

新耐震 GX 形ダクタイトイル鉄管の長寿命化技術の紹介

竹谷和志・船橋五郎

施設の老朽化に伴う更新・保全管理費用の増加、東北地方太平洋沖地震をはじめとする大規模地震での施設被災による耐震化意識の高まりなどを受け、施設を構成する管材料やバルブ類には経済性や耐震性などへの対応が求められている。このような中、次世代の長寿命な耐震管路の構築が期待される GX 形ダクタイトイル鉄管及び GX 形ソフトシール仕切弁が規格化された。本稿は、施設の構築や更新の資機材として多くの実績を有するダクタイトイル鉄管の概要や新耐震 GX 形ダクタイトイル鉄管に採用された新たな防食技術「亜鉛系合金溶射＋封孔処理」などを紹介するものである。

キーワード：維持管理、長寿命化、延命化、更新、管路、仕切弁、耐震化、耐食皮膜、封孔処理

1. はじめに

昭和 30～40 年代の高度経済成長期を契機として整備されてきた我が国の水道施設、下水処理施設、農業水利施設等の膨大な社会資本ストックあるいは民間企業における大規模プラント施設などの多くは、近年、老朽化が進行し更新を必要とする施設が増加してきている。その保全管理に関する費用は増加傾向にある。

一方、昨今の景気の低迷や少子高齢化の影響により、国や地方公共団体、施設管理者の財政は減少傾向にあるとともに、若年の管理技術者の減少が課題とされ、将来にわたる施設機能の安定的な発揮に不安が生じてきている。

このような背景により、平成 20 年 7 月には「水道ビジョン」（厚生労働省）が改定され「中長期的財政収支に基づく計画的な施設の整備・更新」が示されるとともに、平成 22 年 3 月には「食料・農業・基本計画」（農林水産省）が閣議決定され、「国民の食料を支える基本インフラの戦略的な保全管理」を推進することが示されている。民間企業においても、中長期戦略として近年の地球環境問題を踏まえた計画的な施設の保全・更新が謳われている。低コストかつ簡便な施工によりこれら施設更新に対応でき、さらに従来以上の長寿命化が図られる製品や工法の開発が求められている。

また、平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震では、本震及び余震により、建造物の倒壊や地すべり、液状化現象、地盤沈下等の一次災害、プラント

施設の火災などの二次災害といった未曾有の被害が発生した。水道配管、下水配管、ガス配管等の管路施設においても甚大な被害が生じている。管路施設の復旧や更新にあわせた耐震化の促進、地震に強い管路施設の構築も、今後の社会インフラ整備における喫緊の課題である。

これらの要望に応えるべく開発・規格化されたのが、新耐震管 GX 形ダクタイトイル鉄管及び GX 形ソフトシール仕切弁である。これらは水道管路施設として多くの実績を有し、東北地方太平洋沖地震や兵庫県南部地震において優れた性能を発揮した S 形、SII 形、NS 形のダクタイトイル鉄管や仕切弁と同等の耐震性や水密性を有したまま、その施工性を向上し、さらに新たな防食技術を採用することで長寿命化を実現している。本稿では、GX 形ダクタイトイル鉄管を代表として、そこに採用された管外面の寿命を大幅に向上させる新たな防食技術を紹介する。

2. ダクタイトイル鉄管の概要

ダクタイトイル鉄管は、流体輸送用配管として、古くから上水配水管、污水圧送管、汚泥圧送管（送泥管）、処理水を有効利用した河川浄化用水、農業用かんがい用配管、工業用水配管、工場設備冷却用海水取水管等の幅広い市場で採用されている。また、道路下や施設内の埋設配管としてだけでなく、シールドや共同溝内配管、水管橋や橋梁添架配管、河川や道路の横断管等の実績も多数有している。

(1) 材質的特性

ダクタイル鉄管は、ダクタイル鋳鉄により製造される。ダクタイル (Ductile) とは「延性のある」という意味であり、ダクタイル鋳鉄はこの延性という特性により、明治から昭和初期まで製造されていた普通鋳鉄と比べ優れた強靱性を発揮している。その物理的・機械的性質は表-1 に示すとおり鋼管と同等以上である。

