

鉄筋コンクリート中の鉄筋の電食現象におよぼす セメント混和材料の影響について

近 藤 泰 夫*
武 田 昭 彦**
秀 島 節 治***

1. 序 論

鉄筋コンクリート内の漏洩電流は電鉄レール、接地電力システム、電気溶接システム、電気メッキシステムその他の原因によつて生ずるが、そのうち最も重要な原因と考えられるものは電鉄レールからである。わが国では電気鉄道の運転特性により、レールを負極として直流電流の帰路としているため、漏洩電流の完全な防止は技術的にも経済的にも困難であつて、レールからある程度の電流が漏洩することは避けられない。この漏洩電流によるコンクリート中の鉄筋の電食は、フライアッシュあるいは塩化カルシウムを混入した場合促進されると一般に信じられているが、はたしてどれくらいの混入量まで許容されるか、また別の混和材料を併用してこれを防ぐ方法はないかということ、実験的に確かめたわけである。この研究では塩化カルシウムあるいはフライアッシュを含む鉄筋コンクリートの電食現象を究明するために、これら混和材料をそれぞれ単味で使用した鉄筋コンクリート、およびそのおののりにリグニンスルホン酸カルシウム系混和剤を併用した4種の鉄筋コンクリートを対象として、おののの直流電圧0.5, 10, 20Vを荷電し、鉄筋を陽極あるいは陰極とした場合、ならびに各コンクリートに交流電圧20Vを荷電した場合について実験を行い、コンクリートの電気抵抗の変化、通過電流の変化、鉄筋の酸化によるコンクリートのキレツ発生状況、鉄筋の錆化状態、さらに鉄筋のコンクリートに対するボンド変化をしらべ、種々の方面から鉄筋コンクリート中の鉄筋の電食現象に関して究明したものである。

2. 鉄筋コンクリート中の鉄筋の電食機構および漏洩電圧

わが国では電気鉄道の運転特性によつて、多くは架空単線方式をとつており、レールを電車電流の帰線とし、変電所では負極をレールに接続している。漏洩電流の大きさは変電所の給電区域の大小、電車電流密度、レールの電気抵抗およびレールの大地に対する漏洩抵抗等に関係するほか、大地の電気抵抗の大小によつていちじるし

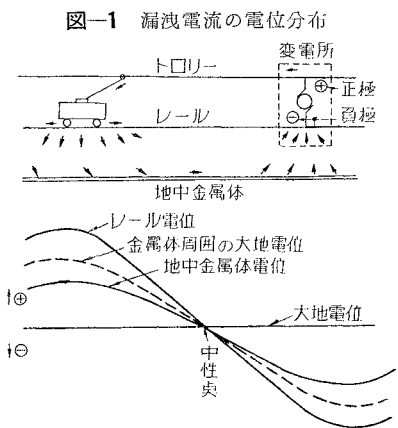
く影響される。漏洩電流の影響をうける場所にある鉄筋コンクリート中の鉄筋は漏洩電流が流出し、その流出入点で電食作用をうける。コンクリートが湿潤状態のときは、砂や砂利より電気抵抗が低くなり、普通の畑土と同程度となつて電食作用の発生が考えられる。

レール電位あるいは地中埋設金属体の電位は、電車の通過に際して図-1のように変化する¹⁾。図の中性点を境として、変電所側は金属体から

電流が流出して陽極的電食作用をうけ、反対側は金属体に電流が流入して陰極的電食作用をうける。陰極的電食作用による被害は、鉄筋付近のコンクリートがアルカリの濃度増加によつて軟化するためのボンド低下であり、陽極的電食作用では鉄筋が酸化腐食し、鉄筋の膨脹によつてコンクリートが破壊するもので、後者の被害の方が重大である。変電所で負極をレールに接続する理由は、電食の陽極的被害発生カ所を変電所付近に局限するため、正極をレールに接続すれば電車の移動とともにレール付近全面が電食被害を発生するからである。

以上のごとくコンクリート中の鉄筋の電食現象の可能性は、周囲の電氣的状況、電圧および電圧分布に非常に影響され、国鉄技術研究所が神田変電区で24時間対地電圧を測定した結果²⁾によると、平均対地電圧は深夜を除けば10V以上となり最大24Vを示す。同区の年平均対地電圧は約18Vで、他に東京変電区は約5V、原町田構内で約30V、なかには発車時約100Vの測定例もある。

レール対地間電圧と種々の電氣的構成から考えて、鉄筋とコンクリート表面にどれだけの電圧が荷電されるかを考えると、マクラ木やバラストが新しいうちは抵抗が



* 正員 工博 京都大学教授, 工学部土木工学教室

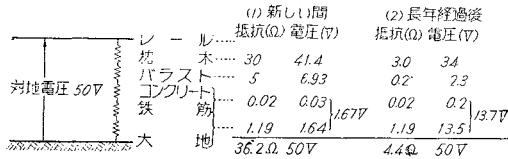
** 准員 京都大学講師, 工学部土木工学教室

*** 准員 京都大学大学院研究生

高く、最大 1.5 V、平均 0.5 V 程度であるが、10 年以上も経過するとマクラ木やバラストの抵抗は始めの 1/10 以下に減少すると考えられるので、鉄筋とコンクリート間の電圧は約 5 V になると予想される。

