

阪神・淡路大震災における交通系の被害と復旧

—主に橋梁構造物系について—

1. はじめに
2. 交通系の被害
3. 交通系の復旧
4. 震災から学んだこと
5. 耐震設計に関するいくつかの検討
6. 震災と情報ネットワークについて
7. 今後の課題
8. むすび

長 嶋 文 雄*
望 月 利 男**

要 約

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震による交通系の被害と復旧について、特に交通系に大きな影響を与えた橋梁構造物を中心に述べる。ただし、橋梁構造物に関しては被害が従来の予想を上回ったためか、とりあえずの原因究明の動きと復旧のためのガイドライン作成作業が迅速かつ精力的に行われ、公表された資料の質が良く、量もかなり見られる。従って、詳しい内容については重複を避けて末尾に挙げている参考文献などに譲ることとし、ここではそれらの資料に基づき橋梁被害と復旧について概察するに留める。

多大の人的・物的被害を出した今回の震災に対して、とりあえずの原因究明で終息させることなく、今後腰を据えた原因の解明が必要である。ここでは今回の震災に学ぶべき事柄について議論し、現在著者らが進めている耐震・免震に関する研究の中間的な報告を行い、さらに今後やや長期的な研究計画をたてて解明しなければならない問題などについて議論した。

他方、今回の震災ではインターネットなどのコンピュータネットワークが活躍したが、交通系に関しても特筆すべき動きがあった。コンピュータネットワークがこの震災を契機にさらに発展し、将来の災害復旧に活用されることになると思われ、この点に関しても若干の考察を行った。

* 東京都立大学工学部土木工学科

** 東京都立大学都市研究所

1. はじめに

平成7年8月23日、六甲ライナーは阪神・淡路大震災で大きな被害を受けた住吉-魚崎間の運転を再開したことによって全線が復旧し、またこれによって震災地域およびその周辺の鉄道・軌道網が全て復旧した。平成7年1月17日の地震発生以来約7カ月ぶりである。

一方、道路の方も9月18日現在の不通区間は阪神高速3号線神戸線武庫川・月見山間、第2神明道路月見山・須磨間、国道2号線浜手バイパスハーバーハイウェイそして国道171号門戸陸橋の3区間と1カ所となり、復旧見通しはそれぞれ、摩耶・京橋間は来年3月、それ以外は来年末、浜手バイパスは来年10月、門戸陸橋は今年10月の予定である。

鉄道と道路に関する上記の内容は、いずれもインターネットを通して全国あるいは全世界に伝達されたものである。前者はマスメディアからの発信¹⁾であり、後者は個人の情報活動²⁾によるものである。さらに後者には交通規制区間、生活関連物資輸送ルートなどきめ細かな情報が記載されている(3章、表4参照)。マスメディアを凌ぐ程のネットワーク情報が流出しており、これらが今回の震災を契機に発展し、将来の災害復旧に活用されることになるであろう。コンピュータネットワークを利用したこのような情報化社会の急速な進歩については、交通情報や災害情報の伝達手段として重要であると思われたので、6章で多少詳しく述べることにする。

本論文では、まず兵庫県南部地震による交通系の被害と復旧について、特に大きな影響を与えた橋梁構造物を中心に概察する。橋梁構造物に関しては被害が従来の予想をはるかに上回ったためか、とりあえずの原因究明の動きと復旧のためのガイドライン作成作業が迅速かつ精力的に行われ、公表された資料の質が良く、量もかなり見られるため、詳しい内容については重複を避けて末尾に挙げている参考文献3)~12)などに譲ることにし、ここではそれらの資料に基づき橋梁被害と復旧について概察するに留めることにした。

次に、今回の震災に学ぶべき事柄について議論し、現在著者らが進めている耐震・免震に関する研究について述べ、さらに今後やや長期的な研究計画をたてて解明しなければならない問題などについて述べる。

2. 交通系の被害

恐らく大多数の建設系技術者・研究者にとって平成7年1月17日の阪神・淡路大震災の被害は、丁度1年前の同日に米国で起こったNorthridge地震での被害¹³⁾を知見していたにしても、愕然とするに十分な惨状であったというのは偽らざるところであろう。ここ数年間で異常ともいえるほど大きな地震加速度が観察され、これが測定器の特性によるものなのか、それとも実際に生じているものなのかという議論がなされていた矢先の出来事であった。

兵庫県の交通系の特徴は、太平洋に面した他の多くの地域と同様に、南部の狭隘な地域に日本経済を支える交通の主な幹線が集中して通っていることであり、人口の密集する市街区域もその交通幹線に沿って発達している。

南北に5km足らず、最も狭い三ノ宮付近で約3kmのところ、国道2号線とそれに沿うように、あるいは重なりながら名神高速道路3号神戸線が走り、これらに平行してウォーターフロントに5号湾岸線とハーバーウェイが走っている。さらに鉄道は、山陽新幹線を始め、山陽線、阪急神戸線、阪神本線などが併走している。

日本の大動脈であるこれらの交通系が通る部分と帯状の烈震・激震域が重なり、大被害になったのである。兵庫県南部において交通系の被害が顕著であったところは、東は武庫川から西は須磨区付近の南北に狭く、東西約30kmと細長い地域に集中している。

人的被害については、地震発生時刻が早朝であったことも関係して、全体の死者数5500余名のうち、鉄道損壊に伴う死者は無く(ただ、駅舎部などの倒壊による死者3名)、道路損壊に伴う死者は16名であった。

阪神・淡路大震災による直接的な被害額は、この3月15日に兵庫県がまとめた数字¹²⁾によれば、高速道路で5500億、鉄道で3439億であるが、その後の交通規制や復旧時における交通渋滞あるいは鉄道の不通が日本経済に及ぼす影響は計り知れないものがある。

交通系の被害については、文献3)～12)などに詳しく述べられている。道路橋に関しては、「兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査・中間報告」(兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会)⁷⁾は最も詳しい報告書であり、貴重な資料である。道路橋の被害については震災直後は様々な憶測やそれに基づく中傷などがあったが、当報告書が出された時点から、冷静な報道がなされるようになったように思われる。

当報告書を参照し、道路橋における主な被災橋梁の橋梁名、位置、被災の状況を示したのが図1および表1である。図1は、文献9)から引用させて

頂いた道路橋の被害状況図である。

阪神高速道路における橋梁の被害については、道路震災対策便覧に基づいた損傷度合のランク付けがされている⁸⁾。神戸線と湾岸線については、比較的損傷度が高いBランク以上の橋脚が、鋼製橋脚23基(14%)、RC橋脚256基(25%)となっている。

上部工については、Bランク以上の橋桁は36径間であり、全体の26%となっている⁸⁾。

鋼製橋脚の被害が実際に現地調査したときの印象と比べて多く感じるの、東灘区深江本町における神戸線のPCゲルバー橋を始めとするコンクリート橋脚の破壊状況が強烈な印象を与えているためであろうか。

PCゲルバー橋は神戸線が大阪方面から西に向かって緩やかにカーブした後の直線区間に建設されたものであり、当時のコンクリート橋の先端的な技術を駆使して鋼桁橋に対抗できるよう工夫され

