戸新交通ポートアイランド線専用橋として、第4突堤とポートアイランド間の水路、神戸大橋の東側に併設されている。神戸大橋をはじめ既設の構造物からの制約で橋脚位置が限定され、中央



(a) p 6

(b) 側橋脚

図-11 橋脚一般図



注. 標高はKP (=TP-0 8934)

図-12 主橋脚部土質柱状図⁹⁾

径間250mの大規模な橋梁となり、1981年2月に完成した。
橋梁の構造諸元等の概要を以下に、また図-13に橋梁一般図を示す。

橋 長：522.3m
支 間：64.3m+24.5m+91.5m+250m+91.5m
幅 員：10.65～7.5m
上部構造：4径間箱桁式単弦ローゼ橋
鋼 重：5600tf
下部構造：ニューマチックケーソン
鋼製橋脚
桁下空間：H.W.L.+16/18m
地震荷重：水平震度0.24

ポートピア大橋は神戸大橋に併設され同様の構造をしているにもかかわらず、外観上の被害はまったく認められなかった。神戸大橋は、既に述べたように、橋脚が護岸を兼ねる構造であるため変位が生じたことによる被害があった。しかし、本橋は第4突堤内部に基礎工が設けられているために顕著な変位が生じず、橋梁本体部分に被害が及ばなかったことによるものと思われる。

3.8 西宮大橋

西宮大橋は、尼崎西宮芦屋港において、西宮地区埋立地と西宮市街地を連結する連絡橋として架設されたもので、1983年に完成した。

構造諸元等を以下に、また橋梁一般図を図-14に示す。
橋 長：590m
支 間：40m+40m+60m+90m+140m+90m

+60m+70m
幅 員：23.05m（車道幅員13m）
上部構造：2径間連続曲線非合成箱桁（A1～P2）
5径間連続鋼床版箱桁（P2～P7）
単純鋼床版箱桁（P7～A2）
鋼 重：5600tf
下部構造：全鋼管矢板井筒基礎
RC橋脚

本橋梁では、鉄筋コンクリート製橋脚の破壊や支承の破損など大規模な被害が見られた。支承はほとんどすべてのもので破壊・脱落やずれが生じた。写真-27に示すとおり、P4およびP5橋脚上で支承が破損・脱落し、この位置で上部工が西側へ1m程度移動した。支承の破損により反力バランスが崩れ、支承位置で主桁のダイアフラムに局部座屈が生じたことも報告されている。

橋脚の被害は、P3およびP6橋脚で顕著に見られた。P3橋脚では、写真-28に示すように、海面上約3mの高さにおいて躯体コンクリートに水平ひびわれが生じて破断し、この破断面を境に50cm程度橋軸直角方向にずれが生じた。また、破断面より下側ではコンクリートの圧縮破壊およびせん断破壊が見られ、軸方向鉄筋の座屈や破断も生じた。

P6橋脚においても、写真-29に見られるように、P3橋脚とほぼ同じ位置で躯体コンクリートに大きなひびわれが貫通して発生した。この破断面の途中から、ひびわれが斜め下方向に向かって水中部に進展し、躯体はほぼ完全に破断していた。このひびわれは明らかにせん

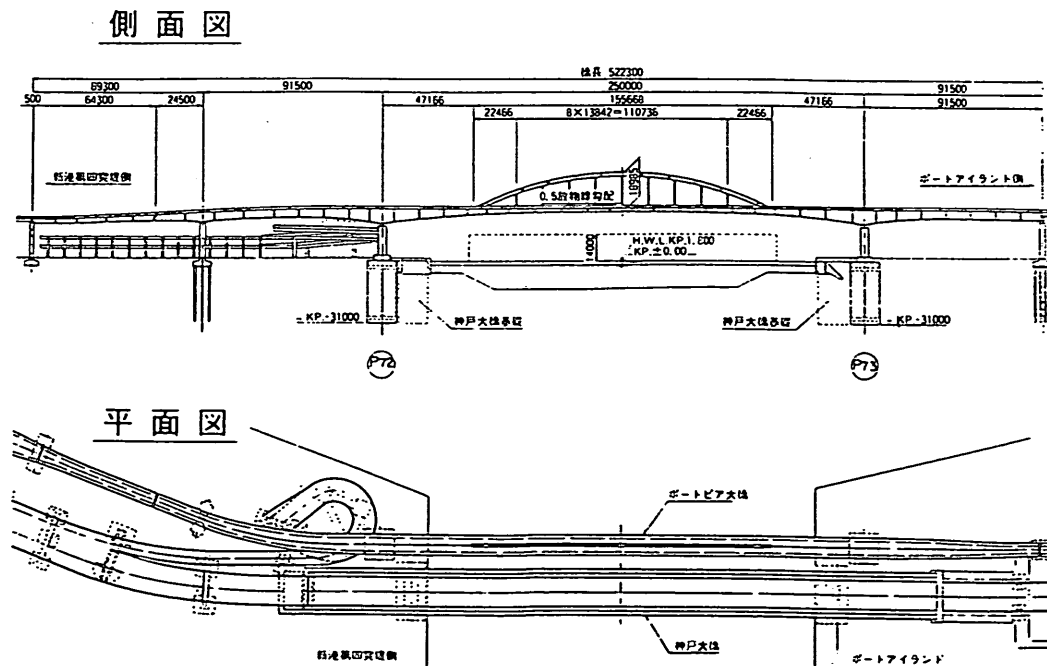


図-13 ポートピア大橋一般図

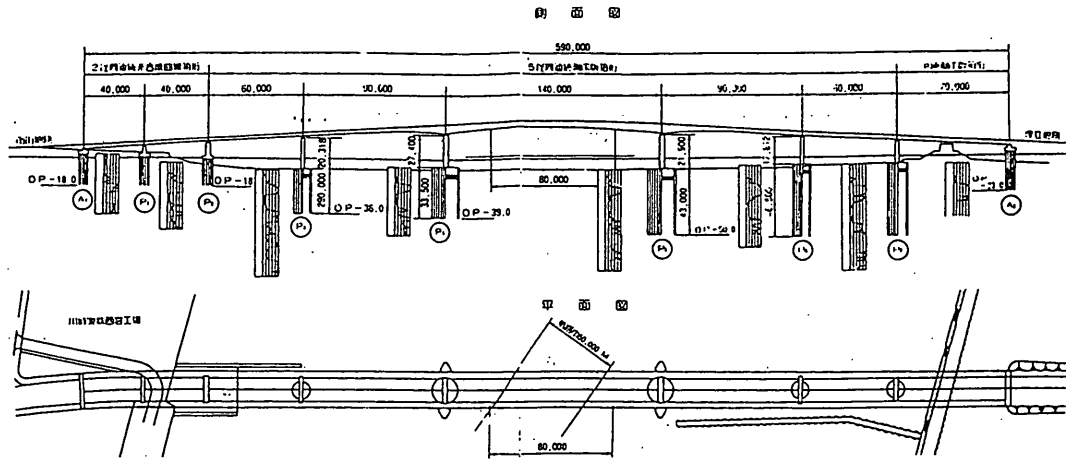


図-14 西宮大橋一般図

断破壊の形状を示している。コンクリートのひびわれと破断が生じた箇所では、軸方向鉄筋や帯鉄筋の破断も認められた。また、橋脚西側側面のかぶりコンクリートが海面上1m程度の位置から剥離し、主鉄筋の座屈が生じた（写真-30）。

P3およびP6橋脚では破断面の位置で主鉄筋の段落とし施工が行われており、鉄筋断面の急変によるせん断応力の集中などが破壊の原因であることも推察される。

これら2つの橋脚以外で大きな被害はなかったが、P2橋脚では橋脚上部の断面変化部で水平方向に曲げひびわれが発生した。また、P5橋脚では支承座面から鉛直方向に曲げひびわれが発生した。

4. 高架道路の被害状況

港湾幹線道路の高架部は全体で約240の橋脚で構成されている。これらの橋脚は建設地点の土質条件や施工条件、道路線形などの制約により鉄筋コンクリートあるいは鋼が用いられている。また、構造形式もラーメン、ラケットなどが採用されている。一例として鉄筋コンクリート製および鋼製のラケットタイプの橋脚の構造図を図-15に示すとともに、新港地区に設けられた高架橋の外観を写真-11に示す。なお、上部工（橋桁）はすべてのものが鋼製である。

