交流迷走電流による金属の腐食

福谷 英二*

*中川防蝕工業株式会社

Corrosion of Metals by Alternating Stray Current

Eiji Fukutani*

*Nakagawa Corrosion Protecting Co., Ltd.

A brief review of the technical literature shows that numerous investigations have been made on alternating stray current electrolytic corrosion of lead, iron, copper, aluminum and other metals.

Alternating current corrosion on lead, iron and copper seems to be caused mainly during the anodic half cycle, but alternating current corrosion on aluminum may be caused during both anodic and cathodic cycles.

Alternating current corrosion may be also caused by the rectification effects of corrosion product film and or polarization.

Weight loss effect of alternating current on lead, iron and copper is less than 2 percents compared with the effect of equal direct current, but its effect on aluminum is very high and more than 40 percents of equal direct current.

The effective remedial measures of alternating current corrosion are selective drainage method and cathodic protection by galvanic anodes.

1. ま え が き

地中には交流迷走電流の流れる機会がかなり多い。電気を使用する機器は安全のため接地することになっている。電気機器からの漏洩電流は地中を流れる。また近來は高圧送電線と埋設管が平行して走っている場合がかなりあり、この場合には地中の構造物に誘導交流電流が流れる。また太陽の磁気嵐によって地磁気に変化を生じ、これによる電流が流れる。特に高緯度の地域ではこれによる影響がかなり多い。

地中（水中も含む）を流れる交流は埋設構造物に出入する。金属体を流れる交流は腐食を生ずるか否か、腐食を生ずるとすればどの程度であるかが古くから問題にされて来た。1,900年代の初期から1,960年代までの間に世界各国で研究された文献によって、交流により金属は腐食することが明らかにされたが、その原因、程度については未だ確固たる結論が下されているとは言い難い点がある。Corrosion誌, Material Protection誌に発表された文献にもとづいて交流腐食について解説して見たい。

2. 鉛の交流腐食

鉛は通信ケーブルの鉛被としてかなり多く用いられている。よって交流腐食を受ける機会はかなり多い。

2.1 古い文献

1907年にHayden^{1,2)}は土中の鉛電極に交流小電流を流したとき、腐食効果は同じ大きさの直流を流したときの0.5%以下であることを示した。

McCollum³⁾は土中の鉛電極と鉄電極に3 mA/in² (0.465 mA/cm²)の交流電流を流して周波数と腐食の関係の研究し、1~2 weeksから60~secに周波数を増せば腐食が減ることを見出した。

Miller⁴⁾は埋設単線ケーブルシースの交流腐食の研究を行い、交流10 Vは直流0.5 Vに匹敵する腐食を生ずることを見出した。

Searing⁵⁾は1 mA/in² (0.155 mA/cm²)の交流電流密度による鉛ケーブルシースの60~sec、交流による侵食度は2.7 mil/year (0.0685 mm/yr)であるとした。

Sherer⁶⁾はアルカリ性のダクト水中で銅-鉛電池を使用して25~secの交流を通電して腐食を調べた。清浄な鉛のときは交流を増せば鉛の溶解が増したが、古い鉛では交流を増せば陰極的になって腐食を生じなかった。

1957年にAmy⁷⁾らは硫酸カルシウム液中で鉛-鉄電

* 〒101 東京都千代田区鍛冶町 2-2-2 (2-2-2, Kaji-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101, Japan)

極の試験を行った。50 $\sim$ secの交流を印加したとき交流電流は200 mAであった。直流電流は0.7 mA流れた。直流電流の方向は鉛から鉄へ流れた。鉛-鉛電極のときは両電極ともに腐食した。鉛は交互に陽極、陰極となるが、鉛-鉄のときは鉛が陽極、鉄が陰極となる。

2.2 Galimbertiの実験⁹⁾

1946年、イタリア代表がComite Consultatif International Telephonique at Moutreauxでそれまでの彼等の調査結果を発表した。それは

(1) 重量減の見地からは、鉛の腐食におよぼす交流の影響は直流に比し非常に小さい。

(2) 鉛被ケーブルの被害の実際の見地からは、交流の被害は直流によるものと大差ない。これは、自然環境における交流腐食が非常に局所的で貫通性の腐食孔を生ずるからである。

