

水道用塗覆装鋼管の長寿命化への動向

Trend to Long Service Life of Coated Steel Pipes for Water Service



日塗化学(株) 技術部 塗料技術グループ
NITTO CHEMICAL CO.,LTD
Paints Research and Development Group

佐々木 徹
Toru SASAKI

1. はじめに

日本は水道普及率97%を超えるが、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ことになる。

一方、水道事業体の管路更新率は、大都市の場合でも毎年1%程度で推移していることから、更新によって布設する管路の耐用年数(寿命)は100年以上が必要になると考えられる。

このことから、水道事業体から寿命100年化への要望が多く寄せられている。そこで、水道用鋼管の外面被覆および内面塗装の長寿命化(目標100年)を図るべく、日本水道鋼管協会(以下WSP)に「水道鋼管長寿命化研究委員会」を設置して、外面被覆・内面塗装のそれぞれについて寿命100年に関する調査・試験検討を行ってきた。この研究委員会は、WSPの技術委員、鉄鋼関連研究者、材料会社等がメンバーとして構成され、日塗化学(株)および大日本塗料(株)も委員として当初より参加してきた。

本報では、「水道鋼管長寿命化研究委員会」の研究成果と、関連する水道用鋼管関連の規格改定内容の概要を報告する。

2. 水道用鋼管の外面被覆・内面塗装

今日までの水道用鋼管の外面被覆・内面塗装に関連する規格の変遷を以下に説明する。

2.1 水道用鋼管の外面被覆の変遷

水道用鋼管の外面防食被覆は、長年にわたってアスファルト塗覆装、コールタールエナメル塗覆装等によって行われてきたが、これらの塗覆装材料は加熱・溶融して被覆作業を行うため、発生する揮発成分による作業環境問題に対する改善が必要であった。

そこで、作業環境改善に加えて被覆の高品質化を図るため、被覆用プラスチックが開発・実用化されてきた。1985年には、大口径および異形管に適用可能なポリウレタン被覆が日本水道鋼管協会規格WSP 047(ウレタン被覆鋼管)として制定された。その後、既に一部で使用されていたポリエチレン被覆鋼管と併せて、WSP 047(水道用プラスチック被覆鋼管)が制定され、水道用鋼管の外面プラスチック被覆化が進むようになってきた。外面プラスチック被覆は、防食性能、耐衝撃性、鋼管のたわみに対する追従性等、優れた防食被覆として評価されるようになり、使用者である水道事業者およびWSPから(公社)日本水道協会へ規格制定の要請があり、1999年に日本水道協会規格JWWA K 151(水道用ポリウレタン被覆方法)、JWWA K 152(水道用

表1 水道用鋼管の外面被覆規格

区分	規格番号	規格名称	制定	廃止
日本工業規格	JIS G 3491	水道用鋼管アスファルト塗覆装方法	1952年11月	2007年2月
	JIS G 3492	水道用鋼管コールタールエナメル塗覆装方法	1968年 1月	2004年3月
	JIS G 3469	ポリエチレン被覆鋼管	1978年12月	—
	JIS G 3443-3	水輸送用塗覆装鋼管-第3部:外面プラスチック被覆	2007年 2月	—
日本水道協会規格	JWWA G 107	水道用鋼管コールタールエナメル塗装方法	1965年 8月	1968年1月
	JWWA K 151	水道用ポリウレタン被覆方法	1999年 4月	—
	JWWA K 152	水道用ポリエチレン被覆方法	1999年 4月	—
	JWWA K 153	水道用ジョイントコート	1999年 4月	—

ポリエチレン被覆方法)およびJWWA K153(水道用ジョイントコート)が制定された。

さらに、これらのプラスチック被覆は、上水道のみならず下水道、工業用水道、農業用水等の水輸送用鋼管全般に用いられるようになってきたことから、統一的な基準としてJIS G3443-3(水輸送用塗覆装鋼管-第3部:外面プラスチック被覆)が制定された。

水道用鋼管における外面被覆の規格について表1に示す。

2.2 水道用鋼管の内面塗装の変遷

水道用鋼管の内面防食塗装は、かつてはアスファルト塗装、コールタールエナメル塗装等によって行われてきたが、タールエポキシ樹脂塗料がJIS K 5664として1972年に制定され、JWWA K 115(水道用タールエポキシ樹脂塗料塗装方法)が1974年に規格化されてからは、水道用鋼管内面用塗装として広く使用されるよう

