

ライフライン耐震化のための合理的投資のあり方に関する研究

熊本大学 正員 秋吉 卓 八代高専 正員 瀧田 邦彦 熊本大学 正員 松本 英敏
国土工営コンサルタンツ 正員○日野 章 熊本大学 学正員 矢野 裕彦

1. はじめに

水道・ガス・電気といったライフラインは、都市生活の中で重要な役割を果たしているが、人口、規模が大きくなるとその相互の関連性が複雑になり、災害が発生すると甚大な被害が生じる。そのため、ライフライン施設に対する地震時の安全性の確保のため、耐震化投資を合理化する必要がある。そこで、本研究では、不確定性を有する地震動をポアソン過程で発生するものとして、補強費用、地震時のシステムダウン費用、復旧費用のトータルコスト（図-1）で評価することにより、ライフラインへの合理的投資のあり方の一提案を目的とする。

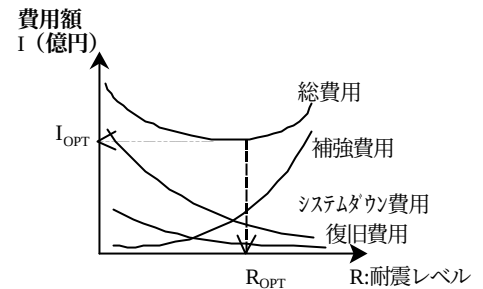


図-1 耐震レベルと費用との関係

2. 解析手法の概要

熊本市上水道管路網をノードとリンクでモデル化を行い、過去の地震被害を基に数量化理論第Ⅰ類¹⁾より導いた被害予測式に適用することで、熊本市がある期間に被る地震被害の期待値を算定する。算定した各リンクの平均破壊個数の期待値を基準値として、各ノードの断水確率を求めるためにモンテカルロシミュレーション²⁾を行い、断水確率から図-1の耐震レベルを表わす。耐震レベルは、“地震発生によって生じる断水が、上水道の耐震補強により、どの程度の改善を促すことができるかを表す指標”と定義し、これを給水率（SW）として以下の式で表わす。

$$SW_k = \frac{(f p)_0 - (f p)_k}{(f p)_0} \quad (1)$$

SW_k : 給水率 (%)

$(f p)_0$: 耐震補強前の断水確率

$(f p)_k$: 耐震補強後の断水確率

k : 耐震補強の過程

耐震補強の条件は、鋳鉄管をダクタイル鋳鉄管に管種交換することと、液状化発生の危険性が高い地盤に埋設された管路周辺地盤を締固めることである。そして、耐震補強をする過程の給水率と総費用額の関係から、ライフラインへの合理的投資の一評価法の提案を行う。

3. 解析モデル

熊本市上水道管路網は、東西方向 25 km、南北方向 21 km に埋設され、総管長約 894 km のうち主要な管種は、ダクタイル鋳鉄管が約 632 km、鋳鉄管が約 131 km、鋼管が約 43 km である。管路の埋設地盤は、市中央部より有明粘土層に砂質表層が載って、西側（海側）に向かって層厚を増していき、地下水位は -5m より浅いことが多く、砂質性・旧河川敷、埋立地などのため軟弱である。図-2 は、管径 200 mm 以上を用いてモデル化した熊本市上水道幹線管路網で、69 のリンクと 43 のノード及び 8 の水源地（配水池）で構成する。モデル化をする際、ノードはリンクを介して全て連結したネットワークシステムとしている。そして、熊本市全域を第 4 次地盤メッシュ（500m × 500m）に分割し、同一メッシュ内の地盤・管種条件は一定と

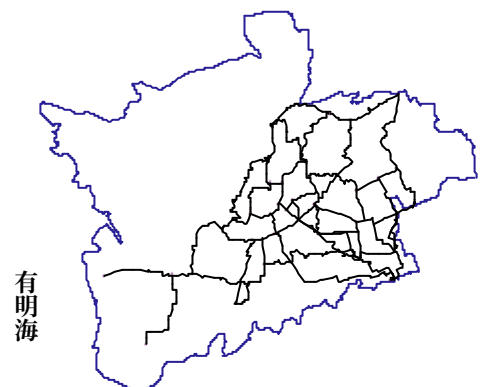


図-2 解析モデル

Key Word: 耐震化投資, 最適化, ライフライン, 断水確率, 地盤改良, 防災計画

連絡先 : 〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1, Tel: 096-342-3583, Fax: 096-342-3570