(3) 交流の腐食効率率は電流密度が増すにつれて増加する。この結論は5 $\sim$ 50 mA/cm²の範囲では正しい。

(4) 交流腐食は周波数が小さいときは大きくなる傾向がある。

2.2.1 交流電流試験

水道水中で220 V 50 $\sim$ /secの交流を鉛電極間に通電した。0.5 A/dm²で25 $^{\circ}$ Cの水中での重量減と時間の関係を図1に示す。電流密度と重量減の関係を図2に示す。電流密度が大となれば重量減は大きくなる。

図1 交流腐食量と時間

図2 交流電流密度と重量減

図1から直線部分の腐食度は0.02 g/A hrである。直流1 A hrの電気化学的腐食当量は約3.87 g/A hrであるから、直流の腐食度の約0.5%である。

0.5 A/dm², 25 $^{\circ}$ C 24 hr通電のときの腐食孔は円形で最大孔食深さは0.33 mm、直径は0.5 $\sim$ 1.2 mmであった。同じ時間、同じ電流密度で直流を流すときの最大孔食深さは0.42 mmである。よって孔食深さは、交流は直流の約79%となる。

2.2.2 交直流重量試験

交流電流密度を0.5 A/dm²に一定に保ち直流電流を0.5 $\sim$ 500 mA/dm²で重量させて試験を行った。

直流を重量させれば直流添加分以上に腐食を促進させる。図3にその結果を示した。斜線で示した面積は交流重量による腐食量の増加分である。直流を陰極的に通電、すなわち陰極防食すれば腐食は急激に減少する。

図3 交直流重量による重量減

2.2.3 ガルバニックカップル

鉛と鉛より卑な金属を接続して交流を通電すれば交流腐食を減少する。0.5 A/dm², 25 $^{\circ}$ C, 24 hr交流通電のときの重量減とカップル金属との関係を表1に示した。

表1 ガルバニックカップルの効果

カップルした金属	重量減 (g/dm ² /24hr)
なし	0.65
Fe	0.50
Zn	0.30
Mg	0.21

卑な金属ほど防食効果の大きいことがわかる。これは卑な金属を対極として用いないで距離を離してカップルしたときの結果である。しかし近距離で対極として用いるときは、交流の整流作用を卑な金属が行うので、却って腐食を増す。特にMgのときは甚だしく、鉛の腐食は1 g/dm²となり、単独の場合より約50%腐食が大きくなるから注意を要する。

2.2.4 実験結果の解釈

(1) 液が鉛と可溶塩を作る硝酸塩や錯酸塩を含む場

図4 円形腐食孔生成機構

合には、交流は鉛に均一腐食を起こさせるから危険性は小さいが、硫酸塩や炭酸塩を含むときは耐食性皮膜を形成し、そのピンホールに電流が集中して孔食を生ずるから危険である。

(2) 直流と交流を陽極的に重畳させるときは耐食性皮膜ができてその欠陥部の交流腐食を促進するが、陰極的に直流を重畳させるときは耐食性皮膜の生成を防止し結局交流腐食を起こさせない。つまり交流による腐食は保護皮膜の存在下で局部的な孔を生ずるときにのみ顕著である。これは図4のように PbSO_4 、 PbCO_3 あるいは PbO_2 の耐食性皮膜を作る陽分極によって促進される。耐食性皮膜がなければ全面腐食となるが、交流腐食は小さいから全面腐食は恐ろしくない。

2.3 Woodward の報文⁹⁾

ボストンポストロードにケーブルが埋設されている。このケーブルに平行して 11,000 V、25 $\sim$ sec の単相交流の電源によって動いているハートフォード鉄道がある。この交流が整流されてケーブルを流れ、ケーブルに激しい腐食を生じた。6基の排流器によってケーブルの腐食を防止できたが、異常電圧によって排流器の故障が頻発するので自動遮断器を設置して解決した。ヒューズは異常電圧が速く起こるため作動しなかった。

2.4 Williams の実験¹⁰⁾

Williams は中西部諸州の土壤水に等しい人工水を作り、この中で 60 $\sim$ sec の交流を流して鉛、銅、鉄、アルミニウムについて交流腐食を調べたが、その中の鉛、銅、鉄の腐食効率（交流と同じ大きさの電流を流したときの交流腐食の直流腐食に対する百分率）と電流密度との関係を図5に示す。鉛の腐食効率は約 0.25% であっ