高架道路部のこれらの橋脚のうち、約45基の鉄筋コンクリート製橋脚と約5基の鋼製橋脚に大きな被害が見られた。鉄筋コンクリート製橋脚では、コンクリートの圧縮破壊および曲げせん断破壊が主要な破壊形態であり、これらの破壊箇所ではコンクリートが剥離し、同時に主鉄筋の破断や座屈が見られたものもあった。破壊箇所は主に断面変化部や主鉄筋の段落とし部であった。

鋼製橋脚の被害は脆性破断を起こした1基を除いてマンホール部の変形や局部座屈であり、これらはいずれも局部的補修で対応できる程度であった。

高架道路の上部工は、部材の断面が設計地震荷重によ

て決まっていないこともあり、被害の程度はいずれも軽微であった。しかし、落下した桁が2連あったのをはじめ、支承や耐震連結装置の破損、桁ジョイント部の伸縮装置の多くに損傷が生じた。支承や耐震連結装置の破損は、想定震度を超える地震動が作用したことを示している。

以下に顕著な被害が見られた橋脚での被災状況を紹介する。なお、ここでは橋脚番号の最初に付けられている「港幹」は省略する。

P5およびP8橋脚は神戸大橋の側橋脚で、いずれも鉄筋コンクリート製である。両橋脚とも支承を受けるコンクリート台座にひびわれが生じた（写真-32および写真-33）。また、神戸大橋上部工のずれに伴い排水管継目でのずれも見られた。P6およびP7橋脚は神戸大橋の主橋脚であり、これらの被害の状況については既に述べたとおりである。

第4突堤上では、まずターミナルランプの2つの橋桁の落下があげられる（写真-34）。これはターミナルビル内駐車場の入出路で、曲線状の比較的短い桁である。桁連結のための桁掛け違い部がはずれるような形で落下した。写真-35で示すように、桁相互をつなぐ連結板が破断しており、かなり大きな力が作用したものと推察される。港湾幹線道路での落橋はここでの2橋だけである。ターミナルビル北側のランプ（P12橋脚）では、写真-36に見られるようなひびわれが発生した。

さらに北側に位置する港湾幹線道路本線の橋脚は神戸大橋のアプローチ橋の役割を担っているが、ほとんどすべての橋脚に被害が生じた。このために、神戸大橋を経由するポートアイランドへのアクセスが大きく制限されることになった。写真-37～47に被害の状況を示す。橋脚はいずれも鉄筋コンクリート製であるが、柱部にコンクリートの圧縮破壊によるかぶりコンクリートの剥離および鉄筋の座屈が生じた。神戸大橋からのオフランプの状況を写真-48に示すが、各ラーメン橋脚にこれらの被

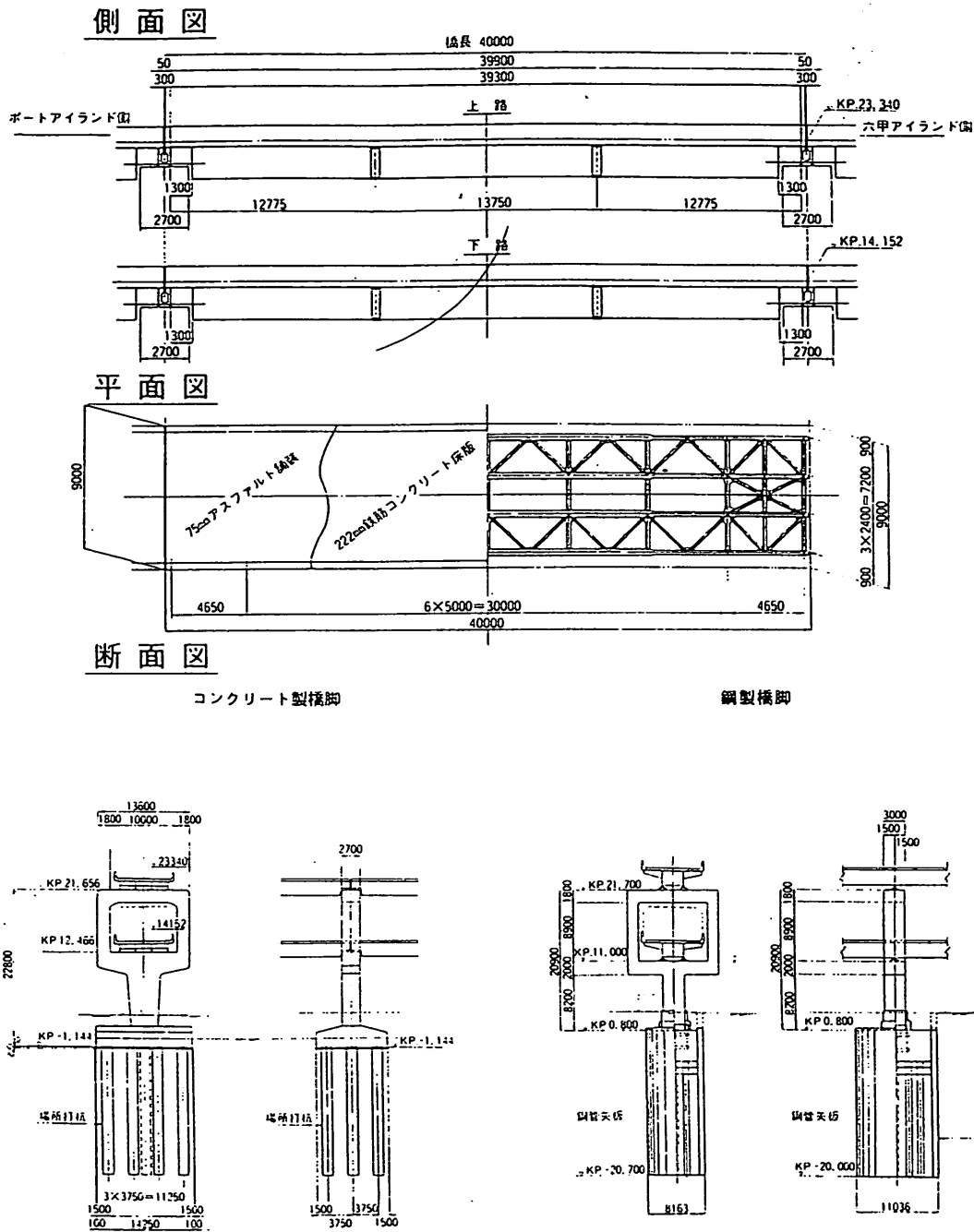


図-15 港湾幹線道路高架部一般図

害が見られるとともに、路面に顕著な段差が生じていることがわかる。

第4突堤基部から第2摩耶大橋に至る新港地区においても相当数の橋脚に顕著な被害が発生した。

P32橋脚は鋼製で、写真-49に示すように、マンホール周辺で局部座屈が生じた。同様の局部座屈はP39橋脚においても生じている。いずれも被害の程度は軽微であり局部的な補修で対応可能である。

P44~P66の橋脚については、写真-50~65に示すように、コンクリートの破壊、鉄筋の破断などの大きな損傷が見られた。P44橋脚(写真-50)は橋脚上部の断面変化部で曲げによると思われる貫通ひびわれが水平方向

に生じた。P45, P46, P47, P50, P53, P55, P56, P57, P58, P59, P60, およびP61のラケットタイプの橋脚にもほぼ同様の形態の損傷が生じた。いずれも橋脚の断面変化部とその下部でコンクリートのひびわれ、剥離が生じた。これは、地震動による繰返し曲げが原因でコンクリートの圧縮破壊が生じたことと、繰返しせん断力によって同様にコンクリートの破壊が進行したためである(橋軸方向面に生じたV形の剥離)。また、コンクリートの剥離位置では、主鉄筋の座屈やはらみ出し、帯鉄筋の破断が生じた。ラーメン形式であるP64~P66橋脚(写真-63~65)では、断面変化部の位置ではないものの、ラケットタイプの橋脚とほぼ同様の形態の破壊が

生じた。

第2摩耶大橋の東側から摩耶埠頭に至る区間においても、鉄筋コンクリート橋脚の破壊、支承の損傷、これに伴う桁移動などの被害が生じた。

写真-66はP71橋脚（第2摩耶大橋のP4橋脚と同じ）以東の橋脚の状況を示す。護岸に近接してこれらの橋脚が建設されているのが特徴であり、図-16に示すP71橋脚の場合には、わずか150cmの距離で護岸に接している。P74橋脚では、写真-67に示すように、橋脚の基部で大きな被害が生じた。破壊の形態は主にコンクリートの圧縮破壊である。また、この位置で大半の主鉄筋がその圧接部において破断（写真-68）したとともに、帯鉄筋が脱落した（写真-69）。P75橋脚は鋼製ラーメン形式であるが、写真-70に示すとおり、南柱上部の隅角部において脆性破断した。写真には写っていないが、反対側の北柱の下部では局部座屈が見られた。鋼部材の脆性破壊は、今回の地震で発生した特徴的な被害で、港湾施設以外の数箇所の構造物でも報告されている。この種の破壊は過去にも例がないので、今後の詳しい破断原因の究明が求められる。

