

技術資料

UDC 669.148.4-462 : 678.674 : 621.793.6

水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管*

木 村 邦 利**・野 路 功 二**

Polyethylene Powder-Coated Steel Pipe for Water Service

Kunitoshi KIMURA and Koji Noji

1. 緒 言

給水用小径管としては、従来より亜鉛めつき鋼管が多く使用されているが、近年の水質の悪化に伴い、塩素系殺菌剤の使用が増加し、亜鉛めつき層の腐食・溶出による白濁水、及び鋼管素地の腐食による赤水発生などその防食性能に問題が認められている。

これに対し硬質塩ビ管を鋼管内面にライニングした水道用硬質塩ビライニング鋼管が開発され、昭和 35 年頃からしだいに使用され始め、昭和 47 年には日本水道協会で規格化¹⁾された。現在メーカー 6 社で年間約 12 万 t 程度生産されている。水道用硬質塩ビライニング鋼管は、耐食性、水質が良好で優れた性能を有しているものの、価格的にやや高価である。

そのためさらに経済的で、より品質性能に優れた水道用樹脂ライニング鋼管の開発研究が、各鋼管メーカー及び日本水道鋼管協会において進められた。性能面に関しては、日本水道鋼管協会・小径管部会技術委員会で数次にわたる共同試験が実施され、その結果ポリエチレン粉体ライニング鋼管が、耐食性、水質及び低温物性など性能的に最も良好なことが判明した。また製造方法についても、各鋼管メーカーにおいて技術的検討がなされ、安価で大量生産が可能な製造ラインの具体的見通しが得られた。

このため日本水道鋼管協会において規格化の検討が行われ、昭和 52 年 2 月に水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管規格²⁾(WSP-016-77)として制定された。

現在本水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管は、鋼管メーカー 4 社において、製造・販売され^{3)~6)}、その優れた品質性能・経済性が、徐々にユーザーに認識され、生産販売量は着実に増加している。

以下水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管の製造方法及び性能について、日本水道鋼管協会・小径管部会技術委員会及び各鋼管メーカーにて検討された結果を中心

に報告する。

2. 材 料

2.1 原 管

日本水道鋼管協会規格 (WSP 規格) には、水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管の種類として、1 種：外面一次防錆塗装 (SGP-PA)、2 種：外面亜鉛めつき (SGP-PB) が規定されている。1 種に用いる原管は、JIS G 3452 (配管用炭素鋼鋼管) に合格した黒管、2 種に用いる原管は、JIS G 3452 に相当する外面亜鉛めつきを施した鋼管で、いずれも定尺は、5 500 mm、管端はブレーンエンドである。

2.2 ポリエチレン

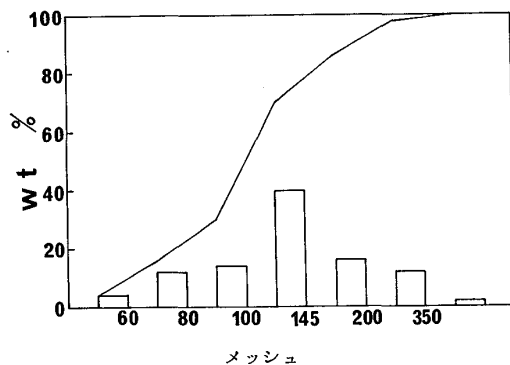
ポリエチレン樹脂は、化学的に安定で耐水性は非常に優れており、しかも有害な添加物を含まず衛生的であるところから、水道用に極めて適している。一般にポリエチレン樹脂はその密度によつて、低・中・高密度品に分けられるが、粉体ライニング用としては、低・中密度品が使用される。高密度品は溶融時のフロー特性を考慮して MI 値 (メルトインデックス値) の高いものを使用した場合、皮膜の耐衝撃性、ストレスクラッキング性が極端に低下するので粉体ライニングには適さない。また低・中密度品においても、MI 値が高くなるとフロー特性は向上するが、耐衝撃性、ESCR 性 (耐環境応力割れ性) などが低下する⁷⁾。従つて一般には、密度 0.920-0.930 (g/cm³)、MI 値 4-10 (g/10 min) 程度のものが用いられている。表 1⁸⁾に鋼管内面粉体ライニングに使用したポリエチレン樹脂物性の一例を示す。またポリエチレン粉体の粒度としては、60 メッシュ (約 220 μ) パス程度のもので、図 1⁹⁾に粒度分布の一例を示す。なおポリエチレン樹脂は金属に対する接着性が悪いので、一部接着性を改良した改質ポリエチレン樹脂を使用する場合⁸⁾もあるが、その場合でもポリエチレン樹脂の有する優れた特性は損なわれていない。

