

地震リスクコントロール手法を用いた水系地盤埋設パイプラインの 地震リスクマネジメントに関する研究

常井技術士事務所 正会員 ○常井 友也

1. はじめに

近年、上下水道施設等のライフライン施設の耐震化事業が多く、施設管理者によって実施されている。参考文献¹⁾では、「管種・管径・地盤条件等」の管路情報からライフライン施設に潜在する被害特性を定量的、客観的に評価できる「地震リスク」を用いて、地盤埋設パイプラインの耐震対策優先度分析手法の検討が実施されている。リスクの定義は分野により様々であるが、地震保険等においても「リスク」の考え方が取り入れられている。地震等の自然災害に対するリスクへの対応方法としては、「リスクの回避、軽減（耐震補強）」を実施する「リスクコントロール」と「リスクの移転、保有（保険等）」による「リスクファイナンス」が存在する。本研究では地盤埋設パイプラインの中でも下水道管路施設を取り上げ、耐震補強による「地震リスクコントロール手法」の効果の検証、及び地震リスクマネジメントのフローの提示を行う。本研究では、まず「耐震性能を有していない地盤埋設パイプライン」の地震リスクの算出し、次に「耐震対策を実施した場合の地盤埋設パイプライン」の地震リスクの算出を実施することで、「耐震対策による地震リスクの低減効果」、「耐震対策の有効性、及び効果」に関して検証する。

2. 地盤埋設パイプラインの地震リスク評価

本研究においては、リスクを「期待損失（期待値）」として下記のように定義し、地震リスク分析を実施する。

$$R = P \times C \quad (1)$$

ここで、 R は期待損失、 P は発生確率、 C は損失額を表す。また、本研究では、図-1、図-2に示すような地震リスクの算出フローに従って地震リスクマネジメントを行う。図-3に解析対象地域における水平最大加速度と年超過確率の関係を表す地震ハザード曲線を示す。

3. 地盤埋設パイプラインの解析対象モデル

地盤埋設パイプラインの解析対象モデルは図-4に示すようなモデルとし、土被り 1.5m の鉄筋コンクリート管 ϕ 400mm の JIS 規格 A 形を解析対象モデルとした。ここで、JIS 規格 A 形継手は、L1, L2 地震動に対して地震時の屈曲ならびに抜け出し等に追従せず、可とう性を有しない継手構造であり、耐震性能を有していない管路である。また、本研究では、鉄筋コンクリート管 A 形の耐震対策を自立管タイプの更生工法を用い、耐震対策を実施する。

4. 地盤埋設パイプラインの耐震性能評価

本研究では地盤埋設パイプラインの耐震性能評価として、図-5に示すように液状化による地盤沈下が起因する「管路のたるみ」を照査項目とした。各管路の液状化による沈下量の算出方法としては、「液状化による沈下量＝液状化層厚×沈下率（0.05）²⁾」から、管路の沈下量の算出を行った。さらに、本研究では液状化に対する抵抗率 FL 値を計算する際に用いる設計水平震度 k_{hgl} を変化させて、沈下量の計算を行った（図-6）。ただし、地盤の増幅率を 1.5 として基盤最大加速度の計算を行った。次に、管路の被害区分と補修方法を表-1に示す。管路が地震により被災し、補修が必要とされる管路の被災基準³⁾としては、 ϕ 250mm 以上では「管路のたるみ」が 5cm 以上のたるみが生じた場合である。a, b ランクは災害査定範囲内であるため開削工法による改築を実施し、c ランクでは被災していないのでカメラ調査のみを実施する。なお、鉄筋コンクリート管 A 形は耐震性能を有していないため、5cm 以上たるみが生じた場合、流下能力の確保が不可能になると設定する。

4. 地盤埋設パイプラインの地震損失コスト評価

本研究では、「物理的損失」、「機能不全による営業損失」、「ユーザー損失」の3つの地震損失コストを考慮する。物理的損失は、地盤埋設パイプラインの復旧コストつまり、補修費、調査費用を評価することにする。機能不全による営業損失は下水道管路施設が地震により被災することで、下水道管路施設の機能不全により公営企業が得ることができなくなった営業収入つまり下水道使用料金収入とする。ユーザー損失は、下水道管路施設が地震により被災することで、下水道施設の利用者（ユーザー）が下水道を利用できなくなったことにより生じる経済損失とする。

