

## 6章 ライフライン分科会報告

### 6.1 ライフライン分科会の調査研究の概要

京都大学(分科会委員長)・亀田 弘行

現代の都市は、ライフラインシステムへ高度に依存することによって活動が成立している。兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災のもとで、ライフライン系の被害は広範に及び、地震発生直後の緊急対応と、地震後の市民生活・産業活動の両面に大きな影響を与えた。最近の20年余の間に芽生え、発達してきたライフライン地震工学は、i)個々の施設の耐震強化、ii)冗長性があるネットワーク構成、iii)緊急時の自動制御の手段による防護、およびiv)発災後の復旧戦略を適切に組み合わせることにより、独自の地震防災対策を形成してきたが、これらの成果がすべてテストを受けることになった。

ライフライン分科会では、被害の徹底的検証を行うこと、将来への教訓を十分にくみ取することを目的として、調査活動を行っている。供給処理系（電力・上下水道・ガス）、通信系、交通系（鉄道・道路）のライフライン施設を対象とし、それぞれの事業者と大学の研究者を中心として委員会を構成している。

本分科会の調査課題は主として次の3つに分類される。

1. 個々のライフラインの震災時の挙動と震後復旧過程の問題点
2. ライフライン系の間被害波及(カスケード効果)と相互連関
3. ライフラインの機能障害が需要者の生活や社会活動に与えた影響

課題1については、分科会の会合において各ライフライン事業者から話題提供を受け、それをもとにとりまとめを行う。課題2については、分科会での討論からシステム間の相互の関連をできる限り抽出し、体系的な問題整理と実態の解明を行う。課題3については、土木学会関西支部会員へのアンケート調査により生活への影響の実態を把握するとともに、物流・人流などの社会活動への影響を調査する。

平成8年7月までに、各ライフライン事業者から順次話題提供を頂くことをほぼ終了し、被害波及と相互連関の問題に討議を進めたところである。また、アンケート調査は、地盤・基礎分科会、ライフライン分科会、復旧・復興分科会の合同で、第1回を平成7年秋に実施し、現在第2回を準備中である。阪神・淡路大震災に関しては多くの調査活動が行われており、土木学会の本部でも、複数の学協会合同で総合報告書編纂の活動が進んでいる。そこでは個々の被害の克明な調査が行われると考えられる。一方、関西支部の調査委員会では、関西における活動によってはじめて可能な調査事項、関西から発信すべき教訓などを内容として、特徴ある成果とすること、その結果が全国レベルで役立つとともに、支部会員への適切な還元となることが目標とされている。ライフライン分科会としては、システム間の相互連関の検討や、支部会員へのアンケートなどが、こうした方針に沿う活動になると考えている。

本報告では、これらの検討における中間報告を行うものであるが、紙数と時間の関係から、多種多様なライフラインのすべてを必ずしも網羅していないことをご容赦頂きたい。

## 6.2 上水道配水管路の被災分析

神戸大学 高田至郎, 前田俊宏

過去の地震被害の教訓から、ライフライン施設の被害は周辺地盤の挙動が大きな要因となることが知られている。兵庫県南部地震においてライフライン施設の被害が著しい地域として、液状化した臨海部・埋立地・人工島や活断層周辺や地質の変化部などの地域が挙げられる。これらの地域における被害は非常に大規模であり、ライフラインの今後の耐震性の向上のために、被災状況を詳細に分析し、被災メカニズムを明らかにする必要がある。

本研究では兵庫県南部地震により被災した上水道配水管路について、活断層による影響、震災の帯にあたる部分での被災状況、液状化地域における地盤ひずみの影響について被災分析を行う。

### 6.2.1 活断層と上水道配水管被害の関連

家屋の被災分布については、既存の活断層の南側に活断層とほぼ並行に分布していることが知られており、いわゆる”震災の帯”を形成している。”震災の帯”は、既存の活断層と何らかの関係があるのではないかという見解が強い。配水管被害についても同様の傾向が見られる。ここでは、活断層による配水管被害への影響について分析を行う。

図6.2.1に渦ヶ森断層からの距離(km)と配水管の被害形態別被害率(箇所/km)との関係を示す。図6.2.1より断層付近で被害率が最も高くなっていることがわかる。その後被害率が減少しており、周辺の配水管被害が渦ヶ森断層の影響を強く受けていることが示される。さらに、断層からの距離が0.4km付近から全体被害率が上昇している。この領域は、被害が特に集中している石屋川周辺地域にあたる。この地域の地質・地形的特色としては、石屋川周辺の典型的な天井川地形であり、周辺地盤との落差が大きく、傾斜が急であり、比較的軟弱な地質が複雑に入り組んでいることが挙げられる。この地域においては、全体被害率の増加に伴い、管体被害率が増加していることから、地盤変状により管体被害が多発したと思われる。また、断層からの距離が0.6kmを越える付近から再び全体被害率が増加し、被害率の高い状態が続いている。この地域は建物被害の広がる震度7地域にあたり、地震動の増幅現象が生じたと考えられる。

被害形態別に見ると、管体被害率は断層に近いほど大きく、継手被害率は全体被害率と同じような変化傾向を示している。しかし、属具被害に関しては、断層距離に関係なくほぼ一定の被害率を示しており、属具被害の断層による影響は小さいと思われる。

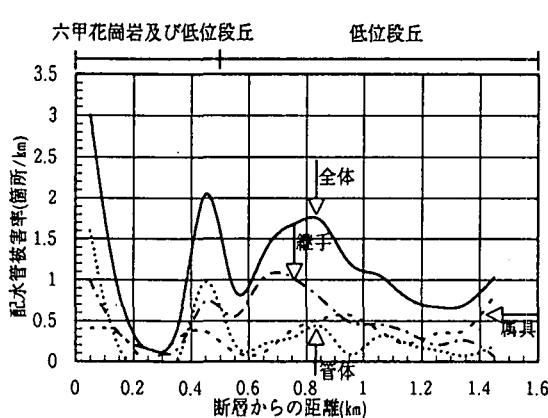


図6.2.1：渦ヶ森断層からの距離と配水管被害率

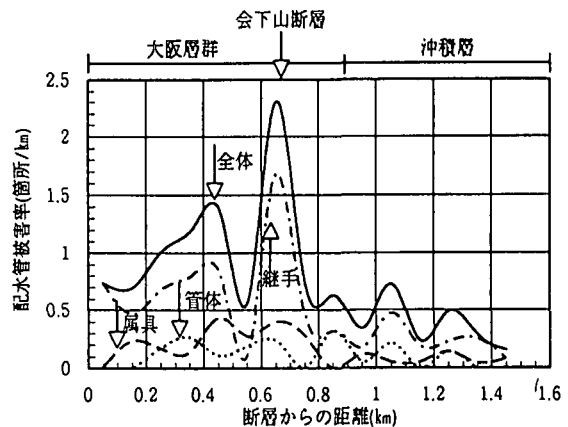


図6.2.2：長田断層からの距離と配水管被害率

図6.2.2に長田断層からの距離(km)と配水管の被害形態別被害率(箇所km)との関係を示す。長田断層から450mにかけての大阪層群において被害が多発している。また、断層から650m付近の会下山断層周辺において全体被害率が最も高くなっている。それ以遠は、被害率が減少していることから、この周辺の配水管被害も断層の影響を強く受けたものと考えられる。とくに会下山断層沿いに被害が集中していることから、会下山断層による影響が大きいと考えられる。また、被害形態別にみると継手被害が大半を占めており、管体被害はそれほど見られない。前述の渦ヶ森断層においては管体被害が多くみられたことから、長田、渦ヶ森の両断層付近において被災メカニズムの違いが示される。長田断層と会下山断層に挟まれたこの地域では、堆積年代の異なる大阪層群が複雑に入り組んでおり、また大きく傾斜しているため、表層土塊の側方移動が生じたと考えられる。渦ヶ森断層付近では、地盤が比較的軟弱な沖積層や人工造成地であるのに対し、大阪層群ではそれらに比べ、地盤の堆積年代も古く硬化している。そのため会下山断層付近では、渦ヶ森断層付近ほど管体が破壊されるような激しい地盤変状は生じなかったと考えられ、このような被害形態の差が生じたものと考えられる。

また、この地域には大阪層群とともに中位段丘も分布している。しかし、多くの被害は堆積年代が古い大阪層群で発生しており、これは、大阪層群において堆積年代の異なる地質が複雑に入り組んでいることが要因である。また、断層からの距離が1kmを越える付近において、再び全体被害率が上昇している。この周辺は、地質が沖積層であり建物全壊被害の広がる震度7地域にあたることから、先の理由より被害率が上昇したものと考えられる。さらに、被害形態別にみると、継手被害率は全体被害率と同様な変化を示しているが、管体、属具の被害率に関しては、全体被害率に対し同様の傾向は見られず、会下山断層周辺の複雑な地質の影響により、継手部に被害を生じることが知られた。

## 6.2.2 地震動と上水道配水管被害の関連

地震動と配水管被害の関連を考察するにあたり、ここでは神戸大学工学部耐震工学研究室において実施された兵庫県南部地震に関するアンケート調査結果を用いる。本アンケート調査は、神戸市をはじめとする兵庫県の6つの市と淡路島を対象に実施されたものであり、これまでに、神戸市の東灘区、灘区、中央区、兵庫区、長田区、須磨区、垂水区における町丁目別のアンケート震度が集計されている。アンケート震度は、気象庁震度階よりも細かな地域の影響を反映しているものと考えられており、より詳細な地域分析が可能であるといえる。

図6.2.3に今回対象とした地域における町丁目別アンケート震度分布図を示し、また、上水道配水管被害率を町丁目別に集計したものを図6.2.4に示す。ここでは、アンケート震度を気象庁震度階に変換したものを使用している。図6.2.3、図6.2.4より気象庁震度階が6以上となっている地域では、概ね配水管被害率も高いことがわかる。しかし図6.2.4より、配水管被害率の高い地域は、いわゆる”震災の帯”として表現される震度7の分布とは異なった地域においても分布しており、配水管被害率の分布には局所的に被害率の高いところが多くみられる。これは、震度の分布などに比べて、配水管被害の分布が非常に局所的に出現するものであることを意味しており、これらの局所的な分布をもつ理由として、地盤条件や管路構造の影響がうかがえる。このことから、地震動の強さによる被害状況の把握だけでなく、地盤条件などへの考慮を各地域に対して行うことの必要性が再認識される。

しかし、概ね配水管被害率と震度には正の相関が見られる。図6.2.5にアンケート震度より算出した震度階と配水管被害率の関連を過去の地震における被害率<sup>1)</sup>と比較して示す。

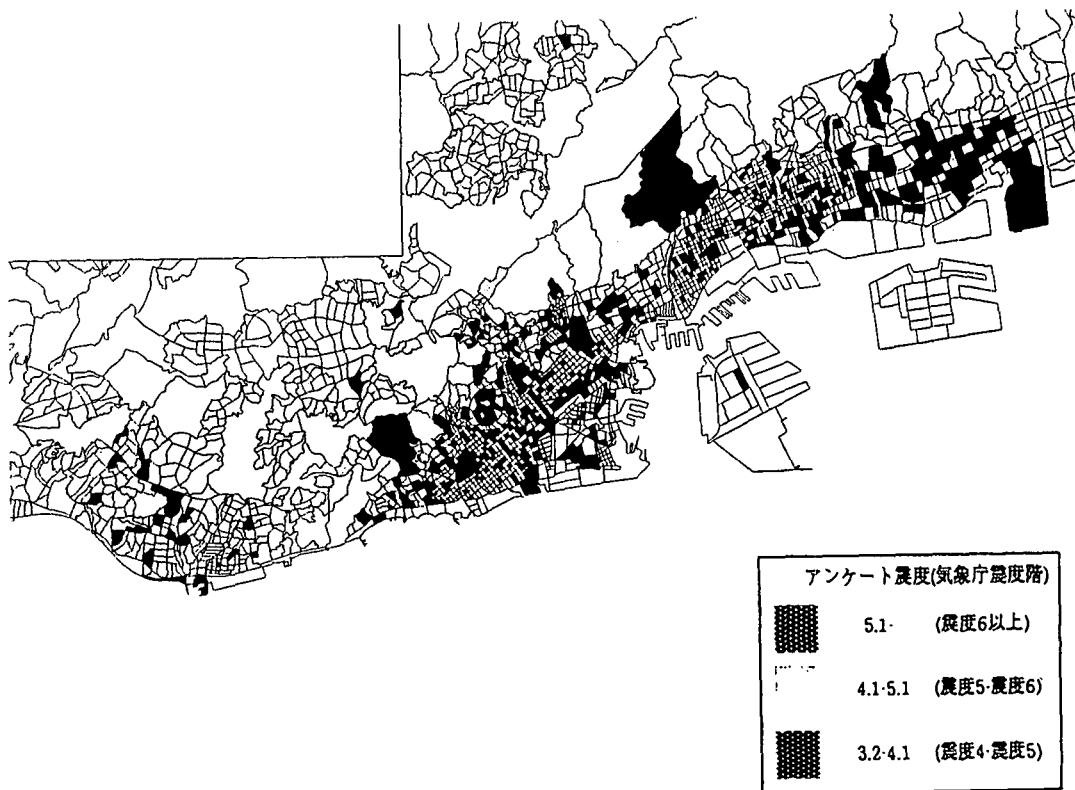


図6.2.3 : 町丁目別アンケート震度分布(気象庁震度階へ変換)

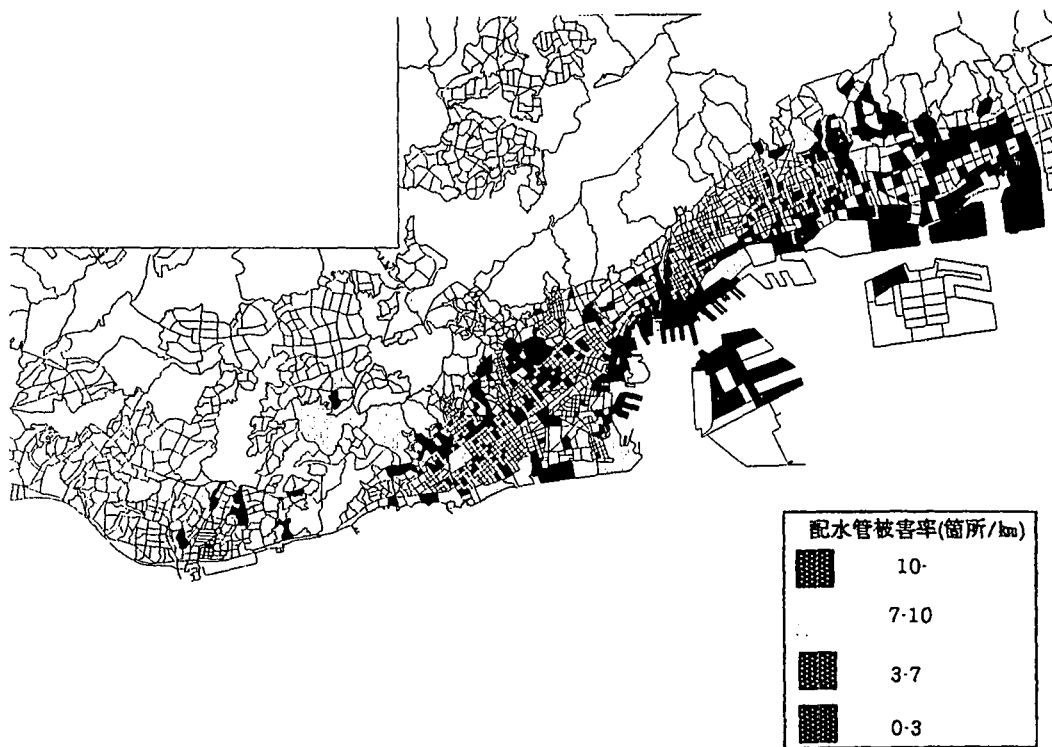


図6.2.4 : 町丁目別配水管被害率分布

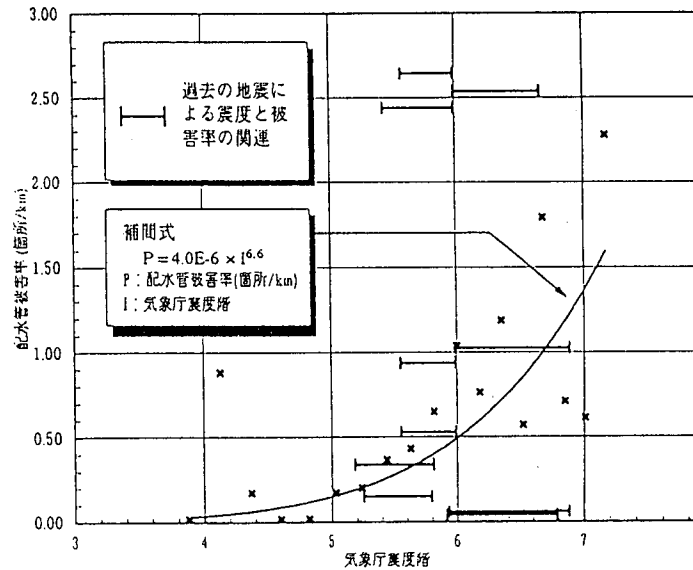


図6.2.5 : アンケート震度と配水管被害率

図6.2.5より、震度の増加に伴い配水管の被害率も増加する傾向が見られる。このことから、個別に分析すると地質や地形などの地盤状況の影響の非常に大きな配水管被害であるが、全体的には震度の増加により被害率の増加する傾向のあることが示された。このことから、配水管被害の評価手法として従来よく行われている、震度や加速度などの地震動に関する情報からの評価に並行して、個別の地域における地盤条件や断層などの影響を考慮することが必要であるといえる。