仮定した。なお、データ管理は地理情報システム（Geographic Information System；GIS）を用いている。

4. 耐震補強優先順位の決定

耐震補強の対象となるリンクは、69 リンクのうち 35 リンクあり、耐震補強優先順位の組み合わせは 35！に達する。膨大な数の組み合わせの中で 1 つの組み合わせを決定するには、何らかの方針を立てる必要があるため、耐震補強の優先順位を決定するにあたり、以下の方針を立てた。

パターン 1 — 改良費用の少ないリンクから重点的に耐震補強を実施

パターン 2 — 地震時に被害が多いと予測されるリンクから重点的に耐震補強を実施

耐震補強優先順位の決定のために、E.W.Dijkstra によってプログラム化（ダイキストラ法）された E.F.Moore の最短経路探索のアルゴリズム³⁾を利用する。

5. 解析結果

10 年間、50 年間、100 年間、200 年間の被害期待値でもって、各期間内の合理的な耐震化投資法について検討する。図-3 と図-4 は、それぞれ(パターン 1)と(パターン 2)における総費用額曲線を示す。10 年間、50 年間、100 年間、200 年間の時間軸でもって、総費用額と給水率の関係を示す。斜線は、耐震化投資における給水率の過程を示すが、双方の図から、10 年間、50 年間の被害期待値では総費用曲線は右上がりである。耐震補強の過程で給水率は上昇するが、耐震化投資が経済的でない。逆に 100 年間、200 年間の被害期待値では総費用曲線が右下がりであり、耐震化投資が有効に機能していることがわかる。熊本市について評価した場合に、10 年間、50 年間の地震の危険に対して経済的な視点のみで評価すれば、耐震化投資を行わないことが合理的といえる。しかし、防災計画は経済的な視点のみで判断するのは難しく、何に重点を置くかが重要になる。たとえ、経済的に有益でないとしても、耐震レベルを上げるために耐震化投資を実施した方が良い場合もある。図-3、図-4 での総費用曲線を比較して、曲線の挙動が違ってくる。10 年間、50 年間の最大給水率の総費用額は同じだが、(パターン 1)の方が最大給水率に至るまでの曲線の挙動はなだらかなり、少ないリンク（少ない斜線）の耐震補強で給水率が上昇する。防災計画を 10 年単位で考えた場合では、(パターン 1)の投資法によって図-3 の●印までの耐震補強が、経済的に効果的といえる。また、100 年、200 年の地震の危険に対しては、(パターン 2)の曲線が若干低い挙動を示す。防災計画を 100 年単位で考えた場合では、(パターン 2)の投資法によって図-4 の■印までの耐震補強が、経済的に効果的といえる。

6. まとめ

耐震補強をする過程の給水率と総費用額の関係から、ライフラインへの合理的投資の一評価法の提案を行い、熊本市における合理的な耐震化投資法を示した。

[参考文献]

1)河口至商：多変量解析入門 I，森北出版株式会社，pp.95-105,1991， 2)田村重四郎・川上英二：モンテカルロ法による地中埋設管システムの耐震性の評価法，土木学会論文報告集，pp.37-48,1981 3)土木学会土木計画学研究委員会：土木計画学講習会テキスト，交通ネットワークの分析と計画，最新の理論と応用，pp.33-38,1987。

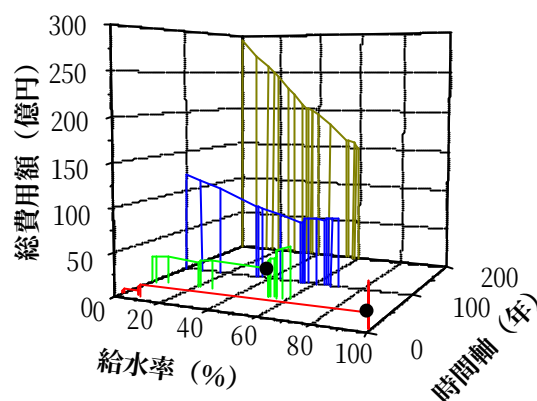


図-3 総費用額曲線（パターン 1）

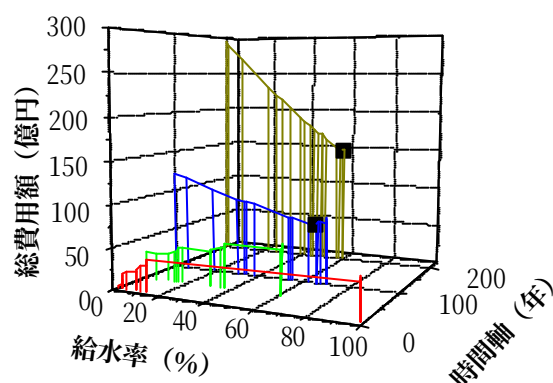


図-4 総費用額曲線（パターン 2）