

地震リスク評価手法を用いたライフライン施設のネットワーク化事業の検討手法に関する研究

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。水道事業では、渇水や地震等災害時のバックアップ機能、リスク耐性の強化等として、配水池間等を連絡する管路の構築、水道施設間の管路の二重化等を実施することで、水道施設のネットワーク化が実施されている。下水道事業においても、地震等災害時のバックアップ機能等の強化等として、水処理系ライフライン施設である下水処理場間をシールド工法等による管路で連絡し、非常時には他処理区の下水処理場へ汚水を送水し、汚水排水機能の確保する事業が実施している。また、水系地盤埋設パイプラインの耐震化事業計画に関して、参考文献¹⁾では「管種・管径・地盤条件等」の管路情報から被害特性を定量的、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が検討されている。現状の下水処理場のネットワーク化の可能性検討手法としては、施設間距離、現地の地形条件、施設能力（処理能力）等に点数付け（配点）等を行い検討・評価を実施し、下水道処理場間をネットワーク化の可能性・有効性について検討されているケースがある。しかし、「点数付け（配点）」による検討・評価手法では、数値分析による正確なライフライン施設の「ネットワーク化の事業判定、可能性検討」が実施されていないのが現状である。本研究では、上下水道施設等のライフライン施設の中でも下水処理場を取り上げ、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、「ネットワーク化実施前」と「ネットワーク化実施後」の地震時損失額、ネットワーク管の建設費の評価比較を行い、ライフライン施設の「ネットワーク化事業の効果の検証、可能性検討手法の検討」、及び「地震リスクマネジメントのフローの提示」を実施する。

2. ライフライン施設の地震リスク評価

本研究においては、地震リスクを「期待損失」として下記のように定義する。

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

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 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、及び年間地震リスクの算出を行う。図-2 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. ライフライン施設の解析対象モデル

ライフライン施設の解析対象モデルを図-3, 4に示す。水処理系ライフライン施設では「導水渠、送水渠、放流渠等」での地震による被災事例が挙げられることから、本研究ではライフライン施設の耐震性能評価の対象施設構造物を土盛り1.5m、φ2000mmの鉄筋コンクリート製の放流渠とする。

4. ライフライン施設の耐震性能評価

本研究ではライフライン施設の耐震性能評価として、参考文献¹⁾を基に液状化による地盤沈下が起因する「放流渠（管路）のたるみ」を照査項目とした。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）³⁾」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-5）。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、管路の被害区分と水処理系ライフライン施設の地震被害分類タイプを表-1に示す。管路が地震により被災し、補修補強が必要とされる管路の被災基準⁴⁾としては、φ250mm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水処理系ライフライン施設の補修補強を実施する。また、本研究では「液状化」による被害を想定していることから、各ランク対応する水処理系ライフライン施設の被害タイプ⁴⁾をaランクはタイプ1, bランクはタイプ2, 被災していないcランクはタイプ4とした。

5. ライフライン施設の地震損失コスト評価

本研究では、水処理系施設の日最大処理水量を30万 m^3 とした。水処理系施設の「地震損失コスト」は、参考文献⁴⁾の水処理系施設の地震被害分類タイプの「被害率」に「水処理系施設の建設費⁵⁾」を乗じることで算出できる。さらに、参考文献¹⁾等の値を参考に「機能不全による営業損失」、「ユーザー損失」の地震損失コストを考慮した。

6. ライフライン施設の地震リスク分析と評価手法

キーワード 地震リスク ネットワーク化 耐震性能 地震ハザード曲線 地震リスクカーブ 年間地震リスク
連絡先 常井技術士事務所 <https://article-notice.wixsite.com/rules> (tsuneitomoya@gmail.com)

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-6）」を評価指標とする。本研究では、ネットワーク管路はシールド工法により布設するものとし、ネットワーク管は耐震基盤面以下に布設すると想定した。ライフライン施設のネットワーク管路はφ1500mmのシールド管とし、1m当たりの事業費⁵⁾は1.091（百万円/m）、ライフライン施設間の距離 x を7.5kmとした。「[事業実施前の地震リスク]>[シールド工法の単位距離当たりの施工費×水処理系ライフライン施設間の距離]+[事業実施後の地震リスク]」の関係式を満たすと事業の効果を得ることが可能となる。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年とすると本研究の対象モデルにおける「事業実施前の地震リスク」は約11000（百万円）、「シールド工法によるネットワーク管路の建設費と事業実施後の地震リスク」の合計値は約8400（百万円）となり、損失額が24%程度低減され（図-8）、「ライフライン施設のネットワーク化事業の事業効果」を検証することができた。

7. 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。（<https://article-notice.wixsite.com/rules>）

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、その他等を行わず、引用、転載、その他等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。（<https://article-notice.wixsite.com/rules>）】

- 3) 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.

