

# 災害時におけるライフライン系の挙動

山崎 文雄\*

\* 東京大学 生産技術研究所 東京都港区六本木7-22-1

E-mail: yamazaki@iis.u-tokyo.ac.jp

キーワード：ライフライン (lifeline), 地震 (earthquake), 構造被害 (structural damage), 機能支障 (functional loss), 影響波及 (effect transfer).

JL 0001/97/3601-0021 © 1996 SICE

## 1. はじめに

今日の都市社会は、さまざまなライフラインへの依存度を急激に高めてきている。平成5年版の防災白書によれば、1960年から1990年までの30年間に、わが国において人口は約1.3倍、事業所数は約1.7倍しか増加していないのに対し、電力使用量は約6倍、事業用ガス販売量は約9.5倍、水道使用量は約3.3倍、電話の加入件数は約14倍に急増している。このように、都市がライフライン依存度を高めてきた結果、地震や台風などの災害によりそれらが機能停止した場合、影響は都市機能全体に波及する。阪神・淡路大震災の際、病院の診療機能が低下した原因<sup>1)</sup>として、施設・設備の損壊や医療従事者の不足といった事態より、上水道の停止、電話の不通と混乱、都市ガスの停止などが上位にあげられていたことが、典型的な例といえよう。ライフラインは単体の構造物と異なり、さまざまな施設が面的・線的に有機的につながって1つのシステムを構成している。したがって、1つの施設の機能停止が、システム全体に影響する場合もある。機能停止を防ぐ対策としては、システムの多重化や多ルート化などによるバックアップの考え方が重要である。本文では、最近の災害事例<sup>2)~4)</sup>に基づいて、災害時にライフラインがどのように被害を受け、その機能停止がどのように影響したかを示すとともに、機能確保のための課題について考えてみる。

## 2. 電力システムと災害

電力は基幹エネルギーとして、ほぼすべての都市機能の維持に深くかかわっている。電力システムは多岐多用の設備から構成されているが、地震の際、最も壊れやすいのは、変電設備と配電設備である<sup>2)</sup>。変電設備は、新潟地震、宮城県沖地震、千葉県東方沖地震、釧路沖地震、三陸はるか沖地震など、近年のほぼすべての被害地震においてなんらかの被害を受けてきた。とくに遮断器、断路器、避雷器などの重心の高いがいしを有する機器や、屋外変圧器のブッシングや基礎のアンカーボルトなどに被害が多発している。このためさまざまな改良や耐震対策が施されてきており、新しい機器の被害は少なくなってきた。しかし、阪神・淡路大震災では、激烈な地震動により50カ所もの変電所で被害が発生している<sup>3)</sup>。

発電施設は、通常の災害では主要設備に被害を受けることは少ないが、建物やタンクなどの附帯設備にしばしば被害を受けている。送電設備は、架空送電と地中送電に大別され、架空の場合は送電鉄塔がおもな設備である。送電鉄塔は台風などの強風により倒壊する例がしばしば見られるが、地震に関しては基礎地盤の緩みやすべりなどが生じなければ安定性は高い。大都市圏で採用されつつある地中送電は、管路や洞道内にケーブルが収納されているため、地盤変状に対しても安全性が高いと考えられていた。しかし、これらの設備においても、阪神・淡路大震災ではさまざまな被害が報告されている<sup>3)</sup>。配電設備の被害は、主として配電柱が家屋倒壊や地すべりにまき込まれたり、柱上変圧器が傾斜やずれを起こすなどのケースが多く見られる。阪神・淡路大震災では、計1万本以上の配電柱が被害を受け、その8割は建物倒壊が原因であった。

電力設備の被害は停電を引き起こす。図1は近年の地震による復旧率曲線と停電戸数を示している。宮城県沖地震では、変電所および発電所の被害により、全体で約68万戸が停電し完全復旧に約1日半を要している。釧路沖地震では、変電所および配電設備の被害により、地震発生直後の停電戸数は約5万7千戸にのぼった。このうち変電所の被害などによる電源停電は3万6千戸であるが、これらは送電の系統切替によって早期に復旧している。このように復

