

統計分析に基づく水道管路の故障予測モデルの構築

22T0250W 中町 優希
指導教員：丸山 喜久

1. はじめに

近年、全国的に上下水道の老朽化が深刻な問題となっており、各地で配水管の破損や漏水事故が年間約2万件発生している。その要因として、高度経済成長期に集中的に敷設された配水管が、法定耐用年数の40年を超過しつつあること、水道事業従事者の減少に伴う更新の遅れ、地下水の利用や地盤の圧密沈下・隆起などが挙げられる。以上の背景から水道事業体は老朽化した配水管の更新を急ぐ必要がある。しかし、技術者の高齢化による職員数の減少や工事費の高騰、人口減少に伴う収入の減少といった人材・財政両面の課題により問題の早期解決が難しいのが現状である。そこで本研究では、水道事業体が保有する配水管データと漏水事故点データを地理情報システム（GIS）上で統合し、統計的手法に基づいて漏水リスクを定量化するとともに、限られた資源の下で更新・点検の優先順位付けに資する故障予測モデルの構築を目的とした。

2. 使用データ

本研究の対象地域は、山武郡市広域水道事業団の給水区域²⁾である。山武郡市広域水道事業団が保有する配水管データおよび漏水事故点データ（1962～2021年）を使用し、分析を行った。

また、地盤条件の地域差を考慮するため、地震ハザードステーションが公開する微地形区分データ³⁾や内山ら⁴⁾が干渉SAR時系列解析により推定した千葉県内の地盤変動量のデータも併用する。以下に配水管データと漏水事故点データを地理情報システム（GIS）で可視化した結果を示す。

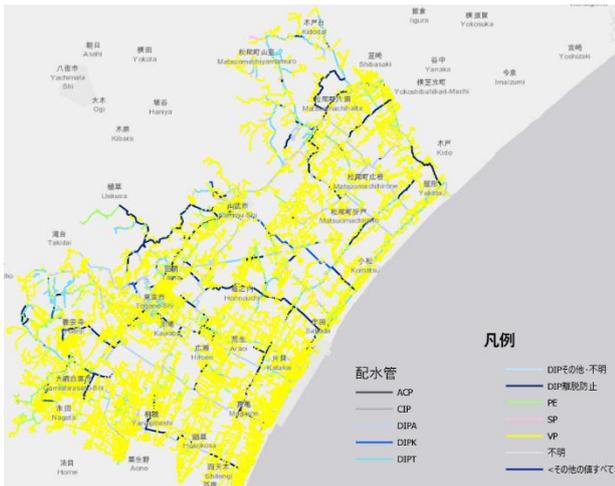


図 1 配水管の管網図



図 2 漏水事故点

3. 事故発生傾向の分析

管種、口径、経過年（埋設年）、微地形区分、地盤変動量の各属性が事故率に与える影響を把握するため、各属性別に事故率の算出を行った。属性区分ごとに配水管の総延長 L (km) と事故件数 N (件) を集計し、事故率 R を $R=N/L$ (件/km) として算出した。算出結果を以下に示す。

表 1 管種別各データと事故率

管種	延長 (km)	事故点 (件)	事故率 (件/km)
DIP その他	273.684	62	0.227
DIP 離脱防止	96.404	7	0.073
SP	31.097	99	3.184
VP	1456.431	2725	1.871
PE	111.775	172	1.539

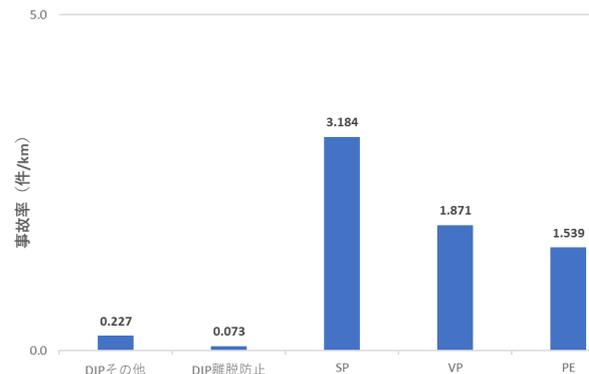


図 3 管種別事故率の比較

図3は、管種別の漏水事故率（件/km）を示した結果である。ダクタイトル鉄管（DIP）その他およびDIP離脱防止型は事故率が低く、それぞれ0.227件/km、0.073件/kmであった。一方、鋼管（SP）は3.148件/kmと最も高い数値となり、次いで塩ビ管（VP）が1.871件/kmであった。