- 4) 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，2020年3月7日閲覧

- 5) 国土交通省HP：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説，2015，2020年3月7日閲覧

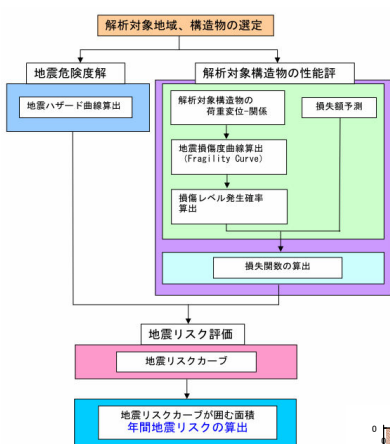


図-1 地震リスク評価のフロー

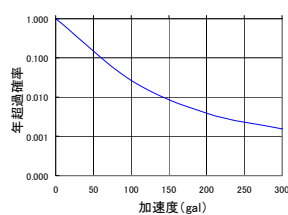


図-2 地震ハザード曲線

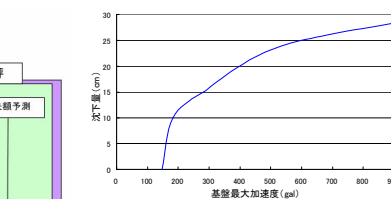


図-5 基盤最大加速度と管路の沈下量の関係

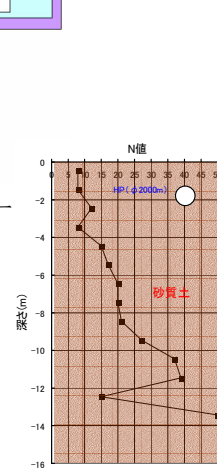


図-3 解析対象モデル

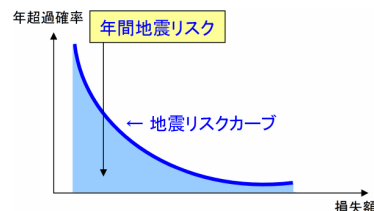


図-6 年間地震リスクの概念図

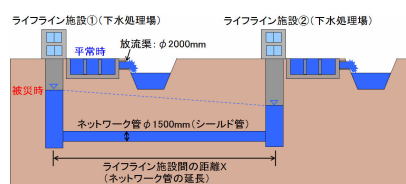


図-4 ライフライン施設間のネットワーク化のモデル

表-1 鉄筋コンクリート管φ2000mmの被害区分

判定基準	上下方向のたるみ	地震被害分類タイプ	被災状況
a	管径の1/8以上(250cm以上)	タイプ1	被災
b	管径5cm～1/8以下(5cm～250cm)	タイプ2	被災
c	5cm以下	タイプ4	-

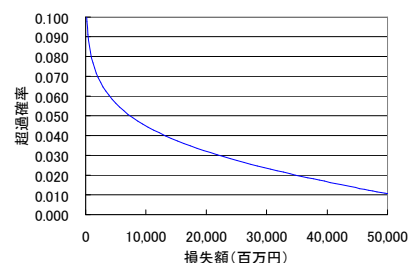


図-7 地震リスクカーブ（実施前）

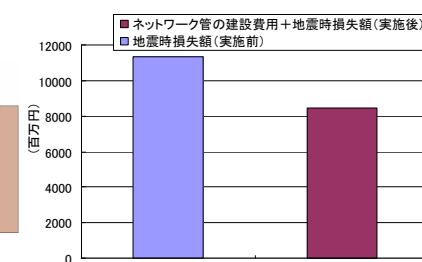


図-8 損失額の総計の低減効果