

## 2. ライフラインシステムの被害・復旧から新たな地震防災対策へ

### 2.1 はじめに

阪神・淡路大震災によって、上下水道・ガス・電力・電話・道路・鉄道等のライフライン施設は甚大な被害を受け、その被害は地域の社会・経済に大きな影響を与えた。本分科会では、これらのライフライン施設の被害実態について調査を行なうと共に、震災後の復旧方法についても調査研究を行なった。被害の復旧に当たっては、復旧工法の選定、復旧手順、復旧要員・資材の確保や輸送の問題が非常に重要な問題となる。これらの点については、各ライフライン施設がそれぞれの特徴を有しているため、個別に復旧に関わる問題点および今後の対策について述べる。

また、今回の震災の教訓を整理し、それに基づいて、ライフライン施設の将来の地震対策のあり方についても議論を行なった。今回の地震によるライフライン施設の被害は、地域・建設時期・構造形式等によって異なっており、それらの調査結果を踏まえて、今後の地震対策の基本的な考え方について述べる。

## 2.2 上水道施設

### 2.2.1 水道施設の被害

今回の兵庫県南部地震で受けた、兵庫県下・大阪府下の水道施設の被害状況は表-2.2.1のとおりである。西宮市のニテコ貯水池（アースダム）の上堤と中堤が崩壊したのをはじめ、浄水施設や送・配水施設に被害が生じたが、最も被害が集中したのは埋設管路であり、その被害箇所が多さが復旧を長引かせた一因にもなった。

埋設管路は地盤の変状に大きく影響を受けるが、今回被害が多かった区域は沖積層や埋め立て地、旧河川沿いや断層近辺<sup>1)</sup>であった。配水管の兵庫県下の被害件数、被害率は4,142件、0.47件/km、大阪府下では525件、0.028件/kmである<sup>2)</sup>が、芦屋市の1.96件/kmが最大<sup>3)</sup>である。この中には配水管体や継手の損傷だけではなく、付属している仕切弁、消火栓等の損傷も含まれている。日本水道協会が調査した阪神間淡路6市1町の集計は表-2.2.2のとおりであるが、属具を除く配水管だけの被害率は0.24件/kmであり、最も高いのが芦屋市の1.608件/km<sup>3)</sup>である。

管種別の特徴は、被害率の高い順に、石綿セメント管(ACP)、ビニル管(VP)、铸铁管(CIP)、ネジ継手鋼管(SGP)、ダクタイト铸铁管(DIP)、溶接継手鋼管(SP)であった。最も多く布設されているダクタイト铸铁管(DIP)の被害のほとんどは継手の抜けによる漏水であり、破損したのはH形鋼杭の上に乗っていた等の特異な箇所に限定された。また、埋立地などに使用されていた継手が伸縮し離脱防止機構になっている耐震継手管での被害はなかった。铸铁管(CIP)と硬質塩化ビニル管(VP)は継手の抜けや管体破損がみられた。溶接継手鋼管(SP)は、水管橋に多く使われていたが、橋台の移動や、添架橋梁の大きな変位、移動を原因として損傷したものが多く、鋼管そのもので漏水を発生するまで損傷したものは極めて少ない。属具では、フランジ継手部の緩みや破損がみられたが、非ダクタイト铸铁製がほとんどである。

表-2.2.1 主な被害箇所<sup>2)</sup>

構造物の種類	兵庫県下	大阪府下	
貯水・取水施設	土堰堤の崩壊（西宮市） 堰堤遮水壁（リップラップ）の崩壊（西宮市） 河川右岸の崖崩れで埋没（芦屋市）	取水ポンプ場電源引込柱の基礎破損（池田市） 表流水の取水口の一部陥没（枚方市） 取水ポンプフランジ部破損（高槻市） 取水施設地下共同溝の継手部より漏水（大阪府）	
浄水施設	フロック形成池	流入渠のせり出しによる漏水（阪神水道企業団） 伸縮目地の損傷（阪神水道企業団）	
	薬品沈殿池	排泥弁室の漏水（阪神水道企業団） 集泥設備の水没（阪神水道企業団） 伸縮目地の損傷（阪神水道企業団、芦屋市） 傾斜管・傾斜板の損傷、落下（阪神水道企業団、西宮市）	沈殿池漏水、傾斜管の一部破損（大阪府） 沈殿池のひび割れ、目地の破損（枚方市）
	急速ろ過池	流出渠壁に亀裂発生（阪神水道企業団） 洗浄排水管の損傷（阪神水道企業団） 表洗管の破損（阪神水道企業団）	ろ過池のひび割れ、目地の破損（枚方市）
	緩速ろ過池	下部集水装置の破損によるろ材の流出、クレータ現象（神戸市） 壁・底板に亀裂、漏水（神戸市、芦屋市） 伸縮目地の損傷（神戸市、芦屋市）	
	排水処理設備	脱有機物の柱に亀裂発生（阪神水道企業団、神戸市）	脱有機物の器具破損（池田市）
配管	その他	法面崩壊に伴う建屋使用不能（阪神水道企業団） ポンプ室の壁に亀裂発生（阪神水道企業団） 場内配管の沈下、蛇行、漏水（神戸市ほか） 薬品貯留槽の破損（西宮市） 電機計装設備の電線破断（西宮市ほか） 無縁鉄塔のズレ（神戸市）	場内給水管、汚水管の破損（池田市） 停電による施設稼働不能（大阪府） ろ過池洗浄用高架水槽支柱部の破損及び本体と管接続部の破損（吹田市） ろ過池洗浄用高架水槽の基礎部分が破壊、タンク部破損（摂津市水道） ろ過機基礎コンクリートの破損（吹田市） 薬注管破損（枚方市）
	送水施設	ポンプ揚柱・梁等に亀裂発生（阪神水道企業団） ポンプ揚場内配管からの漏水（阪神水道企業団） ポンプ場クレーン支柱に亀裂発生（阪神水道企業団）	停電による施設稼働不能（大阪府） 停電による施設稼働不能（大阪府）
配水池	池内伸縮目地で亀裂発生（神戸市） 接合井取付部の離脱、池水流出（神戸市） 底板に亀裂発生（西宮市） コンクリートブロック積み隔壁崩壊（西宮市）	高架式配水池支柱部亀裂（箕面市） 配水池の法面崩壊（箕面市） 配水池底板より漏水（堺市）	
建築物等	管理棟柱・梁等に亀裂発生（阪神水道企業団） 管理棟クレーン支柱に亀裂発生（阪神水道企業団）	管理棟部の壁面にクラック（大阪府、枚方市、大阪府） 場内等道路舗装一部陥没ひび割れ（枚方市、大阪府） 建築物周辺の地盤陥没（大阪府） 外周壁面にクラック（茨木市）	

（導水施設、送・配水管路被害は除く）

表-2.2.2 管路の被害集計<sup>3)</sup>

神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、尼崎市、大阪市、北淡町の合計

管種	被害箇所 被害形態	管体被害					継手部被害							不明	合計	参考		
		直管	異形管			小計	抜け		破損		突込み		不明			小計	布設延長 (km)	平均被害率 (件/km)
			曲管	分岐管	その他		直管	異形管	直管	異形管	直管	異形管						
DIP		10	0	1	0	11	1126	55	0	0	10	0	18	1209	13	1233	9161.3	0.135
CIP		449	68	71	19	607	243	18	32	5	1	0	19	318	7	932	2107.1	0.442
VP		147	31	19	0	197	81	16	128	2	3	0	5	235	5	437	431.3	1.013
SP		14	1	0	0	15	0	0	5	0	0	0	1	6	1	22	260.5	0.084
SGP		3	1	0	0	4	2	0	2	0	0	0	0	4	0	8	19.3	0.415
ACP		86	0	3	0	89	9	0	2	0	0	0	1	12	3	104	40.5	2.57
不明		19	1	4	0	24	1	11	2	1	0	0	0	15	21	60	-	-
合計		728	102	98	19	947	1462	100	171	8	14	0	44	1799	50	2796		0.24

一方、配水管から分岐されて各家庭の蛇口に至る給水装置の被害は圧倒的に多く、その件数は神戸市での水道局修繕受付分だけでも約9万件になった。使用されている材質は、主にビニル管、鉛管であるが、側溝を伏せ越した部分や建物への立ち上がり部分等の急激な曲がり部分や、地震による動きが不連続になる箇所での被害が多かった。

また、神戸市水道局本庁の圧潰等、水道施設の復旧の拠点となる建物も被害を受け、復旧に大きく支障をきたした。

上記のように地震発生と同時に、施設の破損により多量の漏水が発生し、また、停電に伴う送水ストップにより広範囲の給水区域が短時間の内に断水状態に陥り、兵庫県下で約126万6千戸、大阪府下で約2万2千戸断水した。大阪府下は1月19日までに復旧したが、兵庫県下の復旧は図-2.2.1のように、1週間後で55%、6週間後の2月末には倒壊家屋の多い地区と道路崩壊の著しい臨海部を除いて97%に、10週間後の3月末には港湾地区のごく一部の地域を除いて99.99%とほぼ復旧し、最終的には3ヶ月後の4月17日に応急復旧を完了した。

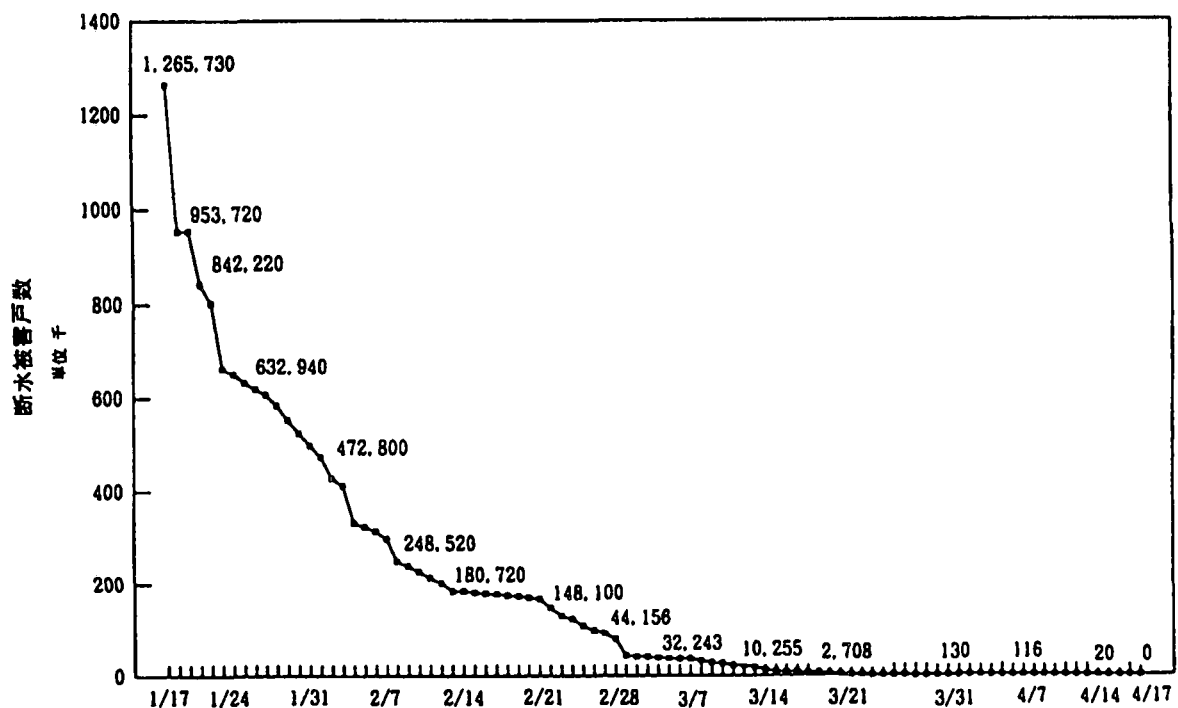


図-2.2.1 兵庫県下の断水被害戸数の推移<sup>2)</sup>

## 2.2.2 復旧方法

### (1) 応急給水

水道局では順次駆けつけた職員により、確保された緊急用の飲料水で応急給水を開始したが、保有していた給水車の数では、交通渋滞もあり、断水区域はあまりに広範囲で困難を極めた。

初期の応急給水は避難所や緊急病院を優先して行われたが、極度の交通渋滞や地域防災計画指定避難所以外の多くの場所が避難所になったことにより十分な応急給水にはならなかった。また、給水車によるほかにポリタンク、ペットボトルの配布も行われた。

神戸市では直後の給水拠点は、緊急遮断弁が作動して緊急貯留された水が利用されるなど、緊急貯留システムの効果が実証された。これは、地震動や配水池の異常出水量を感知して、2室に分割されている配水池の1室の出口に設置されている緊急遮断弁が閉まり、最低限の飲料水は確保するもので、もう一方の室及び余剰水は流出し続ける構造になっている。

日数が経過するに従い、多くの都市、自衛隊、ボランティアなどの応援により次第に体制が強化され、さらに、海から海上自衛隊、海上保安庁、民間会社の輸送船を利用した応急給水も行われた。兵庫県下での集計では、延べ約2万9千台の給水車、約7万7百人の人員が応急給水の応援<sup>2)</sup>に携わった。

しかし、必要とする水量は、飲料水だけではなく炊事、洗濯、トイレ、風呂などの生活用水が次第に増加し、また、店舗や工場等でも復旧に関連した用水が必要となっていた。

そこで、配水管の復旧が進むにつれ通水された配水管の消火栓等に複数の蛇口がある仮設給水栓を設置して給水可能箇所を増やし、より近くで多くの水量を得られるようにしていった。これは、給水時間や給水量に制限が無く、需要者の運搬距離も短縮され、水運搬の重労働の軽減とともに、交通渋滞もあって、効率の悪い給水車による運搬給水作業も縮小されることにもなり、非常に効果的であった。同様な効果として、ウォーターバルーン等による仮設給水槽の設置も効果があった。

### (2) 応急復旧

被害が多かった阪神間の都市では、応急復旧も困難を極めたが、埋設管路の復旧が長引いたからであるが、埋設管路の損傷の程度や箇所が通水して水圧を上げないと判明しないこと、また、漏水のため通常よりも多量の水量が必要であること、そして、その水量も限られたこと等による。

復旧期間を短縮させるためには、被害の多い配水管路を多点で同時に復旧できるようにし、復旧作業のスピードを上げることがポイントになる。そのために幹線の復旧を優先し、漏水で増加している試験通水量を確保し、復旧隊を応援により増加させることが重要になる。また、配水管から分岐している給水管の漏水箇所の止水、或いは修復を同時に行う作業体制をとり、復旧困難な路線は仮設配管を考慮することとなる。

水道施設としての効率的な復旧順序とともに、断水が与える社会的影響の軽減、あるいは社会的な復旧を促進するために、優先させる路線が生じるということもある。例えば、多数の人が集まっている避難所、復旧の拠点となる防災拠点、食料生産工場、ゴミ焼却場、大病院等である。従って、面的な意味を持つ断水率の指標だけでは復旧の評価はできないと考えられる。今後、水源水量が限定された状態での効果的な復旧方法について検証していかなければならない。

その後、応急復旧時に仮の修繕であった箇所や、漏水箇所に近接して地盤変状が大きく危険度が高い管路を中心として、本格的な取替復旧を行った。

## 2.2.3 震災の教訓

### (1) 震災の教訓

今回の震災の教訓として、従前の防災計画を上回る震度であったため、予想を上回る被害が発生したことと、想定から抜けていたものや対策が不十分であったものもある。これらを総括する教訓として以下の項目があげられる。

#### ①重要拠点の耐震化

復旧の核となる庁舎の倒壊により、日常蓄積管理している情報が奪われ、また、電話等の情報連絡手段も奪われ、初期の状況把握や復旧計画の立案・指示、広報対応が混乱した。さらに対策本部の機能を発揮するための、陣容を整えるスペースが無かったことも、復旧に大きく影響を与えたこととして見逃さないことである。今後は、拠点となる重要な建物の耐震性向上とともに、情報連絡手段および対策本部の複数化が必要である。

### ②水源水量のバックアップ体制

復旧にあたっては、ある程度の漏水を許容しながら通水区域を拡大していくためには、平常時より多い水源水量が必要となる。そのためには水源の多元化や、隣接市町村或いは周辺の大規模事業者との連絡管による広域的なバックアップ体制をとる必要がある。

### ③応急給水の改善

水道に依存した市民生活や産業では、必要とする水量が日数の経過とともに飲料用だけでは当然のことながら不足してくるのである。水道が果たしている役割の中で飲料水用に占めている割合は小さくなってきており、従前のように1人1日3ℓを1週間分ではなく、被災後の日数の経過とともに供給できる水量を次第に増加させる必要がある(表-2.2.3)。

このためには、給水車による応急給水から、管路に設置した応急給水栓による応急給水に早期に切り換えていく必要がある。また、自由に給水タンク車に補給できる給水拠点の開設が効果的である。

### ④水道システムの耐震性の向上

水道施設の耐震性を向上させることは重要であるが、一方では、地震で全ての施設が壊れないようにすることは不可能であり、壊れても早期に復旧できるブロックシステムや迅速な復旧を支援する情報管路システムの構築が必要である。

### ⑤応援体制の強化

他都市からの応援は必要不可欠であるが、円滑な応援ができるように宿舎・指揮系統などの受け入れ体制の整備や、水道事業者間での器具や材料の規格統一の必要性も明らかとなった。

表-2.2.3 需要者の声<sup>4)</sup>

		第1週目 (1/18 ~ 24)	第2週目 (1/25 ~ 31)	第3・4週目 (2/1 ~ 14)	第5週目以降 (2/15 ~ )
市民からの問い合わせ	通水の見通し	復旧の見通しは	具体的かつ正確な情報がほしい いつ水がでるのか?	詳しい情報提供がない 広報が伝わらない	我慢も限界だ
	応急給水	給水車はいつ、どこに来るのか (場所、時間) 人工透析病院からの給水要求	給水車の広報をせよ (もっと近くまで来てほしい/ 来ていてもわからない) 避難所に給水タンクを設置せよ (昼・回数をふやせ)	水が十分給水されない (昼・回数+時間符) (近くは出ているのに..)	水波みがつらい、疲れた
	漏水その他	とりえず水を止めてほしい  (漏水通報多数)	風呂に入りたい  (漏水通報多数)	通水できないと言われたが なんとかしてほしい。 (漏水通報多数)	何回も連絡したがどうなっているのか。 (漏水通報多数)
key word		知りたい	いらだち	不安、あせり	怒り、悲痛な声

企業間い合わせ	製造業	食料の供給に必要な 復旧資材の供給に必要な (生コン、鉄鋼)	タンク車を用意したがどこへ取りに行けばよいか	製造を再開したい (酒造会社等) 有料でもよいから水がほしい	
	サービス業	保冷倉庫に水が必要 (生鮮食品) 銀行に水がほしい	復旧関係者の宿泊等支援に必要な (ホテル等) 銭湯に水がほしい	営業を再開したい	
	全般	復旧用の水がほしい	営業再開に向け見通しがほしい (雇用計画、生産計画)	なんとか水がほしい いつ水がでるのかはつきりせよ	客が逃げる、死活問題だ

## (2) 震災で有効であった施策

一方、従前から震災対策として、直接的、間接的に実施されてきた施策で、今回の震災で有効<sup>5)</sup>であったものとしては、

- a. 耐震性の向上策として、老朽管のダクタイル鋳鉄管への布設替えと、離脱防止型耐震継手管の採用。および、構造物不連続部分での伸縮可撓管の使用。
- b. バックアップ対策として、2回線受電や自家発電による停電対策。重要幹線の多重化。
- c. リアルタイムの情報管理システムとして、テレメータ・テレコントロールシステムや、配水管路の水質モニター設備。
- d. 復旧し易い施設としての配水管路網のブロック化。
- e. 緊急飲料水確保のための緊急遮断弁システム。神戸市の場合は、図-2.2.2のように2池構造の配水池の片方の池の出口に緊急遮断弁を設置し、最低限の飲料用水を確保する以外は消火用水も含めて流出し続けるシステムになっている。
- f. 配水池容量の増加による、水運用操作リスクの軽減。
- g. 次亜塩素酸ソーダ注入設備への変更による塩素漏洩対策。  
等があげられる。

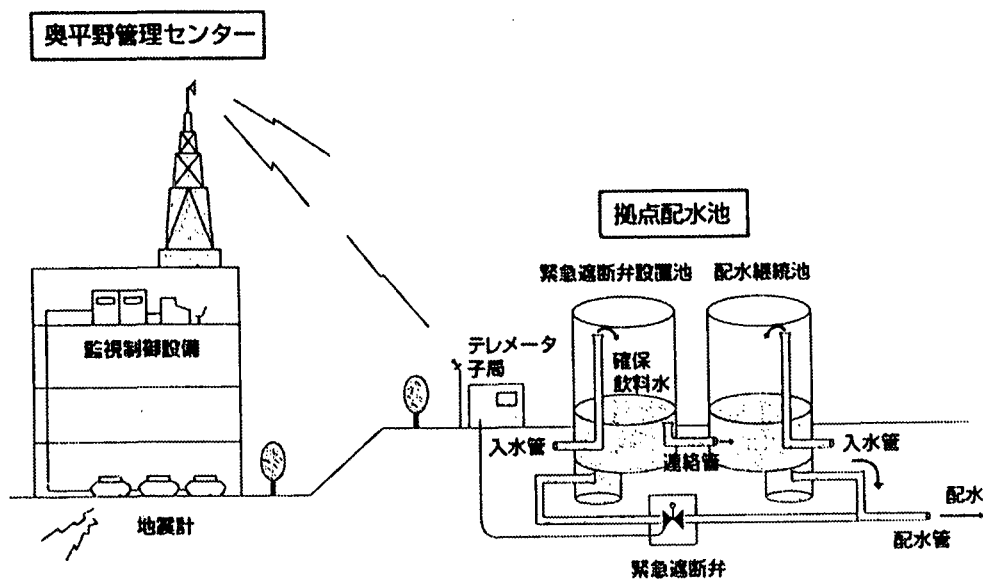


図-2.2.2 緊急遮断弁システムの概念図(神戸市)

## 2.2.4 耐震化の基本目標と対策

### (1) 耐震化の基本目標

今回の震災後、被災した水道事業者だけではなく全国の水道事業者の耐震化の整備を進めていく上での指針がいくつか示された。その共通する基本的考え方として、

- a. 想定地震レベルを阪神・淡路大震災を参考とする。
- b. 水道施設の耐震性を強化し、被害発生を抑制する。
- c. 震災時の断水等の影響範囲を最小化する。
- d. 震災時の応急復旧を迅速化する。
- e. 震災時の応急給水を充実する。  
等がある。

厚生省では従来、「水道施設耐震工法の手引き」及び「水道の地震対策のマニュアル」により水道の耐

震化について指導してきたが、平成9年1月、各地方公共団体が水道について耐震化目標を設定して耐震化施策を計画的に推進するために活用できるよう「水道の耐震化計画策定指針(案)」を公表した。なお、現在も阪神・淡路大震災を教訓とした地震対策の研究が進められているので、その成果を迅速に耐震化計画の策定に反映できるよう「(案)」となっている。

この指針(案)では、個々の施設の耐震性を高めることのみならず、水源から水道利用者に至るまでの水道システム全体としての機能維持、代替機能の確保を含む幅広い範囲について述べられている。図-2.2.3の分類・体系で、各水道事業体を取り巻く状況や地域性に応じた水道システム構築を行っていく事が基本的な考えとなっており、具体的な耐震化計画は

- a. 水道施設の被害予測(耐震性診断による)、
- b. 耐震化の目標設定、
- c. 個別の耐震化手法(メニュー)、
- d. 耐震化計画案の作成(複数案の作成)、
- e. 耐震化計画の策定、

の5段階により策定することとされている。なお、小規模水道では大規模水道や都市部の水道とは異なる点が多く、地域の特性を活かすことができる耐震化手段を取入れる事を考慮することとされている。

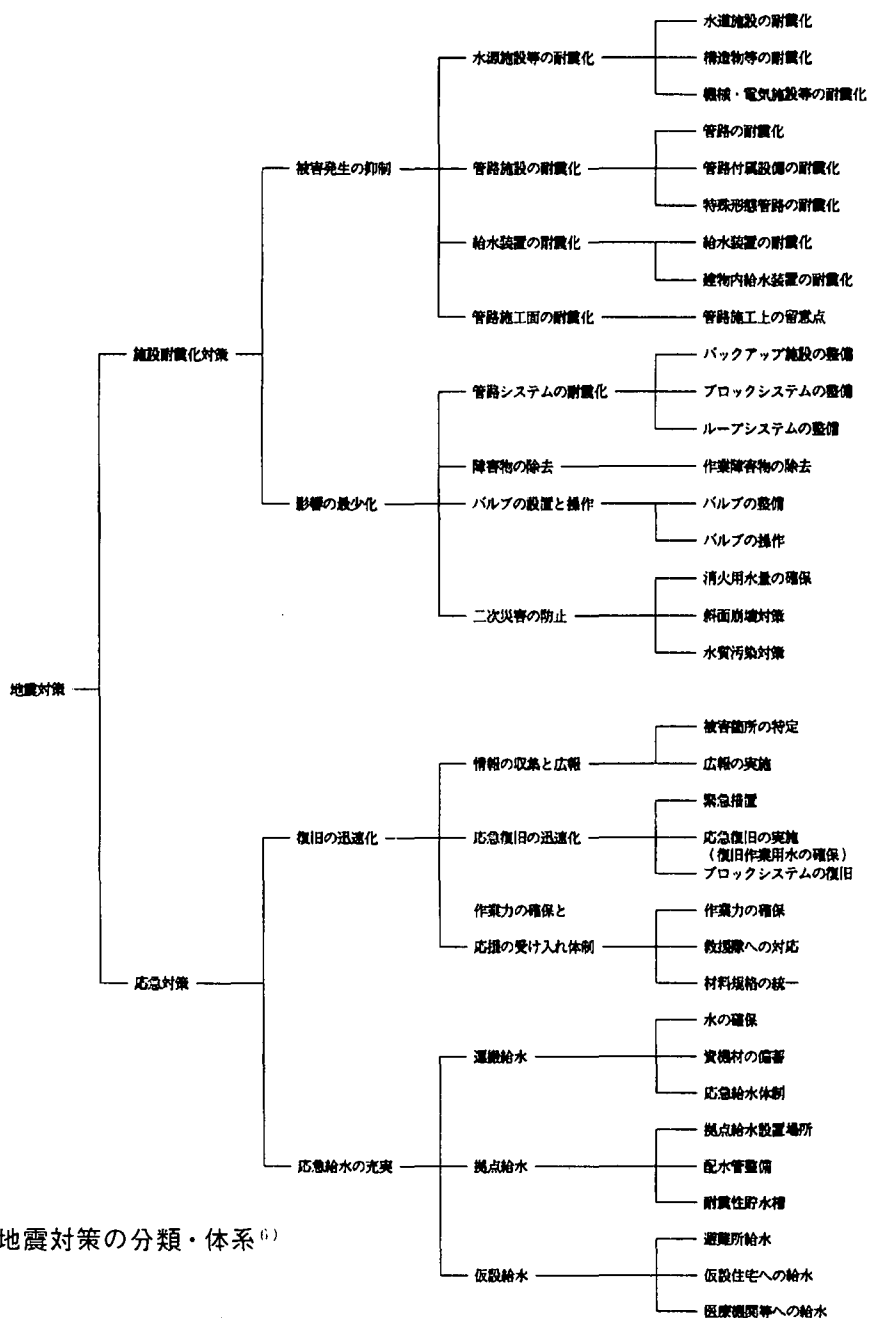


図-2.2.3 地震対策の分類・体系<sup>(6)</sup>

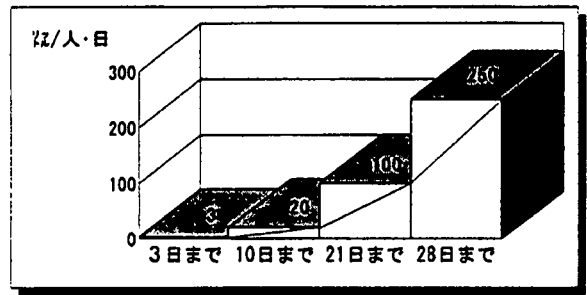
神戸市水道局の耐震化計画の基本目標<sup>7)</sup>では、これらの表現として、

- a. 応急復旧期間を4週間以内とする。
- b. 応急復旧の目標水量を設定する。
- c. 防災拠点における水の確保。
- d. 公平な復旧。
- e. 民生の安定への協力。

があげられている(図-2.2.4)。

これは、応急復旧期間中に寄せられた「需要者の声」を取り入れ、今回長引いた応急復旧を4週間以内に完了させることとし、応急給水の水量を経過日数に応じて、最低限の3ℓ/人・日から順次増加させていき、運搬距離も1kmから順次短くしていく。さらに、避難所や中核病院等への水の確保を早期に確実なものとする等を基本的な目標としているものである。

- 目標1. 応急復旧期間は4週間以内
- 目標2. 応急復旧の目標水量を設定



主な給水方法  
 3日まで：運搬給水、耐震貯水槽からの給水(1km以内)  
 10日まで：幹線付近の仮設給水栓(250m以内)  
 21日まで：支線上の仮設給水栓(100m以内)  
 28日まで：仮配管による各戸給水や共用栓(10m以内)

- 目標3. 防災拠点における水の確保
- 目標4. 公平な復旧
- 目標5. 民生の安定への協力

図-2.2.4 計画目標(神戸市)

(2) 耐震化対策

耐震化の計画目標に沿って具体的な耐震化施策がとられていくが、その具体的な例をいくつか紹介する。

a. 応急給水拠点の充実

緊急貯水槽の整備や配水池の容量増加により緊急時の応急給水に対応していく(図-2.2.5)。

応急給水方法の体系	具体的方策	目的	各復旧段階での効果				
			第1段階 地震発生～3日 目標：3ℓ/人・日	第2段階 10日 20ℓ/人・日	第3段階 21日 100ℓ/人・日	第4段階 28日 250ℓ/人・日	
応急給水	運搬給水	給水タンク車	◎	◎	△	△	
	拠点給水	運搬給水基地 (・拠点配水池 ・大容量貯水槽)	・避難所、地域中核病院等への 飲料水・用水の運搬				
		市街地大容量送水管	・運搬給水用の水道水の貯水 ・拠点給水も実施				
		耐震貯水槽 (小中学校等の防災拠点)	・被災直後の防災拠点における飲料 水の確保(3ℓ/人・日×3日間分)	◎	○		
	仮設給水栓 (仮配管含む)	500mメッシュ	・幹線、準幹線近傍での給水		◎	◎	○
200mメッシュ 仮設配管		・支線での給水			◎	◎	
民間備蓄等	家庭内備蓄・ビル受水槽等			○			
消防水利等の強化	防火水槽(公園等) 河川水等の利用	・消火用水確保 ・雑用水確保	○ 雑用水	○ 雑用水			

◎：大きな効果を期待できるもの、○：有効なもの、△：補完的役割を担うもの

図-2.2.5 応急給水策の体系(神戸市)

b. 管路の耐震化

500m・200mメッシュの配水耐震管路網の構築や、防災拠点・中核病院等へのルート耐震性の高い管路とし、通常給水の早期回復を図るとともに、特に坂の多い神戸の地形を考慮して仮設給水栓等の設置により運搬給水距離を短くする(図-2.2.6)。



c. 大容量送水管

防災拠点に連結して、応急給水にも対応できる市街地を通過する大深度の大容量送水管を設置する。またこの送水管は阪神間を貫く大幹線として、また大阪等との広域相互バックアップシステムに発展する可能性を含んでいる（図-2.2.7）。

d. 給水装置の耐震化

被害が通水区域拡大の進捗に大きく影響し、配水管の通水とともに断水が解消するために、給水装置の耐震化を強化していく。

e. 相互応援協定

被災水道事業者だけでは対応や、初動体制がとれないことを想定して、水道事業者間での応援協定や民間業者団体等との応援協定により復旧体制を強化することや、水道事業者間で少しずつ異なる使用器具の規格の統一や、情報交換を進める。

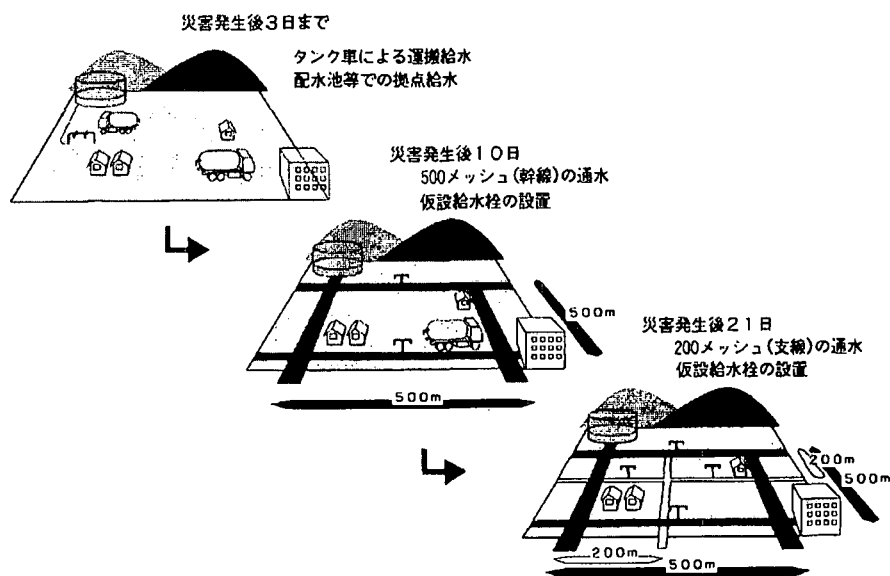


図-2.2.6 応急給水のイメージ図（神戸市）

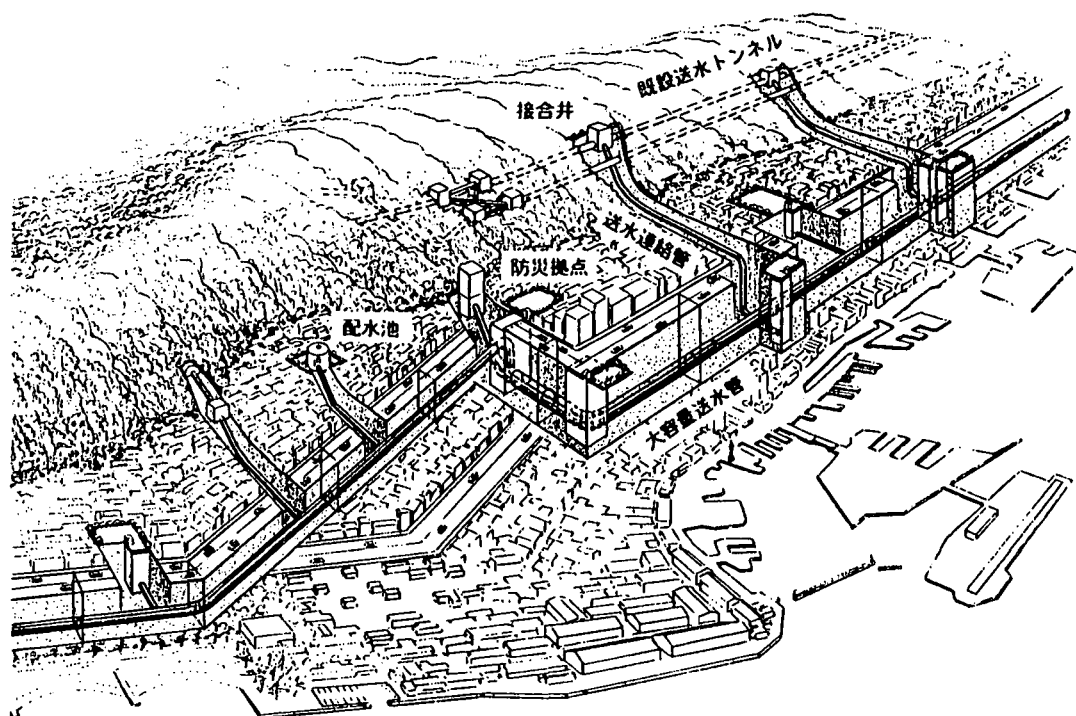


図-2.2.7 大容量送水管のイメージ（神戸市）

### (3) 消防水利

地震時に同時多発した火災の消火活動は困難を極めた。消火に一番効果のある初期消火に対応する消防力が絶対的に不足したことがあるが、その後の消火活動に消火栓が水圧不足に陥ったり、断水して役に立たなかったといわれた。消防水利は消火栓だけではなく、防火水槽、学校プール等が指定されているが、これらも被害を受けたり、量的に不足したことも重なった。水道は消火用水の一旦を担っているが、大規模地震時には水道が断水となる前提が必要である。しかし、人命の重みを考えれば単に飲料水の確保だけの施設整備の推進で良いとは言い切れない一面がある。消防関係機関では、耐震性の防火水槽の整備、河川、井戸、雨水、海水の利用等多様な消防水利の確保が進められている。

一方、水道施設では消防水利としても利用できる緊急貯水槽や、復旧が早い配水幹線にも消火用の取り出し口の設置を進めている都市もある。

#### 2.2.5 水道施設耐震工法指針の改訂

社団法人日本水道協会では昭和54年の「水道施設耐震工法指針・解説1979年版」<sup>8)</sup>を阪神・淡路大震災によって得られた研究成果を基に改訂を行い「水道施設耐震工法指針・解説1997年版」を発刊した。本指針においては、個々の水道施設としてではなく、水道システム全体としての耐震化が基本的考えとなっている。

耐震設計に関しては土木学会が阪神・淡路大震災後提唱した2段階耐震設計法の考え方が全面的に取り入れられ、施設の供用期間中に1～2回発生する確率を有する地震動をレベル1、発生確率は低いが大きな地震動をレベル2としている。また、施設の重要度はそれぞれの水道事業体が決定することになっているが、重大な二次災害を起こす可能性のある施設、上流に位置する施設、代替施設のない基幹施設等の重要度の高い施設をランクA、その他の施設をランクBとし、地震動レベルと施設の重要性の組み合わせによって耐震水準を決定することとしている。

レベル2の耐震計算法では、地中構造物では応答変位法を基本とし、構造物によっては塑性領域を考慮した考え方が取り入れられた。液状化については、側方流動土圧の算定式が追加された。

表-2.2.4 耐震水準

地震動 レベル 重要度	L 1 施設の供用期間中に1～2回 発生する確率を有する地震動	L 2 発生確率は低いが大きな地震動
ランク A (重要な施設)	無被害であること。	人命に重要な影響を与えないこと。 個々の施設に軽微な被害が生じても、 その機能保持が可能であること。
ランク B (その他の施設)	個々の施設に軽微な被害が生じても、 その機能保持が可能であること。	個々の施設には構造的損傷があっても、 水道システム全体としての機能を保てること。 また、早期の復旧が可能なこと。

#### 2.2.6 耐震化の課題

##### (1) 耐震化計画の実現

耐震化の目標を達成、実現していくためには多大な費用と長い期間が必要になる。しかし、公営企業の性格上、その防災投資は効率的、効果的でなければならない。そのための工夫として、

