

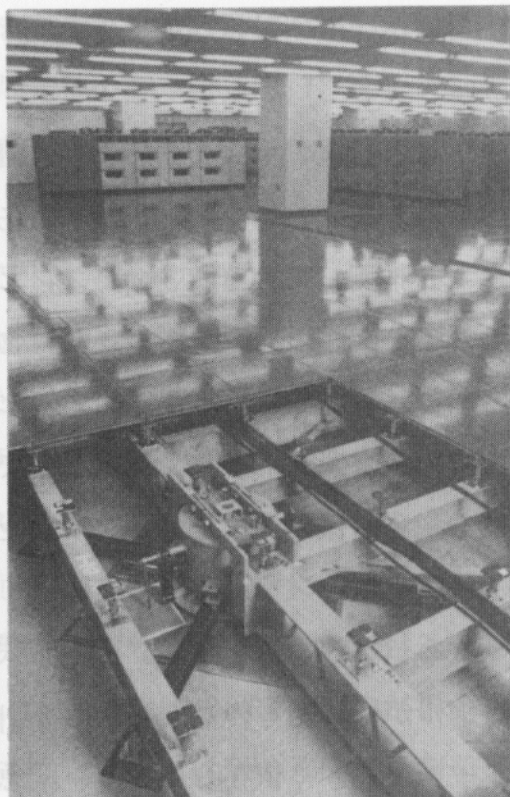
5. 3. 情報関連施設

ここではコンピュータ関連の被害状況についてのみ記す。通産省情報処理振興課では、兵庫県内で千台以上とみられる大型コンピュータのうち、少なくとも2割から3割が何らかの被害を受けたと推測している[5.3-1]。コンピュータの被害の大部分は建物の倒壊が原因と思われるが[5.3-2]、倒壊を免れた建物内にあるコンピュータの中の一部で被害が生じている。被害の内容はホストコンピュータの転倒や、水平移動に伴う衝突などによる破損、電源ケーブルの切断などである。たとえば公共機関の一部では住民基本台帳や税務関係の業務を管理していたコンピュータが転倒した[5.3-2]。また一部の金融機関ではオンラインが機能停止し、預金の引き出し業務等ができなくなったりしたところもあった[5.3-3],[5.3-4]。その他民間企業のホストコンピュータも横転し、電源ケーブルが切れたものがあった[5.3-2]。現在の高度情報社会は言うまでもなくコンピュータに大きく依存しており、緊急時にも、あるいは緊急時にこそ、その機能を保証させ得る技術が必要となる。

当社では、コンピュータを地震から守る技術の一つとして、ダイナミック・フロア・システム（免震床）がある。このシステムは1976年に大林組が開発したもので、免震装置を支点にして床全体を浮かせた二重床構造とし地震力を吸収するものである。ダイナミック・フロア・システムの概略を写真5.3-1に示す。すでに10万 m^2 以上の施工実績があり、約50%のシェアを有する。このうち、阪神地域には11件、2万3千 m^2 が施工されている。図5.3-1に阪神地域におけるダイナミック・フロア・システムの設置状況を示す。表5.3-1には兵庫県南部地震におけるダイナミック・フロア・システムの作動状況を示す。今回の地震では、Gビル6階の免震床が水平方向に18cm動いたのが最大で、このビルをはじめ全てのコンピュータの機能に影響はなかった。その作動例として、Gビル6階の免震床の軌跡を図5.3-2に示す。

[金子正孝]

(2) 基礎の被害の
 ① 埋立地や人工高
 痛災建屋設計研谷直
 衣博びあふふか心
 補大の害発のや中央
 そおびもかなあの内
 木りや開演の容によ
 夫空は身ちび等まあ
 開演水も可定びて高
 業」海岸地の整野ち
 べられん本の業金開
 井野前更演多密更た
 築標準ま想とち交積
 える。



建築要聞誌附 . 8 . 2
 で液状化に起因する地盤の
 固ま七た等移基礎がこふな
 以上台干つ内泉車具 ,おつ
 分害発の依る湧下諸た,さ
 等原因風圧吹舞の傳響いそ
 直は害発な難々の中のや
 口もは突涌新用ひ観野研
 合本基列井おつ指一の関對
 金の諸をびまじた底跡が認
 るもはほば水るを深隆砂着
 大感事こど研野さでち,エト
 ちくたり公多をを有と合

写真5.3-1 ダイナミック・フロア・システム
 Photo 5.3-1 Dynamic Floor System

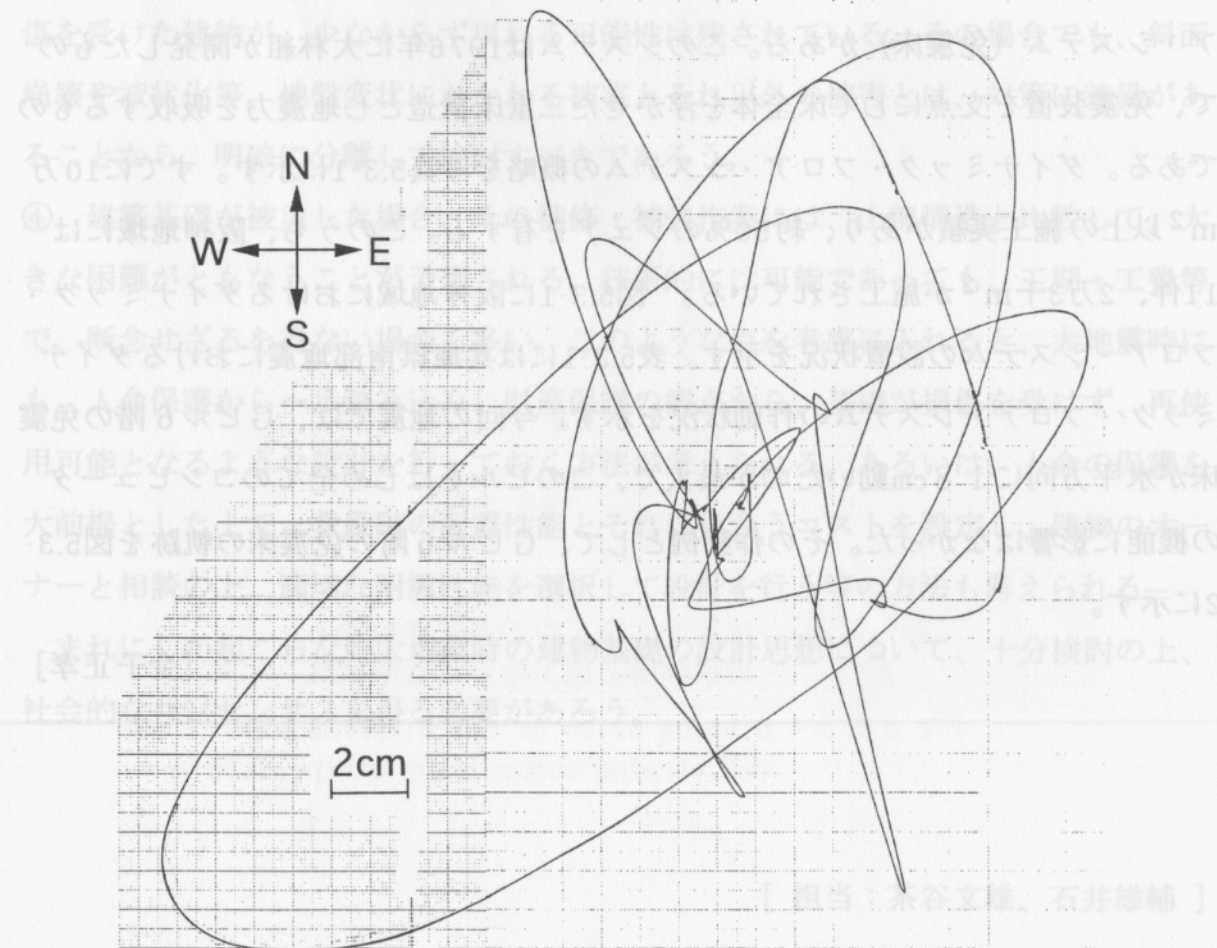


図5.3-2 観測された免震床の水平移動軌跡
 Fig. 5.3-2 Measured Lateral Displacement Orbit of the Dynamic Floor



図5.3-1 阪神地域における設置状況

Fig. 5.3-1 Building Location having Dynamic Floor System around Hanshin Area

表5.3-1 作動状況

Table 5.3-1 Performance of Dynamic Floor System during the Earthquake

工事名称	竣工年月	建物概要		免震床		コンピュータ稼働状況	免震床作動状況
		規模	構造	設置階	システム		
Aビル	'83. 1	地上2F	RC	2	3次元	正常稼働	水平15mm
Bビル	'94. 5	地上6F・地下1F	SRC	6	水平	正常稼働	水平100mm以上
Cビル	'93. 5	地上5F	RC	3,4	水平	正常稼働	水平10mm
Dビル	'93.12	地上4F・地下1F	RC	2	水平	正常稼働	水平50~100mm
Eビル	'87. 5	地上2F	S	2	3次元	正常稼働	若干作動
Fビル	'91. 9	地上8F・地下1F	SRC	5,6,7	水平	正常稼働	若干作動
Gビル	'92. 3	地上6F	S	3,4,5,6	水平	正常稼働	水平60~180mm
Hビル	'91.12	地上8F・地下1F	SRC	3,5,6,8	水平	正常稼働	若干作動
Iビル	'79. 6	地上5F・地下1F	SRC	3	3次元	正常稼働	水平は若干作動
Jビル	'79.10	地上4F	RC	3	3次元	正常稼働	非作動
Kビル	'81. 4	地上4F・地下1F	SRC	4	3次元	正常稼働	水平10mm

害新のムラスと計販・器器 (1)

5.4 ライフライン

ライフライン関係は朝日新聞、読売新聞、日刊建設工業新聞、電気新聞、神戸大学工学部、兵庫県南部地震緊急報告被害調査報告書等の記事・文献から引用した。

5.4.1 電力

(1) 停電被害

電力の被害は神戸支店管内を中心に姫路、京都等に及んだ。地震発生直後から約100万戸が停電となったが、その半数は次の日までに復旧した。完全復旧は6日後の1月23日午後3時である。停電の復旧状況を図5.4.1-1に示す[5.4-3]。

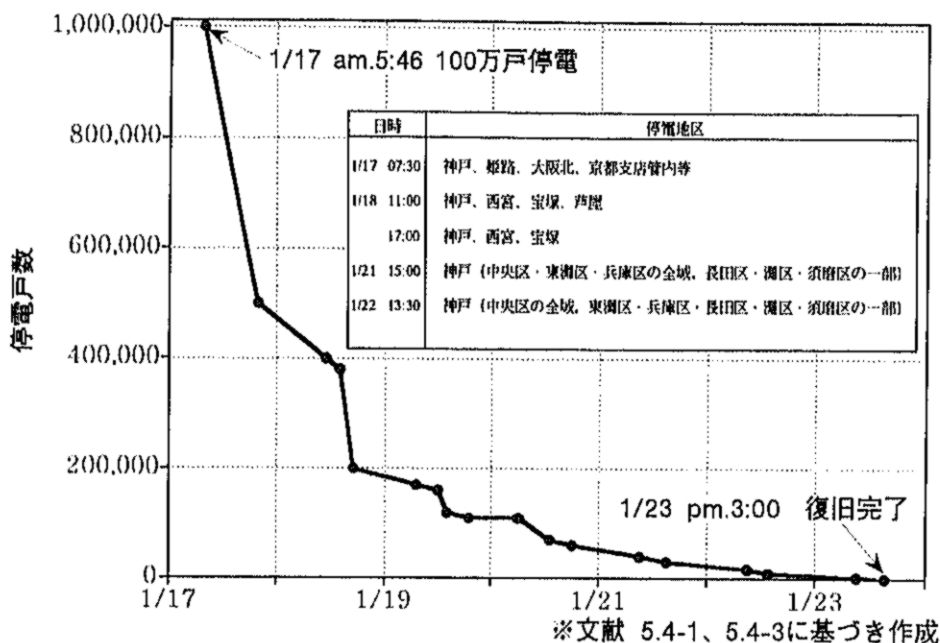


図5.4.1-1 停電復旧状況

Fig. 5.4.1-1 Electricity Cut Off to Households

(2) 電力施設被害

電力施設の被害のうち、文献[5.4-1]によれば火力発電所は10基（被害額350億円）、変電所は48箇所、送電線関係は38箇所（被害額550億円）、配電線は446回線（被害額960億円）であると報告されている。各家庭までの引き込み線・保安管の被害、電柱の倒壊等の被害数は未確認である。地震による電力施設被害の総額は2,300億円と推定されている[5.4-2, 5.4-3]。

5.4.2 電話・通信

(1) 電話・通信システムの被害

地震直後は無停電装置の故障により交換機が使用不能になった。また、ケーブルの切断による回線の被害は約193,000回線であり、これによって最大285,000回線が不通状態となった。中継系伝送路も被害を受けたが、迂回ルートへの自動切り替えによって実質的な影響は少なかった。被害総額は300億円とされている[5.4-1, 5.4-5]。

(2) 不通回線の復旧

文献[5.4-1]によれば、地震発生直後より神戸市南部地域の1,443,000回線中285,000回線(19.7%)が交換機の異常やケーブルの断線により不通となった。18日には電源車により交換機が始動したため、不通回線は85,000に減少した。

その後は7,000人(応援要員4,000人)で復旧作業を進め、家屋が全半壊したことにより復旧が不可能な38,000回線を除き、1月31日に全面復旧した。不通回線の復旧状況を図5.4.2-1に示す[5.4-1]。

電話回線の輻輳状態のピークは17、18日である。17日は通常ピーク時の50倍、18日は20倍の通話が兵庫県南部に殺到した。県南部では発着信

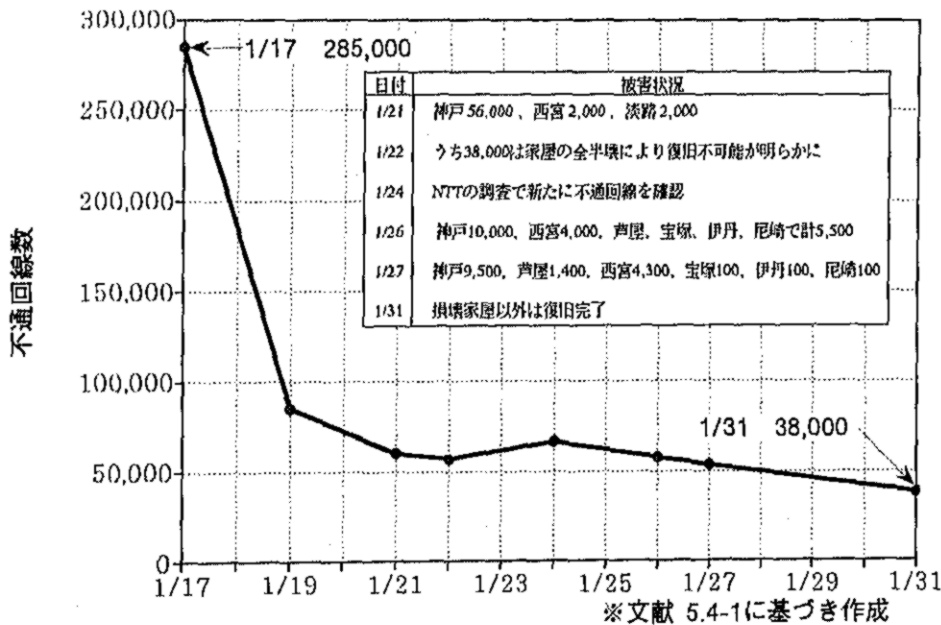


図5.4.2-1 不通電話回線復旧状況
Fig. 5.4.2-1 Telephone Interruption

回線数が新たに5,000回線増設されたが、それを大幅に上回る通話が殺到したため、被災地外から被災地内への通話の規制が行われた。この規制は輻輳状態が収まった22日に解除された[5.4-1]。

