土壤中の亜鉛メッキ鋼の腐蝕

訳 者 山 岸 秀 久*

Corrosion of Galvanized Steel in Soils**

Irving A. Denison*** & Melvin Romanoff***

Corrosion, 9, No. 4, 132~141 (1953) April

1. 序 言

地中に埋設した鉄鋼を防蝕するメッキの効果を評価するため、1924年にNational Bureau of Standardsは溶融メッキ法によって種々の厚さに鉄鋼試験片をメッキし広範囲な現場埋設試験を行った。薄いメッキでは著しい腐蝕性の土壤中で腐蝕を防止することは出来なかったが、3 oz/ft²にメッキしたものは全埋設期間を通じて、47試験場中、1箇所を除き他はすべて試験片上に測定し得る程度の腐蝕孔の形成は防止されていた^{1,2)}。試験場所は広範囲な土壌状態を示しているが、塩化物含有量、酸度等明らかに腐蝕を起す原因となる主要腐蝕性要素をもっている代表的な土壌に厚くメッキした試験片を埋設することが望ましいと考えた。したがって同一重量にメッキした試験片、すなわち3 oz/ft²にメッキしたものを、1937

年に15カ所の代表的な試験場所に埋設した。亜鉛メッキ鋼及び比較資料として供用した鋼及び亜鉛は、全埋設期間を5期に別ち、各期間ごとに同一種類の試料より試験片2つを取るに充分な数だけ埋設した。

本報告では最高13年間、種々の期間にわたって埋設した3種類の材質の状態について述べることにする。

2. 試験場所の土壌の性質

試験場所は土壌の物理的、化学的な性質が広範囲にわたっている(第1表)。たとえば水素イオン濃度は2.6~9.4、抵抗は62~17,800 ohm-cmである。試験場所の内で数箇所はかなりの深さまで非常に酸化されていたが、他の試験場所では永久水平面は、表面近くにあり通気性は不良であった。数箇所の試験場の状況を第1図に示す。

第1図 代表的な試験場における環境状態

- A-56 試験場 Texas 州 El Vista の Lake Charles 粘土
- B-72 " California 州 Buttonwillow の Merced 沈泥ローム
- C-63 " South Carolina 州 Charleston の炭分含有腐泥地
- D-55 " Maryland 州 Loch Raven の Hagerstown ローム

3. 試 料

亜鉛メッキ試験片及び鋼試験片は、径1.5 in(3.8 cm)の同一管より長さ1.14 in(35 cm)に切ったものである。亜鉛メッキ試料のメッキ量は3.08 oz/ft²※である。亜鉛中の不純物はAl, 0.008%; Fe, 0.07%; 及びPb, 0.78

%である。鋼は、亜鉛メッキしたもの、裸のもの、ともに AISI No. B 1010 で組成はC, 0.13%(最大); Mn, 0.30~0.6%; P, 0.07%~0.12%; S, 0.06%(最大)である。試験片の内部には、Heavy greaseを塗り、内部腐蝕を防ぐために両端を閉じた。

亜鉛試験片は12 in.(30.5 cm)×2.3 in.(5.8 cm)×0.15 in.(0.4 cm)の板である。亜鉛中の不純物を測定したところ、Fe, 0.009%; Pb, 0.095%; Cd, 0.0038%であった。

