
大径鋼管エポキシ粉体塗装設備とその品質

Equipment for Epoxy Powder Coated Large Diameter Pipe and its Quality

美浦 一彦(Kazuhiko Miura) 小西 博典(Hirosuke Konishi) 田中 貞治(Sadaharu Tanaka) 小原 昭彦(Akihiko Ohara) 小菅 詔雄(Norio Kosuge)

要旨：

新しく開発した各種塗装技術と品質保証設備が組込まれたエポキシ粉体塗装設備が 58 年 4 月千葉製鉄所大径管工場に完成した。この設備は、外径が 12"~64", パイプ長さが最大 18m と広範囲のパイプを塗装でき、世界のトップレベルのものである。パイプの外表面塗装は防食性能に優れることは勿論であるが、輸送中および敷設中に塗膜が損傷しないための機械的強度も必要である。本塗装設備の特徴は防食性能と機械性能の両面を満足する塗膜を得るため、新開発した二層塗装方法、コンピュータによる新しい加熱制御、鋼管表面の化成処理などの採用である。さらに自動膜厚測定機、自動ピンホール検出機など品質保証のための各種機器も設置されている。

Synopsis：

An epoxy powder coating line has been in operation since April 1983 at the UOE pipe mill plant of Chiba Works. The line serves for an external coating of the world's largest class pipe with its diameters ranging from 12" to 64" and its length 60" at max, particularly for end-uses requiring good corrosion resistance and good coating adhesion. A unique chemical treatment of pipe exterior for an improved corrosion resisting property; a dual-layer application of paint - one for adhesion and the other for impact resistance; an effective use of preheating and postheating; a computer-aided quality assurance system in temperature control and automatic film thickness measurement; all these technical developments assure good adhesion and toughness of the coating against damages to surface during transportation, handling and construction, thus opening up a new horizon unattainable by the conventional single layer coating method. This paper discusses these new technical developments mainly from the viewpoint of coating materials and coating conditions.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

美浦 一彦*2 小西 博典*3 田中 貞治*4 小原 昭彦*5 小菅 詔雄*6

Equipment for Epoxy Powder Coated Large Diameter Pipe and its Quality

Kazuhiko Miura, Hirosuke Konishi, Sadaharu Tanaka, Akihiko Ohara, Norio Kosuge

要旨

新しく開発した各種塗装技術と品質保証設備が組込まれたエポキシ粉体塗装設備が58年4月千葉製鉄所大径管工場に完成した。この設備は、外径が12"~64"、パイプ長さが最大18mと広範囲のパイプを塗装でき、世界のトップレベルのものである。パイプの外表面塗装は防食性能に優れることは勿論であるが、輸送中および敷設中に塗膜が損傷しないための機械的強度も必要である。本塗装設備の特徴は防食性能と機械性能の両面を満足する塗膜を得るため、新開発した二層塗装方法、コンピュータによる新しい加熱制御、鋼管表面の化成処理などの採用である。さらに自動膜厚測定機、自動ピンホール検出機など品質保証のための各種機器も設置されている。

Synopsis:

An epoxy powder coating line has been in operation since April 1983 at the UOE pipe mill plant of Chiba Works. The line serves for an external coating of the world's largest class pipe with its diameters ranging from 12" to 64" and its length 60' at max, particularly for end-uses requiring good corrosion resistance and good coating adhesion.

A unique chemical treatment of pipe exterior for an improved corrosion resisting property; a dual-layer application of paint — one for adhesion and the other for impact resistance; an effective use of preheating and postheating; a computer-aided quality assurance system in temperature control and automatic film thickness measurement; all these technical developments assure good adhesion and toughness of the coating against damages to surface during transportation, handling and construction, thus opening up a new horizon unattainable by the conventional single layer coating method.

This paper discusses these new technical developments mainly from the viewpoint of coating materials and coating conditions.