(3) 各種通信システムの有効性

文献[5.4-1, 6]に述べられている今回の地震時における各種通信システムの状況をまとめると、以下のようになる。

- 一般用加入電話は輻輳状態になったが、公衆電話は災害時の優先電話として扱われるため通信渋滞の影響を受けにくかった。
- 携帯電話も回線が切れたり、基地局が破壊されて4～5日程渋滞等が起きたが、施設が復旧してからは良好な状態であった。
- 業務用移動無線は電波の届く範囲が携帯電話よりも広く、通信エリアを複数の中継基地が重複してカバーしているため、震災の影響をほとんど受けなかった。
- アマチュア無線は、無線局による交通情報の交換で電波が占有され、有効な手段とはならなかった。
- 兵庫県の衛星通信ネットワークは非常時電源用発電機が冷却水パイプの破断により停止し、使用不能となったが、約6時間後に復旧した。
- 海上保安部では屋上アンテナが破損し、使用不能状態となったが防災無線により連絡を開始した。
- 淡路島五色町のCATV回線を使用した通信システムでは、町内の各戸の被害状況を把握することができた。

これらより、地震時に有効な通信システムとしては、業務用移動無線、通信用ネットワーク、携帯電話等が考えられる。

5.4.3 上下水道

上下水道関連については、文献[5.4-1, 2, 7, 8]の資料に基づきまとめている。

(1) 上水道の復旧

兵庫県内9市5町の上下水道は約1,355,600戸、3,425,677人に給水しており、水の使用量の合計は1,363,000 m³/日である。このう

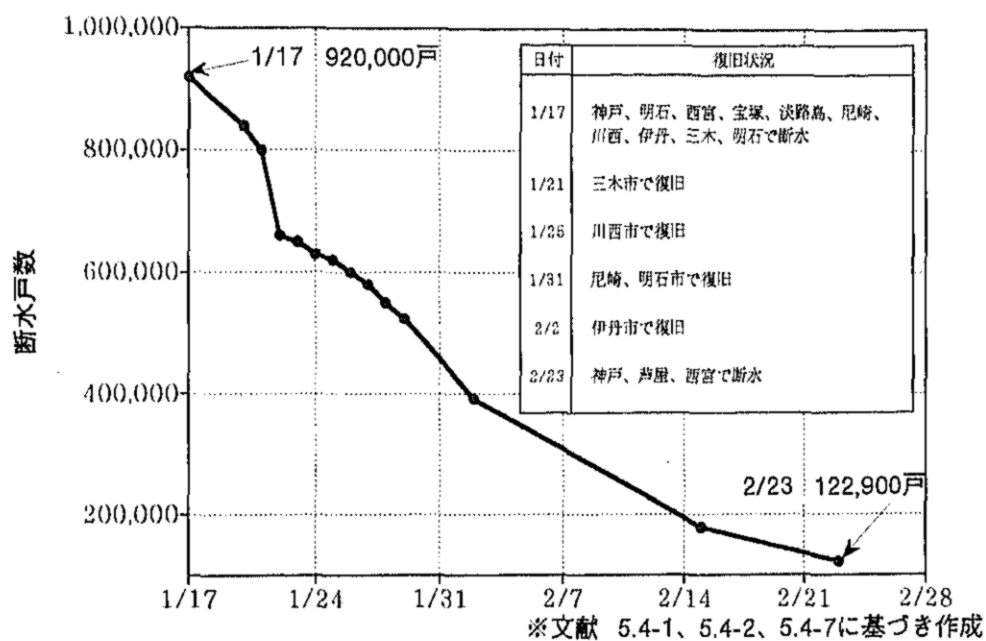


図5.4.3-1 断水復旧状況

Fig. 5.4.3-1 Water Cut Off to Households

表5.4.3-1 配水管の被害状況（2月2日現在）
Table 5.4.3-1 Damaged to Water Distribution Pipelines

	配水管延長 (km)	被害力所 (力所)	1kmあたりの被害率 (力所/km)
神戸市	3,921	885	0.225
尼崎市	823	1,042	1.27
西宮市	187	1,172	6.27
芦屋市	183	40	6.22
伊丹市	463		
宝塚市	521	2,000	3.84
川西市	471	83	0.18
明石市	692	35	0.05
三木市	424	30	0.07
計	7,685	5,287	0.69

※文献 5.4-1に基づき作成

ち、被害を受けたのは兵庫県南部地域の920,000戸である。2月23日現在の復旧状況を図5.4.3-1に示す。

(2) 上水道施設の被害

上水施設、導水トンネル等の被害は軽微であるが、送水管、配水管が被害を受けた。地域ごとの配水管の被害状況を表5.4.3-1に示す[5.4-1]。

(3) 下水道施設の被害

資料[5.4-8]によれば、下水道施設の被害は下水処理場やポンプ場など、約250箇所である。このうち30箇所以上の下水処理場やポンプ場では、配管の配線ラック破断、沈殿池の脱落、覆蓋破壊、ポンプの起動不能の被害が発生している。

神戸市内で最大の東灘処理場（処理能力は22,5000t/日）では、処理場周囲の護岸の崩壊、沈砂池を結ぶ地下パイプの切断、空気を送り込むタンクの傾斜等の被害が発生している。

復旧には、移動式脱水車や可搬式脱水機20台、補修に必要な資機材の他、関連会社、メンテナンス会社から400人以上が動員されている。（数値は1月25日現在）

5.4.4 都市ガス

(1) 都市ガスの復旧

近畿地方の都市ガスは570万戸が8つのスーパーブロックに分けられ、さらにそれが55のミドルブロックに分割されて、供給されている[5.4-1]。また、550万戸の家にはマイコンメータが設置され、自動制御が行える。供給停止の遠隔操作が行えるのはスーパーブロックまでで、ミドルブロックは被害

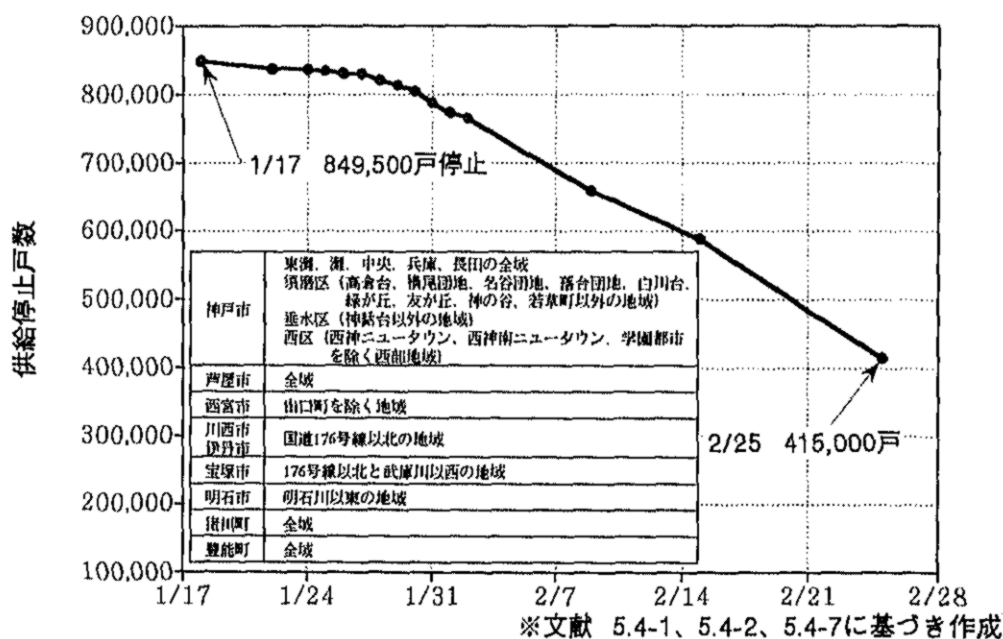


図5.4.4-1 ガス供給停止復旧状況
Fig. 5.4.4-1 Gas Cut Off to Households

状況を確認したあと、現場での手作業で行う。比較的被害の大きかった神戸市、芦屋市を中心にミドルブロック5つで供給が停止された。停止地域は神戸市の東灘、灘、中央、兵庫、長田区の全域と、須磨区、芦屋市の一部などの約85万戸である[5.4-1]。この85万戸への供給作業は21日目から開始され、地元の事業者約6,000人および他ガス会社の応援要員2,300人の合計8,300人で復旧作業が行われている。復旧方法は、高圧導管から中圧導管、低圧導管の点検が順次行われる。2月28日までの復旧状況を図5.4.4-1に示す。供給停止戸数があまり減少していないのは、一度供給を停止すると事業者が一軒一軒点検しなければ供給の再開ができないこと、ガス管が地下に埋設されており点検・復旧に時間がかかること、水道管の破断による浸水の影響、等が大きな原因と考えられる [5.4-1]。

[鈴木哲夫、菊地敏男、山田 守、近藤陸美]

5.5 地下構造物・トンネルとダム・土堰堤

5.5.1 地下構造物

(1) 概要

全体としては甚大な被害を受けた構造物は少なく、地上の建物や橋脚と比較して軽微な被害であったといえる。

そのなかで鉄道用のボックスカルバートのコンクリート製中柱がこれまで経験されたことのない被害を受けた。新聞5.5.1-1)によれば、被害は数カ所の駅部に集中しており、線路部では比較的軽微とのことであった。

神戸市内には市営地下鉄と民営の神戸高速鉄道の2路線がある。駅は全部で17ヶ所存在するが、我々は、神戸高速鉄道の大開駅地上部と、市営地下鉄の三宮駅と上沢駅の内部を調査した。

大開駅の被害が最も大きく、鉄筋コンクリート（以下RCと呼ぶ）造の中柱が破壊し上床スラブが大きく下がったとの報告5.5.1-2)がある。側壁下端の一部で内空方向へのはらみ出しも観察されたとのことである。現地は写真5.5.1-1)に示すように地表が大きく沈下しており、道路交通が遮断されていた。



写真5.5.1-1 神戸高速鉄道大開駅上の地表面の沈下
Photo5.5.1-1 Ground Settlement onto Underground Station

三宮駅と上沢駅ではRC中柱が被災しているものがあつた。

これらの駅部の構造上の特徴としては、構造物の断面に比較して土被りが少ないこと、RC造あるいは鋼管柱の中柱（約5mピッチ）を有していること、また開削工法（直接基礎）で施工した構造物であることが、また地盤上の特徴としては六甲山から海岸に向かって発達したいく筋かの沢筋にあたっていることが挙げられる。

(2) 被害の特徴

以下、市営地下鉄の我々が調査した区間での被害について述べる。

市営地下鉄の標準的な駅部と線路部の断面と、典型的な被害の様子を図5.5.1-1に示す。

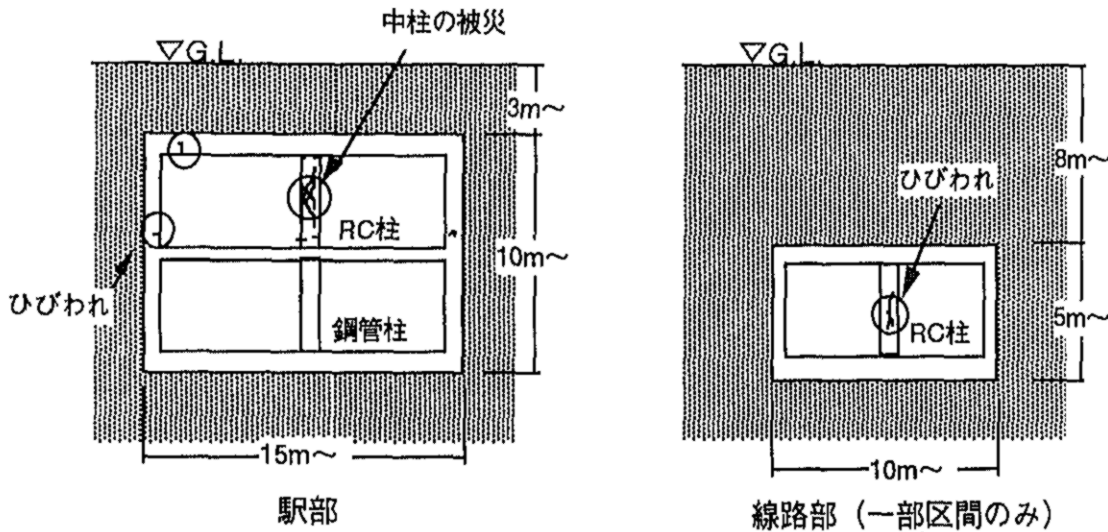


図5.5.1-1 市営地下鉄の標準的な断面と被害例

Fig5.5.1-1 Standard Sections of a Structure and the Damaged Elements

- 1) 調査した三宮と上沢の駅舎の被害の特徴は以下の通りである。
 - ①比較的大きな被害はカルバート中央のRC中柱に集中している。
 - ②全RC中柱の内、4割弱程度が強度上の補強を必要とする被害を受けている。
 - ③深さ方向の被害の程度は、地下1階から地下2階と地表から深くなるに従い軽微になる。
 - ④側壁や上下床スラブには車両通過方向にひびわれが発生している。
- 2) 線路部のRC中柱も一部せん断による斜めひびわれが生じているが総じて被害は軽く、耐荷力が低下するほどものは少ない。

(3) 被害状況

被害状況を写真5.5.1-2～5.5.1-6に示す。

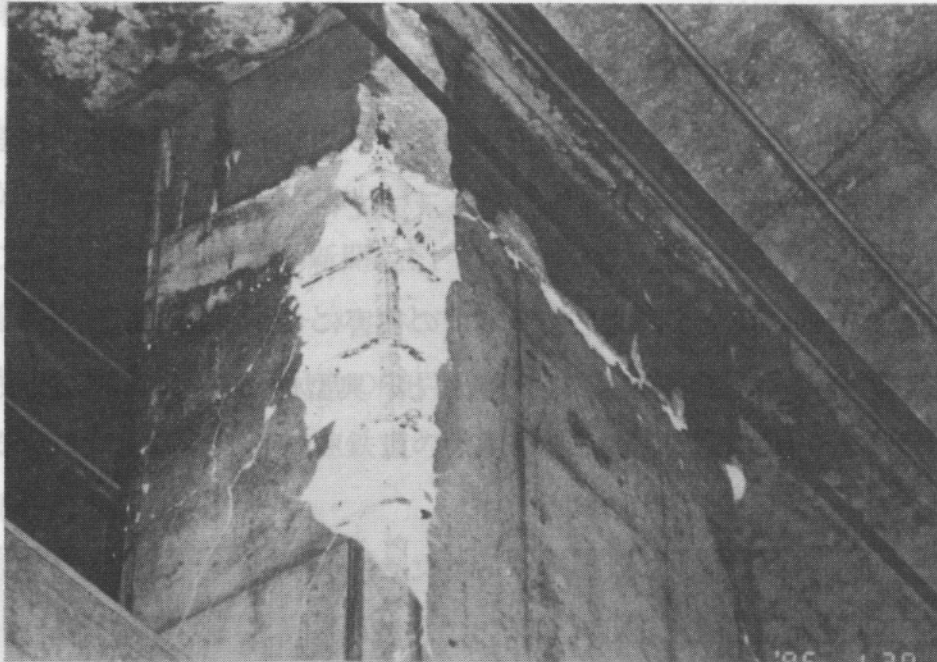


写真5.5.1-2 新長田～長田 線路部での中柱の被害 (写真提供：神戸市交通局)

