

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

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
J R 西日本旅客鉄道(株) 正会員 澤田 彩

1. はじめに

地震時における供給系ライフライン機能の障害が社会機能に与える影響は極めて大きく、地域防災計画や地震リスクマネジメントにおいてライフライン機能の停止可能性および停止期間を予測することは重要な課題である。これまでの経験的な復旧予測や復旧最適化に関する研究では、対象モデルを極端に単純化する必要がある場合や、特定の復旧パターンを用いた復旧プロセスのケースを示すに過ぎない場合が多かった。本研究では、既往のライフライン被害のデータ分析に基づいて、ライフライン復旧予測およびリスク分析を行うためのマクロで簡便な手法を開発することを目的としている。

2. 復旧予測モデルの手順とその概要

本研究で提案する復旧予測モデルは、図1に示す手順に従うものであり、その全体像の概要は次の通りである。

- (1) 想定地震のシミュレーションより得られた地震動強度分布を対象地域のライフライン施設データに

オーバーレイし、標準的な物理的被害予測手法により被害箇所数とその分布、および平均被害発生率を推定する。

- (2) 被害箇所数から平均復旧日数と復旧完了日数を推定する経験式を構築し、これを用いて、地域全体での平均的な復旧曲線（0～1の相対的復旧率を表わす）を確率分布の形で求める。

- (3) 平均被害発生率から罹災率を推定し、供給戸数を乗じて罹災戸数を求める。これにより復旧曲線の縦軸を相対的復旧率から世帯数に変換する。ここで「罹災」とはユーザー側が機能障害を被ることを意味し、物理的な「被害」と区別している。

- (4) 特定の着目地点における復旧予測を行う場合には、地域全体での復旧曲線を地震動強度別に分解し、地域全体の中での当該地点の地震動強度の相対的な強弱に基づいて罹災確率を求めるとともに、地震動強度別の復旧曲線をあてはめ、これを復旧日数の累積分布関数として使用する。

これらのうち本報では、手順(2)に関する部分を中心に、モデル開発の方法と、適用例の一部を示すこととする。なお手順(4)については別途報告する¹⁾。

3. 地震被害のデータベースと復旧曲線のモデル化

復旧予測モデルの構築に先立ち、本研究では1964年新潟地震、1978年宮城県沖地震、1983年日本海中部地震、1989年ロマ・プリエタ地震、1993年釧路沖地震、1994年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、1995年兵庫県南部地震における供給系ライフラインの被害データベースを整備した。対象システムは上水道、ガス、電力であり、整理した項目は、システム概要（供給戸数、供給人口、供給量など）、物理的被害（管路等の被害箇所数、平均被害発生率など）、機能的被害（罹災戸数、罹災率、復旧曲線、累積供給停止戸数、復旧完了日数、平均復旧所要日数など）である。

このデータベースに基づいて、システムごとに機能的復旧日数の平均値および標準偏差を求め、モーメント法を用いて、復旧曲線の確率分布をモデル化した。

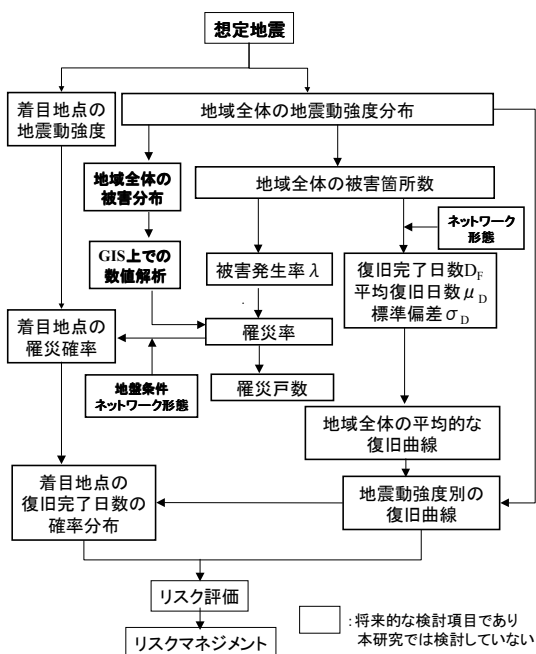


図1 本研究で提案する復旧予測モデルの概要

キーワード: ライフライン, 復旧予測, 地震リスクマネジメント, 物理的被害, 機能的被害

連絡先: 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部土木工学科 TEL/FAX 058-293-2416

