

第6回 自立管の試験方法

その6

1. はじめに

第6回目の連載講座は、「管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き（案）」に記載されている管きよ更生工法の評価項目のうち、“水理性能”について述べていく。水理性能に関する試験項目は、“粗度係数”と“成形後収縮性”となっている。これらの試験項目は、これまで連載講座で解説してきた試験項目と違い、JISやJSWASで試験方法が確立されていない。そこで、今回は各工法が審査証明取得時に実施している試験方法を中心に解説していく。

2. 下水管路の流量計算

一般的な下水管路は、水面を有する閉水路であることから、流量は、連続の式と平均流速の式を組み合わせる事により算出される。

連続の式は、式-1に示すように、流下断面積と平均流速の比例式で表される。式-1から分かるように、流下断面積が減少すれば流量は減少し、平均流速が速くなれば流量は増加する。

$$Q = A \times \bar{v} \quad \dots \text{式-1}$$

ここに、

$$\begin{aligned} Q &: \text{流量 (m}^3/\text{s)} \\ A &: \text{流下断面積 (m}^2\text{)} \\ \bar{v} &: \text{平均流速 (m/s)} \end{aligned}$$

更生管は、既設管に比べて流下断面積が減少するため流量も減少するが、更生対象である鉄筋コンクリート管や陶管に比べると、平均流速が速くなる。従って、管厚にもよるが、自立管の場合、実際の流量は1割程度増加することになる。

連続の式に用いる平均流速は、閉水路の場合、管路を更生する部材によって、数値が変化する。現在、国内で主に用いられている平均流速公式は、マンニング公式（式-2）とガンギレークッター公式（式-3）の2種類となる。

・マンニング式

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \dots \text{式-2}$$

・ガンギレークッター式

$$\bar{v} = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad \dots \text{式-3}$$

ここに、

$$\begin{aligned} \bar{v} &: \text{平均流速 (m/s)} \\ R &: \text{径深 (m)} \\ I &: \text{動水勾配 (\%)} \\ n &: \text{粗度係数} \end{aligned}$$

どちらの式も動水勾配 (I)、径深 (R)、粗度係数 (n) の関数となっている。

動水勾配は、水面勾配とも呼ばれているが、閉水路においては水路（管きよ）勾配と考えればよい。単独管では既設管の勾配をそのまま使用し、複合管では勾配調整をするか、しないかによって勾配を使い分けている。

径深は、水理学的平均水深ともよばれ、流水面積を潤辺で除したものである（式-4）。潤辺とは流水に接している水路壁の長さである。径深は、更生工法の種類に左右されない値となる。

$$R = \frac{A}{S} \quad \dots \text{式-4}$$

ここに、

$$\begin{aligned} R &: \text{径深 (m)} \\ A &: \text{流水断面積 (m}^2\text{)} \\ S &: \text{潤辺 (m)} \end{aligned}$$

以上のことから、平均流速公式の中で更生工法に由来するファクターは粗度係数のみとなる。この事

から、水理試験により更生工法の粗度係数を確認しておく必要がある。

3. 粗度係数の測定方法

粗度係数は、更生管による模擬管路を作成し、損失水頭または流量を測定し、計算により求める。

模擬管路は、管径により異なるが、十分な延長がないと損失水頭の測定が困難であったり、水面が乱れたりするので注意が必要である。

粗度係数を測定する水理試験としては、以下の二通りが考えられる。

3.1. 満管状態で測定

模擬管路に一定の流量を満管状態で流下させ、ピエゾメーターに設置したマンノメーターによって任意の2箇所（上流と下流）の水頭を測定する。測定箇所の間隔は、管径の20倍以上が望ましい。この時の模擬管路勾配は任意で構わない。

ピエゾメーターを管頂と管底の2箇所、または管側部を加えた4箇所に設置する事で測定の精度を高める事ができる。また、流速を数ケースについて計測を行う事でも精度を上げる事ができる。流量は下流に設置した量水槽で測定する。

