

下水道管渠更生における複合管の設計と設計支援ソフトの開発

日本工営(株) 中央研究所 正会員 ○中村 ゆかり
 日本工営(株) 中央研究所 正会員 中野 雅章
 日本工営(株) 中央研究所 非会員 師 自海

1. はじめに

耐用年数を超過した老朽下水道管渠の増加に伴い、数多くの更生技術の開発・実用化が進められている中で、既設管の残存耐力を期待し、既設管とその内側の更生部材が一体化するよう補強する複合管更生工法がある。複合管の設計においては、限界状態設計法に基づき既設管の老朽状態を反映しつつ、既設管と更生部材からなる複合構造物が使用限界と終局限界に至るまでの挙動を考慮し、評価する必要がある。本稿では、設計における複合管の解析モデルについて述べると共に、この設計の考え方を導入し開発した設計支援ソフトの機能について紹介する。

2. 複合管の設計の考え方

(1) 解析手法

著者らは、複合管の設計に適用すべく、各種劣化状態を人為的に再現した管とそれらを複合管更生工法の一つである SPR 工法により更生した管で実施された破壊試験¹⁾について分布ひび割れモデル²⁾に基づく二次元非線形 FEM 解析を実施し、解析手法の検証を行った。その結果、ひび割れ発生荷重と最大荷重に関して解析値と実験値が±15%以内の精度で再現でき、破壊に至るまでのひび割れ進展・変形挙動についても試験結果とほぼ一致することを確認したことから、本手法を設計で用いている。

(2) 複合管のノーテンション界面モデル

複合管のように既設管とそれとは材料特性の異なる更生部材から構成される複合構造のモデル化を行う場合には、その界面の付着性能について特に注意が必要である。複合管は、既設管とその内側の更生部材が注入モルタルによって一体化されるが、その界面において特別なせん断補強処理を施したものではない。よって、下水管の敷設環境を考慮すると、設計においては破壊に至るまで既設管と更生部材を完全一体化としてモデルリングすべきではないと考えた。著者らは複合管の設計において既設管と更生部材の付着性能について界面の直角方向に圧縮力が作用する場合には直応力とせん断応力共に伝達するが、引張力が生じる場合には直応力およびせん断応力の伝達を切断するノーテンションモデルとし、複合管の終局耐力を評価することとした。解析モデルでは、既設コンクリート部と更生部材の界面に厚さゼロのダミー要素を設け、その構成節点中の重複節点をばねで繋ぐ(図-2)。

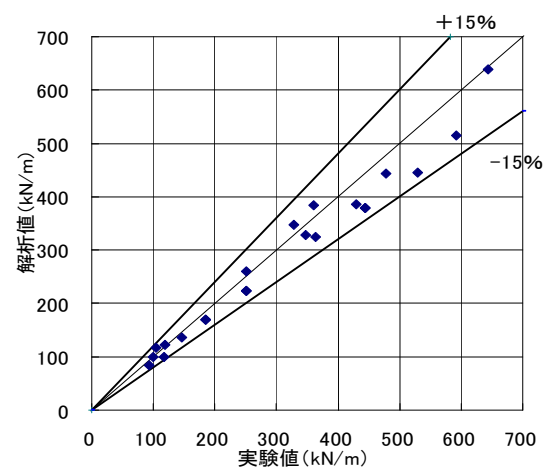


図-1 実験値と解析値の比較(最大荷重)

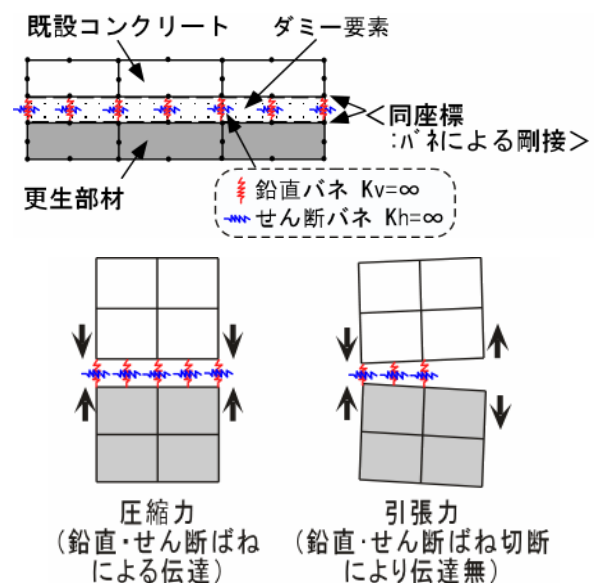


図-2 界面モデル

キーワード 複合管、下水道管渠、補強設計、設計支援システム

連絡先 〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304 日本工営(株)中央研究所 TEL029-871-2032

(3) 複合管の解析モデルによる終局耐力の比較

内径 $\phi 1000\text{mm}$ (更生後: $\phi 900$) の円形渠を対象として、ノーテンションモデルによる複合管と破壊に至るまで完全一体化の場合、既設管と更生部材の界面で初期状態からせん断応力の伝達をしない二層構造の場合について解析を行った。解析結果を図-3に示す。完全一体化とした場合は、複合管や二層構造に対して1.3~1.6倍の耐力となっている。また、二層構造とした場合には、複合管に対して7割程度の耐力に止まっていることから解析モデルの違いにより耐力に大きな差が生じてしまうことが分かる。このように、複合管の耐力は完全一体化と二層構造の間にあるため、ノーテンションモデルによる解析アプローチは安全かつ合理的な設計を可能とする。