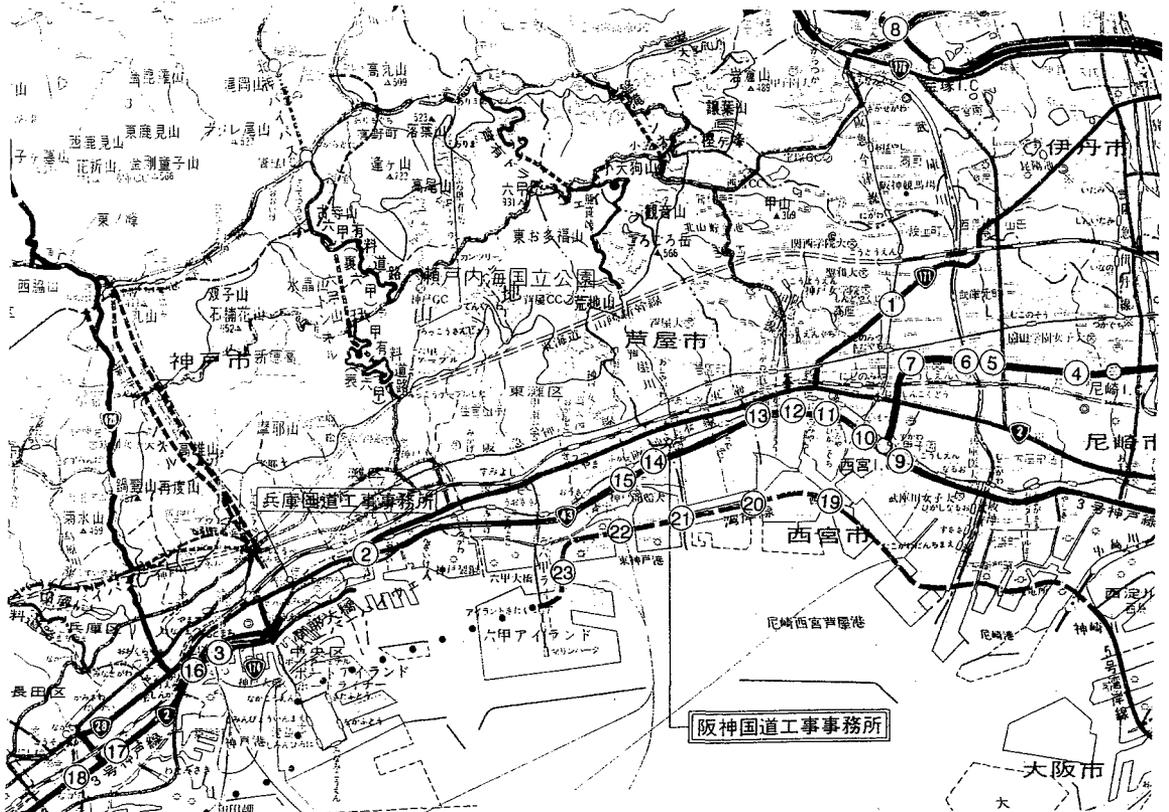


図1 被災道路橋の位置図(文献7)による)

表1 道路橋の路線別の被災状況(文献7)による)

No.	道路名	橋梁名または地区名	被害の状況
1	一般国道171号	門戸高架橋	跨線橋部の単純桁が線路上に落橋
2	一般国道43号	岩屋高架橋	RC橋脚の損傷、鋼製橋脚の損傷
3	一般国道2号	浜手バイパス	上部工の支承からの脱落、鋼製ラーメン橋脚の損傷
4	名神高速道路	大西高架橋	RC壁式橋脚の損傷、桁の沈下
5	名神高速道路	守部高架橋	RC壁式橋脚の損傷、桁の沈下
6	名神高速道路	武庫川橋	RC橋脚損傷、支承の損傷による桁の段差発生
7	名神高速道路	瓦木西高架橋	ロッキングピアを有する斜床板橋の落下
8	中国自動車道	宝塚高架橋	RC橋脚の損傷、桁の沈下
9	阪神高速3号神戸線	西宮市甲子園高潮町	橋脚の損傷、桁の沈下
10	阪神高速3号神戸線	西宮市市今津二葉町	鋼製橋脚の損傷
11	阪神高速3号神戸線	西宮市浜脇町札幌	単純桁2径間の落下
12	阪神高速3号神戸線	西宮市市庭町建石交差点	鋼製橋脚の損傷
13	阪神高速3号神戸線	西宮市市庭町戎神社前	RC橋脚の損傷
14	阪神高速3号神戸線	神戸市東灘区深江本町	ピルツ橋18径間の破壊
15	阪神高速3号神戸線	神戸市東灘区深江本町西	RC橋脚の損傷
16	阪神高速3号神戸線	神戸市中央区波止場町	RC橋脚の損傷、桁の沈下
17	阪神高速3号神戸線	JR和田岬線跨線橋部	鋼製橋脚の損傷
18	阪神高速3号神戸線	湊川ランプ	橋脚の損傷、ランプ橋の落下
19	阪神高速5号湾岸線	西宮港大橋	鋼箱桁橋1径間が落下、ニールセンローゼ桁橋支承の損傷
20	阪神高速5号湾岸線	新夙川橋	支承の損傷、桁の沈下
21	阪神高速5号湾岸線	新芦屋川橋	鋼製ラーメン橋脚の損傷
22	阪神高速5号湾岸線	東神戸大橋	斜長橋端部のベンデル支承損傷、桁段差発生
23	阪神高速5号湾岸線	六甲アイランド大橋	ローゼ橋支承の損傷、主構の傾斜・段差発生

たものである。地震に関しては日本と全く状況の異なる国であるドイツで生まれたこの工法は、橋脚がその頂部の桁と一体となった形が葺の形をしていることからピルツ工法と呼ばれた。当施工法が威力を発揮できるのは直線区間であり、この深江地区が選ばれたのであった^{14),15)}。隣接する鋼製桁橋の橋脚が倒壊を免れた事実から明らかなように、コンクリート製橋脚が鋼製桁に比べて重い、top heavyな構造物であることが地震時水平力を大きくしたのであろう。当初は施工不備などという報道が盛んになされたが、いずれにしても、建設当時の設計震度では今回の地震には耐えられない(断面が足りない)ことが次第に分かって来ている。

一般国道171号線の門戸高架橋は跨線橋であるが、落橋した(写真1)。このような跨線橋では2次災害が発生する恐れもあるため、是非とも落橋は防がなくてはならない。

写真2は東灘区深江本町西側のRC橋脚の損壊状況を示したものである。橋桁の落下はこのよう

な橋脚の破壊に伴う事例がこの度の震災で数多く見られた。

湊川ランプでは、RC橋脚の損壊により、鋼製桁が落下した(写真3)。落橋防止装置本体には異常は見られなかったが、取り付け部の強度が不足しているような破断が見られる。

阪神高速湾岸線では最も新しい道路橋基準で作られた西宮港大橋の側径間が落橋した(写真4)。ここで注意しなければならないのは、湾岸線の通っている地域の震度は7未満ではなかったのかということである。地盤の側方流動による橋脚の移動と傾斜および相当異なる周期の設計振動単位が隣接したために揺れに位相差が生じたことなどが主な原因として挙げられているが、落橋防止装置などの付帯施設などを考慮した、地盤-基礎-橋脚-上部工全体系の動的応答解析を行うなどして、詳しい原因の究明を行うべきである。

落橋防止装置については、新潟地震での昭和

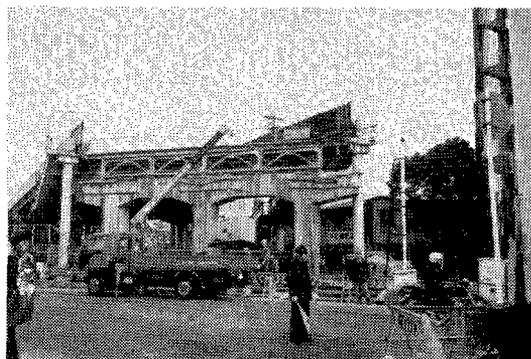


写真1 門戸跨線橋桁落下現場 (1)

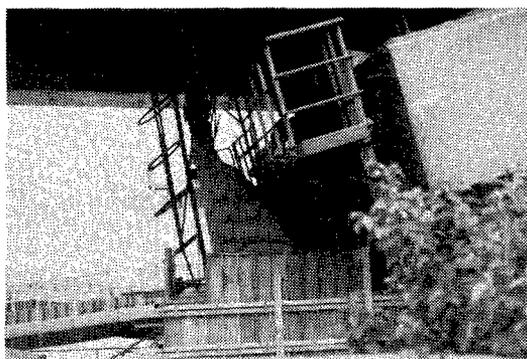


写真2 東灘区深江本町西側RC橋脚の損傷 (15)

