思われるので、2通りの整理法を示した。電子回折法は軟鋼板の表面から剝離した粉末が果して軟鋼板表面の防食被膜であるか、単なるモルタルの付着物であるか区別できない。このため確定的な結果を得ることはできなかった。モルタル中の防食被膜は軟鋼板表面に生成する Fe_3O_4 の結晶格子と面間隔の等しいものが重なって、いわゆる Epitaxy によって発達するべきものであるが確認できなかった。

結局防食被膜は CaCO_3 を含んだ化合物で水分の存在する方が発達しやすく、塩化物の存在は鉄面上の Fe_3O_4 の発達を阻害しセメント防食被膜の形成を遅らせるものという以外の知見を得ることはできなかった。

5. 考 察

コンクリートやモルタル中の鉄筋の防食はセメント中の水酸化カルシウムのアルカリ性による防食、コンクリートが厚いため通気性が減少することのみでなく、鉄筋の表面に緻密なセメント防食被膜が形成されるためと思われる。この防食被膜を電子回折からは明らかにできなかったが、他の実験から³⁾、炭酸カルシウムを含む錯化合物で、水分が存在する方が膜が発達しやすく、塩素

イオンの存在は膜の発達を著しく阻害する。防食被膜が鉄の面と緻密に結合するのは、この被膜は鉄あるいは Fe_3O_4 の結晶と、お互いに面間隔の等しい格子面が接触するように結晶が成長する(epitaxy)ためと考えられるが、この証明はまだできていない。塩化カルシウムを少量添加しても鉄筋に対する害が比較的少ないのは、セメントの組成と結合する(たとえば $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$)ためといわれるが、この化合物が水洗した後、X線回折で見出せなかったことから比較的水に溶けやすいが、イオンに解離しにくく、しかし電圧をかけると容易に解離するので電食に弱いものとなる、といった性質のものであることが推量される。

(昭和37年11月5日受理)

文 献

- 1) 栗屋 裕: 本誌, 11, No. 10, 433 (1962)
- 2) 栗屋 裕: 本誌, 11, No. 12, 533 (1962)
- 3) 福田. 栗屋: セメント技術年報, 10, 188 (1956)
- 4) H. Kaesch: *Zement-Kalk-Gips*, 12, 239 (1959)
- 5) A. Bäuml: *ibid*, 12, 294 (1959)
- 6) A. Bäuml & H. Engell: *Arch. Eisenhüttenwes.*, 30, 417 (1959)
- 7) 三好, 福田, 栗屋, 田村: 本誌, 7, 223 (1958)

原料輸送用地下配管の防食について*

井 上 泰 彦**

Corrosion Protection of Underground Hydrocarbon Lines

Yasuhiko Inoue

In 1959 Yokkaichi Plant of Japan Synthetic Rubber Co., Ltd. laid a total of 35,250 m of hydrocarbon gas lines for butadiene production, from its 3 combine plants and the wharf, the maximum distance being 5,070 m. These pipe lines (2", 3", 6") were coated with asphalt enamel and thin glass cloth, tested afterwards by Holiday detector at 10,000 V, and protected by 297 pieces of Mg anode. As an electric railroad is running near by, and crossing at 3 points, the pipe lines were equipped with drainage equipment.

Corrosion test specimens, made from the same pipe, which were coated identically or uncoated partially, were either connected or disconnected as control to the pipe lines. 144 pieces of such specimens, laid at 2 selected line terminals, were scheduled to be dug up for checking 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 16 and 20 years after being laid.

2 years' record of the specimens and pipe to soil potential measurement all over the lines and gas analysis at 148 testing holes showed good corrosion protection of these pipe lines.