摩耶埠頭から灘浜大橋に至る区間では5基の鉄筋コンクリート製橋脚において大きな被害が生じた。これらの破壊は、写真-71~75に示すように、いずれもこれまでに述べた橋脚の破壊形態とほぼ同じである。すなわち、コンクリートの圧縮破壊およびせん断破壊、主鉄筋の座屈や圧接部での破断（P75）が主要な破壊の形態である。また、鋼製橋脚では部材接合部において局部座屈が生じたものが1基（P89）あった（写真-76）。

灘浜大橋より東側の六甲アイランドに至る橋脚においては顕著な被害が見られず、一部の橋脚のコンクリート

表面にひびわれが生じた程度であった。また、六甲大橋のアプローチ橋となる立体ラーメン部では、一部で支承の破損が見られた。

5. 新交通システムの被害状況

5.1 ポートライナー

ポートライナーは三宮駅から第4突堤～ポートピア大橋を経由してポートアイランドを結び、島内で単線ループを描く全長6.4kmの路線を有し、その中に9駅がある。全線にわたり高架構造で、高架橋が213橋（うち鋼製165、鉄筋コンクリート製48）および橋脚が215基（うち鋼製112、鉄筋コンクリート製103）で構成されている。

構造物の被害は、神戸市の調べによると、三宮駅およびポートターミナル駅の駅舎、54橋の橋梁、3基の鋼製橋脚および13基のRC橋脚に発生し、これ以外にも支承破損などが見られた。

橋脚の主たる被害の形態は傾斜で、港湾幹線道路で見られたような破壊現象は生じなかった。とくに第4突堤に設置された橋脚の一部は直接基礎で設置されている（図-17）が、写真-77に示すような激しい液状化により橋脚の傾斜が生じた。そのため、橋桁が落下する寸前まで変位し、2次災害防止のために地震後早々に桁の撤去が行われた（写真-78）。桁の被害は、支承の破損により桁同志がぶつかりあい、端部が損傷したものが大半であった。

ポートアイランド内では、周辺地盤の液状化によって沈下が生じ、橋脚下端に隙間が発生したこと、あるいは支承の損傷が生じたものの、比較的被害の程度は軽微であった。

5.2 六甲ライナー

六甲ライナーは住吉駅から東部第2工区を経由して六甲アイランド内マリパーク駅に至る4.5kmの複線高架構造で、構造物としては駅舎が6、143橋の高架橋（すべて鋼製）および164基の橋脚（うち鋼製136、鉄筋コンクリート製28）である。これら構造物の設計にあたっては市街地で0.2、島内で0.24の設計水平震度が考慮されている。

被害の状況は住吉駅が大破するなど駅舎の損傷が4駅に、傾斜や局部座屈が20基の橋脚に発生した。また、支承の破損も多くの箇所で見られた。橋脚の傾斜は住吉駅から南魚崎駅に至る区間、東部第2工区内、および六甲アイランド北側で顕著に見られ、これに伴った橋桁の変位が生じた。とくに、六甲アイランド北側の六甲大橋に隣接する箇所では高架橋梁1橋が落下し（写真-79）、周辺の橋脚にも損害をもたらした（写真-80）。また、変位した橋桁の中には変位量が大きく（写真-81）、落橋寸前のものもあった。しかし、この箇所より南側の六甲アイランドの内部では、被害はほとんど発生しなかつ

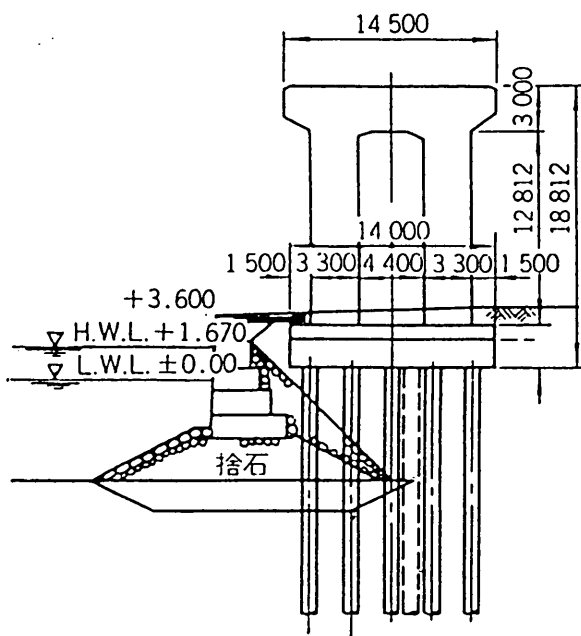


図-16 P71橋脚断面図

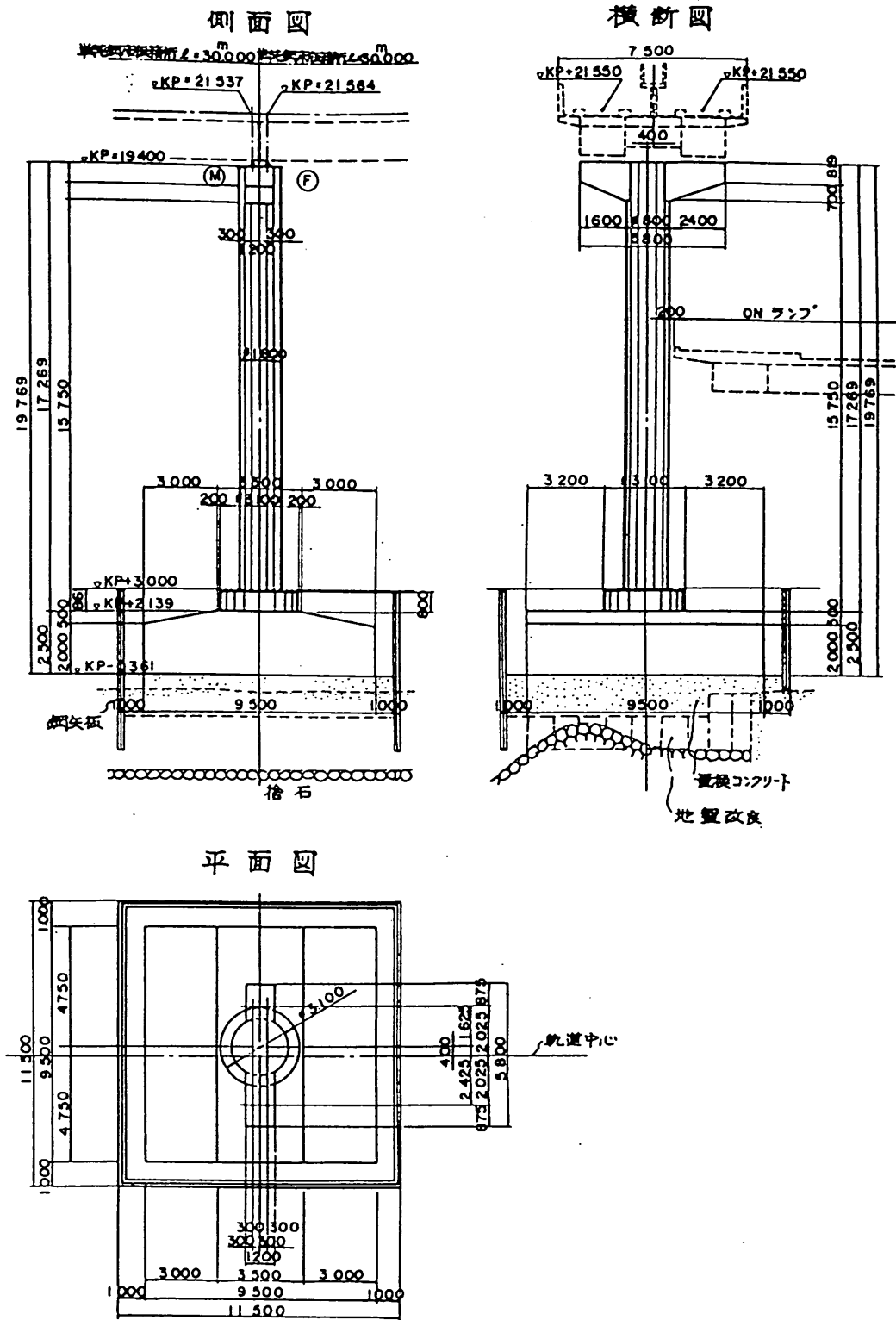


図-17 橋脚一般図 (第4突堤部)

