

3

技術発表

### 3.4 令和5年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会

#### 発表

題 目：赤外線放射温度計を利用したコンクリート表面温度の測定

所属・氏名：地球建築系グループ 平野 裕一

題 目：京都大学桂キャンパス極低温施設での密閉式冷却塔の凍結トラブル

所属・氏名：共通支援グループ 多田 康平

共通支援グループ 西崎 修司

題 目：液体ヘリウムリサイクル設備におけるヘリウム漏洩の原因と対策

所属・氏名：共通支援グループ 西崎 修司

共通支援グループ 多田 康平

# 赤外線放射温度計を利用したコンクリート表面温度の測定

平野裕一

京都大学大学院工学研究科技術部

## 概要

植物性の繊維を混ぜ合わせたコンクリートで考えられる性質のひとつとして、保水効果がある。その性質を利用し地表面温度の低減効果を狙い、歩道用コンクリートブロックとして用いることを検討したいと考えた。そこで、複数の試験体を同時に同条件で測定する方法を考えた。本稿では、その試験方法および赤外線放射温度計を用いてコンクリート表面の温度変化を計測した結果の一例を紹介する。試験結果として、歩道用コンクリートブロックの地表面温度の低減効果を一定程度確認できた。また、試験体表面温度を測定する上で、赤外線放射温度計とサーモグラフィカメラの使い分けが必要になることが把握できた。

## 1. はじめに

一般的に、コンクリートの大部分は砂や石から成り立っている。

コンクリートの構造物やコンクリート製品を製作する際に、産業上の副産物や焼却灰などの、廃棄物由来の材料または廃棄物自体を混ぜ合わせて用いることで、廃棄物の最終処分量の削減および有効利用を目指す試みが各方面でなされている。

また、コンクリート材料として廃棄物由来の材料を一部の砂や石と置き換えて混ぜ合わせることで、有限の天然資源である砂や石の使用量削減にもつながり、採掘量が減ることで生態系の維持にも貢献できると考えられる。

近年、化石燃料の代替としてバイオエタノールが注目されている[1]。その原料であるサトウキビの精糖過程で生じる残渣の有効利用を目的とする研究の中で、サトウキビ残渣自体およびその焼却灰をコンクリート材料として用いることを検討している。

サトウキビ残渣の有効利用の方法のひとつとして、歩道用コンクリートブロックの材料に用いることが考えられている。

サトウキビ残渣は植物性の繊維であり、水分を保持する性質があると考えられる。歩道用コンクリートブロックの中に植物性の繊維が含まれることで歩道用コンクリートブロック自体の保水性が高まり、水分の蒸発による気化熱により地表面温度の低減が期待できると考えられる。

加えて、歩道用コンクリートブロックに植物性繊維を多く入れることで、歩道用コンクリートブロックの表面に柔軟性が生じ、歩行時の足への衝撃を軽減できると考えられる。

今回、植物性の繊維を混ぜ合わせた歩道用コンクリートブロックで考えられる性質のひとつである、地表面温度の低減効果を検討した。

本稿では、歩道用コンクリートブロックの地表面温度の低減効果の検討のために考案した試験方法を紹介する。また、赤外線放射温度計を用いてコンクリート表面の温度変化を計測した結果の一例を紹介する。

## 2. 赤外線放射温度測定の方法

あらゆる物体は、その表面から赤外線を放射している。放射される赤外線エネルギーは温度が高くなるほど増加する。空間を伝わる赤外線エネルギーを検出することで、非接触により温度を測定することができる。

一方、放射率は物体の特性、表面状態、反射率等に影響されるため、適切な設定が必要になる。材質に対応した放射率は操作マニュアルに記載されているものもあるが、表面状態や温度により異なるため、必要に応じて、接触式温度計等で表面温度を計測し、赤外線放射温度計が同じ温度を示すように放射率を調整することが望ましい[2]。

また、測定する温度は距離に応じた円形領域の平均温度であり、測定対象との距離が離れるほど測定する面積が広くなるため、測定対象の大きさに応じた適切な測定距離の設定が必要になる[2]。

加えて、周辺温度が急激に変化した場合は、測定精度に影響があるため、数十分程度機器を同環境下に置いておく必要がある。

このように、精度の高い測定をするためには、測定対象の物体や使用する赤外線放射温度計の特性を把握して測定することが重要である。

## 3. 試験方法の検討

試験の目的である歩道用コンクリートブロックの地表面温度の低減効果の検討は、当初、実験室内で実施することを考えていた。当初の計画は、縦300×横300×高さ60mmのコンクリートブロックの試験体を製作し、室内の断熱された空間の中で複数台吊りした500Wのハロゲンライトにより熱を加え、表面温度の推移をコンクリート表面に接触させた熱電対により測定することを考えていた。

しかし、試験を進めた際に次のような問題が判明し、試験方法を再検討した。

- ハロゲンライトでは、ひとつひとつの試験体において表面を均一に照射させることが難しく、温度上昇にムラができること。
- 複数の試験体を並べて置いた際に、端に近い試験体と中央付近の試験体とではハロゲンライト