になる。それ以降、アスファルト塗装およびコールタールエナメル塗装は水道用鋼管内面には使われなくなった。

その後、コールタールを含有せずに衛生性を向上させた溶剤形エポキシ樹脂塗料が、JWWA K 135(水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法)として1989年に規格化され、これに伴ってJWWA K 115が改正され、タールエポキシ樹脂塗料は上水に接しない面に限って使用されることとされた。

一方、溶剤を含まないことから、溶剤臭がなく、作業環境への影響が少ない無溶剤形エポキシ樹脂塗料が、JWWA K 157(水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法)として2004年に規格化された。

これらをもとに、水輸送鋼管全般に適用するJIS G 3443-4(水輸送用塗覆装鋼管-第4部:内面エポキシ樹脂塗料)が制定された。水道用鋼管の内面塗装の規格について表2に示す。

表2 水道用鋼管の内面塗装規格

区分	規格番号	規格名称	制定	廃止
日本工業規格	JIS G 3491	水道用鋼管アスファルト塗覆装方法	1952年11月	注1(1974年5月)
	JIS G 3492	水道用鋼管コールタールエナメル塗覆装方法	1968年 1月	注1(1974年5月)
	JIS G 3443-4	水輸送用塗覆装鋼管-第4部:内面エポキシ樹脂塗装	2007年 2月	—
日本水道協会規格	JWWA G 107	水道用鋼管コールタールエナメル塗装方法	1965年 8月	1968年1月
	JWWA K 115	水道用タールエポキシ樹脂塗料塗装方法	1974年 5月	注2(1989年1月)
	JWWA K 135	水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法	1989年 8月	—
	JWWA K 157	水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法	2004年 3月	—

注1 JWWA K 115の制定・実用化により、水道用内面には使われなくなった。

注2 JWWA K 135の制定・実用化により、上水に接しない面に限って使用することとした。

3. 水道用鋼管外面ポリウレタン被覆の耐久性

外面プラスチック被覆のうち、塗料メーカーが供給するポリウレタン被覆(ウレタンエラストマー)の被覆厚みは、2.0mm(+規定なし、-0.5mm)を標準とし、耐衝撃性を必要とする場合は3.0mm(+規定なし、-0.5mm)としている。ポリウレタン被覆は、厚膜被覆が塗装(専用の二液内部混合形塗装機が必要)によって可能であるため、適用形状の自由度が高く、大形管や異形管にも適用される。

3.1 被覆用ポリウレタン配合材料

ポリウレタンを鋼管被覆用とするためには、ポリオール化合物、イソシアネート化合物の他に各種配合材・添加剤(顔料、劣化防止剤、発泡防止剤、触媒等)が構成原料として必要である。ポリウレタン被覆材料の配合例を表3に示す。メインポリオール化合物としては、極性基が少ないヒマシ油系ポリオール又はポリブタジエン系ポリオールが使用される。鎖延長剤・架橋剤としてのサブポリオール化合物は、ウレタン結合間の距離および架橋度を調整し、目的とする耐久性や物性を達成するために重要な材料である。

表3 ポリウレタン被覆材料の組成

材 料		A 社	B 社
主原料	メインポリオール	ヒマシ油系ポリオール	ヒマシ油系ポリオール
	サブポリオール	ヒマシ油変性ポリオール	ヒマシ油変性ポリオール
	イソシアネート	ポリメリックMDI	ポリメリックMDI
添加剤	劣化防止剤	芳香族アミン類	芳香族アミン類
	着色顔料	カーボンブラック	カーボンブラック
	体質顔料	タルク 炭酸カルシウム	炭酸カルシウム
	減粘剤	—	—
	発泡防止剤	ゼオライト	ゼオライト
	ダレ止め剤	アマイドワックス系	有機ベントナイト
	触 媒	有機金属系	有機金属系

3.2 ポリウレタン被覆の長期耐久性

水道用鋼管の外面ポリウレタン被覆の主たる機能は、布設される環境(土壤中、水中・海水中、大気中等)の腐食性物質から鋼管を保護する環境遮断機能が高く、かつ長期にわたって安定(環境の腐食性物質と反応して劣化・損耗がないこと)であることが重要となる。

ポリウレタン被覆の寿命を支配する要因は、

- ①ポリウレタン被覆への水分・酸素透過による鋼面腐食
- ②ポリウレタン被覆の酸化劣化
- ③屋外使用の場合、紫外線劣化

等が挙げられ、これら要因別に寿命推定を行った。

3.2.1 水分・酸素透過による鋼材腐食

ポリウレタン被覆下の鋼面の腐食は、酸素の透過速度に依存するとされており、酸素透過係数からポリウレタン被覆鋼管の腐食量の概算を行った。鋼材の腐食量は、透過した酸素が全て腐食反応で消費されるものとして計算した年間最大腐食推定量の結果を表4に示す。