4. 亜鉛メッキ試験片の被覆の分布

* 日本鋼管、技術研究所

** J. Res. Nat. Bur. Standards, 49, No. 5, 299~314 (1952) Nov. Research paper 2366

*** National Bureau of Standards, Washington, D. C.

※ この値は管の片面のメッキ量で、1 oz/ft²は0.00172 in.の厚さに相当する。

第1表 試験場における土壌の性質

TABLE 1—Properties of the Soils at the Test Sites

TEST SITES			Aeration	Moisture Equivalent	Apparent Specific Gravity	Resistivity at 66° F (15.6° C)	pH	Total Acidity* (Milligram Equivalent per 100 g of soil)	Composition of Water Extract (Milligram Equivalent per 100 g of soil)						
Environment and Soil Type	Soil No.	Location							Na+K as Na	Ca	Mg	CO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄
Inorganic Oxidizing-Acid Soils															
				Percent		Ohm- cm									
Cecil clay loam	53	Atlanta, Ga.	Good	33.7	1.60	17,800	4.8	5.1							
Hagerstown loam	55	Loch Raven, Md.	do	32.0	1.49	5,210	5.8	10.9							
Susquehanna clay	62	Meridian, Miss.	Fair	34.6	1.79	6,920	4.5	12.0							
Inorganic Oxidizing-Alkaline Soils															
Chino silt loam	65	Wilmington, Calif.	Good	26.4	1.41	148	8.0	A	7.65	12.40	2.20	0.00	1.30	6.05	16.90
Mohave fine gravelly loam	66	Phoenix, Ariz.	Fair	16.5	1.79	232	8.0	A	6.55	0.51	0.18	.00	0.73	2.77	2.97
Inorganic Reducing-Acid Soils															
Acadia clay	51	Spindletop, Tex.	Poor	47.1	2.07	190	6.2	13.2	10.27	15.55	5.03	0.00	0.56	5.75	22.00
Sharkey clay	61	New Orleans, La.	do	30.8	1.78	943	6.8	4.9	0.73	0.68	0.33	.00	.71	0.10	0.91
Inorganic Reducing-Alkaline Soils															
Docas clay	64	Cholame, Calif.	Fair	41.1	1.88	62	7.5	A	28.10	2.29	0.76	0.00	0.89	28.80	0.26
Lake Charles clay	56	El Vista, Tex.	Very poor	28.7	2.03	406	7.1	5.1	3.12	0.69	.47	.00	.80	1.59	3.04
Merced silt loam	70	Buttonwillow, Calif.	Fair	24.7	1.69	278	9.4	A	8.33	.38	.22	.02	1.87	1.12	5.57
Organic Reducing-Acid Soils															
Carlisle muck	59	Kalamazoo, Mich.	Very poor	43.6		1,660	5.6	12.6	1.03	3.08	2.70	0.00	0.00	3.47	1.04
Muck	58	New Orleans, La.	Poor	57.8	1.43	712	4.8	15.0	2.03	2.23	1.29	.00	.00	0.47	2.54
Rifle peat	60	Plymouth, Ohio	do	43.4	1.28	218	2.6	297.4	2.91	10.95	2.86	.00	.00	.00	56.70
Tidal marsh	63	Charleston, S.C.	Very poor	46.7	4.47	94	6.9	14.6	33.60	6.85	4.00	.00	.00	12.70	36.60
Cinders															
Cinders	67	Milwaukee, Wis.	Very poor			455	7.6	A	0.77	3.03	0.53	.00	.55	0.08	2.89

*A, Alkaline reaction.

註 aA; アルカリ性反応

亜鉛メッキ試験片の被覆の厚さの分布は磁気法³⁾により測定した。測定は埋設する前に試験管から任意に、長さ 14 in. (35 cm) に切った亜鉛メッキ管一本と、同一種類の試験管より長さ 6 in. (15 cm) に切ったものを用いて行った。メッキ層の厚さの測定は長さ 14 in. の管(試験片 A とする)については 389 回、長さ 6 in. の管(試験片 B とする)については 162 回測定を行った。測定したメッキ層の厚さは度数分布曲線によって示した。この

第2図 試験片のメッキ層厚みの分布

- 試験片 A, 長さ 14 in. 測定数 389.
- 試験片 B, 長さ 6 in. 測定数 162.

曲線は試験片によって厚さが広範囲に異っていることを示すと共に、個々の試験片においても被覆の分布は非常に変化していることを示している。

5. 外面亜鉛層と合金層の厚さ

外面亜鉛層と合金層の厚さは Britton Anderson 及び Manuel が述べた電解剥離法を応用して測定した。

電解槽は底を除去した 4—oz (120—ml) の合成樹脂のびんを用いた。陰極は巾 1.5 in (38 mm) の帯状亜鉛でびんの内面周囲に密着するように作り、メッキ面とは、No. 8 のゴム栓に 0.19 in. (5 mm) の穴を明けて接触している。びんの口が入るよう、栓の一端にびんの口と同じ大きさの穴を作っておく。電解液として ZnSO₄ 10gr, H₂O 100 gr を含む溶液を用いた。

操作はびんを逆にし、試験片は栓の穴と接触させ、電解液の漏れを防ぐために充分に圧力を加えた。6 V の蓄電池を用い、可変電圧ディバイダーをシャントに入れ、試験片を陽極として最初に 25 mA の電流を通じ、電流は記録式ミリアンメーターで読む。外面の亜鉛層が電解液で除かれると、亜鉛—鉄合金の層と、最後に鋼が露れる。電位の変化は各々の相と関係し、各々の相に対応して記録した電流も変化する。

