フライアッシュを混入したモルタルの強度および中性化性状に関する研究

九州大学工学部　学生会員　相馬　良太　　九州大学大学院　フェロー　松下　博通
九州大学大学院　　正会員　佐川　康貴　　九州大学大学院　学生会員　取違　剛

１．はじめに

日本におけるフライアッシュの発生量は今後も増加傾向になると予想されており，更なる需要の拡大が望まれている。既往の研究よりフライアッシュは内割で混入することにより塩分浸透抵抗性の増大，アルカリ骨材反応の抑制効果などがあることが確認されている。しかし，フライアッシュは品質によるばらつきが大きく，フライアッシュの品質の違いがコンクリートの諸性状に与える影響は様々なため，一義的に評価を行なう事は困難である。

そこで本研究では, 統一的な見解を得る事を目的とし, フライアッシュ II 種の内割混入による実験を行い, フライアッシュの品質の違いがモルタルの強度および中性化に与える影響について検討を行った。

２．実験概要

２．１　使用材料および配合

表－１に使用材料を，**表－２**に供試体の種類を示す。フライアッシュ A と B はいずれも JIS のフライアッシュ II 種に相当するものであるが, それぞれ異なる発電所から入手したものである。モルタルの配合は W/B＝50%，S/C＝3 の配合で一定とし，フライアッシュをセメントに対して内割で 10%，20%，30%置換した。

表－１　使用材料

材料	種類
セメント	普通ポルトランドセメント，密度3.15g/cm^3
フライアッシュA	比表面積4510cm^2/g，密度2.32g/cm^3 強熱減量1.5%，SiO_2含有量64.5%
フライアッシュB	比表面積4070cm^2/g，密度2.26g/cm^3 強熱減量1.3%，SiO_2含有量60.4%
細骨材	海砂，密度2.59g/cm^3，吸水率1.72%

２．２　試験方法

供試体は強度測定用に 4×4×16cm 角柱供試体，中性化試験用に 10×10×40cm 角柱供試体を使用した。圧縮強度試験は材齢 7 日，28 日，91 日にそれぞれ JIS R 5201 に準拠し行った。また，中性化促進試験は打設より 24 時間後に脱型し，その後温度 20℃で 28 日間水中養生を行った。所定の養生後, 2 日間気中にて乾燥させ, エポキシ樹脂により浸透面(打設側面)以外の 4 面にシール処理を施し, 材齢 35 日から中性化促進試験を開始した。中性化促進試験は温度 20℃，湿度 60%，CO_2 濃度 5%の条件下で行った。試験開始より 2 週，4 週，8 週，13 週に供試体を割裂し，割裂面に 1%フェノールフタレイン溶液を噴霧して，未着色域を中性化部とし，その深さ 10 点を測定し，平均して中性化深さとした。

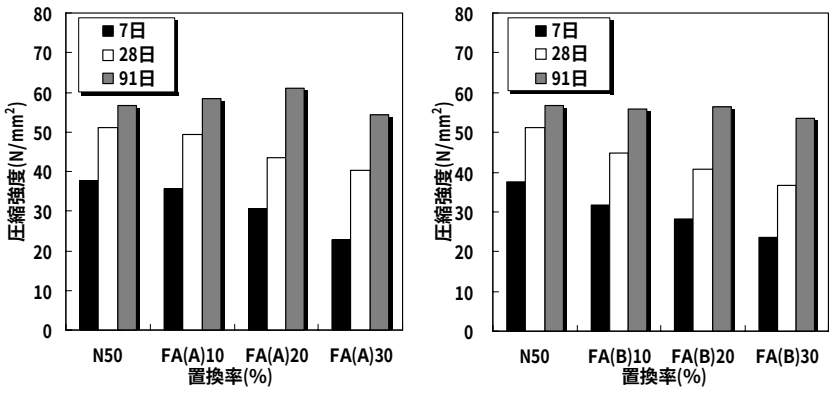
表－２　供試体の種類

記号	W/B(%)	FA置換率(%)
N50	50	—
FA(A)10		10
FA(A)20		20
FA(A)30		30
FA(B)10		10
FA(B)20		20
FA(B)30		30

３．試験結果および考察

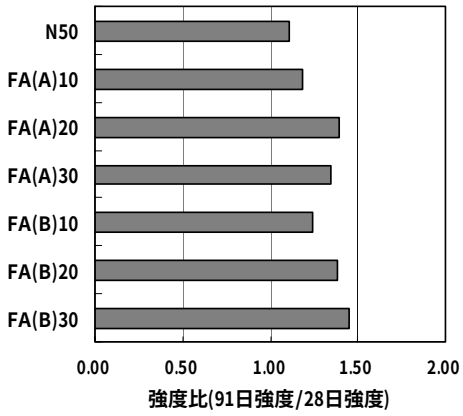
３．１　圧縮強度

図－１に FA(A), FA(B)の置換率と圧縮強度の関係を示す。図より，初期強度は置換率の増大と伴に低下していることが分かる。長期強度は 91 日において FA(A), FA(B)共に N50 とほぼ同程度の強度となっている。これはポゾラン反応によるものであると考えられ，既往の研究と一致する。また，各配合について，91 日強度と 28 日強度の比(強