ま え が き

日本合成ゴム株式会社が四日市にスチレンブタジエン合成ゴム工場を建設するに当って、スチレンは三菱油化

四日市工場から供給を受け、かつ、ブタジエン供給としては当時大量供給先がなく、自力製造するとして、その原料となる液化炭化水素が多量に供給可能な立地として四日市を選んだのである。すなわち昭和四日市石油の FCC, TG および大協石油の HF, TG 油化の SC 等

* 昭和37年10月26日 学振防蝕防止第97委員会会議にて発表

** 日本合成ゴム(株)四日市工場(四日市市川尻町100)

少なくとも原料ガスの 70% が確保されること
と他の供給地岩国および新居浜からの輸送をも
って十分補い得るからであった。

これら炭化水素ガスは圧縮液化してパイプ輸
送することが輸送費の節減上必要であったの
で、四日市市内については供給元から地下配管
で輸送し、他地区からのガスはタンカー船で岸
壁まで届け以後同様方法によることにした。

夏場の温度上昇や火災による圧力上昇のほ
か、市街地としては敷設上の問題、漏洩火災の
危険、交通諸障害のため地下配管採用に決定し
た。地下配管として市街地を埋設する上におい
ては種々の問題点があり、通産省においても計
画、工事、管理、検査ともに斯界の権威である
日本学術振興会および電気学会電食防止、埋設
鉄管防食小委員会等にはかるよう要求された。
よって日本学術振興会にはかってその腐蝕防止
第 97 委員会から昭和 34 年秋に答申を受けこの
線に添って電食対策は日本防蝕工業株式会社の
実地調査、立案および実施、塗覆装ならびに配
管は千代田化工建設株式会社の慎重な工事が進
められた。

これから述べる所はこれら各位の絶大なるご
援助ご協力の賜であり、その成果は十分あがっ
ている。この機会に厚く感謝の意を表するもの
である。

1. 配 管 計 画

四日市市場と関係他社との配管計画は表 1 の通りであ
る。図 1 はその概略位置を示す。

図 1 日本合成ゴム四日市工場構外輸送管一般平面図

2. 防 食 計 画

2.1 地下状況測定

表 1 配管計画

線	名	昭 石 線			大 協 線			油 化 線		岩 壁 線		備 考	
経 路		昭石→JSR	JSR→昭石		大協→JSR	JSR→大協		油化→JSR	JSR→油化	岩壁→JSR	JSR→岩壁		
ガ ス	F.C.C	T.G	R.G	H.F	T.G	R.G	S.C	STY	R.G	S.C	R.G		
蒸 気 (kg/cm ²)	圧	(20°C) 2.7	(20°C) 5.5	(100°F) 5.3	(20°C) 2.7	(20°C) 2.5	(100°F) 5.3	(20°C) 2.5	(20°C) 0.006	(100°F) 5.3	(20°C) 2.4	(100°F) 5.3	
管 径		3"	3"	3"	3"	3"	3"	3"	2"	6"	6"		
管 材 料		STP 38 Sch 40			STP 38 Sch 40			STP 38 Sch 40		STP 38 Sch 40			
速 度 (m/sec)		1.26	0.99	1.21	1.01	1.15	0.93	0.745	0.695	0.405	1.96	1.96	
圧 力 降 下 (kg/cm ²)		3.4	2.0	3.0	5.2	6.8	4.6	1.3	2.0	0.66	7.3	7.3	
最 低 圧 力 (kg/cm ²)		7.3	8.7	9.5	9.1	10.5	11.1	5.0	3.206	7.16	10.9	13.1	
設 計 圧 力 (kg/cm ²)		(20) 15	(20) 13	(10) 20	(15) 14	(15) 16	(10) 17	(8) 8	(8) 5	(10) 11	(9) 17	(12) 20	() 内数字は現状ボン プ圧力を示す
ガ ス 温 度 (°C)		常 温			常 温			常 温		常 温			
管 全 長 (m)		2,190×3=6,570			5,070×3=15,210			1,890×2=3,780		1,890	3,900×2=7,800		計 35,250 m
管 表 面 積 (m ²)		1,860			4,250			1,060		360	4,100		
(現状) ポンプ仕様 容 量×揚 程 (m ³ /hr)(m)		44.6×292.6		45.5 ×114	18.5×310 21.4×210		45.5 ×114	20×75.7		45.5 ×114	120 ×90	68.5 ×160	
流 量 (正常) (m ³ /hr)		35	35	12~15	20~15	20~15	9~10	6~8	6~8	7~10	120	120	

