

大口径下水道管きょリニューアル技術の開発 ～ボックス工法～

金氏 眞¹・高尾 洋平²・中川 雅由³・齊藤 祐輔³
永森 邦博⁴・岡本 達也⁵・秋山 暉⁶

¹フェロー会員 工博 鹿島建設株式会社 土木技術本部 リニューアル室 (〒107-8388 東京都港区元赤坂 1-2-7)

²正会員 鹿島建設株式会社 土木技術本部 リニューアル室 (〒107-8388 東京都港区元赤坂 1-2-7)

³正会員 鹿島建設株式会社 土木設計本部 プロジェクト設計部 (〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30)

⁴正会員 鹿島建設株式会社 機械部 (〒107-8388 東京都港区元赤坂1-2-7)

⁵正会員 鹿島建設株式会社 東京支店 (〒107-8477 東京都港区元赤坂1-3-8)

⁶正会員 カジマ・リノベイト株式会社 技術部 (〒162-0065 東京都新宿区住吉町1-20)

今回開発した管更生工法「ボックス工法」は、大口径下水道管きょを対象に、既存下水道管きょの内部に耐酸性を有する更生管を連結することにより新たな管きょを構築する工法である。本工法の最大の特徴は、既設管の強度を期待せず、更生管のみで作用する土水圧に対して必要な強度を確保できる自立管方式である。また、更生管内面の粗度係数は既設下水道管きょよりも小さく、更に超薄肉構造形式の更生管の開発により、管更生後の断面縮小量を最低限に抑えることで、下水道管きょの流下能力を補修前と同等に確保することに成功した。

本論文では、ボックス工法の概要を説明するとともに、供用中の下水道管きょで実施した実証工事について報告する。

キーワード: 下水道管きょ, リニューアル, 管更生工法, 自立管, 流下能力

1. 開発の背景

我が国の下水道普及率は平成12年度末において約62%であるが、大都市部に限るとほぼ100%に近づいている。これら大都市の下水道施設は、高度成長期に急速に整備が進められた。しかし、近年これら下水道施設の老朽化が顕在化してきており、今後、耐用年数を超える管きょが急増すると考えられる。また、下水から発生する硫化水素に起因する硫酸腐食による早期劣化も報告されており、今後の下水道整備事業は、新設から既存施設のリニューアルへ徐々に移行していくことが予想される。

劣化した下水道管きょのうち、φ600mm以下の小口径管きょについては、熱硬化樹脂や光硬化樹脂を用いた数多くのリニューアル工法（反転工法、形成工法）が提案され、リニューアルが進んでいる。しかし、その工法の大半が「水替え（下水をバイパスにより別ルートに流す方法）」が必要であり、幹線として利用されている大口径管きょについては、容易に「水替え」ができないため適用が困難であった。

一方、大口径管きょについては、既設管きょ内面に耐酸性樹脂ライニングを設置し、既設管きょとの隙間に高強度グラウトを充填し一体化することによ

って必要強度を確保する「複合管工法」が採用されている。しかし、「複合管工法」では、劣化の進んだ既設下水道管きょの残存強度の判定が困難であることやリニューアル後の強度確認ができないという問題点が指摘されている。

また、既設管きょに強度を依存しない「自立管工法」としては、既設管きょ内に新設管きょを挿入する鞘管工法があるが、従来工法ではリニューアル後に流下断面が縮小するため、設計流下能力を確保することができない（流下能力が低下する）という問題があった。

そこで、我々は、このような既存工法の問題点に着目し、「①下水を供用しながら更生管の構築が可能」「②更生管のみで作用土水圧に対する必要強度を有する自立管工法」「③リニューアル後も流下能力を100%確保」を開発目標として、大口径管きょのリニューアル工法「ボックス工法」を開発した。

