

© 1989 ISIJ

技術報告

各種被覆鋼材の海中における耐久性

高松輝雄*・加藤弘忠*

Durability of Various Coated Steels in Sea Water

Teruo TAKAMATSU and Hirotsada KATOU

Synopsis :

Tar epoxy coating and mortar lining have been utilized for internal protection of steel pipes for sea water. However, these coatings are often damaged by the fouling of marine organisms. Therefore, we made sea immersion test and sea water loop test on inorganic and organic coatings in order to investigate the durability of them. The marine organisms grew on all coatings, but the coatings of high hardness were hardly damaged by marine organisms. Pure-epoxy and polyurethane coatings were the best among the coatings investigated; their properties in impact strength, bending stiffness, electric resistivity and adhesion strength were unchanged after the immersion and loop tests.

Key words : epoxy ; polyurethane ; coating ; internal protection ; marine organisms ; sea immersion test ; sea water loop test ; coated steel pipe.

1. 緒 言

製鉄所および発電所などの冷却水として海水が利用されており、その海水の水路には鋼管が多く使用されている。海水は鋼材に対して腐食性があるため、通常、海水に接する鋼管内面にはタールエポキシ塗装およびモルタルラッキングなどの防食被覆が施されている。

ところが、これらの被覆系は貝藻類の付着により塗膜が損傷を受けたり、定期的に行われる貝藻類の除去の際に塗膜が剥離して塗膜寿命が著しく低下する例が多い。そのため、貝藻類が付着しないかもしくは貝藻類が付着しても貝藻類の除去の際に塗膜にダメージを与えない被覆系であればメンテナンスの費用が大幅に低減できる。そこで、貝藻類の付着が少なく耐久性の優れた被覆材料を検討するため、海水暴露試験および海水導入管を想定した通水試験を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材料

海水暴露試験材は 9 mm 厚 × 100 mm 幅 × 300 mm 長の熱延鋼板、通水試験は 200 A × 400 mm 長の鋼管を用いてグリットブラスト処理後 Table 1 に示す材料を被覆した。なお、海水暴露試験片には、Table 1 の材料以外に表面粗度及び表面硬度の異なるピュアエポキシ系の

被覆材も用いた。

2.2 暴露試験場所

暴露試験場所は新日本製鉄(株)の八幡製鉄所戸畑岸壁、及び君津製鉄所構内で行い、暴露期間は海水暴露試験が 5 年 6 か月間、通水試験が 4 年 6 か月間まで行った。また調査は 6 か月から 2 年ごとに実施した。

2.3 暴露方法

海水暴露試験の方法を Fig. 1 に示す。供試材を鋼製の架台にボルト止めし、架台の上端を干潮時の海面より 1.5 m の深さに位置するようにセットした。次に通水試験の方法を Fig. 2 に示す。上段と下段に並列に内面被覆鋼管をフランジ止めでセットし、ポンプにより 4 h に 1 回、10 min 通水を繰り返した。その時の流量は

Table 1. Specimens (Sea immersion test).

No.	Material	Coating thickness (μm)	Barcol hardness	Surface roughness R_{max} (μm)
1	Tar-epoxy	1 200	31	12
2	Pure-epoxy (Solvent type)	600	58	8
3	Polyurethane (Inorganic primer)	4 000	65	3
4	Polyester (Glass flake)	1 200	93	30
5	Polymer-cement	5 000	62	130

昭和 62 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 63 年 7 月 11 日受付 (Received July 11, 1988)

* 新日本製鉄(株)君津技術研究部 (Kimitsu R & D Lab., Nippon Steel Corp., 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

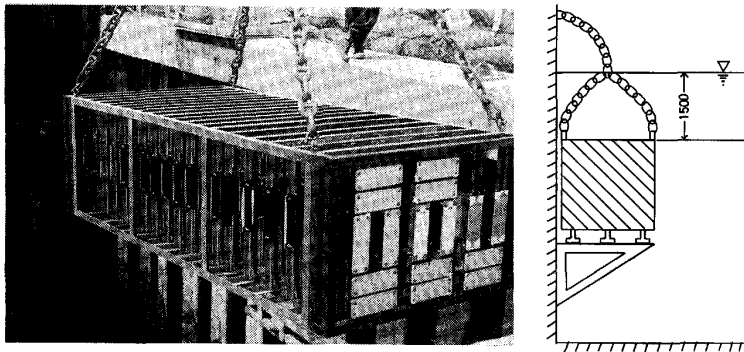


Fig. 1. Illustration showing the sea water immersion test.

