

1. 下水道管渠の適正な管理手法に関する研究

下水道研究室 室長 藤生 和也
主任研究官 松宮 洋介
研究官 濱田 知幸
交流研究員 岩元 誠

1. はじめに

下水道普及率の拡大に伴い、下水道施設のストックが増大しつつある。下水道施設のうち、下水道管渠の建設ストックは平成 16 年度末現在で 38 万キロに達しており、未普及地域の対応とあわせて、管渠の維持管理に本格的に着手する必要がある。

下水道施設の管理については、計画的かつ効率的に実施する必要があるが、限りある財源、技術者の不足・高齢化、耐震化や環境問題への配慮などの下水道を取り巻く環境の変化の中で、それを適正に遂行することは難しく、またその手法についても確立されていないのが実情である。

ここでは、下水道施設の適正な管理を行う上で有効と考えられる「ストックマネジメント」の考えを下水道管渠の管理手法に適用させるべく、次の検討課題について研究を実施した。

■管渠管理へのストックマネジメントの導入と適用性の検討

また、ストックマネジメントの考え方において重要な、施設の延命化や更新計画策定のための一手法に関する次の課題について検討した。

■多変量解析による下水道管渠の劣化箇所予測の検討

■下水管渠の改築・修繕工事の優先実施箇所選定方法に関する検討

2. 管渠管理へのストックマネジメントの導入と適用性の検討

日本へのストックマネジメント（SM）の考えを導入するにあたり、他国の SM 方法を調査し、我が国に適用可能な技術を抽出するとともに、その適用性について検討を行った。

2. 1 SMに関する先進的取り組み

(1) 米国環境省の SM の捉え方

米国環境省はリスク評価が SM の中心であるとしている¹⁾。リスク評価により維持管理や建設投資の優先順位を決める。また、台帳作成段階においても、予算制約のある場合、より高いリスクの資産から取りかかるべきとしている²⁾。

(2) 豪州イップスウォーターのリスク計算表³⁾

諸外国の中で最も SM が進んでいる豪州⁴⁾のイップスウォーターでは、個々の資産のリスク評価を行うための点数計算表を作成している（表-1、2）。

資産ごとに、不具合が生じた時の問題の大きさと不具合が生じる可能性の点数計算を行う。点数計算はそれぞれの要因ごとの重みにより加重平均される。各資産のリスクはリスク判定行列（5行5列）により、決定される。

表－1 不具合が生じた時の問題の大きさ

不具合が生じた時の問題の大きさに関わる要因とその重み						
スコア	影響人口 (15%)	社会的・政治的リスク (15%)	労働安全衛生、 市民の安全 (20%)	経済的 (補修+弁償費用) (10%)	環境影響、 法的問題 (10%)	資産の性能が損なわ れるまでの時間 (30%)
0	0-50	予見されない	問題なし	なし	なし	損なわれない
1	51-200	限定的な懸念	最小限の問題	1,000ドル未満	環境汚染はほとんどなし。 自然界の変動の範囲内。 法的問題が生じるリスクは 極めて限定的。	1週間以内
2	201-500	利害問題が 提起される。	やや大きい問題	1,000以上 5,000ドル未満	環境汚染 (回復までの期間一年未満) 罰金	1日以内
3	501-1000	非難が予想される。	中程度の問題	5,000以上 20,000ドル未満	環境汚染 (回復までの期間五年未満) 法違反	6時間以内
4	1001-5000	文書による 苦情、非難、 マスコミ報道が確実	大きい問題	20,000以上 50,000ドル未満	環境汚染 (回復までの期間十年未満) 事業者に対する起訴	2時間以内
5	5001以上	政治問題化する。 大手マスコミ報道、 住民訴訟	責任者の起訴が確実	50,000ドル以上	環境汚染(回復不能) 責任者の過失責任、起訴	直ちに

表－2 不具合が生じる可能性

不具合が生じる可能性に関わる要因とその重み		
スコア	資産の状態(60%)	資産の年齢(20%) 脆弱性(20%)
1	ほぼ完全な状態	標準耐用年数の0-20% 資産は安全な場所にある。 他工事の影響なし。 突発的外力が予見されない。
2	表面的な損傷	標準耐用年数の21-40% 資産は安全な場所にあるが 一般市民のアクセス可能。 他工事の影響あり。 突発的外力が予見される。
3	本質的な損傷、使用でき るが問題が生じている	標準耐用年数の41-70% 資産は安全な場所にあるが 過去に破壊行為を受けたことがある。 他工事の影響大。 突発的外力の可能性大。
4	大きな損傷、 機能していない、 すぐにでも大きな 問題を生じる。	標準耐用年数の71-100% 資産は一般市民がアクセスする場所にある。 他工事の影響があることが知られているが、 問題を起こしたことはない。 突発的外力があることは知られているが 問題を起こしたことはない。
5	大きな損傷、 機能していない、 大きな問題を生じる寸前。	標準耐用年数オーバー 資産は一般市民がアクセスする場所にあり 過去に破壊行為を受けたことがある。 他工事が問題を起こしたことがある。 突発的外力が問題を起こしたことがある。

本点数計算表を国内で使用するには、「限定的な懸念」、「最小限の問題」などあいまいな表現があり、その採用には修正及び工夫が必要である。また、「経済的要因」や「法的問題」は社会経済状況が違いため、豪州の尺度は使えないと考える。しかしながら、現場での経験が重視される管渠管理において、現場の知見を体系的にまとめた点数計算表によりリスク評価を行うことは有効と考えられたため、我が国の事情を考慮した管渠限定のリスク計算表の作成を行うこととした。

2. 3 日本版管渠リスク計算表作成

(1) 方法

大阪市都市環境局下水道部職員の協力の下、リスク計算表の作成を行った。KJ法⁵⁾を模したワークショップを約4時間実施し、不具合が生じた時の問題の大きさと不具合が生じる可能性に関わる要因とこれらをさらにブレークダウンした要因細目を抽出した。後日、各要因と要因細目の影響度合いについて職員個別にアンケート調査した。アンケートでは要因、要因細目とも、6段階で質問した。6段階とは、影響なし(0点)、ほとんどない(1点)、小さい(2点)、ある(3点)、大きい(4点)、とても大きい(5点)であり、回答の平均値を各要因と要因細目の影響度合い(影響点数)とした。

