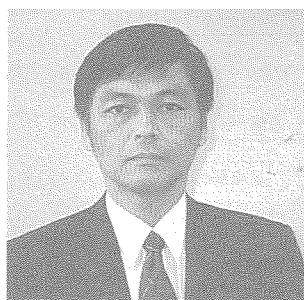


チタンカバー方式ペトロラタムライニング防食工法

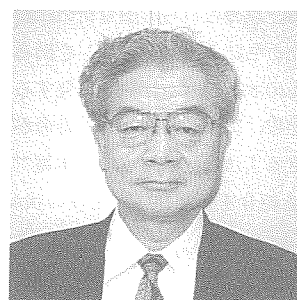
Corrosion Prevention by Titanium Petrolatum Lining



木 下 和 宏^{*(1)}
Kazuhiro KINOSHITA



斉 藤 明 宏^{*(2)}
Akihiro SAITO



土 居 一 幸^{*(3)}
Kazuyuki DOI

抄 録

栈橋や埠頭などの基礎として使用される鋼管杭の防食方法のうち、干満帯から飛沫帯における後防食の方法として従来工法の中で比較的優れている工法にペトロラタムライニング工法がある。この工法の従来法では鋼管上にペトロラタムを被覆した後それを防護するためにFRP製カバーを使用している。FRPは紫外線劣化を起こすことや浮遊物の衝撃で割れる等の問題があり、このFRPの代わりにチタンを適用することでこの工法の長寿命化を図ると共に施工方法を工夫し、工事コストにおいても従来法と同等となる工法の開発を行ってきた。その結果、従来法に比べて、長寿命が期待でき、コスト的にも十分対抗できる工法が開発できた。

Abstract

Of the conventional corrosion prevention methods for steel pipe piles for use as foundations for piled jetties and wharves, petrolatum lining has a comparative advantage over others as after protection for application in tidal and splash zones. In this conventional petrolatum lining method, after coating the steel pipe with petrolatum, a FRP covering is ordinarily used for additional protection. Problems with FRP, however, include deterioration by ultraviolet rays and susceptibility to cracking on impact with floating matter. In addition to an attempt to extend the life of petrolatum lining by the use of titanium instead of FRP, a new execution method also has been developed so that this titanium petrolatum lining method can be competitive with other conventional corrosion protection methods in terms of construction cost. As a result, this method can offer longer life expectancy and adequate cost-competitiveness, as compared to other conventional methods.

1. 緒 言

海洋環境にある構造物における一番の問題は、海水や海塩粒子による腐食の問題である。特に海洋鋼構造物は、鋼材の腐食(錆)によって全体寿命が決まると言っても過言ではない。そこで、この鋼材を腐食から守ること即ち適切な防食をすることで構造物の寿命延長を図る努力が多方面でなされてきた。また、設計における公的指針においても、運輸省港湾技術研究所(現：独立行政法人港湾空港技術研究所)の指導のもとに1997年に改訂された(財)沿岸開発技術研究センターの“港湾構造物 防食・補修マニュアル”¹⁾では、従来多用されてきた鋼材の腐食代でもって設計する考え方が廃止され、

何らかの防食をする事が推奨されている。従って、現在では、鋼材を海洋環境で使用する場合には防食は必須事項と考える事が一般になっている。

栈橋や埠頭などの基礎として使用される鋼管杭の防食方法としては、打設前に塗装や樹脂ライニングを施した被覆鋼管を使用する方法や打設後コンクリート等をライニングする後防食法、犠牲陽極や外部電源を適用した電気防食法、またそれらの組合せ等の様々な防食仕様が施されてきている。

この鋼管杭の防食方法のうち、干満帯から飛沫帯における後防食の方法として従来工法の中で比較的優れている工法にペトロラタムライニング工法がある。この工法の従来法では鋼管上にペトロラタ

^{*(1)} チタン事業部 開発営業グループ マネジャー
千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎03-3275-7986

^{*(2)} 日鉄防蝕 エンジニアリング事業部 係長

^{*(3)} 鉄構海洋事業部 建設・技術部 マネジャー

ムを被覆した後それを防護するためにFRP製カバーを使用している。FRPは紫外線劣化を起こすことや浮遊物の衝撃で割れる等の問題があり、その防食寿命は20年位と言われている。そこで、このFRPの代わりにチタンを適用することでこの工法の長寿命化を図ると共に施工方法を工夫し、工事コストにおいても従来法と同等となる工法の開発を行ってきた。

