

# FRPM管によるシールド二次覆工 に関する研究

## 1. 研究の目的

FRPM管をシールド二次覆工に用いる工法（以下、FRPM管工法という。）は、平成4年～6年にかけて数社が民間技術審査証明を取得し、従来のコンクリート二次覆工に比べて施工性、水密性等の機能が優れていることが証明され、その後、小口径シールドを中心に施工実績を伸ばしてきた。そうした中で、今後の下水道シールド管きよの在り方を考えた場合、従来の二次覆工の機能に加えて内外水圧や多機能断面（同一断面内の多目的配管）への対応、耐食・耐震といった高機能化への要求が高まっている。

本研究では、FRPM管を下水道シールド管きよへ適用し、高機能化へ向けるための性能評価方法（試験方法、基準値）の整理、実用化に向けての検討を行い、計画・設計上の基本的な留意事項をとりまとめた技術マニュアルを作成する。

## 2. 研究体制

本研究は、(財)下水道新技術推進機構と、(株)クボタ、積水化学工業(株)の3者での共同研究で実施する。

## 3. 技術概要

FRPM管工法とは、従来のコンクリートによる二次覆工の代替として、FRPM管（内挿用強化プラスチック複合管）を用いて二次覆工する工法である。施工順序は、一次覆工終了後、管を搬入・接合し、所定延長（60～80m）に達したところで管とセグメントの隙間をセメントレンガで間仕切り（間仕切壁から間仕切壁の区間を一つのスパンとする）して、スパン内の管とセグメントの空間に中込材（エアームタル）を注入する。この作業工程を繰り返してFRPM管による二次覆工管きよを構築する。FRPM管工法の概要を図-1に示す。

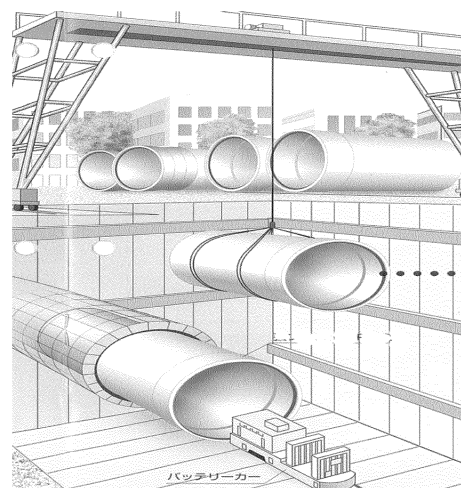


図-1 FRPM管工法の概要

## 4. 研究内容

- (1) FRPM管工法に求められる機能の検討
  - ① シールド二次覆工の現状と課題の把握
  - ② FRPM管に要求される性能の検討  
水密性, 耐震性, 耐酸性, 施工性等
- (2) 性能評価方法の検討および結果の確認
  - ① 性能評価方法の検討

- ② 性能の確認
- (3) 実施工における適応性の確認
  - ・施工性
  - ・留意事項等
- (4) 技術マニュアルの作成
  - ① 設計・施工時の留意点の整理
  - ② 積算資料の整理
  - ③ モデルケースによる経済性の比較

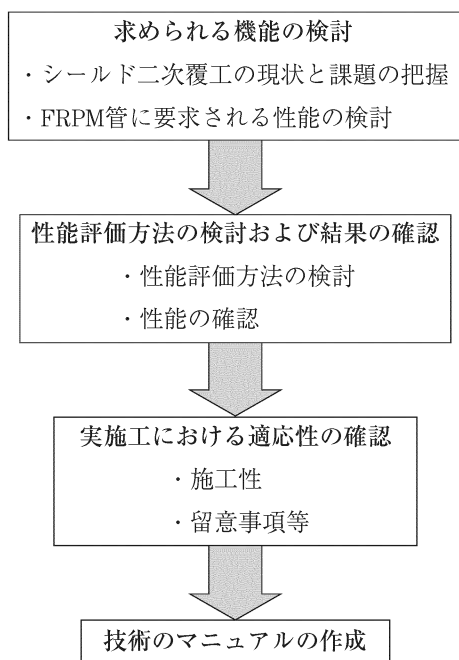


図-2 研究フロー

## 5. 求められる機能とその確認方法

現状の下水道シールド管きよのコンクリート二次覆工の課題, 今後の高機能下水道に求められる機能等を把握した上で, FRPM管工法に求められる機能と評価・確認方法を表-1に整理した。

