

海洋鋼構造物に対する防汚被膜の現地曝露試験について

Local revelation examination of the impurity film for the ocean structure

佐藤之信¹・川浦広樹²・加地善則³・杵本正信⁴

¹正会員 (株)豊水設計 構造マネジメント部部长 (〒001-0035 札幌市東区東 33 条東 16 丁目 2-2)

²(株)豊水設計 代表取締役専務 (〒001-0035 札幌市東区東 33 条東 16 丁目 2-2)

³(株)豊水設計 構造マネジメント部主任 (〒001-0035 札幌市東区東 33 条東 16 丁目 2-2)

⁴正会員 (株)フジエンジニアリング 代表取締役社長 (〒532-0002 大阪市淀川区東三国 5 丁目 5 番 28 号)

1. 曝露試験の目的

海洋構造物に海洋生物が付着することで、取水管などの通水性能低下などをはじめ多くの機能低下が生じている。

従来、海洋生物の付着防止には鉛丹塗料が用いられてきたが、環境汚染問題などでその使用は大きく制限されている。また、「銅イオン」による生物の付着防止研究報告が幾例か報告されているが、十分な効果を期待できる報告はない。その要因としては構造物表面に「銅」を設置することが極めて困難なこと、環境への「銅イオン」の環境影響評価が十分でないことなどがあげられる。

そこで防食溶射技術を用いた皮膜に「銅」を擬合金化し、供試体を海水面に曝露しその経過を観察することとした。用いた鋼材(L-75×75×9×2500)の自然電位は鋼材に比べ銅の方が高いため、一般には短期間に電蝕を起こし、溶射皮膜が損傷する。これを防ぐため銅と Al-(5%)Mg の擬合金被膜を鋼材表面に金属溶射を施した。

