

# 下水道シールド工法の一事例

## 急勾配施工への対応

全日本コンサルタント(株) 技術部 杉山 恒一  
三島 邦夫  
飯田 裕和

### 論文要旨

平成14年度におこなったシールド工法による下水道汚水幹線の実施設計において、水理的な条件を勘案した急勾配施工によってコスト縮減を図った設計事例を紹介する。

この下水道幹線の計画設計の段階では、管内流速を抑えるために緩勾配で管渠縦断を計画していた。この場合、幹線ルート of 地形、既存の地下埋設物、河川横断などの条件によって上流部の接続人孔で大きな落差(約15m)がつくことになる。この人孔部での落差を解消するため実施設計においてシールド工事の急勾配設計を行った。

下水道管渠としては急勾配のシールド一次覆工(管勾配:30%)に対し、二次覆工をFRPM管(管勾配は計画設計と同じ6.5%)で施工して管内流速が下水道基準の最大値3.0m/secを超えないようにした。このために生ずるシールド一次覆工と二次覆工との勾配差については、二次覆工用FRPM管の継ぎ手部に段差を付けて解消した。

キーワード: 下水道管渠、シールド工法、急勾配施工、二次覆工用FRPM管、段差カラー、コスト縮減

### まえがき

下水道では原則として、適当な勾配を持つ管路施設により自然流下で下水を集水する。そこで地表勾配、河川・既存水路等の自然条件、既設地下埋設物などによって生ずる管路施設での段差は人孔部で処理するのが通常の方法である。シールド工法による下水道管渠では人孔間距離が長く、条件によっては人孔部での落差が大きくなることもある。この場合、立坑深が深くなるとともに、落差処理のための特殊人孔が必要となり工事費が増大することになる。

ここでは、シールド管渠内で落差を処理する設計の一事例を示す。

### 1. 設計の概要

この流域下水道汚水幹線の当該設計区間の計画諸元は次のとおりである。

#### 管渠計画諸元

計画流量 :  $Q = 1.671 \text{ m}^3/\text{sec}$

計画管渠 : 900mm(シールド外径 2,000mm)

管渠勾配  $i = 6.5\%$

マンニング式による流速  $v$  と流量  $Q$  は次のとおり。

$v = 2.98 \text{ m/sec}$   $Q = 1.897 \text{ m}^3/\text{sec}$

(粗度係数  $n = 0.010$ )

これに対する実施設計の概要を次に示す。

#### 設計概要

設計延長 : 1,971m

セグメント外径 : 2,000mm

二次覆工内径 : 900mm

シールド工法 : 泥土圧式シールド工法

管渠勾配 : 一次覆工30.0%

: 二次覆工6.5%(計画設計と同値)

当該工区においては、河川横断及び既設地下埋設物(電気高圧ケーブル)と到達立坑の接続人孔との関係で、シールド工事は30%の縦断勾配とする急勾配施工が最も経済的であると判断して実施設計をおこなった。図-1に平面・縦断図を示す。