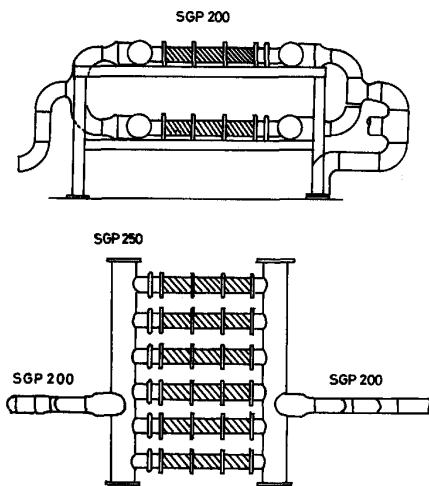
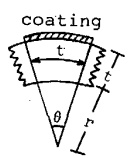


Fig. 2. Illustration showing the sea water flow test.

Table 2. Experimental conditions.

Tests	Condition
Quantity of marin organisms	Method by weight
Adhesion strength of Barnacles	Pull-off method Stamp : 78.5 mm ϕ , Temperature : 23°C
Adhesion strength of coating	DIN 30671 method I or II Stamp : 314 mm 2 , Temperature : 23°C
Chloride analysis	EPMA analysis
Electric resistance	DIN 30670 Volt : 100 V Area : 0.03 m 2 , Temperature : 23°C
Bending angle	$\theta = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{t}{r+1/2t}$ t=Pipe wall thickness r=Radius of mandrel 
Impact strength	ASTM G-14, Dia : 16 mm ϕ Temperature : 23°C

50 m 3 /min (平均流速 : 約 1.7 m/s) で行った。

2.4 暴露試験後の性能試験

暴露試験後の性能試験方法を Table 2 に示す。

被覆材に対する貝藻類の付着量は重量法で行い、その

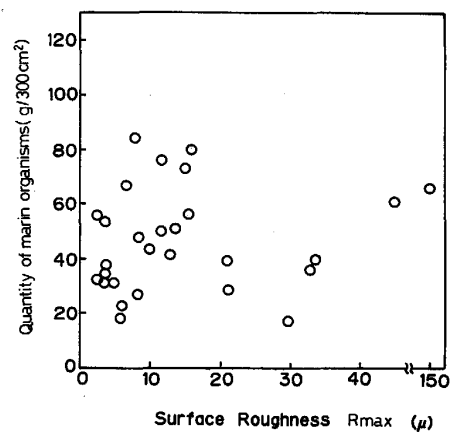


Fig. 3. Relation between surface roughness and quantity of marin organisms.

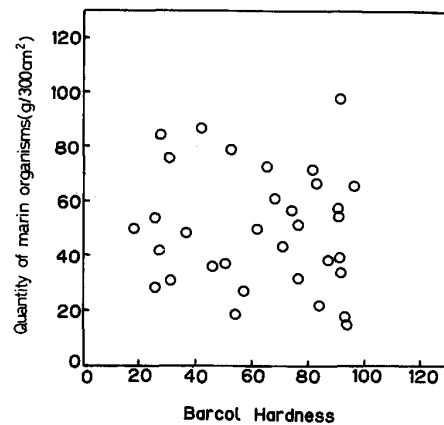


Fig. 4. Relation between Barcol hardness and quantity of marin organisms.

