

# 水道用鋼管外面被覆材100年防食対応への塗膜物性面でのアプローチ

100 Years Corrosion Protection Approach of Paint Film Properties for Waterservice Pipes Steel Outer Materials



日塗化学株式会社  
技術部 塗料技術グループ  
NITTO CHEMICAL CO., LTD.  
Technical Department,  
Paint Technical Group

浦田 信也  
Shinya URATA

## 要 旨

近年、水道事業体の管路更新率は毎年1%程度で推移している。これにより水道管の内外面の防食材料に100年以上の耐用が可能な防食仕様が求められ、規格の整備がすすめられた。その結果、塗覆装鋼管の規格として、2009年にISO 21809「ポリエチレン塗覆装」が制定され、このISO規格を参考にJIS G 3477「ポリエチレン被覆鋼管」が制定された。「ポリウレタン被覆鋼管」については、長寿命化への対応およびISO規格との整合性を図る目的で、2014年にJIS G 3443-3:2014「水輸送用塗覆装鋼管」が制定され、形式試験の性能試験が必要になった。形式試験とは、鋼管メーカーの製造ラインで塗装した被覆材の性能を評価する試験である。特に形式試験の耐曲げ性および耐陰極はく離性については、施工環境や条件によって影響を受ける場合があり、益々鋼管メーカーの施工条件の管理が重要になった。

本報では、耐曲げ性および耐陰極はく離性に影響を及ぼす施工条件を検証した結果を報告する。

## Abstract

In recent years, the pipeline renewal rate of the water supply business is about 1% every year. As a result, corrosion prevention materials capable of anticorrosive materials on the inside and outside surfaces of water pipes for more than 100 years are required, and standards have been improved. ISO 21809, which was established as a standard "Two layer polyethylene coatings" in 2009, and JIS G 3477 "Polyethylene coated steel pipes" was established in relation to this ISO standard. With respect to "Polyurethane-coated steel pipes", in accordance with JIS G 3443-3:2014, in order to ensure long life and consistency with ISO standards, "Coated steel pipes for waterservice" was installed in 2014 and performance test Has been added.

The formal test is a test to evaluate the performance of a coating material painted in a steel pipe manufacturer's production line. In particular, the bending resistance and cathode peeling resistance of form tests may be influ-

enced by the construction environment and conditions, and it became increasingly important to control the construction conditions of steel pipe manufacturers.

In this study, we report the results of verification of construction conditions which affect bending resistance and cathode peeling resistance of formal test.

## 1. はじめに

近年、老朽化した水道鋼管が社会問題となっている。各自治体では適切な維持管理を行っているものの、各地で漏水事故が発生しており、将来に向けた水の安定供給のためには、長期間にわたり事故を未然に防ぐ鋼管の長寿命化の取り組みが必要である。現在、日本の水道鋼管は戦後の高度成長期に布設されたものが多く、これらは水道管の法定耐用年数である40年を超えて使用されている。水道事業体の管路更新率は毎年1%程度で推移しており、このままのペースの劣化更新では、さらに各所での漏水事故を引き起こすおそれがある。このような背景から水道管の内外面の防食材料に100年以上の耐用が可能な防食仕様が求められ、規格の整備がすすめられた。<sup>1)</sup>

塗覆装鋼管の規格として、2009年にISO 21809「ポリエチレン塗覆装」が制定され、国内においても、このISO規格を参考にJIS G 3477「ポリエチレン被覆鋼管」が制定された。また、JIS G 3443-3「水輸送用塗覆装鋼管」の規格改訂時にも、ISO規格と整合化させる形で改正がすすめられ、2014年にJIS G 3443-3「水輸送用塗覆装鋼管-第3部:長寿命形外面プラスチック被覆」と改正された(図1)。当社では、JIS G 3443-3に適合する鋼管外面用ウレタンエラストマーを開発したので、その概要を報告する。

