

下水道管の破損による道路陥没現象とその予測に関する基礎的研究

東北学院大学工学部環境建設工学科 学生会員 ○土田冬弥 瀬野尾なつき
東北学院大学工学部環境建設工学科 フェロー会員 飛田善雄

1. はじめに

近年では、道路陥没は年間約 4,700 件発生しており社会的問題となっている。東日本大震災や中越地震など地震も道路陥没の原因となり得る。最も陥没発生の原因となっているものとして下水道管渠の老朽化がある。我が国の下水道の普及率は 75%を超えるまで整備が進み、埋設されている下水道管渠の総延長は 44 万 km に達している。このうち布設後 30 年が経過している管渠は約 9 万 km 存在しており、老朽化している下水道に対し、劣化・破損の調査・点検が追い付いていないことが深刻な問題となっている。

本研究では、道路陥没のメカニズムを整理し、階層化意思決定法（AHP 法）を用いて調査・点検の優先順位の選定を行い、道路陥没を予測し被害を軽減する手法の理解を目的としている。

2. 道路陥没のメカニズム¹⁾

道路が陥没に至る前段の現象として、なんらかの原因により地中に空洞が発生する。

この原因としては鍾乳洞や水みち、地震などの自然現象による空洞生成によるものと、採石跡やトンネル工事起因の急速な土砂流出、下水や上水などの地下埋設管などが原因となっている人工的な空洞がある。空洞が地中に発生すると降雨や地下水の上昇により空洞の天井部分が順次崩落する。地表面近くまで空洞が達すると舗装板だけでは交通荷重を支えることができずに道路陥没に至ってしまう。

(1) 自然生成による道路陥没

水の流れがある場所に盛り土をする事で、水流により地盤の一部が侵食される。侵食が進むと空洞が発生する。内部侵食が進むことによって、空洞の天井部が崩落していき、陥没に至る。地震によって発生する液状化により砂の層が体積圧縮を起こし、空洞が形成される。また、冬季であれば、地中に空洞が存在していても、アスファルトは寒さで硬く、車などの荷重に耐えているが、夏季になると、舗装板が高温下で柔らかくなり、自重に耐えきれず陥没する。よって夏季には道路陥没が発生しやすくなる。

(2) 下水道管による道路陥没²⁾

下水道管が破損し、破損部から管内に土砂が

流入し、地中に空洞が形成される。保有されていたサクシオン・有効応力が、破損部から漏れた水による飽和度の上昇によって低下する。摩擦抵抗が小さくなり土粒子が移動しやすくなり、下向きの浸透流に引きずられ、土粒子が排出される。空洞上部の地盤が自重により変形することで亀裂が入り、耐えきれなくなった地盤が崩落することで、空洞が急激に拡大する。

下水道管の破損原因としては、大きく 4 つに分類される³⁾。

- ①自然破壊：老朽化や腐食が原因となる劣化破壊
- ②他工事不良：水道、ガス等の他工事による他工事不良
- ③施工不良：取付け管目地、接合部、埋戻し等の施工不良
- ④閉塞不良：不使用管の閉塞不良

3. 道路陥没を未然に防ぐ対策⁴⁾

道路下に埋設されている下水道管渠は、その特質上、異常の発見や補修が困難である。現在の管路施設の維持管理方法としては、視覚調査が一般的である。より効率的な調査・点検の開発に向けて、スクリーニングの検討や、新たな路面調査手法の開発が行われている。また、老朽化した管渠の改築方法として管渠更正工法が注目されており、近年着々と施工実績を延ばしている。

4. 階層化意思決定法（AHP）について⁵⁾

AHP（Analytic Hierarchy Approach）とは、ある問題に対して複数の解決策が考えられる場合に、人間の主観を取り入れつつ、数学モデルを用いて合理的な決定を下すことを可能とする手法である。主観的判断と、システム・アプローチを混合した意思決定法と言われている。道路陥没において、陥没の原因は、地盤条件や交通状況など定性的なものが多いため、定量化が可能である AHP が陥没予測の主流となっている。数値化された陥没原因により、調査・点検の優先順位を決定していくことになる。

近年、ニューラル・ネットワーク（NN）を用いた意思決定方法も利用されている。データベースから過去の調査記録に関する情報を抽出し、危険度や原因を特定する方法である。誤差が出