1 まえがき

パイプラインは、原油、天然ガス、水など流体の効率的輸送手段として多数建設ないし計画されている。これらのパイプラインは通常20年以上、場合によっては40年以上もの寿命を前提に敷設されるため、その間の防食はきわめて重要な課題となる。

パイプラインの防食用被覆材料としては、防食性に優れていることはもちろん、強度、靱性などの材料特性および鋼管との密着性が重要であり、また、運搬時など敷設が完了するまでに発生する傷の補修性に優れている必要もある。

従来、鋼管の外表面被覆材料としてはアスファルトやコールターなど、瀝青質材料が主に用いられてきたが、上記のような品質要求に応えるものとしてポリエチレン樹脂やエポキシ樹脂などのプラスチック材料が近年多用されるようになってきた。さらに、敷設現場での被覆作業条件が必ずしも良くないことから、工場での被覆が望まれるようになってきた。

当社は、このような需要に応じて、1979年4月に千葉製鉄所大径管工場内にTダイ方式によるポリエチレン外面被覆鋼管製造設備を設置し¹⁾、ソ連邦の天然ガス輸送パイプライン用をはじめとして、地中海横断パイプライン、サウジアラビア淡水輸送パイプライン用など多くの製造実績を重ね、好評を得てきた。

近年、輸送効率を上げる手段としてガスであれば高圧で輸送し、オイルは60℃以上に昇温して輸送することが行われるようになってきた。

ポリエチレン被覆鋼管はポリエチレンが軟化するため使用限界が60~70℃であるのに対し、エポキシ樹脂は100℃程度まで軟化がなく、上記のような条件で操業されるパイプラインにはエポキシ被覆鋼管が適しており、その需要が増加してきた。そこで今回、その需要に応じるためポリエチレン被覆設備に隣接して外面粉体エポキシ被覆鋼管製造設備を設置した。

本被覆設備は、鋼管との密着性に優れたエポキシ樹脂を塗布した上に直ちに耐衝撃性に優れた樹脂を塗布して、1体となった2層よりなる塗膜を形成させて、従来エポキシ被覆の欠点とされていた耐衝撃性、耐曲げ性を改善するなど、種々の新しい機構を備えている。

本報告は、これらの新鋭設備による塗装技術の概要と、それによって製造された被覆鋼管の性能について報告するものである。

2 被覆工程と設備

本被覆設備は外径12インチ (318.5 mm) から64インチ (1 626 mm) のUOE鋼管、スパイラル鋼管、電縫鋼管など全ての鋼管

*1 昭和58年9月2日原稿受付

*2 千葉製鉄所熱間圧延部熱延技術室主査 (課長)

*3 千葉製鉄所熱間圧延部造管課課長

*4 千葉製鉄所設備技術部機械技術室主査 (課長)

*5 千葉製鉄所設備技術部機械技術室

*6 技術研究所第2研究部腐食防食研究室主任研究員・主簿

を、最大 $6\text{ m}^2/\text{min}$ の能力で被覆できるものである。

その被覆工程を Fig. 1 に示す。この被覆工程は大別すると次の3つに分けられる。

- (1) 前処理
- (2) 塗 装
- (3) 検査および出荷準備

以下に各工程の主な設備の概要を示す。また、それら設備の仕様を Table 1 に示し、設備の外観を、Photo 1 に示す。

2.1 前処理設備

前処理設備として、ブラスト効率を上げるための水切り、ブラスト装置および化成処理装置がある。

ブラストは除錆と共に鋼管表面に適切なアンカーパターンを付与し、塗膜の密着性を良くして曲げ性や衝撃性を向上させることを目的として行われる。従って、ブラスト後の表面検査で傷が発見され、グラインダーなどで手入した部分は必ずブラ