* 昭和 54 年 10 月 29 日受付 (Received Oct. 29, 1979) (依頼技術資料)

** 住友金属工業(株)中央技術研究所 (Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1-3 Nishinagahondori Amagasaki 660)

表 1 ポリエチレン樹脂物性例⁹⁾

項 目	試 験 法	単 位	物性値
メルトインデックス (MI)	ASTM D-1238-65T	g / 10 min	8-10
密 度	ASTM D-1505-67	g / cm ³	0.92-0.93
カ サ 比 重		g / cm ³	≥0.28
融 点	ASTM D-2117-64	°C	120
引張降伏点応力	ASTM D-638-68	kg / cm ²	100
引 張 破 断 点 抗 張 力	〃	kg / cm ²	150
引 張 破 断 点 伸 度	〃	%	>800
硬 度	ASTM D-1484-57T	シ ョ ア D	45
吸 水 率	JIS K 7209 A法	%	<0.01

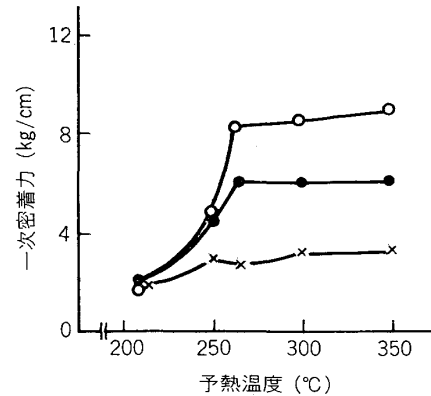
図 1 ポリエチレン粉体粒度分布(例)⁹⁾

3. 製造方法

ライニング鋼管の品質性能を決める上で、製造方法・条件は、その使用材料とともに極めて重要である。水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管の製造プロセスとしては、前処理工程及びポリエチレン粉体塗装工程が中心となる。

3.1 前処理

前処理工程は、ポリエチレン皮膜の密着力を長期的に保証するために重要で、一般には、酸洗脱スケール後リン酸塩化成処理を施し、さらにプライマーを塗装する。図 2¹⁰⁾に各種リン酸塩処理剤のポリエチレン皮膜密着性に及ぼす影響を示す。この中では、リン酸亜鉛-カルシウム系処理皮膜が良好であるが、他の処理剤にくらべ耐熱性が優れているため、ポリエチレン粉体塗装の際、予熱による皮膜劣化が少ないことと、リン酸塩皮膜結晶が緻



○—○ リン酸 Zn-Ca 系, ●—● リン酸 Fe 系, ×—× リン酸 Zn 系
図 2 各種リン酸塩処理剤での予熱温度と一次密着力*の関係¹⁰⁾

* 一次密着力: ポリエチレン皮膜に 10mm 幅の切り込みを入れ常温で 180° 剥離テストを行った時の皮膜剥離強度 (kg/cm)

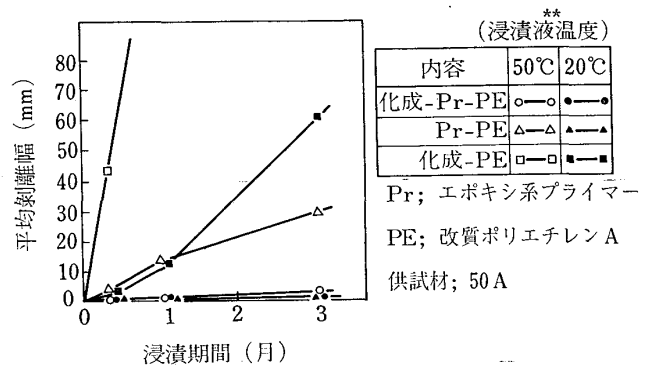


図 3 二次密着性*に及ぼす下地処理の影響⁸⁾

* 二次密着性: 切断したライニング管を一定条件の試験液に浸漬した時の管端部よりの皮膜の剥離長さ (mm)