いまレール大地間電圧を 50 V と仮定し、この電圧が各部分にいかん分布するかを推定すると 図-2 のようになる。すなわちマクラ木やバラストが新しい間は、対地電圧が 50 V の場合でも鉄筋コンクリートとの間は約 1.7 V しか荷電されないが、長年経過後には約 14 V に達する。したがってこの電食現象の実験では、主として 20 V 以下の種々の電圧を対象として行つた。

図-2 レールに対し鉛直方向の電位分布



3. 実験計画(わりつけ表)と供試体の製作

2. に述べたように、コンクリート中の鉄筋の化学的および電解的腐食の問題は重要であり、とくに塩化カルシウムあるいはフライアッシュの混入は電食現象を促進する可能性があると考えられる。著者の実験³⁾によると、塩化カルシウムをセメント量の 2% 混入した場合、30 V の陽極的荷電ではボンドの低下が若干認められている。したがってこの実験では塩化カルシウムを単味で 0.0, 0.25, 1% 混入した場合、フライアッシュを単味で 10, 20, 30% セメントに代替した場合、ならびにそのおのにおにリグニンスルホン酸カルシウム系セメント分

表-1 直流電流による塩化カルシウム系コンクリートの電食実験

混和材料添加量 (%)		直 流 電 圧 (V)			
塩化カルシウム	リグニンスルホン酸カルシウム	0	5	10	20
0	0	荷電しない	+	+	+
0.25	0	〃	+	+	+
1.00	0	〃	+	+	+, -*
0	0.25	荷電しない	+	+	+
0.25	0.25	〃	+	+	+
1.00	0.25	〃	+	+	+, -*

表-2 直流電流によるフライアッシュ系コンクリートの電食実験

混和材料添加量 (%)		直 流 電 流 (V)			
フライアッシュ	ポゾリス No.5	0	5	10	20
10	0	荷電しない	+	+	+
20	0	〃	+	+	+, -*
30	0	〃	+	+	+
10	0.5	荷電しない	+	+	+
20	0.5	〃	+	+	+, -*
30	0.5	〃	+	+	+

* +は陽極的電食、-は陰極的電食実験

表-3 交流電流による電食実験

コンクリート種類	0V	20V
混和材料なし	荷電しない	荷電する
塩化カルシウム 0.25% 添加	〃	〃
塩化カルシウム 1%+リグニンスルホン酸カルシウム 0.25%	〃	〃
フライアッシュ 20% 代替	〃	〃
フライアッシュ 20%+ポゾリス No.5	〃	〃

散剤を併用した場合の 4 種類のコンクリートに対して、種々の電圧の直流あるいは交流電圧を荷電して電食実験

表-4 電食実験用コンクリートの示方配合

実験種別	骨材最大寸 (mm)	スランプの範囲 (cm)	単位水量 (kg)	単位セメント量 (kg)	単位フライアッシュ量 (kg)	水セメント比* (%)	絶対細骨材率 (%)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)	単位混和材料量 (kg)		
										塩化カルシウム**	リグニンスルホン酸カルシウム	ポゾリス No.5
塩化カルシウム系	25	18~20	187	320	—	58.2	42	756	1 072	—	—	—
	25	18~20	187	320	—	58.2	42	756	1 072	0.8	—	—
	25	18~20	187	320	—	58.2	42	756	1 072	3.2	—	—
	25	18~20	157	320	—	49.1	40	735	1 131	—	0.8	—
	25	18~20	157	320	—	49.1	40	735	1 131	0.8	0.8	—
	25	18~20	157	320	—	49.1	40	735	1 131	3.2	0.8	—
フライアッシュ系	25	18~20	176	288	32	55.0	42	778	1 104	—	—	—
	25	18~20	172	256	64	53.8	42	777	1 102	—	—	—
	25	18~20	169	224	96	52.8	42	776	1 100	—	—	—
	25	18~20	163	288	32	50.9	41	752	1 112	—	—	1.6
	25	18~20	160	256	64	50.0	41	750	1 109	—	—	1.6
	25	18~20	157	224	96	49.1	41	748	1 106	—	—	1.6
交流電食実験用	25	18~20	187	320	—	58.2	42	756	1 072	—	—	—
	25	18~20	187	320	—	58.2	42	756	1 072	0.8	—	—
	25	18~20	157	320	—	49.1	40	735	1 131	3.2	0.8	—
	25	18~20	172	256	64	53.8	42	777	1 102	—	—	—
	25	18~20	160	256	64	50.0	41	750	1 109	—	—	1.6

* フライアッシュを含むコンクリートでは 水/セメント+フライアッシュ比

** 塩化カルシウム使用量は純分ではなく、結晶水を有する純度 75.5% のものをセメント重量に対して使用した。

を行った。

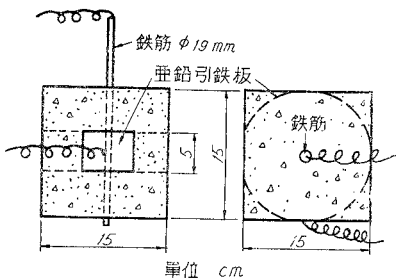
電食実験は一条件に対して供試体数を3コとし、表1~3に示すような種々の場合について実験を行った。表中、塩化カルシウム系コンクリートとは、塩化カルシウムを単味で、または分散剤と併用した場合のコンクリートで、フライアッシュ系コンクリートというのも同意である。