### 2. 問題点と対策

下水道としてのシールド工事における急勾配施工時の問題点および留意点として下記の事項が挙げられる。

#### (1) 坑内搬送設備の安全対策

急勾配区間を走行する機関車の安全対策

#### (2) シールド機の対策

縦断曲線に対する姿勢制御性能の確保

#### (3) 管渠の水理的性能

急勾配シールド施工での減勢対策

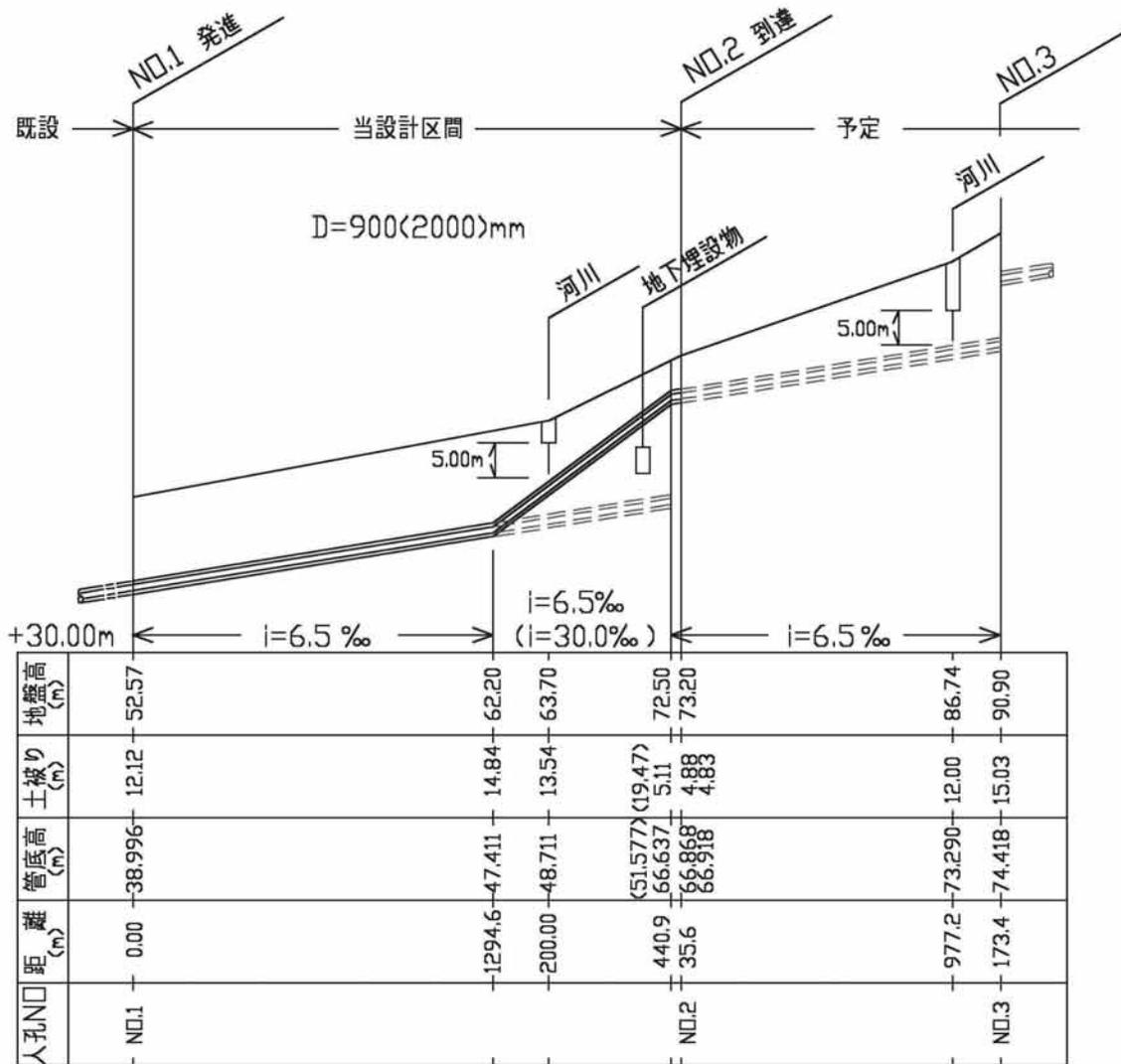
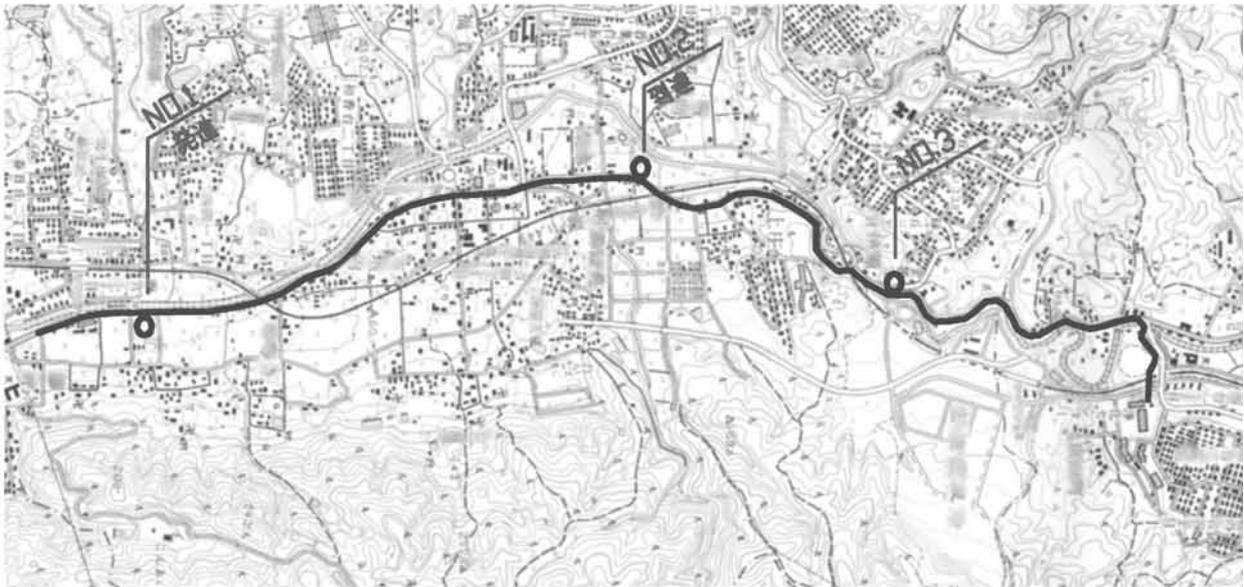


