

マスコンクリート用HVFAコンクリートの強度および断熱温度上昇

山口大学大学院

学生会員 ○北原敦志

下松アサノコンクリート（株）

吉田和隆

山口大学大学院

正会員

浜田純夫

前田道路（株）

正会員

加藤康弘

1. はじめに

石炭火力発電設備の増加に伴い、フライアッシュ（以下、FA と記す）の発生量も増加しており、FA の有効的な用途開発が必要とされている。そこで、水和熱抑制対策としてFA の大量利用が見込まれるマスコンクリートに着目し、規定量以上のFA をセメント置換したハイボリュームフライアッシュコンクリート（以下、HVFA コンクリートと記す）の強度発現性状、断熱温度上昇量を明らかにするとともに、FA のセメントに対する強度寄与効果の検討を行った。

2. 実験概要

2-1 使用材料およびコンクリート配合

普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3 ）を用い、FA は JIS で II 種（密度 2.30g/cm^3 ）に適合するものを使用した。骨材は、碎石（最大寸法 20mm 、密度 2.30g/cm^3 ）、海砂（密度 2.44g/cm^3 ）を使用した。混和剤は、リグニンスルホン酸系の AE 減水剤、アルキルカルボン酸系の AE 剤、およびポリアルキレングリコール系の空気量調整剤を使用した。マスコンクリートは部材の温度上昇を小さくするため、単位セメント量を少なくし、設計基準強度を 30N/mm^2 以下とすることが多い。しかし、FA で大量置換することによる強度低下が懸念されるため、FA 置換率 0% の目標強度を

表-1 コンクリート配合

番号	置換率0%の σ_k (N/mm ²)	置換率 (vol%)	単位量 (kg/m ³)				
			C	FA	W	S	G
①	24	0	288	0	167	899	1015
		50	144	105			
		60	116	126			
		70	87	147			
		0	318	0			
②	27	50	159	116	168	866	1022
		60	127	139			
		70	95	162			
		0	339	0			
		50	170	123			
③	30	60	136	148	169	845	1022
		70	102	173			
		0	390	0			
		50	195	142			
		60	156	170			
④	36	70	117	199	171	800	1020

24, 27, 30, および 36N/mm^2 （以下、①, ②, ③, ④と記す）の 4 配合とした。この配合は、生コン工場における一般的な配合を参考にしたものである。FA 置換率は、容積比率で 0%, 50%, 60% および 70% とした。表-1 にコンクリート配合を示す。目標スランプは 12cm 、FA を大量置換したコンクリートは空気量の確保が困難なため目標空気量は 2% とし、混和剤により調整した。

2-2 実験項目および測定方法

$\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を作製し、材齢 1 日において脱型後、標準養生を行い、材齢 7, 28 および 91 日で圧縮強度試験を行った。コンクリートの断熱温度上昇試験は、①および④の 2 種類の計 8 配合を対象とし、養生室内（ 20°C , RH60%以上）において、発泡スチロール型枠を使用した簡易的な断熱温度上昇量測定装置を用いた。温度測定は 1 週間とした。断熱温度上昇量測定装置による温度の測定後、供試体を発泡スチロール型枠から取り出し、 60°C に設定した恒温恒湿槽内に設置し、内部に温度分布が生じないよう 24 時間加熱した後、再び発泡スチロール型枠に戻し、熱損失特性（温度降下勾配）を測定した。

3. 実験結果および考察

3-1 強度発現性状

図-1 に FA 置換率と強度発現の関係を示す。FA 置換率 0% の供試体は全て材齢 7 日で目標強度を満足している。同一材齢で比較すると、FA 置換率の増加に伴い強度は低下している。材齢 28 日から材齢 91 日にかけての FA 置換率 0% の強度は各配合とも微増であるに対し、FA で置換した供試体の強度は顕著に増加している。これは、FA のポズラン反応による強度発現によるものと考えられる。各配合とも FA 置換率 50% の強度は、材齢 91 日の時点で FA 置換率 0% の目標強度と同等以上となっている。材齢 91 日において、各配合とも FA 置換率 60% までは、JIS の最低強度である 18N/mm^2 を満足しており、④については FA 置換率 70% でも 18N/mm^2 を満足した。