本法の開発は約15年前の1985年に波崎、名古屋、阿賀沖で試験施工したことに始まる。以来これらの鋼管杭の試験施工後の状況観察を継続的に行なうとともに、コストダウンを図るため工法に改善を加え、また、強度上のオプション仕様も開発するなど一連の開発を行ってきた。その結果、従来法に比べて長寿命が期待でき、コスト的にも十分対抗できる工法が開発できた。本報ではここに至るまでの経緯及び実績等を紹介すると共に、現在の状況を報告する。

2. ペトロラタムライニング工法の概要とその防食原理

ペトロラタムライニング工法の概要を説明する。まず、鋼管杭を素地調整し、ここにペトロラタムペーストを塗布、その上にペトロラタムテープ(ペトロラタムを不織布に含浸したもの)を巻き付ける。ペトロラタムは粘性のある物質であり、機械的強度は期待出来ない。海洋環境では、波浪の衝撃や流木などの浮遊物の衝突などによりペトロラタムテープが破損するため、ペトロラタムテープ層の損傷を防ぐため保護カバーが必要となる。この保護カバー材料として従来法では主にFRP(ガラス繊維強化プラスチック)を使用している。作業の流れを図1にまとめた。

この工法の防食原理は、石油系のワックスであるこのペトロラタムの撥水性と添加されているインヒビターの防錆作用によっている。即ち、テープを巻き付ける時は、鋼材表面の水分を絞り出すように施工するが、現実には完全に水を排除することは困難であり、少量の水が残存することになる。それらの水分は鋼材を錆びさせる要因となるが、添加されているタンニンなどのインヒビターがタンニン酸鉄などの一種の防錆被膜に転化させ、鋼材を防錆している²⁾。

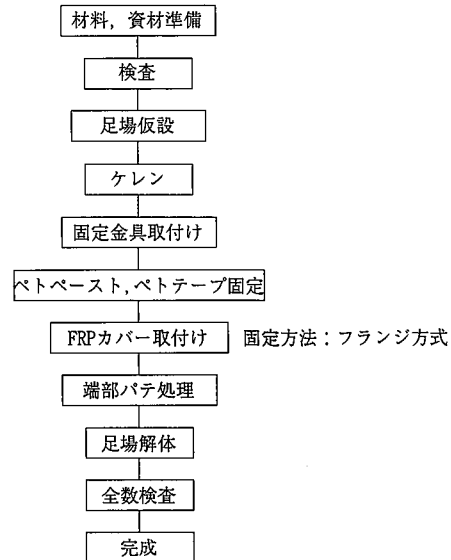


図1 FRPカバー方式ペトロラタムライニング工法の作業フロー

3. チタンカバー方式ペトロラタムライニング防食工法の概要

3.1 チタンカバー方式による相違点

開発したチタンカバー方式ペトロラタムライニング工法は、従来法のペトロラタムライニング工法におけるFRPカバーの部分にチタンカバーに置き換えた工法である。具体的には、鋼管の素地調整からペトロラタムテープ巻き付けまでの工程は全く同じで、後工程のカバー取り付け工程のみが異なっている。従って、役割分担も従来法と同様に、鋼管の防食はペトロラタム層が行い、チタンカバーはそのペトロラタム層を防護している。

尚、チタンが熱力学的には非常に貴な金属であるため、異種金属接触腐食や電気防食への影響を懸念する意見もあるが、チタンカバー板と鋼管との間にあるペトロラタムが絶縁体であることと、固定金具との間は防食パテで絶縁しているため、チタンカバー板は電氣的に独立した状態にあり、その心配の必要はない。