** 浸漬液: 3% 食塩水

密でしかも均一に被覆されていることによるものと考えられる¹⁰⁾。

また図 3⁸⁾には、化成処理・プライマーと二次密着性との関係を示す。化成処理・プライマー処理を行った場合、管端部からの皮膜密着低下は、ほとんど認められないが、化成処理・プライマー処理のいずれかが欠けると皮膜二次密着性の低下が著しい⁸⁾。プライマーは、化成処理皮膜及びポリエチレン皮膜に強固に接着する必要がある、エポキシ樹脂系、アクリル樹脂系プライマーなどが用いられている。

3.2 ポリエチレン粉体塗装

小径管の内面粉体塗装方法については、従来より種々提案されており、その代表例を表 2⁹⁾に示す。それぞれに特徴があるが、大別すると管を予熱し樹脂粉体を融着被覆する熱融着粉体塗装と、樹脂粉体に静電気を帯電させ管に付着させた後、焼付け被覆する静電粉体塗装に分けることができる。現在水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管の粉体塗装方法としては、管を予熱した後、ポリエチレン粉体を管内面に吸引、あるいは圧送し融着被覆する熱融着粉体塗装方法が用いられている。この方

表 2 鋼 管 内 面 粉 体 塗 装 方 法⁹⁾

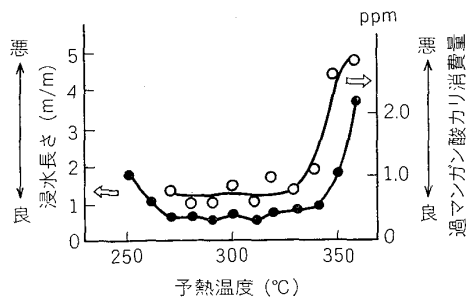
分類	方 法	内 容	装 置 概 略 (例)
熱 融 着 粉 体 塗 装	横型吸引(圧送)方式	回転し予熱された鋼管内面は、樹脂粉体を吸引(または圧送)し、管内面を被覆する。 鋼管の加熱手段として誘導加熱方式を併用する方式もある。	
	堅型吸引方式	予熱された鋼管内面に、流動槽より樹脂粉体を吸引し、管内面を被覆する。管回転は不要。 鋼管内面をあらかじめ真空にしておき弁を開放して、粉体を管内に導入し被覆する方式もある。	
	横型ボールガン方式	管内にボールガンを装入し、誘導加熱コイルで、管を加熱させながら同時にボールガンより粉体を管内へ吐出させ被覆する。	
静 電 粉 体 塗 装	横型静電粉体圧送方式	粉体樹脂の融点以下で軟化点以上に予熱し、かつ接地した金属管の一端から静電気を帯びた粉体を吹込み被覆する。鋼管は回転させる。	
	横型静電ボールガン方式	回転させた鋼管内に、その先端に端子を取付けた静電ボールガンを装入し、吐出させながら内面を被覆する。	
	堅型静電方式	堅型に設置した鋼管の上部より、一定速度で粉体を落下させ、同時に線状電極を下方に移動させ被覆する方法。	

法によつてピンホールのない均一なポリエチレン皮膜を短時間に形成することができる。この際良好な品質性能を有するライニング鋼管を製造するためには、特に管予熱温度及び後焼付温度を十分管理する必要がある。管予熱温度は、ピンホールのない平滑な皮膜を形成し、必要な皮膜厚を確保するために、少なくとも 200°C 以上は必要である。しかしながら図 4¹⁰⁾ に示す様に、管予熱温

