

老朽管を蘇らせる SPR 工法

西村 伸一・北山 康・山城 浜夫

現在、我が国では下水道管渠の総延長が約 30 万 km に至り、都市機能を支えるうえで、重要な役割を果たしている。これらの管渠のうち初期に埋設されたものは、既に耐用年数を超えたものもあり、今後このような管渠は増加していくと考えられている。しかし、これらの老朽化した管渠を新管に布設替えをすることは、もはや地上の都市化により困難なことが多く、対応方法が課題となっている。ここでは、地上を開削することなく、老朽化した管渠を新管同等に蘇らせることのできる「SPR 工法」について、施工事例等とともに紹介する。

キーワード：下水道、老朽管、管渠更生工法、コスト縮減対策

1. はじめに

我が国の下水道普及率は、昭和 40 年には、8%であったものが、平成 12 年度末には 60%となった。このような下水道の普及促進とともに、下水道施設ストック量は急速に増大し、管渠の総延長は約 30 万 km となっており、文化的な都市生活を支えるために不可欠な都市基盤施設として重要な役割を果たしている。

一方、古くから下水道を実施している大都市を中心に耐用年数を経過した施設が増加すると共に交通荷重や近接工事による影響、地盤沈下に伴う管の不陸など徐々に劣化の傾向にあり、道路陥没など都市活動に影響を与える状況がでてきた。こうした中で、老朽化対策として、開削工法が困難な都市部の社会環境からコスト縮減対策と合わせ、非開削管渠更生工法が期待されている。

2. 開発の目的

従来より行われてきた主な老朽管渠の更新対策は、開削工法による入替え工事を中心であった。一方、非開削の管渠更生工法は、基本的には小口径の円形管を対象としており、矩形渠や馬蹄形渠などの断面形状に適應できる更生工法は未開発であった。また、大口径の下水道の中には、円形のみならずボックスカルバートやアーチカルバート等もあり、小口径管と同様に老朽化が進んできている。これらの管渠は幹線として流量が非常に多く、新管布設替えや、水替えを必要とする従来の工法では、もはや対応できない状況となってきた。

そこで、昭和 61 年に東京都下水道サービス株式会社、積水化学工業株式会社、及び足立建設工業株式会社の 3 社により、東京都下水道局の指導のもと、まず小口径の管渠更生工法の開発に着手した。本工法の開発にあたり掲げた主要開発目標は以下のとおりである。

- ① 掘削を行わず施工できること。
- ② 既設構造物に損害を与えず施工できること。
- ③ 下水を流下させながら施工できること。
- ④ 取付け管を掘削せずに削孔できること。

こうした中で、SPR工法（Spirally Pipe Renewal Method）の開発は、昭和61年、小口径管用のSPR工法（元押し式）から始まり、大口径管用のスーパーSPR工法、曲線や長距離スパン用の自走式製管方式と進んだ。

平成10年からは、課題であった矩形・馬蹄形渠など、どんな断面形状でも更生できる自由断面SPR工法を実用化した。

ここでは、円形管を対象とする標準的なSPR工法の他、非円形断面管渠の更生も可能とする「自由断面SPR工法」について紹介する。

3. 工法の基本システム

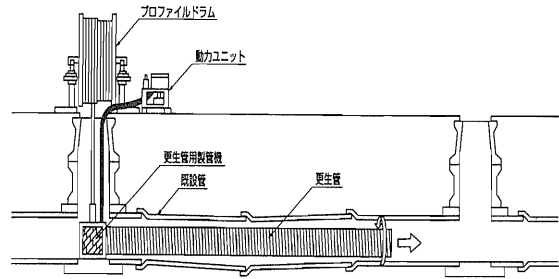
SPR工法は、工場生産により製造された硬質塩化ビニル製帯状材料（以下、「プロファイル」という）を螺旋状に巻いて管形状にする。この螺旋管（以下「更生管」という）を既設管内に挿入した後、既設管と更生管の間隙部に特殊裏込め材を注入し、既設管/裏込め材/更生管の3層複合管を新たに構築することにより、老朽管渠の更生を図ろうとするものである。