表1 チタンカバー方式ペトロラタムライニング工法実績リスト

No	年/月	場所	施主	設備名	ゼネコン	施工(監理)	施工(実施)	固定方式	杭本数	杭直径 (mm)	防食高 (m)	防食面積 (m ²)	チタン重量 (kg)
1	1985	茨城県波崎町	チタン部(運輸省港湾技研)	流砂観測栈橋	-	日鉄防食	-	フランジ	1	800	3.88	10	30
2	1985	愛知県東海市	新日本製鐵/名古屋製鉄所	原料岸壁	-	日鉄防食	-	フランジ	2	508	1.90	3	9
3	1985	新潟県	新日本製鐵/鉄鋼海洋事業部	石油リグ	-	日鉄防食	-	フランジ	1	**	**	**	**
4	1990	福岡県北九州市	運輸省/第四港湾建設局	埠頭栈橋	-	日鉄防食	-	フランジ	17	700	3.20	120	360
5	1995/3	愛知県東海市	新日本製鐵/名古屋製鉄所	原料岸壁	-	日鉄防食	J社/東京	TP	1	508	1.90	3	6
6	1995/7	千葉県君津市	製鉄運輸/君津	全天候バース	五洋建設	日鉄防食	J社/東京	TP	2	800	1.70	9	18
7	1996/5	千葉県君津市	製鉄運輸/君津	全天候バース	五洋建設	日鉄防食	J社/東京	TP	1	800	1.22	2	4
8	1996/8	大分県大分市	新日本製鐵/大分	原料バース	五洋建設	ナカボー(日鉄防食)	A社/大分	TP	4	1 500	2.50	48	96
9	1997/3	高知県須崎市	日鉄鉱業/鳥形山鉱業所	出荷バース	-	日鉄防食	N社/松山	TP	17	500~900	3.00	114	228
10	1997/6	茨城県波崎町	チタン部(運輸省港湾技研)	流砂観測栈橋	-	日鉄防食	J社/東京	TP	1	800	3.88	10	20
11	1997/9	高知県須崎市	日鉄鉱業/鳥形山鉱業所	出荷バース	-	日鉄防食	N社/松山	TP	25	500~800	3.00	145	290
12	1997/10	高知県須崎市	日鉄鉱業/鳥形山鉱業所	出荷バース	-	日鉄防食	N社/松山	TP	124	1 200	1.50	701	1 402
13	1998/4	千葉県袖ヶ浦市	日鉄鉱業/袖ヶ浦	荷揚げバース	東洋建設	日鉄防食	J社/東京	TP	4	1 000	3.00	38	76
14	1998/8	大分県大分市	大分液化ガス共同備蓄(株)	ドルフィン	-	日鉄防食	P社/北九州	TP	1	1 200	1.60	4	8
15	1998/9	高知県須崎市	日鉄鉱業/鳥形山鉱業所	出荷バース	-	日鉄防食	N社/松山	TP	20	1 200	4.50	339	678
16	1998/9	高知県須崎市	日鉄鉱業/鳥形山鉱業所	出荷バース	-	日鉄防食	N社/松山	TP	10	600~900	3.00	78	156
17	1999/3	神奈川県横浜市	横浜市	埠頭栈橋	清水建設	日鉄防食	B社/横浜	TP	30	600	3.00	170	340
18	1999/11	福岡県北九州市	新日本製鐵/八幡製鉄所	原料バース	-	日鉄防食	N社/松山	TP+溶接	30	358	1.00	34	102
19	2000/3	千葉県君津市	新日本製鐵/君津製鉄所	原料バース	-	日鉄防食	H社/千葉	溶接	*1	*1 000	*20.0	63	189
20	2000/9	高知県須崎市	日鉄鉱業/鳥形山鉱業所	出荷バース	-	日鉄防食	N社/松山	TP	10	800	3.00	77	231
合 計									301			1 968	4 243

*: 横梁, **: 詳細不明

3.2 チタンカバー固定方式開発の推移

先に述べたように本工法の開発は約15年前の1985年に波崎、名古屋、阿賀沖で試験施工したことに始まる。以後の試験施工を含めた実績を表1にまとめて示す。

チタンカバーの固定方法として、当初はFRPカバーと同様にフランジを成型し、ボルトナットで固定する方式を探っていたが、フランジの成型費用が高いことと、作業に時間が掛かることでコスト的には割高であった。

そこで、固定方法の簡略化のため、嵌合による固定方法の開発を行なった。勘合方式は検討の結果、鞘管とカバー板のはぜ折りで構成された鞘管方式が最も取付けやすく、加工費も安価であることが分かった。この工法をTP(Titanium cover Petrolatum lining)工法と名付けた。

更に、3年程前に水中で抵抗溶接ができる溶接機が開発されたことからこれを適用し、固定方法としてより強度的に信頼が得られる溶接による固定方式の開発を行なってきた。現在、数箇所での試験を行なった結果、ほぼ実用化の目処が付いたところである。

3.3 固定3方式の概要

フランジ方式、鞘管方式(TP工法)、溶接工法の作業のフロー図を図2に示す。それぞれの施工後の写真を写真1～3に示す。また、フランジ方式、鞘管方式(TP工法)の簡単な図面を図3、4に示す。

