

既設水道ライフラインの地震防災投資

武蔵工業大学 正会員 ○小池 武
武蔵工業大学 学生員 望月文雄

1. はじめに

わが国の既設水道システムでは、幹線管網の耐震化が概ね完成される一方、配水管・給水管網の耐震化がなかなか進捗していない。配水管網には耐震的に脆弱な継手が多数あり経年劣化も進行していることから早急な耐震化対策の推進が望まれるが、対象箇所数が膨大なため地震防災投資コストが高み耐震化対策が進捗しにくいものと想像される。本研究は、財政的に厳しい経営を強いられている水道事業体にとって地震防災投資を意思決定する合理的な評価指標の提案を行うものである。

2. 地震防災投資の評価指標

地震時被害を受けるライフラインは管路・施設の物理的被害と同時に水供給停止という機能的被害を需要者に与える。しかも、両者の被害発生確率は必ずしも一致しない特徴を持つ。したがって、地震防災投資を考える場合、物理的被害と機能的被害を総合的に評価できる評価指標¹⁾が最も合理的となる。この指標として、式(1)を提案する。

$$E[V] = E[V_1 + V_2] = E[V_1 | EQ] E[EQ] + E[V_2 | EQ] E[EQ] \quad (1)$$

ここで、 V, EQ はライフライン事業価値および地震事象を示す。そして、非地震時価値 V_1 および地震時価値 V_2 は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} V_1 &= B + I - C_o - C_M - C_S && \text{for Non-earthquake event} \\ V_2 &= B + I - C_o - C_M - C_S - C_R - \Delta B - \Delta I && \text{for earthquake event} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 $B, I, C_o, C_M, C_S, C_R, \Delta B, \Delta I$ はそれぞれ供用期間中の社会的便益、事業収入、初期建設費、維持管理費、地震防災投資、震後復旧費、地震時便益損失、地震時収入損失である。したがって、ライフラインの物理的損失により発生する損失は震後復旧費で評価し、機能的損失は便益および収入の損失として評価することができる。

3. 既設ライフラインの地震時被害推定

3.1 ライフラインのモデル化

解析対象モデルとして、中規模都市の水道ライフラインシステムを採用した。図1は幹線ラインとA~Gの7つの配水地区を示し、各配水地区内の配管網を模式的に示している。表1には、配水管網の諸元をまとめている。

配水管網の詳細な配管GISデータを取り扱う煩雑さを避けるため、本研究では各配水地区の管路延長を持つ等価な矩形配水管網を実配水管網の簡易モデルとした。

表1には、各配水管網の口径毎の管路延長とそれに等価な簡易管路網モデルの管路データを示している。対象ライフラインシステムに作用する地震モデルとして、立川断層を震源とする地震(マグニチュード6.6)を想定した。対象システムを含む表層地盤を500mメッシュで分割し、各メッシュ毎の地盤震動を求めた。各配水管網の供給ノードが幹線ラインの需要端に対応し、配水管網内の全分岐点を需要端とする配水管網を本研究での機能的被害検討用ネットワークモデルとした。

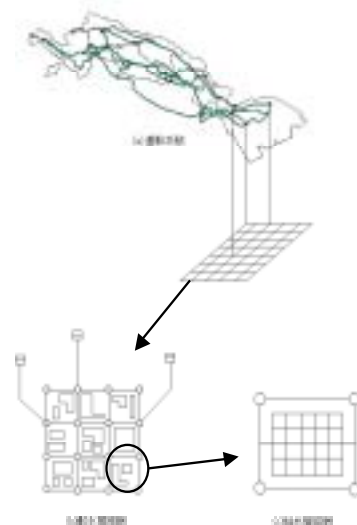


図1 対象モデル

表1 諸元

District name	A	B	C	D	E	F	G
length(m)	112,087	49,748	51,993	27,158	47,306	51,563	38,725
area(km ²)	40.3	10.1	14.8	17.1	18.6	20.4	23.1
supply nodes	6	2	3	6	3	5	7
blocks in x-axis	5	5	6	4	5	6	8
blocks in y-axis	5	5	7	5	6	7	9
Average acceleration(gal)	384	323	311	306	248	263	230
Average displacement(cm)	7.99	3.59	2.83	2.58	1.28	1.44	0.79

3.2 配水管網の地震時被害推定

(1) 管路被害率

鋳鉄管は継手部から地震時被害が発生するが、それらは主に変位吸収能力が低い旧来の継手で見られる。そこで、本研究では旧式継手に対する管路被害率 ν を次式により算定するものとする。

$$\nu = C \cdot 2.88 \times 10^{-6} (\alpha - 100)^{1.97} \quad (3)$$

ここで、 C, α はそれぞれ補正係数、地盤表面加速度(gal)である。

（２）地震時物理的被害

図２は配水管地区別の管路被害個数を比較したものである。同図より配水地区 A の管路延長はその他の地区の 2 倍程度大きい

が、物理的損傷箇所数は配水地区 A がその他の地区の 4 倍程度多く発生しており地震被害程度が大きい地区であることがわかる。図 3 は、種々の地震動に対する配水管網の物理的損傷度と機能的損傷度の関係を求めたものである。ここで、機能的損傷度は地震時物理的損傷を受けた配水管網の供給ノードから需要ノードへの連結が喪失される需要ノード数の全ノード数に対する比として定義した。一方、物理的損傷度は損傷を受けた管路（リンク）の全リンクに対する比として定義した。同図より、配水管網の簡易モデルは機能的損傷度が物理的損傷度より下回る傾向を示しているが、これは対象ネットワークが冗長性を有していることを示している。