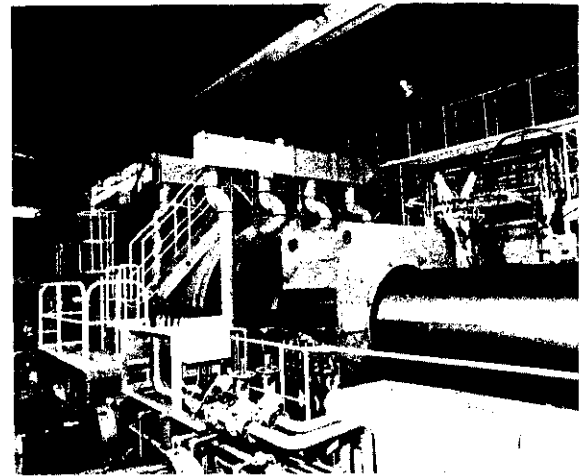


Photo 1 View of coating line

Table 1 Main equipment for epoxy powder coating

Equipment	Type and Capacity
Blasting	Rotary type Capacity: 1 000 kgf/min
Pre-heating	Electric induction heater Capacity: max. 3 100 kW
Fusion bond epoxy coating	Spray guns: electrostatic guns Inner layer: 6 sets Outer layer: 18 sets Capacity of coating: max. $6\text{ m}^2/\text{min}$
Post-heating	Electric induction heater Capacity: max. 3 100 kW
Film thickness test	Ultrasonic water jet type Measuring range: 150~1 000 μm Accuracy: $\pm 10\text{ }\mu\text{m}$
Pinhole test	High voltage pulse arc type Discharging voltage: 2~10 kV

トがかけ直される。また、アンカーパターンの状態は工程的に測定され、常に管理されている。

化成処理装置は塗膜の耐陰極はく離や耐塩水性を著しく向上させるためのもので、前加熱炉の直前に設置されて、処理した面が搬送ローラなど他の物にできるだけ接触しないうちに塗装するよう配慮されている。

2.2 塗装設備

塗装設備としては、前加熱炉、静電粉体塗装装置、後加熱炉、水冷装置がある。

前加熱炉は塗装に先立って鋼管を所定の温度に昇温するものである。この昇温は除錆した鋼管表面が再び酸化するのを防ぐため短時間で行う必要があり、誘導加熱を採用した。その際、周波数は比較的低くし、高周波の表皮効果による鋼管表面の必要以上の温度上昇を避けるようにした。

