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 embedded 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、中の鉄筋をとり出して調べた。

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ければ、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生じるともいわれている。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, 1.2mm ふるいでふるい, 粗粒を除いた。

鉄 筋: 径 6mm 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、アセトンでよくそれをぬぐいとった。

(2) 供試体の寸法およびモルタルの配合

供試体の寸法は 40×83×160mm で、1個の重量は約 1.3kg 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 15mm, 10mm, あるいは 5mm 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

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
5	0	65	5	なし	3 本ともわずかにさびのこん跡あり
7	0	65	10	あり	ひびわれ箇所の鉄筋に長 8~15 mm, 鉄筋周の約 1/2 にわたりさび発生
15	40	62	5	なし	さびの発生なし
17	40	62	10	あり	ひびわれ箇所の鉄筋に長 4~5 mm, 鉄筋周の 1/5~1/2 にわたりさび発生
19	60	58	10	なし	さびの発生なし
25	50	103	10	なし	3 本とも, 鉄筋の 1 端部に長 11~37 mm, 鉄筋周の 1/2 にわたりさび発生
37	50	65	5	なし	さびの発生なし
39	50	65	10	あり	ひびわれ箇所の鉄筋に長 8~12 mm, 鉄筋周の 1/4~3/4 にわたりさび発生

注：ひびわれの巾は 0.05~0.1 mm であるが、開口部にはば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)
4	0	65	10	な し	な し
6	0	65	5	な し	な し
16	40	62	5	な し	な し
22	0	110	10	3 本のうち 2 本さびのこん跡	な し
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	5~10 mm 中性化
29	20	65	10	な し	な し
35	50	65	10	な し	1~3 mm 中性化

イアッシュ比 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)

併試体番号	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 こん跡 10	全長さび 半長ささび 10	なし 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 5~10 mm 中 性 化	なし	表面より 1~3 mm 中 性 化

写真-3

(黒線でかこんだ内部がフェノールフタレーン)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ーンにより着色したところ, 27, 28 は着色しない)

	24	27	28	0
C/F	1:5	1:5	1:5	1:3
C/S	100:0	50:50	50:50	100:0
W/F	110%	103%	103%	65%
かぶり	10 mm	10 mm	10 mm	なし
さび	あり	あり	あり	なし

表-4 第 3 回の 調 査 結 果

供試体 番 号	フライアッシュ 置き換え率 (%)	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	"	"	15	"	0	0	0	0	0~2	
3	"	"	10	"	0	0	0	0	0~1.5	
8	"	"	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	"	"	10	"	0	0	0	1~5	1~2.5	
11	40	62	15	なし	0	0	0	1~3	3~4	
12	"	"	15	"	0	0	0	1~2	1~2	
13	"	"	10	"	0	0	0	0~3	1~2.5	
14	"	"	10	"	0	0	0	1~2	1~2	
18	"	"	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	"	"	10	0.1	3	1/2~1	45~68	1~6	1~6	
24	"	"	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	"	"	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	"	"	10	0.2	3	1/3	25~32	0~1	1~1.5	
32	"	"	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	"	"	15	"	1	1/3	39	4~7	5~8	ぼろぼろのものが多く
36	"	"	10	"	1	1/3~1/2	78	5~10	5~8	
38	"	"	5	"	2	1/3~1	47~61	5~10	5~6	
40	"	"	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、全面にば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ーン)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ーン)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ーンにより着色したところ)

	1	2	11	13
$\frac{C+F}{S}$	1:3	1:3	1:3	1:3
$\frac{C}{F}$	100:0	100:0	60:40	60:40
$\frac{W}{C+F}$	65%	65%	62%	62%
かぶり	15 ^{mm}	15 ^{mm}	15 ^{mm}	10 ^{mm}

写真-10

写真-11

(黒く見える部分がフェノールフタレーンにより着色したところ)

C+F/S.....1:3
C/F.....40:60
W/C+F.....58%
かぶり.....10 mm

写真-12

	34	30	1
NO	34	30	1
さび	左あり	なし	なし
$\frac{C+F}{S}$	1:3.27	1:3.05	1:3
$\frac{C}{F}$	50:50	80:20	100:0
$\frac{W}{C+F}$	65%	65%	65%
かぶり	15 ^{mm}	10 ^{mm}	15 ^{mm}

写真-13

	18	23	31
NO	18	23	31
さび	左あり	左あり	左あり
$\frac{C+F}{S}$	1:3	1:5	1:3.05
$\frac{C}{F}$	60:40	100:0	80:20
$\frac{W}{C+F}$	62%	110%	65%
かぶり	10 ^{mm}	10 ^{mm}	10 ^{mm}

写真-14

	2	11	24
NO	2	11	24
さび	なし	なし	左あり
$\frac{C+F}{S}$	1:3	1:3	1:5
$\frac{C}{F}$	100:0	60:40	100:0
$\frac{W}{C+F}$	65%	62%	110%
かぶり	15 ^{mm}	15 ^{mm}	10 ^{mm}

フェノールフタレイ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

(3) 第3回調査結果

現場設置後2年8カ月で、残りの全供試体について調査した。結果は表-4のとおりである。

さびの発生およびフェノールフタレーン散布による変色の状態は写真-3~19に示す。

以上3回の調査結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) さびの発生は、水セメント比のいちじるしく大きなモルタルにおいて、現場放置後9カ月で見られた(供試体22および26)。

(2) モルタルにひびわれをいれたものは、ひびわれのところで、鉄筋には必ずさびを発生した。

(3) ひびわれ部分以外の点におけるさびの発生は、表面からの中性化の進行が鉄筋に到達したところで起こっているようである。

(4) 表面よりの中性化の進行は、モルタルの水セメント比が大きいほど、配合が貧であるほど、またフライアッシュ置き換え率が大きいほど早い。

(5) フライアッシュ置き換え率が40%でも、水セメント比が62%のモルタル(供試体11~18)は、同じ配合比で置き換え率0%のモルタルにくらべ、多少風化の進行は大きいようであるが、鉄筋にさびを発生したものはない。

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ければ、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れたものでは、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。