電流と時間との曲線よりメッキ層の厚さを考えると、

第3図に示すごとくである。

第3図 外面メッキ層と合金層の厚味

亜鉛層の最少の厚さは、点Aにおける曲線の水平部分によって測定している。部分的に合金層が露れた所では起電力は増加し、亜鉛が完全に除かれるまで、電流は次第に減少し、均一な合金層の最初の層が露れる(点B)。第2の合金層が露れ、又種々の層を通して鋼が完全に露れるまで、電流は変化しない。合金層の最少の厚さは中間層をも含めて、距離BCで表され、最大の厚さはADで表わされる。ここに示した亜鉛層及合金層の厚さは曲線の下面積より計算したものである。本研究では亜鉛層の厚さは最大の厚さ、すなわち点Bで示し、合金層の厚さは距離BDをもって表している。

第2表 亜鉛メッキ試験片の外面亜鉛層、合金層及び全メッキ層の厚さ (mils)

試験片	亜鉛層	合金層	全メッキ層
A	1.8	2.3	4.1
A	0.9	3.4	4.3
A	2.0	2.3	4.3
A	2.0	3.0	5.0
B	2.7	3.2	5.9
B	2.8	3.2	6.0

2種の試験片の数個の点における外面亜鉛層の最大の厚さを第2表に示した。

6. メッキの状態及び亜鉛メッキ鋼、鋼、亜鉛の重量減と孔蝕

一定期間土壌に埋設した後試験片を取り出して、研究室に送り先に述べた方法によって腐蝕生成物を除いた。13年間種々の試験場に埋設した亜鉛メッキ鋼、鋼及び亜鉛の写真を第4図に示す。

試験に使用した全土壌の約半数(58, 55, 61, 62, 64, 65, 66, 及び70)ではメッキ層がそのまま残り、埋設期間が最も長かったものでも下層の鋼を完全に保護していることが第3表より判る。しかし、非常な還元性の土壌(51, 56, 58 及び 60)及び灰燼(67)中では試験の結果メッキ層はほとんど残っていなかった。

