

鉄道グループ報告

調査メンバー：森地 茂（東京工業大学土木工学科教授：交通計画）
家村 浩和（京都大学土木工学科教授：耐震工学）
三木 千寿（東京工業大学土木工学科教授：橋梁工学）
北田 俊行（大阪市立大学土木工学科助教授：橋梁工学）
家田 仁（東京大学土木工学科助教授：鉄道工学・交通計画）

1. 調査対象区間および施設の概況

JR西日本：山陽新幹線：高架橋（武庫川橋梁－六甲トンネル間）、西明石付近（高架構造）、伊川橋梁付近、
東海道本線：六甲道付近高架区間、
山陽本線：新長田付近盛土区間、鷹取付近（線路橋）、
福知山線：中山寺付近、
阪急電鉄：神戸線西宮北口付近地平区間、今津線伊丹駅（高架構造）、
阪神電鉄：新在家付近高架区間、深江付近地平区間、
神戸高速鉄道：大開－高速長田間（ボックス断面トンネル）、三宮付近高架区間、
神戸市営地下鉄：三宮駅（ボックス断面トンネル）、
神戸電鉄：三田線・有馬線（三田－谷上間；主として切取・盛土区間）、
北神急行電鉄：谷上－新神戸間（山岳トンネル）、
神戸新交通：ポートアイランド線、六甲アイランド線（高架構造）、
山陽電鉄：須磨駅付近（切取・盛土）

訪問先：近畿運輸局、JR西日本、阪急電鉄、阪神電鉄、神戸高速鉄道、神戸市交通局

2. 被害状況

今回の調査の範囲で把握した被害状況は以下の通りである。

2. 1 被害の概要

鉄道構造物の被害概要を以下に示す（図－1）。

(1)鉄道関連の被害が見られた地域は以下のとおりである。

(*：特に被害が顕著な地域)

