

フライアッシュを混和したモルタル中の鉄筋のさび

——トンネルの中に放置した実験——

正員 三浦 一郎*
正員 杉木 六郎**

AN EXPERIMENT ON CORROSION OF REINFORCED STEEL IN FLY-ASH CEMENT MORTARS

By Ichiro Miura, C.E. Member, and Rokuro Sugiki, C.E. Member

Synopsis: This is an experiment to examine if the fly-ash admixed in mortar affects the growth or progress of the corrosion of reinforcing steel.

The properties of the mortar of specimens are as follows; proportion—1:3~1:5, water cement fly-ash ratio ($W/C+F$)—58~103%, replacement of cement with fly-ash—0~60%. These specimens had been stored for 32 months in a railway tunnel. From the test results, it may be suggested that the corrosion on embeded reinforcing steel is not induced easily unless the replacement with fly-ash exceeds 30~40% and $W/C+F$ is so large.

要旨 セメントの一部をフライアッシュで置き換えたモルタル供試体をつくり、中に鉄筋を埋め込み、フライアッシュの混和がさびの発生またはその進行に影響するかどうかを調べた。

用いたモルタルは、配合比 1:3~1:5, 水セメント比 58~103%, フライアッシュ置き換え率 0~60%である。供試体はトンネル内に 2 年 8 月放置したのち、中の鉄筋を取り出して調べた。

その結果は、フライアッシュ置き換え率が 30~40%以下であって、水対セメント フライアッシュ比がいちじるしく大きくなれば、鉄筋のさびは容易に誘発されるものでないことを示唆するものようであった。

1. 緒 言

コンクリートまたはモルタル中のセメントの一部をフライアッシュで置き換えると、表面からの中性化の進行が速くなり、そのため内部の鉄筋がさびるおそれがあるといわれている。そこで、種々の割合でセメントの一部をフライアッシュで置き換えたモルタル供試体をつくり、中に鉄筋を埋込み、フライアッシュの混和がさびの発生またはその進行に影響するかどうかを調べた。

2. 供試体の製作

(1) 使用材料

使用した材料はつぎのとおりである。

セメント: N 社 普通ポルトランド

フライアッシュ: U 社

細骨材: 相模川産砂, 1.2 mm ふるいでふるい、粗粒を除いた。

鉄筋: 径 6 mm 丸鋼, SS 41, 表面はサンドペーパーで完全にみがきあげたのち、アセトンでよごれをぬぐいとった。

(2) 供試体の寸法およびモルタルの配合

供試体の寸法は 40×83×160 mm で、1 個の重量は約 1.3 kg である。型わくには、JIS R 5201 セメントの強さ試験用型わくの隔板を 1 枚とりはずして用いた。埋込み鉄筋は 3 本とし、そのかぶりは供試体により 15 mm, 10 mm, あるいは 5 mm とした(図-1)。

供試体は脱型後材令 14 日まで水中で養生し、水中から取出して空気中に放置したのち現場に送った。供試体の一部は、水中から取出した直後、曲げモーメントを与えて鉄筋を横断する方向にモルタルにひびわれをいれ

* 国鉄、鉄道技術研究所

** 小野田セメント KK 中央研究所

た。このひびわれの開口は 0.1~0.4 mm となり鉄筋にまで達した。

モルタルの配合は、

- (a) セメント+フライアッシュの単位量およびモルタルのフローを一定としたもの、
 - (b) 水対セメント+フライアッシュ比およびモルタルのフローを一定としたもの、
- の 2 種とし、それぞれの配合についてフライアッシュ置き換率を変化した。

モルタルの練り混ぜおよび成型は、JIS R 5201 セメントの物理試験方法に準じて行なった。また、各配合のモルタルは JIS R 5201 の試験方法により材令 28 日の強度を試験した。