### 6.2.3 液状化による地盤ひずみと上水道配水管被害の関連

本地震においても、液状化地域における配水管被害は非常に多く見られた。とくにポートアイランドを中心とする人工島においては、その傾向は顕著なことが知られる。ここでは、形状補間法を用いてポートアイランドの表層地盤のひずみ分布を推定し、配水管被害との関連について分析する。今回の解析では、濱田、磯山、若松<sup>2)</sup>により作成されたポートアイランドにおける表層地盤の永久変位ベクトル図を使用する。

推定した主ひずみの分布と配水管被害位置を図6.2.6に示す。

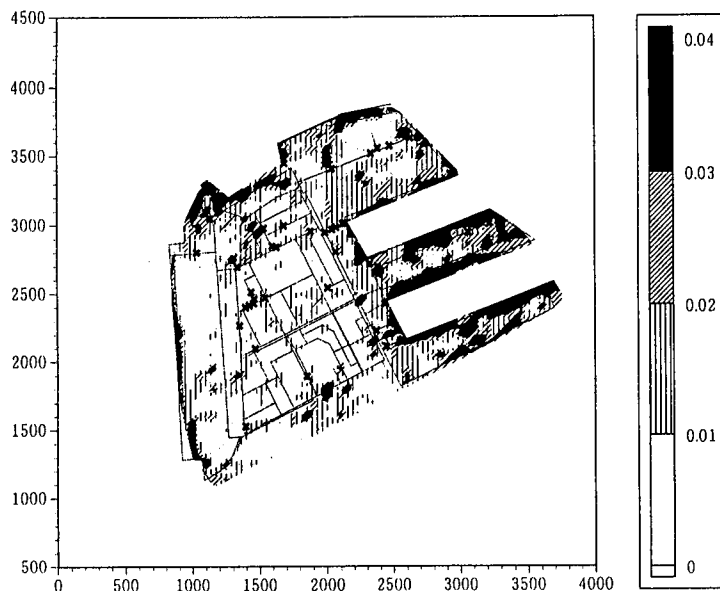


図6.2.6 : ポートアイランドの主ひずみ分布と配水管被害

図6.2.6から、本地震によりポートアイランドでは、岸壁においてはその崩壊の影響も含めて大きな地盤ひずみを発生していることが分かる。また、島内部の居住地域においては岸壁付近のような崩壊に伴う大きなひずみはみられないものの、全域において0.5%程度のひずみが発生し、大きなところでは3%以上のひずみも生じていることが示された。これらは、ポートアイランドの全域で噴砂が確認されていることから、明らかに液状化による影響であり、島内部においても大規模な液状化が発生している。また、岸壁付近では岸壁の崩壊に伴い岸壁と垂直をなす方向にひずみを生じており、岸壁付近の地盤の海側への流動が認められる。岸壁の崩壊による周辺地盤の影響については、大きなところで約200m、平均的には約50m~100mであることがわかる。

また図6.2.6より上水道配水管被害との関連をみると、配水管被害は岸壁付近にはそれほど生じていないことがわかる。これは、岸壁が一様に海側に向けて崩壊したことによりその周辺では岸壁と垂直な方向に地盤の流動が生じたため、岸壁に沿って配管されている配水管の軸方向へのひずみの発生が小さかったからである。

これまでの調査で、液状化地域においては非液状化地域に比べ継手の抜けや緩みなどの継手被害が多発することが報告されている。

これは液状化の地盤の流動に伴い地中管路には流動した地盤から面的な外力が加わるが、この外力に対し管体自体はその外力に耐えうるが、継手部においてはとくに軸方向の引張力に対して耐えることができず離脱などが発生したものである。本解析において、管軸直角方向へのひずみが大きく発生している岸壁付近においてほとんど被害のみられないことから、このような被害メカニズムが推測できる。また島内部における配水管の被害位置をみると、主ひずみの分布が周辺よりも高いところで被害が発生していることがわかる。とくに居住地域においては、主ひずみが1%~1.5%以上のところで被害が多発しており、配水管被害が大規模な液状化に伴う地盤の流動によりひずみの集中した場所において発生することが示された。

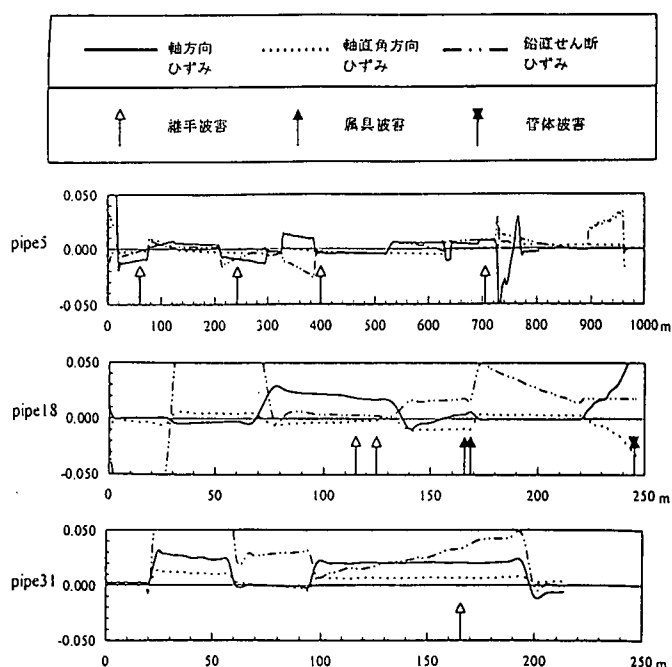


図6.2.7：管路別ひずみ分布図

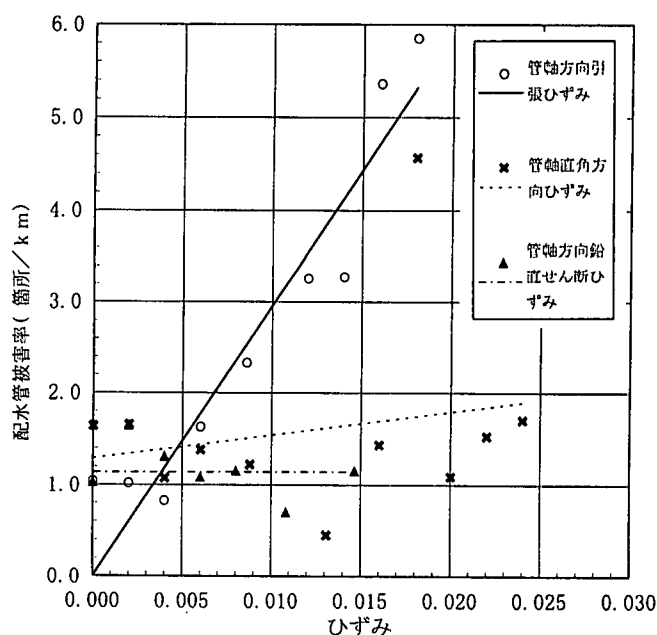


図6.2.8：ひずみと配水管被害率

また、各管路のひずみを各管路ごとの延長距離に対して示したものが図6.2.7である。図6.2.7より各被害の発生位置とひずみの関係を見ると、多くの被害位置において管軸方向ひずみは1%以上になっていることがわかる。これらの結果より、液状化地域において配水管被害の発生と管軸方向の引張ひずみおよび管軸直角方向のひずみの間にはやや相関が見られ、どちらも1%以上のひずみを生じているところに被害が多いことがわかった。しかし、3%以上の大きなひずみを生じているにも関わらず被害の発生していないところもみられた。管軸方向の鉛直せん断ひずみと配水管被害の発生の間には、ほとんど相関が見られないことも分かった。

また、推測された各管路別のひずみを集計して、配水管の被害率との関連を調べた。管軸方向引張ひずみ、管軸直角方向ひずみ、および管軸方向鉛直せん断ひずみに対する配水管被害率を図6.2.8に示す。図6.2.8によると、ひずみと被害の相関の最も高いのは管軸方向引張ひずみであり、管軸方向引張ひずみが約1%のとき被害率は3.0箇所/km程度になることが示された。また、管軸直角方向ひずみについてもやや相関が見られ、管軸方向鉛直せん断ひずみについては、被害率とほとんど相関のないことが知られた。

ポートアイランドにおける配水管被害はその9割以上が継手の離脱や緩みなどの継手被害であり、これらは液状化による影響であると思われる。図6.2.8に示す結果から、ポートアイランドにおいて継手被害を発生させる被害要因が管軸方向の引張ひずみであることが示された。また、ポートアイランドにおいて敷設されている配水管の大部分はメカニカル継手のダクタイル鋳鉄管である。これらの結果より、ダクタイル鋳鉄管が液状化発生時において、管軸方向、あるいは管軸直角方向に2%~3%の大きなひずみを生じて、管体自体は破損しないが、これらのひずみによるエネルギーはメカニカル継手に集中することになり、地盤の管軸方向引張ひずみが1%~2%程度であっても、大きな被害を生じることが検証された。また、上水道配水管被害は崩壊した岸壁付近よりも、島内部の液状化発生地域内のひずみの集中するところで発生することも知られた。また、人工島などの液状化しやすい地盤においては、地中管路の継手の耐震化の必要性が改めて示された。

#### 6.2.4 まとめ

本研究では、兵庫県南部地震における上水道配水管路の被害について、活断層の影響、地震動の増幅現象の影響、液状化による地盤ひずみの影響などについて考察を行った。その結果、配水管被害は概して震度の高い地域において被害率の高くなる傾向が見られるが、既存断層地形と不整形地盤により管路応答に大きな影響を生じることや、液状化による地盤流動に伴うひずみの発生によって、局所的に被害が集中することが示された。これまでの耐震設計においては、活断層地形による影響などが十分に考慮されておらず、耐震設計の再検討が必要であることが示された。

今後さらに、被害分析と理論解析を行い、その被災メカニズムを究明するとともに、これらの局所的な地盤条件に起因する被害の低減のための、地中管路の耐震設計法、施行手法の再検討を要する。また、劣化、損傷を受けている既存の地中管路についても、その耐震診断を行い、機能的な重要度を考慮した防災対策が必要であると思われる。

#### <参考文献>

- 1) 高田至郎：ライフライン地震工学，共立出版，1991。
- 2) Hamada M etc. : The 1995 Hyogoken-Nanbu(Kobe) Earthquake Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, Association for Development of Earthquake Prediction, 1995.

## 6.3 電力・通信システムの被害と復旧

鳥取大学 野田 茂

### 6.3.1 電力供給システム<sup>1)・2)</sup>

#### (1) 物理的被害

震央付近の2つのダム(震央距離3km、5km)には、わずかな被害(クラック、亀裂、沈下)が見られた。これらの被害はダムの機能に支障をきたすものではなかった。水力発電設備の水路、火力発電設備のLNG地上式タンクには被害が発生しなかった。尼崎第三発電所では油タンク防油堤にクラックが発生した。東灘ガスタービン発電所では、タンク基礎の地盤沈下に伴い、基礎PC杭が露出、クラックが発生し、防油堤が開口した。尼崎東発電所では蒸留水タンク本体が傾斜した。

火力発電所の建屋・煙突・取放水設備に重大な被害はなかったが、ボイラーや付属設備には被害が生じた。尼崎第三発電所では、ボイラー鉄骨が変形したり、ボイラー振れ止め装置が変形・損傷した。大阪発電所では、ボイラークーリングスパーサー管が変形・損傷、ボイラー側壁管が変形した。堺港発電所ではボイラー節炭器ドレン管の損傷、姫路第二発電所ではボイラー配管防振器の変形・損傷を生じた。東灘ガスタービン発電所では、タービン本体と付属設備基礎に不等沈下が生じた。また、同発電所のケーソンは沈下するとともに、海側へせり出し、法線方向の継目部が開口した。さらに、揚油栈橋の連絡通路が海上に落下した。

主変電所861箇所のうち、50箇所180設備に被害があった。このうち、主要機器の損壊などにより、運転継続が不能になった設備は65ある。神戸市内における3つの275kV変電所(西神戸、神戸、新神戸)は機器類に被害を受け、神戸市の電力供給に大きな支障を与えた。被害を受けた変電所の全ては、旧耐震規準設計によって昭和40年代以前に設備工事が実施されたものである。昭和50年代以降に建設された7箇所の変電所では全く被害を生じなかった。被害が軽微なため、修理などによって運転が継続可能なものは115設備であった。供給支障50変電所における運転継続不能な設備別被害率は、変圧器が6.9%、避雷器が3.5%、遮断器が1.3%、断路器が1.1%である。変圧器の被害モードとしては、基礎アンカーボルトの破断、変圧器本体の滑動やブッシングなどの破損が挙げられる。絶縁ベース碍管やエポキシ絶縁座の破損が避雷器の機能停止の原因である。

架空送電設備の被害は次のようである。震度5以上の地域にある送電鉄塔約10,800基のうち、20基に被害が生じた。これらの被害は、倒壊1基、傾斜10基、部材損傷9基よりなる。これは地盤変位によって鉄塔基礎が不等変位したことによるものであるが、送電不能となったのは鉄塔倒壊の1基のみである。その他、がいし被害(ジャンパ支持がいし折損)が39基、送電線の断線が3径間見られた。これらの被害は供給支障に至らなかった。

通電不能となった地中送電線は神戸支店管内の3線路のみ(被害率1.5%)であった。特殊なケーブル構造を有する直接埋設式と管路式の2線路は、地盤変位に追従できず、断線に至った。可とう性のない石綿セメント管(AP)内のOFケーブル(1線路)からは漏油した。これは、旧護岸と軟弱地盤が接する付近で不等沈下によって管路に段差が生じたためである。他の地中送電設備(マンホール268箇所、管路212径間、ケーブル7条、洞道、専用橋3箇所、橋梁添架管路3箇所)には一部異常が認められたものの、通電不能には至らなかった。なお、マンホールの被害率は19%(箇所)、管路については15%(径間)、ケーブルは7%(条)であった。洞道にはダクト口で微小なひび割れが見られた。

神戸支店管内における740径間の調査結果によると、APは段差、破損、開きを伴い、被害を生じた(被害率24%)。強化プラスチック複合管(PFP)(270径間の調査)では継手抜けや開きを生じ、6%の被害率であった。APとPFPの地盤別被害率の算定結果から、液状化地域の被害率は非液状化地域に比べて高く、液状化地域内の埋立地では管路の種別によらず高い被害率となることがわかっている。埋立地におけるPFPの被害率が非常に高いのは今回の地震の特徴と言える。

架空配電設備の被害は次の通りである。支持物の被害総数は11,289基(被害率0.5%)で、その内訳は、折損・倒壊3,295基、焼損1,239基、傾斜・沈下5,625基、ひび割れ1,130基である。神戸支店管内では10,274基(被害率2.9%)に被害を生じた。焼失した支持物1,239基は全て神戸支店管内におけるものである。電線は7,760径間(被害率0.3%、神戸支店管内で1.9%)で被害を生じた。そのうち、断線が1,305径間、焼



失が1,381径間(全て神戸支店分)、混線が5,074径間を占める。5,346台の変圧器(被害率0.3%、神戸支店で1.9%)の被害内訳は、ブッシング破損245台、焼失・焼損962台、傾斜4,139台である。

被害のあった架空配電設備のうち、供給支障につながったものとつながらなかったものの割合(被害モードの致命度)を調べた結果、次のことがわかっている。大部分の設備は、被害を生じたものの、供給停止につながっていない。電線の被害の多くは混線によるものだが、絶縁しているためにほとんど供給支障には至っていない。断線は支持物の損傷に伴うものである。変圧器の落下は見られなかった。被害のほとんどは神戸支店管内で発生したが、これは建物損壊による2次被害や火災を原因としている。事実、震度7地区の折損柱1,177基のうち、建物倒壊による2次被害は967基(82.2%)、地震動による直接被害は12%、地盤の影響は5.2%であった。

支持物の震度別被害(折損・倒壊)率を求めると、供給支障に至らなかった支持物の被害は震度7地区で6.68%の被害率(1,764基)である。気象庁では建物倒壊率30%を震度7算定の一つの目安としているが、このことを勘案すれば、配電用支持物の耐震性は相対的に高いと考えられる。震度6地区の被害率は0.47%にすぎない。

次に、地中配電設備の被害状況を示す。供給支障に至った地中配電線ケーブルは196条(全ケーブル16,950条)である。このうち、震度7地域での被害は153条(被害率4.7%)であり、神戸支店管内の震度7地域を除いた震度6地区では0.3%のケーブル被害を生じた。供給支障の発生は震度7と震度6の液状化地域に集中した。196条の被害要因としては、建物損壊などによるケーブル立上柱の損壊(34%)、同損壊による引込線損壊(33%)、管路とマンホールの損壊(20%)や火災によるケーブル炎上(7%)が挙げられる。

一方、供給支障に至らなかった異常事象は次のようである。震度7地域での設備異常の発生は、ケーブルの異常発生数915条、マンホールとハンドホールの異常172箇所、管路の異常195径間と高い。震度6地域でも、管路異常17%、ケーブル異常13%、マンホールとハンドホールの異常10%と小さくない。ケーブル異常49%、管路異常39%、マンホール・ハンドホール異常25%と、液状化地域での被害が特に顕著である。被害のあった箇所を設備別に見ると、マンホール・ハンドホールでは現場打ちタイプの被害が高く、プレハブタイプでは低い。管路では、ヒューム管(HP)、亜鉛メッキ鋼管(SGP)やAPの被害率が高く、コンクリート製プレハブ多孔管(PD)や軽量亜鉛メッキ鋼管(KGP)の被害はあまり発生していない。ケーブルの被害原因はマンホール内での高張力・落下・外傷であり、AP内で多く発生した。

地中配電線ケーブルを収納する管路などの損傷は直ちにケーブルの被害に結びつくわけではない。また、ケーブルは可とう性を有する。これらの理由のため、供給支障に至ったケーブルは全体として少ない。しかしながら、液状化地域での不等変位に伴う被害が多く発生しており、可とう性のある継手構造や適切なケーブル余長を確保することが今後望まれる。