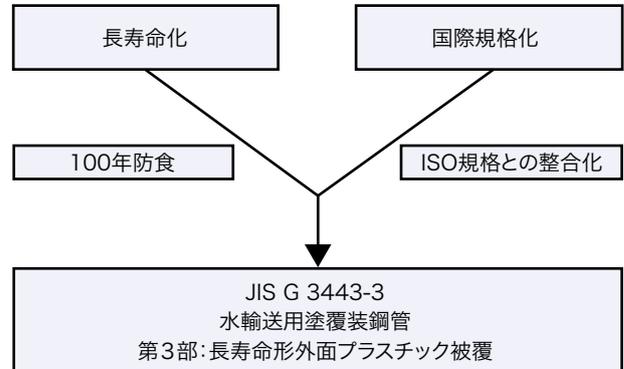


図1 JIS G 3443-3改正の流れ

## 2. JIS G 3443-3について

改正されたJIS G 3443-3「水輸送用塗覆装鋼管」のポリウレタン被覆の防食被覆仕様を表1に示す。ブラスト処理による素地調整が施された基材を用いて、1層目にプライマーを、2層目にポリウレタン材料を被覆する仕様である。ここでのポリウレタン被覆の膜厚は2mm仕様のI形、3mm仕様のII形の2仕様あり、使用環境に応じて選定される。

表1 JIS G 3443-3「水輸送用塗覆装鋼管」の防食被覆仕様

塗装工程		標準膜厚 <sup>※1</sup>	
ブラスト処理による素地調整 (ISO Sa 2 $\frac{1}{2}$ 以上の除錆度)		—	
1層目	プライマー	25 $\mu$ m	
2層目	ポリウレタン被覆	タイプ	I形:2.0mm +規定なし -0.5
			II形:3.0mm +規定なし -0.5

※1 ポリウレタン被覆の膜厚にはプライマーも含む

長寿命規格となったJIS G 3443-3「水輸送用塗覆装鋼管」では、従来品質に加えて、被覆の物理的および化学的性能をさらに厳しく評価する形式試験が設けられた。

この形式試験とは、塗料メーカーが通常行う試験(JIS G 3443-3 附属書A「ポリウレタン被覆材料」)以外に、鋼管メーカーが実際に塗覆装を行う工場で作製

した被覆材の品質が、設計品質を満足するかどうかを判定するために実施する試験である。

試験項目としては、プルオフ付着強度、耐衝撃性、押し込み深さ、耐曲げ性、耐陰極はく離性、耐熱水浸せき性の6項目がある。なお、この形式試験は、初回製造時および性能に影響を及ぼすような製造条件の変更があった場合に鋼管メーカー各社が実施することとなっている。

表2 形式試験

項目	性能	試験条件
プルオフ付着強度 MPa	平均3以上	23°C
	平均1以上	60°C
耐衝撃性	ピンホールを検出しない	I形:23°C、11J
		II形:23°C、18J
押し込み深さ mm	平均0.4以下	23°C、25N
	平均0.6以下	60°C、25N
耐曲げ性	割れがない	I形:0°C、角度2度
		II形:0°C、角度2度
耐陰極はく離性 mm	平均7以下	23°C×28日
	平均20以下	40°C×28日
耐熱水浸せき性 mm	平均2以下 最大3以下	80°C×48時間

### 3. 形式試験での問題点

各鋼管メーカーにおいて、形式試験を実施したところ、耐曲げ性や耐陰極はく離性が不合格となるケースがあった。施工環境や施工方法が異なることが原因であると思われるものの、技術者が立会のもとで試験片を作成していることから、不合格の原因が分からないところがあった。

本報では、鋼管メーカーの施工条件を検討した結果、品質に影響を及ぼす要因についての具体例を特定したので報告する。

表3 同一塗料、同一塗装仕様での各鋼管メーカーによる形式試験結果

項目	性能	鋼管メーカー				
		A社	B社	C社	D社	E社
耐曲げ性(II形)	割れがないこと	合格	合格	不合格	合格	合格
耐陰極はく離性(23°C×28日)	平均7mm以下	合格	合格	合格	不合格 平均7.8mm	合格

## 4. 耐曲げ性

### 4.1 試験方法

塗装工場によっては、工場稼働時間帯は空調で適度な塗装環境であっても、空調が停止する夜間には氷点下となり、翌朝太陽光が差し込み始めると急な温度上昇により結露することもある。今回、耐曲げ性試験において不合格になったC社は、このような環境で施工を行ったことから、層間密着において厳しいと思われる0°C低温環境、高湿度環境に加えて、現地での温度環境にあわせた温湿度でプライマー塗装を行ったうえで試験片作成を行った。

試験体の基材にはSS400鋼板(150mm×250mm×t3.2mm)にISO Sa 2 ½以上の除錆度(NEAR-WHITE BLAST CLEANING)となるようにブラスト処理を施したものを、エアレス塗装機を使用して膜厚が約25μmになるようにプライマーを塗装した。プライマー塗装後の試験体は表4に示す4水準の環境にて養生させた。その後、二液内部混合形塗装機を使用して膜厚が約3mmになるようにポリウレタン材料を被覆した。被覆後の試験体は23°C2週間養生させ、被覆鋼板を作製した。作製した被覆鋼板は耐曲げ性の評価に用いた。

