

Tobit モデルによる下水道管渠の維持管理に関する一考察

日大生産工(院) ○川田 喬太郎 日大生産工 水上祐治
日大生産工 保坂 成司

1.はじめに

下水道は、浸水の防除、公衆衛生の向上、公共用水域の水質保全などの役割を担っており、人々が安全で快適な生活を送る上で必要不可欠な社会インフラである。下水道の整備は、公害国会(昭和45年)以降に進展し、令和3年度末における日本の下水道処理人口普及率は80.6%、管渠の総延長は約49万kmに達している¹⁾。

下水道は、橋梁などの社会インフラと同様に耐用年数は、50年とされている。現在、この50年を経過した管渠の割合は全体の約6%(3万km)と僅かであるものの、10年後は約18%(9万km)、20年後は約40%(20万km)と増加することが予測されており、急速に進む下水道管渠の老朽化に対する維持管理が、喫緊の課題となっている。下水道の維持管理における第一段階である点検・調査には、多くの時間とコストを要するため、効率的に行う必要がある。

本研究では、都市部の住宅地である東京都北区を対象に、特徴の異なる地域において下水道管渠の調査を行い、破損などの異状が発生しやすい場所や、異状が発生しやすい時期を明らかにしようとするものである。

2.調査・分析方法

研究のフローチャートを図-1に示す。研究手順の詳細は以下に示す通りである。

2.1.調査地域の選定

本研究の調査地域として東京都北区を選定した。東京都北区は東京都下水道局が23区において設定した再構築エリアの第一期であるが、このエリアでは供用年数が比較的浅いこ

とから、早期に発生する異状を把握することが可能な地域といえる。

調査地域は図-2に示す①赤羽地域、①志茂地域南側、②神谷地域、③赤羽北地域、④志



図-1 研究フローチャート

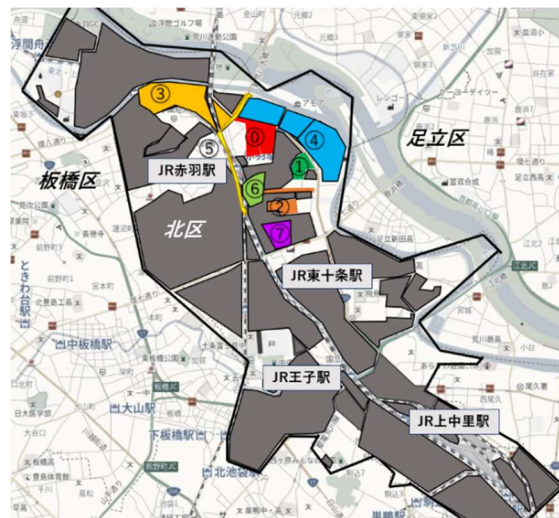


図-2 調査対象地域

表-1 各調査地域の特徴

地域	①赤羽	①志茂南側	②神谷	③赤羽北	④志茂北側	⑤旧岩槻	⑥東本通り	⑦東本通り
立地	JR赤羽駅から半径700mの範囲および、東京メトロ南北線赤羽岩淵駅から半径400mの範囲に位置している。	東京メトロ南北線志茂駅から半径300m以内に位置している。	JR赤羽駅から半径400～1,100mの範囲に位置している。	JR赤羽駅から半径700～1700mの範囲に位置している。	JR赤羽駅から半径600～1500mの範囲に位置している。	JR赤羽駅から半径200～1000mの範囲に位置している。	赤羽駅から半径100～250mの範囲に位置している。	JR赤羽駅から半径100～250mの範囲に位置している。
特徴	・赤羽一丁目・二丁目地区は区画整理された繁華街であり、事務所・店舗や宿泊施設、飲食店が多い。 ・下水道管渠が敷設されている道路のうち9.4%は、国道122号線(北本通り)や環状8号線といった交通量の多い幹線道路である。	・北本通り沿線地域は商業地域であり、店舗や飲食店が多い。 ・北本通りの東側の志茂三丁目地区は区画整理されておらず、幅員3mの区道や路地が入り組んだ木密地域である。 ・北本通りの西側の志茂二丁目地区は準工業地域であり、金属加工や工務店等、工場が全地域と比較して多い。	・本地域は区画整理されており、特に神谷三丁目地区は戸建て住宅や集合住宅が密集している。 ・赤羽南二丁目地区と神谷二丁目地区は大日本印刷の工場があり、運送用の中型車が片側1車線の道路を頻繁に通行している。	・北部は区画整理された地域は住宅街であり、集合住宅が多い。 ・南部は区画整理されていない地域は準工業地域と住宅地が混在している。	・本地域は標高差が小さく、平坦な地形である。 ・西部は区画整理されており、マンション等集合住宅が多い。 ・東部は区画整理されていない住宅街であり、昔ながらの住宅が建ち並んでいる。	・赤羽駅周辺地域は事務所や店舗や宿泊施設、飲食店が多い近隣商業地域である。 ・旧岩槻街道に沿って住宅街が広がり標高差が大きくなる。	・本地域は区画整備された繁華街であり事務所・店舗や飲食店が多い。 ・東部は区画整理されていない住宅地であり、昔ながらの住宅が多く建ち並んでいる。	・西部は区画整備された繁華街であり事務所・店舗や飲食店が多い。 ・東部は区画整理されていない住宅地であり、昔ながらの住宅が多く建ち並んでいる。