3.3.1 フランジ方式の概要

フランジ方式では、予め両端に曲げ加工とボルト穴開け加工を施したチタンカバー板を準備する。フランジはチタン厚板またはフラットバーやアングルをチタンカバー板に溶接しておくか、カバー板を曲げただけにしておいて、FRPのフラットバーやアングルで補強する方法をとる。

チタン板の大きさは鋼管杭の直径と防食高さによって決まるが、高さ方向に分割するので、幅は1 000～1 200mmの範囲で重ねを100mm取って均等割りにする。板厚は作業性と材料入手性から0.7～0.5mmを使用していた。

作業は、ペトロラタムテープを巻き付けた後、チタンカバー板を巻き付け、フランジ面を合わせてボルトナットで固定する。この時、ボルトナットはSUS304または316を使用することが多い。こ

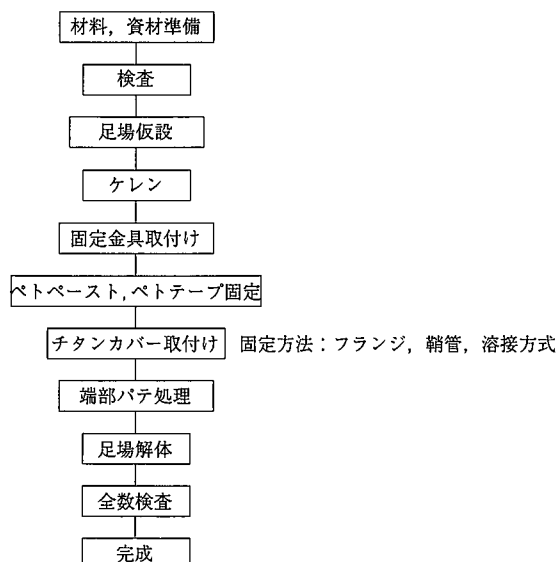


図2 チタンカバー方式ペトロラタムライニング工法の作業フロー



写真1 フランジ工法施工例(阿賀沖石油リグ)

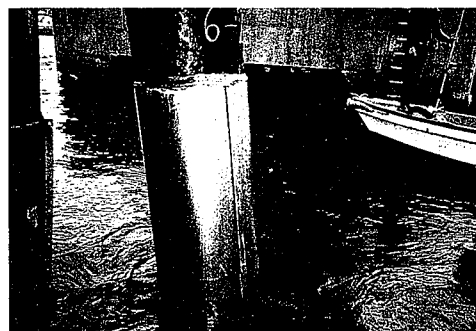


写真2 TP工法施工例(日鉄鉱業/鳥形山鉱業所)

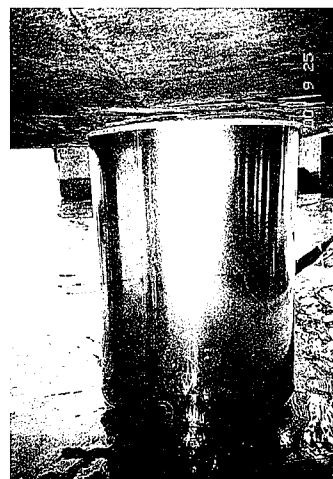


写真3 溶接工法施工例(日鉄鉱業/鳥形山鉱業所)