表4 被覆用ポリウレタンの酸素透過係数と最大腐食推定量(1mm厚み)

被覆材料		被覆用ポリウレタン	
測定温度		15°C	30°C
酸素透過係数	$\times 10^{-16} \text{mol} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$	1.73	3.83
最大腐食推定量	$\mu\text{m} / \text{年}$	1.57	3.47

実際の暴露試験の結果では、透過した酸素が全て腐食反応に消費されるものでなく、被覆が鋼と強く付着し鋼表面積が限定されているうえ、被覆下の鋼表面において極薄い酸化物層が形成され、これが腐食抑制に寄与すると考えられる。実際の腐食速度は、上述の酸素透過係数から算出した最大腐食推定量1/10以下の腐食量であった。

ここで、表4で算出した最大腐食推定量を1/10とした値を実際に想定される最大腐食量として、膜厚と寿命の関係を表5に示す。被覆下の腐食量と寿命の関係は明らかとはされていないが、下地処理(ブラスト処理)による表面粗度が75 μm 程度であることから、鋼材の腐食量が75 μm に達した時点を寿命と推定した。

表5 被覆用ポリウレタンの膜厚と推定寿命

被覆材料		被覆用ポリウレタン	
測定温度		15°C	30°C
最大腐食量 ($\mu\text{m}/\text{年}$)	0.3mm厚み	0.523	1.157
	0.5mm厚み	0.314	0.694
	1.0mm厚み	0.157	0.347
推定寿命 (年)	0.3mm厚み	143	65
	0.5mm厚み	239	108
	1.0mm厚み	477	216

3.2.2 ポリウレタンの耐酸化劣化と寿命推定

ポリウレタンの熱酸化劣化は、酸素によって酸化されて性能が低下するもので、これは高温ほど著しい。

ポリウレタンの寿命推定法としては、劣化要因を化学的速度論で加速するための加熱促進が最も有効な方法として用いられている。加熱による促進試験法を用いた場合、最も代表的な寿命推定方法にアレニウス法がある。

そこで、各試験温度(加熱温度)において、一定時間オープン中に保定した後で、常温で引張試験を実施した。引張強度が最大となる時点を、その温度における寿命と設定し、アレニウスプロットから、実使用温度に外挿することで、耐酸化劣化寿命推定評価を実施した。