The Study on Maintenance of Sewer Pipes Using the Tobit Model
Kyotaro KAWATA , Yuji MIZUKAMI and Seiji HOSAKA

表-2 異状の判定基準

項目	ランク	A	B	C
管の腐食		鉄筋露出状態	骨材露出状態	表面が荒れた状態
上下方向のたるみ	管渠内径 700mm未満	内径以上	内径の1/2以上	内径の1/2以上
	管渠内径 (700mm以上1650mm未満)	内径の1/2以上	内径の1/4以上	内径の1/4以上
	管渠内径 (1650mm以上3000mm未満)	内径の1/4以上	内径の1/8以上	内径の1/8以上
管の破損	RC管等	欠落 軸方向のクラックで幅5mm以上	軸方向のクラックで幅2mm以上	軸方向のクラックで幅2mm未満
	CP管	欠落 軸方向のクラックで管長の1/2以上	軸方向のクラックで 管長の1/2以上	—
管のクラック	RC管等	欠落 円周方向のクラックでその長さが幅5mm以上	円周方向のクラックで その長さが幅2mm以上	円周方向のクラックで その長さが幅2mm未満
	CP管	欠落 円周方向のクラックで その長さが円周の2/3以上	円周方向のクラックで その長さが円周の2/3以上	—
隙間・継目ずれ		脱却	RC管等：70mm以上 CP管：50mm以上	RC管等：70mm未満 CP管：50mm未満
浸入水		ふきでている	流れている	にじんでいる
取付管の突出し		本管内径の1/2以上	本管内径の1/10以上	本管内径の1/10未満
油脂の付着		内径の1/2割以上閉塞	内径の1/2割未満閉塞	—
樹根侵入		内径の1/2割以上閉塞	内径の1/3割未満閉塞	—
モルタル付着		内径の3割以上	内径の1割以上	内径の1割未満
取付管接合部破損※		管口未処理または崩壊	管口処理不十分	—
取付管継目ズレ※		土砂の流入がある	土砂の流入が予想される状態	—

※当研究において独自に異状項目と判定基準を設定

茂地域北側，⑤旧岩槻，⑥東本通り，⑦東十条の8地域である。

各調査地域の特徴を表-1に示す。

2.2. 事前調査

東京都下水道局が実施した下水道の管路内調査工の調査報告書と，東京都下水道局がホームページ上に公開している下水道台帳を用いて，人孔番号，管径，路線延長，土被り，供用年数などの基本データおよび異状の種類とそのランクなどのデータの収集を行った。

2.3. ビデオ調査

事前調査で収集したデータを基に，管路内調査工のビデオ映像と調査報告書を用いて，管渠に発生した異状とそのランクの確認および取付管の位置の確認を行った。なお異状項目の判定は日本下水道協会が定めた異状判定基準を用いた。またこれまでの調査において，本管と取付管接合部において異状が多く見られたことから，研究室独自の調査項目として「取付管接合部破損」と「取付管継目ズレ」を追加した。異状の判定基準は図-2に示す通りである。