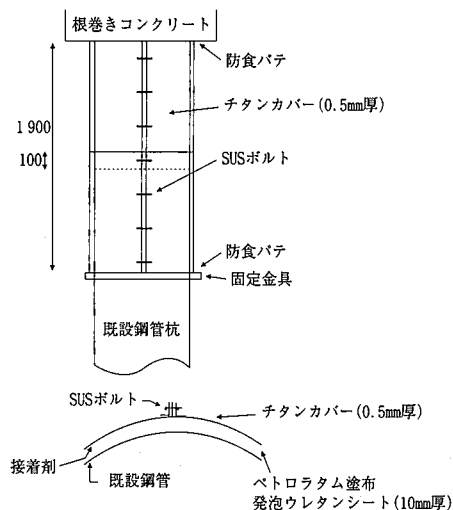


図3 フランジ固定方式工法の概要図

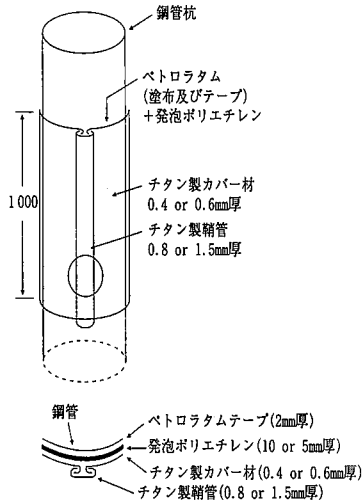


図4 TP工法(鞘管固定方式)の概要図

の作業を上からまたは下から順次行い、100mmの重ねをもって鋼管に取り付けていく。その後、下に固定金具を取り付け、上下端に防食パテを塗布して完了となる。

3.3.2 TP工法の概要

TP工法では、予め両端にはぜ折り加工を施したチタンカバー板とCチャンネルのように曲げ加工したチタン鞘管を準備する。板の大きさはフランジ方式のものと同じ考え方で決める。

板厚は、当初カバー板0.4mm、鞘管0.8mmを使用していた。これは、大阪湾での波浪の条件を前提に、形状と引張強度から計算し、この組合せで強度的に十分な固定保持力があることが分かったので採用した²⁾。しかしながら、外洋に適用する場合もあり、この時には波浪条件がかなり厳しくなることから、この板厚では強度不足になることが想定された。そこで、現在では強度アップを図り安全率をより十分確保するため、カバー板0.6mm、鞘管1.5mmを使用することが多くなった。

作業は、ペトロラタムテープを巻き付けた後、チタンカバー板を巻き付け、チタンカバー板の両端のはぜ折り部に鞘管を上からまたは下から差し込んで固定する。以後はフランジ方式と同様である。

3.3.3 溶接工法の概要

溶接工法では、曲げやはぜ折りといった加工をしていない切り板状のチタンカバー板を準備する。板の大きさはフランジ方式のものと同じ考え方で決める。板厚は、強度を要求される場所で採用されることになるので、当初からカバー板0.6mmを使用している。作業は、ペトロラタムテープを巻き付けた後、チタンカバー板を巻き付け、チタンカバー板の重なり部をスポット溶接機で溶接する。以後はフランジ方式と同様である。

尚、この溶接機はトランスからトーチまでの距離に制限があり、トランスを持ち込める場所に限定される課題を残している。

3.4 チタンカバー方式ペトロラタムライニング工法の防食性能

3.4.1 名古屋製鉄所鋼管杭防食体の解体、調査結果

1985年に名古屋製鉄所原料岸壁にフランジ方式で施工していた本工法の防食体を1995年に解体、調査を行なった²⁾。その結果を整理すると、

(1)防食体の外観観察：写真4～6参照

- 1) 保護層のチタンカバーの一般部、フランジ部、溶接部とも損傷、異状は見られなかった。
- 2) チタンカバーの表面にはふじつぽやほやなどが付着していたが、

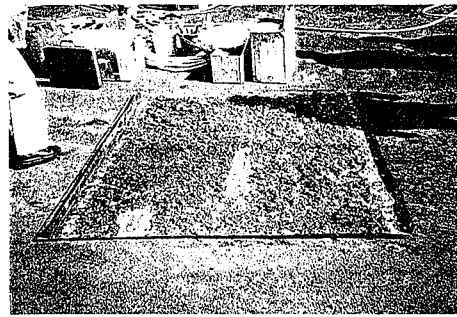


写真4 チタンカバー外面全体

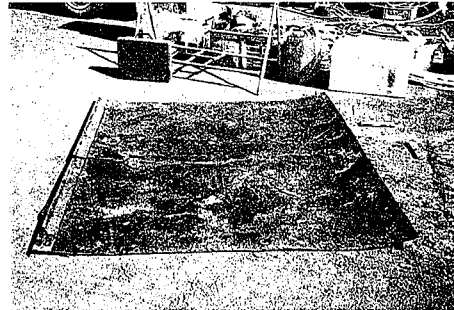


写真5 チタンカバー内面全体

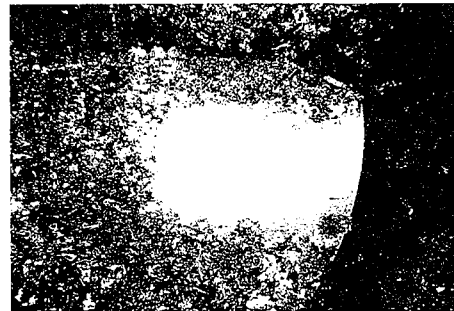


写真6 チタンカバー外面(スクレーパーで海洋生物を除去後)