図5 交流の腐食効率（銅、鉄、鉛）

た。この場合、鉛の腐食生成物は $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ であった。

3. 鉄鋼と銅の交流腐食

3.1 Williams の実験¹⁰⁾

前掲の図5に銅、鉄の腐食効率と電流密度の関係を示した。鉄の腐食効率は電流密度の増加に伴い増大するが、その値は 0.2% 以下と非常に小さい。銅は始めの腐食効率は 0.5% 程度であるが、電流密度の上昇に伴い低下し、20 mA/cm^2 以上では 0.1% 以下となっている。

鉄の腐食生成物は主として Fe_3O_4 でときどき $7\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ も見られる。

銅の腐食生成物は Cu_2O と CuO であるが、 CuO の割合が時間の経過とともに増加する。

3.2 Water の実験¹¹⁾

3.2.1 土壌試験

土壌抵抗率の判明している土を入れた土壌箱の中に試験片を埋設し、交流を通电して重量減を計測した。試験片は亜鉛メッキ鋼板、軟鋼板、銅板を用いた。その結果を表2に示した。

表2 9 V交流による腐食試験結果（土壌箱）

試験番号 土壌抵抗率 ($\Omega\text{-cm}$)	試験片 No.	材 料	重量減 (g)	電流密度 (A/ft^2)	埋 設 日 数
No. 1 950	G	亜鉛メ ッキ鋼	1.3884	1	各26
	H		1.3223	1	
	I		1.7378	1	
	J		1.3923	1	
	K		2.3413	1	
	L		0.7570	Control	
	P		0.7196	"	
	Q		0.6679	"	
No. 2 1,000	M	亜鉛メ ッキ鋼	1.0657	0.15	各26
	N		1.9475	"	
	O		1.5096	Control	
	R		1.1448	"	
No. 3 350	1	Fe	0.666	0.09	各16
	2	"	2.048	"	
	3	"	0.607	Control	
	4	"	0.518	"	
	5	"	3.164	0.145	
	6	Cu	1.091	"	
	7	Fe	2.933	Control	
	8	Cu	+0.005	"	

1 A/ft^2 通電時の亜鉛メッキ鋼の平均重量減は約 1.7 g で、不通電の平均腐食量は約 0.7 g である。1 A/ft^2 での交流による腐食減量は約 1 g である。この場合の交流腐食効率は約 4% になる。

3.2.2 電解液試験

南カリフォルニアの水中に存在する化合物が、交流腐食に影響する程度を知るために NaCl 、 CaCl_2 、 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 を含んだ水とこれらを添加しないサンジェゴの水道水との中に銅-銅カップル、銅-銅カップル試験片を

浸漬して交流通電のあるときとないときの重量減を計測した。例えば試験片 No. 9 と No. 10 は通電カップル、試験片 No. 11 と No. 12 は不通電カップルである。その結果を表 3 に示した。

表 3 水中化合物の交流腐食への影響

電解液	試験片番号	材料	重量減 (g)	抵抗率 (Ω -cm)	pH	温度 (°C)	電流密度 (A/ft ²)	記事
NaCl	1 (対)	Fe	3.2787	480	6.3	20	3	Control
	2 (対)	Fe	2.9603	〃	〃	24	—	
CaCl ₂	3 (対)	〃	3.8672	500	8.4	20	3	Control
	4 (対)	〃	2.4501	〃	〃	24	—	
Na ₂ SO ₄	5 (対)	〃	2.4829	620	6.2	28	3	Control
	6 (対)	〃	1.6540	〃	〃	21	—	
Na ₂ CO ₃	7 (対)	〃	0.0123	500	11.2	24	3	Control
	8 (対)	〃	0.0191	〃	〃	20	—	
NaCl	9	Cu	0.0047	500	6.6	20	6	Couple
〃	10	Fe	3.0320	〃	〃	〃	3	
〃	11	Cu	0.0007	〃	〃	24	—	Couple control
〃	12	Fe	2.5362	〃	〃	〃	—	
Na ₂ SO ₄	13	Cu	0.0015	500	6.2	28	6	Couple
	14	Fe	2.9755	〃	〃	〃	3	
〃	15	Cu	0.0025	〃	〃	26	—	Couple control
〃	16	Fe	1.6875	〃	〃	〃	—	
CaCl ₂	17	Cu	0.020	500	6.3	28	6	Couple
	18	Fe	6.122	〃	〃	〃	3	
〃	19	Cu	0.018	〃	〃	26	—	Couple control
〃	20	Fe	0.973	〃	〃	〃	—	
CaCO ₃	21	Cu	0.1889	500	11.2	27	6	Couple
	22	Fe	0.3750	〃	〃	〃	3	
〃	23	Cu	0.130	〃	〃	28	—	Control
〃	24	Fe	0.3464	〃	〃	〃	—	
水道水	A	Cu	0.0134	1,400	8.8	22	—	Couple せず
〃	B	Fe	1.2783	〃	〃	〃	—	
〃	C	Cu	+0.0192	〃	〃	〃	6	Couple
〃	D	Fe	3.8514	〃	〃	〃	3	
〃	E	Cu	0.0242	〃	〃	〃	—	Couple control
〃	F	Fe	2.3242	〃	〃	〃	—	
〃	G	Cu	0.0018	〃	〃	〃	0.1	Couple
〃	H	〃	0.0035	〃	〃	〃	〃	
〃	I	〃	0.0014	〃	〃	〃	—	Couple control
〃	J	〃	0.0006	〃	〃	〃	—	