なお、本研究では液状化による地盤の沈下が起因する「管路のたるみ」を照査項目としているため、耐震対策後に

キーワード 地震リスクコントロール 地震ハザード曲線 耐震性能 地震リスクカーブ 年間地震リスク
連絡先（メールアドレス） tsunei.tomoya@gmail.com

においても地震により液状化が起因する「管路のたるみ」による被害が生じるため、「物理的損失」、「機能不全による営業損失」、「ユーザー損失」を考慮し、各地震損失コストに関しては、参考文献¹⁾等の値を参考に算出を行った。

5. 地盤埋設パイプラインの地震リスク分析

本研究で評価する地震リスクは、地震リスクカーブが年超過確率と損失額の囲む面積で表される「年間地震リスク（図-2）」を評価指標とする。年間地震リスク（図-7）を基に、社会的割引率4%、事業評価期間を50年とすると「耐震対策未実施の地震リスク」は約2.1（千円）、「耐震対策費用と耐震対策実施後の地震リスク」の合計値は約0.65（千円）となり、地震による損失が70%程度低減され（図-8）、「耐震対策の有効性」が検証できた。

6. 最後に

本研究は筆者が個人研究で行ったものです。当方は「出身大学・大学院の指導教員等、その他（関係者等、その他）」、「過去の勤務先・所属等」、「その他」とは一切関係ありません。当方等に関して上記等、その他への連絡、問い合わせ、その他等により、「当方に不利益等が生じる」、「私の現在及び将来への支障となる」可能性が高いため一切行わないで下さい。上記等が当方に関して「関与、利用、その他等」することはお断りです。「兵庫県（市町等含め）、京都市、高槻市、上記OB等、日本技術士会等、その他等」が当方に関して「関与、利用、その他等」することは、「当方に不利益等が生じる」、「私の現在及び将来への支障となる」可能性があるためお断りです。（「人的ネットワーク等」を通じての関与等、その他も含め。）上記組織等、その他からの「連絡、問い合わせ、その他等」はお断りです。また、上記等、その他への「助力等、その他」は一切できません。上記組織等、日本技術士会、地震工学委員会、その他等とは一切関係ありません。上記等、その他等を行った場合、その責任を負っていただきます。

参考文献

- 1) 常井 友也：地震リスクを用いた水系地盤埋設パイプラインの耐震対策優先度分析手法に関する研究，土木学会全国大会 第73回年次学術講演会，VII-033, 2018. 8

【※当方が過去に執筆した「下水道管路施設・その他等の地震リスク（英訳含む）」に関する論文、「地盤埋設パイプライン」及び「その他」の論文は、「論文に記載された所属（過去の所属等）」で実施した研究ではなく筆者が個人研究で行ったものであり、「論文に記載された所属（過去の所属等）」とは一切関係ありません。さらに、当方が執筆した「博士論文・上記及び本論文・その他等」は、「過去の勤務先等」とは一切関係ありません（当方が執筆した「博士論文・上記及び本論文・その他等」は、「過去の勤務先等」で実施したものではありません。さらに、論文の作成等に関し、過去の勤務先等の業務を利用・使用、その他等は、一切行っておりません。筆者が個人研究で「研究・調査・執筆」を行ったものです。上記等、その他等に関し、過去の勤務先、その他等の成果、実績、その他等とすることは一切認めません。上記等、その他を無断で、引用、転載、その他を行うことを禁止します。上記等、その他等を行った場合、その責任を負っていただきます。問合せ等は本論文の上記メールアドレスへお願いします。】

- 2) 社団法人日本下水道協会：下水道施設耐震計算例 管路施設編 前編, pp1-141, 2001.