以下に「ボックス工法」の概略と供用中の下水管きょにて実施した実証工事の結果について報告する。

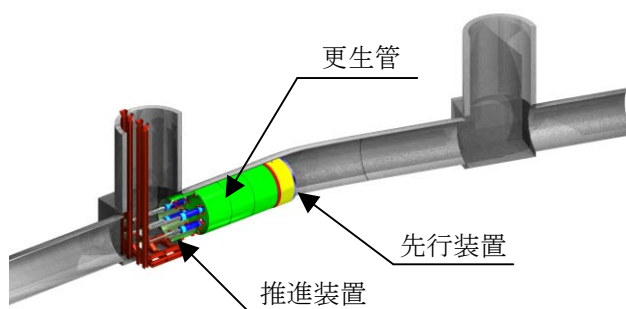
2. ボックス工法の概要

ボックス工法は、φ800mm以上の大口径管きょを

対象としており、マンホール部等の人孔から、既設下水道管きよの内側に、耐酸性を有するボックス更生管を推進装置にて連結推進させることにより、新たな管きよを構築する工法である（図－１参照）。なお、更生管推進完了後は、既設下水道管きよと更生管の隙間に、特殊グラウトを充填する。

本工法の特徴を以下に示す。

- ① 既設管きよに強度を依存せず、更生管のみで作用土水圧に対する必要強度が得られる自立管工法である。
- ② リニューアル後の断面で既設下水道管きよの流下能力を100%確保できる。
- ③ 硫化水素に起因する硫酸腐食に対して、十分な防食性能を有する。
- ④ 機械化施工により、下水を供用しながら更生管構築が可能である。更に、劣悪な作業環境である管きよ内での作業時間を大幅に削減できる。
- ⑤ 緩やかな曲線（ $R \geq 200\text{m}$ ）にも適用可能である。



図－１ バックス工法の概要

3. バックス更生管について

本工法に使用する更生管は、内面を耐酸性樹脂（塩化ビニル樹脂）ライニングにて被覆した高強度鉄筋コンクリート構造である「RC更生管」（写真－１参照）と材料自体が耐酸性を有する強化プラスチック複合管である「FRPM更生管」（開発中）の２タイプがある。これらの更生管の適用範囲は表－１に示すとおりである。

表－１ バックス更生管の種類と適用範囲

更生管種類	主部材・適用既設管径
RC更生管	主部材：高強度鉄筋コンクリート ＋内面耐酸性樹脂被覆 適用既設管内径：φ 1,650～3,000mm
FRPM更生管	主部材：強化プラスチック複合管 適用既設管内径：φ 800～2,400mm

以下、今回の実証工事において使用したRC更生管について紹介する。



写真－１ RC更生管

RC更生管の要求品質は以下のとおりである。

- ① 作用土水圧に対して十分な強度を有すること。
- ② リニューアル後も既設の流下能力を確保するために、更生管内面の粗度係数を0.010以下にするとともに断面縮小率を極力抑えること（更生管の管厚を可能な限り薄くすること）。
- ③ 「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針」のD2種相当の耐酸性及び耐久性を有すること。

これらの要求品質を満足するための更生管の設計方法を以下に示す。

（１）更生管径及び管厚の設定

既設管きよと同等の流下能力を確保するための方策として、更生管の内面を被覆している防食樹脂の粗度係数を0.010以下とし、既設管きよ（コンクリート）の粗度係数0.013との差により流下能力を確保することを基本とし、以下のマンニング式に基づいてリニューアル前後の流量計算を行った。

$$Q = A \times V \quad V = \frac{R^{2/3} \times I^{1/2}}{n}$$

ここに、Q：流量（ m^3/s ）

A：流水の断面積（ m^2 ）

V：流速（ m/s ）

n：粗度係数

R：径深（ m ）（ $= A/P$ ）

P：流水の潤辺長（ m ） $= \pi \times D$

I：勾配

更に、既設管きよと更生管とのクリアランスは、更生管推進時に必要な施工余裕代と特殊グラウトの充填性等を考慮して、15mm以上確保することとした。

以上の２点を考慮して、各既設管径において流下能力を確保できる更生管径及び管厚を設定した。

表－2に更生管厚の設定一例を示す。

表－2 更生管厚の設定例
(既設管内径：φ1,650mmの場合)