モルタルの配合、強度、鉄筋埋込み条件、および供試体番号は 表-1 に示す。供試体の全数は 40 個となった。

3. 実験方法

供試体は、所定のかぶりをもった面を外面として、下記トンネル内の待避所に設置した(写真-1)。設置したときのモルタルの材令は 21~35 日である。

設置箇所：東北本線 塩釜トンネル 367.1 km の点。

トンネルの延長は 1220 m で、列車の通過のたびに供試体はかなりのばい煙をこうむった。

このような状態で、ある期間放置したのち、供試体を破壊して中の鉄筋を取り出し、さびの発生状態を調べる一方、モルタル破断面にフェノールフタレンイン溶液を散布して中性化の進行状態を調べた(写真-3~19 参照)。

4. 試験成績

(1) 第1回調査結果

現場設置後 5 カ月で調査した。

供試体表面はうすくばい煙でおおわれていた。結果は 表-2 のとおりである。この調査では、ひびわれをいたる供試体の鉄筋は、いずれもひびわれ部分で、さびを発生していた。ひびわれのない供試体では、5 にさびのこん跡が、25 にさびの発生が見られたが、その他の供試体ではさびの発生はなかった。

(2) 第2回調査結果

現場設置後 9 カ月で調査した。

結果は 表-3 のとおりである。第2回調査の供試体には、あらかじめひびわれをいれておいたものはない。水対セメント フラ

図-1 供試体の寸法

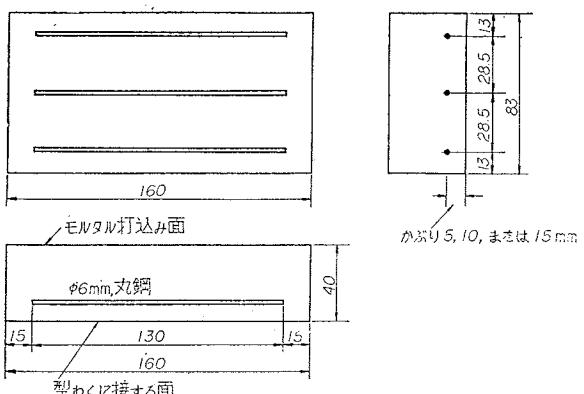


表-1 鉄筋を埋込んだモルタル供試体の製作条件

C:F	モルタルの配合		モルタルの強度 材令 28 日, kg/cm ²	鉄筋の埋込み条件				
	W/C+F %	C+F/S		ひびわれなし		ひびわ れあり		
				曲げ	圧縮	かぶり (mm)	15	
(a) C+F 一定, フロー一定 (170 mm)								
100 0	65	1:3	56.4	274	1, 2	3, 4	5, 6	7, 8
80 20	64	"	50.8	232		9, 10		
60 40	62	"	37.4	147	11, 12	13, 14	15, 16	17, 18
40 60	58	"	22.9	97		19, 20		
100 0	110	1:5	21.3	61		21, 22		23, 24
50 50	103	"	11.7	34		25, 26		27, 28
(b) W/C+F 一定, フロー一定 (170 mm)								
80 20	65	1:3.05	46.4	224		29, 30		31, 32
50 50	65	1:3.27	27.3	101	33, 34	35, 36	37, 38	39, 40

