



第3回 自立管の考え方

1. はじめに

管きよの敷設延長は、現在 40 万 km に達し、法定耐用年数を超えて老朽化した下水道管きよは 1 万 km を超え、5～10 年後に更新時期を迎える管きよが急激に増加し、管更生のニーズは確実に拡大していくものと考えられている。その中、昨年 12 月には国の指導のもと(財)日本下水道協会に『管路施設の更生工法に関する検討委員会』が設置され、「管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き案」が示される予定になっている。また、埋設されている既設管には、円形管だけではなく、矩形きよ、馬蹄きよ等の管きよも存在するが、全ての考え方を網羅することは別の機会に取り上げることとし、円形管についてのみ国内外の現状を紹介する。

2. 国内における自立管設計

2-1. 概要

平成 13 年 6 月に(財)日本下水道協会から発刊された「管更生の手引き(案)」¹⁾により、課題は残っているものの自立管の標準的な考え方が示され現在に至っている。その手引き(案)に沿って説明を行っていく。

(1) 自立管の定義

改めて自立管の定義について述べる。自立管とは、土圧および活荷重等に対して既設管の強度を期待せず、自らで抵抗するものであり、新管と同等以上の耐荷能力および耐久性を有するものとする。

(2) 基本的な考え方

自立管の更生材に使用している塩化ビニル樹脂および不飽和ポリエステル樹脂等は、新管である塩化

ビニル管や強化プラスチック複合管と材質等が類似し可とう性があることから、「下水道用硬質塩化ビニル管 (JSWAS K-1-2002)」²⁾ および「下水道用強化プラスチック複合管 (JSWAS K-2-2000)」³⁾ に準じて行うことを基本としている。

2-2. 設計

2-2-1. 荷重

土による鉛直土圧、活荷重による鉛直土圧に区分して荷重計算を行い、その総和とする。内容については、日本管路更生工法品質確保協会発刊「季刊管路更生」(第 2 号)⁴⁾ に詳しく紹介されているのでここでは省略する。

2-2-2. 設計曲げ特性

更生材であるプラスチック系材料は一般的にクリープ特性があり、諸外国では長期の曲げ強度および長期の曲げ弾性係数を設計値として採用している。従って、自立管の設計に用いる曲げ強度および曲げ弾性係数は、原則としてその長期試験値に更生材の現場硬化による品質のバラツキ等を反映したものととする。

(1) 長期曲げ特性の算出

ガラス繊維を更生材の補強材とする場合としない場合とでは算出方法が異なる。表 2-1 に算出方法を示す。

(2) 安全率

安全率の決定は、客観的データ等に基づき、「繊維強化プラスチック管 (JIS K 7013)」⁵⁾ の考え方を

表 2-1 曲げ特性の算出方法

更生材	試験体	曲げ強度	曲げ弾性係数
ガラス繊維を使用	リング状	10,000 時間の水中クリープ試験にて 50 年後の強度を推測	
ガラス繊維を未使用	短冊状	短期値から算出する保証値を安全率で除した値	1,000 時間のクリープ試験にて 50 年後の強度を推測

表 2-2 設計値の算出方法

更生材	曲げ強度	曲げ弾性係数
ガラス繊維を使用	長期曲げ強度を 1.5 で除した値	長期曲げ弾性係数を 1.5 で除した値
ガラス繊維を未使用	短期保証値を 5.0 で除した値 (= 長期曲げ強度)	長期曲げ弾性係数を 1.6 で除した値

参考にする。その一例が「管更生の手引き(案)」¹⁾内に、水中クリープ試験では1.5、空气中クリープ試験では1.6と記載されている。

(3) 設計値

曲げ特性に安全率を考慮したものが設計値であり、更生管厚を決める上で重要な値である。表2-2に設計値の算出方法について記載する。

このような考え方を基に各工法の設計値が設定されている。詳細な値は(財)下水道新技術推進機構発刊「管きよ更生工法(二層構造管)技術資料」⁶⁾の資料内に記載されているので参照のこと。

(4) 課題⁷⁾

① 長期曲げ特性^{1), 6)}

長期曲げ特性の算出方法に述べているように、平板から求めた数値もあればリングから求めた数値もあり、算出方法が統一されていない。

② 安全率¹⁾

曲げ弾性係数は材料固有の数値で、一般的には曲げ弾性係数に安全率は必要ないものとされている。硬質塩化ビニル管も同様で安全率を使用せず、さらに短期試験値の数値が使用されている。

