

自然流下管から内圧管までの更生管の 高強度化を実現させたインシチュフォーム工法

キーワード

非開削, 管更生, 自立管, 内圧管, 高強度, 反転工法



1. はじめに

下水道管・水道配管・工業用水配管や農業用水路などは、現代社会において、都市や産業の発展と成熟を支え続けている。こうしたライフラインは、年月を経て損傷・老朽化の傾向にあるが、掘削障害物（地下埋設物）の存在や、交通障害回避、周辺環境への配慮の必要性などから、非開削による更生技術の必要性が高まっていると共に近年では、内空断面の確保、高強度化が求められている傾向にある。

そこで、このインシチュフォーム工法は、開削工事を必要とせず、既設管の補修・強度補強を図り、再活性化、長寿命化を効率的かつ低コストで実現する管更生工法として生み出された。

ここでは、インシチュフォーム工法の概要、自然流下管路や内圧管路向けの自立管仕様の高強度材料、追跡調査報告などについて報告する。

2. インシチュフォーム工法の概要

2-1 インシチュフォーム工法の誕生と沿革

インシチュフォーム工法は、非開削による老朽管更生のルーツと呼ばれ、その歴史は45年以上前に遡る。

まず、インシチュフォーム（Insituform）の意味について説明しておきたい。「In-situ」はラテン語で「本来の場所で・元の場所に」という意味であり、「form」は「形成する」という英語である。「Insituform」で「元の形に戻す、元の場所で形成する」という意味の造語である。

このインシチュフォームは、1971年に英国のエリック・ウッド氏（Eric Wood）によって発明され、同年、ロンドン市内の東ロンドンマーシュレーンに100年前に布設されたハックニー下水道管渠1,175mm×610mmのレンガ積卵形管、延長70mに施工されたものが世界最初のものである。今から約15年前と25年前になるが、1991年と2001年にこの時施工されたインシチュフォームの施工20年後と30年後の品質を検証するために、同管内からサンプルを採取した。それらのサンプルの強度・弾性率等の確認試験が行われ、ともに長期耐久性の問題が無いことが証明されている。この更生管は、最古のものとして45年を経過した現在でも供用されている。

この工法が、英国内で発展を遂げるとともに、1970年代後半には、ヨーロッパ諸国、アメリカ、さらにオーストラリアにおいても実施されるようになり、現在は世界30数カ国において施工され、総延長40,000km以上にも及ぶ世界で最もポピュラーな工法になった。そして、1980年代に入ってから、施工方法や材料の開発・改良が進み、現在のような各種更生工法が開発・実施されるようになった。

日本においては、1986年に技術導入され、同年4月埼玉県越谷市内の下水道管渠で延長31.9m、口径530mmのヒューム管に対して施工されたものが初めてであり、現在も問題なく供用している。

また、本管技術においては、1991年に、他工法に先駆けて日本下水道事業団の技術審査証明を取得した。そして、更に新しいメニューを加え2004年3月に（財）下水道新技術推進機構（現在の（公財）日本下水道新

技術機構)の建設技術審査証明(下水道技術)を取得し、2007年7月に、形成工法・空気反転工法・蒸気硬化を2015年3月には、高強度ガラスライナーを加えた。現在では、下水道管の他、内圧管路である上水・工業用水・農業用水・発電用冷却水などのあらゆる管路の更新・更生に広く利用されており、2016年3月末時点での国内累積施工延長は313kmを超えた。

2-2 特長

インシチュフォーム工法は、既設管路の大きさにあわせて筒状に縫製、又は積層した不織布やガラス繊維に、熱硬化性樹脂を含浸し、水圧若しくは空気圧にて既設管内に反転、又は引込みにて挿入拡張後、温水或いは蒸気にて樹脂を硬化させ、既設管内に新しいプラスチックの管路を形成、構築する工法であり、本工法の主な特長を挙げると以下のようである。