試験期間 No. 1～24は14日, A～Jは16日間

銅の腐食に及ぼす影響は NaCl, CaCl₂ が最も大きく, Na₂SO₄ はこれとほとんど同等に大きい。CaCO₃ の腐食は非常に小さい。

交流の影響は銅に対してはあまりないが, 銅-鉄カップルに対しては大きい。黄銅-亜鉛メッキ鋼カップルについても同様である。

3.2.3 浜波回路

土壤箱試験で交流中の直流分計測の努力がなされた。5,000 μ F のコンデンサーと 10 Ω の無誘導抵抗を土壤箱試験片の二次側と平行に用いて行われた。二次交流電流は変えられ, 抵抗を通る直流電圧と電流が計測された。抵抗中での 50 mV の電圧降下で直流は交流の 0.5% であった。50 mV 以下では直流分の計測はできなかった。交流電流が増加するにつれて DC/AC の百分率はだんだん増加して1%まで上昇する。

3.2.4 Agar Agar ゲル中での試験

Agar Agar ゲルは 3% NaCl, 5% フェリシアン化カリ, 1% フェノールフタレンを含んでいる。この中に浸漬した試験片に 6 V, 350 mA の交流を印加した。腐食を生ずる様子がはっきりわかる。交流腐食は銅-鉄ガルバニックカップルの不通電腐食より大きい。一対の試験片のうち一つの試験片が分極を生じ, 他の試験片より腐食が大きくなることを Agar Agar ゲル試験は明らかに示している。

またこのゲル中で交直重畳試験を行った。350 mA の交流に 8 mA の直流を 10 秒間重畳して流したところ直流の正極が陽極として継続的に働いた。ごく小さな直流でも, 交流と重畳して流れれば交流腐食を促進する。

3.2.5 銅クーロメーターによる計測

銅クーロメーターで電流を計測した。電極は純銅で面積 18 in² (116 cm²) の板 2 枚を用い, 電解液は硫酸銅の結晶 150 g, 比重 1.84 の硫酸 50 g, エチルアルコール 50 cc, 蒸留水 1,000 cc の混合液である。標準の計測では, 直流が流され陰極での重量増が電気量とされる。この試験では 60 $\sim$ sec, 691,000 クーロンよりやや大きい値が計測された。一つの試験片は重量を増し他の試験片は 2 倍の重量を失った。重量を増加した一電極のみを考えれば交流は同じ大きさの直流の 0.8% の電流効率であるが, 重量増と重量減を合せ考えれば交流の電流効率は直流の約 2.3% となる。

3.2.6 結 論

- (1) 交流は銅, 銅の腐食にある関係を持っていることは確かであるが, 正確な値は不明である。
- (2) 交流が流れるときは整流あるいは分極が起こり, 直流分が流れて, 2 個の電極は異なった影響を受ける。

- (3) 交流は異種金属接触腐食を増加させる。

3.3 Bruckner の報文¹²⁾

塗装管に高圧交流送電線によって誘導された電流が土中の腐食を促進するか否かの試験を 2 年半にわたって行った。その報文はアブストラクトだけしかないので全容の詳しいことは不明であるが要点を次に述べる。

