

上水道管路網への耐震化投資の一評価法について

熊本大学 正会員 秋吉 卓 熊本大学 正会員 松本英敏
 熊本大学 学生員 日野 章 熊本大学 学生員 矢野裕彦

1. まえがき

上・下水道、ガス、電気といったライフラインシステムは、現在我々の都市生活において大変重要な役割を果たしている。このため、ライフラインシステムは都市活動を維持するものとして、地震時の信頼性及び安全性の確保が防災計画の中でも重要視されてきた。当然のこととして、都市の耐震レベルが高ければ、地震時の被害も少なく、復旧に要する費用もわずかで済む事は容易に想像できる。しかし、地震外力に対するライフラインネットワークの耐震レベルを高くするには、多大な建設費用が必要となる。耐震レベルと各費用とはトレードオフの関係のため(図1)、建設費用と復旧費用の和はある耐震レベルで最小値をとることが予想される。そこで、本研究では、上水道管路網への耐震化投資の一評価法を提案し、両者の和を最小化する経済的な最適化だけでなく、復旧面からの検討も行行った。対象とする管路システムとしては、熊本市上水道幹線管路網をモデル化した。また、耐震化投資においては管路改良をダクトライル鉄管のみとし、地盤改良にはサンドコンパクションパイル²⁾工法を適用した。さらに各データの保存にはGISシステムを用いた。

2. 解析方法

本研究では、図2のように熊本市上水道幹線管路網及び管路沿いの地盤をノードとリンクからなるメッシュ状にモデル化した。発生確率を考慮した地震動、地盤条件および管路条件を数量化理論第I類より導いた被害予測式³⁾に適用する事で、熊本市の地震被害を予測した。また予測した被害より各リンクの破壊確率を算出し、モンテカルロシミュレーションから各ノードの断水確率を求め、これを用いて通水人口率を示した。通水人口率とは、耐震化投資の効果によるモデル内における全予測断水被害人口の減少率のことである。なお、従来のように特定した想定地震に対してではなく、何十年、何百年に一回の地震に対して耐震化投資を行う方法は、その再現期間によって大きく異なってくる。このことから、熊本県で被害が発生した過去の地震より各震度階の発生確率を考慮した地震動を用いて平均化を行った。また耐震化投資に関しては過剰投資を減らすため一定の制限を設け、全ての管路・地盤を改良しないようにした。

そこで、現状におけるネットワークシステムの通水人口率を高めるうえで、どのような投資を行えばシステムの通水人口率を高め、かつ経済的に最適となるかを、いくつかの耐震化投資パターンによって考察していく。ただし、地震後の断水による損失費用を、

$$\text{損失費用} = (\text{生産額}) \times (\text{断水確率}) \times (\text{復旧日数})$$

と定義した。またこのときの生産額は、解析対象である熊本市の第一次、二次、三次産業の年間総生産額を日割りしたも

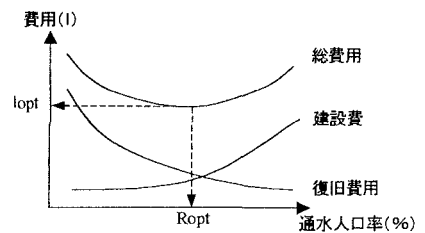


図1 通水人口率と費用の関係

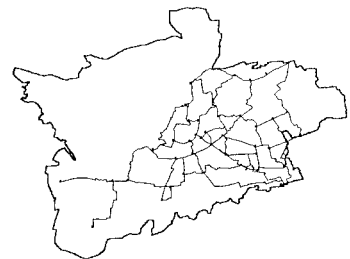


図2 熊本市上水道幹線網のモデル化

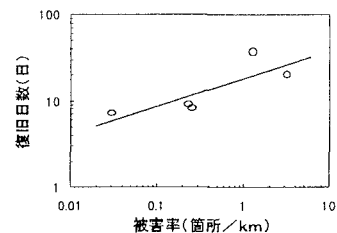


図3 復旧日数と被害率の関係

のを用い、復旧日数は兵庫県南部地震を含む 5 個の地震被害データによる回帰式（図 3）から推定した。ここで、今回行った各耐震化投資パターンを次に示す。

- (a) 現状のモデルでの改良費用の小さいリンクからの投資
- (b) 地震災害時に破壊箇所が少ないと予測されるリンクからの投資
- (c) 地震災害時に破壊箇所が多いと予測されるリンクからの投資
- (d) 人口の多いリンクからの投資