その結果、ポリウレタンは、50°Cにおいて100年以上の耐酸化劣化寿命を有すると推定される。

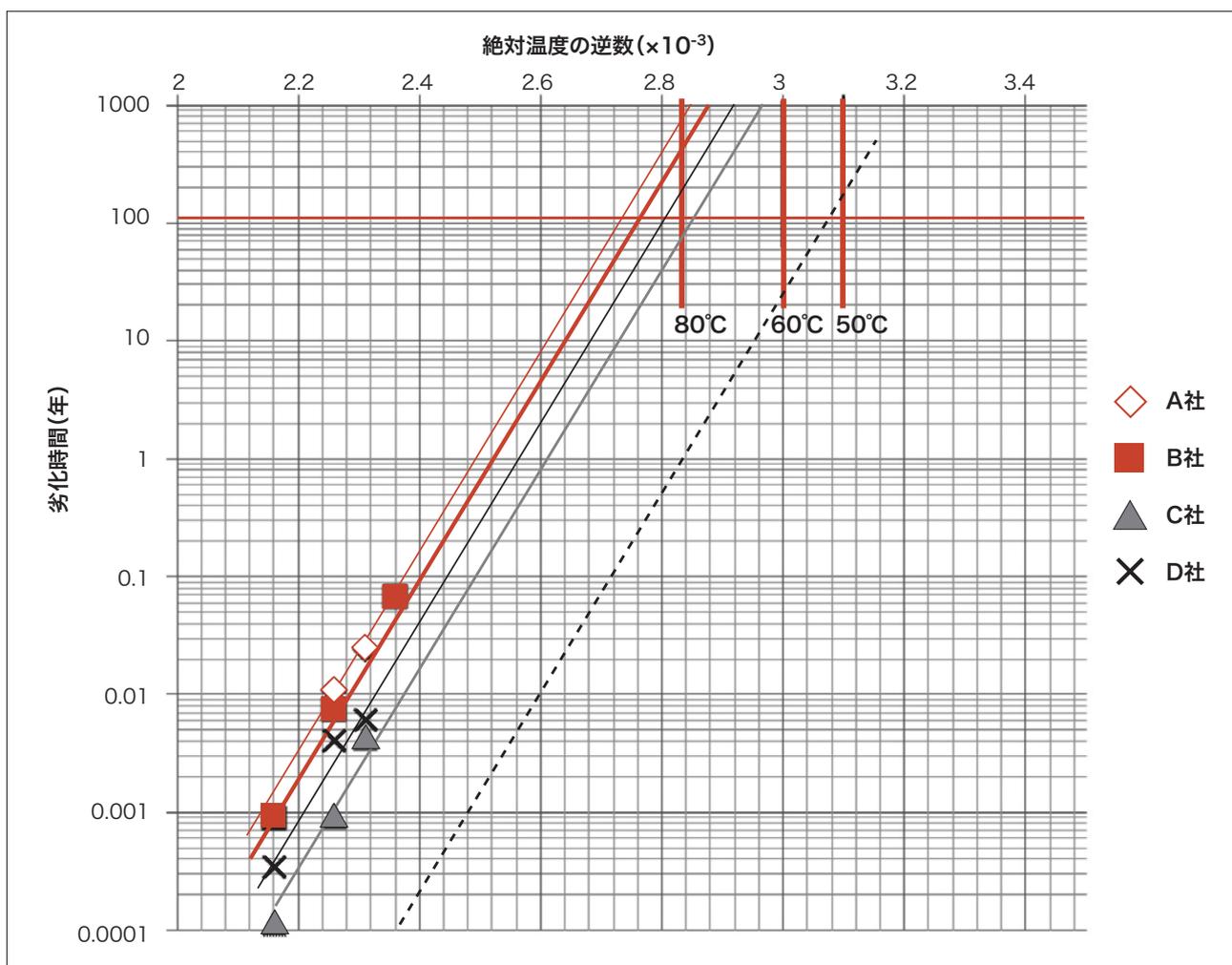


図1 鋼管被覆用ポリウレタンの酸化劣化寿命推定

3.2.3 ポリウレタンの耐候性

ポリウレタンは、大気暴露環境に露出状態で置かれた場合、太陽光の紫外線によって被膜の表面からチョーキング(白亜化)が生じ、徐々に塗膜が減少していく。

促進耐候性試験(サンシャインウェザーメーター試験)と膜厚減少量の関係を測定し、促進耐候性試験時間200時間が実暴露の1年間に相当するものとする、ポリウレタンの膜厚減少量は50年間で400 μm となる。したがって、100年間で800 μm の膜厚減少であり、十分な耐候性を有すると言える。なお、ポリウレタン被覆を屋外使用する場合、白亜化を問題としない場合はそのまま使用できるが、景観性を考慮する場合は、耐候性上塗塗料(ふっ素樹脂塗料、ウレタン樹脂塗料等)を塗装することにより景観性を保持できる。

4. 水道用内面エポキシ樹脂塗料の耐久性

水道用鋼管の内面は、酸素濃度が低いために塗膜下の腐食は地上部に比較して少ないが、水が塗膜を透過してブリストア(ふくれ)が発生、成長し、ブリストアが破壊した時に大きく鋼材の腐食が発生し始める。そこで、塗膜の耐水透過性を温度勾配試験と湿潤試験で評価した。

温度勾配試験は、水中で塗装鋼板の塗膜側を高温、鋼板側を低温として、水の浸透を促進させてブリストアを発生させる試験であり、温度差が大きいほど促進される。そこで、膜厚および温度差を変化させて試験を実施し、寿命と仮定したブリストア発生面積率50%の時点を求めた。湿潤試験は、塗膜の高湿度条件下における耐久性を評価するものであり、温度70 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度100%で試験を実施して同様にブリストア発生面積率50%の時点を求めた。

両試験結果から、各膜厚におけるブリストア発生推定寿命を求め、工場で塗装機にて塗装した塗膜での試験結果を図2に、現場での鋼管継手溶接部に手塗りにて塗装した塗膜での結果を図3に示す。

工場機械塗装については、図2から100年寿命に相

当する膜厚は374 μm であった。また、現場溶接継手部の手塗り塗装については、図3から100年寿命に相当する膜厚は616 μm であった。

水道鋼管の内面塗装は、無溶剤形エポキシ樹脂塗料および液状エポキシ樹脂塗料がある。ここでは、特に無溶剤形エポキシ樹脂塗料について100年寿命という観点から検討してきた結果、内面塗装に必要とされる性能等を表6に示す。ここで、膜厚については、規格化への反映を考慮して安全性を加味した内容とした。