- ①幅広い工法のバリエーションを有する本工法は、既設管種や劣化の程度を問わず、管路状況に最適な工法と管厚が選定できる。
- ②非開削による短時間施工により、工期が短く、地上部に交通規制や断水への障害を最小限に食い止めることができる。
- ③マンホールを利用する下水道管の更生では、引込み、蒸気硬化の選択で、より短時間での施工が可能である。
- ④水圧、空気反転時には、既設管に密着しながら挿入されるため、あらゆる形状、管径に対応が可能である。
- ⑤水圧反転は、十分な反転推力が確保され、長距離施工・多数の曲管部施工が可能であり、既設管内への地下水の浸入があっても、施工することができる。
- ⑥新しく形成した更生管は、表面の滑らかなプラスチックの一体構造管路となり、粗度係数の改善により流下・通水機能が向上する。
- ⑦世界的に普及している本工法は、大量生産と実績に裏付けされた信頼ある技術力にもとづき、優れたコストパフォーマンスを発揮する。
- ⑧45年以上の実績と世界30カ国以上で普及した本工法は、安定した品質を確保し、管路の寿命が向上する。

2-3 工法のバリエーション

インシチュフォーム工法は、内面の腐食対策、浸入水、漏水対策から更生管単体で外圧や内圧に対して全

負担が可能な自立管まで、多種多様な更生ニーズに対応できる材料・工法のバリエーションを有している。主な材料を下記に示す。

(1) 標準工法：INS-S (Standard Lining)

INS-S工法は、工法開発時からあらゆる流体に適用している材料である。標準型の材料であり不織布と熱硬化性樹脂で構成される。既設管に欠損、継手部のズレ等の補修レベルの二層構造管、さらには、更生管単体で、外圧を全て負担する、いわゆる自立管としての更生まで、水種や挿入、硬化手法を問わず、非常に幅広い守備範囲を持つ工法である。

(2) 高強度ガラス型工法：INS-GL

(High Strength Glass Lining)

INS-GL工法は、高強度タイプの材料でガラス繊維と熱硬化性樹脂で構成される。下水道排水管専用(自然流下管)で、二層構造管から外圧を全て負担する自立管としての更生が可能である。さらに更生管としての強度物性が高く、構築された更生管は従来より薄肉化され、短時間施工、施工性も向上し、施工後の断面欠損が最小限に抑えられることから通水断面の確保がより可能となった(写真-1)。



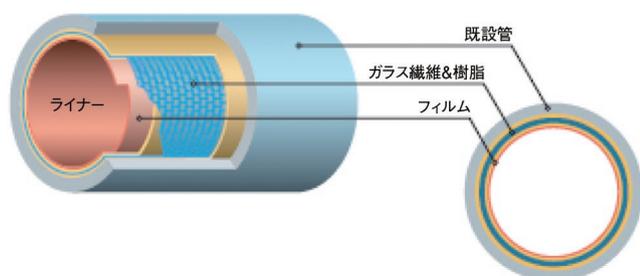
写真-1 高強度ガラス型工法 (INS-GL)

(3) 高内圧型工法：INS-HPL

(High Pressure Lining)

INS-HPL工法は、内圧管に適用するために開発された材料、工法であり、水道管、農業用水、工業用水などの内圧管路への対応が可能である。従来のタイプより強度物性が2倍以上に強化されたことから薄肉化となり、施工性も向上、水圧反転、温水硬化を利用することで、長い管路延長への対応も更に優位性を増し

た。また下水道分野においては、下水圧送管などの内圧の掛る管路への適用が可能であり、従来の内圧型からの対応になるが道路橋の添架管などを中心に施工実績が年々増加している傾向にある（図－1）。



図－1 高内圧型工法 (INS-HPL)

2-4 施工方法

反転工法の挿入は、水又は、空気の注入によりライナーバック（硬化する前の更生材の総称）先端部で、反転が、繰り返され樹脂面を既設管路壁に密着させながら既設管内に挿入します。反転挿入中、ライナーバック末端には、温水ホース又は、蒸気ホース（大口径や延長の長い場合採用する。）を接続、温水（蒸気）ホースは、ライナーバックの挿入進行に伴って管内に引込まれます。更生する既設管路区間を反転挿入完了後、先端に到達した温水（蒸気）ホースを利用し、蒸気硬化の場合は、蒸気ボイラーを用いて蒸気を投入、温水硬化の場合は、ライナーバック内の水を温水ボイラーを用いて規定の温度・時間まで暖めます。また形成工