地上を掘削せずに既設構造物の限られたスペース内で施工をすること（以下、「非開削施工」という）は、従来の方法をベースとして考えた場合、効率が非常に低下することが予想される。そこで、本工法では省スペース下で連続作業が可能となるよう、特殊形状のプロファイルや施工機械を開発し、厳しい都市部の作業環境下での施工を可能とした。更生管の製管方法は、その方式により、

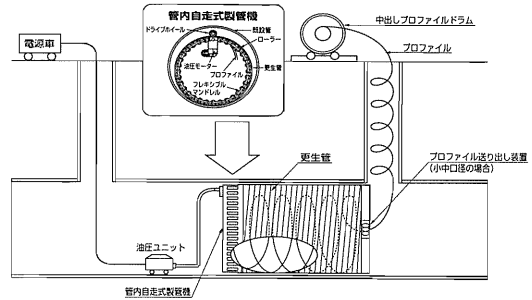
- ① 元押し式製管方式
- ② 自走式製管方式

に分類され、対象既設管渠の状態により使い分けられる。それぞれの製管基本システム図を図一1及び図二に示す。

本工法では、地上から硬質塩化ビニル製の「プロファイル」をマンホール等の開口部より既設管内の製管機に供給する。製管機はプロファイルを



図一1 元押し式製管方式



図二 自走式製管方式

螺旋状に巻回しながら連続的に嵌合させ、更生管を製管していく。なお、自走式製管方式では、製管機の規制フレームの形状を変更することにより、円形以外の更生管を製管することも可能である。

製管後、製管機を分解して地上に搬出し、既設管渠と更生管渠の間隙には、管口をシールした後、裏込め材として特殊モルタルを注入する。モルタルが硬化することにより、既設管、裏込めモルタル、更生管が一体となった強固な複合管が築造される。

4. 更生材料

本工法で用いる主な更生材料はプロファイルと裏込めモルタルである。以下に概要を述べる。

(1) プロファイル

本工法に使用するプロファイルは硬質塩化ビニル製の帯状部材であり、非円形断面の管渠や大口径の円形管を更生する場合には、溶融亜鉛めっき鋼板製の「スチール補強材」をプロファイルのリブ部に嵌合させた「スチール補強材一体型プロファイル」を用いる。プロファイルの断面形状及

#79SW (W型スチール補強材一体型プロファイル)

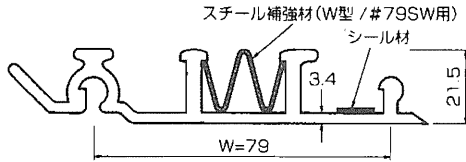
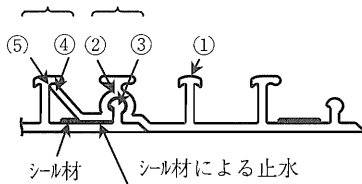


図-3 スチール補強材一体型プロファイル

サブロック機構 + メインロック機構 → 「ダブルロック機構」



- ① アイビーム構造リブ部
- ② メインロック用メス部
- ③ メインロック用オス部
- ④ サブロック用オス部
- ⑤ サブロック用メス部

図-4 プロファイルの嵌合機構

び嵌合機構を図-3及び図-4にそれぞれ示す。

このプロファイルは、従来より下水道硬質塩化ビニル管等に用いられてきた材質と同じものであり、耐久性等について信頼を得てきたものであるほか、両端部にオスメスロックを設けた特殊形状を設けることにより、1本の材料で効率よく更生管を製管することを可能としている。また、ロック部分（以下、「嵌合部」という）は、特殊なダブルロック構造を採用していることにより、高い水密性や強固な嵌合力を確保している。この嵌合部は、例えば既設管が完全に破壊した場合でも、内部の嵌合部はそのまま嵌合状態を維持できるほどの強度をもっている。

スチール補強材とプロファイルは工場で嵌合し、あらかじめ一体化されたものを現場に搬入して用いる。スチール補強材は、大口径の場合の裏込め材注入圧に対する剛性を向上させるとともに、非円形断面を製管する場合に塑性変形し、製管形状の保持の役割を担っている他、土圧などによって更生された複合管に発生する引張り応力に対して補強鉄筋としての役割も担っている。

