

下水道管きょ埋設道路の陥没件数の推定

中日本建設コンサルタント(株) ○福岡 麻実 中根 進

令和 4 年度末における全国の下水道普及率は 81.0%（下水道利用人口／総人口）となっており、下水道管きょ整備もほぼ概成していることから、今後は管路施設の老朽化が懸念されている。管内調査には費用が掛かるため、優先順をつけてリスクの高いところから調査・対策を進めていく必要がある。老朽化に伴う管路の破損によっては埋設地盤の空洞化による道路陥没の危険性が指摘されており、それらに起因した陥没事故も報告されている。本稿では整備した管路の老朽化にともなう道路陥没のリスクをモンテカルロ法で推計した陥没件数で示し、どの程度のリスクを持っているか明らかにした。

Key Words : 下水道管きょ、老朽化、道路陥没、モンテカルロ法

1. まえがき

2025 年 1 月 28 日に八潮市で下水道管きょに由来する道路の陥没事故があった。

図 1.1¹⁾は国交省調査の布設後経過年数に対する道路陥没件数であり、令和 4 年度末時点で管理されている公共下水道及び流域下水道の全ての管種・管路（雨水開きよを含む）の道路陥没件数である。

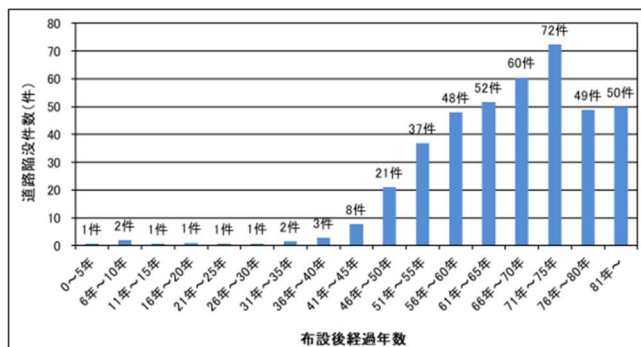


図 1.1 布設後経過年数区分別の管路管理延長 1,000km 当たり道路陥没件数(令和 4 年度)¹⁾

図 1.1 によれば布設後経過年数の増加とともに道路陥没件数の増加がみられ、40 年を超える頃から陥没件数が急増する。埋設管きょの劣化に伴う破損等により破損部から埋設土砂を管きょ内に引き込み、空洞化が生じ、道路の陥没につながったのではないかとと思われる。

管きょも経年劣化などによる異状が確認されており、調査、対策を講じなければ常に道路陥没というリスクを抱えていることになる。

本稿では、布設後経過年数による陥没件数事例を使い自治体を持つ整備年度別管きょ延長に対して道路陥没件数で道路陥没リスクを表現した。その上で、リスクの大きさを使って TV カメラ調査などの詳細調査への優先順設定などに利用できるか考察した。

2. 道路陥没件数の経過年数に伴う確率表現

前掲図 1.1 の道路陥没件数を使って表 2.1 に示す布設経過年数に対する累積確率曲線を作り、ワイブル分布式により回帰する。

ワイブル分布は、時間に対する劣化現象や寿命を統計的に記述するために利用される。

- ・信頼度関数

$$R(t)=e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

t：時間間隔(年)

m：形状パラメータ

η：尺度パラメータ

γ：保証パラメータ(=0)

表 2.1 の累積確率をワイブル分布で回帰すると図 2.1 となる。

表 2.1 道路陥没件数の累積確率とワイブル分布による回帰			
陥没数計	409	m	6.343564
		η	70.90135 0.0033874
布設後経過年数	1000km当たり道路陥没件数	累計	ワイブル累積確率 残差平方
5	1	1	0.002445 4.95E-08 5.978E-06
10	2	3	0.007335 4.02E-06 5.374E-05
15	1	4	0.00978 5.26E-05 9.462E-05
20	1	5	0.012225 0.000326 0.0001416
25	1	6	0.01467 0.001342 0.0001776
30	1	7	0.017115 0.004261 0.0001652
35	2	9	0.022005 0.01129 0.0001148
40	3	12	0.02934 0.026139 1.025E-05
45	8	20	0.0489 0.054379 3.002E-05
50	21	41	0.100244 0.103349 9.638E-06
55	37	78	0.190709 0.181016 9.396E-05
60	48	126	0.308068 0.293049 0.0002256
65	52	178	0.435208 0.43798 7.684E-06
70	60	238	0.581907 0.602295 0.0004157
75	72	310	0.757946 0.760289 5.488E-06
80	49	359	0.877751 0.883625 3.451E-05
85	50	409	1 0.957562 0.001801

