

第 I 部門 地盤変状を想定した二層構造管管軸方向の耐震性評価

神戸大学工学部 学生員 ○山下 慎吾
 神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎
 神戸大学工学部 正会員 鎌田 泰子

1. はじめに

近年わが国では下水道施設の老朽化が深刻な問題となっており、既設管路を更新し耐震性も向上させることのできる更生工法が注目されている。本稿では、更生工法によって更新された二層構造管に着目し、地盤変状を受ける管路の管軸方向の耐震性を評価した。

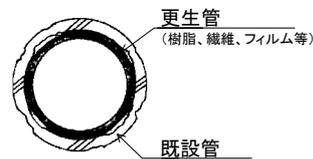


図-1 二層構造管概念図

2. 解析モデルおよび解析条件

更生工法とはヒューム管などからなる既設管の内部に、硬質塩化ビニルなどからなる更生材を挿入し、反転・加圧などにより既設管内部に一口径小さな更生管を圧着させて構築する工法であり、更新された管路は図-1 のように二層構造を有するものとなる。この二層構造管の管路挙動や応力分担は、既往の管横断方向の検討によっていくらかの知見が得られている。しかし、地盤沈下や側方流動などの地盤変状発生時の管路挙動や破壊モードはいまだ明らかではない。このような背景から、本稿では管軸方向の解析モデル

および解析手法を構築し、側方流動を想定した二層構造管の管軸方向抵抗力について分析を行った。解析モデルは、弾性床土のはり理論にもとづき図-2 のような非線形ばねモデルを用いて、両端をマンホールに支持された有効長 5m の管 6 本からなる既設管路に 30m の PVC 管を挿入した 30m の区間をモデル化した。更生管（呼び径 240mm : PVC 管）および既設管（呼び径 250mm : ヒューム管）を線形ばね要素、既設管における継手部を非線形ばね要素を用いて表現し、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。管軸方向の継手ばね特性には図-3 のように引張り方向に抜けを表現している。既設管と更生管の接着条件である接着ばね特性は図-4 のようにすべりや充填材の剥離を表現したバイリニアで与えた。これらのモデルに変位法を適用し、変位量および断面力を算出した。

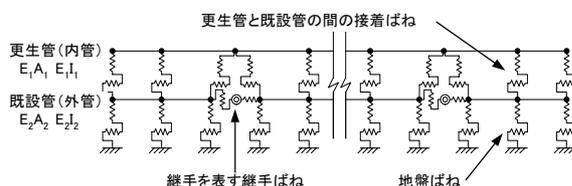


図-2 二層構造管管軸方向解析モデル

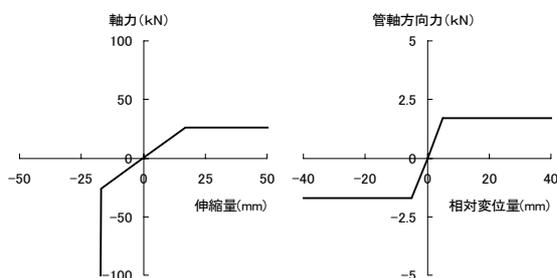


図-3 継手ばね特性

図-4 接着ばね特性

作用荷重としては、側方流動が発生した場合、図-5 において周辺地盤が流動する区間 1 と、区間 1 が流動することによりマンホールや管体部分が引っ張られる区間 2 のように、区間により荷重の作用状態が異なることが考えられる。そこで図-6 のように三種類の作用荷重を設定した。区間 1 のようなケースには三角形荷重と矩形荷重の分布荷重、区間 2 のようなケースは端部引張荷重を作用させることによって再現する。

