

下水道用ポリエチレン管の技術 に関する共同研究

1. 背景及び目的

下水道は、水環境を保全し、快適な生活環境の改善に貢献するものであり、まちづくりにおいて根幹のかつ、多様な役割を占める施設である。下水道の計画・設計に際しては、広域的な観点からの下水道整備区域の設定及び適切な整備手法の選定を行うことが必要不可欠であり、各々の地域性を重視し、地域に密着した施設になるよう心がけることが肝要である。

管路施設を設計する際には、長期安定性、経済性、耐震性、維持管理性等を十分考慮し、地域にあった方式を選定することが重要である。現実問題として、取り付け管部等からの不明侵入水などで下水処理の問題が深刻になっている自治体が少なくない。ポリエチレン管は熱融着で接合するため、継手部の信頼性（強度、機密性）が高い等の特徴がある管材である。欧米ではこれらの特徴が評価され、早くから真空式下水道用・水道用・ガス用の管材としてポリエチレン管の普及が進んできている。日本においても、ポリエチレン管は水道用・ガス用途から普及が進んできている。最近、高強度で長期特性の優れた樹脂を用いた軽量の高密度ポリエチレン管が開発され、真空式下水道用途を中心に下水道用管材として、急速に普及が進んできている。またポリエチレン管は、阪神大震災等でその耐震性が高く評価され、水道用やガス用途だけでなく、下水道用としても採用が急増している配管材である。

そこで、下水道用、特に真空式及び圧力式下水道システムに使用するポリエチレン管の性能に関して、検討評価を行い、ポリエチレン管を使用した場合の設計方法について技術マニュアルの作成を目的とした。

2. 研究体制

本研究は、財団法人 下水道新技術推進機構と下水道用ポリエチレン管・継手協会との共同研究により実施した。

3. 研究結果

下水道用ポリエチレン管を真空式及び圧力式下水道システムに適用する場合の(1)管継手の形状寸法、(2)材料特性、(3)管体特性、(4)埋設特性、(5)水理特性、(6)設計・施工及び維持管理に関して、具備すべき条件・開発目標を設定し、ポリエチレン管の性能試験を行い、開発目標をクリアしていることを確認した。特に平成9年に道路下埋設試験を行い、埋設下の管の挙動、及び路面に与える影響について経時的に計測を実施し、埋設管渠としてポリエチレン管の変形が長期化しないこと、またT-25載荷試験での路面への影響は発生しないことを確認した。これらの性能試験の結果を整理し、技術マニュアルを作成した。

3.1 目的及び適用範囲

(1) 目的

下水道用、特に真空式及び圧力式下水道システムに使用するポリエチレン管の設計方法及び性能を中心に示す。

(2) 管径の選定

- 1) 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250mmを基本。
- 2) 計画汚水量及び損失計算により行う。
- 3) 管に作用する外圧は、埋戻し土による荷重と活荷重との2種類。
- 4) 内圧は真空式下水道の場合は負圧、圧力式下水道用の場合は正圧を考慮する。

3.2 ポリエチレン管の設計

真空式下水道システムに使用する場合の、水理設計及び埋設強度設計を中心に示す。

詳細設計の「真空式下水道システム技術マニュアル」(本機構, 1994)をもとに、圧力式下水道システムの場合の水理設計は、「圧力式下水道システム技術指針(案)」(建設省土木研究所下水道研究室, 1990)を参考に行う。

