

地震動強度の影響を考慮したライフラインの復旧曲線のモデル化

岐阜大学大学院 学生員 鈴木 康夫
 岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂・杉戸 真太
 清水建設技術研究所 正会員 石川 裕・奥村 俊彦

1. はじめに

地震によるライフライン機能停止がどの程度続くのかを予測することは、地震リスクマネジメントの重要な1要素である。筆者らは、既往地震におけるライフライン被害のデータ分析に基づいて、ライフライン機能の復旧予測を行うモデルを開発中である¹⁾。ここでは、被害箇所数から地域全体の復旧曲線を簡便に推定する手法が示されている。本研究では、その推定精度の向上を図るため、被災地域内での相対的な地震動強度の相違が復旧過程に及ぼす影響に着目して、地域全体の復旧曲線を地震動強度別の復旧曲線に分解することを目的としている。

2. ライフライン施設の復旧特性

地震動強度別復旧曲線のモデル化は、図1の流れによって行った。本研究では、実データから得た復旧過程の特性による地震動強度別復旧曲線のモデル化を行い、地域全体の復旧曲線との整合性を比較検討する。

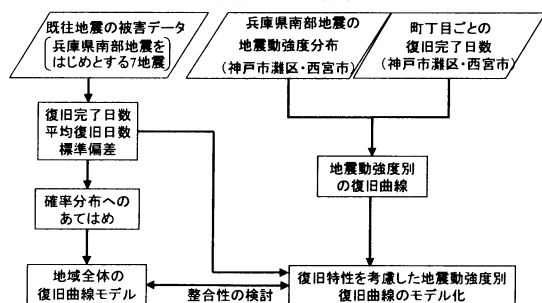


図1 地震動強度別復旧曲線のモデル化の方法

兵庫県南部地震では、被害が甚大であった地域の観測記録は十分でなく、観測記録から被災地域の地震動分布を求めることは困難である。本研究では、低層建物の被害データから推定された神戸市灘区と西宮市の町丁目単位の最大速度分布の推定結果^{2),3)}を地震動強度分布として用いた。また復旧完了日数は、京都大学防災研究所⁴⁾によってまとめられた水道・ガス施設の町丁目ごとの復旧完了日数を用いた。文献^{2),3)}においては、最大速度分布は0~180(cm/s)を30(cm/s)ごとに区切って示しており、本研究ではその平均値をとってその町丁目の最大速度として扱った。この最大速度と町丁目単位での水道とガスの復旧完了日数より、最大速度と復旧完了日数の一対データを水道施設は663町丁目、ガス施設は665町丁目整えた。このデータから、45(cm/s)~165(cm/s)まで30(cm/s)刻みで町丁目単位での最大速度別復旧曲線を描いたところ、水道とガス施設で以下のような復旧特性が

見られた。

(A) 水道施設

- 初期復旧は最大速度に関係なく早い段階で行われる。
- 最大速度の小さい地域では、全体の復旧完了日数よりかなり早い段階で復旧が完了する。
- 最大速度の大きい地域では、復旧効率が悪い。

(B) ガス施設

- 最大速度の小さい地域では、ある程度の復旧停止期間の後、順調な復旧が行われるが、被害の大きかった地域の影響から復旧完了が遅くなる。
- 最大速度の大きい地域では、かなりの供給停止期間の後復旧活動が開始され、多くは終盤に復旧する。

神戸市灘区と西宮市を合わせたデータを用いて作成した最大速度別復旧曲線を水道施設については図2に、ガス施設については図3にそれぞれ示す。なお復旧曲線は、その最大速度を取った町丁目数で割ることによって正規化している。この最大速度別復旧曲線の形状を大別すると、図4のような。最大速度別復旧曲線をこのタイプ別に分類すると、水道施設はI~II₁の、ガス施設はII₁~IIIの形状をとる。