電力保安通信設備にも被害が生じた。神戸支店管内の通信ケーブル171径間は断線または焼失した。社内保安用電話4,048回線のうち、76回線(被害率1.9%)が停止した。5箇所の無人変電所における遠隔監視制御用回線は2ルートともに停止した。支持物に添架していた通信ケーブルの被害は、主に、支持物の折損や火災によるものである。

## (2)オペレーション

地震発生当日における配電関係社員の出勤状況の時間推移を調べた結果、交通事情の悪化の地域差により、本務所属者とそれ以外の出勤者の割合や出社不能率は異なっていた。大部分の社員は、マイカー、バイク、自転車や徒歩によって通常時以外のルートによって出勤した。交通が停滞した3営業所エリア内における復旧要員の社有車による移動速度としては、警察の先導があると9.7km/h、先導がないと3.6km/hの例が挙げられる。大阪北営業所から三宮営業所(移動距離38km)への応援状況を調べると、最小移動時間は4時間25分、最大移動時間は11時間である。車両移動の平均時速は4.8km/hである。通常時の40km/hに比べ、時速は歩行速度程度になっている。このような状況下で、社員は、可能な限り勤務先あるいは指定事業所に出勤してオペレーションに当たった。

電力供給の信頼性を高めるため、送配電設備については、これまで、2ルート化、ループ化や連系が推進されてきた。また、変電設備については、複バンク化や複母線化が図られてきた。このため、各々を

構成する機器が故障しても、他の設備やルートを用いることによって供給支障を回避できるようになっている。今回の震災でもこのような電力系統の多重化による効果が大いに発揮された。

送変電および配電設備の被害により、地震発生時には約260万軒の供給支障が発生した。健全箇所から順次系統復旧操作による切替送電を実施した結果、停電は7時30分頃には約100万軒に減少した。一部地域での系統復旧に当たり、旧耐震基準設計による変電設備の損壊は送変電系統を構成する設備間の代替性に差異を生じた。それでも、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となった。道路事情の悪化、家屋の倒壊や不在家屋の状況確認などのため、配電線の復旧は困難を極めた。復旧に当たっては、1)使用可能な架空設備を最大限活用すること、2)応急送電を最優先させること、3)高圧発電機車による応急送電を実施すること、4)バイパスケーブルによる応急送電を行うことを基本とした。全戸への応急送電の完了は23日の午後3時となった。

地震発生直後に停電した変電所は189箇所(全体の21.95%)、停電した配電線は649回線(全体の5.36%)、供給支障電力は283.6万kWであった。地震発生後、制御所と有人変電所では、所管する設備の被害状況を把握して遠隔制御で復旧操作を行った。また、給電所に被害を報告するとともに、復旧操作に関する指令を仰いだ。給電所では系統全体の状況と各変電所の被害状況の把握に努め、復旧方針(被害系統の切離し、健全系統への切替、送電再開)を検討し、復旧に関する機器の操作指令を各制御所と変電所に出した。これを受け、制御所と変電所では、遠隔制御による健全系統への切替や現地での事故設備の切離し操作を実施した。設備被害のあった変電所では、損壊した設備を主回路から切離した後、健全設備を有効に活用して復旧を行った。

17日の6時頃、供給支障電力は約273万kWに低下した。約80箇所の変電所の系統切替復旧と神戸変電所における事故設備の切離し操作実施(現地操作)により、7時30分、停電変電所は80箇所、停電配電所は572箇所、供給支障電力は124.5万kWになった。8時には113万kWの供給支障に至った。さらに、制御所と変電所は健全系統への切替を実施して、約40箇所の変電所を復旧した。給電所と制御所・変電所の間では、9時過ぎから正午にかけ、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の実施を繰り返した。その結果、供給支障電力は次第に回復していった。12時には停電軒数が90万戸に、停電変電所が13箇所に、停電配電線が476回線に、供給支障電力が48.7万kWに減少した。

関西電力では、17日の最大需要電力を2,350万kWと予測し、供給力の確保のため、早朝から停止発電所の起動操作などを行っていた。このため、地震発生直前の総需要電力は1,270万kWになっていたが、震災によって需要が940万kWに急減したため、供給過剰となり、図6.3.1に見られるように、周波数の上昇(60.45Hz)を招いた。周波数の安定化を図るため、3箇所の揚水発電所において発電機を各1台ずつ揚水用電動機として起動させた結果、需要と供給のバランスが保たれ、地震発生から6分後に周波数は安定した。

火力発電所では、運転中または起動中の12基の発電機が自動停止し、176万kWの発電支障を生じた。供給力確保のため、6時35分に停止中の発電所一つに起動指令が出され、8時30分に系統並列を行って供給力が確保された。自動停止した4基は点検の結果異常がなかったため、17日中に運転が再開された。他の8基には軽微な損傷が見られたので、復旧作業が行われた。1月中に運転は再開されたが、関西電力管内では供給力不足の事態に至らなかった。

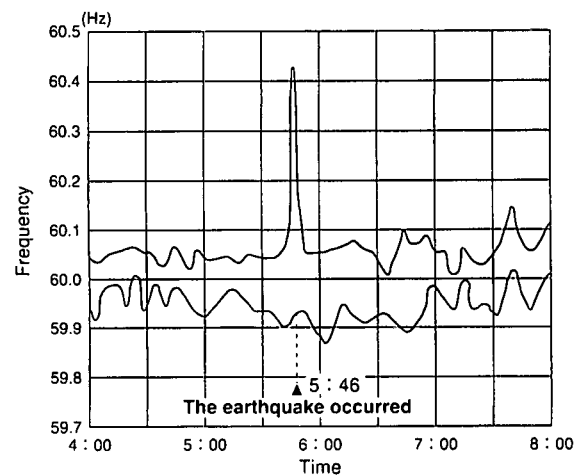


図6.3.1 地震発生前後における周波数の変化

通信回線は、基幹系統(発電所と主要変電所間)の制御用と配電用変電の遠隔監視制御用の2つに大別される。前者は、送電鉄塔などに添架されている通信ケーブルや多重無線回線よりなる。後者は配電線に添架されている通信ケーブルである。架空送電線の鉄塔被害は局在化し、神戸支店管内で支持物の被害

は2.9%であった。回線の多様化や多ルート化により、特定の通信回線が被害を受けても、送変電設備と同様に回線切替などを行うことができるので、通信支障は短時間で回復した。配電線に添架されている通信回線(下位)には、2ルート断の被害によって通信不能になったものがある。これも、運転員の現地操作によって供給支障には至らなかった。

今回の震災では、自家用発電機のない学校などにおいて自然発生的に避難所ができた。発電機を設置していない病院もあった。設置していても、燃料切れや冷却水施設の破損などにより、短時間で運転は停止した。そこで、迅速な電力供給の確保のため、移動用の高圧発電機車が出動した。応急送電箇所は、消防署や警察署などの防災拠点5箇所、病院9箇所、学校、公会堂などの避難所42箇所である。

### 6.3.2 電気通信システム<sup>3)-5)</sup>

#### (1) 物理的被害

本節ではNTTの被害と復旧状況を示す。NTTの被害は、加入者伝送路よりなるアクセス系設備を中心にして震度7を記録した3支店(神戸、神戸西、西ノ宮)に集中した。

所内設備の被害状況は次の通りである。建物では3つのビルが一部損傷したが、御幸ビル(事務局舎)を除き、他の被災ビルでは業務に支障がなかった。建物屋上に設置された無線鉄塔では、2基(大開局と神戸港局)が一部被災した。これら鉄塔に取り付けられているアンテナに異常はなく、また回線状態にも問題がなかった。大開局のアンテナ鉄塔の修理のため、避難勧告が住民に出されたが、応急修理を行った結果、勧告は1月21日に解除された。神戸港局のアンテナ鉄塔については2月13日に撤去された。

ネットワーク系設備のうち、長距離系設備については通信サービスの中断を免れた。主要交換設備は無被害であったが、阪神高速道路やJRの施設の倒壊に伴い、これらに敷設していた光ケーブルが切断された。4区間の中継伝送路に被害が生じたが、被害のない迂回ルートに速やかに切替えられた。2ルート化されていない所でも、事業者間による相互バックアップによる救済が行われたため、通信上の影響はなかった。

地域系設備では、神戸地域の8箇所で交換局が被害を受けたため、最大時で約285,000回線の加入電話が途絶した。各交換局毎に障時間は異なる。7交換局(A~G)11ユニットは長時間(約29時間)機能を停止したが、MDF、交換装置、伝送装置や無線装置よりなる交換設備に被害はなかった。交換機の停止原因は、長時間に及んだ商用電源の停電、通信用電源のバッテリーと非常用発電設備の障害などによるものである。3箇所の交換局では予備電源としてバッテリーと非常用発電機を併設していたが、一部のバッテリーは囲ってあった鉄枠から飛び出して倒壊した。また、非常用発電機は、冷却水配管、ポンプまたは燃料配管の破損のために稼働できなかった。7交換局のうち、A局では、商用電源がストップし、バッテリーも倒壊したため、2ユニットの交換機が即座に機能停止した。B局とF局の5ユニットは、残りのバッテリーによって稼働していたが、最後はバッテリーが枯渇してしまい、機能停止した。停電、非常用発電機とバッテリーの被災により、3箇所の交換機の停止は約18万加入の電話を途絶させた。

共通線信号回線についてはルート分散(2ルート化)が図られていたが、共通線信号を送るはずの交換局が両方とも停電の影響で停止したため、4交換局の4ユニットの交換機(B局~D局、G局)が機能停止した。このため、約11万加入の電話が途絶した。

その他の交換機障害として、H局では地震発生直後にメモリーの異常発生が生じたため、交換機が約5時間にわたって機能停止し、約3,800加入の電話が途絶した。また、加入電話以外で、無線呼出の交換機が約17時間停止し、約170,000加入者に支障を与えた。

災害救助法が適用された8支店(神戸、神戸西、西宮、尼崎、明石、洲本、加古川、豊中)では加入者系通信ケーブルよりなるアクセス系設備に多大な被害が生じた。その所外設備の被害状況は次の通りである。10万棟を超える家屋の倒壊によるケーブルの切断、火災によるケーブルの焼失や液状化現象による地盤のずれなどにより、またその後の余震や撤去工事などの被災も加わり、加入者伝送路の被害は大規模となった。架空設備では、ケーブル335km、電柱3,613本および多数の引込線が被災した。これらの被災設備により、約193,000の加入電話と約3,170回線の専用線がり障した。一方、地下設備では、ケーブル26km、管路217km、マンホール2,650個に被災があったが、地下設備の被災に起因した故障は少なかった。

た。橋梁添架管路は72箇所被災し、被害率は28%(橋梁数261箇所)であった。シールド工法の洞道に被害はなく、開削工法の洞道には本体クラックや目地ジョイントのずれが見られた。

被害が集中した3支店管内(神戸、神戸西、西宮)の架空設備と地下設備の被害率を比較した結果、激甚災害指定地域で震度7を記録した3支店の中でも、神戸地域の被害率が高いことがわかった。被災設備は通信サービスの低下に直接つながらない。このことは次のように設備面とサービス面の被害率を比べると明らかである。サービスの中断を伴った被害率は、3支店の合計で、地下ケーブルが架空ケーブルの1/30(0.02%と0.6%の比率)である。一方、サービスの中断を伴わない場合を含めた設備そのものの被害率は、地下ケーブルが架空ケーブルの1/9(0.4%と3.4%の比率)である。通信の確保という観点からすると、NTTがこれまで進めてきた地下化対策は有効に機能していたと言えよう。マンホールや管路の通信土木設備の被害は、電柱(被災8支店の被害率1.5%)、架空ケーブルや地下ケーブルの通信線路設備に比べて大きい。管路の被害率はジュート巻鋼管やねずみ鋳鉄管で高い。継手では1960年代と1970年代に敷設された印ろう継手やねじ継手の被害率が高い。ただし、ダクトスリーブや離脱防止継手を使用した現行仕様の耐震管路はほとんど被災していない。架空ケーブルと電柱の被害率は同程度である。

マンホールの各部位の被害率は、首部のずれ41%、額縁被災21%、ダクト破損15%、本体亀裂10%であった。ハンドホールでは、首部ずれ36%、額縁被災とダクト破損12%、本体亀裂10%の被災を生じた。マンホールやハンドホールでは地面にあるふたや首部に数多くの被災を生じたが、これは地盤震動や地盤変状によるものである。これらの被害率が高くても、地表の設備なので補修が容易なことも間違いない。

マンホールや管路の被害は地盤条件に大きく左右される。神戸支店管内灘ビル地域における管路、マンホールの首部、管路とマンホールの取り付け部(ダクト部)の被災位置を、表層地盤マップ(埋立地、沖積地、低位段丘、中位段丘)や震度分布と比較した結果、被害の発生は、主に、液状化地域すなわち埋立地において著しいことがわかっている。マンホールの首部はマンホール本体と剛結されたものではないため、地表面の動きに追随し易い。このことから、マンホール首部の被害率は、埋立地、沖積層、低位段丘、中位段丘の順に高くなっている。また、古い建設年度のマンホールほど、被災が多い。震度7に相当する低位段丘におけるマンホールダクトと管路の被害率はほぼ同じである。これは管路に及ぼした地震外力がダクト部に直接影響したためである。その他の地盤では管路の被害率がダクトのそれよりもかなり大きい。これは、マンホール間における管路継手部の脱落による変形や旧式の老朽管の被害によるものと考えられる。

## (2) 機能的被害

11局の交換機の停止に対しては全国から12台の移動電源車を出勤させて給電を実施したため、1月18日午前中に交換機の機能は回復した。図6.3.2は所内系故障に伴うり障回線数の時系列変化を示したものである。バッテリーが転倒したり、フレキシブル配管などの各種防災対策を実施している非常用発電装置の配管が損傷した結果、時間とともに徐々に交換機への電力供給がストップした。17日22時頃、り障回線数はピークとなった。

交通渋滞などで到着は遅れたものの、全国各地から移動電源車が被災地に集中した。移動電源車による給電の開始は7交換局のうちでB局が一番早くて1月17日23時51分、F局が一番遅く1月18日10時12分である。停電でバッテリーが放電した2局(E局とF局)では、移動電源車が到着して給電を開始するまでの間、約14~19時間電話が途絶した。4箇所の交換局では、共通線信号を送る交換局の電力が供給されるまでの間、同様に約14~19時間機能を停止した。商用電源故障、エンジン不動作、バッテリー過放電の時間帯および移動電源車による

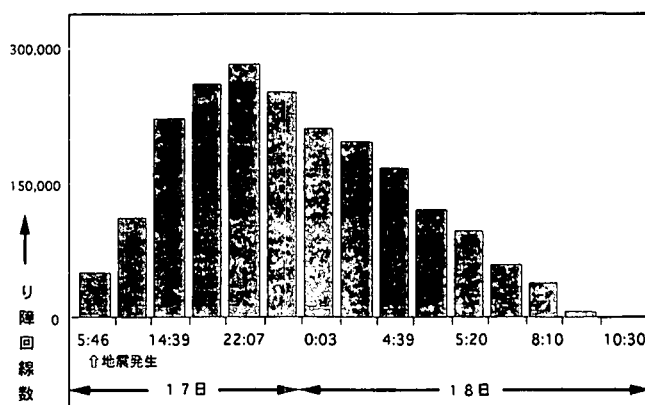


図6.3.2 所内系故障に伴うり障回線数の時間推移

給電時刻から、図6.3.2のように障害回数線数の変化を描くことができる。

約3,170回線の専用回線のうち、高速デジタル回線は1月31日に、一般回線は2月20日までに回復した。前述したように、約193,000回線の加入者系通信ケーブルでは被害が生じたが、家屋の全半壊や焼失などで設置場所がないものを除き、電話回線に起因する約102,000の加入電話については1月末までに復旧した。図6.3.2に見られるように、交換機などの所内系設備は約1日半で回復した。所外系設備も同時に被災しているため、所内系設備だけを復旧しても、電話は使えない。このため、ピーク時1日7,000人体制で復旧活動を展開した結果、加入者ケーブルの被災回線数は徐々に減少していった。図6.3.3には被災回線数の回復過程と投入人員数の変化を示す。

所内設備被害による通話停止と所外設備による被災回線は、前述のように順調に回復していった。その結果、交換機や中継回線の被害はなくなり、約85～90%の回線通話が可能となったが、被災時の通信疎通が生じた。過去に類を見ない電話輻輳が発生したのである。

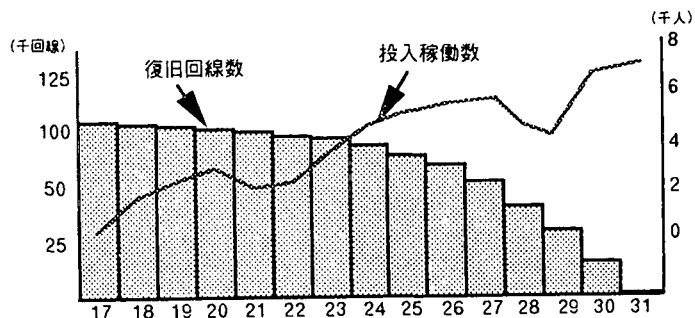


図6.3.3 所外系被災回線の復旧状況と復旧稼働

図6.3.4(a)は全国から神戸方面へのトラヒック状況を、一方図6.3.4(b)は神戸から

全国へのトラヒック状況を示したものである。地震発生当日の1月17日には、交換機的能力を超え、短時間ピーク値で通常の約50倍の呼(神戸方面への電話)が発生した。1時間平均でも、平日の約20倍のトラヒックが加わったため、電話回線の著しい輻輳が生じた。

17日以降、トラヒックは漸次減少していったが、震災後数日間、電話がほとんどつながらない状態が続いた。そこで、神戸向けの出入り回線を約5,000回線増設した。これで、1日当たり

150万呼が処理可能となった。市内相互間を除き、輻輳状態が解消したのは22日である。一方、神戸から全国へは通常の2～3倍のトラヒック(1時間平均倍率)が発生した。被災地からの発信呼には規制がかけられなかったため、安否などの確認などに役立った。