(2) 裏込めモルタル

本工法は既設管の耐荷力を増大させることを大

きな目的としている。また、特に大口径の管渠では、下水供用下においても支障なく施工することが要求されることから、従来充填材料として良く用いられる泡モルタル等では対応することができない。このため、本工法専用の特殊裏込めモルタルの開発に着手した。開発にあたっての目標及び数値は以下のとおりである（モルタル3号の例）。

① 圧縮強度が大きい。

σ_{28} が 3.5×10^4 kN/m² 以上。

② 既設管との付着力が大きい。

③ 流動性が良い。

引抜きフロー値が 250 mm 以上。

④ セメント-骨材が分離しない。

⑤ 硬化収縮が小さい。

本工法に用いるモルタルは以上の性能を確保するために、骨材に砂等を用い、収縮低減剤や流動化剤などの添加剤を加えている。

5. 製管装置

本工法に用いる施工機器は、前述のとおり限られたスペース下で用いることを前提としているため、コンパクトで作業性の良いものが要求される。

本工法に用いる主な製管装置は、製管を行う製管機、プロファイルの供給を行うプロファイルドラムおよび裏込め材注入時の支保工設備であり、これらについて以下に概要を示す。

(1) 製管機（自走式製管方式用）

製管機は製管方式の違いにより元押し式製管機と自走式製管機の2種類がある。元押し式製管機はマンホール部に設置し、製管した更生管を順次管渠内に回転挿入していく。自走式製管機は、更生断面形状に応じた形状規制フレームの周囲を回転しながらプロファイルを螺旋状に巻回し、製管ローラによりプロファイルを嵌合しながら製管を行う。製管時にはプロファイルを1周巻回する毎にプロファイル幅の分だけ既設管内を前進する。動力源には油圧を用いている。自走式製管機の例として、矩形渠用の製管機の構造を図-5及び写真-1に示す。

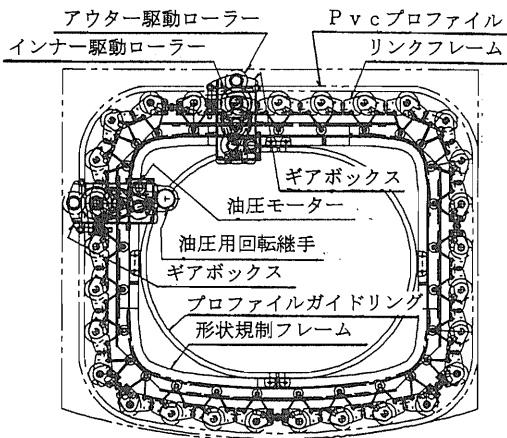


図-5 自走式製管機の例 (矩形)