- (1) 試験電流密度は 5 $\sim$ 500 mA/in² (0.775 $\sim$ 77.5 mA/cm²) である。

- (2) 鉄電極に交流を通電すれば直流分を生じた。しかし電極上の腐食生成物膜によって整流される証拠はなかった。

- (3) 異種金属接触腐食の場合, 交流に直流を重畳せれば, 腐食度が増大する。

- (4) Mg 陽極を用いた陰極防食装置では, 交流が増せば防食電流が減ずる。Mg 陽極上に約 25 mA²/in² (3.9 mA/cm²) 以上の交流を流せば, 電位を逆転させ Mg

が陰極、管が陽極となる。Mg と腐食膜の境界面で整流作用が起こるためである。

(5) 50 mA/in^2 (7.75 mA/cm^2) 以下の電流では中性土壤中ではほとんど腐食を生じない。

(6) 同じ土壤中で一定の交流電圧のもとでは交流電流密度は腐食膜の抵抗分によって次第に減少する。

3.4 Yamuna ら¹⁸⁾の報文

Yamuna らは 1 N 硫酸中に暴露面積 0.1945 cm^2 の軟銅棒を浸漬し、周波数 $30 \sim 1,000 \sim/\text{sec}$ 、電流 $50 \mu\text{A}$ (258 A/cm^2) $\sim 20 \text{ mA}$ (103.2 mA/cm^2) を通電し腐食量を計測した。

通電量 $50 \sim 400 \mu\text{A}$ の小電流の場合の腐食量を図 6 に、 $2 \sim 20 \text{ mA}$ の大電流の場合の腐食量を図 7 に示す。

低電流のときは周波数 $200 \sim/\text{sec}$ までは腐食度が増加し、それ以上では低下する傾向がある (訳者註: 図 6 の腐食量は通電電流密度 $258 \sim 2,060 \mu\text{A/cm}^2$ に比し高過ぎるように思う)。

高電流のときは周波数が増すに伴ない腐食率が低下している。[訳者註: 図 6, 7 図の結果には疑問がある。図 6 の $400 \mu\text{A}$ のときの腐食量は全部 Blank より上である。しかるに図 7 では 2 mA の場合 Blank より小さいところがある。なお、図 6 の $50 \mu\text{A}$ 、図 7 の 2 mA で Blank より腐食量が小さいのは何故か。交流はこれらに対して腐食を軽減させるのか。何とも納得が行かない。大体実用的には硫酸中の交流腐食はあまり用がないと思

図 6 低電流のときの腐食度と周波数

図 7 高電流のときの腐食度と周波数

われるのでこれ以上詮索しないこととする。]

3.5 Bellassai の報文¹⁴⁾

Transcontinental Gas Pipeline Corporation では径 6.625 in (16.8 cm)、長さ 1.1 mile (1.76 km) ソマスチック塗装管が高架高压交流動力線と全長にわたり平行している。最初の $3,700 \text{ ft}$ (1.128 m) は砂質ロームでそれからスミス クリークを横断する。この川は潮の干満ある川で、塩分の多い沼地につながっている。沼から終点までは $1,800 \text{ ft}$ (549 m) である。管路完成後約 4 年でこの沼地の中央部で漏洩を生じた。沼地の土壤抵抗率は $76 \Omega\text{-cm}$ であった。管対地電位は $-0.1 \sim +0.6 \text{ V}(\text{CuSO}_4)$ であった。これらの計測中おびただしい交流が管を流れていることがわかった。管路と大地との間には安定した 8.5 V の電圧が計測された。交流電圧は完全な正弦波であった。

鉄塔下の大地電位と管路電位との同時計測を硫酸銅基準電極を用いて行った。大地電位傾度の計測も同時に行った。大地電位傾度の測定は、大地に相当量の脈動迷走直流電流の存在することを示した。

試験片を 12 個用いて漏洩箇所付近で試験を行った。試験期間は 5 カ月である。4 個は個々別々に埋設し、4 個は 3 ft 間隔に離して銅線で接続し、4 個は 3 ft 間隔に銅線でつないだその銅線を管路に接続した。第一の場合の重量減は 1.82% 、第二の場合は 2.45% であったが、第三の場合の重量減は 15.5% と著しく大きくなった。

交流誘導電流を利用して陰極防食試験を行った後、次の防食装置を設置し好成績を収めている。

(1) 整流器 $15 \text{ V} \times 5 \text{ A}$ の整流板を銅製箱に入れたものを用いた。

(2) 電極 直径 3 in 、長さ 60 in ($75 \phi \times 1,524 \text{ mm}$) の黒鉛電極 10 本を 24 ft (7.3 m) 間隔に沼地に挿入した。