第 1 回目の曝露試験調査(2010 年 6 月 9 日実施)から 1 年経過した試験体の腐食と海洋生物付着状況の確認を行

った。加えて今回は「重防食塗装」と特殊処理を施した「純銅被膜」とした曝露試験体の追加設置を実施した。

2. 曝露試験の経緯

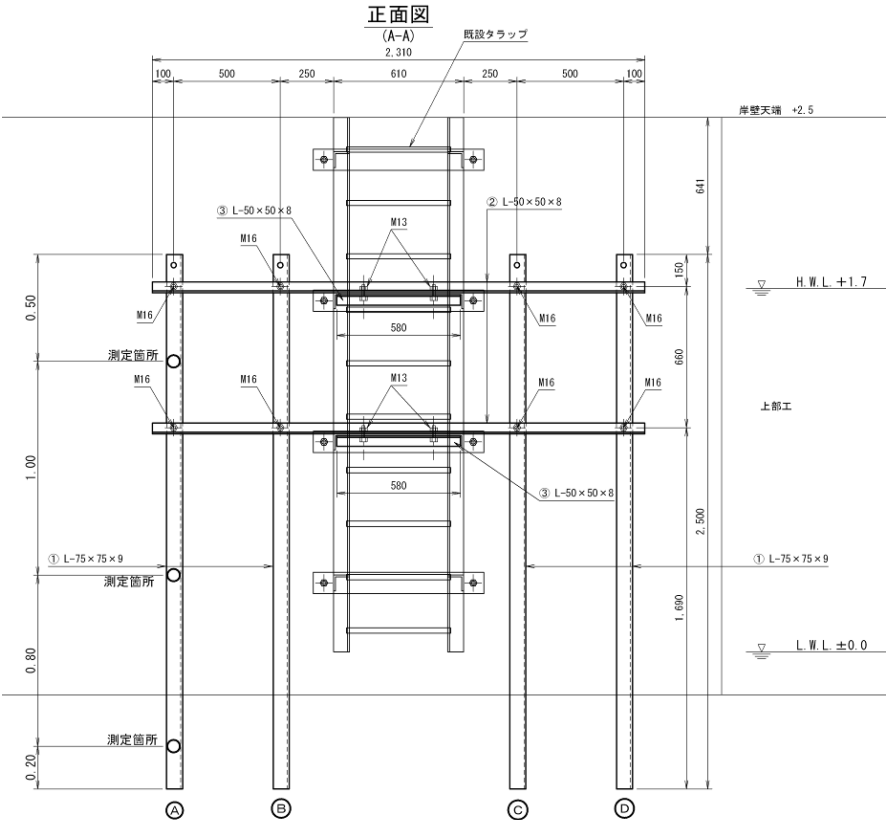
第 1 回 2009/04/23 苫小牧海岸地区に試験体設置

第 2 回 2010/06/09 第 1 回目 防汚皮膜曝露試験調査実施

第 3 回 2011/06/28 第 2 回目 防汚皮膜曝露試験調査実施及び追加曝露試験体の設置立会い

3. 試験体仕様

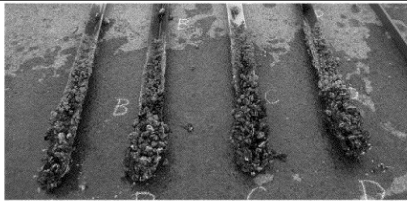
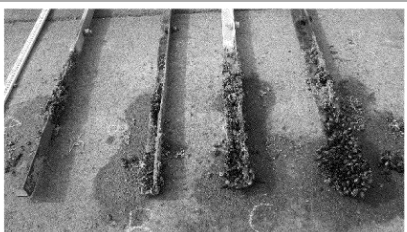
サイズ	試験体	被膜種類	封孔	膜厚(μm)	溶接ボルト	曝露機関
L-75×75×9×2500	A	Al-(5%)Mg	無	100~150	有	約3年2ヶ月 (2009/04/23設置)
	B	Al-(5%)Mg+Cu	無		有	
	C	Al-(5%)Mg	有		有	
	D	無処理	無	無	無処理	
L-75×75×9×2000	E	重防食塗装	—	300以上	無	約1年 (2011/6/28設置)
L-75×75×9×2000	F	Cu	—	300以上	無	



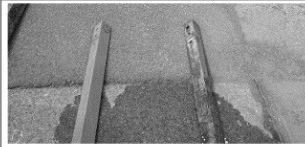
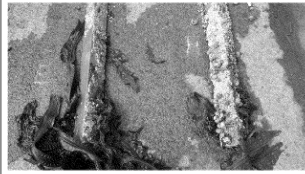
4. 現場調査結果

第1回～第3回の追跡調査における干満帯及び海中部、における写真及び状態は下記の通りである。

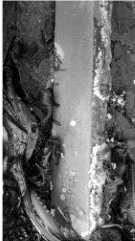
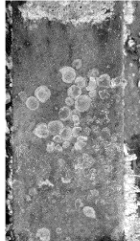
A～D 部干満帯および水中部写真

	<第1回追跡調査>
	<第2回追跡調査>
	<第3回追跡調査>
所見 2年目調査時よりも貝類の付着量が減少していたが、過去調査同様に防汚皮膜の効果は見受けられない。 特に試験体Aと試験体Bでの付着量が少ないが、これは2年目より追加設置されたE試験体に大量の海藻が発生しており、これが試験体A、B間に設置されていた事で、その海藻が波に漂いながら試験体Aや試験体Bに接触するなどして貝類の付着を妨げた、または、その接触により試験体表面の錆と共に剥離（落下）するなど貝類の固着を妨げた可能性がある。 貝類の除去に至っては、どの試験体も部材表面の浮いた錆、または劣化皮膜と共に剥がれ落ちる事で容易であった。	

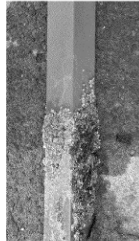
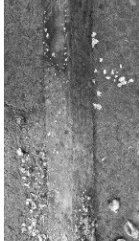
E～F 部干満帯および水中部写真

	<2011. 06. 28 試験体投入時>
	<2012. 06. 13 1年目調査 海上部>
	<2012. 06. 13 1年目調査 飛沫帯付近>
	<2012. 06. 13 1年目調査 海水中>
試験体E、試験体F共に貝類の付着は多く、防汚皮膜の効果は無かった。 特に期待されていた試験体Fでの銅イオンによる海洋生物の付着防止効果は1年経過後の調査では効果が見られず、数か月単位での効果の確認はできないが、長期効果を望む観点からは防汚皮膜としての効果は無い。 腐食状況に於いては、試験体Eでは塗膜の劣化や浮き、剥離も無く健全だったのに対して、試験体Fでは、1回目調査時の試験体Bと同様の腐食状況が確認された。	