58 及び 60 の如き土壌中では、埋設後数年間でメッキは侵蝕され、亜鉛メッキ試験片の腐蝕速度は裸の鋼と同程度であった。しかし他の土壌では予想と反しメッキ層

第4図 14種の土壌中で13年間埋設した裸鋼、亜鉛メッキ鋼及び亜鉛試験片の状況

第3表 亜鉛メッキ鋼管^a裸鋼管及び亜鉛板の重量減と最大侵蝕量
2個の試験片の平均値

Soil No.	SOIL TYPE	Exposure	GALVANIZED STEEL						BARE STEEL		ZINC			
			Condition of Surface				Loss in Weight	Maximum Penetration	Loss in Weight	Maximum Penetration	Loss in Weight	Maximum Penetration		
			Coated With Zinc and Alloy Layer	Coated With Zinc	Coated With Alloy Layer	Bare Steel Exposed								
Inorganic Oxidizing-Acid Soils														
53	Cecil clay loam	Years	Percent 85 to 100	Percent 60 to 100	Percent 0 to 40	Percent 0	oz./ft. ²	Mils	oz./ft. ²	Mils	oz./ft. ²	Mils		
		2.1	100	60 to 100	0 to 40	0	0.3	9	1.8	42	0.2	10		
		4.0	100	20 to 40	60 to 80	0	1.4	6	2.9	98	.6	10		
		8.9	100	20 to 40	60 to 80	0	0.6	<6	3.4	74	1.1	13		
		11.2	100	30	70	0	1.0	<6	3.4	78	1.6	16		
55	Hagerstown loam	12.7	100	20	80	0	0.6	<6	3.9	68	2.2	17		
		1.9	100	60 to 100	0 to 40	0	.3	<6	1.8	33	0.4	13		
		3.9	100	20 to 40	60 to 80	0	1.2	8	2.6	50	.6	8		
		9.0	95	20 to 40	55 to 75	<5	0.7	6	4.1	92	.7	8		
		11.0	100	70	30	0	1.0	<6	3.9	84	1.3	10		
62	Susquehanna clay	12.6	100	70	30	0	0.6	<6	3.4	73	1.2	9		
		2.1	100	50 to 100	0 to 50	0	1.0	12	3.2	40	0.6	9		
		4.0	100	20 to 40	60 to 80	0	2.3	9	4.3	56	1.2	9		
		8.9	100	0 to 20	80 to 100	.0	0.9	<6	5.3	68	1.3	12		
		11.2	100	80	20	0	1.1	<6	6.0	72	1.3	11		
		12.7	100	75	25	0	0.8	46	6.8	79	1.7	9		
		Inorganic Oxidizing-Alkaline Soils												
		65	China silt loam	2.1	100	20 to 40	60 to 80	0	1.1	<6	4.3	50	0.5	30
				4.0	100	0 to 20	80 to 100	0	2.3	6	4.6	59	.8	36
				9.0	95	50 to 75	25 to 50	<5	1.6	<6	7.0	65	1.4	56
11.2	95			0	95	<5	1.7	<6	6.2	84	1.1	40		
12.7	100			0	100	0	1.1	<6	7.2	98	1.8	56		
66	Mohave fine gravelly loam	2.1	100	60 to 100	0 to 40	0	1.6	6	9.2	4145+	1.7	25		
		4.0	100	20 to 40	60 to 80	0	3.3	8	12.3	145+	2.6	28		
		9.0	95	20 to 40	60 to 80	5	1.1	<6	8.1	78	0.9	44		
		11.2	95	0	95	5	2.7	<6	16.3	145+	4.4	56		
		12.7	100	0	100	0	1.1	<6	20.3	145+	5.5	34		
Inorganic Reducing-Acid Soils														
61	Sharkey clay	2.1	100	60 to 100	0 to 40	0	0.6	6	2.2	40	0.5	12		
		4.0	100	20 to 40	60 to 80	0	1.5	12	5.0	45	1.0	8		
		8.9	95	75 to 95	5 to 20	<5	0.7	<6	4.2	48	1.1	14		
		11.2	95	0	95	<5	2.2	6	6.9	58	2.1	17		
		12.7	100	0	100	0	1.1	6	7.5	64	2.0	14		
51	Acadia clay	2.1	15	0	15	85	3.3	6	7.5	52	2.0	30		
		9.0	<5	0	<5	95	4.8	8	17.4	128+	4.8	28		
Inorganic Reducing-Alkaline Soils														
64	Docas clay	2.1	100	0 to 20	80 to 100	0	3.2	8	8.7	80	0.7	16		
		4.0	100	20 to 50	50 to 100	0	1.6	9	6.0	67	1.6	18		
		9.0	95	75 to 95	5 to 20	<5	1.6	10	4.7	80	1.4	20		
		11.2	95	0	95	5	2.4	<6	12.4	118	1.6	35		
		12.8	95	0	95	<5	1.6	<6	17.2	122	2.0	21		
70	Merced silt loam	2.1	100	60 to 100	0 to 40	0	2.1	8	4.9	50	1.7	56		
		4.0	100	0 to 20	80 to 100	0	4.5	12	9.7	118+	1.6	102+		
		9.0	100	20 to 40	60 to 80	0	0.1	6	13.4	122	3.6	84		
		11.2	85	0	85	15	2.6	8	24.5	145+	D	150+		
		12.8	90	0	90	10	1.3	8	21.3	145+	D	150+		
56	Lake Charles clay	2.1	5 to 15	0	5 to 15	85 to 95	3.7	5	13.8	77	1.1	10		
		4.0	5 to 15	0	5 to 15	85 to 95	3.9	7	16.0	104	3.4	26		
		8.9	<5	0	<5	95	13.5	13	27.8	145+	4.5	29		
		11.1	<5	0	<5	95	14.3	26	D	145+	6.6	42		
		12.7	<5	0	<5	95	13.8	66	D	145+	9.0	53		
Organic Reducing-Acid Soils														
59	Carlisle muck	2.1	30 to 50	0	0	50 to 70	1.2	8	1.5	12	0.7	66		
		4.0	30 to 50	0	0	50 to 70	3.4	11	3.3	20	1.7	20		
		9.1	50	0	20 to 50	50	3.0	8	7.5	101	4.6	22		
		11.1	50	0	50	50	4.0	8	9.6	76	3.9	28		
		12.7	40	0	40	60	3.4	<6	9.6	72	4.6	18		
63	Tidal marsh	2.1	100	50 to 100	0 to 50	0	1.2	<6	2.7	24	1.2	26		
		4.0	100	50 to 100	0 to 50	0	2.1	10	9.2	38	2.3	34		
		8.9	95	0	95	5	2.0	8	10.7	80	2.0	25		
		11.2	75	0	75	25	2.9	8	12.2	94	3.8	30		
		12.6	90	0	60	40	4.8	52	1.85	126	4.1	43		
58	Muck	2.1	5 to 15	0	5 to 15	85 to 95	4.3	13	5.1	29	3.3	38		
		4.0	0	0	0	100	5.4	21	8.8	46	5.1	66		
		9.1	0	0	0	100	9.0	64	17.3	98	7.4	58		
		11.1	0	0	0	100	8.3	66	16.3	110	7.6	75		
		12.7	0	0	0	100	10.7	76	17.6	124	7.5	50		
60	Rifle peat	2.1	0	0	0	100	4.3	10	4.0	15	4.6	83		
		4.0	0	0	0	100	7.2	12	8.1	38	10.4	100		
		9.1	0	0	0	100	19.8	83+	17.6	58	D	150+		
		11.1	0	0	0	100	17.9	66	19.6	89	D	150+		
		12.7	0	0	0	100	19.5	88	21.0	118	D	150+		
Cinders														
67	Cinders	2.1	0	0	0	100	6.7	62	40.5	145+	4.6	107+		
		4.0	0	0	0	100	5.4	45	37.0	145+	12.2	118+		
		9.0	<5	0	<5	95	5.6	21	31.7	145+	D	150+		
		11.1	0	0	0	100	17.2	62	D	145+	12.0	78		
		12.7	<5	0	<5	95	11.9	48	D	145+	D	150+		