表-1 ダクタイル鉄管と鋼管の物理的・機械的性質

材質 機械的性質	ダクタイル鉄管	鋼管
引張強さ (N/mm ²)	420以上	400以上
曲げ強さ (N/mm ²)	600以上	400以上
伸び (%)	10以上	18以上
弾性係数 (N/mm ²)	1.5~1.7×10 ⁵	2.1×10 ⁵
硬さ	ブリネル230以下	ブリネル140以下
ポアソン比	0.28~0.29	0.3
比重	7.15	7.85
線膨張係数 (1/°C)	1.0×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵

ダクタイル鉄管はこの延性により、写真-1 及び写真-2 に示すように、外力で大きな変形状態となっても容易に破壊することはなく、表-2 に示すように、圧力配管として十分な耐内圧性能を発揮している。



写真-1 管体曲げ試験

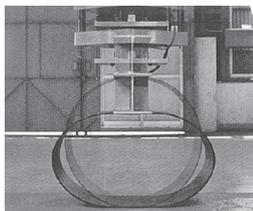


写真-2 リング圧壊試験

表-2 直管の保証水圧

呼び径	管厚 (mm)	保証水圧 (MPa)	呼び径	管厚 (mm)	保証水圧 (MPa)
75	6.0	9.8	600	9.0	7.4
100	〃	〃	700	10.0	7.1
150	〃	〃	800	11.0	6.9
200	〃	〃	900	12.0	6.7
250	〃	〃	1000	13.0	6.5
300	6.5	〃	1100	14.0	6.4
350	〃	8.6	1200	15.0	6.3
400	7.0	8.2	1350	16.5	6.1
450	7.5	7.9	1500	18.0	6.0
500	8.0	7.6	呼び径 1600 以上は省略		

表-3 ダクタイル鉄管と鋼の電気抵抗

材質別	電気抵抗 (μΩ・cm)
ダクタイル鋳鉄	50 ~ 70
鋼	10 ~ 20

鋳鉄はその成分として炭素及びケイ素を数パーセント含んでいるため、鋼に比べて腐食しにくい。また、鋳鉄自身の電気抵抗が高い (表-3) ことに加えて、ダクタイル管路の場合には、継手にゴム輪を用いた構造のため管路内に電流が流れにくく、マクロセルや迷走電流 (電食) の影響を受けにくい。

(2) 接合形式

鋼管の溶接継手やフランジ継手、ポリエチレン管の融着継手などの伸縮や屈曲のない継手で構成された管路では、地震や軟弱地盤での沈下など、地盤変動が生じたとき、地盤の強制変形力を管材の強度やじん性で持ちこたえようとする剛構造な管路を構築する。このような管路では、管体及び継手の強度、じん性で外力に耐える必要があるが、それには限界があるため、通常、これらの管路では区間長をできるだけ短くし、継手の近傍には変位を吸収するための可とう管が必要となる。

一方、ダクタイル鉄管は受口に挿し口を挿入し管路を構築する継手接合形式である。そのため、埋設管路においては、地盤の動きに逆らうことなく継手の伸縮性や可とう性で地盤の動きに順応し、露出部では温度変化による管体の伸縮を吸収可能である。新潟地震や十勝沖地震など大規模地震を経験してきた我が国では、継手管路の特徴である伸縮・可とう性に加え、離脱阻止力を有した耐震継手が開発されており、初期の S 形、SII 形管から阪神・淡路大震災の前後には NS 形へと進化してきている。

「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 I 総論」では「新設管路においては、地盤条件、施設重要度に関わらず耐震性能の高い管種、すなわち可とう性に富み、地震の作用に対して十分な強度等の耐震性能を持つ材料を用いることを基本とする。(中略) 地震時に大きな相対変位が予想される場所に布設する管路等には、相対的な伸縮可とう性を有する継手や材料を使用する。」と記載されており、平成 21 年度のダクタイル鉄管出荷量の約 73% が耐震継手である。現在では耐震管が主流となってきている。