(3) 直流電圧 2.8 V

(4) 排流電流 $1.36 \sim 1.43 \text{ A}$

3.6 Fachs ら¹⁵⁾の報文

Fachs らは電流密度 $10, 100, 1000 \text{ mA/dm}^2$ 、周波数 $0.05 \sim 50 \sim/\text{sec}$ で、 NaCl 中および Na_2SO_4 中で鉄電極を用いて試験をした。

交流 10 V 、土壤抵抗率 $1,000 \Omega\text{-cm}$ 、塗装の欠陥部直径 1 in (2.54 cm) の場合、 10 mA/cm^2 の交流は 0.01 in/Year (0.254 mm/yr) の腐食を生ずるとした。

3.7 Mole ら¹⁶⁾の報文

彼らは交流電流密度 0.25 mA/cm^2 では水道管の管対地電位に変化を生ぜず、腐食を増加する傾向がないとしている。

4. アルミニウムの交流腐食

アルミニウムは陽極的でも陰極的でも通電によって

腐食する。よって交流腐食の影響を著しく受ける。

4.1 Williams の報文^{10,17)}

Williams の実験結果のうち、電流密度と腐食度との関係を図 8 に、直流に対する腐食効率と電流密度との関係を図 9 に示した。

銅、鉛、鉄の腐食効率は 1% 以下であるのに対し、陽分極でも陰分極でも腐食するアルミニウムの場合には腐食効率が著しく高く、電流密度 40 mA/cm² 以上では 40% 以上となる。

図 8 腐食率と電流密度 (Al)

図 9 腐食効率と電流密度 (Al)

Williams は一般的定説とは反対に、交流腐食は交流の整流された直流分によるのではなく、銅、鉛、鉄などでは構造物が陽極となっている半サイクル中に起こっている。

5. 検 討

以上各研究者の意見を検討して見たい。

5.1 交流によって腐食が起こる原因

(1) Williams は交流の整流によって腐食が起こるのではなく、一般に陽極的である半サイクル中に腐食を生ずるとしている。ただし陰分極によりアルカリ腐食を起こすアルミニウムのような金属は陽極、陰極両サイクルによって腐食を起こす。

(2) 交流が流れるときは直流分があることを述べている研究者は Amy ら、Water, Bruckner らであるが、Bruckner は整流されている証拠はないとしている。Water は交流を通電するとき 50 mV の電圧降下のときは交流中の直流分は 0.5% であるが、交流電流が増加す

れば直流分は 1% まで増加すると述べ、整流あるいは分極によって直流分が出るのであろうとしている。Amy は 50 $\sim$ sec の交流 200 mA の通電時 0.7 mA の直流分を見出している。直流分は交流の 0.35% である。

異種金属接触時、交流を流せば整流が起こり、卑な金属が陽極的に腐ることは Galimberti, Bruckner, Amy らが述べている。

5.2 交流の腐食効率

腐食効率というのは、交流と同じ電流量の直流を流したときの腐食度に対する交流腐食の百分率をいう。

5.2.1 鉛

(1) Hayden は 0.5% 以下であるとした。

(2) Miller は交流 10 V は直流 0.5 V に相当する腐食を生ずるとした。5% と見るべきか。

(3) Searing は 1 mA/in² (0.155 mA/cm²) で (60 $\sim$ /sec) で侵食度 2.7 mil/year (0.0685 mm/yr) であるとした。これは腐食効率約 1.5% に相当する。

(4) Amy らは交流中の直線分は 0.35% であるとした。

(5) Galimberti は腐食効率 0.52% とした。

(6) Williams は腐食効率 0.25% とした。

これらの研究結果を総合するときは鉛に対する腐食効率は 2% 以下と考えて安全サイドであろう。

しかし真に恐ろしいのは孔食であるが、孔食深さは保護皮膜の欠陥部に集中的に働く腐食によって直流の場合の約 80% にも達することが、Galimberti によって報ぜられていることを想起すべきである。