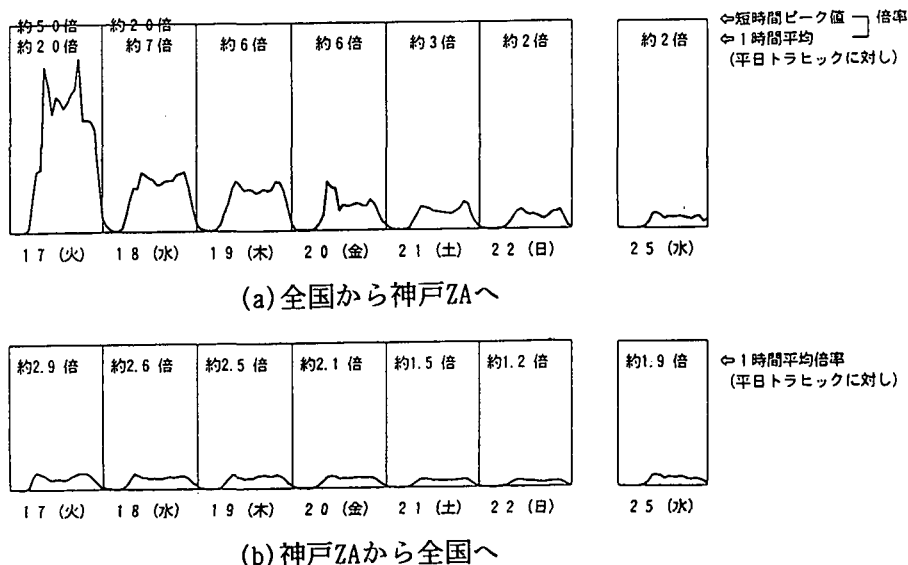


図6.3.4 トラヒック状況

参考文献

- 1) 関西電力(株)：阪神・淡路大震災復旧記録、1995年6月。
- 2) 資源エネルギー庁編：地震に強い電気設備のために、電力新報社、1996年3月。
- 3) NTT：大都市激甚災害対策委員会報告書、1995年7月。
- 4) 郵政省：情報通信ネットワークの安全・信頼性に関する研究会報告書、1995年11月。
- 5) 地盤工学会阪神淡路大震災調査委員会：8.4通信施設、阪神・淡路大震災調査報告書(解説編)、pp. 375～384、1996年3月。

## 6.4 震災後の道路交通

京都大学 谷口 栄一

### 6.4.1 はじめに

阪神・淡路大震災によって道路は大きな被害を受け、各所で道路が寸断されたために震災直後の道路交通は大渋滞に陥ったが、交通規制が行われ、道路の復旧も進み、道路交通は被災地の復旧・復興に大きな役割を果たした。このような状況を踏まえ、震災後の道路交通の実態を把握し、課題を抽出するとともに今後の道路計画において防災をどのように考慮すべきかという点について、土木学会計画学研究委員会の阪神・淡路大震災調査特別小委員会（委員長：飯田恭敬京都大学教授）の中の道路交通分科会において調査研究を行っている。ここではその結果を中心に報告する。

### 6.4.2 震災前の道路交通の状況

平成6年の道路交通センサスの結果を図6.4.1に示す。これによれば神戸市の自動車発生集中交通量は236万トリップエンド/日、阪神間の自動車発生集中交通量は206万トリップエンド/日である。

地域間の自動車交通量をみると、神戸市～東播磨18万台、神戸市～阪神臨海11万台、阪神臨海～大阪市10万台、神戸市～大阪市4万台等、臨海部の地域相互間の流動が多い。

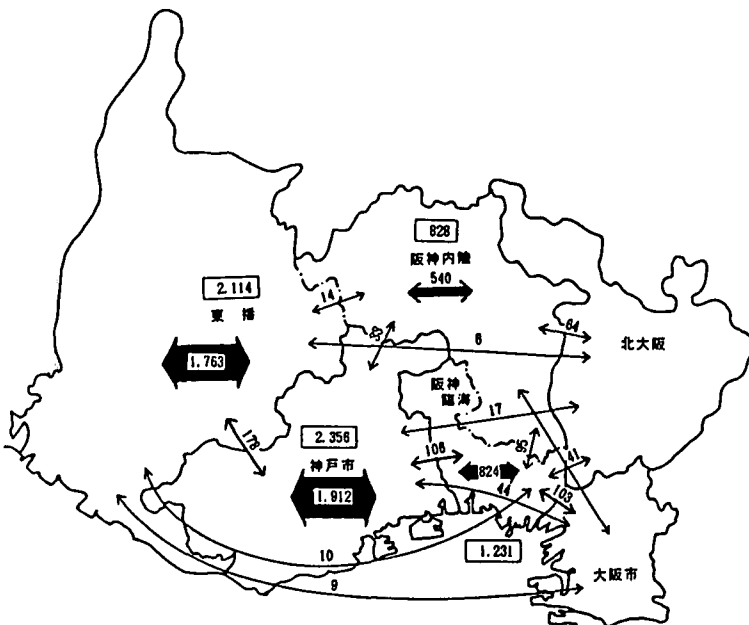


図 6.4.1 阪神地域間の自動車交通量（平成6年道路交通センサス）

（単位：千台/日、枠内は発生集中交通量）

平成6年の道路交通センサスにより阪神地域の道路交通量をみると、阪神高速神戸線は10万台前後の交通量を分担しており、臨海部の主軸となっている。また国道43号も8万台前後の交通量である。国道2号は国道43号が並行する区間では4万台前後の交通量であり、これら3路線の合計交通量は22万台前後である。阪神高速湾岸線の交通量は3～5万台となっている。

内陸部では、中国自動車道の西宮北以东が9万台近い交通量であり、東西国土軸として多くの交通を分担している。

また内陸部と臨海部を結ぶ国道171号の交通量は5万台を越えており、連絡路として重要な機能を果たしている。

### 6.4.3 震災後の道路交通の状況

#### (1) 通行止め、交通規制の状況

##### a) 震災約1週間後の状況

図6.4.2に震災約1週間後の道路規制状況を示す。震災直後は名神高速道路、中国自動車道、阪神高速道路をはじめ、阪神地域のほとんどの幹線道路が通行不能の状況となった。震災約1週間後では、名神高速道路・吹田以西、中国自動車道・豊中～西宮北間の上り、第二神明・伊川谷以东、阪高神戸線、阪高湾岸線、阪高環状線、阪高池田線、阪高守口線などが通行止めとなっており、国道2号および国道43号は一般車通行止めとなった。また、中国自動車道の下り方向は緊急車両のみの通行であり、事実上、一般車両の阪神地域の通過は不可能な状況であった。

##### b) 震災約1ヶ月後の状況

図6.4.3に震災約1ヶ月後の道路規制状況を示す。この段階では、完全な通行止めは名神高速・尼崎～西宮間、阪神高速神戸線、阪神高速湾岸線・中島以西などに限られ、阪神高速の大阪地区はほぼ復旧した。しかしながら国道2号、国道43号についてはなお一般車通行止めの状況であった。また、第二神明の上りや新神戸トンネルの上り方向は時間規制が実施されている。

##### c) 幹線道路の交通規制等の推移

阪神地域の主要幹線道路の平成7年10月までの交通規制等の状況を整理すると、10月の段階では阪神高速神戸線を除き全面的な通行止めの状況は解除されている。名神の尼崎～西宮間は緊急車両の利用に限られ、また第二神明や新神戸トンネル、国道2号、国道43号では時間規制が続いている。

阪神高速神戸線は平成8年2月19日に摩耶～京橋間が開通し、一部区間であるが復旧した。また国道2号についても平成8年2月に時間規制が解除されている。

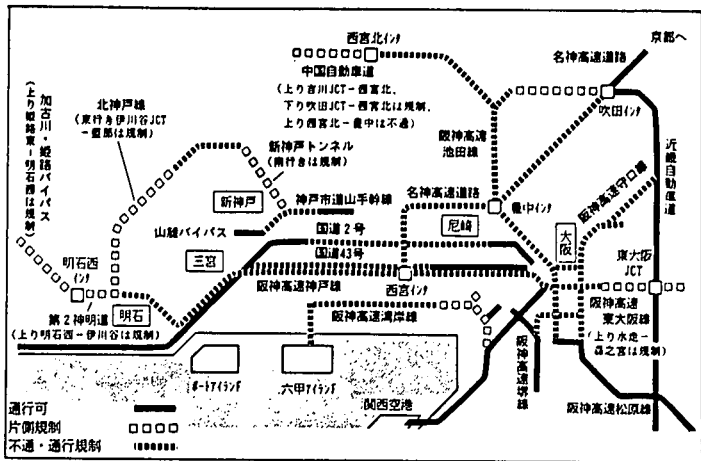


図6.4.2 震災約1週間後の道路規制状況

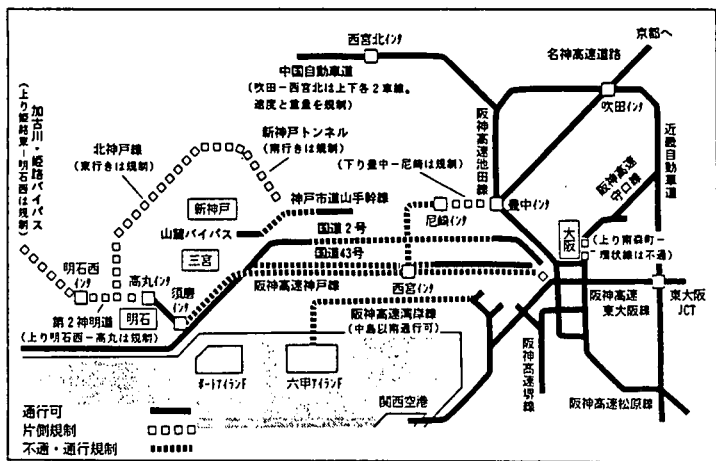


図6.4.3 震災約1か月後の道路規制状況

(2) 交通量の推移

阪神地域の主要断面で交通量の推移を図6.4.4に示す。震災直後の平成7年2月の段階では、震災前と比較して武庫川断面では50%、芦屋川断面では30%、須磨一ノ谷断面では67%の交通量であり、六甲山断面では36%増の交通量となっている。東西方向の断面交通量は徐々に増加し、平成7年12月の段階では、震災前と比較して武庫川断面では75%、芦屋川断面では60%、須磨一ノ谷断面では76%まで回復している。六甲山断面でも増加が続き、47%増の交通量となっている。

武庫川断面でみると、特に湾岸線と国道2号で増加が著しく、須磨一ノ谷断面では西神戸有料道路の増加が著しい。

一方、中国自動車道では平成7年12月の段階で震災前の8.9万台/日からの21%増の10.8万台/日に、北神戸線では震災前の1.6万台/日から81%増の2.9万台/日になっており、内陸部の幹線道路への迂回がみられる。中国自動車道では姫路以西から播但連絡道路等を経由して利用するパターンや神戸周辺から西宮北インター等を経由して利用するパターンの増加が目立っている。北神戸線については、播磨方面から北神戸線を経由して新神戸トンネル等を利用し、神戸市市街地にアクセスするパターンなどが増加しているものと考えられる。

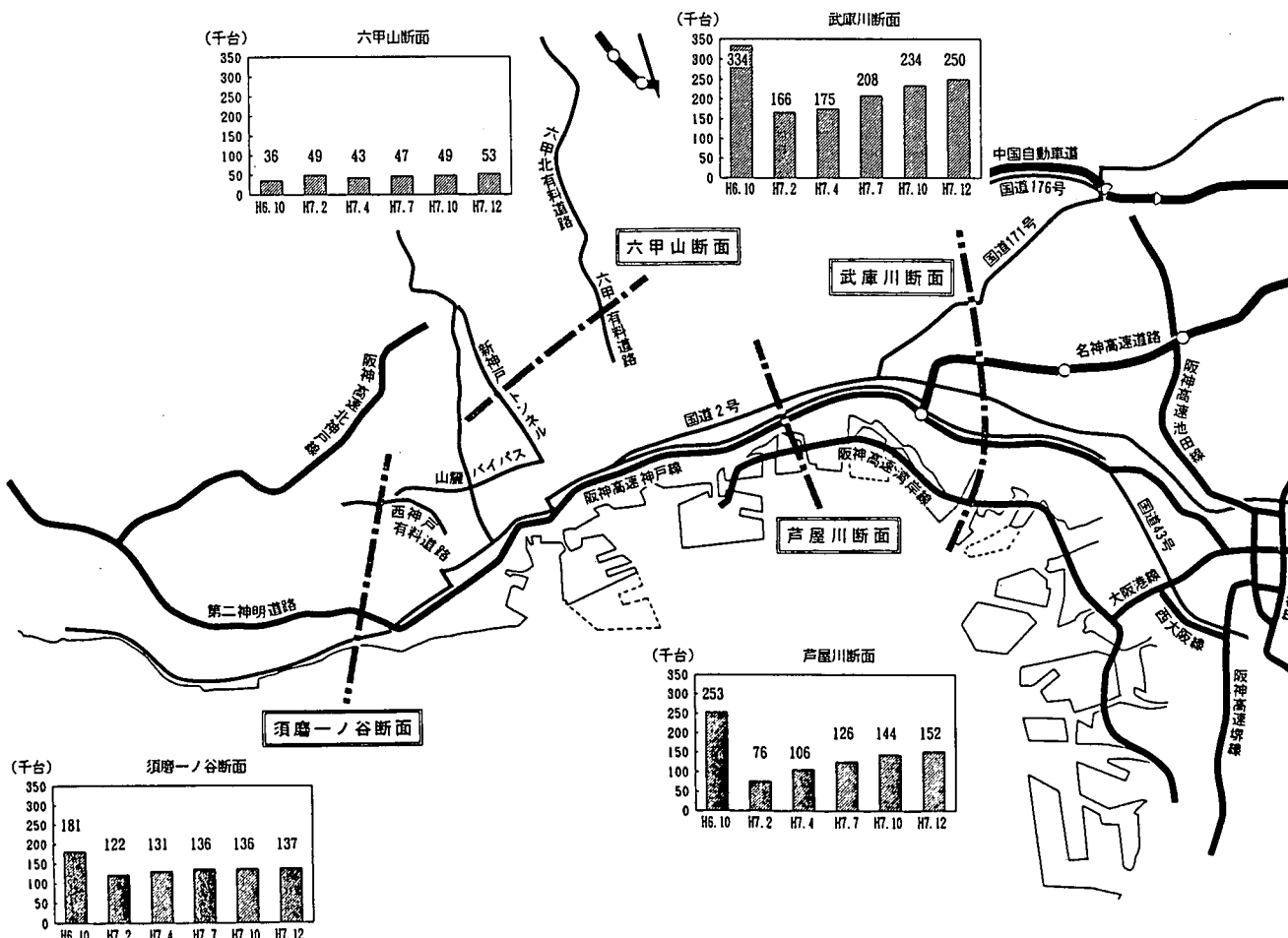


図6.4.4 阪神地域の断面交通量の推移

震災直後には、阪神地域の幹線道路が全面的に通行不能の状態であったので、舞鶴自動車道や国道9号を利用した迂回がみられた。例えば舞鶴自動車道では1.7万台/日(平成6年10月)から3.6万台/日(平成7年1月)に増加した。しかし、中国自動車道の復旧を契機に、このような広域的な迂回はほぼ解消している。

### (3) 旅行速度の推移

震災後の平成7年2月10日以降、建設省により調査された大阪市～神戸市、姫路市～神戸市間の走行実態調査結果の一部を図6.4.5に示す。平均旅行速度の推移をみると、大阪市、姫路市いずれからも神戸市に入る方向での速度が低く、大阪市～神戸市の場合には10km/h～15km/hの速度となっている。逆方向は概ね15km/h前後となっているが、平成6年センサスのラッシュ時旅行速度20km/hからみると5km/h以上の速度差がある。しかしながら徐々に回復してきている状況がうかがわれる。

姫路市から神戸市へ向う場合は20km/h～30km/hが確保されているが、やはりセンサスのラッシュ時の速度(45.9km/h)をかなり下回っている。逆方向は45km/h前後と、ほぼセンサスのラッシュ時の速度並みである。この場合も徐々に速度が回復してきている。

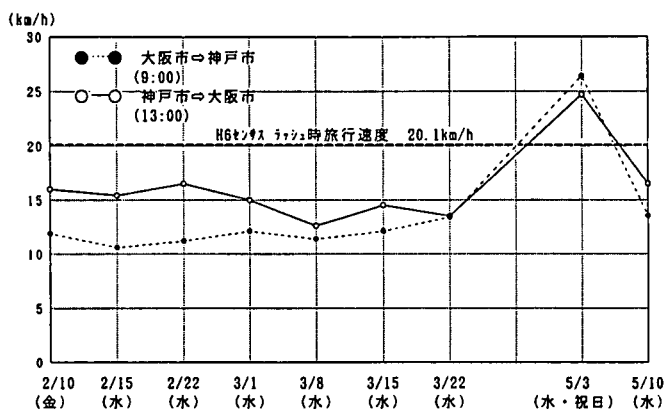


図6.4.5 大阪～神戸間の震災後の旅行速度の変化(国道2号、山手幹線等一般車両の通行可能なルートで調査した結果である。)

### (4) 交通事故の推移

交通事故件数は震災後増加しており、平成7年と平成6年の同月を比較すると、神戸市全体では7月段階で31%増加、兵庫県全体でも21%増加している。

路線別にみると、図6.4.6に示すように震災以降、国道2号での事故件数が大幅に増加している。これは、交通量が増加したことも一因であるが、渋滞によるイライラなども原因になっていると考えられる。

交通渋滞が運転者の注意力を低下させていることや、事故発生率の低い高速道路が使えず、発生率の高い一般道路の利用に転換した車が多いことなどが、全体的な事故件数の増加につながっていると考えられる。