た。

6. まとめ

臨港交通施設の被害は、支承、耐震連結装置の破損・脱落、橋脚の破壊および傾斜が主であった。橋げたは第4突堤において2連が脱落したほか、支承破損による

れや局部座屈等の被害はあるものの全般的には軽微であった。

被害の主要な原因は設計時の想定を超える激しい地震動によるものであり、これに伴って生じた大きな水平力が支承や耐震連結装置などの破損、橋脚の曲げ-せん断破壊や座屈をもたらしたと言える。とくに鉄筋コンクリート製の橋脚ではコンクリートの柱全周にわたる破壊・剥

離や主鉄筋の破断，座屈など被害の程度が大きかった。今後これらに対処するためのせん断耐力の向上方策の検討が必要であろう。

また，被害の大きかった施設はポートアイランド北部から新港埠頭，摩耶埠頭の範囲に比較的集中していた。これらの地域では地震動の大きさや卓越方向，あるいは液状化発生の有無や程度が他の地区に比べてより厳しく構造物に作用し，このことが被害の大きさに結びついた可能性もある。

外観上観察できるこれら被害に加えて，基礎の被害が阪神高速道路などで報告されている。臨港交通施設の基礎の被害については現在詳細な調査が行われており，今後の調査結果の分析が必要である。

ここで述べた臨港交通施設の被害状況は，地震発生直後に行った現地調査結果に基づいており，本文で用いた写真は地震発生直後の1月19日～21日および2月1日に撮影したものである。被害の状況については筆者が直接確認したものに限定して述べたが，一部の被害状況については兵庫県土木部港湾課および神戸市港湾局が取りまとめた情報に基づいた。貴重な資料を提供して下さったこれら関係者各位に深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 神戸市港湾局工事課：神戸港港湾幹線道路ハーバーハイウェイ，神戸市広報印刷物，1993年2月
- 2) 安孫子享一・中村五郎・島田喜十郎：神戸大橋（本橋部）の概要，土木技術，Vol.25，No.3，pp.77～89
- 3) 毛利 治・岡田重豊・池田貞夫・中野雄太：摩耶大橋の設計と施工，土木学会誌，1967年4月，pp.18～23
- 4) 脇 茂行・池田貞夫：第二摩耶大橋の設計と架設，橋梁と基礎，76-1，1976年，pp.12～17
- 5) 田外吉則・酒井 修：灘浜大橋の設計と施工状況，橋梁，Vol.26，No.1，1990年1月，pp.47～55
- 6) 江口政秋・西村九郎・高山弘美・大辻秀明：灘大橋の設計，橋梁と基礎，84-1，1984年，pp.35～41
- 7) 江口政秋・高田恒男・池田慎一・松本国明：神戸市灘大橋橋脚の施工，土木施工，Vol.24，No.15，1983年12月，pp.24～33
- 8) 松浦勢一・横山頭二・田外吉則：六甲大橋上部工の設計と架設，土木学会誌，1976年9月，pp.26～33
- 9) 田外吉則・岡下勝彦：六甲大橋の基礎工，基礎工，1992年5月，pp.30～35
- 10) 横山頭二・赤尾 宏：神戸新交通ポートピア大橋上部工の設計，土木学会誌，1980年11月，pp.15～20



写真-1 神戸大橋（第4突堤よりポートアイランド側）

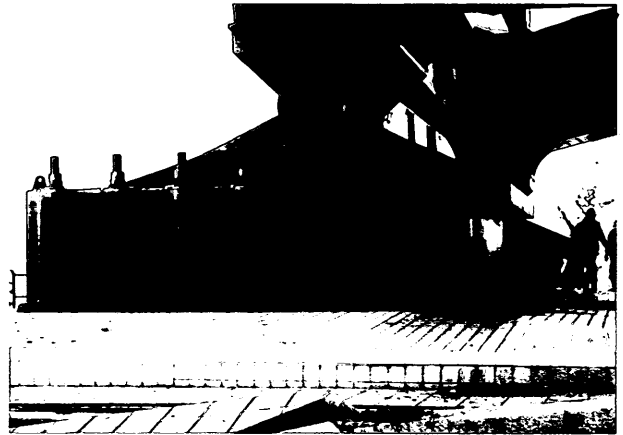


写真-4 神戸大橋第4突堤上の支承のずれ
（南←→北）

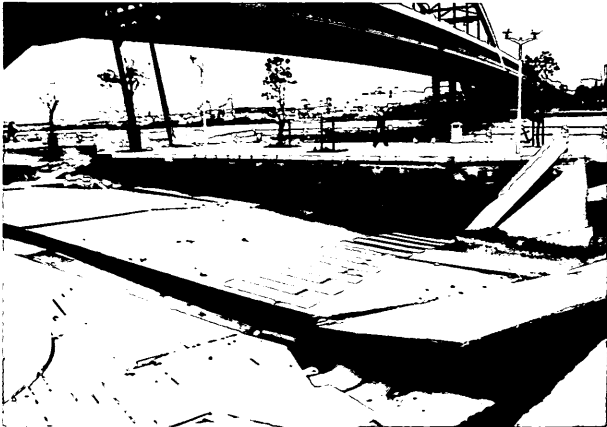


写真-2 第4突堤先端



写真-5 アンカーボルト



写真-3 第4突堤上の支承周辺



写真-6 ポートアイランド側支承周辺

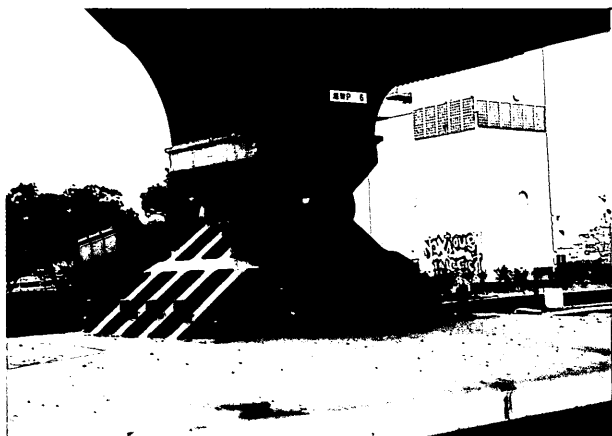


写真-7 神戸大橋・ポートアイランド側支承

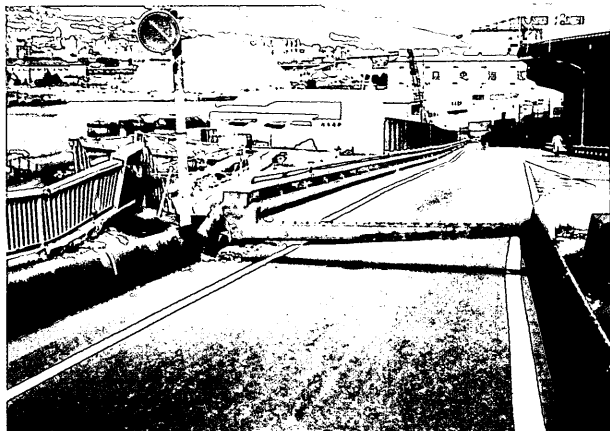


写真-10 摩耶大橋・摩耶側伸縮装置 (P8) でのずれ

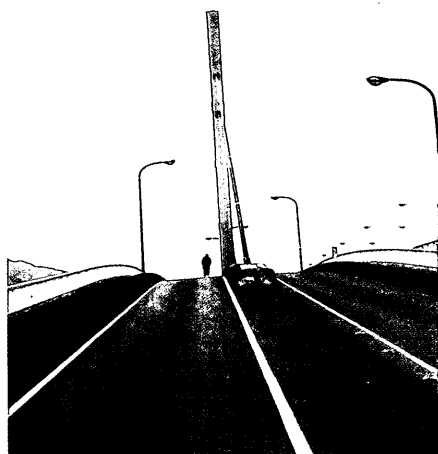


写真-8 摩耶大橋主塔の傾斜 (北← →南)

