

第 I 部門 下水道複合管の付着特性による耐震性評価

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○山下 慎吾
 神戸大学工学部 学生員 渋谷 智明
 神戸大学大学院工学研究科 フェロー 高田 至郎
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 畝田 泰子

1. はじめに 下水道管路は近年老朽化が課題となり、地震時の管路機能の麻痺が危惧されている。管路更新と同時に耐震性を向上させる更生工法が求められている。本稿では管軸方向に地震力が作用する場合を想定して更生工法複合管の構造解析を行い、その耐震性を評価した。複合管を構成する内管更生管の嵌合部の有無によって、A、B 2 種類の工法を対象として検討を行った。外管であるヒューム管の継手と内管の継手の位置関係、また内管継手の特性に応じて、その耐震性を評価した。

2. 解析モデルおよび解析条件 解析には本研究室で開発した弾性床土のはり理論にもとづいた非線形はり-ばねモデルを用いたマトリックス構造解析プログラムを使用した。解析モデルには有効長 1mの管 2 本からなる呼び径 800mm のヒューム管を用い A 工法は内管に継手（嵌合部）を有するケース、B 工法は継手を持たないケースとした¹⁾。また A 工法のモデルでは更生管の中心を対称に嵌合部が位置するモデルと、全体に右に 60mm ずらしたモデルを解析対象とした。各モデルの概要図を図-1 に示す。外管及び更生管は線形はり要素、既設管における継手部は非線形ばね要素を用いて表現した。既設管と更生管の摩擦などの相互作用は非線形ばね要素を用いた接着ばねとした。また、A 工法の嵌合部には非線形ばね要素を用いた。管軸方向の継手ばね特性には引張方向に抜けを表現した。嵌合部と外管継手のばねの管軸方向の引張方向特性を図-2 に示す。接着ばねは実際のモルタルの管軸方向の強度(5,000~7,000kN/m)を基準に、表-2 のように 4 パターンを設定した²⁾。境界条件および作用荷重は、図-1 のモデル図のように左端を固定端、右端は自由端とし右端の外管に管軸方向引張荷重を作用させ、各作用荷重値に対する節点の変位量や軸方向ひずみを算出した。解析条件のケースを表-3 にまとめた。

表-1 管路諸元

	管径 (m)	管厚 (m)	断面積 (m ²)	断面二次モーメント (m ⁴)	弾性係数 (kN/m ²)
外管	0.800	0.066	0.180	1.69 × 10 ⁻²	2.00 × 10 ⁸
更生管 (A工法)	0.775	0.013	0.031	2.40 × 10 ⁻²	2.10 × 10 ⁸
更生管 (B工法)	0.786	0.008	0.018	1.42 × 10 ⁻²	2.90 × 10 ⁸

表-2 接着ばねのパターン

パターン	降伏変位 (m)	降伏力 (kN)	傾き (kN/m)
k1	5.00 × 10 ⁻³	6.28	1.26 × 10 ³
k2	5.00 × 10 ⁻³	12.6	2.51 × 10 ³
k3	3.33 × 10 ⁻³	18.8	5.65 × 10 ³
k4	2.50 × 10 ⁻³	25.1	1.00 × 10 ⁴

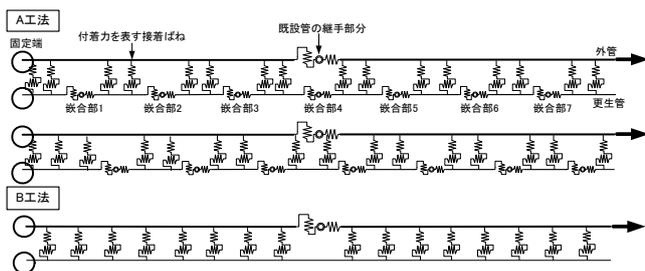


図-1 はり-ばねモデル

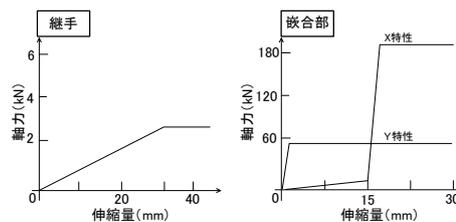


図-2 引張方向ばね特性

表-3 解析条件のケース

	工法	嵌合部特性	嵌合部位置
case1	タイプA	X特性	対称
case2	タイプA	X特性	非対称
case3	タイプA	Y特性	対称
case4	タイプB	-	-

3. 解析結果および考察 case1 (A 工法) と case4 (B 工法) の比較検討を行った。管路破断時の更生管のひずみ分布を図-3 に示す。case1 では外管が受ける引張力が接着ばねを介して更生管へと伝達し、軸方向変位が集中する嵌合部のいずれかが破断する。case4 では载荷側の外管が引抜きにより離脱する。付着の弱い状態では、接着ばねが降伏した後に継手に抜けが生じ、付着が強くなると継手が抜けた後に接着ばねが降伏し外管が離脱する。case1 では更生管は k1, k2 の場合の方が引抜き力への抵抗性能が優れている。これは付着強度が引抜きに関して適切であり、更生管が偏りなく引抜き力に抵抗しているためと考えられる。case4 では、

接着が強くなるとひずみが全体的に増加するとともに、そのピーク値が載荷側外管の中央部に現れる。B 工法の更生部材は約 0.6%のひずみで破断に至ると考えると、本計算の仮定のもとでは十分な耐震性能を有する。

