

第 I 部門

更生材料を考慮した下水道複合構造管の長手方向耐震性

神戸大学工学部 学生員 ○江角 勇貴
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 鋏田 泰子
 テヘラン大学工学カレッジ フェロー 高田 至郎

1. はじめに

わが国の下水道施設は 1970 年代に急速に整備されたため、2020 年以降急激に耐用年数 50 年を超える管路が増大し、さらに 2045 年になるとほぼ全ての既設管きよが老朽管になることが予想される。老朽化した下水道施設の地震被害を最小限に抑えるためにも、下水道施設の早急な改築・更新が望まれている。本研究では、管路改築技術として着目されている更生工法で更生された複合構造管の長手方向耐震性について、更生材料の特性を考慮して解析的に分析した。

2. 解析モデルと解析条件

複合構造管とは、更生工法によって更生された管きよの一種であり、既設管と更生材料を充填材で一体化させた構造をしている。2008 年に日本下水道協会から「管きよ更生工法の耐震設計の考え方(案)¹⁾(以下、耐震指針)」が示され、複合構造管については、充填材剥離の可能性があるため差し込み継手管による設計が規定されている。しかし、更生構造・材料が工法により異なる管路を単純な継手構造管として設計することは必ずしも合理的ではない。

本研究では表-1 に示す 8 つの解析モデルで複合構造管の長手方向耐震性について分析を行う。モデル①は現行の耐震指針で示されているように複合構造管を単層の継手構造管路でモデル化したものである(図-1 参照)。モデル②～⑤は、既往の複合管更生工法の一工法を想定し、二層の管としてモデル化したものである。本工法では、更生材料は塩化ビニル管として、既設管と更生管の間はセメントモルタルで充填される。モデル②は部材の実験結果²⁾等からモデル化した標準のものとし、その他のモデルは充填材の引張強度や既設管との付着強度を変化させたものである。モデル⑥～⑧は、充填材材料をモルタルの代わりにシリコンゴムをしたものである。現在ある複合構造管では、充填材はセメントモルタルを基準として、ゴムは使用されていないが、ゴム材料は柔軟性・耐水性・耐久性に優れ、引張力に対して高い耐震性が期待される。そこで、仮想の更生管路としてシリコンゴムの材料強度の異なる 3 モデルを設定した。

管路モデルは図-2 に示すように有効長 2.43m、管径 800 mm のヒューム管 12 本に更生工法を施した管路で、管体をはり要素、既設管の継手部、更生管の嵌合部、既設管と更生管の付着部、周辺地盤をばね要素に置換したはり-ばねモデルとする。管体のはりは 10 要素に分割している。地震外力には、耐震設計指針で規定されている L1, L2 地震波動を用いて、既設管の継手、更生管の嵌合部の変位量から耐震性を分析する。

表-1 解析モデル

モデル番号	解析モデル	充填材	充填材特性
①	単層		嵌合部は②と同じ
②	二層	セメントモルタル	標準
③			引張, 付着強度とも低い
④			引張強度低い
⑤			付着強度低い
⑥			シリコンゴム
⑦		中弾性	
⑧		低弾性	

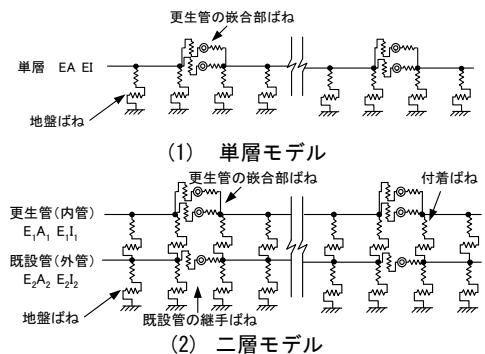


図-1 解析モデル概要図

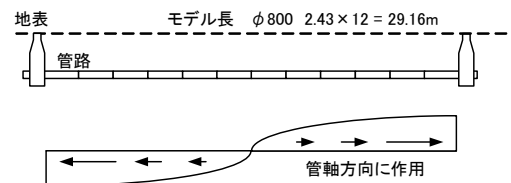


図-2 作用外力図

表-2 に管路の材料諸元を示す。モデル①の管体は二層の管と等価な剛性をもつはりとした。モデル②～⑤の更生管については、充填材の強度が支配的となるため更生管の軸剛性は充填材のものとして、付着ばねは室内実験結果の値を用いた。更生管の嵌合部も、嵌合部引張試験結果から同定させた図-3 に示すばね特性を設定し、図-1 のように充填材・嵌合部のそれぞれの引張軟化特性を持たせたばねを二つ並列に配することで伸長プロセスを表現している。モデル⑥～⑧については、ゴムのせん断弾性率から付着ばねを設定し、更生管は塩化ビニル管の材料特性を与えた。嵌合部の引張ばね係数はモルタルとの剛性比から設定した。

