第5章　ライフライン

5-1
ライフラインの地震防災システムについて

能島暢呂　NOJIMA Nobuoto
正会員　博（工学）
岐阜大学助教授　工学部社会基盤工学科

都市の水供給処理・エネルギー供給・交通運輸の機能を担うライフライン系は，地震により一たび被害を受けた場合の社会的影響がきわめて大きい．その地震防災対策の狙いは，(1) 物理的被害の防止軽減，(2) 機能的被害の最小化，(3) 二次災害の防止軽減，(4) 迅速な機能回復の 4 点に集約されるが，ライフライン系が多数かつ多種多様な要素構造物によって構成され，広域的・階層的なネットワークを形成していることから，具体的な対策はきわめて多岐にわたる．図-1 は，事前・事後の時間軸とハード・ソフト軸の平面上にライフライン地震防災対策の関連事項を布置したものである．システム個別の対策については各論で紹介されるので，ここでは各システム共通の事項について概説する．

図-1 左上は「ネットワーク施設の耐震強化」に関する対策である．レベル 2 地震対策も含めて性能設計の理念を取り入れつつ耐震基準の改訂が進められるとともに，地表面に現われる断層変位への対策も検討されている．膨大な既設構造物のストックを擁するシステムに新しい耐震技術を根づかせるには相当なコストを伴うことから，対策の優先順位づけが必須の検討事項となる．費用対効果やライフサイクルコストを勘案した対策推進のために地震リスクマネジメントが導入されつつある．

同じく図-1 左下には「ネットワーク形態の改善」に関する対策が位置づけられる．「点と線」を対象とする耐震強化と異なり，この対策のポイントは「面」の構成にある．機能的被害を最小限に食い止めるため，多ルート化や多重化によりネットワークに冗長性をもたせて信頼度向上を図ったり，末端施設をブロック分割しておき被災地域を局所化可能にするといった方策が講じられている．

一方，右下には「緊急対応」および「機能的復旧対策」に関する項目が並ぶ．地震動モニタリングと即時的な被害推定技術に支えられた「リアルタイム地震防災システム」はライフライン地震防災対策の典型的側面の一つとなっている．影響波及の軽減と二次災害の危険防止のため，供給システムでは供給源あるいは各戸別の供給遮断，交通システムでは運行停止・通行制限といった措置が講じられる．機能回復が完了するまでの過程においては，利用者の生活や社会経済へのインパクトを最小限に抑える配慮が必要である．重要施設の優先復旧や，戦略的計画による復旧プロセス最適化，被災者のニーズに見合った応急供給の実施などが課題となる．

最後に右上に位置づけられるのは「施設の復旧作業」に関する対策である．地震災害ではライフラインの末端施設を中心に多数の被害が生じ，そのために復旧に長期間を要する傾向にある．このことは上水道配水管の被害箇所数と機能的復旧に要した日数の関係[1]（図-2）からも明らかである．施設耐震化のペースと膨大なストックとの間の隔たりを鑑みると，施設被害の物量的問題はいかんともしがたい．復旧作業には被災地外の同業者からの応援が不可欠となり，特に広域災害においては，協会組織などを通じた復旧応援隊の迅速な派遣と適正配分が早期復旧の鍵を握ることになろう．