Photo5.5.1-2 Damaged Column in Track Area
コンクリートにせん断による斜めひびわれが発生し、
一部剥離、鉄筋露出がみられる

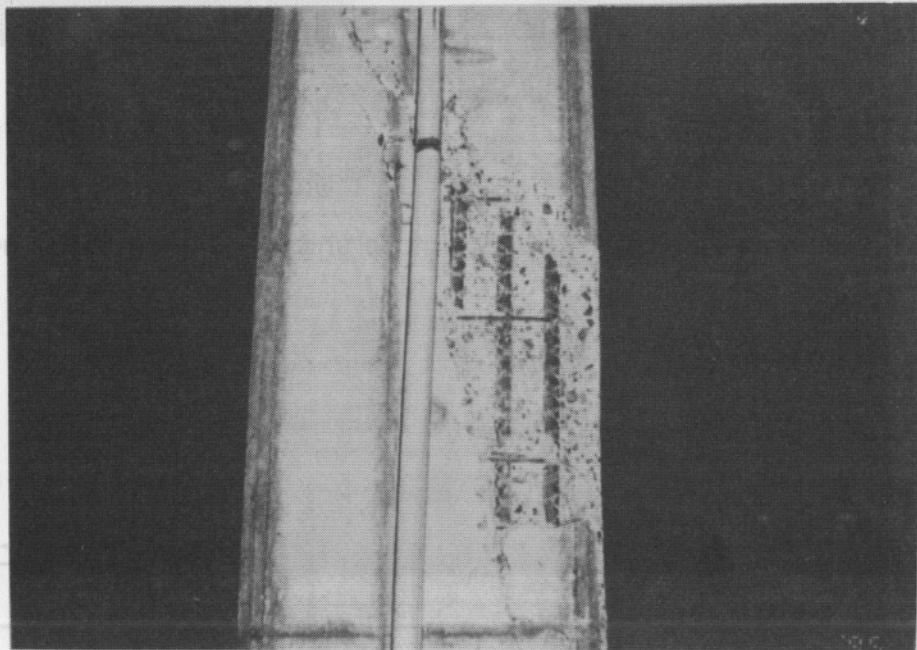


写真5.5.1-3 上沢駅B2階 中柱でのかぶりコンクリートの剥落
(写真提供：神戸市交通局)

Photo5.5.1-3 Concrete Spalling of a Column in Track Area
せん断による斜めひびわれ、付着ひびわれがみられる

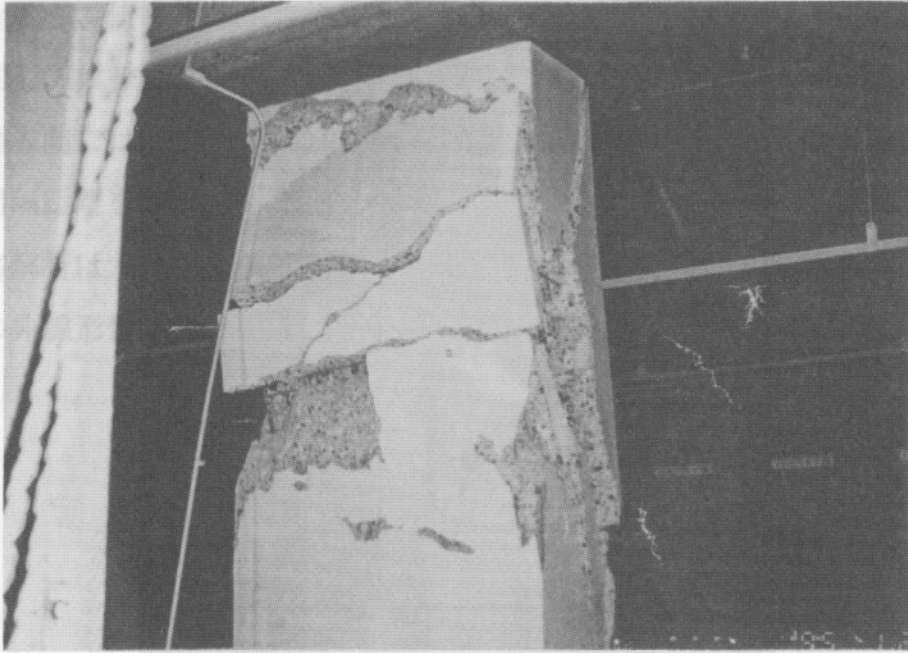


写真5.5.1-4 上沢駅B1階 中柱のせん断破壊 (写真提供：神戸市交通局)
 Photo5.5.1-4 Shear Failure of Column

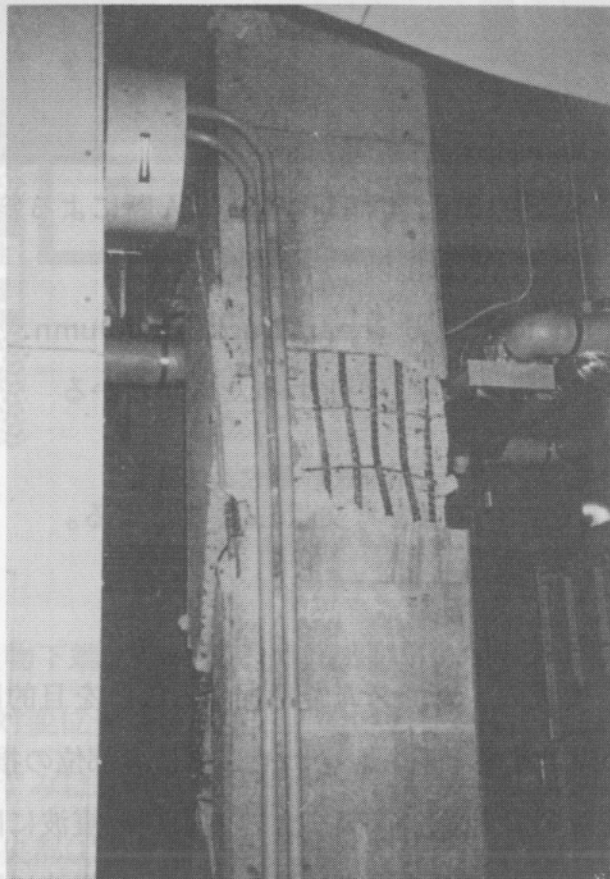


写真5.5.1-5 三宮駅B1階換気機械室1,せん断破壊を受けた柱の側面
 (写真提供：神戸市交通局)

Photo5.5.1-5 Concrete Spalling

(3) 被害

被害状況

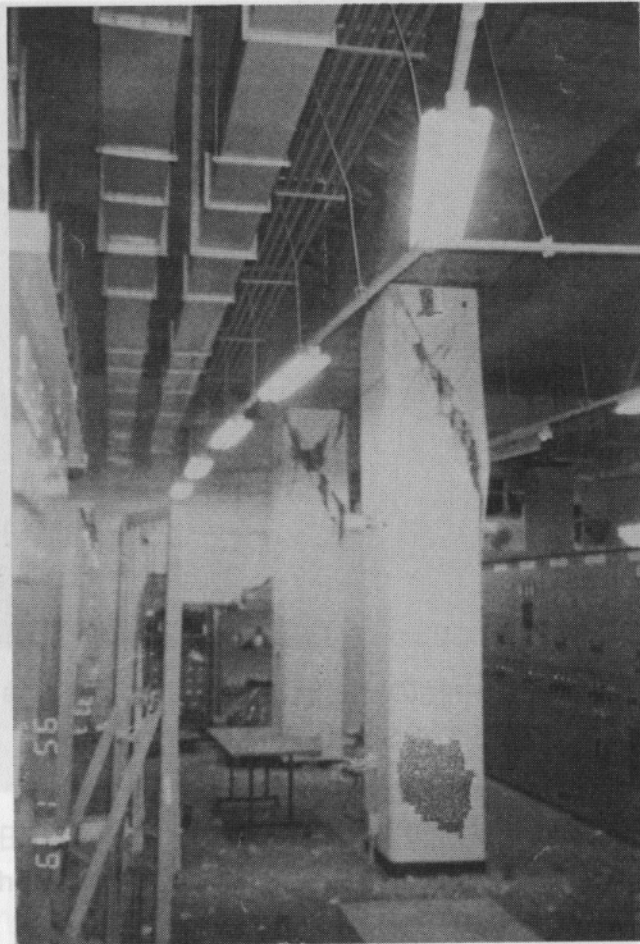


写真5.5.1-6 三宮駅B1階西電気室 中柱のせん断による斜めひびわれ

(写真提供：神戸市交通局)

Photo5.5.1-6 Shear Cracks of column

正負に地震力が加わったのがわかる

本項中で使用した写真5.5.1-2～6は参考文献5.5.1-3)による。

(4) 被災の検討

地下構造物に生じた被災のメカニズムを把握することを目的に地震応答解析を行い、その結果を現行の設計基準と照らし合わせ、構造各部位の損傷を推定してみた。

現時点では、被害を受けた地域の詳細な土質および地震波に関するデータがないため、土質定数に関しては、三宮地区の地盤情報を、地震波に関しては、当該地域の地表面での地震動が海洋気象台の記録とおよそ等しいと仮定した。そのため、以

Photo5.5.1-3 三宮駅B1階西電気室 中柱のせん断による斜めひびわれ、付着ひびわれがみられる

下に示す地震応答値に関しては参考値とすべきことを断っておく。

構造に関しては被害を受けた駅での標準的な断面を仮定した（図5.5.1-2参照）。なお軌道軸方向には上下各1本の中柱を含む基本構造を取り出し、壁とスラブの有効幅は中柱間隔距離をとった。

地震応答解析は水平動と上下動を入力するもので、2次元の線形解析とした。ただし、地盤の非線形性については、等価線形化法により考慮している。

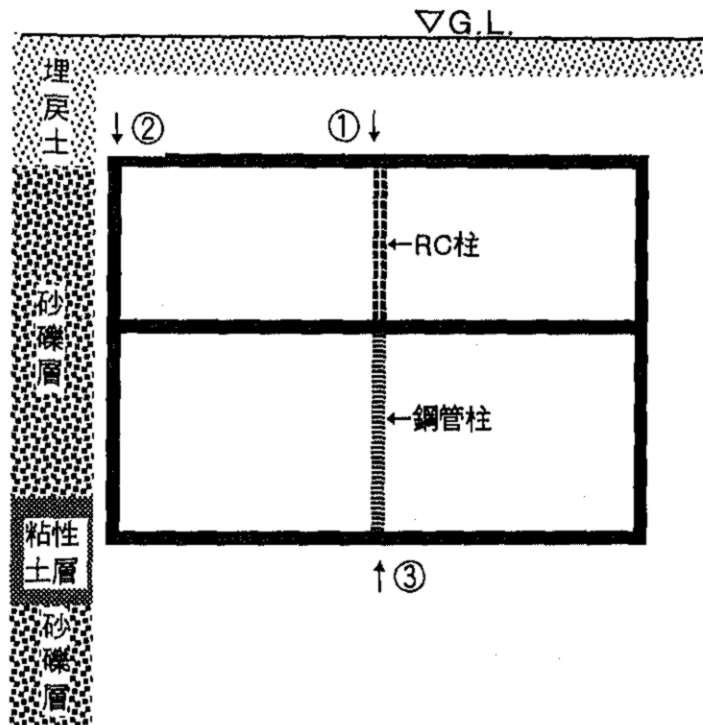


図5.5.1-2 構造解析モデル

Fig5.5.1-2 Analytical Model

図5.5.1-3に、構造物下端③に対する最上部①②の水平および上下方向の相対変位を示す。最大水平相対変位量は後述する回転の影響を除くと5.6cmであり、この区間の平均的なせん断ひずみは 5×10^{-3} とかなり大きなひずみが発生したことが推定できる。鉛直変位は、中央部①より端部②の方が大きく、地震の上下動によるもののほか水平動に伴う構造物の回転の影響が現れたことがわかる。

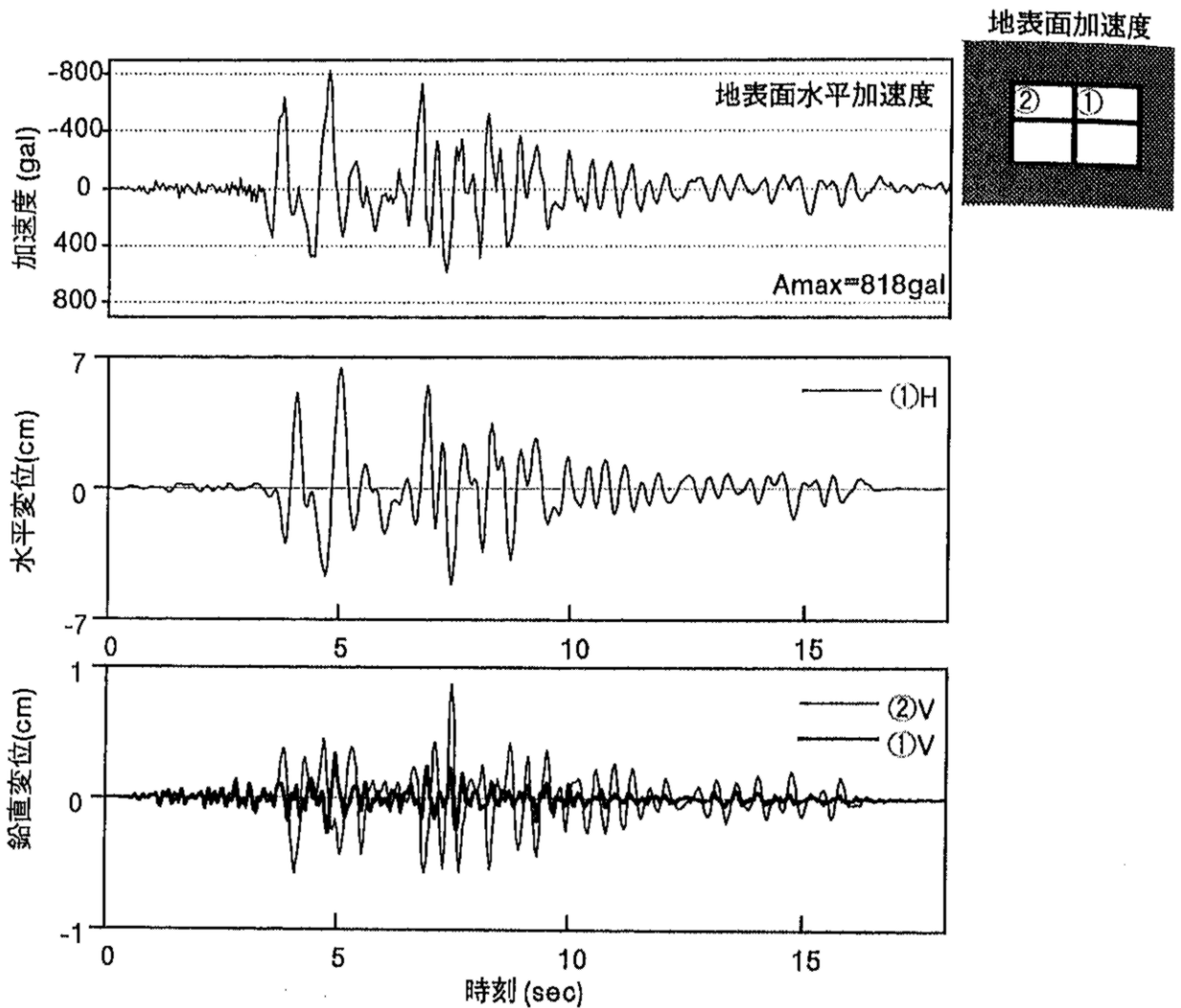


図5.5.1-3 変位波形

Fig5.5.1-3 Acceleration at Ground Surface and Displacement of the Structure

図5.5.1-4に側壁と中柱の最大せん断応力度と軸方向応力度の分布を、図5.5.1-5に後述する強度で正規化した断面の応力度比の分布をそれぞれ示す。

これらの図から、以下のことがわかる。

地震による増加分だけで中柱には強度を越えるせん断応力度が発生しており、このため中柱に破壊が生じたと推定できる。また、中柱のせん断応力は地震の水平動によって生じており（図5.5.1-4参照）、上下動に伴う軸応力度は軸圧縮強度を越えていない。すなわち、今回発生した中柱の破壊には、上下動による軸力より水平動によるせん断力が大きく影響したと考えられる。