(2) 結果と考察

結果を表-3に示す。本表に基づくリスク計算方法は以下を考えている。

1) スパン単位で不具合が生じる可能性と不具合が生じた時の影響の大きさの点数を計算する。

2) それぞれの点数は各要因で計算し、総和をとる。

3) 各要因の点数は以下の式で計算する。

$$(\text{各要因の影響点数}) \times (\text{スパンが該当する要因細目の影響点数の最大値}) / (\text{細目の影響点数の最大値})$$

この式の意味は、例えば、あるスパンがコンクリート管でかつ圧送管下流である場合、4.7点(=4.7*4.6/4.6)を獲得する。圧送管下流ではないがビルピット排水を受ける場合、4.2点(=4.7*4.1/4.6)を獲得する。仮に、圧送管下流かつビルピット排水を受けるスパンであっても、水質に関しては4.7点止まりである。

4) 不具合が生じる可能性の点数と不具合が生じた時の影響の大きさの点数の積をリスクの大きさとする。

表-3 不具合が生じる可能性(左)と不具合が生じた時の影響の大きさ(右)の要因と要因細目の影響点数

要因	影響点数	要因細目	影響点数	要因	影響点数	要因細目	影響点数		
水質 (コンクリート管)	4.7	ビルピット排水を受ける	4.1	交通影響	4.7	軌道下	4.6		
		圧送管下流	4.6			幹線道路下	4.3		
		伏越、不良勾配、工場排水	3.9			歩行者の多いところ	3.0		
		管材料	3.9	素焼き陶管	4.1	復旧時間	3.6	開削での復旧工事の可否	3.6
				コンクリート管(場所打ち)	3.7			河川横断	4.0
				コンクリート管(手詰め管)	4.1			バイパスルートの有無	3.0
地盤	3.6			陶管(新規格)	3.4	下水道 サービスの 継続性	3.4	人口密集地区(住宅)	4.1
				ヒューム管	2.7			商店密集地区	3.7
				塩ビ管	1.1			観光地	2.7
		F R P M等	0.7	公的機関への影響が出るところ	2.9				
		海面埋立て	3.7	浸水常襲地域	3.0				
		ため池、水路の埋め立て地	3.9	お年寄りが多い地区	2.4				
施工時期	2.4	盛土	3.1	ターミナル駅	3.6				
		地下水が高い	3.1	幹線	3.7				
		終戦直後or繁忙期	2.6	送水管(圧送管)	3.7				
維持管理困難箇所	2.1			排流きよ(放流きよ)	4.3				
他企業工事	2.9	下部掘削	3.6	二次災害	3.4	ガス管近接	3.9		
		離隔がない(下部掘削ではない)	2.4			NTT管近接	2.9		
地表の状況	2.3	繁華街(油)	3.3			電線、水道、地下鉄	3.0		
		公園、学校、グラウンド(砂)	2.0			鉄道高架近接	3.0		
		植樹帯	2.6			高架道路近接、河川構造物近接	3.1		
荷重	3.0	交通量(幹線道路下)	3.7	災害時の 危機管理	3.1	緊急輸送路	3.9		
		浅埋(0.6-1.0m)	4.0			避難路	3.3		
		盛土追加部	3.1			防災拠点と避難所を結ぶ管きよ	3.3		
経過年数	3.0	0-10年	0.6						
		10-30年	1.4						
		30-50年	2.4						
		50年-	3.7						

尚、本表には表-2中にある要因「資産の状態」に関するものを含めなかった。理由は管渠の診断結果に基づく次のアクションは各自自治体基準や維持管理指針があるためである。

2. 4 管渠管理へのストックマネジメントの導入と適用性の検討に関するまとめ

海外の先進事例からSMの根幹はリスク評価であること及びリスク評価はリスク計算表により実施されていることがわかった。これを踏まえ、日本の事情を考慮した管きよのリスク計算表を作成した。これからSMに取り組む自治体におかれては本リスク計算表を参考頂きたい。

3. 多変量解析による下水道管渠の劣化箇所予測の検討

計画的で適正な維持管理手法として、多変量解析を用いた下水管渠の劣化予測が提案されており、東京都の合流式下水道管路内調査結果を基に作成された損傷程度を予測するためのモデルなどが、これまで知見として得られている。中小都市が、多変量解析を用いた下水管渠の劣化予測モデルの開発することは、個々のデータ数に限りがあり困難であるため、全国的な規模での調査検討が必要である。そこで、本研究では中小都市における下水道管渠の劣化診断データ及び台帳データを収集・解析し、優先順位を定めて効率的に点検調査を実施できるよう、その重点実施箇所を選定するためのツールとして多変量解析（数量化理論第Ⅱ類）を適用した劣化箇所予測式を作成し、検討を行った。

3. 1 調査対象団体の選定

研究に必要なデータの提供依頼先となる地方公共団体を選定するため、下水道台帳の電子化状況や劣化診断結果データの整理状況等についてアンケート調査を行った。このアンケート調査対象とする団体は、平成14～16年度の下水道統計でTVカメラ調査延長の多い28団体を選定した。その結果を踏まえ、下記の観点から選定した5市に対して、協力を要請し、データの提供を依頼した。

- ・ 劣化診断結果データがスパン毎に整理されており、各市において1,000スパン以上のデータを保有している。
- ・ 台帳及び劣化診断結果データの整理が比較的容易に行えると判断できる。
- ・ 劣化診断基準が日本下水道協会の示す基準と大きく変わらない。

3. 2 劣化箇所予測式の作成

劣化箇所予測式は、5市の有効スパン7,518スパンから作成した。ここで、5市の有効スパン数は最大5,679スパンから最小1,010スパンと大きく異なっており、スパン数の多少による偏重を避けるため、各市1,000～2,000スパンとなるようにデータを無作為に抽出し、予測式の作成に採用した。