コンクリートに用いたセメントは、普通ポルトランドセメント（日本セメント大阪工場製）、細骨材は木津川産、粗骨材は野洲川産で25~20mm、20~10mm、10~5mmをそれぞれ3:3:4に混合して使用した。フライアッシュは宇部ポゾラン、塩化カルシウムは純分75.5%の粉末状のもの、リグニンスルホン酸カルシウム系混和剤はポゾリス No. 5 および No. 8（日本曹達 KK 製）である。

コンクリートの配合は単位セメント量 320 kg、スランプ 18~20 cm を目標とし、おのおの場合について試験練りを行って表4のような示方配合をきめた。コンクリートの混合は2切可傾式ミキサで全材料投入後2.5分行い型ワクに打設後、棒状バイブレーターで振動詰めを行った。

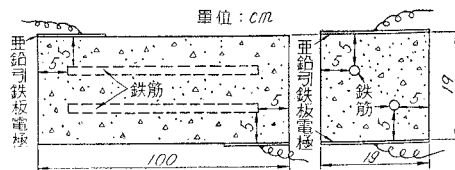
図-3 供試体の形状

供試体は、15×15×15 cm 立方体で、図-3のごとく鉄筋および帯状亜鉛引鉄板(厚さ0.4 mm)を埋



め込み電極とした。なおこれと別に、実際の荷電状態に類似させる意味で、塩化カルシウム1%を混入したコンクリートについて、図-4のように鉄筋をコンクリート内に全部埋め込み、かぶりを5 cm とし、上下面の板状電極に直流 20 V を荷電して、鉄筋の電食状況を観察した。

図-4 鉄筋コンクリート中に埋設した供試体



供試体は成形直後にぬれむしろでおほい、脱型後5日間 21°C の水中で養生、その後ただちに封緘養生剤(クレハロンテックス)を3回にわたって供試体全面に十分塗布し、水分の蒸発を防止しながら、さらに7日間恒温恒湿室で湿空養生してから通電を開始した。

4. 実験方法

直流および交流による通電方法は、電源電流が異なるだけで配線はすべて同一とし、配線図は図-5に示すとおりであり、通電状況を写真-1に示す。通電は陽極の電食の場合は鉄筋を陽極に、亜鉛引鉄板を陰極に接続し、また陰極の電食の場合はこれと逆に接続した。通電

図-5 電食実験配線図

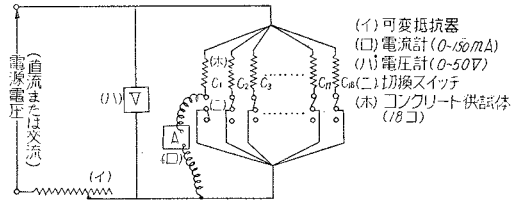
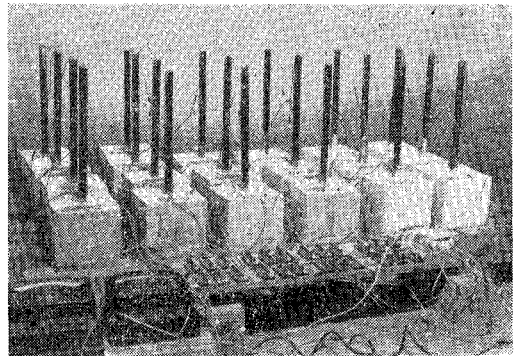


写真-1 通電状況 (直流電食)



は直流交流ともに供試体の水中および湿空養生が終つてから、すなわち成形後14日目に引き続いて開始し、所定の電圧で1日3時間、連続14日間通電した。なお通電しない比較供試体(コントロール)も同一条件に保つた。また鉄筋を埋め込んだ図-4の塩化カルシウム1%を含む供試体は、直流 20 V を1日3時間、連続28日間通電した。

通電中は電圧を一定に保ち、1時間ごとに電流を測定した。通電を完了した供試体は、通電しなかつたものと一緒に通電完了の翌日ボンド試験を行つて、ボンド一滑り関係を求めた。ボンド試験方法は ASTM C 234-54 に準じて行つた。ボンド試験を行つた後の供試体は、破壊して鉄筋の腐食状況を観察した。

5. 実験結果の考察

(1) 通電中の供試体の電気抵抗の変化

荷電する電圧が一定の場合は、コンクリート供試体の含むセメント混和材料の種類および添加量は異なるが、そのほか養生、通電方法等はすべて同一条件で実験したので、全通電期間中の電流量あるいは電気抵抗の変化は、荷電中のコンクリートの水分の変化、温度変化(直流電圧 30 V を荷電したとき陽極の荷電で約 3°C、陰極

的高電で約 1°C の温度上昇が認められた²⁾), および鉄筋の電食作用による錆化や鉄筋周囲のガス集積に基因すると考えられる。このうち前二者は, 実験を恒温恒湿室で行い, 供試体表面は封緘剤で処理してあるのであまり問題にならず, 電流量あるいは電気抵抗の変化は大体電食作用の進行状態の目安となることが予想される。通電中電圧の若干の変動はさげられず, また電極間の距離を正確に一定にできないので, 通電初日の電気抵抗に対する各通電材令の抵抗増加率をもつて比較し, つぎのような結果がえられた。

a) 直流電圧 20 V を荷電した陽極的電食の場合の通電日数と抵抗増加率との関係を 図-6, 7 に示す。塩化カルシウム系コンクリートの抵抗増加率は, 塩化カルシウム 1% を混入したコンクリートでは, いずれも通電後期に急激に大きくなり, 0.25% を混入したコンクリートでは, 混和材料を含まないコンクリートと同程度か若干大きい程度である。塩化カルシウム 1% を混入のものでも, リグニンスルホン酸カルシウムを併用したものは増加率の変化範囲は小さくなる。フライアッシュ系コンクリートでは塩化カルシウム系コンクリートのようにはいちじるしい抵抗増加率の差異は示さないが, とくにフ