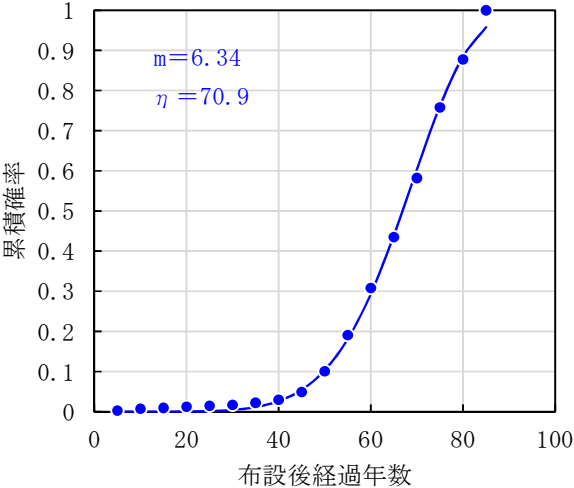


図 2.1 道路陥没件数の累積確率とワイブル分布回帰

3. 推定方法(モンテカルロ法)

布設後の経過年数と布設延長を明らかにしておけば陥没件数が推定できる。図 2.1 を再掲し図 3.1 で示すと布設後の経過年数が 60 年の場合、30%の確率で道路陥没が起きるが、起きない場合が 70%ある。

モンテカルロ法は乱数を発生させて、累積確率値(0～1.0)を設定し、その値が累積確率曲線より上の場合、陥没は起きず、下回れば陥没が起きるとした。

整備量に対して陥没が発生する

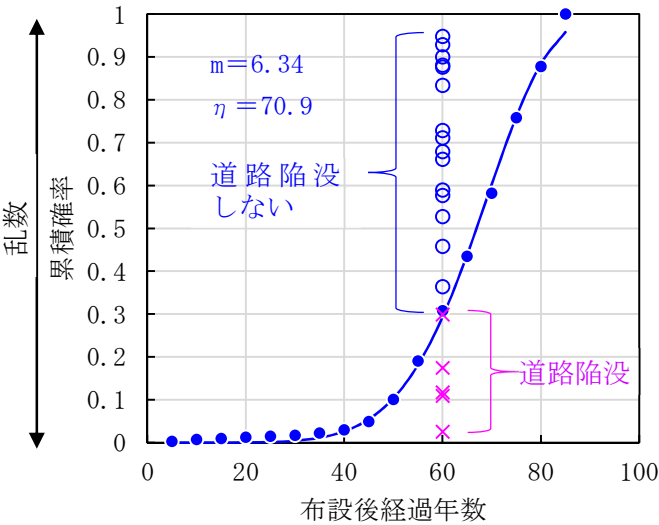


図 3.1 モンテカルロ法による道路陥没の有無の判定

ときは、(整備量 $m/1000$) $km/1000 km$ を陥没回数とする。

これを各経過年数に対して 3000 回乱数を発生させ、累積確率曲線の下になった 1,000 km 当たりの平均陥没回数とする。これを 100 回繰り返し、100 回の 1,000 km 当たりの陥没回数の分布を作る。陥没回数の分布の平均値に総布設延長を掛け、陥没回数を推定する。

4. 道路陥没件数の推定例

4.1 H市

表 4.1、図 4.1 に示す管きよの整備量を例に、現在年度を 2025 年とし、建設後の経過年数を求め、併せて表 4.1 に示す。

表 4.1 H市の管きよの整備量

年度	経過年数	整備量 m
1986	39	6558.37
1987	38	8267.56
1988	37	10603.55
1989	36	11778.19
1990	35	10300.00
...	...	...
2015	10	6035.13
2016	9	2881.62
2017	8	347.32
2018	7	466.42
計		48918.1