3.2.1 水理設計の手順

- (1) 計画汚水量は、計画時間最大汚水量を用いる。
- (2) 真空式下水道システム用に使用する水理設計手順を下記に示す。

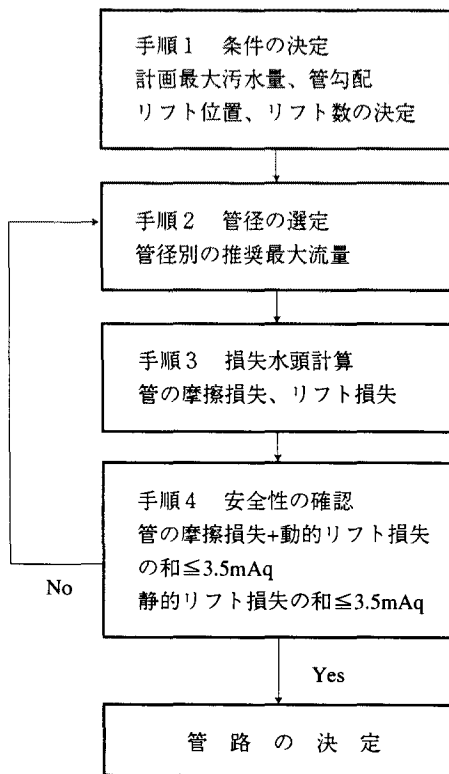


図-1 真空式の水理設計の手順

- (3) 管径の選定は、「真空式下水道システム技術マニュアル」(本機構, 1994)に定めた推奨最大流量(表-1)により行う。

表-1 各管径毎の推奨最大流量

(単位: ㎥/分)

口 径	最大流量
75	58
100	123.6
150	359.5
200	766.7
250	1,380.0

(4) 損失水頭の計算

① 管の摩擦損失水頭

$$H_f = \phi^2 \times 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q_{\max}^{1.85} \times L$$

② 動的反り損失水頭

$$H_b = \alpha \times H$$

③ 静的反り損失水頭

$$H_s = H - D$$

ここで

H_f : 摩擦損失 (mAq)

H_b : 動的反り損失 (mAq)

H_s : 静的反り損失 (mAq)

ϕ^2 : 二相流係数 2.75

C : 流速係数 140

D : 管内径 (m)

Q_{\max} : 計画汚水量 (㎥/秒)

L : 管路長さ (m)

α : 低減率 0.5

H : リフト高さ (m)

リフト高さ静的反り損失の状態を図-2に示す。

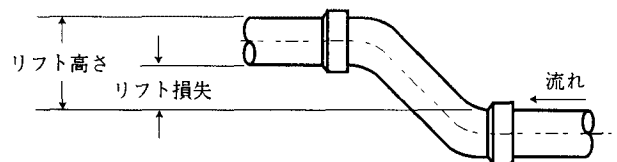


図-2 静的反り損失

④ 圧送における水理計算

管の流量計算には、ヘーゼンウィリアムズ式を使用する。

$$Q = 0.27853 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot I^{0.54}$$

ここで

- Q : 流量 (m³/秒)
- C : 流速係数 (呼び径150以下C=140, 呼び径200以上C=150)
- D : 管内径 (m)
- I : 動水勾配 (h/L)
- h : 損失水頭 (m)
- L : 管長さ (m)

(5) 安全性の確認

損失水頭の計算より以下の許容値以内となるように設計する。

- ① 管の摩擦損失+動的リフト損失の和 $\leq 3.5mAq$
- ② 静的リフト損失の和 $\leq 3.5mAq$

3.2.2 管の基礎工

管きよの種類, 形状, 土質に応じて適切な基礎工を施さなければならない。ポリエチレン管は砂基礎を原則として用い, 条件に応じて, はしご胴木基礎, 布基礎などを砂基礎と併用する。

