パイプ(鋼製パイプライン)分野

JFE エンジニアリング株式会社　アクア事業部　顧問
佐藤　具揮

鋼管類（農業用水）はこれまでφ 1,000mm 以上の大口径で高圧送水する路線や鉄道, 道路, 河川横断など不測時の影響度が大きい重要区間を中心に採用されてきた。しかし，近年では，相次ぐ自然災害や大規模地震に対応できる水利施設の強靭化，更には水管理の合理化，省力化のための水利システムの再編などに寄与するため鋼管類に期待される役割は大きいものと考えられる。本稿では，鋼管類の技術開発の現状と今後の課題，展望の概要を記す。

1．鋼管の防食技術の発展と品質，性能の向上について

（1）鋼管の最新防食技術と100年鋼管の普及

鋼管の塗覆装については，昭和年代までは外面被覆はアスファルト塗覆装が，内面塗装はタールエポキシ樹脂塗装が用いられていたが，平成年代に入り内面塗装は液状エポキシ樹脂塗装に，1998（平成 10）年頃からは外面被覆はポリウレタン（PU）やポリエチレン（PE）等のプラスチック被覆に切替わってきている。プラスチック被覆は，環境遮断性・電気絶縁性に優れ，長期にわたって優れた防食性能を発揮するものであり，被覆厚さが厚い（２mm ～３mm）ことが特徴である。また，2002（平成 14）年頃からは，VOC（揮発性有機化合物）削減の観点から，トルエンなどの有機溶剤を原材料に含まない無溶剤形エポキシ樹脂による内面塗装も開発，普及されつつある。

更に 2014（平成 26）年には，水道用鋼管の長寿命化に対する利水ユーザーの要請の高まりを受け，工場外面プラスチック被覆（PU, PE），現地外面塗覆装（ジョイントコート）及び内面の無溶剤形エポキシ樹脂塗装について，それぞれ目標 100 年の期待耐用年数を有する長寿命形仕様及びその品質管理の内容が規定され，JIS G 3443「水輸送用塗覆装鋼管（第 1 部～第 4 部）」として規格改正されている（通称，100 年鋼管）。

今後，ライフサイクルコスト（LCC）低減や環境対策等の観点から，この 100 年鋼管の一層の適用・普及が課題であり，計画・設計時に用いる耐用年数の取り扱い等についても併せて検討することが必要と考えられる。

【参考】JIS G 3443　規格改正と考え方

①内面塗装の長寿命化仕様

塗膜への水の透過促進試験(温度勾配試験, 湿潤試験）を行い，50% ブリスター発生時を寿命とした安全側の評価を行い，期待耐用年数 100 年に相当する被覆厚みを，工場における機械塗装では 0.6mm 以上，現場での手塗り塗装では 1.0mm 以上と規定された（従来の仕様は，それぞれ 0.3mm 以上，0.4mm 以上)。

②外面被覆の長寿命化仕様

防食材の酸化劣化，紫外線劣化及び酸素透過による鋼面の腐食を診断要因とし，更に耐衝撃性を考慮して，期待耐用年数 100 年に相当する被覆厚みを 1.5mm 以上と推定。この結果，従来仕様（被覆厚さ 2.0mm 以上）でも満足するものであることが確認され，長寿命形仕様は従来仕様と同じ仕様で規定され

た。なお，JIS 規格改正においては，ISO 規格との整合性を考慮して，①プルオフ付着強度，②耐衝撃性，③押し込み深さ，④耐屈曲性，⑤耐陰極剥離性，⑥耐熱水浸せき性の６項目について，塗装機毎に形式試験を実施して被覆の性能を確認することが新たに盛り込まれた。

（２）外面プラスチック被覆によるマクロセル腐食の解消

鋼管類の性能低下の代表的な要因としては腐食が挙げられ，今でも多くの専門書や公的な基準類において鋼管の弱点とされているが，とりわけコンクリート／土壌（C/S）マクロセル腐食によるものが大半を占めている。旧来のアスファルト塗覆装鋼管におけるマクロセル腐食の要因は，①コンクリート構造物の鉄筋と鋼管との溶接，②コンクリートと鋼管の付着を良くするため，鋼管の外面アスファルト塗覆装を剥ぎ取ったこと，③埋設時に重機類で外面被覆に多くの傷をつけたこと，等が大半を占めていると考えられる。

しかし，今日では外面被覆がアスファルトから耐衝撃性・電気絶縁性能に優れたプラスチック被覆に切り替わるとともに，施工管理方法も厳格に規定されているため，通常の現場条件であればマクロセル腐食の懸念は既に解消されていることを広く周知することが重要になっている。

