

重力式擁壁での測定に基づくフライアッシュコンクリートの温度ひび割れ抑制効果の検討

富山県立大学
富山県立大学
北陸電力（株）
石川県

○大野 宏樹（学生会員）
伊藤 始（正会員）
橋本 徹
宮村 雅之

1. はじめに

石炭火力発電所では石炭の燃焼に伴い、大量の石炭灰が産出される。この石炭灰の大部分は「フライアッシュ」と呼ばれ、様々な用途で再利用されているが、その一部は未活用のまま産業処理されている。そこで、現在、北陸地方では、循環型社会の推進として、フライアッシュをコンクリート用混和材に有効利用する試みがなされている¹⁾。

フライアッシュをコンクリート用混和材として使用することによって、水和熱の抑制、乾燥収縮の低減、長期強度の増進などの効果が既往の研究により、確認されている¹⁾。しかし、これらの研究成果は供試体で得られたものが多く、実構造物で検討された事例は少ない。

そこで、本研究では、フライアッシュコンクリートによる、温度ひび割れ抑制効果を明らかにすることを目的に、フライアッシュコンクリートを用いて施工された実構造物（重力式擁壁）を対象に温度ひび割れに着目した測定と解析を行った。

2. 研究方法

(1) 検討ケース

本研究では、2011 年秋に石川県で施工された重力式擁壁を対象として検討を行った。構造物は、高さ $H=2\sim 3\text{m}$ 、長さ $L=20\text{m}$ のものであり、断面図を図-1 に示す。コンクリート種類による比較を行うために、フライアッシュを混和したコンクリート（以下 FA）と高炉セメント B 種を用いたコンクリート（以下 BB）の異なる 2 種類のものを用いて施工された。コンクリートの配合を表-2 に示す。

(2) 測定方法

図-1 のように熱電対とひずみ計を埋め込み、温度とひずみの変化をそれぞれ 1 ヶ月間、測定した。温度は、構造物の表面付近、中央付近、その中間付近、ひずみ計位置、構造物外部（気温）の計 5 点に熱電対を設置し、測定した。ひずみは、収縮による弾性ひ

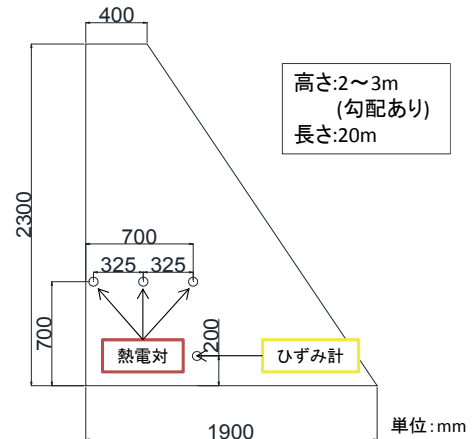


図-1 断面図

表-2 コンクリートの配合

	水分体量比 $W/(C+FA)$ (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m^3)	フライアッシュ FA (kg/m^3)	水 W (kg/m^3)	細骨材 s (kg/m^3)	粗骨材 G (kg/m^3)
BB	53.7	43.4	287	—	154	789	1044
FA	53.3	45.8	230	40	144	851	1021

表-3 解析条件

			FA	BB	
打込み温度	TO	℃	21.8	24.2	
単位結合材量	B	kg/m ³	270 (FA:40)	287	
終局断熱温度上昇量	K	℃	46.08	48.79	
温度上昇速度	α	－	0.885	0.829	
外気側	熱伝達率	η	W/m ² ℃	6	
	外気温	Tair	℃	実測の履歴	
圧縮強度	3日	f c	N/mm ²	15.8	11.4
	7日			24.1	19.8
	28日			31.7	32.8

ずみが卓越する部分にひずみ計を設置し、測定した。

(3) 解析方法

解析プログラム ASTEA-MACS を用いて土木学会の方法に準拠して温度応力解析を行った²⁾。解析ケースは、実施工された 2 ケースに加え、BB の解析条件を基本とし、コンクリート種類に依存する強度特性と温度上昇特性のみを FA に変更したケースも行った。解析条件を表-3 に示す。打込み温度と圧縮強度は実測の値を用いた。現場でシート養生が行われたため、熱伝達率は土木学会の値を参考に $6\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ とし、外気温は実測の値を用いた。終局断熱温度上昇量と温度

上昇速度は、土木学会の算定式に基づいて設定した。また解析モデルは、地盤を考慮して再現した。

3. 測定結果と解析結果の検討

(1) 温度履歴

実測と解析の温度履歴の比較を図-4 に示す。同図の測定値は構造物の中央付近に埋め込んだ熱電対によって、打込みから 14 日間測定された値である。最高温度を比較した結果、FA の測定値は 54.1℃、解析値は 53.7℃となり、BB の測定値は 58.8℃、解析値は 60.2℃となった。BB の値に比べ、FA の値が小さい要因は、打込み温度や温度上昇特性の影響と考えられた。解析の温度履歴は、土木学会の方法で実測の温度履歴とおおむね整合した。

