

塩化ビニルと螺旋状 FRP を用いた中口径下水道更生管に関する研究

大成建設 正会員 ○坂田 賢亮 京都大学地球環境学堂 正会員 古川 愛子
京都大学地球環境学堂 正会員 清野 純史

1. 序論

我が国では、下水道用鉄筋コンクリート管の経年劣化の問題が深刻化しており、劣化した下水道管の更生を進めることが急務である。既設管の口径に応じて様々な更生工法が存在し、小口径管（外径 450mm 程度未満）に対しては、既設管内に塩化ビニル管（PVC 管, Polyvinyl Chloride 管）を引き込み、蒸気により加熱拡張させて既設管内面に密着させる更生工法が主流である。しかし、この工法を中口径管（外径 450~700 mm 程度）に適用すると、PVC 管の管厚が大きくなりすぎ、施工が困難になるだけでなく流下能力も低下するため、管厚を抑えるために高強度の補強材を併用することなどが必要となってくる。本研究は、中口径管に対する新更生工法としてクボタシーアイ㈱により開発中の PVC 管と螺旋状の FRP（Fiber Reinforced Plastics）を組み合わせた更生管について研究を行うものである。

2. PVC 管と螺旋状 FRP を用いた更生管

対象とする更生管は、図-1(a)に示すように剛性の高い螺旋状の FRP とライニング材としての PVC 管から成る 2 層構造である。PVC と FRP の両方で土圧や活荷重等の外力に耐え、PVC で外水圧に耐えることを期待している。図-1(b)に更生管断面図を示す。

現行の管厚設計式は更生管が単一部分材で成り立つことを前提としており、本研究で取り扱う 2 層構造の更生管には適用出来ない。そこで筆者らは、2 層が独立している状態及び一体化している状態の 2 通りの仮定に分けて 2 種類の管厚設計式を提案した¹⁾。これら 2 つの仮定における 2 層の直ひずみ分布図の概念図を図-2 に示す。独立状態ではひずみが境界で不連続（図-2(a)）、一体化状態ではひずみが 2 層間で連続している（図-2(b)）。しかし、独立および一体化というのは両極端の仮定である。実際の 2 層間には、2 層が接触しているときは径方向に圧縮力と周方向に摩擦等が働き、非接触時に力の伝達はない。そこで本研究では、有限要素法の接触解析を用いて、PVC と FRP の間の接触お

よび摩擦を考慮することにより、本更生管の詳細な挙動および許容管厚を調べ、既往の設計式による許容管厚との比較を行うことを目的とする。

3. 偏平試験

PVC の管厚 7.62mm、FRP の管厚 8.0mm の更生管に対して偏平試験を実施した（図-3）。管頂に 25.7kN/m の線荷重を与えたときの管頂の偏平量が 22.3mm となった。

3. 偏平試験の再現解析

(1) 解析条件

2 次元有限要素法の接触解析により偏平試験を再現した。解析モデルは、PVC と FRP それぞれを管径方向に 8 分割、周方向に 1440 分割し、偏平試験と同じ荷重をモデル管頂の節点に与え、モデル底面の 3 節点を拘束した。解析に用いた物性値を表-1 に示す。2 層間の摩擦はクーロンモデルを使用し、粘着力は 0.2kN/mm^2 、内部摩擦角は 8.05° とした。これらは実験により計測した値である。

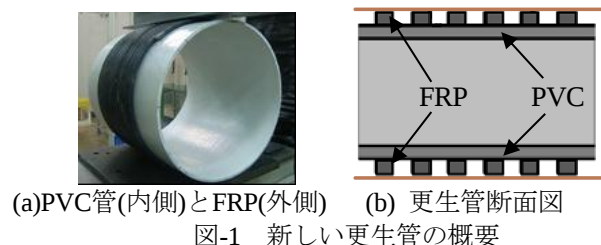


図-1 新しい更生管の概要

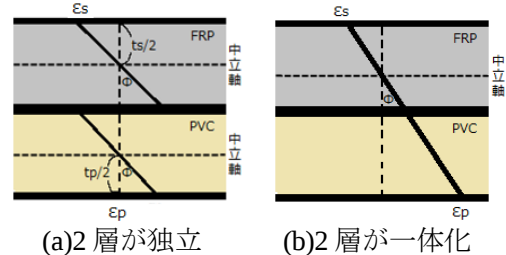


図-2 仮定した 2 層の直ひずみ分布図



図-3 偏平試験

キーワード 更生管, PVC 管, 螺旋状 FRP, 接触解析, 許容管厚

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター

(2) 解析結果

管頂変位は実験が 22.3mm であるのに対し、解析では 22.52mm と同程度となり、解析手法の妥当性が確認できた。2 層の境界におけるずれは、管頂から 40 度の地点で最大（約 0.6mm）となった（図-4）。この地点における直ひずみ分布は図-5 左のようになり、2 層の独立の仮定（図-2(a)）に近いが、PVC の直ひずみ分布は中立軸で対象になっておらず、PVC により大きな圧縮ひずみが発生していることがわかった。比較のため、摩擦力と内部摩擦角をともに 0 としたときの直ひずみ分布を求めたところ、図-5 右のようになった。以上より、PVC により大きな軸ひずみが働いていたのは 2 層間の摩擦によるものであることがわかった。