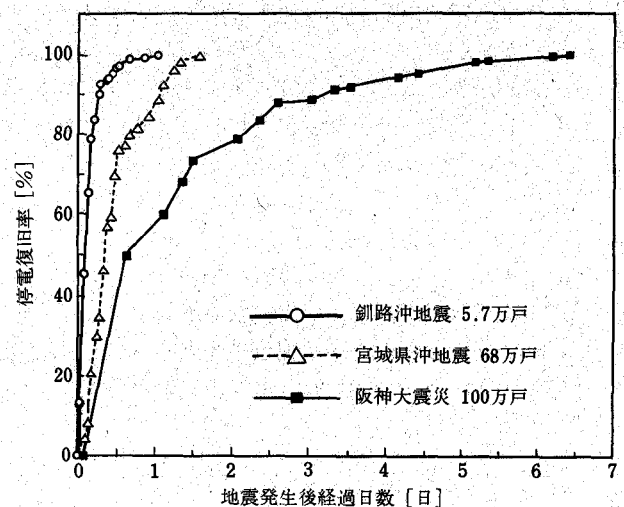


図1 地震による停電復旧率の推移

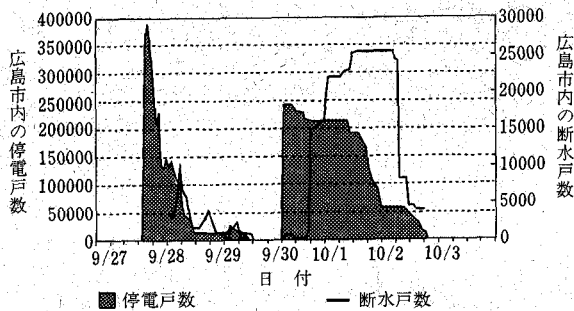


図2 台風19号による広島市の停電と断水戸数の推移

数の送電ルートがある場合には、系統切替により早く復旧できる可能性が高い。1989年ロマブリエタ地震の際、サンフランシスコ半島部の停電は2日近く続いたが、これはゴールデンゲート橋やベイブリッジを渡る送電ルートがなく、唯一の送電系統の変電所が停止したためである。わが国の送電系統は、多ルート化が進み、電力会社間の系統連系も構築されてきており、信頼性はかなり向上している。地震による停電の復旧は、電力設備がおもに地上にあることもあって、ほかのライフラインに比べるといつも一番早い。阪神・淡路大震災では、停電の完全復旧までに6日余りを要しているが、それでも都市ガス(85日)や上水道(73日)の復旧に比べると圧倒的に早かった。

一度停電が発生すると、ほぼすべての都市機能が影響を受ける。水道などのライフラインに対しても停電の影響は大きい。水道は浄水設備や配水設備などのほか、ビルの高架水槽などの需要家設備も電力に依存している。このため、停電が発生すると、時間遅れをもって断水が発生するケースが多い。図2は1991年の台風19号によって生じた広島市の停電と断水戸数の推移であるが、水道施設は被害を受けなかったにもかかわらず、停電が原因で断水が発生している。交通も停電の影響が大きく、信号機が停止して道路交通が麻痺するほか、電車の運行も不可能となる。

ライフラインや交通施設、それに病院や工場など重要度の高い施設は、停電対策として商用電源の2系統受電を行い、さらに非常用電源をもつことが多い。非常用電源としては、一時的な停電に対し非常灯や機器を維持するためのバッテリーと、重要設備を運転するための自家発電機がある。自家発電機を保有する重要施設は多くなってきたが、わが国では日常停電がほとんどないために実際に使う機会が少なく、災害発生時に機能しないケースがよく見られる。阪神・淡路大震災でも、正常に機能しなかった自家発電機が1割以上あった。水冷式の自家発電機は断水になると動かせないので、空冷式のものが見たい。また、定期点検や動作法の習得、それに燃料の確保など、災害時を想定した日頃の準備が大切である。

### 3. 都市ガスシステムと災害

今日、大手の都市ガス会社では、都市ガスは家庭用の需

要が4割程度で、ほかが産業用の熱源や冷暖房エネルギー源として使用されている。

都市ガス施設は過去の地震により、ガス導管などの供給施設にたびたび被害を被っている。近年のわが国の地震でも、宮城県沖地震、日本海中部地震、千葉県東方沖地震、釧路沖地震、北海道南西沖地震、それに阪神・淡路大震災でガス導管の被害が多数発生し、結果としてガスの供給停止が行われている<sup>4)</sup>。ガス導管の被害は、地震動の強さ、地盤条件、管や継手の種類などに大きく影響される。地中埋設管の被害と地震動のさまざまな指標を比較した結果、短周期成分の影響の大きい最大加速度より、もう少し周期の長い地震動の成分を表わす最大速度やSI値(スペクトル強度)が、被害と相関の高いことが知られるようになった。また、急傾斜地、盛土などの造成地、異種地盤の境界付近などでの被害率は、そのほかの安定した地盤に比べ大きく、液状化の発生も被害率を格段に大きくする。管や継手の種類による耐震性の違いは大きく、地震被害は旧式のネジ継手鋼管に集中する傾向にあり、溶接鋼管、ダクタイル鋳鉄管、ポリエチレン管などの新型の管種の被害はきわめて少ない。したがって、埋設管の耐震化は今後とも大きな課題である。