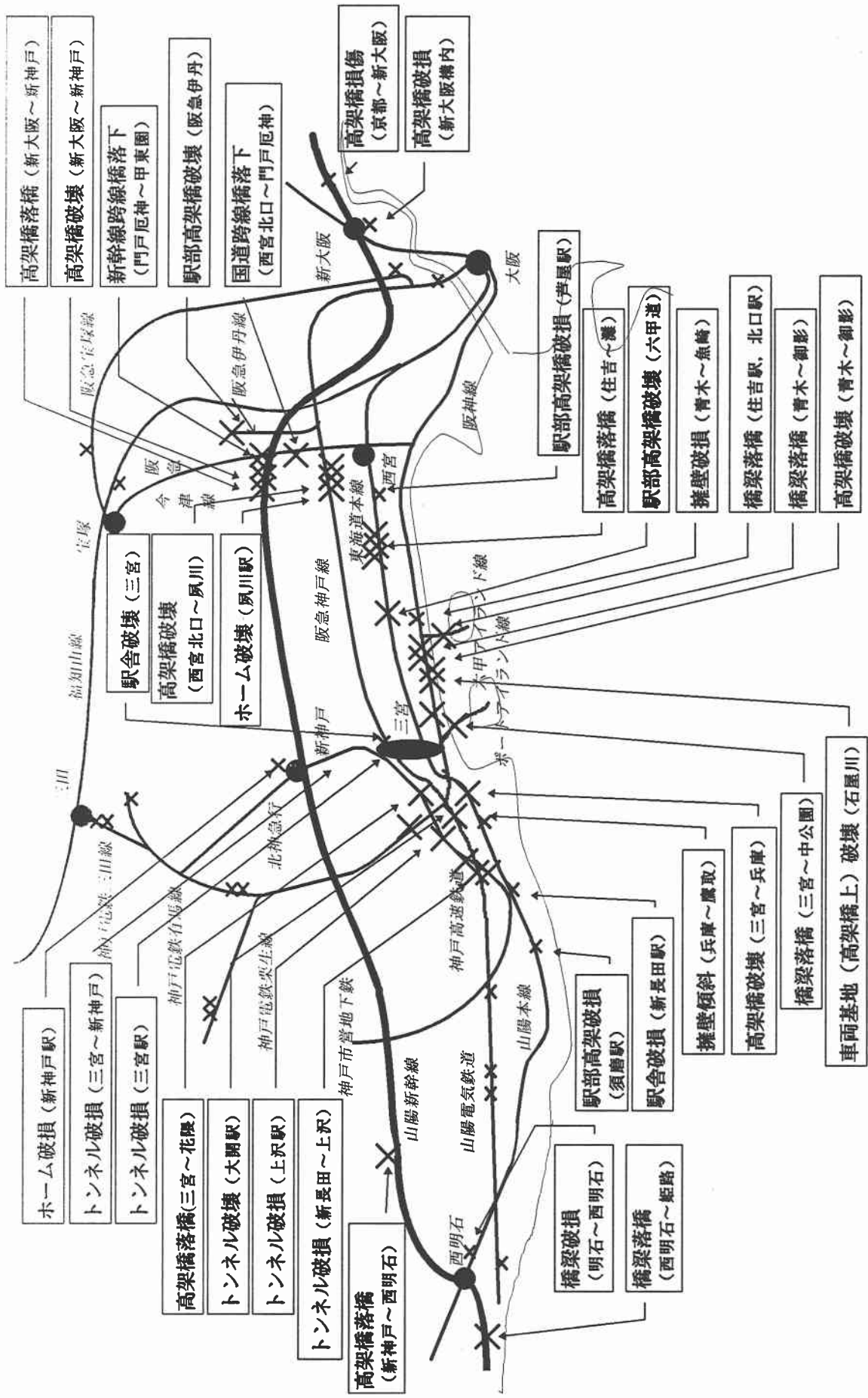
*明石市西明石から明石、

*神戸市須磨付近から西宮市仁川にいたる帯状の平地部
有馬温泉付近、

宝塚及び中山寺周辺、

*阪急伊丹駅付近、

高槻市内の新幹線構造物



図一1 鉄道施設被害図

(2)上記の地域では、以下のような鉄道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)

- *コンクリート高架橋の破壊、落橋
- *跨線橋及び跨道橋の破壊、落橋
- *地下鉄開削トンネルの損傷・破壊
- *車両基地（高架橋上）・車両修繕工場の損壊
- 山岳トンネルの一部損傷
- 路盤面の沈下・不整
- 盛土の損傷、よう壁の傾斜
- 切取り法面の崩壊
- 電化柱の倒壊、傾斜
- ホーム変状
- 駅上屋変状・破壊

2. 2 主要な被害

(1) 鉄筋コンクリートラーメン高架橋

山陽新幹線の武庫川橋梁から六甲トンネルの区間まで、伊川橋梁から西明石駅の区間、および東海道本線六甲道駅付近のラーメン高架橋を観察した。損傷はラーメン高架の柱部に生じているが、被害の程度およびそのパターンは3箇所でかなり異なっている。

武庫川橋梁から六甲トンネルまでの区間ではほとんど全部の高架橋に被害が生じており、2層ラーメンの上層側あるいは下層側の柱が完全に崩壊し、あたかも一層ラーメンのごとく軌道面が低くなるなど高架橋が原形を保っていない（写真-1）、かぶりコンクリートが剥落し、内部コンクリートも破壊し、鉄筋も大きく変形しているが、高架橋としての形を保っている（写真-2）、あるいはせん断ひび割れやかぶりコンクリートの剥落はあるが、主鉄筋は変形をしていないなどと様々なレベルの損傷がある。比較的軽微な損傷の高架橋の観察からは、3径間ラーメン構造の4本の柱の内の外側の2本の損傷が著しく、また柱の上端のハンチ下端の損傷が目立つ。外見上、上床版には損傷は見られず、したがって軌道面はラーメン高架間の渡桁の落橋部以外は直線性を保っており、またバラストの飛散なども見られない（写真-3）。これには、震災がレールに引張軸力が作用する冬期の早朝に発生したことにより、バラスト軌道の座屈が生じなかったことも寄与していると考えられる。