除去性については代表としてふじつほと被覆面との密着力(プルオフ法)を測定して行った。被覆材が長期間防食を維持するためには被覆層と鉄の界面にかかわる性能が必要であるが、それに対しては被覆の密着力測定および水、塩素などの透過性として EPMA による被覆断面の塩素分析、さらには被覆材の電気絶縁抵抗の測定を行

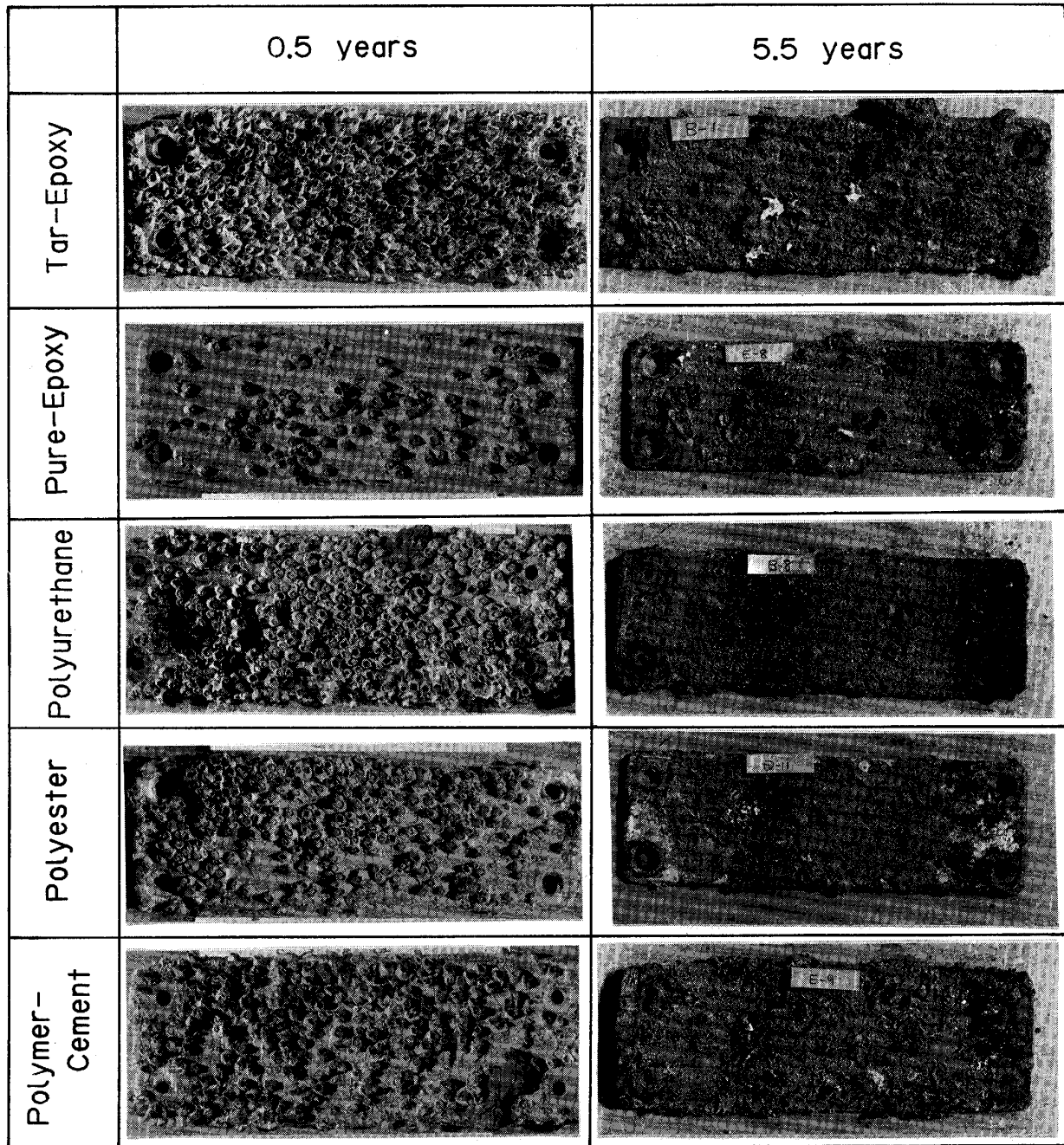


Photo. 1. Surface of coated sheets appearance after immersion in sea water.

