

分級フライアッシュを添加したコンクリートの線膨張係数に関する検討

富山県立大学
北陸電力株式会社

仕入 裕也（学生会員） 伊藤 始（正会員）
蟹谷 真生 参納 千夏男（正会員）

1. はじめに

石炭火力発電所からの産業副産物である石炭灰の発生量は、石炭の質量の約1割であり、全国的にみて増加傾向にある¹⁾。この石炭灰を有効利用していくことが持続可能な社会の構築の観点から重要となっている。石炭灰（フライアッシュ）の使用法の1つに、セメントの代替材としてコンクリートに混和する方法がある。この方法を用いることで、コンクリートの性能面で施工性能の向上や長期強度の増進、耐久性の向上のメリットがある¹⁾。また、セメント代替によりセメント量が減少することで環境面のCO₂削減、性能面の水和熱の抑制やアルカリ骨材反応の抑制の効果もある。

著者らはフライアッシュによる水和熱抑制に起因した温度ひび割れ抑制効果を実際の重力式擁壁で確認している²⁾。その検討において、ひび割れ評価に影響を与える線膨張係数を普通ポルトランドセメントと同じ $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を用いた。しかしながら、ひび割れ評価の精度向上には、材料に合わせて線膨張係数を設定する必要がある。

本研究は、七尾石炭火力発電所から産出された分級フライアッシュを混和したコンクリート（以下N+FA）の線膨張係数を測定することを目的とした。研究では高炉セメントB種を用いたコンクリート（以下BB）の線膨張係数との比較も行った。

2. 検討方法

（1）検討ケース

本研究では、砂防ダム（輪島）、橋脚（金沢）、護岸ブロック（富山）の3つの構造物について検討を行った。試験は砂防ダムと橋脚で図-1に示す一辺1.0mの立方体試験体、護岸ブロックで図-2に示す幅2.1mの実大の六脚ブロック試験体で実施した。立方体試験体は温度変化の影響を小さくするために、型枠内に断熱材を配置した。それぞれの試験においてN+FAとBBの2種類のコンクリートを打込んだ。配合条件を表-1に示す。フライアッシュ添加率は15%と20%である。また、線膨張係数は骨材種類に影響されるため、各構造物に用いた主な骨材種類を表-2に示す。

（2）測定方法

実ひずみと温度の測定は、図-1および図-2の位置に無応力容器を設置し、その中に測温機能付きの埋込み型ひずみ計を配置することで行った。立方体試験体の測定はコンクリートの打込みから1ヶ月、六脚ブロック試験体の測定は1週間行った。