西明石駅東側については標準的な3径間ラーメン高架橋には被害は生じているがさほど大きくなく、中央径間が広い異径間ラーメン高架の中央部2本の柱の損傷が特徴的である。損傷は柱の中央区間で生じている（写真-4）。

東海道本線六甲道駅付近のラーメン高架橋は今回視察した内では最も被害が大きかった。この区間ではラーメン高架が線路直角方向に大きくねじれていることが特徴的であり（写真-5）、また比較的短い柱が完全に崩壊する（写真-6）などの被害が特徴的である。比較的被害の小さい柱の観察からは、損傷は柱上部ハンチ下端に発生しているものが多い。

(2) PCおよびRC桁橋

山陽新幹線の武庫川橋梁、甲東園高架橋、阪急今津線線路橋、神呪架道橋、伊川橋梁、明石川橋梁、東海道本線六甲道駅付近の架道橋、西明石付近の架道橋および神戸高速鉄道三宮付近の高架橋を視察した。これらのうち、甲東園高架橋、阪急今津線線路橋、神呪架道橋、伊川橋梁は落橋あるいはそれに近い状態になっている。しかし、いずれの橋においても、桁は無損傷あるいは端部のコンクリートが欠落する程度の軽微な損傷である。

被害は橋台と橋脚に集中している。特に伊川橋梁のラーメン橋台の柱の破壊は激しく、柱が圧壊したかのような破壊状況であり、鉄筋は全方向に変形し、柱の原寸法が全くわからないほどである（写真－7）。阪急今津線線路橋のラーメン橋台の破壊も同様である。また六甲道駅大阪側の架道橋橋脚の破壊も激しいものであった（写真－8）。垂直方向と水平方向の地震動により生じる圧縮力とせん断力がどのような速度で作用し、その結果として今までに経験したことのないこのような破壊が、どのように進行したのか今後十分検討する必要がある。

伊川橋梁と明石川橋梁は約1.7km離れており、同程度の規模のPC桁橋である。いずれの橋の中間橋脚にも、その中央部にせん断き裂、かぶりコンクリートが剥離しており、明石川橋では鉄筋の座屈も生じている。しかしその方向は明石川橋梁では橋軸の側面側であるのに対して、伊川橋梁では内面側である。

武庫川橋梁では小判形断面の橋脚の側面に鉄筋の座屈を含む破損が生じている。破損はすべての橋脚の桁面から同じ距離下がった断面であり、鉄筋段落し部と考えられる。

多くのコンクリート橋で桁の横移動が生じている。神呪橋架道橋では後から取り付けた横移動防止金具のボルトのすべてがせん断破壊し、金具が落下しているものもある（写真－9）。神戸高速鉄道の三宮付近のPC桁高架橋では、建設が昭和40年以前のため、桁のシューに横移動防止機能は供えておらず、アンカーボルトをひきちぎって桁が移動し、1連は転倒している（写真－10）。

(3) 鋼製橋脚

視察を行なった区間の鉄道橋には鋼製橋脚は数少ない。神戸高速鉄道の三宮駅付近の鋼プレートガーダー架道橋を支えている2本のラーメン橋脚の鋳鋼柱にぜい性破壊が生じている（写真－11）。このような破壊はおそらく世界でも初めてであり、詳細な調査を行う必要がある。このような破壊モードは衝撃的な荷重あるいは急速な変位が加わったことを示している。

東海道本線三宮駅付近の架道橋の多数のロッカー式橋脚がすべて山側に倒れている（写真－12）。これはプレートガーダーが移動したためであろう。

(4) 鋼桁橋

山陽新幹線には鋼桁橋はほとんどなく、今回視察したのは伊川橋梁の西側の架道橋と西明石駅西側の架道橋のみである。伊川橋梁の西側の架道橋はそれ自体には何らの変状は認められないが、それを支えている箱断面横梁の下沓が破壊していた（写真－13）。これは急激な横方向の力が作用した結果であり、宮城沖地震において東北新幹線等の多数の桁式高架橋で生じた破壊と同じと考えられる。西明石駅の架道橋では桁端が局部的に座屈し

