

I - B 421

ライフラインの耐震化費用と信頼性の関係について

熊本大学工学部 学生員 前田修一  
 熊本大学工学部 正 員 秋吉 卓  
 八代高専 正 員 淵田邦彦  
 熊本大学工学部 学生員 日野 章

1. まえがき 本研究では、地震前の上水道管路の補強や液状化防止の地盤改良による事前投資の効果と最適復旧戦略がシステムの信頼性と如何なる関係にあるかを検討する。そのため、事後の損失額として、管路の修理費とシステムダウンによる企業損失額を取り上げ、これら事前・事後の両費用の合計額を最小化する基準により、事前投資を最適化する。一方、復旧は、最頻経路を重要管路として、これを優先する復旧が、他の方法によるものより最短復旧日数となることを示す。ライフラインのモデルとしては、熊本市上水道幹線管路網をモデル化し、システムの信頼性はモンテカルロ法から求め、地盤改良はサンドコンパクションパイル法を用いている。

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、管路と水源地との連結性（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された柱状地盤モデルの地表面応答から数量化、<sup>1)</sup> さらに田村・川上による ISM 手法<sup>2)</sup> 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<sup>2)</sup> からシステムの信頼性を求めた。

そこで、現状における信頼性を高めるために、(a)地震前の管路の耐震化や周辺地盤の液状化防止のための改良への投資を行い、さらに地震後の(b)管路の修理費と(c)システムダウンによる企業の活動停止損失額を復旧費と考えて、 $(a) + (b) + (c)$ を総投資額 I と定義すると、信頼性 R に対して、図1のような関係が予想される。<sup>3)</sup> 図のように総投資額に最小値が求まる場合は、事前投資が経済的に最適( $R_{opt}$ ,  $I_{opt}$ )を持つが、システムの信頼性は必ずしも十分には高くないかも知れないので、社会的満足度と経済性とは一致しないところもある。ただし、企業活動停止による損失額(c)は、(都市の企業生産活動費/日) × (断水確率) × (復旧日数) と定義している。このとき、企業生産活動費は、解析対象とする都市の年間製品出荷額とし、復旧日数は阪神大震災を含む計5個の地震被害による回帰式から推定している。

解析の対象は、熊本市上水道幹線管路網で、これをモデル化したものが図2であるが、リンクとノードで構成される給水区を構成し、市内は 500m × 500m メッシュに分割し、各メッシュには代表的ボーリング資料をあてる (図の上方が北側)。配水管以上の幹線は、市内の東西 25km 南北 21km の範囲に敷設され、その延長は 887km である。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

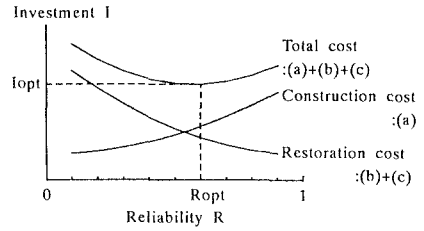


図1 投資と信頼性の関係

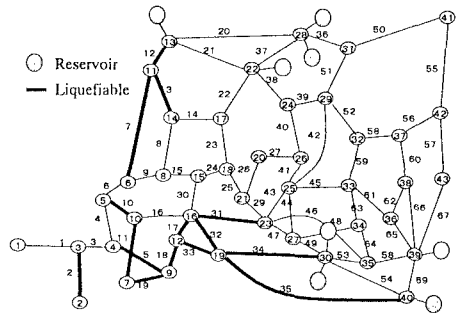


図2 熊本市上水道幹線網のモデル化

キーワード：ライフライン、信頼性、最適投資、復旧

連絡先:熊本大学工学部環境システム工学科 秋吉 卓(熊本市黒髪 2-39-1・096-342-3538・096-342-3507)

層厚を増していく。地下水位は-5m より浅いことが多く、市中心部より海側（西側）にかけては、砂質性・旧河川敷、埋立地などのため軟弱で、液状化の可能性も高い。地盤改良は、改良効果が大きく施工実績の高いサンドコンパクションパイル工法<sup>4)</sup>で行うこととする。

システム全体の信頼性を高めるように事前投資と事後の復旧を行うには、生き残る可能性の高い管路群すなわち重要管路から修復することが良いと思われる。そのため、交通計画学の分野で最短経路探索に用いられる E.F. Moore の方法<sup>5)</sup>を利用して、重要度を決定する。その結果を示したのが、図3であるが、市中心部を貫く重要管路群が示されている。

図4には、総投資額と信頼性との関係を示しているが、この場合は経済的に最適な点が存在するが、このときの(a), (b)及び(c)の内訳を図5に示している。これより、最適解を採用する場合は、事前の投資は現状より総投資額 185 億円の 14%増し、すなわち 26 億円の事前投入で、総投資額は、現状のままの被害より、約 50 億円低減できることを示している。

図6には、復旧日数とシステムの信頼性との関連を示しているが、復旧戦略によりかなりの違いが出ており、重要管路（図中の実線）から復旧していくことが最短日数となる。

参考文献 1)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手法について、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. 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方法、土木学会論文報告集、第 311 号、pp.37-48, 1981. 3)高田至郎：ライフライン地震工学、共立出版、1991. 4)兵頭武志・秋吉 卓・淵田邦彦・松本英敏、：振動締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. 5)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、pp.33-38, 1987.11.

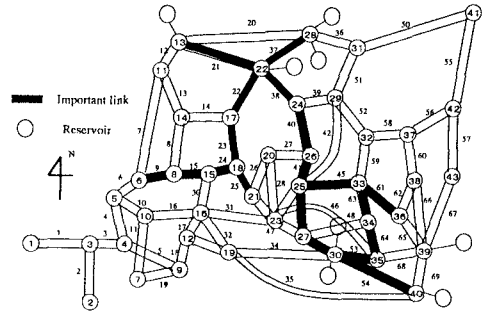


図3 重要経路の決定

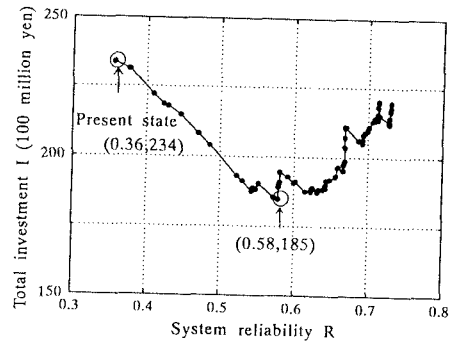


図4 総投資額と信頼性の関係

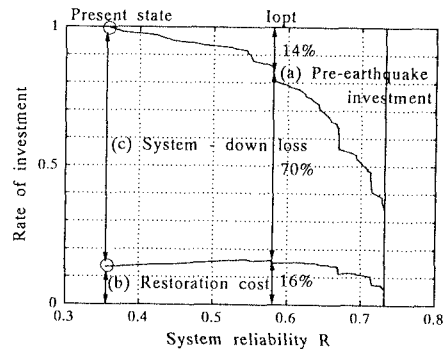


図5 総投資額における費用分担の内訳

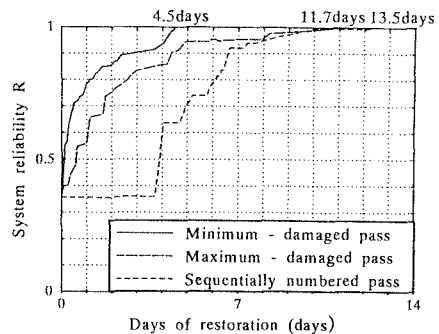


図6 戦略の違いによる復旧日数のシミュレーション