表4 プライマーの養生条件

	水準 1	水準 2	水準 3※1	水準 4
養生条件	10°C 85% 24時間	10°C 50% 24時間	10°C 50% →-3°C →10°C 50%	0°C 20% 24時間

※1 耐曲げ性で不合格となったC社の施工条件を参考に設定した条件。  
10°C50%から-3°Cまでは16時間かけて、-3°Cから10°C50%までは8時間かけて徐々に温度を変化させた。

曲げ試験では、評価時の試験片温度を0°C±3°C以下とするために、あらかじめ試験片を-5°C以下に設定し

た冷凍庫中に24時間以上保持し、冷凍庫から取り出した試験片を、被覆面を曲げの外側となるよう曲げ試験機に装着し、曲げ角度2度となるよう半径90.08mmのマンドレルに沿って試験片を曲げた(写真1)。曲げ終了後、 $23^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ で2時間以上保持したのち、被覆膜の割れの有無を調べた。

写真1 曲げ試験状況



※ 曲げ開始から曲げ終了までの時間:60秒

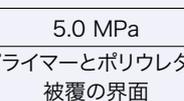
#### 4.2 試験結果および考察

水準1、水準2、水準4の被覆鋼板は合格することがわかった。一方、C社の施工環境を参考にした水準3の被覆鋼板には割れが発生し、不合格となった。

割れが発生した試験体の密着性について、アドヒージョンテスターを用いて評価したところ、付着力は標準的な試験体と比べて低く、破壊箇所はプライマーとポリウレタン被覆の界面となり、ポリウレタン膜の密着性が低下していることがわかった。

水準3は、塗装後水点下まで気温が低下し、その後

表6 密着性試験後のはく離界面状況

	標準的な試験体	割れが発生した試験体
プライマー養生条件	$23^{\circ}\text{C}$ 50% 24時間	$10^{\circ}\text{C}$ 50%(16時間かけて) → $-3^{\circ}\text{C}$ (8時間かけて) → $10^{\circ}\text{C}$ 50%
破壊箇所		
ドーリー		
付着力	13.7 MPa	5.0 MPa
破壊箇所	ポリウレタン被覆	プライマーとポリウレタン被覆の界面

昇温されるため、プライマー表面に硬化完了前に結露が発生した可能性がある。プライマー表面が結露すると、表層にイソシアネートと水の反応物である炭酸塩が形成され、ポリウレタン膜との密着性は弱くなる。この脆弱層の形成が曲げ応力に耐え切れず、割れが発生したと推定される。

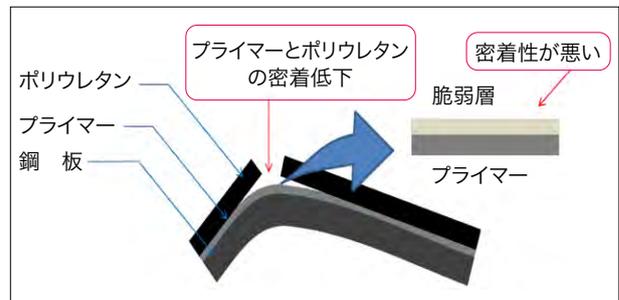


図2 割れが発生した試験体イメージ

表5 耐曲げ性II形の試験結果

	水準 1	水準 2	水準 3 <sup>*1</sup>	水準 4
プライマー養生条件	$10^{\circ}\text{C}$ 85% 24時間	$10^{\circ}\text{C}$ 50% 24時間	$10^{\circ}\text{C}$ 50% → $-3^{\circ}\text{C}$ → $10^{\circ}\text{C}$ 50%	$0^{\circ}\text{C}$ 20% 24時間
結果	合格	合格	不合格	合格
試験体				

※1  $10^{\circ}\text{C}$ 50%から $-3^{\circ}\text{C}$ までは16時間かけて、 $-3^{\circ}\text{C}$ から $10^{\circ}\text{C}$ 50%までは8時間かけて徐々に温度を変化させた。