つた。

また被覆材は輸送、貯蔵、埋設時に何らかの機械的損傷を受けるが、敷設後も土圧や貝藻類の除去時に被覆の損傷を受ける。それに対する試験として被覆材の衝撃および曲げ試験を行い経時による被覆の変化も検討した。

3. 実験結果

3.1 貝藻類の付着

海水暴露試験での貝の付着状況を Photo. 1 に示す。

貝藻類は6か月でほぼ被覆表面全体に付着しており、被覆材料間で若干付着状況が異なっているが、被覆表面の粗度および硬度の違いと貝藻類の付着量の間をみると、Fig. 3 および Fig. 4 に示すように、特に被覆表面状態との関係がみられない。また通水試験での貝藻類の付着状況を Photo. 2 に示すが、海水暴露試験に比べてかなり貝藻類の付着が少ない。これは海水の流速の影響で汚損生物の幼生および胞子が被覆表面に着生されにくいためと考えられる。

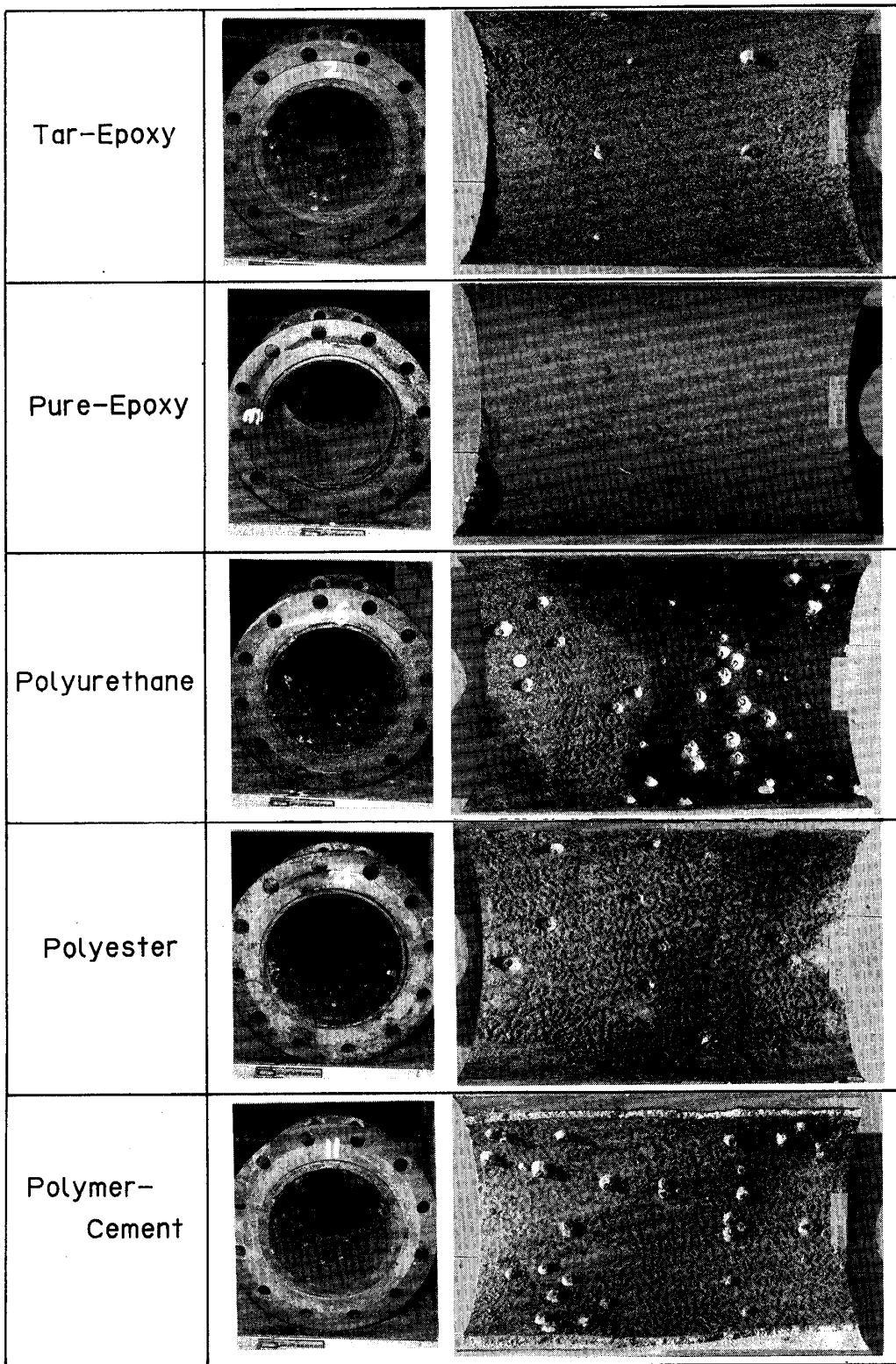


Photo. 2. Inner surface of coated pipes after sea water loop test (4.5 years).

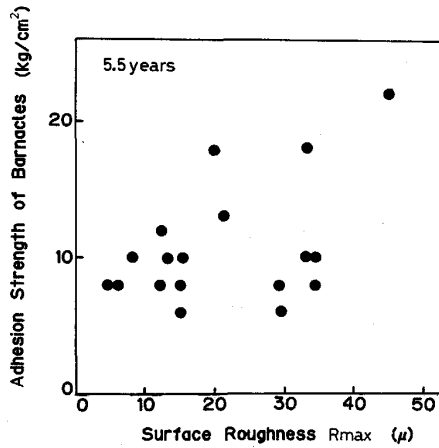


Fig. 5. Relation between surface roughness and adhesion strength of barnacles.