塗装は24個のガンによる静電粉体塗装である。24個のガンのうち6個が下塗り用として塗装ブース内の前方に、18個が上塗り用として後方に配列されている。

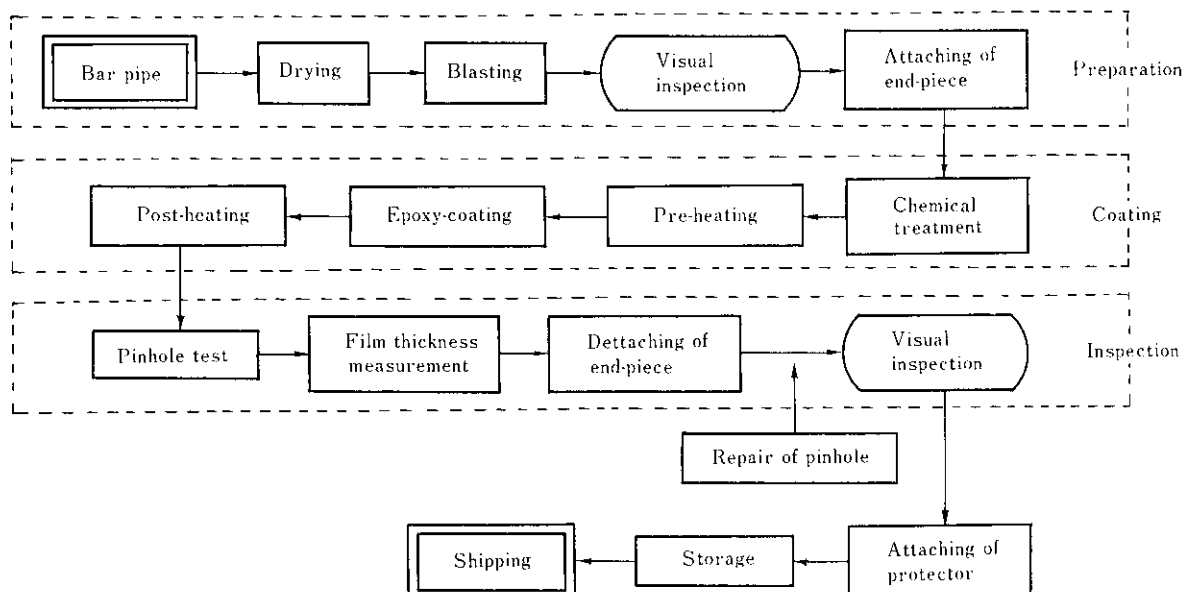


Fig. 1 Manufacturing process of epoxy powder coated pipe

塗料供給装置は下塗り用の6個のガンに供給するものと、18個の上塗り用のガンに供給するものの2系列を有し、それぞれに異なる塗料を供給することができる。

これらの機構によって、例えば、後述するように下塗り用に鋼管との密着性を強化した塗料を用い、上塗り用にはゴム変性した弾性に富む塗料を用いることによって、従来、単一の塗料を用いた塗装では得ることのできない耐曲げ性、耐衝撃性などの機械的性能と防食性を兼ね備えた塗膜を得ている。

塗装ブースは塗料の塗着効率を良くするため非導電体で作られており、これにブース内の気流の調整やガンの配列などの考慮を組合せることによって、大径の鋼管から小径の鋼管まで管径に影響を受けることなく、きわめて高い塗着効率が得られている。また、塗膜厚は塗膜として性能を確保できる 300μ から、後述するように低い温度で塗装する方法によって 700μ という厚い塗膜まで欠陥なく塗装できる。

後加熱炉は塗膜が硬化反応を十分完了して本来の性能を発揮するためのものである。

エポキシ樹脂は熱硬化型樹脂であり、硬化反応が不十分な塗膜はもろく、耐曲げ性や耐衝撃性が著しく劣る²⁾。一般的には、塗装前の鋼管の温度を塗料が硬化完了に必要な温度より高くすることによって硬化不足を防ぐ方法が取られている。しかし、塗装温度を必要以上に高くすると塗料の溶融している時間が短くなり、塗膜に気泡を巻き込んで機械的強度が低下すると共に、塗膜表面が滑らかにならないまま硬化したり(ゆず肌)、時間的に遅れて付着した粉が本体に溶け込めない(吹きかぶり)という外観的な不良が生じる。

本設備ではこのような問題を解決するため、後加熱炉を従来のように単なる保熱のためではなく積極的に機能させている。

すなわち、ヒートサイクルの1例をFig. 2に示すように、前加熱炉は塗料が溶融しアンカーパターンに馴染むに必要な温度に上げるに留め、後加熱炉で塗膜の硬化に必要な温度に上げている。特に、上述のように2つの異なる塗料を時間的にずらして塗布する場合、2つの塗膜の層間を溶融一体化し、かつ表面、内部ともに欠陥のない塗膜を得るには低い温度で塗装することが必須の条件となる。

このように後加熱炉も積極的に機能させるため制御性に優れた誘導加熱が採用され、樹脂銘柄、鋼管サイズ、ラインスピードなど種々の条件下においても、欠陥を含まない完全硬化した塗膜が得られるように、塗装ブースの前後と後加熱炉入側の3箇所鋼管温度を測定し、これらの値に鋼管サイズ、ラインスピードなどを加えてコンピュータを用い、前および後加熱炉の昇温が自動制御されている。