図 - 1 下水道幹線 平面・縦断図

これら3事項に対する対策について以下に述べる。

### (1) 坑内搬送設備の安全対策

#### 坑内搬送設備

機関車に対する最急勾配についての規定は、労働安全衛生規則202条に「動力車は5%以下の勾配で使用すること」と定められている。これにより当工区では通常の機関車方式を採用した。

なお5%以上の勾配で施工する場合は、下記の搬送方式について検討を要する。

- ・ ラック&ピニオン方式
- ・ リンクチェーン方式
- ・ ゴムタイヤ(モノレール)方式
- ・ ウィンチ方式
- ・ ホイスト方式

#### 機関車の走行車輪

機関車が安全に走行するためにはレールと車輪の間の摩擦抵抗が必要である。レールの摩擦抵抗は一定であるため車輪側で摩擦抵抗を増やさなければならない。

バッテリーロコ車輪の勾配別材質は次のとおりである。

|        |                                |
|--------|--------------------------------|
| 0~30%  | 鋳鋼車輪                           |
| 30~50% | アルキャン車輪                        |
| 50%以上  | 車輪と他の逸走防止装置併用(ピ<br>ンラック式、アプト式) |

アルキャン：セラミック粒子を混合したアルミニウム合金で高粘着性を有する材料。

また摩擦係数は下記の値を用いる。

|         |       |
|---------|-------|
| 鋳鋼車輪    | 0.2程度 |
| アルキャン車輪 | 0.4程度 |

#### 制動装置

機関車が安全に走行するためには、確実なブレーキ性能を有していなければならない。坑内機関車の制動装置には下記のような種類があり、これらの制動装置を単独または組合わせて装備している。

- a) サーボモーターによるサーボブレーキ
- b) 油圧ディスクブレーキ
- c) トラックブレーキ(電磁レールブレーキ)

a) サーボモーターは指令速度に応じたモーターのトルク制御により上り下りの勾配、牽引負荷の大小にかかわらず、常に機関車の一定速度走行を可能にする。従来の運転員の経験と勘による熟練操作と異なり、速度指令のみの容易な運転操作が可能である。

b) ディスクブレーキは、車軸といっしょに回る円盤状の

金属ローターを、その両側から2枚の摩擦材(ディスクパット)で挟み、圧着することで制動力を生み出すものである。

c) トラックブレーキは、電磁石により平鉄をレールに吸着させて制動するブレーキである。機関車重量に関係なく強力なブレーキを得ることが可能である。従来、急勾配降下時に急ブレーキを作動させると車輪とレール間のスリップによる逸走があったが、トラックブレーキを装着することで確実な停止が可能である。

今回の設計においては、サーボブレーキ方式とアルキャン車輪の組み合わせたことで急勾配区間での走行が可能となった。

### (2) シールド機の対策

今回の急勾配施工におけるシールド機対策は、基本的には通常の緩勾配時の掘進仕様と大きな違いはない。

ただしシールド後続台車が急勾配区間で移動しない様に台車下部にストッパーを装着するよう工夫した。

勾配変化点について、平面線形と同様に縦曲線を挿入する。勾配変化点のセグメントの継手部に無理な応力が集中しないよう、また坑内レールの敷設上の観点から直線に近い縦曲線(200R)を挿入した。

通常、方向修正は、主としてシールドジャッキによりおこなうが、今回は微調整用中折れジャッキを装着することで掘進精度の向上を図った。

なお、シールド工法の採用決定に際しては、泥水式シールドと泥土圧式シールド工法とを比較検討したうえで、経済性の面で有利な泥土圧式シールド工法を採用した。

### (3) 管渠の水理的性能

下水道の場合、「汚水管渠では計画下水量に対し、原則として、流速は最小0.6m/sec、最大3.0m/secとする」(下水道施設計画・設計指針と解説)とされている。

