

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○江角 勇貴  
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 鋤田 泰子

1. 研究の背景と目的

日本の下水道施設は 1970 年代に急速に整備されたため、近年、老朽化施設の早急な改良・更新が求められている。改良方法の一つとして非開削により経済的かつ短期間で管きよ機能が修復できる更生工法が挙げられる。現在の下水道更生管きよの耐震設計法は「管きよ更生工法の耐震設計の考え方（案）と計算例」<sup>1)</sup>（以下、ガイドラインと呼ぶ）で方向性が示されたが、同じ下水道施設であるシールドトンネルなどの耐震設計法と比べて、設計計算において不確定な部分が多いといえ、適切な耐震設計法を定めるには、多くの知見や実験結果の蓄積、仕上がり構造の違いなどを反映させた解析的な検討を行う必要がある。本研究は、更生工法により更新された複合管に対して、材料特性を明確にするための材料実験を行い、その結果に基づきモデルや諸条件を選定し、複合管の耐震性能の照査手法を構築することを目的としている。

2. 複合管の概要

複合管は、まず既設管内に硬質塩化ビニル製の帯板部材をらせん状に巻きたてながら嵌合し、連続した管体を新たに形成する。次に、既設管上部に設置した付属部材の空間を利用して、既設管と帯板部材の空隙に充填材を注入し、既設管と帯板部材と充填材が一体となった管きよとして更生する。図-1 に複合管の概要図を示す。複合管の特徴としては、地盤を開削することなく形成できることから、経済的であり、安全、短期間に施工することが可能である。問題点としては、連続体と非連続体を組み合わせた複雑な構造体であること、現場施工であるため仕上がり状態に不確定性を有することなどが挙げられる。

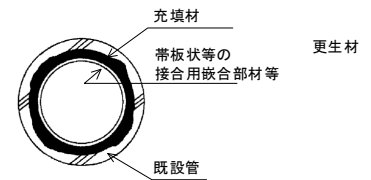


図-1 複合管概要図<sup>1)</sup>

3. 充填材特性の実験的考察<sup>2)</sup>

更生管きよの構造的な不確定要因に現場施工であることが挙げられる。本研究では充填材料として一般的に用いられるセメントモルタルの設計圧縮強度にばらつきを持たせ、材料強度間の関係を明らかにするために各種の材料特性試験を行った。充填材の設計圧縮強度をそれぞれ 10 N/mm<sup>2</sup>、20 N/mm<sup>2</sup>（通常施工の充填材を想定）、40 N/mm<sup>2</sup> と設定し、それぞれの圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度、せん断付着強度、引張付着強度を測定した。得られた結果の平均値によるまとめを表-1 に示す。試験結果およびせん断付着強度試験・引張付着強度試験に用いた基盤コンクリートの粗度係数推定結果より地震応答解析に用いる数値の選定を行い、両付着強度試験結果において粗面の結果を用いることとした。

表-1 充填材特性試験結果平均値によるまとめ<sup>2)</sup>

試験項目	充填材種類					
	A : 10N/mm <sup>2</sup>		B : 20N/mm <sup>2</sup>		C : 40N/mm <sup>2</sup>	
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	11.2		35.6		58.5	
静弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	3,788		9,370		14,875	
割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.78		1.34		2.65	
せん断付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	滑	粗	滑	粗	滑	粗
	0.39	0.64	0.34	3.42	0.31	4.12
引張付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	滑	粗	滑	粗	滑	粗
	1.25	0.66	1.5	3.43	※	1.77

注) ※：付着破断する前に材料が破断したため実験値が欠損している。

4. 耐震設計法への適用に向けた解析的検討

本検討において、呼び径 1,350mm の円形管を対象として解析を行う。既設管及び充填材をはり要素とし、既設管と充填材の付着面をジョイント要素としたはり-ジョイントモデルとを構築する。解析モデルの概要図を図-2 に示す。解析で用いる管路は M-φ 特性をもつはり要素で構成し、管路鉛直断面を 48 分割したモデル化を行う。既設管と充填材の接合面にはジョイント要素を与える。解析ケースを表-2 に示す。ケース 1

ではガイドライン<sup>1)</sup>で定められているモデル（等価一層モデル）と本研究で提案するモデルの比較，ケース2ではガイドライン<sup>1)</sup>で与えられる外力と実際の埋設状況を反映させた外力を作用させた場合の比較，ケース3では上述の充填材特性試験に基づいて充填材特性を変動させたモデルの比較を行う。耐震性照査は，ガイドライン<sup>1)</sup>では曲げに対する照査しか行われていないため，本研究ではせん断に対する照査も行うことで安全性を確認する。照査に用いる安全係数は表-3に示す値とする。