3.2.3 埋設強度設計

(1) 埋設強度設計の手順は図-3の手順で行う。

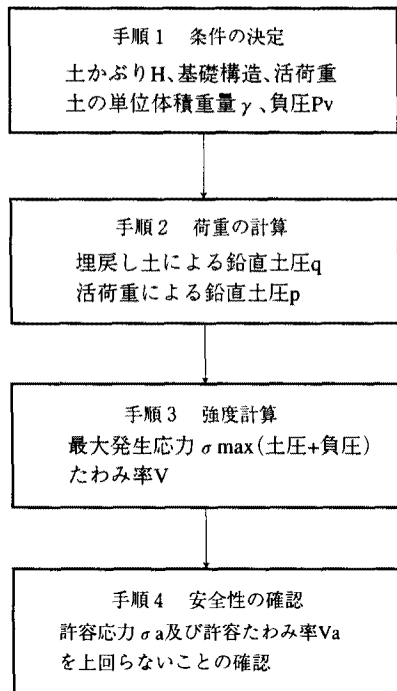


図-3 設計手順

(2) 埋設管への荷重

埋設管に加わる外圧は埋め戻し土による荷重及び活荷重による荷重で下記の式により計算する。

① 埋め戻し土による鉛直荷重

$$q = \gamma \times H$$

ここにq:埋め戻し土による鉛直土圧(kgf/cm²)

γ :埋戻し土による単位体積重量
(0.0018kgf/cm³)

H:土被り (cm)

② 活荷重における鉛直土圧

$$p = 2P (1+i) \beta / C (a+2H \tan \theta)$$

ここにP:荷重による鉛直土圧 (kgf/cm²)

p:T-25の後輪荷重 (10,000kgf)

C:車体占有幅 (275cm)

a:タイヤの接地長さ (20cm)

H:土被り (cm)

θ :荷重の分散角 (45°)

i:衝撃係数 (Hにより表-2の値)

β :断面力の低減係数 (0.9)

表-2 衝撃係数

H(cm)	H \leq 150	150<H<650	H \geq 650
i	0.5	0.65-H/1000	0

(3) 埋設強度計算

発生応力及びたわみ率は埋設強度計算法により次式により計算する。

① 曲げ応力の計算

$$M = (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p) R^2$$

$$\sigma = M / Z$$

ここに

M:管長1cm当たりの埋戻し土と活荷重による曲げモーメントの和 (kgfcm/cm)

k₁:埋戻し土による曲げモーメント係数

k₂:活荷重による曲げモーメント係数

q:埋戻し土による鉛直土圧 (kgf/cm²)

p:活荷重による鉛直土圧 (kgf/cm²)

R:管厚中心半径 (cm)

σ :埋戻し土と活荷重による曲げ応力 (kgf/cm²)

Z:管長1cm当たりの断面係数 (cm³/cm)

② 負圧による発生応力の計算

$$\sigma v = PvR / t$$

ここに

σv :負圧による発生応力 (kgf/cm²)

Pv:負圧 (-0.8 kgf/cm²)

R:管厚中心半径 (cm)

t:管の厚さ (cm)

③ たわみ率の計算

埋戻し土と活荷重により発生する鉛直方向の

たわみ量及びたわみ率は次式で計算する。

たわみ量

$$S = Fr (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p) R^4 / EI$$

たわみ率

$$V = S / 2R \times 100$$

ここに

S : 埋戻し土と活荷重による管の鉛直方向のたわみ量の和 (cm)

Fr : たわみ遅れ係数 (1.5)

k₁ : 埋戻し土による管の鉛直方向のたわみ係数

k₂ : 活荷重による管の鉛直方向のたわみ係数

q : 埋戻し土による管の鉛直荷重 (kgf/cm²)

p : 活荷重による管の鉛直荷重 (kgf/cm²)

R : 管厚中心半径 (cm)

E : ポリエチレンの曲げ弾性係数 (7,800kgf/cm²)

I : 管長当たりの断面 2次モーメント (cm⁴/cm)

V : たわみ率 (%)