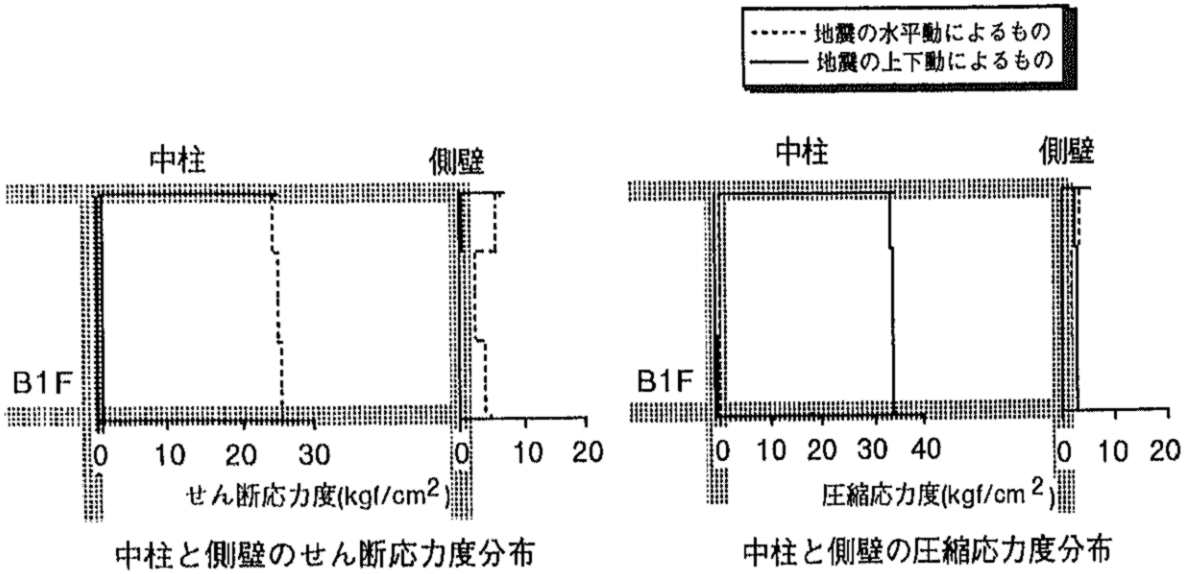


図 5.5.1-4 水平・鉛直動による応力度

Fig 5.5.1-4 Maximum Stress under Horizontal and Vertical Vibration

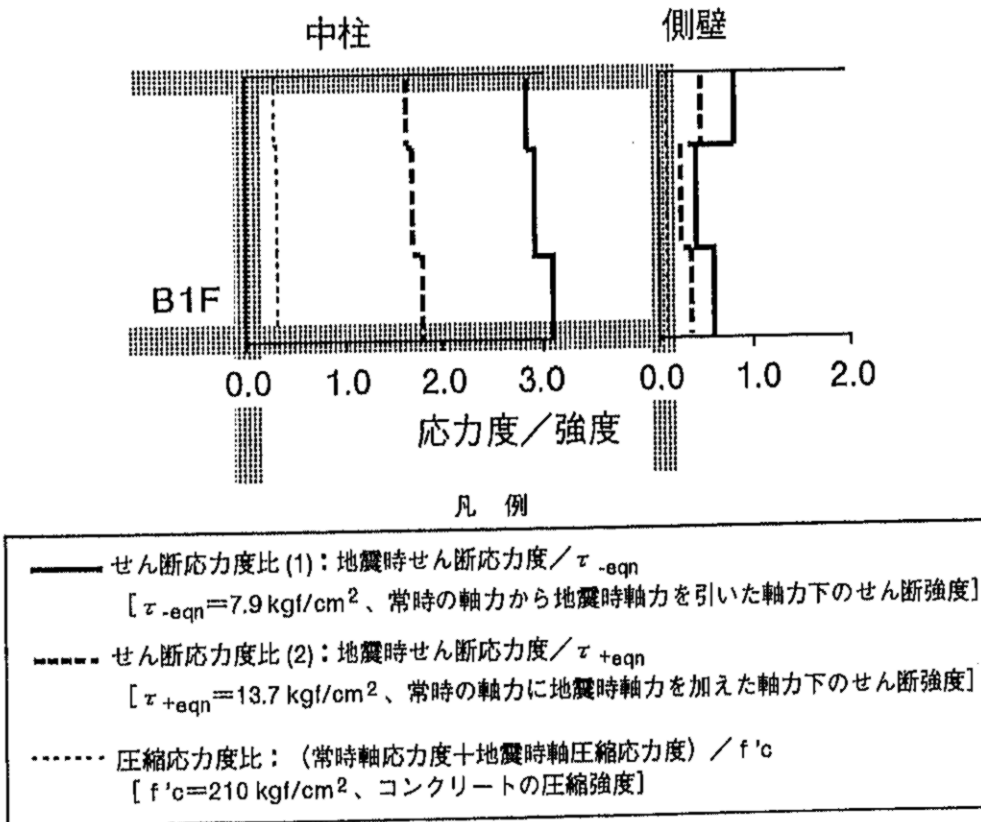


図5.5.1-5 強度に対する応力度比

Fig5.5.1-5 Maximum Stress to Ultimate Strength

ただし、今回の解析は線形解析であり、ひびわれが発生した後の応力の再配分の影響は考慮されておらず、その点については今後詳細な検討が必要である。なお、本検討では鉄筋コンクリートのせん断強度の設定は、現行の土木学会の基準5.5.1-4)にしたがって計算し、コンクリートのせん断応力度に換算して求めている。

(5) 今後の課題

シールドトンネル、共同溝、地下駐車場および地下街などで調査した範囲では大きな被害はなかったが、未調査分もあり今後確認の調査が必要である。

今回の地震で経験されたRC造ボックスカルバートの被害について、地震力、地盤条件、構造物の特性のそれぞれの影響を分析し、どのような条件のもとで被害が発生しうるのか、検討する必要がある。そのような分析にもとづいて、地下構造物の中柱の実用的な耐震設計法を開発する必要がある。

[松田隆、岡野素之]

5.5.2 トンネル

(1) 被害の概要

トンネルを設計する場合、トンネル標準示方書（山岳編）・同解説第31条の条文5.5.2-1)によると、「地震の影響は、トンネルの土被り、地形、地質等に応じて必要により考慮しなければならない」ことになっている。一方、第31条の解説部分では、過去の地震によるトンネルの震害の多くが坑門あるいは坑口付近の覆工の変状、崩壊に限られているため、坑口付近の設計に当っては、当該地域の過去の震害等の調査結果を参考にして、その対策を検討すればよく、深部のトンネルについては、一般に地震の影響を考慮しなくてもよいことになっている。

さて、今回の地震では、覆工コンクリートにクラックが生じたり、部分的に剥離したトンネルもあるが、地震による被害は地表の構造物に比べると軽微であった。また、このような被害の発生したところは、地山条件が悪かったところに限られているのが特徴で、普通の地山条件のところでは被害を受けていないようであった。

以下に、地震の影響を受けたトンネルの事例を紹介する。

(2) 放水路トンネル

災害を受けた事例として紹介するトンネルは、放水路トンネルである。トンネルの断面形状は、幅6.4mの馬蹄形で、トンネル部の延長が約1400mのものである。

トンネルが掘削された地質は、六甲花こう岩と神戸層群の泥岩で構成されている。トンネルの施工は、NATMで行われた。

地震の影響を調べた結果、これまでの被害調査で指摘されているように坑口付近の覆工コンクリートに幅5mm程度のクラックがリング状に発生していた。また、六甲花こう岩と神戸層群との地層境界付近にある断層部分の覆工コンクリートには、写真5.5.2-1に見られるような横ずれが発生していた。したがって、トンネルがこのように断層と交差する場合には、地震力の大きさによっては、この程度の被害を受けることがあると言えよう。

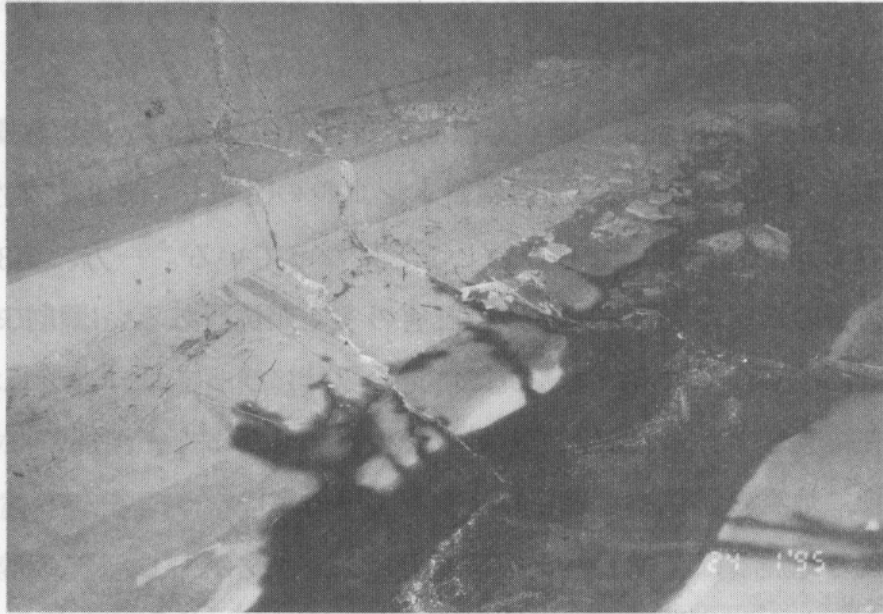


写真5.5.2-1 覆工コンクリートの被害例

(Photo 5.5.2-1 Tunnel Lining Concrete Damaged during the Earthquake)

(3) 今後の課題

山岳トンネルは、施工時に難渋した断層破碎帯とか膨張性を呈した地山で被害を受けていたようである。したがって、断層破碎帯や膨張性を呈する地山内にトンネルを掘削する場合には、緩み域を減少させるために周辺の地山を改良したり、吹付けコンクリートおよび覆工コンクリートに鋼繊維などを用いて補強することなどの検討が重要であろう。

[吉岡尚也]

5.5.3 ダムおよび土堰堤

ダムの被害調査を行った地点(①～④)、土堰堤(⑤)を図5.5.3-1に示す。

①の断層から数km離れた地点に位置するアースダムでは、ダム周辺の道路で落石が生じているが、堤体本体の外観上の被害は認められなかった。

②の10数箇所ある砂防ダムでは、上流の寺院の裏山で斜面の崩壊がみられたが、ダム本体の被害は認められなかった。

③の砂防ダムでは、ダム周辺の道路の陥没、斜面の崩壊がみられたが、写真5.5.3-1のダム本体の被害は認められなかった。

④の震源から約50km離れた重力式コンクリートダム(堤高75m、堤頂長285m)では、堤頂天端において478gal観測された(2/13日刊建設工業新聞より)が、ダム本体の被害はみられなかった。

全体としては、ダムの被害は軽微であったといえる。

⑤の浄水場に隣接する貯水池では、写真5.5.3-2の仕切堰堤のすべり崩壊や被覆工の破断、貯水池法面の大規模な地盤のすべりにより送水管等の破断が生じた。

[田中紀和、伊藤浩二]



図5.5.3-1 被害調査地点
Fig5.5.3-1 Inspection site

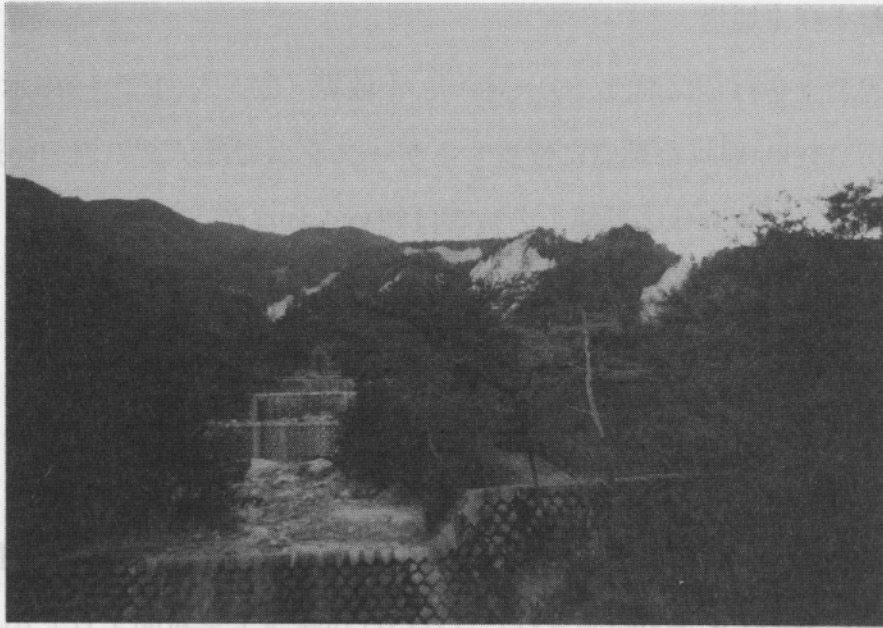


写真5.5.3-1 砂防ダム
 Photo5.5.3-1 Debris barrier



写真5.5.3-2 土堰堤
 Photo5.5.3-2 Damaged weir

図2.3-1 被害調査地点
 Fig2.3-1 Inspection site

5.6 橋梁

5.6.1 被害の概要

表5.6.1-1に代表的な被害の一覧を、また図5.6.1-1にはそれらの位置を示す。被害は主耐震要素である橋脚の破壊によってもたらされたもの、基礎・地盤の変状により橋脚の傾斜移動によっているもの、沓座部の破壊によっているもの、上部工構造要素の破断したものに大別できる。

第1の橋脚破壊は最も多くみられた被害である。鉄筋コンクリート橋脚については、大きな水平地震動が作用する中で帯筋量が少ないことと構造細目が不十分であったために脆性的に壊れたケースが多くみられた。またラーメン高架橋の場合には、剛性の高いアバット式橋脚や2層ラーメン橋脚に被害の集中する傾向がみられた。一方鋼性橋脚でも全体座屈破壊したものや、柱中央部で局部座屈したもの、柱脚または柱頭部で脆性的に引きちぎられたものがあった。鋼製橋脚と鉄筋コンクリート橋脚が混在して用いられる連続橋の場合には、剛性が高いか、比較的脆い鉄筋コンクリート橋脚に被害の集中する傾向があった。