E～F 部水中部拡大写真

E	F
	
	

E～F 部干満帯拡大写真

E	F
	

項目	種 類	内 容
目視確認	E) 重防食塗装	最下部に海藻が発生しており、その影響が貝類付着状況にみらがある。 貝の除去では、貝の付着成分が強固に固着していたが付着成分の周辺でも塗膜の劣化は見られず、健全な状況であった。
	F) Cu (塩化ビニル系)	貝類の付着成分が強固に固着していた。 海水中では、海上部のような腐食に至っておらず、顕著な浮き錆や剥離はなかった。 貝の除去後には、銅色に輝く皮膜が確認されるなど、第1回調査時の試験体B (Al-Mg-Cu) と類似した状況であった。試験体Bよりも膜厚が多い仕様である為、試験体Bと同様の傾向を示すか、今後の観測による。 銅単体の溶射皮膜という事で期待されていた、銅イオンによる海洋生物付着防止としての効果は見られなかった。 短期（月単位）での効果は定かではない。

項目	種 類	内 容
目視確認	E) 重防食塗装	貝成分の付着はあるが、除去は容易であった。 除去後の確認でも皮膜の浮きや剥離、発錆等の劣化は見られず健在であった。
	F) Cu (塩化ビニル系)	飛沫帯を境に上部では浮き錆やこぶ状の錆が発生しており、付着していた貝も錆や腐食皮膜と共にポロポロと剥がれ落ちやすい。 飛沫帯より下部では上部に比べて腐食の進行が少なく、赤錆があるもののこぶ状の浮き錆などは小さく少ない。 膜厚測定では、780μm～1mm以上の数値を示すなど、赤錆や皮膜の浮きなどが何えるなど、腐食が進行している。

(6) 溶射皮膜厚測定

第1回目追跡調査 (2010.06.09)

項目	種類	部 位	膜厚測定値 (μm)					平 均
			①	②	③	④	⑤	
皮膜厚さ測定	試験体 A) Al-5Mg (無封孔)	海面上	108	137	146	167	197	151
		飛沫帯	179	130	140	170	150	154
		海面下	96	186	190	196	68	147
	試験体 B) Al-5Mg+Cu (無封孔)	海面上	135	161	139	130	157	144
		飛沫帯	122	120	108	110	116	115
		海面下	151	161	146	159	155	154
	試験体 C) Al-5Mg (封孔処理)	海面上	215	229	139	206	265	211
		飛沫帯	171	193	126	140	145	155
		海面下	135	161	137	147	136	143

第2回目追跡調査 (2011.06.08)

項目	種類	部 位	膜厚測定値 (μm)					平 均
			①	②	③	④	⑤	
皮膜厚さ測定	試験体 A) Al-5Mg (無封孔)	海面上	227	176	177	197	195	189
		飛沫帯	132	160	149	151	148	149
		海面下	全面赤錆により測定不能					
	試験体 B) Al-5Mg+Cu (無封孔)	海面上	全面赤錆により測定不能					
		飛沫帯	全面赤錆により測定不能					
		海面下	全面赤錆により測定不能					
	試験体 C) Al-5Mg (封孔処理)	海面上	153	190	150	156	170	159
		飛沫帯	216	189	174	210	232	205
		海面下	全面赤錆により測定不能					

第3回目追跡調査 (2012.06.13)

項目	種類	部 位	膜厚測定値 (μm)					平 均
			①	②	③	④	⑤	
皮膜厚さ測定	試験体 A) Al-5Mg (無封孔)	海面上	184	187	201	196	184	190
		飛沫帯	380	372	413	399	387	390
		海面下	全面赤錆により測定不能					
	試験体 B) Al-5Mg+Cu (無封孔)	海面上	全面赤錆により測定不能					
		飛沫帯	全面赤錆により測定不能					
		海面下	116	61	220	357	270	205
	試験体 C) Al-5Mg (封孔処理)	海面上	157	199	182	179	183	180
		飛沫帯	171	178	191	169	159	174
		海面下	全面赤錆により測定不能					