4. 接触解析による許容管厚の算定

現行の管厚設計の考え方に従うと²⁾、①PVC の曲げ強度、②FRP の曲げ強度、③管頂のたわみ率、④必要流量、⑤座屈について、許容値を満たすように許容管厚の範囲が決定される。④必要流量の条件式から 2 層の層厚の和の上限値が決まり、⑤Timoshenko の薄肉円環座屈式から PVC の許容管厚の範囲が求まる。既往研究¹⁾では、2 層が独立のときと一体化のときのそれぞれの仮定において、①②③を満たす PVC と FRP の管厚の範囲をグラフ化した。本研究では、2 層の接触と摩擦を考慮に入れた接触解析によって①②③を満たす管厚の範囲を求める。解析では、PVC と FRP の層厚を 0.5mm 刻みで細かく設定した。

PVC 管の設計曲げ弾性係数 1041N/mm^2 、設計曲げ強度 12.8N/mm^2 、FRP の設計曲げ弾性係数 12500N/mm^2 、設計曲げ強度 160N/mm^2 とした。荷重条件として埋設位置を地下 5m、地下水位 1m、車両重量 T-25 とした。その他の条件は論文¹⁾に記載の通りである。

2 層の独立と一体化を仮定して得られた許容管厚の範囲と、接触解析により得られた許容管厚の範囲を図-6(a)(b)(c)に示す。接触解析から求まる許容管厚の限界を表す曲線は、2 層の独立を仮定したものに近いことが分かる。また、図-6(a)(c)の比較より、③たわみ率と⑤Timoshenko の座屈式の交点から求まる FRP の最小管厚は、2 層の独立を仮定したときよりも接触解析の方が約 1mm 低減できることが分かる。これは、2 層間に摩擦が発生することで、2 層モデルの見かけの曲げ剛性が独立状態よりも増加するためと考えられる（図-6(d)）。

5. 結論

本研究では、有限要素法の接触解析を用いることで、2 層構造の更生管の扁平試験を良好な精度で再現することができた。2 層間の摩擦を考慮すると、2 層を独立と仮定する場合よりも見かけの曲げ剛性が増加するため、FRP の管厚を約 1mm 低減できることがわかった。

謝辞 クボタシーアイ(株)の原田様、堀様、中村様には、研究を進めるにあたり様々なサポートをして頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1)清野他、構造工学論文集、Vol.59A、pp.957-966、2013。2)日本下水道協会：管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き（案）、2008

表-3 解析パラメータ

	PVC	FRP
弾性係数 (kN/m ²)	2.4×10^2	3.275×10^3
ポアソン比	0.38	0.24

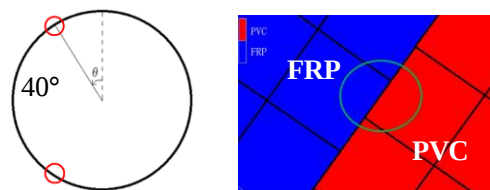


図-4 管頂から 40 度地点における周方向のずれ

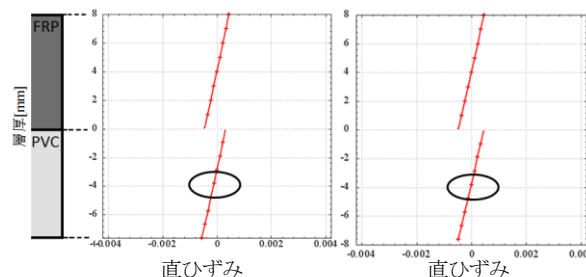


図-5 管頂から 40 度地点における直ひずみ分布
(左:摩擦を考慮したとき,右:摩擦を 0 としたとき)

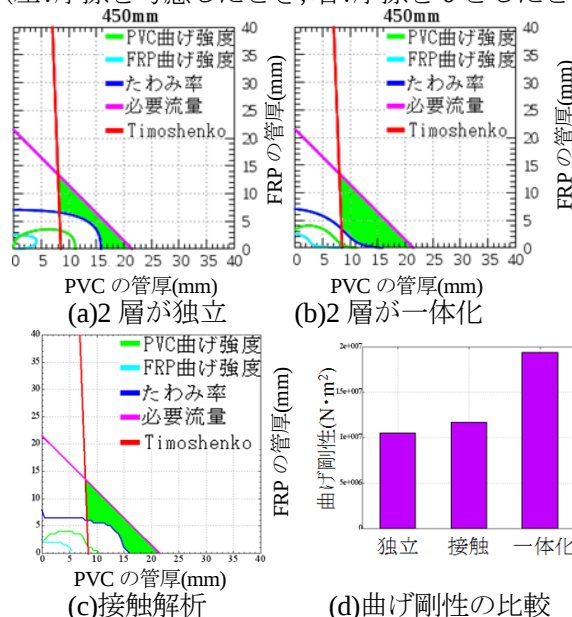


図-6 許容管厚範囲