法の挿入は、電動ウインチ等を使用し、既設管内に引込み、空気圧により既設管路壁に密着後、蒸気を投入し、規定の時間まで暖めます。管内の布設状況の判断では、温水での硬化手法も対応が可能です。そして、ライナーバックに含浸した熱硬化性樹脂は、加熱することで硬化反応を起し、完全に固まり、硬化した更生管は、可とう性を持った継目の無い強固な樹脂パイプとなって、老朽化した既設管を更新更生します。

水圧、空気反転、形成工法、温水硬化、蒸気硬化などの工法、手法は、口径、延長、既設管線形、管内状態等に応じて、工法を選択する。挿入方法と硬化方法の組合せを下記に示す（図－2）。

3. 高強度材料

3-1 高強度ガラス型工法

（INS-GL：高強度ガラスライナー）

高強度ガラスライナーは下水道管路向けに開発された自立管用の高強度材料である。主な物性値を以下に示す（表－1）。

(1) 高強度ガラスライナーの施工事例

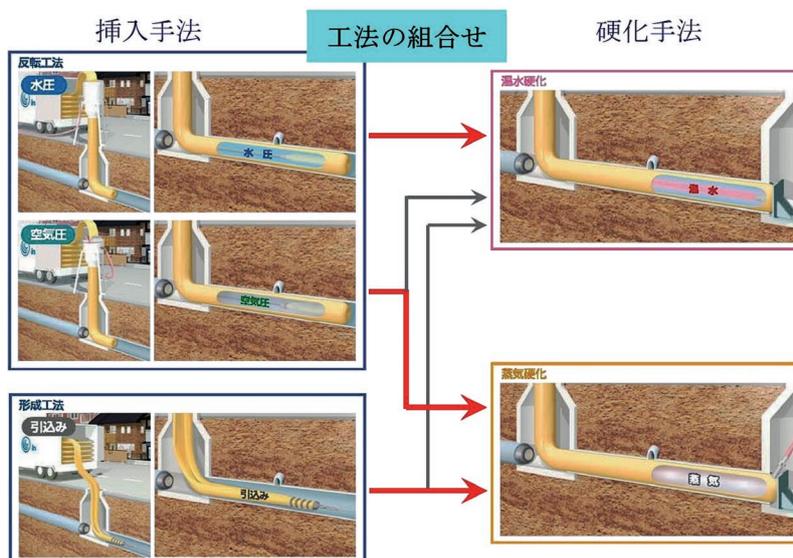
① 工事概要

施工場所：北海道内

施工時期：2015年7月24日（金）

施工規模：φ450mm×27.1m（取付管5箇所）

更生管厚：8.0mm（INS-GL）



図－2 挿入方法と硬化方法

表-1 強度特性 (INS-GL)

強度特性項目		高強度ガラスライナー	試験規格
曲げ強度	短期	140 N/mm ²	JIS K 7171
	長期	100 N/mm ²	JIS K 7039
曲げ弾性係数	短期	10000 N/mm ²	JIS K 7171
	長期	8900 N/mm ²	JIS K 7035
引張強度	短期	140 N/mm ²	JIS K 7161
引張弾性係数	短期	8000 N/mm ²	
圧縮強度	短期	80 N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数	短期	5000 N/mm ²	

※上記の値は、建設技術審査証明書で確認された値

②現場状況

閑静な住宅街に埋設してある下水道管路への更生工事。当日は、発注者と近隣の日本インシチュフォーム協会の協会員への見学を兼ねた工法説明会も開催された。

③施工時間実績

- 準備工：8：30～9：50
- 更生材引込み・拡径：9：50～10：45
- 硬化養生作業：10：45～13：05
- 管口カット・インナーフィルム除去・
- 取付管口穿孔・管口仕上げ：13：05～16：00
- 片付け・撤去：16：00～16：30



写真-2 施工後管内状況 (穿孔後)

高強度ガラスライナーの材料や機械設備、各作業工程を説明しながらの施工となったが昼過ぎに硬化工程を完了し、5箇所の取付管口の穿孔、管内仕上げ、管口仕上げ、管内テレビ調査確認を完了させ17時前には現場から撤収を行った。

発注者を始め見学をされた協会員からは、施工中の発生する臭気の少なさ、管内の仕上がり状態、短時間での施工結果などに高い評価を得た (写真-2)。

3-2 高内圧型工法 (INS-HPL：高内圧ライナー)