度が高すぎると、ポリエチレン樹脂の劣化により水質が悪化し、逆に低すぎるとポリエチレン皮膜の密着力が低下する。又後焼付温度については、図 5⁸⁾ に示す様に、 200°C を超えると、同じくポリエチレン皮膜が酸化劣化し水質性能が低下する。この様に温度条件は重要であるが、その他ポリエチレン粉体塗装に対しては、粉体粒度、管内流速、管内粉体濃度なども重要な因子である。

3.3 製造工程

以上まとめると、水道用ポリエチレン粉体ライニング



注 ライニング下地：リン酸塩皮膜+プライマー処理

図4 鋼管予熱温度と2次密着力・水質の関係¹⁰⁾
(管径 15A, 管長 5.5M)

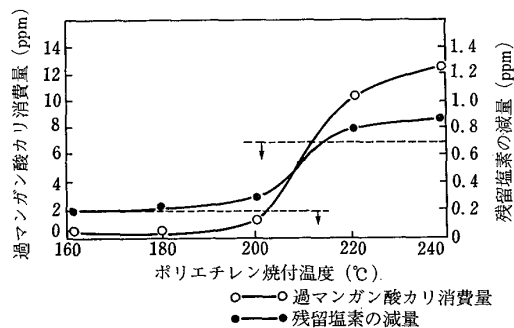


図5 水質に及ぼす焼付温度の影響⁸⁾
(供試材, 15A)

鋼管の製造工程は、各メーカーともほぼ同一である。図6⁸⁾に実際の製造工程概略図を示す。

3.4 品種・寸法

WSP規格には、外面仕様によつて管の種類が分けられており、1種外面一次防錆塗装、2種外面亜鉛めつきについて規定されている。1種は主に屋内配管用、2種は主に屋外配管・一般埋設用として使用される。さらに亜鉛めつきのみでは耐食性が不十分なきびしい腐食環境で使用する場合を考慮し、外面をポリエチレン被覆したものも製造されている^{4)~6)}。内面仕様は、もちろん各種類とも同一（ポリエチレン粉体ライニング）である。管径については、15A~80Aまで規定されているが、メーカーによつては、100Aまで製造可能である。

4. 品質

品質については、WSP規格に試験項目、試験方法、

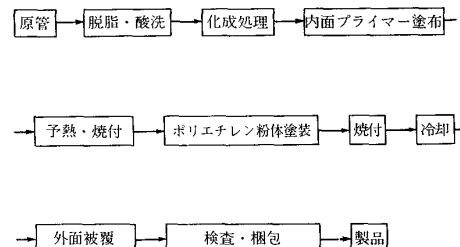


図6 製造工程概略図⁸⁾

表3 初期性能試験項目・条件⁸⁾

項 目		試 験 条 件	WSP 016-77 規格	
初 期 確 性 試 験	外 観 及 び 形 状	目視検査	管は実用的にまっすぐで、有害なきず、異物の付着などがあってはならない。内面の色はグレーとする	
	膜 厚 試 験	電磁微厚計などを用いて円周上4点、両管端について測定する	呼 び 径 (A)	皮膜の厚さ (mm)
			15~25	0.30以上
			32~50	0.35以上
			65~80	0.40以上
	ピンホール試験	ホリデーディテクター 電圧 2000V (直流)	ピンホール火花が発生してはならない	
	密着力試験	180°剝離テスト (常温, 10mm幅)	3 kg/10mm幅 以上, 又は皮膜が破断すること	
	曲 げ 試 験	8D 90° 曲げ (常温, 50A以下)	皮膜にはがれ, きず, 割れが生じないこと	
試 験	偏 平 試 験	$H=2/3D$ (常温, 65A以上)	〃	
	衝 撃 試 験	6.3 kg×0.5m (40A以下) ×1m (50A以上) (常温)	皮膜にはがれ, 割れが生じないこと	
	溶 解 試 験	15Aで行う 24h 常温で管内に封入したものを 検水として JWWA-K 115の溶解 試験方法で行う	項 目	規 定
			濁 色 度	0.5 度以下
			過マンガン酸カリ消費量	1 度以下
			残留塩素の減量	2 ppm 以下
			フェノール類	0.7ppm 以下
			臭 気 及 び 味	0.005ppm 以下 異常でないこと