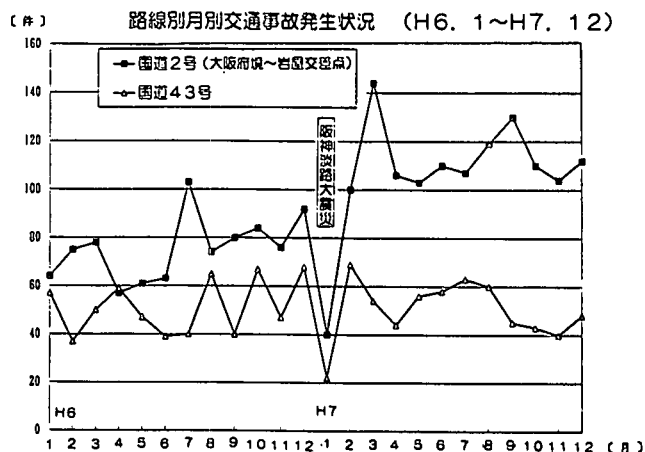


図6.4.6 国道2号、国道43号の事故件数の推移

### (5) 所要時間情報の提供

中国自動車道においては、中国自動車道だけに交通を集中させることなく、引き続き国道9号や27号にも交通を分散させるため、高速道路と迂回路の所要時間情報をドライバーに提供した。

所要時間の算定は、高速道路については通行券や車両検知器のデータ等を利用し、また一般国道については、各道路管理者により実測調査等を実施した。図6.4.7に交通情報提供の例を示す。

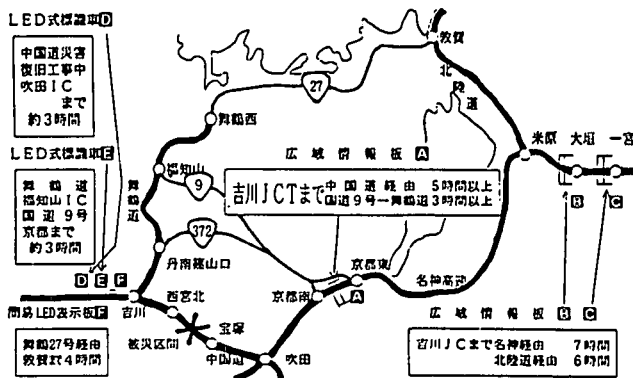


図6.4.7 交通情報提供機器の配置と表示内容



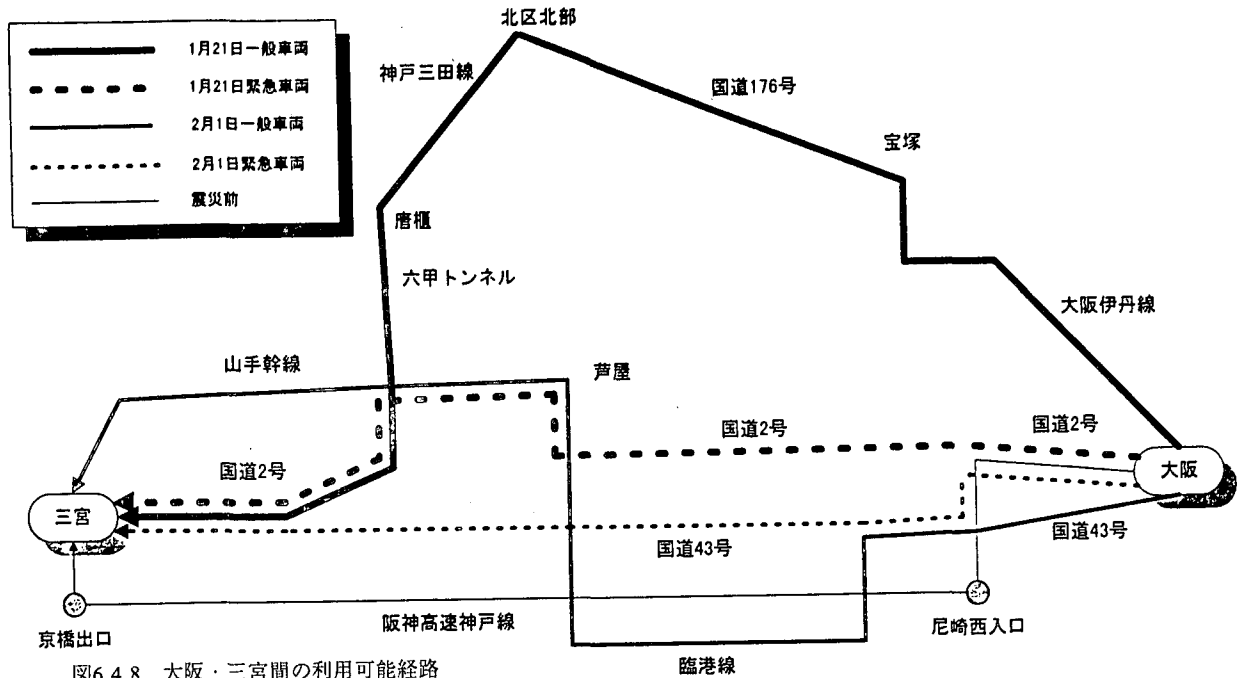


図6.4.8 大阪・三宮間の利用可能経路

#### 6.4.4 利用可能経路に基づく交通規制の影響分析

交通規制実施時の道路網の機能を検討するため、被災地域およびその周辺を含む道路ネットワークを対象として、OD間の利用可能経路ならびに震災前経路に対する震災後経路の迂回率を求めた。

OD間の利用可能経路の計算例として、図6.4.8に大阪～三宮の経路を示す。最も大きな迂回を強いられているのは、1月21日時点の一般車両である。1月21日時点では国道43号が不通であり、国道2号が緊急物資輸送ルートに指定されていたため、一般車両に関しては東灘区内で東西交通が遮断された形となってしまった。そのため、計算上は図に示すような六甲山の北側を迂回する経路が求められる結果となった。

一方、緊急物資輸送車両・緊急車両等の交通規制の適用除外の車両については、阪神高速道路こそ利用できないものの、距離的には平常時の経路にかなり近いものが利用可能経路として求められている。

被災地域およびその周辺の道路ネットワークの機能低下を定量的に評価するため、震災前の経路に対する震災後の利用可能経路の迂回率を求めた。

平均迂回率の大きなゾーン間交通に着目すると、以下の通りとなる。ただし、( )内の数字はゾーン間平均迂回率である。

1月21日のゾーン1（芦屋市,西宮市）・2（神戸市東灘区,灘区,中央区,兵庫区,長田区,須磨区）間の一般車両の交通 (3.83)

1月21日のゾーン1・4（稲美町）間の一般車両の交通 (1.76)

1月21日のゾーン2・3（宝塚市）間の一般車両の交通 (1.51)

この結果を見ると、震災発生直後における芦屋市・神戸市東灘区の断面を横切る東西交通、中でも一般車両による交通の迂回率が大きく、道路網の機能低下および交通規制の影響が強くあらわれている。

#### 6.4.5 バスレーン

震災後の鉄道の不通区間を埋める交通手段として代替バスが1月23日（月）より運行されたが、道路交通容量の低下と救援・救助物資の輸送等に伴う交通需要のために渋滞が発生し、代替バスの発着場にはバスを待つ長蛇の列ができた。そこで、円滑な代替バスの運行を確保する目的として、1月28日（土）に国道43号に緊急車両・代替バス走行レーン（以降「代替バスレーン」と略）が設置され、国道43号を通行する三宮への直行便の運行が開始された。

代替バスの乗客数は、当初約3～5万人/日程度の利用であったが、代替バスレーン設置後、おおむね2月いっぱいまで乗客数は上昇し続け、4月1日にJR東海道線が開通するまで、約20万人/日が利用していた。

大阪（梅田）～三宮間の所要時間の推計値を、代替バスレーン設置前（1月23日）、代替バスレーン設置後（2月1日）で比較したものを表6.4.1に示す。代替バスレーン設置前後の1月23日と2月1日を比較すると、どの鉄道路線を利用して設置前の約半分の所要時間に短縮されており、この点からも代替バスレーンの設置の効果を確認することが出来る。また、1月23日と2月1日の代替バスの待ち時間を比べると、各社とも大幅に減少していたことがわかった。

表6.4.1 大阪（梅田）－三宮間の所要時間推計値

(1月23日時点)

単位は分

事業者	鉄道			代替バス			鉄道			合計
	歩行時間	待ち時間	乗車時間	歩行時間	待ち時間	乗車時間	歩行時間	待ち時間	乗車時間	
阪急 区間	梅田－西宮北口			西宮北口－三宮			－			214
	時間	5	5	18	6	60	120	－	－	
JR 区間	大阪－甲子園口			甲子園口－三宮			－			270
	時間	5	5	18	2	120	120	－	－	
阪神 区間	梅田－甲子園			甲子園－三宮			－			240
	時間	5	5	18	2	30	180	－	－	

(2月1日時点)

事業者	鉄道			代替バス			鉄道			合計
	歩行時間	待ち時間	乗車時間	歩行時間	待ち時間	乗車時間	歩行時間	待ち時間	乗車時間	
阪急 区間	梅田－西宮北口			西宮北口－三宮			－			134
	時間	5	5	18	6	10	90	－	－	
JR 区間	大阪－芦屋			芦屋－三宮			－			116
	時間	5	5	14	2	30	60	－	－	
阪神 区間	梅田－青木			青木－三宮			－			103
	時間	5	5	23	10	20	40	－	－	

6.4.6 階層構造から見た道路ネットワークの評価

これまでに開発されてきた平常時交通を対象としたネットワーク分析手法を用いて、震災前後で神戸・阪神地域の幹線道路網の機能にどのような変化が生じたかを分析した。

道路に期待される機能（計画機能）の 카테고리ごとに、利用実態から見た道路機能の震災前後の変化を比較したのが図6.4.9、図6.4.10である。計画機能の 카테고리は、国幹道および都市高速道路、一般国道、主要地方道、一般地方道の4区分とした。図6.4.9を見ると、震災前には幹線性を期待される国幹道や都市高速道路は他のクラスの道路に比較して交通量が大きく、平均トリップ長も相対的に長い。計画機能に見合う利用形態となっている。一般国道は交通量の面では幹線性が強いが、平均トリップ長は短く、地域の生活交通が相当量混在していたものと考えられる。交通量とトリップ長からみた主要地方道と一般地方道の差は認められず、両者の実態機能にはほとんど差がない。要するに、震災前であっても国幹道クラスの主要幹線を除けば、必ずしも計画機能に整合した道路の利用がなされていなかった可能性がある。

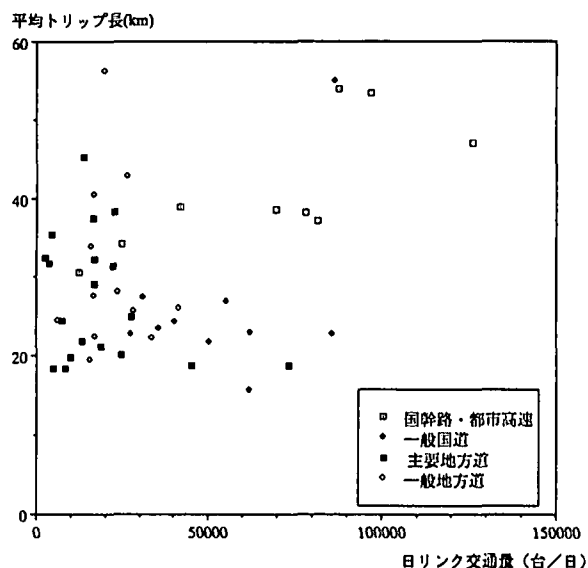


図6.4.9 計画機能別の道路の利用形態（震災前）平成6年10月

一方、震災後の図6.4.10をみると、国幹道・都市高速の交通量とトリップ長が減少し、逆に一部の主要地方道では交通量やトリップ長の増加が著しい。結果的に、いずれのカテゴリの道路も期待される計画機能と利用実態との不整合は震災前に増して顕著になったものと考えられる。生活道路化した幹線道路や、逆に幹線道路化した生活道路が混在した道路利用形態がネットワークの各所に出現し、道路利用者のモビリティを低下させているだけでなく、沿道の安全性や生活環境を悪化させているものと推察される。

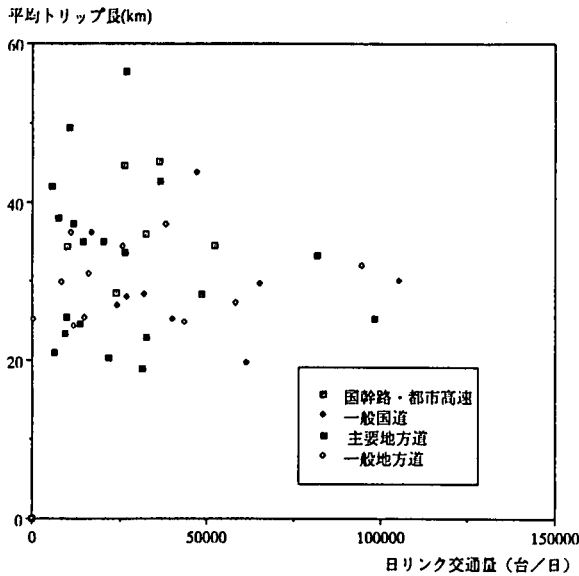


図6.4.10 計画機能別の道路の利用形態 (震災後) 平成7年5月10日

#### 6.4.7 まとめ

道路交通について、阪神淡路大震災より得られた知見および今後の課題を以下に述べる。

(1) 今回の大地震によって阪神高速道路や中国縦貫道等の高速道路が各地で大きな被害を受けたが、その代替ルートとなる道路が十分でなく、道路ネットワークとして余裕がないものになっていた。この点に関して、今後の広域幹線道路計画においては、大地震によってあるルートが通行止めとなっても必ず代替ルートが設定できるようなネットワークとすべきである。

(2) 道路の階層構造を考えることが重要であり、高速道路、幹線道路、補助幹線道路、細街路等の道路の階層構造を適切に考慮したネットワークを構築し、それが災害時にも生かされるような道路計画とすることが必要である。

(3) 交通規制および迂回路に関する情報提供はテレビ、新聞、ラジオ等のマスメディア、道路上の案内情報板、ハイウェイラジオ等で行われた。交通の混雑状況や所要時間について一般のドライバーが情報を得ることが困難であった。震災後の混乱状態においては正確な最新の交通情報をいかにして収集し、ドライバーに伝えるかということが問題であり、今後VICS (自動車情報システム) 等の普及を念頭において、震災時の交通情報提供の方法について検討の必要がある。

(4) バス専用レーンが国道43号に設置され、鉄道の代替バス輸送に大きな効果があった。鉄道が不通になり道路も交通規制が行われていたため、公共輸送機関としてはバスが最適であり、バスの定時性確保のためにバス専用レーンが有効であった。

## 6.5 ライフライン機能の相互連関

広島工業大学 能島 暢呂

### 6.5.1 はじめに

兵庫県南部地震では、ライフライン系被害により広範囲にわたる機能障害が発生した。ピーク時の機能障害は、水道126万戸、電力260万戸、ガス85.7万戸という未曾有の被災規模であったが、個々のシステムの被害が甚大であったばかりでなく、システム間の相互連関が被害拡大・復旧遅れの要因として事態を一層悪化させた。この相互連関は、震災の連鎖構造の中でも中心的位置を占める問題であるにもかかわらず、地震防災対策上の盲点となりやすい<sup>1)</sup>。ここでは、ライフライン相互連関の具体事例を、(1)システム間の物理的な被害波及、(2)システム間の機能的な被害波及、(3)復旧段階におけるシステム間での相互影響、(4)システム間代替性によるバックアップ機能、(5)ライフライン関連の複合災害、(6)エンド・ユーザーにおける相互影響の6分類に従って報告することとする。図6.5.1は、建物被害を含めての相互連関構造を整理して図示したものであり、以下では(1)~(6)の順に、事例を挙げながらライフライン相互連関について考察する。

### 6.5.2 システム間の物理的な被害波及

都市施設の集積が進むにつれて都市空間は高密度に利用される。公共施設や住居建物が甚大な被害を受けた今回の地震では、被災施設から健全な施設に被害が波及するケースが至る所で見られた。その代表的な例は、道路・鉄道交通施設の高架部や立体交差部の崩壊が他の交通を遮断したことである。また家屋の倒壊は多くの犠牲者を出したが、一軒一軒の被害にとどまることなく広く影響を及ぼした。家屋倒壊のガレキは至る所で道路を塞ぎ、緊急対応と復旧段階で大きな妨げとなった。

関西電力では架空配電設備が多大な被害を受け、支持物11,289基のうち3,495基が折損・倒壊、1,239基が火災により焼失し、供給支障の直接的原因となった<sup>2)</sup>。電柱の折損・倒壊の分布は震度7の分布とほぼ一致した傾向を示しており、ほとんどは家屋等の倒壊に巻き込まれたものである。同様に、N T Tの神戸地域における約144万回線の加入ケーブルのうち、19.3万回線は家屋の損壊に伴う引き込み線や架空ケーブルの切断とケーブル焼失により被災したものであった。

橋梁の添架管・添架線の被害も多い。六甲大橋では、配水管(φ700mm鋼管)の吊り金具が管の揺動によりはずれ、管が長さ310mに亘って脱落した。橋桁本体に管を貫通させる「箱抜き方式」をとったガス管が落下を免れたのと対照的な被害となった。

阪神高速道路公団や鉄道事業者の構造物破壊は、日本高速通信や日本テレコムの商用回線や自社通信網の被害へと波及した。兵庫県庁と国土庁を結ぶ長距離連絡網は、N T Tと新電電系の複数回線あったが、通話料金の安い後者を自動選択するアダプターが双方の構内交換機に設置されており、地震直後においても、阪神高速道路の被害により断線した日本高速通信を選択するようにシステムが動作した。このため、約4時間後にアダプターの電源が切られるまで、神戸の発着信ができない状態が続いた。