	既設管内径 φ1,650mm	更生管内径 φ1,496mm
粗度係数 n	0.013	0.010
内径 D (m)	1.650	1.496
断面積 A (m ²)	2.138	1.758
潤辺 P (m)	5.184	4.700
径深 R (m)	0.413	0.374
勾配 I (‰)	2.2	2.2
流速 V (m/sec)	1.999	2.435
流量 Q (m ³ /sec)	4.274	4.280

よって、既設管内径φ1,650mmをリニューアルする場合に用いる更生管の内径はφ1,496mm以上必要である。

施工上に必要な既設管と更生管とのクリアランスを考慮して、更生管厚を60mm（クリアランスを17mm）と設定した。

(2) R C 更生管の設計

R C 更生管の設計にあたっては、R C 構造物、シールドセグメント等に適用されるR C 計算（許容応力度法）の考え方を踏襲した。

従来、下水用ヒューム管の設計では、“作用荷重”が“ひび割れ保証荷重”以下であることを照査することによりひび割れを許容しない設計を行っている。それに対し、ボックス更生管では、内面を被覆し、コンクリートを内面に露出させないことでひび割れを許容し、“部材の応力度”が“許容応力度”以下であることを照査する。ただし、破壊耐力については従来のヒューム管の規格破壊荷重以上を確保することとした。許容応力度及び破壊耐力を確保するために、ボックス更生管では高強度コンクリート（ $\sigma_{ck}=70\text{N/mm}^2$ 以上）を用いている。

ボックス更生管は、現時点で自立している既設管きよ内に構築されることから更生管に作用する荷重は、推進工法で施工される管きよと同等もしくはそれ以下であると考えられる。したがって、作用荷重は、「ヒューム管設計施工要覧（全国ヒューム管協会）」の推進管に作用する作用荷重算定方法に準じた。

また、R C 更生管の配筋は、更生管に発生する断面力に対して許容応力度以下となるような仕様とし、更に耐久性を考慮して、必要かぶりを確保するものとした。

鉄筋の必要かぶりは、「【2002年制定】コンクリート標準示方書（土木学会）〔構造性能照査編〕」に示されているプレキャスト製品最小かぶりの規定に準拠した。更生管内面側については、耐酸性樹脂にて被覆されていることから、「外気に露出されない・・・、耐久性についての考慮を必要としない」

場合の「10mm」を確保するものとし、更生管外面側については、「外気に露出する場合、土や水に直接ふれる・・・」場合の「20mm」を確保することを基本とした。但し、流量確保の観点から更生管の薄肉化を図った際に、外面側に構造上20mmのかぶりの確保が困難な場合は、最低10mmのかぶりを確保し、コンクリート表面をメッキ鋼板等で被覆することとした。ヒューム管とR C 更生管の設計の考え方の比較を表－3に示す。

表－3 ヒューム管とR C 更生管の
設計の考え方の比較

		ヒューム管	R C 更生管
準拠基準		「ヒューム管設計施工要覧」 (全国ヒューム管協会)	「ヒューム管設計施工要覧」 (全国ヒューム管協会) 「コンクリート標準示方書」 (土木学会)
形状	内空	－	流下能力 100%確保
	管厚	－	既設管とのクリアランス 15mm 以上確保
強度	基本概念	作用土水圧がひび割れ保証荷重以下であること	作用土水圧に対して、部材の応力度が許容応力度以内に収まっていること
	試験方法	規格破壊荷重以上の耐力を有すること ひび割れ保証荷重においてひび割れがないこと	同外径のヒューム管の規格破壊荷重以上の耐力を有すること
	規格値	ひび割れ ⇒ひび割れ保証荷重 破壊 ⇒規格破壊荷重	応力度 ⇒許容応力度 破壊 ⇒規格破壊荷重
耐久性	基本概念	作用荷重に対してひび割れを許容しない鉄筋の必要かぶりを確保	更生管内面を耐酸性樹脂にて被覆することで、作用荷重に対してひび割れを許容鉄筋の必要かぶりを確保
	構造	鉄筋かぶり 内面：20mm 外面：20mm	鉄筋かぶり 内面：10mm (樹脂被覆のため) 外面：20mm 但し、更生管の極薄化のために 20mm 確保出来ない場合は 10mm のかぶりを確保し、外側にシート防食を施す。