## 6. 確認結果

### 6.1 内・外水圧対応

内挿用FRPM管は, 水密性能の違いにより自然流下用と内水圧管用に分類される(外水圧に対する管体の剛性によって使用する管種は細分される)。

内水圧および外水圧によるFRPM管の管種を表-2に示す。

管体の座屈強度はL2種管で0.59 MPa, L3種管で0.23 MPaである。

表-1 求められる機能とその確認方法

求められる性能	確認内容	備考
管体座屈強度 継手水密性 (外水圧)	管体の座屈強度については, Amstutz式により求められた理論値と実験値を比較することにより適用範囲を確認 継手については, 外水圧試験により確認	日本下水道協会試験でのデータの確認 外水圧・内水圧試験を実施する
管体水密性 継手水密性	管体の水密性については, 内水圧試験により確認 継手については, 内水圧試験により確認	
耐震対応 (レベル1・レベル2)	継手については, 地震動による屈曲角および抜け出し量を算出し, 許容値以下であることを確認するとともに水密性試験を行う (外水圧試験にて代用) 管体については, 地震動による曲げ対応力が許容値以下であることを確認	日本下水道協会発行「下水道施設耐震計算例」に基づき計算を行う
耐食対応	JSWAS K-16 規格の耐酸試験により確認	K-16 規格試験のデータにより確認する
工期短縮	実施工により標準歩掛りを確認	実施施工
コスト縮減	標準歩掛りによりモデルケースを想定して積算し, コンクリート二次覆工とコストを比較することにより確認	積算資料整理
多機能断面対応	一断面内への多目的複数管きよの布設実績を整理し, 施工性, 経済性, 水密性等を評価することにより確認	実績の調査による

表-2 内挿用FRPM管の内水圧・外水圧による管種

	自然流下用		内水圧対応用	
呼び径	600~3,000			
管種	L2種	L3種	LP2種	LP3種
	管厚が呼び径の2.0%	管厚が呼び径の1.2%	管厚が呼び径の2.0%	管厚が呼び径の1.2%
対応規格	JSWAS K-16		メーカー規格	
許容外水圧	0.50MPa	0.23MPa	0.50MPa	0.23MPa
許容内水圧	-		0.30MPa	

表-3 レベル2地震動時の耐震性照査結果 (φ1,350)

計算結果			継手の許容値
マンホールと管きよの 接続部	地震動による屈曲角	0° 12' 26"	2° 30' (許容曲げ角度)
	地震動による拔出し量	10.1mm	71mm (拔出し余裕量)
管きよと管きよの 接続部	地震動による屈曲角	0° 03' 39"	2° 30' (許容曲げ角度)
	地震動による拔出し量	10.1mm	71mm (許容拔出し量)
地盤急変部	地震動による拔出し量	13.3mm	71mm (許容拔出し量)

6.2 耐震対応

FRPM管の耐震性は、モデルケースを想定し、日本下水道協会発行の「下水道施設耐震計算例」に基づき耐震計算を行い確認した。

(1) 継手

レベル1およびレベル2地震動に対応した継手の変位量を計算し、安全性を確認した。地震動に対する水密性については、継手変位の計算結果に比較してもかなり大きな屈曲角2° 30'という状態で水圧試験を行い確認した。

(2) 管本体

上記計算例中の例題の地盤モデルに対して耐震計算を実施し、許容値と比較し安全性を確認した。

表-3に、φ1,350の場合のレベル2地震動に対する耐震性の照査結果を示す。

6.3 耐食(酸)対応

内挿用FRPM管の耐酸性は、下水道用FRPM管(JSWAS K-16)の耐酸試験方法に準じて実施し

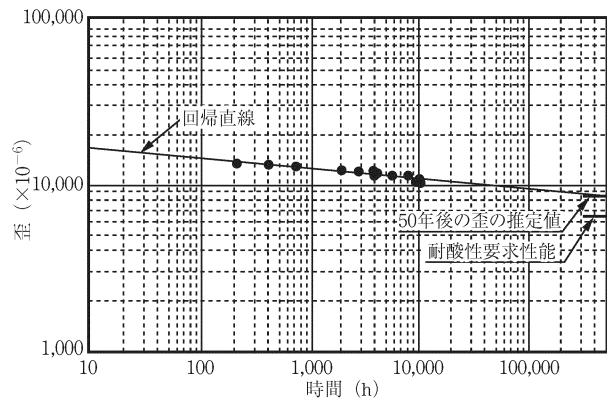


図-3 内挿用FRPM管の耐酸試験結果

た試験結果より確認した。

実験結果は、図-3に示すとおり、浸漬試験結果から求められた50年後の歪の推定値ε50=8,434×10<sup>-6</sup>が、呼び径600の内挿用FRPM管の耐酸性要求歪ε=6,581×10<sup>-6</sup>を上回ることから、JSWAS K-16に規定された耐酸性を満足していると判定できた。