各経過年数の整備量に 3000 回乱数を発生させ、陥没の有無を判定し、整備量全体(各経過年数全体)の陥没回数の平均値を算出し、それを 100 回シミュレーションして 1000km 当たり陥没件数の分布を作成する。

2025 年度の陥没件数の分布の一例を図 4.2 に示す。将来年度 2038 年度を図 4.3、2045 年度を図 4.4、2050 年度を図 4.5 にそれぞれ示す。

図 4.2 の確率分布より陥没件数を計算すると以下となる。

推定 95% 下限陥没件数：

$$489.918 \text{ km} \times 0.0017/1000 = 0.0008 \text{ 回}$$

推定平均陥没件数：

$$489.918 \text{ km} \times 0.0019/1000 = 0.0009 \text{ 回}$$

推定 95% 上限陥没件数：

$$489.918 \text{ km} \times 0.0022/1000 = 0.0011 \text{ 回}$$

現在年度 2025 年における年度別整備量に対する推定陥没件数を図 4.6 に示す。

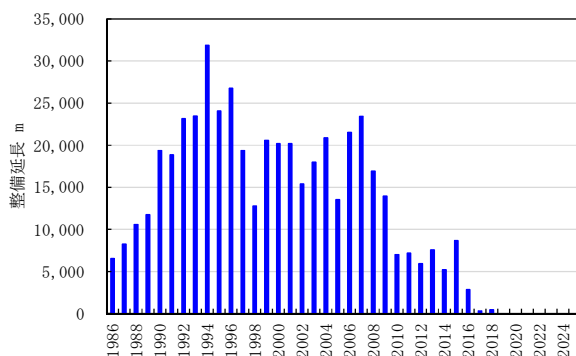


図 4.1 下水道整備の推移(H市)

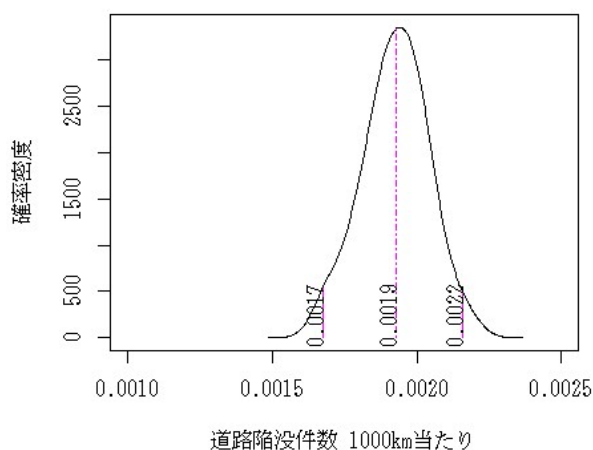


図 4.2 1,000km 当たり陥没件数の分布(2025 年)

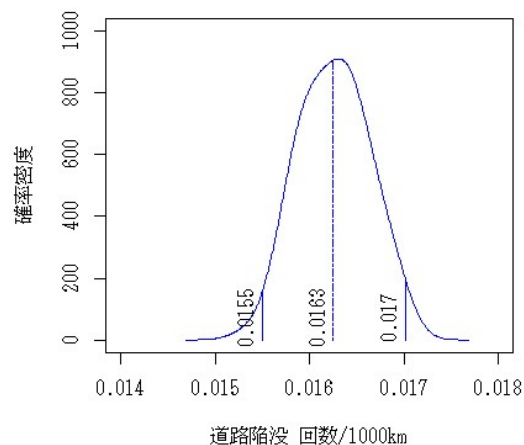


図 4.3 1,000km 当たり陥没件数の分布(2038 年)

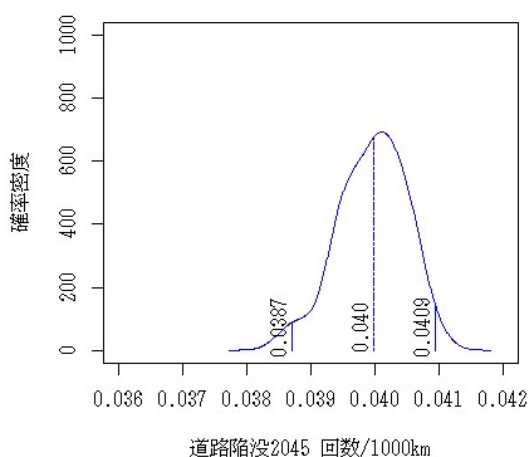


図 4.4 1,000km 当たり陥没件数の分布 (2045 年)