註 a メツキ量 3.08 oz./ft.².

b 各々の試験片のデータは平均値と 50%以上の相違を示している。

c 8 個の試験片のデータ

d +印は 1 個またはそれ以上の試験片が腐蝕により孔を生じたことを示す。

e 1 個の試験片のデータ

他の試験片は腐蝕により壊れた。

D 2 個の試験片は共に、腐蝕により壊れた。

g 1 個の試験片のデータで、他の試験に失敗した。

INORGANIC OXIDIZING SOILS

INORGANIC REDUCING SOILS (VERY POOR AERATION)

INORGANIC OXIDIZING SOILS

ORGANIC REDUCING SOILS

第5図 銅、亜鉛メッキ、裸鋼及び亜鉛の腐蝕減量または最大侵蝕量と時間との関係曲線

が侵されても下層の鋼は急速には腐蝕しなかった。たとえば 51、及び 56 の土壤に埋設した亜鉛メッキ試験片は最初の数年間でメッキ層が腐蝕して取れてしまったにもかかわらず腐蝕試験期間中は緩慢な腐蝕を示すに過ぎなかった。67 の土壤の如く非常な腐蝕性灰燼中でも、亜鉛メッキ試験片の腐蝕は裸の鋼よりは緩慢であった。種々

の土壤における亜鉛メッキ鋼、鋼、及び亜鉛の腐蝕の進行は第5図に重量減、腐蝕孔の深さ—時間の曲線で示した。亜鉛メッキした試験片の重量減及び腐蝕孔の深さを示す数値はメッキ層がそのまま残っている場合のメッキ層の重量減及び腐蝕孔の深さを示すもので母材の鋼について示したものではない。

64, 65, 66, 及び 70 の土壌の中における亜鉛メッキ層の重量減と腐蝕孔の深さ一時間の関係曲線は、鋼に対して非常に腐蝕性の土壌において、亜鉛メッキが鋼を保護する効果のあることを示し興味あるものである。たとえば土壌 66 において鋼試験片は数年間で腐蝕により孔があったが、亜鉛メッキした試験片のメッキ層は、この土壌中で試験期間中完全に残っていた。土壌 70 においては亜鉛、鋼の両試験片とも著しい腐蝕を受けていたが、亜鉛メッキ試験片のメッキ層は、下層の鋼を完全に保護していた。

亜鉛メッキ試験片の重量減は腐蝕孔と時間の関係曲線(第5図)によれば亜鉛メッキ層は非常に還元性の土壌 56 を除き、10 種類の無機質土壌中では、すべて良好な防蝕をしていることを示していた。しかし有機質土壌においては良好な防蝕が行われていたのは、4 カ所の内 1 カ所(59)に過ぎなかった。この土壌の中、58 と 60 の 2 カ所では亜鉛メッキの効果はほとんどなかった。有機質は亜鉛に対して非常に腐蝕性であるから、有機質土壌中において亜鉛メッキ鋼が著しい腐蝕を起すことは驚くにあたらないが、第5図より明らかな如く、土壌中で亜鉛が著しい腐蝕速度を示すことが必ずしも亜鉛メッキ鋼の腐蝕し易いことを示すものではない。

試験片のメッキ状態についてのデーター(第3表)が示すように 64, 65, 66, 及び 70 試験場より取り出した試験片では、11 年及び 13 年間埋設したものには亜鉛は全然附着していなかった。試験片は亜鉛-鉄合金により覆れているから合金層が電気化学的又は他の作用で鋼管を防蝕しているものと考えられる。しかし電位や分極特性の測定結果については発表されておらず、重量減の測定によって推測しているが、これによれば亜鉛-鉄合金層は鋼を陰極的に防蝕し得るものでもなく、鋼より耐蝕性が優れているものでもないことを示している。