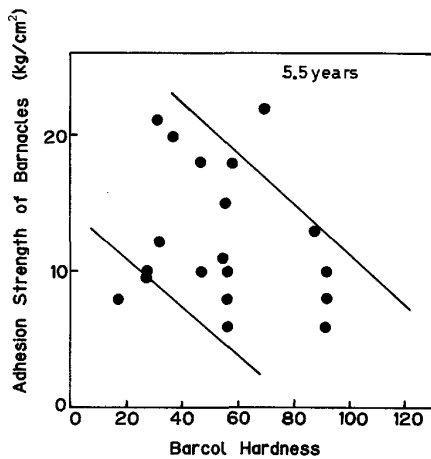


Fig. 6. Relation between Barcol hardness and adhesion strength of barnacles.

3.2 除貝性

前述のごとく、被覆材の種類および被覆表面の状態を変えても貝藻類の付着を防止するまでには至らず、貝藻類の除去作業は避けられないものと思われる。そのため被覆表面にダメージを与えず貝藻類が簡単に除去することが必要となる。Fig. 5 および Fig. 6 はタールエポキシ及びピュアエポキシの表面粗度および硬度を変化させた材料と貝付着強度の関係を示す。被覆表面粗度と貝付着強度の関係は明確ではないが、被覆表面硬度が大きいものほど貝付着強度が小さいという結果が得られた。この理由は、塗膜硬度が小さいものほど塗膜のへこみ現象が大きいことが観察されたため表面硬度が大きいほど被覆層への貝のくい込みが小さくなるためではないかと考えられる。

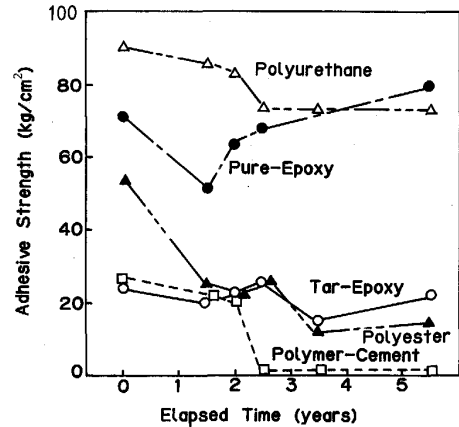


Fig. 7. Change in adhesion strength of coated layers with time.

