

下水道ストックマネジメントにおける管路の耐荷性能に着目したリスク発生確率の評価

日本工営（株） 正会員 ○市村直登，岡本萌，中村ゆかり，中野雅章，田代広行

1. はじめに

下水道管路施設のストックマネジメントにおけるリスクは、被害規模（影響度）×発生確率により評価される。一般的に、被害規模については AHP を用いた評価を行い、発生確率についてはワイブル近似による健全度予測式を用いることが多い。健全度予測式は TV カメラ調査から得られた緊急度と経過年数の関係を結ぶ一手法となり得るが、管路の劣化に伴う被害の発生確率は、必ずしも経年的な要因に支配されるとは限らず、その敷設状況による因子も重要と考える。また、健全度予測式による統計的手法はデータ量に依存し、緊急度判定を行う調査員の主観性も含んでいる。一方、敷設状況による耐荷力は、同条件の下では力学的な根拠に基づき基本的には一意的に決まる。そこで本研究では、リスクの発生確率に関してより説明性の高いものとするため、ワイブル近似による健全度予測式と合わせて、管路の耐荷性能に着目した管路のリスク発生確率を考慮する手法について検討した。

2. 管路の耐荷性能に着目した条件設定

2. 1 影響因子の整理

一般的な台帳データから管路の耐荷性能に影響があるデータを抽出することとした。本研究では常時の供用条件を考えることとし、交通活荷重に対して影響が大きい4因子（管形状、管種別、管口径、土被り）を考慮した。ただし、管形状については一般的な断面である円管のみ考慮することとした。

2. 2 力学的な評価に必要な条件整理

管種別、管口径、土被りの3因子を表1の区分で分類してクロス集計した結果、それぞれ同表にある組合せ割合になったと仮定した。また、各因子の条件は、表1に示した管口径と土かぶりの区分下で常時荷重に対して安全側な耐荷力評価を行うため、構造力学上厳しい条件となるよう、口径は対象範囲の最大値（最大口径）、土かぶりは対象範囲の最小値（最小土かぶり）を設定した。

2. 3 構造計算条件事例

構造計算に用いる共通条件は、検討対象としたケースで同条件での耐荷力比較を行うため、考慮する荷重条件や支承角を統一した（表2）。また、各管種の材料条件は日本下水道協会規格を参照して設定した（表3）。ヒューム管（HP）については、ひび割れ強度からリングの式を用いて引張強度を逆算し、その他の物性値はコンクリート標準示方書【設計編】に基づき算出した。陶管についても同様に引張強度を逆算し、その他の物性値はセラミックスの一般値を用いた。塩ビ管（VU）については、規格値に基づき圧縮強度と引張強度を設定した。

表1 影響因子の組合せの存在割合

管種		ヒューム管(HP)				陶管(TP)			
土被り(m)		-1	1-2	2-3	3-	-1	1-2	2-3	3-
口径 (mm)	1-200	0.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	10.0%	2.5%	2.5%
	201-250	0.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	5.0%	2.5%	2.5%
	251-300	0.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	5.0%	2.5%	2.5%
	301-600	0.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	5.0%	2.5%	2.5%
	601-	0.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
管種		下水道用硬質塩化ビニル管(VU)							
土被り(m)		-1	1-2	2-3	3-				
口径 (mm)	1-200	0.0%	20.0%	3.0%	1.0%				
	201-250	0.0%	5.0%	2.0%	1.0%				
	251-300	0.0%	2.0%	1.0%	1.0%				
	301-600	0.0%	2.0%	1.0%	1.0%				
	601-	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				

※灰色ハッチングは組合せ割合が0%

表2 構造計算に用いる共通条件

(増分荷重)	活荷重の自動車荷重 T-25
(土圧荷重)	鉛直荷重と水平荷重，土の単位体積重量は 18(kN/m³)
(支承角)	設計支承角：60°（地盤反力を考慮する）

表3 管種ごとの材料条件

管種	圧縮強度 (N/mm²)	ヤング係 数 (N/mm²)	ポアソ ン比	単位体積重 量 (kN/m³)	引張強度 (N/mm²)
ヒューム管	40.0	31,000	0.20	24.5	6.60
塩ビ管(VU)	88.2	2,942	0.38	15.1	88.2
陶管	65.0	65,000	0.20	24.0	13.0

キーワード 力学的評価，耐荷性能，チャート

連絡先 〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304 TEL 029-871-2032

3. 管路の耐荷性能に基づくリスク発生確率評価の概要

3. 1 耐荷力算出及び耐荷力に基づく発生確率設定

耐荷性能を確認するために、耐荷力の算出を行った。ヒューム管、陶管については剛性管であるため、破壊荷重を耐荷力とした。RC 構造のヒューム管は、非線形 FEM 解析を用いて破壊荷重を算出した（図 1）。無筋構造の陶管は、ひび割れ荷重と破壊荷重が概ね同等であることからひび割れ荷重を算出し、耐荷力とした。たわみ性管の塩ビ管は、発生応力または変位量が先に上限に達した時点の荷重を耐荷力とした。2.2 で検討対象とした影響因子の組合せが存在する分類条件の耐荷力（設計活荷重（T-25 活荷重）に対する荷重比率）を表 4 に示す。耐荷力は管種で比較すると $VU < TP < HP$ となった。また、いずれの管種も土被りが薄く、口径が大きいくほど耐荷力は小さい傾向があった。

次に、耐荷力に基づいた発生確率を 0～0.5 で算出した（表 4）。これは、発生確率の重みを“従来の経過年数による統計的な発生確率”と“耐荷力に基づく発生確率”で均等に分けるためである。耐荷力が大きい（10 以上）ほど発生確率は小さく（0 に近い）設定した。