(3) GX 形ダクタイル鉄管の概要

GX 形ダクタイル鉄管 (φ75 ~ 250) は、従来の耐

震継手からその構造や性能の特徴を引き継いでいる。
 図-1にGX形ダクタイル鉄管(直管)の継手構造を、
 表-4にその性能を示す。

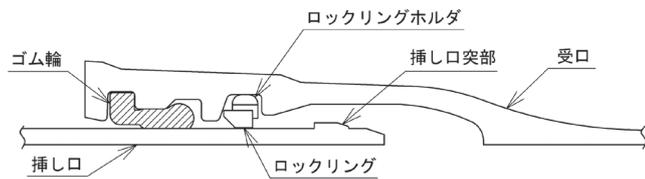


図-1 GX形ダクタイル鉄管(直管)の継手構造

表-4 GX形ダクタイル鉄管の性能

項目	性能
離脱阻止力	3D kN以上 (D:呼び径)
継手伸縮量	管長の±1%
許容屈曲角度	4°
地震時に曲がりうる最大屈曲角度	8°

GX形ダクタイル鉄管は、管長±1%の大きな伸縮量を有しており、かつ、地震時には8°も曲がりうる大きな屈曲性を有している。受口部にはロックリングがセットされており、挿し口には突部が形成されており、継手が限界まで伸び出した際には、これらが引っかけり、3D (kN) もの離脱阻止力を発揮する。

さらに、特殊な形状のゴム輪 (Twin Bulb) を採用することで、その接合に必要な挿入力を、従来の耐震管であるNS形の1/3とし、異形管については、メカニカル形式を採用することで、施工の融通性を向上させた。これらの施工性向上により、従来より狭い掘削幅での施工が可能となり、管路布設コストの低減を図り、耐震性と経済性を両立した管路が構築できる。

3. 長寿命化技術 (C-protect) の導入

先に述べたように、ダクタイル鋳鉄は鋼と比較して腐食しにくいという特徴を有しているものの、金属材料であるため、いかなる土壌においても万全であるわけではない。腐食性の激しい条件下では、比較的早期に寿命を終える事例も認められている。そのため、ダクタイル鉄管では管外面の防食のために施工現場にてポリエチレンスリーブと呼ばれる厚さ0.2mmの軟質ポリエチレン製チューブを管全長に装着している。

このポリエチレンスリーブ法には、①腐食性土壌との直接接触を防ぎ防食する、②管周辺を均一な状態に保ちマクロセル腐食を防ぐ、③地下水が浸入した場合でも水の移動を抑制し、溶存酸素が消費されることで腐食の進行を抑制する、④迷走電流による電食に

対して遮蔽物の効果を果たすなどの防食効果が挙げられる。しかし、異形管や分岐部では装着が困難であること、施工時や他企業工事の際に大きく破損した場合に、防食効果が低下するといった課題があった。そこで、GX形ダクタイル鉄管では、図-2に示すようにダクタイル鉄管の外面に「亜鉛系合金溶射+封孔処理」による耐食皮膜を形成し、ポリエチレンスリーブの被覆を不要とすることで施工性を向上させるとともに、鉄管自体の耐食性を大幅に向上させた。

【目標防食性能】
 一般的な埋設環境においてポリエチレンスリーブを被覆せず
 に100年の使用が期待できること

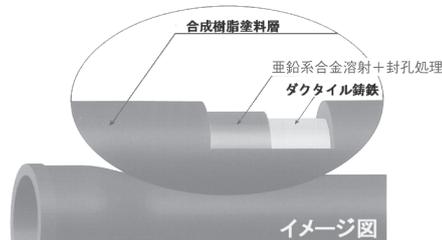


図-2 外面耐食仕様 (イメージ図)

(1) 合金成分の開発

現行のダクタイル鉄管では亜鉛を管外面にアーク溶射により付着させているが、亜鉛は防食効果があるものの、効果の持続期間が短いという課題があった。そこで、GX形ダクタイル鉄管では、アーク溶射技術を利用し、亜鉛に代わる亜鉛系合金の耐食皮膜を形成することで長寿命化を図ることとした。亜鉛に数種類の金属を添加した合金を、ダクタイル鉄管に溶射し、その性能を確認したところ、Sn及びMgを添加することで優れた耐食性能が得られた。

(2) 防食のメカニズム

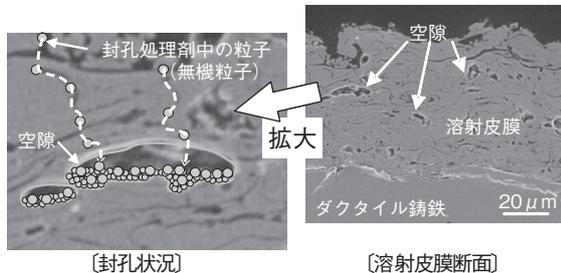
従来の亜鉛溶射では、亜鉛が溶出することで鉄を防食する。これに対し、亜鉛系合金 (Zn-Sn-Mg) には、次の効果があると考えられる。