以上の結果から、管種によって事故率に差が見られ、DIPは継手の種類を問わず事故率が低く、SPは他の管種と比較して事故発生の頻度が高い傾向が示された。

4. ロジスティック回帰モデルの構築

本研究では、漏水事故の発生に寄与する要因を統計的に評価するため、ロジスティック回帰分析を用いた。目的変数を漏水事故の有無（事故あり=1、事故なし=0）とし、説明変数に管種（ダミー変数）と経過年を投入し、口径区分ごとにモデルを作成した。以下に結果を示す。

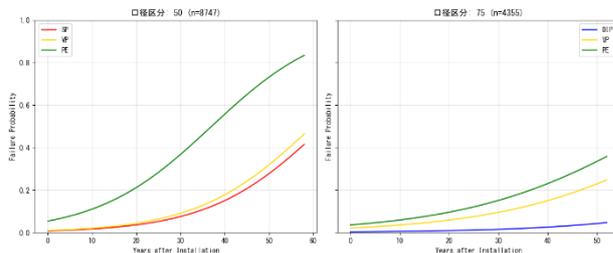


図4 ロジスティック回帰モデル

$$\text{logit}(p_i) = \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}$$

$$p_i = \frac{1}{1 + \exp(-\text{logit}(p_i))}$$

図4は縦軸に事故発生確率を0~1で示し、横軸に経過年を示したものである。口径区分50mm、75mmのいずれも埋設からの年数が増加するにつれて事故発生確率が大幅に上昇している。これは管本体の腐食や継ぎ手部分の劣化といった経年劣化の影響が反映されたものであると考えられる。

また、どちらの口径区分においてもポリエチレン（PE）管の事故率がとても高いことが読み取れる。これは、PEの材質そのものの脆弱性に加え、敷設年代の施工環境の違いや敷設環境との関連の可能性も考えられる。

5. まとめ

本研究では、漏水事故発生の要因を明らかにするため、管種・口径・経過年・微地形区分・地盤変動量を説明変数としたロジスティック回帰分析を行った。

その結果、埋設からの年数が増加するほど事故発生確率が上昇する傾向が確認された。このことから、漏水事故には老朽化が主要な要因として関与している可能性が示唆された。また、口径区分によって事故発生確率の水準が異なる傾向が確認された。ただし、口径の大きい区分では対象延長や事故データ数が限られる場合があり、推定結果には不確実性が残る可能性がある。そのため、口径による影響の解釈には留意が必要である。

管種についても事故発生確率に明確な差がみられ、DIPは相対的に事故発生確率が低く、VP・SPおよびPEでは高い傾向が確認された。この差は図示した事故発生確率の推移においても一貫して認められ、管種が事故リスクを規定する重要な要因であることが示唆された。

今後の展望として、特定地域のデータにとどまらず、複数の地域のデータを使用した統計的な解析を行う必要があると考える。複数の地域のデータを使用し、分析範囲を拡張することにより、本研究で得られた傾向の再現性と外部妥当性を検証し、データの確実性を上げていく必要があると考える。また、埋設深さ、補修履歴、土質・地下水条件などの説明変数を追加することで、事故発生確率の推定精度向上が期待される。さらに、空間的な依存性を考慮した統計モデルや、経年劣化を時間軸で扱う生存分析等を適用することにより、事故発生メカニズムをより精緻に把握できる可能性がある。これらの改善を通じて、事故発生確率に基づく更新優先度の設定手法をより実用的な形へ発展させることが期待される。

【参考文献】

- 1) 公益社団法人日本水道協会：水道統計 R4_06 総論, http://jwwa.jp/info/pdf/suidou_statistics_r04.pdf (2026年1月27日最終閲覧)
- 2) 山武郡市広域水道事業団：給水区域, <http://www.water-sansui-ki.jp/index-kyuusuiikuiki.html> (2026年1月27日最終閲覧)
- 3) J-SHIS 地震ハザードステーション：地盤情報, 表層地盤, シェープファイル, <https://www.j-shis.bosai.go.jp/map/JS HIS2/download.html?lang=jp> (2026年1月27日最終閲覧)
- 4) 内山明音, 劉ウエン, 丸山喜久：干渉 SAR 時系列解析による千葉県内の地盤変動量の推定と漏水箇所の分析, 第14回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演論文集, 土木学会, pp. 21-24, 2024.