③ 設計値¹⁾

硬質塩化ビニル管は短期の曲げ強度を安全率(=5)で除しているが、更生管は長期試験結果から外挿した値を同じ安全率で除している場合がある。また、短期保証値に安全率を掛けて使用したり、長期値を使用したりとバラバラである。

④ 品質管理^{1), 6)}

平板から求めた数値を使用して、施工後の品質を平板で確認するのであれば問題はないが、設計はリング、品質管理は平板で行う場合には矛盾が生じる。

2-2-3. 許容たわみ率

反転工法および形成工法による自立管の許容たわみ率は、管路機能の保持を考慮した5%とする。

2-2-4. 有効支承角

有効支承角が更生管厚に与える影響が少ないこと、設計の標準化および簡素化を図ることが望ましいことから、設計上の有効支承角は120°とする。

2-2-5. 更生管厚の算定式

更生管厚は、「下水道用硬質塩化ビニル管(JSWAS K-1-2002)」²⁾および「下水道用強化プラスチック複

合管(JSWAS K-2-2000)」³⁾に示す曲げ強度およびたわみ率の計算に準じて算出し、大きい方の値を採用する。

(1) 曲げ強度から求めた更生管厚

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

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)

(2) たわみ率から求めた更生管厚

$$t = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E \cdot V}{75(K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}} \dots\dots\dots (式 2-2)$$

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
 E : 設計曲げ弾性係数 (kN/mm²)
 V : たわみ率 (%)

ここで、更生管厚に用いる係数を表2-3に示す。

表2-3 管厚算定に用いる係数

項目		土による	活荷重による
曲げ強度	係数	k_1	k_1
	管頂の値	0.107	0.079
	管底の値	0.121	0.011
たわみ率	係数	K_1	K_1
	値	0.070	0.030

3. 海外における自立管設計

3-1. 概要

欧米において日本のJSWAS K-1(またはK-2)に該当するものとして、スパングラの設計式があり、日本国内においても下水道分野を除く他の分野(上水道、農水⁸⁾、石油等)で広く用いられ、可とう性管の標準設計手法になっている。また今現在幅広く用いられているものにASTM F1216-03⁹⁾があ

る。この設計手法は、実証実験により繰り返し検証され、欧米ではスタンダードになっている。今回は ASTM F1216-03⁹⁾ について説明を行い、スパングレーの設計式は第 6 回内圧管の考え方の中で述べる予定である。

(1) 自立管の定義

既設管が欠損なり、変形している場合および流体や土壌等の影響を受けて腐食をしている場合で、はっきりと判断できることが大前提になっている。

(2) 基本的な考え方

① 設計条件

土圧および外水圧が更生管の円周方向に均一にかかる。

$$p = p' + K_s \frac{w}{R} \dots\dots\dots (式 3-1)$$

- ここに、 p : 管に局部的に作用する圧力
- p' : 全体に均等に作用する圧力
- K_s : 弾性支持係数
- w : たわみ
- R : 半径

② 基礎式

基礎となる式はラスチャーの座屈荷重解析式である。参考までに式 (3-2) に紹介する。

$$q_t = 2 \cdot \sqrt{\frac{k_s \cdot EI}{r^3}} \dots\dots\dots (式 3-2)$$

- ここに、 q_t : 管径方向に作用する座屈力
- k_s : 土の反力係数
(AWWA 公式では $E' \cdot B'$ に置き換えられる)
- E' : 土の反力係数
- B' : 土の弾性係数
- EI : 管のたわみ剛性
- r : 管の半径

③ 浮力の検討

地下水位下の土が水の浮力を受けて見かけ上の単位体積重量が減少することを考慮している。

3-2. 設計

3-2-1. 荷重

国内とは異なる設計式を用いて土による荷重や自動車による活荷重を求めている。ここでは詳しく紹

介しないが、浮力を考慮した鉛直土圧、自動車による荷重および管頂に作用する外水圧の総和を総荷重として設計に反映している。

3-2-2. 設計曲げ特性

(1) 試験片

表 3-1 にサンプル採取方法を示す。

表 3-1 サンプル採取方法

試験体	採取方法
リング状	施工後マンホール内から硬化したサンプルを採取
短冊状	型枠内に硬化前の更生材を設置した後、サイレンサー内に設置し、硬化した後サンプルを採取

