

リングパネル工法により更生されたコンクリート下水道管の耐力評価

九州大学工学部 学生員 ○笠 裕一郎

九州大学工学研究院 正会員 黄 玲

九州大学工学研究院 フェロー会員 彦坂 照

飯田建設株式会社 東 照剛

1. 緒 言

下水道の普及した大都市で、近年下水管が原因とされる道路の陥没が頻発している。その主たる原因は、硫化水素ガスの発生に起因する硫酸によるコンクリート管の腐食である。老朽化した地下埋設管を開削、撤去して再構築することは、交通、住民生活への支障と高いコストを伴うので、非開削・急速施工により老朽管を更生する新しい「リングパネル工法」が飯田建設(株)により開発されている。この工法は、硬質塩化ビニル樹脂の板パネルをマンホールから管内に搬入し、嵌合機構を利用して管形状に合わせたリングを形成した後、これに型枠を兼用させて裏込めモルタルを注入するものである。更生管に新管以上の耐荷能力を与えるため、既設管とリングパネルの間にはリング状鉄筋を配置する。本研究の目的は、この管渠更生工法の有効性を解析的に確認することにある。

2. 下水道用鉄筋コンクリート管の外圧試験

(社)日本下水道協会の規定¹⁾によれば、下水道用鉄筋コンクリート管の外圧試験は、供試管を台上に水平に置き、頂部および底部にゴム板と150×150mmの角材を当てて管体に均等に分布する鉛直荷重を加える方法で行い、同規定に示す荷重に耐えることを確認する。本論では、表-1の諸元と材料特性をもつ標準的な下水道管を対象とし、その腐食管をリングパネル工法により更生する場合を想定する。更生厚は、硬質塩化ビニル樹脂パネルの板厚5mmと裏込めモルタル厚の合計であり、裏込め部の補強鉄筋はリング方向にD13が200mmピッチで1段、また管軸方向にD10が1段配置されるものとする。

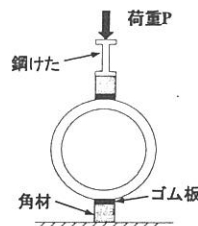


図-1 外圧試験方法

表-1 下水道用鉄筋コンクリート管の諸元・材料特性および更生厚

管内径 D (mm)	コンクリート			鉄 筋 (2段配置)			更生厚 (mm)
	管厚(mm)	かぶり(mm)	圧縮強度(N/mm ²)	径 (mm)	ピッチ(mm)	降伏強度(N/mm ²)	
1000	82	25	48	5	60	235	50
2000	145	25	48	6	55	235	75
3000	220	30	48	7	53	235	100

3. 円形リングの破壊荷重の簡易計算法

更生の必要な老朽下水道管には、コンクリートおよび鉄筋の腐食等の劣化が起こっているため、更生後の複合管の構造計算は、既設管の残存耐力を利用した破壊荷重の評価に基づくのが合理的である。管軸方向単位幅の下水道管を3次不静定の円形リングと考えれば、図-1の外圧試験においてリングは上下および左右に計4個の塑性ヒンジを形成して終局限界状態に至る。半径 r のリングの円周方向単位長当たりの自重を w とすると、図-2のリングのつり合い条件から外圧試験の破壊荷重 P_u は次式で求められる。

$$P_u = 2(M_{p1} + M_{p2}) / r \sin \alpha - 2wr\alpha \quad (1)$$

ここに、 M_{p1} 、 M_{p2} はそれぞれリングの正(内側引張)、負(外側引張)の断面耐力モーメント²⁾、 α は左右の塑性ヒンジの位置を表す角度である。上式右辺の第2項が管自重の影響による破壊荷重の低下を表す。

