

フライアッシュを外割混入したモルタルの強度および中性化性状に関する検討

○九州大学大学院 学生会員 濱本真吾
九州大学大学院 正会員 濱田秀則

九州大学大学院 フェロー 松下博通
九州大学大学院 学生会員 川端雄一郎

1. はじめに

本研究ではフライアッシュ（FA）の有効利用を目的として、フライアッシュを外割混入したモルタルを製作し、セメントの種類およびフライアッシュの品質の違いが強度および中性化性状に及ぼす影響について基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1に、供試体の種類を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメント（OPC）と高炉セメントB種（BB）を使用し、FAは3種類使用した。JIS規格において、F1およびF3はフライアッシュIV種相当のもので、F2はフライアッシュII種相当のものである。配合はすべて単位水量270kg/m³、水セメント比50%で一定とし、FAを置換率10、15%で外割混入した。また、圧縮強度試験・細孔径分布測定およびCa(OH)₂量測定用に、40×40×160mmの角柱供試体を、促進中性化試験用に100×100×400mmの角柱供試体を使用した。

2.2 試験方法

- ・圧縮強度試験：JIS R 5201 に準拠して行った。
- ・細孔径分布測定：所定の材齢において水銀圧入式ポロシメータにより測定した。
- ・モルタル中のCa(OH)₂量測定：供試体を微粉碎したものを試料とし、熱分析を行った。400～500℃付近における脱水量からCa(OH)₂量(CH量)を算出した。
- ・促進中性化試験：28日間水中養生した後、気中乾燥させ、浸透面となる打設時側面以外をエポキシ樹脂にてシール処理し、材齢35日より試験を開始した。試験環境は温度20℃、湿度60%、CO₂濃度5%であり、所定の材齢にて1%フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧して中性化深さを測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度

図-1に各材齢における圧縮強度試験結果を示す。

FAの品質や置換率の違いによる差はなく、FAを外割混入することにより7日強度においても無混和のものと同程度以上であり、長期的に強度が増進している。また、BBを使用すると、初期強度は小さくなるが、FAを外割混入することで若干改善され、スラグの潜在水硬性やFAのポズラン反応により長期的に強度が増進し、材齢28日以降では無混和のものより大きな値となった。

キーワード：フライアッシュ、圧縮強度、中性化、細孔構造、Ca(OH)₂量

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎6丁目10-1 TEL：092-642-3271

表-1 使用材料

普通ポルトランドセメント(OPC)	密度:3.16g/cm ³
	比表面積:3250cm ² /g
高炉セメントB種(BB)	密度:3.02g/cm ³
	比表面積:3860cm ² /g
フライアッシュ	F1 密度:2.27g/cm ³ 比表面積:2100cm ² /g 強熱減量:1.0% SiO ₂ 含有量:58.1%
	F2 密度:2.24g/cm ³ 比表面積:3860cm ² /g 強熱減量:1.6% SiO ₂ 含有量:60.4%
	F3 密度:2.20g/cm ³ 比表面積:2080cm ² /g 強熱減量:1.8% SiO ₂ 含有量:67.3%
海砂	表乾密度:2.55g/cm ³ 吸水率:1.92%

表-2 供試体の種類

種類	セメント	単位水量	W/C	FA	FA置換率(%)
N	OPC	270kg	50%	—	0
F1-10				F1	10
F1-15				F1	15
F2-10				F2	10
F3-10				F3	10
B	BB	270kg	50%	—	0
BF1-10				F1	10
BF1-15				F1	15

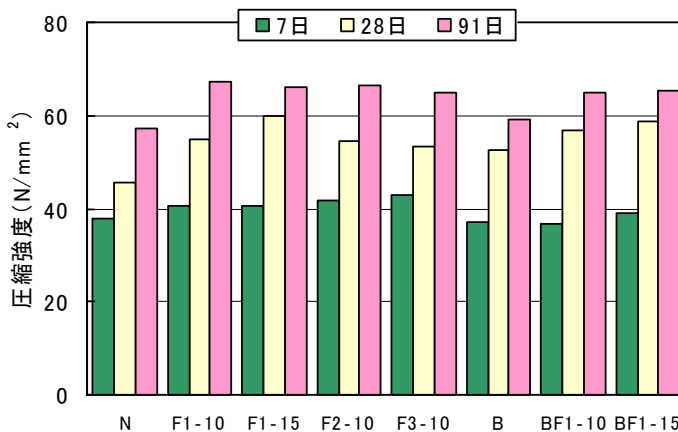


図-1 圧縮強度

図-2 に圧縮強度と細孔容積の関係を示す。両者には相関関係があり、材齢と共に 50nm~2 μ m の細孔容積は減少し、緻密化することで強度が増進している。

3.2 中性化性状

図-3 に中性化深さの経時変化を示す。図より、FA の品質や置換率の違いによる差は小さく、大幅な中性化抵抗性の改善効果は見られなかった。また、BB を使用した場合、FA を外割混入することで若干中性化深さは減少したが、OPC を使用したものより中性化深さは増大していることがわかる。これは BB を使用することで、単位ポルトランドセメント量が減少し、セメントの水和反応によって生成される、CH の量が減少したためと考えられる。中性化抵抗性を評価する際には、細孔構造と CH 生成量の両者を考慮する必要があると言える。図-4 に材齢 28 日の 50nm~2 μ m の細孔容積と中性化速度係数の関係を示す。図より、OPC、BB いずれを使用した場合でも、50nm~2 μ m の細孔容積が小さいものほど、中性化速度係数は小さい。FA を混入することで緻密化し、CO₂ の浸透が抑制されると言える。セメントの違いで見ると、OPC を使用した場合は、中性化速度係数は細孔容積にそれほど影響を受けないが、BB を使用した場合は、細孔容積の影響が大きいことがわかる。