- ①合金中のSn, MgがZnの溶出を抑制して遅らせる。
- ②腐食性の強い塩水環境では、亜鉛では酸化亜鉛、亜鉛系合金では塩基性塩化亜鉛の腐食生成物が主に生成しており、亜鉛系合金ではこれが安定的な保護皮膜として働き、亜鉛の溶出を遅らせることで、防食期間が長くなる。

(3) 防食性能向上策としての封孔処理

溶射によって形成された皮膜には写真-3に示す

ような空隙が存在する。この空隙に水が浸入すると、水との接触面積が増え、防食性能が低下する。そこで、浸透性のよい封孔処理剤を塗布し、無機系の微粒子で溶射皮膜中の空隙を埋め、表面積を小さくすることで防食性能を向上させ、長寿命化を実現した。



写真—3 自己防食のメカニズム (イメージ図)

(4) 防食性能

表—5に JIS Z 2371「塩水噴霧試験方法」に従って、塩水噴霧試験を行った結果を示す。なお、試験では従来の亜鉛溶射と同じ溶射量の 130 g/m^2 で比較した。従来仕様では15日後に赤錆の発生が認められたが、外面耐食仕様では350日経過後も良好な防食性能を有していることが確認された。

表—5 塩水噴霧試験結果

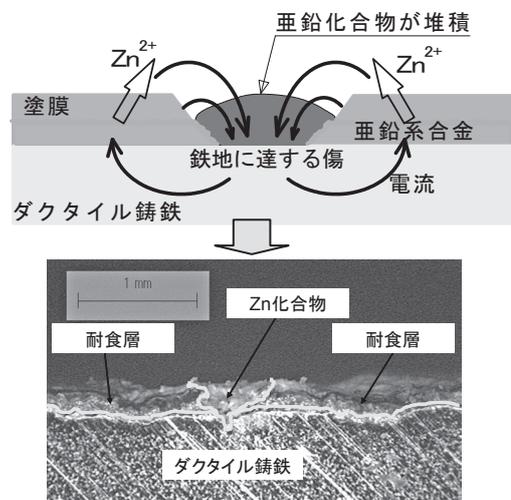
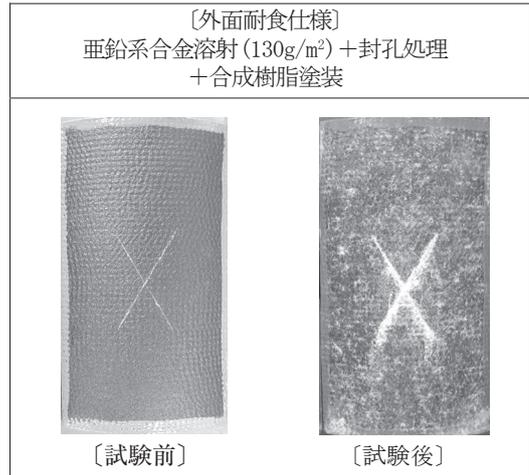
[外面耐食仕様] 亜鉛系合金溶射 (130 g/m^2) +封孔処理	[従来仕様] 亜鉛溶射 (130 g/m^2)
	
[350日後]	[15日後]

備考. 合成樹脂塗装はなし

(5) 傷部に対する防食性能

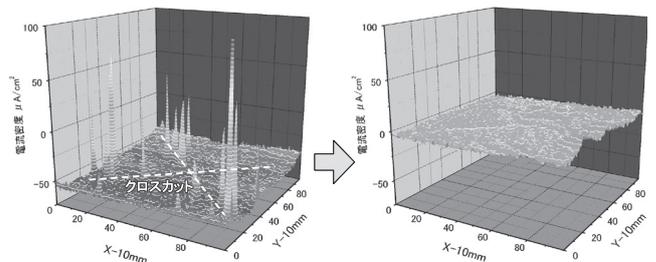
表—6に従来の亜鉛溶射と同じ溶射量の 130 g/m^2 を塗布した試験片に鉄地に達する傷を付け、塩水噴霧試験を行った結果を示す。外面耐食仕様は傷部に対し良好な防食性能を有していることが確認された。これは、図—3に示すように、鉄部に傷が付き、鉄地が露出しても、この部分を守るために矢印のように電流が流れ、亜鉛がゆっくりと溶出し、傷部に亜鉛化合物が堆積し、保護皮膜を形成するためである。