3. 2 リスク値の算定方法の提案

本提案では、発生確率を“従来の統計的な発生確率”と“耐荷力に基づく発生確率”に二分し、発生確率はそれぞれの和で表現することとした。影響度と経過年数に基づく発生確率が同値となる【HP】と【陶管】について、従来の統計的な発生確率のみによるリスク評価と耐荷力に基づく発生確率も考慮した場合のリスク評価事例を比較する（表 5）。同様な埋設条件であれば、【HP】よりも【陶管】の方が管路の力学的性能では劣る。しかし、従来の統計的な発生確率のみでは、2 つの管種のリスクは同値として評価される。一方、耐荷力に基づく発生確率も考慮した場合は、リスク値としては HP($0.5 \times (0.3 + 0.2) = 0.25$)、陶管($0.5 \times (0.3 + 0.3) = 0.30$)となり、力学的性能の劣る陶管のリスク値が大きい結果となる。すなわち、管種による耐荷力を考慮することにより説明性の高いリスク評価が可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、より説明性の高いリスク値を算出する手法として、ワイブル近似による健全度予測式と合わせて、管路の耐荷性能に着目した管路のリスク発生確率算定手法を提案した。耐荷力は力学的性能に基づく明確な根拠を持つものであり、常時の耐荷性能のみならず、耐震性を重視したリスク評価などにも適用可能な指標となり得るものとする。今後は、従来の経過年数に基づく発生確率に、耐荷力に基づく発生確率を考慮することの妥当性の検討を行う。

参考文献

1) 中村ゆかり他、下水道管渠更生における複合管の設計と設計支援ソフトの開発、土木学会第 66 回年次学術講演会、2011。

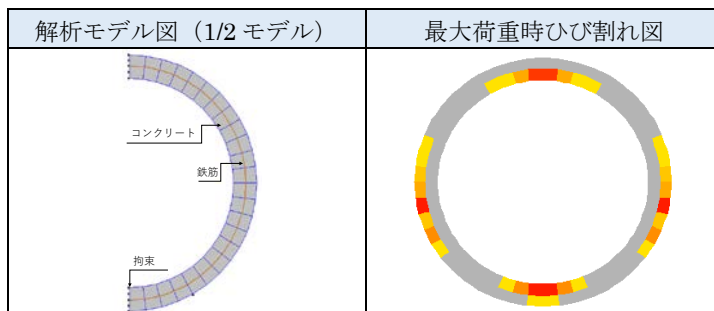


図 1 ヒューム管 (HP) 250mm, 土かぶり 1m のケース例

表 4 耐荷力及び耐荷力に基づく発生確率

		管種			HP			陶管		
		土被り			1	2	3	1	2	3
口径	1-200 (200mm)	耐荷力			10.2	19.4	31.8	7.2	13.0	19.0
		耐荷力に基づく発生確率			0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
	201-250 (250mm)	耐荷力			7.4	12.5	20.3	5.7	10.9	15.6
		耐荷力に基づく発生確率			0.15	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
	251-300 (300mm)	耐荷力			6.0	10.4	16.4	4.7	8.2	12.5
		耐荷力に基づく発生確率			0.20	0.00	0.00	0.30	0.10	0.00
	301-600 (600mm)	耐荷力			5.1	8.0	11.3	3.0	5.2	7.2
		耐荷力に基づく発生確率			0.25	0.10	0.00	0.35	0.25	0.15
		管種			下水用硬質塩化ビニル管 (VU)					
		土被り			1	2	3			
口径	1-200 (200mm)	耐荷力			3.2	5.7	8.1			
		耐荷力に基づく発生確率			0.35	0.25	0.10			
	201-250 (250mm)	耐荷力			2.9	5.1	7.2			
		耐荷力に基づく発生確率			0.40	0.25	0.15			
	251-300 (300mm)	耐荷力			2.8	4.6	6.9			
		耐荷力に基づく発生確率			0.40	0.30	0.20			
	301-600 (600mm)	耐荷力			2.6	4.5	6.2			
		耐荷力に基づく発生確率			0.40	0.30	0.20			

※表中の耐荷力に基づく発生確率は 0～0.5

表 5 リスク評価事例

事例1: 経過年数40年、管種: HP									
管口径区分	排除区分	影響度			経過年数	発生確率		リスク評価	従来のリスク評価
		機能面	社会的影響	事故時対応		経過年数に基づく発生確率 (0-0.5)	耐荷力に基づく発生確率 (0-0.5)		
300mm	汚水	重要幹線	緊急輸送路下	深埋設	40年	40年	口径: 300mm 土被り: 1m 管種: HP	影響度 × 発生確率	従来のリスク評価
0.10	0.20	0.10	0.05	0.05	0.6	0.3 (0.6 × 0.5)	0.200	0.25	0.3
計					0.5		0.50		
事例2: 経過年数30年、管種: 陶管									
管口径区分	排除区分	影響度			経過年数	発生確率		リスク評価	従来のリスク評価
		機能面	社会的影響	事故時対応		経過年数に基づく発生確率 (0-0.5)	耐荷力に基づく発生確率 (0-0.5)		
300mm	汚水	重要幹線	緊急輸送路下	深埋設	30年	40年	口径: 300mm 土被り: 1m 管種: 陶管	影響度 × 発生確率	従来のリスク評価
0.10	0.20	0.10	0.05	0.05	0.6	0.3 (0.6 × 0.5)	0.300	0.30	0.3
計					0.5		0.60		

※赤字は耐荷力に基づく発生確率