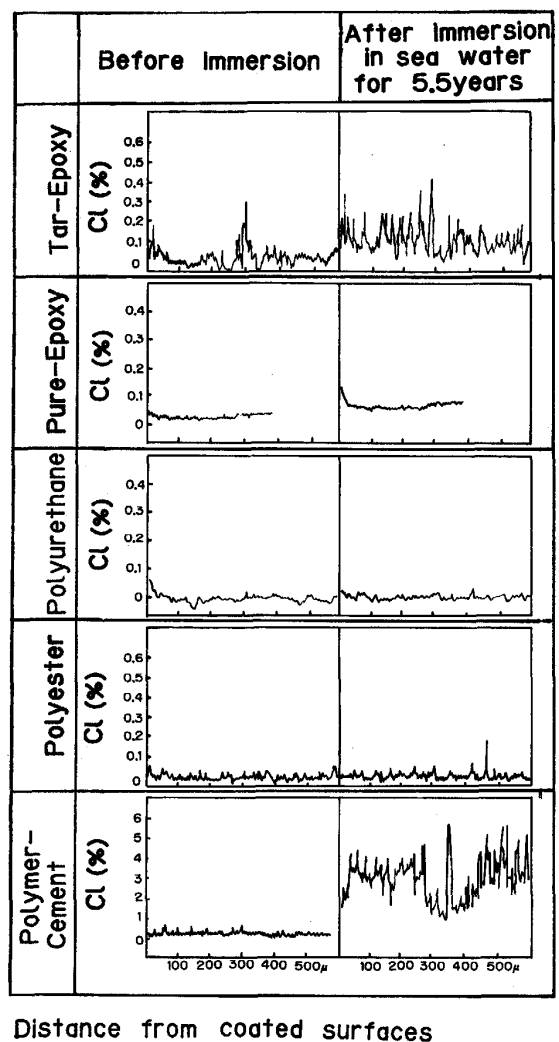


Fig. 8. EPMA analysis on coatings before and after immersion in sea water.

3.3 被覆性能の経時変化[†]

(1) 密着力

海水暴露試験材の密着力の経時変化を Fig. 7 に示す。

[†] ピュアエポキシの密着力はすべて塗膜の凝集破壊であるため2年後の密着力が低いのは塗膜強度のばらつき範囲とかがえている。

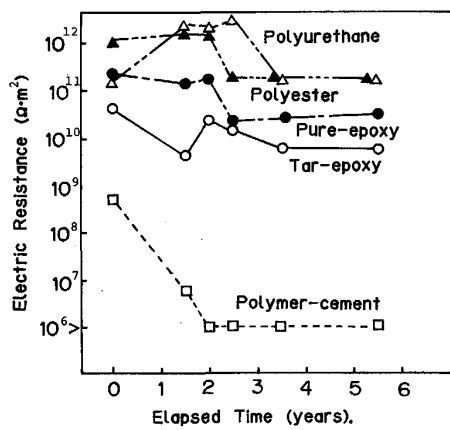


Fig. 9. Change in the electric resistance of coated layers with time (Sea immersion test).

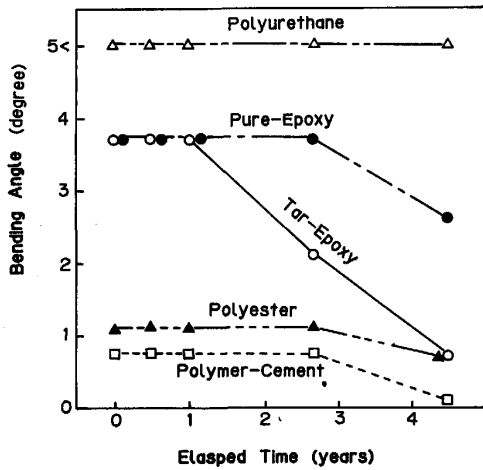


Fig. 10. Change in the bendability of coated layers with time (Sea water loop test).