手指で簡単に取れた。また、ふじつぽの接着たんばくの跡と思われる白い石灰質系の付着物もスクレーパーで除去できた。更にそこを軟らかい紙で拭くとチタンの金属光沢が見られた。

- 3) ペトロラタムを塗布した緩衝層の発泡ウレタンシートは、弾力性は若干低下しているが、ほぼ健全な状況であった。また、鋼管と接していた表面に錆状の付着物は見られなかった。
 - 4) ペトロラタムペーストは固化、変色などの変質及び流失は認められず、初期に近い状態で残存していた。
 - 5) 上端部及び下端部のシール用パテは、特に異状はなかった。
- (2)チタンシートの断面観察：写真7、8参照

- 1) 保護カバーのチタンシートの断面を観察した結果、腐食など異状は全く見られなかった。

(3)鋼管杭表面の外観観察及び肉厚調査：

- 1) ペトロラタムペーストを除去した鋼管表面は、タンニン酸鉄が生成したと見られる黒色を呈しており、腐食が進行しているときに見られる赤錆は全く見られなかった。
- 2) 肉厚測定の結果、腐食の進行はなかった。

3.4.2 波崎防食体の外観調査結果

1985年に運輸省波崎海洋研究施設にフランジ方式で施工していた本工法の防食体を1999年に外観調査を行なった³⁾。その結果、14年を経過していたが腐食は勿論損傷も全くなく、非常に健全な状態であった(写真9、10参照)。

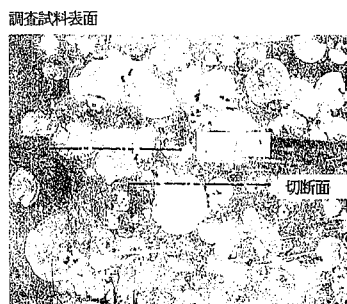


写真7 チタンカバー外表面

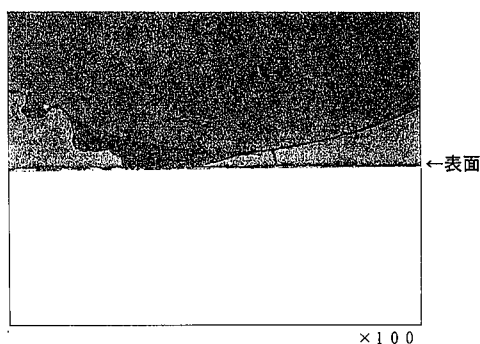


写真8 チタンカバー断面

3.4.3 まとめ

施工後10年間の解体調査結果で鋼管の腐食が起こっていないこと及びペトロラタムに劣化が見られないこと、施工後14年間の外観調査結果で腐食や損傷が全くないことから、本工法は30年以上の耐久性が十分であると推察された。

3.5 チタンカバー方式ペトロラタムライニング工法のコスト

チタンは海水に対して抜群の耐食性を有し、自然環境下ではほとんど腐食することがなく、また、延性があるので浮遊物等の衝突に対しても変形することはあっても割れることは少ない。このためカバー材の板厚をFRPのそれよりかなり薄くすることができた。その結果、材料費が低減され、従来法のFRP材とほぼ同等のコストになった。

更に、TP工法では、取付け方法を工夫し、取付け時間、作業人員も従来法のそれとほぼ同等にすることができた。即ち、作業費も

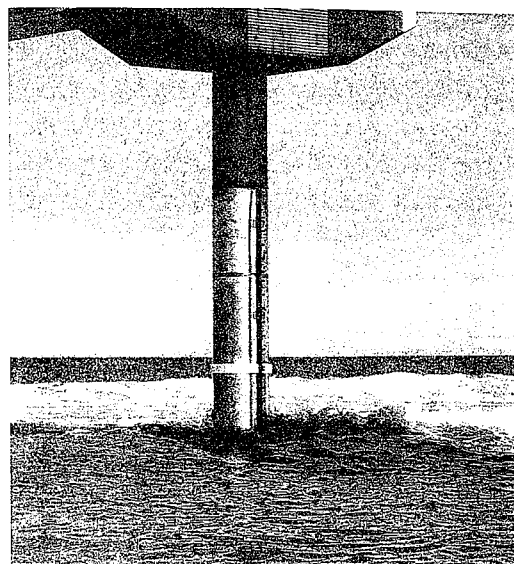


写真9 波崎砕波観測用栈橋(1985年)