4. 設計支援ソフト

損傷過程を考慮した二次元非線形FEM解析は、老朽下水道管渠の更生設計において、合理的な設計を可能とする有効な手法であるが、解析プロセスが煩雑であることや高度な専門知識を必要とするなどの課題が残されていた。そこで、著者らはこれらを解決すべく同手法による設計の一連の流れをパッケージ化した設計支援ソフト³⁾を開発した。これにより設計者は一般的な構造計算ソフトと同等の扱いで、複合管の構造設計を実施可能となる。適用可能な管渠形状は、矩形渠、蓋掛け渠、馬蹄渠、円形渠であり、RC構造物のFEM用メッシュの自動作成に加え、断面力図、ひび割れ進展図等の結果出力や報告書作成機能をも有している(図-4)。常時荷重に対する安全性能照査に関しては、断面力照査に加え、管更生の手引き(案)(社)日本下水道協会⁴⁾において示されている、荷重係数による照査法の適用も可能となっている。更に、応答変位法に基づく耐震性能照査を行う機能も併せて持っている。

表-1 解析条件

材料	項目	数値	材料	項目	数値	単位
コンクリート	圧縮強度	63.9	充填材	圧縮強度	11.8	N/mm^2
	引張強度	4.27		引張強度	1.79	N/mm^2
	弾性係数	30.24		弾性係数	7.50	kN/mm^2
	ポアソン比	0.20		ポアソン比	0.24	—
	破壊エネルギー	116.9		破壊エネルギー	18.3	N/m
鉄筋	弾性係数	200.0	スチール補強材	弾性係数	170.0	kN/mm^2
	降伏強度	295.0		降伏強度	210.0	N/mm^2

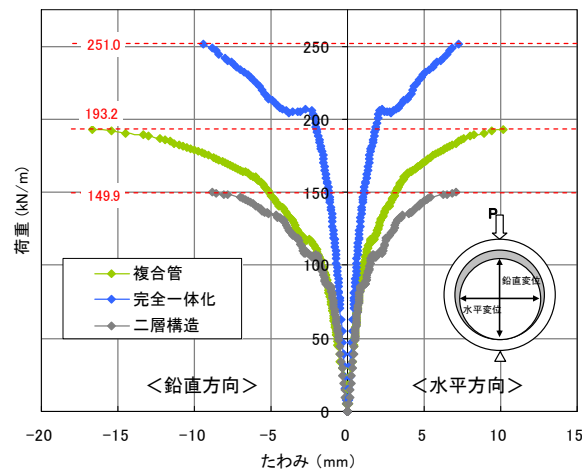


図-3 荷重-たわみ曲線

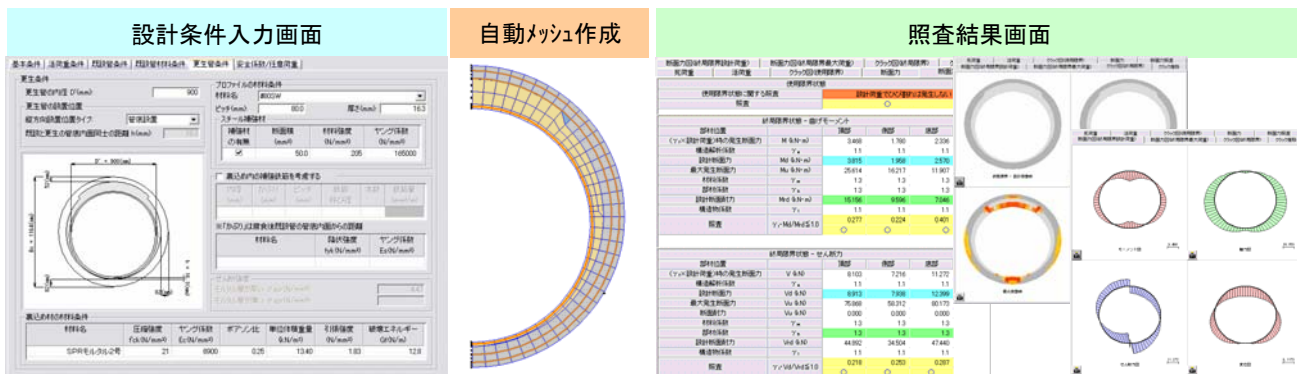


図-4 設計支援ソフトの概要

東京都下水道サービス㈱、積水化学工業㈱
足立建設工業㈱、㈱シビルソフト開発 との共同開発

5. まとめ

管渠更生における複合管の設計の考え方を界面におけるせん断力の伝達の観点から述べた。著者らは、本手法に基づき大都市を中心に過去に50幹線以上の設計を実施している。本手法は下水管渠の更生のみならず、他の地下管路構造物に関しても合理的な更生設計モデルとして適用できるものと思われる。

謝辞: 本稿の執筆にあたり、SPR工法の開発者である東京都下水道サービス㈱様、積水化学工業㈱様および足立建設工業㈱様に多大なご助力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Osako, K. and Itoh, M. Renewal of sewage structures using the SPR method. Civil Engineering Journal, 1998; 39 (10): 8-14.
- 2) 例えば、DIANA User's Manual, Release 9.3 (2008).
- 3) ㈱シビルソフト開発 HP : <http://www.civil.jp/sinsyohuin/kouseihukugou.html>.
- 4) (社)日本下水道協会: 管更生の手引き (案)、2001.6.