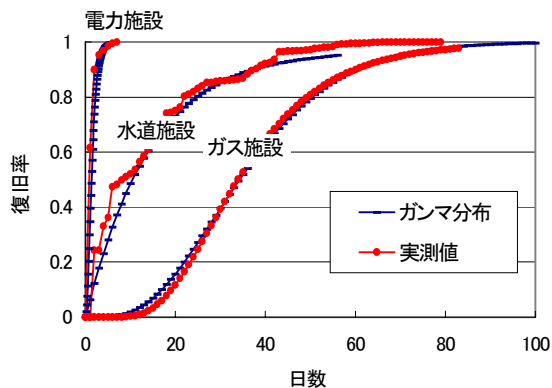


図2 兵庫県南部地震における復旧曲線とそのモデル化

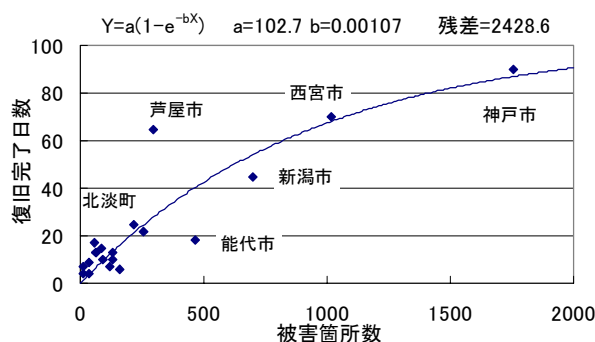


図3 配水管被害箇所数と復旧完了日数の関係

分布形状の候補としては対数正規分布，ガンマ分布，指数分布を選び，実測値とモデルの残差の2乗和を最小化するという基準で比較検討した．復旧曲線は，立ち上がりが早く上に凸の形状となるケースと，立ち上がりが遅くS字型の形状となるケースがあるが，いずれにおいてもガンマ分布の適合度が高く，確率分布モデルとして適当であることが確認された．一例として，兵庫県南部地震における電力，水道，ガスの機能的復旧曲線を図2に示す．その他の地震についても，ほぼ同様の傾向であった．

4. 被害諸量の関係の経験式

前述のデータベースおよび復旧曲線を用いて，被害箇所数，平均被害発生率，罹災戸数，罹災率，復旧完了日数，平均復旧日数などの諸量に関する相関関係を分析した．その結果，(i) 被害箇所数 N と復旧完了日数 D_F ，(ii) 被害箇所数 N と平均復旧日数 μ_D ，(iii) 平均被害発生率 λ と罹災率 R ，などの組み合わせに明確な相関が見られた．(i)および(ii)については，次式の関数形で N から D_F および μ_D を推定する経験式を求め，復旧予測に用いることとした．

$$Y = a\{1 - \exp(-bX)\} \quad (1)$$

図3はその一例であり，配水管被害箇所数 N と復旧完

了日数 D_F の関係を表す散布図と，最小二乗法による回帰分析結果($a=102.7$, $b=0.00107$)を示したものである．同様に配水管被害箇所数 N と平均復旧日数 μ_D について分析したところ，回帰係数($a=18.9$, $b=0.00310$)が得られた．能代市や芦屋市において精度が悪いのは，当該都市が被災地全体に占める相対規模の相違が一因であると考えられる．相対規模が大きければ復旧資源が集中的に投下されるが，小さければ復旧資源が分散する．詳細検討の際にはこうした要因も考慮する必要がある．なお復旧曲線の標準偏差 σ_D を推定するため，次式の関係を仮定して， k を2.5~4の範囲で変化させて逆算して求める方法をとった．

$$\mu_D + k\sigma_D = D_F \quad (2)$$

5. 適用例

図4は，兵庫県南部地震における神戸市上水道の復旧曲線の実測値，モーメント法で合わせたガンマ分布，復旧予測モデルによる推定結果を比較したものである．被害箇所数が1757箇所であったことより，復旧完了日数は87.0日，平均復旧日数は18.8日と推定された．標準偏差については，式(2)において $k=4.0$ を代入し17.1日と算出した．他のケースでも検討した結果， k の最良値は対象により異なるものの， $2.5 \leq k \leq 4$ の範囲に収まった．この点にはやや任意性が残されているが，全般的に提案モデルの有効性が確認されたといえる．

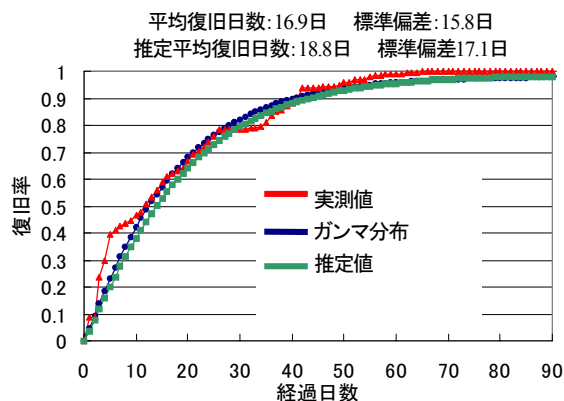


図4 神戸市上水道の復旧曲線の推定

6. おわりに

本研究では，ライフライン被害の統計データに基づく復旧予測モデルを提案した．推定精度向上のために，図1に示した諸要因を考慮してモデルを改善してゆく方針である．

【参考文献】 1) 鈴木康夫・能島暢呂・杉戸真太・石川裕・奥村俊彦: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.