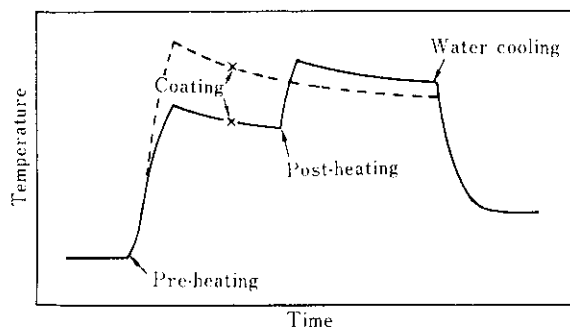


Fig. 2 Heat pattern in epoxy powder coating

塗装ラインには以上の設備のほかに安全上の装置が設置されている。

すなわち、粉体エポキシ樹脂はその浮遊粒子濃度によっては粉塵爆発や火災発生の危険性を持っている。そのため、塗装ブース、塗料回収ダクト、集塵機など塗料濃度が高くなる所に爆発抑制装置が設置されている。また、エポキシ樹脂そのものは有害性を持たないが、使用前の粉体状態では、塗料によってはアミン系の硬化剤などを含んでおり、皮膚などに接触することは望ましくない。これを避けるため、ドラム缶で受入れた塗料をキャップを取るだけで完全に自動で塗料供給装置に投入する特別な装置を考案し設置した。

2.3 検査設備

需要家の要求に対して十分な品質保証が行えるようオンラインに自動ピンホール検出機および自動膜厚測定機を導入し、塗膜全面のピンホールテストと膜厚測定を行っている。

これらオンラインに設置されている検査機器はいずれも水冷装置直後に位置し、例えば膜厚測定結果は塗装機オペレータに対し常時デジタル表示されるなど、検査結果をすばやく作業に反映できるよう配慮されている。

また、ピンホール自動検出機はピンホールを検出すると警報を発すると共に、検出位置にシールを貼付け、後の手入工程で見逃されることなく補修されるようになっている。

このほか、密着テスト、硬化度測定など種々のテストが工程的に行われるが、これらの検査仕様と頻度は全てのコンピュータに入っていて、該当パイプが検査場に到着すると、CRTを通して検査担当者に指示され、検査結果を入力すると合否判定が表示される。

以上のように、厳重な工程管理と検査体制によって万全の品質の保証が行われる。

3 エポキシ被覆鋼管の品質特性

パイプライン用鋼管の防食塗装に対する主要求性能として、鋼管を敷設地まで運搬する間に傷が付かないための耐衝撃性、敷設時の鋼管の加工に耐えうる曲げ性、さらに、長期的に腐食を防ぐための耐陰極はく離性、電気絶縁抵抗性などがある。

これらの性能は、用いる塗料の本来の性能はもちろん、下地処理や塗装方法に大きく影響される。

以下に、本設備によりエポキシ被覆した鋼管の性能を、それらにおよぼす下地処理や、塗料および塗装方法の影響などとともに示す。

3.1 耐衝撃性と耐曲げ性

エポキシ粉体塗装鋼管をパイプラインに用いようとする時、まず問題となるのが耐衝撃性と耐曲げ性である。これらの値は温度が低くなるにつれ低下するため、寒冷地向けの鋼管の場合特に優れた性能が要求される。

当社は、この要求に対し関西ペイント㈱と共同で塗料の開発を行うとともに、その性能を十分に発揮させる新しい塗装方法を開発し、きわめて優れた塗装鋼管を製造することができた。

一般的に、エポキシ樹脂の塗膜の耐割れ性は樹脂中にゴム状物質を含有させていくにつれ向上するが、この含有が増加するに従って塗膜と鋼管の間の密着性が低下する。そのため衝撃試

験において塗膜が鋼管面からはく離する傾向が現われ、結果的に衝撃エネルギー値もあるレベル以上に良くならない。

このゴム状物質の添加による塗膜の耐割れ性の向上を利用し、かつ塗膜の鋼管への密着性を低下させない方法として、塗膜を性能の異なる2つの層より形成させる方法を開発した。

すなわち、鋼管と接する下層には鋼管との密着性を強化した配合設計の塗料を用い、上層にはゴム状物質を添加し耐衝撃性を持たせた塗料を用いる方法を開発した。また、このように異なった塗料からなる二層状態の塗膜を得るための塗装条件についても検討した。