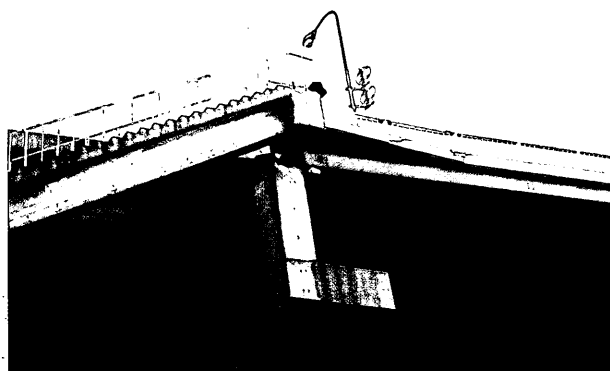


写真-11 摩耶大橋P8 歩道階段取付部の破損

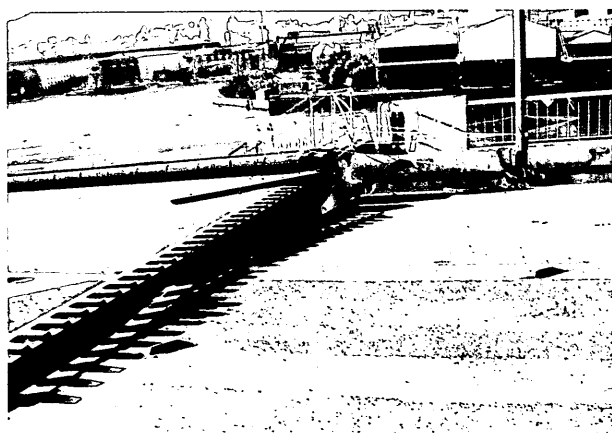


写真-9 摩耶大橋・第8突堤側伸縮装置 (P6) でのずれ

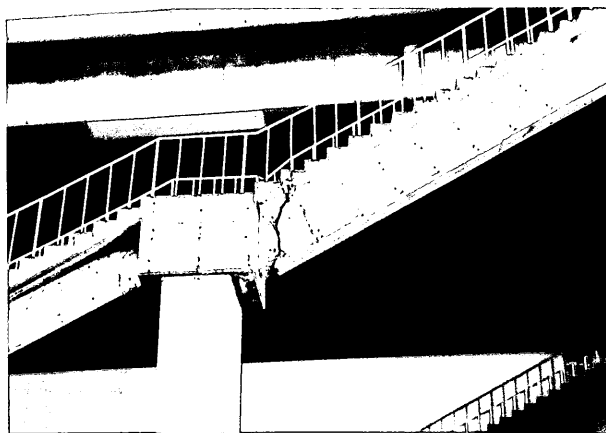


写真-12 摩耶大橋階段コンクリートの破損



写真-13 摩耶大橋A2橋台（摩耶側）取付部

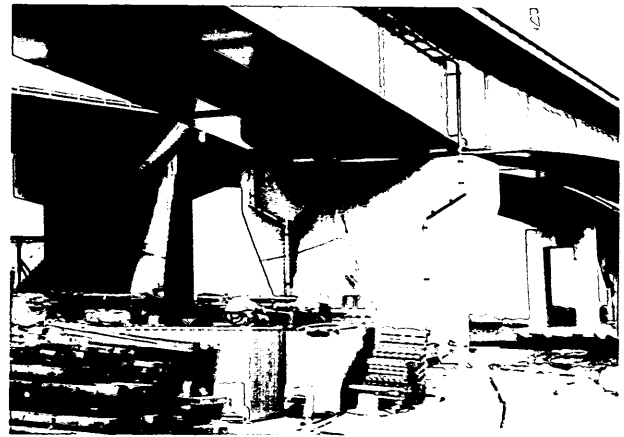


写真-16 第2摩耶大橋P2橋脚（港幹P69）南西側

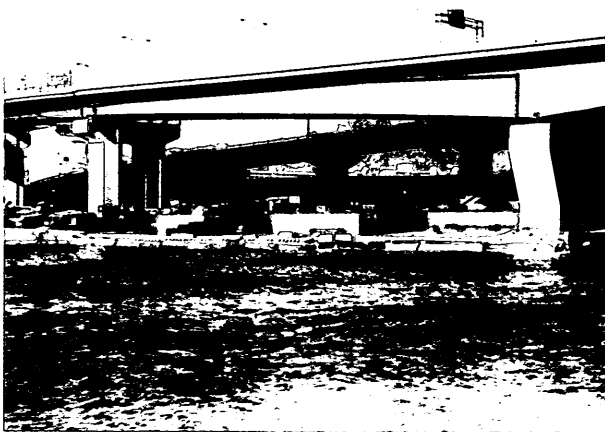


写真-14 第2摩耶大橋第8突堤側（P1およびP2）

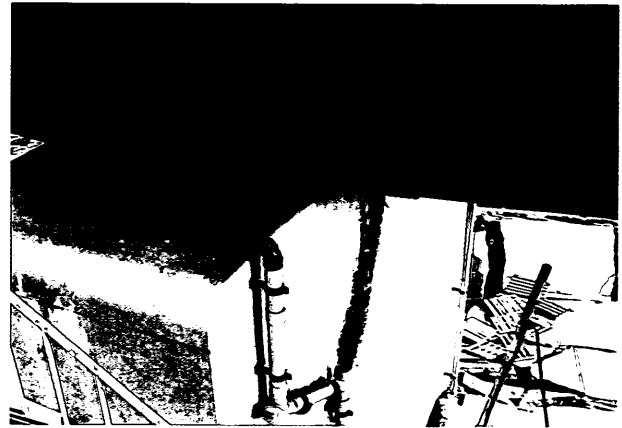


写真-17 第2摩耶大橋P2橋脚（港幹P69）上面

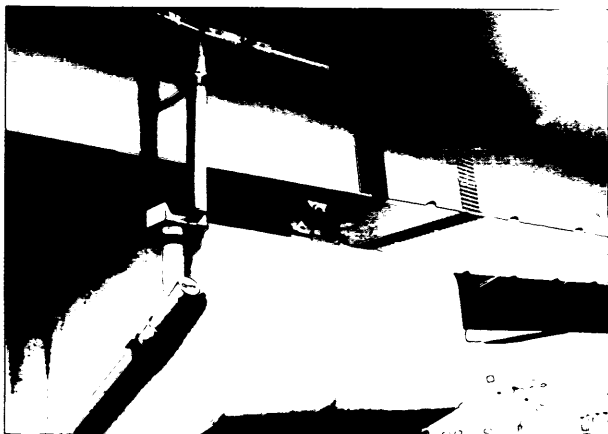


写真-15 第2摩耶大橋P1橋脚（港幹P68）での支承破損



写真-18 第2摩耶大橋P3橋脚（港幹P70）南西（左側は摩耶大橋P8橋脚）

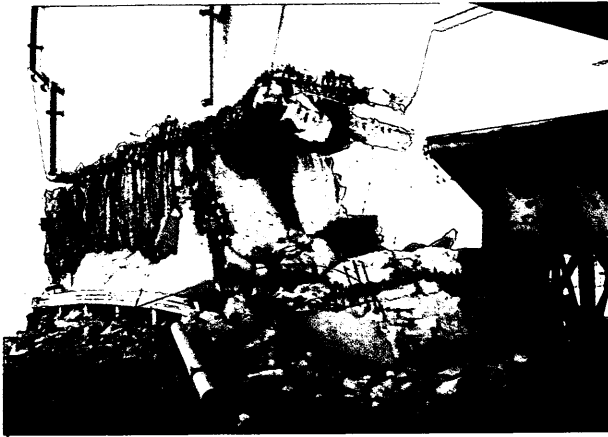