亜鉛と鋼との間の電池作用によって亜鉛メッキした試料の挙動を完全に説明し得ないことは、試験場所 51 及び 67(第3表)から取り出した試料の重量減及び孔蝕のデーターより明らかである。外面亜鉛層及び合金層はともに埋設初期に試験片から剥がれるが、それ以後の試験期間中は亜鉛メッキ試験片の重量減及び孔蝕は裸の鋼試験片よりかなり少なかった。亜鉛メッキ試験片が比較的優れた耐蝕性を示すのは、外面の亜鉛層と合金層または鋼との間の電池作用により沈着した無機質の被膜または被覆によるものと考えられる。この被覆は性質からみて珪酸質のものと考えられるがその組成及び性質については研究中である。まず現在の試験におけると同じ公称メッキ量、すなわち 3 oz/ft^2 のものについて 1924 年に現場試験を行ったものと、1937 年に行ったものと照合してみた。この 2 組の試験について Blum 及び Bremer が述べた

ところによると、1924 年の試験で 10 年間埋設した試験片は 1937 年の試験で 4 年間埋設したものと同程度の腐蝕を示していた。1924 年に試験したものは 10 年後取り出して、 $\text{oz/ft}^2/\text{year}$ で重量減を報告しているが、1937 年に試験したものは 4 年間埋設した後、全重量減(または全侵蝕量)をもって報告している。大部分の腐蝕は最初の数年間で起り、初期に急速な腐蝕を受けた後には腐蝕速度がかなり減少するため以上の 2 組の試験片について比較することは困難である。

これらの試験片を同じ 10 年間埋設した後比較すればよい結果を得たであろう。試験に選んだ土壌は 7 種類であるが、これらの土壌は 1924 年と 1937 年の 2 回の試験では同一土壌を使用したか、または同一種類の土壌で地質的に場所のみの異なる土壌を使用した。したがって同じ土壌状態のもとで、1924 年と 1937 年に行った 2 組の試験片を比較することができる。裸の鋼及び亜鉛メッキした鋼の試験片を同一の土壌状態の下に埋設したその重量減及び最大侵蝕量を測定して第4表に示した。

1937 年に埋めた試験片は先に行った場合の試片と同様に 10 年間埋設して動かさなかったもので、この試験片のデーターを重量減及び孔蝕の深さと時間の関係曲線に図示する場合には、9 年と 13 年の点の間に挿入する必要がある。(第5図) 3 (53), 40 (61), 42 (62) 及び 43 (63) の 5 種の土壌においては、腐蝕はいちじるしい相違を示さなかった。23 (70) 及び 29 (58) の 2 種の土壌ではとくに侵蝕量が相違していた。土壌 23(70) の場合には侵蝕量は 1924 年の試験片の方が大きい、29 (58) においては 1937 年の試験片の方が大であった。

先にも指摘した如く、1937 年に埋設した試験片のメッキ層の厚さは広範囲に分布しており(第2図) 1924 年の試験片も同様の傾向を示しているが、その分布はいく分小範囲である。5 種の土壌中で 2 組の試験片の試験結果

第4表 1924年と1937年の2回の埋設試験においてメッキ量 3 oz/ft^2 の種々の亜鉛メッキ試験片を同一土壌状態で埋設した比較

試験場番号		亜鉛メッキ鋼				裸鋼重量減	
		重量減		最大侵蝕量			
1924	1937	1924	1937	1924	1937	1924	1937
		oz/ft ²	oz/ft ²	Mils	Mils	oz/ft ²	oz/ft ²
3	53	0.4	0.8	<6	<6	4.0	4.0
11	55	.9	10	<6	9	1.8	4.0
23	70	9.6	1.5	68	7	25.7	18.5
29	58	6.0	8.5	<6	63	14.8	16.8
40	61	0.9	1.5	<6	<6	7.5	5.5
42	62	0.7	1.0	<6	<6	10.6	5.5
a43	63	1.4	2.5	<6	8	12.7	11.5

註a 試験場 43 は 63 と地質的に同一ではないが、土壌環境が腐分を含む沼沢であることが共通している。

が一致していることは、厚さの相違があまり重要でないことを示しているものであり、2種の土壌における試験片の腐蝕が相違するのは2回の試験期間における時間よりも、排水、通気等、土壌の環境変化が大きく影響していることを示している。

7. メッキ量の影響

Logan 及び Ewing は、6年、8年及び10年の試験期間中、広範囲の試験条件を得るために、6種の土壌中に亜鉛メッキ試験片を埋設し、重量減に及ぼすメッキ量の影響を研究した。この結果によれば一定量以上、ある限界値までメッキ量を増加するにしたがって、重量減は減少する。この関係及び他の要素を考え合せて、地下に使用する亜鉛メッキは表面に 2 oz/ft^2 以上にメッキしなければならないという結論を下した。Logan 及び Ewing は、重量減と孔蝕との大まかな関係について示しているが、試験片の孔蝕速度とメッキ量との直接の関係については示していない。