(3)破壊耐力の確認

R C更生管(外径φ1,616mm)の強度を外圧試験により確認した。試験は「ヒューム管設計施工要覧」(全国ヒューム管協会)に準じて実施した。試験結果は、規格破壊荷重82.3kN/mに対し、破壊荷重86.1kN/mとなり、十分な強度を有することが確認された。

(4) R C更生管の製造

R C更生管は、同外径のヒューム管の半分以下の管厚で所定の強度を確保する必要性から、結果として高密度配筋となった。よって、R C更生管に用いるコンクリートには、設計基準強度70N/mm²という高い強度とともに優れた充填性能も要求された。そこで、写真-2に示すような高強度高流動コンクリートを適用した。

R C更生管に用いるコンクリートの基本配合を表-4に、フレッシュ性状を表-5に示す。

コンクリート打設に際しては、高密度配筋でコンクリートが詰まりにくい構造であることから、型枠バイブレータを用いて、十分な締固めを行った。

コンクリート打設後は、約3時間の前養生の後、養生温度45℃、養生時間8.5時間の蒸気養生を行った。脱型後、14日間気中養生した後、製品として出荷するものとした。



写真-2 高強度高流動コンクリート

表-4 コンクリート基本配合

W/P (%)	S/a (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	AD	S	G	SP
24.0	46.0	2.0	165	619	69	758	857	9.6

表-5 フレッシュ性状

測定項目	物性値
スランプフロー (mm)	600±50
空気量 (%)	2.0±1.5

(5) R C更生管の耐酸性

R C更生管内面に用いている耐酸性樹脂ライニングは塩化ビニル樹脂製である。現在、日本下水道事業団の「コンクリート防食指針(案)」に基づき、

10%の硫酸水溶液にて耐酸性試験を実施継続中であるが、浸せき日数120日における硫黄浸透深さを、E P M A (Electron Probe Micro Analyzer: 電子線マクロアナライザー) にて計測したところ、硫黄の浸透は見られなかった。これは、平成14年12月に同じく日本下水道事業団から出された「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル」によって規定されたシートライニング材における品質規格D₂種相当に値し、高い防食性能を有していると考えられる。