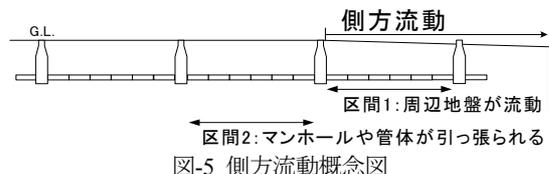


図-5 側方流動概念図

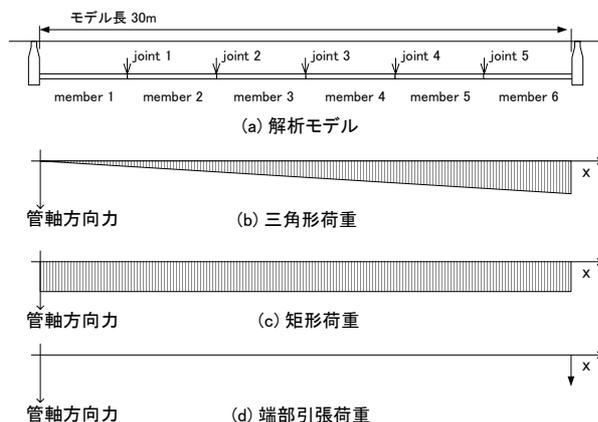


図-6 解析モデルと作用荷重

パラメータとしては、接着ばね特性を変化させ、5mm の変位を生じた時点で滑りおよび剥離の生じるものとし、各解析ケースの設定を行った。また、地盤ばねのモデル化の影響についても考察を加えるべく、線形地盤ばねとバイリニア型の非線形地盤ばねの比較を行った。

3. 解析結果および考察

接着ばね特性として接着ばね係数を 500 kN/m 刻みで 6,000 kN/m まで変化させたときに二層構造管路が許容する軸ひずみを図-7 に示す。また、図-8 には接着ばね係数が 345, 2,000, 4,000, 6,000kN/m の場合の更生管の軸応力分布を示している。なお図-8 において、case 1 は線形地盤ばねモデルに三角形荷重、case 2 は線形地盤ばねモデルに矩形荷重、case 3 は線形地盤ばねモデルに端部引張荷重、case 4 は非線形地盤ばねモデルに端部引張荷重を作用させた場合を示している。図-7 より最大の許容変位を与える最適な接着条件としては、荷重のタイプ、地盤ばねのモデル化にかかわらず 4,000kN/m であることが明らかとなった。また、すべての接着ばね係数において、三角形荷重、矩形荷重、端部引張荷重の順に耐える軸ひずみが小さくなることから、二層構造管は端部引張荷重に弱く、図-5 における区間 2 のような流動区間に隣接する非流動区間において破壊が生じやすいことが明らかとなった。さらに、破壊のモードとしては、おおむね接着ばね係数が 3,800kN/m を境界に、それ以下では既設管が抜け出し、それ以上では更生管が破断する結果となった。これは、接着ばね係数が小さいと既設管と更生管は一体となった挙動をせず既設管が抜けるため、図-8(a)で明らかのように更生管には軸応力がほとんど生じない。しかし、接着ばね係数が大きくなり固着したような状態になると、更生管において既設管の継手近傍で局所的に延びることから、図-8(d)のように軸応力が集中し更生管が破断するものと考えられる。耐震性の評価については、図-7 に示すようにヒューム管からなる一層管モデルでは三角形荷重で 0.21%、矩形荷重で 0.17%、端部引張荷重で 0.07%の軸ひずみを生じて破壊する。これより、ほとんどのケースで二層構造管が一層構造管より大きな軸ひずみに耐える結果となったことから、更生工法による耐震性向上が確かめられた。なお、実際の現象により近い非線形地盤ばねモデルにおいて、最適な接着条件では二層構造管は 0.99%のひずみに耐えることが明らかとなった。

