



4. 経年劣化を考慮したライフライン管路の耐震性能評価

本研究では、ライフライン管路の耐震性能評価としては、「経年劣化による継手性能の低下(経年劣化による継手部の拔出し)」を照査項目とした。ライフライン管路の耐震性能評価は、式(4)

(図-5)に示すように、既設ライフライン管路の耐震診断により、「経年劣化による継手部の拔出し長」と「地震動による縦断方向の継ぎ手部の拔出し長」の合計値である「地震動の影響を受けた経年劣化管路の継手部の拔出し長」を耐震性能の基準とした。地震動の影響による継手部の拔出し長は、道路橋示方書・同解説<sup>7)</sup>を基に、耐震設計上の地盤種別、減衰定数、入力地震動(レベル2地震動)<sup>7)</sup>(図-7)の決定を行い、その最大速度振幅を50~1500(gal)に基準化し、作成した地震動を用いて、地震波速度応答スペクトル解析(図-8)を実施し、式(5)に示すように、地盤を1自由度系に置き換えて解析を行うことで地震時の地盤変位 $U_h(z)$ を算出し、地震動により生じる地盤ひずみ $\varepsilon_G$ (式(6))から継手部の拔出し長 $\delta$ (式(7))の算出を行った。図-9に「地震動による縦断方向の継ぎ手部の拔出し長」と地盤最大加速の関係を示す。

$$X_{seis-degrading} = X_{degrading} + X_{seis} \quad (4) \quad \varepsilon_G = \frac{\pi}{L} U_h(z) \quad (6)$$

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi} S_V T_s \cos \frac{\pi z}{2H} \quad (5) \quad \delta = \varepsilon_G \cdot l \quad (7)$$

ここで、 $X_{seis-degrading}$ は地震動の影響を受けた経年劣化管路の継手部の拔出し長(m)、 $X_{degrading}$ は経年劣化による継手部の拔出し長(m)、 $X_{seis}$ は地震動による縦断方向の継ぎ手部の拔出し長(m)、 $U_h(z)$ は地震時応答変位(m)、 $z$ は地表面からの深さ(m)、 $S_V$ は設計応答速度(m/s)、 $T_s$ は表層地盤の固有周期(s)、 $H$ は表層地盤厚(m)、 $L$ は地盤振動の波長(m)、 $l$ は管路の有効長(m)( $l=2.43$ m)を表す。

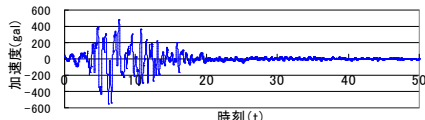


図-7 入力地震動<sup>7)</sup>

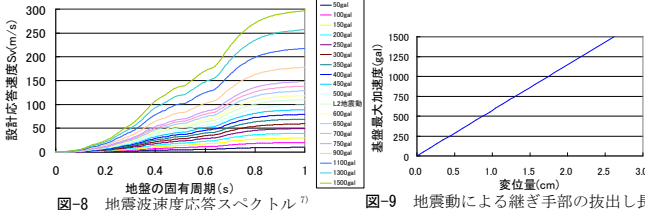


図-8 地震波速度応答スペクトル<sup>7)</sup>

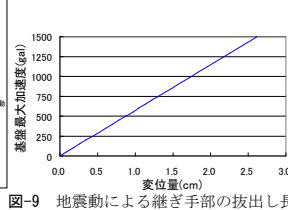


図-9 地震動による継ぎ手部の拔出し長

5. 経年劣化を考慮したライフライン管路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、ライフライン管路の復旧コストつまり、補修費、調査費用を評価対象とし、参考文献<sup>2),5),6)</sup>を参考に被害区分と補修方法を表-1に示すように設定した。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、各地震損失コストに関しては、参考文献<sup>2)</sup>の値を参考に算出を行った。

表-1 鉄筋コンクリート管φ400mmの被害区分と補修方法

判定基準	継手の拔出し長	復旧方法
a	95mm以上(脱却)	開削工法・カメラ調査
b	70~95mm	更生工法・カメラ調査
c	70mm以下	カメラ調査

6. 経年劣化を考慮したライフライン管路の地震リスク分析

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-10)」を評価指標とする。図-11は、経過年数45年のライフライン管路の地震リスクカーブを示したものである。

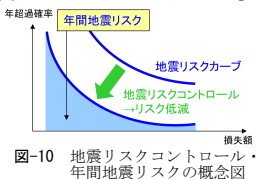


図-10 地震リスクコントロール・年間地震リスクの概念図

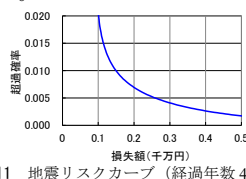


図-11 地震リスクカーブ(経過年数45年)