- 3) 国土交通省HP：大規模地震による被害想定手法及び想定結果の活用方法に関するマニュアル，2018年12月1日閲覧

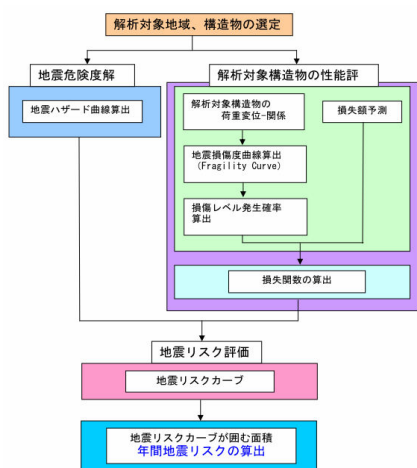


図-1 地震リスク評価のフロー

表-1 HP φ 400mm の被害区分と補修方法

判定基準	上下方向のたるみ	復旧方法	被災状況
a	管径の1/2以上 (12.5cm以上)	開削工法 カメラ調査	被災
b	管径5cm~1/2以下 (5cm~12.5cm)	開削工法 カメラ調査	被災
c	5cm以下	カメラ調査	-

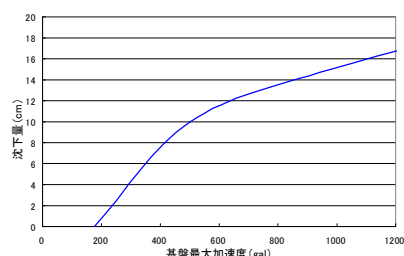


図-6 基礎最大加速度と地盤の液状化に伴う管路の沈下量の関係

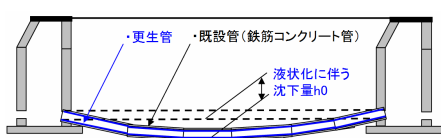


図-5 液状化による地盤沈下が起因する管路のたるみ

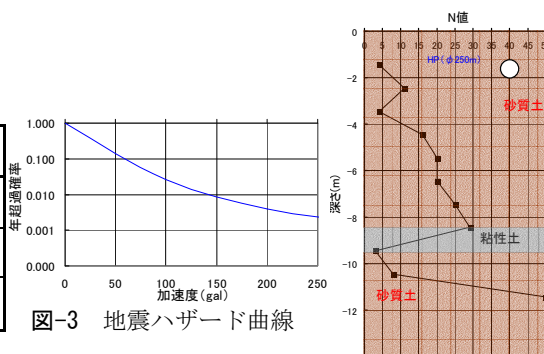


図-3 地震ハザード曲線

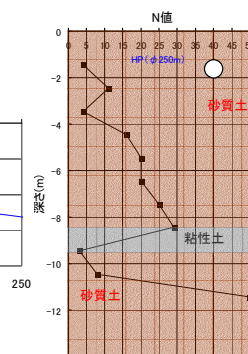


図-4 解析対象モデル

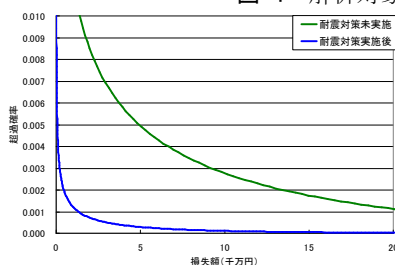


図-7 地震リスクカーブ

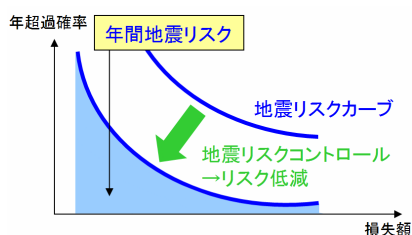


図-2 地震リスクコントロール・年間地震リスクの概念図

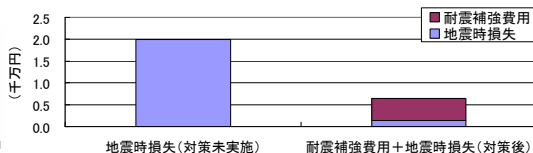


図-8 地震時損失の低減効果