工事に先立って昭和 34 年 5 月現地測定を行なった。

2.1.1 埋設予定路線大地比抵抗測定結果

コリンズ大地比抵抗測定器による大地比抵抗測定結果によると最高 75 kΩ・cm より最低 100 Ω・cm というきわめて低いところがあり、隣接する土質の著しい相違は管の表面にマクロ電池を生じ易いと判断された。また大地比抵抗が 5,000 Ω・cm 以下の所では一般に土壤の腐食性は大きく相当激しく腐食されることが予想された(表 2 参照)。また L-10 型大地比抵抗計測定器によっても同様の結果を得た。

表 2 土壤比抵抗と腐食との関係

	土 壤 比 抵 抗	腐 食 状 況
1	0～ 900 Ω・cm	非常に激しい腐食を起こす
2	900～ 2,300	激しく腐食する
3	2,300～ 5,000	中位に腐食する
4	5,000～10,000	緩慢に腐食する
5	10,000～以上	非常に緩慢に腐食する

(注) F.O. Waters: "Soil Resistivity Measurements for Corrosion Control", *Corrosion*, 8, 407 (1952)

2.1.2 軌条対地電位および電流方向の測定結果

埋設予定管路は近鉄名古屋線と大部分が平行し(最遠点 700 m)、3 ヵ所において交叉し、この 3 ヵ所において測定を行なった結果(表 3 参照)によると軌条より大地への流出の⊕最大値はいずれも 10 V をこえているが、⊖最大値⊖平均値は測定点 No. 1 の方向に大きくなっており、電流方向は 3 ヵ所の測定とも⊕の方向すなわち塩浜より四日市の方に流れていることを示す(表 4 参照)。

表 3 軌条電位測定結果

測定点	⊕最大値(V)	⊖最大値(V)	⊕平均値(V)	⊖平均値(V)	⊕指示率(%)	⊖指示率(%)	備 考
1	10以上	8.6	1.6	2.0	32.5	63.5	雨池川ガード横
2	10以上	6.8	3.8	1.6	50.0	45.0	油化線切
3	10以上	6.0	1.0	1.7	35.5	61.5	昭石線ガード横

(計器極性軌条⊕大地⊖)

表 4 軌条電流方向測定結果

測定点	⊕最大値(mV)	⊖最大値(mV)	⊕平均値(mV)	⊖平均値(mV)	⊕指示率(%)	⊖指示率(%)	備 考
1	60	20	16	1以下	93	4	雨池川ガード横
2	34	30	10	1	78	12	油化線切
3	36	8	5	2	31	29.5	昭石線ガード横

以上の結果より四日市に近い方に電流が流れ、軌道電位指示率より四日市に近い方で軌条に電流が流入しているものと判断した。すなわち埋設送管路の測定点 No. 1 (雨池川ガード横)付近において電流が流出し、電食の危険が考えられるので、この電食発生の危険を防止するため測定点 No. 1 付近において仮排流試験を行なった上、その容量を決めて排流器を設置することとした。

2.1.3 採取土壌および河水、留水の pH 比抵抗測定結果

pH および比抵抗の測定結果によると著しい腐食性を持つ pH 5 以下の所が 1 ヵ所あったが、これは他社の廃液による局部的なものと考えられる。その他の地点においては pH 6.0～7.8 位であり、ほぼ中性と考えられ特に腐食性であるとはいえない。

2.2 塗 覆 装

2.2.1 適当な塗覆装

鉄管が埋設される地域は臨海地帯のため土壤は塩分が多くかつ部分的には塩水の害を受けると考えられるので、鋼管の外表面は当然高度の塗覆装を必要とする。従って米国の A. W. W. A. 規格(または電食防止研究委員会鉄管塗覆装分科会において成案を得た地下埋設用鋼管塗覆装基準案)に準拠しアスファルトプライマー、ブロンアスファルト 3 mm、0.14 mm、ガラスクロス、ブロンアスファルト 3 mm 塗覆とし、乾燥仕上げ厚さ 3 mm 以上とした。

2.2.2 塗覆装の検査方法

埋設直前に塗装部全面にわたりホリデーデテクターにより 10,000 V 電圧でスパークテストを実施することとした。

2.3 電気防食

全線に塗覆装したが、配管が市街地を通過するため、不慮の災害を与えることを極度に警戒して機械的外傷による塗覆装の破損、迷走電流による電食等を考慮し、電気防食法(流電陽極方式および排流法)を併用した。