下水道工事にシールド工法を採用する場合、シールド管渠自体が下水道管渠として使用されるため、通常は下水の管内流速が適切な流速となるようにシールド工の縦断勾配を設定する。また、汚水管渠として使用するときの二次覆工は、現場打ちコンクリートまたは型枠併用の強化プラスチック複合管(FRPM管)で施工される。

二次覆工を一次覆工と同じ30%の急勾配で施工したときの満管時の管内流速 $v$ と流量 $Q$ は

case 1. コンクリートによる二次覆工の場合

(粗度係数  $n = 0.013$ )

$v = 4.929\text{m/sec} > 3.0\text{m/sec}$

$Q = 3.136\text{m}^3/\text{sec}$

case 2. 二次覆工にFRPM管を使用する場合  
(粗度係数  $n = 0.010$ )

$v = 6.407\text{m}/\text{sec} > 3.0\text{m}/\text{sec}$

$Q = 4.076\text{m}^3/\text{sec}$

であり、いずれにしても流速を落とす減勢工が必要である。  
流速を落とす対策として次の案が考えられる。

第1案 スチールフォームを用いた二次覆工コンクリートに段差を付けて緩勾配とする。(図-2)

この方法は二次覆工コンクリート自身を緩勾配として施工するものである。二次覆工厚 30cm 以上を確保するために適当な間隔で段差をつける。二次覆工の施工に精度を要する。



図-2 二次覆工コンクリートに段差

第2案 スチールフォームを用いた二次覆工コンクリート底部に階段工を設ける。(図-3)

これは二次覆工の施工後、管路底部に階段工を設けて緩勾配とする方法である。階段工のために断面が減少するので計画流量に対して流水断面が確保できていることを確認しておく必要がある。

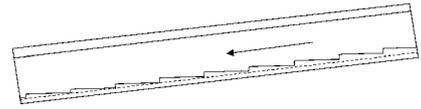


図-3 二次覆工コンクリート底部に階段工

第3案 FRPM管を用いた二次覆工にFRPM段差カラーによる段差を付けて緩勾配とする。(図-4)

これはFRPM管で二次覆工をおこなう方法である。急勾配のシールド内に緩勾配でFRPM管を布設するために生ずる落差をFRPM管の接合部に段差カラーを設置することで処理する。段差部で流水断面が減少することに留意しなければならない。

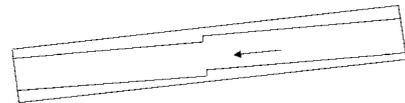


図-4 FRPM段差カラーによる段差を付けて緩勾配

スチールフォームを用いた二次覆工での段差および階段工の設置については、スチールフォームの形状が複雑になり製作費が高い、さらに工期が長くなるなどの問題がある。また階段部分を後打ちした場合に、将来的に二次覆工コンクリートと後打ちコンクリートの間にはがれが生じて階段がなくなる可能性がある。

以上から当該工区では施工性、耐久性等を勘案し第3案のFRPM管による二次覆工工法を採用した。(表-1)

段差の大きさは、段差部分で計画流量に対する必要流水面積を確保できる範囲内の落差高であればよい。

表-1 二次覆工の段差施工形態の比較表

| 形態<br>項目 | 第1案<br>二次覆工コンクリート段差式   | 第2案<br>二次覆工底部インバート階段式  | 第3案<br>二次覆工FRPM管段差カラー式  |
|----------|--|--|---|
| 長所       | <ul style="list-style-type: none"> <li>通常の二次覆工施工で対応可能</li> <li>段差の位置は9m毎に1箇所設定できる</li> <li>水理的に流下断面積の縮小がおきない</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>通常の二次覆工施工を行う</li> <li>段差位置が自由に設定できる</li> <li>二次覆工型枠は標準仕様である</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>段差高さに制限が無い</li> <li>段差位置は4m毎に1箇所設定できる</li> <li><b>小さい内径でも施工可能</b></li> <li><b>二次覆工の施工は容易</b></li> <li><b>段差部の耐久性がある</b></li> </ul> |
| 短所       | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>内径が小さい場合の施工は困難</b></li> <li><b>型枠のスチールフォーム加工が複雑かつ高価</b></li> <li>二次覆工厚さを確保するために段差に制限がある</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>水理的に流下断面積の縮小がおきる</li> <li>段差高さに制限がある</li> <li><b>段差部の耐久性が無い</b></li> <li><b>インバート施工分の工期が増加する</b></li> <li>インバート仕上げは人力で行う</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>段差カラー費用が高価</li> <li>段差の位置は管材長さに制限される</li> <li>水理的に流下断面の縮小が起きる</li> </ul>   |
| 実績       | 有る   | 有る   | 少ない   |