図-6 通電日数と抵抗増加率 (直流 20 V)
(塩化カルシウム系コンクリート)

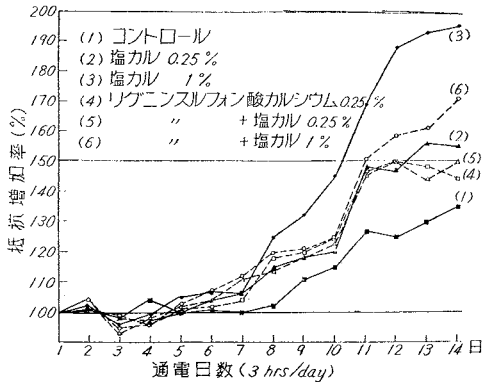
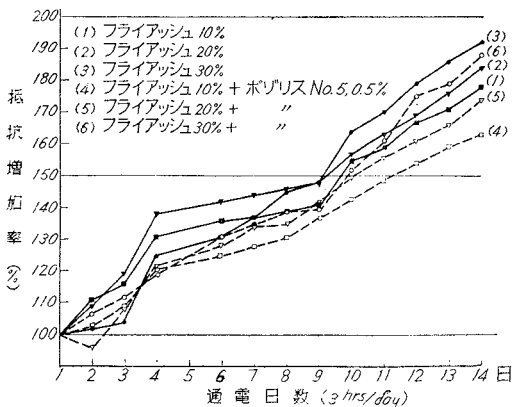


図-7 通電日数と抵抗増加率 (直流 20 V)
(フライアッシュ系コンクリート)



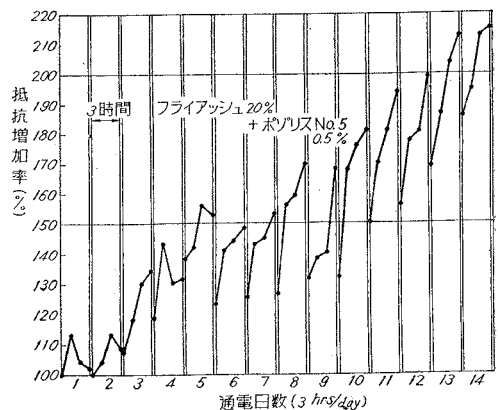
ライアッシュ代替率 30% のコンクリートは, 単味またはリグニンスルホン酸カルシウム系混和材料を併用した場合とも, 通電後期に比較的大きい増加率を示すが, この場合も混和材料の併用によつて変化範囲が小さくなっている。

b) 直流電圧 10 V を荷電した陽極的電食の場合には, 抵抗増加率が全体的に小さくなり, 通電最終日には 20 V の場合の約 1/2 になるが, 塩化カルシウム系コンクリートでは傾向が 20 V の場合と全く逆になり, 混和材料を含まないコンクリートの増加率が最大になっている。したがって直流 10 V の荷電では, 1% までの塩化カルシウム混入が電食作用を助長しないと推定される。リグニンスルホン酸カルシウム併用による抵抗増加率の減少は 20 V の場合と同様である。フライアッシュ系コンクリートの場合は, 20 V 荷電と同一傾向のまま増加率が減少している。

c) 直流電圧 5 V を荷電した陽極的電食の場合の抵抗増加率はさらに小さくなり, 混和材料が電食におよぼす影響は全く認められない。

d) 直流 20 V を荷電した陰極的電食の場合には, 1日 3時間の通電中に抵抗が非常に変化し, とくに通電中期以後はその変化がいちじるしい。これは鉄筋が陰極となるため鉄筋界面に水素ガスを発生し, 還元作用とともにガスが蓄積されるためであるが, 3時間の通電後翌日の通電開始までには, 前日の通電初期の抵抗より若干高い抵抗まで回復する。塩化カルシウム系コンクリートの方が, フライアッシュ系コンクリートより抵抗の変化が大きいのも電解質を多く含むためと考えられる。陰極的電食の場合の抵抗増加率と通電日数との関係の一例を 図-8 に示す。

図-8 抵抗増加率と通電日数 (陰極的電食の場合)



e) 交流電圧 20 V を荷電した場合は, 直流 20 V の荷電の場合のように明瞭な抵抗の変化は認められず, また直流荷電の場合のごとき極性現象もない。混和材料を含まない供試体の抵抗増加が最も大きく, 実験した混和材料の種類, 添加量の範囲では, 交流 20 V 荷電による

電食作用はコンクリートに影響をおよぼさないと考えてよい。

f) コンクリート中に完全に埋め込まれた鉄筋の電食現象をしらべるため、図-4の供試体で行った実験によると、塩化カルシウム1%混入コンクリート、通電は直流20V 1日3時間で28日間であるが、両極板間に位置する2本の鉄筋は陽極および陰極の電食作用をうけて、通電日数とともに、電位差が変化すると予想されたが、実際にはコンクリート中を流れる電流はごく少なく、28日の通電後も鉄筋の錆化、キレツの発生等の現象は全くみられなかった。