## 5. 耐陰極はく離性

### 5.1 試験方法

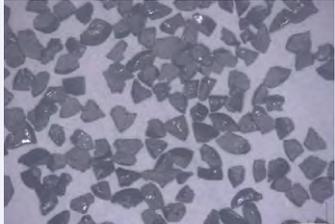
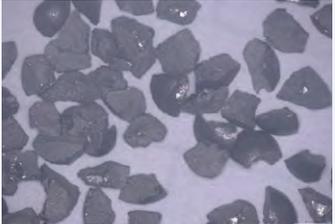
陰極はく離試験では、D社のみが研削材にスチールグリットではなくスチールショットを使用していたことから、研削材の種類に着目して陰極はく離性への影響調査を実施した。鋼管メーカーでは、ブラスト研削材として一般に粒径の大きいスチールグリットやスチールショットが使用される。耐陰極はく離性に影響を及ぼすと考えられる素地と塗膜の密着性は、素地の表面粗さや形状にも関係し、研削材の種類によってもそれらは異なってくる。粒径が大きい研削材では表面粗さが大きくなり、スチールグリットでは形状が鋭角的に、スチールショットでは比較的滑らかになる傾向がある。本報告では表7に示す研削材を用いて耐陰極はく離性への影響を調

査した。

試験体の基材にはSS400鋼板(70mm×150mm×t3.2mm)に、表7に示す研削材を使用してISO Sa 2½以上の除錆度(NEAR-WHITE BLAST CLEANING)となるようにブラスト処理を施したものをを用いた。次に、エアレス塗装機を使用して膜厚が約25μmになるようにプライマーを塗装し、23°C24時間養生させた。その後、二液内部混合形塗装機を使用して膜厚が約3mmになるようにポリウレタンを塗装し、23°C2週間養生させ、被覆鋼板を作製した。作製した被覆鋼板は耐陰極はく離性の評価に用いた。

試験装置を図3に示す。はじめに、試験片にドリルを用いて、鋼面に達する直径6mmの人工欠陥を試験片の中央部に導入した。次に円筒状の試験片セルを人工欠陥が円筒の中心となるように試験片の上に立て、耐水性シーラントでシーリングした。試験片セルに70mm以上

表7 使用した研削材

粒度番号	G100	G170	S170*1
外観(20倍)			
形状	スチールグリット	スチールグリット	スチールショット
主要粒度	0.71mm ~ 1.18mm	1.40mm ~ 2.00mm	1.40mm ~ 2.00mm

※1 耐陰極はく離性で不合格となったD社で使用していた研削材。

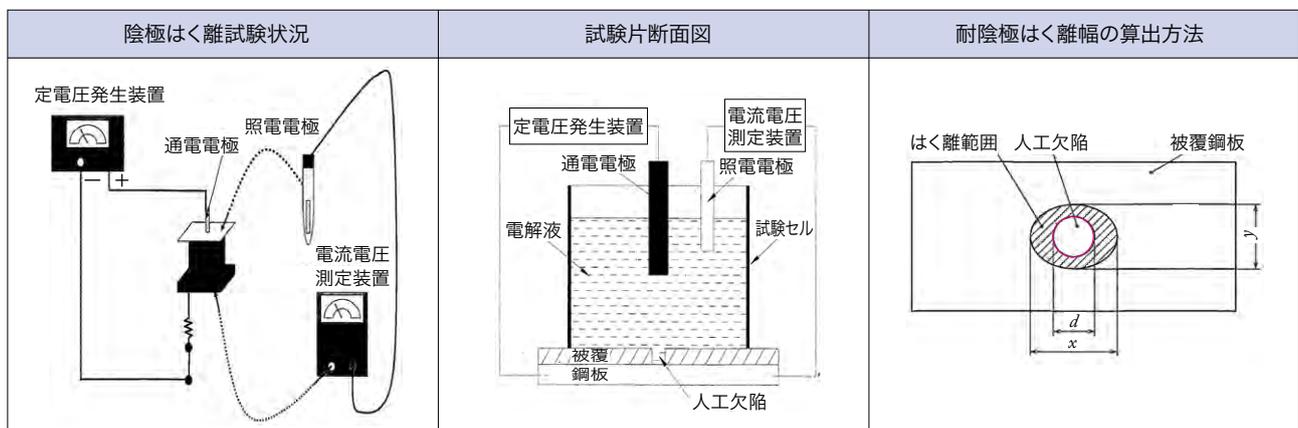


図3 耐陰極はく離性の試験方法<sup>2)</sup>

の深さになるよう電解液(30g/L塩化ナトリウム水溶液)を満たした。通電電極を電解質中に入れ、定電圧発生装置と通電電極を接続した。試験片の円筒外部分の鋼面と電圧電流測定装置とを同線で接続した。照合電極である飽和カロメル電極に対し、-1.5Vとなるよう定電圧発生装置を設定し、23°Cで28日間試験を行った。試験終了後、1時間以内に、人工欠陥部から被覆下にたがねを挿入し、掘り起し、人工欠陥端部の被覆のはく離距離(L)を算出した(式1)。

$$L = \frac{x + y - 2d}{4} \quad \dots\dots(式1)$$

5.2 試験結果および考察

素地調整で使用した研削材と耐陰極はく離性(23°C×28日)の関係を調査した結果、G100、G170、S170の順に耐陰極はく離性は良好になり、D社が使用していたスチールショットのS170は最も悪かった。

