



(公財)水道技術研究センター
〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1
虎ノ門電気ビル2F
TEL 03-3597-0214, FAX 03-3597-0215
E-mail jwrchot@jwrc-net.or.jp
URL <http://www.jwrc-net.or.jp>

配水システムの修復技術の現状 —米国環境保護庁報告書から— (その2)

更新技術 (Renewal Technologies)

管路の更新は、3つの異なるカテゴリーの一つ（すなわち、修理、修復、布設替）に分類される。修理（repair）は、管が十分な通水能力を有するとともに良好な水質を維持するのであれば、既設の管が構造的に健全な状態に容易に回復できる場合に用いられる。修復（rehabilitation）には、内面コーティング、シール材及びライニングなどの工法があり、これらは、管寿命を延ばし、管の水圧能力の多く又は全てを回復し、水質を改善するためにしばしば用いられる。その他の修復方法は、構造的な機能回復を対象としている。既設管の布設替（replacement）は、水道管が著しく劣化し、破損し、又は通水能力の増大が必要とされる場合に用いられる。

更新に用いられる工法としては、従来の開削又は非開削技術がある。いくつかの非開削工法の欠点は、既存の給水管との再接続のために掘削を必要とすることである。掘削せずに給水管と確実に再接続することができる工法を用いることで、水道管の修復費用の大幅な縮減が達成されている。

修理に用いられる技術は管の一部分に用いられる典型的な短期的な解決方法であり、特に局所的な問題や不良個所に対して用いられる。これらの技術には、内面ジョイントシール、管スリーブ、ケミカルグラウト、スプレー式のエポキシ及びポリウレタン塗装、そして、炭素繊維強化パイプラッピング（これらのいくつかは構造的な解決となる。）などを含む、開削又は非開削による部分的な修理がある。これらの技術の多くは水道管の更新への適用のために設計されたものではなかったが、水道管に使用するためにANSI/NSFの認証を得ている。

既設管が更新工事の一部となっている場所では、水道管の更新という面に重点が置かれる。もし、修復が腐食防止のみを提供するものか、または既設管が部分的に劣化しているのであれば、既設管の残りの構造的強度を、完成されたシステムの構造に組み込むことができる。完全に劣化している状況では、既設管は構造的ライナーの布設のための権利通路（right-of-way）としてのみの役割を果たす。修復工法の選定は、管の状態、プロジェクトの目的及び推定費用に大きく依存するであろう。修復技術には、セメントモルタル、エポキシ、ポリウレタ及びポリウレタンのようなスプレーライニング、部分的で連続的なスリップライニング、現場硬化管ライニング（cured-in-place pipe (CIPP) linings）、インサートホースライニング及びクローズフィットライニングが含まれる。

パイプバースティング（pipe bursting）も修復工法とみなすことができるが、本報告書では布設替工法に含めている。

配水システム修復プロジェクトの重要な構成要素は、給水の再開及び給水管（service lines）の復

旧又は布設替に関係がある。水道管路が街路の一方の側に沿って入っていれば、街路のどちらの側の土地建物も、給水管は全く別に更新することができる。しばしば、配水管に近い側の給水管は、歩道、中庭及び庭園での開削作業を伴うが、遠い側の布設替は、道路舗装の長い掘削及び高コストの交通に耐える表層の回復を必要とするかもしれない。距離の長い給水管の更生 (renovation) は、インパクトモーリング (impact moling) 又はラミング (ramming) のような非開削の布設替工法、若しくはライニングのような非開削の修復工法にとって好機となるかもしれない。交通の影響及び浅層埋設は、漏水の可能性を増やし、管の更新の必要性を増大させるであろう。給水管の修復に利用可能な技術には、一般的ではないが、エポキシライニング及びプラスチックライナーが含まれる。

水道管の布設替は、管が十分な構造的強度を有しておらず故障を起こし易い場合や、精密な状態評価及び残存寿命の推定に高いコストを要するか、または実施することが困難である場所における主な選択肢である。これらの技術には、開削工法、パイプバースティング (pipe bursting)、パイプスプリッティング (pipe splitting)、パイプリーミング (pipe reaming)、パイププリング (pipe pulling)、マイクロトンネリング (microtunneling)、パイプジャッキング (pipe jacking)、パイプラミング (pipe ramming)、インパクトモーリング (impact moling)、及び誘導式水平ドリル工法 (HDD : horizontal directional drilling) が含まれる。スリップライニング (Sliplining) は布設替方法と考えることもできるが、本報告書では修復方法として取り扱っている。

給水管 (Service Lines)

