油槽船タンクの防蝕について

正員 瀬 尾 正 雄*

Prevention of Corrosion in Cargo Oil Tank

By Masao Seo, Member

Abstract

The experiments of protection with magnesium anodes were carried out using three oil tankers. In these experiments, it was found that booster anode was necessary in cathodic protection. Thereafter we have studied the effect of booster anode in small experimental oil tanks. By use of booster anode the current requirements for achieving polarization become 70% as compared with non use of booster anode.

1. 緒 言

船舶は船体のあらゆる部分で海水と接しているため海水による腐蝕は多い。そのうち数字的に最も多いのはタンクの腐蝕であろう、船体外板は常に海水に接しているが優秀な塗料が使用され塗装も容易であるから一般には比較的良好な状態に保たれている。しかしタンクは海水との接触面積においては船底と大差ないが塗料は一般に悪く塗装は不完全で手入れも悪い、そのためしばしば激しい腐蝕を起すことがある。特にトリミングタンクとか油タンク等の腐蝕は多い。前者は電気防蝕と浮遊性防蝕剤の併用によつて容易で安価に防止出来る⁽¹⁾。後者についてはいろいろ研究されているが未解決である。油タンクといつても最も数が多く問題となるのは油槽船の Cargo Oil Tank である。筆者は数年前から造船研究協会第 27 部会と協力してタンクの防蝕実験を行つてきた。実験の結果はその機会毎に 27 部会または船舶談話会で、また一部は雑誌で発表した⁽²⁾。その結果の要約は次記実船実験の経過に示す通りであつて今後のタンク防蝕には電気防蝕に Booster Anode を使用する必要が認められたのでこれに対する基礎実験を行つた。

2. 実船実験の経過

(a) 実験船の要目

主として第 1 表の 3 船で実施した。

第 1 表 実験船タンクの要目と目的

船 名		あ ら び あ 丸	ぼ る ね お 丸	さ ん べ と ろ 丸	
実 験 タ ン ク No.		No. 5 P 及 び 5 S	No. 2 P 及 び 2 S	No. 3 C	No. 7 P 及 び 7 S
タ	大 き さ (m)	5.4×7×12	5.6×11×12.5	—	—
ン	容 量 (m³)	450	770	1430	700
ク	防 蝕 面 積 (m²)	590	830	1400	800
目 的	旧 船 の 場 合		新 造 船 の 場 合		
	(1) 電気防蝕の効果			(1) 水溶性防蝕剤の効果	
	(2) Mg 陽極と Zn 陽極の比較			(2) 電気防蝕との比較	

〔註〕 タンク内には管類等が多くあつて正確な防蝕面積を出せなかつたので大体の概算値である。

(b) 実験結果の概要

(1) 電気防蝕の効果、第 2 表要領で電気防蝕を行つた。防蝕したタンク内の電位を計測したところ第 3, 4 表の通り、またタンク内に取付けた試験片の腐蝕は第 5 表の通りであつた。

i) ぼるねお丸のように新造船でタンク内の状況が良く防蝕電流も多い場合(計画約 80 mA/m²)は防蝕電位

原稿受付. 7 月 13 日

* 運輸技術研究所

第2表 タンクの電気防蝕計画

船 名		あらびあ丸		ぼるねお丸	
タンク No.		No. 5 S	No. 5 P	No. 2 P	No. 2 S
陽極	種類	Zn	Mg	Zn	Mg
	型式	CPZ15FT	15 S	CPZ15FT	15 S
	1個の重量(kg)	16.5	6.5	16.5	6.5
	個数	38	20	59	22
	全重量(kg)	627	130	990	143
極	抵抗(Ω)	なし	0.1	なし	なし
	計				
面	発生電流量(Ah)	464,000	143,000	733,000	157,000
	防蝕電流(A)	26.2	40.0	40.7	66
	"(mA/m ²)	44.3	67.8	49	79.5
	使用期間(年)	2.0	0.47	2.0	0.31

第3表 Mg 陽極の量とタンクの電位

タンク番号	No. 5 P	No. 2 C	No. 2 S	No. 7 C
タンク大きさ	450 m ³	約 1000 m ³	771 m ³	1415 m ³
陽極種類	15 S	15 S	15 S	51 S+15 S
タンクの抵抗	0.1 Ω	0	0	0
" 数	20	24	22	16+5
バラスト日数	約 40 日	不 明	約 45 日	約 45 日
タ内底 ン電	底部	724	601	800
	1 m	671	640	750
	2 m	538	572	660
	3 m	453	480	590
ク位 (-mV)	4 m	—	438	540
備考	—	—	新造船	同 左