Fig. 3は塗装に先立って塗装する鋼板の温度を種々変えて塗装し、後加熱は200℃で10 minと一定条件で硬化させたときの二層状塗膜の衝撃試験結果を示している。前加熱温度は塗料が溶融しプラストのアンカーパターンに十分馴染むことができる温度が必要であるが、この温度を高くし過ぎると下層の塗膜の硬化が進んだ上に上層の塗料を塗布するため、層間が溶融一体化しなくなり、衝撃試験時層間で分離が生じ、耐衝撃性を弱める。また、温度が高いと塗膜に気泡が巻き込まれやすくなることも耐衝撃性を弱める一因となる。

Table 2および3は適正な条件で塗装した膜厚360 μ の二層状塗膜の耐衝撃性能と耐曲げ性能を従来品のそれらと比較して示している。2層状塗膜にすることによって、耐衝撃性はそれぞれ単独の塗膜のそれより大きく改良され、従来の塗料を高温で塗装した塗膜のその2～3倍のきわめて高い値を示している。耐曲げ性も-20℃でパイプ直径長さ当り3°まで問題なく曲げることができ、パイプライン敷設時の曲げ加工時に要求される1.5°以上の値は完全に満足している。

3.2 耐陰極はく離性

塗装鋼管の陰極はく離は電気防蝕下で、塗膜損傷で露出した鋼面が陰極となり、防食電流による水分の電気分解で生じる水素とアルカリの作用で塗膜がはく離する現象である。したがって耐陰極はく離性には塗膜の密着性と透水性が大きく関係している³⁾。当然、長期にわたって防食性を保つにはこのはく離性は

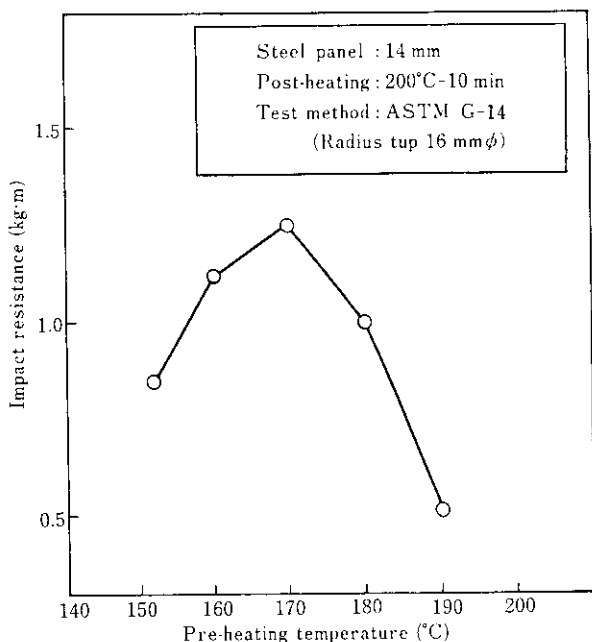


Fig. 3 Change of impact resistance with pre-heating temperature

Table 2 Impact resistance of new developed coating method (kg·m)

Coating material and method		Test temperature	
		23°C	-40°C
Newly developed epoxy powder and method	One layer coating using the powder for under-layer	0.4~0.5	0.2~0.3
	One layer coating using the powder for top-layer	0.8~1.2	0.5~0.7
	two-layer-coating	1.3~1.8	0.6~0.8
Conventional epoxy powder (one layer coating)		0.3~0.5	0.2~0.3

Film thickness : 360 μ m

Test method : ASTM G 14 (Radius tup : 16 mm ϕ)

Wall thickness of pipe : 12.7 mm

Table 3 Results of bending test

Material (epoxy powder)	Test temperature	
	23°C	-20°C
Newly developed epoxy powder (two-layer-coating)	> 5°/P.D.	3°/P.D.
Conventional epoxy powder	> 5°/P.D.	1.5°/P.D.