第2は地盤の液状化や側方流動、あるいは橋脚アンカー部を含む基礎の移動傾斜により橋脚が傾き、橋軸方向への移動が大きい場合には桁が沓座部よりはずれ落橋に至っているものである。また護岸沿いの新交通システムに用いられる逆L型橋脚が、周辺地盤の液状化により張り出し側に傾くケースも多くみられた。

第3は沓座取り付け部またはアンカー部コンクリートの破壊により、橋軸方向または橋軸直角方向に桁ずれを起こしているもので、桁と桁の衝突と離れにより伸縮装置や落橋防止装置にまで被害の及んでいるケースがあった。

第4は上部工が大きな曲げ振動を受け、吊ケーブルなどの主要構造要素にまで影響が及んだものである。

以下5.6.2項に、被害を詳述する。

[大内 一、孫 利民]

表5.6.1-1 橋梁の主要被害状況

Table 5.6.1-1 Significant Damage of Bridges

	No.	位 置	被害内容
道路橋	1	西宮市高潮付近	RC橋脚破壊及び橋軸方向への傾倒による落橋
	2	西宮市今津名神IC付近	RC橋脚破壊による落橋
	3	西宮市西宮出路付近	鋼橋脚の座屈による落橋
	4	西宮市西宮戒神社東付近	桁の外れによる落橋
	5	西宮市西宮戒神社付近	桁の外れによる落橋
	6	神戸市東灘区深江出路付近	RC橋脚破壊による落橋 (635m 倒壊)
	7	神戸市東灘区深江出入路付近	RC橋脚破壊による半落橋
	8	神戸市灘区摩耶出路付近	橋脚破壊による半落橋
	9	神戸市中央区生田川出入路	橋脚破壊による半落橋
	10	神戸市中央区京橋～柳原	RC橋脚破壊による落橋
	11	神戸市中央区京橋～柳原	RC橋脚破壊による半落橋
	12	神戸市長田区湊川出入路	RC橋脚破壊による2スパン落橋
	13	西宮市甲子園浜～西宮浜	橋脚側方流動による落橋
	14	西宮市甲子園浜～西宮浜	ニールセン橋ケーブルアンカー部破壊
	15	神戸市東灘区魚崎浜町	橋軸直角方向地震力による斜張橋ペンデル支承破壊
	16	神戸市灘区六甲アイランド間	橋軸直角方向地震力による橋桁横ずれ
	17	神戸市灘区灘浜東町	ニールセン橋ケーブル上部アンカー破断、ケーブル落下
	18	神戸市中央区摩耶埠頭	斜張橋主塔傾斜
	19	西宮市野間町付近	RC橋脚破壊による落橋
鉄道橋	20	尼崎市食満	RC橋脚破壊による落橋下食満高架橋落橋
	21	伊丹市野間	RC橋脚破壊による落橋第一野間高架橋落橋
	22	尼崎市西昆陽	RC橋脚破壊による落橋時友高架橋落橋
	23	尼崎市常松	RC橋脚破壊による落橋第一常末架道橋落橋
	24	西宮市上大市	RC橋脚破壊による落橋中津浜高架道橋落橋
	25	西宮市上大市	RC橋脚破壊による落橋甲子園高架橋落橋
	26	西宮市上大市	RC橋脚破壊による阪急今津線跨線橋落橋
	27	西宮市松頼荘	RC橋脚破壊による神呪架道橋落橋
	28	神戸市西区伊川谷町	RC橋脚破壊による伊川橋落橋
	29	神戸市灘区(住吉～灘)	RC橋脚破壊による落橋
	30	西宮市(西宮北口～夙川)	RC橋脚破壊による落橋
	31	神戸市東灘区石屋川車庫	RC橋脚破壊による落橋
	32	神戸市灘区新交通システム	橋脚傾斜による落橋
	33	神戸市中央区新交通システム	RC橋脚破壊による落橋

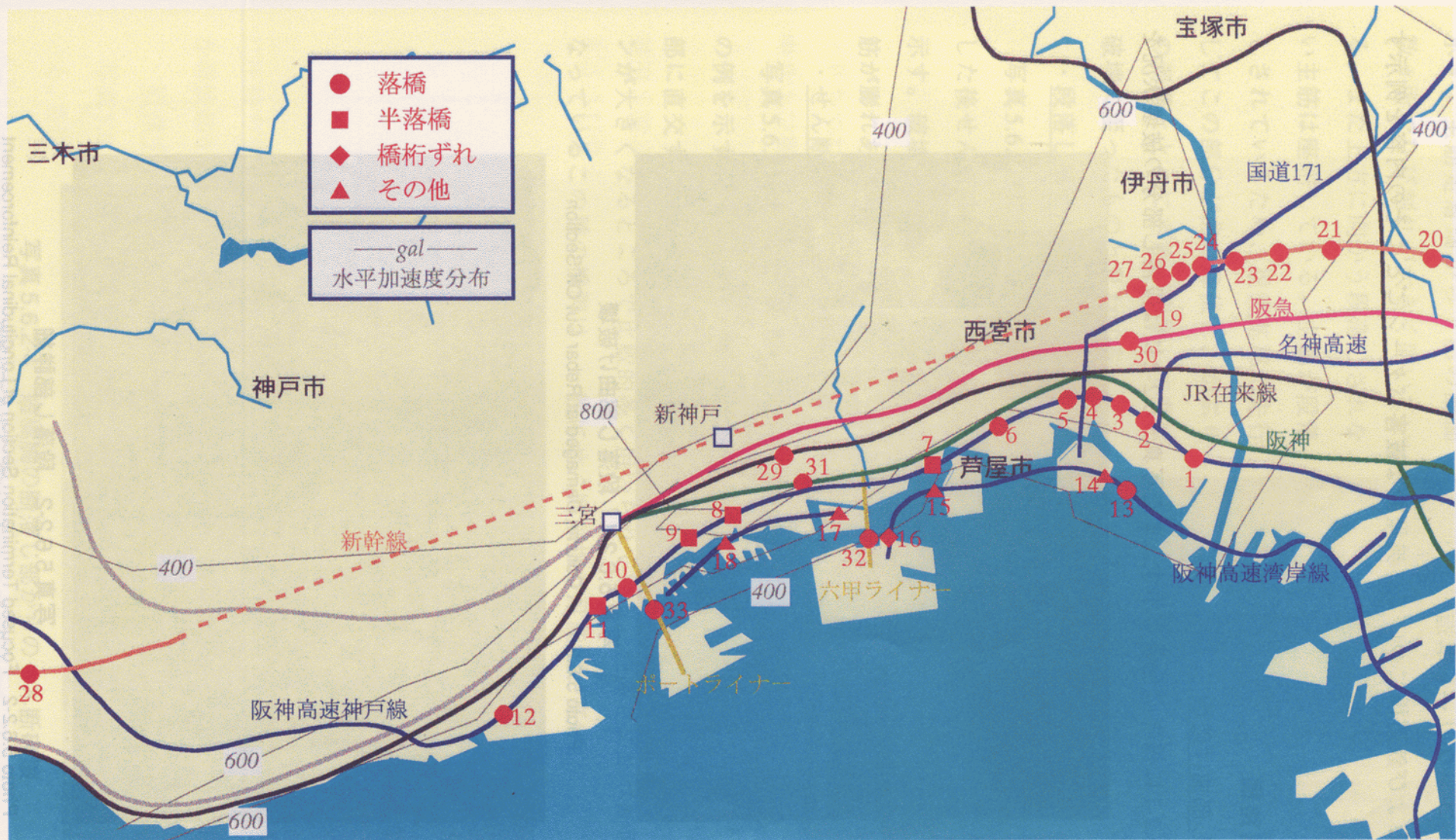


図5.6.1-1 橋梁の主要被害

Figure 5.6.1-1 Significant Damage of Bridges

5.6.2 コンクリート構造

道路橋および鉄道橋について、典型的な被害パターンごとにその内容を例示する。

(1) 道路橋

・断落し部曲げ破壊

写真5.6.2-1に橋脚の全景を示す。また写真5.6.2-2には段落し部分の破壊状況を



写真 5.6.2-1 段落し部曲げ破壊

Photo 5.6.2-1 A Column Damaged at Rebar Cut Off Section

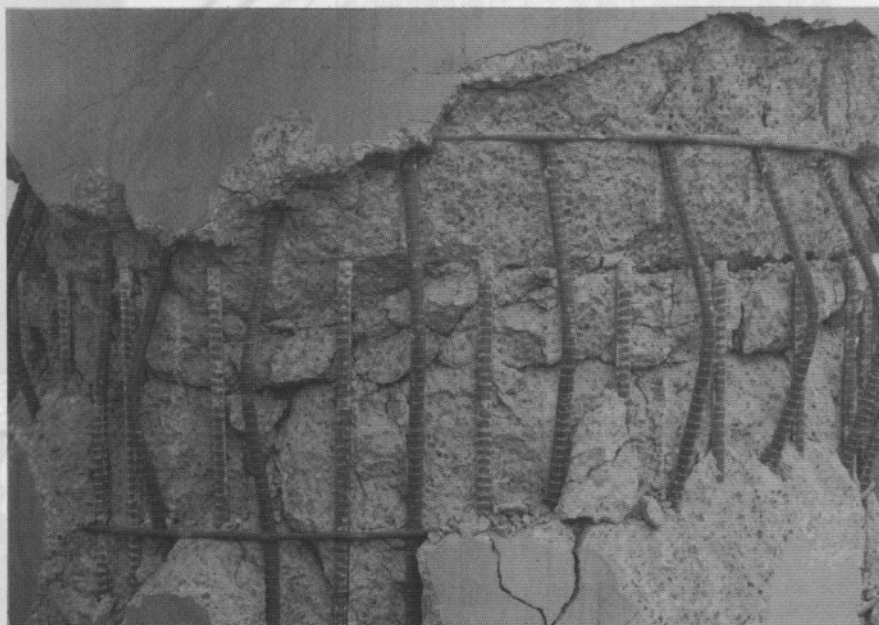


写真 5.6.2-2 段落し部詳細

Photo 5.6.2-2 Focused Termination Section of Longitudinal Reinforcement

示す。主筋定着端から下部の断面数カ所でひび割れが大きく開いている。また上方に向かう段落しされない主筋は座屈している。主筋が段落しされているため、橋脚基部に先行してこの部分が曲げ降伏し、かぶりの剥落とともに主筋が座屈して曲げ破壊に至ったものと思われる。

・段落し部せん断破壊

写真5.6.2-3に段落し部で曲げ降伏した後せん断破壊した橋脚の一例を示す。破壊部分では、ラップした帯筋が膨れ上がり主筋が座屈している。

・せん断破壊

写真5.6.2-4にせん断破壊した橋脚の例を示す。この種の矩形橋脚は下部に直交する道路などのため、スパンが大きくなるところで比較的多く用いられている。柱高さに比べ断面が大きくなっているこの種の橋脚は、一般にせん断破壊の可能性が高い。

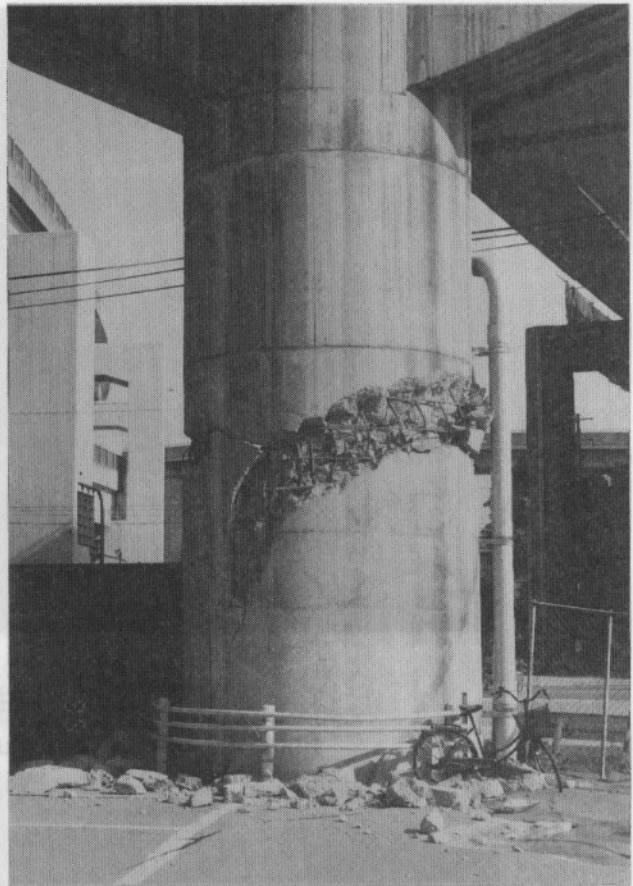


写真 5.6.2-3 せん断破壊した橋脚

Photo 5.6.2-3 Flexural Shear Failure at Rebar Cut Off Section



写真 5.6.2-4 短橋脚の断落し部からのせん断破壊

Photo 5.6.2-4 Shear Failure of a Column



写真 5.6.2-5 中柱のせん断破壊
Photo 5.6.2-5 Shear Failure of a Middle Column

写真5.6.2-5には、高架橋中柱せん断破壊の例を示す。独立3本柱の鉄筋コンクリート橋脚が1ペントを形成して上部鋼桁を支えている。橋軸直角方向の強震により中柱はせん断破壊したが、左の端橋脚は上部で曲げ破壊している。