キーワード：道路陥没，下水道管，空洞，AHP

東北学院大学 〒985-8537 多賀城市中央一丁目 13-1, Tel : 022-368-7396

やすい主観的な評価項目を客観的に抽出できることで、精度の良い結果を得ることができる。ただし、精度の良い結果のためには、NN が学習する為の詳細なデータが多く必要である。データが不十分であると陥没予測と結果は大きく異なってしまう。本研究では、簡易的に予測が行える AHP による陥没予測に着目した。

5. 管路施設のリスク評価例⁴⁾ 文献引用

道路陥没の発生が最も深刻な管路において陥没予測をした例を参考に、リスク評価を行う。

(1) 道路陥没のリスク評価手順

リスク評価により優先順位を検討し、点検・調査の策定に繋げる。リスク評価では、リスクの特定、被害規模、発生確率、リスクの評価の順に評価を行う。（表 1 参照）

(2) 階層図による AHP の導入

解決したい問題、評価項目、代替案の順番に階層図を作成する。評価項目の欄に、被害規模（影響度）の施設特性が含まれる。階層化された評価項目・代替案の各階層で、要素間の重要度の計算として対比較法を用いる。

(3) リスク値の算定

AHP によって得られたリスク値を用いて、発生確率（不具合の起こりやすさ）を検討する。

健全率曲線に基づき、経過年数に対する危険度ランキングの占める割合を整理する。危険度を 3 段階評価に分け、当面 5 年程度に修繕・改築が必要となるのは、危険度 I, II に該当する。

リスク評価としては、リスクが発生した場合の被害規模と発生確率をそれぞれランキング化して、リスクマトリクスで評価する方法（図 1 参照）と、被害規模と発生確率の積により評価する方法がある。

6. まとめ

道路陥没の原因としては下水道の破損が卓越している。空洞の探査法、管渠の更正工法などはあるものの、全国の道路で探査を行い、すべての下水道を補修することは困難である。効率的に調査・点検を行うためには、陥没確率を予測し、優先順位づけする必要がある。道路陥没のリスクを予測する方法として、階層化意思決定法（AHP）がある。地盤条件や周辺環境のような定性的なものを定量化することで、数値により優先順位を選定できる。データは国土交通省や地方自治体の所持データを用い、リスク評価を行う。優先順位の決め方の 1 つとして有効な手段ではあるが、データの量によって精度が変化し、結果に差が生じてしまうのが欠点であるが、より合理的な予測方法として期待できる。

表 1 リスク評価手順

①	リスクの特定	損傷、劣化の洗い出し。
②	被害規模	被害規模、影響度の評価。ランク付け、AHP を用いる。
③	発生確率	ランク付けによる方法を用いる。
④	リスクの評価	被害規模、発生確率からリスクの大きさを評価する。

表 2 重要度の尺度とその定義

重要度の尺度	定義
1	同じぐらい重要
3	少し重要
5	かなり重要
7	非常に重要
9	極めて重要

2, 4, 6, 8 は中間の場合に用い、重要でない場合は逆数を用いる。

	優先度 中 ③	優先度 やや大 ②	優先度 大 ①
発生確率	優先度 やや小 ④	優先度 中 ③	優先度 やや大 ②
	優先度 小 ⑤	優先度 やや小 ④	優先度 中 ③
	被害規模		

図 1 リスクマトリクスによる優先順位づけの例

7. 参考文献

- 1) 桑野玲子：路面下空洞の実態と陥没対策, 第 1 回路面下空洞連絡会, 2019
- 2) 松宮洋介：第 2 回下水道管路に起因する道路陥没, 管路更正, No.13, pp.26-35, 2009
- 3) 桑野玲子(他 3 名)：老朽化下水管損傷部からの土砂流出に伴う地盤内空洞・ゆるみ形成過程に関する検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, 349-361, 2010
- 4) 末久正樹(他 2 名)：道路と下水道-道路陥没防止に向けた下水道管きよの維持管理・改築更新技術-, 土木技術資料 54-12, pp.6-9, 2012
- 5) 滝沢智(他 11 名)：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, 付録 VI リスク評価例(管路施設), 2015