### 6.5.3 システム間の機能的な被害波及

ライフライン系は他のライフライン系の機能に依存している場合が多い。このような相互依存体系の破壊によって機能障害がシステム間で波及する。中でも停電による動力喪失や中枢機能マヒは、これまでの地震でも広範な影響を与えてきた。地震直後は260万戸に上った停電戸数は、系統復旧により2時間後には100万戸まで減少した。23日15時には送電可能な需要家への通電が完了し、153時間ぶりに電力機能が回復した<sup>2)</sup>。架空設備が多く被害発見が容易で、仮配電線による応急配電が可能なため比較的早く機能回復したものの、停電は各種の災害対応に重大な影響を及ぼした。

特に、交通信号機のマヒは、被災地一帯の交通渋滞を激化させた大きな要因の一つとなった。神戸・阪神地区では地震直後に3千箇所あまりのほとんどの信号機がマヒしたが、物理的被害によるものはわずか282箇所、残りは停電が原因であった。兵庫県警が備えていた携帯発電機は137基で絶対数が不足したうえ、対応に当たる警官の確保も困難な状況であった。これを教訓として兵庫県警では、主要交差点の信号機を自家発電機装置を備えた機種に改め、百箇所への導入を決定した。

行政機関相互の緊急連絡も停電により大きく阻害された。兵庫県が1991年に82億円を投じて導入した「兵庫衛星通信ネットワーク」は、通信衛星「スーパーバード」を利用して県内91市町村の他、消防庁や国土庁などを結び、災害時には電話が途絶しても、即座に情報を伝達できるとされていた。地震による停

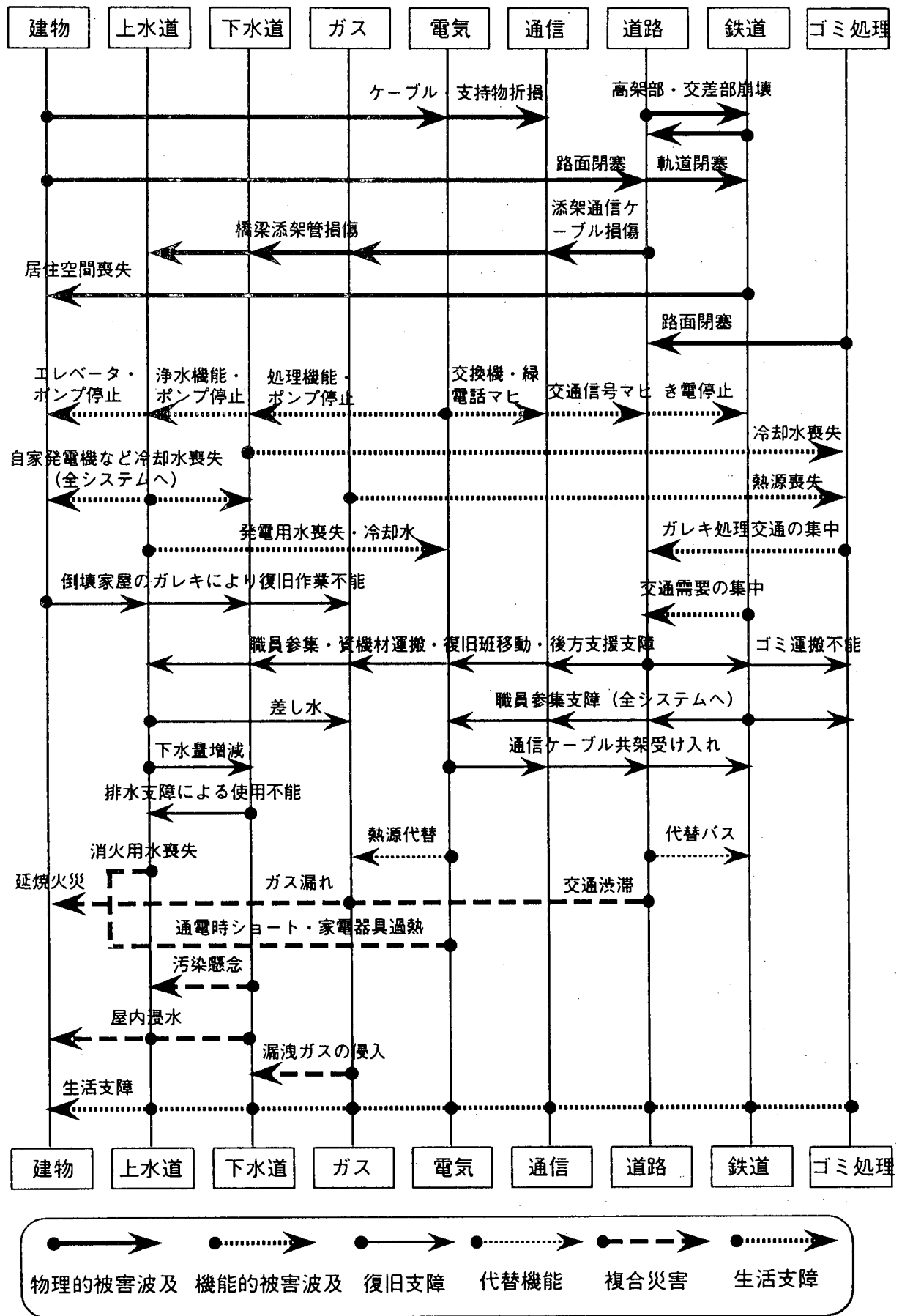


図6.5.1 阪神・淡路大震災におけるライフラインの相互連関構造

電の後、非常用発電装置が作動したが容量の限界でダウンし、自家発電機も故障したために動力を完全に喪失した。これにより復旧までの6時間、衛星通信は不通となり、各市町村や消防本部との連絡が取れない事態となった。兵庫県庁1号館と2号館に設置されていた自家発電機は、発電機と冷却水槽が別々の構造となっており、40mもの冷却水用配管で接続されていたが、この配管の破損が故障の原因であった。これに対して3号館では一体型の自家発電機が採用されており無被害であったことから、この改良システムの増設と、建物間の非常用電源の融通により、多重の停電対策とすることが検討されている。

停電対策としての蓄電池や自家発電機が、装置本体の破損や冷却水不足・燃料不足によりバックアップ機能を果たさなかったケースは他にも多い。神戸市内の8局のN T T交換所では、施設被害は軽微であったものの商用電源の途絶とバッテリーの倒壊や過放電が重なり、計28.5万の加入回線が被災した。移動電源車による応急的な電源供給が確立されるまで、最長約30時間の通信機能マヒの原因となった。また発信規制の対象とならない緑公衆電話は、テレホンカードのリーダー部分が商用電源に依存するので、停電のためカードでの利用ができなくなった。コインでの利用は可能であったが、すぐにコイン詰まりを生じ、コイン回収のための職員確保に時間を要したため、使用不能が長引いた。

地震災害では救急医療のニーズが急激に増大するが、病院機能は低下する。被災地域の病院では、自家発電機を設置していたにもかかわらず、断水のため潤滑油の冷却水が得られず、作動しなかった例が数多く報告されている<sup>3)</sup>（神戸市立中央市民病院、六甲病院、神鋼病院など）。高層マンションでは、停電により受水層から高架水槽へのポンプアップが不能となった結果断水し、なおかつエレベータが使えないために重いポリタンクの水を持って階段の昇り降りをする必要が生じた。

ゴミ・廃棄物処理機能は、熱源・動力源・処理水・冷却水・収集・運搬などの面で複数のライフライン機能に依存し、機能障害の波及的影響を強く受けた<sup>4)</sup>。六甲アイランドの東部スラッジセンターでは、大被害を受けた東灘処理場の下水処理水を冷却水として利用していたため、海水利用により応急的に冷却水が確保されるまで機能が停止した。また芦屋市の廃棄物処理を行う環境処理センターでも、下水再処理水を排ガス冷却に利用していたため、処理に支障が生じた。1月20日に空気冷却に改造して仮復旧して処理を再開したが、増加した廃棄物に対しては能力不足であった。ゴミ処理場においてはガス断による熱源喪失が問題となったが、大阪ガスでは中圧供給を行っている病院・焼却場・斎場を公共性・緊急性の高い施設として優先的に復旧した<sup>5)</sup>。

#### 6.5.4 復旧段階におけるシステム間での相互影響

地震による交通支障は、復旧活動の初動体制確立に影響を及ぼした。例として、関西電力神戸支店における職員の参集状況を挙げる<sup>2)</sup>。神戸支店（営業所・電力所・発電所を含む）では、1月17日の出社予定人員2,389名のうち、9時までの出社率はわずか37%、当日中の出社率は69%であった。出社可能であったネットワーク技術関係要員466名の出社手段は、通常のルートを利用できた割合はわずか10%であり、多くはマイカー・バイク・自転車・徒歩を利用している。復旧作業の後方支援に関しても、陸上ルートでは生活物資の輸送がはかどらず、本格化したのは海上輸送ルートが確立された後であった。

釧路沖地震における低圧ガス導管の復旧作業は凍土に阻まれて作業性が悪かったが、今回はシステム間の相互連関の問題が顕著であった。供給停止区域は需要家3,000~4,000戸を単位としてセクター化され、1セクター復旧に4~5日かかるとして1日約2万戸のペースで作業を進め、約1ヶ月半で全戸復旧という目標がたてられたが、以下のような復旧支障により復旧作業は難航した<sup>6)</sup>。

- a) 漏水や地下水のガス修理箇所への浸水やガス管への差し水が生じた。管内カメラ班による差し水調査の後、抽水専門班や管内土砂排除専門班の作業を必要とするなど、作業性が極端に低下した。
- b) 激しい交通渋滞に阻まれ、復旧班の移動に支障をきたした。移動時間を短縮するため、本社対策本部と兵庫地区対策本部（今津）以外に16箇所の「前進基地」や「車両基地」を設けたり、早朝移動により渋滞を避けるなどの工夫をした。
- c) 道路上の家屋倒壊の瓦礫や放置車両などの障害物により、バルブ操作や道路開削・修繕の作業が不能となった。本来の復旧順序を変更し、引き込み線の切断のみを先行して行うなどの工夫がされた。

最終的には復旧用ブロックとしてのセクター数は222に及び、70.4万戸の完全復旧に85日を要して、復旧効率は平均約8,300戸/日にとどまった。1セクターの修理完了に平均7~8日を要した計算となるが、各

セクターの被災規模や差し水の程度により、数倍近い効率差が表れた。このような状況の中で大阪ガスは、復旧作業の競合や錯綜を回避するため、水道事業者との作業工程に関する打ち合わせをほぼ毎日行った。

通信途絶の影響も大きく、各ライフラインの初動体制の確立と復旧活動における情報伝達が著しく阻害された。しかし、独自の通信施設を持つ関西電力では、保安通信の中枢を担う多重無線回線は健全であった。これにより、広域給電運用や電力間の資材融通の情報連絡に支障をきたすことはなかった<sup>2)</sup>。

マイナス面の復旧支障ばかりでなく、プラス面の組織連携もあった。単独柱が多数倒壊したNTTや、高速道路被害と鉄道被害により影響を受けた日本高速通信・日本テレコム、通信ルートが途絶したJRや阪急電鉄においては、迂回ルート確保のため関西電力に計2,000本の共架申請を行った。配電線支持物の建柱が早期に行われた関西電力では、この申請を受け入れ、他ライフラインの応急復旧に大きく貢献した<sup>2)</sup>。

### 6.5.5 システム間代替性によるバックアップ機能

ロマ・プリエタ地震やノースリッジ地震においては、鉄道交通が道路交通の機能を代替する役割を果たし、交通需要を吸収した。一方、阪神地域は東西に偏平な地理的・地形的条件により交通網が冗長性を備えにくいという、あらゆる交通施設が同時に被災した。このため空路・海路など一部を除いて、決め手となる代替交通が存在せず、大阪～神戸間の都市内・都市間交通は完全なマヒ状態に陥った。その中で1月23日に運行を開始した鉄道代替バスは、鉄道の被災した部分を補完する重要な役割を果たした。図6.5.2はJR東海道・山陽本線における不通区間（1月18日：西明石～尼崎、1月23日：須磨～甲子園口、2月20日：灘～住吉）の西側・東側輸送力と乗車率および代替バスの輸送実績を示している。23日には代替バスが三宮～甲子園口間で運行開始し、大阪と連結した不通区間東側の乗車率が回復した。30日には神戸～三宮間のシャトルバスが運行を開始し、不通区間西側も利用が急増した。このように、大阪～神戸間の東西交通の有機的連結が乗車率の向上に深く関与した。1月28日には国道43号線にバスレーンが設けられ、大量の代替輸送への協力体制が敷かれた。

釧路沖地震ではガス供給遮断地域に送電する橋北変電所において、電力需要増加が明確に認められた。今回のガス停止中においても、生活困窮を緩和するため、代替熱源として早期に復旧した電気により電熱器・電子レンジ・電気ポットなどの電気器具が盛んに利用されたことから、電力需要はかなり伸びたものと思われる。熱源供給としての電力とガスは相互に代替機能となりうるが、風呂の熱源のように転換が容易でない場合もある。大阪ガスでは、供給が途絶している間の代替熱源供給として、LPガス器具を病院などの公共施設や仮設住宅に貸与したり、カセットコンロ17.8万台を自治体に貸与したほか、簡易シャワー16箇所、仮設風呂7箇所、車載型シャワー7箇所の入浴設備の設置を行った<sup>5)</sup>。

### 6.5.6 ライフライン関連の複合災害

ライフラインのフローが外部に流出することによって、ライフラインに関連した複合災害が生じた。今回の地震における火災は、複合災害として種々のライフラインが関与した。ガスの供給遮断は地震から約

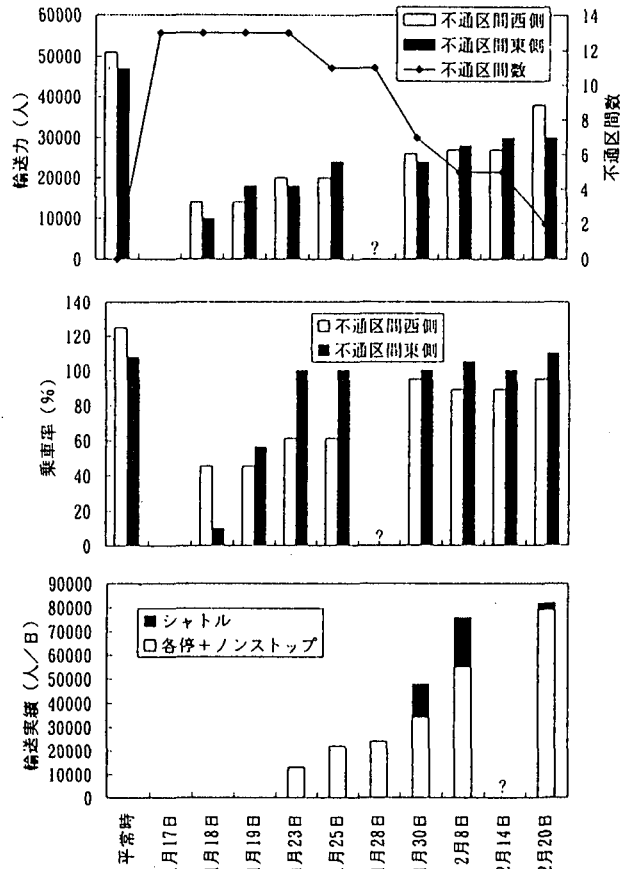


図6.5.2 JR東海道・山陽本線不通区間の状況

上段：不通区間数と両側の輸送力  
 中段：不通区間両側の乗車率  
 下段：代替バスの輸送実績

6～15時間後にかけて行われたが、管内の残留ガスの漏出が遮断後も続いていたことが明らかになった。また電気が通電した際のスパークが着火源となって火災原因となった。地震後3日以内に発生した179件の火災うち44件がガスまたは電気が関与していることが報告されている<sup>6)</sup>。このうち22件がガス関係、30件が電力関係（8件は電気とガスの複合）であると見られており、両システムの緊急対応や復旧の進め方などに課題を残した。

断水と交通支障は被災直後からの消火活動に大きな障害となり、同時多発火災は拡大してトータルで約70haを焼きつくす市街地大火となった。神戸市では二層式貯水池の一方に緊急遮断弁を取付け、緊急時に飲料水と消火用水の双方を確保する対策をとっていた。飲料水の確保には成功した一方で、消火栓が使用可能であったのはわずかであり、地震後20分の時点で水が得られなかった消火栓もある。このため、多くのポンプ車を連結して防火水槽や河川水、海水を利用せざるを得なくなり、消火活動は大きく阻害された。

#### 6.5.7 エンド・ユーザーにおける相互影響

建物自体がライフライン機能に依存するために、ライフライン機能障害により建物機能が失われる事例が多発している。建物機能の高層化・インテリジェント化に伴って電力依存が進み、停電による建物機能喪失が発生した。また、屋内給排水管・ガス灯内管や、受水槽・高架水槽・浄化槽・ボイラーなどの屋内設備が被害を受け、漏水・浸水・漏電・ガス漏れなどの危険要因となるとともに、屋内レベルでもライフライン機能が失われる結果となった。1994年北海道東方沖地震では、ガス湯沸かし器や冷凍庫、製氷機、種々の医療機器などが水圧低下や断水のため使用不能となったうえ、水道管直結タイプであったために、代替手段で水が得られたとしても、それらの器具では利用できない状態となった。今回も同様の支障があったものと考えられる。

生活機能は、居住空間・用配水・熱源・照明・動力電源・情報機能・交通機能などに支えられ、ライフライン機能に複合的に依存しているため、日常生活の復旧は最も復旧の遅れたライフライン機能に支配される。エンド・ユーザーの対応行動は、生活支障の継続時間に応じて、1)我慢する、2)備蓄物を利用する、3)代替物を獲得する、4)宅外機能を利用する、5)疎開する、のような段階を踏むものと考えられる。今回の地震で交通機能がマヒしたことは、こうした対応行動をも阻害する結果となった。