- a. いずれ必要となる老朽施設の更新の機会にあわせ耐震化を上乗せする。
- b. 復旧上重要な施設や、防災拠点などの効果が高い路線を優先する等、優先順位を付けて段階的に耐震化を実施していく。
- c. 他水道事業体間との連絡管の整備や応援体制の協定を強化し、緊急時の支援対策を高めることも重要である。

## (2) 広域化

相互応援協定の締結等の広域的な応援体制を充実させることは、施設整備レベルを補う経済的で効果的な方法である。また、水道事業体間で連絡管により広域的に水を融通し合う広域的なバックアップも有効であり、地震時以外でも渇水時にも効果がある。その方法として、①隣接する市町村と連絡管を設置する、②幾つかの事業体を貫通する幹線を設置する、③大都市の事業体間を連絡する。等の方法が考えられる。

## (3) 施設診断と被害予測

施設の増強を進めていく上や、震災時の対応を考えていく上で、被害予測というものが必要になるが、その予測式とともに、施設の診断による耐震性の評価も必要となり、その手法の精度向上が望まれる。

### 2.2.7 まとめ

阪神・淡路大震災では上水道の長期にわたる途絶は市民生活や医療、産業に大きな影響を与えた。水道への依存度が高くなっている現状をふまえ、水道施設の耐震性を向上させていくことは重要である。しかし、一方では投資が水道料金に返ってくる現実もあり、投資効果を十分考慮した実施も求められている。

## 2.3 下水道施設

### 2.3.1 はじめに

処理系ライフラインである下水道施設については、神戸市について記述する<sup>9)</sup>。

神戸の下水道着手は古く、1868年の開港時、港に近い外国人居留地にイギリス人の設計で煉瓦造の下水道が設置されたのがはじまりである。その後は財政事情や戦争などのため事業実施がなされておらず、本格的に整備が進められたのは昭和26年になってからである。それ以降、急ピッチで下水道整備が進められ、平成5年度末での下水道普及率は対総人口で97.4%に達していた。

市域は8つの処理区に分割され、六甲山より北側の2つの処理区は県が管理する武庫川上流流域下水道と加古川上流流域下水道に接続する流域関連公共下水道となっている。その他の処理区は市単独で終末処理場を有する単独公共下水道の処理区として整備されている。

震災発生時、神戸市には処理場が7ヶ所、ポンプ場は汚水中継、雨水排除をあわせて23ヶ所が稼働し、布設済の管きよは汚水、雨水を合わせて約3,800kmの整備が完了していた。

神戸市の下水道整備状況を表-2.3.1に示す。

表-2.3.1 神戸市の下水道整備状況(平成5年度末)

全 市 面 積	54,580	h a
市街化区域面積	19,505	h a
汚水管きよ整備面積	16,029	h a
全 市 人 口	1,509,800	人
処理区域内人口	1,470,200	人
人 口 普 及 率	97.4	%
稼働中の処理場数	7	カ所
稼働中のポンプ場数	23	カ所
汚水管きよ延長	3,315	km
雨水管きよ延長	484	km

### 2.3.2 神戸市下水道施設の被災状況と復旧

阪神・淡路大震災での神戸市の下水道施設の被害と復旧の概要を、表-2.3.2(処理場)、表-2.3.3(ポンプ場)、表-2.3.4(管きよ)に示す。

下水処理の機能が低下したり停止した処理場は3カ所、揚水や排除に影響があったポンプ場は6カ所である。管きよ施設は汚水、雨水とも数多くの箇所被害が生じ、いずれも布設延長の2%弱が布設替えなどの復旧工事を行う必要が生じた。

被害状況の調査は地震発生の当日から実施された。拠点となるべき庁舎の崩壊、通信網の混乱、交通渋滞等により情報の収集には時間を要したが、重大な被害が刻々と報告されてきた。また、同時に復旧のための方策が検討されていった。

処理場・ポンプ場については、二次災害の発生防止と機能の早期回復を図るべく、緊急・応急措置が実施された。作業は余震の続くなか昼夜を問わず続けられ、機能は順次復旧していった。5月1日、最後に東灘処理場が機能復旧して、応急的ではあるが全市の処理場・ポンプ場の機能が回復した。

管きよ施設は常に汚水が流れていたり、小断面のものが多いため、詳細な被害調査には日時を要することから、破断や閉塞等により汚水溢水や雨水浸水あるいは道路陥没等を引き起す恐れのある箇所についてのみ応急措置を実施した。管きよの応急措置は概ね5月末まで継続し、最終的には10,000箇所以上で実施された。

本格的な復旧は原形復旧を原則として、応急復旧、災害査定と並行して行われ、平成8年度末までに被害が甚大であった東灘処理場を除いてすべて完了している。

表-2.3.2 神戸市の処理場の被害と復旧

処 理 場 名	処理能力	被 害 状 況	備 考 (復旧状況等)
東 灘	(m <sup>3</sup> /日) 225,000	最初沈殿池流入渠の破断 水処理施設の目地の破断 管廊の漏水 管理棟・処理施設等の基礎杭の破損	処理機能が停止 運河を利用した仮沈殿池で簡易処理 (途中より凝集剤を添加) 5月1日応急措置により機能復旧 本格復旧は10年度末の予定
ポートアイランド	20,600	放流渠破損、施設不等沈下	機能低下せず、平常運転
中 部	77,900	沈砂池かき寄せ機の損傷 管廊の一部浸水	処理機能が50%までに低下 健全な系列で処理
西 部	161,500	地下ポンプ水没 送風機補機室の浸水 最終沈殿池かき寄せ機の損傷	1系が運転停止 (機能が20%に低下) 2系のみで運転
鈴 蘭 台	43,825	エレベーター棟ずれ	機能低下せず、平常運転
垂 水	133,890	護岸破損、施設クラック	機能低下せず、平常運転
玉 津	75,000	施設クラック、配管類変形	機能低下せず、平常運転
東 部 スラッジセンター	汚泥 焼却施設	東灘処理場からの送水停止により冷却水遮断 不等沈下による配管等破損	機能が停止 2月14日海水冷却により機能復旧

表-2.3.3 神戸市のポンプ場の被害状況

ポ ン プ 場 名	被 害 状 況	備 考
大 石 ポ ン プ 場	停電と自家発電機冷却水槽破損による機能停止	1月24日機能復旧
ポートアイランド 第 1 ポ ン プ 場	管きよからの泥水流入による水没での機能停止 (断水により流入水なし)	1月26日機能復旧
ポートアイランド 第 2 ポ ン プ 場	管きよからの泥水流入による水没での機能停止 (断水により流入水なし)	1月19日機能復旧
ポートアイランド 第 3 ポ ン プ 場	管きよからの泥水流入による水没での機能停止 (断水により流入水なし)	2月 7日機能復旧
湊 川 ポ ン プ 場	クレーン落下による燃料配管の損傷による機能停止	1月21日機能復旧 (雨水ポンプ場で降雨がなかったため、支障無し)
神 明 ポ ン プ 場	吐出管破損による機能停止	1月18日機能復旧 (流入水はほとんどなし)
魚 崎 ポ ン プ 場	圧送管系統の支障により送水不能	
深江大橋ポンプ場	圧送管系統の支障により送水不能	
向 洋 ポ ン プ 場	圧送管系統の支障により送水不能	

表-2.3.4 神戸市の管きよ施設の被害状況

区 分	布設延長(m)	調査延長(m)	被害延長(m)	応急復旧件数	備 考
汚水管きよ	3,315,392	1,278,241	63,481	9,851	
雨水管きよ	483,722	377,600	9,524	461	
計	3,799,114	1,655,841	73,005	10,312	

注1) 布設延長は平成5年度末現在

注2) 被害延長は災害査定における復旧工事延長で、軽微なクラック補修等は含まない。

### 2.3.3 震災の教訓

#### 1) 災害発生後の初動体制について

神戸市では市内で震度5以上の地震が発生した場合、全職員は直ちに出勤することとなっている。しかし、今回の震災では職員自身や家族の被災、交通網の寸断等により職員は早期出勤ができず、また電話等の通信網の混乱や執務の拠点となるべき市庁舎の崩壊等のため情報連絡が十分にできなかった。このため、災害発生直後の被害状況の把握や復旧作業の手配に支障が生じた。

頻度の高い台風等の風水害に対しては、ある程度その発生が予見されるため、事前に防災体制を整えておくことができる。特に下水道の担当者は水防関係であることから、この風水害対策に対しては心得があるが、地震のような突発的災害に対しては慣れておらず、すべて発災後での対応となった。今後、突発的な災害発生時の初動体制の整備や情報連絡方法等について定めておき、十分に周知徹底を図っておくことが必要である。

#### 2) 各方面からの応援の受入について

下水道の復旧に当たって、被害調査等に国・自治体や各種民間団体など数多くの応援があった。今回のような都市直下型大地震が起れば、被害は甚大で、到底被災自治体だけで調査から復旧作業をまかなうことは不可能であり、今回の支援はその見本となるべきものである。(写真-2.3.1)しかし、応援隊がうまく機能するためには、情報伝達方法や応援作業のルールなどを事前に決定しておく必要がある。阪神・淡路大震災では被災自治体と各応援団体の間で情報伝達が不十分になったり、それにより作業が遅滞が生じた例もあった。今後は災害時の応援ルールを定めておき、災害発生時に迅速で効率的な応援を行うことが必要である。

#### 3) 災害時のし尿対策

神戸市では下水道の普及率が97%を越えており、ほとんどの家庭や事業所では水洗トイレを利用して生活している。このような中、ピーク時には599カ所、約23万7千人もの人が学校などに避難しての生活となったが、市内のほとんどの地域で水道が断水したため、避難所となった学校などでは水洗トイレが使用できなかった。このため、他自治体などの支援を得て、550箇所3,027基の臨時的汲み取り式の仮設トイレを避難所などに設置したが、神戸市にはそのし尿を収集するバキューム車の保有台数が少なく、また応援のバキューム車が到着しても震災下の交通渋滞に巻き込まれてなかなか作業がはかどらず、避難所からの収集要望が殺到する状況となった。(写真-2.3.2)また、断水のためにプール用水や河川水などを運んで、少量の水で無理して使われた避難所などの水洗トイレは、排水設備や本管が閉塞し使えなくなる事例が多く、その除去作業は大変なものであった。

震災の混乱期は負傷や病気などで衰弱している人も多く、生理的な排泄に体力を使うことは大きな問題である。どんな災害時においても、人が生活する限りし尿は必ず出るものであり、排出の制限や受入の拒否はできない。今回の震災では下水道サイドとしてトイレ対策が最も大きな問題の一つであることが認識された。衛生面や環境面を考え、災害時におけるし尿対策を真剣に考えておく必要がある。



写真-2.3.1 垂水処理場への支援隊の終結

#### 4) 下水道システムのバックアップについて

兵庫県南部地震では、これまで地震に強いとされていた地下に埋設された管きょや地中構造の処理場などで予想外の大きな被害が発生した。神戸市では最大規模の東灘処理場は処理機能が完全に停止し、通常の処理が再開できるまで100日以上も要するという想像もできない状況となった。幸い、運河に近接していたため、直ちにこれを締め切ることによって仮沈殿池として利用できたことや冬季で気温・水温が低く沈殿した汚泥が腐敗しにくかったという条件に恵まれ、周辺海域への汚濁の拡散や伝染病の発生といった最悪の事態は回避できたが、一歩違えば下水道システムの完全停止、二次災害を引き起す事態となった(写真-2.3.3)。

下水道は供給系のライフラインとは異なり、管理者側でシステム停止の措置を講じられない受動的なライフラインであり、下水道に接続されている設備で水が利用されれば、受入側の下水道では必ず排除と処理が必要となる。また、地震で生じた管きょのクラックや継手の抜けにより汚水管きょには地下水などが流れ込み、処理が必要な汚水量は増加する。実際、阪神・淡路大震災では水道が断水している状況でも、処理場への流入する下水は相当な量であった。

下水道への受入停止については、下水道法第14条に使用制限という法的措置が規定されている。これによれば「やむを得ない理由」がある場合、管理者の判断で公共下水道の使用を一時制限ができる。しかし、今回のような震災の混乱期に使用者に使用制限を周知徹底を図ることは難しく、また制限を行ったとしても、前述の下水道が受動的なシステムであるという理由で、その実効性があつたかどうかは疑問である。

下水道は市民生活の必需品としてシステムの的に停止することがないよう、構造的な耐震強化に頼るのみではなく、何らかのバックアップを用意する必要がある。

#### 5) 防災への下水道の寄与について

下水処理場やポンプ場などは大きい敷地やまとまった空間を持つものが多い。この空間は非常時には復旧作業基地などに用いられるとともに、避難所やヘリポートなど防災拠点として利用することも可能である。今回、処理場の将来施設用地等は各方面からの支援隊の基地や緊急資材の備蓄基地、仮設住宅用地などに活用されたが、情報連絡や配分等その運営に混乱が見られた。

また、今回の震災では水不足が深刻であった。特に火災の猛威に対して消防水利が不足していたことを考えると、下水道が持つ処理水や雨水もしくは海水は貴重な水資源であり、それを活用することで消防水利の多様化が図れ、下水道としても防災に大きく寄与することができる。

これら下水道施設空間や水資源の防災への寄与については、事前に簡単な準備をしておくことにより、かなり有効的に活用することが可能である。

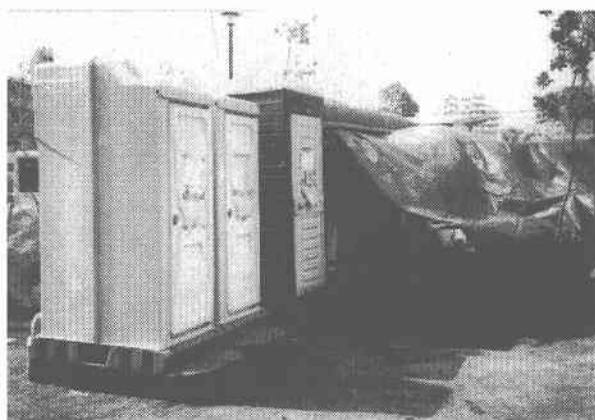


写真-2.3.2 避難所の仮設トイレ



写真-2.3.3 運河を利用した仮沈殿池

## 2.3.4 これからの防災対策

### 1) 非常時の復旧体制等

#### ① 災害時のマニュアルの整備

地震などの突発的災害の発生時に職員等がとるべき行動方法を規定し、周知徹底を図らなければ、迅速かつ効果的な復旧活動がなされない。この教訓をもとに各都市では地域防災計画の見直しが進められている。

神戸市においても、地域防災計画に地震防災対応マニュアルの整備を進めている。マニュアルは災害対策本部の設置や、避難誘導など対応内容別に整備され、下水道関係はライフライン復旧マニュアルとしてまとめられる。マニュアル中には下水道担当者の初動体制や災害対策本部の設置、緊急調査や応急措置の方法などが記述があり、災害発生時に、どこに出動し、何に従事し、どのような調査・復旧を行うのかが具体的に知ることができるようになっている。今後、記載内容の充実と災害発生時の対応訓練が行われる。

#### ② 下水道応援体制の確立

阪神・淡路大震災のように、都市直下型の大地震が発生すれば、その復旧を被災自治体だけで行うことは不可能であり、近隣自治体や民間団体等の応援が不可欠となる。しかし、応援を行うにあたっては、応援部隊の編成方法やその期間、情報連絡や活動の方法を決める必要がある。また、被災自治体を応援するためには、拠点となる前線基地や応援活動のための食料等の確保が必要となる。

すべてを災害発生直後の混乱期に決定することはできないため、現在、下水道関係では「13大都市災害時相互応援に関する協定」に基づいて、下水道の「災害時における連絡・連携体制に関するルール」が作られているほか、近畿ブロック（2府7県他）では「下水道事業災害時近畿ブロック応援に関する申し合わせ」が整備され、自治体間や民間団体の支援方法等が盛り込まれている。

今後これらの制度を活用して情報伝達訓練や資機材調達などを行い、相互応援体制の確立が進められる。

#### ③ 下水道防災マップ等の整備

下水道は被害箇所や内容の把握が難しい施設である。管きよは地下に埋設されているため、被害の有無を判断するには、内部に管きよ調査用カメラを通すなどが必要で、その調査には非常に長い期間を必要とする。また、処理場・ポンプ場は土木・建築・機械・電気等の複合工種で構成されており、どの被害がどの程度機能に影響を与えているのかが把握しにくい。このため、地震発生時に行う被害調査の項目を整理し、チェックリスト形式の調査票を準備するなど定型化を図っていくとともに、構造的な弱点（伏越、重要幹線の交点等）や施設の重要度、地形・地質的特性によって、調査範囲や調査の優先順位を示す防災（危険度）マップを作成し非常時に備える。

### 2) 構造的耐震化の検討

地震対策として、当然のことながら施設の構造的耐震化を進める。平成9年8月に「下水道施設の耐震対策指針と解説」<sup>11)</sup>が出され、下水道施設の新たな耐震対策を進めるための基準が明確化された。

処理場は地域特性によって重要度がランク付され、地震に対して最低限確保すべき機能が規定されている。また、管きよ施設は「重要な幹線等」と「その他の管路」に区分され、設計対象地震動を変えている。

新たな施設建設にあたっては、この指針の主旨を踏まえ耐震設計を行っていく。既存施設については順次耐震診断と補強等を進めることとするが、地下部など診断・補強とも困難な箇所もあり、また既に蓄積したストックが多く改造等には莫大な費用を要するため、改築・更新時期も考慮して実施していく。

なお、避難所となる学校や公共施設、病院等についてはその施設の重要性を加味し、排水設備も含め優先的に耐震対策を進める。表-2.3.5に神戸市における污水管きよの地震対策の基本的考え方（案）を示す。



表-2.3.5 神戸市における污水管きよの地震対策の基本的考え方(案)

市の耐震対策は、国から出された地震対策についての提言や指針等<sup>10)、11)</sup>に準じるが、神戸市特有の状況を勘案して基本方針を次のとおりとする。

区分 <sup>(i)</sup>		設計対象地震動 <sup>(ii)</sup>	要求される耐震性能	神戸市の耐震対策方針(案)
既設	重要な幹線等	レベル2	流下機能の確保 <sup>(iii)</sup>	①構造的対策が可能なものは、計画的に対策を施す。 ②構造的対策が困難(不可能)なものは、重要なものから、二条化等によるバックアップの確保を図る。 ③能力不足による増強や改築・更新のため再構築する幹線等については、構造的対策を取入れる。
	その他の管路	—	—	①能力不足による増強や改築・更新に併せて、(レベル1地震動での)構造的対策を施す。
新設	重要な幹線等	レベル2	流下機能の確保 <sup>(iii)</sup>	①耐震設計手法に基づいた構造的対策を施す。 ②ネットワーク幹線等の最重要幹線については、他の被災施設の負担を受容する余裕のある施設とする。
	その他の管路	レベル1	設計流下能力の確保	①耐震設計手法に基づいた構造的対策を施す。 (耐震材料等の使用により、新たに構造設計が必要ないものは除く)

(i)：区分及び設計対象地震動については「下水道の地震対策についての最終提言」<sup>11)</sup>による

(ii)：レベル2地震動での対策を施すことで、レベル1地震動での耐震性能(設計流下能力の確保)は満足される。

### 3) システムのバックアップ確保

#### ①重要幹線管きよの複数系列化

新たな施設建設にあたっては構造的な耐震対策を行うことが可能であるが、既存のストック施設への構造的な耐震対策は、技術的にかなりの困難である。また、構造的に一定の耐震性能を有しても、その施設がどんな地震に対しても決して壊れないというものではない。

神戸市では重要な幹線等はシステムのバックアップの確保という観点から、二条化等を進めていく計画であるが、そのすべてを一度に二条化することはできないため、既存の重要な管きよで、管きよの流下能力からみて増強が必要となる場所、老朽化等により改築・更新時期が近いものから優先的に進められる。現在、人工島「六甲アイランド」と処理場を海底で結ぶ動脈となっている連絡管の二条化が進められている。

#### ②処理場間のネットワーク化の推進

一方、処理場についても構造的な耐震対策を行うとともに、処理場のバックアップ確保として「処理場間のネットワーク化」を進めていく。これは今回の地震で東灘処理場等の多くの施設で多大な被害を受けたにも関わらず、大深度のシールド・トンネルの被害が軽微であったことから、地下連絡の発想が生れたもので、もし一つの処理場が機能停止に陥っても処理場間を耐震性能の高い連絡管で結んでおけば、緊急的に下水を隣接処理場で処理することができ、相互補完が可能となる。この連絡管は常時でも処理能力の部分的な不足や改築・更新事業時の施設休止の代替として、柔軟に利用することができるため、既存の幹線網等も有効に活用して処理場間ネットワークを構築していく(図-2.3.1)。

#### ③非常時のし尿対策

阪神・淡路大震災で経験したトイレ問題に対応するため、非常時のし尿対策を進める。管きよや処理場の構造的耐震対策とともに、トイレのバックアップとして「公共下水道利用型仮設トイレ」の建設を進める(図-2.3.2)。これは、小・中学校のプール用水などを水洗用水として利用したり、災害時でも流れている幹線管きよの水勢を利用することにより、公共下水道に直接し尿を排除するタイプの仮設トイレで、平成9年度から年間5箇所25基程度ずつ設置を進める。これにより災害時の交通渋滞やバキューム車不足により滞った収集・運搬作業を軽減させることができる。

#### ④ 下水道台帳システムのバックアップ機能の整備

今回、神戸市役所庁舎の崩壊により被害調査に必要な下水道台帳が取り出せない状態となった。幸い、台帳の電算化作業中で契約業者がデータを保有していたため、そこからデータを引出すことができた。また、名古屋市が同じ台帳システムを採用していたことから、そこでも台帳図の出力が可能となった。今後、台帳等のデータは危険分散とバックアップの観点から、都市間で相互保管や、民間業者への保管委託を進めていく。

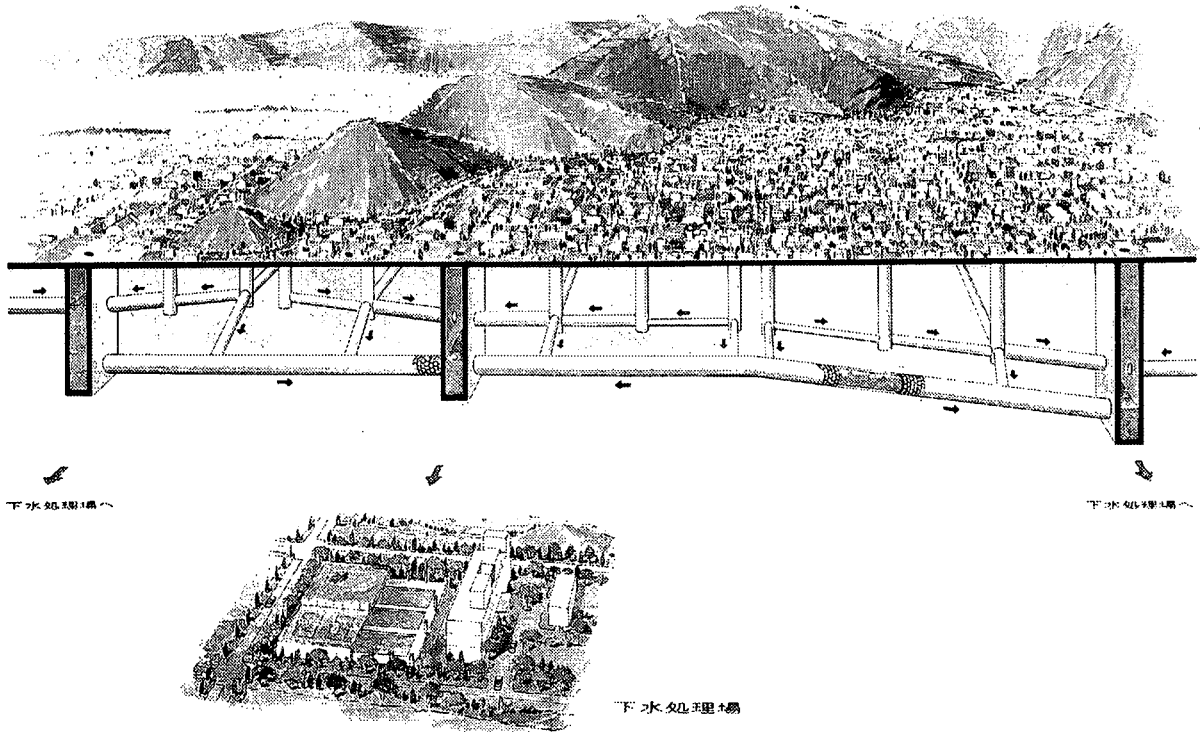


図-2.3.1 処理場間のネットワーク計画

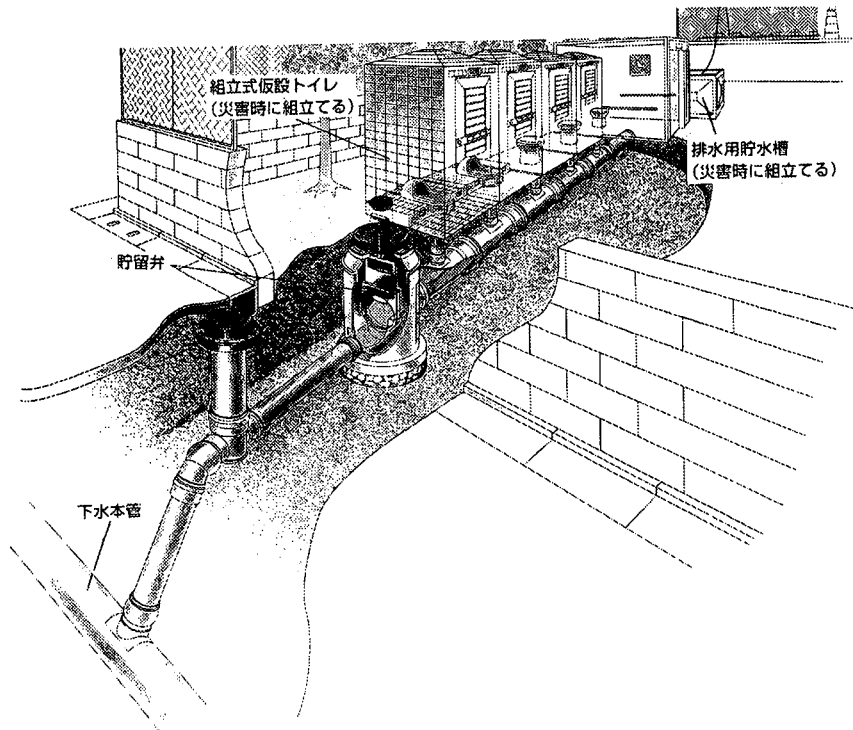


図-2.3.2 公共下水道利用型仮設トイレ

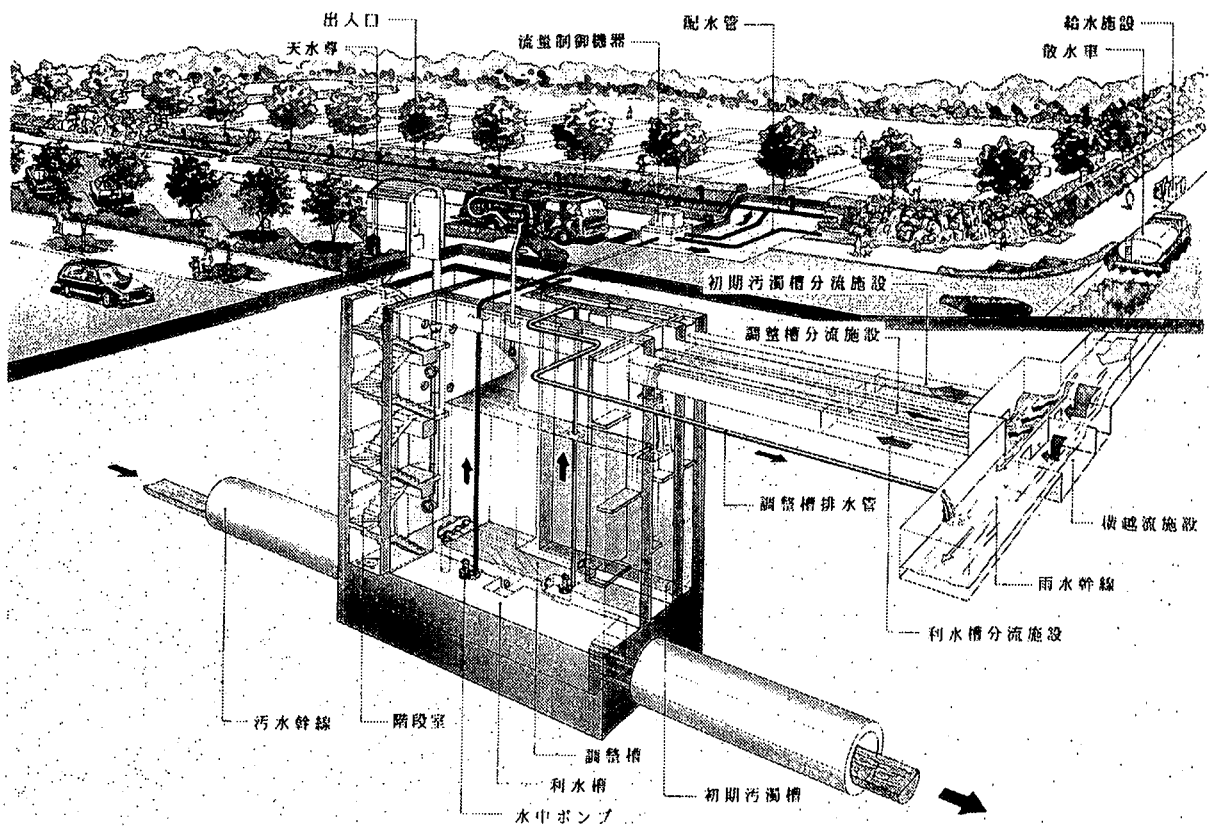


図-2.3.3 シールドの立坑を利用した雨水貯留施設

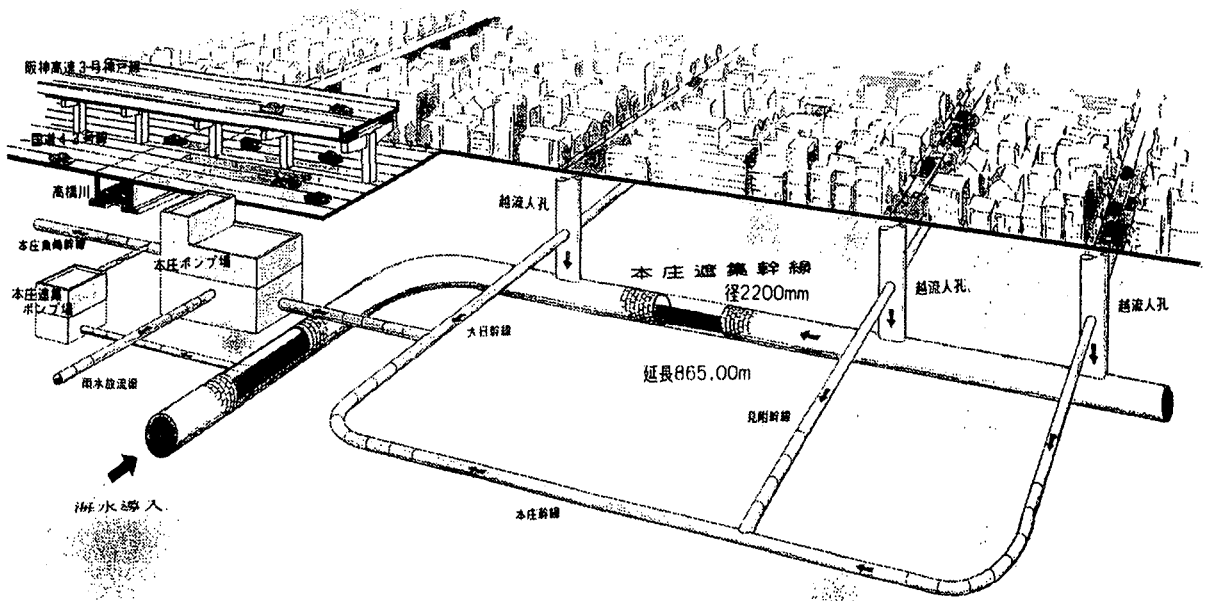


図-2.3.4 非常時に海水を引き込み消防水利に活用できる雨水幹線

#### 4) 下水道の防災への活用

##### ① 処理水や雨水の活用

多様な消防水利の一助として、処理水や雨水の活用を進めていく。

処理水の活用としては、下水処理場で消防車に処理水や高度処理水を給水できるように施設整備を進める。また、高度処理水を震災復興区画整理地区などに送水し、常時はせせらぎ用水として、非常時には防火用水としての活用を図る。

雨水については公園など地区にスポット的に貯留することが可能であるため、地下空間を占用する下水道施設を有効活用して雨水貯留を進める。

今回の地震で被害の大きかった東灘区では、汚水幹線のシールド工事の発進立坑で造った地下空間を利用して雨水貯留槽を設け、消防水利等に活用する施設が完成している(図-2.3.3)。また、浸水対策用の雨水貯留管に非常時には海水を導入・遡上させ、上流のマンホールでくみ出すことで海水を消防水利に利用できる施設整備を進めている(図-2.3.4)。

##### ② 処理場の防災拠点化

処理場等の防災拠点化を積極的に進めていく。処理場等の広大な空間と処理水という豊富な水資源を活用し、災害時にはヘリコプターを利用した救急医療の中継や緊急輸送物資等の搬送拠点、処理水を消防水利として供給する消防活動の拠点として整備する。また、施設内の空間を有効活用することで消防機材や緊急資機材の備蓄等を行い、多機能な総合的防災拠点として、あるいはボランティア等災害活動を支援する拠点も活用を図っていく。今後、処理場の立地条件に合わせ各種の施設を整備し、災害時にも活用できる下水道を目指して防災拠点化を進める(図-2.3.5)。

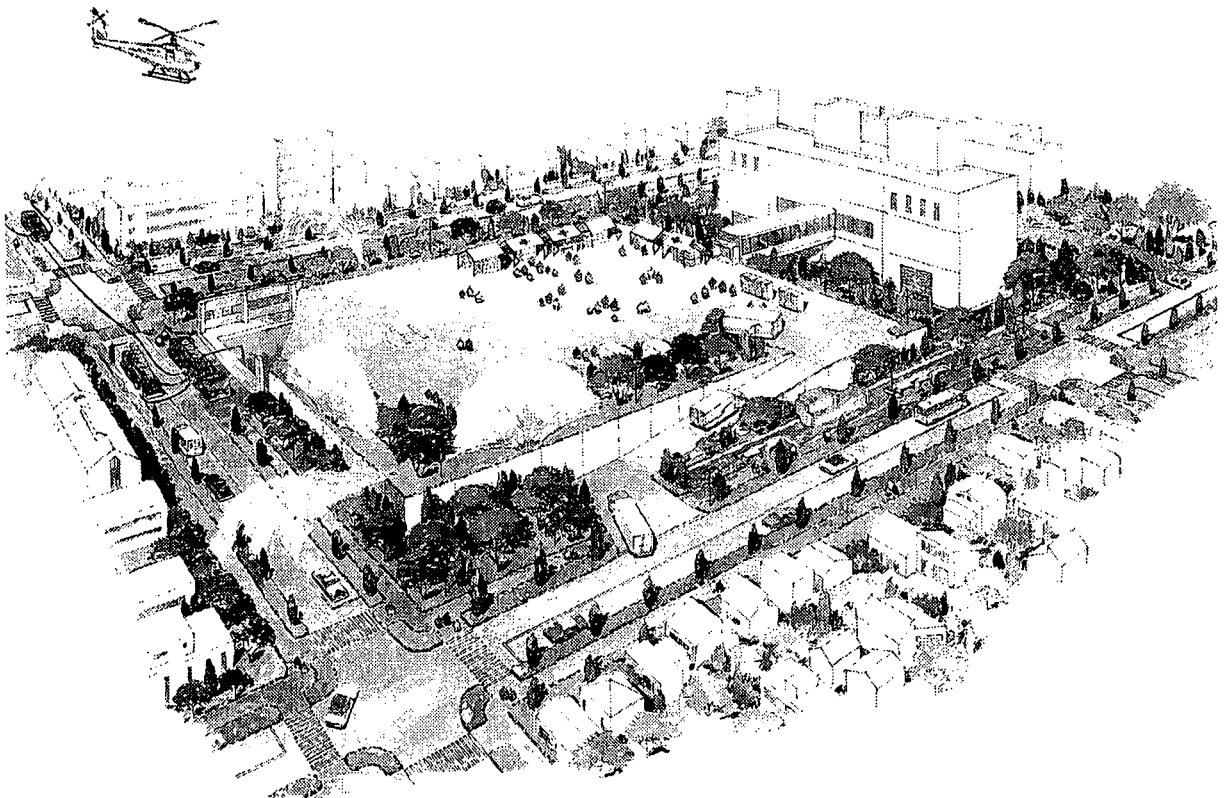


図-2.3.5 下水処理場の防災拠点化

### 2.3.5 処理系ライフラインの課題 ～ 機能停止と適正防災投資

下水道はガスや上水道などの供給施設とは異なり受動的なライフラインで、下水道の持つ流下機能や処理機能が停止すれば、汚水や雨水は溢水し、伝染病・浸水などの二次災害の発生その他、川や海など公共用水域の水質汚濁等を引き起す恐れがある。結果として、市民生活や都市としての機能がマヒ状態となり、経済的損失ははかりきれないものとなる。そのことを考えれば全ての下水道の地震対策を進める必要がある。しかし、全ての施設で被害を生じないようにすることは技術的に困難であるとともに、莫大な費用を要するため必ずしも得策ではなく、施設によってとるべき耐震対策を使い分ける必要がある。

今回の東灘処理場のように、処理場・ポンプ場や重要幹線などの基幹施設が完全被災すれば、その復旧には数年といった期間を要する。一方、枝線管きょなどは被害を受けても基幹施設ほど復旧に時間を要さず、応急措置も容易である。

このことから、処理場や重要幹線などについては非常時にも停止が許されない施設として最大限の耐震対策を施し、枝線などはある程度の被害を許容するが復旧が容易な構造としておくという使い分けが必要である。また、段階的な復旧計画と関連した耐震対策が必要である。

今後、下水道被害による都市機能や環境への影響と目指すべき耐震性能、それに必要な防災投資について検討を加え、適正な防災投資で耐震対策を進める必要がある。

## 2.4 ガス施設

### 2.4.1 ガス施設の被害状況

LNG（液化天然ガス）を気化して製造されたガスは高圧、中圧、低圧の各導管網を経て各家庭にまで供給される。大阪ガス(株)では泉北と姫路に2ヶ所の製造所があり、両製造所から高圧導管を通じて輸送されたガスはガバナ（整圧器）で減圧され中圧導管網へ送られる。中圧導管網は中圧A、中圧Bの2種類の圧力がある。病院、ホテル、工場等の大規模な顧客については、この中圧導管から直接供給することもある。一日の需要量と供給量の差を調整するガスホルダーと中圧導管網からガバナによってさらに減圧されたガスは低圧導管網を通じて各家庭へ供給される。