図-1、写真-1～写真-5に実験施設概要図の1例を示す。

測定した動水位より動水勾配を求め、この動水勾配を用いてマンニング式より粗度係数を算出する。



写真-1 上流整流水槽



写真-2 実験水路全景

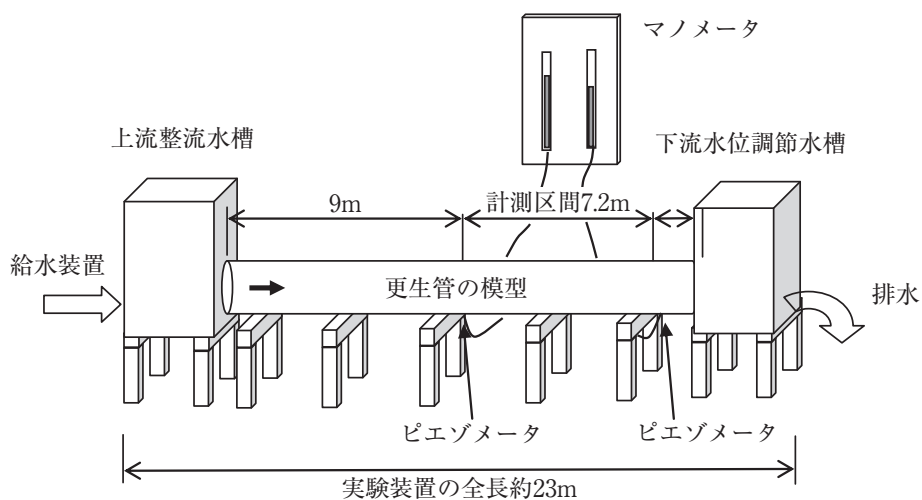


図-1 実験装置概念図



写真-3 ピエゾメーター、連結ホース



写真-4 マノメータ（水槽側面）



写真-5 量水槽、四角堰

3.2. 自由水面がある状態で測定

模擬管路の長さは、満管状態の時と同じように設定する。但し、管路勾配と限界勾配が同じになると、水面に波動が発生するので注意が必要である。

自由水面を持つ場合、管内の水位を測定して流水断面積を算出し、連続の式により平均流速を求める。水位の測定は、水面が安定している箇所でポイントゲージを使用して測定する。計算により求めた平均流速を用いてマンニング式より粗度係数を算出する。流量は下流に設置した量水槽で測定する。

自由水面を持つ場合は、水面形の測定をして、等流水深であることの確認が必要である。自然界において等流は存在しないと言っても良いので、満管状態での測定に比較すると、粗度係数測定の精度は、若干低くなると考えられる。

4. 成形後収縮性の測定試験

4.1. 測定の目的

本試験は、更生管材料が成形後に体積収縮を伴う場合、軸方向および内径方向の収縮を検査し、マンホール管口の更生管端部の縮退、および、流下能力の低下、既設管との密着性に対して影響を及ぼさない事を確認する事を目的とする。

4.2. 試験材料

(1) 更生材料

原則として、耐荷能力としてJSWAS K-1の偏平強度を有するφ250の材料とする。

(2) 模擬管路

模擬管路に使用する管種は、温度による寸法変化が少なく、内面状態の良い鉄筋コンクリート管（ヒューム管）とする。模擬管路は、この鉄筋コンクリート管を軸方向に切断して、半割れコンクリート管として使用する。模擬管路の長さは2.0mとする。

鉄筋コンクリート管を切断すると、切断代の分、管径が減少し円形でなくなるため、切断代を補填するようなスペーサーを用意して、これを挟み込む事で円形に戻す。

4.3. 試験方法

(1) 半割れコンクリート管にライナーホースを引き込み、拡径、加熱硬化、冷却の標準成形工程をほぼ終了させる。標準成型工程は、各工法の施工マニュアル等に準拠する。模擬管路の両端には、同様の半割れコンクリート管（0.3m）などの治具を設置して、測定部となる更生材料が模擬管路より大きくならないようにする（図-2）。

- (2)冷却中、もしくは冷却完了後に半割れコンクリート管などの両端の治具を外し、既設管より外の全長約2200mmの付近に、直円周方向に3箇所マーキングする(図-3)。(注意:剥離する可能性がある工法は、外層フィルムを剥がしてから更生管自体にマーキングする。)
- (3)冷却終了後、更生管を半割れコンクリート管から取り外し、更生管を空調のかかる環境下(20~25℃)に設置する。
- (4)冷却終了後、30分以内に、鋼製JISメジャーでマーキング間長さを3箇所測定する(L①、L

②、L③)。同様に、マーキングした箇所の更生管外径を0.1mm以下精度の π ゲージで2箇所測定する。(D①、D②)。さらに、更生管の表面温度を測定する(図-4、写真-6)。