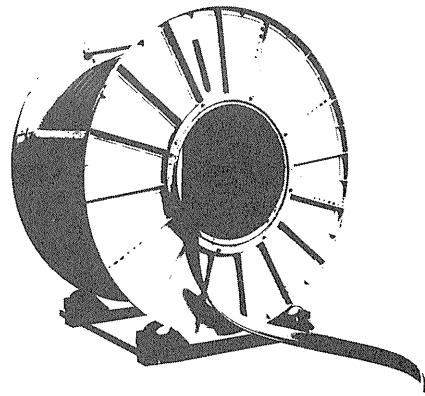


写真-2 中出しプロファイルドラム

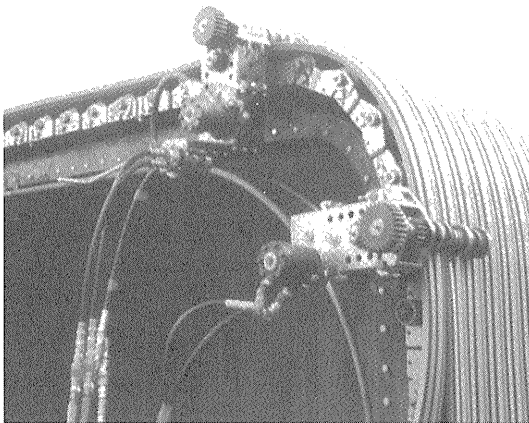


写真-1 駆動ローラ部分

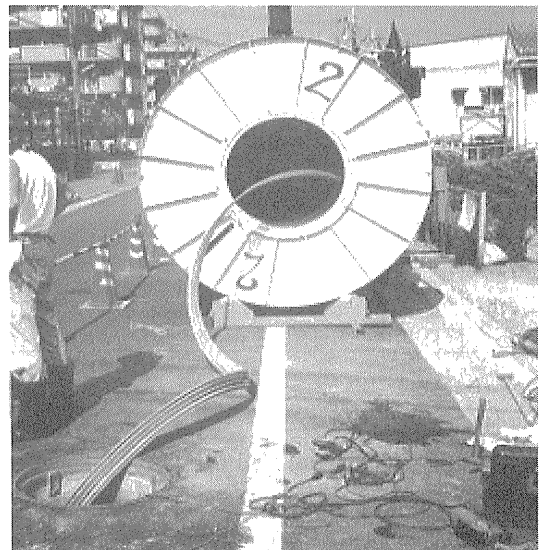


写真-3 中出しプロファイルドラム

(2) プロファイルドラム

本工法では、地上からプロファイルを連続的に供給する必要があるため、効率的に材料を運搬できるように、専用のドラムに巻いて現場に搬入する。ドラムは製管方式にあわせて、鉄ドラムと中出しドラムの2種類を用意している。写真-2及び写真-3に、自走式製管方式に使用する中出しプロファイルドラムを示す。

(3) 支保工設備

裏込め材注入にあたっては、そのまま注入した場合に更生管の変形や浮上が発生する恐れがあるため、事前に支保材を更生管内に設置する。この工程を支保工と呼び、専用の支保工設備を使用する。図-6に矩形渠用の支保工設備の一例を示す。

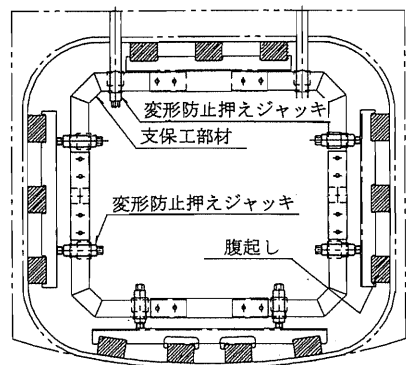


図-6 支保工設備 (矩形) の例

6. 各種評価試験

開発した更生材料および製管装置を用いて、本工法の有効性を確認するための種々の評価試験を行ったので以下に示す。

(1) 複合管外圧試験

SPR 工法で更生することにより、外圧による耐荷力がどの程度増大するかを確認、またその破壊メカニズムを解明するために、2,000 mm クラスの円形渠を対象に、供試体を作製し、外圧試験を実施した。

(a) 供試体

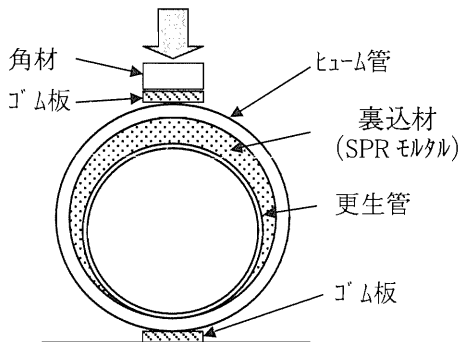
試験ケースは表—1 のように既設管の種々の劣化度合いを想定して設定し、供試体を作製した。

表—1 複合管渠外圧試験ケース

管種	No.	供試体詳細
原管	A-1	0.25 mm ひび割れヒューム管 (2,200 mm)
	B-1	破壊ヒューム管 (1,500 mm)
	C-1	減肉ヒューム管 (2,000 mm)
SPR 複合管	A-2	A-1 を SPR 更生 (更生管径 2,000 mm)
	B-2	B-1 を SPR 更生 (更生管径 1,300 mm)
	C-2	C-1 を SPR 更生 (更生管径 1,800 mm)

