

フライアッシュを内割置換したコンクリートの断熱温度上昇量・強度試験に基づく温度応力解析

山口大学大学院 学生会員 ○吉本勝哉
 (株) エネルギア・エコ・マテリア 正会員 齊藤 直
 (株) エネルギア・エコ・マテリア 正会員 高橋和之
 (株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 高橋昭裕
 山口大学大学院 学生会員 西村英紀
 山口大学大学院 正会員 吉武 勇

1. はじめに

近年における川砂・海砂の採取規制および良質な砕石山の減少などは骨材品質の低下をもたらし、それに伴いコンクリートのワーカビリティが低下する傾向にある。このワーカビリティの低下を防ぐために、コンクリートの単位水量とセメント量を増加する必要性が生じている。また、土木構造物にしばしば使われている高炉セメント B 種は、普通ポルトランドセメントより断熱温度上昇量が高くなる場合もあり、条件によっては温度応力によるひび割れが生じやすいことが指摘されている。一方で、フライアッシュ (以下、FA と記す) はセメントの一部に内割置換することで水和熱の低減だけではなく、ボールベアリング効果によるワーカビリティの向上やポゾラン反応による長期的な強度増進をもたらす特徴を有する。そこで、本研究では、FA をセメントおよび細骨材の一部代替材とするコンクリートの基礎物性を把握するために、断熱温度上昇量を調べるとともに強度性状について実験的検討を試みた。さらに、その実験結果を基に簡易的なモデルによる温度応力解析を行い、FA による温度ひび割れの抑制効果を検討した。

2. 使用材料

本研究では、普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm^3 、比表面積 $3300\text{cm}^2/\text{g}$ 、以下 N と記す)、高炉セメント B 種 (密度 3.04g/cm^3 、比表面積 $3830\text{cm}^2/\text{g}$ 、以下 BB と記す)、FA には、JIS A 6201 の II 種相当品 (密度 2.20g/cm^3 、比表面積 $3540\text{cm}^2/\text{g}$ 、 SiO_2 61.9%、活性度指数 95%) を用いた。細骨材および粗骨材は、それぞれ海砂 (密度 2.60g/cm^3 、F.M.2.44、吸水率 0.74%)、安山岩系砕石 (密度 2.70g/cm^3 、吸水率 0.61%、最大骨材寸法 20mm) である。全てのコンクリートには、リグニンスルホン酸系の AE 減水剤、さらに FA を混和したコンクリートでは、FA 用 AE 剤 (高級脂肪酸系界面活性剤) も添加した。

3. 断熱温度上昇量および強度性状

3.1 検討方法

本研究の主目的は、標準的な配合・強度レベルのコンクリートについて、その構成材料の一部を FA に代替置換したコンクリートの断熱温度上昇量と強度性状を把握し、さらに実験結果から温度応力解析を行うことで温度ひび割れ抑制効果を検討することである。

本研究では、表-1 に示すように、FA をセメントおよび細骨材に 10% または 20% 内割置換したコンクリートを作製した。表-1 に示す配合記号のうち、N・BB はセメント種類を表しており、Fc・Fs に続く数字は、それぞれセメン

表-1 コンクリート配合

配合	W/C (%)	W/P (%)	Fc (%)	Fs (Vol.%)	単位水量(kg/m ³)							
					W	C	FA		S	G	Ad	AE※
							Fc	Fs				
BB-Base	55	55	—	—	164	298	—	—	853	980	3	—
BB-Fc10	61.3	55	10	—	164	268	30	—	853	975	3	17.9
BB-Fc20	68.9	55	20	—	164	238	60	—	848	970	3	31.3
BB-Fc20Fs10	68.9	44.2	20	10	164	238	60	73	763	969	3.7	100.2
N-Base	54.9	54.9	—	—	167	304	—	—	853	982	3	—
N-Fc10	61	54.9	10	—	167	274	30	—	847	977	3	18.2
N-Fc20	68.7	54.9	20	—	167	243	61	—	842	971	3	45.6
N-Fc20Fs10	68.7	44.4	20	10	167	243	61	72	757	969	3.8	124.3

※(×10⁻²)

※($\times 10^{-2}$)

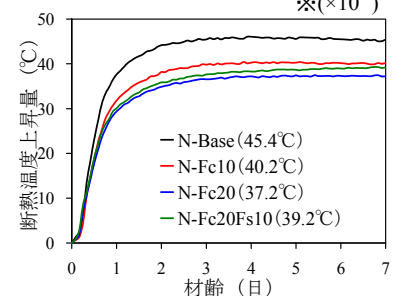


図-1 断熱温度上昇量 (N)

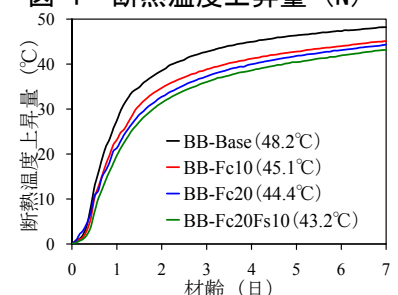


図-2 断熱温度上昇量 (BB)