今回検討を行った被覆材料の中ではピュアエポキシおよびポリウレタンが他の被覆材料に比べて性能低下が少なく、5年6か月後も高い密着力を示す¹⁾。タールエポキシは密着力低下が少ないが、初期の密着力が低い¹⁾ため貝藻類の除去の際、塗膜剝離の可能性¹⁾がある。またポリエステル、ポリマーセメントは経時によりかなりの密着力の低下が認められる。

(2) 被覆層への侵入塩素

被覆材が海水に接すると塩素および水などの腐食性物質が被覆を通して被覆と鉄の界面に到達して、界面を腐食し、密着力を低下させるものと考えられる。各種被覆材について被覆層への塩素侵入を EPMA で測定した結果を Fig. 8 に示す。密着力の経時劣化が大きいポリマーセメントに特に多く塩素が検出されたが、密着力の経時劣化が小さいエポキシおよびポリウレタンには塩素侵入がほとんど認められなかった。

(3) 電気絶縁抵抗

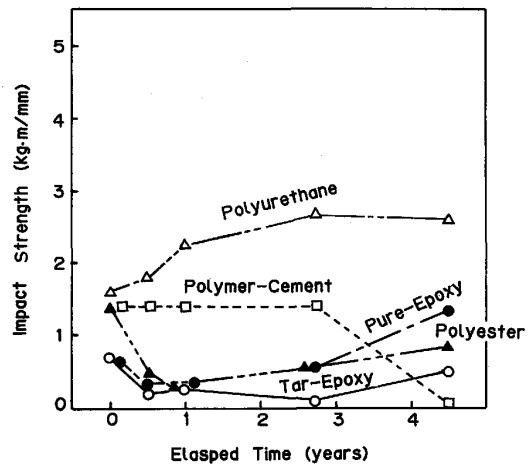


Fig. 11. Change in the impact strength of coated layers with time (Sea water loop test).

被覆材の防食性能の指標として電気絶縁抵抗の経時変化を測定した。その結果を Fig. 9 に示すが、ポリマーセメントは被覆層にクラックが入るため、1年6か月経過後にすでに低下をしているが、他の被覆材は低下が少ない。その中でもピュアエポキシ、ポリウレタンは電気絶縁抵抗が5年6か月の長期にわたって高い値が維持されている。

(4) 曲げ

被覆材の機械的特性の経時変化の一つとして海水通水試験材による曲げ試験を行った。結果を Fig. 10 に示すが、ポリウレタンは4年6か月後も依然として低下がみられず、ピュアエポキシも高い曲げ性を示すが、タールエポキシおよびポリマーセメントは経時によりかなり劣化が認められる。

(5) 衝撃

衝撃試験による海水通水試験材の機械的特性の経時変化を Fig. 11 に示す。ポリマーセメントは約3年で衝撃強度の低下がみられるが、他の被覆材は経時により硬化が進み硬度が増すため、若干上昇傾向にある。その中でもポリウレタンおよびピュアエポキシは他の被覆材よりも4年6か月経時後の衝撃値が高い。

4. 結 言

海水浸漬および実管をシミュレートした通水試験の結果から、被覆層への貝の付着を防止もしくは大幅に減少させることができないことが明らかになった。そこで、定期的に貝の除去作業を行わざるを得ないが、このとき被覆層に対して貝の除去が容易であること、および除去作業時に被覆層に疵がつきにくいことが要求される。

この観点から、鋼管内面に対して容易に被覆でき、補

修も可能な現在の被覆材料を評価すれば、ピュアエポキシおよびポリウレタンが従来のタールエポキシに比べて比較的の表面硬度が高いため除貝性が良く、また被覆の密着力、耐絶縁性、曲げ性および耐衝撃性などの性能低下が少ないので最適であると考えられる^{1)~9)}。

文 献

- 1) 椿 敏男, 鈴木正二, 谷口易之, 高松輝雄: 第 4 回防錆防食技術発表会要旨集 (1984), p. 71

- 2) 松尾利郎: 色材, 59 (1986), p. 689
3) 高松輝雄: 腐食と対策事例集 (1985), p. 350
4) 横井準治: 塗装技術 (1984), p. 289
5) 高松輝雄, 鈴木正二: 第 31 回腐食防食討論会予稿集 (1984), p. 194
6) 高松輝雄, 加藤弘忠: 鉄と鋼, 73 (1987), S1166
7) 梶原 武: 海洋科学, 16 (1984), p. 128
8) 梶原 武: 塗装工学, 21 (1986), p. 408
9) 坂口 勇: 海洋科学, 16 (1984), p. 134