表-4 日進量の比較

FRPM管工法		コンクリート二次覆工	
曲線半径R (m)	日進量 (m/日)	曲線半径R (m)	日進量 (m/日)
92 ≤ R, 直線	20 (4 m管を使用)	160 ≤ R, 直線	9
69 ≤ R < 92	15 (3 m管を使用)	120 ≤ R < 160	7.5
46 ≤ R < 69	10 (2 m管を使用)	80 ≤ R < 120	6
R < 46	曲管使用により10以上	40 ≤ R < 80	4.5
		40未満	3

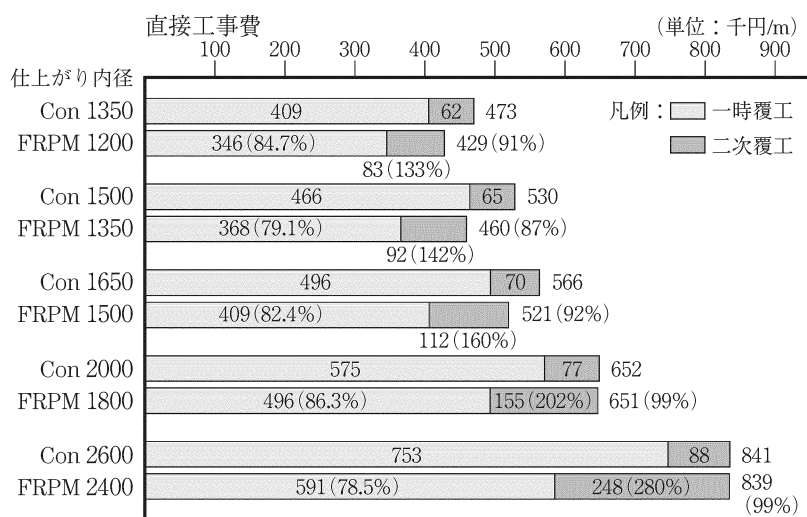


図-4 コスト縮減効果 (同一流量での比較)

### 6.4 工期短縮

#### 日進量の比較

コンクリート二次覆工とFRPM管工法の標準的な日進量を表-4に示す。

FRPM管工法は、コンクリート二次覆工の2倍以上の日進量20m/日であるため、スピーディな施工が可能である。

### 6.5 経済比較

実際の施工事例の線形 (延長距離991.2m 内曲線区間23%) を用いたモデル積算を行い、FRPM管工法とコンクリート二次覆工の、直接工事費 (一次覆工と二次覆工) を比較した。比較条件は、粗度係数を考慮した同一流量による比較と、粗度係数を考慮しない同一内径による比較とした。

#### (1) 粗度係数を考慮した場合 (同一流量)

粗度係数を考慮した場合 (同一流量) は、仕上り内径、掘削断面の縮小が可能となる。本モデルケースでは、仕上り内径1,500以下ではFRPM管工法がコンクリート二次覆工に比べて約10%のコスト縮減となった。また仕上り内径1,800以上では、ほぼ同等のコストとなった。各仕上り内径に対するコスト縮減効果を図-4に示す。

#### (2) 粗度係数を考慮しない場合 (同一内径)

粗度係数を考慮しない場合 (同一内径) は、掘削断面の縮小が可能となる。本モデルケースでは、仕上り内径1,500以下では、ほぼ同等のコストとなった。

### 6.6 多機能断面

FRPM管工法は、ネットワーク化における汚水幹線と雨水幹線、共同溝における他企業管（電気、電力、通信、水道、ガスおよび光ファイバー）と下水道幹線など複数の管きよの布設が必要となるケースへの対応が有効である。

#### (1) 内圧管としての使用例

下水道施設のネットワーク化においてFRPM管内に汚水・雨水と中水・汚水を同時に流せる構造の例である。このとき、FRPM管には送水時に内水圧が作用するため、FRPM管を内圧管として設計できる。