ト質量・細骨材容積に対する *FA* の内割置換率(%)を表している。なお、Base は比較用の *FA* 無置換コンクリートである。

各コンクリートの断熱温度上昇量を求めるにあたり、簡易断熱温度上昇試験を実施した。また強度試験は、各材齢 3, 7, 28, 91, 182 日において、圧縮強度試験(3 体)・割裂引張強度試験(5 体)を実施した。

3.2 実験結果

本研究で実施した簡易断熱温度上昇試験における結果を図-1、図-2 に示す。なお、凡例中の括弧内に各配合の終局断熱温度上昇量(以下 Q_{∞} と記す)を示す。両シリーズとも、Base 配合の Q_{∞} が最も高く、*FA* をセメント・細骨材の双方に内割置換したコンクリートの断熱温度上昇量が最も低い結果となった。

また、圧縮・割裂引張強度試験結果を図-3、図-4 に示す。これらの強度試験の結果から、両シリーズとも *FA* を混和したコンクリートは双方の強度試験において、長期的な強度増進を示した。特に、*FA* をセメント・細骨材の双方に内割置換したコンクリートは、断熱温度上昇量が最も低く、同じ単位セメント量の配合である Fc20 と比べると強度も高い。これは *FA* のポズラン反応による寄与に加え、*FA* を細骨材に対して一部内割置換したことによる微粉末の充填効果によるものと考えられる。

4. 温度応力解析

4.1 解析条件

本研究で実施した温度応力解析には、図-5 に示すスラブ・壁状構造物を対象にした。本解析では簡易断熱温度上昇試験より得られた Q_{∞} および圧縮・割裂引張強度試験結果を用いて強度推定式の諸係数を求め、温度応力解析を行った。

4.4 解析結果

温度応力解析における最小ひび割れ指数の一例を表-2 に示す。N シリーズについては、すべての配合で高い最小ひび割れ指数を示した。これは、今回の簡易解析モデルでは、引張強度がひび割れ指数(引張強度/温度応力)の支配的要因となっているためである。BB シリーズについては、いずれの *FA* を混和したコンクリートにおいても、Base に比べ最小ひび割れ指数が大きくなったことから、*FA* は温度ひび割れ抑制に寄与できることがわかる。

5. まとめ

- (1) *FA* をセメント・細骨材の双方に内割置換したコンクリートは、断熱温度上昇量が最も低く、同じ単位セメント量であり、*FA* をセメントのみに内割置換したコンクリートと比べると強度も高い。
- (2) 本研究の温度応力解析を通じて、*FA* は温度ひび割れを抑制できる有効な材料であることを示した。特に *FA* をセメント・細骨材の双方に内割置換したコンクリートは、微粉末の充填効果と断熱温度上昇量の抑制が望めるため、温度ひび割れを高い確率で防止できることを示した。

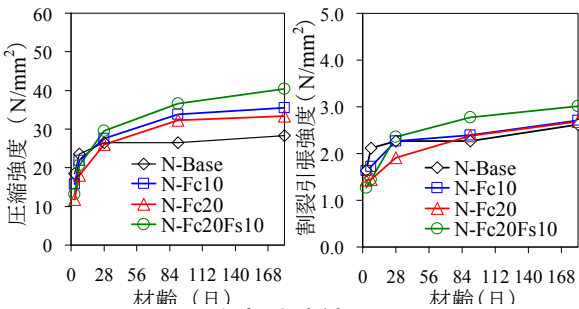


図-3 強度試験結果 (N)

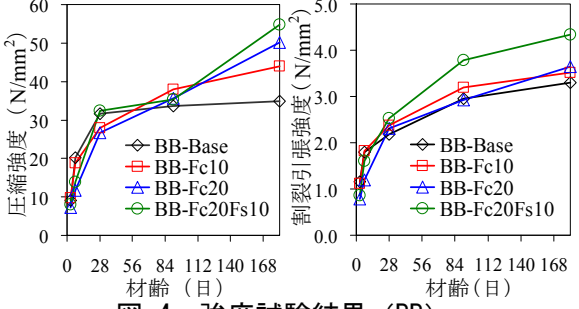


図-4 強度試験結果 (BB)

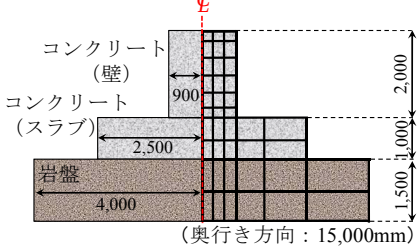


図-5 解析対象構造物・要素分割図

表-2 最小ひび割れ指数

配合	N	BB
Base	1.67	1.39
Fc10	1.75	1.57
Fc20	1.61	1.44
Fc20Fs10	1.61	1.61