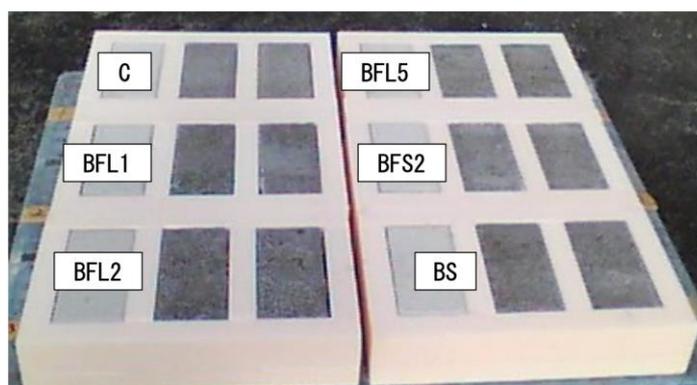


図 1. 試験体の外観

から受ける熱が異なり、試験体間の照射条件をそろえることが困難であったこと。

- コンクリート表面に接触させた熱電対では、熱源から直接与えられた熱による温度上昇か、試験体の温度上昇かの判別が困難であったこと。

検討の結果、次章に示す試験体寸法に変更し、熱源は太陽光を利用することとした。また、表面温度測定は非接触の方法とした。

#### 4. 試験内容

縦 200×横 100×高さ 60 mm のコンクリートブロックの試験体を製作した。詳細な配合の紹介は本稿では割愛するが、セメントと水の量は一定として、砂と石を数種類の植物性繊維と一部を置き換え、その割合を変えた 5 種類の試験体および比較用に通常のコンクリートのみの試験体を用意した。試験条件を表 1 に示す。大きめの繊維は 10 mm ふるいを通過し 5 mm ふるいを通過しないもの、小さめの繊維は 5 mm ふるいを通過し 2.5 mm ふるいを通過しないもの、繊維灰は 1.2 mm ふるいを通過し 0.3 mm ふるいを通過しないものこという。

試験体を図 1 に示すように、試験体表面以外の面からの熱移動および試験体間の熱移動の影響を受けないようにするため、表面以外の 5 面をそれぞれ発泡ポリエチレンで覆った。試験体の外周の厚みおよび試験体間の発泡ポリエチレンの間隔は 40 mm である。図 1 の左から 1 列目と 4 列目の色が異なる試験体は、別の検討のものであり本稿では割愛する。上から 1 行目の左から 2 列目、3 列目が C、上から 2 行目の左から 2 列目、3 列目が BFL1、上から 3 行目の左から 2 列目、3 列目が BFL2、上から 1 行目の左から 5 列目、6 列目が BFL5、上から 2 行目の左から 5 列目、6 列目が BFS2、上から 3 行目の左から 5 列目、6 列目が BS である。

試験体を測定日より前から 24 時間以上、水中に浸漬させ、計測開始直前に取り出し、屋外の直射日光が当たる場所に水平に設置した。測定日の午前 9 時から午後 4 時までの 30 分毎に、ハンディタイプの赤外線放射温度計で試験体ごとに 3 回ずつ測定し、平均値を測定値とした。赤外線放射温度計と試験体と

表 1. 試験条件の概要

記号	概要
C	比較用の通常のコンクリート
BFL1	骨材の 1%を大きめの繊維で置換
BFL2	骨材の 2%を大きめの繊維で置換
BFL5	骨材の 5%を大きめの繊維で置換
BFS2	骨材の 2%を小さめの繊維で置換
BS	骨材の 5%を燃焼後の繊維灰で置換

の距離は約 1.5 m で、鉛直上から試験体に赤外線放射温度計を向けて測定した。本測定前に、温度がわかっているコンクリート片に対する同距離からの測定で、測定値に問題がないことを確認した。

また、赤外線放射温度計とは別の機器であるサーモグラフィカメラで、測定日の午前 9 時（測定開始直後）および午後 4 時（7 時間後）における試験体表面全体の温度分布を測定した。

#### 5. 測定結果の一例

測定結果の一例[3]として、コンクリート表面温度の遷移を図 2 に示す。

計測開始直後にコンクリート表面温度が周辺温度より低い理由は、試験体を屋内の水槽に浸漬させていたからである。

その後、直射日光の照射時間の経過に伴い、コンクリート表面温度が上昇した。測定開始から 3 時間経過したころにピークとなった。植物性繊維を含んだ試験体のコンクリート表面の温度はさらに 1 時間経過後から低下し始め、比較用の通常のコンクリートの表面温度に対し、最大で 5°C 程度の温度低下が確認された。繊維の混入率が高いほど、温度低下が大きい傾向が確認された。