以下に大阪ガス(株)の製造・輸送・供給施設の被害状況<sup>12)、13)</sup>を示す。

#### (1) 製造設備、ガスホルダー

製造設備には被害がなくガスの製造、送出手が継続された。

ガスホルダーでは、葺合（ふきあい）供給所で地表面最大加速度833galを記録したが2基のホルダーには被害はなかった。その他震源付近の明石、神戸、北神戸、西宮供給所などにおいても被害はなかった。

#### (2) 高圧導管

約490km設置されている高圧導管についても被害は全くなかった。特に400gal以上の加速度を記録した明石地区においても被害はなかった。

#### (3) 中圧導管

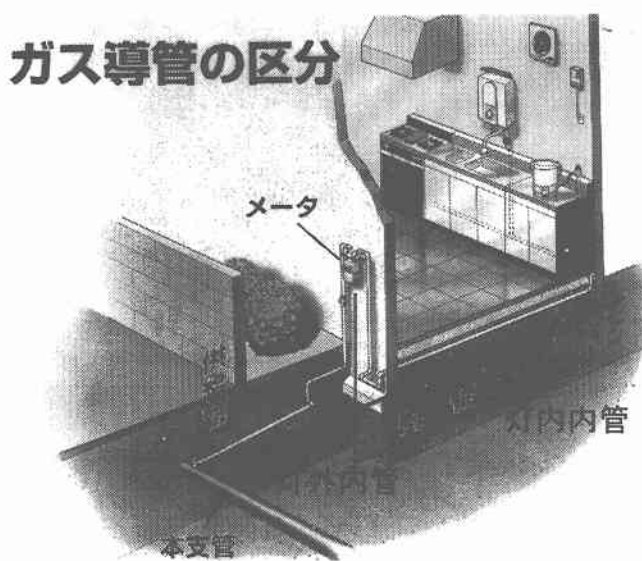
中圧導管では合計106ヶ所で被害が生じた。中圧導管網の被害の大半は、導管に設置されたバルブ継手部分からの軽微な漏れで、早期に復旧がなされた。

溶接接合鋼管においては、第二神明道路大蔵谷インター付近での道路盛土崩壊や地下鉄大開駅の駅舎崩壊に伴う道路陥没など、地盤大変状の影響を受けたが、管は大変形するに止まり、ヘアクラックは発生せず勿論ガス漏れには至らなかった。また、橋梁に添加された橋梁管についても液状化側方流動に伴う護岸崩壊の影響を受けた事例もみられたが、管は大きく変形したもののガス漏れは発生しなかった。溶接接合鋼管が優れた耐震性を有していることが実証されたと言える。

#### (4) 低圧導管

今回の地震ではネジ継手（現在は新設工事では使用されていない）において被害が集中した。

低圧導管の中でも柔軟性に富み地震に強い材料として導入を促進しているポリエチレン管には全く被害はなかった。ガス導管耐震設計指針を満足する耐震メカニカル継手を用いた鋼管、ダクタイル鋳鉄管の被害も極めて軽微なものであった。また大規模な液状化が発生し地盤沈下が生じたポートアイランドや六甲アイランドでは、建物への引込部分に設置した耐震性のある伸縮継手が有効に機能し、ガス漏れを防止した。現在新設に用いているこのような継手、管材料は十分耐震的であるということが実証されたと言える。図-2.4.1にガス管の被害件数を示す。



## 導管被害の概要

中圧導管 106件      本管 583件

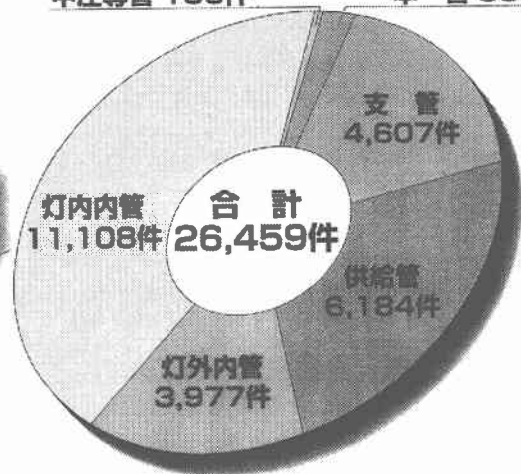


図-2.4.1 ガス管の管区分毎の被害件数

### 2.4.2 ガスの復旧<sup>12)、13)</sup>

今回の地震において大阪ガス(株)では、二次災害を防止するために神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市など5つのミドルブロックの供給の停止を行った。供給停止をした顧客数は約86万戸(大阪ガスの全顧客数の約15%に当たる)であった。

#### (1) 復旧手順

復旧作業はガスの流れに従って中圧導管、低圧導管の順で行われた。中圧供給施設の被害は軽微であったため、早期に復旧が完了した。

低圧導管の復旧作業の手順は以下の通りである(図-2.4.2)。

- ①各顧客のメータガス栓を閉栓し、道路に埋設されたガス管の修理作業中に家屋内にガスが入らないようにする。
- ②供給を停止したエリアを顧客数3,000~4,000戸の地区(復旧セクター)に分割し、復旧地区と未復旧地区を分離する。
- ③セクター単位にガス管を検査し洩れ箇所がある場合修繕を行う。管内に水や土砂が入っている場合は修繕作業に先立って排出する。
- ④ガス管の修理が終わると係員が顧客を一戸一戸訪問し、顧客の立会いのもと建物内のガス管の洩れの有無ならびに風呂、給排気設備を検査する。
- ⑤設備に異常がなければメーターガス栓を開きガス供給を再開する。

各復旧セクター単位にこの作業手順を繰り返し、復旧が進められた。

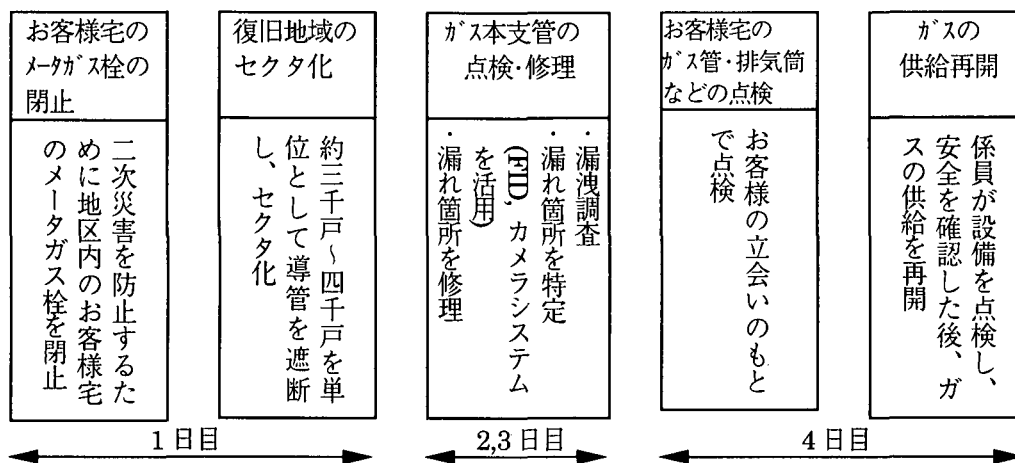


図-2.4.2 復旧の手順

### (2) 復旧体制

このようにガスの復旧では、安全確保を最優先して作業が進められるため多くのマンパワーが必要となる。地震発生直後から大阪ガス社員ならびに関連工事会社の要員が大阪、京都、奈良、滋賀、和歌山等の各地から動員された。これに加え日本ガス協会からも応援隊が派遣された。北海道から沖縄に至るまで全国155のガス事業者から応援隊が派遣され、復旧に従事する作業員はピーク時には9,700名にのぼり、復旧に投入された車両も4,800台に達した。

### (3) 復旧作業状況

供給停止地区は200余りの復旧セクターに分割され、復旧作業は一日でも早く多くの顧客を復旧するため、被害の比較的軽微な供給継続地区の周辺部から開始された。当初は釧路沖地震の実績から1セクター4～5日間で復旧が完了すると想定されたが、ガス管内に流入した大量の水や土砂の排出に手間取り1週間以上かかることもしばしばあった。1トン以上の水を抜いてもまだ水が出続ける現場もあるなど水の流入があまりにも多いため、吸引式の水抜き機が活用された。また液状化が発生している現場では管内に土砂が流入しガス管を塞いでいる場合もあり、下水管の洗浄に用いる高圧洗浄車とバキュームカーが威力を発揮した。

作業は昼夜を問わず続けられ、3月10日には復旧対象となる顧客の80%が復旧された。震度7の激震地区では管内の水、土砂に加え倒壊家屋が増え、各戸への引込管を本管・支管から切離す作業等で復旧効率は大幅に低下した。作業効率を向上させるため、復旧先行隊と呼ばれる引込管切離し専門部隊が編成された。図-2.4.3に復旧の進捗状況を示す。

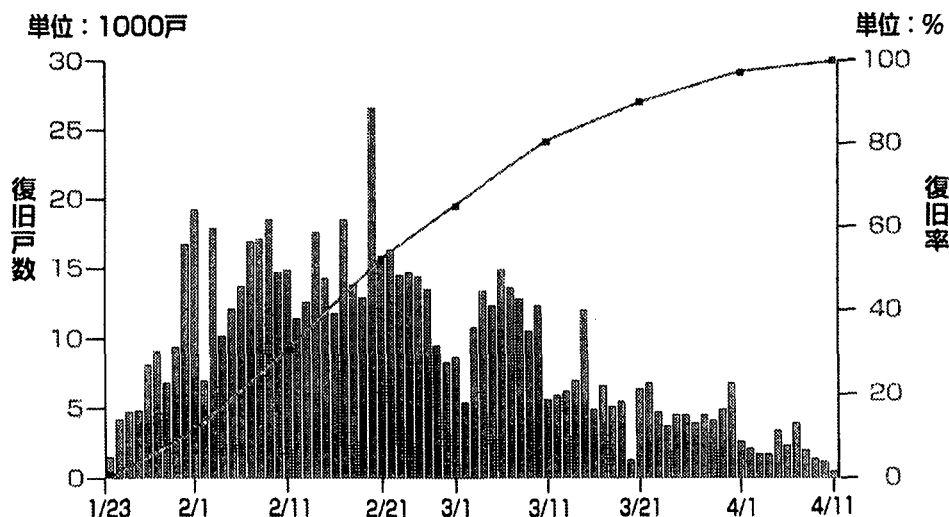


図-2.4.3 復旧進捗状況



### 2.4.3 今後の地震防災対策

通商産業省資源エネルギー庁においては、阪神・淡路大震災のガスの復旧が完了すると、直ちに資源エネルギー庁長官の諮問機関として「ガス地震対策検討会」<sup>12)</sup>(委員長 片山恒雄 元東京大学教授 現 科学技術庁 防災科学技術研究所所長)が1995年(平成7年)4月24日に開催され、ガス事業における地震対策のさらなる向上を目指して検討が開始された。

ガス地震対策検討会には設備対策分科会、緊急・復旧対策分科会、支援体制分科会の3分科会が設けられ、阪神・淡路大震災に加え、1994年(平成6年)12月に発生した三陸はるか沖地震も考慮され、具体的かつ詳細な検討がなされた。その結果、「ガス地震対策検討会報告書」(以下 検討会報告書という)として、1996年(平成8年)1月に取りまとめられ、発刊された。

検討会報告書の特徴としては、具体的な地震対策の提言だけでなく、その対策の実施目標を明示したところにある。以下に検討会報告書に記載されている対策の実施目標を示す。

#### 第1ステップ(報告書取りまとめから1年程度)

現有の人的、物的資源を最大限有効に活用することにより、ガス設備に被害が発生した際の二次災害の防止を目指す。

#### 第2ステップ(報告書取りまとめから5～10年程度)

ハード面の対応を図るとともに、実効性のある地震対策という観点から、併せて緊急対策と復旧対策を講じ、一層確実に二次災害を防止するとともに、供給停止地域の極小化や復旧作業の迅速化により供給停止期間を短縮することを目指す。

#### 第3ステップ(報告書取りまとめから10年以上)

これらの諸対策を講じた結果として、原則として二次災害を防止し、ガスの復旧までの期間も今般の震災に比し、ごく例外的なケースを除き大幅に短縮することを目指す。

ガス事業者においては、震災以前から継続して地震対策を実施してきた、「ガス地震対策検討会報告書」を踏まえて、地震対策の再構築がなされている。

本節では、大阪ガスの新たな『地震対策5ヶ年計画』<sup>14)、15)</sup>を示す。

大阪ガスでは、従来からの対策に加え、今回の震災の貴重な経験を生かし、ガス地震対策検討会報告書に基づいて、平成7年度から11年度までの新規の地震対策の基本計画として『地震対策5ヶ年計画』を制定した。今後5ヶ年間で実施される地震対策には総額1,800億円の予算が投資される。

#### (1)地震対策の骨子

『地震対策5ヶ年計画』は、今後の地震対策を考える前提として、今回の震災の被害の状況(大都市直下型地震における、低圧導管網への集中被害)をベースに、さらに製造・幹線設備に震度7級の地震が起こるといった状況も想定して策定されている。

予防対策としては、より地震に強い設備を目指し、製造・輸送・供給設備の耐震性をさらに向上させる。

二次災害の防止のために、情報収集機能の強化をはじめ、供給停止システムの再構築や通信システムの強化及び地震被害予測システムの構築等を図っていく。

早期供給再開を可能とするための復旧対策としては、ガスの供給を停止した際にできるだけ速やかに復旧作業を進めることができるように、マニュアルの整備や、さらなる技術開発の推進などを進めていくなどがある。

#### (2)製造施設の対策

メタンを主成分とする天然ガスは、 $-160^{\circ}\text{C}$ に冷却することによって体積が約 $1/600$ になることからLNG(液化天然ガス)とすることで、大量輸送・貯蔵が可能となった。この $-160^{\circ}\text{C}$ という超低温で貯蔵されているLNGは専用のLNGタンカーに積み込まれて日本に輸入され、LNGタンクで貯蔵される。

LNGタンクは安全対策のため、コンピュータを用いた万全の防災システムで24時間、常時監視されて

いる。また、LNGタンクをはじめ製造所の主要設備は地下約30mの強固な支持地盤に打ち込まれた数百本の鋼管杭に支えられた基礎の上に建設されており、不等沈下や地震に対しても安全となっている。

こうした備えにより製造設備は、震災では被害を被らなかつたが、今後とも万全の製造設備の建設、維持、管理を図る。

### (3) 輸送・供給施設対策

輸送・供給部門では先述のように、震災において高压導管には全く被害はなく、中圧導管の一部と低压導管に被害が発生した。具体的な導管被害はガスの供給を停止した地区において約2.1万件(本支管約4千件、発生率約1件/km、供給管・灯外内管約1.7万件、発生率約1%)あった。中でも低压本支管については、古いねじ部に集中(約2件/km)していた。

こうしたことから、中圧導管で若干の被害のあった液状化地区と活断層地区の非裏波溶接結合鋼管(昭和37年以前)については、今後5年の間に、更新、または耐震補修の対策を実施する。

ドレッサーは日常の維持管理の中で、ゴム輪取り替えを実施し、さらに機会があれば適宜入替えを進める。

一方、被害が集中した低压導管だが、大阪ガスでは昭和54年からポリエチレン素材のガス管の導入を図ってきた。ポリエチレンは土中に埋設しても腐食せず、さらに可とう性も高い(引張試験時で伸び率は650%)という半永久的な寿命を持つ耐久性に優れた導管材料である。そこで、ねじ接合鋼管は他工事などの機会があれば、ポリエチレン管などへの入替えをする。また、社会的に最優先の復旧が要求される緊急病院などへの供給ルート中の液状化地区と活断層地区のねじ接合鋼管を約10年間にポリエチレン管などへの入替えを進める。また、平常時のガス漏れ対策として、営々として続けられてきたガス管の改修対策は今後とも継続され、地震時の予防対策としても大きな位置を占めるものである。

### (4) 一般家庭向けへの対策

都市ガスは調理、給湯、暖房などさまざまな分野において、現代における快適な暮らしを支える重要なエネルギーとなっている。

ユーザーが安心してガスを使用できるように、ガス設備、機器の安全性および耐震性をさらに高める技術を開発し、普及を図ってきた。

一般家庭向けには、次のような対策が進められている。

ガスメーターに組み込まれたマイクロコンピュータが、ガスの使用状況を監視する『マイコンメーター』を家庭用は平成8年度末に全ての顧客に設置を完了し、業務用は平成11年度中に完了する予定である。

マイコンメーターは、多量のガス漏れ、機器の消し忘れ、地震、ガスの圧力低下などの異常を感知すると、自動的にガスを遮断する(地震の場合、震度5に相当する200galでガスを遮断する)。また、ユーザーの手で簡単に復帰させることができる。さらに、このマイコンメーターは、光と音声でガス漏れを知らせる『ガス漏れ警報器』と連動してガスを遮断することもできる。

内管設備に関しては、先述のとおり地中および建物貫通部分のねじ接合鋼管に被害が集中したことから、地中部はポリエチレン管、地上部はステンレスフレキシブル管の導入を図る。

家庭内のガス栓に関しては、現在、万一ゴム管が外れて多量のガスが漏れた場合に、自動的にガスを停止する『ヒューズガス栓』を取り付けている。そのほか、従来のゴム管の代わりにワイヤー入りで強度の高い『ガスコード』の普及などにも努めていく(図-2.4.4)。

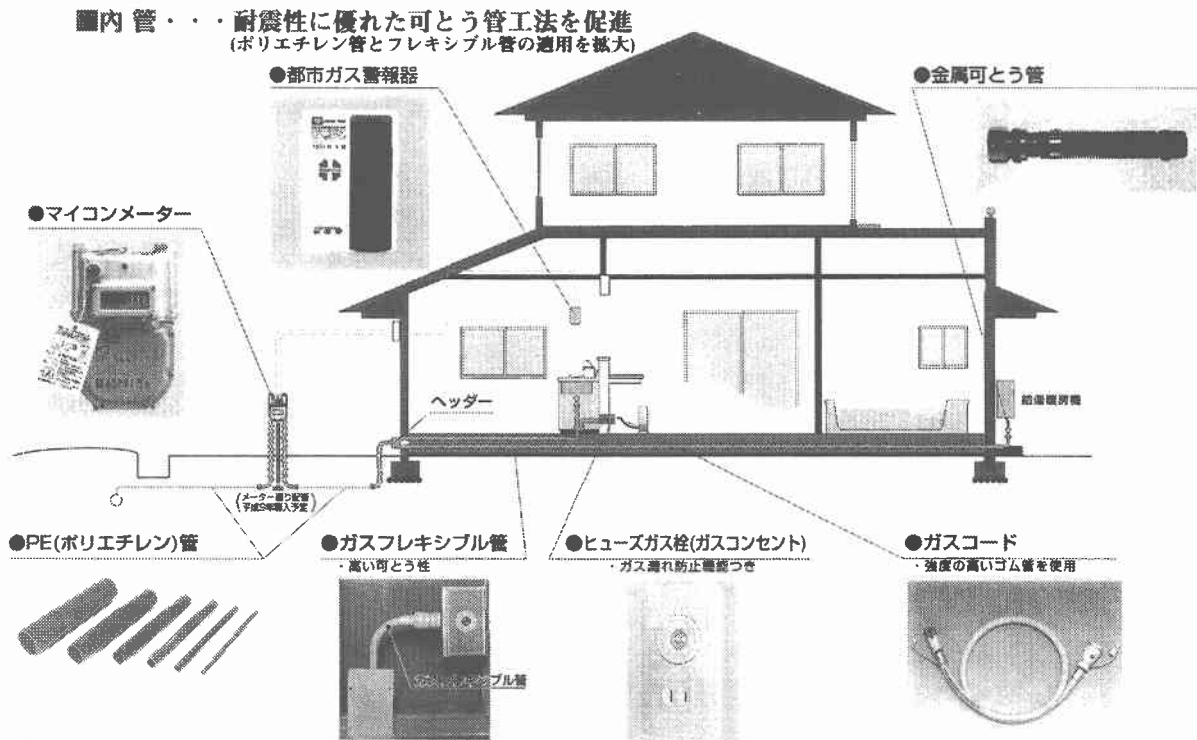


図-2.4.4 一般家庭における予防対策

(5) 緊急対策

「ガス地震対策検討会報告書」では、従来の供給停止の考え方（緊急供給停止判断）に加え、新たに今般の地震のような大規模な地震を想定した即時停止の概念（即時供給停止判断）が導入されており、以下の2つの場合のいずれかが確認された場合、即時にガス供給の停止をすることとしている。

- ①地震計のSI値(Spectrum Intensity)が60カイン(cm/sec)以上(最大速度値の場合はこれに相当する値)を記録した場合。
- ②製造所または供給所ガスホルダーの送出量の大変動、主要整圧器等の圧力の大変動により供給継続が困難な場合。

以上の答申を受け、地震動が60カイン以上の地域については直ちにガスの供給を停止することとした。供給停止を判断するための情報収集・分析のために次のような対策をとる計画である。

まず、地震が発生した場合、供給エリア内に設置している数多くの地震計から、瞬時に地震動情報が本社中央指令室へと自動的に送られ、コンピュータにより被害地域を把握する。そのために、地震計を震災当時の34ヶ所から約240ヶ所に増設する。

また、よりきめ細かく被害の大きな地区を絞り込み、供給停止区域の最小化を図るために従来の55ミドルブロックをさらに118に細分化し、ひとつのブロックに最低2ヶ所の地震計が設置されるように配置する。(図-2.4.5)

地震発生後、直ちに的確な判断を下し、適切な指令を発するために約240の地震計データとガス管や家屋、地盤・地形のデータベースに基づいて、ガス管や建物の被害状況を推定するリアルタイム地震被害予測システムを改良・開発する。地震発生直後は、被害の全容を把握するために必要な情報はほとんど得られないため、このリアルタイム地震被害予測システムは非常に重要な情報を提供するものである。

さらに、中圧A整圧器(約300ヶ所)に都市ガスの圧力・流量を監視する装置を導入する。

供給停止については、迅速に停止をするために以下の対策を実施する計画である。

まず、供給ブロック内の低圧ガス供給をSI値60カイン以上の地震動で即時に停止するために、低圧感震自動遮断システムを中圧Bガバナ約3,000ヶ所に設置する。

これに加えて、万一の中圧導管被害に対応できるよう、中圧導管の遠隔遮断システムを約300ヶ所に導入する(図-2.4.6)。

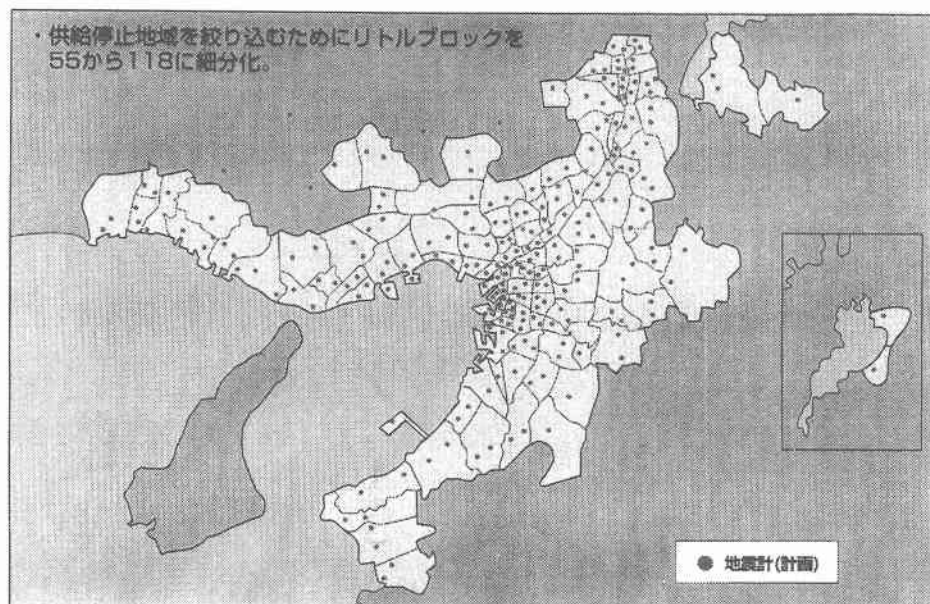


図-2.4.5 ブロックの細分化と地震計の増設

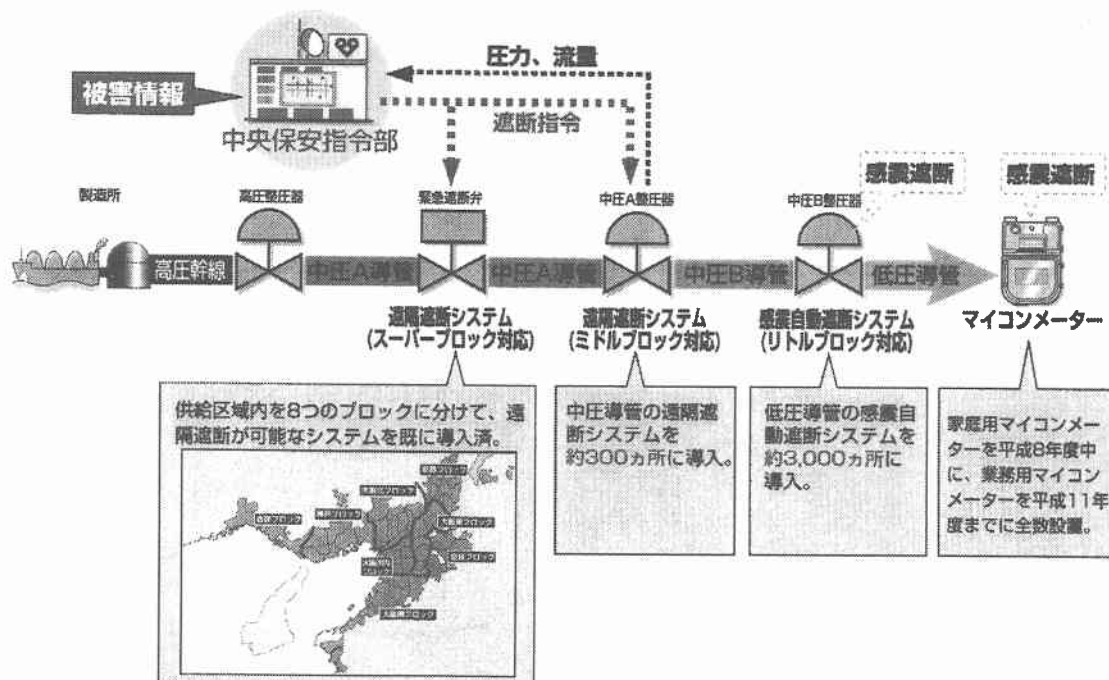


図-2.4.6 供給停止システム

供給ブロック内の地震計のいずれかひとつがSI値60カイン以上を記録すれば、そのブロックは即時供給停止ブロックとなる。この時、そのブロック内の中圧Bガバナ (20～30機) に設置されている低圧感震遮断装置が全てシャットオフの状態になっていることが期待される。

しかしながら、地震計設置場所と中圧ガバナ位置の地盤の地震動増幅特性の違いによって、停止していない中圧Bガバナが存在する可能性がある。このため、地震計および中圧Bガバナ位置で常時微動 (H/V) を実測し、地盤の増幅特性を把握することによって、即時供給停止をより確実に実行できるように検討を進めている。

さらに、大震災のような非常時には、通信指令ネットワークが大事であることから、事故・災害時の保安通信、都市ガスの供給状態の監視・制御のための、大阪ガス独自の無線通信網を二重化する計画である。さらに、電話回線のバックアップとして、ポータブル衛星局や衛星通信車を導入する。

また、情報収集、発信、指令の発動など発災時のキーステーションとして本社に最先端のインテリジェント機能を有した中央保安指令部を設けている。各地区の保安拠点とのネットワークが形成されており、24時間体制で、常に安定供給と安全を見守っている。

今後は、万一、本社中央保安指令部が機能停止した場合に備えて、主要な指令機能を確保・維持するために第2指令センター（サブセンター）の建設が進められている。

#### (6) 復旧対策・顧客支援体制

復旧対策の大きな方策のひとつとして、復旧セクターの設定を進めている。この復旧セクターは、復旧を効率的に進めるため2,000～3,000戸程度をひとつのブロックとするものである。また復旧に際しては、まず防災拠点や重要施設への供給再開を優先する。

平常時から復旧作業に備えて、①資材の備蓄 ②技術開発 ③マニュアル類の設備 ④各種訓練 ⑤顧客支援体制の設備などの対策も取っておく。

資材の備蓄に関しては、緊急用資材や復旧工事用材料、作業員の飲料水・食料・医薬品を5地区事業本部（京滋、北東部、大阪、南部、兵庫）毎に確保しておく。

技術開発としては、ガス管内に入り込んだ水や土砂などを排出する強力水抜き装置やガス管の損傷箇所を発見する管内テレビカメラシステムなど、震災時の復旧作業に威力を発揮した技術について、さらに改良・開発を進めていく。

マニュアル類に関しては、いざという場合に備えて迅速に対応できるように基準・要領、作業マニュアルなどの作成・整備を進める。

各種訓練も、災害発生時に迅速・的確に対応できるように、全社的な地震訓練を定期的実施している。また各種行政機関が主催する防災訓練にも積極的に参加し、連携の強化、技能の向上に努めていく。

顧客支援体制としては、ユーザーに対して、生活支援サービス、代替手段による臨時供給などの支援ができるように、カセットコンロや仮設シャワーを供給できるような体制整備をしておく。

## 2.5 電力施設

### 2.5.1 システムの概要

我が国の電力供給は地域毎に設立された電力会社10社によって行われており、このうち関西電力では近畿2府4県および三重、岐阜、福井県の一部に供給区域をもっている。主要設備は供給区域外の中部、北陸地方に水力電源を有するほかは関西地域に立地しており、なかでも若狭湾沿岸の原子力発電所と紀伊半島西部から大阪湾、瀬戸内海東部にかけての臨海部に位置する火力発電所が主要電源となっている。また基幹系の送電線については、電力の大消費地である京阪神地域を取り囲むように形成された送電線に、主要電源および隣接会社からの送電線が接続する配置となっている。

### 2.5.2 電力施設の被害と復旧

阪神・淡路大震災により電力施設も我が国電気事業の歴史において最大規模の被災を被った。被災した電力設備は、神戸および阪神間を中心に淡路島から大阪府北部を含む広範な地域であった。大都市近傍で発生した直下型地震であり、送電、変電、配電設備や臨海部に位置する火力発電所の被害が大きかったのが今回の地震災害の特徴である。表-2.5.1に主な設備の被害状況を、図-2.5.1に被害を受けた設備の位置図を示す。

表-2.5.1 主な設備の被害状況

設 備		単 位	被 害 数		
			主要電気工作物の損傷	その他の被害 <sup>*1</sup>	合 計
発電設備	火力発電所	箇 所	5	5	10
変電設備	変 電 所	箇 所	17	33	50
送電設備	架空送電線路	線 路	11	12	23 <sup>*2</sup>
	地中送電線路	線 路	3	99	102 <sup>*2</sup>
配電設備	配電線路	回 線	649		649
	(内)支持物	基	11,289		11,289
	通信線回線	回 線		76	76
	(内)通信ケーブル	径 間		171	171

※1：主要電気工作物の軽微な被害および主要電気工作物以外の被害

※2：架空送電線23線路、地中送電線102線路のうち、架空・地中併用線路が6線路あるため被害のあった送電線路は119線路

#### (1) 主な設備の被害状況

火力発電所においては21箇所のうち10箇所で被害を受けた。震源地に最も近い東灘ガスタービン発電所では強力な地震動や液状化の影響を受け、護岸継ぎ目のずれ・開口、構内道路・地盤の陥没、亀裂および貯油タンク基礎杭露出等の被害を受けるとともに電気工作物にも被害を受けた。地震直後には運転および起動中の12ユニットが自動停止し、176万kWの発電支障が生じた。

変電所は861箇所のうち軽微な被害を含めて50箇所で被害を受けた。その大部分が阪神地区に集中しており、伊丹変電所、新神戸変電所など17箇所の変電所においては主要変圧器、主要遮断器等の主要電気工作物にも被害を受けた。地震直後に供給支障が発生した変電所は189箇所あったが、負荷を隣接変圧器または他系統へ切り替えるなどにより1月18日午前までには応急復旧を完了した。

架空送電線路は総線路数1,065線路のうち、23線路に被害を受け、11線路で鉄塔、電線、がいしの主要電気工作物に被害を受けた。このうち、鉄塔被害は軽微なものを含めて20基発生したが、いずれも地崩れ等の地盤変位に伴う基礎不同変位による2次的被害であり、地震動による直接的被害はなかった。

地中送電線路は総線路数1,217線路のうち、沿岸部の平地を中心に、地震による液状化、道路の陥没、地割れ等により、軽微なものを含めて102線路が被害を受けた。そのうち、通電不能に至った主要電気工作物（ケーブル）の損傷が3線路あった。また、軽微な被害としては地中送電線路を構成する人孔、管路、ケーブルの主要設備にクラック、段差、変形などが生じた。

配電設備においては、高圧総回線数12,109のうち649回線に被害を受けた。神戸支店管内でみると総回線数1,795のうち551回線に被害を受け、特に三宮営業所管内においては被害率100%であった。また、架空配電線支持物の総被害数は11,289基（折損・倒壊3,295基、傾斜・沈下5,625基、焼失1,239基、ひび割れ1,130基）であったが、このうち折損・倒壊については家屋やその他工作物の倒壊等に巻き込まれたものが約80%をしめていることがわかった。地中配電線の被害については、神戸支店管内の三宮、兵庫、西宮営業所に集中し、同3営業所のケーブル数12,716条のうち、196条に供給支障となった損傷が発生した。その被害要因は、建物損壊等によるケーブル立上柱や引込線の損壊、管路・人孔の損壊等であり、地域的には地中送電線の被害と同様、震度7地域および液状化地域で被害率が高かった。

通信設備については通信ケーブルが171径間に亘り断線または焼失し、社内用保安電話4,048回線のうち76回線が停止したほか、5箇所の無人電気所で遠隔監視制御回線が2ルートとも停止するなどの被害があった。

なお、水力発電設備と原子力発電設備には被害はなかった。

また、関西電力保有の設備以外では四国電力阿南発電所および電源開発高砂火力発電所が停止したが、両発電所とも翌々日までには復旧しており、大きな被害ではなかった。

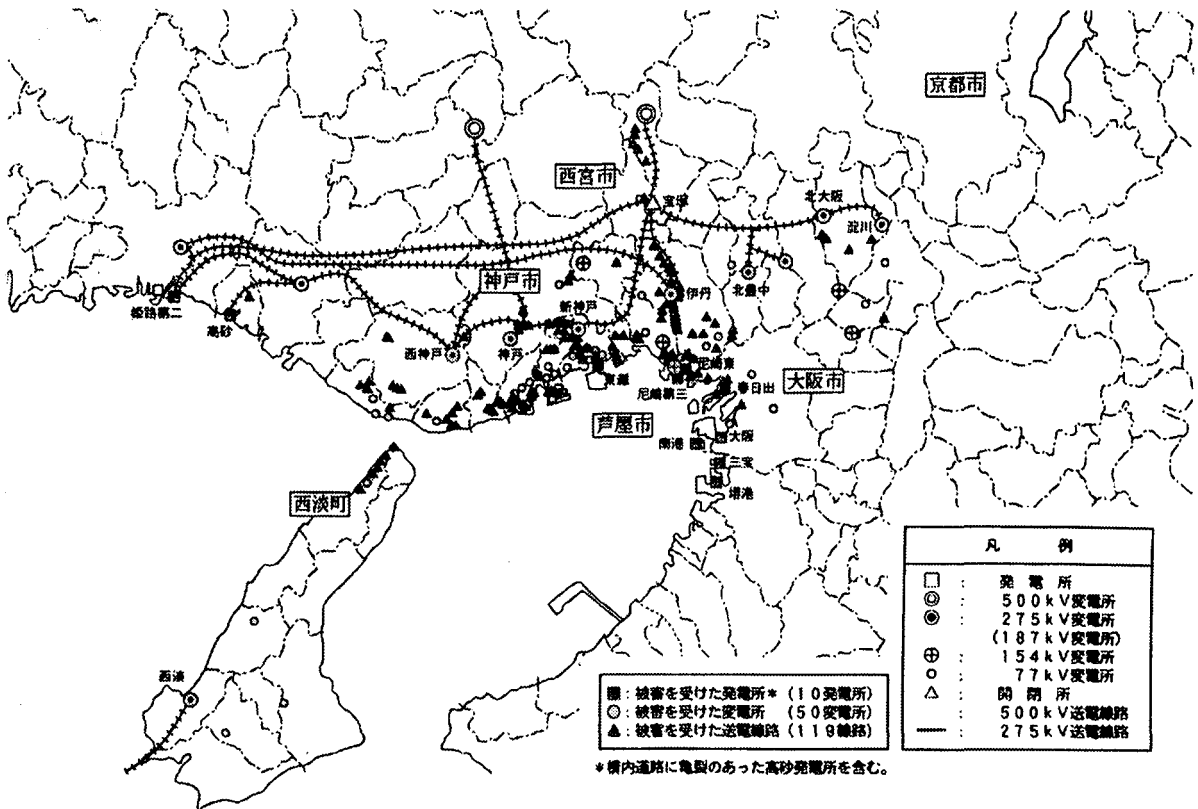


図-2.5.1 被害を受けた発電所・変電所・送電線路の位置図

## (2) 供給支障電力の推移

地震発生時、送変電設備および配電設備の被害により283.6万kWの電力供給支障（停電変電所189箇所、停電配電線649回線）が生じ、兵庫県東南部、大阪府北部、淡路島を中心に約260万軒の需要家において停電が発生した。直ちに健全な所から順次切替送電を行い、午前7時30分には停電変電所は80箇所、停電配電線は572回線に減少し、供給支障電力は124.5万kWとなり、停電件数は主に神戸市、西宮市などの約100万軒にまで減少した。

給電所と制御所・変電所の間では周辺系統の復旧状況に基づいた復旧手順の指令と復旧操作を繰り返し、その結果、12時には停電変電所は13箇所に、停電配電線は476回線に減少して、電力供給支障は48.7万kWとなった。これら復旧操作と並行して設備の復旧に努めた結果、翌日1月18日午前8時には、全ての変電所において電力供給が可能な体制を取ることができた。

更に、配電線の復旧に当たっては道路事情の悪化、家屋の倒壊あるいは不在家屋の状況確認等のため、復旧作業は困難を極めたが、地震発生6日後の1月23日15時には全域で送電可能な需要家への応急送電を完了した。

