

第3章 取付け管更生工法の設計

3-1 自立管仕様の設計手法

3-1-1 概要

「管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」にある自立管の設計手法は、本管更生工法を対象としているため、そのまま取付け管更生工法に適用すると問題が生じることが考えられる。

また、自立管設計手法は JSWAS K-1 や JSWAS K-2 の設計手法を参考としているが、取付け管の場合、「下水道施設計画・設計指針と解説 前編 -2001年版-」(社)日本下水道協会においても具体的な設計方法は記載されていない。

そこで、取付け管更生の設計における問題点を考慮し、取付け管更生工法の自立管仕様設計と二層構造管仕様設計の手法について整理する。

3-1-2 従来手法の問題点

自立管の設計手法は、「管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」に示されている。この手法は、更生管に土圧と活荷重を作用させ、更生管の曲げ強度とたわみ率による更生管厚をそれぞれ算出し、厚い結果を採用することになっている。

この計算で必要となる計算条件としては、以下の項目が挙げられる。

- ① 更生管管径
- ② 土被り
- ③ 設計荷重(自動車荷重、軌道荷重等)
- ④ 仮想掘削幅

従来手法で取付け管の自立管仕様を設計する場合、問題となる条件は“②土被り”である。取付け管は、本管に比べると勾配がきつく、上流(柵側)と下流(本管側)の土被りに大きな差がある。さらに取付け管の場合、下流側の正確な土被りを把握することが困難である。

土被りが浅い場合、活荷重の影響が大きくなり、更生管の管径によっても異なるが、小口径の場合、土被りが 1.0m 以下であると活荷重は土圧の数倍になる。それに伴い更生管の厚さも厚くなるため、非経済的と考えられる。

3-1-3 自立管設計の基本的な考え方

「下水道施設計画・設計指針と解説 前編 -2001年版-」(社)日本下水道協会において、取付け管の具体的な設計方法は記載されていない。指針では、管種に対する記述があるのみで、以下のように記載されている。

管種は、陶管、鉄筋コンクリート管、硬質塩化ビニル管又はこれと同等以上の強度及び耐久性のあるものを使用する。

つまり、取付け管の設計に具体的な式や設計値はないということになる。自立管も前述している管種のどれかと同等以上の強度と耐久性を証明することが出来れば問題ないと考えられる。

取付け管の更生工法は、熱や光で硬化する樹脂を不織布に含浸させた材料を硬化させるか、挿入可能な断面に変形させた熱可塑性樹脂パイプを蒸気で拡張後、冷却固化させる方法になる。このことから、前述の管種のうち硬質塩化ビニル管(以下「塩ビ管」とする)が性質的に最も近いと考えられる。なお、硬化性樹脂を用いた更生工法の場合は、強化プラスチック複合管(JSWAS K-2)の方により近いと考えられるが、取付け管で強化プラスチック複合管が使用されることが無いため、熱硬化および熱可塑の更生工法ともに、塩ビ管と同等以上の強度と耐久性を証明すれば良いと考えられる。

①強度について

塩ビ管(JSWAS K-1)における強度は、引張強度と偏平強度とがある。一般的に更生工法は、塩ビ管と異なり曲げ強度を保証値として設計に使用するため、引張強度では比較することが困難である。

そこで強度の比較は、JSWAS K-1 の偏平試験から線荷重を求め、その値を塩ビ管の線荷重以上であることを確認する。

円環のたわみ式と短期曲げ弾性係数から、必要ライナー厚さを逆算する事がある。この計算はライナーが 5%たわむ時に塩ビ管と同等以上の偏平強度を有する厚さを求めるものである。しかし、この計算の場合、ライナーが 5%たわむ時に作用させる力は分かるが、この力がどの程度の外力(土圧+活荷重)に相当するか不明である。従って、偏平計算による厚さはオーバースペックの可能性が強い。しかし、実際に偏平試験を行えば、計算で求まる厚さより薄くても問題ないことが判明する場合もある。

そのため、本技術資料では、計算式を用いた設計手法ではなく、性能設計手法をとり、基準物性値を満足していれば設計する必要はないという考え方を採用した。

② 耐久性について

JSWAS K-1 では耐久性について具体的な記述はない。しいてあげるならば、耐薬品性がそれに当たると考えられる。そこで、熱可塑性樹脂を使用した更生工法については、JSWAS K-1 の耐薬品性試験に準拠して耐薬品性を確認する。

一方、熱硬化性樹脂を用いた更生工法は、塩ビ管よりも強化プラスチック複合管に特性が近いと見られる。強化プラスチック複合管の基準に準拠したほうが良いと考えられる。そこで、JSWAS K-1 の耐薬品性試験で使用する薬品と同じ薬品で耐薬品性試験を行う JSWAS K-16(下水道内挿用強化プラスチック複合管)の規格に準拠して耐薬品性を確認する。

さらに耐久性を検証する方法として、耐摩耗性試験を行うことが望ましい。塩ビ管の規格にはないが、本管に比べて、取付け管では砂や夾雑物による管体の摩耗も大きいと考えられる。また、「管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」では試験項目になっている。