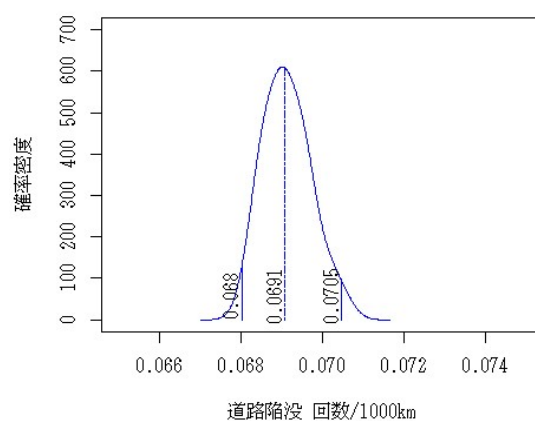


図 4.5 1,000km 当たり陥没件数の分布 (2050 年)

現在年度 2025 年と将来年度の全整備量に対する道路陥没数を図 4.7 に示す。将来陥没数が累進的に増加することが予想された。

各年度で整備した管きょ別に年度別整備量に対する道路陥没件数を代表的な建設年度を抽出して図 4.8 に示す。建設年の新しい管きょ (1996 年) の道路陥没件数が古い管きょ (1986 年) より

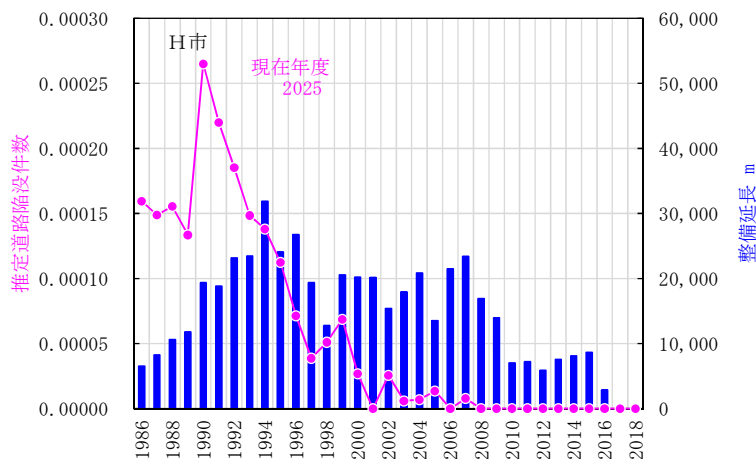


図 4.6 現在年度 2025 年における各年度の推定道路陥没件数

多いことが明らかとなった。これは 1996 年の整備延長 26.8km に較べると 1986 年の整備延長 6.6km が短いため、1986 年の道路陥没数が少なく推定された。管きょの TV カメラ調査などの詳細調査は、単に建設年度が古い管きょ、図 4.8 の例では 1986 年度の管きょから行うのではなく、陥没件数が多いと推定される建設年度 (1996) の管きょから行うことも 1 つのスクリーニング調査手法になると考えられる。