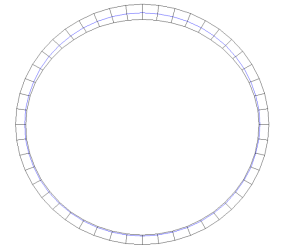


図-2 解析モデル概要図

解析結果より，限界値に対する比率（判定値）が最も大きい要素を抽出した結果を図-3に示す。ケース1では，せん断，曲げ照査ともに等価一層モデルで高い，または同等の値となる傾向があり，現行のガイドラインでは安全側で設計していることがわかる。ケース2では，せん断，曲げ照査ともに埋設状況を考慮したケース2-2で判定値が高くなることが知られた。ケース3では，せん断では強度が高くなるほど，充填材の判定値も高くなる。ケース3.3のせん断照査で判定値が0.97に達するが耐震性は有しているといえる。曲げでは既設管と充填材で判定値に大きな差があるが，強度間での差異は大きくはないことがわかる。判定値として，充填材の曲げに対する強度は十分に確保されていることがわかる。また，概ねせん断の判定値の方が高い傾向にあり，ガイドライン<sup>1)</sup>では行われていないせん断での照査を行う必要性が確認された。

### 5. 結論

- 複合管の耐震計算ではモデルや外力の影響が大きく，充填材の強度のばらつきによる影響は軽微である。
- 複合管はせん断力に対して安全余裕が低くなる傾向があり，ガイドライン<sup>1)</sup>では行われていないせん断力に対する照査を行う必要がある。

### 参考文献

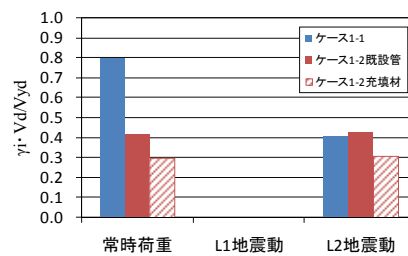
- 1) 社団法人日本下水道協会：管きよ更生工法の耐震設計の考え方（案）と計算例，2008.9
- 2) 鯉田泰子，江角勇貴，高田至郎：材料強度のばらつきが更生管きよの耐震性能に及ぼす影響，第13回日本地震工学シンポジウム，pp.2476-2482，2010.11

表-2 解析ケース

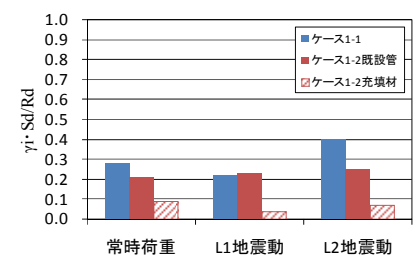
	解析モデル	充填材種類	作用外力							
			常時荷重				地震時増分荷重			
			自重	鉛直土圧	水平土圧	活荷重	底面地盤反力	地震水平力	慣性力	周面せん断力
ケース1	ケース1-1 等価一層	B	○	○	○	×	○	○	○	×
	ケース1-2 二層	B	○	○	○	×	○	○	○	×
ケース2	ケース2-1 二層	B	○	○	○	×	○	○	○	×
	ケース2-2 二層	B	○	○	○	○	○	○	○	○
ケース3	ケース3-1 二層	A	○	○	○	○	○	○	○	○
	ケース3-2 二層	B	○	○	○	○	○	○	○	○
	ケース3-3 二層	C	○	○	○	○	○	○	○	○

表-3 照査に用いる安全係数

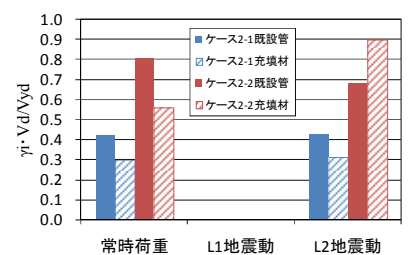
		材料係数 $\gamma_m$		部材係数 $\gamma_b$	構造解析係数 $\gamma_a$	荷重係数 $\gamma_f$	構造物係数 $\gamma_s$
		コンクリート $\gamma_c$	鋼材 $\gamma_s$				
常時荷重 (終局限界状態)	応答値	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1
	限界値	1.3	1.0	1.3	-	-	-
L1地震時 (使用限界状態)	応答値	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	限界値	1.0	1.0	1.0	-	-	-
L2地震時 (終局限界状態)	応答値	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	限界値	1.3	1.0	1.3	-	-	-



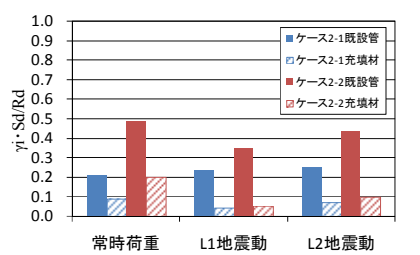
(a) ケース1 せん断照査



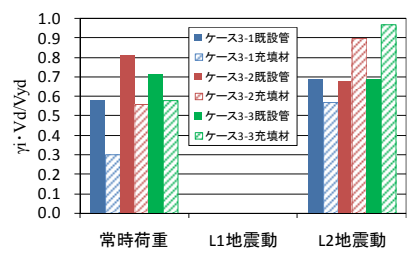
(b) ケース1 曲げ照査



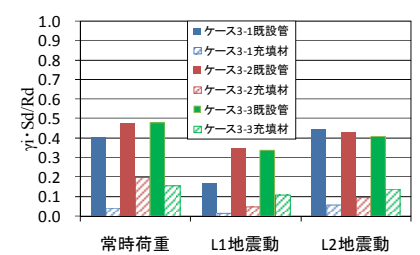
(c) ケース2 せん断照査



(d) ケース2 曲げ照査



(e) ケース3 せん断照査



(f) ケース3 曲げ照査

図-3 各ケースの限界値に対する比率の最大値