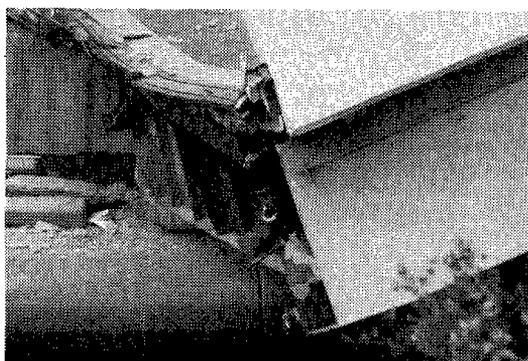


写真3 湊川ランプ橋桁の落下 (18)

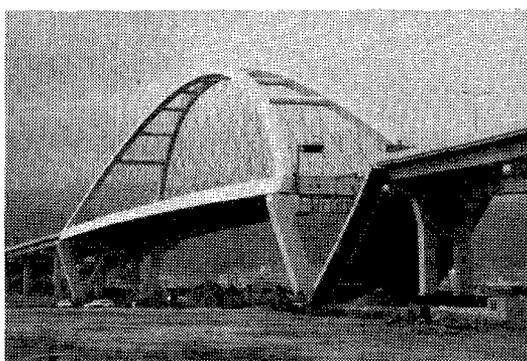


写真4 西宮港大橋側径間の落下 (19)

表2 神戸市東灘区～灘区断面日交通量の変化 (文献8) による)

路線名	交通量および交通容量			
	震災前 (H6. 9)	震災後 (H7. 3)	ハーバーハイウェイ 部分供用 (H7. 秋)	神戸線前線 復旧後 (H8. 冬)
国道 2 号	33,000 (4) [34,000]	36,000 (4) [34,000]	(4) [34,000]	(4) [34,000]
国道 43 号	78,600 (8) [57,000]	36,500 (4) [29,000]	(4) [29,000]	(4) [57,000]
山手幹線	24,500 (4) [24,000]	34,400 (4) [24,000]	(4) [24,000]	(4) [24,000]
阪神高速神戸線	115,000 (4) [85,000]	(0) [0]	(0) [0]	(4) [85,000]
ハーバーハイウェイ	39,500 (4) [46,000]	(0) [0]	(4) [46,000]	(4) [46,000]
断面計	290,600 (24) [246,000]	106,400 (12) [87,000]	(20) [162,000] (16) [133,000]	(24) [246,000]

置が義務づけられているが、細部設計の規定がないために、強度にばらつきが多いことがわかっている。阪神高速道路公団の規準は最近まで桁が落下することを考慮していなかったため、実際に橋

桁が橋脚天端から落下した場合には、落橋防止装置は強度が不足したものと思われる。なお、地震発生時の高速道路上の存置車両台数は、発生時刻が未明であったために少なく、280台であった⁸⁾。

表3 鉄道橋の主な被害（文献5）による）

No.	橋梁名	構造概要	被災状況
1	新幹線 下食満BL	ラーメン高架橋 2層3径間張出し式	倒壊
2	新幹線 時友BL	ラーメン高架橋 2層3径間張出し式	倒壊
3	新幹線 阪水BL	ラーメン高架橋 2層3径間張出し式	倒壊
4	新幹線 松頼荘BL	ラーメン高架橋 1層3径間張出し式	中程度の被害
5	新幹線 神呪BL	ラーメン高架橋 1層3径間張出し式	倒壊
6	在来線 第4御影BL	ラーメン高架橋 1層3径間張出し式	かなりの損傷
7	在来線 第3永手町BL	ラーメン高架橋 2層2径間張出し式	倒壊
8	在来線 第3永手町BL	ラーメン高架橋 2層3径間張出し式	倒壊
9	在来線 第3永手町BL	ラーメン高架橋 2層3径間張出し式	倒壊
10	在来線 第2裨原BL	ラーメン高架橋 1層3径間張出し式	倒壊

また、震災前（平成6年9月）と震災後（平成7年3月）の神戸市東灘区～灘区断面日交通量の変化および未復旧の場合は予定を表2に示す。表内の数値は、上段が交通量（台/日）、下段が車線数と交通容量〔台/日〕である。

鉄道橋の被害については、鉄道施設耐震構造検討委員会（運輸省・鉄道局）においてまとめられている。表3は委員会内での被害原因検討対象構造物のリストである。

被害の程度の大きいものは2層式のラーメン橋が多く、せん断耐力が曲げ降伏耐力よりも小さかったことが倒壊に至る主要原因に挙げられている。なお、倒壊に至った8橋の中で1層式ラーメン橋が2橋含まれているが、いずれも同様にせん断耐力が曲げ降伏耐力よりも小さかったことが報告されている。

鉄道橋の宿命ではあるが、バラスト軌道は砂利を敷き詰めるため重量が重く、必然的にtop heavyな構造物となる。いずれにしてもRCラーメン橋が倒壊したことは重大な問題であり、今後の詳細な検討が望まれる。

鉄道被害で特筆すべきは地下鉄の被害である。従来、地震には強いとされた地下鉄の駅舎部の中柱が崩壊した。柱断面が不足していたのは事実であるとしても、垂直方向地震力が直接の原因であるのか否かの議論は非常に重要であり、興味深い問題である。

3. 交通系の復旧

鉄道に関しては、地震発生以来約7カ月ぶりに六甲ライナー全線が復旧し、これによって震災地域およびその周辺の鉄道・軌道網が全て復旧した。しかし、道路についてはまだ表4に示す部分が不通または通行制限区間となっている。

表4はインターネットのニュースグループfj.misc.earthquakeの記事²⁾である。

大都市における巨大地震の経験は世界的に見ても僅かであり、またそれぞれの国の実情も異なるから、復旧の遅速について言及することは不可能である。しかし、他の土木事業を犠牲にしてまでも、それこそ不眠不休であたった復旧工事のおかげで現在の交通を確保することができるようになっていく。

交通系に関して、地震発生直後からの、主に道路橋に関する復旧の様子についてまとめてみる。

道路橋で主要な被害を受けた阪神高速道路公団の報告⁸⁾は当事者の直接の報告であり、貴重な資料である。阪神高速道路公団（阪高）の震災発生直後にとった初動体制を、表5に示す。

阪高の緊急措置実施基本方針によれば、第一に人命救助、次に被災状況の早期把握、被災路線の一日も早い応急復旧の実施と通行禁止区間の解除、関係機関との連携による情報収集などの迅速な対

表4 9月18日現在の道路の不通区間と通行制限区間
(fj. misc. earthquakeの久米氏より引用)

久米@阪大です。

9月18日現在の主な道路の不通区間、規制区間とその内容です。

不通区間	復旧見通し
阪神高速3号神戸線武庫川・月見山間 第2神明道路月見山・須磨間	度耶・京橋間は来年3月、それ以外は来年末
国道2号線浜手バイパス ハーバーハイウェイ	来年10月
国道171号門戸陸橋	今年10月

規制区間

復旧物資輸送ルート→規制時間内に通行できる車両＝
「復興」か「除外」標章を提示した車両、バス、タクシー
それ以外の時間に通行できる車両＝
全ての車両（高速は125cc以下の二輪車は通行不可）

区間	規制時間
名神高速道路尼崎・西宮間上下線 阪神高速3号神戸線 尼崎東・武庫川間下り 武庫川・姫島間上り 阪神高速5号湾岸線 中島・六甲アイランド北間上下線 国道43号尼崎市武庫川2丁目交差点・ 神戸市灘区岩屋交差点間上下線	日・祝以外の6時・19時

生活関連物資輸送ルート→規制時間内に通行できる車両＝
「復興」か「除外」標章を提示した車両、貨物車、
バス、タクシー、二輪車（高速は125cc以下は不可）
それ以外の時間に通行できる車両＝
全ての車両（高速は125cc以下の二輪車は不可）