解析手法には質的な形で与えられた目的変数（外的基準）を質的な要因に基づいて予測する方法である数量化第Ⅱ類を適用した。

説明変数については、5市全てにおいてデータが収集された管種、管径、埋設経過年数の3項目とした。これらの説明変数については、表-4に示すとおり、各市単位で行った解析結果において損傷発生に与える影響度合いが高いことを確認しており、5市共通の劣化箇所予測式を作成する上で、説明変数として適当と判断した。また、劣化項目の分類のうち「全損傷」とは「腐食」、「たるみ」、「破損・クラック」、「継手ズレ」、「浸入水」のいずれかがあるものを指し、「取付け管の突出し」や「樹木根侵入」等の清掃時等で除去できる項目は除外した。

表-4. 各市における説明変数毎のレンジ順位

説明変数	全損傷					腐食					破損・クラック					継手ズレ					レンジ順位の総数				
	A市	B市	C市	D市	E市	A市	B市	C市	D市	E市	A市	B市	C市	D市	E市	A市	B市	C市	D市	E市	1位	2位	3位	4位	5位
A 管種	4.02 1位	1.40 3位	4.93 1位	2.95 1位	2.89 1位	1.78 2位	0.63 4位	2.14 2位	2.66 1位	1.68 2位	3.52 1位	1.58 1位	5.63 1位	2.83 1位	2.20 1位	1.50 3位	0.89 3位	4.23 1位	2.12 2位	1.81 2位	11	5	3	1	0
B 管径	3.24 2位	1.55 2位	1.25 3位	0.92 2位	1.92 2位	0.97 3位	1.24 2位	0.29 4位	2.26 2位	1.03 4位	1.70 2位	1.44 3位	1.69 3位	0.98 2位	1.62 2位	2.56 1位	1.31 2位	1.19 3位	0.57 3位	1.95 1位	2	10	6	2	0
C 埋設経過年数	0.72 3位	1.67 1位	2.04 2位	0.86 3位	1.14 3位	1.96 1位	1.99 1位	0.98 3位	1.24 3位	1.71 1位	0.92 3位	1.45 2位	2.02 2位	0.76 3位	1.47 3位	1.69 2位	2.39 1位	2.26 2位	2.32 1位	1.34 3位	6	5	9	0	0
D 平均土被り	/	0.21 4位	/	/	0.05 5位	/	0.23 5位	/	/	0.43 5位	/	0.13 4位	/	/	0.04 5位	/	0.25 5位	/	/	0.09 5位	0	0	0	2	6
E 取付管接続本数	/	0.07 5位	0.98 4位	/	0.72 4位	/	0.93 3位	2.15 1位	/	1.09 3位	/	0.05 5位	0.89 4位	/	0.64 4位	/	0.49 4位	0.75 4位	/	0.90 4位	1	0	2	7	2

3. 3 結果

解析結果を表－5に、「全損傷」のカテゴリスコアを基に作成した劣化箇所予測式を式(1)に示す。また、以下に表－5の用語について列記する。

- ・ カテゴリスコアは、各カテゴリが劣化に与える相対的な影響度合いを示している。その値が負で、0を下回る度合いが大きいカテゴリほど管が劣化しやすい区分であることを意味する。劣化予測式はこのカテゴリスコアに基づいて作成した。
- ・ レンジ（範囲）は、各説明変数のカテゴリスコアの範囲（最大値と最小値の差分）であり、その説明変数が目的変数に与える影響度合いを示す。レンジが大きい説明変数ほど劣化への影響度合いが高い変数であることを意味している。
- ・ 判別の中率は、作成した劣化箇所予測式を基に「判定群と実績群が一致したサンプル数/全有効サンプル数」の割合をパーセント表示したものである。

表－5. 5市を統合した解析結果

説明変数	区分		全損傷		腐食		破損・クラック		継手ズレ					
			カテゴリスコア	レンジ	カテゴリスコア	レンジ	カテゴリスコア	レンジ	カテゴリスコア	レンジ				
A 管種	A ₁	ヒューム管	-0.17	2.98	①	-0.32	1.76	②	-0.13	3.32	①	-0.16	1.91	②
	A ₂	陶管	-0.41			1.44			-0.70			0.07		
	A ₃	塩ビ管	2.58			1.30			2.62			1.75		
B 管径	B ₁	φ350以下	-0.24	2.10	②	-0.21	1.32	③	-0.24	1.84	②	-0.21	2.04	①
	B ₂	φ350<D<φ800	0.57			0.66			0.66			0.47		
	B ₃	φ800以上	1.87			1.11			1.60			1.83		
C 埋設経過年数	C ₁	0～9年	-0.18	1.19	③	-0.20	3.16	①	-0.23	1.61	③	0.12	1.68	③
	C ₂	10～19年	0.25			0.04			0.20			0.46		
	C ₃	20～29年	0.19			0.71			0.16			0.69		
	C ₄	30～34年	-0.60			-0.65			-0.58			-0.99		
	C ₅	35～39年	0.51			0.38			0.48			0.44		
	C ₆	40～44年	-0.13			-0.01			0.18			-0.66		
	C ₇	45～49年	0.51			0.96			0.91			-0.01		
	C ₈	50年以上	-0.68			-2.20			-0.71			-0.90		
相関比			0.22		0.11		0.16		0.11					
判別の中率			76%		65%		67%		68%					

※表中、○内の数字はレンジの大きい順位を示す。

$$Y = -0.17A_1 - 0.41A_2 + 2.58A_3 - 0.24B_1 + 0.57B_2 + 1.87B_3 - 0.18C_1 + 0.25C_2 + 0.19C_3 - 0.60C_4 + 0.51C_5 - 0.13C_6 + 0.51C_7 - 0.68C_8 \dots \dots \dots (1)$$