(2) 短期保証値

現場から採取した試験体から試験片を作成し、ASTM D790¹⁰⁾ に準じて試験を行う、その試験結果からバラツキ等を考慮して短期保証値を求める。

(3) 長期曲げ特性

水中クリープ試験にて 50 年後を外挿して長期曲げ弾性係数を求める。

(4) 安全率

明確な安全率の数値は表されていないが、一般的に曲げ強度では 5.0、曲げ弾性係数では 2.0 が採用される。

(5) 設計値

設計値について表 3-2 に示す。

表 3-2 設計値

項目	設計値
曲げ強度	短期曲げ強度を 5 で除した値
曲げ弾性係数	長期曲げ弾性係数を 2 で除した値

3-2-3. 更生管厚の算定式

基礎式であるラスチャーの座屈荷重解析式に、浮力係数、安全率、楕円変形率、更生材の長期曲げ弾性係数を考慮して式 (3-3) が導かれる。

$$q_t = \frac{c}{N} \cdot \sqrt{32 \cdot R w \cdot B' \cdot E'_s \cdot \left(E_L \cdot \frac{I}{D^3} \right)} \dots\dots (式 3-3)$$

また、式 (3-3) を変形して式 (3-4) を導く。

$$t = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot D^3 \cdot (q_t \cdot N / C)^2}{32 \cdot E_L \cdot R_w \cdot B' \cdot E'_s}} \dots\dots (式 3-4)$$

ここに、 q_t : 外圧の総計

$$q_t = W_V \cdot R_w + W_W + P_O$$

W_V : 鉛直土圧 (N/mm²)

W_W : 活荷重 (N/mm²)

P_O : 管底における作用外水圧(N/mm²)

$$P_O = 0.00001 \cdot H_{WL}$$

H_{WL} : 地下水頭圧 (mm)

C : 扁平による減少係数

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

q : 既設管の楕円率

$$q = \frac{\text{平均直径} - \text{最小直径}}{\text{平均直径}} \times 100$$

または、

$$q = \frac{\text{最大直径} - \text{平均直径}}{\text{平均直径}} \times 100$$

N : 安全率

R_w : 浮力

$$R_w = 1 - 0.33 \cdot (H_{WL} / H)$$

B' : 弾性支持係数

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0.002H})$$

H : 土被り (mm)

E'_s : 土の反力係数

E_L : 長期曲げ弾性係数 (N/mm²)

I : 断面二次モーメント

$$I = t^3 / 12$$

D : 更生材の外径 (mm)

【参考図書】

- 1) 「管更生の手引き(案)」平成13年6月 (社)日本下水道協会
- 2) 「下水道用硬質塩化ビニル管 (JSWAS K-1)」平成14年7月 (社)日本下水道協会
- 3) 「下水道用強化プラスチック複合管 (JSWAS K-2)」平成12年5月 (社)日本下水道協会
- 4) 「季刊 管路更生」(第2号) 2007年4月 日本管路更生工法品質確保協会
- 5) 「繊維強化プラスチック管 (JIS K 7013)」1997年
- 6) 「管きょ更生工法 (二層構造管) 技術資料」2006年3月 (財)下水道新技術推進機構
- 7) 「管更生の設計手法2002」2002年3月 管渠更生工法連絡会 (現日本管路更生工法品質確保協会)
- 8) 「土地改良事業計画設計基準 設計パイプライン」基準書・技術書 平成10年3月 農林水産省構造改善局
- 9) 「ASTM F1216-03」
ASTM : American Society for Testing and Materials
F1216 : Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by The Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube
- 10) 「ASTM D790」
D790 : Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

連載講座小委員会

委員長	宮川 恒夫	EX ダンビー協会・技術委員
委員	安井 聡	FFT 工法協会・技術委員
委員	池ヶ谷貴之	オールライナー協会・技術委員
委員	上垣 潔志	パルテム技術協会・技術部長
委員	眞田 和彦	光硬化工法協会・技術委員長