

I-520

ライフライン系の地震防災システムの基本構造と
地震時相互連関に関する考察

京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 能 島 暢 呂
京都大学防災研究所 正 員 亀 田 弘 行
京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 吉 川 徹 志

1. はじめに

本研究は、従来個別に扱われてきたライフライン防災を、都市地震防災における総合的問題として捉えて共通の視点から論じるものである。都市ライフラインにおいては、施設の耐震強度や広域ネットワークの階層性、システム相互連関など、地震被害の発生・波及の動向を支配する要因が数多い。これまでハード・ソフトの両面から様々な対策が整備されてきているが、本研究ではまず個々のライフラインの地震対策について、現状を同一のベースで比較・整理して共通の概念をつかむと同時に、各システムにおける対策を規定する要因を探った。また異なるシステムの地震時相互連関に着目し、今後の課題を検討した。

2. ライフライン系の地震防災対策

ライフライン系における地震対策は、①構造物被害の最小化、②サービス支障地域の最小化、③二次災害の防止、④復旧作業の合理化・迅速化を目的としている。本研究では地震対策を、(a)物理的被害軽減策、(b)ネットワーク形態面からの対策、(c)システム・オートメーション、(d)人間の対応・作業、の4項目に分類し、これらを共通の視点として地震対策の分類を行った。(a)は①への対応でありシステムの要素構造物に生ずる直接的被害を最小にするための施設強化、地盤対策などである。一方、(b)～(d)のようなソフト面からの対策は、主に②～④への対応である。(b)はネットワークの冗長化によってシステムの信頼性を向上させたり、地震時対応・復旧作業が合理的になるようにシステム設計をしておくことである。(c)は情報収集やシステム自動制御、サービス自動遮断など、オートメーション化されて人間の判断を待たないような地震防災システムである。(d)は事前の復旧訓練や、人間の意思決定・判断によって行われる地震時緊急対応、復旧作業などをいう。表-1は上水道事業者の地震対策について縦軸に(a)～(d)の分類を、横軸に事前策、緊急対応、復旧作業という時間軸をとって整理したものである。同様の表を都市ガス供給、電力供給、情報通信、道路交通、鉄道交通の各ライフラインシステムについても作成し考察を行った。その結果、ライフライン系の地震防災対策はそれぞれのシステム特性を反映して多様な設備・体制が整備されている一方、その考え方には図-1に示すような共通の流れがある事がわかった。

表-1 上水道事業者の地震防災対策

	事前策		緊急対応		復旧作業	
物理的被害軽減 対策	地震耐力の強化	管強度の向上 (ダクタイル鑄鉄管・鋼管) 防震継手(可とう性・伸縮性)	危険防止 措置	運搬給水(給水タンク・ポリタンク) 拠点給水(消火栓・配水池)による給水	被害構造物 の修理	導水管・送水管・配水管の布設替え、 継手部の移動差し、継手部・移動箇所への 漏水防止バンドの取り付け 取水・浄水・配水施設等、給水管・給水 装置の修理
	軟弱・液状化 地盤対策	軟弱地盤強化	緊急供給			
	二次災害防止					
	既存施設の強化	老朽管の計画的布設替え 経年化施設の耐震診断・補強				
ネットワーク 形態	多重化	送水系統間連絡 受電・構内配線二重化 通信設備二重化	(送・配水系統切り替え)		(平常時のネットワークへの復帰)	
	バック アップ	水源系統の多様化・水源開発 配水幹線の貯水池化 非常用井戸の整備 非常用貯水施設の整備 配水池自然減圧方式	(バックアップ系の起動)			
	ブロック化	層別・ブロック別給水 コンピュータブロック化	(ブロック化の実施)			
システムオート メーション	自動制御	テレメータ・テレコントロール システムによる集中管理体制	緊急供給遮断	震度感知方式による供給停止		
	情報収集シ ステム		情報収集シ ステム			
人間の対応 ・作業	想定復旧戦 略の作成	相互応援計画・協定の作成 復旧資材の整備 日常維持管理情報のデータベース化	緊急修正作業	弁操作による配水系統切り換え 緊急遮断弁による供給停止	復旧手段の 決定・指示 (現実対応 復旧戦略)	被害の軽微なブロックから順次 復旧作業 相互応援体制による機材・人員の確保
	訓練	災害パンフレット・PR映画の作成	災害対応体制	災害対策機関の設置		

表－2は上記の対策分類(b)～(d)とライフライン系の特性の関連をみたものである。復旧に影響する特性と緊急時に考慮しなければならない要件に焦点を絞ると、フローの迂回速度や災害時重要性・危険性、ネットワークの規模などの特性が個々のライフラインの地震対策を規定し、特徴づけている。