3. 4 考察

表－5に示すように判別の中率は約 70%（65～76%）であり、劣化箇所予測式に基づく判別により劣化の有無をおおまかに予測することは可能と考えられる。

3つの説明変数のレンジを比較すると、概ね「管種」、「管径」、「埋設経過年数」の順にレンジが高くなった。以下に、各説明変数について考察する。

(1) 管種

全損傷を見ると、陶管のカテゴリスコアは-0.41で、ヒューム管の-0.17に比べて負の値が大きいことから、陶管は劣化が進行しやすい箇所といえる。

(2) 管径

直径 350mm 以下のカテゴリで、劣化項目の全分類（「全損傷」、「腐食」、「破損・クラック」、「継手ズレ」）におけるカテゴリスコアが負の値を示し、他の管径のカテゴリスコアはいずれも正の値を示したことから、直径 350mm 以下のものが劣化しやすいものと考えられる。

(3) 埋設経過年数

「腐食」については、上記2つの説明変数（管種、管径）に比べて、レンジが 3.16 と大きく、他の説明変数

に比べて「腐食」への影響度合いが一番高いといえる。

埋設経過年数 30 年以上 35 年未満及び 50 年以上のカテゴリスコアは、それぞれ-0.58~-0.99、-0.68~-2.20 と負の値が大きいことを確認し、これら施設の劣化状況について点検調査の必要性が高いと考えられる。

また 35~39 年及び 45~49 年のカテゴリスコアが正の値を示す要因は不明であるが、経年的劣化は時系列において不可逆的に進行することから、マクロな劣化予測においては、カテゴリスコアの負の値が大きくなる 30 年以上の施設について十分注意する必要があると考えられる。埋設経過年数 10 年未満の施設についてもカテゴリスコアで負の値が見られるが、これらの施設に調査が実施されることについては、道路陥没や臭気の問題など下水管渠の不具合が顕在化したことが考えられ、あらかじめ劣化が激しいことが予想されるなど、サンプルにバイアス（偏向）が影響を与えている可能性がある。

3. 5 多変量解析による下水道管渠の劣化箇所予測の検討に関するまとめ

本検討により、以下の知見が得られた。

- ・ 判別率の中率が約 70%であったことから、劣化箇所予測式に基づく判別により劣化の有無をおおまかに予測することは可能と考えられる。
- ・ 3つの説明変数のレンジを比較すると、概ね「管種」、「管径」、「埋設経過年数」の順にレンジが高くなった。
- ・ 「管種」では陶管、「管径」では直径 350mm 以下のもの、「埋設経過年数」については 30 年以上経過した施設が劣化しやすいものと考えられる。

今後は劣化予測を前提として、下水道台帳と劣化診断結果データの相互リンクが進み、説明変数となるデータの整理がなされるべきである。それらの分析から多くの知見が蓄積され、予測の精度向上を図ることが必要不可欠と考えられ、効率的かつ効果的に維持管理していくことが期待される。

4. 下水管渠の改築・修繕工事の優先実施箇所選定方法に関する検討

管渠の老朽化とともに、年間約 6,600 件もの道路陥没事故が発生している¹⁾。道路陥没事故の発生により、下水道の使用制限、交通障害および人的被害も懸念される。この予防手段として、下水管渠の定期的な調査を行い、その調査結果を判定し、維持管理で対応するか、修繕や改築を必要とするかの判断を行う必要がある。下水道維持管理指針²⁾では視覚調査結果に関する劣化診断の判定基準が例記されているが、判定基準と道路陥没発生の相関について具体的な研究が行われていない状況である。同時に改築・修繕の要否は、判断基準だけでなく管材質、敷設後の経過年数、下水の水質、地下水位の状況等、様々な条件を勘案して決定されるべきものであると記述されており、実際、軽微な損傷でも道路陥没を引き起こすケースが多いと報告されている³⁾。

本検討では、道路陥没を防止する観点から、管渠の改築・修繕工事の優先実施箇所を選定するための調査を行った。敷設後年数の経過した管渠やクラック、破損及び腐食等の劣化管渠の耐荷力を調べるため、埋設されている管渠を掘上げ、劣化診断および外圧試験を行い、規格値と比較した。

また、鉛直土圧や活荷重を担保する耐荷力を有している場合であっても、地盤材料が管渠の破損部分や継手ズレから流入する可能性があり、これにより地盤がゆるむような道路陥没が懸念される。そこで、管渠内に流入する条件を明らかにするため、管渠埋設状態を模した土槽を用いて実験を行った。

4. 1 埋設下水管渠の耐荷力に関する調査

敷設後年数の経過した管渠、劣化管渠の耐荷力を明らかにするため、A自治体の改築工事で不要となった管渠を回収し、劣化診断、外圧試験を実施した。改築工事は下水管渠の劣化により実施されたのではなく、計画の見直しに伴い、流下能力向上のための管径変更を目的としたものである。従って、回収した下水管渠はある程度劣化しているものもあれば、劣化していないものもある。管渠の回収にあたり、下水道台帳を閲覧し、基礎的な情報を整理した（表-6）。回収した管渠は全部で 27 本であり、管種はヒューム管、管径は $\phi 250\sim 600$ である。敷

設年次はS2～H2まで広く分布しており、埋設下水管渠のうち10本は敷設年次不明であった。

表－6 回収管渠の下水道台帳情報

路線番号	回収本数 (本)	管種	管径 (mm)	敷設 年次	延長 (m)	勾配 (%)	土被り(m)	
							上流	下流
A-1	3	HP	φ520	S10	56.35	1.8	1.330	1.290
A-2	3	HP	φ250	S26	42.70	5.0	1.170	1.580
B-1	5	HP	φ450	不明	73.65	2.7	1.020	1.310
B-2	4	HP	φ450	S2	54.65	1.8	1.260	1.280
C-1	3	HP	φ250	S25	40.50	13.3	1.020	1.350
C-2	3	HP	φ530	不明	44.05	-0.7	1.350	1.320
D-1	1	HP	φ600	H2	46.10	2.8	1.950	1.670
D-2	3	HP	φ250	S43	22.00	8.0	1.120	1.130
D-3	2	HP	φ450	不明	15.27	9.0	1.550	1.580