区間	規制時間
国道2号尼崎市西大島交差点・ 神戸市灘区岩屋交差点間上下線 第2神明道路 明石西・須磨間上り 阪神高速7号北神戸線 伊川谷 JCT・みの谷間東行き 第二神戸トンネル全線 (新神戸トンネル南行き)	日祝以外の6時・9時

注・「復興」標章 復興作業に携わる車両に対し、公安委員会が発行
「除外」標章 規制区間の沿線に車庫や事業所等がある車両に対し、
公安委員会が発行

表5 阪神高速道路公団が震災発生直後にとった初動体制

5時46分	地震発生
5時49分 ～51分	・道路情報板「通行止」表示 ・各料金所に対して通行止一斉指令
5時50分 ～55分	交通管理隊に路面点検、事故車に係わる人命の救助 支援、救護支援を指示
6時00分	防災業務要領に基づき呼集指令
6時30分	全線にわたり基地業者が応急調査、点検、応急復旧 (補修)等を開始
7時00分	管理部職員が到着
7時10分	・本社に職員が到着 ・審議役(神戸市在任)より理事長へ第一報 ・理事長より神戸管理部へ急行し現状把握と現地 推進本部(非常体制)の設置を指示
7時15分	理事長より理事に本社へ急行し現状把握のうえ災 害対策本部の設置を指示
7時45分	神戸管理部：現地対策本部設置(非常体制)
8時00分	・大阪管理部：現地推進本部設置(非常体制) ・湾岸管理部：現地推進本部設置(非常体制)
9時00分	阪神高速道路公団災害対策本部設置(非常体制)

応などとなっている。

緊急措置の具体例としては、神戸線のPCゲルバー橋など倒壊・落橋した箇所の構造物の緊急撤去は建設省近畿地方建設局で実施し、24時間の常時監視、著しい損傷により落橋などの恐れが高い箇所の撤去、仮支保工の設置、鋼板巻き立てによる橋脚の補強工事などは阪高が行っている。

この度の震災に対する復旧対策あるいは今後の全般的な震災対策については、各管轄省庁である建設省(道路)と運輸省(鉄道)が対策委員会などを設置し、検討を重ねている。

道路に関しては、兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会が1月20日に設置され、その復旧仕様の審議を経て建設省は2月27日に復旧仕様を通知している。内容を要約すれば次のようになる。

- (1) RC橋脚では、段落とし部をなくし、帯鉄筋の間隔を10cmにして、帯鉄筋の量を3倍に増やす。鋼橋脚では、内部にコンクリートを充填する。
- (2) 高架橋のように橋梁が連続する場合には、免震支承を使って地震力を分散させる。
- (3) 衝撃的な地震力にも耐えられる落橋防止装置を採用し、連結部材の強度を増大させる。
- (4) 液状化による地盤流動が予測される場合には、基礎の設計でその影響をチェックする。
- (5) コンピュータによる地震時動的挙動の解析を行い、今回の地震の加速度最大値観測地点の水平、鉛直の2方向の地震動に耐えられることをチェック、設計にフィードバックする。また、橋脚の高さの違いや連続桁橋の特性を設計に反映させる。

阪神高速道路公団はこれを受けて阪神高速道路震災復旧対策技術委員会において、例えば表6に3号神戸線の概要を示すが、そのような復旧仕様を作成し、復旧作業を開始した。また、5月19日には兵庫県南部地震の復旧対策費として平成7年度補正予算が通った。

建設省は、5月25日には新設・既設橋補強に係わる当面の措置(先の復旧仕様を準用したもの)を通知し、それとともに日本道路協会橋梁委員会に対して、新設・既設橋補強に復旧仕様を円滑に準用するための計算例や参考となる補足事項のとりまとめなどについての検討を依頼した。

橋梁委員会は、震災対策特別分科会を4月に設置して以来検討を積み重ねてきていたが、参考資料(案)と示方書検討方針などについて6月9日に審議を開始した。その結果、日本道路協会は6月30日付けで、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)¹⁶⁾を発行した。今後は、これを基に示方書の改訂案が作成される。

表6 阪神高速道路公団復旧仕様

種別	再構築	補強	
復旧区分の考え方	既設構造物を撤去し、復旧仕様適合する構造物を再構築する。	復旧仕様に適合するよう耐震性の向上を図るため構造物を補強する。	
基礎工	損傷の程度により、必要があれば再構築する。	損傷状況および復旧仕様に基づいて照査し、必要があれば増し杭をする。	
下部工(橋脚)	RC	柱断面は円形・矩形とも原形を基本とし、復旧仕様に適合するよう断面を決定する。	原形を基本とし、損傷部を補修。既設柱の外側に鉄筋を配置し、コンクリート巻き立て(厚さ20~30cm)で増厚する。また、損傷状況、構造要因、立地条件などに応じて鋼板巻き立て工法を併用する。
	鋼製	柱断面は円形・矩形とも原形を基本とし、復旧仕様に適合するよう断面を決定する。柱内部にコンクリートを充てんする。	割れ、座屈などの損傷部を補修。現状の寸法を基本に柱内部を補強して、コンクリートを充てんする。
上部工(橋桁)	鋼桁	原形を基本として、連続化する。	<ul style="list-style-type: none"> 可能な限り既設部材を再利用して補修する。必要に応じて桁端部の損傷箇所は切断して撤去し、新しい部材に置き換える。 必要に応じて端横桁などの部材を補強する。 可能な限り連続化する。
	コンクリート桁	連続鋼桁につくり替える。	損傷部を補修する。
床版	鋼床版を採用する。	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れなどの損傷箇所を補修し、鋼板接合工法により補強する。 いったん撤去して補修を施した後再利用する桁については、鋼床版を採用する。 	
支承	免震支承を全面的に採用する。	可能な限り免震支承に取り替える。	

新設・既設橋補強に当面の間用いられる上記仕様の特徴を挙げると次のようになる。

- (1) 構造物の変形性能を高めることにより、全体系として地震に耐える構造とすることを目的とする。
- (2) 非線形動的応答解析を行う場合は、架橋地点の地形・地盤条件を考慮し、I種地盤：神戸海洋気象台、II種地盤：JR西日本鷹取駅、III種地盤：東神戸大橋での記録波形を用いる。
- (3) 橋脚の耐震性の検討は従来のL1(震度法レベル)、L2(地震時保有水平耐力レベル)の照査に加えて、L3すなわち、上記の地盤上地震記録を用いた動的非線形解析を行い、安全性を検討する。
- (4) 落橋防止装置の設計に際しては、地震時許容応力度の割り増しは行わない、異なる種類の落橋防止装置を複数併用する、衝撃力を緩和する構造とする、隣接橋梁の固有周期の比が1.5倍以上では

桁を連結装置で連結しない、などとする。

(5) 今回の地震動の特徴を反映し、I種地盤(岩盤相当)の設計震度をII種地盤(沖積の軟弱地盤相当)よりも大きくする。

などの設計法を提案している。

一方、鉄道橋では、鉄道施設耐震構造検討委員会(運輸省・鉄道局)は1月20日の第1回委員会開催以降、2月1日、2日の第1回現地調査、2月3日の第2回委員会、2月27日の第3回委員会、3月7日、8日の第2回現地調査を経て、平成7年3月に第4回同委員会を開き、ここで第1次の中間とりまとめ(案)が作成された。

ただし、どういうわけか、地下鉄の被害に対する検討についてのまとめは脱落している。それにも拘わらず、首都圏の地下鉄耐震補強工事は急ピッチで行われており、この点について今後も注目して行きたい。