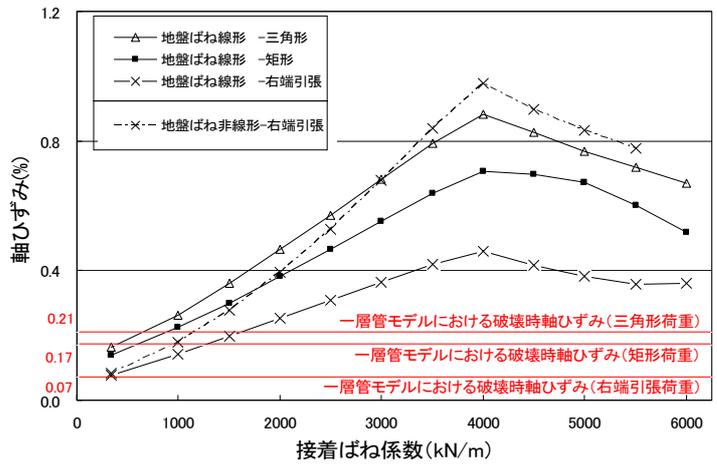


図-7 接着条件と軸ひずみ

すべての接着ばね係数において、三角形荷重、矩形荷重、端部引張荷重の順に耐える軸ひずみが小さくなることから、二層構造管は端部引張荷重に弱く、図-5 における区間 2 のような流動区間に隣接する非流動区間において破壊が生じやすいことが明らかとなった。さらに、破壊のモードとしては、おおむね接着ばね係数が 3,800kN/m を境界に、それ以下では既設管が抜け出し、それ以上では更生管が破断する結果となった。これは、接着ばね係数が小さいと既設管と更生管は一体となった挙動をせず既設管が抜けるため、図-8(a)で明らかのように更生管には軸応力がほとんど生じない。しかし、接着ばね係数が大きくなり固着したような状態になると、更生管において既設管の継手近傍で局所的に延びることから、図-8(d)のように軸応力が集中し更生管が破断するものと考えられる。耐震性の評価については、図-7 に示すようにヒューム管からなる一層管モデルでは三角形荷重で 0.21%、矩形荷重で 0.17%、端部引張荷重で 0.07%の軸ひずみを生じて破壊する。これより、ほとんどのケースで二層構造管が一層構造管より大きな軸ひずみに耐える結果となったことから、更生工法による耐震性向上が確かめられた。なお、実際の現象により近い非線形地盤ばねモデルにおいて、最適な接着条件では二層構造管は 0.99%のひずみに耐えることが明らかとなった。

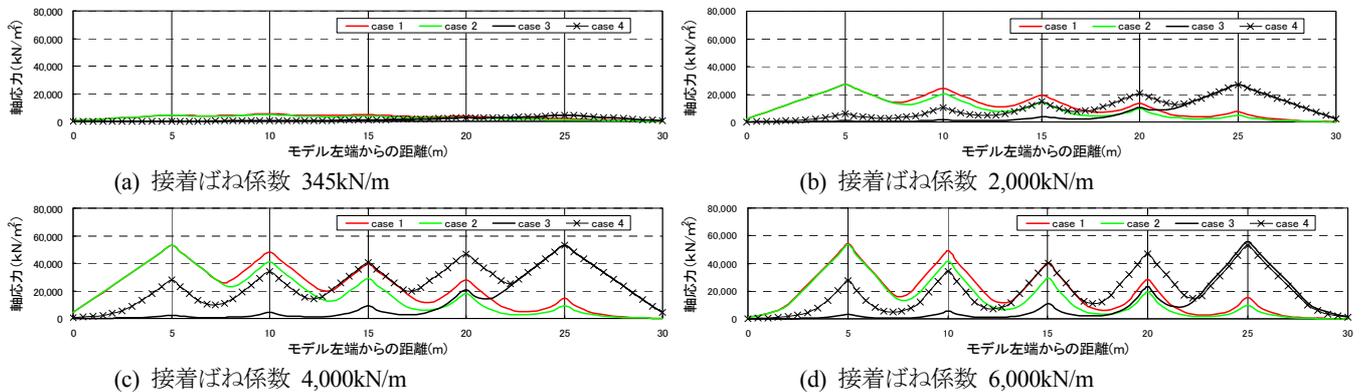


図-8 接着条件における更生管軸応力

4. まとめ

本稿では、二層構造管路における管軸方向解析モデルの構築を行い、側方流動時の管軸方向の耐震性を評価した。その結果、接着条件によって二層構造管の耐えることのできる軸ひずみが左右されることが明らかとなり、最適な接着条件は解析的に 4,000kN/m の値となることがわかった。このことから、二層構造管における接着条件を充填材などの使用によって最適な接着条件に近づけることが、二層構造管の耐震性の向上につながるという。

【参考文献】

- 1) 高田至郎：ライフライン地震工学，共立出版，1989.9.
- 2) 下水道新技術推進機構：管きよ更生工法（二層構造管）技術資料，2006.3.
- 3) Warren C Young：ROARK'S Formulas for Stress and Strain，McGraw-Hill International Editions，1979.12.
- 4) 青山博之・上村智彦：マトリックス法による構造解析，培風館，1988.2.
- 5) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説-2006年版-，pp.33-34，pp.40-47，2006.8.