表 4 性 能 試 験 結 果 例⁸⁾

サイズ	ピンホール	膜 厚	曲 げ	衝 撃	一次密着	水 質			
						MMnO ₄ 量	フェノール 量	残留塩素の 減 量	臭 味
	2 000V		8 D90° (常温)	6.3 kg・m (-30°C)	180°剝離	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(原液)
15A	○	350~450 μ m	○	○	○ (皮膜破断)	0.3	0.001	0.3	○
50A	○	550~650 μ m	○	○	○ (皮膜破断)	0.1	0.001	0.2	○

表 5 長 期 通 水 試 験 結 果

No.	供試材 サイズ	試 験 条 件			試 験 結 果 (通水後)			
		期 間 (年)	流 速 (m/s)	そ の 他	外 観	端面密着低下 長さ (mm)	180°剝離テスト (kg/cm)	衝 撃 (6.3 kg:RT)
1	15A	1			○			
2	25A	1			○			○
3	50A	1	2	8 h 通水/日 工業用水	○	0	皮膜破断 皮膜破断 >5 (皮膜破断)	
4	80A	1			○	0	皮膜破断	
5	20A	1	0.5	工場工業用水 25~45°C	○	2~3	皮膜破断	
6	15A	2		工業用水	○	0	皮膜破断	
7	20A	2.5		屋内水道 配 管	○	2	皮膜破断	
8	15A	3		埋設水道 配 管	○	0	皮膜破断	

品質基準が定められており、表 3⁸⁾に要約して示す。
この品質基準は、ライニング皮膜の初期物性について規定されたもので、これ以外に長期性能試験、実用性能試験が実施され、水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管の実用性について検討された。

4.1 初期性能試験

表 4⁸⁾に水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管 15A・50A について行つた性能試験結果の一例を示す。

(1) 外観・ピンホール・膜厚

膜厚については、ウォーターハンマーなどの影響に対する安全性を考慮してサイズ別に最底膜厚が規定されている。実際の製品膜厚は、規格値を十分満足するもので外観・ピンホールについても問題はない。

(2) 密着力

前述した様に、ポリエチレン皮膜は、化成処理、プライマー処理によつて、鋼に対して強固に密着しており、剝離テストを行つても皮膜強度以上に密着しているので皮膜破断を生ずる。もちろん規格値の 3 kg/10 mm (180°剝離テスト) は十分満足する。

(3) 曲げ・偏平

50A 以下については曲げ試験、65A 以上については、偏平試験が規定されている。ポリエチレン皮膜は可とう性がよく、かつ強固に密着しているところから、いずれの試験についても問題はみられない。

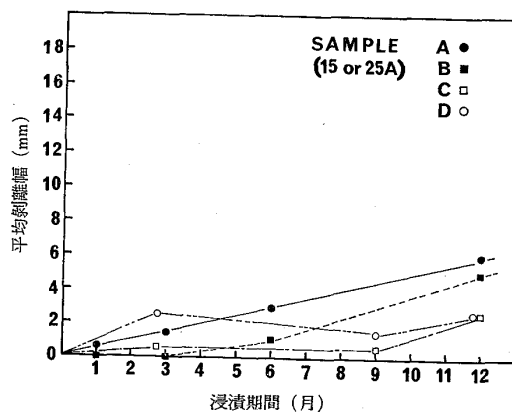


図 7 二次密着試験結果 (水道水 50°C)

(4) 衝撃

6.3 kg の撃芯を鋼管外面に落下させ、内面ポリエチレン皮膜のはがれ、割れなどについて観察する。常温はもちろん低温 (-30°C) においても問題は無く、良好である。

(5) 水質

水質試験は、15A の管内に試験水を 24 h 封入した後過マンガン酸カリ消費量、残留塩素の減量などを調べる。ポリエチレン樹脂は、可塑剤などの添加物を含まずまた塗装時に溶剤を使用しないため、水質性能は極めて優れている。