都市ガスの漏洩は、火災などの二次災害につながる危険性があるため、漏洩が多発した場合は供給停止が行われる。しかし、いったん供給を停止すると復旧に長時間を要する。図3は近年の地震による都市ガスの復旧率曲線と供給停止戸数である。完全復旧までの日数は、宮城県沖地震では28日間、釧路沖地震では22日間、阪神・淡路大震災で85日間と、いずれもライフラインのなかで最長となっている。復旧に時間がかかるのは、管が地中にあるため被害検出が困難なことに加え、被害箇所の補修後も念入りな安全点検が必要であり、水道のように漏れても流すとといったことができないからである。ちなみに、阪神・淡路大震災では、

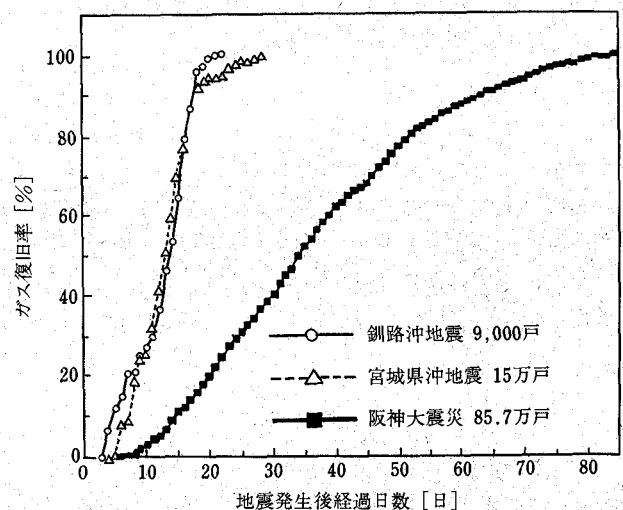


図3 地震による都市ガス復旧率の推移

隣接して埋設された水道管からの漏水がガス管に流入し、ガスの復旧をてまどらせた原因の1つとなっている。

復旧に時間がかかるため、供給停止はやむをえない場合にのみ、地域を限定したブロック化により行うのが原則である。このような地震発生直後の緊急対応を迅速にするため、地震動モニタリングに基づいて、都市ガス供給網の被害推定を行うシステムが最近開発されている。都市ガスの供給停止は、一般家庭に与える影響も大きい。中庄供給される大口需要家に与える影響が大きい。病院、ゴミ焼却場、コージェネレーション設備などの重要施設は、設備の耐震化を進めるとともに、優先して復旧する必要がある。

#### 4. 水道システムと災害

水道は、飲用水や生活用水のみならず、電気と同様に社会のいたるところで使用されている。したがって、水道施設が地震などの災害で被害を受け断水すると、その都市機能に与える影響はきわめて大きい。また、阪神・淡路大震災の火災事例でも示されたように、断水は消防活動に大きな支障をきたす恐れがある。

水道システムの地震被害は、浄水場などの基幹施設にもまれに起こるが、その大部分は管路網に生じ、被害パターンは都市ガスの場合とよく似ている。液状化などの地盤変状が被害の原因となりやすく、管や継手の種類により被害発生率に大きな差があることが明らかになっている。阪神・淡路大震災<sup>7)</sup>では、神戸市だけで配水管(主要な水道管)で約1,400ヵ所、給水管(各戸への枝管)で約6万ヵ所もの漏水が発生している。被害の甚大な地域の応急復旧には、地上配管や共用給水栓などの応急手段も用いられている。水道の復旧は、埋設管の被害が甚大な場合には、掘削工事を伴うので時間がかかる。図4は阪神・淡路大震災のときの神戸市および西宮市の給水率の推移である。完全復旧まで、神戸市で約10週間、西宮市で約6週間で要している。しかし、一般に都市ガスに比べて漏洩の検出が容易で二次災害のおそれも小さいため、都市ガスと比較すると復旧は早い。