交通系の復旧に関して忘れてはならないのは、海上交通の役割であり、震災直後から遊覧船や観光船が救援隊や救援物資の輸送に活躍した。筆者も大阪の天保山-神戸のハーバーランド間を写真5に示すサンタマリア号などを使って往復したが、海上交通は震災によって不通となることはまずないので、復興時の貴重な交通手段である。しかし、便数が非常に少なく、料金も高く、しかも乗客を荷物扱いにするなど残念な面も見受けられた。

鉄道交通は徐々に復旧し、代替バスが鉄道不通区間を補うことになるが、この頃には毎朝通勤、通学のための長い列がみられた。しばらくは阪急神戸線の青木駅が、神戸や三ノ宮方面へ向かう代替バスの基地となった。

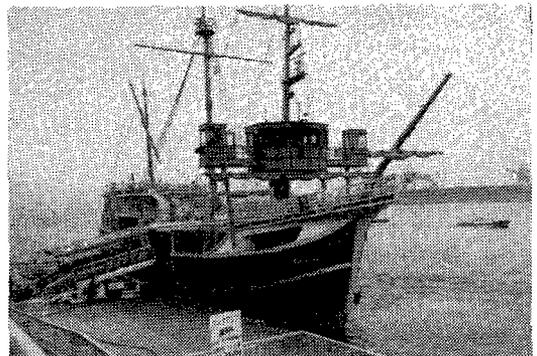


写真5 代替交通手段として使われた観光船サンタマリア号

4. 震災から学んだこと

昨今は橋梁設計に用いる応答スペクトルがかなり高く設定されるようになって来ており¹⁷⁾、3年前の道路橋免震マニュアル(案)¹⁸⁾では基準設計震度は1G(重力単位)となっている。また、我国は尊い多大の犠牲を払いながら耐震性を高めてきた歴史を持ち、構造物の耐震性は世界の中で最も高いことは事実であろう。

しかし、耐震先進国の日本にこのような大震災が起こったのも事実であり、兵庫県南部地震はほぼ日本全国いたる所でこのような巨大地震が起こる可能性があることを教えてくれた。

被害の大きかった道路橋に関して次のような事柄が、震災から学んだこととして挙げられよう。(1) 被害の大きかった阪神高速道路3号神戸線が供用を開始したのは1966年から1970年にかけてである。また、山陽新幹線は1966年の新幹線建造物設計基準規程で設計された。当時の震度は0.2Gであった。これに対して5号神戸線では西宮大橋の東側の側径間の落橋が1橋のみであった。

これらのことより、現耐震設計規準がほぼ妥当であることが確認された。旧規準で作製された構造物は早急に補強が必要である。

(2) たとえ損傷を受けたとしても、橋梁の最低限度の機能を保持するような設計を考える必要がある。土木工学においても、このようなfail-safeの考え方を広く導入すべきである。例えば、やじろべえタイプのラーメン形式橋脚両端の支承が破壊したときには中央橋脚が瞬間的に全荷重を受けることになる。このような終局状態をある程度見込んだ設計をすることなどが考えられる。

(3) 鋼製橋脚はRC橋脚に比べてよく耐えたという印象があり、「柔よく剛を制す」の例え通りの現象が見られた。これが、神戸付近の地盤が比較的良質であるためであるのか、そして沖積地盤でも同様の現象が生じるのかは今後の詳しい検討によって明らかになると思われる。

(4) 橋桁の大きな横方向の動揺によって支承が破壊し、さらに隣接する桁を橋脚天端から押し出し、

落橋させたのではないかと推測される事故が見られた。特に、異種の橋梁形式、異種の桁の接合部で被害が多かったが、構造物の揺れの位相差を考慮した設計をしなければならない。箱桁とプレートガーダーまたはコンクリート桁と鋼桁または規模の大きな橋梁とその側径間の小規模単純桁などについて今後検討すべきである。この問題を解決するには、地盤-基礎-橋梁全体系の動的応答解析によって確認する必要がある。また、衝撃吸収能力も考慮した支承などの装置の開発が望まれる。

(5) 鉛直加速度の影響、特に偏心構造物やtop heavyな構造物、地下鉄駅舎部などに対する鉛直方向荷重の扱いについて再検討が必要である。

(6) 衝撃力に対する緩和策をたてなければならない。鋼製ラーメン橋脚の隅角部に脆性的に発生した亀裂が見られたが、特に気温の低いときの衝撃力の影響について検討しなければならない。

(7) 細部設計、例えば落橋防止装置の定着部の処理(突合わせ溶接箇所)に充分注意しなければならない。また、明らかに強度の不足した桁掛かり増設工事箇所が見られた。

(8) 1960年~1970年は高度経済成長期であった。いくつかの被害に建設を急いだあまりの施工不良や構造の不備が見られる。これが主原因となり倒壊に至った構造物は無いようであるが、当然のことながら、施工管理(鉄筋の溶接箇所、木材混入)が重要である。

(9) 橋脚に鑄鉄管を使用するなど、使用材料の誤りがあったように思われる。

(10) 断面変更部分の被害が目立った。例えば、RC製橋脚の段落とし部におけるせん断破壊や鋼製橋脚の局部座屈(写真6)の発生などの被害であるが、緩やかな断面変更を行うよう心がけなければならない。鋼製橋脚の基部に、局部座屈が生じた後、低サイクル疲労が発生した(写真7)。これは断面変更の急変を避け、局部座屈を発生させないことにより防げるものと思われる。

(11) knock offシステムあるいは同類のエネルギー吸収システムの開発が必要である。すなわち、激震時に構造物の全てが健全であるというのは原子力発電所や避難施設などの特別な施設以外の構

造物については過剰設計であろうし、構造的にも難しい。このとき、付帯施設や2次構造などを破壊させ、エネルギー吸収を行うことによって主要構造を守るような設計を考える必要がある。

(12) 支承が破壊した橋梁は桁や橋脚の被害は少なく、支承が破壊しなかった場合は被害が大きい傾向にある。支承の破壊によって地震力が橋桁や橋脚に直接加わるのを防ぐ働きをしたのではないか。これらの事例を概察すると、「高減衰ゴム支承」、「鉛プラグ入り積層ゴム支承」に加えて「すべり方式支承」なども効果的であると思われる。

(13) RC製橋脚に対して、鋼製橋脚の被害が比較的少ない。これは車両が橋脚に衝突したときの安全性を確保するために橋脚の基部に厚さ2m程度の強度計算外の中詰めコンクリート打設してあるが、その存在の影響が大きいことが分かった¹⁹⁾。

(14) ランプ部での被害が目立ったが、原因として考えられるのは、もともと河川によって解析されたところであり、地盤が悪いこと、このような所では必然的に構造が複雑になることなどもその理由の一つであろう。

これらに対し、構造物の可撓性を増すことや全方向免震装置の開発などを急ぐ必要がある。

また、橋桁の橋軸直角方向への逸脱を防ぐ目的で使われるサイドブロックの設計法についても未だ議論の余地がある。

(15) PCゲルバー橋の倒壊、名神高速道路の瓦木西高架橋でのRC橋脚のヒンジ部の破損などを見ると、構造物の不静定次数を増加させることが耐震性向上につながる事が分かる。すなわち、構造物に塑性ヒンジができて不静定次数が高ければ不安定構造物になりにくいということである。

5. 耐震設計に関するいくつかの検討

今回の震災事例だけでは分からないこともあり、結論を急がずあまり誤った判断をしてはならない。解析、実験の両面から多少長期的な検討が必要である。

この度の震災で「地震衝撃波は実際に存在したのか?」という問題がある。園田、小林^{9),10)}は阪

神・淡路大震災における土木構造物の地震衝撃破壊に関する研究を行っている。コンクリート橋脚の水平に入った亀裂の発生過程に関する研究で衝撃的な波が橋脚内を伝播したとの仮定に基づいた解析を行い、その現象の説明を試みている。

