

水道管路網への耐震化投資の効果について

熊本大学工学部 学生員 ○春木宏明
 熊本大学工学部 正員 秋吉 卓
 熊本大学工学部 正員 松本英敏
 熊本大学工学部 水井一成

1.まえがき 地震外力に対するライフライン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。しかし、耐震レベルが高い場合には被害損失額も小さく、復旧に要する費用もわずかで済むことは容易に想像できる。そこで、本研究では、上水道管路の耐震化のための投資を最適化する方法を検討する。地震前の管路の補強や地盤改良、地震後の管路修理費や企業損失額等の総投資(図 1)¹⁾を最小化するだけでなく、復旧日数と総投資を管路システムの信頼性で結合して、最適化を検討する。対象とする管路システムのモデルは、熊本市上水道幹線管路網をモデル化(図 2)したものである。また、システムの信頼性はモンテカルロ法から算定し、地盤改良はサンドコンパクションパイル工法²⁾を用いている。

2.解析方法 本研究では、将来の地震に対する管路システムの信頼性を、水源地と管路との連結性(通水性)でもって評価することにした。そのため、基準入力によるメッシュ化(500m×500m)された柱状地盤モデルの地表面応答を求め、数量化理論第一類を用いて導いた被害予測式³⁾より地震時の被害を算定する。さらに田村・川上による ISM 手法⁴⁾より、モデル化された管路システムのリンクごとの破壊確率を求め、これに対するモンテカルロシミュレーション⁴⁾からシステムの信頼性を求めた。

そこで、現状におけるシステムの信頼性を高めるうえで、どのような投資を行えばシステムの信頼性を高め、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、企業活動停止による損失額として(都市の企業生産活動費/日)×(断水確率)×(復旧日数)と定義し、このときの企業生産活動費は、解析対象である熊本市の年間製品出荷額とし、復旧日数は兵庫県南部地震を含む五つの地震被害データによる回帰式(図 3)から推定している。今回行った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)地震災害時に破壊個所の多いと予測されるリンクからの投資、
 (c)地震災害時に断水の可能性が高いと予測されるノードの周辺リンクからの投資、
 (d)人口の多いリンクからの投資、
 (e) (a)と(d)双方を考慮した投資。以上のようなパターンで投資していくうえでネットワーク上での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⁵⁾を利用し、各パターンでの耐震化投資順序を決定した。投資パターン(d)における

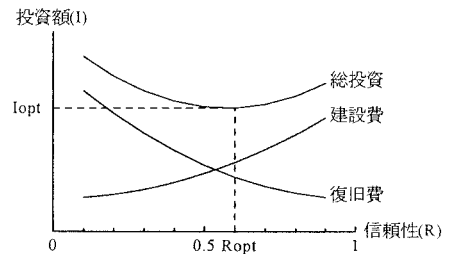


図 1 信頼性と投資の関係

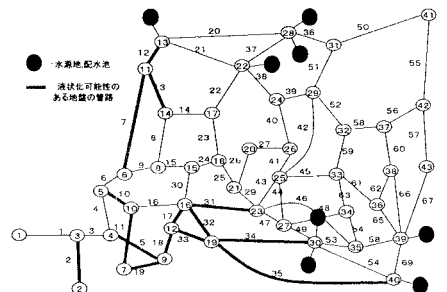


図 2 熊本市上水道幹線網のモデル化

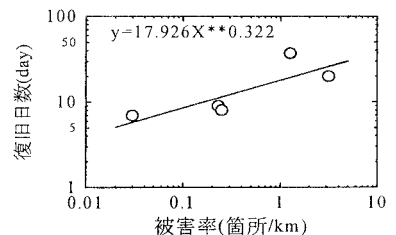


図 3 復旧日数とシステムの信頼性の関係

Dijkstra の方法で決定した重要リンクを図 4 に示す。

3.解析結果 図 5・図 6 は各投資パターンにおける総投資とシステムの信頼性の関係を示す。また、図 7・図 8 は各パターンにおけるシステムの信頼性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、もっとも経済的で高い信頼性が期待できる。しかし、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みられる。それに対し、投資パターン(b)・(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、復旧日数に対してはかなりの効果がみられる。投資パターン(b)ほうは接点間の連結性といった要因を含んでいるため投資パターン(c)よりも約 20 億円低減でき被害抑制を重視した投資においては投資パターン(b)のほうが効果的である。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行っている。重要リンク

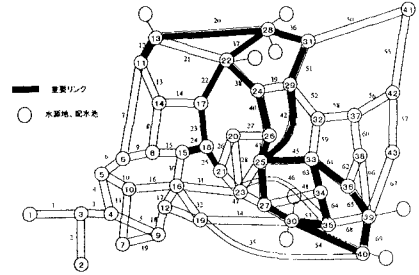


図 4 重要経路の決定

リンクの信頼性は高い値であるが、経済的に効率のよい投資とはいえない。そこで、投資パターン(e)では(a)と(d)の双方の目的を考慮し、重要リンクを選出した投資である。その結果、信頼性は低下してしまったが、投資パターン(d)と比べ約 20 億円投資額を抑えることができ、投資パターン(a)と比べ復旧日数を短縮することができる。あらかじめ投資の目的・重要視する点を決定し、投資パターン(e)のようにそれぞれの重みを与え、重要リンクを決定し、耐震化投資することによって最適解を得ることができる。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。

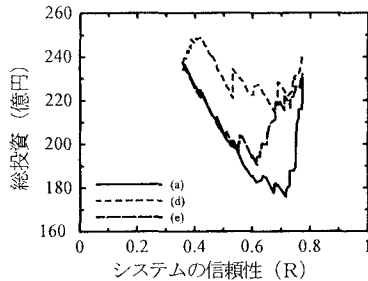


図 5 総投資と信頼性の関係

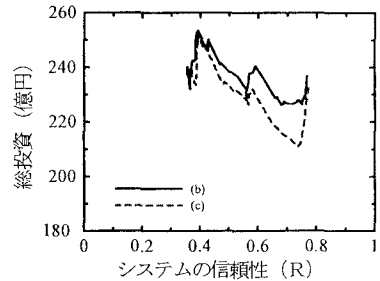


図 6 総投資と信頼性の関係

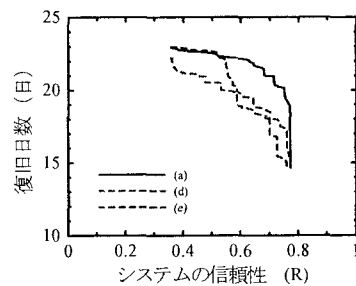


図 7 復旧日数と信頼性の関係

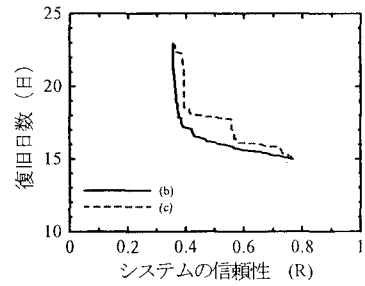


図 8 復旧日数と信頼性の関係

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：振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)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方法、土木学会論文報告集、第 311 号、pp.37-48,1981。 5)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