(2) ひずみ履歴

ひずみ履歴を図-5 に示す。同図のひずみは、ひずみ計によって測定した実ひずみである。最大ひずみを比較すると、FA の測定値は 175 $\mu\text{m/m}$ 、解析値は 179 $\mu\text{m/m}$ となり、BB の測定値は 207 $\mu\text{m/m}$ 、解析値は 194 $\mu\text{m/m}$ となった。BB のひずみが FA より大きくなったのは構造物内の温度の影響を受けたためである。解析のひずみ履歴は、土木学会の方法で実測のひずみ履歴とおおむね整合した。

(3) コンクリート種類の影響

コンクリート種類によるひび割れ指数の比較を図-6 に示す。同図では、外部拘束型の応力が卓越する中心部分と内部拘束型の応力が卓越する表面部分において、ひび割れ指数の数値を表した。中心部分の FA の値は 1.61、BB の値は 1.38、表面部分の FA の値は 1.56、BB の値は 1.24 となり、いずれも FA の値が大きくなった。これは前述の温度上昇特性に加え、強度発現が影響したと考えられる。

以上より、今回の重力式擁壁において BB コンクリートに代えて、FA コンクリートを使用することで、ひび割れの抑制に効果があることが確認できた。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 温度応力解析を用いることで、FA コンクリート構造物の実測の温度履歴およびひずみ履歴をおおむね再現することができた。
- ② 今回の重力式擁壁において、BB コンクリートに代えて、FA コンクリートを使用することで、ひび割れの抑制に効果があることが確認できた。

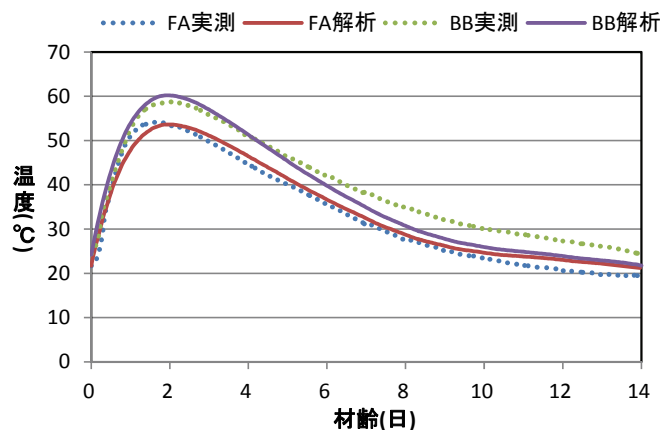


図-4 温度履歴

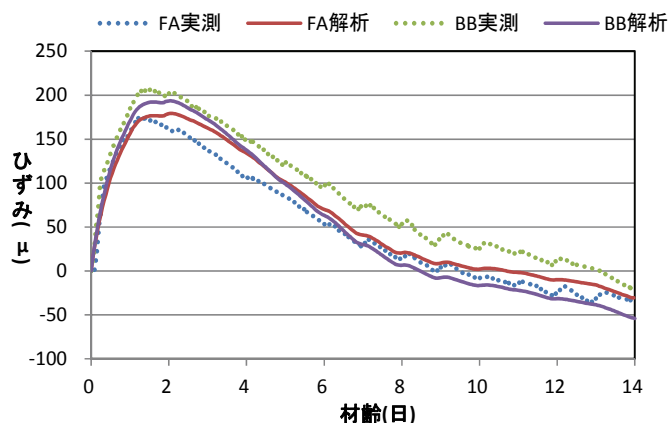


図-5 ひずみ履歴

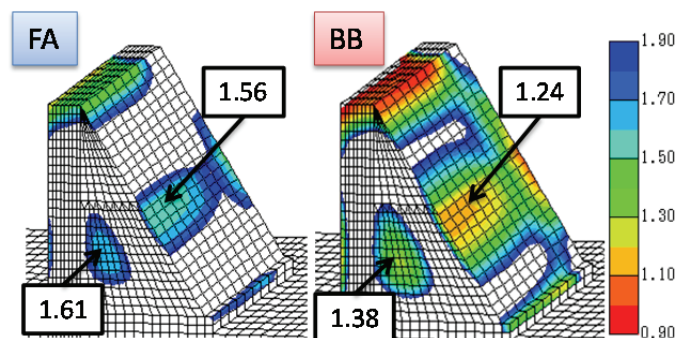


図-6 ひび割れ指数分布の比較

謝辞

本研究は「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会(鳥居委員長)」の一部として行った。ご協力頂きました皆様に対してここに感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 土木学会:循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術, コンクリートライブラリー132, 2009
- 2) 土木学会:コンクリート標準示方書(設計編), 2007