表8 耐陰極はく離性の試験結果

使用した研削材	G100	G170	S170
はく離箇所			
はく離幅	1.5mm	3.1mm	4.0mm

ブラスト後の鋼材表面や断面曲線から、G100が最も凹凸間の距離(Sm:粗さ曲線要素の平均長さ)は小さく、粗さは細くなり、鋼材の表面積は大きいことがわかる。鋼材の表面積が大きいほど、基材とプライマーの密着性は良くなるものと推定される。また、鋼材の表面積との関係が大きいSm/Rz<sub>JIS</sub>比率を使用して、今回の結果をプロットすると、図4のようになっており、G100、G170、S170の順にはく離幅が小さくなった。これまで塗装前の素地状態を判断するためにRz<sub>JIS</sub>を重視することが多かったが、Sm/Rz<sub>JIS</sub>も重要であることがわかった。

表9 素地調整方法と耐陰極はく離性の関係

使用した研削材		G100	G170	S170
ブラスト後の鋼材表面				
断面曲線※1				
表面粗さパラメーター	十点平均粗さRz <sub>JIS</sub> ※2	42μm	51μm	46μm
	粗さ曲線要素の平均長さSm※2	360μm	615μm	778μm
	Sm/Rz <sub>JIS</sub> ※3	8.6	12.1	16.9
耐陰極はく離性の理由	素地とプライマーの密着性	◎	○	△
	概念図			

※1 断面曲線: 試料の実表面上を指定された垂直平面で切断したとき、その切り口に現れる曲線  
 ※2 JIS B 0601:1994「製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状:輪郭曲線方式―用語、定義および表面性状パラメーター」  
 ※3 Sm/Rz<sub>JIS</sub>:密着性に影響する表面粗さパラメーター<sup>3)</sup>

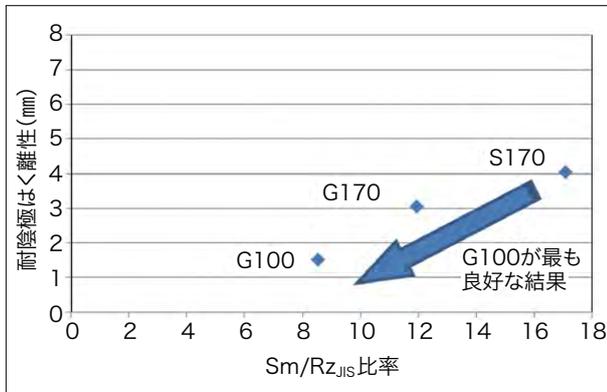


図4 Sm/Rz<sub>JIS</sub>比率に対する耐陰極はく離性のプロット図

## 6. まとめ

ウレタンエラストマーは、同じ材料であっても施工環境や条件によって試験結果への影響が大きく、これらの管理が重要であるということが明らかになった。施工面で大切な点は以下のとおりである。

### ①耐曲げ性について

プライマーの施工環境において、硬化前に結露が発生しやすい環境では耐曲げ性の試験結果に影響があることが判明した。

### ②耐陰極はく離性について

素地調整で使用する研削材の種類が耐陰極はく離性に影響することがわかった。形状はスチールショットよりスチールグリットが良く、粒径が小さいG100が最も良好であった。鋼材の表面積を表すSm/Rz<sub>JIS</sub>も施工管理において重要な因子であることが判明した。

以上の結果をふまえ、JIS G 3443-3:2014形式試験に合格できる要領を把握することができた。

## 謝辞

本研究にご協力いただいた関係各社様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 佐々木徹：水道用塗覆装鋼管の長寿命化への動向，DNTコーティング技報No.13 技術解説-3
- 2) 鋼構造物常温溶射研究会：  
鋼橋の常温金属溶射設計・施工・補修マニュアル  
(案) (改訂版) (2009年4月)