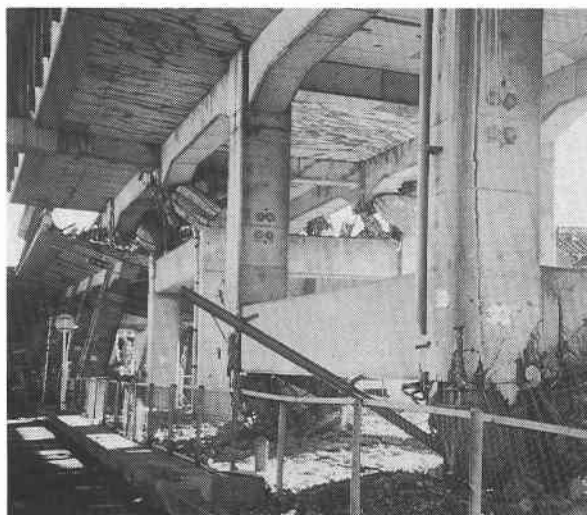
ていたが、これはRC橋脚の変位により生じたものと考えられる。東海道本線や私鉄等には多数の鋼桁があるが、いずれも無損傷あるいは桁端部の軽微な破損のみである。

第2神明道路が東海道本線を越える神明線路橋は鋼ボックス連続桁であり、その固定端の橋脚に著しい損傷が生じていた（写真－14）。この橋脚は高さが1/2程度となり、断面はほぼ全方向におよそ2倍程度まで膨らみ出している。この線路橋から海側に位置するこの道路の高架部分では鋼ボックス桁のシュー座の下の横梁部のコンクリートが圧壊するあるいは鋼プレートガーダー橋の端補剛材が局部座屈するなど、いままであまり経験のない損傷が生じている。

（5）トンネル（開削）

神戸高速鉄道の大開－高速長田間の地下区間と神戸市営地下鉄三宮駅を視察した。神戸高速鉄道のこの区間は昭和37年頃開削工法で建設されている。大開駅ではボックスラーメン構造であり、その中柱が完全に破壊するとともにラーメン上面スラブが破壊して2～3m沈下し、ボックス断面が下面スラブを残してM型断面になっている（写真－15）。また地下駅の直上の路面がかなり陥没している（写真－16）。駅以外の一般のトンネル部のボックスラーメン構造の躯体でも中柱がかなり破損している。破壊は特に柱の下端が著しく、かぶりコンクリートの剥落および鉄筋が座屈しているものもある。柱下端の右側側面が破損していると同じ柱の上端の左側側面に破壊がある傾向が認められる。また、ボックス断面ラーメン構造の下端コーナーのハンチ上端部においてラーメン側壁の内側への変位が生じている。

神戸市営地下鉄三宮駅は3層ラーメン構造であり、B1FおよびB2Fの電気および機械室内のRC造の中柱のかぶりコンクリートが剥離し、一部の柱では鉄筋の座屈も生じている。B2FおよびB3Fの一般旅客の入るコンコースの中柱は鑄鋼製の丸柱が使用されているが、損傷はない。なお、三宮駅に隣接する一般トンネル部はボックス断面トンネルであるが、駅内が損傷しているにもかかわらず視察した範囲では損傷は生じていない。