注: 1) C:セメント, F:フライアッシュ, S:砂, W:水

2) 鉄筋の埋込み条件の欄の数字は、供試体番号を示す。供試体は 1 組 2 個で、全数は 40 個である。

写真-1 供試体設置状態

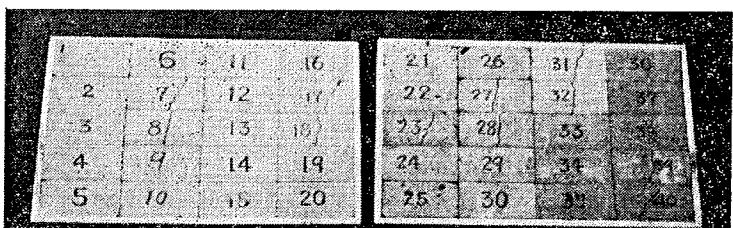


図-2 中性化とさびの発生

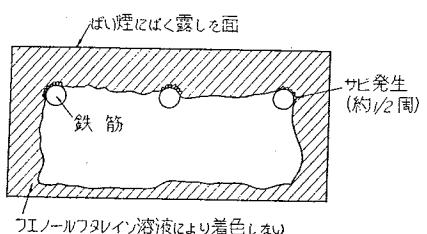


表-2 第1回の調査結果

供試体番号	フライアッシュ置き換え率(%)	W/C+F(%)	かぶり(mm)	ひびわれ	鉄筋の状態	
					3本ともわずかにさびのこん跡あり	ひびわれ箇所の鉄筋に長8~15mm, 鉄筋周の約1/2にわたりさび発生
5	0	65	5	なし	3本ともわずかにさびのこん跡あり	ひびわれ箇所の鉄筋に長8~15mm, 鉄筋周の約1/2にわたりさび発生
7	0	65	10	あり	さびの発生なし	さびの発生なし
15	40	62	5	なし	ひびわれ箇所の鉄筋に長4~5mm, 鉄筋周の1/5~1/2にわたりさび発生	さびの発生なし
17	40	62	10	なし	3本とも、鉄筋の1端部に長11~37mm, 鉄筋周の1/2にわたりさび発生	さびの発生なし
19	60	58	10	なし	3本とも、鉄筋の1端部に長11~37mm, 鉄筋周の1/2にわたりさび発生	さびの発生なし
25	50	103	10	なし	ひびわれ箇所の鉄筋に長8~12mm, 鉄筋周の1/4~3/4にわたりさび発生	さびの発生なし
37	50	65	5	なし	ひびわれ箇所の鉄筋に長8~12mm, 鉄筋周の1/4~3/4にわたりさび発生	さびの発生なし
39	50	65	10	あり	ひびわれ箇所の鉄筋に長8~12mm, 鉄筋周の1/4~3/4にわたりさび発生	ひびわれ箇所の鉄筋に長8~12mm, 鉄筋周の1/4~3/4にわたりさび発生

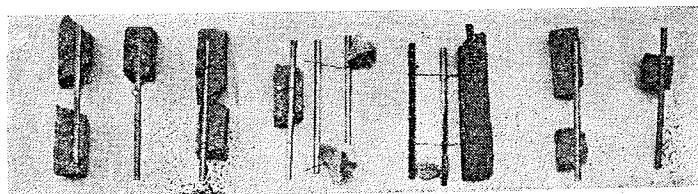
注: ひびわれの巾は0.05~0.1mmであるが、開口部にはほい煙がつまっていた。

表-3 第2回の調査結果

供試体番号	フライアッシュ置き換え率(%)	W/C+F(%)	かぶり(mm)	鉄筋のさびの発生の有無	モルタルの中性化露出面よりの中性化深さ(mm)	
					なし	5~10mm 中性化
4	0	65	10	なし	なし	なし
6	0	65	5	なし	なし	なし
16	40	62	5	なし	なし	なし
22	0	110	10	3本のうち2本さびのこん跡	なし	5~10mm 中性化
26	50	103	10	2本は全長にわたり1/2周さび, 1本は約1/2長にわたり1/2周さび	なし	なし
29	20	65	10	なし	なし	1~3mm 中性化
35	50	65	10	なし	なし	なし

イッシュ比 $W/C+F$ のいちじるしく大きなモルタル中に埋めた鉄筋にはさびの発生を見た。さびの発生状態は図-2 および写真-2 のとおりで、鉄筋面でモルタル表面に近い方の側がさびている。

写真-2 フライアッシュ混和モルタルと鉄筋のさび
(トンネル内放置9カ月)