4. 施工手順

ボックス工法の施工の流れは、「準備工⇒更生管推進工⇒撤去工⇒グラウト充填工⇒復旧工」である。図-2にボックス工法の施工手順を示す。

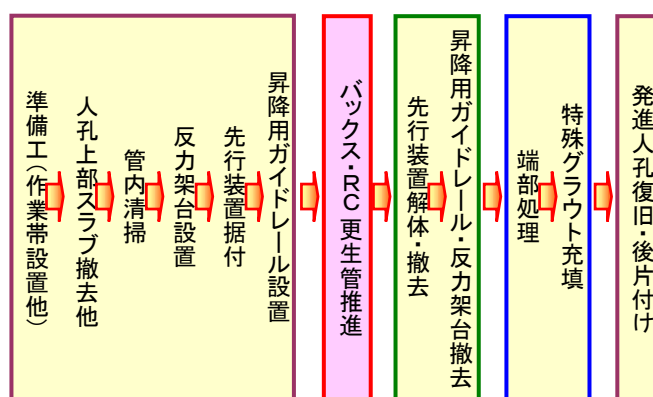


図-2 ボックス工法 施工手順

(1)準備工

まず、工事着工前に下水道管きょ内に施工上問題のある箇所がないかを調査する。次に、更生管を推進する側のマンホールの人孔上部スラブ等を撤去する。そして、管内をハイウォッシャー等で洗浄する。その後、更生管を推進するのに必要な反力架台及び推進装置昇降用ガイドレールを人孔内に設置固定するとともに、既設管内きょの汚物等の除去と先端反力を得るための先行装置(写真-3参照)を既設管きょ内の所定の位置に設置する。



写真-3 先行装置

(2) バックス更生管推進工

次に、地上に設けた架台に推進装置と更生管を設置し、更生管内に推進装置を挿入して両者を一体化させる（写真－4 参照）。そして、更生管と一体化した推進装置をクレーンにて昇降用ガイドレールに沿って発進人孔内に吊り下ろす。その後、推進装置にて更生管を既設下水道管きょ内に推進し、先行する更生管と接合させる（写真－5 参照）。

推進・接合完了後は、推進装置のみを人孔内に引き戻し、クレーンにて推進装置を地上に回収する。この一連の作業を繰り返すことで、既設管きょ内に新たな更生管きょを推進する。



写真－4 R C更生管と推進装置



写真－5 更生管推進状況

(3) 撤去工

更生管推進完了後、先行装置、反力架台、昇降用ガイドレール等を撤去する。

(4) グラウト充填工

更生管上部の地盤沈下を防ぐために、更生管と既設管きょとのクリアランス部には、特殊グラウト（写真－6 参照）を充填する。クリアランス部は大変狭く、また貯留水もあることから、特殊グラウトには高い充填性と優れた水中不分離性を有する材料を用いた。特殊グラウトの基本配合を表－6に、基礎物性を表－7に示す。なお、更生管自体が、作用する土水圧に対して必要強度を有しているの、特

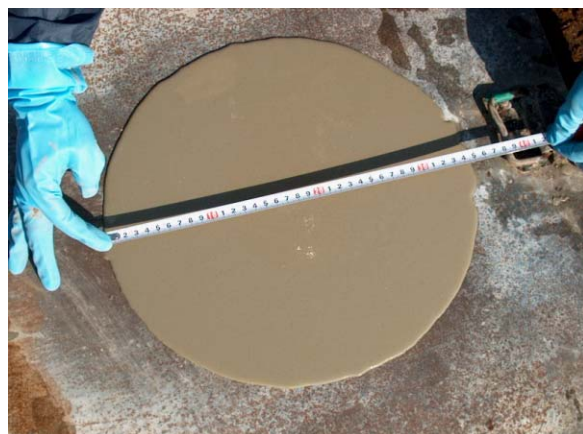
殊グラウトには、一般の複合管方式に用いるグラウトのように高い強度を必要としない。よって、特殊グラウトの必要強度としては、土と同等の強度（ 1N/mm^2 ）以上が得られれば良いと考えた。

表－6 特殊グラウトの基本配合

	水	セメント	水中不分離性混和剤
1m ³ 配合	760kg	758kg	7.6kg

表－7 特殊グラウトの基礎物性

項 目	物 性
比 重	1.4～1.5g/cm ³ 程度
圧縮強度	$\sigma_7 \geq 1.0\text{N/mm}^2$
ブリーディング率	0 %
J ₁₄ ロート流下時間	7～9 秒
モルタルフロー	330～350mm程度