この衝撃波によるRC橋脚の引っ張り破壊の他にも鋼製橋脚の衝撃座屈問題を研究対象としている。彼等は1次元剛体ばねモデル(RBSM)による弾性・弾塑性数値シミュレーション解析を行ったが、激震地での地震記録波を入力波とした解析ではとても破壊現象を説明できる結果は得られず、破壊現象を十分に説明するためには数十~数百カインの入力波をごく短時間に入力させる必要があると結論付けている。

著者も図2に示すような立体モデル(ソリッド要素)による非線形衝撃応答解析を行ったが、鉛直振動加速度²⁰⁾入力だけでは写真6に示されているような局部座屈は生じないことが分かった。

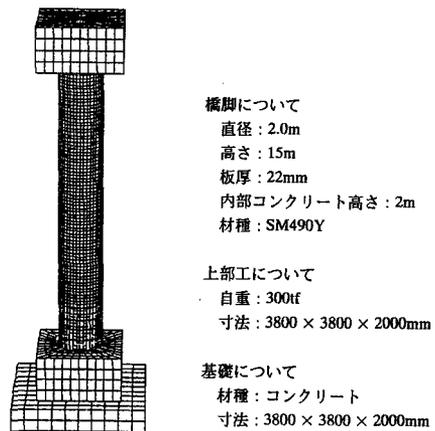


図2 鋼製円柱橋脚の非線形衝撃応答解析モデル

一方、建設省土木研究所などでは鋼製円柱橋脚の繰り返し曲げ試験を行い、橋脚基部などに、曲げ載荷のみであっても、局部座屈が生じることを確認している。鋼製円柱の局部座屈現象は従来から、比較的板厚の薄いタンクの基部付近で生じた例はある(elephant foot buckling)。

現在著者が進めている構造物の耐震問題に関する研究と検討結果について少し触れることによって、兵庫県南部地震が土木構造物に与えた被害の

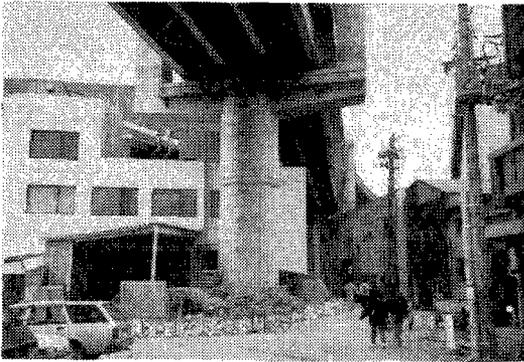


写真6 鋼製橋脚の局部座屈 (浜手バイパス)

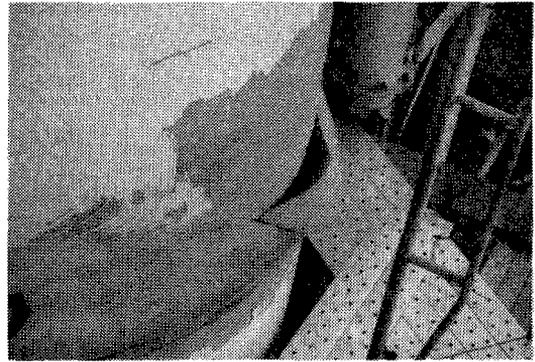


写真7 鋼製橋脚の低サイクル疲労 (神戸線東尻池)

特徴を浮き彫りにすることを試みる。

鋼製橋脚はRC橋脚にくらべて軽量であり、さらに曲げ剛性が低いので、免震設計法における長周期化が容易であるという特性を有する。

上記のような特性を有する鋼製橋脚免震橋の基礎的な動特性を明らかにすることと、阪神・淡路大震災でも見られたような鋼製橋脚の耐震性能に着目し、その軽量性、低剛性を免震支承とともに橋梁全体系の免震システムとして考えることが可能であるかを検討している。

ここではまず、基礎的な免震システムの特性を得るために第I種地盤を想定することにし、免震支承は標準的な鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB) を用いている^{21), 22)}。

図3(a),(b) に示すような5径間連続鋼箱桁橋において、鋼製橋脚とRC橋脚両者について、橋脚高さなどをパラメータとした時刻歴応答解析を通して、特に鋼製橋脚の軽量かつ低剛性という性質が橋梁全体の免震特性にどのような影響を及ぼすのかを調べた。

図4は、この度の阪神・淡路大震災で記録された気象庁87型磁気式強震計波形データ (神戸)²²⁾ (図中a) を用いた動的応答解析を行った結果であり、(b)~(e) はそれぞれRC製橋脚橋と鋼製橋脚橋の応答変位と応答加速度を示している。

また、細線は橋脚の応答を、実線が上部工の応答を表わしている。L2地震波入力時とほぼ同様の応答結果が得られ、鋼製橋脚橋の応答加速度がRC橋脚橋に比べて低くなった。

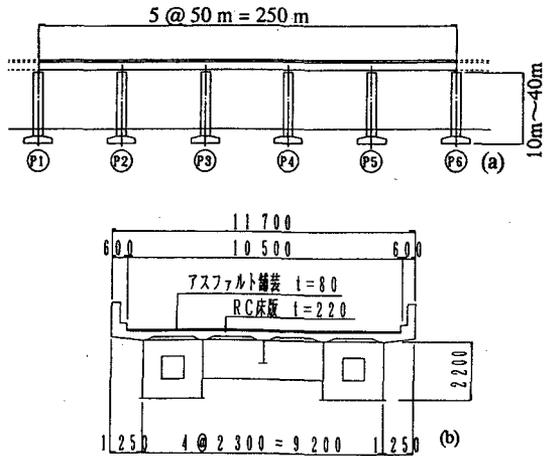


図3 5径間連続鋼箱桁橋解析モデル図および上部工断面図

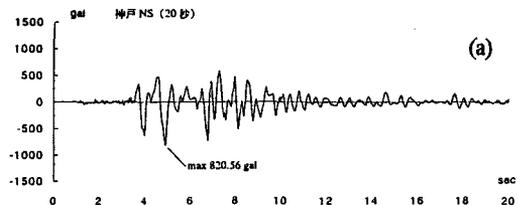


図4 (a) 入力加速度波形 (文献20)

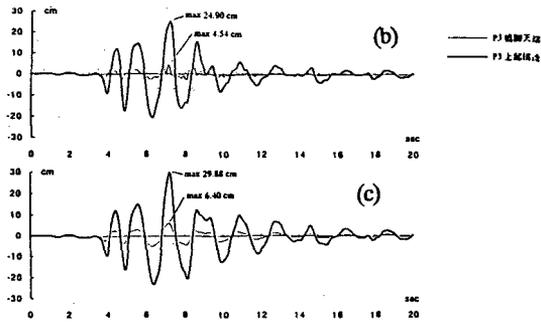


図4 変位応答波形 (b) RC橋脚、(c) 鋼橋脚

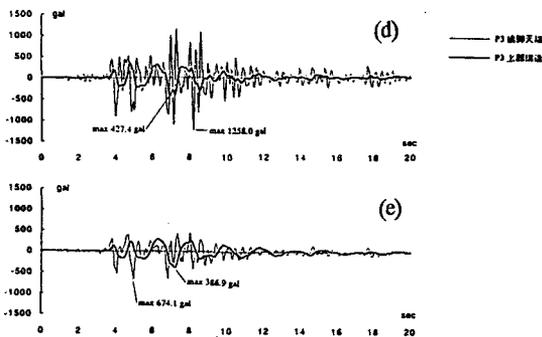


図4 加速度応答波形 (d) RC橋脚、(e) 鋼橋脚

鋼製橋脚橋は橋脚高さが20m~30m程度以上になるとその剛性低下の影響が現れ始め、長周期化が容易になり、RC橋脚橋に比較して、変位はやや大きくなるが、特に橋脚天端の加速度はかなり小さくなるのがわかった。また、実地震記録波による動的応答解析でも明らかに鋼製橋脚の応答加速度が低くなっており、この度の震災でも見られたような鋼製構造物の耐震性に優れた特性を示した。