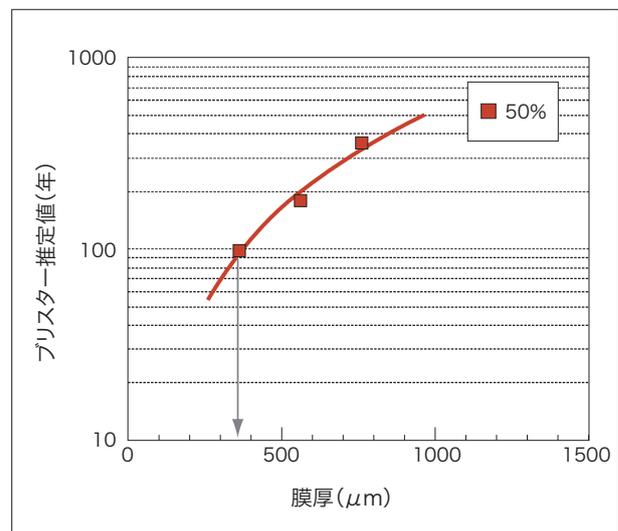


図2 膜厚とブリストア発生推定寿命 (工場機械塗装)

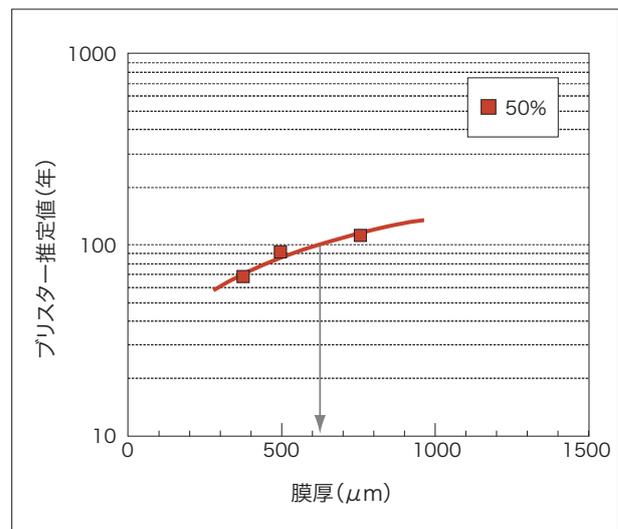


図3 膜厚とブリストア発生推定寿命 (現場溶接部手塗り塗装)

表6 水道鋼管100年寿命内面無溶剤
エポキシ樹脂塗料の膜厚

項目		工場塗装	現場溶接部 手塗り塗装
塗装方式		二液内部混合形 塗装機	手塗り (ヘラ塗り)
100年 寿命	必要膜厚	374 μ m	616 μ m
	規定膜厚	600 μ m以上	1000 μ m以上

5. 関連規格の改定概要

本報で紹介した研究委員会の成果として、水道鋼管内外面のWSP規格として、WSP 076-2012(長寿命形水道鋼管用塗覆装材料・塗覆装方法)が2012年9月に制定される運びとなった。水道用鋼管の外表面被覆および内面塗装に関連する規格の制定、改訂の状況を表7に示す。

表7 水道鋼管関係(長寿命形)規格の制定・改正状況

区分	規格番号	規格名称	状況	備考
日本水道鋼管協会規格	WSP 075	長寿命形水道鋼管用無溶剤エポキシ樹脂塗料塗装方法	2012年3月制定 2012年9月改訂	この規格をJWWA K 157(改正済) JIS G 3443-4改正へ反映。
	WSP 076	長寿命形水道鋼管用塗覆装材料・塗覆装方法	2012年9月制定	この規格をJWWA K 151-153、JIS G 3443-1～4改正へ反映。
日本水道協会規格	JWWA K 151	水道用ポリウレタン被覆方法	改正中	JIS G 3443改正案に準拠(原案作成中)
	JWWA K 152	水道用ポリエチレン被覆方法	改正中	JIS G 3443改正案に準拠(原案作成中)
	JWWA K 153	水道用ジョイントコート	改正中	JIS G 3443改正案に準拠(原案作成中)
	JWWA K 157	水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法	2013年1月改正	長寿命形の規定を付属書Eに追加、JIS G 3443-4改正へ反映。

6. おわりに

水道用鋼管の長寿命化への対応として、外面被覆としてポリウレタン被覆を適用し、内面塗装として水道用無溶剤エポキシ樹脂塗料を厚膜化して適用すれば、100年を超える耐久寿命が推定されることが判明した。この成果を関連する規格等に発展させ、水道施設の長期寿命を支える一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 石田雅己、大槻富有彦：防錆管理,56,11, p443-451(2012) 水道鋼管の長寿命化(その1)
- 2) WSP 076-2012
(長寿命形水道鋼管用塗覆装材料・塗覆装方法)
- 3) WSP 075-2012
(長寿命形水道鋼管用無溶剤エポキシ樹脂塗料塗装方法)