停電件数の推移を図-2.5.2に、供給支障電力の推移を図-2.5.3に示す。

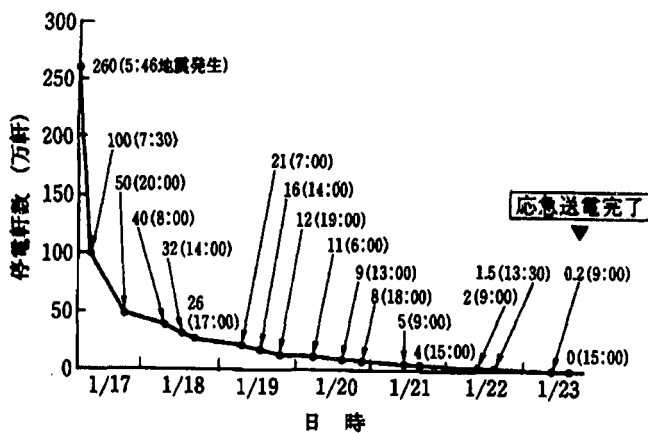


図-2.5.2 停電件数の時間推移

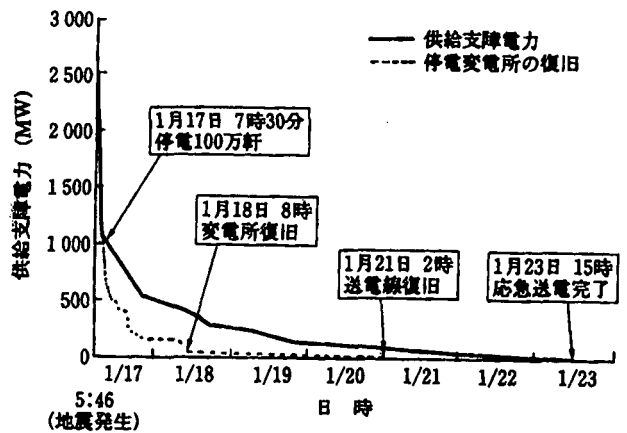


図-2.5.3 供給支障電力の推移

## (3) 初動体制

災害発生時における電力会社の社内対策組織の指令伝達・情報連絡体制等については、各社の社内規定で規定されている。

地震発生後約2時間経過した午前7時30分、関西電力本店内に非常災害対策本部が設置（支店等における非常災害本部の設置については、神戸支店午前7時、神戸電力所午前6時30分等）され、設備の被害状況の把握、復旧対策の樹立、全社的な応援体制の確立、物資の調達ならびに官公庁、報道機関への報告および連絡等に当たった。

地震発生時には、交替勤務者および宿直者が合わせて全社で計811名が勤務しており、初動体制に当たった。また、地震により関西電力が保有する電力保安用通信設備や事業所間通信設備は一部で被害を受けたものの、正常に機能したため給電指令業務を始め被害情報の収集や復旧活動のための事業者間の情報連絡には支障はなかった。

図-2.5.4に社外機関との情報連絡経路を示す。

## (4) 応急復旧

復旧については全社的な応援体制をとり、地震当日から神戸支店管内事業所に復旧要員を送り込んだ。また他電力や、協力会社からも多大な支援を得て、技術系復旧要員は、図-2.5.5に示すように1日最大6,000人以上にのぼった。



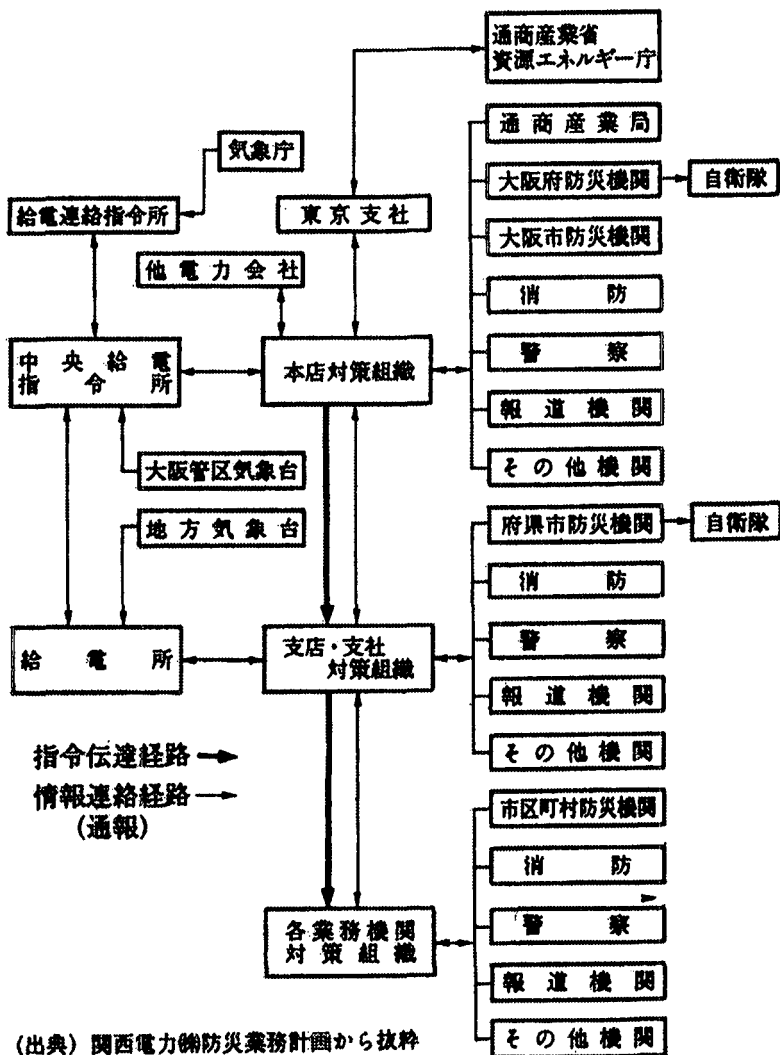


図-2.5.4 社外機関との情報連絡経路

火力発電所において運転または起動中に主要電気工作物やその他電気工作物が被害を受けて停止した8ユニットについては1月27日までに必要な損傷箇所の修理を行って仮復旧した。

変電設備に被害を受け供給支障が発生した変電所は18変電所でその大半は負荷を隣接変圧器または他系統へ切替えることにより処置したが、処置が困難であった葺合変電所等一部の变電所については移動式変圧器を設置して応急復旧を行い、1月18日午前8時にはすべての変電所において電気の供給が可能になった。

架空送電線路においては、鉄塔の被害箇所をヘリ巡視による損壊箇所の確認の上、余震による地崩れ等の進展により送電に支障をきたす恐れのあるものに対して、支線設置や部材補強、仮鉄柱による復旧措置を行い送電を行った。その他の被害鉄塔に対しても被害程度に応じて支線取り付け等の補強措置を実施した。

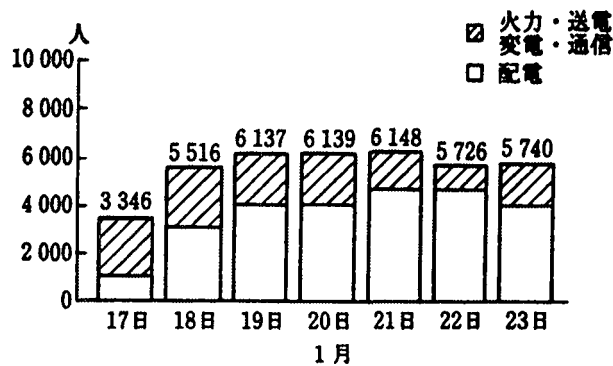


図-2.5.5 復旧要因の推移

地中送電線路においては、送電不能になった線路のうち、甚大な被害を受けた神鋼灘浜線については別ルートにより応急復旧し、1月21日に仮送電を行った。その他設備被害が拡大する恐れのある箇所について、ケーブルの防護、専用橋倒壊部の仮受けおよび橋梁添架部支持異常箇所の仮支持等を実施した。

配電設備の応急送電に当たっては、設備の状況が一見して判断できる架空設備を最大限活用し、工事の容易な仮設備での送電を中心に行った。家屋損壊の著しい区域は高圧線の切り離しなどにより送電対象から除外するとともに、健全な区間へはバイパスケーブルや仮架線によって健全系統に接続するなど工事量を最小限にする工法を用いて送電した。また、応急送電の方針を次のとおり定め、現場第一線へ徹底した。

①ライフラインの使命である重要負荷（病院、避難所、役所など）への緊急送電と被災者の生活用電力への応急送電を最優先する。

②応急送電に必要な工事量を最小限とし、最大限の要員・車両（工事力）を投入し、復旧する。

③設備安全・作業安全・電気安全を徹底し、二次災害を防止する。

他のライフラインに比べて電力が早期に復旧できたのは、原子力発電所や大容量火力発電所および基幹系の50万V送変電設備に被害がなかったこととともに、以下の要因が挙げられる。

①77kV系統送電線への切替え送電

275kV系統送電線に被害が発生し広範囲の停電となったが、77kV系統送電線への切替え送電を実施し、比較的短時間で停電範囲を減少できた。

②架空線での復旧

発電機車や現場の健全な資機材を最大限に活用し、架空配電線により応急送電を実施したことにより、迅速に復旧できた。地中線では事故箇所の発見にも時間を要するため、応急復旧はほとんど不可能である。

③自前の通信システム

給電指令所と主要発電所間を結ぶマイクロ波を主とした電力保安用通信システムおよびマイクロ波と光ファイバーケーブルからなる事業所間通信システムが正常に機能したため、被害状況の把握、復旧指示等の連絡をスムーズに行うことができた。

④全国からの応援体制

全国の電力会社から車両、作業員、資機材ならびに給水、食事等の応援を受けた。

⑤耐震対策

宮城県沖地震の経験に基づいて主要な設備に対して実施した耐震対策により、電気設備に被害はあったものの致命的な損傷は免れた。

## (5) 本格復旧および復興体制

設備の本格復旧に当たっては、電力供給上必要な設備については、夏期ピークまでに、補強等の措置が必要な設備については梅雨あるいは台風時期までに復旧を完了させることを目標とした。

復旧方針の基本的な考え方としては、

①早期復旧が必要な設備は、現行基準に基づいて復旧する。

②耐震面での補強の必要性が後日生じた場合は、その時点で必要な補強を行う。

③地域の復興計画との協調を図る。

などである。

また、地震直後には「非常対策本部」を設置して電力設備の早期復旧に取り組んできたが、2月13日に中長期的な観点も含めた、設備の計画的な復興を図るとともに地域社会の復興にも寄与していくための総合調整機関として、「阪神大震災復興推進本部」を本店に設置した。

また、これらの業務を総合的、効率的に推進するため、本部の下に「設備復興専門委員会」、「街づくり専門委員会」、「産業復興専門委員会」の3委員会を設置した。この中で設備復興専門委員会は、関西電力の設備復興計画を策定するとともに、電力設備に対する地震の影響評価や設備基準の見直しおよび地震災害即応体制の整備を行うことを主な目的とした。

(6) 神戸支店社屋の移転

震災により業務設備や建物も被害を受けたが、特に被害の著しい神戸支店社屋は、使用不可能となったため、新しく社屋を建て替えることとした。現在、支店機能は神戸市内各所に分散されている。

新しく建設される「新神戸関電ビル(仮称)」は、電力防災拠点として、震災を踏まえた信頼性の向上や省エネルギー化が図られている。新ビルは平成12年1月からの運用を予定している。

2.5.3 電気設備防災対策検討会<sup>16)</sup>

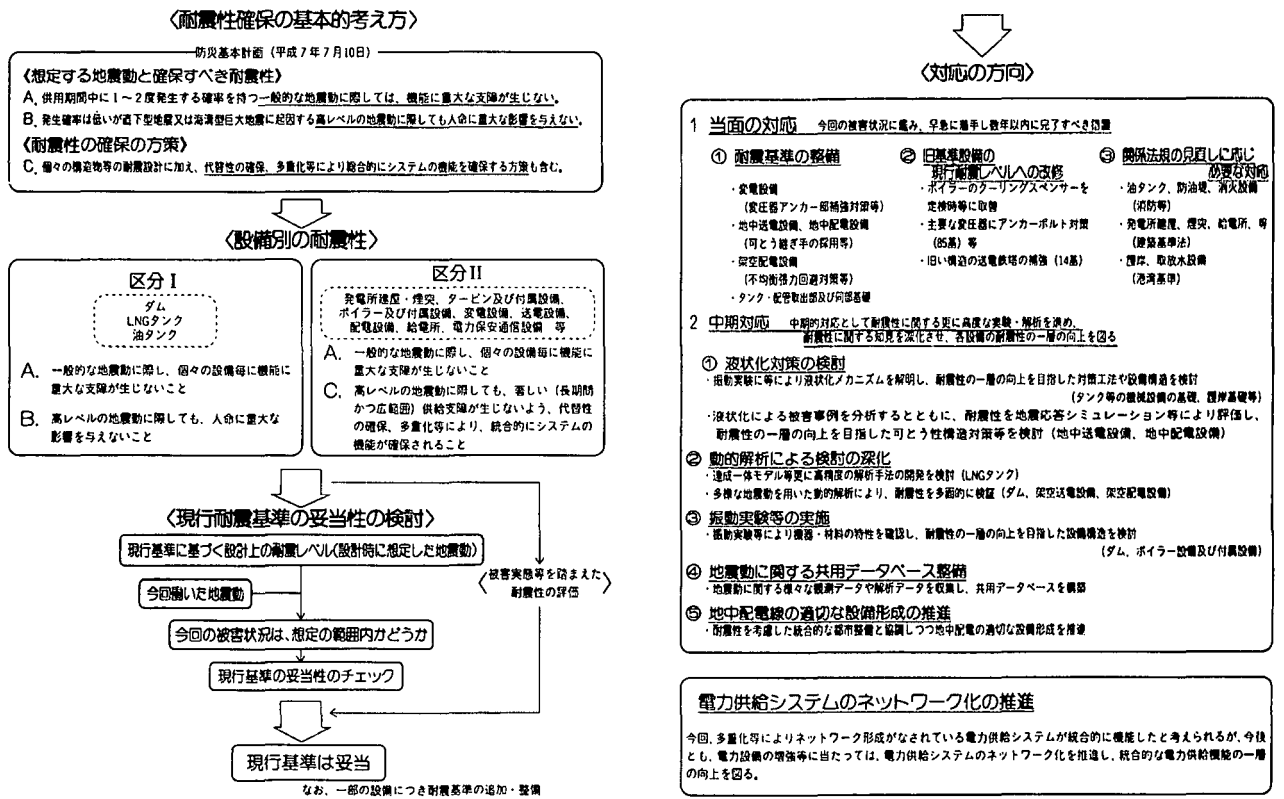
今回の地震の経験を踏まえ、国民生活に不可欠なライフラインとして災害時における電気供給の確保に資するため、通産省では資源エネルギー庁長官の私的検討会として「電気設備防災対策検討会」(委員長: 関根泰次 東京理科大学教授、その下に「耐震性小委員会」および「オペレーション小委員会」を組織)を開催し、地震に強い電気設備および電力供給システムの在り方、平常時および地震災害発生への対応等について検討を行った。

(1) 耐震性小委員会

本小委員会では、今回の地震による電気設備の被害状況を踏まえた各設備の耐震基準の妥当性の評価と耐震性確保の在り方について検討を行った。

表-2.5.2に電力設備の耐震性に関する検討の手順と対応の方向についての報告を示す。

表-2.5.2 電力設備の耐震性に関する検討の手順と対応の方向



(2) オペレーション小委員会

本小委員会では、大規模な地震発生後の電気の復旧に関して、災害時および平常時に必要な方策について検討を行った。以下に電力会社における災害発生後の復旧活動のあり方、および平常時の対策について期待される主な役割について簡条書きで述べる。

a. 初期対応体制の見直し

- ・ 災害発生時における国、自治体等との情報連絡の強化

- ・ 本社バックアップ体制の整備
  - ・ 災害時における防災関係社員の出社体制等についての再点検
  - b. 資機材・要員の確保
    - ・ 発電機車等の配備状況についての再検討
    - ・ 自己完結型の復旧体制の整備
    - ・ 他社からの応援受入れに係る受入れ・管理・指揮システムの確立
    - ・ 資機材の融通をより一層進めるための技術的検討
  - c. 送電再開時の安全確保対策
    - ・ 家屋・ビル等の被害が認められるような地域における安全確認を含めた対応方針をあらかじめ検討し、現場に周知
    - ・ 現地における安全確認作業時に需要家に対して安全上の注意を喚起
  - d. 平常時の防災訓練・教育
    - ・ 他のライフラインや道路交通途絶等も考慮した実態に即した訓練の実施
- この他にも、平常時・災害時における広報、交通手段・通信手段の確保などについても整備・検討しておく必要がある。

また、迅速な復旧と安全確保の両立を図るためには、電力会社のみならず電気機器メーカー、需要家、国等関係者がそれぞれの役割を適切に果たしていくことが重要であると思われる、としている。

2.5.4 電力設備の耐震性評価と今後の対応

従来より電力設備は、過去の災害の記録を参考に設備ごとに科学的分析に基づく設計、施工を行ってきた。さらに、阪神・淡路大震災においては、被害を受けた設備のほか、被害を受けなかった設備に対しても耐震性に関する評価を行った。

また、資源エネルギー庁長官の私的検討会である電気設備防災対策検討会の耐震性小委員会においても全国大の検討がなされ、その結果「現行耐震基準は、各電気設備が確保すべき耐震性を規定するものとして妥当である。」と評価された。

ただし、現在耐震基準のない地中設備については「可とう継ぎ手、可とう性のある管路の採用に関する設計上の配慮事項を耐震基準として整備する必要がある。」と指摘されている。また「旧基準に基づく設備に対しては、著しい供給支障や第三者被害が懸念されるものについては、現行基準レベルへの改修を行う。」と指摘された。

これを受け、当社においても一部の設備について耐震基準の追加・旧基準設備の改修等を図ることとした。主要設備に対する当社の今後の対応を表-2.5.3に示す。

表-2.5.3 主要設備に対する今後の方向

火力発電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃料タンクは、消防法告示に基づき液状化判定を行ない、必要に応じ指定期間内（平成27年末）までに液状化対策工事を実施する。</li> <li>・ 古い構造形式のボイラークーリングスペース等の部材を、定期点検時に耐震性の高いものに交換・改造する。</li> </ul>
変電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変圧器基礎アンカーボルト（固定用ボルト）の補強等を実施する。</li> <li>・ 重要変電所に対し高レベル地震動（発生確率は低い直下型地震等に起因する高いレベルの地震動）に対する評価を実施する。</li> </ul>
架空送電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 旧構造鉄塔の改修を行なう。</li> </ul>
地中送電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟弱地盤箇所等に可とう継ぎ手（変位に対してたわみを有する継ぎ手）や可とう性のある管路を採用する。</li> </ul>
架空配電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟弱地盤箇所等で、基礎の強化を図る。</li> </ul>
地中配電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟弱地盤箇所等に可とう継ぎ手や可とう性のある管路を採用する。</li> </ul>
制御通信設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 必要な箇所、転倒・転落防止策を実施する。</li> </ul>
電力施設建物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 旧基準の建物のうち、重要なものは耐震診断結果に基づいて補強を行なう。</li> </ul>

## 2.5.5 災害に強い電力供給システムと体制作り

### (1) 災害に強い都市に対応した電力供給システム作りの推進

電力会社では、水力発電所や原子力発電所および火力発電所で作られた電気を豊富・低廉かつ高品質で安定して供給するために、電力需要の増加に応じて発・変電所および送・配電線の建設を実施してきている。これら電力供給設備の建設に当たっては多重化等により、雷等による単純事故での停電機会の減少を図るとともに、周囲景観にも配慮して市街化の進んでいる地域での地中送・配電線の建設等も実施してきている。

また、これらと併行して地震等による災害発生時においても電力供給の信頼性を確保するために、次に挙げる対策の推進も図ってきている。

- ①電力供給設備の耐震性確保
- ②電力供給拠点の分散化
- ③電力供給設備の多系統化（複数電源による供給系統の構築）

電力供給設備は、以上のような対策により非常時においても著しい供給支障が生じないように設備形成されており、今回の震災においても事故系統から健全系統への切替等を行うことにより、早期に応急復旧が完了した。これらのことから電力供給システムは総合的な機能が確保されていたものと考えられる。

今後の電力供給システムは、災害に強い都市に対応した電力供給システムとして、さらに電力供給拠点分散化の推進、電力供給システムの多系統化の拡大および電力供給システムの地域単位での自立化の導入を図っていく予定である。また、防災拠点周辺地域の変電所間を連系した送電ネットワークを構成して、信頼性を確保するなど防災拠点への電力供給システムの信頼性確保に努めると共に、街並みに合わせた配電設備の形成や都市計画に合わせた変電所・地中送電線の設置等、都市環境に調和した電力供給システムの形成に努めていくこととしている。

### (2) 防災体制の見直し

これまでの当社の防災体制は、主として台風による災害を前提に考えていたことから、今回の地震のような突発的大災害への対応の面で必ずしも十分でなかった。このため当社では電気設備防災対策検討会のオペレーション小委員会における検討結果等も踏まえ、今回の反省点を取り組んだ新しい防災体制を検討した。その概要は以下のとおりである。

#### 1) 初動体制

##### a. 災害対策組織の見直し

災害が発生し、または発生する恐れがある場合には、災害対策組織を社内に設置する。しかし現行の設置基準は、大規模地震のような突発的な災害への即応という点で十分でなかったことなどから、設置基準の変更（表-2.5.4）や本部組織と分掌の見直し等を行った。

表-2.5.4 災害対策組織の見直し

項 目	見 直 し 内 容
設置基準の変更	関西電力（株）供給エリア内で震度6以上の地震が発生した場合には、本店および関係支店等に非常災害対策本部を直ちに設置する。

##### b. 従業員の出勤基準の明確化

勤務時間外の大規模地震等突発的な災害時の従業員の出勤基準については、これまで明確なものなかったため、以下の事象が生じた場合には、従業員はただちに出勤するよう定めた。

- ①本店に勤務する者に当たっては、供給エリア内で震度6以上の地震が発生した場合。

②支店およびその管内の業務機関に所属する者にとっては、所属支店・隣接支店管内で震度6以上の地震が発生した場合。

c. 休日・夜間における連絡要員の確保

休日・夜間における大規模地震発生等の際の社外対応体制を確立するための待機体制を導入した。

d. 災害情報の収集等

2) 災害情報管理の見直し

a. 災害情報システムの開発

非常災害発生時の情報連絡は、主に電話・FAXを主体に行われているが、回線の輻輳や集計の手間等から多くの時間を必要とした。そこで社内LANを使った災害情報システムを早期に構築（平成10年度完成目途）することにした。

b. 自治体への災害情報の早期提供

供給エリア内で震度5以上の地震が発生した場合、または地震のために100万kW以上の停電が発生した場合、停電発生時刻・地域・規模について、発災後30分程度を目標に自治体（近畿2府4県・福井県および3政令指定都市）に停電状況等に関する情報を提供することとした。

3) 災害に備えた装備の充実

震災による被害が大規模で、他のライフラインも大きな被害を受けたため、復旧作業の長期化とともに、いわゆる自己完結型の復旧体制の必要性を痛感させられた。そこで、今回応援を受けた他電力会社の装備等を参考に、災害用の装備を充実していくこととした（表-2.5.5）。

表-2.5.5 災害に備えた装備の充実

項目	見直し内容
災害対策車両の配備	・防災用として、給水車2台を配備した。 ・復旧現場での通信・休養機能を備えたサポートカーを配備（2台）し、順次増車していく。
高圧発電機車の増備	既設の150kVA（60Hz）8台に加えて、500kVA（60Hz）4台および400kVA（50/60Hz共用）4台を配備した。

4) その他の対策

a. 非常用電源の確保

2回線受電化されていなかった電力所についても、営業所と同様に順次2回線受電化を図っていくこととした。

b. 備蓄食・備蓄物資

備蓄食糧を現行の2倍程度に増やすとともに、水、生活物資、仮設トイレ、保存用寝具等を新たに備蓄することとした。

(3) 地震観測および連絡体制の整備

関西電力では、地震発生における設備への影響を調べる方策の1つとして、各所の設備に地震計を設置している。今回の地震では、このうち18箇所について観測値（最大水平加速度および鉛直加速度）を取りまとめ、結果をプレス発表した。しかし、観測値の集約に手間取る等の問題点が生じたこと等を踏まえ、全社的な連絡体制の再整備を行うこととした。

具体的には、地域にバラツキがないよう新規に設置する地震計を含め、速報体制の対象とする地震計を約40箇所を増やすとともに、地震発生時には社内専用回線を利用して自動的にデータの集約等ができるシステムを構築することとした（平成11年度末完成目途）。集約システムのイメージ図を図-2.5.6に示す。

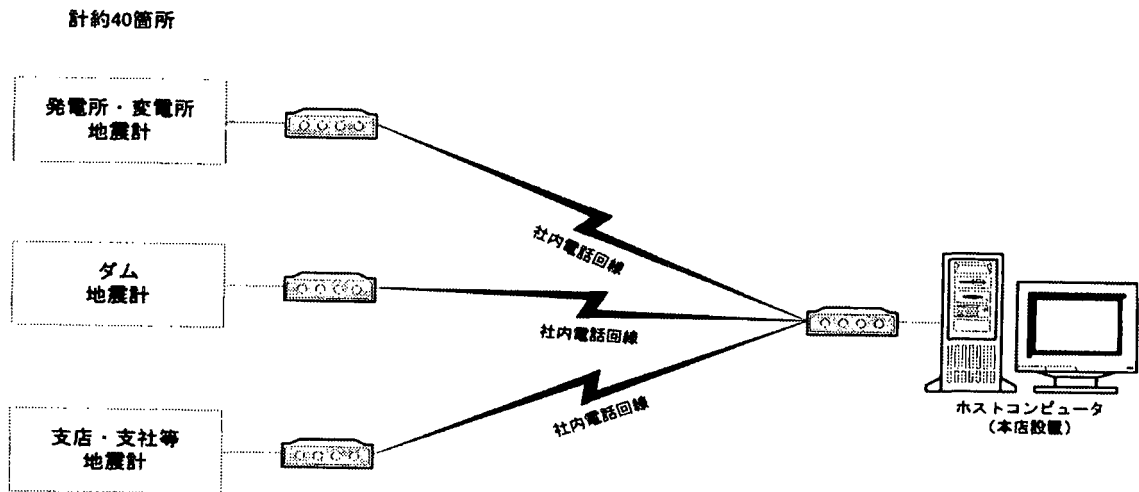


図-2.5.6 集約システムのイメージ図

## 2.6 通信施設

### 2.6.1 被害

#### 1. 被害全般

今回の震災における通信施設全般の被害概要について述べる。

被害の規模や復旧状況については、まず、交換機において商用電源の停止や予備電源の損壊等により約30万回線の交換機能が停止した(翌日回復)。また、加入者ケーブル(お客様宅まで配線している地下、架空ケーブルの総称)の損傷により約20万回線のサービスが中断した(1月31日までにサービス回復を希望されるすべてのお客様約10万回線のサービス回復を完了)。

また、交換機の輻輳(通話が集中して交換機の交換能力の超えてしまうこと)については、17日における神戸地域への電話は通常ピーク時の約50倍に達し、翌日にも20倍を記録した。このため、被災地の緊急通話と全国からの重要通信を確保するための通話コントロールを行うほか、5000回線以上の回線増設を実施した。しかし、殺到する通話をはるかにこれを上回り地震直後の受話器外れや一部の緊急機関への電話の集中は、さらにこの輻輳を増幅したと考えられ、神戸への輻輳が解消したのは1月22日以降となった。

NTTからお客様宅までつなぐ所外(アクセス系)設備については、地震による家屋の倒壊や火災等による架空ケーブルや引き込みケーブルの断線が発生した(写真-2.6.1)。

管路・マンホールや地下ケーブルといった地下設備については、管路の折損・離脱、マンホールのダクトの損傷による地下ケーブルの損傷が発生したが、地下ケーブルは架空ケーブルに比べ、サービス中断に至る被害は軽微なものであった。マンホール・管路の被害は液状化地域ほど被害が大きく、古い規格の管路ほど被害が大きくなった。現行規格の管路は後に述べるが、過去の震災経験から耐震対策が導入されており、被害は殆ど見られなかった。

通信トンネル(とう道)については地下の深いところに構築したシールド式とう道には被害はなく、比較的浅いところに構築した開削とう道では、接続部(エキスパンション部)には損傷が認められたが、ケーブルへの被害はまったくなかった。

建物や鉄塔の被害としては、通信建物については大開、西宮の2ビルが被害を受け、コンクリート柱や壁に亀裂および、剪断破壊が生じるなど中規模程度、その他については軽微な被害であり、神戸ビルの鉄塔については、損傷が激しいため、後日撤去した。また、事務用建物では、神戸支店ビル等で比較的大きな被害を受けることとなった。

#### 2. 管路設備の被害概要

被災8支店エリアにおける管路・マンホール等の被害概要は図-2.6.1に示すとおりで、管路設備は約6%、橋梁添架管路は約28%の被害が発生した。

今回の震災では、ダクトスリーブや離脱防止継手を適用した現行仕様設備の被災は少なく、その耐震性を証明することとなった。地下設備の被災傾向については3つの条件から、その被災傾向に差異があることがわかっている。ひとつは、前述の設備構造の違い、もうひとつは液状化地盤であるか否か、最後に震度階7地域であるか否かである。



写真-2.6.1 家屋倒壊による  
電柱・引上管の被災



(被災8支店：神戸、神戸西、西宮、尼崎、明石、洲本、加古川、豊中)

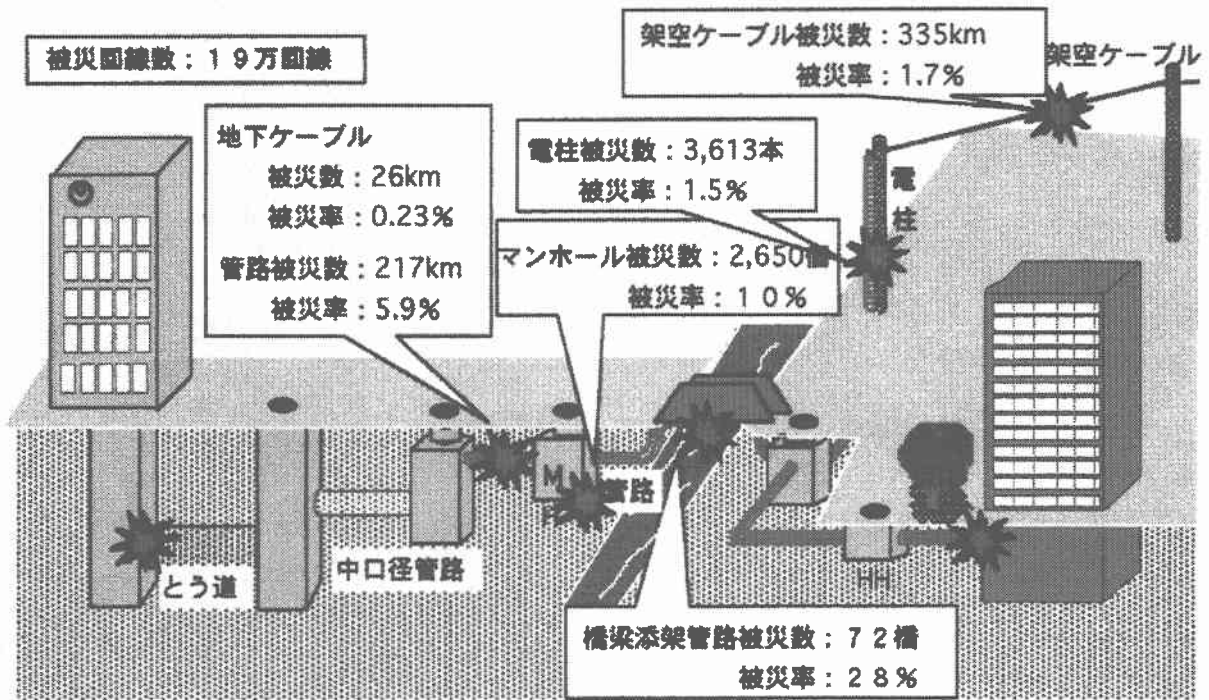


図-2.6.1 通信設備の被災概要

### 3. マンホールの被害概要

マンホールの主な部位毎の被災状況は図-2.6.2に示すとおりで、地表面にある蓋及び首部の被災が多かった。これは地中と地表面との変位量の違いに起因するとともに、構造的には首部はマンホールと路面との高さ調整ができることを目的として、マンホール本体のボックス上にリングブロックを積み重ねて、マンホール本体と剛結せず、接着剤で接合していることによる。

神戸、芦屋、西宮市等の被災エリアを中心に約1万4千個のマンホールが設置してあるが、そのうち約10%のマンホールになんらかの影響を受けていた。最も多い被害は首部のクラックであり、設備の更改を必要とする本体のひび割れも一部発生していた。また、液状化が発生した地域では、マンホールとマンホール周辺地盤との間に断差が発生しているものも確認された。

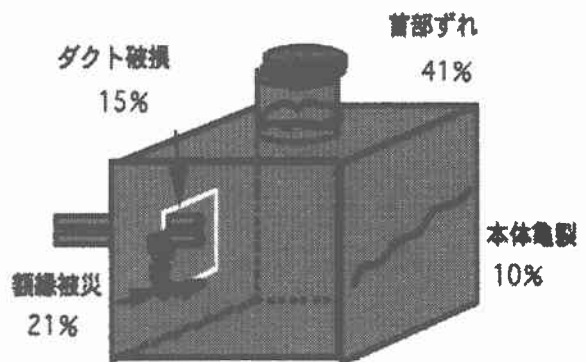


図-2.6.2 マンホールの被災概要

## 2.6.2 復旧

### 1. 応急復旧

緊急課題の山積する中、まず被災設備の状態の確認と使用不可能となった電線の撤去作業を中心とする第一次ローラー作戦を展開。断続的な余震、加えて天候の崩れなどの悪条件が重なった、二次災害の恐れのある状況下で、サービスの回復を最優先して第二次ローラー作戦を展開し1月末にサービス回復を実施した。

バックアップ電源は長時間の停電によって途絶した。最優先すべき急務は被災した交換機の機能回復である。そこで、移動電源車が、金沢、広島、高松、大阪等の各方面から緊急出動し、18日午前中までに交換機は全面回復した。

一方、被災者のための特設公衆電話の設置も早急に実施した(写真-2.6.2)。

地震当日の夜、各避難所を回って避難者数を確認し、人数の多い順に特設公衆電話を設置することを決め、翌朝6時から設置を開始、衛星無線車の配備も行った。最終的に聴覚障害者向け臨時ファックス等も含め820箇所、約2800台へと拡大した。

地震当日、すぐに約150名からなる応急処理班が編成され、通信ケーブル、電柱などの所外設備についての調査を実施した。復旧資材の調達も急を要し、地震発生後、1週間以内にケーブル100km以上、引き込み線600km以上、電柱600本以上が船舶やヘリで現地に輸送された。寸断された道路及び渋滞のため物資の輸送は困難をきたし、海底ケーブル敷設船及びヘリコプターを活用した。

敷設船2隻による物資運搬は20往復を数え、同じくヘリコプター2機を駆使したフライトは160回以上にも及んだ。

応急処理班の第一次ローラー作戦は、被災設備がどういう状態かを調べながら、半壊以上の電柱や使用不可能となった電線の撤去作業が中心であり、電柱が折れかかっているからといってすぐ撤去できるわけではなく、撤去にともなう二次災害の恐れもあるため、思うにまかせない状況で復旧は進んだ(写真-2.6.3)。

そこでまず、サービスの回復に焦点をあてた応急復旧作業に取り組んだ。

第二次ローラー作戦として、復旧できるものはするという前提で作業を進めたが、本格的な設備復旧については神戸市の都市計画との関連もあり、行政側とタイアップして実施する予定となった。

一方、道路の復旧作業や倒壊した建物の撤去作業によってケーブル切断が増加した。さらに断続的な余震の発生、また、1月21日から22日の週末にかけての天候悪化によって二次災害の危険が高まった。

総力をあげての復旧作業は、1月31日までに電話回線をおおむね回復させるに至った。それ以降、お客様の確認がとれない未復旧の回線については、家屋の復旧などにもなって寄せられる修理依頼に合わせ



写真-2.6.2 特設公衆電話を利用される被災者の方々



写真-2.6.3 転倒した電柱の復旧状況

て、従来どおり113番で速やかに対応できるようになった。

応急復旧のために、1月末までに関西の3000人に加え、全国から4000人を毎日平均的に投入した。2月から3月末にかけては、本格的な設備復旧に向け、全国から2万人を動員した。

さらに引き続き阪神地区の政府自治体、各ライフライン等の復興計画・新たな都市作りに全面的に協力しつつ21世紀を先取りした電気通信設備の本格復興に積極的に取り組んだ。

本格復興にあたっては、アクセス系のネットワークの光化を前倒しで推進させた。また、地下ケーブルは被害が少ないことが確認されたため、ネットワークの地下化を進めること。そして、電気通信設備の一層の信頼性向上を図るため、通信センタの分散化とループ化を行うこと。将来に向けて、強く、効率のいい電気通信設備づくりを行うことを決めた。

## 2.6.3 復興

### 1. 復興方針

今回の震災では、多くの教訓を得た。その一つは、予備電源装置の耐震対策の強化など各種防災対策の強化である。もう一つは防災性の高い通信ネットワークの構築である。さらに、大きな問題となった輻輳対策である。全社的には「大都市激甚対策委員会」により各種の対策があげられた。これに基づく各種施策展開と、さらに阪神の被災地としては被害を受けた設備のリニューアル化がある。

そこで、3月15日に、「阪神復興推進室」と「阪神復興臨時建設事務所」が設置され、5ヵ年計画で阪神復興計画を押し進めることとなった。

阪神復興計画の基本方針は

- (1) マルチメディア時代を展望したアクセス網の光化
  - (2) 災害に強い通信ネットワークをめざした地下化の推進
  - (3) 通信センタの分散化
- の3つの方針である。

#### (i) 光化

まずは、「マルチメディア時代を展望したアクセス網光化」である。県及び各市は、復興計画案が策定され、各種の施策が展開されようとしている。これら阪神復興に向けては、行政、経済界が一丸となって取り組むことが求められる。

求心力のある魅力的な町づくり、快適な住環境づくり、地域コミュニティの発展、災害に強い住環境づくり、急速な円高環境におけるコスト抑制、地場産業の復興、新産業の創造、港湾の早期復興、高機能化等々復興課題に向けいろいろなニーズがある中で、マルチメディア情報通信は、すべての課題の共通項として欠かせないものであることから、行政等から大きな期待が寄せられている。

そこで、NTTとしては、マルチメディア情報通信に寄せられる地域の期待に応えるのがNTTの使命であるとして、全国に先駆けたマルチメディアインフラ設備の構築を押し進めることとしている(図-2.6.3)。