2.3.1 ターミナル取付およびボンド工事

ターミナル取付は昭石線、大協線、岸壁線、油化線については約 100 m 間隔にまた配管が数多く平行している大井の川より JSR に至るターミナルは約 50 m に 1 本の割りで取り付けを行なった。また平行する原料輸送管の対地電位を均一化するための各相互間のボンドは各原料輸送管路の始点、終点および 2 輸送管路の会合点、その他の地点については約 500 m 間隔に取り付け 22 mm² の電線にて結線を行ない、その一端より 3.5 mm² の電気防食用電線を立上げターミナル線とした。設置個数は表 5 に示す通りである。

表 5 ターミナル取付およびボンド工事、ターミナルボックス取付数

		ターミナル 取付	ボンド取付 および ターミナル	ターミナル ボックス
1	J S R～昭石	21	6	27
2	J S R～油化	18	2	20
3	油化会合点～油化	5	2	7
4	油化会合点～大井の川	23	3	26
5	大井橋～三菱橋	11	2	13
6	大井橋～大協石油	18	5	23
計		96	20	116

2-3-2 絶縁接手取付工事

他の地下埋設物の影響を極力避けるため絶縁接手を各原料輸送管路の始点および終点に設けた。その総数を表6に示す。

表 6 絶縁接手数

管 径	圧 力 (type)	組 数
2"φ	300/b	2
3	150	10
3	300	6
6	150	2
6	300	2
計		22

2-3-3 仮排流試験

本原料配管は路線の途中で3ヵ所にわたって近鉄と交叉しており、当然本配管中に近鉄よりの漏洩電流が流入していると考えられるので無排流時対地電位測定を行なった結果昭和石油より、雨池川、油化線会合点の付近までにわたって大幅の電位変動が見られたがこれは明らかに近鉄よりの迷走電流による影響を示すものである。近鉄の了承の下に最も四日市寄りの交叉付近にて原料輸送管より排流線を引き出し排流器を通し近鉄海山道第2踏切近所のインピーダンスボンドに対して排流線の接続を行ない仮排流テストを実施した結果平均-800~-1,500 mV 位までの電位を示し良好な排流効果が得られた。

また、仮排流時の排流電流測定の結果は最大値 63 A 平均値 20 A で、午後11時から午前4時45分頃までは0Aであった。

2-3-4 Mg 陽極埋設工事

Mg 埋設は仮排流後の管対地電位の測定結果から判断して配管経路全般にわたり表7に示す数量をほぼ平均に埋設することとした。

表 7 Mg 埋設数

	17D型 Mg 陽 極	17D 埋 設 個 所 数	5/ 型 Mg 陽 極	5/ 型 埋 設 個 所 数	備 考
1 JSR~昭 石	11	3	40	6	17D および 5/ 混用が2個あり
2 JSR~油 化	—	—	64	8	
3 油化会合点 ~油 化	—	—	16	2	
4 油化会合点 ~大井の川橋	7	2	88	11	
5 大井の川橋 ~三菱 機 橋	12	4	—	—	
6 大井の川橋 ~大協石油	19	6	40	7	
計	49	15	248	34	

2-3-5 ガルボライン挿入埋設工事

原料配管が鋼管スリーブ管またはヒューム管にて機械的に外部より保護されている個所においてはスリーブ管内外の対地電位差が生じ電食の危険を生ずるおそれがあるのでスリーブ管内にガルボラインを挿入し電気的に原料輸送管に接続した (図2参照)。

図 2 ガルボライン挿入工事の一例

本施工箇所は全配管に15箇所、合計52本、延長808 mに及ぶ。

2-3-6 本排流工事

仮排流試験の結果により近鉄軌条に対して輸送管と電鉄軌条とを排流器をもって電気的に接続し輸送管から大地に流出する電流を一括して電鉄インピーダンスボンドに帰流せしめるものである。昭和35年1月15日より近鉄立合の下に工事を行ない2月初旬より本排流器を設置し本排流を開始した。本排流器は150 A 型継電式選択排流器を使用している。