④ 負圧によるたわみ率の計算

土圧による管のたわみ率：5%

負圧：-0.8kgf/cm²

の条件での負圧によるたわみ率は口径によらず約0.1%と小さいため、たわみ率の計算は土圧のみを考慮する。

⑤ 発生応力とたわみ率の許容値

下水道用ポリエチレン管の許容値は以下の通りである。

許容発生応力 (σ_a) は65kgf/cm²以下とする。

許容たわみ率 (V_a) は5%以下とする。

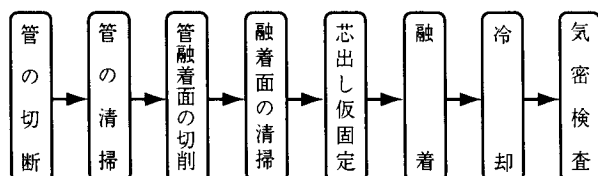
3.3 施工

3.3.1 運搬及び保管

下水道用ポリエチレン管の運搬の際には、傷をつけないよう、また保管に際しては、変形や汚れを生じないように注意する。

3.3.2 管きょ布設

管路の気密性、耐久性を確保するために、管の接合は片受け管を使用する場合と、プレーンエンド管とEFソケットを使用する場合があるが、両方式とも熱融着接合を標準とし、基本フローを以下に示す。



3.3.3 異形管の施工

異形管の施工は種類に応じた標準施工方法に従い施工する。

3.3.4 工事

(1) 管路の掘削

機械掘削の場合は掘りすぎや溝底に不陸を生じないように注意し、床付けする。

(2) 埋戻し

埋戻しには砂及び良質土を用い、十分な締固めが得られるよう施工する。

3.4 維持管理

維持管理作業には、次の事項がある。

(1)点検、清掃及び浚渫 (2)補修及び改良

(3)保護及び防護 (4)災害及び事故対策

(5)除害施設等及び排水設備の指導等

3.4.1 点検

点検項目には(1)流送の状況 (2)地表面の沈下の状況 (3)損傷の状況 (4)悪質下水の流入及び有害ガスの有無が有り、これらの調査にはマンホールからの目視、管内の調査はテレビカメラ等を使用する。

3.4.2 補修

管に損傷が生じた場合には、以下の方法で補修を行う。

(1) 破損部の地盤掘削

(2) 破損部の管の切断

管端は直角になるように切断する。

(3) 補修管の準備

(4) 接合作業

残った本管と挿入管の融着部を清掃し、EFソケットで融着を行う。

(5) 検査

融着作業が正常に終了したことを確認する。

4. 技術マニュアルの内容

前述の研究成果をもとに「下水道用ポリエチレン管の技術マニュアル」を作成した。技術マニュアルの目次を以下に示す。

第1章 総論

第1節 目的および適用範囲

第2節 適用基準類

第2章 下水道用ポリエチレン管の仕様

第1節 種類

第2節 品質

第3節 材料

第4節 製造方法

第5節 試験方法

第3章 下水道用ポリエチレン管の特性

第1節 材料特性

第2節 管体特性

第3節 埋設特性

第4章 下水道用ポリエチレン管の設計

第1節 水理設計

第2節 管の基礎工

第3節 埋設強度計算

第5章 施工

第1節 運搬および保管

第2節 EF接合の施工標準

第3節 異形管の施工

第4節 工事

第6章 維持管理

第1節 点検

第2節 補修

付属書

直管および異形管の寸法

参考資料

第1章 性能試験

第1節 下水道用ポリエチレン管の材料特性

第2節 下水道用ポリエチレン管の管材特性

第3節 下水道用ポリエチレン管の埋設特性

第2章 道路下埋設試験

第1節 試験目的

第2節 試験場所および試験期間

第3節 試験概要

第4節 試験結果

第5節 結果の考察

5. おわりに

下水道用ポリエチレン管を使用した場合の、設計・施工・維持管理について示した本技術マニュアルを、実務担当者が利用することにより設計が可能となり、ポリエチレン管のより一層の普及促進が期待される。

今後も、地域事情や技術開発の動向に合わせ、技術マニュアルの内容について見直しを図っていきたい。

●この研究に関する問い合わせは

技術第二部長

技術第二部事業課長

技術第二部主任研究員

技術第二部主任研究員

技術第二部研究員

平林 成郎

宮沢 達郎

村田 清次

中野 順行

林 和生