給水接続 (service connection) は、一般に 2 つの部分、すなわち、水道管から街路境界又は権利通路 (easement right-of-way) までの給水管 (service line)、そして、権利通路又は街路から顧客の家屋までの宅内給水管 (customer line) で構成される。権利通路における給水管の所有権が顧客に属する場所もあるが、一般には、給水管は水道事業者が、宅内給水管は土地建物の所有者が、それぞれ所有する。米国では、推定で約 88 万マイル (141 万 6 千 km) の配管が給水管として使用されている。これらの給水管は、一般には、口径が 3/4 インチ (約 20mm) から 2 インチ (約 50mm) で、材質は、銅、ポリエチレン (PE)、ポリ塩化ビニル (PVC) 又はポリブチレン (PB) である。いくつかの古いシステムでは鉛製給水管が残っており、亜鉛めっき鋼管や真鍮管が残っているところもある。

概して、銅管は通常 75 年を超える耐用年数を有しており、給水管 (water services) 全体の約 61% を占めている。銅価格の上昇は、プラスチック材質への移行を早めているように思われる。ポリエチレン製給水管の特徴は、強靱性、優れた化学抵抗性、低い摩擦係数及び加工のし易さであり、現在では米国の給水管の 12% を占めている。亜鉛めっき鋼管は通常古い家屋で見られ、米国の給水管 (water services) の約 9% である。亜鉛めっき鋼管は、管の耐用年数を約 40 年延ばすために亜鉛による保護コーティングで被覆してされていたが、コーティングは剥がれ、管の内外面に腐食を起こす。ポリ塩化ビニル管は米国の給水管 (water services) の 6% を占め、腐食を受けず、表面はなめらかで、通水能力の減少やポンプ圧送費の増大の原因となる錆こぶの形成がない。ポリブチレン管は 1970 年代から 1990 年代初頭にかけては一般的な材質であった。ポリブチレン管は防食性を有するが、もしかすると塩素処理された水と反応することによる、広範な不具合記録がある。しかし、依然として米国の給水管 (water services) の 3% を占めている。

1940 年代以降、鉛製給水管 (lead service piping) は米国のほとんどの都市では使用されておらず、また、1986 年以降、配管システム (plumbing system) への鉛の使用は禁止されている。場所特有の接続状態によるが、鉛製給水管 (lead service lines) は 60 年から 75 年の耐用年数 (life expectancy) を有する。しかし、水道水の過剰な鉛濃度レベルに関連した潜在的な健康リスクにより、新たな布設では、銅やポリエチレンのような代替物質に置き換えられている。1996 年の安全飲料水法の改正により、飲用水に接触する材質の許容浸出濃度レベルが引き下げられる結果となった。

給水管自体の修復に加え、給水管の修復技術に関しては3つの主要な課題がある。すなわち、修復後の給水接続方法を見出すこと、給水の再開すること、給水管を更生管(liner pipe)又は搬送管(carrier pipe)に接続することである。3つの全ての作業に関する技術は存在するが、より費用対効果があり信頼できるものとするための給水接続の再確立に向けての技術は開発段階にある。これらの業務を迅速かつ費用対効果をもって遂行し、信頼できる漏水のない接続を確立できないことが、水道管の非開削修復工法の大々的な導入に対する障壁である。

技術を選択する上での考慮事項

水道管の更新(water main renewal)における課題は、2つのカテゴリーに分類される。すなわち、既設管の状態を評価すること(問題を明確にすること)と、望まれるレベルまで管の状態を回復するための適切な技術を選定すること(問題を解決すること)である。技術の選定に先立ち、水道管の性能と状態を理解し明確にするとともに、劣化の原因を理解することが重要である。これには、構造上の問題、水理的能力、外部腐食、接続部の漏水及び/又は水質問題の評価が含まれるであろう。

問題点が十分に明確になれば、現在の資産の状態に対処し残余の資産寿命を延長することができる利用可能な技術のレビューに基づいて、種々の方策を見出すことができる。そこで、水道管を更新するために必要な費用は、しばしば技術選定の最重要クライテリアとなる。信頼できる更新手法の選定のための費用算定は、資本又は建設費用と、維持管理及び社会的費用を含むライフサイクルコストの両方を含むべきである。次に、修復のための適切な方策は、ライフサイクルコストや、維持に係る要求事項、バイパス配管に係る要求事項、消毒に係る要求事項、NSF/ANSIの要求事項、利用可能性の問題、そして、水道管の危機的状況などのその他の要素に基づいて選定されるべきである。