(1) 劣化診断

回収した下水管渠について、下水道維持管理指針²⁾に例示されている判断基準を用いた。判断基準のうち、管渠1本で評価できる「腐食」、「破損」および「クラック」の3項目について、目視により評価した(表－7参照)。

表－7 劣化診断結果

路線番号	管 番 号	管種	管内面						管外面						管長 (m)	備考	
			腐食	破損	クラック	計			腐食	破損	クラック	計					
						A	B	C				A	B	C			
A-1	①	台付手詰	B	C		0	1	1			C	C	0	0	2	900	
	②	台付手詰	B			0	1	0			C		0	0	1	900	
	③	台付手詰	B			0	1	0					0	0	0	900	
A-2	①	B形				0	0	0					0	0	0	2000	取付管接続
	②	B形				0	0	0					0	0	0	2000	取付管接続
	③	B形				0	0	0					0	0	0	2000	
B-1	①	手詰	B			0	1	0		B			0	1	0	900	外面:底部腐食
	②	手詰	B			0	1	0		B			0	1	0	900	外面:底部腐食
	③	手詰	B			0	1	0		B			0	1	0	900	外面:底部腐食
	④	手詰	B			0	1	0		B			0	1	0	900	外面:底部腐食
	⑤	手詰	B			0	1	0		B	C		0	1	1	900	外面:底部腐食
B-2	①	手詰	C	C		0	0	2		B			0	1	0	900	外面:底部腐食
	②	手詰		C		0	0	1		B			0	1	0	900	外面:底部腐食
	③	手詰	C			0	0	1		B			0	1	0	900	外面:底部腐食
	④	手詰		C		0	0	1		B	C		0	1	1	900	外面:底部腐食
C-1	①	A型				0	0	0					0	0	0	2000	取付管接続
	②	A型				0	0	0					0	0	0	2000	
	③	A型				0	0	0					0	0	0	800~1000	
C-2	①	台付手詰	B			0	1	0					0	0	0	900	
	②	台付手詰	B			0	1	0					0	0	0	900	
	③	台付手詰	B			0	1	0					0	0	0	900	
D-1	①	B形				0	0	0					0	0	0	2430	
D-2	①	B形		C		0	0	1			C	C	0	0	2	2000	取付管接続
	②	B形	C			0	0	1					0	0	0	2000	
	③	B形	C			0	0	1					0	0	0	2000	
D-3	①	スパンパイプ		C		0	0	1					0	0	0	1200	引き抜き穴※
	②	スパンパイプ		C		0	0	1					0	0	0	1200	引き抜き穴※

※ 掘上時に埋設管を引き上げる際についた穴で、破損Aに相当

なお、通常の劣化診断はTVカメラ調査、潜行目視調査で確認できる管内面のみであるが、管外面の劣化程度も外圧試験結果に影響を与える要因であると考え、別々に評価した。なお、下水道台帳に記述された管種はすべてHPであったが、実際に回収したところ、一部は手詰の鉄筋コンクリート管であった。

劣化診断の結果、管内面、管外面いずれもAランクに該当するような重大な劣化は確認されなかった(表－7)。管内面の劣化診断結果について、「腐食」は、Bランクが41%(11/27本)、Cランクが15%(4/27本)であった。管底が腐食していることが多く、特別な腐食原因は特定できなかった。また、「破損・クラック」についてはA・B

ランク（幅2mm以上）に該当する劣化は確認されず、Cランクは26%(7/27本)であった。

管外面の劣化診断結果について、「腐食」はBランクが33%(9/27本)であった。これらは、管内面だけでなく管外面においても腐食が発生していた。「破損・クラック」についてはA・Bランク（幅2mm以上）に該当する劣化は確認されず、Cランクは19%(5/27本)であった。戦前、施工年次不明の埋設下水管渠（A-1、B-1、B-2、C-2、D-3）は、腐食劣化しているものが多かった。

D-3については、埋設管を引き上げる際に穴が開いてしまった。この穴は「破損」のAランクに相当する。

(2) 外圧試験

回収下水管渠について、「JSWAS 下水道溶鉄筋コンクリート管 A-1」に示される方法で外圧試験を行った。このとき、取付管接続穴がある管渠については、正確な強度測定を行うため、管を切断して穴のある部分を排除した後、外圧試験を行った。なお、A-1-①は、初期段階でひび割れていたため、ひび割れ荷重を測定することができなかった。

外圧試験結果を示す（表-8）。劣化のないA-2、C-1及びD-1については、敷設当時及び現在の規格荷重を満

表-8 規格荷重と外圧試験結果

路線番号	管番号	規格試験荷重 (敷設当時※1)		規格試験荷重 (2003※2)		試験結果					
		ひび割れ KN/m	破壊 KN/m	ひび割れ KN/m	破壊 KN/m	ひび割れ			破壊		
						KN/m	※3	※4	KN/m	※3	※4
A-1	①					初期クラック					
	②	16.67	30.40	25.50	38.25	16.4	98%	64%	43.2	142%	113%
	③					27.7	166%	109%	46.7	154%	122%
A-2	①					35.7	280%	214%	35.7	182%	140%
	②	12.75	19.61	16.67	25.50	34.9	274%	209%	34.9	178%	137%
	③					33.5	263%	201%	33.8	172%	133%
B-1	①					19.4	141%	82%	34.2	152%	97%
	②					14.2	103%	60%	26.8	119%	76%
	③	13.73	22.55	23.54	35.30	18.4	134%	78%	31.1	138%	88%
	④					17.3	126%	73%	32.2	143%	91%
	⑤					16.7	122%	71%	30.1	133%	85%
B-2	①					23.9	174%	102%	41.3	183%	117%
	②	13.73	22.55	23.54	35.40	33.0	240%	140%	33	146%	93%
	③					22.0	160%	93%	42.4	188%	120%
	④					10.1	74%	43%	46.6	207%	132%
C-1	①					27.3	214%	164%	27.4	140%	107%
	②	12.75	19.61	16.67	25.50	21.5	169%	129%	29.6	151%	116%
	③					20.9	164%	125%	28.6	146%	112%
C-2	①					25.1	151%	98%	42.9	141%	112%
	②	16.67	30.40	25.50	38.25	25.3	152%	99%	63.1	208%	165%
	③					26.4	158%	104%	42	138%	110%
D-1	①	29.42	44.13	29.42	44.13	53.4	182%	182%	54.8	124%	124%
D-2	①					29.6	232%	178%	29.6	151%	116%
	②	12.75	19.61	16.67	25.50	32.9	258%	197%	32.9	168%	129%
	③					31	243%	186%	32	163%	125%
D-3	①	14.71	23.54	23.54	35.30	22.7	154%	96%	31.3	133%	89%
	②					13.6	92%	58%	26.2	111%	74%