写真－1：2層ラーメン高架橋の崩壊
（山陽新幹線西宮市阪水高架橋）



写真－2：ラーメン高架橋柱上端部の損傷、ハンチ下端

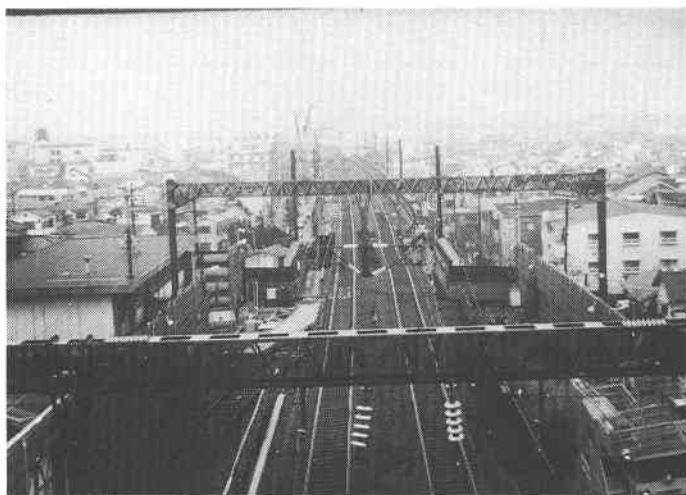


写真-3：山陽新幹線六甲トンネル大阪側坑口から見た軌道，高架橋の破壊にもかかわらずバラストとレールの乱れは少ない



写真-4：異径間3スパンラーメン高架橋の破損（山陽新幹線西明石駅付近）



写真-5：ラーメン高架橋の破損（東海道本線六甲道駅付近），線路方向のねじれ

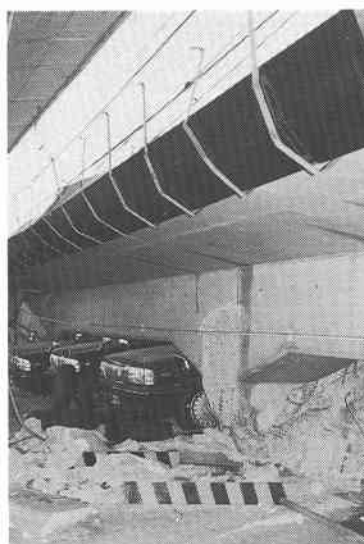


写真-6：ラーメン高架橋柱の破損

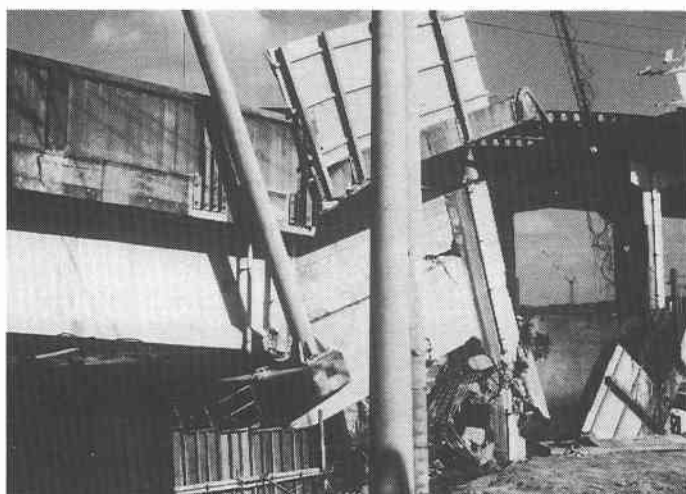


写真-7：ラーメン橋台の破損（山陽新幹線伊川橋梁），上層側柱の破壊のため上層梁と中間梁が一体となっている

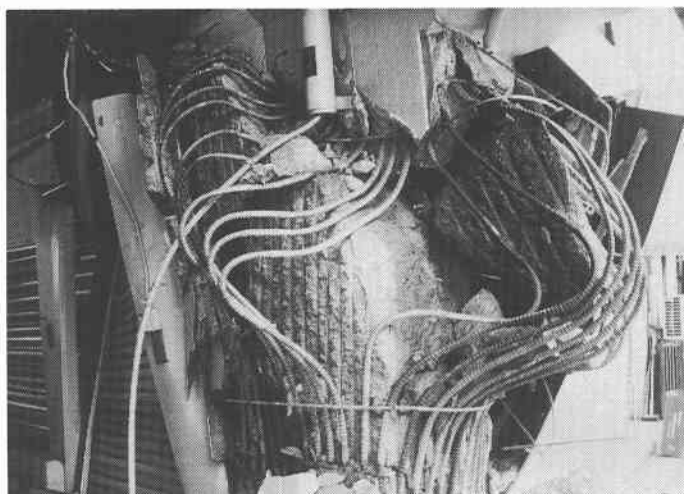


写真-8：架道橋RC橋脚の破損（東海道本線六甲道駅付近）



写真-9 : 桁の横移動防止器具の破損（山陽本線西宮市神呪架道橋），ボルトが破壊し移動している



写真-10 : 桁が横移動し落下（神戸高速鉄道三宮駅付近）