設計及び品質保証/品質管理の要求事項

米国の水道事業向け市場には複数の設計マニュアルや法的標準仕様が存在し、これらは米国水道協会(AWWA)、米国規格協会(ANSI)及び米国材料試験協会(ASTM)などの組織によって提供されている。また、ときには、材質標準仕様や設置及び試験に関する勧告が業界団体や研究機関によって示されることがある。ASTM-1216のように設計手順を含んでいる規格もあれば、製品の承諾、設置方法又は現場での評価及び承諾手順を規定している規格もある。

更新設計においては、管の新設時の設計と同様の構造的及び水理学的要素全てを考慮する必要があるとともに、同じ規定や基準に従う。同様に、水質基準についても管の新設時と同じである。加えて、特に非開削方法を使用する場合は、更新対象の管の影響や、布設にかかる荷重も考慮しなければならない。標準設計されたライニング管及び更新後の管の寿命は50年であり、構造強度の持続性や腐食抵抗力のような耐久性も、設計方法の決定に影響を及ぼす。同様に、表面粗度に関しては、塗装時に断面積が減少することから、材質ごとの水利学的影響を考慮しなくてはならない。あいにく、現在使用されている修復材の多くは布設後50年未満であるため、実耐用年数を確認することができない。半構造的スプレーライニングのような部分的解決策を用いる場合であっても、元の管の一定範囲以上が継続して機能していることが必要となる。

更新技術の導入は、新しい管の導入とは大きく異なることがある。そのため、特定の導入基準や推奨方法が存在し、それらの多くは、北米以外のベンダー、工業団体、規制機関が策定している。布設管又はライニング(管)が、AWWA Class I, II, IIIにおけるライニング(管)のように、更新対象の管による支持を必要とする場合、ライニング(管)を設計通り機能させるには、適切な布設手順に従うことが大切である。このことは、セメントモルタルライニング(Class I)のような非構造的な方法や、半構造的(Class II, III)な方法にも等しく当てはまる。構造的(Class IV)な方法は更新対象の管による支持に依存しないが、更新対象のシステムを構造基準に確実に適合させるうえで、やは

り設計は重要である。

品質保証（QA）及び品質管理（QC）手順が、多くの場合、水道事業者によって要求・指定されており、基本的な要求項目は、AWWA、ASTM 及び製造供給団体が制定した製品仕様書及び工程仕様書に記載されている。製造業者又は許可を受けた販売会社が、試験証という形で品質保証を提供することもある。多くの場合、契約者側が品質管理の水準を提示するが、その監視は第三者コンサルタントや試験機関が受け持つことがある。

短期の品質監視には、原材料、機器、測定値、完成品の適合検査が含まれ、検査は大抵、ANSI、AWWA 及び NSF の基準に照らして行われる。長期の品質監視では水質を対象とする場合もある。これは、設備機材が水質に悪影響を与えないこと、監視体制が法令に則って行われることを保証するためである。同様に、材質性能の監視も、材質が所期の耐用年数の間機能することを保証するために必要である。また、防水性も長期監視を必要とする要素である。

品質の保証は、システム所有者、所定のプロジェクトエンジニア、認可された品質管理者の責任である。規範的な仕様又は性能的な仕様のどちらを使っていたとしても、設置作業員に対しては、どのような品質保証（QA）試験を実施すべきかだけでなく、契約書にその実施を必須条件として記載すること、また、必要に応じて、上手くいかなかった場合の改善策も明記するよう伝えることが重要である。適合確認の試験を第三者である研究機関に委託する場合、通常、試験契約は研究所と契約者ではなく、研究所と所有者との間で交わすべきである。また、契約条項として、起こりうる既知の問題のリストの提示、及び作業開始前にはっきりしている改善策の指定を盛り込むべきである。

維持管理

水道管網の運用及び整備には、修復技術の影響を受ける要素が多く存在する。修復後の配水システムに運用及び整備が及ぼす効果については、修復技術の歴史が浅いため、よく知られていない。しかしながら、以下の要素は考慮すべきである。

- 修復された管は容易に見つけられるか。
- 修復された管は、将来修理するために制御（即ち断水）できるか。
- 将来的な異常（例えば漏水）を容易に確認、特定できるか。
- 将来設置が予想される給水接続及び調整器具を取付けられるか。

修復された水道本管の緊急修理を巧く行うことができる作業員がいるかどうか、考慮すべき重要な点である。水道本管への適用のため、また、事業体職員が適用訓練を行えるように、ライニング及び類似の技術のサプライヤーによる、自社製品の修理手順の策定が必要とされている。これに加えて、水道本管の水理的挙動や流量を改善するために、修復作業の前と日常業務の両方において、適切な洗浄作業を行うことは重要である。適切な洗浄方法の選択と使用は、水道本管の更新取組の成否において重要な要因となりうる。例えば、高圧洗浄はライニングシステムを損傷することがある。同様に、水道本管を引き摺ると(drag scraping)、修復作業の前にライニング面又は分水栓が損傷を受けることがあり、その場合は給水管の再接続が困難になる。