写真-19 第2摩耶大橋P3橋脚（港幹P70）北東面

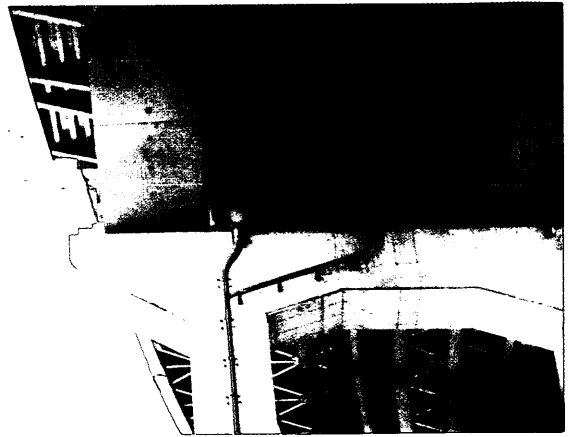


写真-22 瀬浜大橋桁のずれ、排水管のはずれ

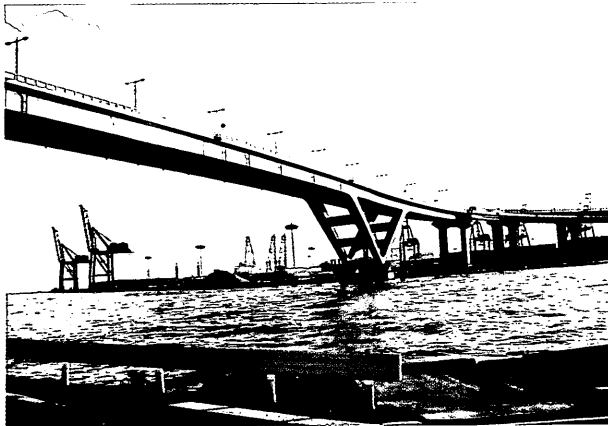


写真-20 瀬浜大橋

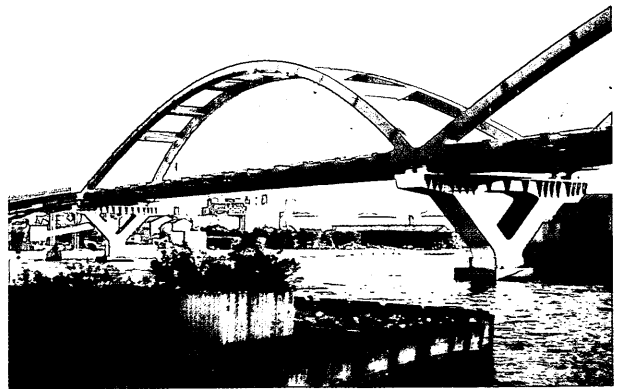


写真-23 瀬大橋

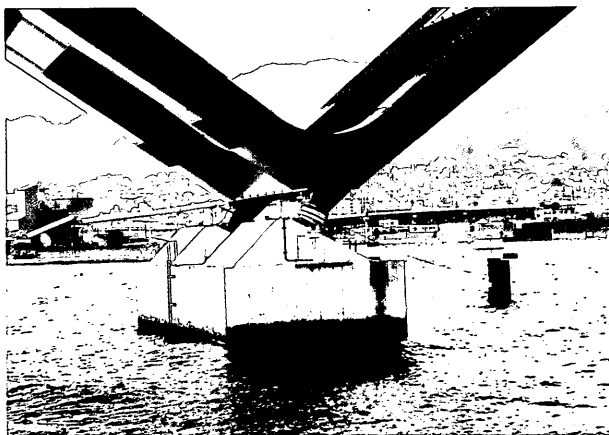


写真-21 瀬浜大橋P1でのピポットシューリングの破損（向こう側）

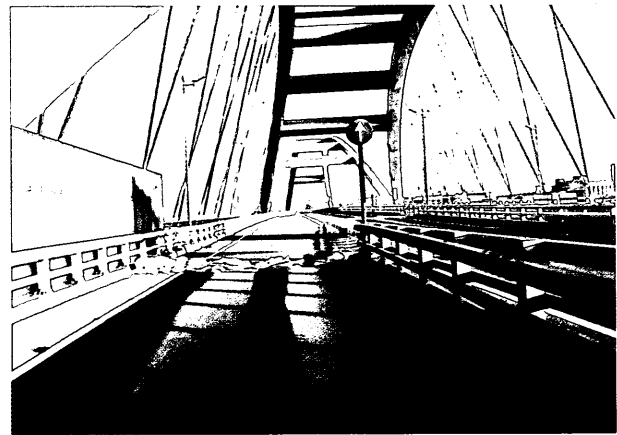


写真-24 瀬大橋橋桁舗装路面の段差



写真-25 六甲大橋 (ポートアイランド側を望む)

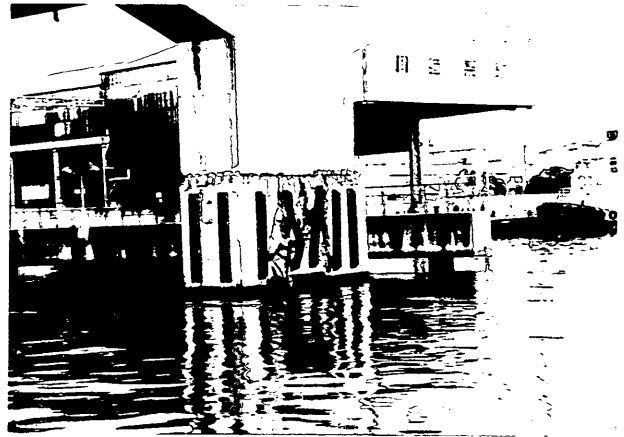


写真-28 西宮大橋P 3 橋脚 (南西面)



写真-26 六甲大橋 (陸側を望む)

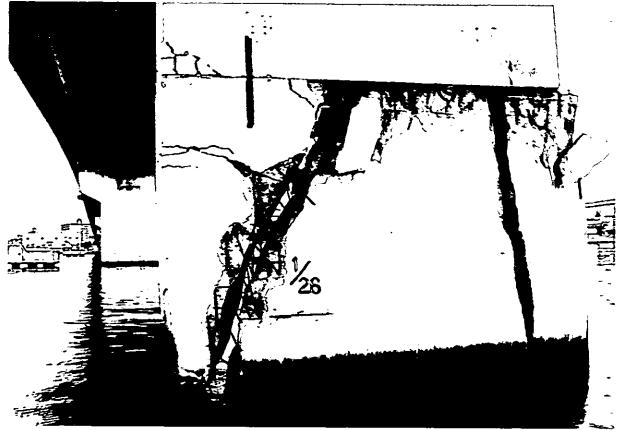


写真-29 西宮大橋P 6 橋脚 (南面)

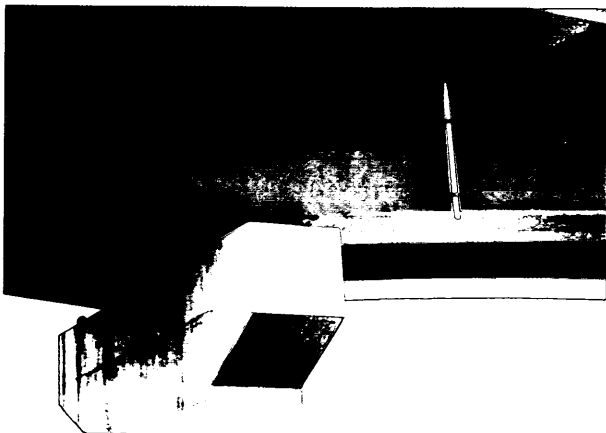


写真-27 西宮大橋支承の破損



写真-30 西宮大橋P 6 橋脚 (南西面)