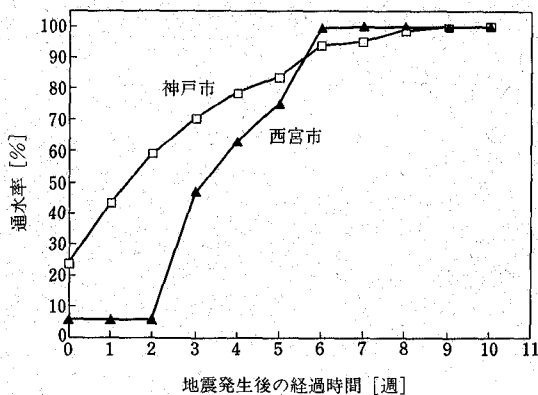


図4 地震後の神戸市と西宮市の給水率の推移

断水は、まず住民の生活に影響する。飲用水もさることながら、量的にはトイレ洗浄水などがすぐに問題となる。断水が長期にわたると、炊事、洗濯、庭の散水など、住民生活への支障はきわめて大きくなる。また断水はほぼすべての産業活動にも影響する。冷却水として、空調機器、発動機、コンピュータなどに利用されているし、電子機器、機械・金属、食品・飲料、医薬品など大半の工場は水なしには稼働できない。また当然ながら、サービス産業、病院、福祉施設などは大量に水を消費する。ユーザ側の断水対策としては、数日分の飲用水を確保することと、可能なら大型の貯水槽や井戸をもつことが望ましい。

水道の供給支障の軽減のためには、管路の耐震化およびネットワーク化を進めるとともに、ブロック化により被害箇所をシステムから切り離す対策が有効である。また、自然流下式のシステムは、停電の影響を受けにくい点では優れているが、管路が破断した場合、すぐに水が流出する危険性がある。神戸市の水道は自然流下式をとっているが、各配水施設に2池ある配水池の1池に感震式の緊急遮断弁を設置していたため、地震の際これが作動し、応急給水のための水を確保することができた。このような緊急対応システムは、水道にとってきわめて重要である。

水道システムが被災した場合は、給水車による運搬給水が一般的に行われる。このためには、配水池の容量を十分確保するとともに、応急給水槽などの整備が重要である。神戸市は震災後、4段階からなる応急給水目標を設定した。第1段階は地震発生から3日目までで、おおむね1 km以内の距離で給水車や耐震貯水槽から3リットル/人日の水を供給する。第2段階は10日目までで、おおむね250 m以内の距離で配水幹線付近に設置する仮設給水栓から20リットル/人日の水を供給する。第3段階は21日目までで、おおむね100 m以内の距離で支線上にも設置する仮設給水栓から100リットル/人日の水を供給する。第4段階の28日目までには、おおむね10 m以内の距離で各戸給水や共用栓から被災前と同じ250リットル/人日の水を供給する。このような応急給水計画を実現可能とするためには、水や資機材それに人員の確保など、事前の危機管理体制の整備が肝要である。

#### 5. 通信システムと災害

今日の都市社会はますます情報依存度を高め、電話やコンピュータ・ネットワークなどの電気通信は、まさに現代社会の生命線となっている。通信システムの災害による影響は、設備の物理的被害に起因する機能支障と、電話が輻輳状態となり使えなくなる問題の2つがある。

近年、わが国の電気通信施設は耐震対策が進められたため、局舎や局内設備それに回線網が物理的被害を受け、これが通信機能に影響を与えるような災害事例はそう多くない。通信ケーブルの大規模な被災事例としては、1984年の

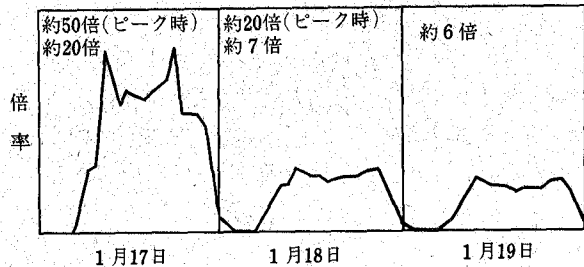


図5 全国から神戸への地震後の電話トラフィック状況<sup>6)</sup>

世田谷ケーブル火災があげられる。この火災により10万回線以上が被災し、加入電話や金融機関のオンラインが5日間から9日間使用できなかった。地震による被害事例は少ないが、阪神・淡路大震災では、ビル屋上の鉄塔が傾いたり、架空や地中のケーブル類が多数被災するなど、甚大な被害が発生している。また、商用電源の停電後、自家発電装置が始動しなかったために交換機が停止し、最大28.5万回線が不通になった。