2.4. 現地調査

事前調査およびビデオ調査で収集したデータを基に，現地にて取付管の污水管および雨水管の種別の確認，污水管の接続先の建物の種別と戸数，周辺環境の調査を行った。

2.5. データ集計・分析

調査の結果を基に，RC(鉄筋コンクリート管)とCP(陶管)に分け，下水道管渠に発生する異状のうち，道路陥没事故を引き起こす原因となる「破損」と「浸入水」について統計学

的に分析を行った。なお分析には統計ソフトウェア「R」を用いた。

3. 調査・分析結果

3.1. 調査結果

本研究の調査から得られた路線データのうち，RCにおける管径800mmを超える路線およびRC，CPにおける勾配20%を超える路線，供用年数が不明である路線は分析結果に影響を及ぼすため，除外した1202路線のデータを分析対象とした。

4. Tobitモデルによる分析

本研究の調査地域において③赤羽北地域，④志茂地域北側，⑦東十条地域の3つ地域は，区画整理された地域とされていない地域が混在しており，地勢や土地利用が異なる。したがって地域特性を考慮すべく，8地域での分析に加えてそれぞれ⑧赤羽北地域における区画整理されていない地域，⑨赤羽北地域における区画整理された地域，⑩志茂地域北側における区画整理されていない地域，⑪志茂地域北側における区画整理された地域，⑫東十条地域における区画整理されていない地域，⑬東十条地域における区画整理された地域とし，分類した分析も行った。

4.1. 破損に関する分析

表-3にTobitモデルによる破損の分析結果を示す²⁾。

破損の分析における独立変数は，ステップワイズ法により選択したLoc(道路種別)，D(管径)，AreaX(地域特性)，MtoM2(路線延長)，

表－3 Tobitモデルによる破損の分析結果

Area	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(Intercept):1	-7.992 *	-12.808 ***	-12.395 ***	-13.410 ***	-13.087 ***	-12.578 ***	-12.844 ***	-13.368 ***	-12.830 ***	-13.435 ***	-13.435 ***	-13.015 ***	-13.096 ***	-13.032 ***
Loc	-1.586	-1.413	-1.523	-1.335	-0.972	-1.685	-1.310	-1.006	-1.358	-1.485	-1.485	-1.303	-0.921	-1.497
D	-0.020 ***	-0.017 **	-0.018 **	-0.018 **	-0.018 **	-0.018 **	-0.017 **	-0.018 **	-0.018 **	-0.018 **	-0.018 **	-0.017 **	-0.017 **	-0.018 **
AreaX	-5.986 ***	0.037	4.028 .	4.766 ***	2.614 *	2.561	-1.252	-7.542 ***	1.957	5.645 ***	5.645	4.482 .	-7.408 **	-6.618 *
MtoM2	0.257 ***	0.250 ***	0.240 ***	0.251 ***	0.258 ***	0.246 ***	0.249 ***	0.260 ***	0.252 ***	0.243 ***	0.243 ***	0.247 ***	0.245 ***	0.263 ***
Material	12.459 ***	12.965 ***	12.875 ***	13.174 ***	12.852 ***	13.169 ***	13.049 ***	13.730 ***	12.999 ***	13.114 ***	13.114 ***	13.127 ***	13.458 ***	13.193 ***
UsedOver30	2.567	5.333 *	5.057 *	5.331 **	4.665 *	5.044 *	5.334 *	6.033 **	5.237 *	5.603 **	5.603 *	5.071 *	5.656 **	5.657 **

*1: 最小二乗法(ステップワイズ法で独立変数を選択)

有意確率: ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, .p<0.10.