・倒壊した橋脚の段落し

倒壊した橋脚と下部段落し部の破壊状況を写真5.6.2-6に示す。段落し筋と圧接部破断筋が混在している。主筋が引張降伏して伸びだし、逆方向の力を受けたとき

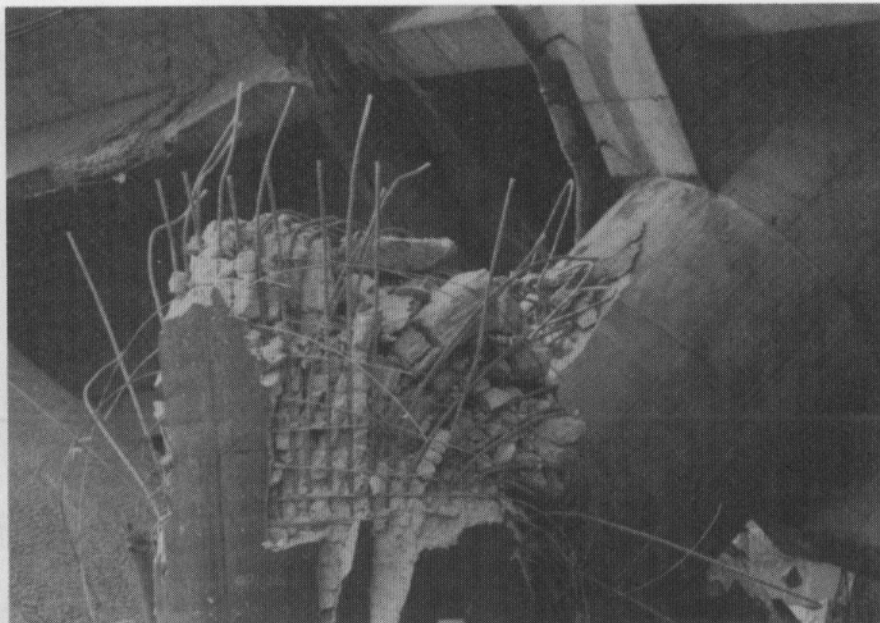


写真 5.6.2-6 落脚破壊部
Photo 5.6.2-6 Failure Section of a Column

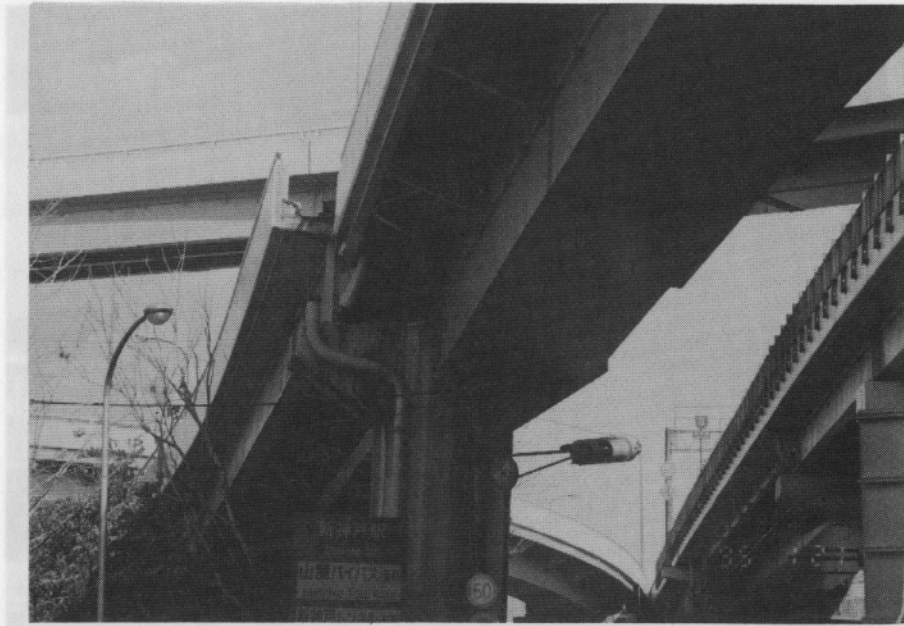


写真 5.6.2-7 桁の横ずれ

Photo 5.6.2-7 Lateral Movement of Super Structure

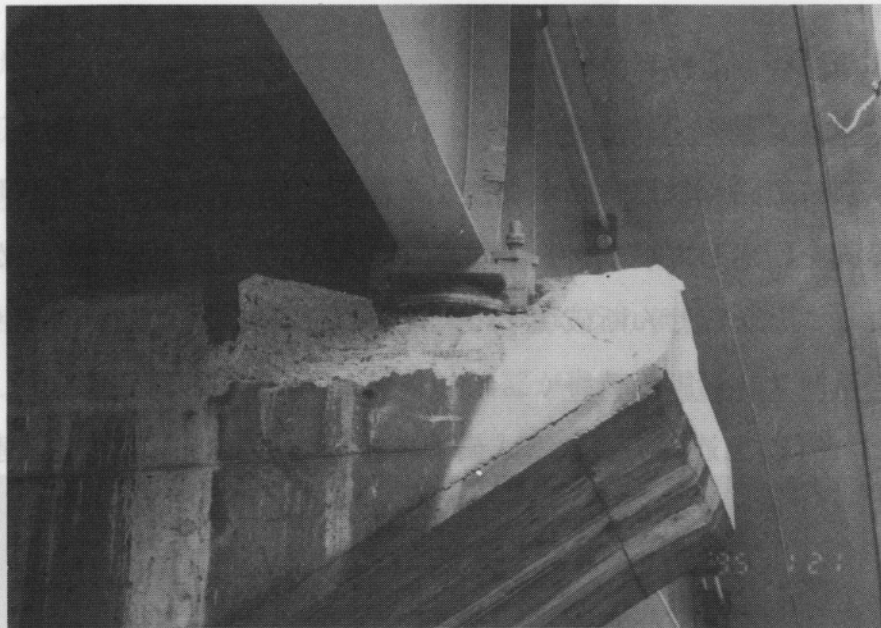


写真 5.6.2-8 桁支承部コンクリートの破損

Photo 5.6.2-8 Damage of Concrete under Bearing

に圧縮力を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させるとともに定着の不十分な帯鉄筋をばらけさせたと思われる。

・ 桁横ずれ

写真5.6.2-7に鋼桁が橋軸直角方向にずれた一例を示す。ずれ量は約1mに達している。杓座アンカー部コンクリートの破壊によりもたらされたと考えられる(写真5.6.2-8)。

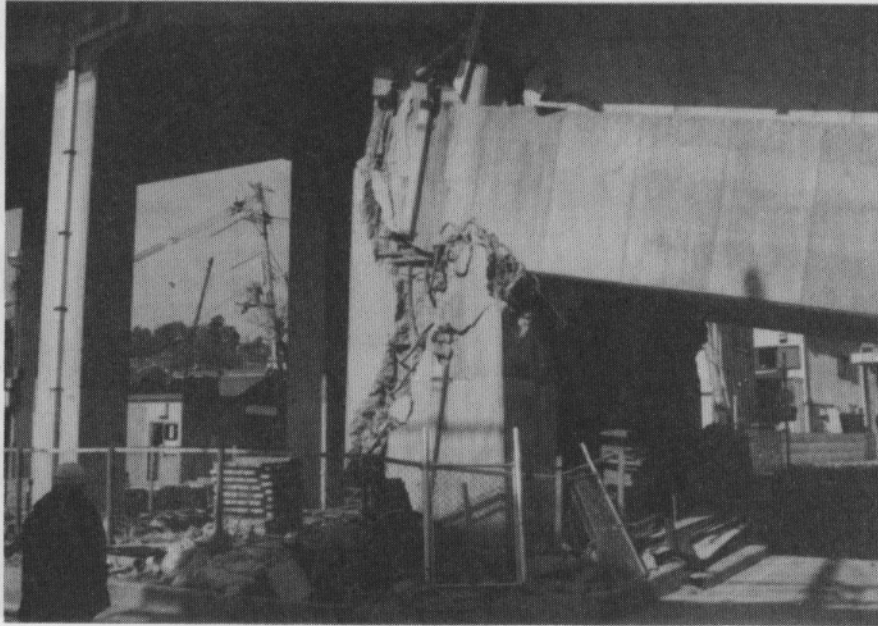


写真 5.6.2-9 橋台型ラーメン橋脚のせん断破壊—P C 桁の橋台
 Photo 5.6.2-9 Shear Failure of the West Column of an Abutment Type Frame West Column

(2) 鉄道橋

・アバット式橋脚のせん断破壊

高架橋下部に道路や鉄道線路が交差する箇所では、PC 桁を使って両側に剛なアバット式橋脚を使用しているケースが多い。PC 桁からの水平慣性力が大きく、また短柱となることからせん断破壊する可能性が高くなる（写真 5.6.2-9）。

・1層式ラーメン橋脚の被害

写真5.6.2-10に、上述のアバット式橋脚に隣接する1層式3スパン連続ラーメン



写真 5.6.2-10 橋脚頂部の破壊状況
 Photo 5.6.2-10 Typical Frame Structure and Damage at Column Top

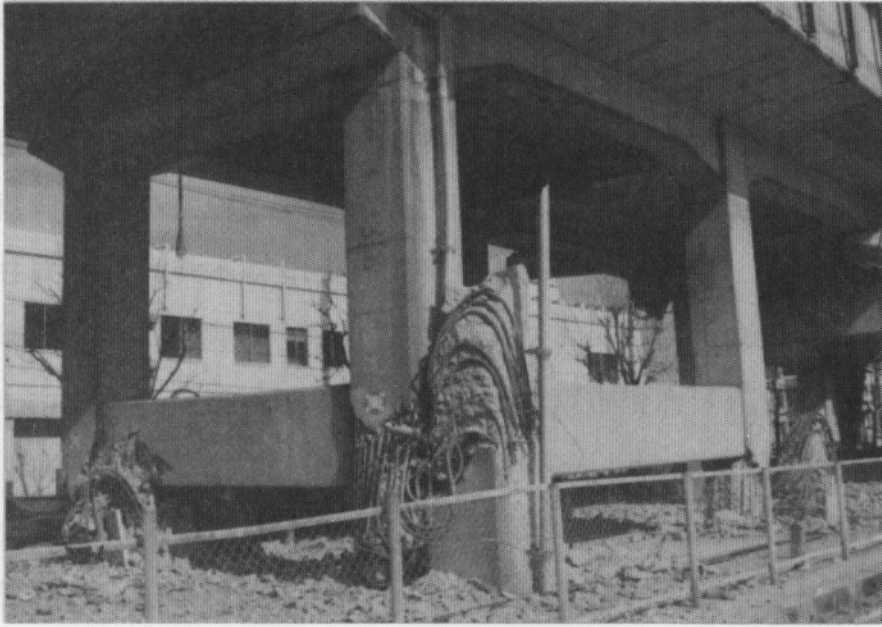


写真 5.6.2-11 2層ラーメン1層部橋脚の破壊

Photo 5.6.2-11 1st Column Failure of a Two Story Frame Structure

橋脚の被害状況を示す。繰返し曲げモーメントにより橋脚柱頭部のコンクリートが剥落し、主筋の降伏、一部座屈が予想されるが被害は比較的軽微である。

・ 2層式ラーメン橋脚の被害

写真5.6.2-11に2層式ラーメン橋脚3スパン連続橋被害の一例を示す。これは1層柱頭部がせん断破壊したため自重を支えきれなくなり倒落したものである。破壊箇所は必ずしも1層柱とは限らず、2層柱柱頭部がせん断破壊して倒落したのものも多数あった。

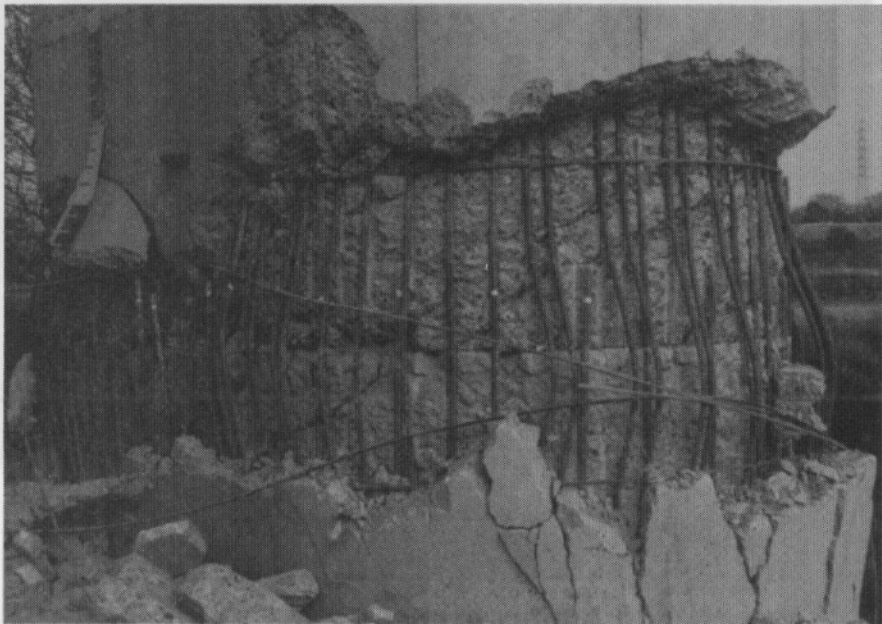


写真 5.6.2-12 断落し筋と破壊状況

Photo 5.6.2-12 Cut Off Rebar of a Single Column

・段落し部曲げ破壊

小判型断面を有する独立柱の段落し部破壊例を写真5.6.2-12に示す。主筋段落し位置と水平打継目位置がほぼ一致している。コンクリートの剥落と主筋座屈により、ラップした帯筋がばらけている。

(大内 一)

5.6.3 鋼構造

(1) 橋脚

鋼橋脚では座屈が主な被害パターンである。写真5.6.3-1に示すように高速道路高架橋で、鋼橋脚一本が完全に座屈破壊され、橋桁が中央部で曲げ破壊し、落橋した。細長い単柱式鋼橋脚数本が中央部で提灯状に座屈破壊し（写真5.6.3-2）、座屈した断面で破断した。橋脚の座屈した断面より上部が橋軸直角方向へ傾斜し、橋桁も横にずれた。調査した被災区域（西宮市～神戸市須磨区）では鋼橋脚数本が根元付近で曲げ座屈した。また、鋼橋脚のマンホール付近の局部曲げ座屈（写真5.6.3-3）とラーメン式橋脚の横梁中央部の局部せん断座屈破壊が多数見られた。

脆性破断と思われる破壊現象も見られた。高速道路高架橋の単柱式橋脚の根元全周破断（写真5.6.3-4）、ラーメン橋脚の柱梁結合部破断、鉄道高架橋の鋳鋼橋脚頭部脆性破断などの被害があった。

西宮市から神戸市須磨区までの区間では高速道路高架橋の鋼橋脚約二百数十本の内、調査した範囲では3割程度がなんらかの被害を受けていた。



写真5.6.3-1 座屈破壊した鋼製橋脚

Photo 5.6.3-1 Entire Buckling of Steel Column

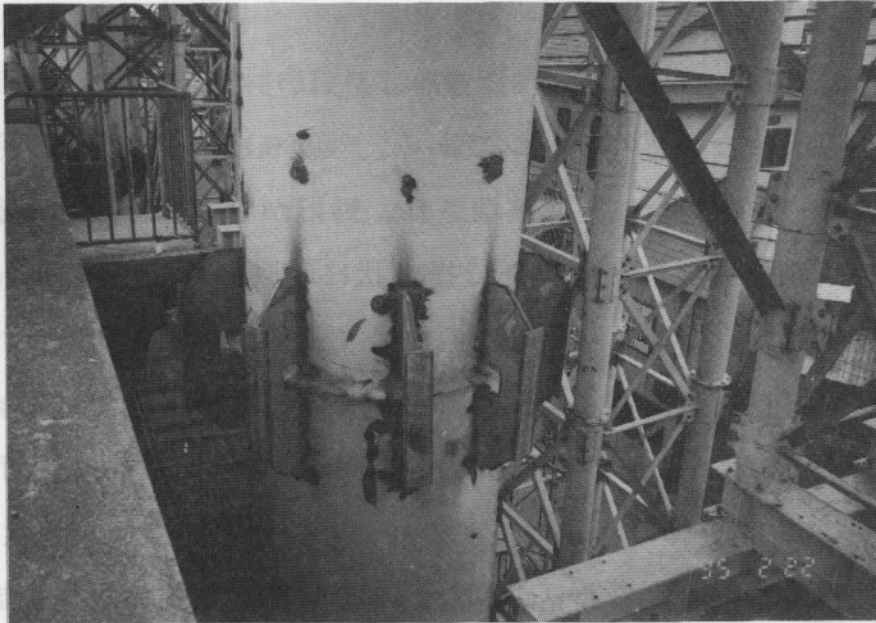


写真5.6.3-2 提灯座屈

Photo 5.6.3-2 Elephant Foot Buckling of Steel Column

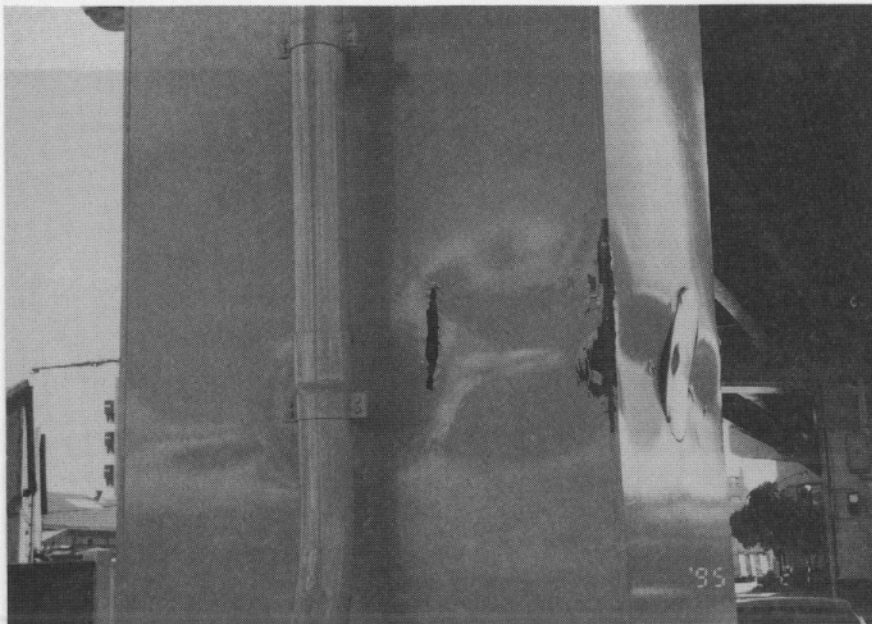


写真5.6.3-3 マンホール周辺の曲げ座屈

Photo 5.6.3-3 Local Buckling around Manhole



写真5.6.3-4 鋼製橋脚の根本全周脆性破断
 Photo 5.6.3-4 Brittle Rupture of Steel Column



写真5.6.3-5 ニールセンアーチ橋のケーブルアンカー破断
 Photo 5.6.3-5 Stress Release due to Failure of Cable Anchorage