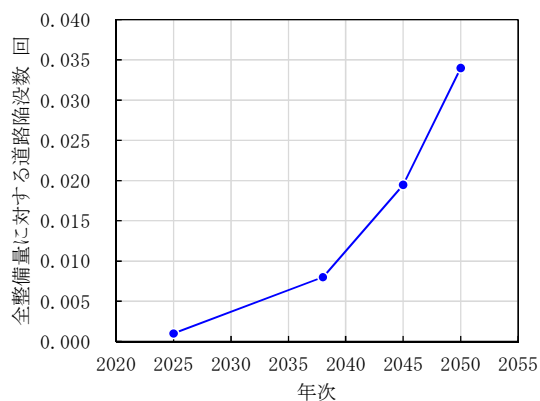


図 4.7 現在年度 2025 年と将来年度における道路陥没件数の推定

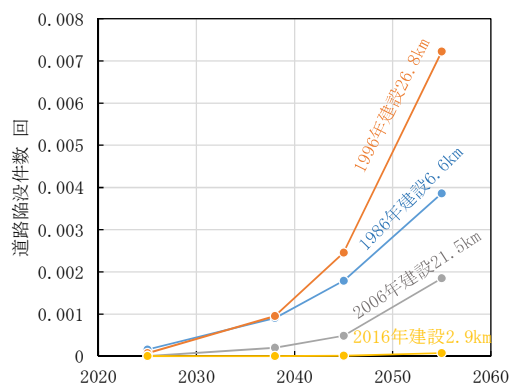


図 4.8 代表建設年度別の将来年度における道路陥没数の推定

4.2 T 市

T 市の下水道整備は、H 市より 20 年ほど前から始まっている。T 市の図 4.9 の整備量に対し、H 市と同様に計算し、現在年度、将来年度の道路陥没数を推定する。

2025 年度の 1,000km 当たり陥没件数の分布を図 4.10 に示す。

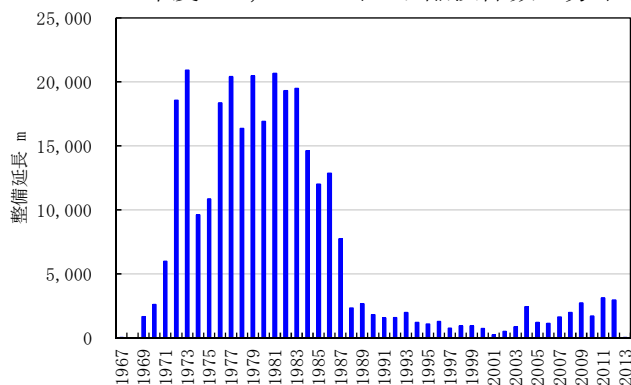


図 4.9 下水道整備の推移(T 市)

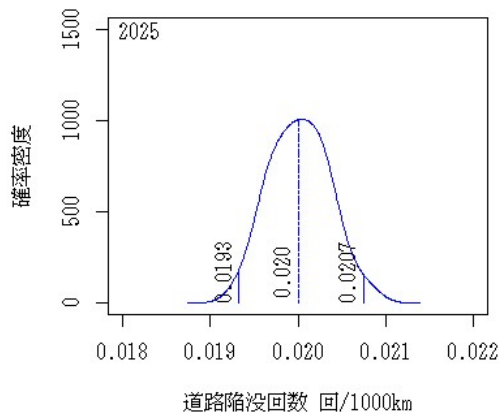


図 4.10 1,000km 当たり陥没件数の分布(2025 年)

本稿では 2038、2045、2050 年度の陥没件数分布は示していないが、各将来年度の陥没件数を推定し、図 4.11 に示す。

4.3 S 市

S 市は 3 市の中でもっとも古くから下水道の整備がされている。H 市、T 市と同様に図 4.12 の整備量に対して将来年度における道路陥没数を推定する。将来年度における道路陥没件数は図 4.13 となり、他市と同様に将来の道路陥没件数は増加すると推定された。

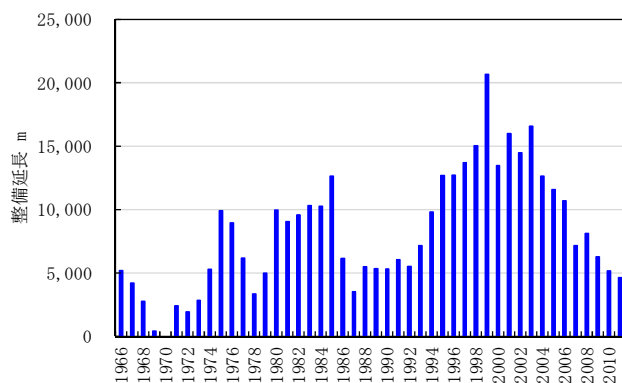


図 4.12 下水道整備の推移(S 市)