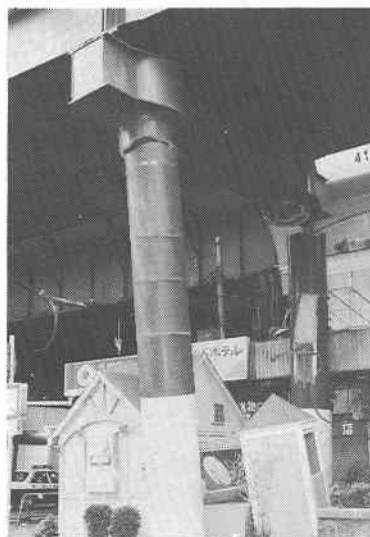


写真-11 : 鋼製橋脚柱のぜい性破壊（神戸高速鉄道三宮駅付近）

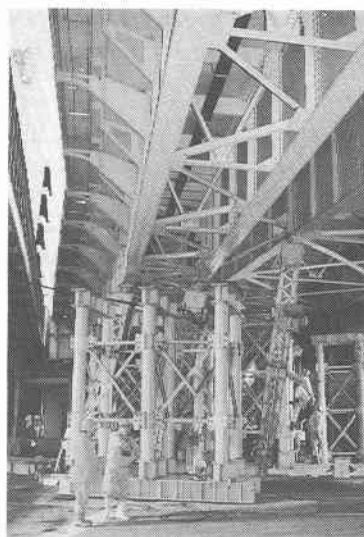


写真-12 : ロッカー式橋脚の傾斜（東海道本線三宮付近）

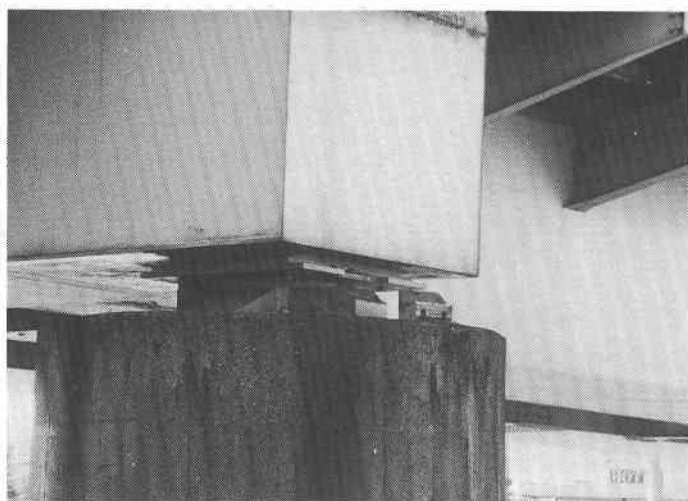


写真-13 : 鋼桁橋箱断面横梁の下沓破壊（山陽新幹線伊川橋梁）



写真-14 : 第二神明線路橋橋脚の破壊，上部構造は鋼ボックス連続桁



写真－15：地下鉄ボックスラーメン構造中柱と上面スラブの破壊
(神戸高速鉄道大開駅)



写真－16：大開駅直上の路面陥没

2.3 車両等鉄道システムの物理的被害

(1) 列車脱線および車両被害

25箇所で49列車(部分的車両脱線を含む)が被害を受けた。早朝であったため、この内26列車は車両基地または留置線での被害であった。阪神電鉄の高架式車両基地(石屋川車庫)の圧壊を除くと、車両の損壊は現在までの運転復旧に著しい支障をもたらす程のものとはならなかった。これは地震が早朝に発生し本線走行中の列車が少なかったことも影響していよう。

