

京都大学工学部 学生員 ○坂田 賢亮
 京都大学大学院工学研究科 正会員 清野 純史
 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 Freddy Duran
 京都大学大学院工学研究科 学生員 常井 友也

1. 研究の背景と目的

我が国では、これまで広く使用されてきた下水道用鉄筋コンクリート管（ヒューム管）の経年劣化による問題が懸念されている。また、自立管による更生工法を中口径管に適応すると管厚が大きくなり過ぎ施工が困難であるため、現在中口径管に対する自立管としての更生工法は存在しない。

本研究は、中口径既設管に対する自立管の新更生工法として、PVC(Polyvinyl Chloride)管と螺旋状FRP(Fiber Reinforced Plastics)を用いた更生管について研究を行うものである。

2. 偏平試験

日本下水道協会の規定により、更生管は管頂に与えた一定の線荷重に対する偏平量が表 1 に示す値未満でなければならないとされている¹⁾。本研究で用いる更生部材に対し偏平試験を行ったところ、図 1 に示す通り PVC 管周りの FRP コイルの有無によって更生管の偏平強度が大きく変化することが分かった。

表 1 偏平量と線荷重¹⁾

外径(mm)	偏平量(mm)	線荷重(kN/m)
450	24	7.45

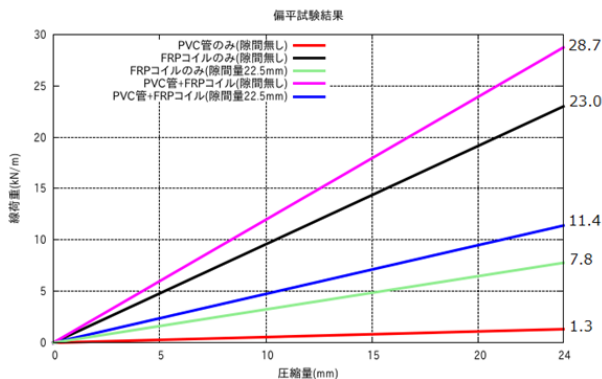


図 1 偏平試験結果

3. 自立管の管厚設計

自立管とは、既設管の耐荷力を見込まず、管に作用する外力に対して自ら抵抗するものとして管厚設計を行うことが定められている²⁾。

しかし、現行の管厚設計式は更生管が単一部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 層構造の更生管に現行の管厚設計式を用いることはできない。そこで更生管の状態を 2 層が独立している状態、2 層が一体化している状態の 2 ケースに分け、本更生管のための曲げ強度に関する式とたわみ率に関する式を新たに導いた。

また、必要流量を満足するための水理公式による計算式と、PVC 管が外水圧に耐えるための Timoshenko の薄肉円環座屈式を 2 つの状態それぞれに適応することとする。

3.1 2 層が独立している状態

曲げ強度に関する式は長方形断面を持つ PVC 管、FRP コイルのそれぞれが、曲率 ϕ だけ変形したときに発生する最大曲げ応力が各材料の設計曲げ強度を下回ることを示しており、以下の 2 式で表される。

$$E_p \times \frac{t_p}{2} \times \phi < \sigma_p \tag{1}$$

$$E_s \times \frac{t_s}{2} \times \phi < \sigma_s \tag{2}$$

ただし、

$$\phi = \frac{1}{12} (E_p t_p^3 + \alpha E_s t_s^3) / \frac{M}{b} \tag{3}$$

である。

ここで E_p , E_s はそれぞれ PVC 管, FRP コイルの曲げ弾性係数(N/mm²), t_p , t_s はそれぞれ PVC 管, FRP コイルの管厚(mm), σ_p , σ_s はそれぞれ PVC

管, FRP コイルの設計曲げ強度(N/mm²), M は更生材に発生する曲げモーメント(N・mm), α はPVC管とFRPコイルの長手方向の長さの比, b は長方形断面の幅(mm)である。

たわみ率に関する式は, 更生管のたわみ率 V (%)が日本下水道協会の規定値 5%を下回ることを示しており, 以下の式で表される。

$$V = \frac{(K_1q + K_2p)(D - t_p - t_s)^3}{E_p t_p^3 + \alpha E_s t_s^3} \times 75 < 5 \quad (4)$$