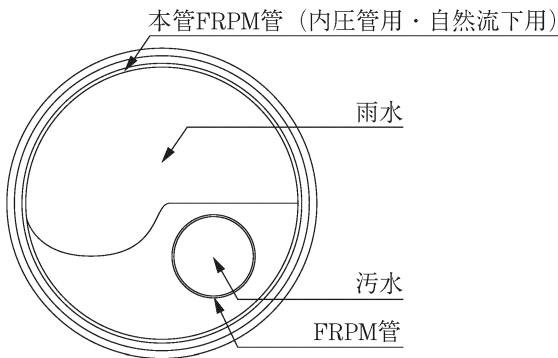


図-5 複合配管の例

#### (2) 断面の有効活用の使用例

河川や鉄道横断部の管きよは、従来、コンクリートの背割配管で施工される場合が多かったが、施工性と内水圧に対する水密性能の観点からFRPM管を並列に配した管路とするケースが増えてきている。従来のコンクリートの型枠工などの複雑な作業を省略できる。

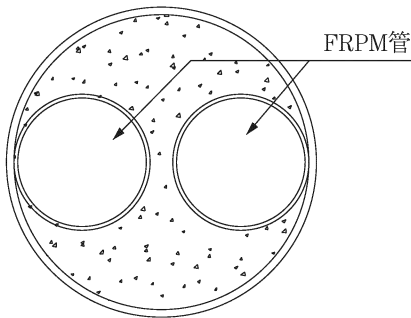


図-6 複数配管の例

#### (3) FRPM管の水密性による導入例

共同溝事業の場合、二次覆工と鞘管の漏水がないFRPM管工法の高い水密性能により、電力・電気通信管との複合も可能である。また、FRPM管工法は二次覆工の厚さが薄いので断面を有効利用できる。

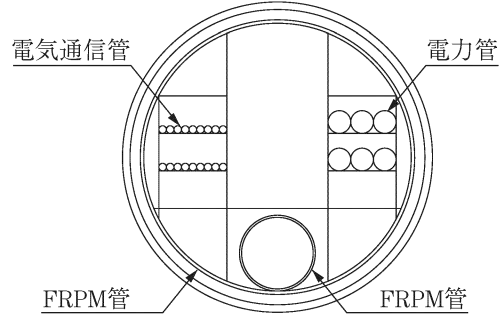


図-7 共同溝の例

## 7. 技術マニュアルの構成

### 第1章 総則

#### 第1節 目的

#### 第2節 適用範囲

#### 第3節 用語の定義

### 第2章 FRPM管工法の概要および導入効果

#### 第1節 FRPM管工法概要

#### 第2節 FRPM管工法の導入効果

### 第3章 FRPM管工法の設計

#### 第1節 使用材料

#### 第2節 設計手順

### 第4章 施工および施工管理

#### 第1節 施工

#### 第2節 施工管理

#### 積算資料

##### 1. 適用

##### 2. 積算資料の使用方法

##### 3. 代価内訳

##### 4. 構成人員

##### 5. 代価表

#### 参考資料

##### 1. 内・外水圧性能

##### 2. 耐震性検討

##### 3. 経済比較

##### 4. FRPM管の形状・寸法

## 8. まとめ

FRPM管工法は、従来の二次覆工の機能に加えて内・外水圧対応や多機能断面への対応、さらに耐震性能、耐薬品性・耐酸性性能に優れているため、下水道シールドトンネルの諸問題を解決できることが証明され、ライフサイクルコストの縮減も期待できる工法である。

本マニュアルは、FRPM管工法によりシールド二次覆工を行う際、実務者に必要となる設計・施工・積算に関する基本事項について記述したものである。

今後、本技術マニュアルの活用によって、下水道シールドトンネルの二次覆工にFRPM管工法が採用され、二次覆工の高機能化とコスト縮減に役立てられることを願う次第である。

### ●この研究を行ったのは

研究第二部長  
研究第三部審査課長  
研究第三部研究員  
研究第二部研究員

高橋 隆一  
本重 信宏  
津島 勲  
渡邊 健治

### ●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長  
研究第三部審査課長  
研究第三部研究員  
研究第二部研究員

高橋 隆一  
本重 信宏  
津島 勲  
渡邊 健治