

ライフライン機能停止と相互連関

能島 暢呂¹

¹ 博士(工学) 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 (〒501-1112 岐阜市柳戸 1-1)

都市地震災害の大きな特徴の一つに，災害が複合的に連鎖拡大し時空間的に波及することが挙げられる．ライフラインシステムは互いに近接して設置され相互に機能的な結びつきを持つため，災害時にはシステム間での被害波及が生じやすく，その影響は連鎖的に社会機能の低下をもたらす．本稿では阪神・淡路大震災を例にとり，このようなライフラインの相互連関の様相を，(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，に分類して整理する．

Key word : earthquake disaster, lifeline systems, system interactions, urbanization, disaster chain

1. はじめに

1948 年福井地震は，戦後復興途上にある都市の直下で発生した地震である．木造家屋の壊滅的な被害と大火の発生，それに伴う多数の犠牲者の発生，九頭竜川橋梁群の落桁による道路・鉄道交通の途絶など，阪神・淡路大震災の原風景ともいえる状況が繰り広げられた．振り返ってみれば，いわば都市地震災害のベンチマーク的な存在として位置づけられる．それから 50 年が経過したが，その間，首都圏，近畿圏，中京圏といった大都市圏のみならず，地方都市においても急速に都市化が進み，人口および私財・公共財の蓄積，都市空間の高密度利用，ライフライン機能への依存，都市機能の相互依存が進行した．1964 年新潟地震や 1978 年宮城県沖地震は，こうした都市の変貌に歩調を合わせるように震災も確実に進化・変貌しつつあると注意を喚起するものであった．

そして阪神・淡路大震災では，災害が複合的に連鎖拡大し時空間的に波及するという都市震災の特徴が極端に強く現れた．中でも，都市機能を支えるライフラインシステムにおいては連鎖的な被害波及が起こり，阪神・淡路大震災における複合的災害波及の中核をなすに至った．筆者ら¹⁾はこれを「ライフラインの相互連関」と称して分析を行ってきた．本稿では文献 1)に基づいて，具体事例を取りあげながら，災害連鎖の構造を概念的に整理してみたい．相互連関の分類は，(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，という 6 分類とした．図 - 1 は，その相互連関構造を整理したものであり，影響波及の起点を黒丸で，終点を矢印の先で表している．また矢印の線種を上記の分類に対応させているが，おおむね上から下に時系列的な順序となっている．

以下では上述の(1)～(6)の順に，事例を挙げながらライフラインの相互連関について考察する．

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阪神・淡路大震災では，被災施設から健全な施設に被害が波及するケースが多数見られた．例えば，道路・鉄道交通施設の高架部や立体交差部の崩壊によって路面閉塞・軌道閉塞が発生し，他の交通を遮断した．ガレキが撤去された後も，復旧工事が行われている間は著しい交通障害が生じた．ま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．沿線の倒壊家屋により軌道が閉塞したケースもある．電力施設では架空配電設備が多大な被害を受け，供給支障の直接的原因となったが，電柱