供試体番号	4	6	16	22	26	29	35
さび, かぶり(mm)	なし 10	なし 5	なし 5	こん跡なし 10	全長さび 10	半長さび 10	なし 10
C/F	100:0	100:0	60:40	100:0	50:50	80:20	50:50
C+F/S	1:3	1:3	1:3	1:5	1:5	1:3.05	1:3.27
W/C+F(%)	65	65	62	110	103	65	65
中性化	なし	なし	なし	なし	表面より5~10mm 中性化	なし	表面より1~3mm 中性化

写真-3

(黒線でかこんだ内部がフェノールフタレインにより着色したところ)

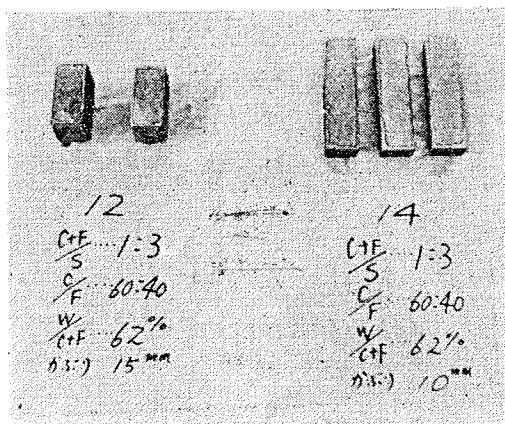


写真-4

24および27で、黒線でかこんだ部分がフェノールフタレインにより着色したところ、27, 28は着色しない

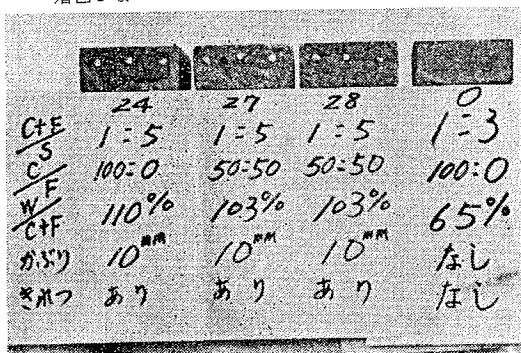


表-4 第 3 回の調査結果

供試体番号	フライアッシュ置き換率(%)	W/C+F	かぶり (mm)	ひびわれ (mm)	鉄筋のさび			中性化深さ		ばく露されたモルタル面の状態
					さびの発生している本数	さびの巾周	さびの長さ(mm)	ばく露された面(mm)	反対側の面(mm)	
1	0	65	15	なし	0	0	0	0	0.5~2	
2	ク	ク	15	ク	0	0	0	0	0~2	
3	ク	ク	10	ク	0	0	0	0	0~1.5	
8	ク	ク	10	0.1	3	1/3	24~52	0	0~2	
9	20	64	10	なし	0	0	0	0~2	1~2	
10	ク	ク	10	ク	0	0	0	1~5	1~2.5	
11	40	62	15	なし	0	0	0	1~3	3~4	
12	ク	ク	15	ク	0	0	0	1~2	1~2	
13	ク	ク	10	ク	0	0	0	0~3	1~2.5	
14	ク	ク	10	ク	0	0	0	1~2	1~2	
18	ク	ク	10	0.15	3	1/3	15~32	2~3	1~3	
20	60	58	10	なし	3	1/5~1	45~全長	8~14	8~10	
21	0	110	10	なし	2	1/2~1	17~21	0~5	2~8	
23	ク	ク	10	0.1	3	1/2~1	45~68	1~6	1~6	
24	ク	ク	10	0.1	3	1/2~1	10~22	0~8	3~10	
27	50	103	10	0.2	3	1	全長	心まで	心まで	表面変色し,
28	ク	ク	10	0.1	3	1	全長	心まで	心まで	ぼろぼろ
30	20	65	10	なし	0	0	0	0~1	0~3	
31	ク	ク	10	0.2	3	1/3	25~32	0~1	1~1.5	
32	ク	ク	10	0.3	3	1/3	15~17	0~2.5	1~1.5	
33	50	65	15	なし	1	1/2	13	4~6	4~8	表面変色し,
34	ク	ク	15	ク	1	1/3	39	4~7	5~8	ぼろぼろのものが多い
36	ク	ク	10	ク	1	1/3~1/2	78	5~10	5~8	
38	ク	ク	5	ク	2	1/3~1	47~61	5~10	5~6	
40	ク	ク	10	0.1	3	1/2~1	29~76	5~7	8~14	