また、筆者は平成3年より落橋防止装置の一つである耐震連結板の衝撃応答特性を重力場における動的応答解析を通して明らかにし、設計外力に関する基礎資料を得る試みを始めている²³⁾。

阪神・淡路大震災では、橋脚の破壊による落橋の他に、次のような落橋モードが見られた。

- (1) 隣接した桁相互の衝突によって橋脚天端から押し出される場合。
- (2) 橋脚が傾斜した場合。

(3) 側方流動によって橋脚が移動した場合。

従来、桁連結装置の設計思想には2通りあり、桁の片端がなんらかの理由により橋脚から逸脱した場合を想定し、桁の片側反力Rdの $\sqrt{2}$ 倍($\sqrt{2}Rd$)を設計荷重とする考え方と、地震の継続中に桁が橋脚から逸脱しないようにすればよいと考え、設計震度に桁重量を乗じた $0.2 \times 2Rd = 0.4Rd$ を基準設計荷重とする考え方である。

筆者は前者の考え方をとっていたが、この考え方が間違っていなかったことを阪神・淡路大震災が具体例を挙げて示してくれた。

従来、土木構造分野において衝撃問題は扱いにくいものとして避けてきた部分がある。しかし、かって米国において軍需用に開発された衝撃問題解析プログラムが最近民需用に転換されており、これを用いてフラクチャー (Fracture) を伴う衝撃問題シミュレーション解析と結果のアニメーション表示ができるようになっている。

図5は衝撃応答解析に用いたモデル図であり、図6と図7は解析結果の例であり、それぞれ橋桁落下挙動と落橋防止連結装置の変形図である。

解析の結果、阪神高速道路公団の仕様では地震時の許容応力度の割り増しを許しているために、連結板などの設計荷重が首都高速道路公団に比べて小さいことなどが分かった。

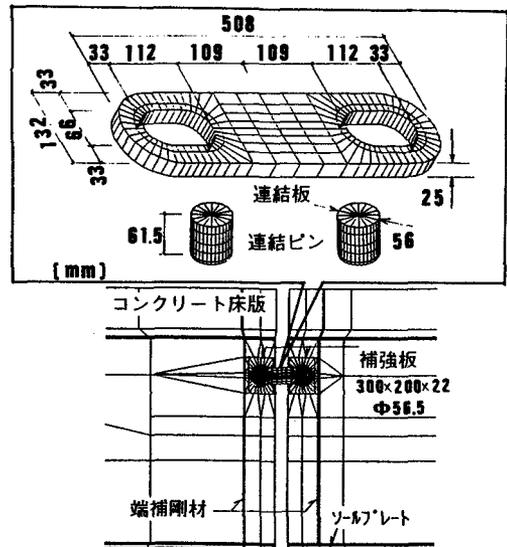


図5 解析モデル図 (部分図)

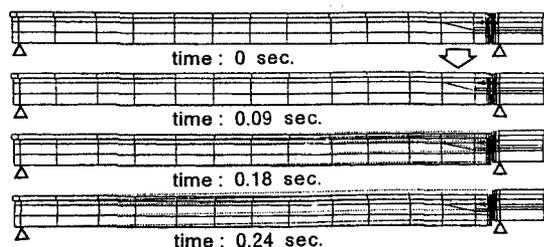


図6 解析結果の例（橋桁落下挙動）

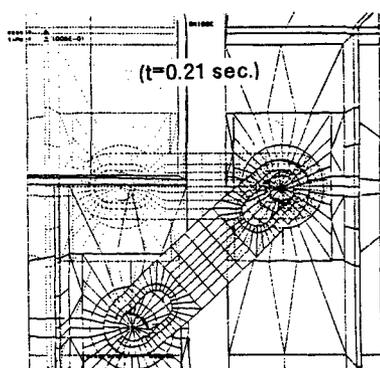


図7 落橋防止装置変形図

6. 震災と情報ネットワークについて

インターネットのニュースグループ `fj.misc.earthquake`²⁾ と `fj.misc.earthquake.pople`²⁴⁾ の果たした役割は大きかった。このインターネットニュースグループのトップドメインである `fj` は `From Japan` の頭文字で、日本発世界行きのニュースグループ群という意味であり、それぞれ；地震に関する情報、現場の状況、安否の確認等をスムーズに行うためのものと、地震被災地の人に関する情報を流し続けている。

マスメディアの報道では、知りたい情報に対する全体の情報量が多すぎて聞き逃したり、見逃したりするケースが多く、また知りたいものがあってもメモをとる余裕がなかったりする。

これに対して、情報通信ネットワークは一応双方向通信が可能である点が便利である。

情報ネットワークの問題点は普及率が低いこと、扱える人が限られること、巨大地震時には殆どのパソコンが使えなくなることなどがある。ただし、PHSとノートパソコンが普及すればこの問題は解消される。機械の苦手な人やお年寄りなどがテレビのリモコン程度の操作で最低限度の安否に関する情報や震災直後の生活に関する通信ができるような新システムの開発をする必要がある。

今回の震災で「情報ボランティア」という単語が生まれた²⁵⁾。情報ボランティアとはパソコン通信を使って自分たちだけが知り得た情報をネットワークを使って交換しあい、支援に役立てることである。ネットワークを使っている人の約1%が情報発信者になる可能性があるそうである。

交通情報を流し続けた情報ボランティアが幾人かいて、マスコミでは到底扱えないような詳細な情報があった。筆者もこの度の震災の直後、被災調査に出かけるまえには必ずインターネットで交通情報をチェックし、非常に役だった。やはり、情報は知りたいときに知りたい情報が簡単に手にはいるのが良い。しかも、メモする必要がなく、プリンターで手早く印刷できる点も情報通信の利便さである。

全国にいる一般のボランティアに対して、どこに行っても、誰と打ち合わせして、何をすればいいのか、また本当に今ボランティアを必要としているのかなどの情報を伝えるのは非常に難しいことである。これに対して情報ボランティアはコンピュータを通じた十分な打ち合わせに基づいて行動できるので、活動の効率が良い。

ネットワーク人口は、ニフティサーブは公称131万人、PC-VANは同131万人、PeopleとASAHIネットは同45.5万人、またインターネットは全国の大学と主要企業は加入しており、今後は急速に一般の加盟者が増える可能性がある。複数のネットワークに加盟している情報ボランティアもあり、例えばニフティサーブ上の重要な情報がインターネット上でも読むことができる。

インターネットでは、日本だけでなく世界的な通信も簡単にでき、今後地球規模の地震情報（静止画像だけでなく動画も可能）が殆どリアルタイム

ムに伝達されるであろう。災害時の人命救助の国際協力や津波などは大陸間にわたる問題でもあり、活用できるものと思われる。

「マスコミはマスコミ自身の批判を殆どしないので、マスコミとは別のメディアとしてのInternetでマスコミの批判をしましょう。」²⁶⁾などの、マスコミでは絶対に報道されないマスコミ批判を読むことが出来る利点もある。

7. 今後の課題

今回の震災では、大都市に巨大な直下型の地震が発生した場合には、事前に予測ができないような何らかの大被害が必然的に出るであろうから、発生後の処置についても十分に検討する必要があるのではないかと言う意見が少なからず見受けられた。

すなわち、“Pre earthquake”だけでなく“Post earthquake”を重視する考え方である。従来、前者はハード面、後者はソフト面が主に対応していたが、今後はハードにおいても“Post earthquake”を念頭に置いた設計思想を確立する必要がある。

落橋を防止するには、橋脚と基礎の強度を上げるのが一番確かな方法である。しかし、全ての橋梁について1000年に1度あるような巨大地震に対して無傷であるような橋梁を設計するのは不経済的かもしれない。従って、是が非でも守らなければならない交通系についてはそれに十分な設計をするなどして、強度を橋梁別にランク付けすることなどが考えられる。すなわち、橋の安全度に関するランクは現在もあるが、底上げするかたちで安全度に差を付けるべきであると思われる。