表-2 材料諸元
(1) 管路諸元

管路	材料	E(kN/m ²)	A(m ²)	対応モデル
等価な管		2.5×10^7	0.267	①
既設管	ヒューム管	3.3×10^7	0.180	②-⑧
更生管	モルタル	0.8×10^7	0.087	②-⑤
更生管	塩化ビニル	0.2×10^7	0.005	⑥-⑧

(2) モルタル充填材特性

モデル番号	付着剛性	付着強度	引張強度
②	K	τ	F
③	K/2	$\tau/2$	F/2
④	K	τ	F/2
⑤	K/2	$\tau/2$	F

$K=2.2 \times 10^5$ (kN/mm), $\tau=1.8$ (N/mm²)

$F=6.4 \times 10^2$ (kN/m²)

(3) モデル⑥～⑧のゴム材料特性

	⑥	⑦	⑧
せん断弾性率	G	0.35G	0.1G

$G=1.3 \times 10^4$ (kN/m²)

3. 更生材料による違いによる継手・嵌合部伸長量

L1, L2 地震波動作用時の管路継手部の最大変位を表-3 に示す。L1 地震動作用時には、既設管継手、更生管嵌合部の最大変位はそれぞれ 1.9mm になっており、管路モデルや更生材料による違いで有意な差異はないことがわかる。また、L2 地震動の場合、若干ではあるが、単層モデル①と二層モデル②を比較すると、充填材によって変形が軽減され嵌合部は 0.1mm ではあるが変位が少なくなった。

モルタル充填材による標準二層モデル②と付着強度や引張強度が異なる充填材 (モデル③～⑤) について検討を行ったが、充填材の引張強度で全体の応答が決定されており、付着強度を低下させても更生管の変形低下にはつながらず、引張強度が半減しても応答には大きな影響がないことがわかった。また、本研究で検討した複合管には伸長する嵌合部材があり、L1, L2 地震時にも充填材は破断するが、嵌合部材は破断せず、保水性が確保されていることが明らかになった。

最後に、充填材にシリコンゴムを用いるとモルタルより嵌合部の伸長量を抑えられることが知られた。現行のモルタル充填材はクラックが生じると、急激に耐荷力が低下することが考えられるが、シリコンゴムのように剛性が低く柔らかい充填材の場合、破断することはなく L2 地震後にも補修の必要がないので優れている。しかし、管路の鉛直断面の耐荷力には、シリコンゴムのように剛性の低い充填材では、既設管のみで鉛直荷重を負担することになる。解決策としては、既設管の内側に剛性の高い鉄筋フレームを設置することで耐荷力を向上させるという構造が考えられるが、実設計における適用可能性については今後検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、更生材料を考慮した複合構造管の長手方向の耐震性について分析した。解析モデルによって嵌合部の変位は若干ではあるが減少することが示された。モルタル充填材の材料特性が変化しても応答に有意な差異は見られず、L2 地震動でも保水性を確保することが確認できた。充填材をゴムにすることで長手方向の耐震性が向上することがわかった。

【謝辞】本研究の遂行にあたり、クボタシーアイ(株)、(株)大阪防水建設社、(株)クボタ工建から貴重な資料、ご意見をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】1) 日本下水道協会：管きょ更生工法の耐震設計の考え方 (案) と計算例, 2008.8

2) 高田至郎・楯田泰子：下水道更生複合管の長手方向耐震安全性に関する研究, 日本下水道協会雑誌(投稿中)

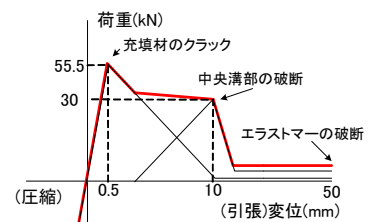


図-3 嵌合部ばね特性

表-3 継手・嵌合部の伸長量 (単位:mm)

モデル番号	L1 地震動作用時		L2 地震動作用時	
	既設管継手	更生管嵌合部	既設管継手	更生管嵌合部
①	1.9		6.5	
②	1.9	1.9	6.5	6.4
③	1.9	1.9	6.5	6.4
④	1.9	1.9	6.5	6.4
⑤	1.9	1.8	6.5	6.4
⑥	1.9	1.9	6.4	6.1
⑦	1.9	1.9	6.5	6.0
⑧	1.9	1.9	6.5	5.7