(2) 鉄筋の錆化状況

通電およびボンド試験が終了した供試体を破壊して、鉄筋の錆化状況を観察した。鉄筋は最初浮錆を完全に落して黒皮の状態とし、さらにアルカリ洗滌により脱脂したが、通電による電食作用により一定条件下でも混和材料の種類、添加量により鉄筋の錆化程度が非常に異なる。通電しない場合や直流5Vの陽極的荷電、直流20Vの陰極的荷電、および交流20V荷電の場合は通電後も鉄筋になんらの変化も認められないが、直流10Vあるいは20Vの陽極的荷電の場合は、混和材料なしの場合でもある程度は薄錆を生じ、塩化カルシウムあるいはフライアッシュの混入量の増加とともに錆化程度は増進する。塩化カルシウム1%添加、あるいはフライアッシュ30%代替の場合は、鉄筋全面にわたって薄錆の生成が認められる。しかしながら、この錆化程度もリグニンスルホン酸カルシウム系混和を併用した場合は減少する。一般に塩化カルシウム系コンクリートの方がフライアッシュ系コンクリートより錆化程度が大きい。

(3) 電食作用によるコンクリートのキレツ発生

この実験で電食作用の結果キレツ発生をみたコンクリートは、鉄筋が陽極となるように、直流20Vを荷電した、塩化カルシウム1%を含有するもののみであった。電食作用によつて、コンクリートにキレツが発生するのは、鉄筋が陽極的電解作用をうけ、鉄筋界面に無機酸お

よび酸素を生じて、これが鉄筋を腐食酸化し、この酸化反応の進行にともない、鉄筋が錆化膨張するためと考えられ、連続荷電中の供試体の電気抵抗が急激に増加している時期に発生し、キレツ発生後1日ないし2日を経過すると抵抗の急激な増加は中止し、以後増加割合は小さくなる傾向を示す。電食作用によるキレツ発生状況を写真-2に示す。

(4) 種々のセメント混和材料を含むコンクリートの荷電しない場合のボンド

塩化カルシウム、フライアッシュ、リグニンスルホン酸カルシウムをそれぞれ単味で、あるいは二者併用した場合の、コンクリートのボンド-滑り関係を図-9および図-10に示す。また、塩化カルシウム系コンクリートおよびフライアッシュ系コンクリートの鉄筋の滑り $6 \times 10^{-2} \text{mm}$ に対するボンドをコントロール供試体と比較して表-5に示す。表からもわかるとおり、塩化カルシウムの添加量の増加につれてボンドは増加し、リグニンスルホン酸カルシウムの併用によつてさらに全体的にボンドは増加している。両者を併用した場合のボンド増加率は、おのおの単味で使用したときの増加率

図-9 荷電しない場合のボンドと滑り
(塩化カルシウム系コンクリート)

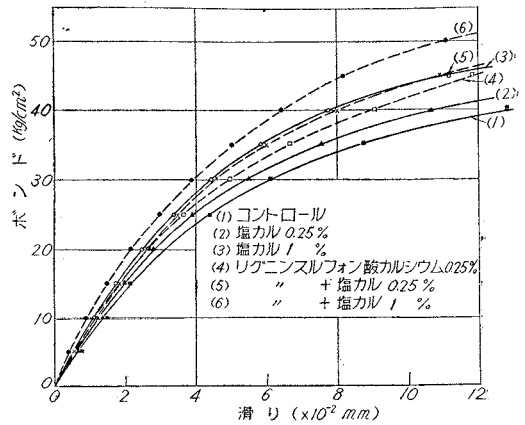


図-10 同上 (フライアッシュ系コンクリート)

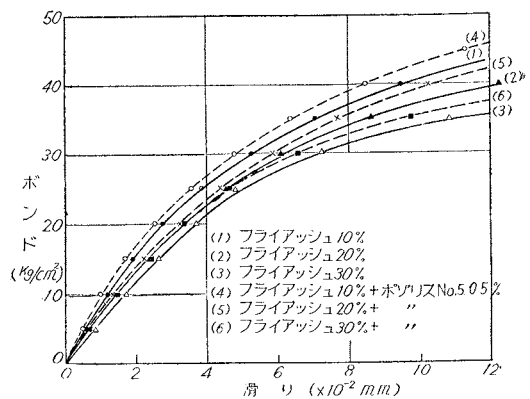


写真-2 コンクリートのキレツ発生状況
(直流20V陽極的荷電、塩カル1%)