具体的には

#### (1) ビジネスエリア

- ・ケーブルが一方で切断されても通信途絶が回避できる光ケーブルループ網構築
- ・お客様ビルまでの光化の推進

#### (2) 住宅エリア

重点復興地域とその周辺部を含めた地域を対象に

- ・集合住宅までの光化
- ・一般住宅へは、お客様の近傍まで光ケーブルを敷設し、近傍からメタルケーブルを配線するRT化(RT:光ケーブルにて多重化された信号を電気信号に変換して各家庭に配線されるメタルケーブルに信号を分配する装置)を進めていく。

(ii) 地下化

次は、「災害に強い通信ネットワークをめざした地下化の推進」である。

これは、被災状況で述べたように、今回の震災で、架空ケーブルと地下ケーブルの被災状況を比較すると30対1の割合で、地下化設備の被害が非常に少なく、改めて地下化は災害時の通信回線途絶回避に有効であることが再確認された。そのため、災害に強い通信ネットワークをめざした取り組みとして、地下化を積極的に推進していく。

地下化については、自治体との共同構築を積極的に進めると共に、光ケーブルの構築に伴い、被災地エリアの設備のグランドデザイン（長期計画）を全面的に見直しており、現在の被害を受けた地下設備を単に修復するのではなく、必要な所は積極的に利用し、新たなルートへ回避した方が経済的なルートは思いきって捨てるといったような将来性と経済性を重視した設備の構築を図っていくこととしている。また、都市部の重要ルートについては、従来の管路より耐震性の向上を実現した中口径管路方式による設備作りを実施していく（写真-2.6.4；口絵参照）。

又、地域の町作りの一環として推進が予想される無電柱化にも積極的に参画していくこととしている。

(iii) 通信センタ分散化

あと一つの「通信センタ分散化」については、大きな施策となる。

今回の震災では、NTTに勤める社員も被災者であり、なかなか出勤することができなかった。また、近隣から通勤する社員も交通手段がすべて遮断され、出勤したくてもできない状態であった。したがって、特に地震直後の応急対応は必要な時期には、社員が非常に少なく、緊急時の諸々の対策に少なからず影響があったことは今後の大きな教訓を残した。

そこで、大規模災害において、駆けつけ措置の迅速化ならびに電気通信設備の一層の信頼性向上を図るため、大都市エリア（神戸市の南部地域）において、現在点在している交換ポイントを集約後、Aセンタ・Bセンタの2カ所の通信センタに分散化を図る（図-2.6.4）。

この分散化は、とう道に2カ所の通信センタを設置し、現在、各交換ビルに設置している交換機をAセンタ、Bセンタに分散設置する。即ち、現在2ユニットの交換機があれば、1ユニットはAセンタへ、残りの1ユニットはBセンタに分散設置する。これにより、万一Aセンタが異常となってもBセンタに収容している約半分には影響がない。また、両センタにはそれ

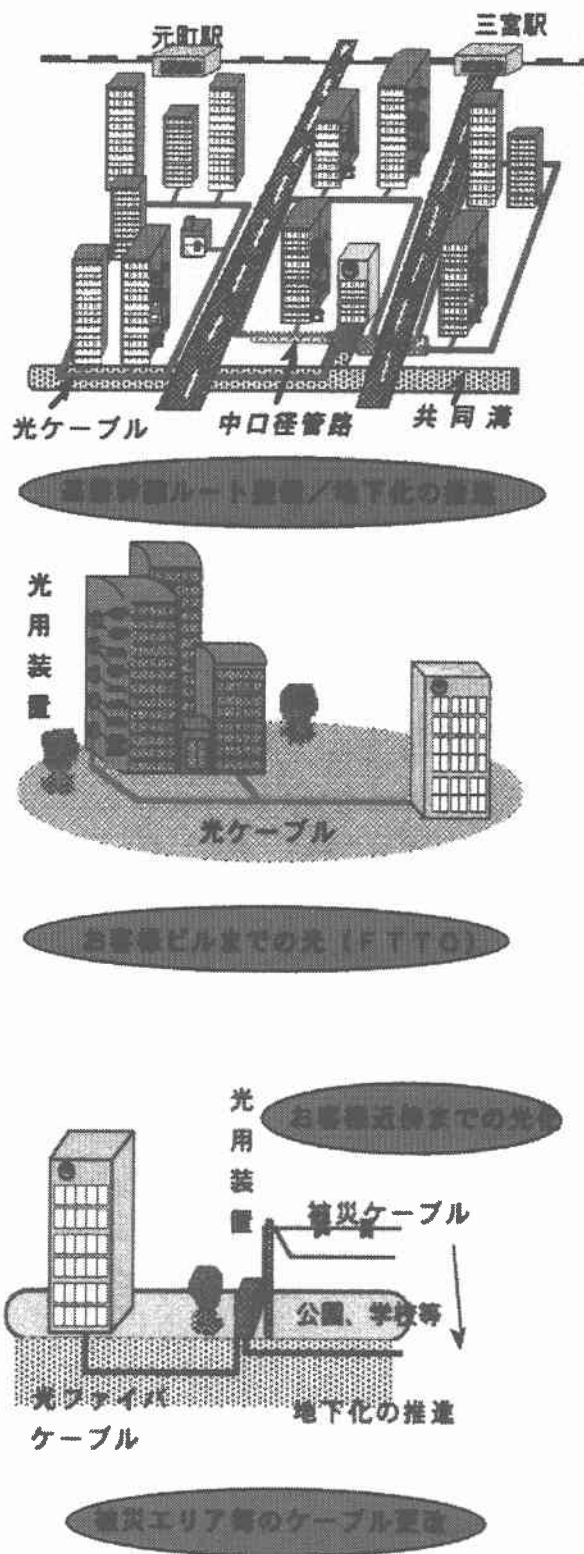


図-2.6.3 復興対策の概要

ぞれ予備交換機を設置し、異常となったAセンタの、警察、消防、行政、学校など需要加入者回線を直ちにBセンタの予備交換機に切替え、重要加入者の通信を確保する。さらに、この予備交換機には、今回の震災で長期間におよぶ通話規制により、その重要性が再認識された公衆電話を2分散の形(管内の全公衆電話をAセンタ、Bセンタに均等分散)で收容することとし、また加入者回線は光加入者ケーブルでとう道内をループ化することにより信頼性を確保する。

また、駆けつけ措置の迅速化の課題については、交換機が点在していることに起因している。これを2カ所にまとめることにより、社員が駆けつけるのも便利になるし、例えば出社できる社員が少なくとも2カ所なら、異常時の措置も効率的にできることとなる。

以上が、阪神復興計画の概要で、いずれの施策も県、市の復興計画、都市計画との連携が大切な要素となる。

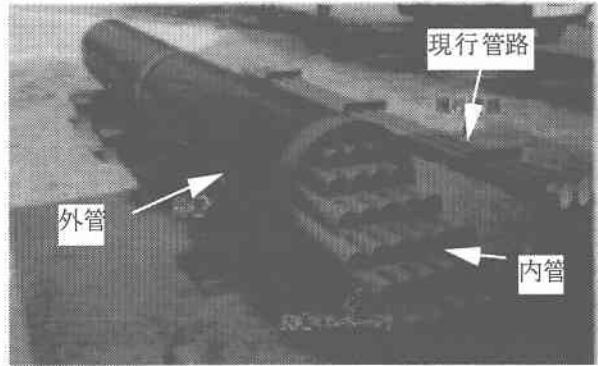
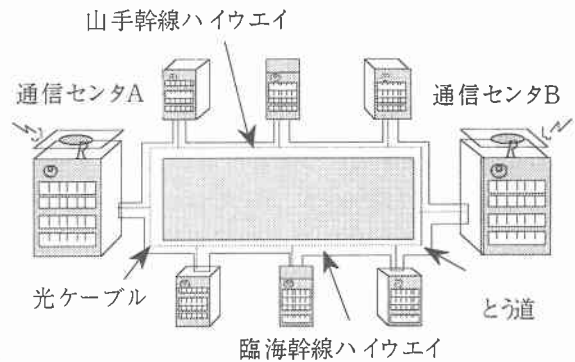


写真-2.6.4 中口径管路方式



ループ化したとう道に複数の通信センタを配置し情報ハイウェイを構築

## 2.6.4 耐震対策

### 1. 構造物の今後の耐震対策

NTTでは、旧電電公社時代を含めて、過去発生した地震を契機に設備の耐震化を進めてきた。今回の震災では、これらの取り組みにより、耐震性のある新しい仕様の設備では、殆ど被災を受けずに済んだ。しかし、今回の震災では新たな課題として取り組んでいかねばならない事項もいくつか明らかになった。

図-2.6.4 通信センタ分散化

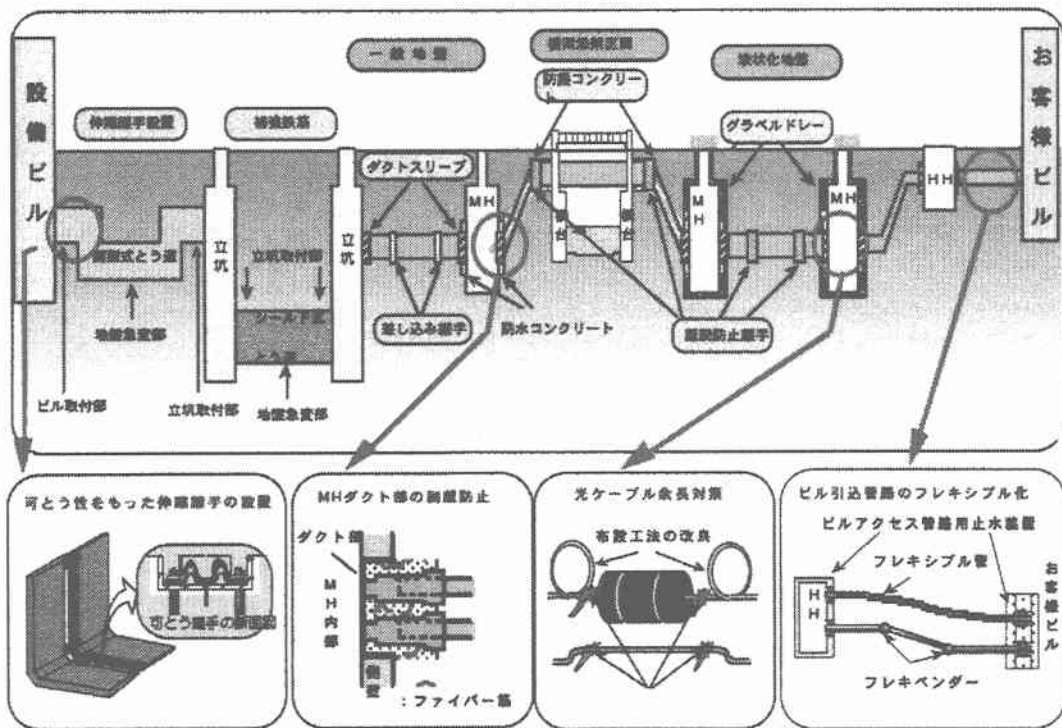


図-2.6.5 震災を契機としたアクセス系設備の耐震対策

建物と周辺地盤の段差により、開削とう道、ビル引き込み管路設備は何らかの影響をうけており、今後、このような現象に耐えられるように、建物との接続部については、開削とう道、ビル引き込み管路のフレキシブル化を開発していく。その他に従来のモルタルに代えて、スチールファイバコンクリートを用いたマンホールダクト部の剥離防止、光ケーブル移動に対するケーブル余長対策の開発を実施していく(図-2.6.5;口絵参照)。

## 2. 設備の被災把握等復旧支援ツールの開発

今回のように都市部における大規模で、影響が広範囲に及んだ場合、面的に広がった地下通信設備では設備点検にかなりの時間を要し、このことが、復旧期間の増大につながる。そのため、設備点検の早期完了を可能とするような被災予測、設備点検ツールについて検討を進める。

基盤設備、ケーブル設備の被災予測については、即応性、経済性を図るためコンピュータを活用した被災予測アプリケーションを開発する。本アプリケーションでは、地震後の震源、マグニチュードの情報もしくは地震観測データを基に設備エリア内の地表面加速度を推定し、事前にデータベース化された地盤情報を利用した液状化等の地盤評価を行うことにより、アクセス系設備の被災予測を行う。

このアクセス系設備の被災率の決定にあたっては、過去の研究成果と合わせ、今回の震災における地形や土質データによる地盤評価と液状化の相関性、設備被災と地盤条件の相関性等について分析を進めていく(図-2.6.6)。

又、ケーブル回線の故障については、打ち合わせ回線を利用したメタルアクセス設備被災把握システム、及び光ケーブル保守支援システム(既存システム)を利用したパイロット回線による光アクセス設備被災把握システムの開発を進めている。

携帯端末を利用して被災地の状況を収集することに加え、現地への誘導も行う。また、災害対策本部では、現地からの被災情報(音声、画像等)が地図上にマッピングされた結果を総合的に状況把握して、現地への指示を行う(図-2.6.7)。

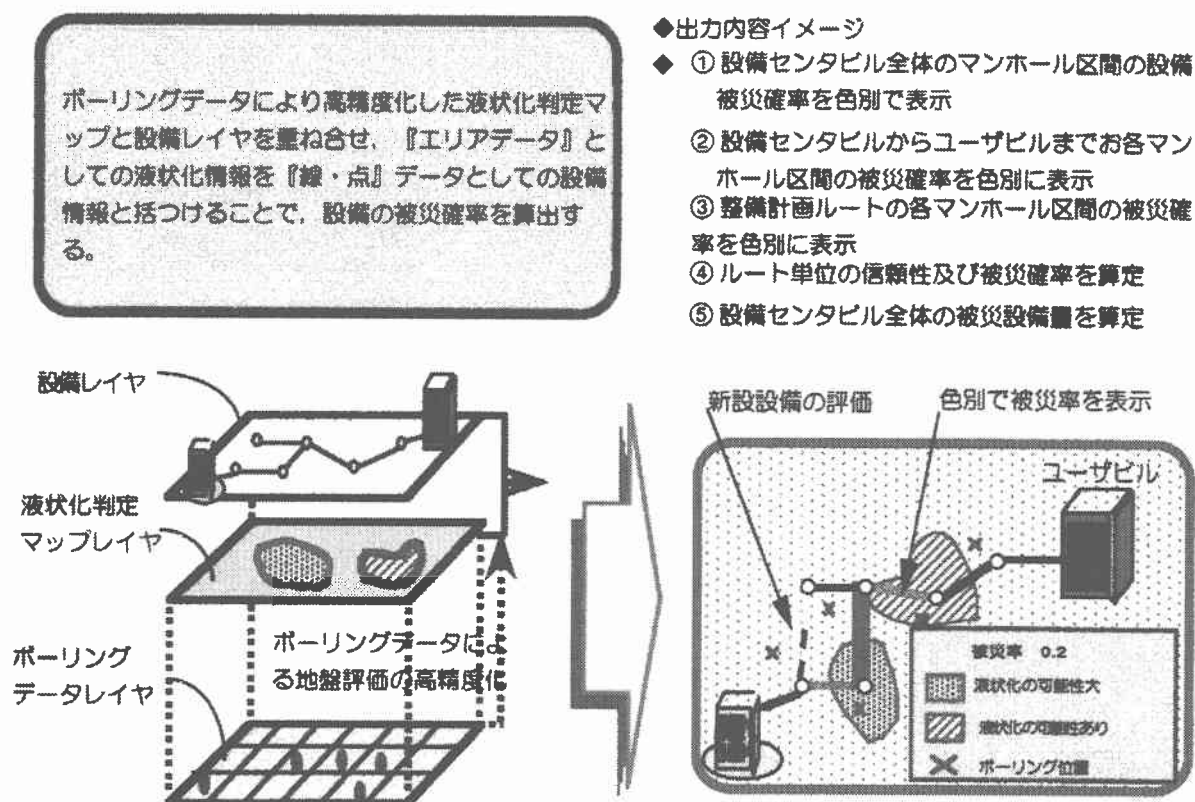
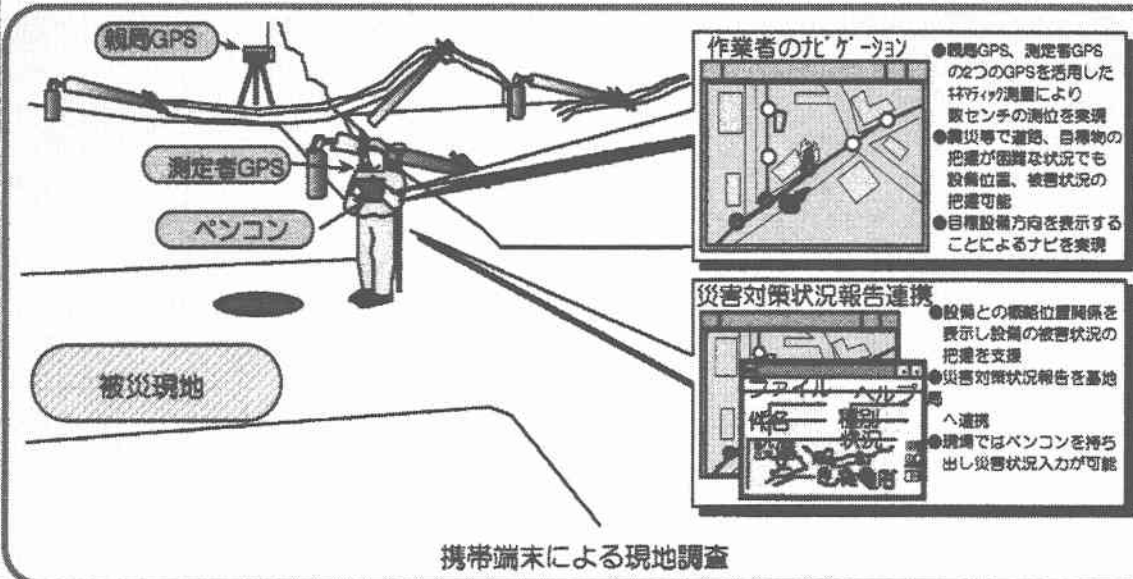


図-2.6.6 ルート被災状況推定A Pイメージ

## 復興期における携帯端末による現地詳細調査

高精度の測位情報を元に被害設備の把握を行うとともに、対策状況を基地局へ連携

- 高精度の測位方式（キネマティック測量）により数センチレベルで位置を測定
- NTT地図上でのナビゲーションにより地中埋設物やマンホール等の設備位置の把握、被害状況の把握を支援
- 災害対策状況報告（災害設備情報、災害対策状況、メモ）の基地局への連携



災害対策本部へ被災地情報を提供

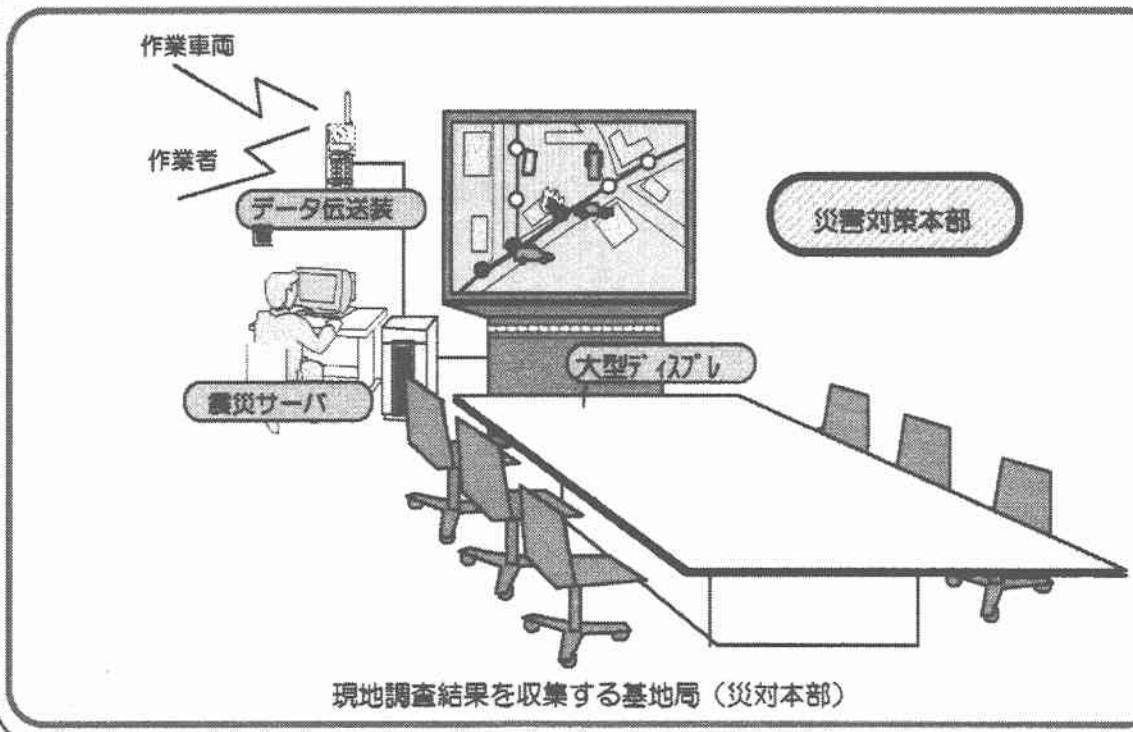


図-2.6.7 携帯端末による現場詳細調査

### 3. 設計基準、耐震性評価基準

現在、学会、官公庁等を中心に各種構造物の設計基準類、耐震性評価基準の見直し作業が進められている。NTTの基盤設備もこれらに関する道路橋示方書、共同溝設計指針を参考もしくは準拠した形でその設計基準、耐震評価基準を定めているため、今後これらの改訂に合わせた形での設備の評価を行う予定である（図-2.6.8）。

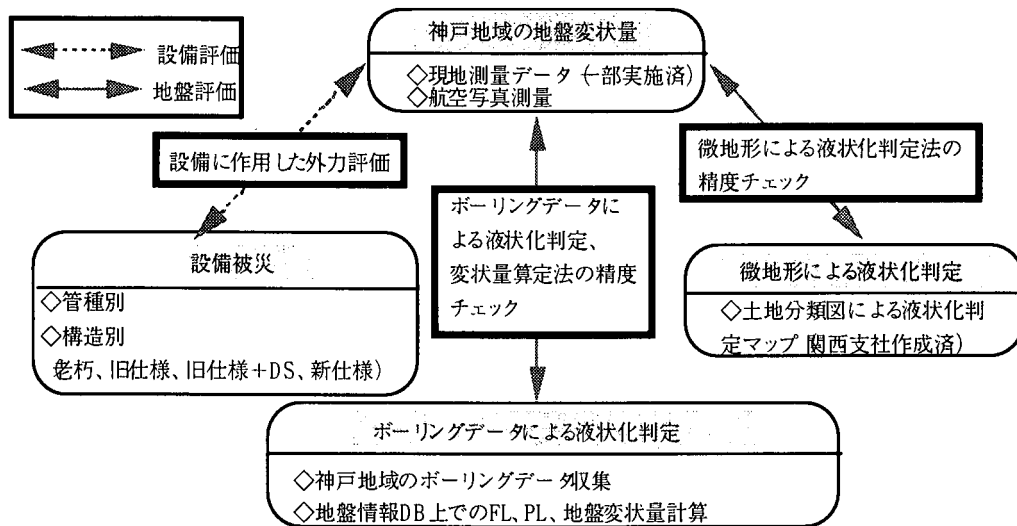


図-2.6.8 今後の分析予定

#### 2.6.5 防災対策

今回の震災では、NTTの設備も被災を免れることはできなかった。しかしながら、ネットワーク系については電力故障等によるサービスの中断、アクセス系については被災状況の把握に長時間を要した等の課題を残すものの、通信建物が堅牢であったこと、装置の固定等これまでの地震対策が機能したこと、中継伝送路のループ化等の冗長設計が機能したこと、設備の遠隔オペレーションが機能を発揮したことにより、今回の震災が広範囲で激しかったことにもかかわらず、ネットワーク全体として機能を確保することができたと考えられる。

しかし、被災情報、生活支援情報等の流通の面から見ると被災者数が30万人を上回り、死者も5,500人を超える等の激甚災害であり、電話が社会に行き渡ってから初めて経験する未曾有の大災害であったことから、全国から神戸への通話が殺到し、長期にわたり輻輳が継続したこと及び避難した被災者が必要とする情報が既存のメディアでは行き渡らないなど、情報流通の面で新たな課題が顕在化した。

また、被災加入者設備の把握、お客様への対応、被災社員との情報連絡の面でも課題を残している。

#### 1. 大都市激甚災害対策委員会での検討

「大都市激甚災害対策委員会」では、7つの専門委員会により検討を進めてきた。更に各専門委員会の中で多くの検討項目を定め、幅広く検討を進めてきた。検討にあたっては、各項目とも今後震災においてネック箇所として顕在化したものへの対処をはじめ、お客様に多大な迷惑をかけたもの、及び円滑な復旧等に問題を生じたものに加えて、今回の震災では問題が生じなかったが、今後、他地域において大規模な地震の発生を想定した場合まで踏み込んで検討した。

基本的には以下の4点に分けて検討した。

##### (1) 通信リソースの確保とコントロール

通信設備(インフラ)の損壊の防止、高信頼化による通信リソースの確保とネットワークコントロール機能の強化、及びネットワークの損壊の防止とコントロール機能の強化等

##### (2) 通信リソースの投入と配分

損壊及び輻輳時における通信リソースの投入とその配分、並びにその運用



### (3) 被災地情報ネットワーク

被災地における情報流通について、ISDN回線・パソコン・LAN機能を活用した新たな情報流通の仕組みを構築

### (4) 危機管理、復旧体制

首都圏被災を視野に入れた危機管理体制の整備、及び早期のアクセス網の被災範囲把握

## 2. 具体的な対策

その中で特に重要視されている4施策について以下に述べる。

### (1) 輻輳対策

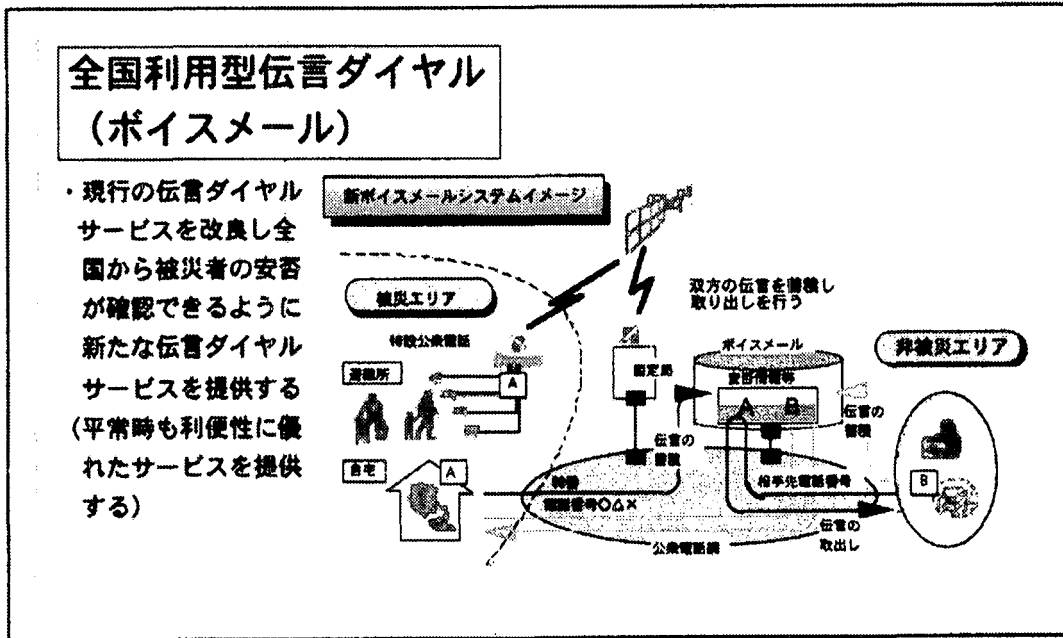


図-2.6.9 輻輳の回避と安否確認

今回の災害は、情報化社会になって初めての大都市を直撃した大災害であったことから、過去に類を見ない未曾有の規模の通信の輻輳をもたらした。死亡された方が約5,500人以上、避難所に避難された方が約30万人という状況となり、電話回線の故障のみならず、避難所へ移動された被災者の自宅へ繰り返し電話をかけるといった現象が輻輳を増加させたと考えられる。

そこで、このような輻輳を緩和し、被災者の安否等緊急不可欠な情報の伝言蓄積、及び読み出しが可能なボイスメールシステムを開発し、導入することとしている(図-2.6.9)。

### (2) 被災地の情報流通支援

今回の神戸においても、被災地での情報流通は、被災者の必要とする情報の集積・流通という面で大きな課題を残した。NTTとしては、その情報流通の一躍を担うとともに、将来におけるノウハウ蓄積するとの観点から、若手社員を中心に情報流通支援技能者を派遣し、Nifty-Serve、インターネットといった電子掲示板を活用し、自治体及び避難されている方々との情報流通支援を行った。

NTTとしては、従来は特設公衆電話という電話による情報媒介を実施してきたが、これに加えマルチメディア時代に対応した電子掲示板を使った通信の媒介等を実施していく必要がある。学校、公民館といった公共的設備で、日常からそれらと自治体とネットワークで結び、端末を用意しておくことにより、被災時に直ちに情報流通が可能となる。また、それらを操作する人材についても、NTTの中に多くのスキルを持った人がおり、それらの人々を情報通信支援技能者として派遣し、避難された方々への情報提供及び情報の発信を行うことができると考えられる(図-2.6.10;口絵参照)。

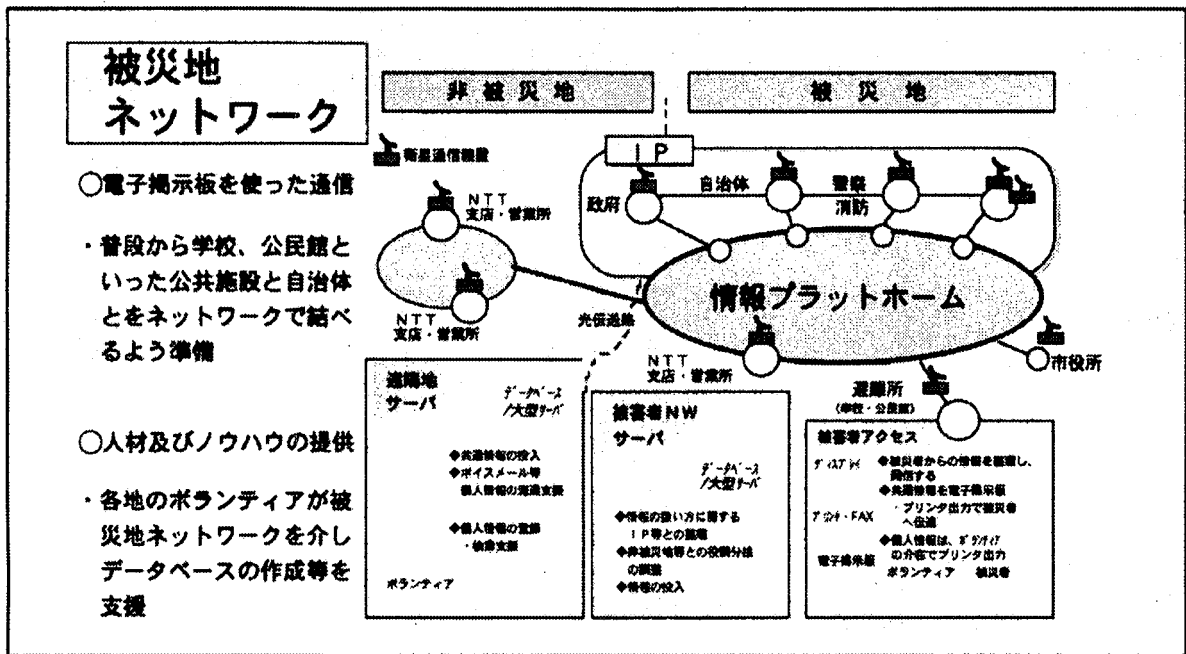


図-2.6.10 被災地の情報流通を支援

### (3) 通信衛星システムの多角的利用

通信衛星システムは災害に極めて強い特質を持っており、今回の阪神・淡路大震災の復旧においても、従来から配備していた「衛星車載局」に加え、最新鋭の「ポータブル衛星通信システム」を使い特設公衆電話の設置等を行った。今後は小型の端末による緊急通信システムや主要有人局へのバックアップ回線の設定などが可能となる。

### (4) 公衆電話の利用解放

被災地におけるライフラインとしての公衆電話は、今回の震災においてもその使命を十分果たしているが、被災地では大規模な停電が発生したため、テレホンカードが使用できないという状態になった。このため、公衆電話からの通話は硬貨でしか使えなくなり、回線的には使用可能であっても金庫充滿により使用できないものが発生した。そこで、被災地域において停電が発生した場合には、交換機からコマンド投入により通話の無料化を行うこととした。

今回の大都市激甚災害対策委員会での検討は、多方面からの検討を行ったが、不十分な点も残っている。しかしながら、現在の技術と投資効果、実行面での効果を考えると全体的な課題と方向については、ある程度整理ができたものと考えている。この結果をもとに、各種施策については適宜経営判断を得ながら実行に移し、非常時においても情報化社会の一層の責務にこたえるよう努めていきたいと考えている。

## 2.7 道路

### 2.7.1 道路の被害状況

#### (1) 道路全体の被害状況

兵庫県南部地震により道路橋を中心とする道路施設は、いまだかつてない甚大な被害を受けた。特に阪神高速道路をはじめとする幹線道路の機能が麻痺することにより、市民生活や復旧・復興工事に大きな影響を与えることとなった。

このため、地震発生直後、高速自動車国道、阪神高速道路、一般国道（指定区間）において27路線36区間あった通行止め区間も、中国自動車道や名神高速道路等の広域幹線輸送ルートの確保を最優先に進め、3月までに特に被災の大きかった阪神高速道路3号神戸線、5号湾岸線の2路線を除き、一般車両もしくは緊急車両用として交通を確保した。

その後、阪神高速道路についても精力的に復旧工事が進められて完了したところから順次供用を再開し、当初の予定を大幅に上回る平成8年9月に全線の復旧を完了した。

一方神戸市が管理する補助国道、県道、市道等の被害においても橋梁の被害が顕著であり、市が管理する橋梁の内74橋において何らかの被害が生じた。その他の一般道路の被害は、地下鉄等の被災による路面の陥没、鉄道高架橋の落橋による2次的な通行障害を除き、舗装の亀裂や段差、歩道の損傷等が主な被害であったが、これらの一般道路の面的な被害は、神戸市管理の道路延長の約30%にも達した。

以上の幹線道路、一般道路を含めた道路全体の被害状況は表-2.7.1に示すとおりであり、全道路では約3640カ所、5770億円にも及んでいる。

表-2.7.1 道路被害箇所及び金額  
(平成9年1月建設省河川局防災課取りまとめ)

	箇所数（箇所）	被害額（百万円）
一般国道（指定区間）	604	101,183
府道・市町村道	2,586	128,992
高速道路（阪神高速・JH）	449	346,500
合計	3,639	576,675

#### (2) 道路橋の被害<sup>17)</sup>

兵庫県南部地震により被災した主な橋梁を表-2.7.2及び図-2.7.1に示す。

橋梁の被害で最も衝撃的であったものは、阪神高速道路3号神戸線の神戸市東灘区深江本町における18径間ピルツ橋の倒壊であった。その被災状況を写真-2.7.1に示す。阪神高速道路3号神戸線ではその他4カ所で落橋するとともに、橋脚の14%、支承の18%、及び上部工の7%が大きな損傷を受けた。

同じ阪神高速道路5号湾岸線では、適用示方書が新しかったこともあり全体的には軽傷であったが、写真-2.7.2に示すように西宮大橋の側径間1橋が落橋している。その他東神戸大橋や六甲アイランド大橋等の長大橋梁において、支承部が設計で考慮している以上の水平力により破損し、上部構造が大変形を生じて2次被害を生じたケースや、地盤の液状化に関連して護岸が崩壊し、直近の橋脚基礎が地盤流動により損傷した。

次に一般国道では、171号の門戸高架橋において、落橋防止装置が損傷し鉄道を跨ぐ単純桁が落橋した。また43号岩屋高架橋ではRC橋脚及び鋼製橋脚の損傷が著しかった。さらに2号浜手バイパスでは、2径間連続鋼箱桁と3径間連続鋼箱桁が隣接する橋脚上において橋軸直角方向に約3.5mの相対変位が生ずるとともに、鋼製2層ラーメン橋脚の橋脚中間位置付近において座屈により最大5cmに及ぶ面外変形が生じた。

また名神高速道路では、守部高架橋や大西高架橋等でRC中空床版を支持するRC壁式橋脚がせん断破壊したほか、瓦木西高架橋のロッキングピアが傾斜し2径間が落橋した。さらに中国自動車道の宝塚高架橋においても、5径間連続RC中空床版橋を支える3柱式RC橋脚が被災した。

これら主要幹線道路の路線別の被災度を集計し表-2.7.3に示す。

また一般道路における橋梁では、神戸市東部の埋立地と市街地をつなぐ深江大橋、東魚崎大橋、魚崎大橋、御影大橋、高羽大橋等で下部工を中心とする大きな被害が発生したほか、阪神間の各埋立地の橋梁においても同様な被害が発生した。

表-2.7.2 主要な道路橋の被害

番号	管理者	路線名	橋名	被災状況
H 1	阪神高速道路公団	5号湾岸線	西宮港大橋	鋼桁橋脚1径間が落下、ニールセンロー支承の損傷
H 2			新夙川橋	支承の損傷、桁の沈下
H 3			新芦屋川橋	鋼製ラーメン橋脚の損傷
H 4			東神戸大橋	斜張橋端部のペンダル支承損傷、桁段差発生
H 5			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
H 6			天保山大橋	支承及び落橋防止装置の損傷
H 7		3号神戸線	西宮市甲子園高潮町	RC橋脚の損傷、桁の落下
H 8			西宮市今津二葉町	鋼製橋脚の損傷
H 9			西宮市浜脇礼場	単純桁2径間の落下
H10			西宮市市庭町建石	鋼製橋脚の損傷
H11			西宮市市庭町戎神社	RC橋脚の損傷
H12			神戸市東灘区深江本町	ビルツ橋18径間の破壊
H13			神戸市東灘区深江西側	RC橋脚の損傷
H14			神戸市中央区波止場町	RC橋脚の損傷、桁の沈下
H15			JR和田岬千跨線橋	鋼製橋脚の損傷
H16			湊川ランプ	橋脚の損傷、ランプの落下
D 1	日本道路公団	名神高速道路	神崎高架橋	RC壁式橋脚の損傷
D 2			守部高架橋	RC壁式橋脚の損傷、桁の沈下
D 3			武庫川橋	RC橋脚の損傷、支承の損傷による桁の段差発生
D 4			瓦木西高架橋	ロッキングビアーを有する斜床版橋の落下
D 5		中国自動車道	宝塚高架橋	RC橋脚の損傷、桁の沈下
D 6			神田高架橋	RC橋脚の損傷
Ko1	一般国道	43号	岩屋高架橋	RC橋脚の損傷、鋼製橋脚の損傷
Ko2		171号	門戸高架橋	跨線橋部の単純桁が線路上に落橋
Ko3		2号	浜手バイパス	支承からの上部構造の脱落、鋼製ラーメン橋脚の損傷
Ko4		176号	小浜陸橋	支承の損傷
Ko5		173号	一庫大橋	支承の損傷
Ko6		176号	十三バイパス及び十三大橋	橋脚のひび割れ
Ko7		176号	猪名川大橋	RC橋脚の損傷
Ko8		423号	新御堂筋高架橋	RC橋脚のひび割れ
K 1	県道	甲子園尼崎線	中州橋	橋台バラベットの損傷
K 2			西宮大橋	RC橋脚の損傷、桁の移動
K 3			夙川橋	RC橋脚の移動、傾斜
K 4			西宮港大橋	支承及び支承部の損傷
K 5			鳴尾橋	支承の損傷
K 6			新名神橋	支承の損傷
K 7			下河原高架橋	RC橋脚の損傷
K 8			蛍ヶ池高架橋	RC橋脚の損傷
K 9			稲津跨線橋	RC橋脚の損傷
K10			加島高架橋	支承の損傷
HH1		ハーバーハイウェイ	灘浜大橋	支承の損傷
HH2			第2摩耶大橋	RC橋脚の損傷、支承の損傷
HH3			神戸大橋	中間支点可動柵、ペンダル及び伸縮装置の損傷
S 1	市道		西代跨線橋	RC橋脚の損傷、桁端部及び支承の損傷
S 2			高羽大橋	バイレバント杭の損傷
S 3			御影大橋	橋台バラベットの損傷
S 4			魚崎大橋	支承の損傷
S 5			東魚崎大橋	橋脚の傾斜、橋台の損傷
S 6			深江大橋	橋台の損傷
S 7			毛斯倫大橋	支承の損傷