ところで，再来が危惧されている南海トラフ沿いの巨

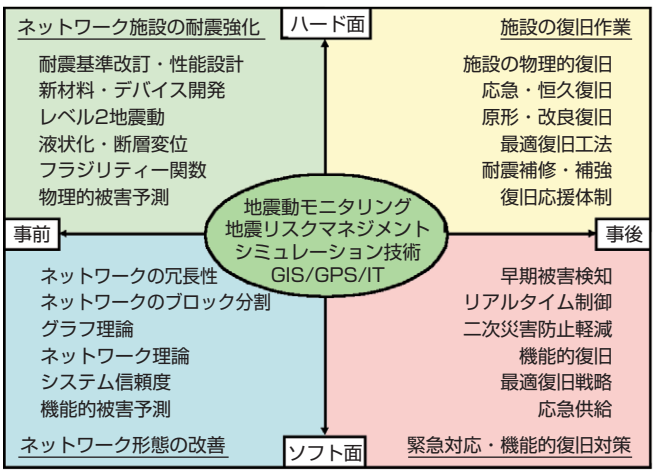


図-1　ライフライン地震防災対策の基本構造

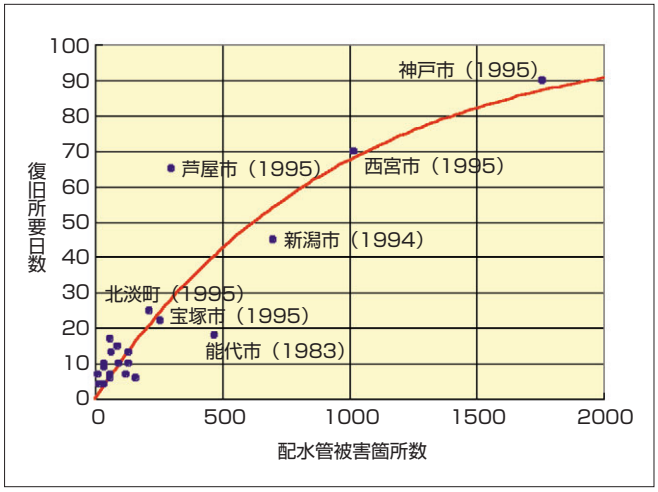


図-2　配水管被害箇所と機能復旧完了日数の関係[1]
曲線は y＝120.7 {1-exp (-0.00107x) }
（既往6地震，23被災都市の統計による）

表-1　気象庁震度階関連解説表によるライフライン被害の目安

計測震度	震度階級	ライフライン
4.5		
	5弱	安全装置が作動し，ガスが遮断される家庭がある．まれに水道管の被害が発生し，断水することがある．【停電する家庭もある．】
5.0		
	5強	家庭などにガスを供給するための導管，主要な水道管に被害が発生することがある．【一部の地域でガス，水道の供給が停止することがある．】
5.5		
	6弱	家庭などにガスを供給するための導管，主要な水道管に被害が発生する．【一部の地域でガス，水道の供給が停止し，停電することがある．】
6.0		
	6強	ガスを地域に送るための導管，水道の配水施設に被害が発生することがある．【一部の地域で停電する．広い地域でガス，水道の供給が停止することがある．】
6.5		
	7	【広い地域で電気，ガス，水道の供給が停止する．】

【 】内の事項は，電気，ガス，水道の供給状況を参考として記載したものである．

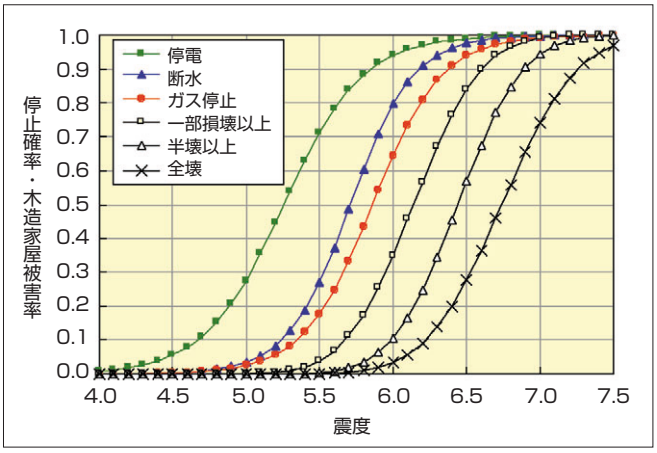
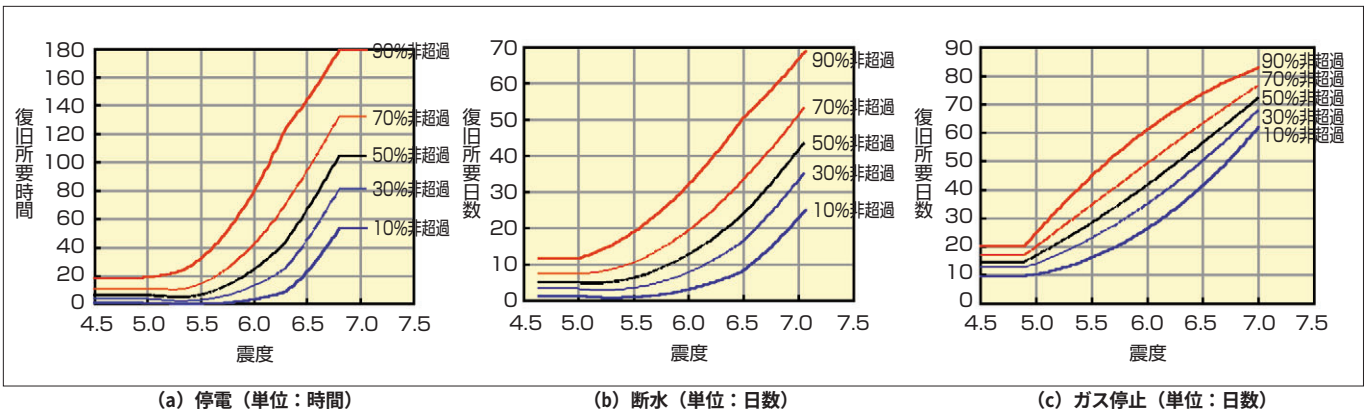