亜鉛メッキ鋼試験片の孔蝕とメッキ量との直接の関係を得るために、Logan と Ewing が研究した試験片について調べたが、この際10年間埋設した後の腐蝕孔の最深の深さは、同一種類の6種の土壌に対する平均値をとりメッキ量に対応せしめて図に記入した。この結果を第6図に示したがメッキ量が $0.8 \sim 0.9 \text{ oz/ft}^2$ $0.9 \sim 1.0 \text{ oz/ft}^2$ の範囲の試験片に対しては腐蝕孔の深さは、平均値をもって表わした。この平均値は平炉鋼、煉鉄、含銅鋼のご

第6図 10年間6種の土壌中に埋設した亜鉛メッキ管及び板の最大侵蝕量とメッキ量の関係(Logan 及び Ewing のデータ)

とき種々の母材を試験片に使用したデーターであるが、母材が重量減に及ぼす影響はとくに認められなかつた。第6図に示した各点は、12~36個の試験片の平均値であ

第5表 亜鉛メッキ管及び16番鋼板の状態及び最大腐蝕量(最大腐蝕量 mils)

Z, 亜鉛が均一に附着したもの。 A, 試験の一部に亜鉛-鉄合金の層が露出したもの。 R, 発錆したもの。 M, 浅く金剛が腐したもの。

SOIL NUMBER	COATING WEIGHT (oz. ft ²) ON—					
	Sheet			Pipe		
	0.81	0.99	1.07	1.81	2.82	3.08

Inorganic Oxidizing—Acid Soils

3	R	R	Z	M	Z	A
53	A	A	Z	R	R	Z
4	16	22	13	R	R	Z
6	24	16	12	A	Z	R
10	21	16	13		A	
11						A
55	M	A	A	Z	M	Z
12	15	20	18	A	Z	
16	20	27	22	A	Z	
19	32	56	20	Z	R	Z
22	A	A	Z	Z	R	Z
24	R	10	R		Z	Z
25	6	11	8	A	A	Z
26	A	7	Z		A	Z
31	R	A	A	R	R	A
32	R	A	A	A	A	Z
35	4	A	A		Z	Z
36	A	A	A	M	Z	
38	A	A	A			
41		21	23		R	A
42						
62	Z	Z	Z	A	Z	
45						

Inorganic Oxidizing—Alkaline Soils

13	R	15	8		R	A
65						A
66						

Inorganic Reducing—Acid Soils

1	30	30	33	29	R	Z
2	R	A	Z	M	Z	R
5	22	12	12	R	R	R
7	17	17	22	R	R	A
9	19	29	23			
14	A	22	19	A	Z	
17	27	10	9	R	A	
27	63	33	22		R	A
28	13	20	11	12		
30	17	20	14			
37	48	47	38	R	R	
40						M
61	A	A	A			15
44						
51						

Inorganic Reducing—Alkaline Soils

8	R	A	A	R	Z	
15	A	Z	Z	R	Z	
20	21	17	13			
23	21	37	41		68	
70						7
45	5	19	16	38	R	
47	R	R		A	A	
56						17
64						7

Organic Reducing—Acid Soils

29	26	32	28	30	R	65
58	17	R	R	25	A	8
33	63					8
43						75
63						
59						
60						

Cinders

67						40
----	--	--	--	--	--	----

註 1 片面のメッキ量、これは板の公称メッキ量の半分である。

り大抵の場合、36個の平均値で表わした。異ったメッキの厚さに対する腐蝕孔の深さの標準偏差の値は、メッキの厚さが増加するにしたがって著しく減少する。試験に選んだ土壌の状態では表面を 2 oz/ft^2 に亜鉛メッキしたものは、少くとも10年間は鋼に目で見える程度の孔蝕を形成していなかった。これはメッキが均一に附着していることがかなり影響しているものと思われる。

第6図に示した腐蝕孔の深さのデーターを、種々の環境の土壌に埋設した亜鉛メッキ鋼の試験片に適用すると、これらデーターにもとづいて選んだ最も適当と思われるメッキ量は、或る特別の環境においては過大であるかも知れぬが、他の環境では不十分な場合もある。試験初期に埋設した試験片の最も深い腐蝕孔の深さを第5表に示したが、この値より特殊の土壌中において10年間、鋼を保護するのに必要な最小メッキ量を定めることができる。また第5表中には、1937年に埋設した試験片のデーターも含まれている。