小さいことが望まれる。

従来から、耐陰極はく離性の向上に対して、プラスト後の鋼表面に塗膜の密着性を強化する化成処理を実施することが有効であることが知られている。その効果の1例をTable 4に示す。当社も耐陰極はく離性の向上に有効な化成処理方法を実施している。

さらに、この化成処理を行うと、Table 4に併記するように、80℃の塩水に長時間塗装鋼管を浸漬させても塗膜の密着性はほとんど劣化しておらず、耐塩水性の改善にもきわめて有効である。

3.3 電気絶縁抵抗

塗装鋼管の電気絶縁抵抗性の経時変化の状況は、塗膜の防食機能が維持されているかどうかの判断材料となる。特に、埋設パイプラインや海底パイプラインなどでは周囲の環境から来る水の浸透などによる低下もあり、電気絶縁抵抗値は高く、かつ、経時劣化が少ないことが望ましい。

Fig. 4に示すように塗装鋼管を80℃で100日間3%食塩水に浸漬するという促進試験で、当社の開発した塗装方法による塗装鋼管は $10^8 \Omega \text{cm}^2$ 以上の高い値を示し、その経時劣化もほとんど認められず、優れた防食性能を持っている。

Table 4 Effects of chemical treatment on cathodic disbonding and salt resistance

Test	Chemical treatment	Non-treatment
Cathodic disbonding (5.5 V 20°C 3% NaCl solution 30days)	6 mm	16 mm
Hot salt resistance (adhesive strength after immersing in 80°C 3% NaCl solution for 30 days)	220 kgf/cm ²	90 kgf/cm ²

Film thickness : 350 μ m

Initial adhesive strength : 230 kgf/cm²

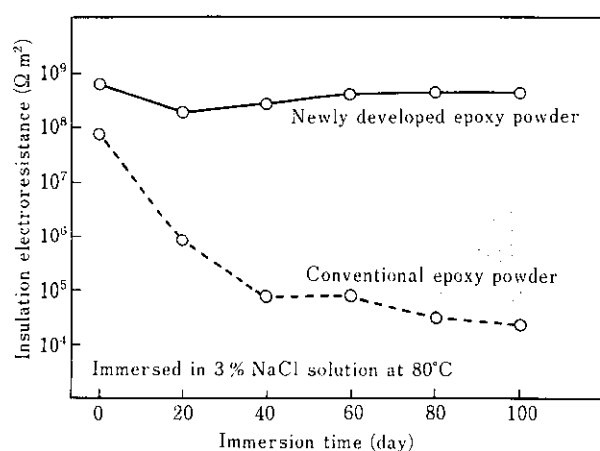


Fig.4 Change of insulation electroresistance in immersion test

4 結 言

千葉製鉄所大径鋼管工場に設置した外面エポキシ粉体被覆設

備の概要とその品質を紹介した。

本設備は、被覆鋼管として単に防食性のみならず耐衝撃性、耐曲げ性等の機械的性能も兼ね備えたエポキシ被覆鋼管を製造するため、鋼管表面の化成処理装置、異なる塗料を二層状に塗装するシステム、低い温度で塗装した後温度を上げてキュアするコンピュータ制御の加熱炉等種々の新しい機構を取入れた。同時にこの塗装方法に適合した塗料を開発し、合わせて防食性と機械的強度の両面に優れたエポキシ被覆鋼管が製造可能となった。さらに、コンピュータシステムと自動化した検査設備による品質保証体制を取り、信頼性の高い被覆鋼管が供給できるようにした。

今後、ラインパイプとして高い品質が要求されるパイプラインの建設に寄与して行くと同時に、多くの優れた特長を生かして、構造物の支柱、海水と接する杭など新しい用途を開発し、需要の拡大を計っていきたい。

最後に、本設備を建設し、新しい塗装方法を開発するに当たって多くの協力をいただいた関西ペイント(株)および関係者各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 持館, 美浦他:「大径鋼管のポリエチレン被覆技術とその品質」, 川崎製鉄技報, 13 (1981) 1, 142
- 2) S.E.Mc Conkey: "Fusion bonded epoxy pipe coatings are economic and practical", Oil & Gas Journal, (1982) July,

19

- 3) 向原, 小菅他:「大径鋼管ポリエチレン被覆の高温特性」, 川崎製鉄技報, 14 (1982) 2, 166