注: ばく露されたモルタルの面は、全面にはい煙が付着していた。

写真-5

(黒線でかこんだ内部がフェノールフタレインにより着色したところ)

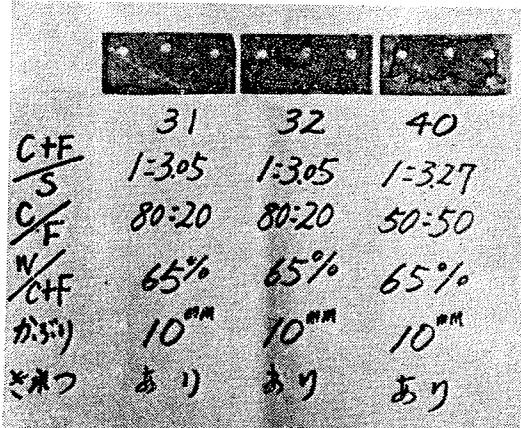
写真-6
同上

写真-7

(単線でかこんだ内部がフェノールフタレインにより着色したところ)

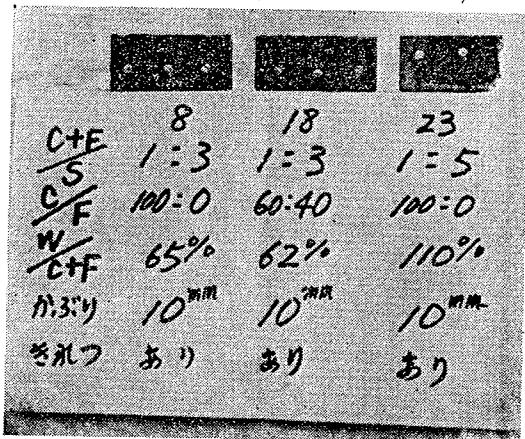
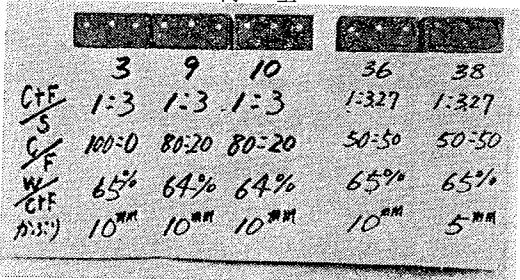
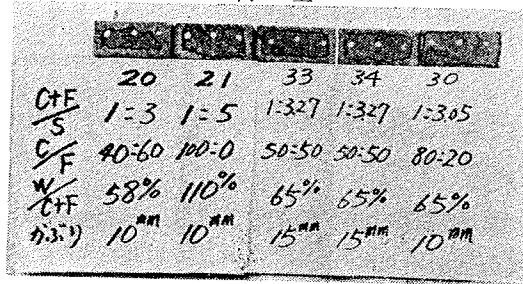
写真-8
同上

写真-9

(黒線でかこんだ内部がフェノールフタレンにより
着色したところ)