図 4 は、各配水地区ごとの管路損傷を復旧速度 0.5 箇所/日、復旧チームは管路延長に比例した数（例えば A 地区で 7 チーム）を想定した場合の事例である。地震発生当時全配水地区の給水性能が停止したが、一週間後に地震前の水準に復旧する傾向を示している。このシミュレーション結果は震度 6 弱の地震災害の実例とも矛盾していないことから、本研究の地震被害予測モデルがある程度の妥当性を有していることが確認できる。

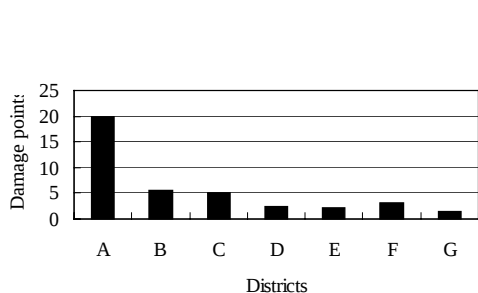


図 2 配水地区別物理的損傷度

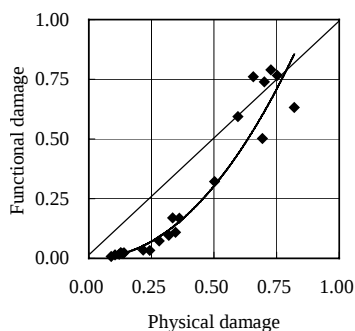


図 3 物理的損傷度と機能的損傷度の関係

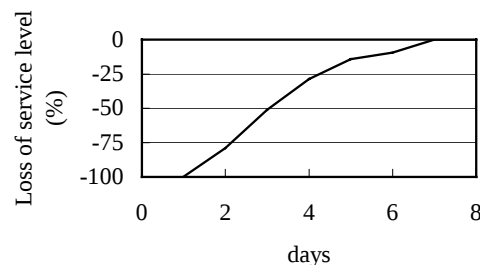


図 4 復旧日数予測

4. 配水管網の地震防災投資効果

（１）地区別耐震化の優先順位

図 5 は、配水地区別の総合的価値を初期建設費で除した値を示している。同図によると、防災対策をした場合の総合的価値は A 地区が相対的に大きく、その他の地区はほぼ同程度の値を示している。このことより、A 地区への耐震投資が水道ライフラインシステムの事業価値向上の総合的視点から最も効果的であることがわかる。

（２）防災対策が価値評価に与える影響

図 6 は、A 配水地区を対象に防災対策コスト比 C_s/C_r をパラメータとして、旧式鑄鉄管継手の交換比率（交換箇所/総継手数）に対するライフライン総合的価値 $E[V]/C_0$ の関係を見たものである。旧継手を耐震継手に交換するコスト C_s が震災時復旧コスト C_r を基準値にして相対的に高い時、交換比率の増加は防災投資コストを増加させ、結果的にライフラインの総合的価値 $E[V]$ を低下させることを示している。とくに、防災対策コスト比 C_s/C_r が 0.1 から 0.5 に増加すると、総合的価値 $E[V]$ が一層低下することがわかる。

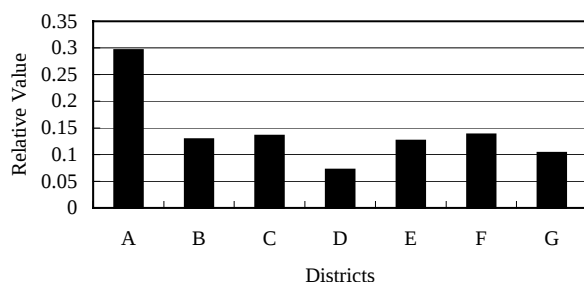


図 5 防災投資による地区別事業価値向上効果

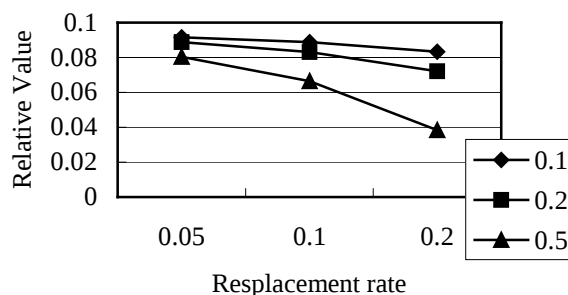


図 6 事業価値と継手交換比率の関係に与える防災対策コスト比の影響

5. 結論

本研究では、既設水道ライフラインの配水管網の地震防災投資を優先すべき配水地区を判定する手法について論じた。提案する総合的価値評価指標は、配水地区別の事業価値向上効果を明解に示すことができ、防災投資を優先すべき地区判定に有用な指標であることが確認できた。

参考文献

- 1) T. Koike: Optimal investment strategies for lifeline systems under seismic risks, The International symposium on maintenance systems for disaster prevention, Kochi, Japan, 2006.
- 2) 磯山龍二他：水道管路の地震被害予測に関する研究、水道協会雑誌、第 67 巻、第 2 号、1998