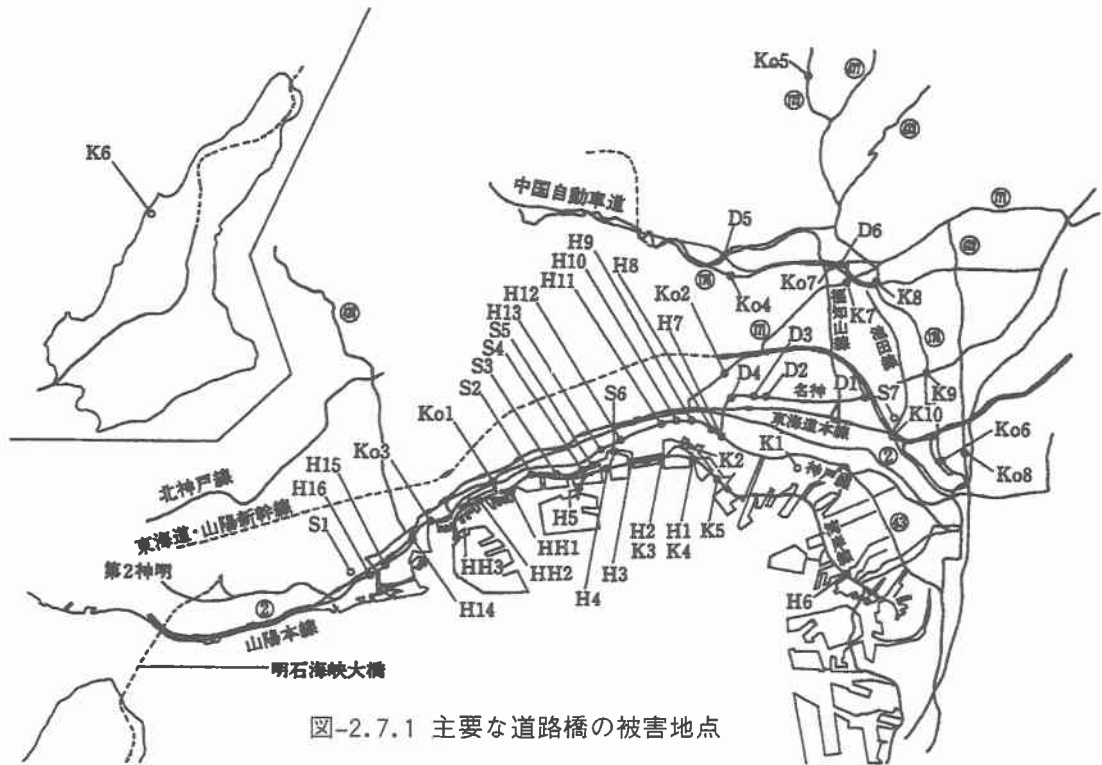


図-2.7.1 主要な道路橋の被害地点



写真-2.7.1 3号神戸線 深江本町付近

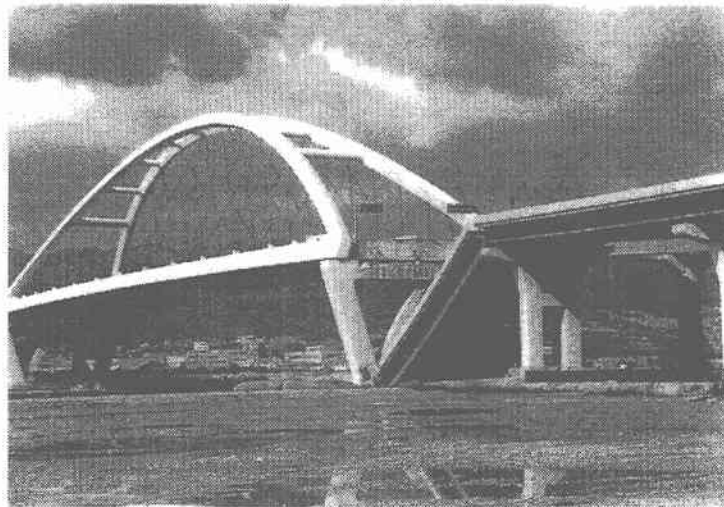


写真-2.7.2 5号湾岸線 西宮港大橋側径間の落橋

表-2.7.3 路線別の被災度

(橋脚：橋脚数，支承：支承路数もしくは箇所数，上部構造：橋数もしくは径間数)

路線名		部材名		被災度					計
				As	A	B	C	D	
直轄国道	国道2号	橋脚	鋼製	0 (0%)	0 (0%)	9 (26%)	5 (14%)	21 (60%)	35 (100%)
			RC	0 (0%)	0 (0%)	19 (24%)	15 (19%)	46 (58%)	80 (100%)
		支承		-	63 (24%)	10 (4%)	2 (1%)	190 (72%)	265 (100%)
		上部構造		0 (0%)	10 (4%)	52 (23%)	15 (7%)	153 (67%)	230 (100%)
	国道43号	橋脚	鋼製	1 (13%)	3 (38%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (50%)	8 (100%)
			RC	13 (9%)	23 (16%)	1 (1%)	2 (1%)	105 (73%)	144 (100%)
		支承		-	8 (3%)	13 (4%)	13 (4%)	272 (89%)	306 (100%)
		上部構造		15 (8%)	31 (16%)	3 (2%)	8 (4%)	142 (71%)	199 (100%)
	国道171号	橋脚	鋼製	0 (0%)	0 (0%)	2 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (100%)
			RC	0 (0%)	6 (4%)	11 (7%)	60 (38%)	79 (51%)	156 (100%)
		支承		-	6 (3%)	5 (2%)	16 (7%)	195 (88%)	222 (100%)
		上部構造		1 (0%)	3 (1%)	8 (4%)	22 (11%)	174 (84%)	208 (100%)
	国道176号	橋脚	鋼製	0	0	0	0	0	0
			RC	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	20 (100%)	20 (100%)
		支承		-	0 (0%)	0 (0%)	2 (4%)	45 (96%)	47 (100%)
		上部構造		0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	77 (100%)	77 (100%)
小計	橋脚	鋼製	1 (2%)	3 (7%)	11 (24%)	5 (11%)	25 (56%)	45 (100%)	
		RC	13 (3%)	29 (7%)	31 (8%)	77 (19%)	250 (63%)	400 (100%)	
	支承		-	77 (9%)	28 (3%)	33 (4%)	702 (84%)	840 (100%)	
	上部構造		16 (2%)	44 (6%)	63 (9%)	45 (6%)	546 (76%)	714 (100%)	
阪神高速	3号神戸線	橋脚	鋼製	3 (2%)	8 (5%)	12 (7%)	112 (69%)	28 (17%)	163 (100%)
			RC	64 (7%)	78 (8%)	102 (11%)	225 (24%)	474 (50%)	943 (100%)
		支承		-	371 (18%)	274 (13%)	383 (18%)	1090 (51%)	2118 (100%)
		上部構造		26 (2%)	67 (5%)	243 (19%)	215 (16%)	753 (58%)	1304 (100%)
	5号湾岸線	橋脚	鋼製	0 (0%)	0 (0%)	13 (9%)	21 (15%)	109 (76%)	143 (100%)
			RC	0 (0%)	0 (0%)	1 (0%)	22 (11%)	179 (89%)	202 (100%)
		支承		-	30 (5%)	72 (12%)	196 (34%)	286 (49%)	584 (100%)
		上部構造		1 (0%)	0 (0%)	8 (2%)	28 (6%)	425 (92%)	462 (100%)
	小計	橋脚	鋼製	3 (1%)	8 (3%)	25 (8%)	133 (43%)	137 (45%)	306 (100%)
			RC	64 (6%)	78 (7%)	103 (9%)	247 (22%)	653 (57%)	1145 (100%)
		支承		-	401 (15%)	346 (13%)	579 (21%)	1376 (51%)	2702 (100%)
		上部構造		27 (2%)	67 (4%)	251 (14%)	243 (14%)	1178 (67%)	1766 (100%)
高速国道	名神	橋脚	鋼製	0	0	0	0	0	0
			RC	2 (0%)	40 (4%)	21 (2%)	312 (30%)	664 (64%)	1039 (100%)
		支承		-	401 (28%)	65 (4%)	11 (1%)	974 (67%)	1451 (100%)
		上部構造		3 (0%)	27 (2%)	247 (21%)	651 (56%)	229 (20%)	1157 (100%)
	中国	橋脚	鋼製	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	4 (100%)
			RC	0 (0%)	9 (2%)	4 (1%)	121 (26%)	323 (71%)	457 (100%)
		支承		-	112 (15%)	174 (23%)	85 (11%)	377 (50%)	748 (100%)
		上部構造		0 (0%)	24 (5%)	31 (6%)	193 (37%)	272 (52%)	520 (100%)
	小計	橋脚	鋼製	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	4 (100%)
			RC	2 (0%)	49 (3%)	25 (2%)	433 (29%)	987 (66%)	1496 (100%)
		支承		-	513 (23%)	239 (11%)	96 (4%)	1351 (61%)	2199 (100%)
		上部構造		3 (0%)	51 (3%)	278 (17%)	844 (50%)	501 (30%)	1677 (100%)
計	橋脚	鋼製	4 (1%)	11 (3%)	36 (10%)	138 (39%)	166 (47%)	355 (100%)	
		RC	79 (3%)	156 (5%)	159 (5%)	757 (25%)	1890 (62%)	3041 (100%)	
	支承		-	991 (17%)	613 (11%)	708 (12%)	3429 (60%)	5741 (100%)	
	上部構造		46 (1%)	162 (4%)	592 (14%)	1132 (27%)	2225 (54%)	4157 (100%)	

注) 橋台・カルバートは橋脚の集計から外した

## 2.7.2 道路橋の復旧

### (1) 復旧仕様 <sup>18), 19)</sup>

震災直後に建設省が設置した「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会」において、兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧にかかる仕様(以下、「復旧仕様」という。)を定め、平成7年2月に関係各機関に通知された。また同年5月には、道路橋示方書の改訂が行われるまでの当面の措置として、全国で実施される新設橋梁の設計及び既設橋梁の補強についても復旧仕様を参考とする旨通知された。

この復旧仕様では、耐震設計の復旧方針として各構造部材の強度を向上させると同時に変形性能を高めて橋全体系として地震に耐える構造を目指すこととし、表-2.7.4の9項目が示されている。

すなわち、震度法に加え地震時保有水平耐力法

や非線形効果を考慮した動的解析が積極的に採用されることとなり、今回の地震に余裕を持って耐えられる構造であることを照査することとなった。その結果、図-2.7.2に示すように構造物の最大応答加速度で1.5G～2.0G(地盤加速度で概ね0.6G～0.8G)の地震力を考慮することとなり、耐震安全性が大幅に向上することとなった。また支承には従来の金属支承に替わり免震支承等のゴム支承が積極的に採用されるなど、震害経験を踏まえて種々の改良が行われた。

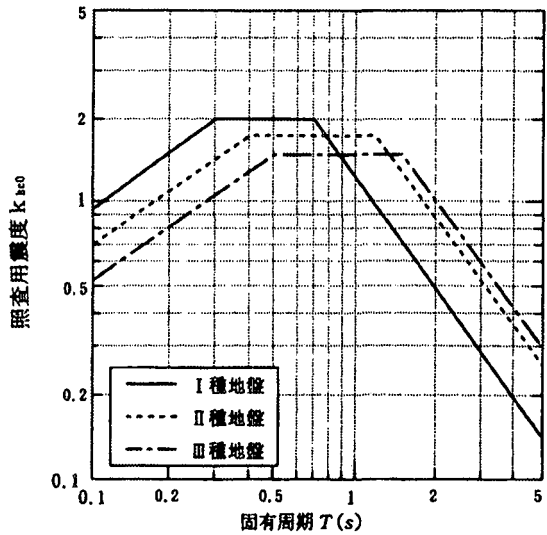


図-2.7.2 地震時保有水平耐力照査に用いる震度  $k_{hco}$

表-2.7.4 復旧仕様における耐震設計の基本方針

道路橋の復旧にあたっては、各構造部材の強度を向上させると同時に、変形性能を高めて橋全体系として地震に耐える構造を目指す。このため、以下の事項に留意するものとする。

- (1) 橋全体系のねばり(変形性能)を向上させるため、震度法による設計に加えて、地震時保有水平耐力を照査する。
- (2) 今回の地震に余裕をもって耐えられる構造であることを動的解析によって照査する。
- (3) 高架橋のように橋梁が連担する場合には、免震支承を用いた弾性固定方式により地震力を分散させる構造系を採用することが望ましい。
- (4) 鉄筋コンクリート橋脚では、所要のじん性率を確保するために十分な帯鉄筋を配置し、かつ軸方向鉄筋の段落しは原則として行わない。
- (5) 鋼製橋脚では、中詰めコンクリートを充填する等により、必要なじん性を確保する。
- (6) 橋脚基礎は橋脚躯体と同等もしくはそれ以上の耐力と十分な変形性能を有するものとする。
- (7) 支承にはゴム支承を用いることが望ましい。また、支承と上部構造の接合部は個々の支承部構造に即した設計を行う。
- (8) 落橋防止装置については、衝撃力の緩和、連結部材の強度の増大、変形性能の向上を図ることにより、けたの橋脚や橋台からの落下を防止できる構造とする。
- (9) 地盤の液状化に伴う地盤流動が予測される地点においては地盤流動の影響を考慮するものとする。

## (2) 代表的な橋梁の復旧事例<sup>20)</sup>

今回の地震により被災した多くの橋梁において、被災直後より復旧工事が実施された。ここでは、中でも大きな被害が発生した阪神高速道路3号神戸線の代表的な橋梁の復旧事例を紹介する。

### ① 阪神高速道路3号神戸線深江地区

600m以上にわたって倒壊した神戸市東灘区深江地区の阪神高速道路3号神戸線高架区間については、635mの区間が再構築された。上部構造は9径間連続鋼床版箱桁として軽量化し、さらに免震支承を用いて慣性力を低減することにより、再利用される基礎構造物への負担を軽減している。下部構造は鉄筋コンクリート構造とし、柱幅を震災前の2倍(3.1m×6.0m)とし、耐震性を増している。

標準的な断面を図-2.7.3に、復旧後の状況を写真-2.7.3に示す。

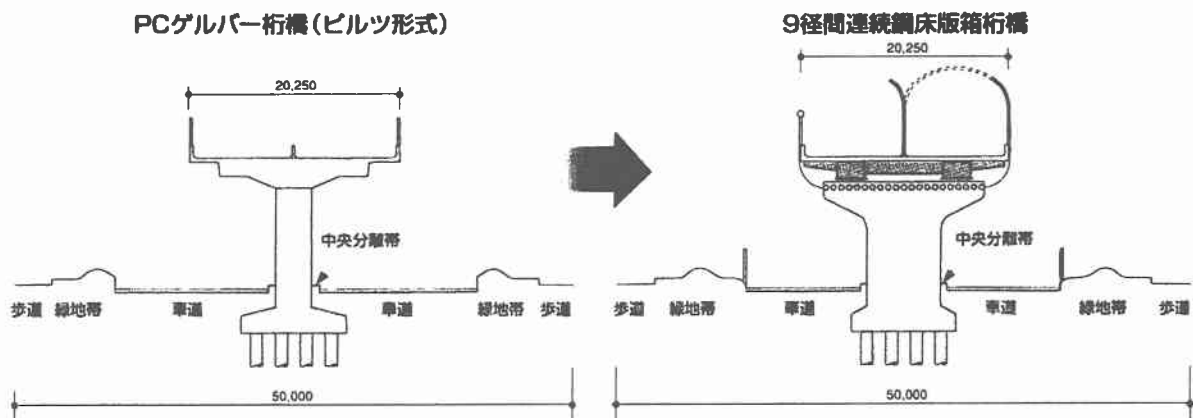


図-2.7.3 深江地区標準断面

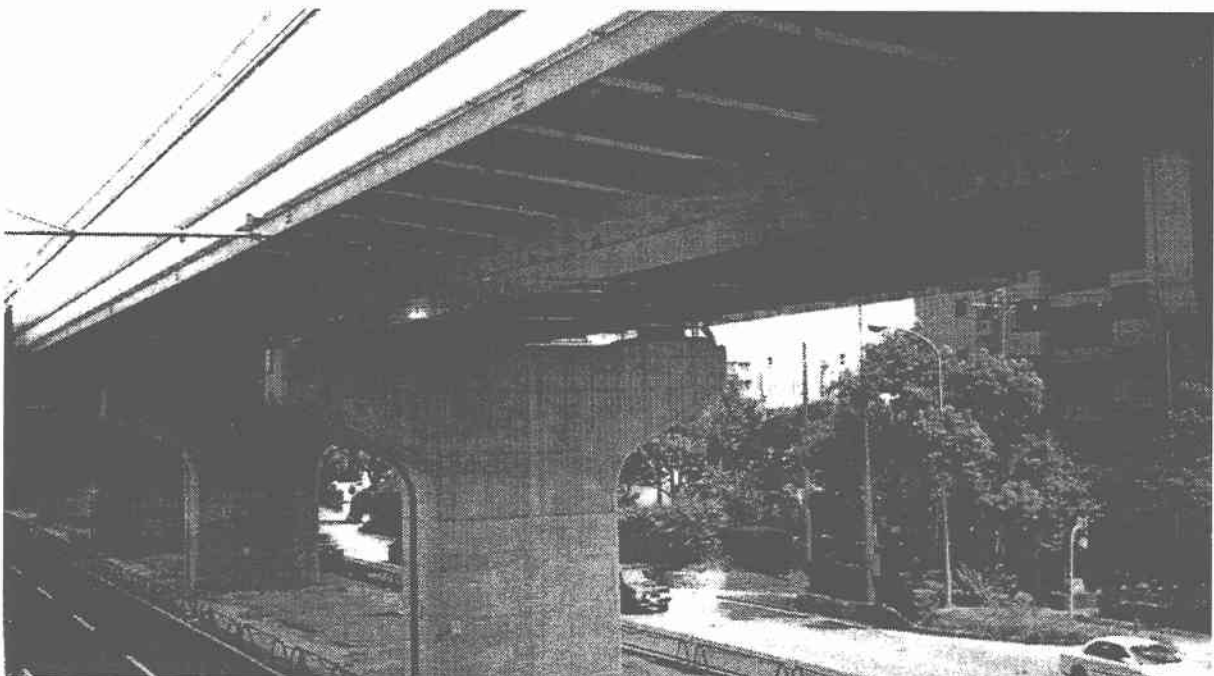


写真-2.7.3 深江地区復旧後の状況



②阪神高速道路3号神戸線弁天地区

神戸市中央区弁天地区においても、延長686mの区間で連続して再構築された。ここは国道2号上に位置し、平面街路の幅員構成及び建築限界等、非常に制約条件の多い区間のため、橋脚の柱・はり一体化した19径間連続鋼床版立体ラーメン形式の橋梁を採用した。橋脚は鋼製とし、橋脚の下端に免震支承を設けるとい、道路橋では世界初の構造となっている。

標準的な断面を図-2.7.4に、復旧後の状況及び橋脚下端の免震支承を写真-2.7.4、写真-2.7.5に示す。

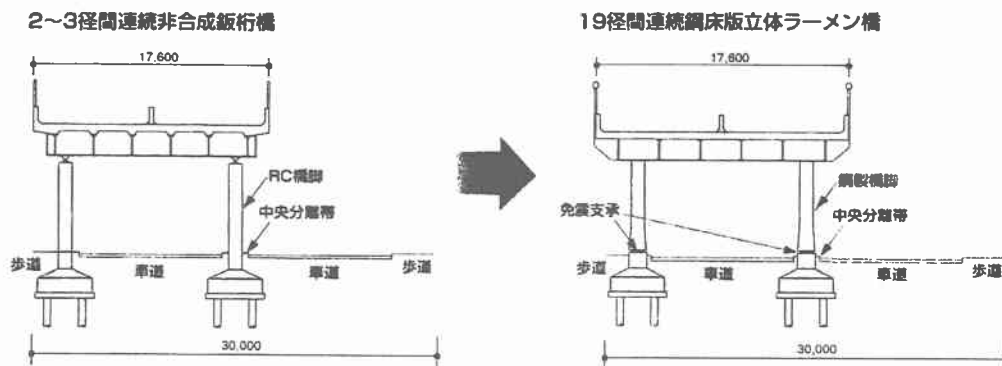


図-2.7.4 弁天地区標準断面



写真-2.7.4 弁天地区復旧後の状況

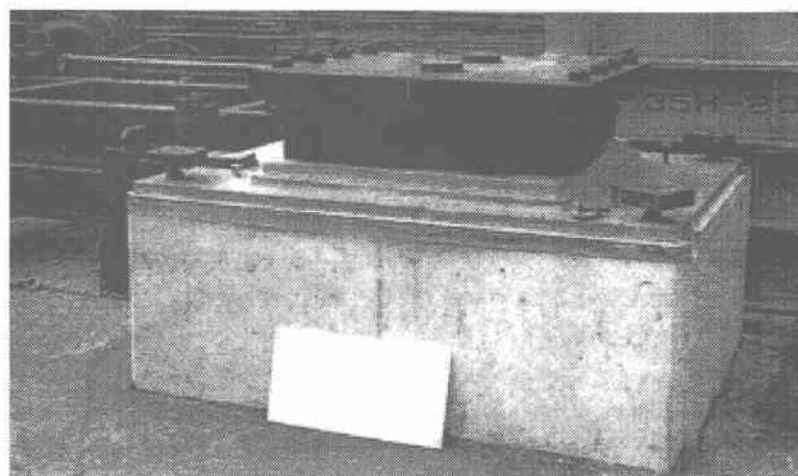


写真-2.7.5 免震支承

### 2.7.3 道路橋示方書の改訂<sup>21), 22)</sup>

#### (1) 経緯

全国の道路橋の耐震設計は基本的には道路橋示方書 V耐震設計編によって行われている。平成2年には、鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力照査法の導入が図られるなど大幅な改定が行われたが、兵庫県南部地震により橋梁が関東大震災以来の被害が生じたことから、前述した復旧仕様を踏まえて全面的な改訂が進められた。改訂作業は日本道路協会橋梁委員会の下に、学識経験者や建設省土木研究所を中心とする震災対策特別分科会（分科会長：川島東京工業大学教授）を設けて改訂作業を進め、平成8年11月に「橋、高架の道路等の技術基準」として建設省より全国に通知された。

検討体制を図-2.7.5に示す。

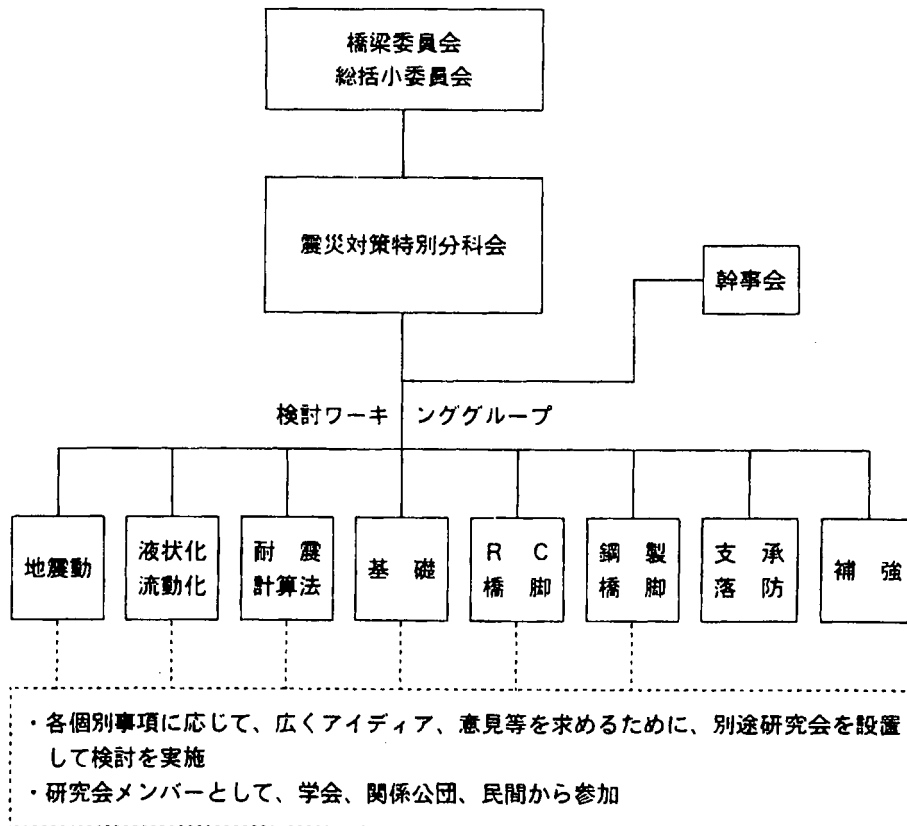


図-2.7.5 震災対策特別分科会の検討体制

#### (2) 改訂の概要

主な改定点は下記の通りである。

- ①従来の設計地震力に加え、内陸直下型地震として平成7兵庫県南部地震による地震動を考慮することとなった。
- ②鉄筋コンクリート橋脚だけでなく、鋼製橋脚、基礎、支承、落橋防止システムなどについても地震時保有水平耐力法により設計することとなった。
- ③構造部材の非線形性を考慮した動的解析について、解析モデルや解析法、安全性の照査に関する規定が定められた。
- ④液状化の規定が見直されるとともに、新たに地盤の流動化に対する設計法が設けられた。
- ⑤免震設計についての規定が設けられた。

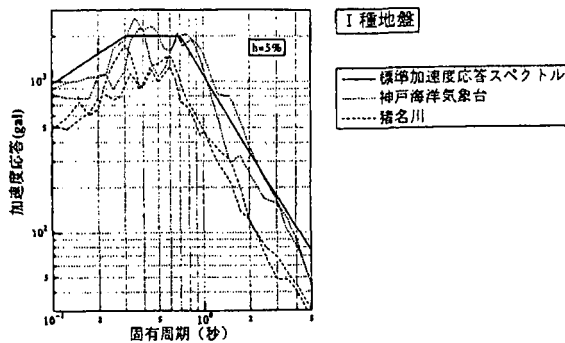
### (3) 設計地震力

耐震設計で考慮する地震力としては、表-2.7.5に示すように応答加速度の最大値が1.5G~2.0Gの復旧仕様で規定された兵庫県南部地震クラスのもの追加され、タイプI、タイプIIと呼ぶこととなった。図-2.7.6は兵庫県南部地震による実測強震記録とタイプIIに地震力を比較したものである。

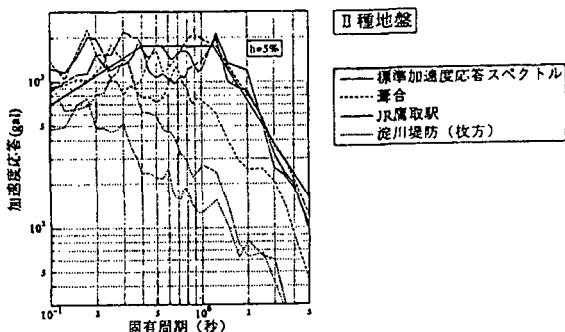
このタイプIとタイプIIの地震力は、そのレベルの大小だけでなく、表-2.7.6に示すように地震動の特性にも差がある。このためコンクリートの終局ひずみやコンクリートが負担できるせん断耐力、あるいは液状化時の地盤の強度などにおいて、このような主要動の繰返し回数の差を考慮した設計法が規定されている。

表-2.7.5 耐震設計で考慮する設計地震力

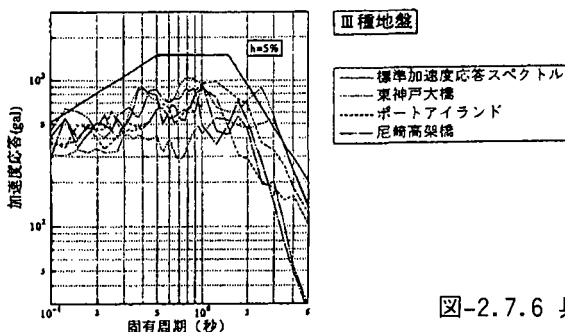
設計地震力のレベル		応答加速度	備考
震度法		0.2~0.3G	従来の震度法で考慮する地震力
地震時保有水平	タイプI	0.7~1G	平成2年2月道路橋示方書に規定される地震時保有水平耐力の照査で考慮する地震力
耐力法	タイプII	1.5~2G	復旧仕様・参考資料に規定される兵庫県南部地震で観測された最大地震力



(I種地盤)



(II種地盤)



(III種地盤)

図-2.7.6 兵庫県南部地震による実測強震記録とタイプIIの設計地震力

表-2.7.6 地震動の繰返し特性

設計地震動の種類	タイプⅠ	タイプⅡ
想定する地震	海洋性巨大地震 (大正12年関東地震) (平成2年道路橋示方書)	内陸直下型地震 (平成7年兵庫県南部地震) (平成7年復旧仕様)
地震の発生頻度	比較的高い(100~150年程度)	低い(数百年~数千年)
地震動の繰返し特性	主要動の繰返し:多い	主要動の繰返し:少ない
構造部材のじん性への影響	繰返しによる損傷の進展:大	繰返しによる損傷の進展:小

(4) 目標とする道路橋の耐震性レベルと重要度の区分

道路橋の耐震設計当たっては、表-2.7.7に示すように、その重要度に応じてA種とB種の2種類に分類し、各々耐震設計で考慮する地震動に応じて目標とする橋の耐震性能を規定している。表-2.7.8はその目標とする橋の耐震性能を示したものである。

また、図-2.7.7に標準的な道路橋の耐震設計の流れを示す。動的解析による照査や耐震設計の位置づけが明確となった。

表-2.7.7 重要度の区分

構造・機能 道路種別等	複断面、跨線橋、跨道橋及び地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等から特に重要な橋、高架の道路等	左記以外の橋等
高速自動車国道 都市高速道路 指定都市高速道路 本州四国連絡道路 一般国道	特に重要度が高い橋  (B種の橋)	特に重要度が高い橋  (B種の橋)
都道府県道 市町村道	特に重要度が高い橋 (B種の橋)	重要度が標準的な橋 (A種の橋)

表-2.7.8 耐震設計で考慮する地震動と目標とする橋の耐震性能

耐震設計で考慮する地震動		目標とする橋の耐震性能		耐震計算法	
		重要度が標準的な橋 (A種の橋)	特に重要度が高い橋 (B種の橋)	静的解析法	動的解析法 (地震時の挙動が複雑な橋)
橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動		健全性を損なわない		震度法	時刻歴応答解析法 応答スペクトル法
橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動	タイプⅠの地震動 (プレート境界型の大規模な地震)	致命的な被害を防止する	限定された損傷にとどめる	地震時保有 水平耐力法	
	タイプⅡの地震動 (兵庫県南部地震のような内陸直下型地震)				

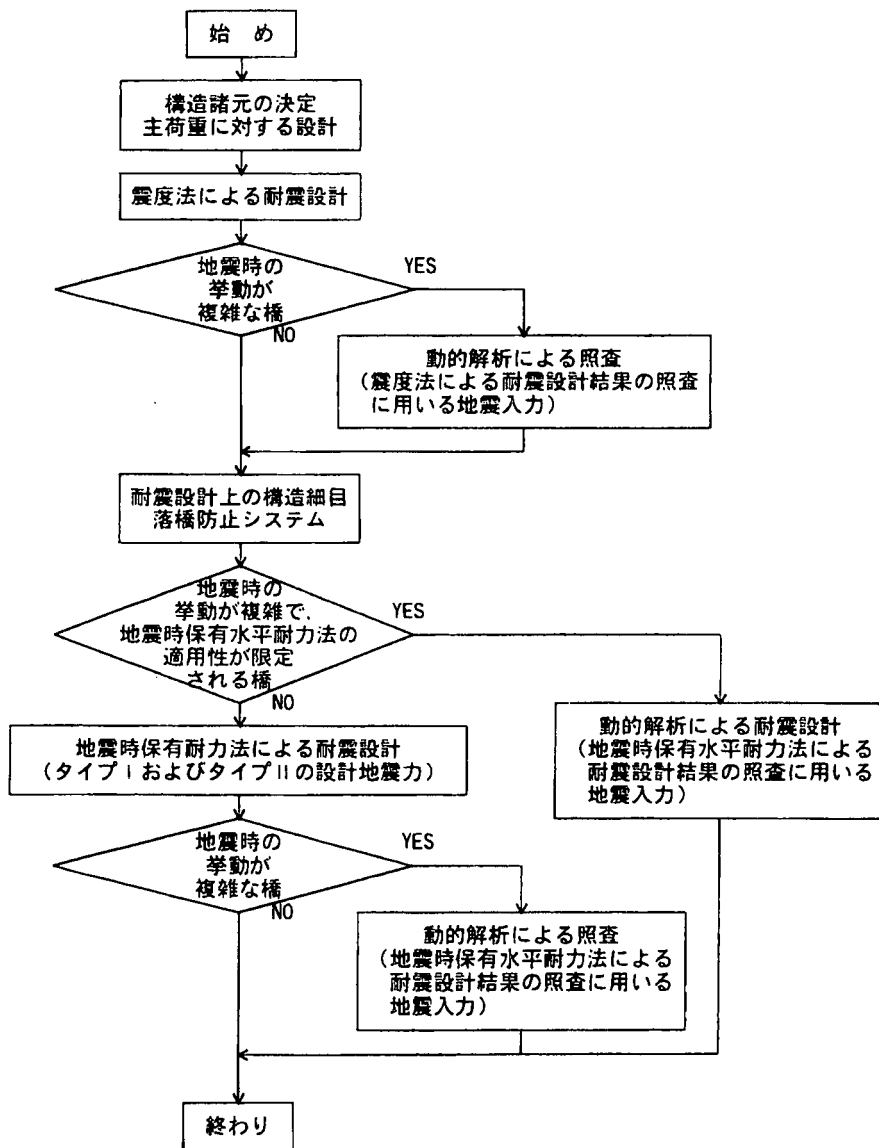


図-2.7.7 標準的な耐震設計の流れ

## 2.7.4 阪神高速道路の防災対策

### (1) 耐震補強工事の実施

阪神高速道路においては、兵庫県南部地震の被害が比較的軽微であった大阪地区を中心に、既設橋梁の耐震補強工事が実施されている。中でも橋脚については、平成7年度から平成9年度までの3箇年の事業として緊急橋脚補強工事が実施され、大阪、兵庫両地区の合計では、RC橋脚約4000基、鋼製橋脚約800基が対象となった。さらに平成8年度から平成12年度までの事業として、約28000箇所の支承取り替えと、約4200箇所の落橋防止装置改良工事が実施されている。

### (2) 地震計の設置

阪神高速道路においては、交通管理用の感震計として、大阪地区2箇所（1号環状線：四つ橋、4号湾岸線：港晴）、神戸地区2箇所（3号神戸線：京橋、7号北神戸線：藍那）の4箇所に設置され、交通指令台に表示される加速度に基づき、交通規制や点検等の初動体制が定められている。

またこれ以外に、「地震観測要領」に基づき構造物管理用の地震計として、大型橋梁などの特殊構造物を中心に強震計が設置されているが、兵庫県南部地震以降、既設各路線の終端部付近に強震計が追加設置され、全線で18箇所において設置または計画されている。

#### 2.7.5 まとめ

兵庫県南部地震により道路橋は大きな被害を受けたが、直ちに地震被害の調査が開始されるとともに関係機関の協力や努力により、予想以上の早期に復旧を図ることができた。また同時に、耐震設計規定についても建設省を中心として見直しが検討され、復旧仕様が定められ、引き続き道路橋示方書の改訂もなされた。

今後はこの改訂された道路橋示方書に基づき、兵庫県南部地震クラスの地震に対しては余裕を持って耐えられる構造となるように設計されることとなったが、既設の橋梁についても、平成7年度より全国の主要道路において、緊急橋脚補強工事や支承及び落橋防止装置の改良が進められているところである。

## 2.8 都市内交通（地下鉄・新交通システム・市バス）

### 2.8.1 地下鉄（神戸市営地下鉄山手線・海岸線）

#### 1) 被災及び復旧状況<sup>23)</sup>

神戸市営地下鉄は神戸市北西部のニュータウン地域から六甲山西部を通過し、既成市街地に至るニュータウン型路線で、昭和52年～62年にかけて開業した。被害は高架の損傷、トンネル内漏水、駅舎の内装材のひび割れなど軽微なものを含めれば全線に及ぶものだったが、特に、地震の影響を強く受けた既成市街地区間での被害程度が大きく、三宮駅、上沢駅、新長田駅およびその周辺線路部については開削トンネルのコンクリート中柱が破壊・破損したほか、床板・側壁・プラットホーム支柱などにもクラックが発生した。コンクリート中柱の被害は、せん断破壊と考えられ総本数3182本のうち約8%（270本）の中柱に鋼板巻き等の補強が必要であった（図-2.8.1）。