以上のような投資をしていくうえで、ネットワーク上での各パターンに対する重要リンクを選出する。その方法として交通計画学の分野で最短経路探索に用いられる Dijkstra の方法⁴⁾ を利用し、各パターンでの耐震化投資順序を決定した。この時、各投資パターンにおける重要リンクを決定する重みは、(a) 改良費用、(b) 被害箇所数、(c) 被害箇所数の逆数、(d) リンク人口とした。

3. 解析結果

図 4 は各投資パターンにおける総費用とシステムの通水人口率の関係を示す。また、図 5 は各投資パターンにおける総費用と復旧日数の関係の推移を示す。どの投資パターンでも端部の値が一致しているのは、現状から同じ改良状況になるまでの投資を行っているからである。投資パターン (a) をみると、限られた建設費（予算）で最も経済的で高い通水人口率が期待できる。しかしながら、被害の抑制よりもシステム全体での経済性、通水性を重視した投資であり、被害の多く発生する液状化区域の地盤改良を後回しにしているため、復旧日数がかかってしまう傾向が見られる。また、投資パターン (b) においても同様な理由から復旧日数がかかってしまう。それに対し、投資パターン (c) においては、直接被害の多く発生する箇所から投資を行っており、総費用の面ではかなりの効果が見られ、復旧日数に対しても投資パターン (a)、(b) に比較して短縮することが出来ている。投資パターン (d) においては、住民支障度をいかに低減させるかという目的で投資を行っているが、総費用の面から経済的に効率の良い投資とは言えない。

4. まとめ

あらかじめ投資の目的、重要視する点を決定することで、目的に応じた耐震化投資の最適解を得る事が出来るが、4 パターンの解析を行ってきた今回の場合、建設費用（予算）に制限があるのであれば、投資パターン (a) , 経済的に最も効率の良い投資はパターン (c) といえる。さらに、復旧日数が短縮されていることから、社会的観点からも投資パターン (c) は効果的であるといえる。なお、事後の復旧戦略については講演時に発表する予定である。

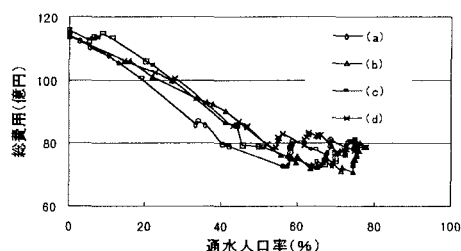


図 4 通水人口率と総費用の関係

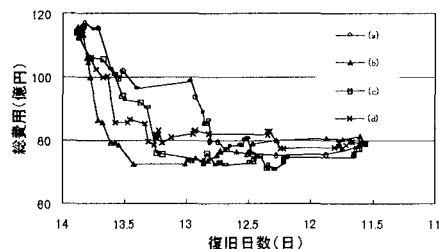


図 5 復旧日数と総費用の関係

参考文献 1) 高田至郎：ライフライン地震工学、共立出版、1991. 2) 兵頭武志・秋吉 卓・淵田邦彦・松本英敏：震動締固めによる地盤改良工法の液状化防止効果について、土木構造・材料論文集、第 12 号、pp.41-50,1996. 3) 秋吉 卓・松本英敏・久保 聡：ライフライン地震被害率の簡易予測法について、土木学会第 40 回年次学術講演会講演概要集、I、pp.847-848,1985.9. 4) 交通ネットワークの分析と計画と最新の理念と応用、土木計画学研究委員会、pp33-38