Photo 5.6.4-1 Inclination of A Bridge Pier on the Coast

(2) 上部工

某高速道路ニールセンローゼアーチ橋ケーブルアンカーが破壊し、ケーブル1本が緩んだ。某一般道ニールセンローゼアーチ橋（写真5.6.3-5）のケーブル上部アンカーが破壊し、ケーブル2本が落ち、1本が緩んだ。某高速道路斜張橋のペンデル沓が破壊し、桁が浮き上がった。橋脚にも局部座屈破壊があった。某一般道斜張橋では桁が1メートル程度横ズレ、主塔が山側に傾いた。また、支承の破壊により桁が橋脚に落ち、路面に段差を生じた箇所が多数あった。桁同士の衝突などによる伸縮装置、落橋防止装置の破壊も多数見られた。

(3) その他

湾岸付近では、液状化による地盤の側方流動による橋脚の移動、傾斜の被害があった。それが上部工の落橋、支承破壊などの主な原因の一つとなっている。

（孫利民）

5.6.4 基礎

橋梁基礎の被害調査は始まったばかりで調査結果はほとんど明らかになっていない。したがって、被害の規模と基礎の構造型式、上部工の構造型式、地盤条件、立地条件や設置された地域などとの関連性については今後の調査を待って評価していきたい。ここでは、橋脚の傾斜・移動に関する被害状況の概要を示す。

(1) 沿岸部の橋脚

ポートアイランドや六甲アイランドなどに代表される埋め立て地の沿岸部に位置する橋脚のほとんどはケーソン等の護岸構造物同様、海側に大きく移動、傾斜している。

これに対し護岸から遠い場所の橋脚では地盤の沈下は見られるものの橋脚自身の変状はほとんど見られない。

写真 5.6.4-1 に沿岸部の橋脚の被害状況を、また写真 5.6.4-2 に周辺地盤で発生した液状化による噴砂の状況を示す。

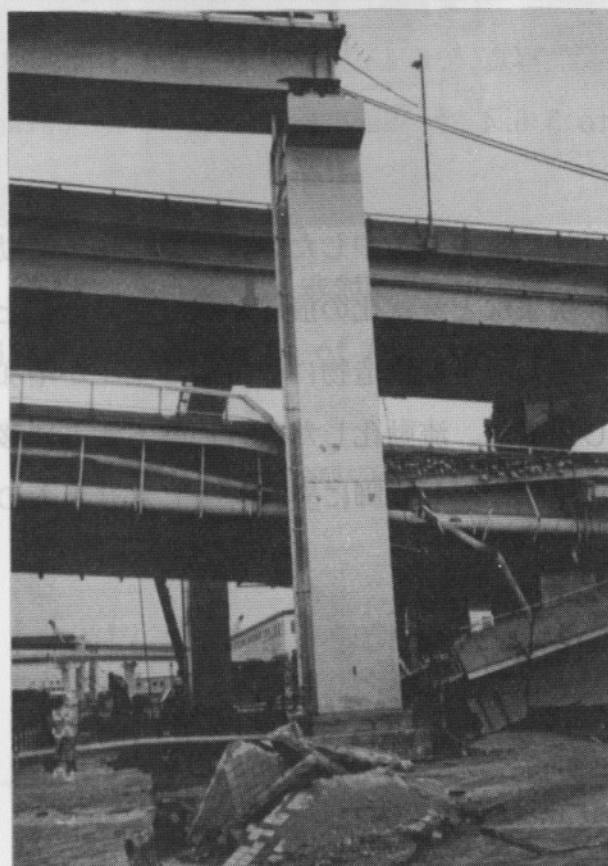


写真 5.6.4-1 沿岸部橋脚の傾斜

Photo 5.6.4-1 Inclination of A Bridge Pier on the Coast

(2) 上部工

某橋梁の橋脚に、上部工が傾いた。これは、液状化現象による土壌の流動が原因とされている。橋脚は、液状化現象により、土壌の流動によって、橋脚の基礎が傾いた。この現象は、液状化現象による土壌の流動が原因とされている。

(3) その他

の良自開謝ののよる、河岸付近では、液状化現象による土壌の流動が原因とされている。それが上部工の傾斜の原因とされている。



橋脚 4.0.2

護岸の橋脚基礎に、上部工の傾斜が認められる。これは、液状化現象による土壌の流動が原因とされている。橋脚は、液状化現象により、土壌の流動によって、橋脚の基礎が傾いた。この現象は、液状化現象による土壌の流動が原因とされている。

写真 5.6.4-2 液状化による噴砂

Photo 5.6.4-2 Sand Boil Due to Liquefaction

護岸近傍の橋脚に変状の被害が集中したのは地盤の側方流動が主要因と思われる。これらの地域では噴砂現象など液状化の痕跡が残っていることから、地震動によりまず地盤の液状化が発生し、護岸構造物に作用する土圧が増加する。その結果、護岸構造物は海側に押し出され、流動化した後背地盤も側方に移動する。これに伴い橋脚基礎には側方流動圧が作用し橋脚に変状を生じさせたものと思われる。



写真 5.6.4-1 沿岸部の橋脚の傾斜

Photo 5.6.4-1 Inclination of A Bridge Pier on the Coast

(2)陸上部の橋脚

調査実施 7.2

沿岸部の基礎のように偏圧を受けることのない陸上部の基礎の橋脚の傾斜・移動の被害は比較的軽微であった。

しかし、写真 5.6.4-3 に示すように上部工の軸心と橋脚の軸心に顕著な偏心がある橋脚については偏心方向に傾斜・移動する傾向が認められた。

[崎本純治]



写真 5.6.4-3 非対称橋脚の傾斜

Photo 5.6.4-3 Inclination of An Asymmetric Bridge Pier

写真5.7.2-2 六甲アイランド(a)

5. 7 港湾施設

5.7.1 被害の概要

港湾施設の内、岸壁(係留施設)や護岸は図5. 1. 1-1の航空写真判読結果から見ても大部分が何らかの形で被害を受けており、ほぼ壊滅的な状況だと言することができる。神戸市の調査でも全体の80%が全壊または半壊しており、その復旧には少なくとも9400億円の費用と3年という期間が必要だという報告がなされている。(朝日新聞1/26夕)

以下に、ポートアイランドと六甲アイランドにおける具体的な調査結果を紹介する。調査位置図を図5. 7. 1-1に示す。



図5.7.1-1 調査位置(ポートアイランド、六甲アイランド)

5.7.2 岸壁、護岸の被害

写真5.7.2-1~4は護岸が海側に大きく移動するとともに背後のエプロン部が大きく沈下、陥没した被災例である。こういった被害はいたる所で見られた。

これらの構造物の仕様や地盤条件などは不明であるが、一般的な護岸構造物を



写真5.7.2-1 六甲アイランド(a)



写真5.7.2-2 六甲アイランド(a)



写真5.7.2-3 六甲アイランド(b)



写真5.7.2-4 ポートアイランド(c)

模式図で示すと図5.7.2-1のようになる。海底部の軟弱粘土層を床掘りして良質砂で置換した後、ケーソンと上部L形コンクリート護岸を組み合わせて護岸を構築する(参考文献 5.7.2-1、神戸大学)。場合によっては大型ケーソンだけで岸壁を構築することもある。

図5.7.2-2は護岸及びエプロン部の沈下量測定結果の一例を示したものである。(参考文献 5.7.2-1、神戸大学)

このような計測による被災状況の詳細把握に併せて、各種調査・試験・解析を行うことによって、被害の原因及びメカニズムを明らかにしていくことが今後重要である。

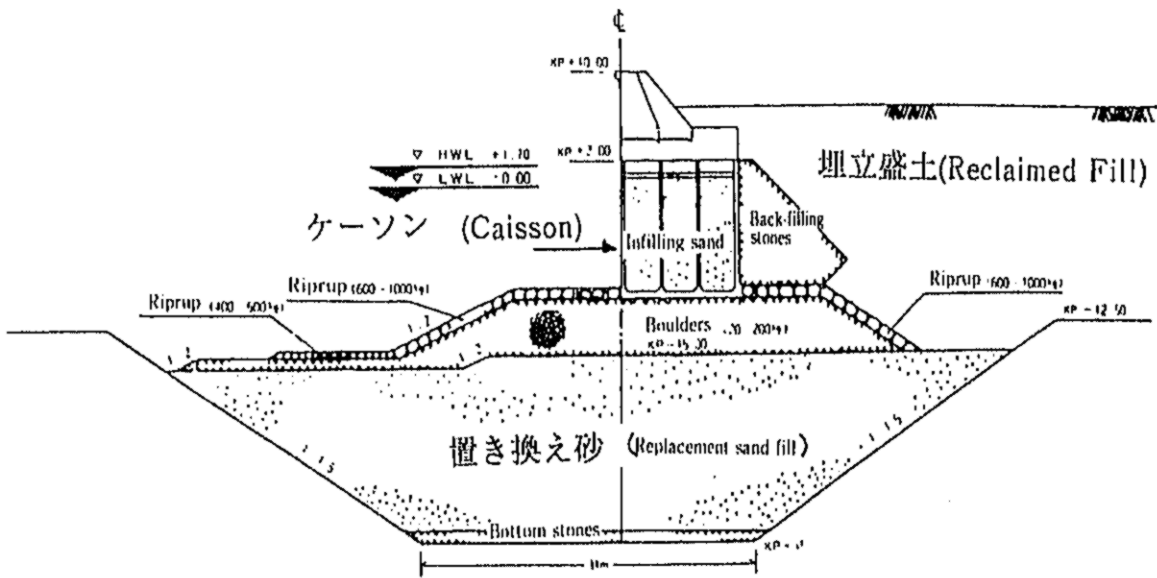


図5.7.2-1 護岸構造物(Breakwater Structure)

(参考文献 5.7.2-1、神戸大学)

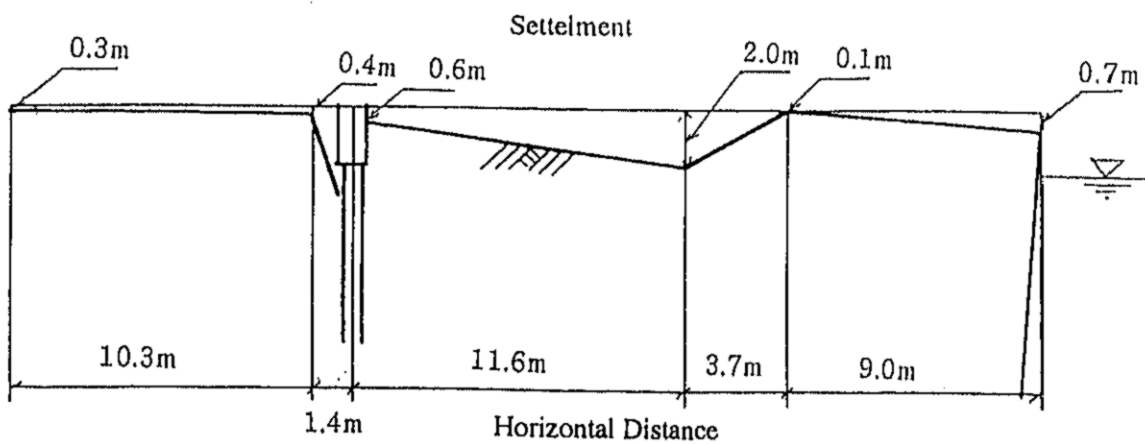


図5.7.2-2 護岸及びエプロン部の沈下測定例

(参考文献 5.7.2-1、神戸大学)

5.7.3 その他施設の被害

港湾施設としては、クレーン等の荷役施設やフェリー等の乗降通路などにも大きな被害が発生した。

写真5.7.3-1は倒壊したクレーンである。標準的な構造図を図5.7.3-1に示す(参考文献 5.7.3-1)。この他に倒壊には至らないまでも脚部が座屈したクレーンが多数見受けられた。これらの被害は前節で述べた岸壁部の前面への移動によって引き起こされたものと思われる。