表－4 Tobitモデルによる浸入水の分析結果

Area	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(Intercept):1	-10.930 ***	-14.258 ***	-12.334 ***	-14.754 ***	-14.258 ***	-14.2 ***	-14.547 ***	-13.964 ***	-14.033 ***	-14.502 ***	-14.533 ***	-14.134 ***	-13.878 ***	-14.214 ***
Loc	-4.671 ***	-4.7416 ***	-5.0775 ***	-4.7228 ***	-4.5452 ***	-4.4262 ***	-4.2808 ***	-5.0259 ***	-4.7858 ***	-4.8314 ***	-4.4519 ***	-4.817 ***	-4.9594 ***	-4.7286 ***
AreaX	-6.627 ***	0.75949	11.1558 ***	2.97363 **	1.58849 .	-4.3994 ***	-9.5972 ***	3.6805 **	0.35269	3.94966 ***	2.30287 *	-2.1596	2.15576	5.09449 **
CoverAve	4.721 ***	4.23233 ***	3.88411 ***	4.34772 ***	4.22414 ***	4.24778 ***	4.63077 ***	4.38235 ***	4.21364 ***	4.22416 ***	4.30631 ***	4.2656 ***	4.16889 ***	4.52238 ***
MtoM2	0.237 ***	0.23004 ***	0.20055 ***	0.22585 ***	0.2332 ***	0.23165 ***	0.22708 ***	0.22208 ***	0.22797 ***	0.22135 ***	0.23691 ***	0.22874 ***	0.22873 ***	0.21728 ***
Material	-1.116	-1.134	-1.4327 .	-0.9002	-1.2365	-1.5493 .	-0.6798	-1.5885 .	-1.1572	-1.0195	-1.2469	-1.1592	-1.3452	-1.3457
UsedOver30	0.332	3.36565 *	2.56907 .	3.29866 *	2.93498 .	3.84348 *	3.14892 *	2.99623 *	3.30341 *	3.52274 *	2.85623 .	3.4136 *	3.22517 *	3.10457 *

*1: 最小二乗法(ステップワイズ法で独立変数を選択)

有意確率: ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, .p<0.10.

Material(材質), UsedOver30(供用年数30年以上)の6つである。なおLocとMaterialの分析にはダミー変数を用い、Locでは車道を「0」、歩道を「1」とし、MaterialではRCを「0」、CPを「1」とした³⁾。

表－3より、全調査地域におけるMtoM2, Materialは、有意水準0.1%において有意である。MtoM2の傾きはプラスを示しているため、路線延長が長くなるほど異状は発生しやすくなる。これは路線延長が長いとその分、異状の発生数も多くなることが考えられる。またMaterialもMtoM2と同様に傾きはプラスを示しているため、CPの方が異状は発生しやすい。この理由として、CPは靱性が低く、衝撃に弱いという材質の特徴が関係していると推察する。一方、Dは全調査地域において有意確率1%で有意であるが、傾きはマイナスを示しているため、管径が小さいほど異状は発生しやすくなる。これは管径が小さい管渠は、下水道ネットワークの末端に位置し、土被りが小さく、また管厚が薄いことから輪荷重等の影響を受けやすいといえる。

AreaXは②志茂地域、⑨赤羽北地域の区画整理された地域、⑩志茂地域北側における区画整理された地域において有意確率10%において有意であり、傾きはプラスを示しているため、3つの地域において異状は発生しやすい。この理由として②神谷地域は工業地域、⑨赤羽北地域における区画整理された地域は準工業地域であることから、トラック等の大型車

両が頻繁に通行することによる輪荷重などの影響を受けていることが関係していると考えられる。また⑩志茂地域北側における区画整理された地域は住宅街であり、マンションなどの集合住宅が多く建ち並んでいるものの、一部の地域が近隣商業地域であり、また交通量の多い北本通りに面していることから、交通荷重等の影響を受けやすいことが考えられる。

UsedOver30は供用年数で分析すると⑩赤羽地域以外の地域において、有意確率10%において有意であり、傾きはプラスを示しているため、異状は敷設されてから30年を超えると発生しやすくなるといえる。

4.2. 浸入水に関する分析

表－4にTobitモデルによる浸入水の分析結果を示す。

浸入水の分析における独立変数は、ステップワイズ法により選択したLoc(道路種別), AreaX(地域特性), CoverAve(平均土被り), MtoM2(路線延長), Material(材質), UsedOver30(供用年数30年以上)の6つである。なおLocの分析にはダミー変数を用い、Locでは車道を「0」、歩道を「1」とした。

表－4より、全調査地域におけるCoverAve, MtoM2は有意確率0.1%において有意である。CoverAveにおける傾きはプラスを示しているため、土被りが大きいほど、異状は発生しやすくなる。過去の研究より、埋設が深いと地下水位の影響により、異状の発生頻度は高く

