

□ ライフラインの課題と対策

京都大学防災研究所 教授 亀田 弘行

1. はじめに

阪神・淡路大震災は、現代の都市化社会におけるライフラインの重要性を改めて認識させるとともに、地域をネットワーク状に覆うというライフラインの基本的特性に由来する地震時の脆弱性についても、改めて検証を迫ることとなった。上水・下水・電力・ガスなどの供給処理システム、道路・鉄道などのシステム、電話・データ通信などの通信システムなど、それぞれについて、地震対策の再検討が行われ、現在もその作業が継続している。

わが国の全人口の75%が都市部に住み、日々の活動においてライフラインに全面的に依存している。これは大都市圏だけの状況ではなく、わが国全体の都市化の現状を反映している。例えば、北海道の広大な酪農地帯にも農業用水道が普及し、水供給システムという一種の装置産業に依存している。すなわち、阪神・淡路大震災がもたらした種々の教訓は、単に被災地の問題にとどまらず、全国への警鐘として、今後とも、実効ある取り組みが行われることが求められている。

ライフラインの地震防災を主題とする「ライフライン地震工学」は、新潟地震(1964)、サンフェルナンド地震(1971)、宮城県沖地震(1978)の経験を経て発達してきた。この用語は、サンフェルナンド地震による都市震害の経験をふまえた米国の地震工学者達が提唱したものであるが、日米間の活発な研究交流の中でその概念が確立され、内容を深めていった¹⁾⁻³⁾。(因みに、「ライフライン」は和製英語であるとの俗説があるが、これは国際的にも確立した専門用語である。)

こうした流れの中で、ライフラインの地震防災技術は、i) 個々の施設要素の耐震強化、ii) ルートの多重化やブロック化による被害の回避または局限化、iii) 緊急遮断による発震直後の自動制御的な対応、iv) 効率的な復旧戦略の構築など、ハード・ソフト技術の総合体系として発達してきた。

阪神・淡路大震災では、それらのすべてが、一斉にテストを受けることとなった。そこでは、ライフライン地震工学の成果を確認できた事項が多かったし、他方、新たな課題も数多く提起された。これらを克明に仕分けして、今後のライフラインの地震時信頼性向上に的確な努力が傾注されるべきであ

る。

このような観点に立ち、本稿では、この震害経験が持つ意味を改めて考え、われわれが直面する課題を包括的に取り上げることとしたい。

2. 都市直下地震としての兵庫県南部地震の外力条件

阪神・淡路大震災の膨大な都市災害の直接的な原因は、何といてもまず、震源断層の直上に人口稠密な大都市圏が存在したことによる。このような事態は、1948年の福井地震以来47年振りのことである。この間、わが国の都市部を襲った地震のほとんどは、海洋性の地震(マグニチュード7.5以上の大型地震)であり、主要被災都市からの震央距離は数10km以上離れていた。戦後の技術革新の時代の中で、わが国の耐震技術は、主としてこれらの海洋地震の経験、理論と実験およびシミュレーション技術の発展に支えられて大いに発達したし、ライフライン地震工学の発展もまた例外ではない。

一方、内陸直下地震は海洋性の地震と比較して規模はより小さいものの、そのマグニチュードが7を超えると震源域の地震動がきわめて激しいものになることは、前述の福井地震(1948)をはじめ、濃尾地震(1891)、北丹後地震(1927)、鳥取地震(1943)、三河地震(1945)における死者が1,000人を超える被害から、定性的には理解されていた。しかし、これらの地震はいずれも強震観測が開始される以前に発生したものであって、兵庫県南部地震により得られた多数の

強震記録が、その定量的な正体をはじめて明らかにした。

兵庫県南部地震の震源断層近傍における地震動は、少なくとも最大加速度についてはちょうど1年前に起こったノースリッジ地震と同レベルであるし、統計的な資料と比較しても、直下地震による地震動として特殊なものではないことが指摘されている⁴⁾。これより、今後発生する都市直下地震においても、同程度の破壊的な地震動を経験することを前提に、今後の地震対策を進めなければならない。