第4表 タンク内の電位 (Mg と Zn の比較)

(単位 -mV)

船 名	陽極種類	計測時期	計測位置 (タンク内深さ底より)						備 考
			0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	
あらびあ丸	Zn	取付け後	871	913	893	865	—	—	注 水 2 日目
		6 航海後	696	709	594	501	430	392	" 3 日目
	Mg	取付け後	881	874	778	734	—	—	" 2 日目
		6 航海後	724	671	538	453	403	287	" 3 日目
ぼるねお丸 (新造船)	Zn	取付け後	821	849	783	716	707	—	" 4 日目
		6 航海後	665	680	620	593	—	—	" 2 日目
	Mg	取付け後	782	791	745	713	697	—	" 4 日目
		6 航海後	800	840	765	720	—	—	" 2 日目

第5表 試験片の腐蝕減量

船 名		あらびあ丸				ぼるねお丸	
タンク No.		5 S (Zn)	5 P (Mg)	5 S (Zn)	5 P (Mg)	2 P (Zn)	2 S (Mg)
バラスト日数(日)		36	36	68	68	39	39
航海回数		6	6	10	10	6	6
試験片位置 (腐蝕量 g)	中段	41.287	35.066	—	—	19.95	19.79
	底部	3.930	3.994	15.998	18.147	{ 16.16 7.47	{ 8.96 9.35
	"(ブランク)	4.769	4.508	—	—	9.95	9.94
	底面に接触	—	—	7.617	30.759	—	—

より低く良好であるがその他の場合は電位が高く防蝕は充分でなかった。

ii) 電気防蝕による電位の低下は底面より 3~4m 程度でそれより上方はかなり電位が高い。そのため中段附近の試験片の腐蝕は著しく多い。

iii) Zn 陽極は Mg 陽極に比べ あらびあ丸 では大差なかったが ぼるねお丸 ではかなり電位が高かった。これは Zn 板の表面にかす状のものが附着し発生電流を妨害するからである。入渠毎にこれを除去することが望ましいが数が多いため実施は困難である。なお電位は高かったが防蝕にはかなり有効で試験片の腐蝕量も防蝕効果のない中段附近に比べるとかなり少なかった。

iv) 防蝕されていないタンクや電気防蝕の効いていないタンク上部の電位は極めて高いから鉄面の露出したような部分は当然激しいピッチングを受ける。

v) タンク底面は空の場合や油を積んだ場合にも少量の海水や水が溜り腐蝕する、この時は電気防蝕は作用しないから腐蝕は甚だしい。試験片中 5P タンクで底面接触としてあるものはこの場合の腐蝕で底から 2~3cm は腐蝕のため刃の先ようになっていた。5M タンクでは底面に Zn 板を付けてあつたため腐蝕は少なかった。

(2) 防蝕剤の効果、実験室における静止試験、プール上および船中における動揺試験と平行してさんべとろ丸で実船実験を行った。実船での防蝕要領は第6表の通りである。

i) 実験室における防蝕剤比較試験の結果は第7表の通りでかなり濃度が高くないと効果は少なかった。

ii) 試験装置をプール上に浮べたり実船に載せたりして動揺による影響を調査したが第8および9表の通りであまり影響はなかった。

iii) 装置を密閉して空気の流通を遮断した場合および防蝕剤の濃度を一定にして液量と防蝕面積の割合を変えた場合の防蝕に及ぼす影響は第10表および11表の通りで前者の影響はかなり大きかった。

iv) さんぺとろ丸におけるタンク内の状況は垂直面は良好であつたが底部にはかなり発錆があつた。また防蝕剤BがAより良好であつた。

v) タンク内に吊した試験片の腐蝕は第12表の通りで防蝕率は30~50%であつた。

第6表 防蝕剤の使用量

タンク種類		No.3 C (1500 t)	No.7 P (700 t)	No.7 S (700 t)
防蝕要領		Mg陽極 51 D 14 個	防蝕剤 A	防蝕剤 B
防蝕剤使用量 (kg)	43 航海	—	70(100)	70(100)
	44 "	—	22 (30)	22 (30)
	45 "	—	0	0
	46 "	—	22 (30)	22 (30)
	47 "	—	22 (30)	22 (30)
合 計		—	136 (40)	136 (40)