※1 敷設当時はJSWAS規格がなかったため、下記のJIS規格を用いた。

A-1・B-1・B-2・C-2・D-1はJIS A 5303、A-2・C-1・D-2はJIS A 5302、D-3はJIS A 5322の規格値を記述した。

※2 JSWAS A-1-2003の規格値を記述した。

※3 試験結果/敷設当時の規格荷重

※4 試験結果/現在の規格荷重

たしていた。「腐食」Bランクの管渠であるA-1、B-1、B-2、C-2は、現在の規格荷重を満たしていないものが多く、A-1-②は内面腐食により、B-2-④は外面腐食により敷設当時の規格ひび割れ荷重よりも低くなった。いずれも腐食により耐荷力が低下したものと考えられる。D-2は「腐食」「破損・クラック」のCランクの劣化が観測されたが、現在の規格荷重を満たしていた。D-3は「破損」のCランク劣化が観測され、現在の規格荷重を満足しなかった。D-3は引き上げの際に開いた穴が「破損」のAランクに相当するため、規格荷重を満足しなかったものと考えられる。本調査の結果、劣化していない管渠A-2(S26)、C-1(S25)、D-1(H2)は、敷設後50年以上経過しているものでも耐荷力を保持していた。また、Cランク程度の軽微な「腐食」「破損・クラック」のD-2は、現在の規格試験荷重を満たしていた。軽微な劣化であれば、それほど耐荷力に影響しないものと推察される。「腐食」BランクのA-1、B-1、B-2、C-2では、当時の規格荷重よりも低くなっているものが多く、明らかに耐荷力の低下傾向が見られた。したがって、「腐食」に関して、Bランク以上のときは、当該施設にかかる鉛直土圧や活荷重を考慮し、安全性を検証する必要があると考えられる。「破損・クラック」に関しては、Bランク以上の下水管渠がなかった。しかし、「破損」のAランクに相当する引き上げの際に開いた穴があるD-3は、ひびわれの外圧試験結果が敷設当時の規格荷重よりも低くなっており、「破損・クラック」も耐荷力に影響する可能性が示唆された。



写真1 D-3「破損」Cランク



写真2 B-1「腐食」Bランク



写真3 D-3 引き上げの際に穴



写真4 外圧試験実施状況①



写真5 外圧試験実施状況②



写真6 管厚・中性化深さの測定

4. 2 下水管渠破損部分への地盤材料の引き込みに関する実験

下水管渠の破損部分への地盤材料の引き込みにより、地盤中に空洞・ゆるみが発生して道路陥没の原因となる。昨年度の調査⁴⁾により、空洞・ゆるみの進展は、地下水位及び地盤材料の条件が影響することが判った。地下水位については、降雨により上下動することが予想され、ある時点の現場地下水位データをそのまま採用することは適切でないので、安全側を想定する必要がある。そこで降雨後を想定して地下水位を管頂100cmに固定し、地盤材料、管渠の破損程度と空洞・ゆるみ領域の進展の関係について比較する実験を行った。

(1) 実験方法

下水管渠の埋設状況を再現するため、実験土槽で実験を行った。実験土槽の寸法は高さ100cm×幅160cm×奥行

き 50cm である (図 1)。底板の中央部に 10cm の開口部があり、その上部に半分に切った $\phi 200$ 塩ビ管を設置した。この塩ビ管には下水管渠の破損部分を想定してスリットを設け、ここから流入する土砂を底板の開口部から採取できる構造とした。土槽内の水位は、土槽底板の中央部にマンメータにより観測した。

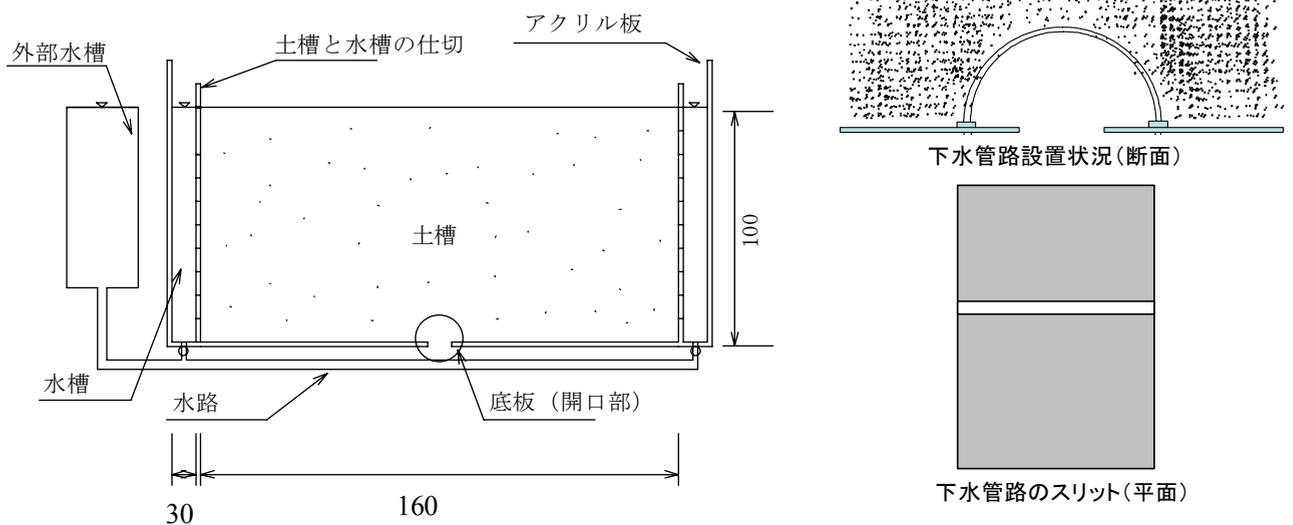


図 1 実験土槽概略図



写真 7 地盤材料設置状況



写真 8 地盤設置完了



写真 9 色砂設置状況

地盤材料の設置方法は、設定含水比に調整した地盤材料を、規定の密度となるよう重量を測定しながら、一層当たり 10cm、全層で 100cm の厚さに盛り立てた (写真 7、8)。また、実験終了後に地盤のゆるみ・空洞領域を観測するため、層間に色砂を設置した (写真 9)。