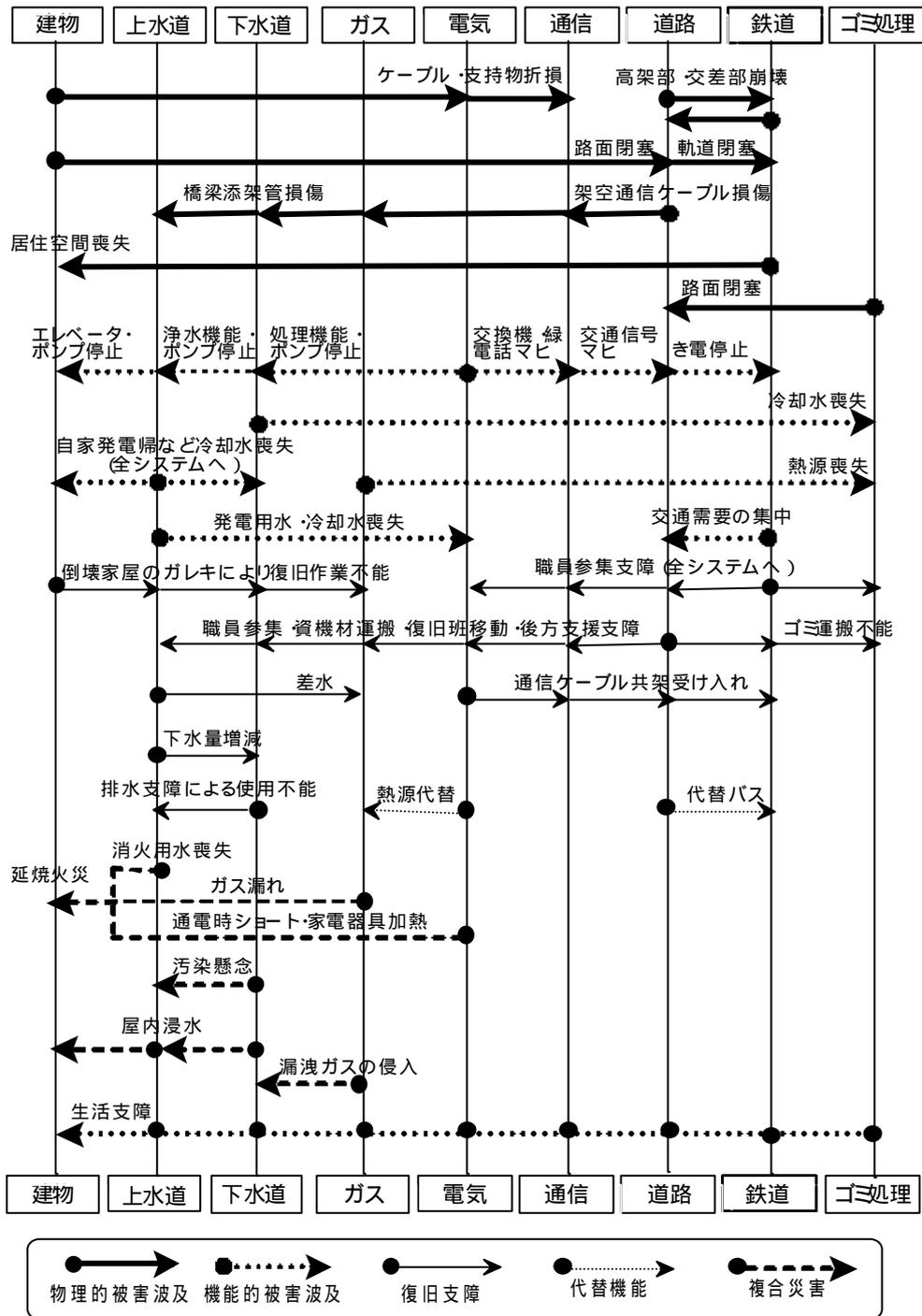


図 - 1 阪神・淡路大震災におけるライフラインの相互関連構造

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、そのほとんどは家屋等の倒壊に巻き込まれたものであった。

個々のシステムの被害が大きく広範に及ぶほど、その影響が他のシステムとオーバーラップする機会も多くなる。高密度な都市空間では、このような物理的な被害波及に特に注意を払う必要がある。

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、非常に広範な影響を与える。阪神・淡路大震災においては、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、23 日 15 時には 153 時間ぶりに電力機能が回復した。他のライフラインよりも機能回復は早かったものの、約一週間に及ぶ停電は各種の災害対応に重大な影響を与えた。

神戸・阪神地区では地震直後に 3,000 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。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。兵庫県の「兵庫衛星通信ネットワーク」は停電の後、非常用発電装置が作動したが容量の限界でダウンし、自家発電機も冷却水系の故障のために動力を完全に喪失した。このため衛星通信は約 6 時間不通となり、各市町村や消防本部との連絡が取れない事態となった。

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 局の電話交換所では、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。

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ているため、機能障害の波及の影響を強く受けた。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。

自治体の枠を超えた被害波及のために組織連携が必要となったケースもある。神戸市・尼崎市・西宮市・芦屋市の配水機能は、4 市で構成される阪神水道企業団からの受水に依存している。その被害は各市の配水機能に多大な影響を及ぼし、一時的に漏水発見のための試験通水さえ行えない事態に陥った。

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の確立に影響を及ぼした。関西電力神戸支店における職員の参集状況を例に挙げると、地震当日の出勤予定人員 2,389 名のうち、9 時までの出勤率はわずか 37%、当日中の出勤率は 69%であった。しかも出勤可能であった職員の出勤手段の多くはマイカー・バイク・自転車・徒歩であった。都市

圏では職住が近接しない場合も多く、緊急時の職員参集には大きな困難が伴う。

ガスの復旧作業においてもシステム間の相互連関の問題が顕著であり、以下のような多岐にわたる復旧支障により復旧作業は難航した。

- 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。

当初、一ヶ月半で全戸復旧という目標が立てられたが、70.4 万戸の完全復旧に 85 日を要した。埋設設備の修理を行う上で、こうした障害の発生を完全に回避することは困難であり、作業効率の悪化は免れないといえる。

5. システム間代替性によるバックアップ機能

1989 年ロマ・プリエタ地震や 1994 年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、交通需要を十分に吸収するものではなかったにせよ、鉄道の被災した部分を補完する重要な役割を果たした。

1993 年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。阪神・淡路大震災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。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。

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る場合もある。阪神・淡路大震災における火災は、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 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に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たケースも報告されている。

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最低限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、激しい漏水のために消火栓が十分な機能を果たし得なかった。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。都市を防護するシステムとしてのライフラインが機能を喪失すると、災害の制御は極めて困難となる。

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。

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した。

8. おわりに

以上、阪神・淡路大震災を事例として、ライフライン機能停止と相互連関の様相を紹介した。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。

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中心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。

本稿に事例を紹介したように、システム間の相互連関は事態を相当悪化させる方向に作用することは明らかである。にもかかわらず、防災計画や被害想定においては、相互連関の影響が適切に考慮されているとは言い難い。その理由としては、複雑な条件を排除した方が被害想定や計画策定が容易であることや、そもそも相互連関の現象のモデル記述が困難であることが挙げられる。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、そしてその教訓を将来の都市づくりに反映させることが望まれる。

参考文献

- 1) 能島暢呂・亀田弘行：ライフラインの相互連関，京都大学防災研究所「阪神・淡路大震災 - 防災研究への取り組み - 」，pp.360-369，1996.1.