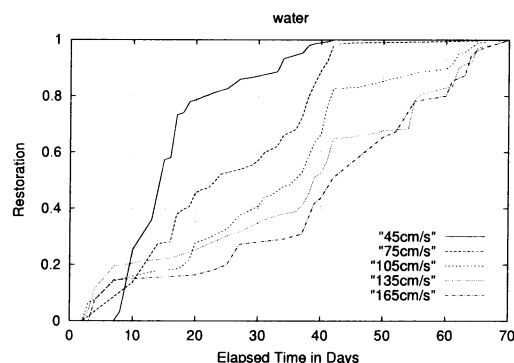


図2 水道施設の最大速度別復旧曲線

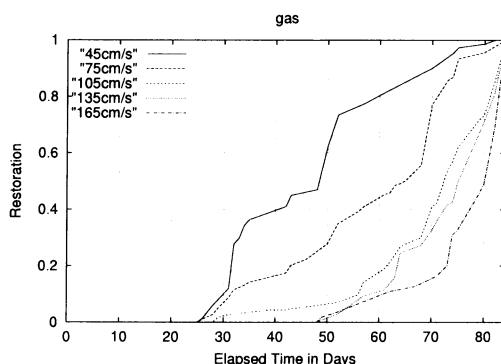
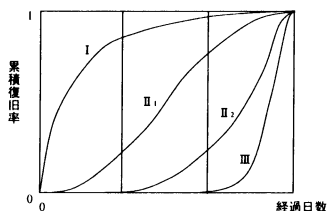


図3 ガス施設の最大速度別復旧曲線

キーワード：ライフライン，地震動強度，復旧特性，復旧曲線

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 TEL：058-293-2427 (Fax 兼用)



I タイプ…被害が軽く、供給停止後直ちに復旧可能な場合
 II タイプ…ライフライン主要部に被害が及び、初期復旧に時間がかかる場合
 ガス施設のように、供給再開時に需要家を1件ごと点検するため、時間がかかる場合
 III タイプ…被害が甚大で、また建物の崩壊、交通遮断・渋滞等により復旧作業を行うことが極めて困難であり、かなりの期間復旧が行われず、終盤に集中的に復旧が行われる場合

図4 復旧曲線の形状分類とその特徴

3. 地震動強度別復旧曲線のモデル化

得られた水道・ガスの復旧特性をもとに、地震動強度別復旧曲線のモデル化を行う。本研究では、地震によって受けた地域全体の地震動強度を、相対的に A-E の5段階に分けてモデル化を行う。A が最も地震動強度の小さな地域で E に近づくほど地震動強度が大きくなるとする。5段階に分割した復旧曲線を考えた場合、復旧パターンは図5の4つのパターンで示せるとした。

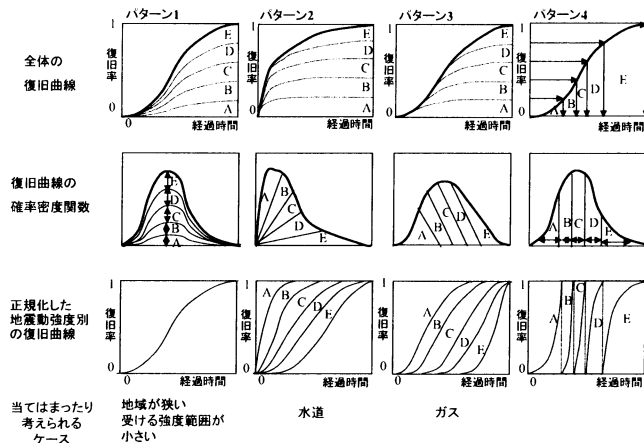


図5 地震動強度別復旧曲線の復旧パターン

パターン1は地震動強度にかかわらず同じペースで復旧が進められる場合、パターン4は地震動強度によって復旧期間が完全に規定される場合である。パターン2と3はこれらの中間的な傾向を表しているが、データを検証したところ、パターン2が水道の復旧特性を、パターン3がガスの復旧特性をよく表現していることがわかった。

