

新工法による下水道更生管の強度設計および耐震安全性に関する研究

清野純史*

1. 研究の目的

我国では、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。

本研究では、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)を用いた更生管の強度設計と耐震設計への基礎的考察を行った。

2. 研究の方法

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定められている。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、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。

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。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 Manning 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。

(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、以下の式で表される。

$$E_p \times \frac{t_p}{2} \times \phi < \sigma_p \quad (1) \quad E_s \times \frac{t_s}{2} \times \phi < \sigma_s \quad (2) \quad \phi = \frac{1}{12} (E_p t_p^3 + \alpha E_s t_s^3) / \frac{M}{b} \quad (3)$$

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。

$$V = \frac{(K_1 q + K_2 p)(D - t_p - t_s)^3}{E_p t_p^3 + \alpha E_s t_s^3} \times 75 < 5 \quad (4)$$

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。

(2) 2 層が一体化している状態

*京都大学・大学院工学研究科・教授

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。

$$V = \frac{(K_1 q + K_2 p)(D - t_p - t_s)^3}{EI_{\text{一体}}} \times 50 < 5 \quad (7)$$

(3) PVC 管と FRP コイルの許容管厚

前述の管厚算定式を (t_p, t_s) 平面に表したものを図-1に示す。図-1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 $D=450\text{mm}$ 、 $\alpha=1.0$ とした。

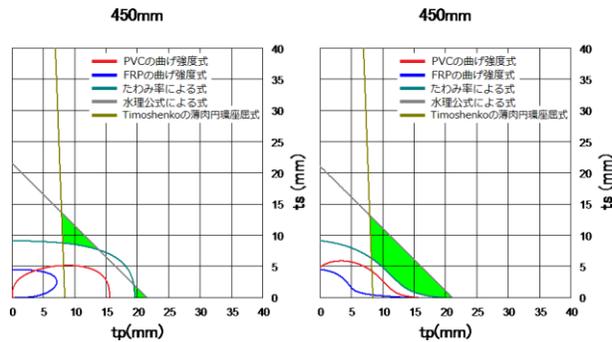


図-1 許容管厚

さらに、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。偏平試験では管頂に 10.83kN 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。

3. 得られた成果

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 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。
- 2) 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に地中ではたらく荷重に対する挙動を解析しなければならない。

4. 謝 辞

本研究はクボタシーアイ(株)より委託されたものである。研究遂行にあたりお世話になったクボタシーアイ関係者各位、また解析を行なっていただいた京都大学工学研究科・古川愛子准教授および京都大学大学院生の坂田賢亮君に深甚なる感謝の意を表する次第である。