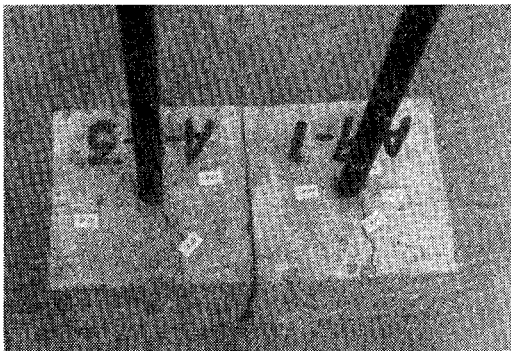


表-5 荷電しない場合の各コンクリートの滑り $6 \times 10^{-2} \text{mm}$ に対するボンドおよび増加指数

混和材料	なし (コントロール)	塩化カルシウム 0.25%	塩化カルシウム 1%	リゲニンスルホン 酸カルシウム 0.25%	塩化カルシウム0.25% +リゲニンスルホン 酸カルシウム 0.25%	塩化カルシウム 1%+リ ゲニンスルホン酸カル シウム 0.25%
ボ ン ド (kg/cm^2)	29.8	31.3	35.4	33.1	35.0	38.8
増 加 指 数	100	105	119	111	117	130
混 和 材 料	フライアッシュ 10%	フライアッシュ 20%	フライアッシュ 30%	フライアッシュ 10 %+ポゾリス No.5 0.5%	フライアッシュ 20% +ポゾリス No.5 0.5%	フライアッシュ 30%+ ポゾリス No.5 0.5%
ボ ン ド (kg/cm^2)	31.8	29.2	27.5	33.6	30.3	28.6
増 加 指 数	107	97	92	113	102	96

を合成した効果となることが認められる。フライアッシュを使用した場合は、その代替率の増加にともないボンドは低下している。

(5) 塩化カルシウム系コンクリートの直流電圧荷電によるボンド変化

塩化カルシウム系コンクリートに直流電圧 0.5, 10, 20 V を陽極的に荷電した場合、および直流電圧 20 V を陰極的に荷電した場合のボンド-滑り関係を図-11~14 に示す。ただし、直流 5 V 荷電の場合の関係曲線は 0 V の場合と全く同じであるのでこれを省略している。ボンドは陽極的荷電によつて増加しているが、これは荷電により鉄筋が陽極的電食作用をうけ、錆を生成して摩擦抵抗を増すためと、荷電によるコンクリートの温度上昇がコンクリートの硬化を促進するためと考えられ、荷電によるボンド増加、すなわち鉄筋の錆化程度とは考えられない。表-6 に鉄筋のコンクリートに対する滑りが $6 \times 10^{-2} \text{mm}$ のときのボンドを各種コンクリートについて比較している。

図および表からわかるとおり、塩化カルシウム系コ

ンクリートは直流電圧 5 V の陽極的荷電および 20 V の陰極的荷電によつて鉄筋のボンドはなんら変化なく、10 V の陽極的荷電により 3~6%、20 V の陽極的荷電により 2~10% のボンド増加を示す。すなわち、塩化カルシウム使用量が 1% 以下のコンクリートのボンドは、コンクリート中の鉄筋に直接直流 20 V 以下の電圧が荷電されても、電食作用によるボンドの低下は全くなく、逆にボンドは増加する。

(6) フライアッシュ系コンクリートの直流電圧荷電によるボンド変化

フライアッシュ系コンクリートに直流電圧 0.5, 10, 20 V を陽極的に荷電した場合、および直流電圧 20 V を陰極的に荷電した場合のボンド-滑り関係を図-15~18 に示す。この場合も直流 5 V は 0 V と変りなかつた。また、表-7 は鉄筋のコンクリートに対する滑りが $6 \times 10^{-2} \text{mm}$ のときのボンドを、各種コンクリートにつき比較したものである。この場合も荷電によるボンド増加がみられる。

図および表からわかるとおり、フライアッシュ系コ

表-6 塩化カルシウム系コンクリートの滑り $6 \times 10^{-2} \text{mm}$ に対するボンドおよび増加指数

混和材料	なし (コントロール)			塩化カルシウム 0.25%			塩化カルシウム 1%			リゲニンスルホン 酸カルシウム 0.25%	塩化カルシウム 0.25%+リゲニンスル フオン酸カルシウム 0.25%			塩化カルシウム 1% +リゲニンスルホン 酸カルシウム 0.25%						
	0	10	20	0	10	20	0	10	20		-20	0	10	20	0	10	20	-20		
電 圧 (V)	0	10	20	0	10	20	0	10	20	-20	0	10	20	0	10	20	0	10	20	-20
ボ ン ド (kg/cm^2)	29.8	30.6	32.5	31.3	33.4	36.5	35.4	36.5	41.5	35.7	33.1	33.4	35.0	35.0	36.7	38.5	38.8	41.5	45.6	39.2
増 加 指 数	100	100	100	105	109	128	119	119	128	111	109	108	117	120	119	130	130	136	140	140

表-7 フライアッシュ系コンクリートの滑り $6 \times 10^{-2} \text{mm}$ に対するボンドおよび増加指数

混和材料	フライアッシュ 10%			フライアッシュ 20%			フライアッシュ 30%			フライアッシュ 10%+ポゾリス No.5 0.5%	フライアッシュ 20%+ ポゾリス No.5 0.5%			フライアッシュ 30%+ポゾリス No.5 0.5%						
	0	10	20	0	10	20	-20	0	10		20	0	10	20	-20	0	10	20		
電 圧 (V)	0	10	20	0	10	20	-20	0	10	20	0	10	20	0	10	20	-20	0	10	20
ボ ン ド (kg/cm^2)	32.1	33.5	36.9	29.4	30.5	34.6	29.3	27.5	28.8	32.4	33.8	35.0	38.1	30.3	31.8	35.4	30.9	28.8	30.2	33.6
増 加 指 数	108	110	114	99	100	107	92	94	100	113	114	117	102	104	109	97	99	99	103	103

ンクリートは直流電圧 5 V の陽極的荷電および 20 V の陰極的荷電によつて鉄筋のボンドになんら変化なく、10 V の陽極的荷電により 4~5%、20 V の陽極的荷電により 13~18% のボンド増加を示す。