ただし、特定の都市を考えれば、直下地震の直撃を受ける確率は低い。きわめて強い地震動は、震源断層から10km程度以内の地域のみで発生するものであり、その面積は600~1,000k²程度となる。それは、プレート間巨大地震である関東地震(1923)では南関東一円の10,000k²に及ぶ地域で震度VI以上であったことと比べると、地域的には限定された震災となる。明治以来のわが国の歴史では、海洋性の地震による被害と内陸直下地震による被害とは同程度の頻度で発生しているから、単純計算によれば、一定の期間内に特定の都市が直下直撃を受ける確率は、海洋性の大型地震により被災する確率より1オーダー小さいものとなる。

地震危険度を評価するうえでのこうした特徴は、個々の内陸活断層の活動間隔が少なくとも数100年~数1000年に及ぶことと対応する⁵⁾。しかしながら、これらの活断層がいずれ活動するときがあり、それによって引き起こされる震源断層近傍の被害がきわめて激しいものとなることを事実で示したのが阪神・淡路大震災である。これは典型

的な「低頻度巨大災害」であり、このような災害にどのように立ち向かうかという命題が、我が国の地震防災における新たな戦略的課題として提起されたのである。この考えは、土木学会による提言⁶⁾として包括的な視点でまとめられ、国の防災基本計画⁷⁾をはじめ、各種のライフライン施設の耐震検討における基本的視点の形成に役立てられてきた。

3. 阪神・淡路大震災におけるライフラインの耐震性能

阪神・淡路大震災は、巨大な複合都市災害である。そこでは、緊急対応/応急復旧/復興へと事態が進む中で、物理的課題と社会的課題およびそれらを結ぶインターフェースとしての情報課題が、時間とともに様相を変えながら次々に提起された⁸⁾。

そうした時間的推移の中で、最も基本的な都市基盤施設である上下水道、ガス、電力などの供給・処理系ライフラインの被害が震後の緊急対応や都市機能の回復に及ぼした影響は大きい。

ライフライン被害の具体的内容については筆者自身もいくつかの機会に報告してきたし(例えば文献^{9),10)}、各事業体および関連する政府関係機関や協会から詳細な報告書が刊行されつつあるのでそれらを参照されたいが、その全般的な特徴としては、被害箇所数が膨大であったことと、異なるシステム間の被害波及(上流から下流へのカスケード的被害波及、システム間の被害相互関連)が種々の形で発生したことなどが挙

げられる。この状況のもとで、応急復旧の完了までに、電力で1週間、上水道・ガスで12週間、下水道で15週間に要した。

これは、近年の被害地震でわれわれが経験してきたライフラインの復旧期間の数倍から10倍に及ぶ。被害の量的な大きさは、社会的影響に関して質的な変化を与える。例えば、人間の生命維持に必要とされる1人1日3リットルの水で耐えるのは3日が限度とされる。また、断水が4週間を超えると、住民のストレスが極度に高まることが今回の震災の中で経験された。

この膨大な被害のもとでも、近年のライフライン地震工学の成果が多くの特で確認されたことの意義は大きい。いくつかの例を挙げよう。地下埋設管では、最新の溶接技術に基づく溶接鋼管や耐震継手付ダクタイル鋳鉄管(鎖構造管路)は優秀な耐震性能を実証した。緊急遮断弁による緊急給水用水源の確保やガス導管網のブロック化による震害の影響範囲の局限化などの緊急対応の設備は有効に活用された。地震発生直後の停電戸数260万戸は、多重ネットワークを構成する送電系統の切り替えにより、1日以内に半減された。こうした成果は、今後のライフライン施設の耐震性向上の確かな拠り所となるものといえる。

4. ライフラインの耐震信頼性向上の課題

阪神・淡路の震災体験は、都市直下地震の影響に対する認識の変革を迫るとともに、ライフラインの地震対策について、ハード・

ソフト両面で種々の課題を提起した。

その内容は、システムの基幹的施設に対する戦略的な耐震強化とネットワーク強化、耐震設計の死角となっていた構造細目(水槽目地, 自家発電設備の冷却水配管, 重要機器のアンカーボルトなど)の入念な洗い出しと対策, 上位施設から下位施設への被害波及(カスケード効果)の防止, 相互応援体制の全国展開とそのための規格の標準化, 被害状況の早期把握と復旧支援ならびに復旧状況の効果的な共有化のための情報システムの構築など, 多岐にわたる。これらについては, 国レベルから事業者レベルまで, 現在大いに議論がなされ, 検討が進んでいる。