（３）内面塗装の種類に応じた水理性能の改善

現行の土地改良事業計画設計基準設計パイプラインにおいては，水道用液状エポキシ塗装管の流速係数について，水理データがないため，従前のタールエポキシ塗装管と同等として規定されている。このため，日本水道鋼管協会（WSP）では，液状エポキシ塗装管や無溶剤形エポキシ樹脂塗装管について水理実験や実管路における流速係数の計測，調査を行ってきている。現在，農水省において設計基準パイプラインの改定が検討されているが，鋼管の流速係数が改定されると，鋼製パイプラインのコスト縮減や鋼管によるパイプ・イン・パイプ工法（既設管内に新管を内挿する工法，以下，PIP 工法。）の適用が可能となるケースの拡大などが期待できる。

２．鋼製パイプラインの機能診断と再生技術について

（１）既設鋼管の機能診断と改修技術の向上

①内外面の塗覆装劣化に着目した機能診断と再生

鋼管は，内外面の塗覆装が健全であれば，鋼材そのものには経年変化がなく，長期間問題なく使用することが可能である。外面については，先に述べたようにプラスチック被覆であれば，長寿命形仕様でも対応できるため特に問題はないが，従来使用されていたアスファルトの場合は経年劣化が懸念され，健全性を診断しなければならない。埋設管路の場合，外面被覆状況を確認することは容易ではないが，現在では，外面塗覆装の損傷位置を地上から非開削で検出する自走型の装置も開発されている。一方，内面については，人が管内に入ることが可能な口径（ϕ 800mm 程度）の場合，管内面の腐食状況を直接的に診断できるが，管内に入ることが不可能な口径の場合や管内の水が排出できない場合は，充水状態で空気弁等からファイバースコープ等を挿入して管内を観察する方法等がある。また，管内からパイプの変形，減肉をオンライン検査するピグ検査システム等の研究開発も進められている。

なお，補修として行う内面塗装の手法については，既設管を現地で工場塗装の品質で効率的に塗装（長寿命仕様）できる鋼管用小型内面塗装機が開発されている。

今後とも，最先端技術を開発・活用しつつ，長大な埋設管路の健全度を効率的かつ高精度で評価し，高品質な塗覆装を行うことでリニューアルして管路網を延命化していくことが肝要である。

②機能診断のシステム化とストマネ事業への活用

ストマネ事業の実施は，施設の機能診断に基づく健全度評価や劣化予測をベースとして検討される。前述のとおり，鋼管の内外面の効率的な機能診断が定期的に全線にわたり可能となると，これら調査結果をデータベース化して劣化予測の精度向上や施設監視にも資することができる。鋼管類は，埋設環境に加えて塗覆装の種類や施工年代等によって劣化の特性は大きく異なるため，上述の調査結果のビックデータ分析と併せ，健全度指標や劣化予測のシステム化ができれば，機能評価の個人差や後追い的な事故対応等も回避でき，水利施設のより適確なストックマネジメントが可能となる。

（2）鋼管を利用した既設管路の確実な改修と更新

農業水利施設の中でも管水路の突発事故が大宗を占め，増加傾向にもある中で，管水路の迅速かつ確実な改修，更新が重要となっている。現在進められている管水路のストックマネジメント事業では，既設内面に新たな管体を構築し，管路の耐荷性，水密性，通水性等を回復または向上させる工法を「管路更生工法」と総称し，その施工方法によって反転工法，形成工法，製管工法，鞘管工法に大別されている。このうち，鋼管を内挿するPIP工法は鞘管工法に分類されている。本工法では，鋼管そのものが構造的な自立性と水密性を有しており，加えて高い耐震性（レベル２対応）を期待することができる。なお，既設管がFRPM管の場合，鋼管溶接時の発熱の影響が懸念されたが，各種試験結果に基づく適切な施工方法が日本水道鋼管協会（WSP）の施工指針として2016（平成28）年度に取りまとめられており，既に施工実績を上げてきている。

むすびに

以上，鋼製パイプラインについて，防食技術を中心とした技術開発の現状や既設管路の機能診断及び再生を巡る技術的課題と展望を中心に述べた。鋼管はパイプライン自体を構成するばかりでなく，特殊な形状を有する断層用鋼管や大変位吸収鋼管などの開発により，大規模地震や液状化対策で特別な措置が必要となる構造物との接合部等にも活用されている。今後とも農業水利施設の長寿命化，耐震化等に資する技術開発に取り組み，安全，安心な地域社会のインフラ整備に寄与して参りたい。