次に、A 工法に対して、外管継手と内管嵌合部の位置の影響評価として case1 と case2 の比較検討を行った。図-4 に示した部材を構成する各節点の変位から、case2 は 7 つある嵌合部のうち 4 つの嵌合部がバランスよく伸びを分担しているために、更生管全体として引張りに対する抵抗性能が優れており、3 箇所での嵌合部に伸びが集中する case1 より耐震性が高い。case2 では表-4 に示したように更生管が許容できるひずみも大きくなっている。とくにばね強度 k3, k4 の場合、case 1 のモデルでは下水道耐震指針³⁾の定める 1.5%ひずみを満たさない結果となった。このことから A 工法では接着を強くしすぎると耐震性を低下させる危険がある。

次に A 工法の嵌合部特性の異なる 2 種類 (case1(X)と case3 (Y)) について、その耐震性を比較した。case1 は 15mm の伸び余裕のある部材である。それに対し、case3 は更生部材の嵌合の機能しか持たないため、更生管は継手構造の無い管に近くなり伸びの偏りは少ないが耐震性に劣る。接着ばね強度の違いも case1 ほどには影響してこない。

4. まとめ 本稿では、更生工法を適用した下水道管路の耐震設計手法の確立に向け、複合管の耐震性に対する工法の影響、嵌合位置の影響、嵌合部継手特性の影響を評価した。

表-5 に示すように A 工法 X 嵌合特性では、最適の接着特性にした場合、約 2.7%の外管変形ひずみに耐え、A 工法 Y 嵌合特性では 0.41%のひずみに耐えうる。一方、B 工法では 1.6%以上の外管変形ひずみに耐える耐震性能を有する。嵌合部と外管継手位置との関係については、外管の継手位置に対して嵌合部を対称に配置するより、非対称に配置するほうが耐震性の向上に寄与するが、地震外力の状況によって最悪ケースもありうるので対称位置を想定して耐震検討するのが妥当である。嵌合部継手特性の影響としては、伸び余裕の無い A 工法 Y では接着力を強くすると嵌合部が破断してしまうことから、X 特性を用い、その性能が最も発揮される接着力を実現することが耐震性の向上につながると言える。

表-4 更生管破断時の外管のひずみ(%) (嵌合部位置による比較)

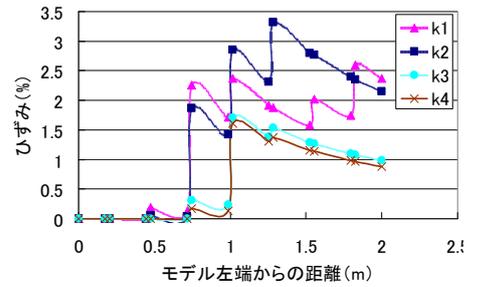
	k1	k2	k3	k4
case1	2.45	2.15	0.99	0.89
case2	2.14	2.73	1.78	1.60

表-5 更生管破断時の外管のひずみ(%) (嵌合特性による比較)

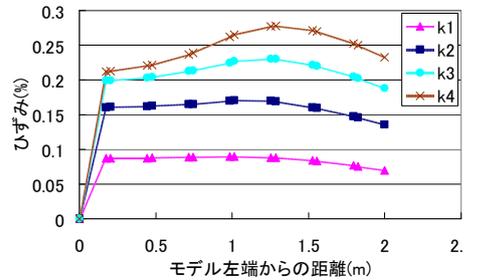
	k1	k2	k3	k4
case1	2.45	2.15	0.99	0.89
case3	0.41	0.23	0.21	0.12

【参考文献】

- 1) (財)下水道新技術推進機構：耐震性管路材料技術資料 - 特別編集版 - pp42-48, pp169-192, 1995
- 2) 田中浩純：せん断力を受けるコンクリートの強度に関する研究, クリモト技報 No.51
- 3) (社)日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 - 1997年版 -, 1997.

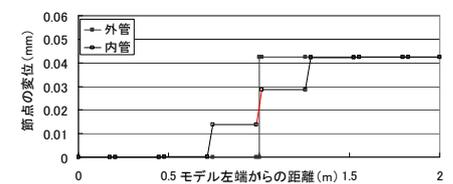


(a) case1 (A 工法)

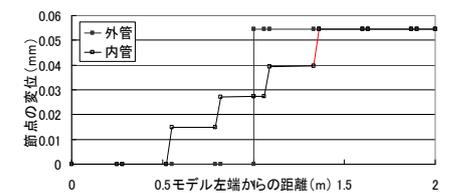


(b) case4 (B 工法)

図-3 管路破壊時の更生管のひずみ

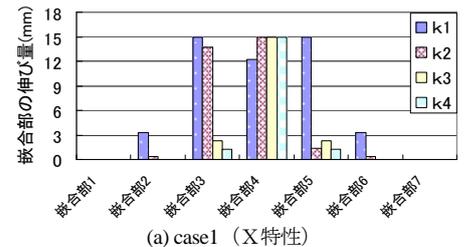


(a) case1 嵌合部位置：対称

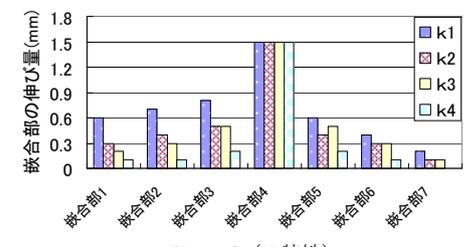


(b) case2 嵌合部位置：非対称

図-4 ばね k2 の管路部材変位状況



(a) case1 (X 特性)



(b) case3 (Y 特性)

図-5 更生管の破断時の各嵌合部の伸び