基礎研究では, 震源断層近傍の地震動による動的ひずみの推定, 液状化地盤中の管路の挙動, ネットワーク強化のための重要要素の評価法, ライフラインの機能停止による社会的・経済的影響の評価など, 構造工学的, 地盤工学的, システム工学的, 社会科学的に多くの研究を進展させなければならない。

一方, ライフライン施設の多くは, 1 世紀にわたるわが国の近代化の過程で営々と築かれてきたものが多い。これに対し, 近代的なライフライン地震工学の歴史は最近の 30 年のことであり, その成果が耐震基準として定着したのは 1980 年前後のことである。

その効果を波及させるには長年にわたる設備投資の努力が必要とされる。今回の震災におけるライフライン被害を個別に検証すると, こうした近代化以前の古いタイプの設備の被害が多い。従って, ライフラインの耐震化の課題は, 工学技術開発の問題だけでなく, むしろそれ以上に, 老朽施設の更新という社会経済的・政策的要素が強い課題として取り組まなければならない。

5. むすび

ライフライン施設は, 大動脈となる基幹的施設から, 毛細血管のような末端施設まで, 都市をくまなく覆うことによりその機能を果たす。このことから, その耐震性能の確保に宿命的な困難さを抱えているが, ハード・ソフトの対策を適切に組み合わせることにより, システムとしての耐震信頼性の向上へむけて, これまでの努力が積み重ねられてきた。阪神・淡路大震災は「巨大な実物試験」により, こうした取り組みの有効性も不十分な点も明らかにして見せた。この経験が, 今後も続くとされている地震の活動期におけるわが国の都市の安全性・信頼性向上に役立てられることが重要である。

参考文献

- 1) Duke, C. M., and Moran, D. F.: Guidelines for Evolution of Lifeline Earthquake Engineering, Proc., U. S. National Conference on Earthquake Engineering, 1975, pp. 367-376.
- 2) Kubo, K., and Jennings, P. C. (editors): U.S.-Japan Seminar on Earthquake Engineering Research with Emphasis on Lifeline Systems, Tokyo, 1976.

- 3) 都市地震防災とライフライン—現状と将来の技術課題—, 都市地震防災からみたライフライン系の相互連関と災害情報システムに関する調査研究委員会 (委員長: 亀田弘行) 報告書, 土木学会関西支部, 1992.11.
- 4) 入倉孝次郎: 1995年兵庫県南部地震による強震動, 月間地球, 号外No.13, 海洋出版, 1995, pp.54-62.
- 5) 石川 裕・奥村俊彦・亀田弘行: 活断層を考慮した神戸における地震危険度評価, 土木学会阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, 1996.1, pp.61-68.
- 6) 土木学会: 土木構造物の耐震基準等に関する提言 (第一次提言) —1995.5.23, 土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」—1996.1.10, 土木学会耐震基準等基本問題検討会議.
- 7) 中央防災会議: 防災基本計画, 国土庁防災局編, 1995.7.
- 8) 文部省緊急プロジェクト「兵庫県南部地震をふまえた大都市災害に対する総合防災対策の研究」報告書 (研究代表者: 亀田弘行), 京都大学防災研究所, 平成7年3月. (英語版: An Integrated Framework on Urban Disaster Countermeasures Based on the Hyogoken-Nambu (Kobe) Japan Earthquake of January 17, 1995, Editors: Hiroyuki Kameda and Haruo Hayashi)
- 9) 亀田弘行・能島暢呂・盛川 仁: 阪神・淡路大震災におけるライフライン施設の被害, 都市耐震センター研究報告, 第9号, 京都大学防災研究所都市施設耐震システム研究センター, 1995.4, pp.72-85.
- 10) 能島暢呂・亀田弘行: ライフラインの相互連関, 阪神・淡路大震災—防災研究への取り組み, 京都大学防災研究所, 1996.1, pp.360-369.