〔註〕 () 内は防蝕剤の濃度 p.p.m

第7表 防蝕剤A及びBの防蝕率

防蝕剤		7 日 間 の 腐 蝕 量		14 日 間 の 腐 蝕 量	
種 類	p.p.m	減 量 (g)	防 蝕 率 (%)	減 量 (g)	防 蝕 率 (%)
防蝕剤 A	100	0.0210	6.7	0.0397	19.5
	200	0.0096	57.3	0.0228	53.8
防蝕剤 B	50	0.0196	12.9	0.0479	2.8
	100	0.0178	20.9	0.0397	19.5
	200	0.0121	46.2	0.0341	30.8
	300	0.0057	74.7	0.0088	82.2
ヘキサメタ磷酸	100	0.0207	8.0	0.0443	10.0
"	200	0.0192	14.7	0.0384	22.1
ブ ラ ン ク	0	0.0225	0	0.0493	0

第8表 試験液を動揺させた場合の防蝕率

(14 日間)

試験回次	防蝕剤		腐蝕量		防蝕率 (%)
	種 類	p.p.m	減 量 (g)	単位当り (mg/cm ² day)	
1	A	25	0.0529	1.18	17.8
	"	50	0.0651	1.46	0
	"	100	0.0512	1.15	20.4
	"	200	0.0497	1.11	22.8
	"	300	0.0401	0.90	37.7
	な し	0	0.0649	1.44	—
2	A	100	0.0527	1.18	47.1
	な し	0	0.0988	2.20	—

第9表 実船上での防蝕率

試験回次	防蝕剤		腐蝕量		防蝕率 (%)	備 考
	種 類	p.p.m	減 量 (g)	単位当り (mg/cm ² day)		
1	A	100	0.2272	0.142	0	浸漬 50 日
	な し	0	0.2191	0.137	—	"
2	A	100	0.4236	0.311	7.0	浸漬 45 日
	"	200	0.3949	0.292	13.9	"
	B	100	0.3944	0.292	14.0	"
	な し	0	0.4581	0.34	—	"

第10表 装置を密閉した場合の防蝕率

(14 日間)

試験回次	防蝕剤		腐蝕量		防蝕率 (%)	備 考
	種 類	p.p.m	減 量 (g)	単位当り (mg/cm ² day)		
1	A	50	0.0164	0.0367	74.5	第8表と同じ条件 であるが密閉した
	"	100	0.0211	0.0472	67.2	
2	"	100	0.0477	0.1065	52.3	

第 11 表 試験液の量を変えた場合の腐蝕量 (14 日間)

防 蝕 剤 種 類	p. p. m	試験液量 (cc)	腐 蝕 量	
			減 量 (g)	単 位 当 量 (mg/cm ² day)
A	100	1,000	0.0538	0.1195
"	"	500	0.0533	0.1190
"	"	300	0.0478	0.1067
"	"	100	0.0398	0.0890
"	"	100/3	0.0270	0.0603
"	"	"	0.0309	0.0691
"	"	"	0.0213	0.0476

〔註〕 100/3 としたのは 100 cc 中に試験片 3 個吊した場合を示す。

第 12 表 タンク試験片の腐蝕量

試 験 片 位 置	腐 蝕 量 (g)		
	防蝕剤 A	防蝕剤 B	ブランク
タンク 上 部	6.83	3.81	7.43
" 中 部	4.84	4.16	7.59
" 底 部	4.75	4.45	8.72
平 均	5.47(31.0)	4.14(47.7)	7.91

〔註〕 パラスト期間は 87 日である
表中 () 内は防蝕率を示す (%)

3. 実 験

実船実験の結果タンクの防蝕に防蝕剤を使用することは有効ではあるがもう少し濃度を高くする必要がある上 1 回毎に捨てなければならぬので経済的に不利である。また電気防蝕は Anode の数が少いため発生電流が過少となり電位が高すぎるものが多い、しかし電気防蝕の初期に Booster Anode⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾を使用すると防蝕電流は著しく節減されるといわれているのでその効果の程度を確認するため基礎実験を行った。

(a) 実験要領 被防蝕面積 0.6m² のタンク 4 個に第 13 表要領に防蝕し、タンクの電位、防蝕電流等を計測して Booster Anode による Coating の影響を調査した。

(b) 実験成績

(1) A_M , B_M タンクの場合

i) A_M タンクに長さ 20cm の Galvo-line を使用して 3 日間電流を流した結果約 140g/m² の Coating が附着した。その場合の Galvo-line の減量および発生電流は第 14 表の通りで陰極面積 1m² 当り約 0.6A の電流密度で 43Ah/m² の電解被覆を行つたことになる。

ii) Coating した A_M タンクと酸洗いたままの B_M タンクに Mg 陽極を取付けて 14 日間合成海水を

第 13 表 防 蝕 方 法

タンク種類	Boosting Anode 種類	Main Anode 種類
A_M	Galvo-line	Mg 合金
B_M	使用せず	"
A_Z	Galvo-rod	Zn
B_Z	使用せず	"