2-4 防食点検計画

保安検査が困難であるので、別途に防食状況を検査することとした。

2-4-1 試験片試験計画

(a) 試験場所

日本合成ゴム東門入口付近構内
岸壁線末端バルブ付近 (海水の影響を受け、悪条件地域)

(b) 試験期間

試験片埋設後1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 16, 20年ごとに合計9回にわたり掘出し試験する。

(c) 使用試験片の形状

材質: 配管と同質、すなわち住友金属製 STP-38
Sch 40 2 B 鋼管使用
構造: 試験鋼管の両端を鋼板をもって溶接封口し、一端にリード線を取り付けたもの。

覆装: 配管と同塗装をなし、そのうち半数は鋼管中央部50 mm幅にて塗装をはがし裸面となし、通電、不通電とに分ける。

(d) 数 量 表8に示す。

(e) 埋設要領 図3に示す。

2-4-2 ガス漏洩検知法

原料輸送導管50~60 m 間隔に大協線83個、油化線11個、昭石線34個、岸壁線20個、計148個のガス漏洩検知孔を設置し巡回検知することにした (図4参照)。

表 10 1 年目計測結果

場所	試験片 No.	被覆状況	通電または不通電	埋設状況	被覆状況	外面検査	計 量 値			ビッティング最大深さ (mm)	侵食度 (mm/yr)	腐食量 (g/m ² /yr)	防食率 (%)	備考
							埋設時 (g)	2 年後 (g)	差 (g)					
構内	1	全面	通電	良	正常	不変	745.900	745.727	0.173	—	0.00085	6.567	—	
	2	全面	否	良	正常	不変	733.580	733.426	0.154	—	0.00075	5.846		
	3	全面	通電	良	正常	不変	762.320	762.114	0.206	—	0.0010	7.820		
	4	全面	否	良	正常	不変	761.710	761.495	0.215	—	0.0010	8.161		
	5	50 mm 裸面	通電	良	正常	不変	755.380	754.695	0.685	—	0.0094	72.103	82.9	
	6	50 mm 裸面	否	良	正常	裸面全面的にビッティング	763.025	759.919	3.106	0.3	0.040	326.937		
	7	50 mm 裸面	通電	良	正常	不変	763.170	762.535	0.635	—	0.008	66.840	82.4	
	8	50 mm 裸面	否	良	正常	裸面全面的にビッティング	758.530	755.505	3.025	0.3	0.04	318.411		
計							6,043.615	6,035.416	8.199					
岸壁	73	全面	通電	良	正常	不変	743.940	743.796	0.144	—	0.0007	5.466	61.4	
	74	全面	否	良	正常	不変	764.340	763.967	0.373	—	0.0018	14.159		
	75	全面	通電	良	正常	不変	748.960	748.497	0.463	—	0.0023	17.575	—	
	76	全面	否	良	正常	不変	752.650	752.334	0.316	—	0.0016	11.995		
	77	50 mm 裸面	通電	良	正常	不変	738.650	738.275	0.375	—	0.005	39.472	84.6	
	78	50 mm 裸面	否	良	正常	裸面全面的にビッティング	768.235	765.818	2.417	0.5	0.033	254.413		
	79	50 mm 裸面	通電	良	正常	不変	745.015	744.580	0.435	—	0.005	45.788	86.7	
	80	50 mm 裸面	否	良	一部被覆脱落	裸面全面的にビッティング	745.390	742.118	3.272	0.7	0.045	344.410		
計							6,007.180	5,999.385	7.795					