暴露設置前

項目	種類	膜厚測定値 (μ m)						
		部位	測点				平均	
皮膜厚さ測定	E) 豊水設計仕様	海面上 (上端から 200mm)	300	304	306	280	301	301
		飛沫帯 (中央部)	396	368	377	383	380	380
		海面下 (下端から 200mm)	446	392	396	430	451	424
	F) C u (塩化ビニル)	海面上 (上端から 200mm)	410	435	435	405	393	416
		飛沫帯 (中央部)	457	499	434	500	469	475
		海面下 (下端から 200mm)	389	360	322	383	373	372

1 年目追跡調査

項目	種類	膜厚測定値 (μm)						
		部位	測点				平均	
皮膜厚さ測定	E) 豊水設計仕様	海面上 (上端から 200mm)	420	386	421	371	400	400
		飛沫帯 (中央部)	419	413	429	395	433	417
		海面下 (下端から 200mm)	434	411	421	404	419	417
	F) C u (塩化ビニル)	海面上 (上端から 200mm)	572	602	614	524	671	597
		飛沫帯 (中央部)	876	781	977	846	1085	913
		海面下 (下端から 200mm)	425	503	485	460	443	463

5. 調査まとめ

【防汚皮膜効果】

第1回追跡調査（設置後 1 年）から第 2 回追跡調査（設置後 2 年）に於いて、海洋生物の付着状況から試験体 A～D のすべてで、防汚皮膜としての効果は期待できないと判断した。

第 2 回追跡調査で追加投入された試験体 E（重防食塗装）、試験体 F（Cu 溶射）に於いても、海洋生物の付着が確認されたことから、防汚皮膜としての効果は乏しいと考える。

試験体 F（Cu 溶射）は、試験体 B（Al-5Mg+Cu 溶射）の第 1 回追跡調査と比較すると貝類の付着量は少ないのだが、同時期での暴露ではないことから防汚効果によ

る付着量の差としては判断し難い。

なお、期待されていた銅イオンによる長期海洋生物の付着防止効果は乏しいと判断するが、短期（月単位など）での効果の有無は判断できない。

【防食効果】

Al-5Mg 溶射皮膜では海上部での防食性が高く、Al-5Mg+Cu 溶射皮膜では第 2 回追跡調査時点までは海水中での腐食の進行が遅かった事など、溶射皮膜の種類による腐食の進行状況に違いがあった。

本暴露試験に投入された Al-5Mg 溶射試験体は 1 回目追跡調査時点ですでに飛沫帯および海水中では赤錆など腐食の進行が早かったが、この試験体は 100 μm 以上の仕様で製作されていた。

JIS 規格によると海上、または海岸で使用する製品に適応される Al-5Mg 溶射の最小皮膜厚さは、未塗装で 250 μm、塗装で 200 μm であることから、飛沫帯、海水中における本試験体の溶射皮膜厚さの不足から早期に皮膜の防食性能が低下した可能性もあると推測される。

追加投入された試験体 E（重防食塗装）だが、1 年目調査では、どの試験体も海水中では発錆が確認されたのに対し、塗装皮膜では劣化や発錆など確認されず遮断効果が維持され健全な状態であった。

Cu 溶射皮膜では試験体 B（Al-5Mg+Cu 溶射）の第 1 回追跡調査時と同様に海上部では激しいこぶ状の錆が発生し、海水中では発錆や銅色に輝く皮膜の混在が確認されたが、経年と共に腐食が進行するものと考えられる。

6. 結論

昨年度、防汚被膜として「銅」としての効果は薄いのは、生物に対する銅イオンの発生が少なすぎることが一因であると仮定し、「純銅」を溶射した試験体を追加したが防汚皮膜としての効果は得られなかった。

今後は水生生物が嫌う金属イオンの検索とともに、なぜ銅を溶射した試験体に防汚効果がなかったか、生物学的な視点からの研究も必要であることが判明した。

謝辞：本実験において試験体を設置した苫小牧港護岸は苫小牧港開発(株)より設置箇所を提供して頂いたものである。また被膜塗装および観測データ収集については(株)富士技建にご協力を頂いたものである。ここに記して謝意を表する。