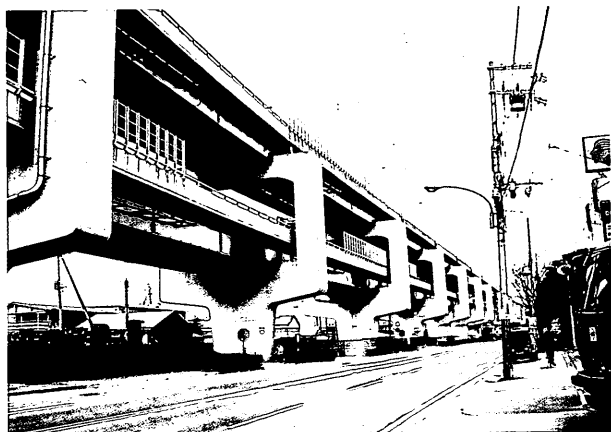


写真-31 港湾幹線道路高架部（新港地区）

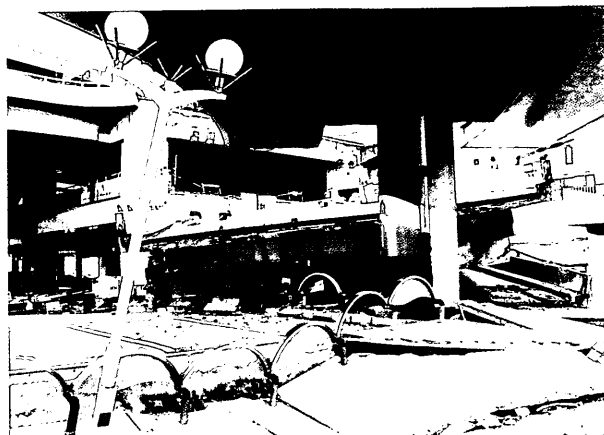


写真-34 ターミナルランプ橋桁の落下

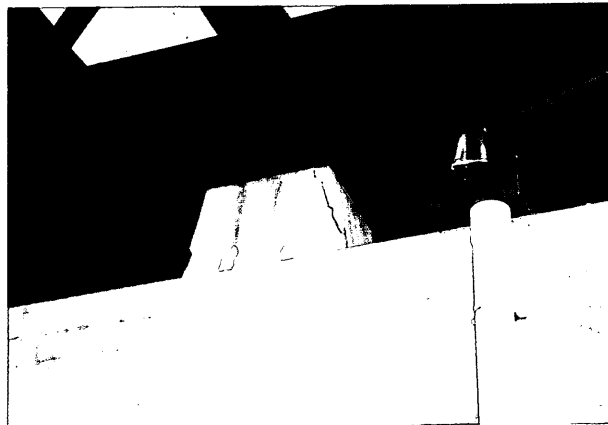


写真-32 港湾幹線道路橋脚P5

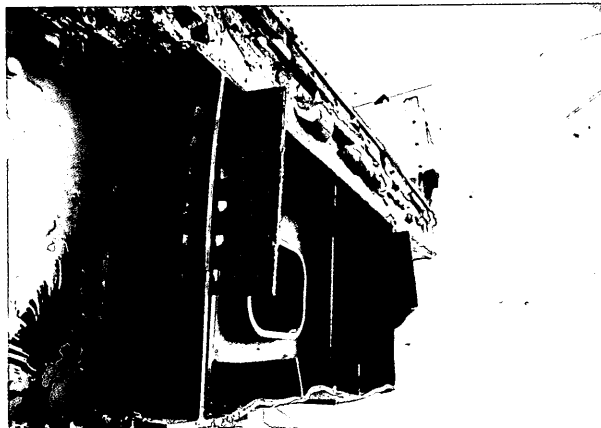


写真-35 連結板の破断



写真-33 港湾幹線道路橋脚P8



写真-36 港湾幹線道路橋脚P12東柱



写真-37 港湾幹線道路橋脚P16東柱



写真-40 港湾幹線道路橋脚P17東柱



写真-38 港湾幹線道路橋脚P17西柱

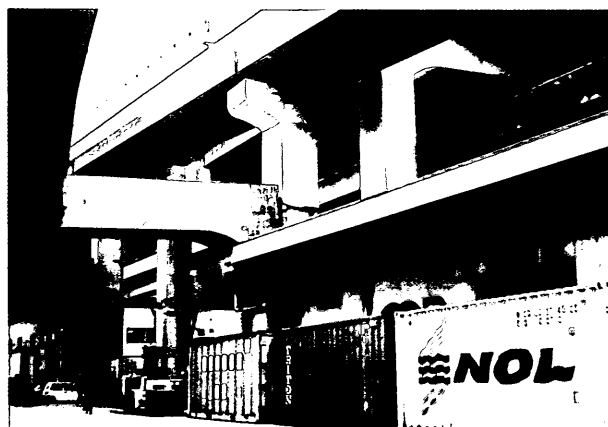


写真-41 4突ランプ(港幹P17)



写真-39 港湾幹線道路橋脚P17西柱(拡大)



写真-42 港湾幹線道路橋脚P21東柱

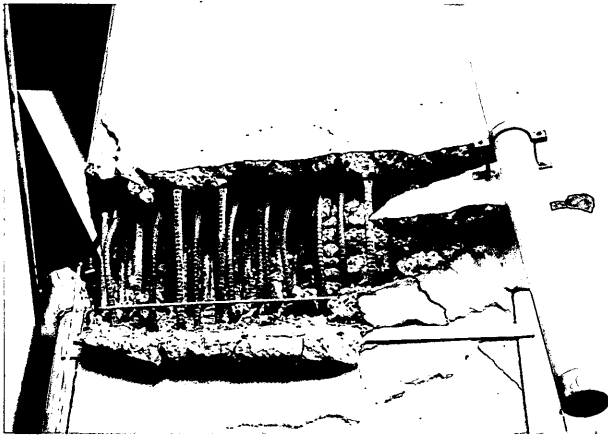


写真-43 港湾幹線道路橋脚P23東柱



写真-46 港湾幹線道路橋脚P26西柱

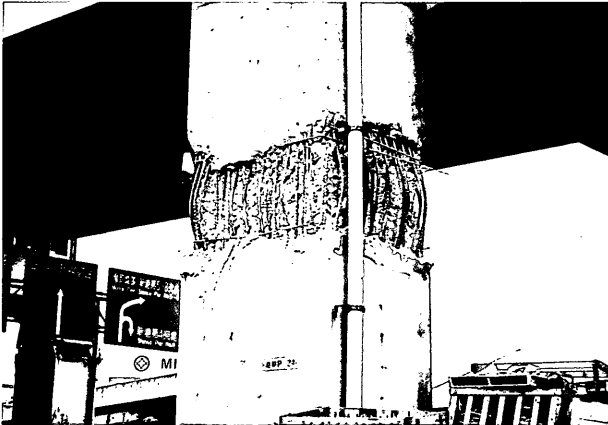


写真-44 港湾幹線道路橋脚P24西柱



写真-47 港湾幹線道路橋脚P26東柱



写真-45 港湾幹線道路橋脚P25東柱



写真-48 港湾幹線道路神戸大橋からのオフランプ
(第4突堤) (手前からP25,P24,...)