交通系のソフト面については、インターネットやナビゲータシステムを活用した震災以後の交通渋滞情報の大幅な改善などが望まれる。

また、新幹線におけるユレダスのような大地震発生時に列車を止めるシステムと同様なシステムを高速道路にも設けることが考えられる。

当震災による経済的なダメージが日本だけに留まらず世界にその影響を及ぼしている。すなわち、日本企業の海外資本の引き上げの動きである。こ

のような経済的な影響を極力少なくするためには企業の地震保険は必要であると思われる。

しかし、個人の地震保険は生命保険と同程度の加入率とすべきかについては問題の残るところである。地震が地盤中に蓄積した歪みの開放で生じるならば、連続体においては連鎖的に地震が起きる可能性がある。これは逆に非常に永い地震の平穩期があることになり、このような特性を有する地震に対する保険がどのような意味をもつのであろうかという問題がある。

さらに、日本の保険会社はカバーレッジが欧米に比べて少ないといわれている。これが原因で加入者が少ないのであろうか。

8月24日の朝日新聞の1面に、阪神・淡路大震災を受けて多くの自治体が地震発生時の被害想定の見直しを検討しており、全国の47都道府県・12政令指定市のうち、すでに想定震度を7としている神奈川、愛知、静岡、鳥取、高知の5県と横浜市を除くすべての自治体で想定する震度を7に引き上げたり、県庁所在地が直下型地震に見舞われる場合を新たに追加する例が多く見受けられるという記事が載っている。

しかし、震度7というのは加速度400gal以上の激震であって、上限が設定されていないのである。従って、地震発生時の被害想定を震度7の地震に対して行うとした場合、その最大加速度の値を定めることは出来ない。全国の自治体のほとんどが震度7レベルの地震を想定した防災計画を検討し、一見足並みがそろっているように見受けられるが工学的には非常に漠然とした地震力を想定することになる。

工学的な被害想定を行うには、最大加速度もしくは設計震度、さらに数種類の地盤に対する加速度スペクトルなど具体的な数値を挙げて地震動の強さを想定しなければならない。

情報・資料の公開については、構造物の倒壊による死亡事故などがあり、裁判などの理由により困難な状況も考えられるが、できるだけ事故原因調査結果をオープンにして頂きたいものである。

気象庁の地震記録波の迅速な公開が行われたが、これなどは、研究の機会均等を保証するばかりで

なく、研究の質的な発展を促すものである。

8. むすび

今回の震災では大学規模の視察団などの組織化が行われなかったが、東京都周辺のいわゆるメガシティに巨大地震が発生した場合に備えてハードとソフトの両研究者からなる組織的な研究チーム創りと予算的な処置をしておく必要があるように思われる。

今回の震災事例だけでは分からない事が数多くあり、これを補うためには解析、実験両面からのやや長期的な検討が必要である。今震災で注目された衝撃的問題に関しては、今後10年間に飛躍的な進歩をすると予想される。

参考文献・参考資料

- 1) 朝日新聞トップニュースホームページ (1995) 「<http://www.asahi.com/>; asahi.com」
- 2) インターネットニュースグループ (1995) 「fj.misc.earthquake」
- 3) 土木学会 (1995) 『阪神大震災震害調査緊急報告会資料』
- 4) 鋼橋技術研究会技術情報部会 (1995) 『阪神大震災報告会資料－鋼系橋梁を中心に－』
- 5) 運輸省・鉄道局 (1995) 『鉄道施設耐震構造検討委員会資料』
- 6) 土木学会 (1995) 『土木学会阪神大震災震害調査第二次報告会資料』
- 7) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会 (1995) 『兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査中間報告書』
- 8) 石塚幹剛・瀬戸口嘉明・西林素彦 (1995) 「阪神高速道路の被災状況と復旧に向けての取り組み」、『道路』6月号
- 9) 園田恵一郎・小林治俊 (1995) 「兵庫県南部地震における土木構造物の地震衝撃破壊について」、『土木学会衝撃問題小委員会資料』
- 10) 園田恵一郎・小林治俊 (1995) 「阪神・淡路地震－初期震動の証言について」、『構造物の衝撃破壊に関する学協会合同研究協議会資料』
- 11) 日経コンストラクション (1995) 『壊滅した土木構造物の全容』、2-24.
- 12) 日経コンストラクション (1995) 『大動脈の復旧へ工事急ピッチ』、4-14.
- 13) Earthquake Engineering Research Institute (1994) “Northridge Earthquake January 17”, (Preliminary Reconnaissance Report).
- 14) 今井宏典・和田的治・中島裕之 (1970) 「阪神高速神戸西宮線ピルツ式PCゲルバーゲタ橋」、『橋梁と基礎』7月号
- 15) 今井宏典・藤井 学・和田的治・中島裕之 (1970) 「PCゲルバーヒンジ部の構造と一設計算法」、『橋梁と基礎』8月号
- 16) 日本道路協会 (1995) 『兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様の準用に関する参考資料 (案)』
- 17) 日本道路協会 (1994) 『道路橋示法書・同解説、V耐震設計編』
- 18) 建設省土木研究所 (1992) 『道路橋の免震設計法マニュアル (案)』
- 19) 宇佐美勉・鈴木森晶・葛漢彬 (1995) 「コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の地震時保有水平力照査法の提案」、『土木学会第50回年次学術講演会概要集』 I-B768.
- 20) 気象庁 (1995) 『兵庫県南部地震の気象庁87型磁気式強震計の記録』
- 21) 内田光彦・長嶋文雄・田中努・増田陳紀 (1995) 「鋼製橋脚を有する免震橋の動特性に関する研究」、『土木学会第50回年次学術講演会概要集』 I-B785.
- 22) 大丸隆・長嶋文雄・岩塚由雄・竹ノ内勇 (1995) 「鋼製橋脚橋の免震化に関する一考察」、『土木学会第50回年次学術講演会概要集』 I-B786.
- 23) 長嶋文雄・成田信之 (1994) 「落橋防止装置連結部材の衝撃応答解析」、『構造工学論文集』 Vol.40A
- 24) インターネットニュースグループ: 「fj.misc.earthquake.people」地震被災地の人に関する情報
- 25) グカーボ (1995) 「阪神大震災とパソコン通信ボランティア」、『マガジンハウス』No.322.
- 26) インターネットホームページ: 「<http://www.ijj.ad.jp/people/odajima/>」, 小田嶋勝也、(株)インターネットイニシアチブ技術企画部、「<http://>

//www.ij.ad.jp/earthquake/tv-j.html」

Key Words (キー・ワード)

Earthquake Disaster (地震被害), Traffic Damage (交通被害), Earthquake Engineering (地震工学), Hyogo-ken Nanbu Earthquake (兵庫県南部地震), Internet (インターネット)

Damage Caused by the 1995 Great Hanshin-Awaji Earthquake to Transportation Systems, and the Recovery of These Systems: Bridges and Elevated Expressways

Fumio Nagashima* and Toshio Mochizuki**

* Department of Civil Engineering, Tokyo Metropolitan University

** Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

Comprehensive Urban Studies, No. 57, 1995, pp. 55-71

This article firstly outlines the effects of the Great Hanshin-Awaji Earthquake on bridges and elevated expressways(which form an essential component of transportation infrastructure in the southern Hyogo region) and secondly looks at the process of recovery. Experts in the engineering fields have investigated the impact of the disaster on these structures and have prepared guidelines for recovery. A list of papers and article are included as an appendix to this article.

The immediate assessment of the reasons for structural failure should evolve into long-term studies of why and how the earthquake caused in such immense damages. This article presents a list of lessons to be learned in the aftermath of the earthquake, outlines interim results of the studies conducted by the authors on aseismic structures and base-isolation (Menshin) systems, and overviews issues that will require long-term research plans.

The Internet and other computer networks played a great role in the wake of the earthquake. This article outlines the role of computer networks in responding to transportation needs and briefly discusses how networks be utilized for disaster rehabilitation.