表 11 2 年目計測結果

場所	試験片 No.	被覆状況	通電または不通電	埋設状況	被覆状況	外面検査	計 量 値			ビッティング最大深さ (mm)	侵食度 (mm/yr)	腐食量 (g/m ² /yr)	防食率 (%)	備考
							埋設時 (g)	2 年後 (g)	差 (g)					
構内	9	全面	通電	良	凹変凸形	不変	763.240	762.595	0.645	—	0.0016	12.24	—	
	10	全面	否	良	凹変凸形	不変	763.930	763.438	0.492	—	0.0012	9.33		
	11	全面	通電	良	凹変凸形	不変	740.610	739.747	0.863	—	0.002	16.36		
	12	全面	否	良	凹変凸形	不変	748.930	748.047	0.883	—	0.002	18.86		
	13	50 mm 裸面	通電	良	正常	裸面一部ビッティング	758.640	756.771	1.869	0.2	0.0013	98.36	63.0	
	14	50 mm 裸面	否	良	正常	裸面全面ビッティング	749.640	744.603	5.037	0.4	0.035	256.10		
	15	50 mm 裸面	通電	良	被覆一部脱落	裸面一部ビッティング	737.385	735.707	1.678	0.2	0.0011	88.31	70.7	
	16	50 mm 裸面	否	良	正常	裸面全面ビッティング	758.545	752.838	5.707	0.7	0.039	300.36		
計							6,020.920	6,003.746	17.174	—				
岸壁	81	全面	通電	良	正常	不変	740.560	740.120	0.440	—	0.001	8.35	39.7	
	82	全面	否	良	正常	1 ビッティング点	776.735	776.005	0.730	0.5	0.0018	13.86		
	83	全面	通電	不良横	正常	不変	761.070	760.177	0.893	—	0.0022	16.94	—	
	84	全面	否	不良横	正常	不変	751.670	750.989	0.681	—	0.0017	12.92		
	85	50 mm 裸面	通電	良	正常	裸面一部ビッティング	762.090	760.898	1.192	0.6	0.008	62.74	84.0	
	86	50 mm 裸面	否	良	正常	裸面全面ビッティング	764.120	756.670	7.450	1.1	0.050	392.09		
	87	50 mm 裸面	通電	良	正常	裸面一部ビッティング	762.855	761.723	1.132	0.6	0.0075	59.57	82.1	
	88	50 mm 裸面	否	良	正常	裸面全面ビッティング	769.595	763.267	6.328	0.8	0.043	333.04		
計														

検査および排流電流の測定を行なった結果 最大 60 A
以上, 平均 10 A 程度で排流結果は良好であった。

3・4 実配管掘起し検査

市の地下排水管工事が施工されたので次のように一部

図 7 ガス輸送管対地電位測定図 (その 1)

表 12 Mg 陽極による防食結果

線名	ターミナル No.	Mg 陽極 埋設前 (-mV)	Mg 陽極 埋設後 (-mV)	備 考
大 協 線	T-1	640	740	ほとんど無排 流に近い 深夜計測値 () 内数字は Mg 陽極追 加後の改善値
	5	670	(820) 710	
	10	690	790	
	15	690	(900) 800	
	21	690	(900) 830	
	23	690	(1,500) 820	
	28	700	(1,500) 850	
	33	750	900	
	36	750	900	
	43	750	890	
	47	750	900	
	50	750	860	
	54	710	820	
	60	700	870	
	65	700	870	
	69	690	880	
	72	690	890	
油 化 線	T-1	—	—	
	T-2	700	820	
昭 石 線	T-1	670	940	
	T-6	680	870	
	T-11	680	850	
	T-17	680	880	
岸 壁 線	T-1	750	720	
	T-4	720	780	
	T-8	700	850

図 8 ガス輸送管対地電位測定図 (その 2)

配管を切断してまた接続した。その際切断した管を検査した結果では全然腐食の発生は認められなかった。

油化線 2B×1本 3B×2本 昭和36年9月22日

昭石線 3B×3本 昭和37年3月2日

4. 今後の問題

(1) 全体的地盤沈下、新設他工場の排水の影響、公共体の上下水道あるいは通信線の埋設工事、交通車輛の大重量化等によって、初期の調査および資料だけで安心していることはできないが、電気防食の効果は十分発揮されていて、現状では急激に腐食が起こるとは考えていな

い。

(2) 埋設管の事故はただ一点の見逃しによって、全線を使用不能に陥らせる。絶えず監視することが必要である。

(3) 大協線油化線の一部の対地電圧には基準値を下回る数字を示している点があり、十分監視の上あるいはMgの増設を要するかも知れない。また、岸壁線については他工事の影響で計測不能の所が多く出ているが、Mgの効果は心配ない見解であり、機を見て計測可能のように処置したい。(昭和37年11月2日受理)