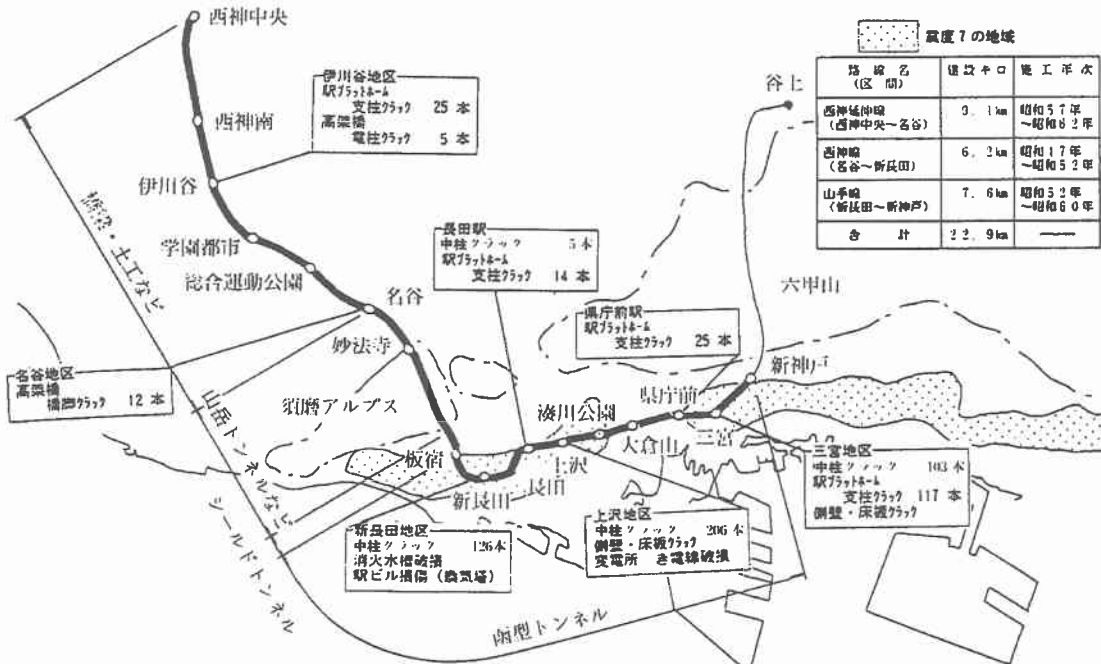


図-2.8.1 神戸市営地下鉄被災位置図

#### (1) 被災状況

地上構造物の倒壊や道路の陥没が著しい地域と合致するように市街地開削トンネル延べ9.1kmのうち、三宮駅、上沢駅、新長田駅およびその周辺線路部の合計約1.4kmの区間において箱型ラーメンのコンクリート中柱の破損等の被害が集中した。

被災した中柱は柱端部から中央付近にむけて斜め方向にせん断クラックが発生し、コンクリートのはく離や軸方向鉄筋の露出がみられた。特に、地下1階では軸方向鉄筋が大きく変形しコンクリートと分離する程の被害を受けた柱もみられた（写真-2.8.1）。

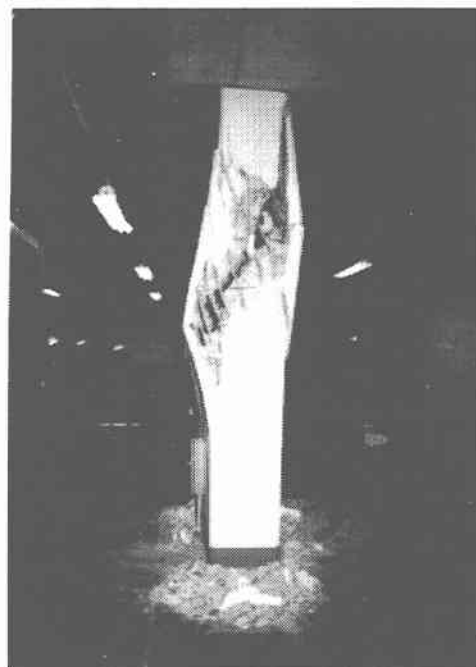


写真-2.8.1 中柱の被災状況

側壁の被害は線路方向のひび割れが主なもので、ほぼ全線にわたり隅角部に発生した。最大でも数mm程度でほとんどがヘアークラックであった。また、相対式の駅においてはプラットホームの支柱に中柱と同じような斜め方向のひび割れがはいった。

土木施設の被害に較べれば電気・機械・車両および軌道設備の被害は比較的少なく、また被災を受けた駅舎の中でも鋼管柱（改札周辺、ホーム等）に異常は見られなかった。

### (2) 応急復旧

被災した中柱のうち、鉄筋まで変状を受けたものについては、設計軸力相当以上のH鋼で受け替えを行い、構造物の安全性確保および二次災害防止の措置を行った（写真-2.8.2）。

幸いにも、土木施設の被害に較べて他設備の被害は比較的少なく、また駅舎の中でも乗客が利用するスペースと工事区域の区分けが可能であった事などの理由により、被災後約1ヵ月（2月16日）被災柱を応急復旧した段階で営業再開が可能となった。

### (3) 本復旧

本復旧については、補修のみの場合は

- ①エポキシ樹脂によるひび割れへの注入を基本とし

補強の場合はこれに加えて

- ②破壊コンクリート撤去と新たなコンクリートによる復元
- ③破壊鉄筋の撤去とそれに代わる鉄筋の挿入及びせん断補強鉄筋の追加
- ④H形鋼による補強
- ⑤鋼板巻きによる補強

を行った（図-2.8.2）。

地下鉄の復旧工法の特徴としては、軸方向鉄筋が大きく変形した柱についてH鋼を添えた上で鋼板被覆を行った事があげられる。これは、高架橋のように完全に新しい柱を打ち替えることの出来ない地下鉄独自の工夫である。

三宮駅、上沢駅では、中柱の本復旧のために仮支柱を盛り替える必要があり、そのためにプラットホームから地下1階まで盛り替え用の支柱を柱と柱の間に設置する作業を行った（図-2.8.3）。さらに、直接被災していなかった電気室や換気機械室の機器類を移設・防護する等の煩雑な作業も必要であった。また、軌道階においては作業時間が営業終了後の約4時間という時間的な制約を受けながらの本復旧工事となった。おおむね作業が終了したのは9月末であった。

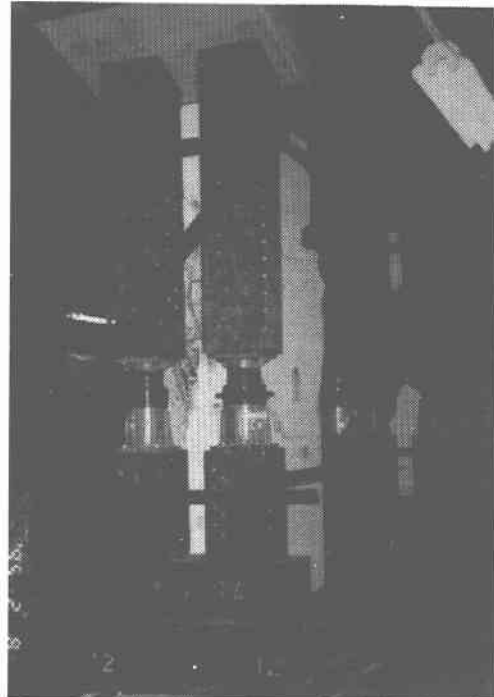


写真-2.8.2 上沢駅応急復旧状況

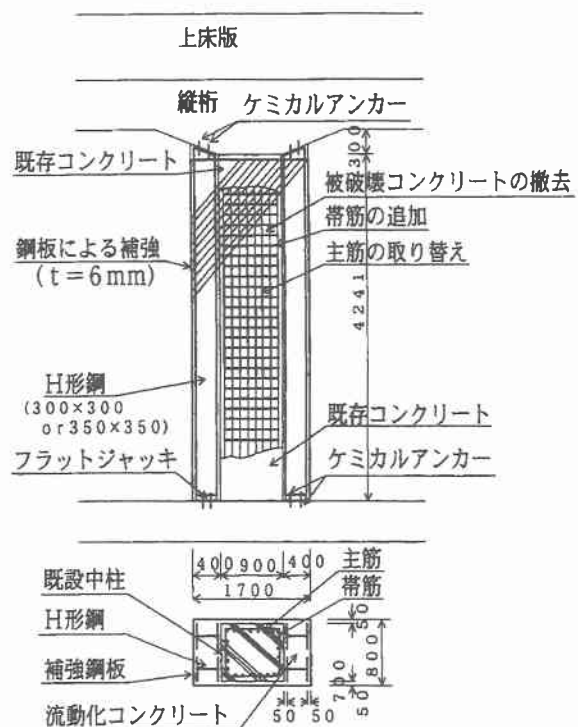


図-2.8.2 中柱標準復旧図



## 2) 被災原因の分析<sup>24)</sup>

### (1) 従来の耐震設計の考え方

公営地下鉄事業を行っている札幌市、仙台市、東京都、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、福岡市及び営団における耐震設計基準によれば、東京都と営団の2事業者では基本的に耐震設計を行うこととしていたが、他の8事業者は「特別の場合を除いて通常は影響を考慮しない。」こととなっていた。

これは、地下構造物が地上構造物に比べて地震に対して強く、これまで想定していた関東大震災クラスの地震に対して耐震設計が構造物設計の決め手とならないことが根拠となっている。

すなわち、周辺を地盤によって拘束されている地下構造物は、地盤よりも大きな振動をしないという点で地上構造物と大きく異なり、常時に大きな土圧を受けているため、地震時の応力計算を行ってもこれまで想定していた地震力では割増しされた許容応力(1.5倍)の中に収まることが経験的に確認されており、特別の場合を除いて耐震設計は行う必要がないとしていたのである。

### (2) 被災原因の分析

中柱の破壊状況を見て、当初、動的な衝撃力のようなものによって、上下の力が加わったことが原因ではないかという意見もあったが、今回の地震の上下動の最大加速度が神戸海洋気象台で332ガル、ポートアイランドで556ガルであり、2~3倍の軸方向力に耐えるように設計された中柱がこの程度の加速度で壊れるとは考えにくい。

建築仕切り壁に発生したクロスひび割れや、床版・側壁の隅角部に発生した縦断方向クラック、相対式プラットホームの支柱に発生したひび割れは、箱型ラーメンの四角いボックスが菱形に変形したことを示している(図-2.8.4)。

そして、その変形は地盤によって強制され、構造物の上下端における地盤の変形量の差が被害と強い関連があると思われる。従って、地震力によって大きく変形するおそれのある軟弱層や軟弱層と硬質層にまたがって構造物が設置される場合には今後、特に留意が必要である。

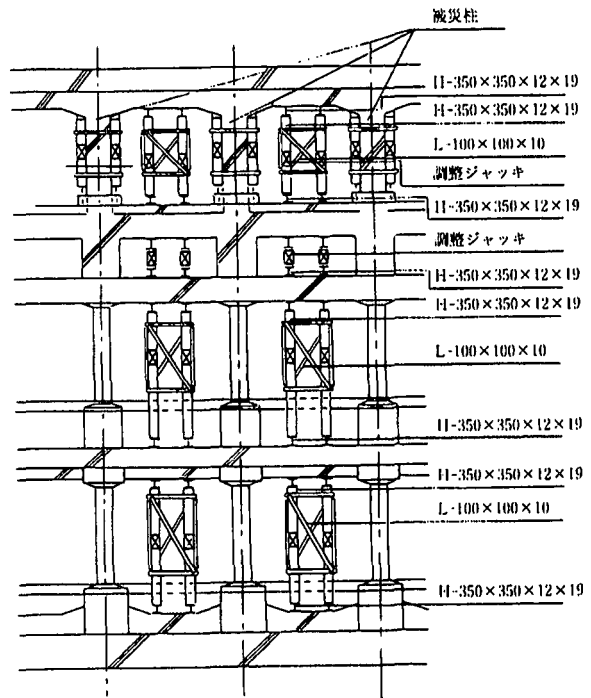


図-2.8.3 三宮駅仮支柱工

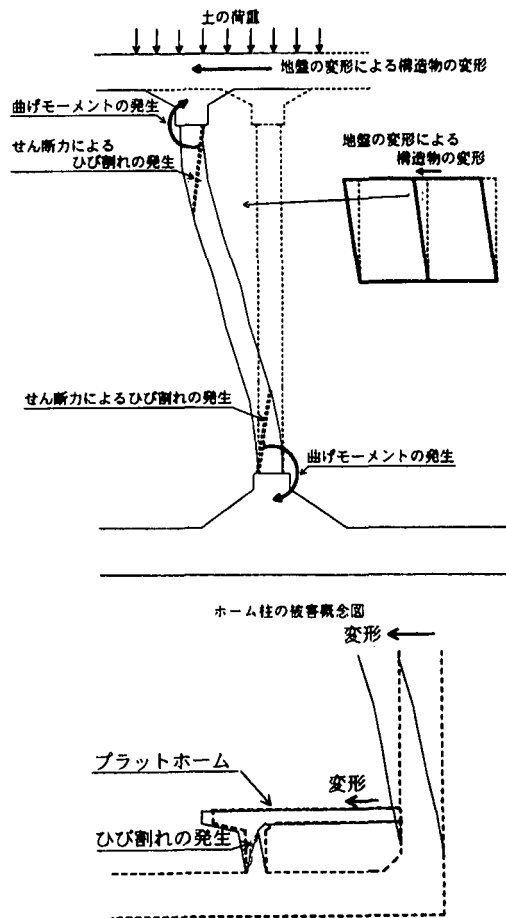


図-2.8.4 中柱のせん断破壊概念図

また、被害が集中した鉄筋コンクリート製中柱については次のような解析上の問題や構造上の弱点が指摘された。

中柱は構造設計ではヒンジとして解析しているが、実際には軸方向鉄筋を縦桁内部に深く定着させて剛結構造となっているためラーメンボックスの変形により想定外の曲げモーメントとせん断力が発生していたと考えられる。また大きな軸方向圧縮応力を負担させているために鉄筋量が非常に多く、結果として曲げ剛性が大きくなり相対的にせん断耐力の劣った柱となりやすかった(図-2.8.5)。

これらの点については、地震応答解析による地下鉄駅舎の被災シミュレーション(参考文献25)26)ほか)によって確認されている。

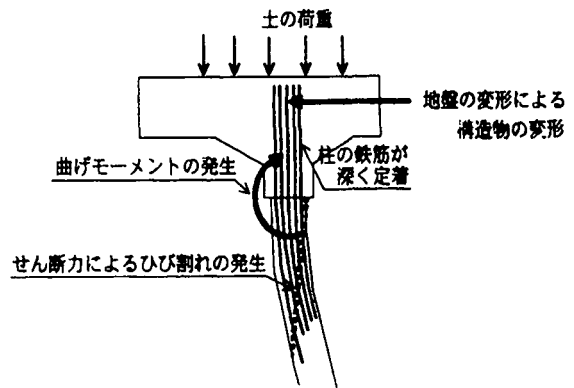


図-2.8.5 剛結構造

### 3) 今後の対策

今回、中柱の構造的な弱点が明らかとなったが、床板・側壁にクラックが発生したものの構造的な被害には至っておらず、復旧期間の短さを考えるとやはり地下構造は耐震性に優れていたといえる。

従って、従来の耐震設計に大きな間違いはなく地震力が想定した以上のものであったことが原因であると考えられる。

また、大きな被害を被った三宮駅、上沢駅においても鋼管柱は無被害であり、地下鉄三宮駅に隣接する阪神三宮駅や三宮地下街では鉄骨構造であったため中柱は無傷であった。このように粘りのある柱においては変形に耐えることが出来たと考えられることから、鉄筋コンクリート製中柱にじん性力を持たせることも有効な対策であると考えられる。

今後の鉄道施設の対応としては、①既設構造物である営業線及び ②新規に建設する路線に分けて以下の通り対策を講じることとしている。

#### (1) 営業線(山手線)の耐震補強

既存鉄道構造物の緊急耐震補強については、平成7年7月の鉄道施設耐震構造検討委員会の提言に基づき、同年8月に運輸省が緊急耐震補強計画を策定し、新幹線についてはおおむね3年、在来線等についてはおおむね5年で行うこととしている。

具体的には、

①地下鉄については開削トンネルの中柱、

②高架については最も被害が多かったラーメン高架橋脚

についてせん断先行型の破壊を避けるための鋼板巻き等の措置を施す耐震補強(約5万本)及び

③落橋防止工約1万連の設置

である。

神戸市分については、平成8～10年度の3カ年において、

①山手線の開削トンネル中柱を36本補強

するほか

②西神線高架区間でのラーメン高架橋脚の補強 4本

③落橋防止工 3連の耐震補強

を実施する予定である。

市営地下鉄において今回、中柱補強の対象とした箇所は、①地盤の変位量大きい(構造物の上下端で1層あたり1cm以上)地域のなかで ②せん断先行型の破壊の起きる可能性のある中柱を選定した。

対象となった中柱は震度7の激震を受けていたが、軌道方向が地震の大きな揺れと同じ南北方向であ

ったために被害を免れたと考えられる。

復旧工法は、運輸省標準工法（鋼板被覆）を採用した。

## (2)新線（海岸線）の耐震設計<sup>27)</sup>

地下鉄海岸線は、既成市街地臨海部を通る延長8kmの路線であり、震災当時一部で土留め工が着手されていたが、営業線の被災を教訓に、既に終えていた駅部等の箱型ラーメンの設計を見直し、今回と同等の大地震を想定した耐震設計を再度行うこととした。

耐震設計の指針としては、平成8年3月に（財）鉄道総合技術研究所から出された「新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料」を基本とし、兵庫県南部地震規模の地震が近傍で発生しても崩壊しない耐震性能を保有することを設計基本方針とした。

具体的には、地下構造物であることから地盤変位による影響を考慮するものとして、

①応答変位法により耐用期間内に数回発生する程度の地震動（中規模地震）に対しては、現行標準をもとに許容応力度設計を行い、

②今回の兵庫県南部地震のような大規模地震については、非線型解析を取り入れた限界状態設計法により耐震安全性の照査を行った。

特に、在来地下鉄の中柱にみられたぜい性的な崩壊を避けるため、部材のせん断耐力を大きくし、曲げ破壊先行型の構造物となるよう留意した。耐震性をアップさせるため、鉄筋の配置は側壁および床版の主鉄筋量を部材の途中で減少させる段落としを避けるのを原則とし、交番応力が作用する部材のスターラップは正負鉄筋を取り囲む閉合型を使用した。また、中柱には帯鉄筋を柱の全体にわたって100mmの間隔で配置した（図-2.8.6）。

耐震設計の一例として、和田岬駅の事例を図-2.8.7に示す。これによると、中柱の主鉄筋および帯鉄筋のランクアップとコンクリート断面の増大、側壁・床版のスターラップのランクアップが必要となった

## (3)今後のあり方

路面交通と隔絶した地下空間を高速かつ大量の輸送が可能な地下鉄は、都市における基盤施設である。震災時においても、その機能を確保することが都市内交通機関として最重要と考えられ、今回の耐震補強、耐震設計では、構造物が崩壊せず機能を維持できるレベルを目指した。

この担保された地下空間の有効活用方策が今後の検討課題といえるが、大量の旅客を輸送することが本来の機能であるため、空間的・時間的な制約や法的な規制が多い。限られた条件を満たす方策として、現在、トンネル内に光ファイバーケーブルを設置し、拠点間の情報ネットワークを整備する実験を開始しているが、緊急避難的な利用以外は難しいのが現状である。鉄道駅の情報拠点化、鉄道用貯水槽の活用、営業時間外の物資輸送などの可能性についても今後研究してゆく必要がある。

また、リダンダンシーの確保のため計画路線の事業化を促進し、地下鉄ネットワークを強化してゆくことも重要な課題である。

## 2.8.2 新交通システム（神戸新交通ポートライナー、六甲ライナー）

### 1)被災及び復旧状況<sup>23)</sup>

神戸新交通ポートアイランド線（ポートライナー）は、都心三宮とポートアイランド間を9駅6.4kmで結び、また、六甲アイランド線（六甲ライナー）は東部の生活都心住吉と六甲アイランド間を6駅4.5kmで結んでおり、震災前は各々一日約5.1万人及び約2.7万人を輸送していた（図-2.8.8）。

両線はいずれも全線高架構造の専用軌道上をコンピューターに制御された中量型電車が無人で走行するシステムである。またルートも、共にJR沿いの既成市街地から海岸部の臨港地区を通過し海上都市に至るフィーダー的な路線で、距離が比較的短いにもかかわらず地形・地質的に変化に富み、高架道路や臨港区域において隣接する構造物の影響等から様々な橋梁形式をとっている。

今回の震災により、土木構造物はほぼ全線にわたる被害を受け駅舎の一部も損壊・傾斜等の被害を受けた。特に、激震地であった既成市街地区間および護岸等の港湾施設と隣接する箇所で大規模な被害が目

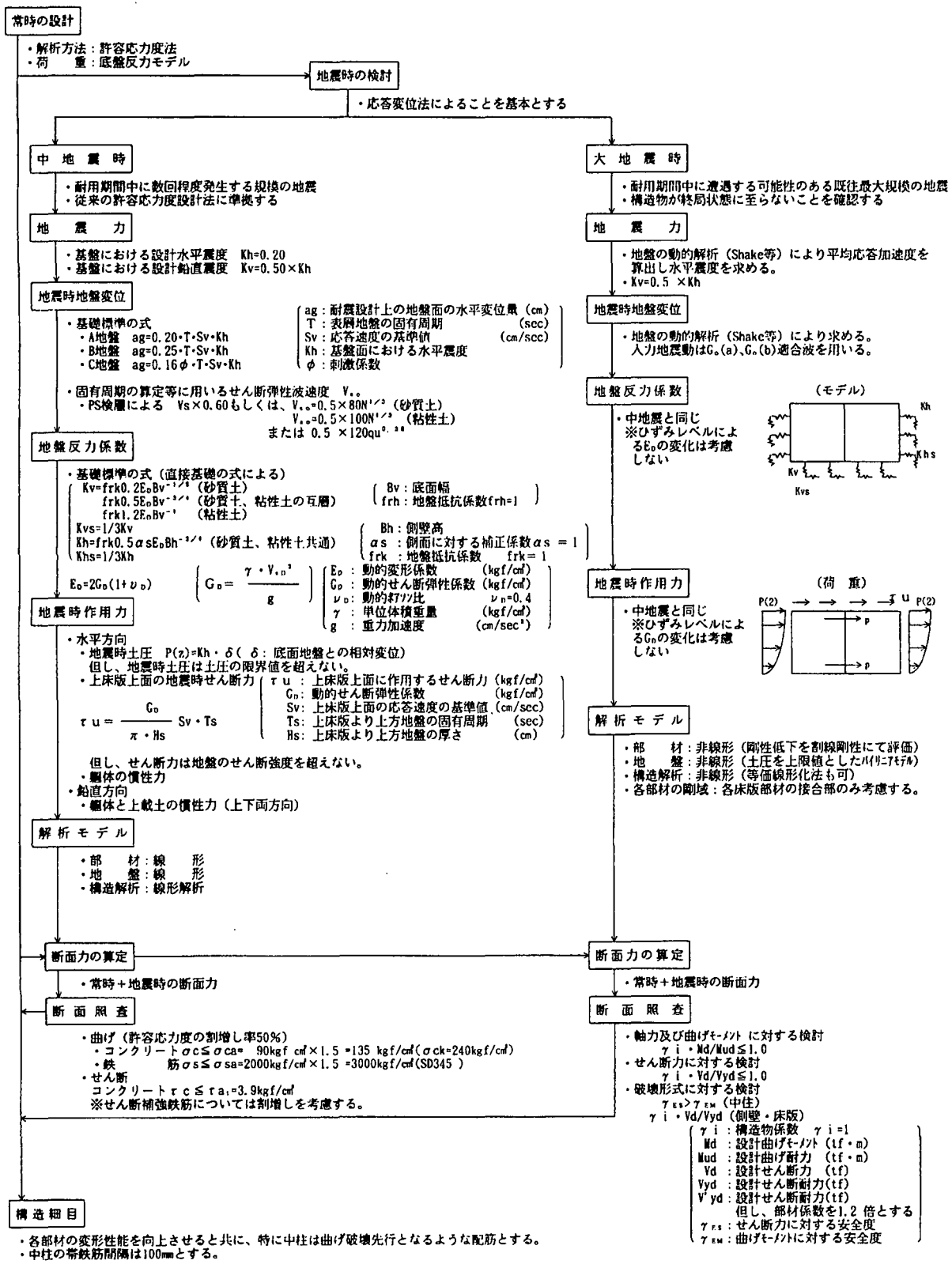


図-2.8.6 地下鉄構造物の耐震設計フロー (開削トンネル工法)

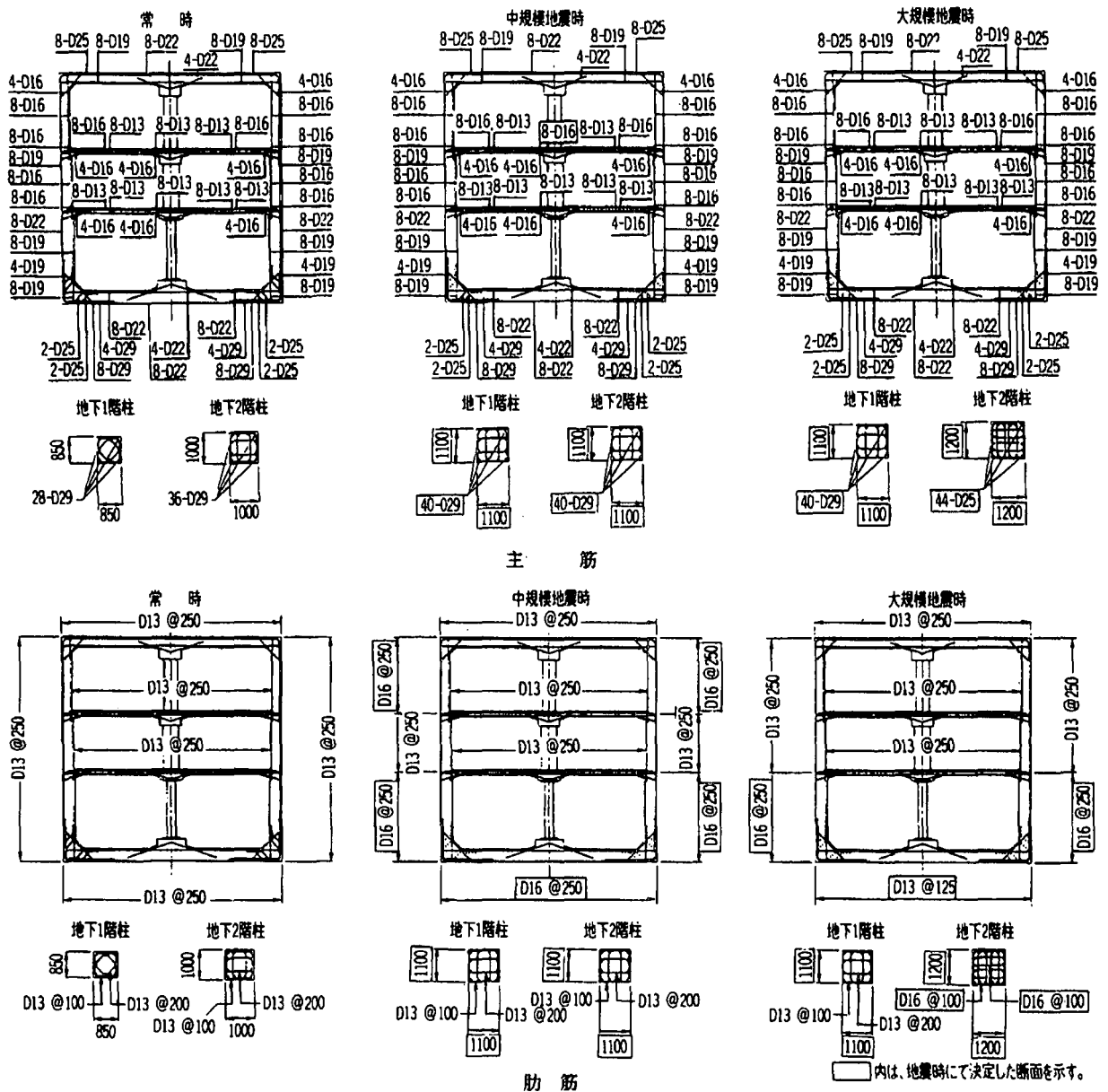


図-2.8.7 和田岬駅の耐震設計

立った。

インフラ構造物の主な被害の内容は、場所打ち杭・ケーソン基礎等の損傷、コンクリート橋脚の座屈破壊とこれによる桁の落下、地盤の側方流動や液状化等による基礎の移動及び傾斜とこれによる桁の落下や変形から軽微なものは支障の破損等多岐に渡っている。

また、インフラ外設備としては、車両基地（ポートライナー）の路盤不陸の他は、桁の上に敷設される軌道設備（案内軌条、走行路面舗装）・電気設備（電力ケーブル、通信ケーブル等）・車両（走行中の1列車）等ほとんどがインフラ構造物の被災に伴うものであった。

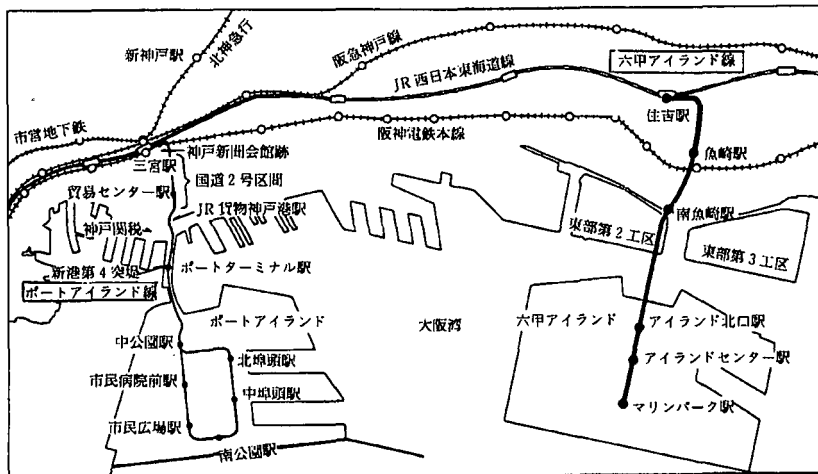


図-2.8.8 神戸新交通 路線図

2)緊急措置

両線の運営は第3セクターである神戸新交通(株)が行っているが、その基盤となるインフラ構造物は、道路法による道路、および港湾法による臨港道路(臨港交通施設)として整備されたものであり、それぞれ、道路管理者(国道は建設省、市道は神戸市)および港湾管理者(神戸市)の財産である。

従って、その復旧についても、それぞれの財産区分に応じて、インフラ部分は公共土木施設災害復旧事業として道路及び港湾管理者により、また、インフラ外部は鉄道軌道整備法等による災害復旧事業として神戸新交通(株)により進められた(図-2.8.10)。

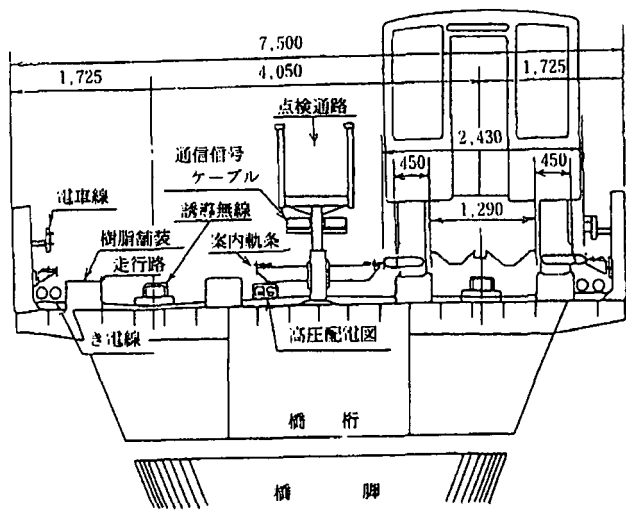
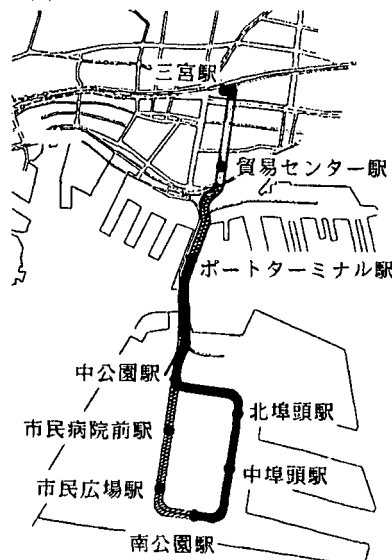


図-2.8.9 軌道標準図

- ・インフラ構造物
  - 国道 建設省
  - 市道 神戸市
  - 臨港道路 港湾管理者(神戸市)
- ・インフラ外設備 — 神戸新交通(株)

インフラ構造物の復旧にあたっての基本的な考え方は、建設省の復旧仕様(平成7年2月27日)の主旨を踏まえて行い、最新の設計基準(道路橋示方書等)に基づくことを基本とし、復旧工法は、学識経験者からの指導・助言をふまえ、運輸省・建設省と協議し最終決定を行った。

また、実施にあたっては、ポータルライナー・六甲ライナーとも都心と海上都市を結ぶ唯一の公共交通機関であり、島内の復旧・復興を促進させるためにも一刻も早い復旧を図ることを基本に進めた。したがって、原形復旧を基本に、被災した構造物は出来る限り再利用を図ることとし(可能な場合には今回の地震に対しても耐



- 国道(建設省)
- ▨ 市道(神戸市)
- 港湾管理者(神戸市)

図-2.8.10 復旧区分

えられるよう補強を行った)、被災しなかった構造物の耐震補強については開業後に行うこととした。

復旧にあたっては、早期開業を目指し、予定より約1ヵ月早く開業（ポートライナーH8年7月、六甲ライナーH8年8月）したが、鉄道としては最後の全線開通となった。しかし、市街地から臨港地区にまたがる複雑な環境を考えれば遜色のないものではなかろうか（港湾幹線道路H8年8月、阪神高速道路H8年9月全線開通）。

なお、震災時に被災しなかった構造物については、現在耐震補強を進めているところである。

### 3) 今後の課題

今回の被害のほとんどが、インフラ構造物の被害であり、インフラ外設備の被害はインフラ構造物の被災に伴う2次災害(被災)が多く、災害復旧の基本はインフラ構造物をいかに復旧できるかが鍵を握っている。

新交通システムは、一見単独の鉄道路線のように機能しているが、財産区分は前述のとおり橋梁や駅舎等のインフラ構造物は道路及び港湾管理者であり、案内軌条や電気通信施設等の軌道施設は軌道経営者(神戸新交通(株))であり、複数の管理者の複合体である。

新交通のインフラ構造物の管理については、原則的には財産区分で分かれているが、日常的な維持管理は道路または港湾管理者と神戸新交通(株)間の協定により神戸新交通(株)が行うこととなっていた。したがって、大規模災害に対する通常の復旧体制は整っておらず、今回の復旧に際しては各管理者において臨時に復旧体制を組む必要があった。

路線の延長に較べて被害の程度や被害の種類が多く、事業者間の調整や復旧のための検討・手続き等は複雑なものであったと思われる。今後の対応として、インフラ構造物の補強と共に緊急時の復旧体制を確保しておく必要があろう。

また、市街地と島内を結ぶ道路にも大きな被害をうけ、道路の復旧等による混雑が生じたが、島内の孤立化を避けるためにも複数のアクセスルートを確保する必要があろう。

## 2.8.3 市バス(神戸市営バス)

### 1) 被災及び復旧状況

バス車両の被害は、車両相互の接触や電柱の倒壊による損傷など約80両(総数662両)であった。また、営業所施設については、既成市街地東部で構内舗装や門扉等の被害が甚大であった。

一方、停留所等路線施設については、ほとんどの路線においてテント、標識柱、ベンチ等に被害を受けた。

電気、水道等のライフラインが途絶えた影響は大きく、例えば、給油は手動で行わざるを得なかった。また、市街地のバス路線においては、倒壊家屋やビル、電柱に阻まれてバスの走行が困難となった。

地震当日運行可能であった路線は郊外路線を中心に18路線(全数73路線)であった。部分区間の運転、路線の変形等を繰り返しながら、1月末には59路線が復旧した。全系統の運行再開は、5ヵ月目の6月22日であった。

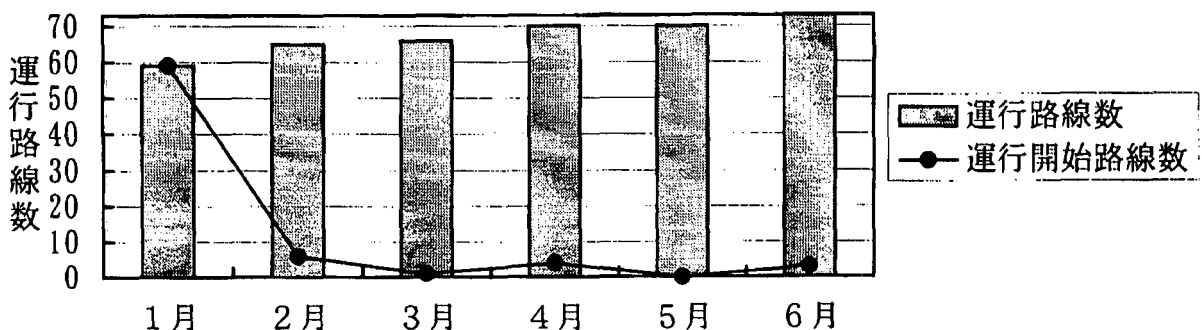


図-2.8.11 路線復旧状況

## 2) 今後の課題

バス路線の復旧は、道路網の復旧に大きく依存している。幹線道路の復旧が優先されたため比較的早期に復旧できた路線もあったが、変則運行の繰り返しであった。また、路線が再開されても幹線道路に集中する車のために渋滞し、通常運行までには相当の期間を要した。

今後は、バスの通行可能な道路ネットをより強化し、代替えルートの確保をすると共に、不要な自動車の走行規制等の方策の検討が必要であろう。



## 2.9 都市間交通

### 2.9.1 JR西日本

JR西日本における都市間交通はアーバン線区である大阪環状線を中心に放射線状に伸びた線区であり、これら線区を中心として各地方都市を結ぶ線区が連なっている。

阪神・淡路大震災におけるJR西日本管内の鉄道の被害は神戸市を中心として、地震発生時は約640kmに及び、2日後には約半分が復旧したが、山陽新幹線の被害が甚大であると共に、六甲道付近の高架橋の落橋等により、近畿圏から西における都市間輸送は壊滅的な状態が継続していた。

1月21日より山陽新幹線の姫路～博多間の運転増強に伴い在来線を利用して、播但線ルート(福知山線～和田山～播但線～姫路)で大阪から姫路まで開通させ、東西の輸送の確保ができたが、依然として不自由な交通事情であった(図-2.9.1)。

その後、東海道線、山陽線の在来線は、4月1日に全線開通を図るとともに、山陽新幹線もほぼ同時期の4月8日に開通し、近畿圏の輸送及び都市間の輸送の交通事情が飛躍的に向上した。