実験条件は Case1～10 までの全 10 ケース設定した (表-9)。スリット形状は、継ぎ手ズレや管周方向のクラックを想定し、管周方向に投影長さが約 20cm になるように設定した。なお、昨年度⁴⁾は、管軸方向と管周方向の 2 種類の形状で実験を行ったが、形状による空洞・ゆるみへの影響はほとんどなかった。開口幅は 5、10、15mm の 3 種類とした。

地盤材料は礫質土の材料 A、礫混じり砂の材料 B および山砂の材料 C を使用した。本実験で用いた地盤材料は、購入土の粒径分布調査事例⁵⁾を参考にして、粒径の大きい材料 A、粒径が小さく細粒分の多い材料 C、それらの中間的な粒径である粒径 B の 3 種類を調整した (図 2、表-10)。埋戻しの管理基準として、品質規定をしている地方公共団体では、最大乾燥密度の 90% 以上としている⁵⁾。本実験では締固め度を 90%、80% の 2 種類設定し、適正に埋め戻された場合と埋め戻しが不十分な場合を比較した。

実験開始は、塩ビ管のスリットのシーリングを除去して行い、実験終了は、スリットからの排砂が見られなくなる時点若しくは地表面の陥没が観測される時点とした。スリットから排出される地盤材料を順次いくつかの大型トレイで受け、回収時間と乾燥重量を測定した。

表-9 実験条件の設定

Case	スリット方向	地盤材料	開口部 (mm)	締固め度 (%)	水位 (cm)
1	管周方向	材料A	10	90	100
2		材料B	10		
3		材料C	10		
4		材料B	5		
5		材料C	5		
6		材料A	15		
7		材料C	15	80	
8		材料C	5		
9		材料C	10		
10		材料A	10		

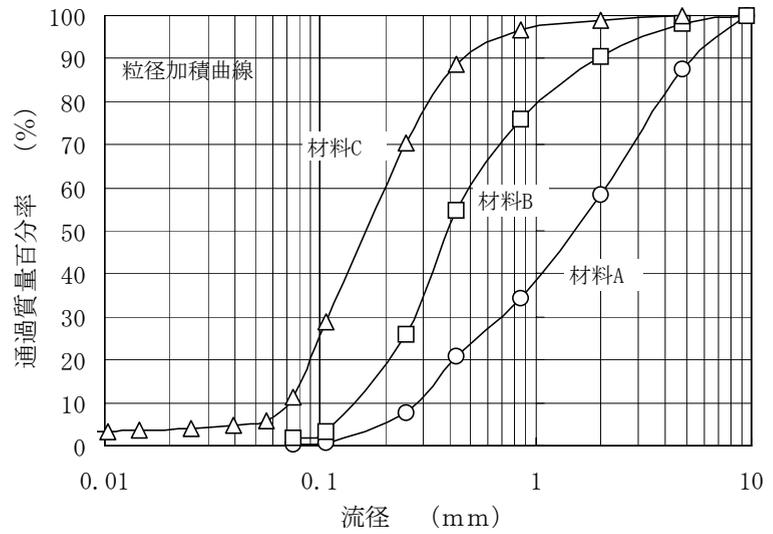


図2 地盤材料の粒径分布

表-10 地盤材料の土質分析結果

地盤	土粒子密度	最大密度	90%密度	80%密度	最大粒径	D ₉₅	細粒分	最適含水
材料A	2.632	1.883	1.695	1.506	9.5	7.0	0.3	10.8
材料B	2.644	1.766	1.589	1.413	9.5	3.0	1.8	14.4
材料C	2.689	1.737	1.563	1.390	4.75	0.6	11.1	17.0

(2) 実験結果

表-11 に実験結果を示す。

表-11 実験結果

No.	材料種別	スリット幅 mm	締固め度 %	水位 cm	状況	経過時間 min	排出土量 乾燥重量kg	時間当り排土量 kg/min
CASE1	材料A	10	90	100	陥没	4.3	3.44	0.79
CASE2	材料B	10	90	100	陥没	5.5	44.80	8.15
CASE3	材料C	10	90	100	排砂	1,440.0	11.05	0.01
CASE4	材料B	5	90	100	排砂	60.0	1.08	0.02
CASE5	材料C	5	90	100	排砂	360.0	2.88	0.01
CASE6	材料A	15	90	100	排砂	3.0	25.34	8.45
CASE7	材料C	15	90	100	陥没	1.0	12.36	12.36
CASE8	材料C	5	80	100	排砂	360.0	3.64	0.01
CASE9	材料C	10	80	100	陥没	10.0	12.36	1.24
CASE10	材料A	10	80	100	排砂	180.0	2.40	0.01

※経過時間:スリットからの土砂の排出が終了するまでの時間、もしくは陥没が発生するまでの時間。

1) 地盤材料の違いによる土槽変化特性

地盤材料 A・B・C の3種類別に実験結果を整理すると、山砂を使用した実験ケースでは、他の地盤材料を使用したケースよりも明らかに、土砂の排土量が少なかった。

また、排土終了に至るまでの経過時間も短いことから、山砂による埋め戻しは、急激な崩壊（陥没）を招きにくいという結果が得られた。

2) スリット幅の違いによる土槽変化特性

5 mm、10 mm、15 mmの3 ケースのスリット幅について実験を行った結果、スリット幅が大きいほど、排土量が多くかつ短時間に土砂が流出される傾向にあった。

3) 締固度の違いによる土槽変化特性

締固度80%と90%の種類について実験を行った結果、地盤材料C(山砂)のケースでは排土量及び排土終了に至までの経過時間に違いが見られなかったが、地盤材料A(礫質土)のケースでは締固めが不十分な場合に急激な土砂崩落(陥没)が見られる結果になった。