水道本管の寿命を長くする、又は事業体のリアルタイムでの監視を可能にするうえで、最善の維持管理方法がいくつか存在する。そうした方法を利用することで、突発的な事故が起こる前に、水道本管の修理、修復、布設替の措置をとれる。これらの方法には、電気防食、腐食監視、水量監査、漏水調査が含まれる

調査結果と提案

配水システムに対して現在利用可能な更新技術は、開削による布設替においていくつか利点を有するが、対処されていない一定のニーズについて、いくつかの「ギャップ」を残す。それら「ギャップ」は主に2つのカテゴリーに分けられる。既設管路の状態についての情報のギャップ、更新又は修復技術に関する性能のギャップである。

管路の正確なデータは、更新技術の適切な選定と設計に必要である。データのギャップは、管路の外表面又は内面から得られる目視調査によるデータの量又は質に関するものである。管外面のデータを得るためには一特定箇所からデータを得る目的であれば空気吸引による掘削を利用することもできるが、一管外面を点検するための掘削が必要になり、この作業は費用がかさむため実施が難しい。結果として、サンプル量はごく僅かとなり、管路全体の状態を把握するためのデータとしては信頼性が低くなる。管内面のデータは内部表面積全体から得ることができるが、一般に内面データの調査には管の運転停止と排水が必要になるため、サービス停止によるコストが高くなる。ただ、管を停止せずに調査を行う技術もいくつか存在する。

現在の管路修復技術は、配水システムの更新に必要なニーズをおおよそ満たしてはいるが、性能面において若干のギャップが存在する。ライニング後に給水接続を再開するためには、関連技術を用いて接続箇所ごとに掘削を行い、手動で再開したうえで給水管に再接続する必要があり、このため、新たな部品が必要になる。給水接続が多い場所では、この作業に全面掘削と同程度の労力を要してしまい、非開削工法による利点がなくなってしまふ。アクセス条件や水道本管の運転停止期間などの運用面においても、性能に対するニーズと顧客のニーズとの間にギャップがある。また、様々な修復技術や管材料の長期的な性能についても、その理解度においてもギャップが存在する。こうした材料や工法は最近導入されたものであり、それゆえ長期間に及ぶ性能調査が行われていないためである。

ギャップ及び障害が見つかったら、その打開のために、革新的な修復技術を現場条件下で実際に使用し、明確な性能基準を設けてテストすることが推奨される。そうすることで、水道事業者は、当該技術の性能と適用性、必要な費用を知ることができる。更に研究が必要な点として、市場に出回りつつある修復製品及び技術の長期的な性能をシステム所有者が予測するうえで助けとなるような加速劣化試験の実施要綱を定義づけること、それらを使用するための適切な設計基準や性能基準を定義づけることがある。また、耐用年数性能を理解するために、水道管の修復材料を遡及的に分析することも推奨される。使用期間が20年以内、又はそれ以上の期間使われている材料を遡って調査することで、実際に現場で使用されている材料の性能に関してデータを得ることができる。これらのデータは、記録された性能や実証プログラムの下で行われた適用性評価と併せて、システム・ニーズを満たす適切な技術や材料を選択するために必要な情報を、水道事業者が把握するうえで重要となる。

(文責) センター専務理事

安藤 茂

// 管路技術部研究員 川村 潤也

// 総務部研究員 高橋 邦尚

配信先変更のご連絡等について

「JWRC水道ホットニュース」配信先の変更・追加・停止、その他ご意見、ご要望等がございましたら、会員様名、担当者様名、所属名、連絡先電話番号をご記入の上、下記までEメールにてご連絡をお願いいたします。

〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 虎ノ門電気ビル2F (公財) 水道技術研究センター ホットニュース担当

E-MAIL : jwrchot@jwrc-net.or.jp

TEL 03-3597-0214 FAX 03-3597-0215

また、ご連絡いただいた個人情報は、当センターからのお知らせの配信業務以外には一切使用いたしません。

水道ホットニュースのバックナンバーについて

水道ホットニュースのバックナンバー（第58号以降）は、下記アドレスでご覧になれます。

バックナンバー一覧 <http://www.jwrc-net.or.jp/hotnews/hotnews-h26.html>

国・地域別の水道情報 http://www.jwrc-net.or.jp/aswin/projects-activities/country_area.html

耐震化関連の情報 http://www.jwrc-net.or.jp/taishin-corner/taishin_hotnews.html