次に表－3はシステムの階層構造と地震対策との関連をまとめたものである。一般的に上位の施設については物理的対策を中心とした一系統強化が中心となる。また下位では要素数が膨大なため、ネットワークの冗長化・ブロック化およびそれを活かした系統制御・バルブ制御が主たる対策となるが、低コスト、維持管理の容易性、緊急対応の合理性、の三条件を満足するようなネットワーク形態の形成が必要である。

3. ライフラインの地震時相互連関の問題

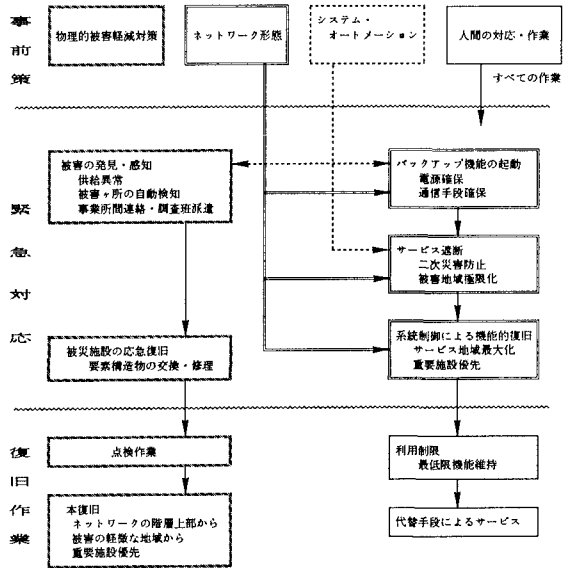
ライフライン系は、全体で統合されたシステムとしてはじめて都市機能維持という使命を果たしうる。このため被災時には地震発生から復旧に至る過程で、被害相互波及や復旧障害など様々な連関が生じる。相互連関の主たる要因は、ライフライン機能の相互依存体系の破壊と、地震災害発生時に生じる種々の相互影響の2点である。前者は電力・情報通信システムのサービス停止から波及する他システムの動力喪失・中枢機能マヒや、交通機能マヒによる復旧の際の機動力低下などが挙げられる。後者の例では、埋設管破壊ヶ所の復旧の際の交通規制や作業錯綜、資機材の競合等の問題が挙げられる。地震時にライフライン系が相互に及ぼすこれらの悪影響を除去するとともに、積極的な意味での相互連関を考え、平常時・緊急時・復旧時の事業者間の連携を強化して被害の最小化・復旧活動の最適化を目指す必要がある。

4. むすび

都市地震防災の総合的発展のためには、ライフライン系を含む「都市ネットワーク」をいかに耐震的かつ復旧しやすいシステムにするかが重要であり、そのためにはサブシステムとしての個々のライフラインの強化と同時に「システム・リンク」の強化が要求される。本研究の視点をもとに、「システム・リンク」強化のための工学的課題を見いだして行きたい。

表－2 ライフライン系の特性と地震防災対策との対応

	地震対策	ネットワーク形態				システム・オートメーション				人間の対応・作業		
		広域・中域の系統制御	ブロック化	バックアップ	自動供給遮断	系統切替時の優先順位考慮	利用制限	代替サービス	代替サービス			
復旧に影響する特性	迂回速度が速い	電力情報通信										
	規模が大きい	電力情報通信										
	貯蔵機能がある		上水道 都市ガス									
緊急時に考慮すべき特性	二次災害の危険度が高い		上水道 都市ガス									
	緊急時重要性が高い			電力情報通信		上水道 電力 情報通信	電力情報通信	上水道 情報通信				



図－1 ライフライン事業者における地震防災対策の共通の流れ
注）図中の枠は対策分類(a)～(d)に対応する

表－3 ネットワークの階層構造と地震防災対策

		構成要素	一系統強化	機能分散	多ルート化	ループ化	ブロック化
上水道	1次	取・浄水施設 ポンプ設備	○				
	2次	導水管 送水管 配水本管 配水支管	○ ○		○ ○	○	大ブロック 小ブロック
ガス	1次	製造設備 配管所 高圧幹線	○ ○ ○				
	2次	高圧導管 中圧幹線 中圧管網 低圧導管	○ ○ ○		○ ○	○	大ブロック 小ブロック
電力	1次	発電設備 変電設備	○ ○				
	2次	送電線 配電線 需要家	○		○ ○	○ ○	
通信	1次	市外交換機	○	○		○	
	2次	市内伝送路 市内中継機 需要家			○ ○ ○	○	