

水道更生管の耐震性評価のための数値解析手法に関する基礎的研究

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○西川 多聞
京都大学大学院工学研究科 正会員 古川 愛子
京都大学大学院工学研究科 正会員 清野 純史

1. 研究の背景および目的

水道管は高度経済成長期に急速に大量に整備されたため、老朽化が進んでおり更新の必要に迫られている。水道管の更新方法は新しい管路に布設替えする方法が一般的である。しかし、経済的要因や地理的要因から布設替えが困難な管路に対しては近年、「更生工法」が用いられるようになった。更生工法とは非掘削技術の一つであり、施工スペースの縮小、施工のコストや期間の削減が可能である。更生工法が実施された管路は、既設管と更生管から構成される二層構造管となる。従来の二層構造管のモデル化の多くは応答変位法の考え方をを用いた二次元梁要素モデルであった。この従来の解析手法は比較的簡易な数値解析を行うことができるが、既設管の内部に更生管が位置するという三次元的な挙動を適切に評価できているかは検証されていない。

そこで本研究では、先行研究によって新たに有効性が確認された三次元シェル要素モデル¹⁾と、従来の二次元梁要素モデルに対して応答変位法の考え方を適応した解析を行い、結果を比較することで、先に述べた従来の解析手法の妥当性を検討することを目的とする。

2. 解析モデル

解析の対象とする二層構造管の全長は 100m で、更生管(外径 183mm, 厚み 3.3mm)は 1 本の管路であるが、既設管(外径 200mm 厚み 8.5mm)は 5m の管路を 20 本、19 箇所を継手によってつなげたものである。なお、両端には継手は存在しないとしている。また本解析では既設管、更生管ともに材料線形で弾性体として扱った。既設管には老朽管に多い高級铸铁管を想定しており、掘り起こし管の要素試験により決定されたヤング率 $1.26 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ を用いた。更生管のヤング率は $1.05 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ とした。

三次元シェル要素モデルでは既設管と更生管をシェル要素でモデル化しており、要素サイズは管軸方向に 1m, 周方向に 16 分割とした(図 1)。継手はばね要素でモデル化し、管軸方向の引張ばねには老朽管に使用されている継手の特性に類似している G 形継手のデータを用いた(図 2)。なお、管軸方向圧縮ばねや管軸直角方向ばねの特性は非常に大きい値であるため十分に剛とした。地盤と既設管をつなぐ地盤ばねの剛性は管軸方向を 1531N/mm, 管軸直角方向を 3061N/mm とした。既設管と更生管の接触面にはたらく拘束力は相互作用ばねとして設定した。接線方向のばね特性は図 3 のように応力-変位関係として設定し、法線方向のばね特性は圧縮で十分に剛、引張に抵抗しないとして設定した。また、継手部の既設管同士の接触は摩擦係数 0.2 とした。

二次元梁要素モデルでは既設管と更生管を梁要素でモデル化しており、要素サイズは管軸方向に 1m とした(図 4)。継手は軸方向と軸直角方向のばね要素に加えて回転ばね要素を追加し、二次元で拘束を表した。三次元シェル要素モデルでは周方向の 16 節点で按分していたため、管軸方向と管軸直角方向のばね特性は三次元シェル要素モデルのものを 16 倍して用いている。回転方向の継手ばね特性は図 5 のように設定した。地盤ばね特性も継手ばねと同様に三次元シェル要素モデルのものを 16 倍して用いている。相互作用ばね特性は接線方向を図 6 のように荷重-変位関係として設定し、法線方向を圧縮と引張ともに十分に剛として設定した。

キーワード 水道更生管, 耐震性評価, 有限要素解析, 3次元シェル要素, 2次元梁要素
連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 TEL 075-383-3252

3. 解析手順と解析結果

水道施設耐震工法指針²⁾に記載の応答変位法の考えに従い、地盤ばねを介して既設管に地盤変位を与え、2層構造管の耐震性を検証した。地盤変位はレベル2地震動を想定し、波長100m、振幅13.45cmの正弦波とした。三次元シェル要素モデルと二次元梁要素モデルの2つの解析モデルに対して同じ地盤変位を与え、既設管と更生管の管頂と管底における変位とひずみを算出し、比較した。

ここでは例として、管路中央と端部で曲げモーメントが最大となる地盤変位を管軸直角方向にはたらかせたときの、管頂と管底の管軸方向ひずみの解析結果を図7に示す。ひずみは既設管と更生管の両方で精度良く一致していることがわかる。図は省略するが、管軸直角方向変位も既設管と更生管の両方でモデル間での差異はほとんど見られなかった。