当区間では、シールド工の二次覆工をFRPM管で施工し、その管勾配を6.5‰とした。一次覆工30‰と二次覆工6.5‰の勾配差はFRPM管継手部に段差カラーを用いることにより解消している。図-5にFRPM管布設図を示す。

段差の計算

FRPM管1本(管長4.010m)当りに対する勾配差から求められる段差hは

$$h = 4.010 \times (30.0 - 6.5) / 1000 = 0.094\text{m} = 94\text{mm}$$

である。

このときの段差部の断面積は0.552m<sup>2</sup>となり、900mm満管時の断面積0.636m<sup>2</sup>に比べ86.8%に減少する。(図-6)

一方、計画流量Q=1.671m<sup>3</sup>/secの流水面積Aをマンング式により計算するとA=0.497m<sup>2</sup>である。以上から、本設計の場合は、FRPM管1本毎の継手部に94mmの段差カラーを挿入することで通水能力を満足させている。

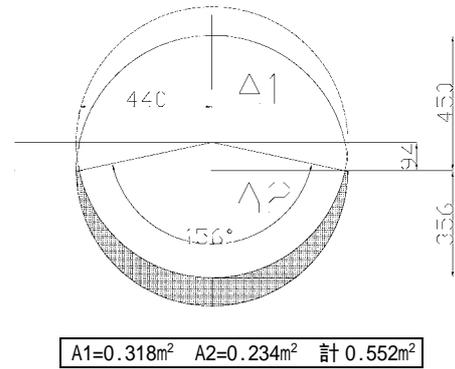


図-6 段差部断面図

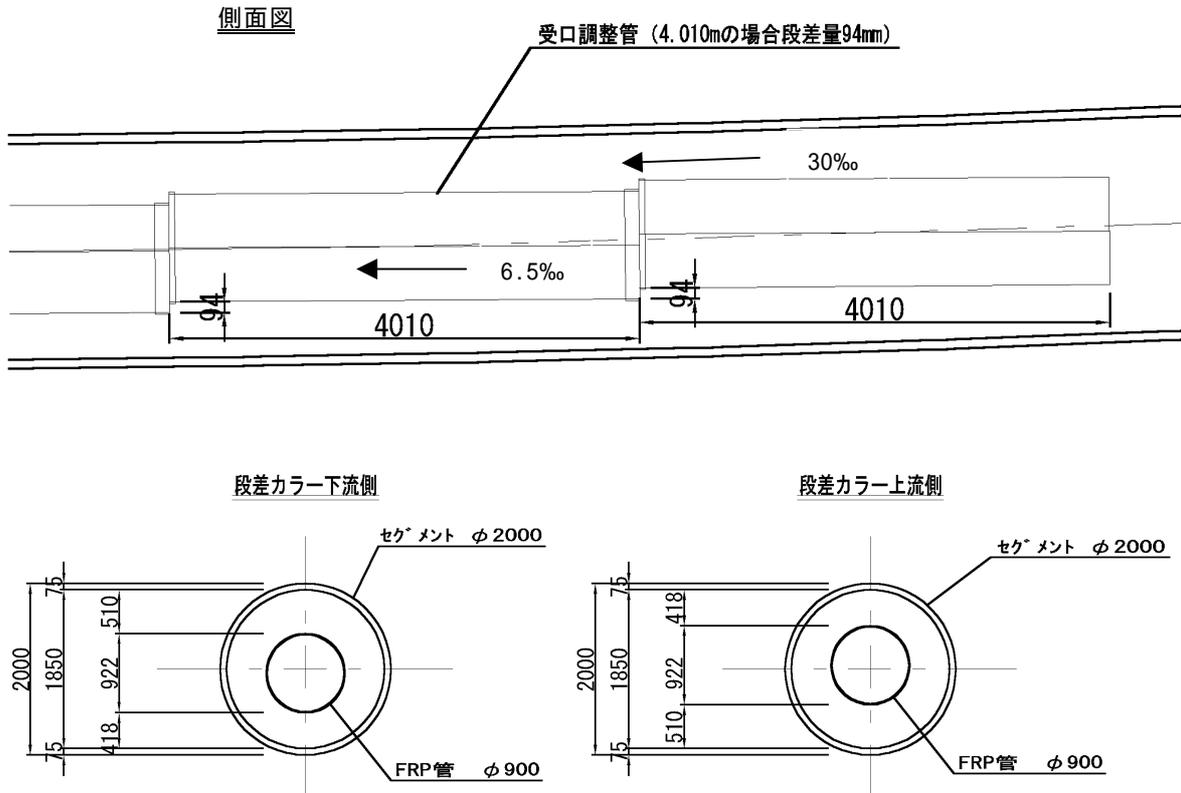
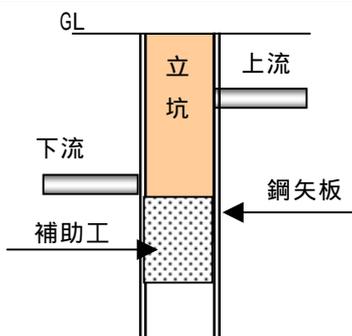
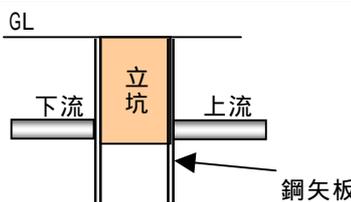