なる傾向にあることが明らかとなっている⁵⁾。すなわち土被りが深い位置に敷設されている管渠は地下水の影響を受けやすいことが考えられる。またMtoM2も同様に、傾きはプラスを示していることから、路線延長が長くなるほど異状は発生しやすくなる。これは前述の通り、路線延長が長いとその分、異状の発生数も多くなることが考えられる。一方、Locは有意確率が0.1%で有意であるが、傾きはマイナスを示しているため、車道の方が異状は発生しやすいといえる。この理由として、車道は歩道に比べ、交通荷重や輪荷重の影響を受けやすいことから、破損などの異状が発生しやすい。すなわち破損などの異状から雨水や地下水が浸入することで異状が発生しやすいことが考えられる。

AreaXは②神谷地域、⑨赤羽北地域における区画整理された地域、⑩志茂地域北側における区画整理されていない地域、⑬東十条地域における区画整理された地域において有意確率5%において有意であり、傾きはプラスを示しているため、これらの地域において異状が発生しやすい。この理由として⑨赤羽北地域における区画整理された地域は新河岸川から20m~250m、②神谷地域は隅田川から800m~1,100m、⑩志茂地域北側における区画整理されていない地域は隅田川から10m~500m、⑬東十条地域における区画整理された地域は隅田川から500m~800mの場所にそれぞれ位置しており、河川の流域付近は伏流水により、地下水位が高いことから地下水の影響を受けやすいことが考えられる。

UsedOver30は破損と同様、⑨赤羽地域以外の地域において、有意確率10%において有意であり、傾きはプラスを示しているため、異状は敷設されてから30年を超えると発生しやすくなる。

5.まとめ

本研究より、Tobitモデルを用いて「破損」と「浸入水」の発生する要因について分析を行った結果、それぞれに見解が得られた。

破損の分析結果より、破損の発生には4つの条件があることが明らかとなった。

(1)CPの方が異状は発生しやすい。これはCPの靱性が低く、衝撃に弱いという材質の性質が関係しているといえる。

(2)管径が小さいほど異状は発生しやすくなる。これは管径が小さい管渠は、下水道ネットワークの末端に位置し、土被りが小さく、また

管厚が薄いことから輪荷重等の影響を受けやすいといえる。

(3)敷設されてから30年を超えると異状は発生しやすくなる。

(4)工業地域や商業地域に位置する管渠において破損は発生しやすい。これは交通荷重や輪荷重を受けやすいことが影響していると考えられる。

浸入水の分析結果より、浸入水の発生には4つの条件があることが明らかとなった。

(1)土被りが大きいほど異状は発生しやすい。これは土被りが深い位置に敷設されている管渠は地下水位の影響を受けやすいことが考えられる。

(2)車道の方が異状は発生しやすい。これは車道は歩道に比べ、交通荷重や輪荷重の影響を受けやすいことから、破損などの異状が発生しやすい。すなわち破損などの異状から雨水や地下水が浸入することで異状が発生しやすいことが考えられる。

(3)破損と同様、敷設されてから30年を超えると異状は発生しやすくなる。

(4)河川に近い地域において異状は発生しやすい。これは伏流水による影響を受けていることが考えられる。

以上、下水道管渠に発生する異状についてTobitモデルを用いた分析により、異状が発生しやすい条件や、発生しやすい場所が明らかとなり、異状が発生しやすい箇所の予測が可能となる。すなわち、この予測結果から再構築や修繕が必要な地域を選定し、優先的に維持管理を行うことで、適切なストックマネジメントに繋がるといえる。

参考文献

1)国土交通省 HP>政策・仕事>水管理・国土保全>下水道>下水道の維持管理 https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd_sewage_tk_000135.html, Accessed 2023.10.9

2)Tobin, J.(1958) “Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables”, *Econometrica*, 26, pp.24-36.

3)Efron, M. A. (1960). Multiple regression analysis, *Mathematical Methods for Digital Computers*, Ralston, A. and Wilf, H. S. eds., John Wiley&Sons, pp.191-203.

4)Miller, A. (2002). *Subset Selection in Regression*, CRC Press

5)川田喬太郎, 木田優樹, 仲原康博: 舗装構成および土被りと下水道管渠における異状の発生に関する調査・分析 pp181~189 (2021)