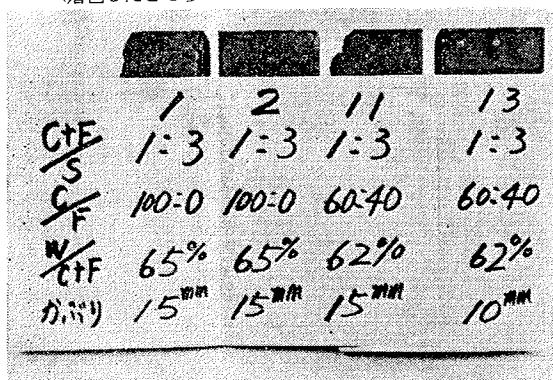


写真-10

C+F/S 1:3
C/F 100:0
W/C+F 65%
かぶり 15 mm



写真-11

(黒く見える部分がフェノールフタレン
により着色したところ)

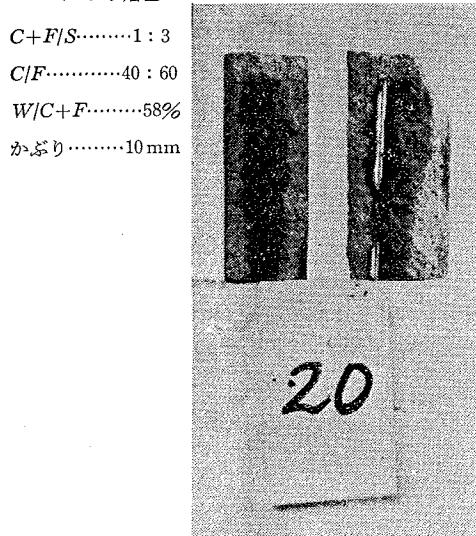


写真-12

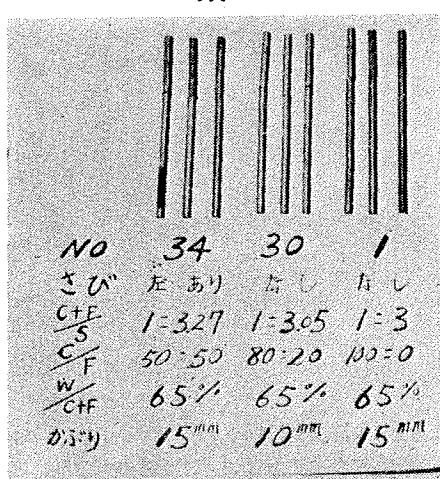


写真-13

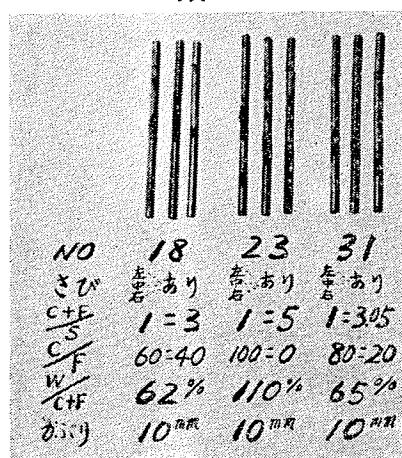
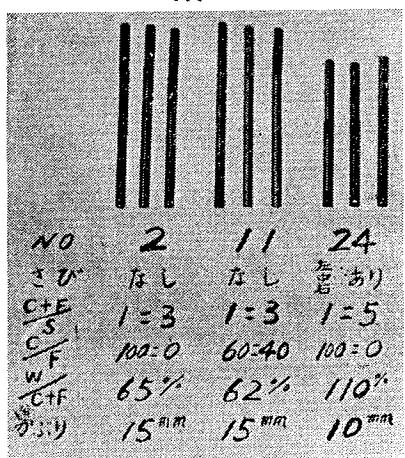