電話の場合、災害発生時に一番問題になるのは、被災地に向けてトラフィックが殺到して生ずる輻輳である。輻輳は過去の地震でも必ず起きており、釧路沖地震では、地震発生がテレビなどで報道されると同時に、見舞いや問合せの電話が各地から北海道と青森県へ殺到した。このため瞬時にして輻輳状態となり、これらの地域への電話はほとんどつながらなくなった。地震の強い揺れで数多くの受話器がはずれたことも、一層輻輳に拍車をかけた。地震直後に震度6と報道された八戸へのトラフィックは、一時、地震発生前の60倍まで跳ね上がった<sup>2)</sup>。阪神・淡路大震災<sup>6)</sup>では、より大規模な輻輳が長時間続いた。全国から神戸へのトラフィックは、図5に示すように、地震発生当日には短時間ピーク値で平常時の約50倍、1時間平均で約20倍にもなったため、外からの電話はほとんどつながらなくなった。輻輳状態は翌日以降も数日間続いた。

輻輳対策は、災害時における電話の最大の課題である。コスト的にみて回線数を大幅に増やすことは難しいので、緊急以外の通話を極力控えるよう一層PRに努めるとともに、代替連絡手段を工夫する必要がある。代替手段としては、テレビ・ラジオなどで安否情報をまとめて流すのも一手ではあるが、個別対応となると難しい。携帯電話も今日のように誰もがもつようになると、輻輳が生ずる恐れが高い。インターネットやパソコン通信は、安否情報の掲示板としての有効性は阪神・淡路大震災で示されたが、誰もが使えるわけではない。そこで、現在、新しいボイスメールのシステムが検討されている<sup>6)</sup>。これは、被災地外のサーバーに被災地からメッセージを入れ、それに電話をかけて聞く伝言ダイヤル的なもので、被災地へのトラフィックの集中を防ぐことが期待されている。また、公衆電話や通信衛

星の高度利用なども考えられており、このようなさまざまな手段を併用して、ふたたび大災害が発生しても、通信が途絶するといった状況はなんとか防ぎたいものである。

## 6. まとめ

地震などの災害によるライフラインの被害と、その復旧状況やさまざまな影響について解説した。電力、都市ガス、水道、電気通信などのライフラインは、都市機能を維持するためにはなくてはならないものである。しかし、それらは広い地域をカバーしているため、災害発生時にすべての設備を健全に保つことは難しい。したがって、システムを多ルート化してネットワークに冗長性をもたせたり、被災した箇所をシステムから切り離すなどして影響範囲を限定したり、迅速な復旧を行うなどの対策が必要である。また、重要度の高い施設には、バックアップ機構を用意して、災害時にも最低限の機能を維持することが望まれる。

1つのライフラインの機能停止は、ほかのライフラインやすべての社会活動に影響波及する。システムの強化や緊急対応にあたっては、そのような相互作用も考慮して、最適の手段を選ぶ必要がある。本文では、道路網など交通システムの問題についてはふれなかったが、災害時の交通確保も重大かつ難しい問題である。ライフライン機能ともさまざまに影響を及ぼし合うので、これらを考慮した包括的な都市の危機管理体制の構築が、いま大きな課題といえよう。

(1996年10月11日受付)

### 参考文献

- 1) 兵庫県保健環境部医務課：災害医療についての実態調査結果(1995)
- 2) 山崎文雄：地震と産業被害、日本損害保険協会(1994)
- 3) 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)
- 4) ガス地震対策検討会編：ガス地震対策検討会報告書、ガス事業新聞社(1996)
- 5) 神戸市水道局：阪神・淡路大震災 水道復旧の記録(1996)
- 6) NTT：大都市激甚災害対策委員会報告書(1995)

### [著者紹介]

山崎 文雄 君



1953年5月27日生。76年東京大学工学部土木工学科卒業。78年同大学大学院修士課程修了。同年より89年まで清水建設(株)に勤務。89年より現在まで東京大学生産技術研究所助教授。専門は地震工学および都市防災。最近では都市ライフラインの地震時緊急対応や地理情報システムの応用などに関心をもつ。土木学会、日本建築学会、地域安全学会、米国地震学会などの会員。