7. 経年劣化を考慮したライフライン管路のライフサイクルコスト分析

本研究では、ライフサイクルコストの縮減、また地震リスクコントロール(リスクの回避、軽減)の観点から、更生工法による補修補強・耐震補強を実施した。図-12に社会的割引率 $r$ を考慮した補修補強費用・耐震補強費用(更生工法等)、経過年数ごとの(近似的な)地震時損失コスト(「地震リスク」)を評価項目としたライフサイクルコストLCCの分析結果を示す。

ライフサイクルコストLCCの分析結果から、ライフサイクルコストが最小( $LCC_{min}$ )となる「ライフライン管路の最適更新・改築時期」(「ライフサイクルコストLCCから見た耐用年数<sup>4)</sup>」)は、「66年(図-12、図-13)」となった。なお、「ライフライン管路の最適更新・改築時期」(「ライフサイクルコストLCCから見た耐用年数<sup>4)</sup>」)となる66年は、管路の「劣化、異常の程度は低い」とされる「cランクを超える被害区分<sup>5),6)</sup>」を経過した年数であり、更生工法によりライフライン管路の改築・更新が可能である。

さらに、経済性の観点から、「経年劣化による継手部の拔出し」に対する耐震化の手法としては、「更生工法(1スパン全体)」ではなく、「部分改築工法(劣化した継手部のみ更生)」等を実施することで、今後、耐震対策費用(維持管理費用)を低減する必要があると考えられる。

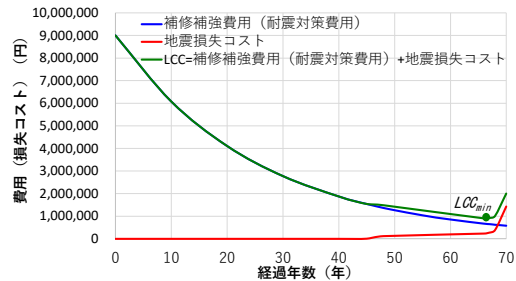


図-12 ライフサイクルコストLCCの分析結果

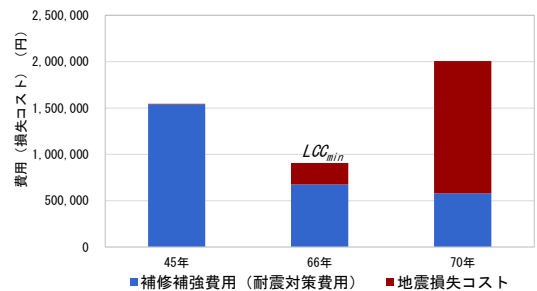


図-13 ライフサイクルコストの最小値( $LCC_{min}$ )と最適耐用年数

8. 最後に

本研究は、当方が個人研究で行ったものです。当方、及び本論文等に関しては、「当方、及び論文等に関する留意事項<sup>1)</sup>(<https://article-notice.wixsite.com/rules>)」、及び下記の注釈の確認を行って下さい。

注 当方は、「出身大学・大学院の指導教員等、その他(関係者等、上記教員が所属する土木学会地盤工学会委員会)」、「過去の勤務先・所属等」、「その他」とは一切関係ありません。(講演発表会等に際し、「研究室内の准教授、秘書、教員関係者の娘等」との「縁談」、「宗教勧誘(創価学会・カルト宗教)」等の「迷惑行為」が生じることは断固お断りです。)当方、及び本論文等に関して、出身大学・大学院の指導教員等、上記等、その他への連絡、問い合わせ、その他等は、上記等、及びHPに記載している「迷惑行為」が生じる可能性があるため、一切行わないで下さい。当方、及び論文等に関する連絡、問い合わせ等は論文に記載しているメールアドレスに行ってください。また、上記等、その他からの「連絡、問い合わせ、関与、その他等」はお断りです。当方は、「宗教勧誘」(「創価学会、カルト宗教等」)は、断固お断りです。本論文等に関して、「上記人物等(当方のHPに記載した人物)」、「創価学会、カルト宗教等」、「上記人物に賛同する人物等」からの「質疑応答、連絡、関与、その他等」は断固お断りです。(「当方、及び論文等に関する留意事項<sup>1)</sup>:<https://article-notice.wixsite.com/rules>)

参考文献

- 1) 常井友也:「当方、及び論文等に関する留意事項」,<https://article-notice.wixsite.com/rules>, 2023年4月17日閲覧
- 2) 常井友也:地震リスク評価手法を用いた経年劣化した地盤埋設パイプラインの地震時損失の時系列分析に関する研究,土木学会全国大会第76回年次学術講演会, III-319, 2021.9
- 3) 内閣府HP: <https://www.cao.go.jp>, 2023年4月17日閲覧
- 4) 厚生労働省HP: <https://www.mhlw.go.jp/za/0723/c02/c02-01.html>, 水道事業におけるアセットマネジメント(資産管理)に関する手引き, 2023年4月17日閲覧
- 5) 国土交通省HP:ストックマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化計画策定に関する手引き(案), 2023年4月17日閲覧
- 6) 国土交通省HP:下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン, 2023年4月17日閲覧
- 7) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2017年