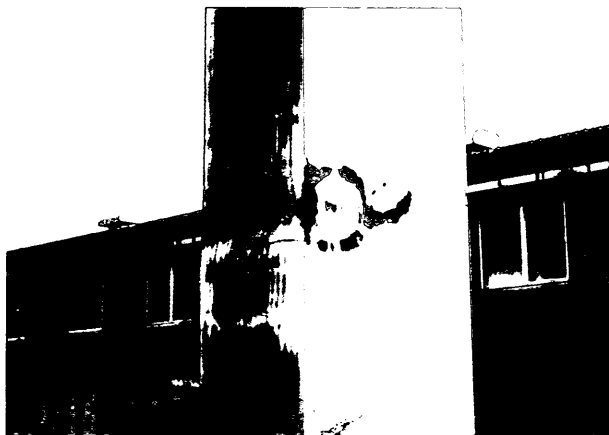


写真-49 港湾幹線道路橋脚P32



写真-52 港湾幹線道路橋脚P46



写真-50 港湾幹線道路橋脚P44

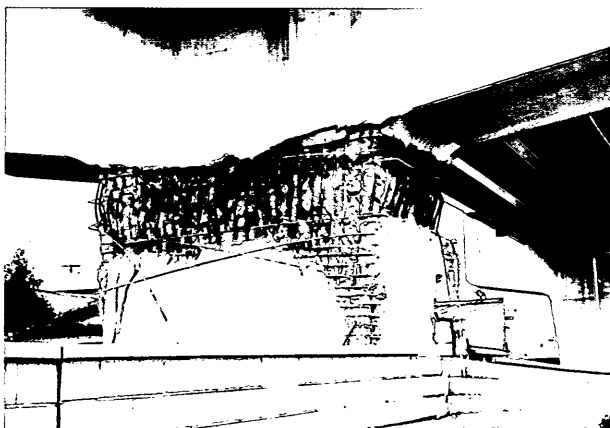


写真-53 港湾幹線道路橋脚P47



写真-51 港湾幹線道路橋脚P45



写真-54 港湾幹線道路橋脚P50



写真-55 港湾幹線道路橋脚P53

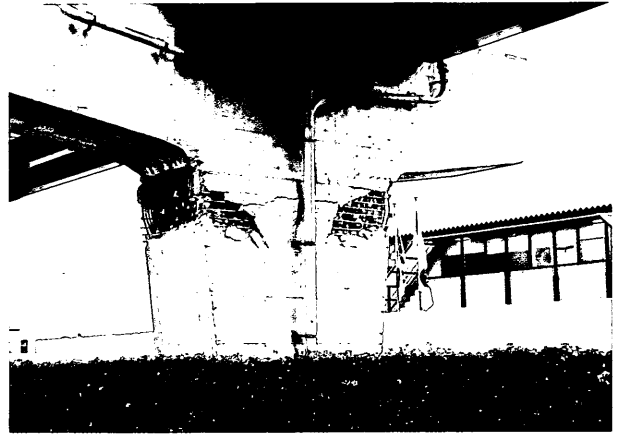


写真-58 港湾幹線道路橋脚P57



写真-56 港湾幹線道路橋脚P55

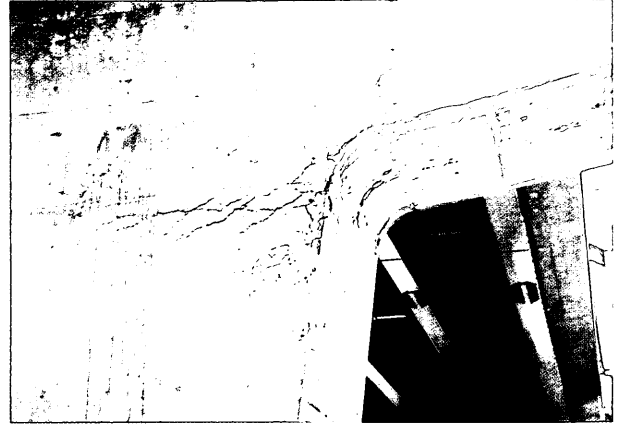


写真-59 港湾幹線道路橋脚P58



写真-57 港湾幹線道路橋脚P56



写真-60 港湾幹線道路橋脚P59



写真-61 港湾幹線道路橋脚P60

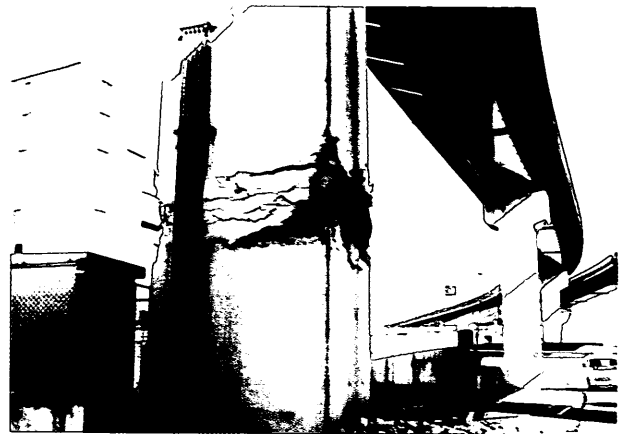


写真-64 港湾幹線道路橋脚P65



写真-62 港湾幹線道路橋脚P61



写真-65 港湾幹線道路橋脚P66



写真-63 港湾幹線道路橋脚P64

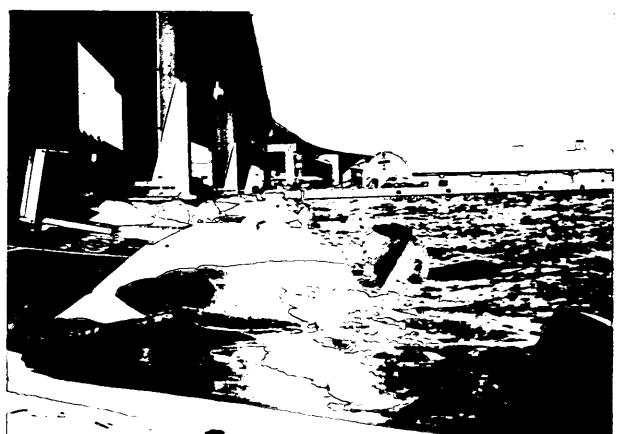


写真-66 港湾幹線道路橋脚P71~



写真-67 港湾幹線道路橋脚P74

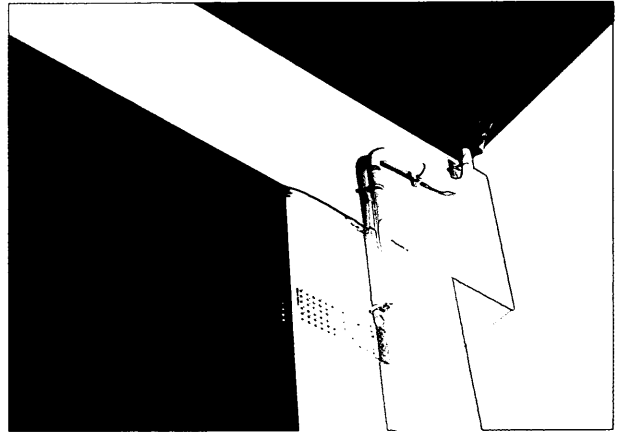


写真-70 港湾幹線道路橋脚P75



写真-68 主鉄筋の圧接部での破断 (P74)



写真-71 港湾幹線道路橋脚P83



写真-69 主鉄筋の座屈と帯鉄筋の脱落 (P74)



写真-72 港湾幹線道路橋脚P84



写真-73 港湾幹線道路橋脚P85

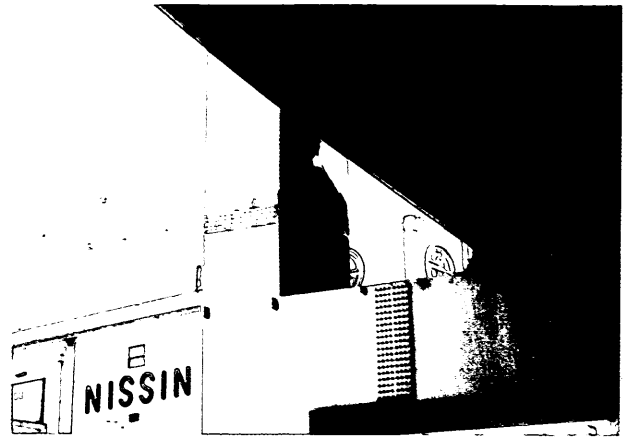


写真-76 港湾幹線道路橋脚P89



写真-74 港湾幹線道路橋脚P86



写真-77 第4突堤での液状化

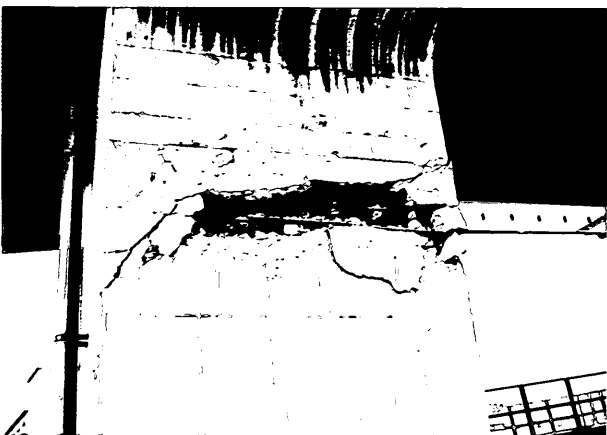


写真-75 港湾幹線道路橋脚P87



写真-78 ポートライナー橋脚(第4突堤)
(桁はすでに撤去されている)

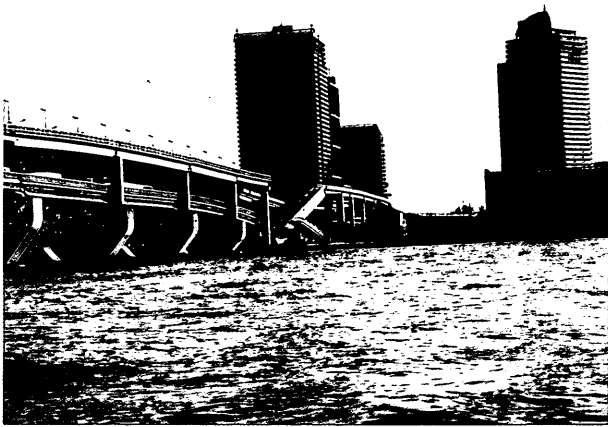


写真-79 六甲ライナー桁の落下

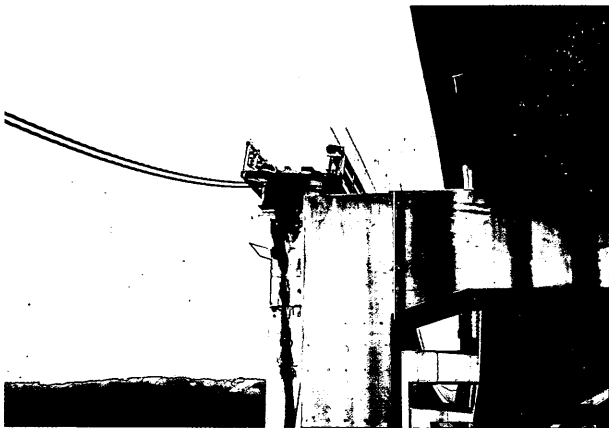


写真-80 桁落下部の橋脚



写真-81 六甲ライナー橋桁の変位

港湾技研資料 No.813

1995・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 (有)つばさ印刷技研

Published by the Port and Harbour Research Institute. Nagasaki, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1995) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複製は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。