高内圧ライナーは内水圧の掛る圧力管路向けに更なる高強度化のために開発された新材料である。主な短期物性値を以下に示す (表-2)。

(1) 高内圧ライナーの確認試験状況

短期強度特性の他、施工性、水密性、偏平試験、長期試験など要求性能試験を実施し、内圧管用の従来型の更生管より優れた評価結果を確認した。以下に長期試験状況の写真を示す (写真-3)。

4. インシチュフォーム工法の追跡調査

4-1 東北地方太平洋沖地震後の追跡調査

平成23年 (2011年) 3月11日に発生した東北地方

表-2 強度特性 (INS-HPL)

強度特性項目	単位	ビニルエステル樹脂		エポキシ樹脂		不飽和ポリエステル樹脂	
		5mm仕様	8mm以上	5mm仕様	8mm以上	5mm仕様	8mm以上
短期引張強度	N/mm ²	5mm仕様	8mm以上	5mm仕様	8mm以上	5mm仕様	8mm以上
短期曲げ強度	N/mm ²	120	150	120	150	100	100
短期曲げ弾性係数	N/mm ²	90	160	80	130	80	150

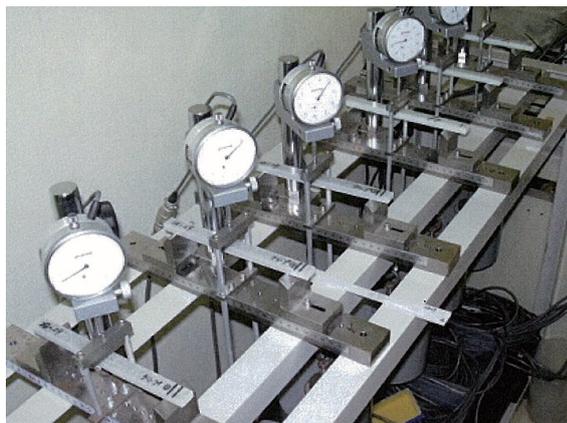


写真-3 長期試験実施状況

太平洋沖地震の被災地で施工していた管路について地震後の更生管の管内状況を調査し、耐震性能についての確認を行い、耐震性と耐久性の確認を行った。

追跡調査を行った中では一番古い実績の平成11年12月に施工をした、宮城県名取市（φ1200mm×21.0mm×120.35m）の調査をはじめ宮城県内4地域（仙台市・石巻市・気仙沼市・名取市）、16スパンの管内調査を行い異常のないことを確認した（写真-4）。

また、釧路沖地震（平成5年1月15日）や阪神淡路大震災（平成7年1月17日）後の管内調査においても更生管の健全性を確認している。



写真-4 管内調査状況（名取市：φ1200mm）

4-2 名古屋市 φ1350mm 更生管の25年後の追跡調査

昭和63年3月（昭和62年度）に名古屋市緑区内にて施工されたφ1350mmのインシチュフォーム工法により更生された管路の追跡調査を行い施工後25年

経過した更生工法の長期耐久性について検証を行い、健全性の確認を行った。

平成25年11月に施工後25年を経過した更生管管内の状況確認と更生管の一部を採取し、曲げ特性、引張特性などの強度特性の確認を行った結果、更生管は割れや欠損などの異常等も無く、健全で安定しており、採取した更生管の強度物性試験からも現在も規格値を上回る十分な強度を有していることから、施工時の性能を高い水準で維持し続けていることが検証された（写真-5）。



写真-5 供試体採取状況

5. おわりに

インシチュフォーム工法に代表される日本国内での管更生工法の歴史は30年余りと、まだまだ短い歴史ではあるが、全世界において既に40,000kmを超えた管路が施工され、その中には45年を経過してなお供用されている管路が存在している。日本国内では、震災後の管内調査や施工後25年後の追跡調査結果などから、インシチュフォーム工法の更生管の長期耐久性の検証がされた。言い換えれば、今まで培ってきた歴史がこれら設計法の妥当性を裏付けしていると思われる。

日本においては、今後更に老朽管路の更新・更生に対するニーズが急激に増加していく状況において、更生工法の施工技術の維持、日本の実態に則した設計法の確立と更生管の評価が行われ、品質確保と共により更なる高強度、短時間化を目指し、経済的な工法へと発展することを期待するとともに努力していきたいと考えている。