(b) 試験方法

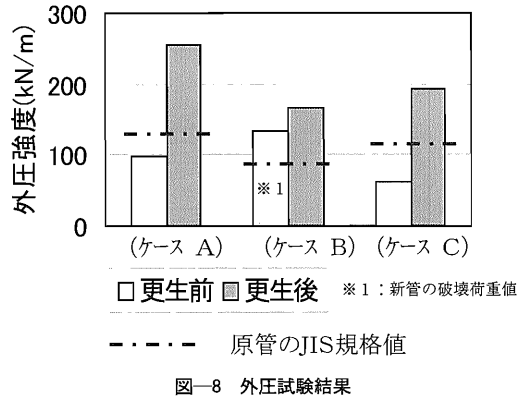
試験は図—7 の試験概要図に示すとおり、表—1 に示すそれぞれの供試体について破壊強度を測定した。破壊強度は最大荷重とした。



図—7 外圧試験概要図

(c) 試験結果

上記試験方法に基づき、外圧試験を実施した結果を図—8 に示す。あらかじめひび割れさせた場

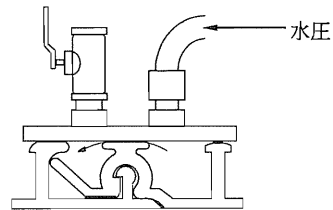


図—8 外圧試験結果

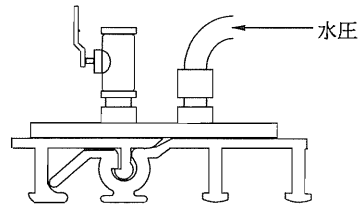
合(ケース A)の破壊強度を比較すると、原管(更生前)の規格値に比べて約2倍の強度復元がなされる。また、破壊させた場合(ケース B)や減肉した場合(ケース C)を更生すると、新管の JIS 規格値と同等以上まで復元させることができる。

(2) プロファイル水密性能試験

プロファイルの嵌合部分の水密性についての試験を行い、0.1 MPa の水圧で全く問題ないことを確認した。試験方法を図—9、図—10 に、試験結果を表—2 に示す。



図—9 プロファイル外水圧試験



図—10 プロファイル内水圧試験

表—2 嵌合水密試験結果

水密試験項目	基準値	試験結果
内水圧試験	0.1 MPa×3分で漏水・圧力変化のないこと	異常なし
外水圧試験	0.1 MPa×3分で漏水・圧力変化のないこと	異常なし

(3) 流下性能試験

円形管渠内において、更生前後の流速及び水深を測定し、マンシング式における粗度係数 n が、コンクリート管の $n=0.013$ に対し、更生管 $n=0.010$ と向上すること、及び1サイズダウンしても流下能力が向上することを確認した。

(a) 測定条件

- ① 既設管渠サイズ $\phi 2,000$ mm 円形管渠
- ② 更生管渠サイズ $\phi 1,800$ mm
- ③ 管渠延長 38.10 m
- ④ 水深 約 22 cm (更生前)

(b) 測定方法

スポンジボールが下流に到達する時間を計測し、管渠延長より流速を算出した。

以上の測定結果より粗度係数を求めた結果と更生前後の流量比較を表-3に示す。粗度係数が向上し、流下能力がアップしていることが分かる。

表-3 流下性能比較表

	流速 (m/s)	水深 (cm)	粗度 係数	満管水深流量 (m^3/s)
既設管渠	1.475	22	0.0115	10.8765
更生管渠	1.632	13	0.0090	12.7430

※ 流量は実測の粗度係数より求めた。

7. 本工法の特長

以上の評価結果等をもとに SPR 工法の特徴をまとめると以下のとおりとなる。

- ① 更生後の管強度は新管同等以上に復元する。
- ② 供用下で施工することができる。
- ③ 更生後の流下能力は更生前の設計流量と同等以上になる。
- ④ 長距離及び曲線管渠の更生ができる。
- ⑤ マンホール間を一定勾配を付けて更生できる。
- ⑥ 更生後の管渠は、耐久性、耐摩耗性、耐薬品性に優れる。
- ⑦ 矩形渠・馬蹄形渠等、任意の断面の管渠を更生できる (自由断面 SPR 工法の場合)。

8. 施工例

本工法の実際の施工について、以下に円形管・矩形渠等の施工例を紹介する。

(1) 円形管施工例 (1) (小口径)