酸化性の無機質土壌では 1.07 oz/ft^2 またはそれ以下のメッキ量では孔蝕を起すが 1.81 oz/ft^2 にメッキした試験片では孔蝕を起さなかった。それ故一般に 2 oz/ft^2 メッキすれば少くとも10年間は酸化性の土壌においても、防蝕するのに充分であると結論することができる。51及び56のごとき可溶性塩類の含有量の高い非常に還元性の土壌以外では、 3 oz/ft^2 メッキすれば還元性の無機質土壌においても十分に防蝕することができる。

この51, 56の土壌や還元性の有機質土壌及び灰燼中では、 3 oz/ft^2 以上にメッキする必要がある。

8. 概 要

本報告では、13年間にわたって種々の土壌中に埋設した亜鉛メッキ鋼、裸鋼、及び亜鉛の試験片による腐蝕測

定結果を述べた。

一般に亜鉛メッキ量は 3 oz/ft^2 であったが実際の厚さは広範囲に変化していた。試験片を埋設した15種の土壌の中、約半数の土壌中では現場試験を行った全期間を通じて、亜鉛メッキ試験片のメッキ層はそのまま残っていた。亜鉛メッキ試験片は裸の鋼をいちじるしく腐蝕するアルカリ性土壌中で、とくに耐蝕性を示す。有機質の2種の土壌中では比較的短期間の埋設によって、鋼とともにいちじるしい腐蝕を受けた。大部分の亜鉛メッキ試験片は外面の亜鉛層が腐蝕によって除かれても高い耐蝕性を示すが、これは恐らく珪酸質の被膜または被覆によるものと思われ、これは外面の亜鉛層と合金層または下層の鋼との電池作用によって陰極的に沈着したものと考えられる。これらの試験結果によれば最小10年間鋼を防蝕するのに必要な最小亜鉛メッキ量は土壌の性質に左右され、無機質酸化性土壌においては 2 oz/ft^2 メッキすれば防蝕するのに充分であるが、無機質のやや還元性土壌では 3 oz/ft^2 メッキする必要がある、非常に還元性の有機質土壌においては、 3 oz/ft^2 以上のメッキが必要である。

ここに述べた現場試験は初めて行われたもので、K.H. Logan の指導のもとに1946年まで実施された。

9. 参 考 文 献

1. Kirk H. Logan & Scott P. Ewing: J. Research NBS, 18, 361 (1937) RP 962
2. Kirk H. Logan: NBS Circular C 450 (1945)
3. A. Brenner: J. Research NBS, 20, 357 (1938) RP 1081
4. S. C. Britton: J. Inst. Metals, 58, 211 (1936)
5. Stanley Anderson & R. W. Manuel: Trans. Electrochem. Soc., 78, 373 (1940)
6. William Blum & Abner Brenner: Corrosion Handbook, p 814. John Wiley & Sons, Inc., New York 1. N. Y. (1948).

(9頁よりつづき)

ナットを Soxhlet 装置の中に4時間おいてから、蒸留水の比伝導度は 210 マイクロモー、pH は 6.5 で、鉄製ナットがセルローズ製套管と触れたところには点錆が生じ、それが套管の外から見えた。ナットは 0.02 % の重量減を生じ、蒸留水は酸化鉄で汚れた。

A. J. de Bethune の答

1) これは銅管が陰極となり、頭部の鉄が陽極となつて腐蝕された galvanic corrosion の場合と考えられる。大抵の第一鉄と第二鉄塩は加水分解のため弱酸性を呈する。すなわち第二鉄イオンは $\text{Fe}^{++} + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})^{++} + \text{H}^+$ の反応のはじめの水素イオン化恒数が 4×10^{-3} で、これは醋酸より強い。このために pH が減ったのである

う。鉄に比べて銅の面積を小さくすれば事態を改善するだろう。

2) 電解質の伝導度が減れば、外の条件が変わらない限り腐蝕は少なくなるだろう。しかし 210 マイクロモーという伝導度の値が腐蝕を少なくするに役立つほど低い値かどうかは疑しい。質問者が認めた現象は、酸素濃度電池による腐蝕と考えられる。すなわち酸素が腐蝕剤として作用したのであるが、腐蝕作用は酸素が達しにくいような金属の部分(酸素濃度電池の陽極)に移って galvanic corrosion を生ずるという奇妙な結果となる。

酸素が自由に達しうる部分は酸素濃度電池の陰極となり、防蝕される。もし陰極が大きく、陽極が小さいとその腐蝕はひどくなるおそれがある。