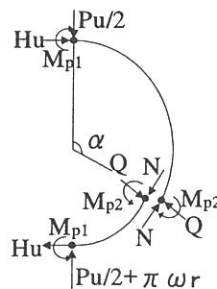


図-2 簡易解法モデル

4. 二次元非線形FEMによる鉄筋コンクリート管の解析

図-1と同じく管軸方向単位幅の下水管について、コンクリートに分布ひび割れモデルの4辺形要素、鉄筋にパイロニア型トラス要素を用いた二次元非線形FEM解析により外圧試験をシミュレートする。各管径ごとに次の3つのCaseを解析して、リングパネル工法による更生効果を確認する。

Case A：新管（無損傷）

Case B：腐食管（管の内側かぶりコンクリートが剥離し、内側主鉄筋の断面積が半減）

Case C：更生管（Case Bの腐食管に、リングパネル工法を適用）

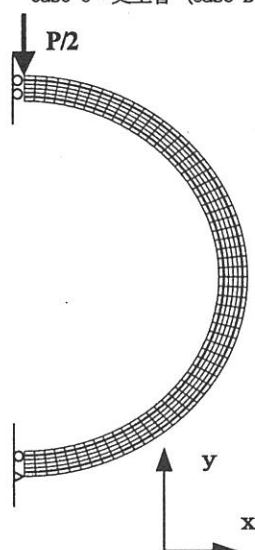


図-3 FEM解析モデル

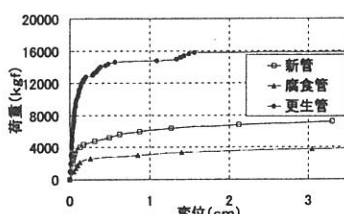


図-4 荷重-変位曲線(D1000)

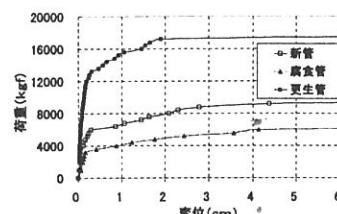


図-5 荷重-変位曲線(D2000)

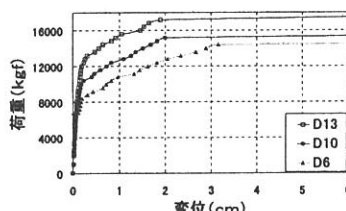


図-6 更生管の荷重-変位曲線(D2000)
(補強鉄筋径変化)

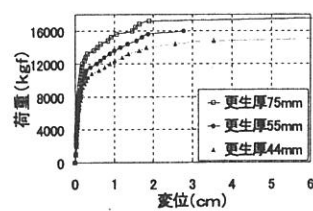


図-7 更生管の荷重-変位曲線(D2000)
(更生厚さ変化)

図-3のFEM解析モデルについては、いずれの管径においても半円リングモデルを用い、そのため荷重は上端に $P/2$ となり、また境界条件として下端の接点を x, y 方向固定、他の左端の接点を x 方向固定とする。要素分割はリング周方向に60分割、法線方向には管径に応じて4～6分割とする。図-4, 5は管径1000, 2000mmの円管における新管、腐食管、更生管の荷重-変位曲線である。図-6, 7は管径2000mmの円管において、それぞれ更生部の鉄筋量、更生厚さを変化させたときの荷重-変位曲線である。表-2は新管の破壊荷重をFEMと簡易解法で求め、比較したものである。簡易解法による破壊荷重は、FEM値より小さく安全側になっている。

表-2 FEMと簡易解法による破壊荷重値（新管、単位 kgf）

管内径D(mm)	1000		2000	
	自重考慮	自重無視	自重考慮	自重無視
FEM	7200	8000	9200	10800
簡易解	4193	4547	5948	7124

5. 結 語

腐食状態での下水管の破壊荷重は新管のそれより低下するが、リングパネル工法で更生することにより新管を大きく上回る値に回復させることができる。また、更生部の鉄筋量・更生厚さ等を調整することにより、経済的に所要の強度を発揮させることができる。簡易計算で求めた破壊荷重値は、FEM解析値よりも小さく、安全側にあることが確認できる。

参考文献

- (1) (社) 日本下水道協会：下水道用鉄筋コンクリート管（JAWAS A-1-1987）、1987年。
- (2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕、2002年。