4) ゆるみ領域の観測

各実験ケースのゆるみ領域を観測するため、地盤材料を10cm毎に掘削した。色砂を設置した同一平面で色砂を観測できない状態をゆるみと定義した。地表面陥没した実験ケースについて、case2及びcase6は地表面がすり鉢状に陥没していた(写真11、写真15)。それに対して、case9ではゆるみ領域全体が陥没していた(写真18)。地表面陥没しておらず、地盤材料の累計乾燥重量が少ない実験ケースでは、(case4、case5、case8)は、管頂30cm程度までゆるみが広がった。ただし、case1については、地盤材料の累計乾燥重量が少なかったものの、地表面近くまでゆるみ領域が広がっていた(写真10)。

材料Cの実験ケース(case3、case5、case7、case8、case9)では、他の材料を用いた実験ケースに比べて、ゆるみ領域が水平方向に進行する傾向が見られた。それに対して、材料A、材料Bでは、ゆるみ領域が地表面に達する時間が早く(case2、case6)、地盤材料の累計積乾燥重量が少なかったcase1でも地表面付近までゆるみ領域が広がっていたことから、鉛直方向にゆるみやすい可能性が示唆された。



写真10 case1 ゆるみ観測状況(管頂80、50、10、0cm)



写真11 case2 ゆるみ観測状況(管頂90、60、20、0cm)



写真12 case3 ゆるみ観測状況(管頂40、30、10、0cm)

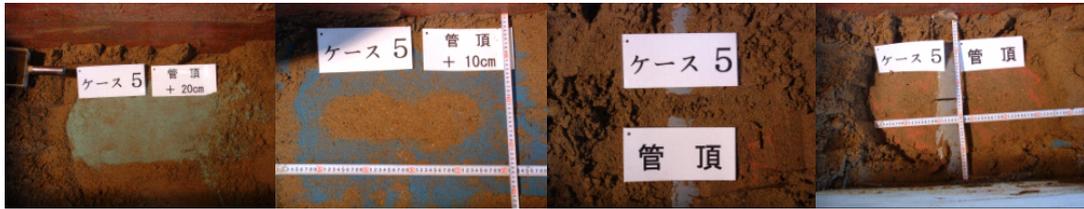


写真 13 case4 ゆるみ観測状況(管頂 20、10、0cm)



写真 14 case5 ゆるみ観測状況(管頂 20、10、0cm)



写真 15 case6 ゆるみ観測状況(管頂 90、70、20、0cm)



写真 16 case7 ゆるみ観測状況(管頂 30、20、10、0cm)



写真 17 case8 ゆるみ観測状況(管頂 30、20、10、0cm)



写真 18 case9 ゆるみ観測状況(管頂 90、60、20、0cm)



写真 19 case10 ゆるみ観測状況(管頂 80、30、10、0cm)

4. 3 まとめ

《埋設下水管の耐荷力に関する調査》

- ・埋設後 50 年経過しても、劣化していないものは規格荷重を満たしていた。
- ・C ランク程度の軽微な「腐食」「破損・クラック」であれば、現在の規格試験荷重を満たしていた。軽微な劣化であれば、それほど耐荷力に影響しないものと推察される。
- ・「腐食」の B ランクでは、当時の規格荷重よりも低くなった。
- ・「破損・クラック」の A ランクに相当する引き抜き穴がある下水管では、当時の規格荷重よりも低くなった。

《下水管渠破損部分への地盤材料の引き込みに関する実験》

- ・山砂による埋め戻しは、他の粒径の粗い地盤材料に比べて、急激な土槽の崩壊を招きにくく、埋め戻し土として有効であることが分かった。
- ・スリット幅が 10 mm を超えると、地盤材料の種類を問わず土砂崩壊の危険性が著しく増加する。下水道施設維持管理指針では、事故を未然に防止するための判断基準として、クラック幅が 5 mm 以上をランク A としているが、これを裏付ける結果となった。

なお、本調査研究は、試験研究費により実施されたものである。

【管渠管理へのストックマネジメントの導入と適用性の検討・参考文献】

- 1) Training Slides Day 1, Advanced Asset Management Training Workshops, USEPA, December 2006
- 2) Tom's Bad Day- A Step by Step Approach to Discovering and Applying Advanced Asset Management to a Utility Environment, 1)と同じ
- 3) Asset Criticality Rating System, Ipswich Water, Final Draft Report, Cardno MBK, December 2003
- 4) 水谷哲也, オーストラリアにおけるアセットマネジメントの現状, 海外におけるアセットマネジメント報告会, 下水道新技術推進機構, H19 年 1 月
- 5) KJ 法の展開と応用, 続・発想法, 川喜多二郎, 昭和 45 年 2 月

【下水管渠の改築・修繕工事の優先実施箇所選定方法に関する検討・参考文献】

- 1) 平成 18 年日本の下水道、社団法人日本下水道協会
- 2) 社団法人日本下水道協会、下水道維持管理指針前編-2003 年版-
- 3) 小橋秀俊・桑野玲子・堀井俊孝、平成 16 年度下水道関係調査研究年次報告書 国土技術政策総合研究所資料 No. 263、国土交通省 国土技術政策総合研究所(2005)
- 4) 藤生和也・浜田知幸、道路陥没を予防するための下水道管路の適正管理手法に関する研究、平成 17 年度下水道関係調査研究年次報告書 国土技術政策総合研究所資料 No. 323、国土交通省 国土技術政策総合研究所(2006)
- 5) 下水道管路埋戻し材料の繰返し強度特性に関する実験報告書、土木研究所資料第 3701 号、建設省土木研究所(2000)