5.2.2 鉄

(1) Williams は腐食効率を 0.2% 以下としている。

(2) Water は土壌試験結果からは腐食効率を 4% としているが、汙波回路試験では直流分は交流の 0.5 $\sim$ 1.0% であるとしている。

(3) Fachs らは 10 mA/cm² で 0.01 in/year の腐食を生ずるとしているが、これは腐食効率約 0.22% に相当する。

これらを総合すれば、腐食効率 2% と考えておけば安全サイドであろう。

5.2.3 銅

(1) Williams は腐食効率は 20 mA/cm² 以上では 0.1% 以下であることを示している。

(2) Water は銅の交流腐食は非常に小さいことを示している。しかし銅クロメーターによる試験では腐食効率は 0.8% であるとしている。

いずれにしても 2% と考えておけば十分安全サイドであろう。

5.2.4 アルミニウム

アルミニウムの腐食効率は非常に高く、Williams によ

れば 40 mA/cm^2 以上では 40% 以上となる。

交流腐食に対して最も警戒を要する金属である。

5.3 交直流重量による影響

交流に少しでも直流を重畳させれば直流の陽極が常に陽極として働き、腐食を相当に促進させることは Galimberti, Water, Bruckner らによって明らかにされている。交流と直流が重畳する機会は埋設構造物ではかなり多いと思われる。迷走直流電流のあると思われる環境では十分留意する必要がある。

5.4 陰極防食

5.4.1 排 流

高圧交流送電線と平行近接している管路、ケーブルなどには誘導電流による障害が必ず起こると考えなくてはならない。この場合には排流器を十分に取付ける必要がある。しかし異常電圧によって破壊することが多いから自動遮断器を設置するほか流電陽極の併用とがいろいろ安全対策を講ずると良い。

5.4.2 流電陽極による陰極防食

流電陽極による陰極防食は交流腐食軽減にも有効である。しかし Mg 陽極は Bruckner, Galimberti の指摘のごとく、交流電流密度が増加すれば腐食生成物膜の整流作用によって、電位が逆転して交流腐食を促進させることがあるから留意を必要とする。

5.5 周波数の影響

周波数の小さいときは一般に腐食が増加し、周波数が大きくなれば腐食が減る傾向にある。Yamuna は低電流密度のとき 1 N 硫酸中の鋼は $200 \sim / \text{sec}$ までは腐食が増大するとしているが、実験データにバラツキが多いように見受けられるから硫酸による特殊の影響かも知れない。周波数ゼロのときが直流であることから見ても周波数が高いほど腐食が減ずると考える方が合理的であろう。

6. 結 論

(1) 交流が電解質中を流れるとき、その中の金属構造物は腐食される。

(2) 交流による腐食効率は銅、鉛、鋼などは直流の腐食度の 2% 以下であるが、アルミニウムは 40% 以上とかなり大きな影響を受けるので特に注意を要する。

(3) 交流腐食は排流、陰極防食などによって防止できる。

文 献

- 1) F. E. Kulman: *Corrosion*, **17**, No. 3 (1961).
- 2) J. L. R. Hayden: *A.I.E.E. Transactions*, **26**, Part 1, (1907).
- 3) B. McCollum, et al.: Bureau of Standards Technological Paper No. 72 (1916).
- 4) K. W. Miller: Report of underground systems committee (1926~1927).
- 5) H. R. Searing, et al.: *Electrical world*, **92**, No. 14, Oct. 6 (1928).
- 6) C. M. Sperer, et al.: *A.I.E.E. Transactions*, **64**, (1945).
- 7) L. Amy, et al.: *Rev. Gen. Elec.*, **66**, p. 187, (1957).
- 8) C. E. Galimberti: *Corrosion*, **20**, No. 5 (1964).
- 9) W. S. Woodward: *Corrosion*, **12**, No. 9 (1956).
- 10) J. F. Williams: *Mat. Prot.*, **5**, No. 2 (1966).
- 11) F. O. Water: *Mat. Prot.*, **1**, No. 3 (1962).
- 12) W. H. Bruckner: *Mat. Prot.*, **4**, No. 5 (1965).
- 13) A. R. Yamuna, et al.: *Corrosion*, **23**, No. 9 (1967).
- 14) S. J. Bellassai: *Corrosion*, **12**, No. 9 (1956).
- 15) W. Fachs, et al.: *Das Gas und Wasserfach*, **99** Jan (1958).
- 16) G. Mole, et al.: Tech. Report V/T 138 of the British Electrical and Allied Industries Research Association (1958).
- 17) J. F. Williams: *Mat. Prot.*, **6**, No. 2 (1967).