4.2 長期実用能試験

(1) 二次密着試験

ポリエチレン皮膜の長期密着力経時変化について検討するために、水道水 (50°C) に、試験サンプル (300mm 長さ) を 1 年間浸漬し、切断面からのポリエチレン皮膜密着低下長さについて調べた。結果は図 7 に示すとおりで、各サンプルとも 1 年後においても皮膜の密着力低下は、管端よりわずかに数 mm 程度認められるにすぎない。本水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管の皮膜密着性は、長期的に極めて安定している。

(2) 長期通水試験

実地配管、テストループ配管などに実管サンプルを組み込み長期の通水試験を行い、密着性・物性の変化について調べた。結果を表 5 に示す。テスト期間としては、1～3 年程度であるが、いずれも皮膜密着性・物性の低下は全く認められず良好な結果を示している。

(3) 水撃試験

人工的に管端部の密着力を低下させた試験サンプル (50A) を 70m のテストラインに組み込み表 6 に示すテスト条件で、300 回水撃 (ウォーターハンマー) を繰り返し試験を行った¹¹⁾。図 8¹¹⁾ に示すように、水撃時の管内圧力は負圧状態と水撃圧とが交互に繰り返される。表 7¹¹⁾ に試験結果を示す。WSP 規格膜厚値を満足する試験サンプルは、一部管端が密着低下しても、全く異常は認められない。

表 6 水撃試験条件

ラインの長さ	70m
ラインの配管径	50A
バルブの開閉速度	0.2 s
流速	2.64m/s
衝撃回数	300 回

表 7 水衝撃試験結果 (50A)¹¹⁾

No.	試験片		試験結果
	平均膜厚 (mm)	平均はく離長さ (mm)	
1	0.391	25.2	異常なし 〃 〃
2	0.398	24.3	
3	0.415	15.8	

表 8. 屋外暴露試験*結果 (1 カ年)

** サイズ	外 観		密 着 力		衝 撃	扁 平
	南側	北側	南 側	北 側		
15A	○	○	皮膜破断	皮膜破断	○	○
50A	○	○	〃	〃	○	○
80A	○	○	〃	〃	○	○

* 試験場所：兵庫県尼崎市

** 供試材 (500mm) 南北方向水平置

(4) 耐候性試験

貯蔵保管中特に管端部のポリエチレン皮膜が紫外線劣化するのを防止するため、ポリエチレン皮膜はグレーに着色されている。表 8 に 1 年間にわたる屋外暴露試験結果を示したが、各サイズとも皮膜密着力・物性の低下は無く良好である。

(5) 凍結・解氷試験

寒冷地においては、冬期水道管が凍結した場合、電気解氷・蒸気解氷などが行われる。そのため凍結・解氷サイクルテスト (30 サイクル) を行つた。表 9 に試験結果を示す。皮膜のわれ・収縮など異常は無く、物性低下も認められない。

(6) 耐熱性試験

管が、例えば解氷作業等で局部加熱を受けた場合の内面皮膜の変化について、水道用硬質塩ビライニング鋼管

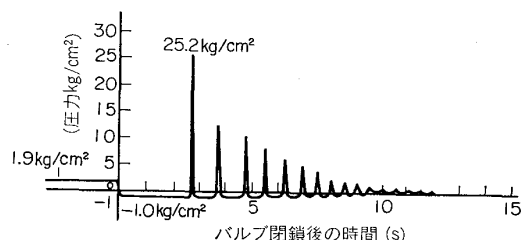
図 8 水撃試験圧力変化¹¹⁾

表 9 凍結・解氷サイクル試験*結果

(30 サイクル後)

供試材	外 観	密着力	衝 撃	扁 平	膜厚
		180°剝離 (kg/cm²)	6.3 kg・m (-30°C)	H=2/3D (R T)	(mm)
15A (1m)	○	>3 (皮膜破断)	○	○	0.35 ~0.4