このことから、取付け管更生工法においても耐久性確認として耐摩耗性試験を行い、塩ビ管と同等以上の性能を確認する。

3-1-4 まとめ

取付け管更生工法の自立管仕様については、表 3-1 の項目を満足させることで設計に代えるものとする。

表 3-1 取付け管更生工法 自立管仕様 要求項目一覧表

項目	試験方法	評価基準
耐荷能力	JSWAS K-1 による 扁平試験	試験片の線荷重が、JSAWS K-1 に示す線荷重以上であること。
耐薬品性	JSWAS K-1 もしくは JSWAS K-16 に 準拠した耐薬品性 試験	JSWAS K-1 もしくは JSWAS K-16 と同等以上の耐薬品性を有すること。
耐摩耗性	JIS K7204 JIS A1452	下水道用塩化ビニル管の摩耗試験を行い、更生材の摩耗量と比較して、摩耗量が塩ビ管と同等程度であることを確認する。

3-2 二層構造管仕様の設計手法

取付け管更生における二層構造管は、外水圧に対抗することを目的とする。

設計手法は、本管更生の二層構造管と同じチモシェンコの円環座屈式を採用する。

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2C \cdot K \cdot E_L}{P_w \cdot N \cdot (1 - \nu^2)} \right]^{1/3} + 1}$$

ここに、

D : 更生管外径

K : 支持向上係数(=7.0)

E_L : 設計曲げ弾性率

P_w : 更生管に作用する外水圧

N : 安全率(=2.0)

ν : ポアソン比

C : 楕円変形係数

$$C = \left[\frac{1 - q/100}{(1 + q/100)^2} \right]^3$$

q : 既設管の楕円率

更生管に外水圧のみが作用する場合 $q=0\%$

前節でも問題点とした土被りに関しては、より深い下流側(本管側)の土被りを使用することが望ましい。しかし、本管側の土被りを正確に把握することは困難であることも先に述べた。実際には、本管設計においても地盤形状によっては管路中央付近と人孔付近での土被りが極端に異なることも考えられるが、設計においてはそこまで考慮していないのが実情である。そこで、二層構造管仕様の設計では、取付け管が接続する本管の上下流人孔部のどちらか深い方を計算条件として採用する。

安全率は、「管きよ更生工法(二層構造管) 技術資料 -2006年3月-(財団法人 下水道新技術推進機構)を参考に $N=2.0$ とする。同様に支持向上係数は、 $K=7.0$ を採用する。

3-3 本管更生自立管仕様の設計手法(参考)

「管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き(案) 平成 20 年 9 月」に示されている自立管設計更生管厚算定式を以下に示す。

(1) 土による鉛直土圧

土による荷重は、a. ヤンセン公式と b. 垂直公式のどちらか、又は両方を用いて算出する。

管周辺の地盤が乱されない場合には a. ヤンセン公式で算出し、乱される場合には、土被り 2.0m までは b. 垂直公式、それ以上は b. 垂直公式で算出した 2.0m の土圧と a. ヤンセン公式の土圧を比較して大きい方を採用する。管周辺の地盤が乱れる場合とは、施工する既設管付近において他企業埋設物の新設や敷設替えが予定されている場合を示す。

《a. ヤンセン公式》

《b. 垂直公式》

$$q = \left(\frac{\gamma \cdot B_d}{2} - f \right) \cdot \left(\frac{1 - e^{-2K \cdot \mu \cdot H / B_d}}{K \cdot \mu} \right) \qquad q = \gamma \cdot H$$

ここに、 q : 土による鉛直土圧 (kN/mm²)

γ : 土の単位体積重量 (kN/mm³)

H : 土被り (mm)

f : 埋戻し土の粘着力 (kN/mm²)

B_d : 仮想掘削幅 (mm)

μ : 埋戻し土と側壁の摩擦係数 = $\tan \phi$

ϕ : 埋戻し土の内部摩擦角 (°)

$$K = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu}$$

K : 埋戻し土の主動土圧係数

(2) 活荷重による鉛直土圧

活荷重による鉛直土圧は下式より算出する。設計荷重は、「道路橋示方書・同解説」(平成 8 年 12 月 (社)日本道路協会)に基づくものとする。

$$p = \frac{2P(1+i) \cdot \beta}{C(a+2H \cdot \tan \theta)}$$

ここに、 p : 活荷重による鉛直土圧 (kN/mm²)

H : 土被り (mm)

P : 後輪荷重 (T-25;100kN、T-20;80kN、T-14;56kN)

a : 車輪接地長さ (mm)

C : 車体占有幅 (mm)

θ : 分布角 (°)

i : 衝撃係数(下表参照)

β : 低減係数

(3) 自立管設計更生管厚の算定式

自立管設計の更生管厚は、曲げ強度により算出される更生管厚と、たわみ率より算出される更生管厚を比較して大きい方の値を採用する。

(3)-a 曲げ強度の計算から求めた管厚算出式

下式において、曲げモーメント係数は JSWAS K-1 を参照すること。また曲げモーメント係数は、管頂と管底の 2 種類あるのでそれぞれに管厚を算出し、大きい方を選択すること。

$$t = \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3(k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}}$$

ここに、 k_1 : 土による曲げモーメント係数

k_2 : 活荷重による曲げモーメント係数

q : 土による鉛直土圧 (kN/mm²)

p : 活荷重による鉛直土圧 (kN/mm²)

σ : 設計曲げ強度 (kN/mm²)

D : 更生管外径 (mm)

(3)-b たわみ率の計算から求めた管厚算出式

下式において、たわみ係数は JSWAS K-1 を参照すること。

$$t = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E \cdot V}{75(K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}}$$

ここに、 K_1 : 土によるたわみ係数

K_2 : 活荷重によるたわみ係数

q : 土による鉛直土圧 (kN/mm²)

p : 活荷重による鉛直土圧 (kN/mm²)

E : 設計曲げ弾性係数 (kN/mm²)

V : たわみ率 (%)

D : 更生管外径 (mm)