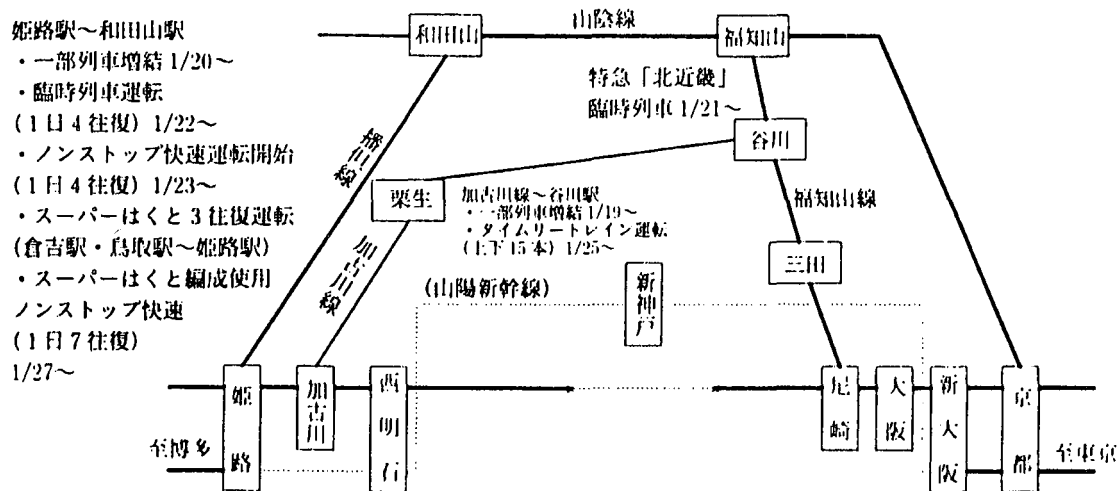


図-2.9.1 迂回ルート<sup>23)</sup>

#### 1) JR西日本の鉄道施設の被害状況<sup>23)、28)、30)</sup>

鉄道施設への影響は、震源地の震央から北東に伸びる六甲活断層系に沿って明石市から高槻市に及び、特に震度7の神戸市須磨区、長田区、中央区、灘区、東灘区、西宮市を中心として大きな被害が集中した。

在来線においては、高架橋、橋梁、盛土といった土木構造物に大きな被害が発生し、さらに、軌道構造、電気設備、機械設備にも甚大な被害を生じた。また、新幹線においては、主として高架橋に甚大な被害が発生した。

顕著な被害としては、山陽本線新長田駅付近の盛土崩壊、元町駅～三宮駅間の高架橋の破損、東海道線六甲道駅付近の高架橋の落橋、東海道線住吉駅～摂津本山駅間の盛土の崩壊、同屋敷駅の停車場設備の破損、及び山陽新幹線新大阪駅～六甲トンネル間の高架橋等の崩壊等の被害があげられるが、以下にその内容について述べる。

#### (1) 橋りょう・高架橋

今回の地震で最も被害を受けた構造物は高架橋・橋梁であり、山陽新幹線で8箇所、東海道線7箇所で落橋(図-2.9.2)したほか、鉄筋コンクリート製高架橋柱の損壊が多数発生した。また、落橋以外の橋梁では、新幹線32箇所、在来線15箇所において桁ズレが発生し、沓が損傷を受けた。沓の損傷状況は、下沓の一部(ツメ部)が損傷したもの、下沓の本体部分が損傷したもの等で、約500箇所の沓に被害を受けた。

被害の大きかった高架橋は、2線2柱式または1線1柱式の鉄筋コンクリートラーメン構造のものであり、被害パターンとしてはせん断による破損が崩壊した高架橋に多数確認されるとともに、比較的背の高い1層高架橋では曲げに起因する損傷が多く確認された。

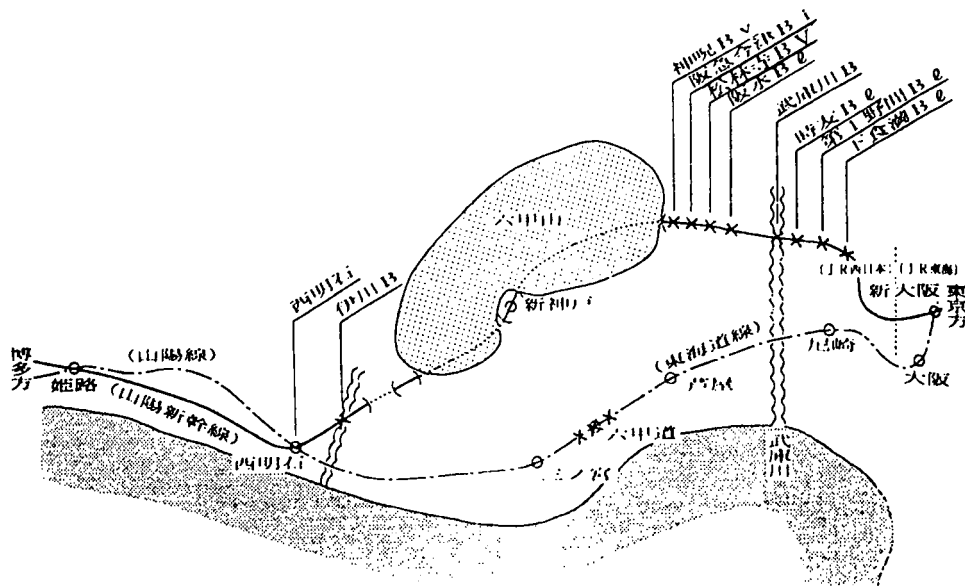


図-2.9.2 落橋箇所<sup>30)</sup>

## (2) トンネル

山岳トンネルの被害状況としては、山陽新幹線の六甲トンネルが主に被害を被ったが、覆工のひび割れや剥離・剥落程度の被害で、他の土木構造物の被害と比較して軽微であった。

## (3) 盛土・土留擁壁

土構造物、坑土圧構造物においても高架橋などのRC構造物と同様にかかなりの被害を生じた。これは、鉄道の土構造物の多くが明治、大正時代に建設されたものであり、激震地帯の神戸市街地においても土構造物が多かったことに起因する。また、今回の地震は山裾付近の段丘部での揺れが特に大きく、鉄道の殆どが六甲山地の山裾に沿って建設されており、特にゆれやすい箇所建設されたことも被害を拡大を助長させた一因となった。

特に今回の地震によって被害を受けた土構造物は、支持地盤が十分に強度を有する砂礫性扇状地地盤であり、軟弱地盤や液化化箇所ではなく、盛土のゆすり込み沈下とのり面防護工の自らの重量による滑落の破損に特徴がある。また、橋台やボックスなどの構造物の背面盛土は、従来から地震時の弱点箇所といわれており、今回の地震においても橋台等と盛土の接触面での拘束が弱いために橋台等背面部分が大きく動いたため盛土の変形を伴う沈下が発生した。

## (4) 停車場設備

東海道線及び山陽線の甲子園口駅～西明石駅までの殆どの駅で被害があり、中でもその程度が大きかったのは芦屋駅、住吉駅、六甲道駅、三宮駅、新長田駅である。

六甲道駅は、駅付近の高架橋が約2.2kmにわたって損壊し、駅本屋も高架橋の床版の下敷きになるという壊滅的被害を受けた。また、新長田駅は盛土崩壊により上下ホームが大きく損壊し、旅客上屋が盛土上の軌道面・桁式ホームと共に上下に大きく波打つ状態にあった。

## (5) 軌道設備

土木構造物の被害に付随して、盛土区間については路盤の沈下、移動等で軌道の高低狂い、通り狂い、道床肩の崩れ沈下等が発生し、高架橋等においては、高架橋床版の落下に伴うスラブ軌道の破損が著しかった。また、レールが梯子状態になった箇所が多かったため、レール継目のボルトの折損・開口も多数

見られた。

## (6) 電気設備

今回の地震で電車線路等の電路設備の被災が最も大きく、高架橋等土木構造物の被災に伴って、電柱、ビーム等支持物の損壊や電車線の断線等が広範囲にわたって発生し、信号機などの損壊も多数みられた。また、山陽新幹線六甲変電所は盛土部のひび割れや不等沈下により、架台や機器の傾斜およびがいしの破損により送電不能となった。

## 2) 復旧についての基本的考え方

被災した鉄道施設の復旧に際しては、地域の経済社会に極めて重要な役割を果たすものであることから、安全性に万全を期しつつ、一刻も早く復旧に努力することが社会の期待に応えることであった。そのため、運輸省の通達に基づき、検討委員会松本委員長所見、「阪神・淡路大震災に伴う鉄道復旧構造物の設計に関する特別仕様について」などを被災した構造物の復旧方策として、耐震性能を強化する復旧計画を作成し、運輸省の安全性の確認を受けて施工した。

今回の地震により被災した構造物の具体的な復旧計画のうち、主なものの概要を構造物ごとに以下に示す。

### (1) 高架橋の復旧

高架橋の床版や桁については、安全性を確認した上で可能なものについては再使用し、損壊にいたった柱は再構築を行ない、10cm間隔に帯鉄筋を配置し、その外側を鋼板で被覆した。

破損の軽微な柱は、破損部分の修復を行ない、クラックにはエポキシ樹脂等の注入による補強を施工した後、外側を鋼板で補強した。

なお、被害の程度により復旧方法は図-2.9.3のように柱の補強に用いる鋼板の厚さは6mmを基本として、コンクリートと鋼板の隙間は無収縮モルタルで充填した。

被災程度	破 壊	破 損	損 傷
被災のイメージ			
復旧の考え方	<p>部材の破壊部を新設する場合</p> <p>(被災前) (復旧)</p> <p>鋼板被覆 鋼板被覆 t=6mm t=6mm</p> <p>無収縮モルタル</p> <p>帯鉄筋増量 帯鉄筋増量 D13 etc 100mm D13 etc 100mm</p>	<p>破損しているが、破壊に至っていない部材を修復する場合</p> <p>破損部修復 無収縮モルタル</p> <p>鋼板被覆 鋼板被覆 t=6mm t=6mm</p>	<p>被災によるクラックを修復する場合</p> <p>エポキシ樹脂等注入</p> <p>鋼板被覆 鋼板被覆 t=6mm t=6mm</p>
主な適用線区	JR西日本 山陽新幹線 (新大阪駅～姫路駅間) JR西日本 東海道線 (日吉駅～蒲田駅間)	JR西日本 山陽新幹線 (新大阪駅～姫路駅間) JR西日本 東海道線 (日吉駅～蒲田駅間) JR東海 東海道新幹線 (京都駅～新大阪駅間)	JR西日本 山陽新幹線 (新大阪駅～姫路駅間) JR西日本 東海道線 (日吉駅～蒲田駅間) JR東海 東海道新幹線 (京都駅～新大阪駅間)

図-2.9.3 補強による高架橋の復旧方法<sup>23)</sup>

### (2) 橋脚の復旧

橋脚については、破損した橋脚を修復し、鉄筋コンクリートで外巻き補強(30cm厚)したうえで、厚さ9mmの鋼板で被覆した。

### (3) その他構造物の復旧

トンネルは、覆工の剥離・剥落箇所の損傷した部分を樹脂注入及び無収縮モルタル等で補修した上、ロックボルトの打設と炭素繊維シートの貼り付けにより覆工を修復した。

## 3) 震災後の対応策

### (1) 大規模地震を想定した強い鉄道の構築

#### A) 緊急対応における初動体制の構築

震災発生後、輸送機関と通信機関が壊滅状態となり、出勤不可能な社員がかなりの数にのぼるとともに、社員との連絡が困難な状況となり、各箇所における緊急対応が遅々として進まなかった。その教訓を生かすため、今後の対応策として震度5以上の地震に対しての社員の行動を定めた初動マニュアルを作成した。

上記初動マニュアルでは、地震の発生に伴い自動的に本社等に対策本部が設置され、社員の当社と同時に各自が指定された業務を実施することとなっている。

特A体制：近畿圏で震度5以上の地震

- 1 自分の安否を所属部・室に連絡
- 2 緊急出社

①指定を受けている社員・・・本社に出社

②指定を受けていない社員・・・極力、本社に出社

\*出社が困難な場合は、最寄りの現業機関に出社し、連絡

特B体制：近畿圏以外の当社エリアで震度5以上の地震

緊急出社

①指定を受けている社員・・・本社に出社

②指定を受けていない社員・・・自宅で待機

その外、被害状況の把握方法、被害の状況に応じた輸送計画の作成等日頃より訓練を実施して、緊急の対応に応じられる体制を確保できるように努めている。

#### 1) 情報網の整備

近畿圏の地震に対して、本社ビルの倒壊が発生した場合の対応として臨時に本社機能を代替える箇所として京都支社を指定し、災害等に必要な資料の確保を行っている。また、今回の地震の教訓として被災状況の情報収集の困難性を克服するため、連絡網の多重化及びNTT回線の活用など通信設備の拡充を計画すると共に、本社と京都支社および新大阪指令所との連絡がスムーズに進められるように、テレビ会議システムを導入した。

さらに、首都圏の地震に対して、新幹線の早期運行が可能になるように新幹線東京指令所の代替設備として新大阪駅付近に第2指令所を建設している。

#### ウ) 耐震補強対策の実施<sup>29)</sup>

被災箇所の復旧工事の終了にともない、被災しなかった他の構造物の耐震補強のため、運輸省鉄道施設耐震構造検討委員会「既存の鉄道構造物に係わる耐震補強の緊急措置について」の提言を踏まえ緊急耐震補強計画を策定した。

JR西日本では、都市間輸送の重要性等を考慮して山陽新幹線の耐震対策を優先的に平成7年度後半から概ね3年間かけて実施することとしている。また、在来線については、輸送量の多い線区を対象として概ね5年間で耐震対策を実施することとしている。

#### ① 運輸省からの指示内容

既存の鉄道構造物に関する耐震補強の概要は、平成7年3月31日に運輸省から示された「鉄道構造物の耐震性に係る当面の措置」による。

i)対象線区

JR西日本管内では、京阪神地区（新大阪～姫路）の新幹線、及びピーク1時間片道列車本数10本以上の在来線が対象である。なお、新幹線については上記以外の地域についても活断層の規模等を配慮して、山陽新幹線の岡山以西の活発な活動が確認されている活断層付近においても実施する。

ii)対象構造物

ラーメン高架橋、及びラーメン橋台（鉄筋コンクリート柱）について、せん断耐力に対する安全度が曲げモーメントに対する安全性より小さい柱（地震等の外力が作用した場合、柱にねばりがなくもろく破壊してしまう柱）をじん性対策の対象構造物とする。ただし、高架下においては間仕切り壁等の設置により耐震効果のある構造物となっているもの、およびせん断耐力が曲げより小さい柱であっても、大規模な地震に十分耐えうる構造物となっているものについては対象外とする。

また、橋梁、高架橋のうち、落橋防止工の設置されていない構造物を対象に落橋対策を実施する。

②JR西日本の対策

JR西日本における耐震補強対策は、基本的には運輸省の指示内容により、実施計画を策定したが、新幹線の姫路～岡山間については適用した設計基準、施工時期が同一であることから、新大阪～姫路間と同様にじん性対策を実施すると共に新幹線の落橋対策は全線にわたって実施することとした(表-2.9.1参照)。

表-2.9.1 既存の鉄道構造物の緊急耐震補強計画

区 分	緊急耐震補強の実施期間	緊急耐震補強の対象構造物	
		ラーメン高架橋・橋台の鉄筋コンクリート柱	落橋防止工
新 幹 線	概ね 3年	約 15 千本	約 2 千連
在 来 線	概ね 5年	約 1 千本	約 2 千連

i)じん性対策工法

対策方法としては、基本的には震災工事で実績のある鋼板による柱補強を実施しているが、高架下利用箇所においては施工上の問題から、炭素繊維シート巻き、アラミド繊維シート巻き、FRP吹き付け、高張力筋+吹き付け等の新工法についても導入することを検討している。

ii)落橋対策工法

落橋対策として、線路方向は桁座の拡幅や桁連結工（桁と下部構造、あるいは桁相互間）を行ない、線路直角方法には、コンクリートあるいは鋼製のサイドブロックを設置して、桁の移動防止や落下させない防護工を施工した。なお、設計の基本的な考え方については、「支承部の耐震補強設計の手引き（平成8年3月）（財）鉄道総合技術研究所」による。

I)山陽新幹線への「ユレダス(UrEDAS)」の導入<sup>31)</sup>

①これまでの地震対策

山陽新幹線の沿線には約20km間隔に地震計が設置されており、この地震計が40ガル以上の地振動を感知すれば地震計が受け持つ区間のき電が停止して、この区間を走行する新幹線に非常制動がかかるシステムになっている。しかし、設置されている地震計が新幹線と接近しているために、主要動（S波）を感知して非常制動が作動するまでの時間が十分に確保されない問題点がある。

鉄道事業者として、地震時に最も大切なことは、地震動をいち早く感知して列車をすみやかに減速させ、停止させることと、他の列車に極力影響を与えないために必要な箇所にのみ警報を発することである。以上の目的を達成させるため対策を検討してきた。

### ②ユレダスシステムの概要

ユレダスとは、早期地震検知警報システム(Urgent Earthquake Detection and Alarm System:UrEDAS)の英文の頭文字を取って名付けられたもので、(財)鉄道総合技術研究所によって開発されたシステムである。

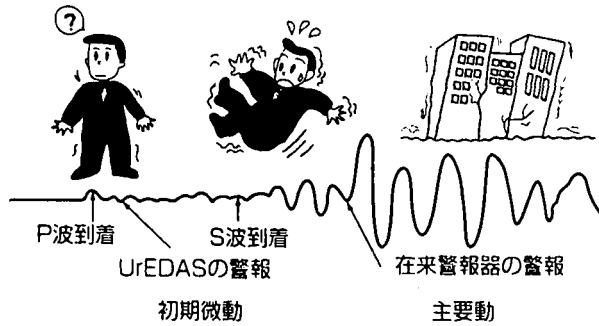


図-2.9.4 ユレダスの概要

このシステムは、図-2.9.4に示すように地震計の設置されている検知点で基礎地盤を伝わって速度の早い初期微動(P波:V=8km/s)を検知して、約4秒で地震の規模(マグニチュード)、震源地の位置、深さを推定して、鉄道に被害を及ぼす可能性のある地震に対して警報を發し、速度は遅いが構造物に被害をおよぼすとされる主要動(S波:V=4km/s)が線路に到達するまでの余裕時間を確保して、列車を停止あるいは減速させるシステムである。

### ③JR西日本のユレダスの構成

山陽新幹線の新たな地震対策としてユレダスシステムの導入が決定され、平成6年度から検知点設置の工事が開始され、平成7年4月には、JR東海がすでに設置している3検知点(舞鶴、金剛山、新宮)を利用して暫定ユレダスを新大阪～姫路間に導入し、当社5検知点(鳥取、浜田、高知、福岡、延岡)の完成を期に山陽新幹線全線に導入した。

ユレダスの構成は、図-2.9.5に示すようになっており、地震を検知した場合危険と判断した変電所に対して送電をストップさせる命令を出すとともに、その情報を新幹線の運行を総括する東京指令所に伝達する機能を有する。また、東京司令所には、各検知点で検知した地震情報を総合的に判断するユレダスセンターとシステム全体を監視し、電話回線の異常や警報を發した検知点、送電がストップしている変電所を表示するサイレンセンターが設置されている。

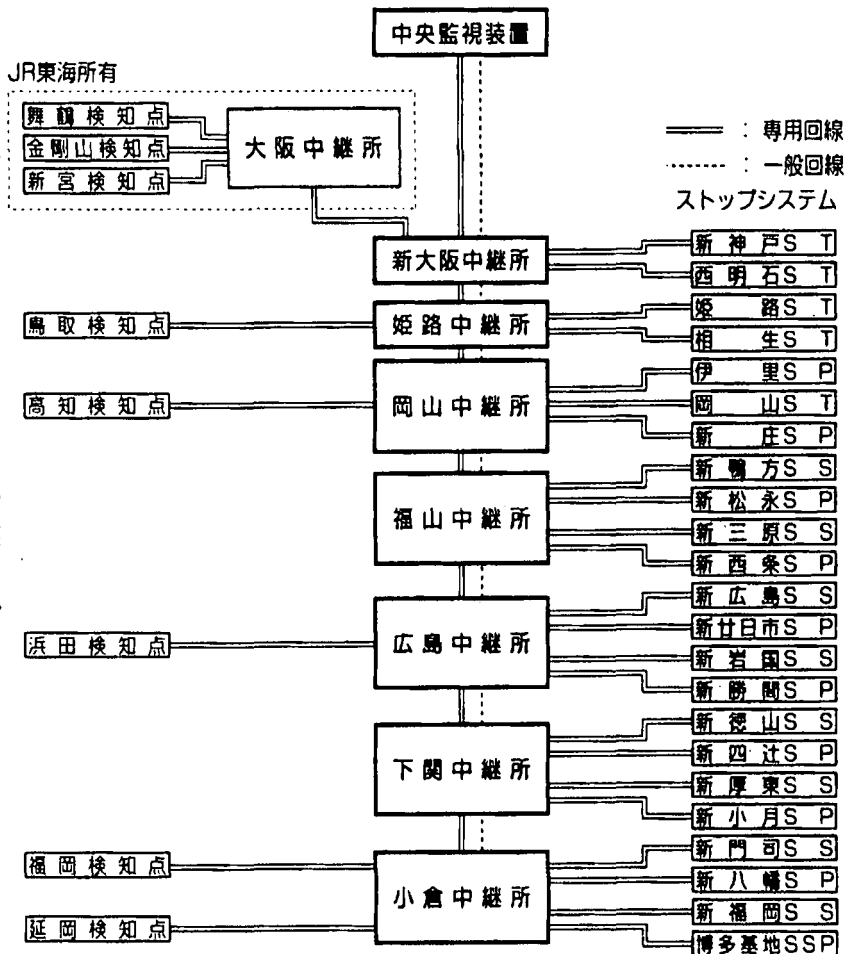


図-2.9.5 ユレダスの構成

#### ④ユレダスによる運転規制方法

過去の地震と構造物被害の関係を(財)鉄道総合技術研究所が調査、解析の結果から、マグニチュード(M)の大きさと震源地を中心とした被害範囲が明確になっている。

これらの解析結果から、各検知点で検知した地震の危険と判断した変電所に警報を発して新幹線の運転規制を実施するようになってきている。

ユレダスの導入によって、比較的遠方で発生する地震に対しては、従来から実施されている新幹線沿線の地震計による運転規制に比較して、より早く運転規制をかけることが可能となった。

#### オ) 在来線地震情報早期伝達システムの導入

阪神・淡路大震災の際、神戸市を中心として走行中の列車が脱線するという被害が発生した。幸いにもお客様の死傷者は出ていないが、地震発生を乗務員に迅速に知らせ、列車を速やかに停止させ、乗客の安全を確保することの重要性が改めて認識された。

そのため、運輸省において「在来線の地震情報早期伝達システム検討会」が設置され、それに基づきJR西日本において、地震発生時に無線を利用して自動的に地震情報を列車乗務員に伝達する「在来線地震情報早期伝達システム」を構築し、乗務員に地震情報を迅速かつ確実に伝達して、列車を緊急停止させるシステムの導入を計画している。

#### ①システムの概要

システムの概略は、図-2.9.6のとおりであり、列車の密度及び活断層等を考慮して導入対象範囲をアーバン線区を基本とした。

情報の伝達システムとして地震計が250ガル以上を感知した場合、防護無線基地局から停止信号現示の防護無線を発報する。また、地震計が40ガル以上を感知した場合には、新大阪指令所の自動伝達装置から当該地震計の受け持ち範囲内の列車に対して地震情報を列車無線により放送する。

地震情報は、従来から在来線に設置されている地震計(概ね40km間隔で設置)を活用するとともに、現在新幹線に導入されているユレダスの地震情報を活用する事も検討している。

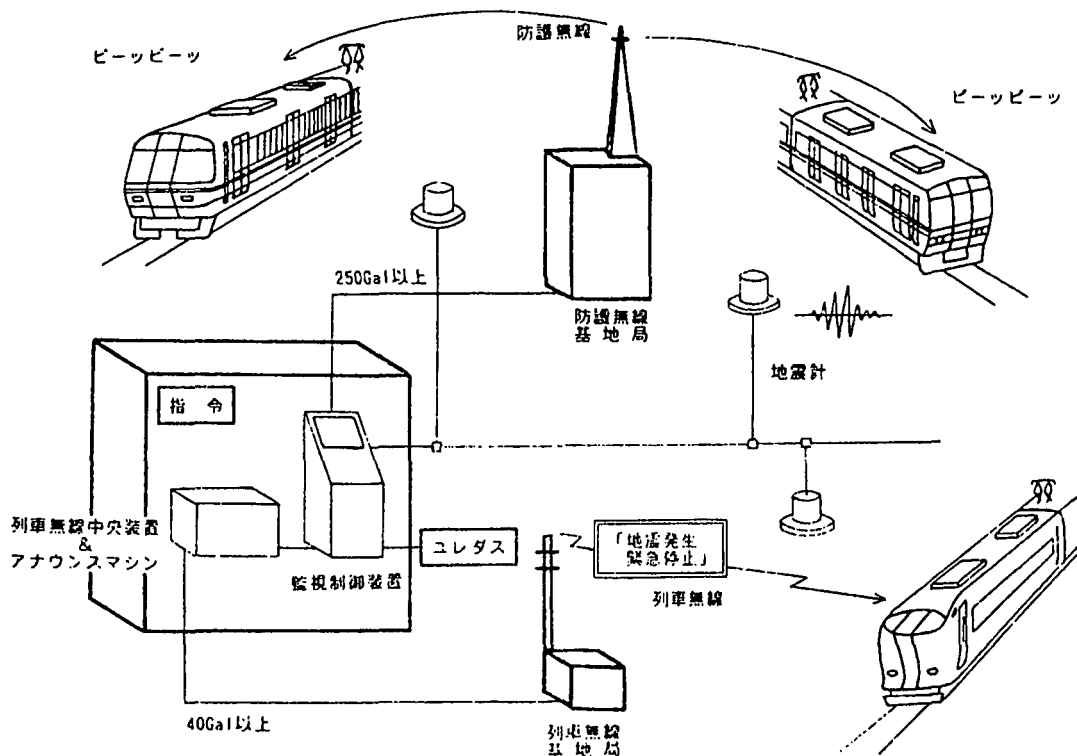


図-2.9.6 在来線地震情報伝達システムの概要

## ②当面の導入計画

導入にあつたては、トンネル等の防護無線、列車無線の受信不可能な箇所対策が必要であり、防護無線発報基地局、トンネル対策、列車無線中央装置の改修など随時完成した箇所からの導入を計画している。

### (2) 新しい耐震設計基準のあり方<sup>13)</sup>

阪神・淡路大震災により鉄道構造物や新幹線の高架橋などの甚大な被害を被り、耐震構造のあり方について見直しの必要性を認識させる結果となった。

地震発生直後に運輸省に設置された鉄道施設耐震構造検討委員会は、鉄道構造物の復旧の技術指導および被害原因の究明等に精力的な活動を続けてきた。また、土木学会においても「土木構造物の耐震基準等に関する提言」が、平成7年5月に1次提言、平成8年1月に2次提言としてまとめられ、これらの検討結果を踏まえて、検討委員会において「新しい耐震設計基準のあり方に関する基本的考え方」が取りまとめられた。

### (ア) 耐震設計において想定する地震力

阪神・淡路大震災の経験に基づき、内陸活断層に起因する断層近傍の地震動の影響を耐震設計に考慮することが必要であり、土木構造物の耐震設計では原則として次の2段階の地震動を考慮する。

① 構造物の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地震動強さ

② 陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震や内陸型地震による地震動のように共用期間中に発生する確率が低い大規模な地震動強さ

この概念はそれぞれ、レベル1地震動（以下L1地震動）、レベル2地震動（以下L2地震動）として、基本的な考え方は、現行の橋梁等の耐震設計の一部でも考慮されている。

### (イ) 鉄道構造物に求められる耐震性能

鉄道構造物の耐震設計において、構造物が崩壊しないことを基本として、構造物の重要度に応じた耐震性能をさだめ付加することとなる。

#### ① L1地震動に対する耐震性能

補修せずに機能が保持できることを原則とする。このため、地震動の応答が弾性限界を超えないものとする。

#### ② L2地震動に対する耐震性能

重要な構造物は、被害の低減を図るため、許容される塑性変形もしくは許容される耐力の限界を越えないように設計する。それ以外の構造物は、構造物全体系が崩壊しないように、終局変形もしくは終局耐力を超えないように設計する。

### ウ) 耐震設計法適用の基本的考え方

#### ① L1地震動に対する耐震設計

構造物は弾性として扱い、設計法は震度法を用いてよい。しかし、規模の大きい構造物あるいは複雑な形状を有する構造物は、線形応答スペクトルや時刻歴波形を用いた動的解析を行なうことが望ましい。

#### ② L2地震動に対する耐震設計

構造物の非線形性を評価して耐震設計を行なうこととなる。従って、構造物の終局耐力や終局変形性能を精度よく算定する必要がある。

#### ③ 地盤の評価

構造物の耐震設計にあたり注意を要する主な地盤としては次のものがあげられ、これに対する検討方法



を述べる。

#### i) 不整形地盤

過去の地震被害の解析を通して、地震動の増幅特性などを把握する。

#### ii) 液状化地盤

地盤の液状化の発生が地盤改良などにより防止できる場合にはその方策を講じ、それが困難な場合は、基礎の過大な変位等に対して大きな災害を避けるよう上部構造を含む全体的な工夫が必要である。

#### iii) 軟弱粘性土地盤

大きな変位を生ずる可能性のある地盤の基礎については、これを考慮した耐震設計法も検討する必要がある。

### 4) 将来に向けての問題点と課題

阪神・淡路大震災の鉄道構造物の被害は、地震に対する自然の驚異と人間の弱さを如実に表した災害であり、特に関西圏に住む人々にとっては、経験し得ないと想定された地震災害でありその対応策も不十分な状態であった。

今回の地震以後、数多くの対応策が検討され、実施された対策あるいは実施される対策によって鉄道構造物の被害は軽減されるであろう。しかしながら、それらの対策が十分であるとは言えず将来に向けての問題点等と課題について以下に述べる。

#### (1) 津波対策

今回の地震では内陸型地震であるために津波等の被害が発生することはなかった。しかし、今後発生する可能性のある南海地震等のプレート型地震の被害は、地震動による直接被害のほか2次被害としての津波被害に対しても対応を取る必要がある。

津波被害に対して鉄道構造物を直接防護することは、対象箇所が多さと強靱な防護設備を必要とすることなどを考慮すれば一鉄道事業者としての対応は不可能に近い。そのため、津波対策はソフト面による運転規制を主体として、危険箇所への列車進入回避、危険箇所からの列車待避、お客様の安全箇所への誘導等を随時実施している。図-2.9.7に現在、JR西日本において暫定的に実施している「津波警報発令時の運転規制の実施フロー」を示す。

また、運転規制における危険箇所の精度を向上するために、発生する可能性のある地震後の津波の発生状況をシュミレートして、海岸線に敷設されている鉄道構造物の被害予測を行なっている。

#### (2) 構造物管理データの整備

被災した構造物の復旧にあたり、新幹線構造物は新しく作られた構造物であることから設計計算書等の資料がそろえられており、活用がなされたが、在来線の古い構造物については必要な資料が全くない状態のため手探りの状態からの復旧計画を策定しなければならなかった。また、必要な資料を見付け出すためには、資料が分散していたため多くの時間を費やすこととなった。

大規模な災害等が発生しない場合は現状の資料管理で対応できるが、震災のような広範囲における被災に対しての復旧計画を策定するに際しては、迅速の現状把握を行なうための資料の収集が重要である。

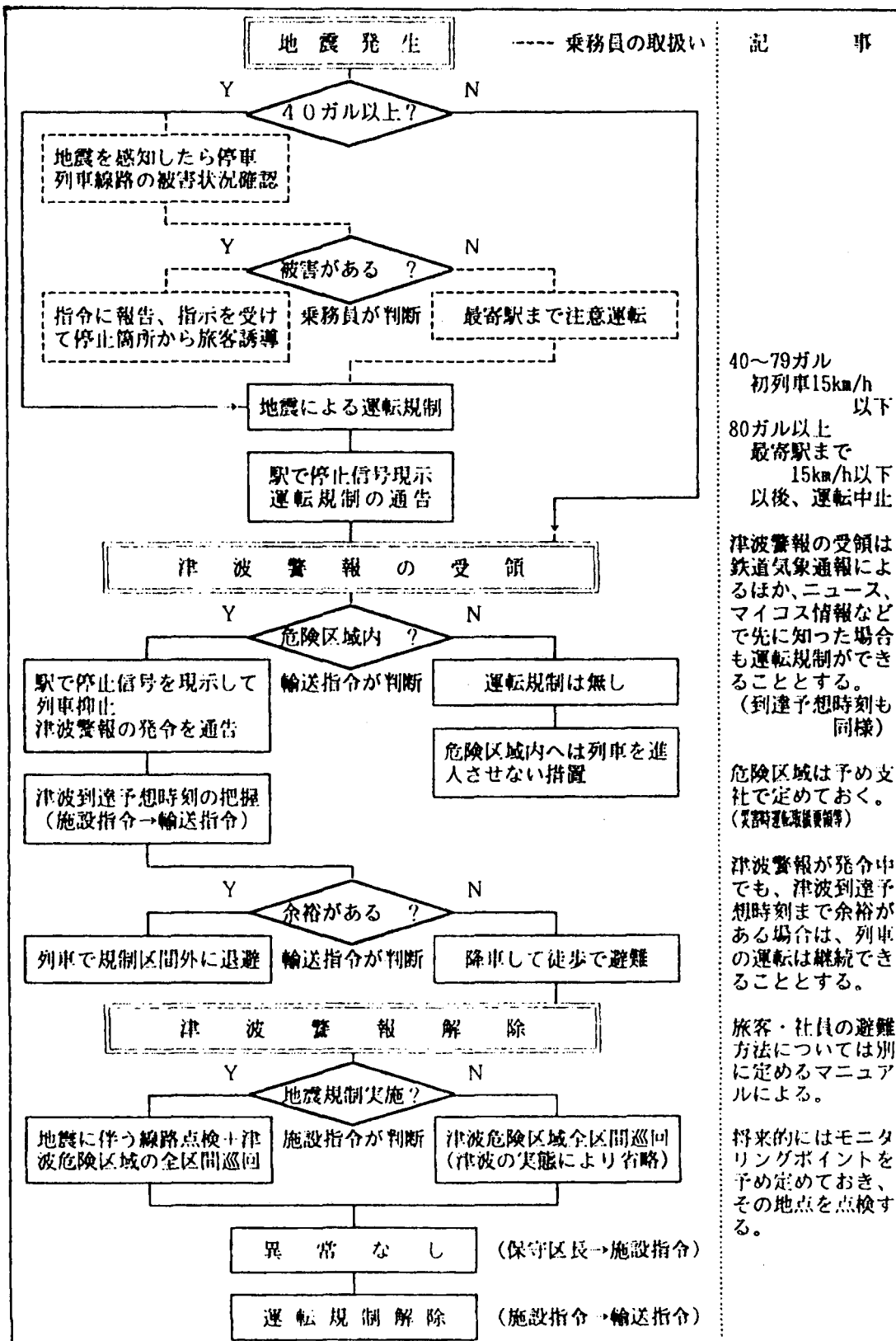


図-2.9.7 津波警報発令時の運転規制の実施フロー

## 参考文献

- 1) 高田至郎:GISによる神戸市水道配水管の被災特性分析、神戸大学・兵庫県南部地震学術調査団「被災メカニズム解析と復興に関する論文シリーズ、Vol.5(1996)Ser.No.5.
- 2) (財)水道技術研究センター:阪神・淡路大震災と水道(被害状況・総括・復旧工法・水運用など)、技術レポート No.26、1997年3月.
- 3) (社)日本水道協会:1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析、1996年5月.
- 4) 神戸市水道局:阪神・淡路大震災 水道復旧の記録 1996年2月.
- 5) 小倉晉:水道の被害状況と復旧活動、都市政策、第83号、1996年4月.
- 6) 厚生省監修:水道の耐震化計画策定指針(案)、1997年1月.
- 7) 神戸市水道局:神戸市水道施設耐震化基本計画、1995年7月.
- 8) (社)日本水道協会:水道施設耐震工法指針・解説1997年版、1997年3月.
- 9) 神戸市下水道局:阪神・淡路大震災における下水道復旧の記録、平成7年7月.
- 10) 下水道地震対策技術調査検討委員会:下水道の地震対策についての最終提言、平成8年8月30日.
- 11) (社)日本下水道協会:下水道施設の耐震対策指針と解説 —1997版—
- 12) 資源エネルギー庁監修:ガス地震対策検討会編:ガス地震対策検討会報告書、1996年1月.
- 13) 関西ライフライン研究会:ライフライン地震防災シンポジウム 阪神・淡路大震災に学ぶ、1997年6月.
- 14) 大阪ガス(株):大阪ガスの地震対策 地震対策5ヶ年計画、1996年.
- 15) 大阪ガス(株):GAS NEWS、No.225、pp.3-9、1997年1月.
- 16) 資源エネルギー庁編:地震に強い電気設備のために、1996.3.
- 17) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会:阪神・淡路大震災調査報告—土木構造物の被害 橋梁—、(社)土木学会、1996.12.
- 18) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会:兵庫県南部地震より被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説(案)、平成7年2月.
- 19) 「兵庫県南部地震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)、(社)日本道路協会、平成7年6月.
- 20) 阪神高速道路公団:大震災を乗り越えて—震災復旧工事誌—、阪神高速道路管理技術センター、1997.9.
- 21) 道路橋示方書・同解説V耐震設計編、(社)日本道路協会、平成8年12月.
- 22) 「道路橋」に関する地区講習会(講義要旨)、(社)日本道路協会、平成8年12月.
- 23) 運輸省鉄道局監修、阪神・淡路大震災鉄道復旧記録編集委員会編:よみがえる鉄道、山海堂、1996年5月.
- 24) 佐俣千載:阪神・淡路大震災による神戸市域の地下構造物の被害について、公営事業研究第48巻、第3号、1997.3.
- 25) 田尻勝・佐俣千載他:地震応答解析による地下鉄駅舎の被災メカニズムの考察、阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集、土木学会、1996.1.
- 26) 田尻勝・佐俣千載他:地下鉄駅舎の被害に関する一考察、阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集、土木学会、1996.1.
- 27) 宮崎辰夫・藤本正彦:神戸市営地下鉄海岸線の建設計画、土木技術52巻1号、1997.1.
- 28) (財)鉄道総合研究所:兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書鉄道総研報告、特別第4号、1996年4月.
- 29) 鉄道施設耐震構造検討委員会:兵庫県南部地震による鉄道施設の被害に関する調査(中間報告)、1996年8月.
- 30) 西日本旅客鉄道(株):阪神・淡路大震災鉄道復旧記録誌、1996年1月.
- 31) (社)日本鉄道施設協会:日本鉄道施設協会誌、1996年6月.