第 14 表 Galvo-line の発生電気量

重 量 (gr)	試 驗	77.27
	前後	57.67
	減 量	19.6
発 生 電 氣 量 (Ah)	理 論 値 計 測 値	43.1
		25.8(43Ah/m ²)
電 流 効 率 (%)		59.9

第 15 表 A_M , B_M タンクの電流電位の変化状況

試験回次		2				試験回次		6			
		A_M		B_M				A_M		B_M	
タンク種類		電位 (-mV)	電流 (mA)	電位 (-mV)	電流 (mA)	タンク種類		電位 (-mV)	電流 (mA)	電位 (-mV)	電流 (mA)
計測月日						計測月日					
2-18	14.00	760	14.5	700	18.8	5-23	11.25	—	4.06	—	3.26
	16.00	810	15.45	760	20.3		11.30	800	10.13	550	9.14
2-19	10.00	930	15.7	885	21.0		12.00	—	13.2	—	13.72
	13.50	937	18.35	835	23.7		13.30	—	15.21	—	21.3
	16.00	940	15.45	860	23.2		14.00	1095	—	850	—
	2-20	15.00	1030	18.85	920		20.8	16.00	1120	16.23	895
2-21	15.00	1010	—	930	20.3	5-24	15.30	1130	17.25	1000	22.9
2-22	16.00	1060	13.0	940	19.8		5-25	11.00	1160	15.72	1018
2-23	11.00	1060	11.6	940	19.3	5-27	14.30	1140	14.2	1010	20.3
2-25	16.00	1015	11.6	950	18.4		5-30	15.00	1220	13.2	1065
2-26	12.00	1025	11.6	960	18.4	6-1	10.00	1210	12.7	1065	18.8
2-27	16.00	1020	11.1	960	18.4		6-3	11.15	1165	12.18	1015
3-1	16.00	1125	10.6	975	17.4	6-4	11.30	1220	12.18	1025	20.3
3-2	10.00	1125	9.95	1000	17.4		6-5	11.00	1225	12.18	1040
3-4	12.00	1120	10.6	1000	18.4	6-6	15.00	1230	10.13	1020	18.25

第 16 表 A_M , B_M タンクの状況

項 目	タンク種類	平均電位 (-mV)		平均電流 (mA)		Mg 減 量 (g)		電流効率(%)		陰極表面電流密度 (mA/m ²)	
		A_M	B_M	A_M	B_M	A_M	B_M	A_M	B_M	A_M	B_M
試験回数	1	1027	863	19.3	26.8	4.32	6.23	67.8	65.5	32.2	44.7
	2	1015	923	13.5	19.1	5.07 (9.39)	7.75 (13.98)	74.8	59.2	22.5	33.0
	3	1039	1037	11.1	14.1					19.2	23.7
	4	1140	1087	11.6	20.0	2.89 (12.28)	4.45 (18.43)	61.0	68.3	19.3	33.7
	5	1143	990	14.9	21.2	3.12 (15.4)	5.28 (23.71)	72.2	61.2	24.8	35.3
	6	1170	1000	13.3	19.8	3.04 (18.44)	5.28 (28.99)	66.5	56.7	22.2	33.0
	7	1230	998	9.5	21.7	2.25 (20.69)	5.02 (34.0)	63.9	65.7	15.9	36.1
平均		1109	985	13.3	20.4	2.96	4.86	67.7	62.8	22.3	37.1

入れ7日間原油および空とした。この操作を繰返してタンクの電位、防蝕電流等を計測した。第 15 表は A_M および B_M タンクの電流、電位の変化状況である。第 16 表および第 1 図には平均電位、平均電流、Mg の減量、陰極面の電流密度等を示してある。すなわち A_M タンクは電位が低いに拘らず所要防蝕電流密度および陽極の減量が約 40% 少い。