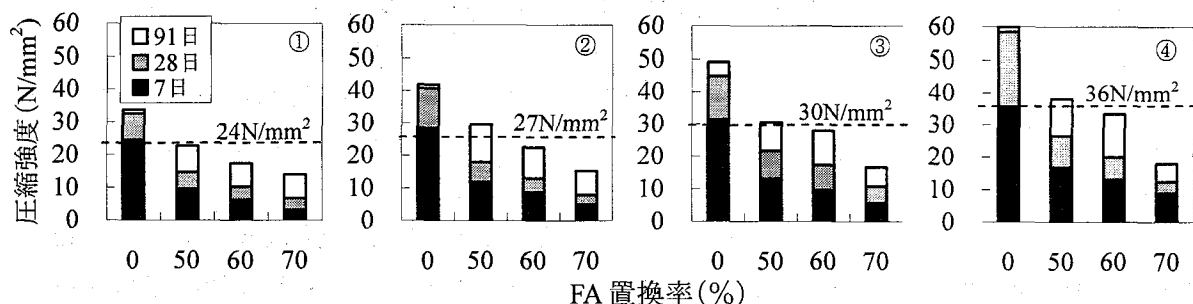


図-1 強度発現と FA 置換率

3-2 断熱温度上昇量

熱損失特性の一例として、④の FA 置換率 0% および 70% の結果を図-2 に示す。FA で置換したコンクリートの温度降下勾配に大きな差はみられず、①でも同傾向を示した。この温度降下勾配を基に推定される熱損失量をコンクリートの実測温度に加算することで断熱温度上昇量を求めた。図-3 に①および④の断熱温度上昇量を示す。FA 置換率が増加するに従い、温度上昇量は小さくなっている。①および④において、FA で置換した供試体の 1 週断熱温度上昇量は、FA 置換率の増加に伴うセメント量の減少に応じて低下している。このことから、FA で置換したコンクリートは、セメントの水和熱に伴う伸縮が内的および外的に拘束されることで生じる温度ひび割れの抑制に対して有効であり、マスコンクリートに適しているといえる。

3-3 強度寄与効果

FA のセメント量に対する強度寄与効果を調べた。FA 置換率 0% の C/W と強度との関係から強度算定式を求め、強度算定式の実験定数を下式に代入し、強度寄与率 k_f として求めた。ここで、強度寄与率 k_f は、FA でセメント置換した場合、FA の結合材としての効果を表す値である。

$$k_f = \frac{1}{FA} \left\{ \frac{1}{a} (f - b) W - C \right\}$$

f : 圧縮強度 (N/mm²), a, b : 実験定数

k_f と FA 置換率の関係は各配合とも同様の傾向を示したため、一例として①の結果を図-4 に示す。材齢が経過するに従い、 k_f は増加している。FA 置換率 50~70% での k_f は、材齢 28 日において 0.7, 材齢 91 日において 0.9~1.0 となっている。このことから、材齢 91 日における FA は、セメントと同程度の強度発現を有しているといえる。FA の結合材としての強度寄与効果を材齢ごとに関数として表すことで、HVFA コンクリートの強度発現の経時変化が定量的に推定できる。

結論

(1) HVFA コンクリートの圧縮強度は、FA 置換率が高くなるに従い低下した。また、FA で置換した供試体の強度は材齢 91 日においても増加した。これは、ポズラン反応によるものと考えられる。

(2) HVFA コンクリートの FA 置換率が高い程、断熱温度上昇量は抑制された。このことから、HVFA コンクリートはマスコンクリートに適しているといえる。

(3) 材齢が経過するに従い k_f は大きくなり、材齢 28 日では 0.7, 材齢 91 日では 1.0 付近まで達した。FA の結合材としての強度寄与効果を関数として表すことにより、HVFA コンクリートの強度発現が定量的に推定できた。

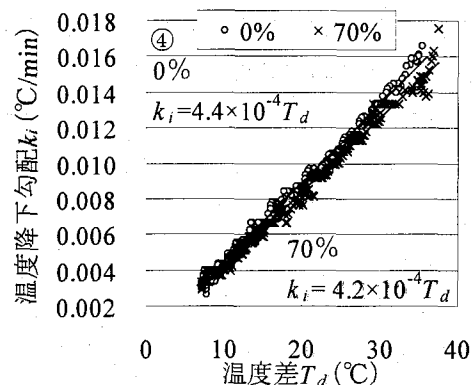


図-2 断熱型枠からの熱損失量

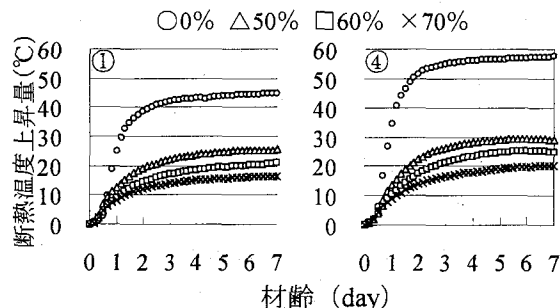


図-3 断熱温度上昇量

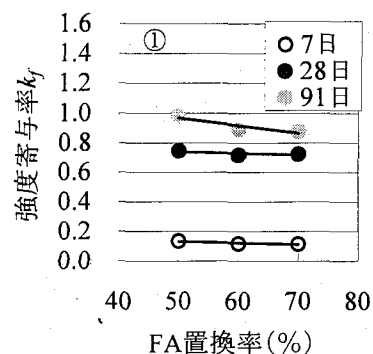


図-4 強度寄与率と FA 置換率