次にサーモグラフィカメラで測定した測定日の測定開始直後および 7 時間後における試験体表面全体の温度分布をそれぞれ図 3、図 4 に示す。

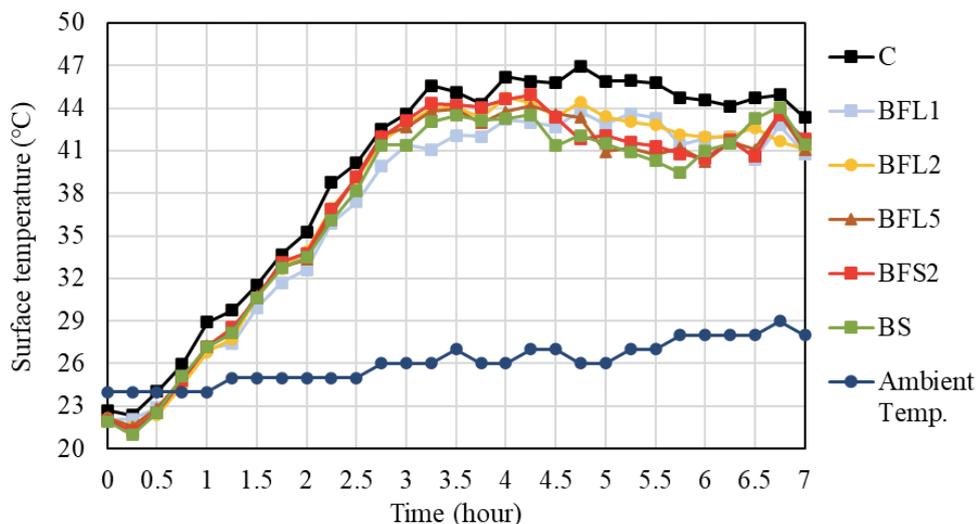


図2. コンクリート表面温度の推移[3]

試験体表面の温度上昇が確認できた一方で、断熱材である発泡ポリエチレンに接する試験体辺縁部は温度上昇が抑えられていた。発泡ポリエチレンは日射時間に関係なく温度変化がほとんどなかったことが確認された。

サーモグラフィカメラでの測定では、試験体表面全体の温度分布が把握できるものの、色毎の温度帯の幅があるために詳細な温度測定が困難であり、数°Cの温度差を確認することができなかった。サーモグラフィカメラの性能にもよるが、赤外線放射温度計との使い分けが重要であると考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、歩道用コンクリートブロックの地表面温度の低減効果の検討のため、複数の試験体を同時に同条件で測定する試験方法を紹介した。

この試験方法により植物性の繊維を混ぜ合わせた歩道用コンクリートブロックの表面温度を測定し、その低減効果を一定程度確認できた。

また、試験体表面温度を測定する上で、赤外線放射温度計とサーモグラフィカメラの使い分けが必要になることが確認された。

## 参考文献

- [1] 例えば、輸送用エコ燃料の普及拡大について バイオ燃料, 環境省, 2006.5 (2023.11.26 閲覧)  
[https://www.env.go.jp/earth/ondanka/biofuel/materials/re\\_p\\_h1805.html](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/biofuel/materials/re_p_h1805.html)
- [2] 例えば、放射温度センサの基礎, キーエンス (2023.11.6 閲覧)  
<https://www.keyence.co.jp/ss/products/recorder/lab/thermometry/radiation.jsp>
- [3] Ribeiro Bruno: Study of Effective Use of Sugarcane Residue as Eco-friendly Construction Materials for Disaster Prevention Structures, A doctoral thesis at Kyoto University, p.120, March 2021

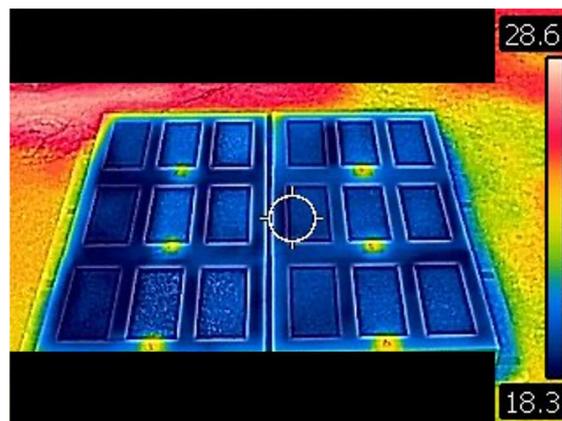


図3. 試験体表面全体の温度分布 (測定開始直後)

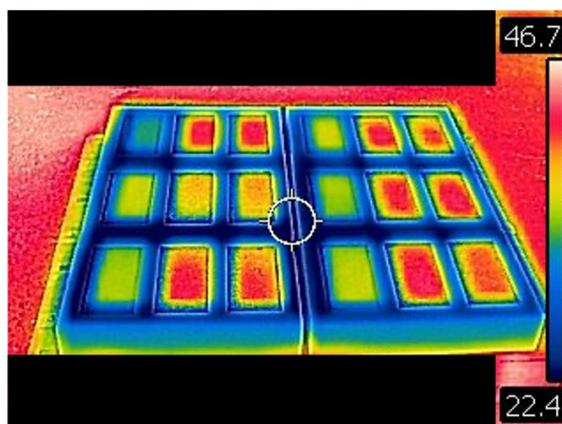


図4. 試験体表面全体の温度分布 (7時間後)