#### 6.5.8 おわりに

震度5程度で被害が出はじめるライフラインでは、大震災での被害回避は実質的に不可能であるが、本来の機能をできる限り損なわないこと（信頼性向上）、被害が発生しても機能を保持すること（冗長化／多重化／危険分散化／ブロック化）、早期復旧が可能な施設群を構成すること（保全性向上）、孤立してもある程度は機能存続できること（バックアップ強化／自律分散化）など、多面的な防災対策を、供給サイド・需要サイドの両面から強化することが肝要である。

しかし阪神・淡路大震災においては、各システムの被災規模がこれまでになく甚大であったことから、ライフライン相互連関は大規模な災害連鎖の根源的な位置を占めてしまった。阪神・淡路大震災は、都市機能の相互依存、生活機能のライフライン複合依存と他律化、都市空間の立体的な高密度利用という都市の特徴が、大災害の局面でいかにマイナス要因となるかをまざまざと見せつけた。ライフラインを含めて、震災波及構造の時系列を整理し、克明な災害記録をとどめることが望まれる。

#### 参考文献

- 1) 能島暢呂・亀田弘行：地震時のシステム間相互連関を考慮したライフライン系のリスク評価法，土木学会論文集，No. 507/I-30，pp. 231-241，1995年。
- 2) 関西電力(株)：阪神・淡路大震災復旧記録，1995年。
- 3) 日本病院学会：第45回日本病院学会講演集，「大災害と病院」1995年。
- 4) 細井由彦・上月康則・野田茂・能島暢呂：兵庫県南部地震における排除系システムの被害及び復旧プロセス，第23回地震工学研究発表会講演概要集，pp. 639-642，1995年。
- 5) 大阪ガス(株)広報部：がす燈震災特別号「阪神大震災 ガス復旧の軌跡」，1995年。
- 6) 室崎益輝：火災，日経アーキテクチャ編「阪神大震災の教訓」，pp. 85-89，1995年。



## 6.6 ライフライン・交通に関するアンケート調査の分析

名状大学 若林 拓史, 広島工業大学 能島 暢呂

### 6.6.1. はじめに

日常生活の機能はライフライン機能に複合的に依存しており、地震時のライフライン機能障害による生活支障は、各ライフライン機能の復旧プロセスをはじめ、生活様式や代替物の利用状況などに大きく左右されると考えられる。地震時機能障害による利用者の困窮を軽減するためには、生活支障の実態調査に基づいた対応策の検討が必要である。また、今回の地震では未曾有の交通システム被害が発生し、被災地域はもとより全国レベルにおいて物流・人流に大きな影響を与えた。今回の地震における交通障害を機能面から記録・分析し、今後の対策に有効に利用することが必要である。対策という観点からは、交通規制や情報提供のあり方が重要な検討課題になるであろう。本研究はこのような観点から、阪神・淡路大震災においてライフライン機能障害を経験した被災者に対するアンケート調査結果に基づいて、ライフライン機能障害とそれによる生活機能障害の実態を明らかにし、両者の関連について分析を行ったものである。また、交通に関しては、通勤交通に焦点を絞って調査し、あわせて交通規制や情報提供のあり方も調査している。

### 6.6.2. アンケート調査の概要

アンケート調査は、土木学会関西支部「阪神・淡路大震災調査研究委員会」の三分科会（地盤・基礎、ライフライン、復旧・復興）が合同で企画・実施したものである。関西二府四県在住の土木学会関西支部会員約4,500名を対象として、95年9月中旬に職場班を通じて調査票が配布され、12月下旬までに2,433票が回収された。

ライフライン関連の質問項目は、「問1. ライフライン設備と熱源の使用状況」、「問2. ライフライン機能の復旧期間」、「問3. 生活機能の復旧期間」、「問4. 生活の困窮度」、「問5. 代用品の利用状況」、「問6. 震災後の生活場所」の6項目からなる。

また、交通関連の質問項目は大きく分けて、「A. 平常時の通勤交通行動」「B. 通勤先の変化と通勤再開時期」「C. 地震後の通勤交通行動（4時点）」「D. 交通情報と交通規制」の4項目であった。

このうち通勤交通に関する調査項目は、

- (1) 地震前の通勤手段（端末手段、乗換駅を含む）
  - (2) 自宅出発時刻、勤務先到着時刻、退社時刻、帰宅時刻
- であり、

- (3) 設問Cでは、地震後の(1)(2)の変化を、①地震直後から2/7まで、②2/8（JR住吉開通）から3/31、③4/1（JR神戸線開通）から5/31、④8/7（交通規制緩

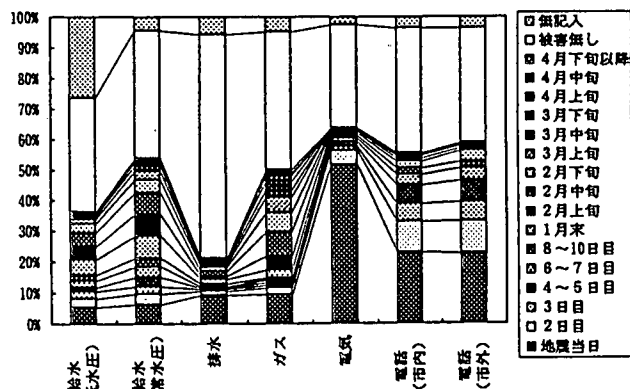


図 6.6.1 ライフライン機能の復旧期間

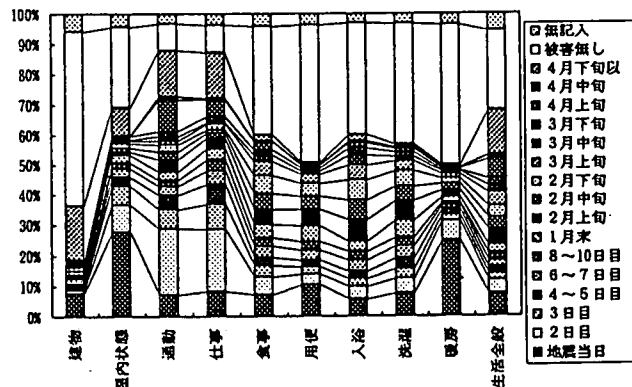


図 6.6.2 生活機能の復旧期間

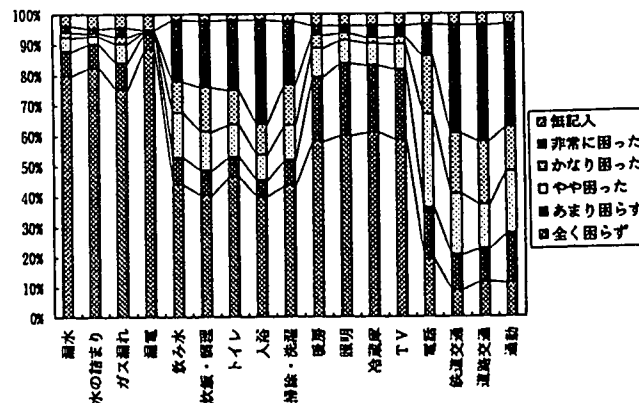


図 6.6.3 生活の困窮度

和)以降, の4時点について調査している。

### 6.6.3. ライフラインに関する調査

#### (1) 単純集計結果

以下では, ライフライン被害が集中した兵庫県南部および大阪府の淀川以北の市町からの1,141票の回答を用いて, 問2~問4の単純集計およびクロス集計を行った結果の一部を報告する。

図6.6.1は問2の集計で, 自宅における各ライフライン機能の回復に要した期間を示す。上水道・ガスの機能障害が長期化したのに比較すると, 電気・電話は影響がより広域だったものの復旧が早かった傾向が表れている。また各戸での排水機能の障害は少なかった。図6.6.2は問3の集計で, 生活機能が普段通りにできるようになった期間を示す。「通勤」と「仕事」への影響が最も広範囲に及んでおり, かつ4月下旬以降にずれ込む長期影響も見られる。図6.6.3は問4の集計であり, 生活項目別の困窮度を示す。困窮度の現れ方の違いは, 「水・ガス・電気の漏れ」「水・電気・ガス依存の機能」「電気依存の機能」「通信・交通依存の機能」の4カテゴリーにより概略的な解釈が可能である。

#### (2) ライフライン機能障害と生活困窮度の分析

ライフライン機能復旧の記録は各事業者から出されている<sup>1)</sup>, 世帯レベルでの状況を把握するため「給水(通常水圧)」と「ガス」の復旧期間のクロス集計を該当者数5人ごとのコンター図で示したものが図6.6.4である。「ガス」復旧の方が遅れたケースが多いことと, いずれか一方が無被害であったケースもあったことがわかる。本研究では問1~問4の各項目間のクロス集計による分析を行ったが, 紙面の都合上, 主に「入浴」と「通勤」の復旧期間と困窮度を中心とした結果を掲げる。図6.6.5と図6.6.6はそれぞれ「給水」および「ガス」と「入浴」の復旧期間の関係をコンター図で示したものである。図6.6.4の傾向を反映して単一のライフライン機能障害で説明しきれていない部分が目立つ。一方, 「給水」と「ガス」の遅い方の復旧期間を横軸とした図6.6.7では, 完全相関に近い関係となっている。「食事」については「入浴」と同様に「給水」と「ガス」の遅れた方に支配される傾向が見られたが, 「用便」と「洗濯」については「給

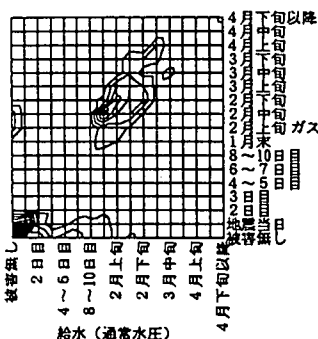


図 6.6.4 「給水」と「ガス」の復旧期間

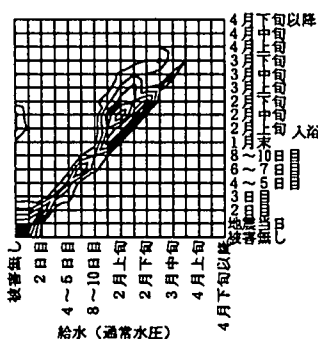


図 6.6.5 「給水」と「入浴」の復旧期間

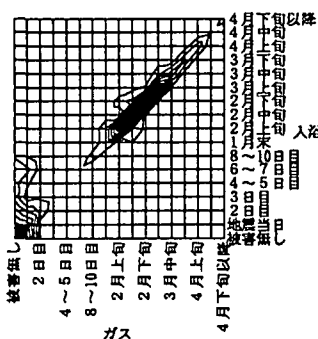


図 6.6.6 「ガス」と「入浴」の復旧期間

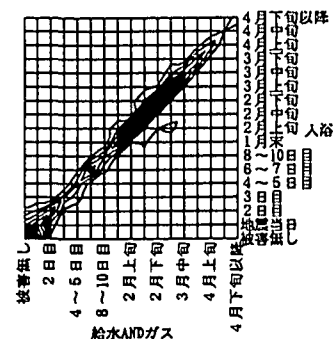


図 6.6.7 「給水 and ガス」と「入浴」の復旧期間

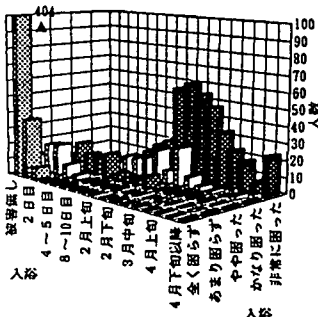


図 6.6.8 「入浴」の復旧期間と困窮度

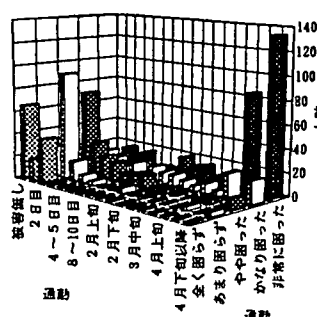


図 6.6.9 「通勤」の復旧期間と困窮度

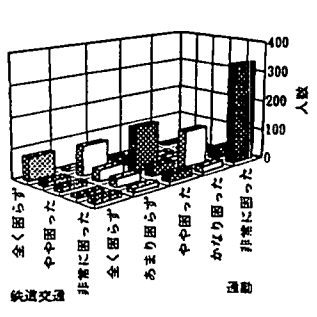


図 6.6.10 「通勤」の困窮度と「鉄道交通」の困窮度

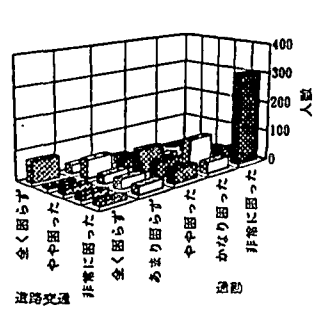


図 6.6.11 「通勤」の困窮度と「道路交通」の困窮度

水」とほぼ完全な相関関係にあることがわかった。図 6.6.8 は「入浴」の復旧期間と困窮度の関係を示す。機能回復の遅れとともに困窮度が増す傾向がわかるが、特に地震後約 2 週間を経過した 2 月上旬に「非常に困った」が急増していることが注目される。また図 6.6.9 は「通勤」の復旧期間と困窮度を示す。高い困窮度を示しているのは、JR 在来線の全線開通と国道 2 号、43 号の規制が緩和された 4 月上旬に通勤が回復したグループと、阪急や阪神などの不通により 4 月下旬以降もなお通勤が正常化していないグループであると推察される。図 6.6.10、図 6.6.11 は「道路交通」および「鉄道交通」の困窮度と「通勤」の困窮度の関係を示したものである。いずれも高い相関関係が認められるが、「鉄道交通」の方が関連が明確に表れていることがわかる。

表 6.6.1 通勤の再開時期

	地域①	地域②	地域③
地震当日から	4	9	298
地震翌日から	26	38	238
2,3日たってから	19	30	31
約1週間後から	17	25	4
1週間以上後から	10	14	7
その他	5	9	8
無記入	3	3	22
合計	84	128	608

単位：人

6.6.4. 通勤交通行動に関する調査

(1) 分析の対象

本分析では、通勤先として最も回答が多かった大阪市に着目し、地域①：被災地域（被害の大きい地域）、地域②：被災地域を通過して通勤する地域、地域③：大阪市への通勤には特に支障のなかった地域、に分けて分析した。分析総

数は 820 であった。

(2) 通勤の再開時期

表 6.6.1 に示すように、地域①と②と地域③とでは大きな違いが見られる。アンケート回答者に関する限り、地域①と②との大きな違いは見られない。表 6.6.1 のその他については、独身寮への一時移転や勤務先の変更等が含まれている。交通システムの不通の大きさが明らかとなっている。

(3) 通勤手段および所要時間の時系列的変化

地域ごとに、交通機関の整備状況、特に私鉄や地下鉄路線の有無、起終点、経由地の相違があるので、行政区域（市および区）ごとに分析した。行政区域単位でのサンプル数はわずかなものとなり、統計的処理は困難となるが、それぞれの通勤者が、それぞれの判断で交通手段を選択し、苦勞して通勤していることが

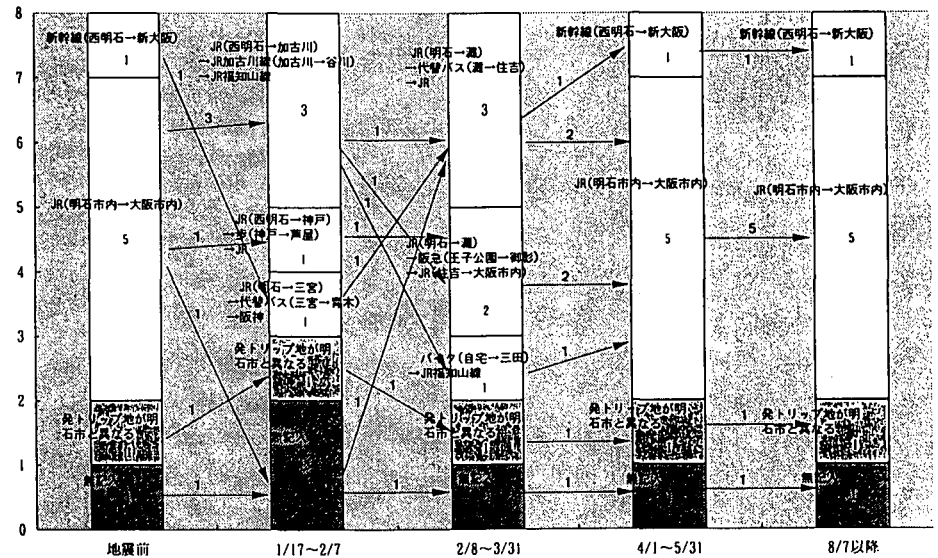


図 6.6.12 明石市から大阪市への通勤交通手段の時系列的変化 (サンプル数 :8)

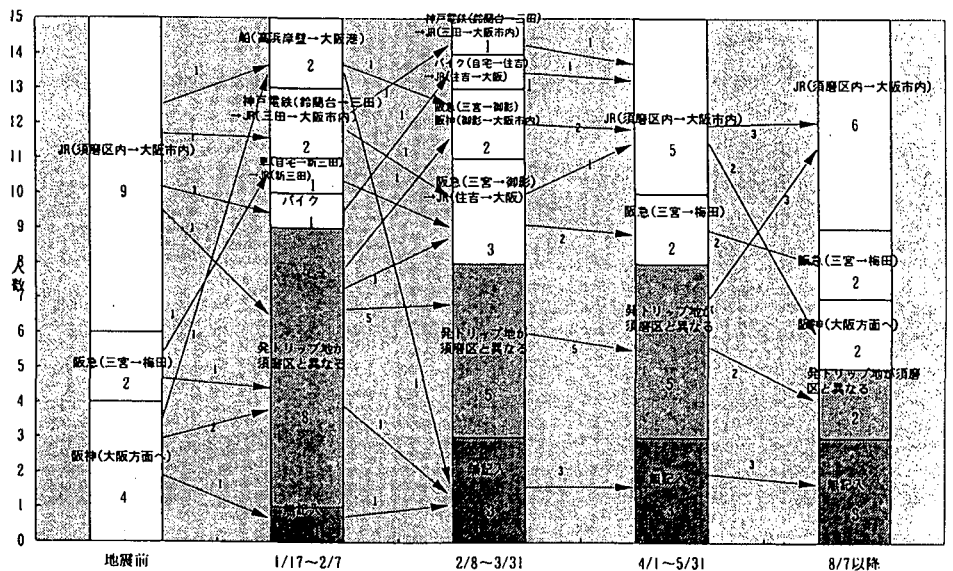


図 6.6.13 神戸市須磨区から大阪市への通勤交通手段の時系列的変化 (サンプル数 :15)