写真-14



フェノールフタレン溶液による中性化の調査結果では、フライアッシュ置き換え率 50% のものに中性化の進行が認められた。

写真-15

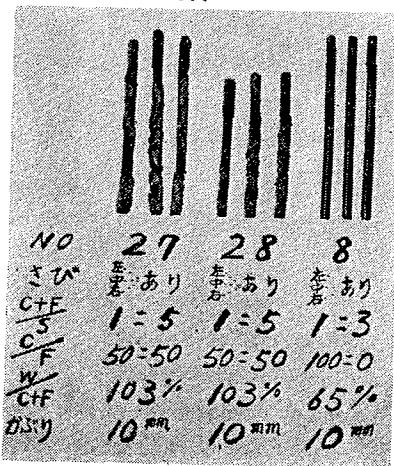


写真-16

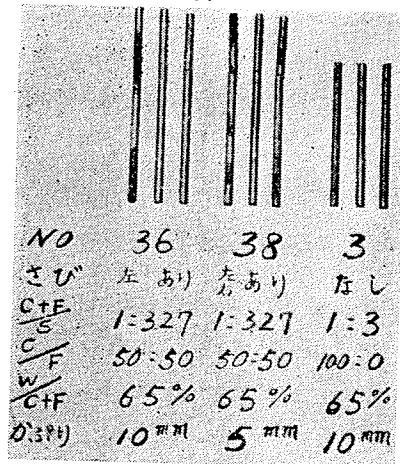


写真-17

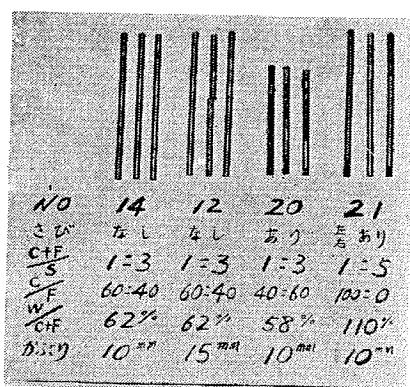


写真-18

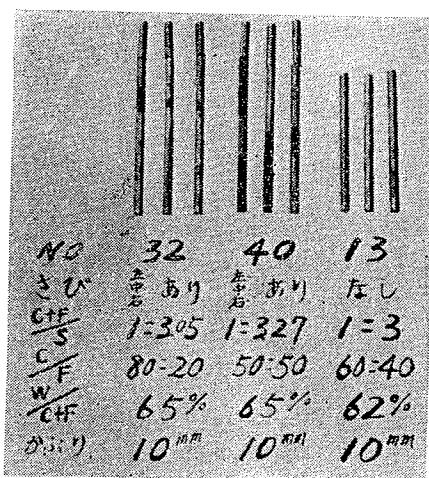
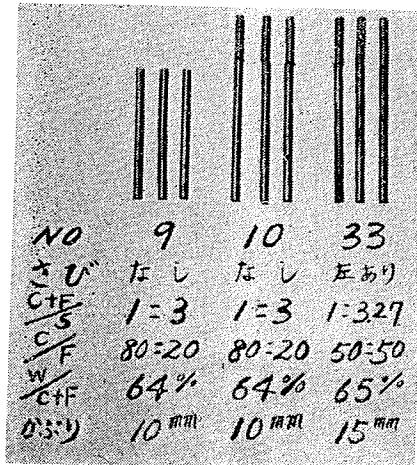


写真-19



5. 結 言

本実験の範囲においては、この試験成績はセメントに対するフライアッシュの置き換え率が30～40%以下であり、水対セメント フライアッシュ比がいちじるしく大きくなれば、鉄筋のさびを誘発するものでないことを示唆するものと思われる。

供試体にひびわれをいたしたものでは、フライアッシュ混和の有無に関係なく、いずれもひびわれ部分で鉄筋にさびを生じた。これにはトンネル内は相対湿度が大体90%以上で、なおばい煙がこもるといったきわめて悪い条件であったことを付記したい。

本実験は、トンネル内という特殊の場所におけるもので、放置期間も長くないので、さらに条件を変え、長期にわたる実験を行ないたいと考えている。

終りにのぞみ、終始ご指導下さった国分正胤先生に感謝の意を表する。