(2) A_Z , B_Z タンクの場合

i) A_Z タンクに長さ 15cm (径 2.2cm) の Galvo-Rod を使用して 3 日間電流を流したところ 244 g/m² の Coating が附着した、その場合 Galvo-Rod の減量および発生電流は第 17 表の通りで陰極面積に対し約 0.98 A/m² で 71 Ah/m² の電解被覆を行つたことになる。

ii) Coating した A_Z タンクと酸洗いのままの B_Z タンクに Zn 陽極を取付けて A_M , B_M タンクと同様の試験を行つた。第 18 表は A_Z および B_Z タンクの電位、電流の変化状況である。第 19 表は各試験回次の平均電位および電流であつて電位は大差ないが防蝕電流は Coating した A_Z タンクが B_Z タンクに比べ 24% 少い。

第 17 表 Galvo-rod の発生電気量

電 量 (g)	試験前	91.987
	試験後	58.095
	減 量	33.892
発生電気量 (Ah)	理論値	74.56
	計測値	43.54
電 流 効 率 (%)		58.3

第 18 表 A_Z , B_Z タンクの電流電位の変化状況

試験回次					3		試験回次					6										
タンク種類					A_Z		B_Z		タンク種類					A_Z		B_Z						
計測月日					電位 (-mV)	電流 (mA)	電位 (-mV)	電流 (mA)	計測月日					電位 (-mV)	電流 (mA)	電位 (-mV)	電流 (mA)					
4-16					14.15	—	68	—	110	6-25					10.30	670	53	610	57			
					14.20	—	51	—	88						10.40	770	34	640	40			
					14.25	805	—	750	—						11.00	745	32	645	35			
					14.30	—	44	—	79						11.30	765	30	660	33			
					14.45	820	42	800	71						14.00	790	26	660	33			
					15.15	860	37	820	64						16.30	790	26	670	33			
					16.15	880	33	855	55	6-26					13.30	830	20	730	22			
4-17					9.45	940	18	930	26	6-28					14.20	880	12	805	13			
					14.00	945	14	935	24	6-29					11.00	900	10	825	10			
					16.30	945	14	935	19	7-1					10.10	920	6.6	845	10			
4-18					14.00	940	13.2	950	17.6	7-2					15.00	915	8.8	820	11			
4-20					10.00	950	9.9	960	13.2	7-5					11.30	910	9.0	835	11			
4-22					13.30	932	7.9	960	9.1	7-9					14.00	900	9.9	830	13			
4-23					16.00	970	6.6	965	8.8													
4-25					11.30	970	6.6	965	7.9													
4-26					14.30	975	6.6	970	8.8													
4-27					10.30	965	6.8	945	9.9													
4-30					15.30	955	6.8	945	8.5													

4. 結 語

(a) Booster Anode を使用する場合の所要電流は 0.6 A/m² の電流密度で 43 Ah 程度実施したが充分有効であつた。これは文献⁽⁶⁾の数字よりかなり少いが三井造船所⁽⁷⁾での実験値とは略一致している。

(b) Booster Anode の使用により Main Anode は約 30% 節減しえた。

第1図 A_Z および B_Z タンク平均電流および電位の変化状況第19表 A_Z , B_Z タンクの平均電流および電位

項	日	平均電位 (-mV)		平均電流 (mA)	
		A_Z	B_Z	A_Z	B_Z
試験回次	1	963	970	43.9	50.0
	2	956	959	13.1	18.6
	3	947	940	12.1	17.8
	4	944	931	13.7	15.5
	5	914	848	12.7	16.7
平均		945	930	19.1	23.7

第20表 タンク防蝕の経費

タンク種類		A	B	C	D
B. A 使用の有無		有	有	無	無
所要防蝕電流 (A)		100	100	150	150
陽極	15 S	35	0	50	0
	60 S	0	18	0	25
耐用年数 (年)		1	2	1	2
所要経費 (万円)	B. A	10	10	0	0
	15 S	32	0	45	0
	60 S	0	45	0	63
合計		42	55	45	63
2 年 目		32	0	45	0
2 年 間 合 計		74	55	90	63

〔註〕 B. A は Booster Anode である。

(c) タンクの防蝕を有効かつ経済的に実施するには Booster Anode を使用し Main Anode に大型のものを使用することであろう。本実験のように 30% 電流を節減しうるとすれば Booster Anode 使用の有無及び小型(15S)と大型(60S)の Main Anode を使用した場合の経済比較を行うと第20表の通りとなる。

文 献

- (1) 運研 船機, 第1089号
- (2) 船の科学 Vol.10 No.7
- (3) Corrosion Technology Aug. 1956.
- (4) The Shipbuilder and Marine Engine builder Jan 1957.
- (5) National Association of Corrosion Engineers, St. Louis, Mo., April 4-7 1950
- (6) Corrosion 4. No.7 1948.
- (7) 防蝕技術, 第5巻 第5号, 第6巻 第1号