その後、規定時間毎にマーキングの長さ、更生管外径、表面温度を測定する。測定の規定時間は、工法毎に任意とする。

- (5)測定したデータから、経過時間と収縮率の関係をまとめ、各工法で設定した経過時間以降、収縮が発生しない事を確認する。

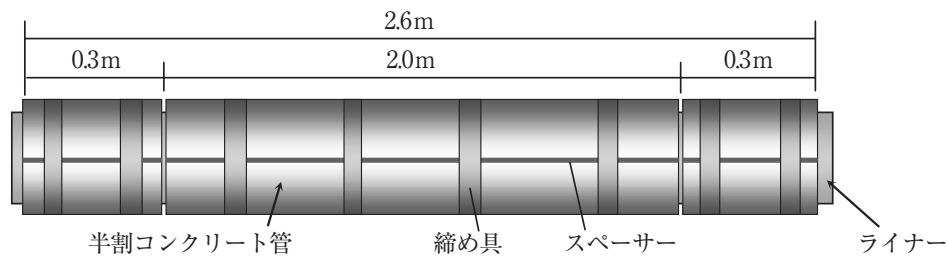


図-2 管成形状況

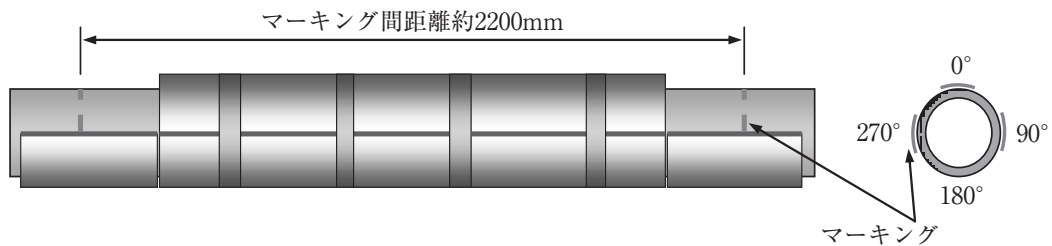


図-3 定位置マーキング状況



図-4 測定状況



写真-6 π ゲージによる管径測定

4.4. 収縮率の計算方法

(1) 長さ方向の成形後収縮率 (L_R)

$$L_R = \frac{(\text{冷却直後の長さ}) - (\text{各測定時の長さ})}{(\text{冷却直後の長さ})}$$

$$= \frac{L_S - L_i}{L_S} \quad \dots \text{式-5}$$

(2) 径方向の成形後収縮率 (D_R)

$$D_R = \frac{\left(\text{冷却直後の更生管外径} \right) - \left(\text{各測定時の更生管外径} \right)}{(\text{冷却直後の更生管外径})}$$

$$= \frac{D_S - D_i}{D_S} \quad \dots \text{式-6}$$

4.5. 測定値のまとめ方

それぞれの値は、冷却後経過時間ごとの平均値、時間と平均値の推移および表面温度を報告する。以下にまとめ方の例(表-1、図-5)を示す。

表-1 成形後の収縮試験測定集計表(例)

冷却後	L (管軸)	D (管径)	表面温度
0時間	0.000%	0.000%	45.7℃
1時間	0.159%	0.100%	25.1℃
2時間	0.168%	0.100%	23.7℃
3時間	0.168%	0.120%	22.6℃
24時間	0.168%	0.100%	22.9℃

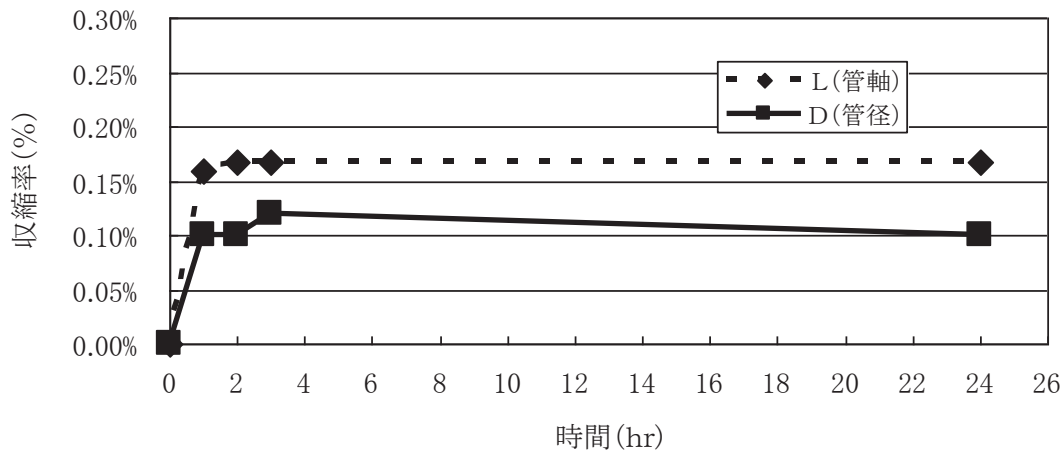


図-5 成形後の収縮試験データ推移(例)

連載講座小委員会

- 委員長 安井 聡 FFT工法協会・技術委員
 - 委員 眞田 和彦 光硬化工法協会・技術委員長
 - 委員 上垣 潔志 パルテム技術協会・技術部長
 - 委員 大塚 孝 3SICP協会・技術部長
 - 委員 池ヶ谷貴之 オールライナー協会・技術委員
 - 委員 原田 孝知 EX・ダンビー協会・技術委員
 - 委員 三浦 仁 EX・ダンビー協会・技術委員
- (順不同)