写真－6 特殊グラウト

(5) 復旧工

最後に人孔及び舗装を復旧して工事終了である。

5. バックス工法 実証工事概要

本工法の実証工事を供用中の下水道管きょにて実施した。その概要及び結果について報告する。

表－8 に実証工事の概要を示す。

また、管更生概略図を図－3に、施工状況を写真－7～9に示す。

今回の実証工事は、道路交差点の直下であり、交通規制が必要となることから、準備工から更生管推進工、グラウト充填工までにわたる工事の大半を夜間作業にて実施した。更に、上流側にポンプ場があり、送水ポンプが停止しなければ作業に取りかけられないこともあって、1日の実作業時間は、ポンプの停止する深夜0時から明け方5時までの5時間に限られた。

このため、工期として約1ヵ月程かかってしまったが、工事自体は順調に進めることができた。

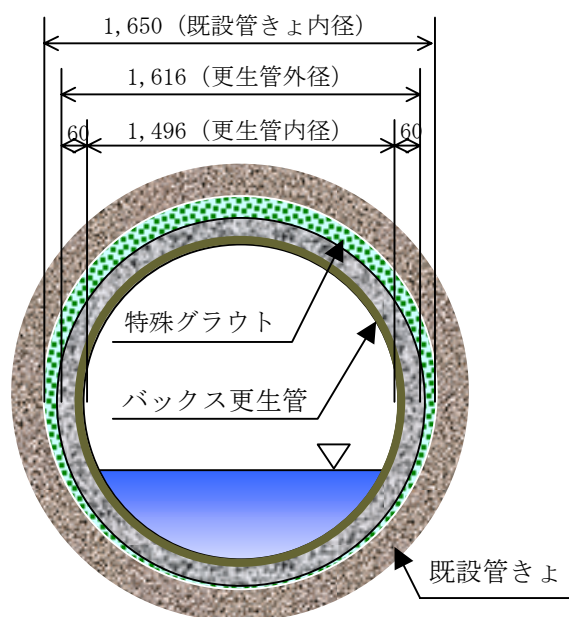
表－８ バックス工法 実証工事概要

項 目	詳 細
工事場所	北九州市内
工事期間	2002年11月 5 日～12月 7 日
既設管きよ	コンクリートヒューム管 内径：φ 1,650mm
工事延長	29.7m（線形は直線）
使用更生管	R C 更生管 内径：φ 1,496mm 外径：φ 1,616mm 管厚：60mm，管長：900mm 内面：耐酸性樹脂ライニング （塩化ビニル樹脂）被覆 外面：亜鉛溶融メッキ鋼板 （Z AM）被覆 使用本数：33本

今回の実証工事は、既設管きよの内径φ 1,650mm に対して、更生管外径がφ 1,616mmであり、施工クリアランスが片側17mmという厳しい条件であったが、極めて順調に更生管の推進工程を完了することができた。更生管 1 本推進するのにかかる時間は約 20分であり、1 時間あたり 3 リングのサイクルで施工できることが確認された。

推進終了後、既設管きよと更生管とのクリアランスには、更生区間の中央部に設けた 3 箇所 の 充填口 から、特殊グラウトをポンプ注入した。

なお、特殊グラウトの注入に伴って更生管に浮力が作用して更生管が浮き上がり、結果として更生後の勾配が部分的に変動する懸念があった。そこで、作用する浮力を予め計算しておき、注入量を調整しながら分割注入することで、更生管の浮き上がりを抑制することができた。その結果、既設管きよの流下勾配2.69‰に対して、更生後の勾配は2.72‰とほぼ更生工事前の勾配を確保することができた。



図－３ 管更生概略図



写真－７ バックス工法 実証工事状況



写真－８ リニューアル前



写真－９ リニューアル後

6. 今後の展開

今回の実証工事にて、RC更生管についての施工確認ができた。今後は、FRPM更生管についても早急に開発を進め、実用化を図っていく予定である。

既設管の強度が著しく低下した下水幹線のリニューアル工事を対象として、各自治体の下水道局などに積極的に技術提案していくとともに、バックス工法の施工体制を確立していく方針である。

なお、バックス工法は、2003年度に（財）下水道新技術推進機構の技術審査証明取得の申請を行う予定である。