(a) 施工条件

既設管径： $\phi 250$ mm
 更生管径： $\phi 200$ mm
 施工スパン：約 49 m
 水深：5 cm

施工区分：昼間

(b) 施工結果

小口径の管であったが、地上の交通に支障を与えることなく施工を完了することができた。

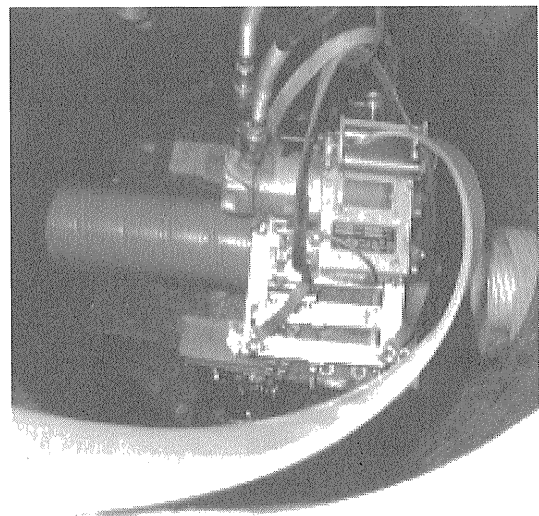


写真-4 小口径 (250 mm) 製管状況

(2) 円形管施工例 (2)

(a) 施工条件

既設管径： $\phi 2,000$ mm (合流式)
 更生管径： $\phi 1,900$ mm
 施工スパン：約 45 m
 水深：10~50 cm

施工区分：夜間 (22:00~8:00)

(b) 施工結果

水深が最大で 50 cm と、かなりの流量であったが、特に施工に支障はなく、約 45 m のスパンを

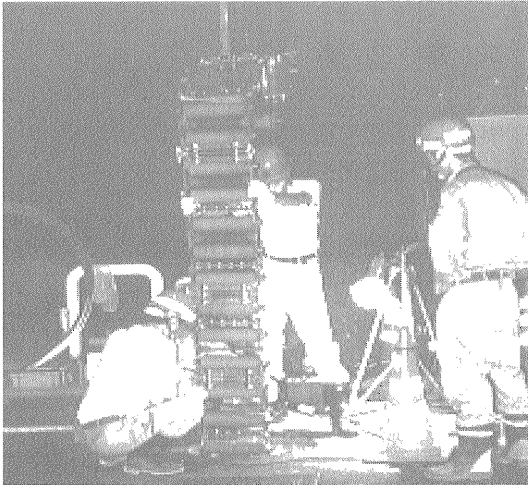


写真-5 製管機搬入状況

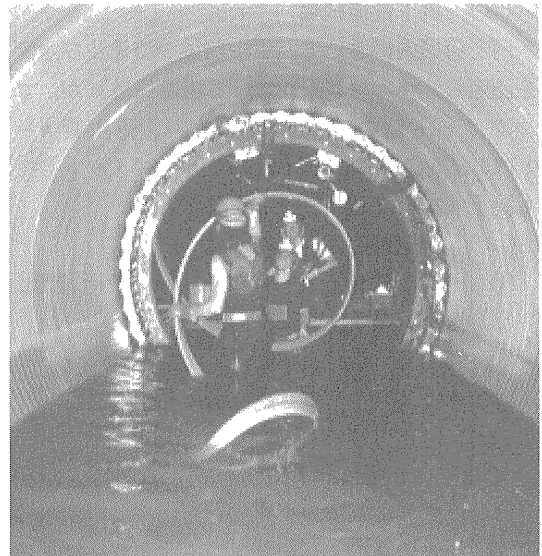


写真-7 製管状況（自走式）



写真-6 製管状況（自走式）

16日間で施工することができた。写真-5及び写真-6に施工中の状況を示す。

(3) 円形管施工例 (3)

(a) 施工条件

既設管径： $\phi 2,400$ mm

更生管径： $\phi 2,250$ mm

施工スパン：約 95 m

水深：70~100 cm

施工区分：夜間

(b) 施工結果

円形の大口径である関係上、製管機に規制フ

レームを加え、施工を完了することができた。施工状況を写真-7に示す。

(4) 矩形渠施工例 (1)