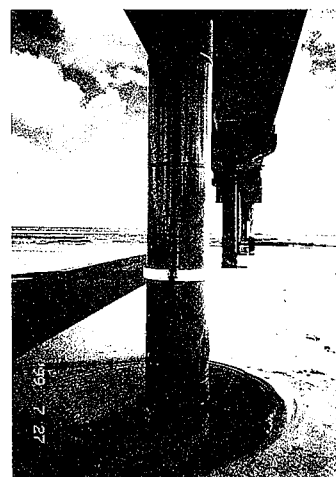


写真10 波崎砕波観測用栈橋(1999年)

従来法と同等になった。

加えて、カバー材が紫外線を通さないので内側のペトロラタムの劣化も防ぐことができる。従って、防食テープ層の寿命延長即ち防食工法自体の寿命延長が期待できる。

表2 既設鋼管杭防食工法比較

名称	ペトロラタムライニング工		FRPモルタルライニング工	水中塗装
	FRPカバー	チタンカバー		
基本図				
価格イメージ (国内直工費)	材料 ペトロラタム 60千円/m ²	材料 ペトロラタム 60千円/m ²	材料 モルタル 62千円/m ²	材料 エポキシ樹脂 50千円/m ²
	FRPカバー 8千円/m ²	チタンカバー 8千円/m ²	FRP型枠 34千円/m ²	エポキシ樹脂 20千円/m ²
	工事 20千円/m ²	工事 20千円/m ²	工事 28千円/m ²	工事 30千円/m ²
耐久性	15~20年	30~40年	15~20年	5~10年
問題点	(1)FRPの紫外線劣化による割れ (2)流木などの衝撃による割れ	特になし	(1)モルタルの劣化による割れ (2)流木などの衝撃による割れ (3)重量が重い	(1)塗膜の紫外線劣化による剥がれ (2)流木などの衝撃による剥がれ
総合評価	○(3.0千円/m ² /年)	◎(1.5千円/m ² /年)	△(3.1千円/m ² /年)	▲(5.0千円/m ² /年)

以上から、このチタンカパー方式ペトラタムライニング工法は、従来法のFRPカパー方式ペトラタムライニング工法に比して、コストはほぼ同等で長寿命が期待できる工法と言える。

FRPカパー方式ペトラタムライニング工法とTP工法に、コンクリート巻き工法、水中塗装工法を加えた現状の鋼管杭後防食工法の主要4工法のコストと期待寿命等を比較表にして表2に示す。このチタンカパー方式ペトラタムライニング工法が一番優れていることが分かる。

3.6 工法選択の考え方

チタンカパー方式ペトラタムライニング工法には固定方法で3方式が開発されたが、その工法適用の選択は大まかには次のように考えている。

- (1) 施工現場の波浪条件の比較的緩やか場所では一番安価なTP工法を選択する。
- (2) TP工法では難しい波浪条件の場所で、施工現場に溶接機を持ち込める場合、溶接工法を適用する。
- (3) 以上に当てはまらない場合、あるいは海外などで波浪条件がよく分からない場合はフランジ工法を適用する。

以上の選択をマニュアル的に決めるような詳細条件については現在詰めている段階である。

4. 結言

既設鋼管杭の防食工法において、最も優れた工法としてTP工法を初めとするチタンカパー方式のペトラタムライニング工法を開発した。本工法はコスト的にも従来法と同等で施工でき、コストパフォーマンスにも優れている。

おりしも、2000年9月に当時の建設省と運輸省から相次いで出された“公共工事コスト縮減対策に関する新行動計画”において、コスト縮減の手法として従来の“工事コストの低減”に加えて“ライフサイクルコストの低減”が盛り込まれた。即ち、時代はメンテナンスの低減と長寿命化によるライフサイクルコスト低減の方向に動いている。

本工法はライフサイクルコストのミニマム化という時代のニーズに応えた商品であると自負しており、今後、本工法の普及のため各種の伝達媒体を通じてPRしていく予定である。

参考文献

- 1) 港湾構造物 防食・補修マニュアル(改訂版). (財)沿岸開発技術研究センター, 1997
- 2) 木下和宏: 防錆管理. 41(12), (1997)
- 3) 木下和宏: Re+tech. 4, (2000)