(2) 電力・信号・通信関連被害

高架構造物等の被害に伴う電力柱の倒壊等の被害はあったが、変電所、鉄道通信関連については一部を除き調査時点では大きな被害は報告されていない。無線通信システムの有効性が発揮されたものと考えられる。また運転指令所も大阪地域に配置されていたこともあり損害を受けなかった。

2.4 人的被害

旅客の死傷：死亡なし、重傷5名、軽傷36名

高架下勤務者・居住者：死亡3名、重傷なし、軽傷1名

2.5 交通機能上の被害

(1) 都市鉄道の麻痺

- ・都市鉄道網の寸断は、日常交通、被災者の避難や物資調達の為の交通、さらには救援活動に大変な困難をもたらした。必然的に道路への負荷を高め、被災による大幅な道路交通容量の減少問題を更に深刻化させた。
- ・神戸・大阪間を結ぶJR東海道本線、阪急神戸線、阪神本線の全てが運転停止され、1日約43万人、ピーク1時間12万人の日常交通機能のみならず、被災者の避難交通や物資購入のための交通、あるいは救援のための交通機能が麻痺した。鉄道の旅客需要は後述する代替バスの輸送力(23日のJR、阪急、阪神の3社の代替バス

の輸送量1日3万5千人)ではカバーできない大量の需要である。それでも代替バスの道路に対する負荷は大きく、専用レーンの設置にも係わらず渋滞を引き越し、大都市における鉄道、道路の交通機能が如何に重要であるかが示された。なお、43号線の専用レーンが設置されるまでの早さは、特筆に値する。また、三田経由の迂回経路が大阪・新神戸間に設定された(経路:大阪-(福知山線)-三田-(神戸電鉄)-谷上-(北神電鉄)-新神戸、所要2時間、乗換2回)ことは、非常時のネットワークとしてのリダンダンシーの重要性を示すものであった。

(2) 都市間鉄道の麻痺

- ・山陽新幹線、東海道新幹線の運休は、我国の大動脈を切断するものであり、京都・新大阪間1日120往復、新大阪・新神戸間1日90往復が運休した。航空会社が迅速に臨時便の大幅増発の努力をしたが、関西国際空港の開港によりそれが可能であった。鉄道と航空の代替性、複数空港の存在、滑走路容量の余裕等による交通システムとしての機能的リダンダンシーの重要性が示されたものである。
 - ・東海道本線・山陽本線の輸送については、一日約360往復(内貨物列車50往復、優等列車150往復)が運休した。
 - ・姫路方面と大阪の連絡ルートとして、21日の福知山線の復旧により加古川線・福知山線、播但線・福知山線の迂回ルートが確保された。ただし、播但線、加古川線は非電化で、線形も悪く、低速であり代替機能は低いものの、一応の鉄道のネットワーク効果が発揮されたといえよう。
- また、27日から新大阪-姫路間で中国自動車道の代替バス運行が始められたが道路渋滞のため運行上の問題は抱えている。

2.6 直接的損害額

調査時点での復旧費用概算値はJR3社、民鉄8社で3530億円である。特にJR西日本1200億円、阪急電鉄660億円、阪神電鉄700億円は巨額であり、他の各社についても年間収益からみて極めて深刻な状況にある。さらに、運休にともなう減収や、JR東海については山陽新幹線からの直通旅客分の減収も巨額にのぼっている。これらの額は、各社の年間運賃収入、設備投資額等からみて、多くの鉄道会社の存立にも係わるものであり、鉄道軌道整備法、同施行令・施行規則に定められた災害時の救済策(過去3年間または確実に今後5年間の営業損失のある会社に対し復旧事業費の25%以内を国費補助)には限界があり、特別の措置が検討されている。