図－１　FA 置換率と圧縮強度

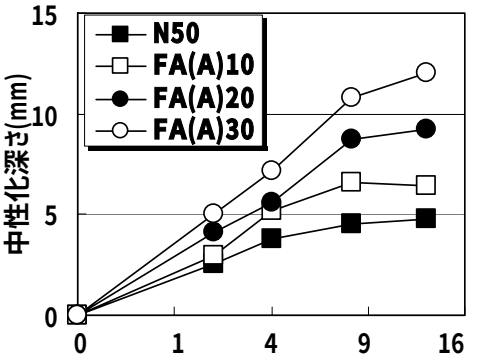
度比)を求めた結果を**図－２**に示す。図よりフライアッシュを混入したものはN50よりも強度比が大きいことが分かる。これはフライアッシュのポゾラン反応によるものであると考えられる。また，置換率による伸び率の違いを見てみると，FA(B)は置換率の増大と共に伸びも大きくなっており，FA(A)に関しても同様の傾向であると言える。またFA(A)，FA(B)ではその伸び方に違いが見られる。これはフライアッシュのポゾラン反応性の違いによるものであると考えられる。



図－２　各配合における強度比

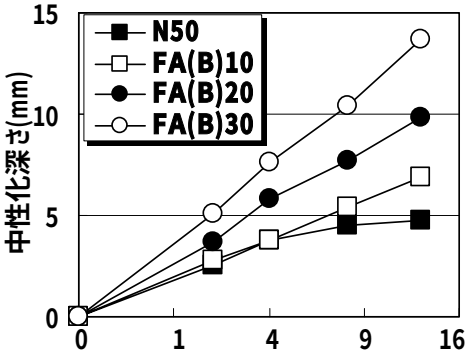
３．２　中性化試験結果

図－３にFA(A)の，**図－４**にFA (B)の中性化促進期間と中性化深さの関係を示す。図より，いずれのフライアッシュも置換率が大きくなるにつれ，中性化深さが増大していることが分かる。これはセメント量の減少によるアルカリ量の低下，フライアッシュのポゾラン反応による $Ca(OH)_2$ の減少によるものと考えられる。またフライアッシュの種類による違いを見ると，中性化促進期間8週までは FA(A)，FA(B)共にほぼ直線的に増加していることが確認できる。



図－３　FA(A)の中性化深さ

ここでフライアッシュの品質において代表的な成分であり，ポゾラン反応と密接な関係にある SiO_2 の含有量と，反応のしやすさに影響すると考えられる比表面積をかけ合わせた F＝(SiO_2 量)×（比表面積）という指標を導入した。このFに置換率を乗じたものと中性化速度係数との関係を調べたところ**図－５**のようになり，ある程度の相関が得られた。なお，ここで中性化速度係数は，直線的な増加が見られた8週までのデータの近似直線より求めた。これにより SiO_2 量と比表面積がフライアッシュの中性化速度係数と相関関係にあることが明らかになった。しかし，8～13 週の結果を見ると，FA(B)は直線的に増加しているのに対し，FA(A)は増加割合が緩やかになっていることが確認できる。したがって，この評価指標は長期的にはまだ不明確であり，今後データの蓄積が必要である。



図－４　FA(B)の中性化深さ

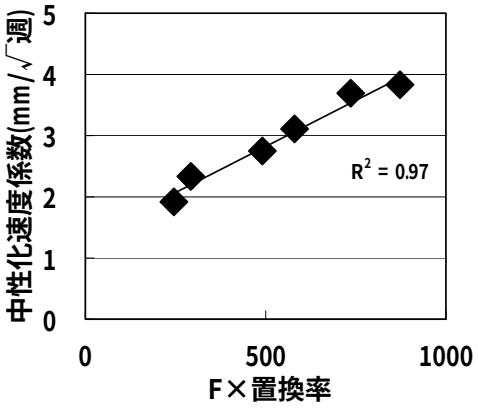
４．　まとめ

以下に本研究により得られた知見を示す。

(１)フライアッシュを混入したモルタルの圧縮強度は，初期強度の低下が見られたが，長期強度では無混入のものと同程度または上回る結果が得られた。また品質による違いは長期強度において得られた。

(２)フライアッシュを混入したモルタルの中性化性状は，促進期間8週までは直線的に増加したが，その後は差が見られたため，今後長期的なデータの蓄積が必要であると考えられる。

(３)F＝(SiO_2 量×比表面積)というフライアッシュの品質に関する指標を導入することで，中性化に及ぼすフライアッシュの品質の違いによる影響を一義的に示せる可能性がある。



図－５　F×置換率と中性化速度係数の関係