(a) 施工条件

既設管渠サイズ・形状 $\square 1,670$ mm

$\times 1,520$ mm

インバート付き蓋掛け矩形渠（合流式）

更生管渠サイズ $\square 1,540$ mm $\times 1,370$ mm

施工スパン 97.5 m

施工区分 昼間

(b) 施工結果

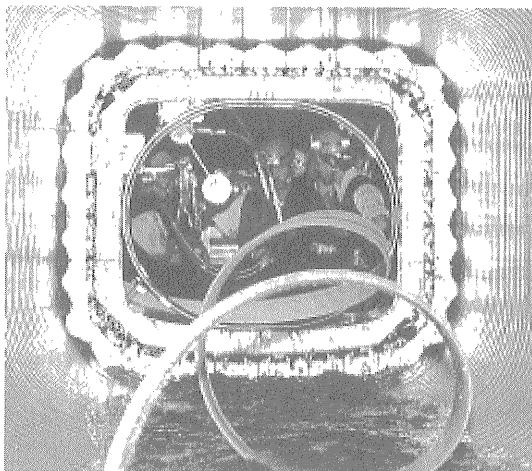
準備工を含め、約 50 日で施工することができた。これは我々の試算では開削工法で施工した場合の 1/3~1/4 程度の工期である。また、施工完了後裏込め材注入が正常に行われたかどうかの確認のため、コア抜取りにより圧縮強度を測定した。その結果、平均 $\sigma_{28} = 480$ kgf/cm² となり、また全ての場所で設計圧縮強度 $\sigma_{28} = 350$ kgf/cm² を上回っていることを確認した。写真-8に施工中の状況写真を示す。

(5) 矩形渠施工例 (2)

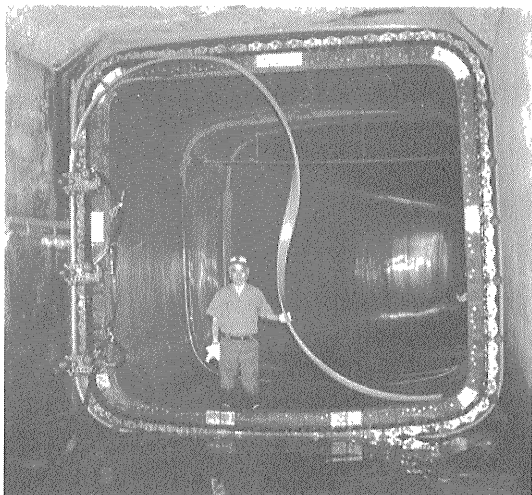
(a) 施工条件

既設管渠サイズ・形状 $\square 4,100$ mm

$\times 4,000$ mm



写真—8 矩形製管状況（更生管側）



写真—9 超大口径矩形渠更生状況

インバート付き蓋掛け矩形渠
 更生管渠サイズ □3,900 mm×3,800 mm
 施工スパン 33.55 m
 施工区分 夜間

(b) 施工結果

超大口径の施工例として、最大サイズの施工実績となる本工事においても、中大口径サイズと同様、製管・裏込め注入等スムーズに行うことができた。写真—9 に施工状況を示す。

9. 施工実績

SPR 工法は昭和 61 年に施工を開始して以来順調に実績を伸ばしており、平成 12 年度末で累積管渠延長として約 20 万 m の実績を達成することができた。また、施工分野も当初の下水のみならず、最近では当工法による農業用水管の更生や、シールド 2 次覆工も行っており、今後各分野での展開が期待されている。

10. おわりに

これまで、元押し式製管方式を中心として実績を重ねてきたが、新たに開発された「自走式製管方式」及び「自由断面 SPR 工法」により、広範囲の老朽管渠を更生することができることとなった。

今後、管更生の需要の多い形状、サイズ、分野に対応すべく、更に適用範囲を広げていく予定である。

J C M A

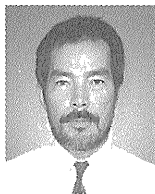
【筆者紹介】



西村 伸一（にしむら しんいち）
 日本 SRP 工法協会
 技術部長



北山 康（きたやま やすし）
 日本 SRP 工法協会
 技術第一課長



山城 浜夫（やましろ はまお）
 足立建設工業株式会社
 企画開発部
 次長