また、民間企業であるため復旧後被害額に応じて運賃格差がでる可能性があり、甚大な被害を受けた会社の経営とその利用者の負担は長期的影響を被ることとなる。

3. 復旧状況

(1) 列車運転の復旧状況

地震発生日の運休区間3,552.8kmのうち表-1の通り復旧努力がなされている。

構造物については、当日中に被害調査がなされ、応急復旧工法が決定され、深夜には復旧工事が開始された。この迅速な対応が採られたことが、早期復旧として実っている。

車両については、車両基地の配置と被害の局地性のため、現在のところ部分的仮復旧に

際し運用上の問題は少ないが、今後復旧区間の延伸に応じて車両の不足や、車両修繕、調達に問題を生じる可能性がある。また、軌間幅、電力、信号システム等の不統一のために、自治体間や、電力会社間、ガス会社間の各種の特殊車両（消防、救急、ごみ収集、電気工事、ガス工事等）の全国的支援体制に比較して、私鉄各社間の車両支援は困難な現状にある（技術者支援は可能である）。また、JRが迂回ルートを設定できたのに比して、各種システムの異なる私鉄各社のネットワーク効果には限界がある。

また、指令所の大被害を免れたことが、迅速な復旧のために幸いした。

表－1 列車運転復旧状況（当日復旧路線を除く）

日	会社名	復旧路線数	復旧キロ	日	会社名	復旧路線数	復旧キロ
1月18日	JR西日本	4	152.0	23日	JR西日本	1	15.5
	阪急電鉄	2	17.9		阪急電鉄	1	2.9
	阪神電気鉄道	1	14.1	25日	JR西日本	1	6.3
	大阪市交通局	2	9.5		26日	阪神電気鉄道	2
	神戸市交通局	1	13.9	28日		山陽電気鉄道	1
	北大阪急行電鉄	1	1.9		30日	JR西日本	1
	山陽電気鉄道	2	47.5	阪急電鉄		1	4.5
	北神急行電鉄	1	7.5	山陽電気鉄道		1	2.9
	大阪高速鉄道	2	10.2	2月1日	阪神電気鉄道	1	0.9
19日	JR西日本	2	25.3		神戸高速鉄道	1	1.5
20日	阪急電鉄	1	6.4	2月1日現在、不通区間長は、181.4kmとなっている。			
	神戸電鉄	4	56.0				
21日	JR東海	1	39.0				
21日	JR西日本	1	15.3				
	阪急電鉄	1	2.2				

(2) 代替バス

1月23日（月）より、JR甲子園口駅～三宮駅、阪急西宮北口駅～三宮駅、阪神甲子園駅～三宮駅間にバスによる代替輸送が、開始された（運行間隔は、各15分で3社で5分おき）。これら区間は、上表の鉄道運転再開に伴い、順次短縮されている。

さらに、28日（土）より、JR芦屋駅、阪急西宮北口駅、阪神青木駅からそれぞれ三宮駅まで43号線に設けられたバス専用レーンを利用し、1日940便の代替バス運行が開始された。新幹線の代替としては、中国自動車道の開通に伴い新大阪～姫路間を結ぶ路線運行が開始された。いずれも、交通渋滞の問題は抱えている。

4. 将来計画的な視点からの意見

・鉄道構造物の地震被害はかつて経験したことがない甚大なものであった。その為、構造設計基準の見直しにあたり、基本的問題に立ち戻って以下の検討が必要である。

- 1) 地震動の大きさと種類についての詳細分析
- 2) 上記地震動に対する構造物の応答の分析
- 3) 設計に際しての構造物のモデル化の方法

・復旧対策上の課題

- 1) 応急復旧（減速運転）、本格復旧
- 2) 財政支援および技術者支援
- 3) 建築物の線路上への倒壊、復旧活動からみた沿線、高架下利用のあり方。

・将来計画上の課題

- 1) 安全問題、環境問題、費用問題から見た計画理念、構造設計理念
- 2) 災害時への対応や復旧を考えた各システムの機能的リダンタンシーの確保

（文責：森地、三木、家田）