表—6 傷部に対する防食性能



図—3 傷部の防食メカニズム

また、図—4に示すように、走査型振動電極法によるクロスカット部周辺の電流密度の測定も行った。初期はクロスカット部より電流ピークが認められ、鉄が腐食しているが、次第に犠牲陽極作用が働き防食される。塩水噴霧試験1,000時間後にはクロスカット部及び亜鉛系合金皮膜から電流ピークも無く、腐食が進行していないことが確認された。



図—4 走査形振動電極法 (SVET) による傷部の電流密度 (測定範囲: $10 \times 10 \text{ mm}$, クロスカット: 長さ 10 mm , 上塗り: なし)

(6) 水質衛生性

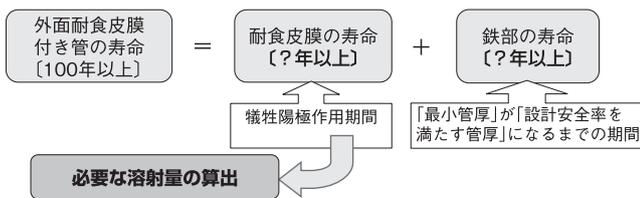
JWWA Z 108「水道用資機材—浸出試験方法」に

に基づき、外面耐食塗装〔亜鉛系合金溶射（325 g/m²）+封孔処理+合成樹脂塗装〕の浸出試験を行った。分析値は「水道施設の技術的基準を定める省令」に示す水質基準値を満足するものであった。

(7) 防食設計の考え方（図—5）

新耐震管の寿命は外面耐食塗装の犠牲陽極作用期間と鉄部の寿命の2つの期間の合計で表される。（ここでの鉄部の寿命とは、「一般的な埋設環境」において「最小管厚」が「設計安全率を満たす管厚」になるまでの期間を示す。）

目標防食性能は「一般的な埋設環境においてポリエチレンスリーブを被覆せずに100年の使用が期待できること」であり、一般的な埋設環境における鉄部の寿命の相当期間は30年以上であることから、外面耐食塗装が作用すべき期間が70年以上となるよう、耐食塗装の溶射量を設定した。



図—5 防食設計の考え方

4. おわりに

新耐震GX形ダクタイル鉄管は、一般的な埋設環境において100年の使用が期待できる革新的な管材料であり、実績のあるNS形ダクタイル鉄管と同等の耐震性を有した新たな耐震管である。また、GX形ソフトシール仕切弁は、その機能を維持するための定期的なメンテナンスは必要であるものの、GX形ダクタイル鉄管と同じ防食技術、同じ継手構造を有した耐震バルブである。これらは、長寿命を実現する次世代の耐震

管路の構築に貢献する管路資機材と言える。

施設の更新資機材として新耐震GX形ダクタイル鉄管及びGX形ソフトシール仕切弁を採用することで、例えば、水道や工業用水向け管材料の耐用年数40年（地方公営企業法施工規則）を100年と見なす事ができれば、ライフサイクルコストの大幅な低減効果が期待できる。さらに、外面腐食による不具合発生率の大幅低減による維持管理に係る労務及びコストの削減、施工性の改善による掘削土量の縮減による環境負荷の低減なども期待できる。

現在は小口径（φ75～250）が規格化されているが、将来的には順次拡張していくとともに、この新たな防食技術を管及びソフトシール仕切弁以外の製品へも展開し、施設の維持管理の効率化に貢献していきたい。

今後も、豊かな生活と社会の基盤を支えるこれらの製品や技術の開発及び普及促進を通じ、社会の発展と地球環境の保全に貢献していく所存である。

JCMA

【参考文献】

- 1) (株)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 2009年版 I 総論, p.9
- 2) 日本ダクタイル鉄管協会：JDPA G 1049 GX形ダクタイル鋳鉄管
- 3) 日本ダクタイル鉄管協会：JDPA T 56 GX形ダクタイル鉄管

【筆者紹介】



竹谷 和志（たけや かずし）
（株）クボタ
パイプシステム東日本営業部



船橋 五郎（ふなはし ごろう）
（株）クボタ
鉄管研究部
グループ長