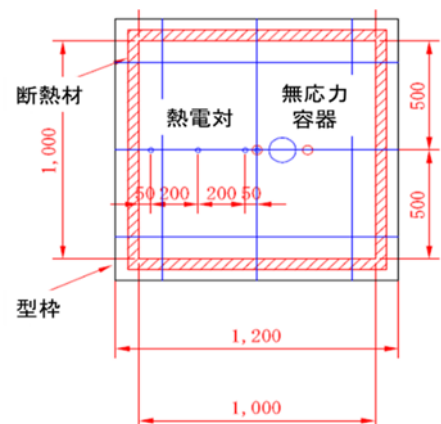


図-1 立方体試験体・平面図（砂防ダム、橋脚）

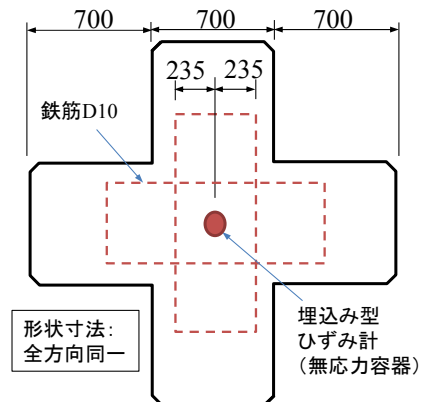


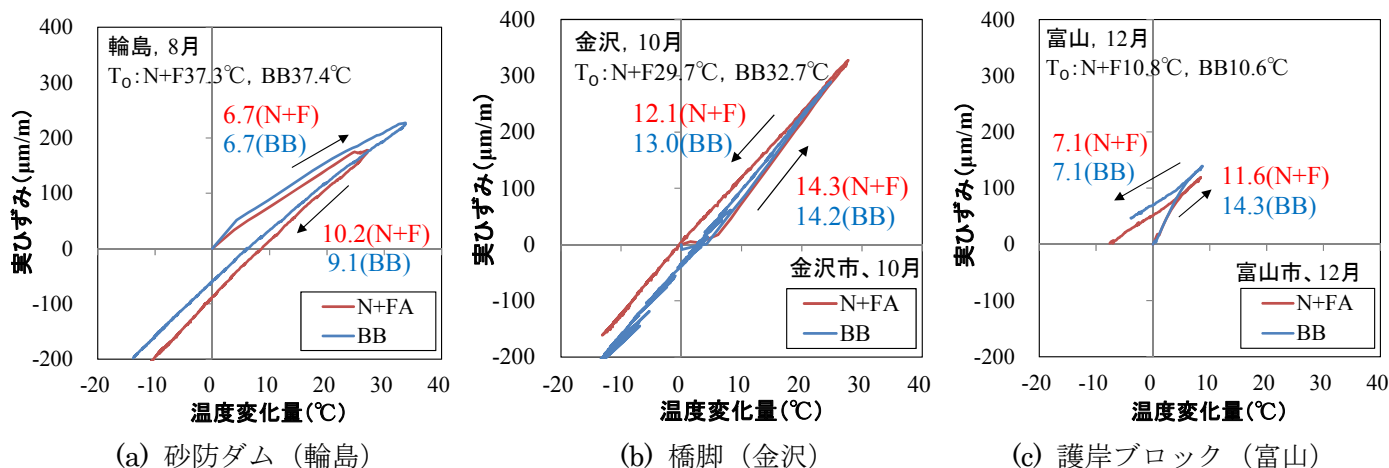
図-2 護岸ブロック・平面図

表-1 コンクリートの配合条件

構造物名 (地区)	セメント 種類	W/(C+F) (%)	s/a (%)	F添加率 (%)	W (kg/m ³)
砂防ダム (輪島)	N+FA	54.6	40.1	15	151
	BB	51.9	39.5	-	160
橋脚 (金沢)	N+FA	48.1	39.4	20	141
	BB	61.1	42.4	-	142
護岸ブロック (富山)	N+FA	57.0	41.2	15	147
	BB	57.5	40.4	-	146

表-2 粗骨材種類

地区	主要な粗骨材種類
輪島	砕石(安山岩)100%
金沢	川砂利(火成岩+堆積岩)60%, 砕石(石灰岩)40%
富山	川砂利(火成岩+堆積岩)100%



図－3 温度変化量と実ひずみの関係

3. 線膨張係数の測定結果

各試験体の温度変化量と実ひずみの関係を図－3に示す。図では計測された値から打込み時の値を差し引いた温度と実ひずみの増分を表している。実ひずみでは正側が膨張側である。すべてのケースで初期の温度上昇に伴い実ひずみが増加し、最高温度に達する。その後、温度下降に伴い実ひずみが減少している。この履歴を温度上昇時と下降時に区分して、実ひずみと温度変化量の傾きから線膨張係数を算出した。

4. 各種要因の影響

(1) 温度変化過程の影響

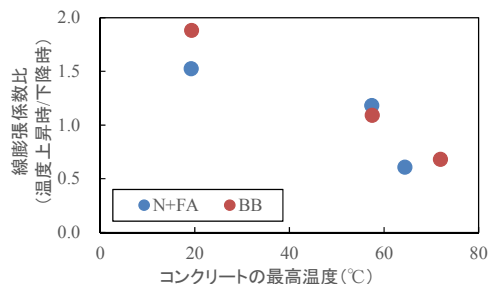
図－3のように護岸ブロックの試験体で温度上昇時の線膨張係数に比べて下降時の値が小さくなり、橋脚では同程度、砂防ダムの試験体では反対の傾向となった。コンクリートの打込み温度や最高温度が高い場合に、温度上昇時の線膨張係数が小さく、下降時の値が大きくなった。図－4のようにコンクリートの最高温度が増加すると線膨張係数比（温度上昇時/下降時）が減少する傾向が見られた。これは実ひずみに時間に依存し、温度に依存しないひずみ（主に膨張側の自己収縮ひずみ）を含むことが要因と考えられる³⁾。

(2) 骨材種類の影響

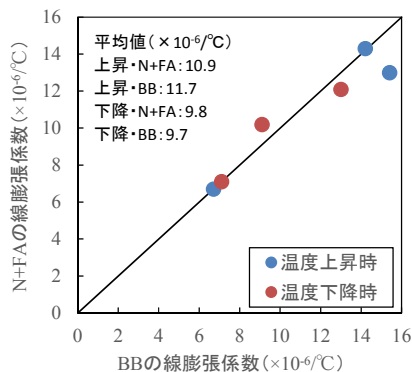
堆積岩を主とした川砂利の線膨張係数は $13.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度、石灰岩の値は $7.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度とされている⁴⁾。橋脚の試験体の線膨張係数が川砂利に近い値となったものの、他の2つの傾向は明確でなかった。

(3) セメント種類の影響

図－5にN+FAとBBの線膨張係数の比較を示す。同図に各条件の線膨張係数の平均値を示す。ひび割れ制御指針のBBの標準値が $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、下降時の平均値は若干小さい値となった。比較を見ると試験



図－4 温度上昇時と下降時の線膨張係数比



図－5 N+FAとBBの線膨張係数の比較

体と温度変化過程が同じ場合、両者がよく一致した。セメント種類に今回のN+FAを使用する場合、BBと同じ線膨張係数を使用することで温度ひび割れを安全側に評価できる。

5. まとめ

- 1) 温度変化過程ごとの線膨張係数はコンクリート温度に大きく影響されることが確認できた。
- 2) 今回のN+FAを使用する場合、BBと同じ線膨張係数とすることで、ひび割れを安全側に評価できる。

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) 伊藤, 大野, 橋本, 宮里：分級フライアッシュの混和によるコンクリートの温度ひび割れ抑制効果の検討、コンクリート工学年次論文集, 2013
- 3) 丸山, 寺本：セメント硬化体の若材齢体積変化と線膨張係数の経時変化、セメント・コンクリート論文集, 2010
- 4) 既存コンクリート構造物の性能評価指針：JCI, 2014