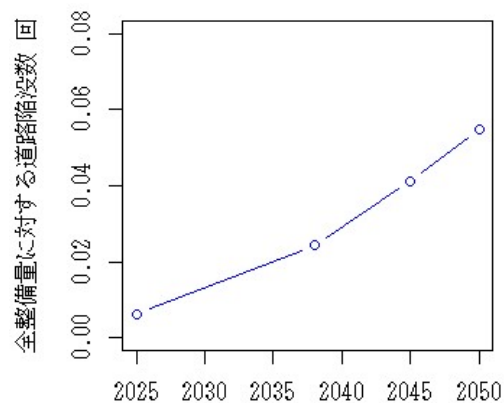


図 4.11 現在年度 2025 年と将来年度における道路陥没数の推定

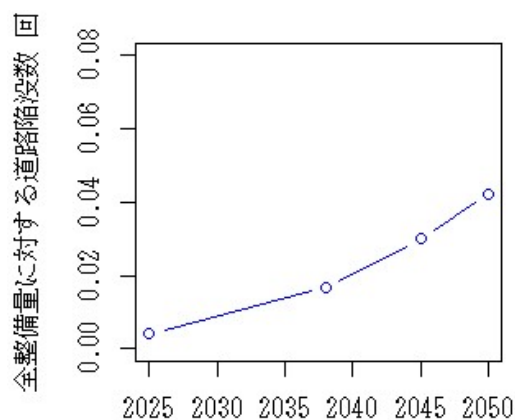


図 4.13 現在年度 2025 年と将来年度における道路陥没数の推定

4.4 自治体間の比較

各市の整備建設初年度と総整備量を表 4.2 に示す。

各市の将来年次ごとの道路陥没数推定値を図

4.14 に示す。古くから管きょを建設し、その経過年数が大きい自治体(T市、S市)の管きょほど陥没件数が多く推定され、道路陥没リスクが高くなった。H市は3市の中で最も整備量が多いが、整備の開始が他2市より20年ほど遅いため、道路陥没件数が最も少なく、道路陥没リスクが小さい結果となった。

表 4.2 各自治体の整備建設初年度と総整備量

	建設初年度	総整備量 m
H市	1986	489,918
T市	1967	309,230
S市	1966	377,032

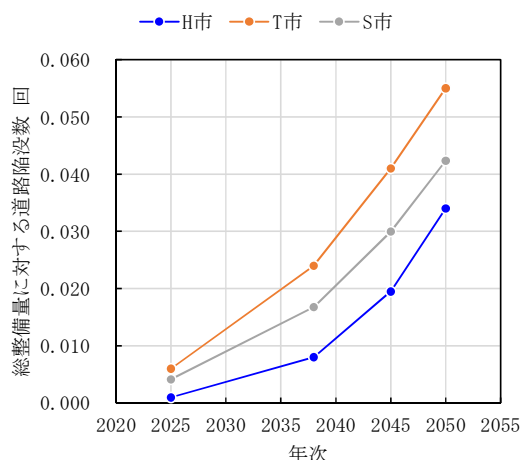


図 4.14 各自治体の年次ごとの道路陥没件数の予測

各自治体の下水道整備は、5～7年ごとに整備区域を定めて実施してきているので、区域ごとに経過年数や整備延長が異なっている。図 4.14 で示した自治体間の道路陥没件数の推定を自治体では整備区域の整備年度と整備延長を使って整備区域間の道路陥没数を推定に変え、整備区域の道路陥没リスクとする。

5. まとめ

前掲図 1.1 の全ての管種、管路の道路陥没実績を用いてモンテカルロ法で各自治体の陥没件数を推定し、道路陥没リスクを表現することを試みた。

道路陥没数を推定することにより図 4.8 に示す将来年度における推定道路陥没数の多い建設年度の管きょから TV カメラ調査などの詳細調査を行うことや、図 4.14 に相当する経過年数の異なる整備区域ごとに道路陥没数を推定することにより、推定道路陥没数の多い整備区域から詳細調査を行うことなど詳細調査実施順位を設定するスクリーニング調査に利用できる。順次、詳細調査を行った上で調査結果に基づく必要な修繕などの対策を実施することにより、道路陥没や管路機能の停止などを未然に防止することができると考えられる。

<参考文献>

- 1) <https://www.nilim.go.jp/lab/ebg/kanbotsu.html> 国交省国土技術政策総合研究所