4. 結論

管軸直角方向に作用する地盤変位に対しては、管路の変位はモデル間で差異はほとんど見られず、ひずみは管頂と管底の両方で精度良く一致していることがわかった。本研究の検討の範囲内では、従来の二次元梁要素を用いた解析手法は管軸直角方向の地盤変位に対して有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 種子島佑希他：3次元FEMを用いた低摩擦型水道更生管の有効性評価，第77回土木学会年次学術講演会，CS10-78，2022年。
- 2) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，I 総論，2009年。

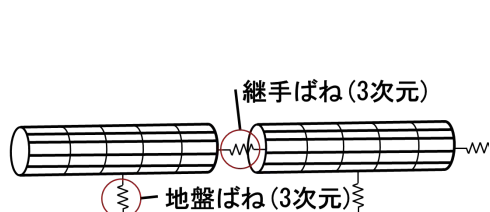


図1 三次元シェル要素モデル

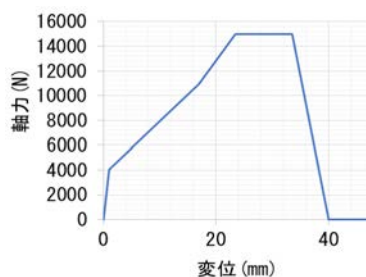


図2 継手ばね特性
(軸引張方向)

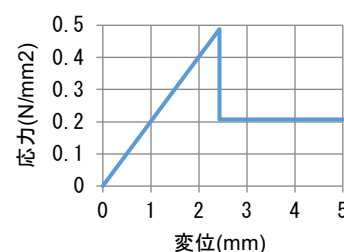


図3 相互作用ばね特性
(シェル要素, 接線方向)

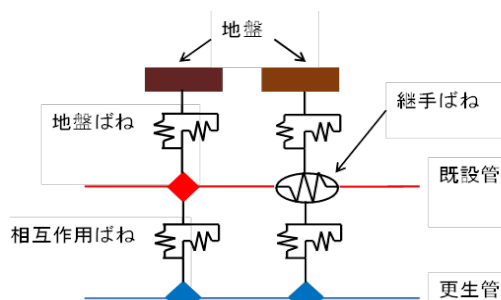


図4 二次元梁要素モデル

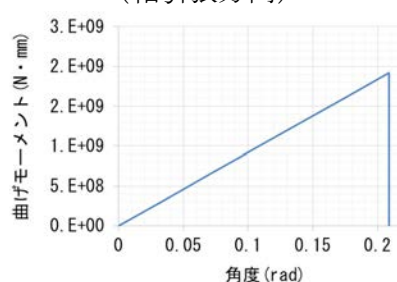


図5 継手ばね特性
(回転方向)

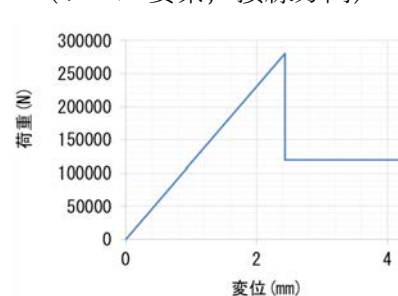
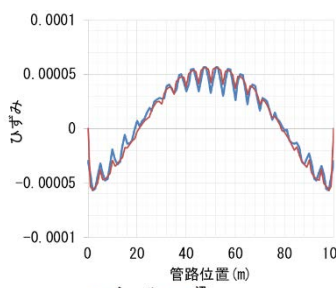
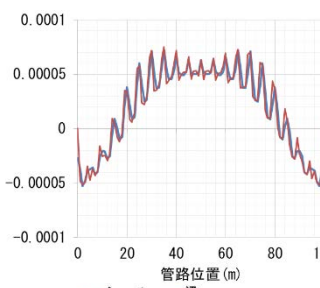


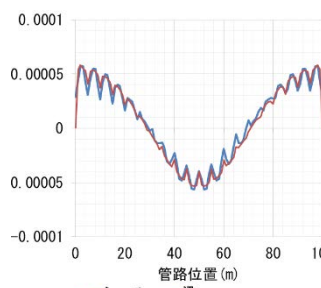
図6 相互作用ばね特性
(梁要素, 接線方向)



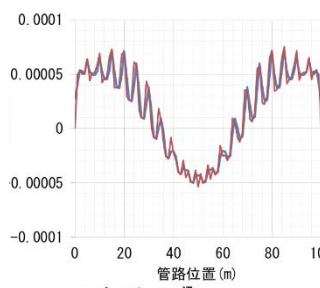
(a)既設管の管頂



(b)更生管の管頂



(c)既設管の管底



(d)更生管の管底

図7 管軸方向ひずみの解析結果