図-5 に各材齢のモルタル中の CH 量を示す。N は材齢と共に CH 量は増加しているが、B は材齢によらず、CH 量がほとんど変化しておらず、郭らの研究結果¹⁾と一致した。この現象は、高炉スラグによる CH の消費によるものと考えられる。また、FA を外割混入したものは材齢 28 日までは CH 量が増加傾向にあり、材齢 91 日では減少している。FA 混入により alite の水和が促進され、belite の水和が抑制される²⁾ため、このような傾向になったと推察される。以上から、FA の混入によって、ポゾラン反応に伴う細孔構造の緻密化と CH 量の減少効果が相殺することにより、大幅な中性化抵抗性の改善が見られなかったものと推察される。

4. まとめ

- 1) FA を外割混入したモルタルの強度および中性化抵抗性は、無混和のものと同等以上である。また、中性化深さは、FA の品質や置換率の違いによる影響は小さかった。
- 2) FA を外割混入したモルタルの圧縮強度と、50nm~2 μ m の細孔容積には相関関係があり、細孔容積が小さいものほど圧縮強度は大きかった。
- 3) 中性化抵抗性において、FA を外割混入すると組織は緻密化されるが、材齢 28 日から 91 日にかけて CH 量が減少するので、顕著な改善効果は見られなかった。

謝辞:本研究を行うにあたり、九州大学中央分析センターの装置を使用した。

参考文献: 1) 郭度連ほか:高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの中性化進行速度の評価, 土木学会論文集, No.802/V-69, pp.49-59, 2005.11

2) E. Sakai et al.: Hydration of fly ash cement, *Cement and Concrete Research*, Vol.35, pp.1135-1140, 2005

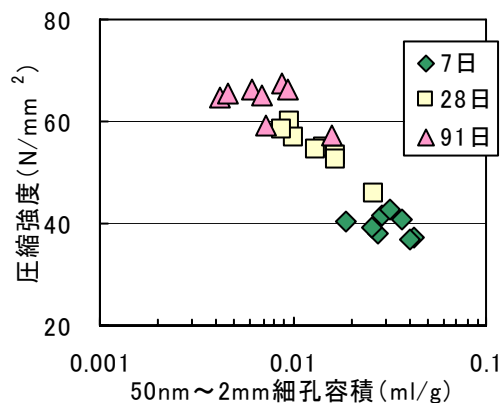


図-2 細孔容積と圧縮強度の関係

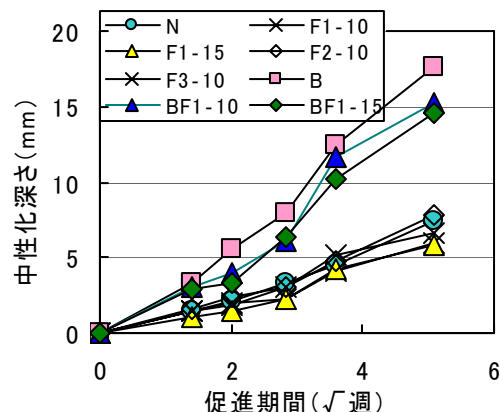


図-3 中性化深さの経時変化

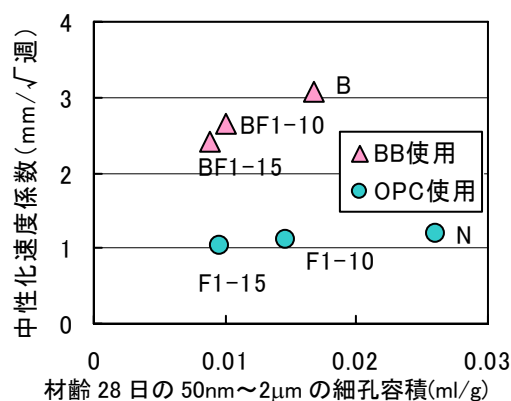


図-4 細孔容積と中性化速度係数

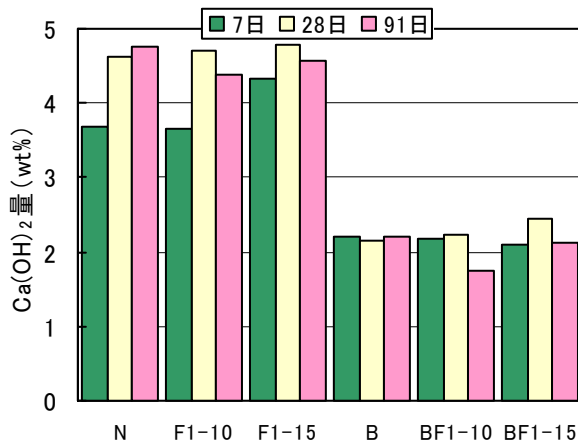


図-5 各材齢のモルタル中の Ca(OH)₂ 量