ここで K_1 , K_2 はたわみ係数, q は土荷重による鉛直土圧(N/mm²), p は活荷重による鉛直土圧(N/mm²), D は更生管外径(mm)である。

3.2 2層が一体化している状態

曲げ強度に関する式を以下に示す。

$$\frac{E_p M}{EI_{\text{一体}}} h < \sigma_p \quad (5)$$

$$\frac{E_s M}{EI_{\text{一体}}} (t_p + t_s - h) < \sigma_s \quad (6)$$

ただし, h は一体化した2層構造の中立軸の下からの位置(mm)である。

たわみ率に関する式を以下に示す。

$$V = \frac{(K_1q + K_2p)(D - t_p - t_s)^3}{EI_{\text{一体}}} \times 50 < 5 \quad (7)$$

3.3 PVC管とFRPコイルの許容管厚

前節に示した管厚算定式を(t_p - t_s)平面に表したものを図2に示す。図2のうち, 左図は2層が独立している場合, 右図は2層が一体化している場合である。また, 緑色の領域が全ての計算式を満たす領域である。ただし更生管の埋設条件として土被り 5m, 地下水位 1m, 10tトラックによる活荷重を想定し, 更生管外径 $D=450$ mm, $\alpha=1.0$ とした。

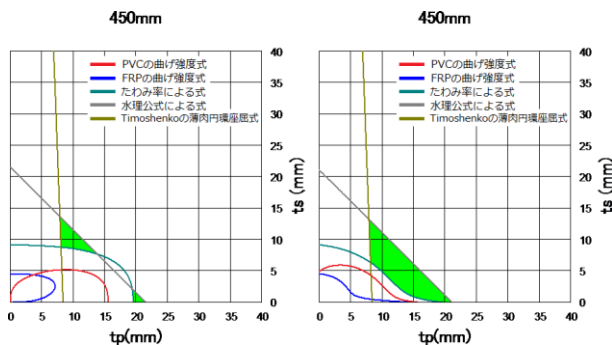


図2 許容管厚

(左図は2層が独立, 右図は2層が一体化)

表2 各材料パラメータ

	PVC管	FRPコイル
せん断波速度 (m/s)	788.6	799
密度 (g/cm ³)	1.4	1.83
ポアソン比	0.38	0.24
奥行き (m)	0.0225	0.0225

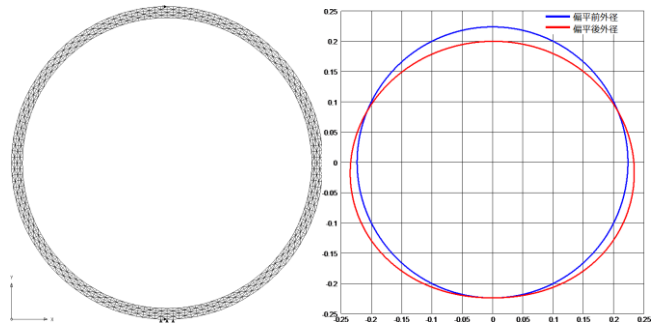


図3 解析モデル

図4 偏平図

4. 有限要素法による二次元静的解析

偏平試験の再現を目的とし, 有限要素法を用いた二次元静的解析を行った。解析モデルはPVC管とFRPコイルを合わせたものであり, 図3に示すように定むずみ三角形要素を用いた。節点数は800, 要素数は1280となっており, 各材料パラメータは表2に示す通りである。偏平試験では管頂に0.83kNの荷重を与えた際の偏平量が22.4mmであったが, 解析によって得られた偏平量は23.7mmであり, 誤差が5.80%であった。偏平図を図4に示す。

5. 結論

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 2層系の管厚算定式を新たに提案した。2層の一体化を実現できる工法を開発することで各更生材の管厚を減少させることが可能となる。
- FEM解析の課題として, 2層間のジョイント要素の決定及び提案式を用いたモデルに対し実際の土荷重や活荷重に対する解析を行わなければならない。

謝辞

クボタシーアイ(株)管更生事業ユニットの米田隆一様, 梯晃一郎様, 堀智明様, 中村良一郎様には, 本研究の実施にあたり非常に多くのご支援とご協力を頂戴しました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 社団法人 日本下水道協会:「下水道用硬質塩化ビニル管 (JSWAS K-1)」, 2010.
- 社団法人 日本下水道協会:「管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き (案)」, pp.26-45, 2008.