図-3　ライフライン機能と木造建物のフラジリティー関数[1)]



（a）停電（単位：時間）　（b）断水（単位：日数）　（c）ガス停止（単位：日数）

図-4　ライフライン機能復旧に要する期間の確率モデル[1)]

大地震は広域災害を引き起こす典型的ケースである．事業者の対応能力をはるかに超える事態が広範囲で発生することが懸念され，広域連携体制を敷くには自治体の枠を超えた被害の全貌把握が必要となる．しかし自治体ごとに実施される被害想定は，緻密だが前提条件がまちまちであるし想定どおりの地震が発生するとは限らないから，地震後の早期被害把握の目的には不向きである．一方，近年では地震後の震度分布が早期に把握されるようになったことから，震度情報を活かしてライフライン被害を簡便に推定する方法が考えられる．「気象庁震度階関連解説表」（表-1）には震度階とライフライン被害の関係が記載されているが，計測震度のように有効数字を一桁増し，なおかつ客観的データによる裏づけを与えれば，被災規模の概略把握に有効活用することができよう．

そこで，1995 年兵庫県南部地震における「震度」と「ライフライン機能停止の有無」との関係を町丁目単位で調べた結果，停電・断水・ガス停止の発生確率を表わす機能的フラジリティー関数が得られた[1)]（図-3）．電気・水道・ガスの停止確率 50%に相当する震度はそれぞれ約 5.3，5.7，5.9 であり，いずれも同図に示す木造建物の一部損壊より低い震度で停止に至っている．では，機能が停止したとすればどの程度の期間それが続くのであろうか．先と同様に「震度」と「機能回復までに要した期間」との関係を調べた結果，機能停止期間の確率モデルが得られた[1)]（図-4）．震度が大きな場所ほど施設被害が増加するとともに復旧作業環境が悪化したことを反映して，長時間の停止となった傾向が現われている．機能回復は電気・水道・ガスの順に迅速で，震度 6.0 の場合の復旧所要期間はそれぞれ約 24 時間，14 日間，40 日間を中央値とした分布となっている．

自治体・事業者・住民のいずれの立場においても，ライフラインの機能停止と復旧所要期間についておおまかなイメージをもっておくことは，地震防災対策上，有意義なことである．将来の大地震に備えるために，兵庫県南部地震の事例は一種のベンチマークとして貴重な情報を提供するものであるといえる．

参考文献

1―Nojima, N. and Sugito, M.: “Empirical Estimation of Outage and Duration of Lifeline Disruption due to Earthquake Disaster,” Proc. of the Fourth China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, Qingdao, China, Oct. 2002