図-5 FRPM管 階段接合部布設標準図

表 - 2 立坑工の経済比較

| 項目       | 基本勾配施工案   | 急勾配施工案  |
|----------|---|---|
| 一次覆工配    | 6.5‰  | 30‰   |
| 二次覆工配    | 6.5‰  | 6.5‰  |
| 概要図      |  |  |
| 施工概要     | 鋼矢板土留材 29m を使用して掘削深度 22.7m の立坑を築造する。  | 鋼矢板土留材 12m を使用して掘削深度 7.6m の立坑を築造する。   |
| 施工規模と施工性 | ・施工規模が大で施工は困難である。   | ・施工規模が小さく施工は容易である。  |
| 補助工法     | ・立坑底盤部に地盤改良が必要である。  | ・基本的に不要である。   |
| 経済性概算工事費 | 立坑費 65 百万円  | 立坑費 16 百万円<br>管材費 13 百万円<br>合計 29 百万円   |
| コスト縮減費   | ——  | 36 百万円  |
| 評価       | 立坑工事費が割高となる。施工規模が大きく周辺への影響が大きい。   | 施工規模が小さく、立坑工事費が安価である。勾配修正用の段差カラーを使用した管材の費用が割高になるが全体工事費が安価になる。                       |

### 3. 急勾配施工の効果

急勾配施工によって隣接工区管渠との落差を解消したことで大きなコスト縮減効果を発揮した。通常であれば立坑を構築し、中に落差処理するための特殊人孔が必要である。費用的には、概算で約 3,600 万円のコスト縮減に寄与した。(表 - 2 参照)

### あとがき

下水道事業の総事業費のなかで管渠建設費の占める割合が大きい。管渠の埋設深は諸条件により決定されるが、創意工夫によっては埋設深を浅くして工事費を削減できる場合がある。ここで報告したのはその一例である。

この設計例において使用した二次覆工用FRPM管の段差カラーについても、断面欠損を生じない形状に改良すれば利用範囲も広がり、施工性にも優れている点から使用実績も増えるであろう。

生活環境の改善、公共用水域の水質保全等を目的とする

下水道の普及率は全国平均で 63.5% (平成 14 年 3 月現在) である。100 万人以上の大都市では 98.0% の普及率であるが、5 万人未満の都市での普及率はまだ 29.3% にすぎない。

これからの中小都市での下水道整備においては特に、コスト縮減をはかり効率的な事業推進に努めるのは下水道計画・設計・施工に携わる者の責務であると考えらる。

### 参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説 - 2001 年版 - 日本下水道協会
- 2) トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説 平成 8 年 7 月 土木学会
- 3) シールド工用標準セグメント (JSWAS A-3, 4 - 2001) 平成 13 年 7 月改正 日本下水道協会
- 4) 下水道用強化プラスチック複合管 (JSWAS K-2 - 2000) 平成 12 年 5 月改正 日本下水道協会