(7) 種々の混和材料を含むコンクリートの交流電圧 20 V 荷電によるボンド変化

交流電圧 20 V を荷電した各種コンクリートのボンド

滑り関係、および鉄筋の滑り $6 \times 10^{-2} \text{mm}$ に対するボンド比較をそれぞれ図-19 および表-8 に示す。図および表にみられるように、各コンクリートのボンドは直流荷電で求めたボンドより一般に大きくなっているが、これは交流荷電実験に用いた供試体のコンクリートには新たに入手した新鮮なセメントを使用したためである。

交流 20 V を荷電した各コンクリートのボンドは、直

図-11 直流陽極的荷電のボンドと滑り

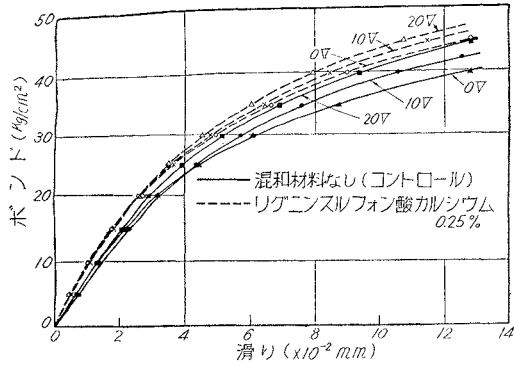


図-12 同上 (塩化カルシウム系コンクリート)

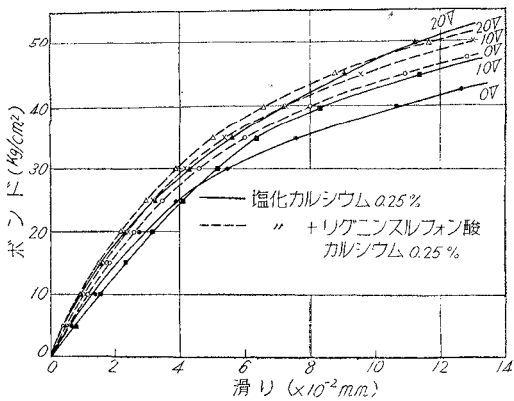
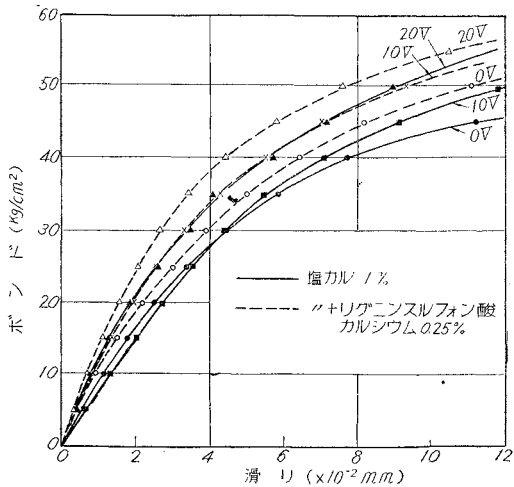


図-13 直流陽極的荷電のボンドと滑り (塩化カルシウム系コンクリート)



流 20 V 荷電の場合のような電食によるボンド変化はみられず、荷電しない場合の混和材料によるボンド変化率と全く同様である。ゆえに交流電圧の荷電は、20 V の荷電でも鉄筋のボンドにおよぼす影響は、全く認められない。

図-14 直流陰極的荷電のボンドと滑り (塩化カルシウム系コンクリート)

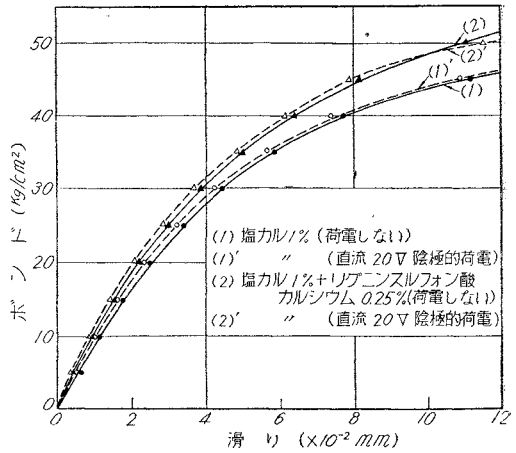


図-15 直流陽極的荷電のボンドと滑り (フライアッシュ系コンクリート)

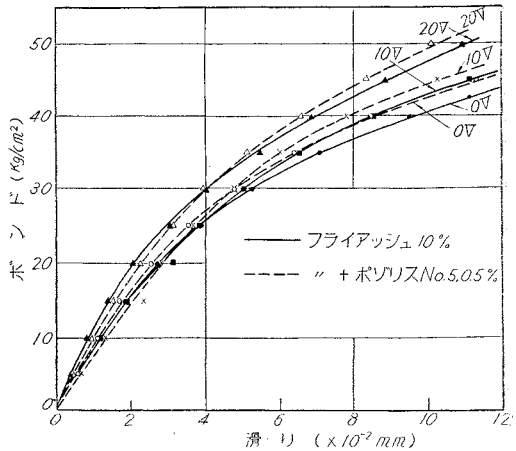
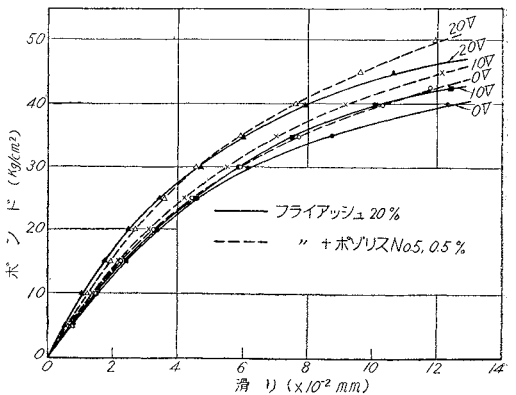