明らかとなった。

これらのうち、明石市から大阪市（本来はJR神戸線が主通勤手段）、神戸市須磨区から大阪市（本来はJR、阪急、阪神で分担）への通勤手段の時系列的変化を図6.6.12、図6.6.13に示す。前者では、JRが開通した4月1日以降は、元に戻っているが、その間、種々の代替手段が選択されていることがわかる。大きく分けて、JR西明石駅→JR加古川線→福知山線へ迂回する経路と、JR神戸線、阪急神戸線、阪神電鉄線地域を代替バスを含めて乗り継ぐ経路に分かれている。中には、JR神戸駅からJR芦屋駅まで、代替バスではなく徒歩で120分かけている人も見られる。また、後者では、神戸電鉄（三田経由）→JR福知山線経由の経路、高浜岸壁から出航する船で大阪へ向かう経路に分かれている。この地域では、転居・会社の寮へ入居等で須磨区に居住しなくなったケースも多い。また、図6.6.14に、明石市からの通勤所要時間（行政区域をグループ化した後）の時系列的変化を示す。ここに示してある通勤所要時間は、地震直後の大混乱期間ではなく、調査対象期間中の平均的なものであるが、通勤所要時間が大きく増加していることがわかる。

(4) 勤務先到着目標時刻の変化

(3)で述べたように、通勤所要時間は大幅に増加した。その結果自宅出発時刻が大きく変化しているが、図6.6.15に示すように、一方で勤務先到着目標時刻に大きな変化が見られないのが特徴である。この図から判断しても、通勤者が勤務時刻に間に合うように懸命に通勤交通行動を行ったことが明らかとなった。

6.6.5. 地震後の交通情報と交通規制について

アンケート項目「D. 交通情報と交通規制」では、『情報の入手の有無』『情報によって交通行動を変えた経験』『必要な交通情報』『交通規制で受けた影響』『交通規制の程度の妥当性』『規制導入の時期の妥当性』等であった。交通情報と交通規制に関しては、多くの人々が交通情報入手し、図6.6.16に示すように、交通手段や経路、出発時刻を変更している。中には、交通を取りやめた人も存在している。図6.6.17では役に立った交通情報を、図6.6.18では必要だった交通情報を示している。道路に関する情報へのニーズが

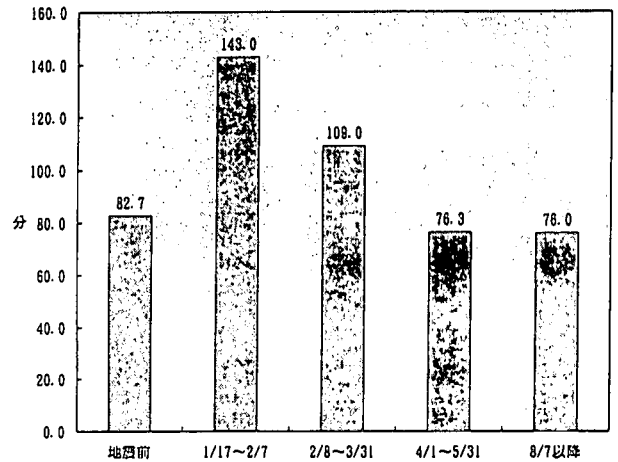


図 6.6.14 明石市, 神戸市西区から大阪市への通勤所要時間の時系列的変化 (サンプル数 :19)

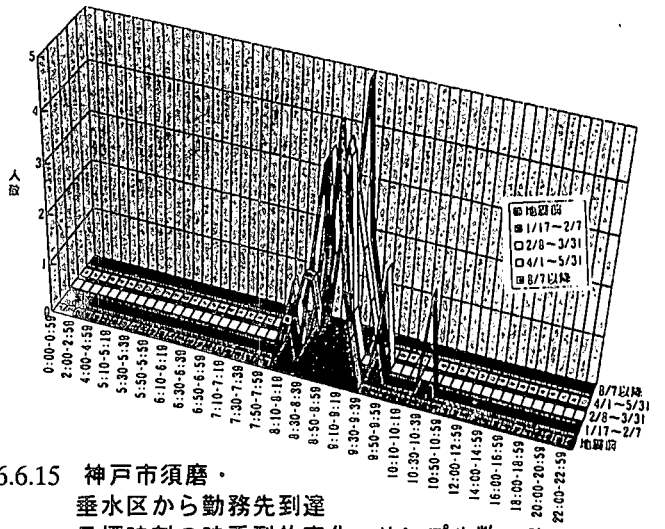


図 6.6.15 神戸市須磨・垂水区から勤務先到着目標時刻の時系列的変化 (サンプル数 :18)

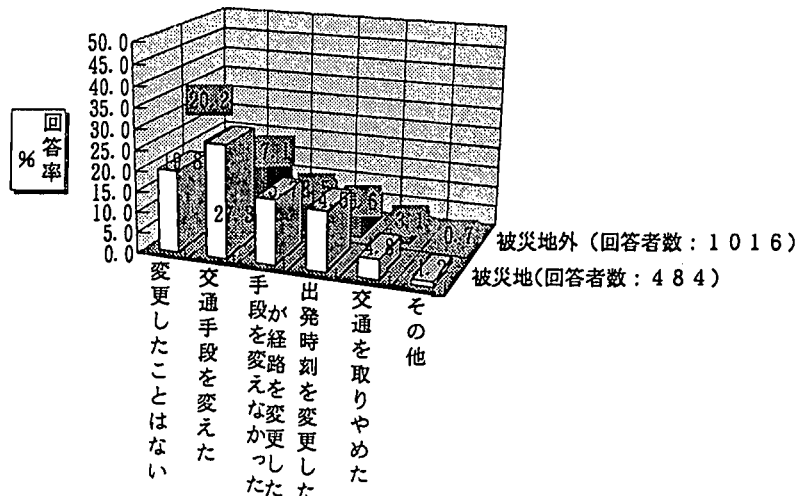


図 6.6.16 交通情報を聞いて交通の予定を変えた経験 (複数回答可能)

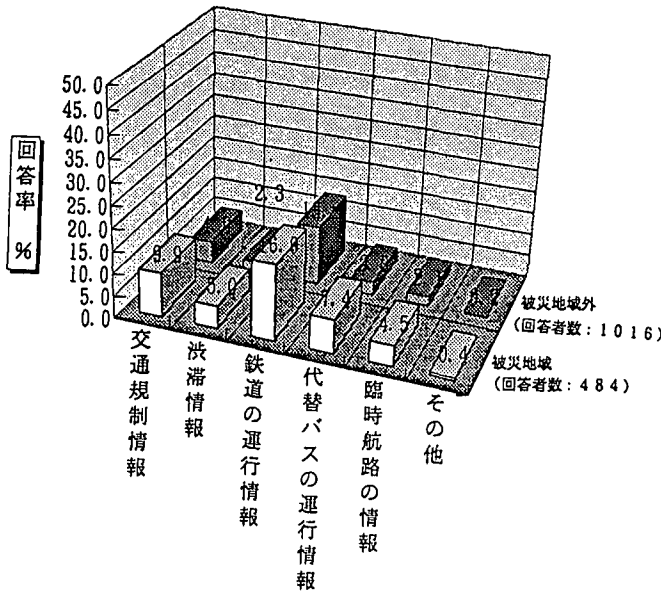


図 6.6.17 役に立った交通情報

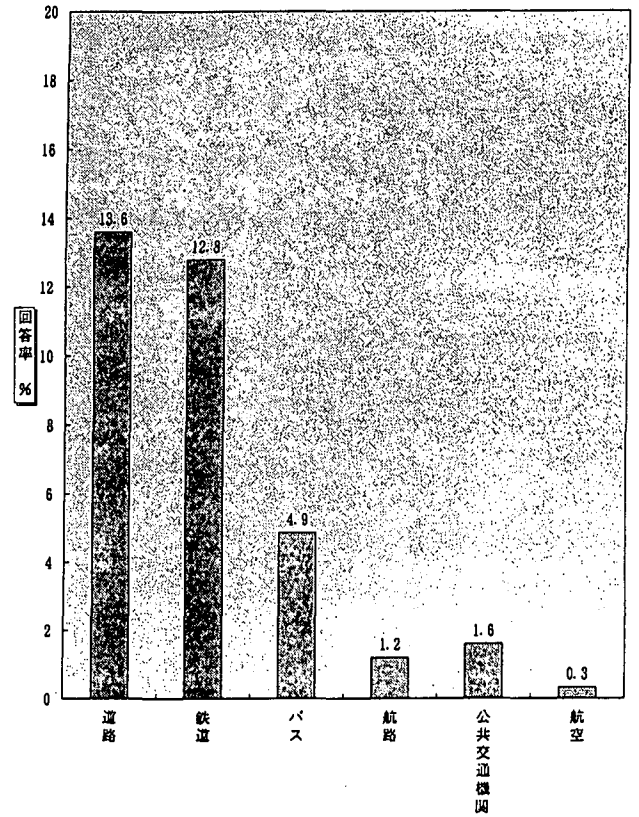


図 6.6.18 地震後必要な交情情報 (回答者数: 1500 (自由回答方式))

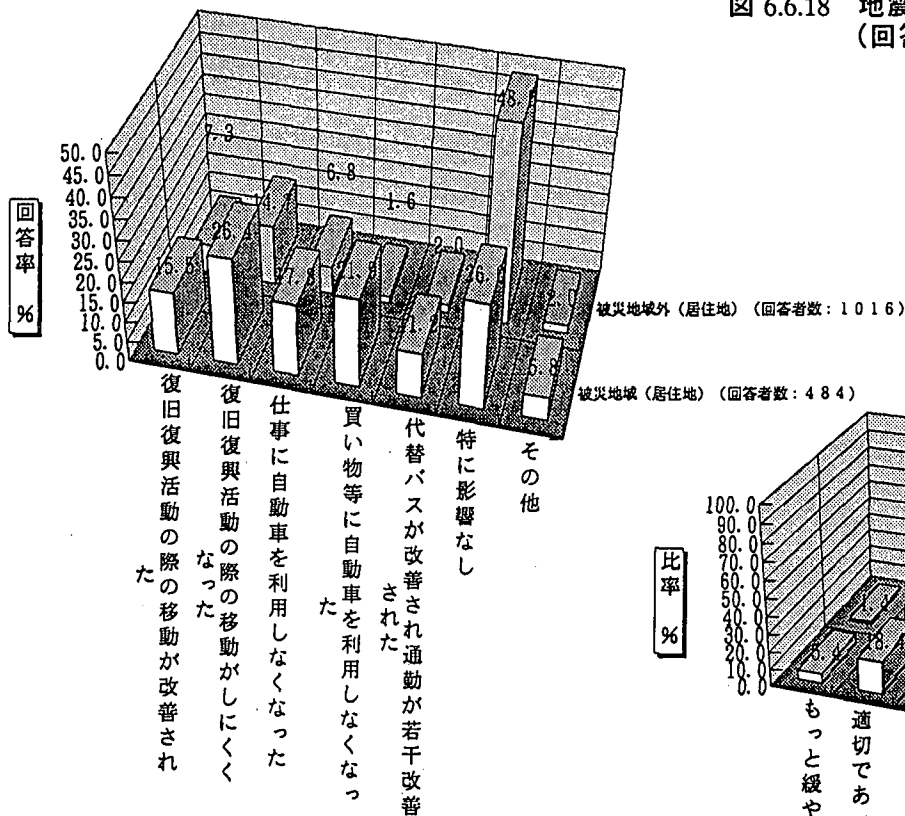


図 6.6.19 交通規制により自身が受けた影響

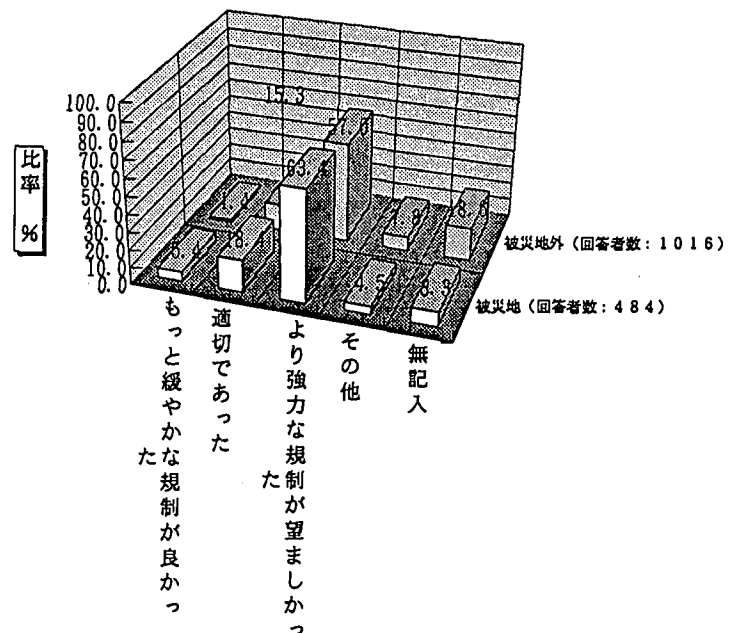


図 6.6.20 地震後実施された交通規制の程度に関する意見

高いが、この内訳は、『交通規制の程度』『渋滞の程度』『通行止め箇所』『通行可能ルート』『所要時間』等であり、中には情報提供の段階以前の情報の取得そのものが困難であったと思われる項目があり、これらが今後の交通システム管理の課題である。

図 6.6.19 は、交通規制によって自身が受けた影響を示している。このうち被災地内では、『復旧復興活動の際の移動がしにくくなった』と『復旧復興活動の際の移動が改善された』との相対立する回答が見られる。同時に、『仕事に』『買い物等に自動車を利用しなくなった』との回答があり、自動車利用削減効果が認められる。また、交通規

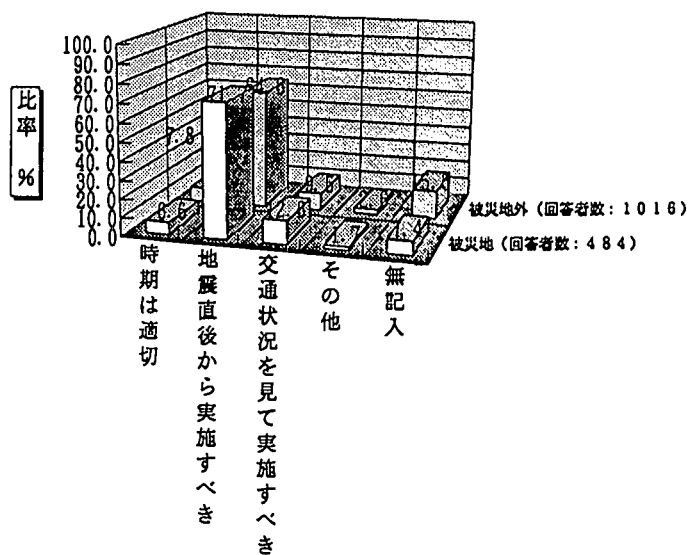


図 6.6.21 交通規制導入の時期に関する意見

制に対する意見分布は図 6.6.20 に示すように、『より強力な規制が望ましかった』とする意見が被災地と被災地外とで共にきわめて多かった。『適切であった』『もっと緩やかな規制が良かった』とする意見も存在するが、その割合が被災地外よりも被災地内で多かった点が回答の特徴であった。この被災地内における交通規制に対する不満をさらに調査した事例は、松村・新田・西尾<sup>2)</sup>による調査研究がある。交通規制導入時期に関しては、図 6.6.21 に示すように、『地震直後から実施すべき』が最も多い。

#### 6.6.6. おわりに

この災害時の交通システム危機管理は、今回の震災における盲点であった<sup>3)</sup>。地震の発生直後から復旧過程に至るまで、規制・運用・情報提供を含む総合的な交通システム危機管理計画の構築が重要である。この危機管理計画は、震度別、発生時刻別、地域別、対策シナリオ別に策定されることが必要で、さらに時系列的(地震直後、その日の夕方まで、翌日、2~3日後、...)に構築される必要がある。例えば、震度が一定以上であれば、当該自治体のマンパワーは救急・救出活動で手一杯となることを想定して、周辺自治体での通行規制を含む後方支援体制が必要となろう。重要なことは、対策の相乗効果を高めるために一連の危機管理対策はパッケージとして提供すること、規制をしたら迅速に利用者に知らせることである。また、いくら詳細に危機管理計画を策定しても限界はあるから、臨機応変な対応を可能にするため、対策の主旨(マニュアルに載っていないなくても対応できる)を明記すべきである。危機管理計画の策定においては、行政の緊急対応の仕方を市民に知らせるべきであり、市民側で対応すべきことも知らせる必要がある。

#### 参考文献

- 1) 例えば、大阪ガス(株)広報部：がす燈震災特別号『阪神大震災 ガス復旧の軌跡』,1995.
- 2) 松村暢彦・新田保次・西尾健太郎：震災時の交通規制に関する住民意識について、平成8年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集,pp. IV-72,1996.
- 3) 若林拓史：阪神淡路大震災における道路網連結信頼性と確率重要度による重要区間の評価、土木計画学研究・論文集, No.13, 1996(forthcoming).