本研究では、地震動強度別復旧曲線を正規分布関数にあてはめてモデル化を行った。正規分布関数の平均と標準偏差を A から E までの地震動強度ごとに決定し、戸数単位での地域全体の復旧曲線との整合性を検討して、地震動強度別復旧曲線を求めた。その結果、水道・ガス施設それぞれについて、地震動強度 C を平均として、表1に示すように地域全体の平均復旧日数に係数を乗じて地震動強度ごとの平均復旧日数とし、また変動係数を一律 0.3 として、地震動強度ごとの平均復旧日数に乗じて標準偏差を算出した。このようにして正規分布関数にあてはめた地震動強度別復旧曲線を再度合成すると、既往地震における戸数単位での地域全体の復旧曲線との整合がよいことがわかった。図6にはモデル化の結果の一例として

てガス施設の兵庫県南部地震について示す。この図6では、復旧曲線は地震動強度ごとに正規化して示している。横軸は復旧完了を1とした場合の復旧完了日数との相対的な比率を示している。また図7には、地震動強度別復旧曲線の和と地域全体の復旧曲線と比較した結果を示す。地震動強度別復旧曲線の和が地域全体の復旧曲線とよく整合しており、モデル化がうまく行えたといえる。なおモデル化の際に、既往地震の地域全体の復旧曲線と形状が異なる場合があった。こうした例は供給エリアが狭い場合に見られたことから、地震動強度にあまり差がないことが理由であると考えられる。

表1 地震動強度別復旧曲線の係数

	地震動強度	小 ← → 大				
		A	B	C	D	E
水道	地震動強度別平均復旧日数 = 地域全体の平均復旧日数 ×	0.4	0.7	1	1.3	1.6
	地震動強度別標準偏差 = 地域全体の標準偏差 ×	0.3				
	地震動強度別平均復旧日数 = 地域全体の平均復旧日数 ×	0.6	0.8	1	1.2	1.4
ガス	地震動強度別平均復旧日数 = 地域全体の平均復旧日数 ×	0.6	0.8	1	1.2	1.4
	地震動強度別標準偏差 = 地域全体の標準偏差 ×	0.3				

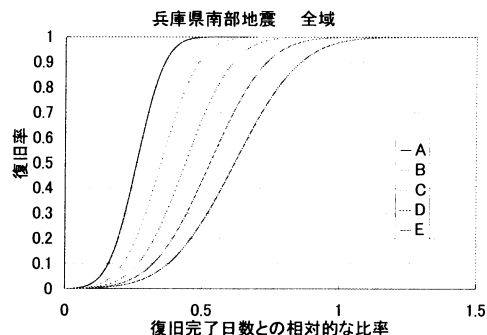


図6 地震動強度別復旧曲線
(ガス施設：兵庫県南部地震 全域)

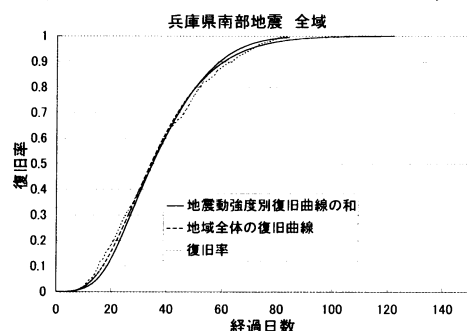


図7 地震動強度別復旧曲線の和と全体の復旧曲線
(ガス施設：兵庫県南部地震 全域)

4. まとめ

本研究では、ライフライン施設の復旧特性による地震動強度別復旧曲線のモデル化を行った。これによって地域内の復旧について、地震動強度により詳細な復旧曲線を得ることができる。なお本研究では、最大速度別復旧曲線は町丁目単位、地震動強度別復旧曲線のモデル化は戸数単位で行っていることに留意する必要がある。

参考文献 1) 能島 他：地震時における供給系ライフラインの復旧予測モデルの開発，平成13年度土木学会全国大会第56回年次学術講演会，2001.10 2) 村尾，山崎：兵庫県南部地震の実被害データに基づく灘区の地震動分布と建物被害関数，第25回地震工学研究発表会講演論文集，1999.7，pp.1101-1104 3) 山口，山崎：西宮市による被災度調査結果に基づく建物被害推定式，第3回都市直下地震災害総合シンポジウム，1998.10，pp.335-338 4) 亀田 他：総合防災研究報告 第六号 阪神淡路大震災におけるライフラインの復旧過程と生活支障のGIS分析，京都大学防災研究所総合防災研究部門，1998.3