図-16 同上



なお交流電圧を鉄筋コンクリートに荷電した場合、コンクリート中の鉄筋とコンクリートの界面を流れる交流電流は、鉄筋、ペースト、骨材等の物質的差異によつ

図-17 直流陽極的荷電のボンドと滑り (フライアッシュ系コンクリート)

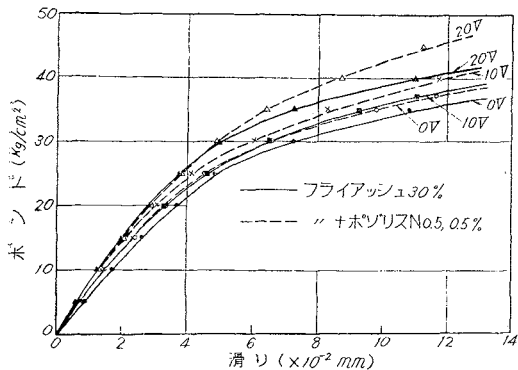
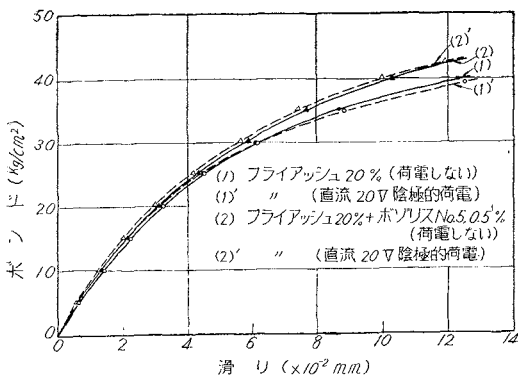


図-18 直流陰極的荷電のボンドと滑り (フライアッシュ系コンクリート)



て、界面である程度の整流現象がおり、長期間の通電中には直流荷電と類似した電食効果をもたらすのではないかと考えられるので、通電中の電極とコンクリート面との間の電流波形をブラウン管オシログラフで観察した。電源の交流波形となんら変化がなかった。

6. 結論

鉄筋コンクリートにセメント混和材料として塩化カルシウム、フライアッシュ、またはリゲニンスルホン酸カルシウムを使用した場合の電食におよぼす影響を実験的にしらべ、前節のような結果をえた。

図-19 交流電圧 20 V 荷電したコンクリートのボンドと滑り

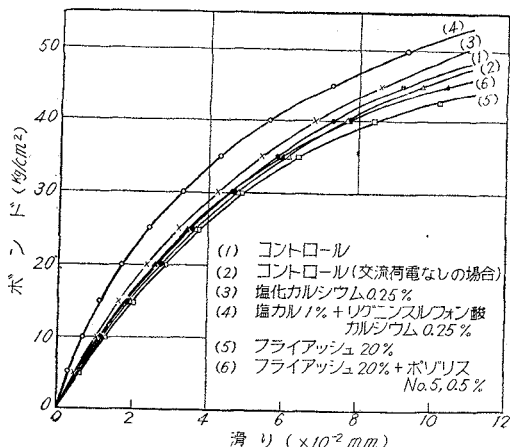


表-8 交流 20 V 荷電の場合の各コンクリートの滑り $6 \times 10^{-2} \text{mm}$ に対するボンドおよび増加指数

混和材料	ボンド (kg/cm ²)	増加指数
なし (荷電せず)	34.6	100
なし	45.4	102
塩化カルシウム 0.25%	37.1	107
塩化カルシウム 1% + リゲニンスルホン酸カルシウム 0.25%	41.1	119
フライアッシュ 20%	33.6	97
フライアッシュ 20% + ポリプロピレン No.5 0.5%	35.2	102

この実験では、短期間に比較的急激な荷電を行って、種々の混和材料が鉄筋の電食現象におよぼす影響を比較検討したわけであるが、実際に起る漏洩電圧はさらに低電圧で、長期に断続的に生ずるから、電食作用の被害は適切なコンクリート施工によつて十分さけられるものと考えられる。

なお、実験に協力していただいた学生 和田匡夫君に深謝する。

参考文献

- 1) 電蝕防止研究委員会：電蝕防止操典
- 2) 星野九平：コンクリートボールの電食，鉄道技術研究所，R 1230，昭 30.2，その他
- 3) 近藤泰夫・渡辺昭彦：コンクリート工事における塩化カルシウム利用に関する研究，第7回日本工学会土木部会，昭 31.5

第12回セメント技術大会について

日 時：昭和 33 年 5 月 6 日 (火) より 5 月 10 日 (土) まで 5 日間

場 所：東京・丸の内・日本工業クラブ大講堂

申込要領：講演募集要項その他詳細につきましては直接 日本セメント技術協会 (東京都港区赤坂台町 1 番地ノ 2) 大会講演係あて御問合せ下さい。