* 水道水封入 → 電気解氷 (ソルディ EC-300B)
-30°C 2h 凍結 (1 サイクル) 220V 8A 5min

表 10 耐熱性試験結果

管種 条件		ポリエチレン粉体 ライニング鋼管			塩化ビニルライ ニング鋼管		
		外 観	密着性	臭 気	外 観	密着性	臭 気
温度 (°C)	時 間 (min)						
150	10	○	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	○	○	○
	60	○	○	○	○	○	○
200	10	○	○	△~○	○	○	△
	20	○	○	△~○	○	○	△
	40	○	○	△~○	×	×	×
	60	△	○	△~○	×	×	×
250	10	○	○	△~○	△	×	×
	20	○	○	×	×	×	×
	40	△	○	×	×	×	×
	60	×	○	×	×	×	×

と比較検討した¹²⁾。試験は、25 A (200 mm長さ) の試験サンプルを電気オープン中に保持し、外観・密着性・臭気を調査した。表10¹²⁾に結果を示す。水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管は、水道用硬質塩ビライニング鋼管に比し、耐熱性は良好であるが、水質などを考慮すると両者とも 150°C 以下で 1 h 以内が限度と考えられる¹²⁾。

(7) 切断・ねじ切り試験

配管施工の際、管の切断・ねじ切りが行われるが、切断方法としては、パイプカッター(押し切り)、バンドソー(自働金鋸盤)を用いるのが適当である。局部加熱を生ずるような、高速砥石切断、ガス切断は使用できない。ねじり切りは、水溶性切削油などを用いて十分冷却しながら行うことが望ましい。なお配管施工においては、ねじ切れ上がり部、パイプレンチ傷部などを、防食テープなどで補修する必要がある。

以上さまざまな使用環境・条件を考慮した実用性能試験を実施したが、本水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管は、いずれの試験においても良好な結果を示し、優れた実用性を有している。

5. 結 言

従来の垂鉛めつき鋼管にかわる新しい水道用ライニング鋼管として、水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管が開発され、日本水道鋼管協会で規格化された。本水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管は次のような優れた特徴を有する新しい製品である。

(1) 優れた耐食性

ポリエチレン皮膜は、鋼に強固に密着しており、長期的にも極めて安定している。従つて優れた耐食性を発揮する。

(2) 水質衛生性が良好

ポリエチレン樹脂は、水質に対する安全性が高く、また塗装時に溶剤を使用しないので水質に対する悪影響が全く無い。

(3) 苛酷な使用に耐える

ポリエチレン皮膜は、強靱でしかも可とう性があり、鋼によく密着しているので、外力や衝撃が加わり管が曲り・偏平など多少変形しても、皮膜の剝離・割れを生ずることは無い。また温度変化による皮膜の収縮がなく、寒冷地での使用も信頼性が高い。

(4) 安価な製品

合理的な製造プロセスにより、安価で安定した品質の製品を供給できる。

文 献

- 1) 日本水道協会：水道用硬質塩化ビニルライニング鋼管 (JWWA K-116), (1972)
- 2) 日本水道鋼管協会：水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管 (WSP 016), (1977)
- 3) 新日本製鉄株式会社：FLP/水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管(製品カタログ), PC 212 (1978)
- 4) 日本鋼管株式会社：水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管 PFP (製品カタログ), 111-017 (1979)
- 5) 川崎製鉄株式会社：水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管 KFP (製品カタログ), (1979)
- 6) 住友金属工業株式会社：水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管, スミコート P E, 12715 (1978)
- 7) 岡叡太郎, 山形 京：ポリエチレン樹脂, プラスチック材料講座 4 (1971), p. 112 [日刊工業新聞社]
- 8) 佐武二郎, 木村邦利, 北村晶章, 吉岩正則, 松井要：住友金属, 31 (1979) 3, p. 64
- 9) 佐武二郎, 木村邦利：工業材料, 26 (1978) 6, p. 46
- 10) 森田順一, 向江協公雄, 前田成亮, 鈴木典明：製鉄研究, 297 (1979), p. 141
- 11) 日本水道鋼管協会・小径管部会技術委員会：水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管について
- 12) 日本水道鋼管協会・小径管部会技術委員会：水道水ポリエチレン粉体ライニング鋼管について (第2報)