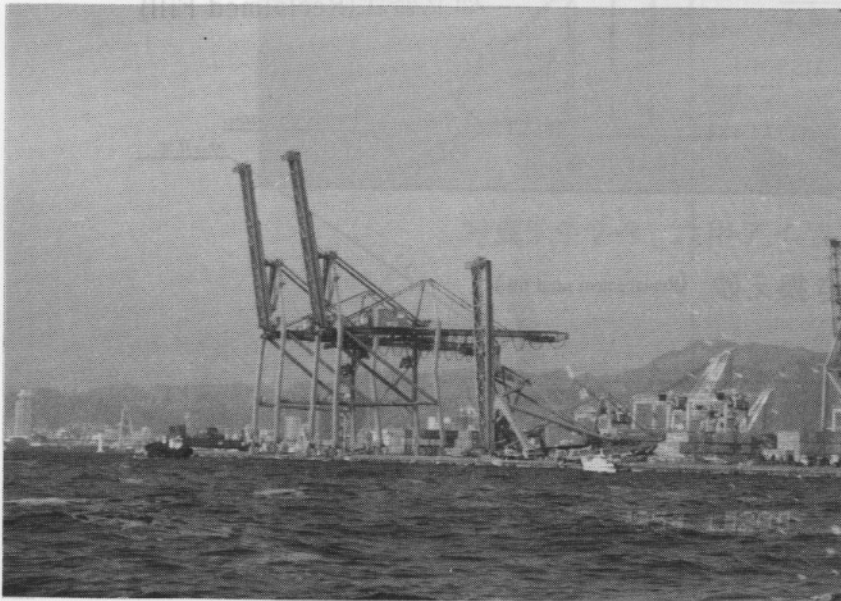


写真5.7.3-1 倒壊したクレーン

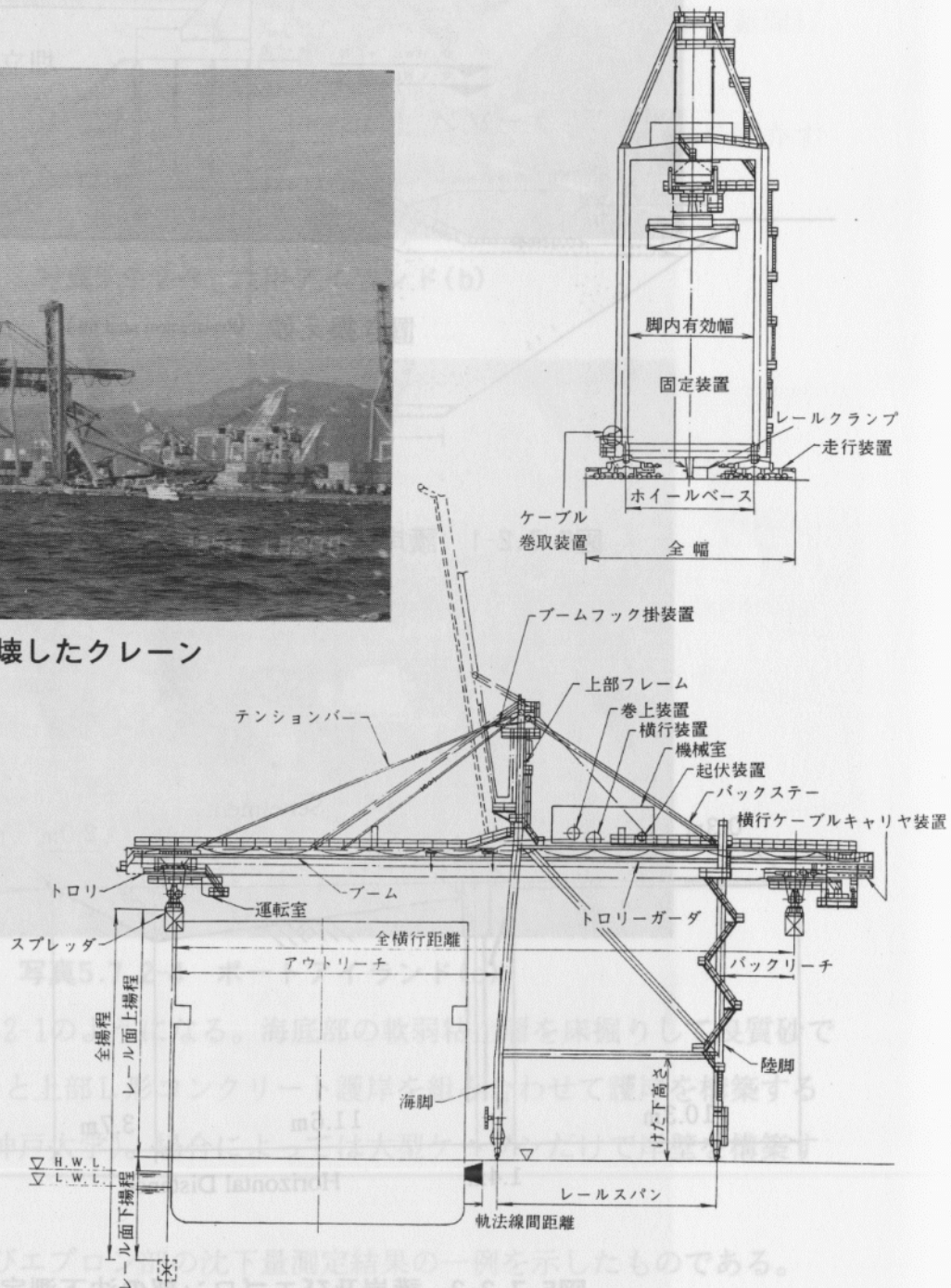


図5.7.3-1 コンテナクレーンの標準的な例(参考文献 5.7.3-1)

写真5.7.3-2は、フェリー通路施設の被害である。ただし、旅客ターミナル3階建てビルには変状はない。

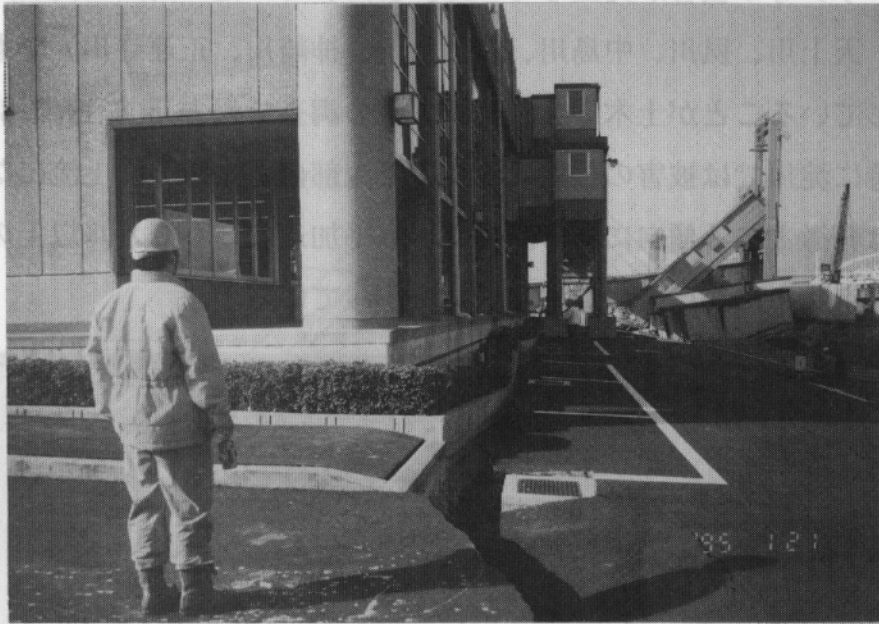


写真5.7.3-2 六甲アイランド(b)

[鳥井原 誠]

5.8 堤防

淀川、武庫川の河川堤防（図-5.8-1）では、地震により堤防天端のクラック、堤体の沈下・崩壊、表のり・裏のり被覆工の崩壊、法じりのクラック、高水敷きのクラック等の被害が発生していた。また、その他の河川（高羽川、天神川、住吉川、天上川、夙川、中島川、左門殿川、神崎川、正連寺川）でも同様の被害が生じていることが土木学会、神戸大学の調査で報告（5.8-1）、（5.8-2）されている。特に淀川では被害の程度は河川の下流部ほど大きく、上流になるに従って被害は軽微となる傾向にある。また、水平加速度300ガル以上の揺れが大阪市から京都市にかけての淀川流域に広がっている。

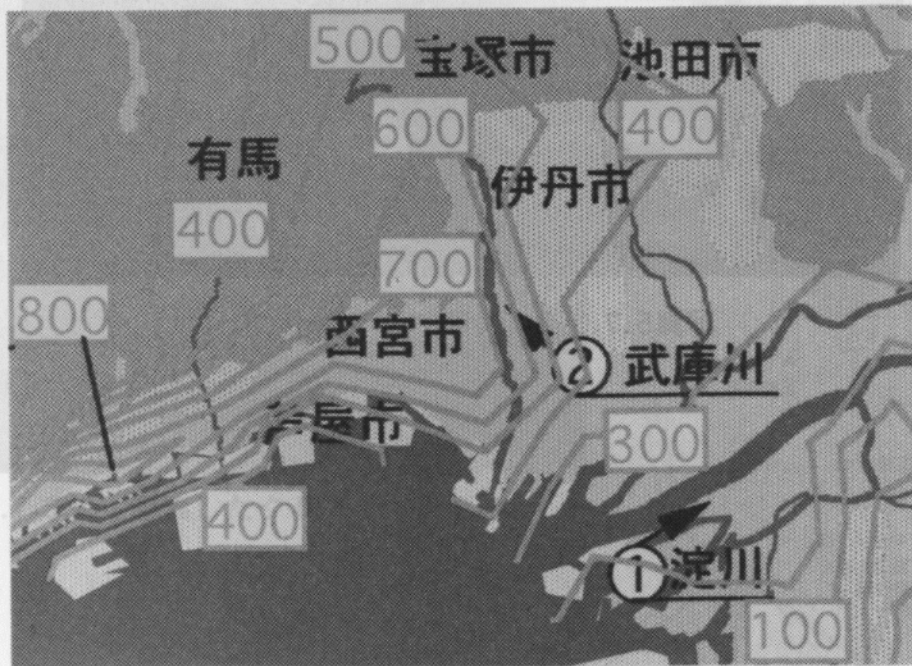


図-5.8-1 調査位置と水平加速度

Fig. 5.8-1 Location of Exploration and Horizontal Acceleration

(1) 淀川

淀川下流部の堤防は河口に近いので海岸堤防の構造を有している。海岸堤防は一般的に図-5.8-2に示すような構造（5.8-3）をもち、被害を受けた淀川下流左岸西島地区では直立型の堤防構造と推定されるが、基礎地盤の液状化により堤体が崩壊し、天端被覆工が陥没、波返工、表のり被覆工が破壊（写真-5.8-1、写真-5.8-2）されていた。土木学会の阪神大震災調査報告（5.8-1）によると止水工が施されている区間とない区間では堤防の破損度が異なり、止水工が堤防の壊滅を防

いだ可能性があることを指摘している。上流に至るほど被害は軽微となっているが、部分的に堤体の沈下と裏のりのはらみだし、法じりの亀裂等の被害箇所（写真-5.8-3）があった。

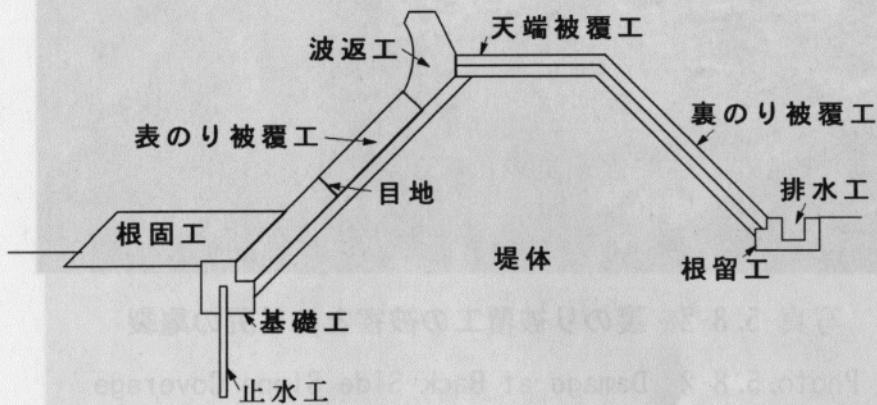


図-5.8-2 傾斜型の海岸堤防の一般的な構造

Fig. 5.8-2 General Structure of Sloping Type Embankment



写真-5.8-1 表のり工、波返工の崩壊

Photo. 5.8-1 Collapse at Front Side Slope coverage



写真-5.8-2 裏のり被覆工の被害とのり尻の亀裂
Photo. 5.8-2 Damage at Back Side Slope Coverage
and Crack at Top of Slope



写真-5.8-3 堤体の沈下と裏のりのはらみだし
Photo. 5.8-3 Settlement of Embankment and swell
of back side slope

(2) 武庫川

阪急神戸線から河口までの武庫川右岸では堤防頂部道路の縦亀裂、表のり尻付近の縦亀裂（写真-5.8-4）、比較的広い高水敷に縦亀裂（写真-5.8-5）等が生じていた。また、高水敷きに人造石で造られた公園施設の一部で損壊が発生していた。さらに、河口付近では護岸の波返の背面の天端被覆工に縦亀裂（写真-5.8-6）が発生していたが、被害は比較的軽微である。

[上野 孝之]



写真-5.8-4 表のり尻の縦亀裂

Photo. 5.8-4 Longitudinal Crack at Top of Slope

堤防波返の背面の天端被覆工の縦亀裂 写真-5.8-6

Photo. 5.8-6 Longitudinal Crack at Crest of Levee

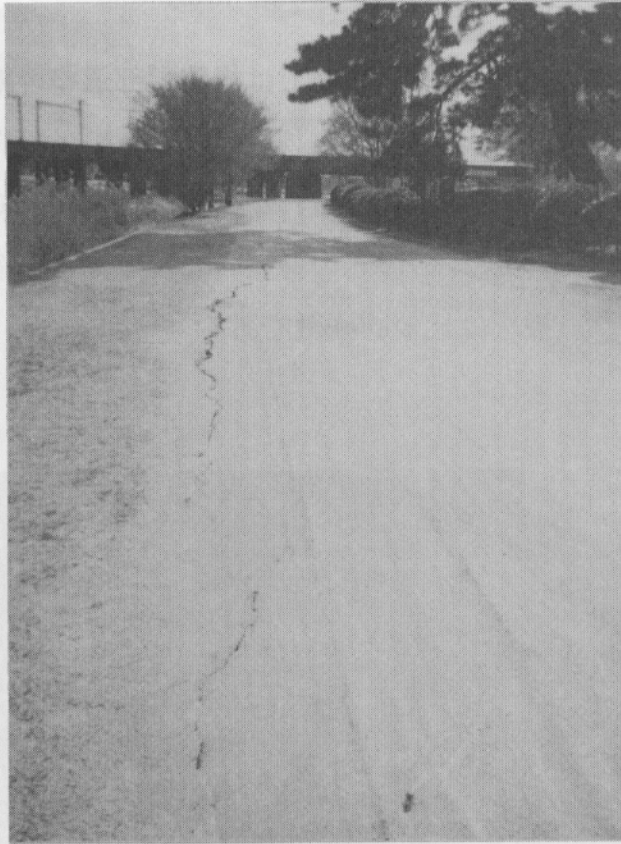


写真-5.8-5 高水敷きの縦亀裂

Photo. 5.8-5 Longitudinal Crack at Levee

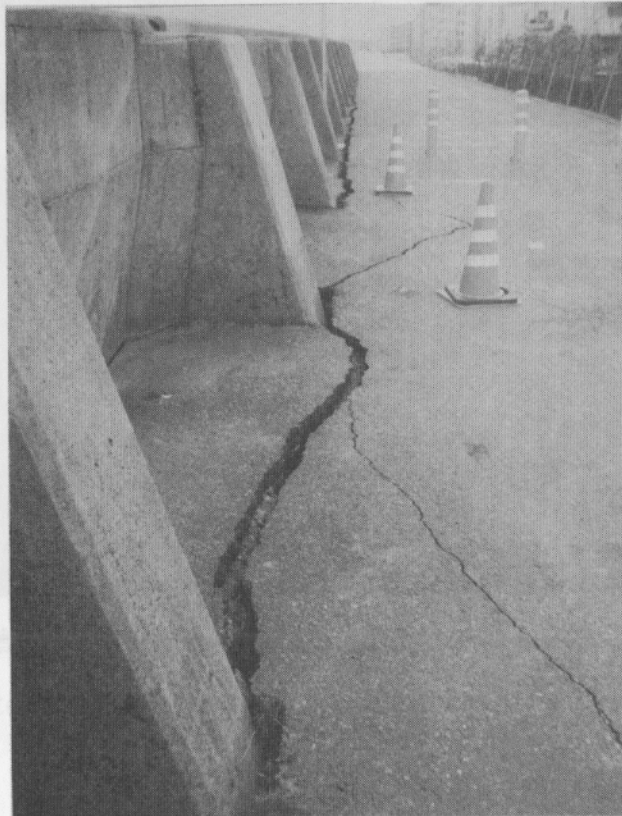


写真-5.8-6 護岸波返工背面の縦亀裂

Photo. 5.8-6 Longitudinal Crack at Crest of Levee

(3) 今後の課題

被害の大きかった河川堤防については、今後、地盤調査等を行って液状化現象を含む堤体の破壊原因を明らかにする必要があると思われる。総体的には堤体に壊滅的な被害は発生していないことから、現状の構造でも大地震に耐え得ることが明らかとなったといえる。

[上野 孝之]