

サーモソニック法による超音波加振に対するモルタル内部ひび割れの発熱の分析

北海道大学工学部	学生会員	○熊谷 駿佑
北海道大学工学院	正会員	橋本 勝文
北海道大学工学院	学生会員	高橋 尚
北海道大学工学院	正会員	杉山 隆文

1. はじめに

現在、コンクリート構造物の表層の浮きやはく離等のひび割れを発見する簡便な検査手法として打音法が広く用いられている。しかしながら、打音法から得られる結果が属人的であるという問題点がしばしば指摘される。加えて、今後予想される技術者人口の減少に伴い、より簡便かつ正確な検査技術が求められている。この課題に対処できる可能性のある新たな非破壊検査手法として本研究ではサーモソニック法に注目した。サーモソニック法は、対象物を超音波加振した際にき裂部で生じる摩擦に起因して生じる局所的な温度上昇を赤外線サーモグラフィで計測し、き裂を検知する検査手法である¹⁾。本手法は摩擦発熱を利用する性質上、幅の狭い閉じたひび割れの検出に適しており、さらに発熱の特徴から内部のひび割れ進展を評価できる可能性がある。しかしながら、本手法は金属や複合材料等の熱伝導率の高い材料に適用される手法であるためセメント系材料に対する先行研究は少なく²⁾、セメント系材料内部のひび割れにおける発熱挙動は把握できていない。そのため、同手法をセメント系材料に適用した場合のひび割れにおける発熱挙動の特徴を把握し、より詳細な観察に適した超音波加振条件を定めることが重要である。

2. 研究目的および実験概要

本研究では超音波の周波数と加振ホーンによって供試体に生じる拘束応力をパラメータとして、模擬ひび割れを導入した供試体を加振した際の、発熱挙動を観察した。これにより、超音波加振に対してモルタル内部のひび割れが有する発熱の特徴を分析することを目的とした。

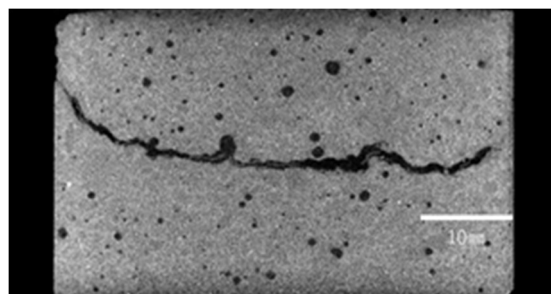


図1 供試体Bの断面CT画像

供試体は直径 50 mm、高さ 25 mmの円柱モルタル供試体とし、水、セメント、砂の割合は 0.5 : 1 : 3 (質量比) とした。供試体作製時に高さ 12.5mm の位置に直径 4mm の円形の可溶性高分子フィルム (以下、フィルム) を設置して模擬ひび割れを導入した。供試体はフィルムを 2 枚設置したもの (以下、供試体 A) とフィルムを 4 枚設置したもの (以下、供試体 B) の 2 種類とした。打込みから 24 時間後に脱型し、28 日間封緘養生を行った。図 1 は養生後に供試体 B の断面を撮影した CT 画像である。フィルムが溶解することで、ひび割れを模擬した空隙が形成されていることが確認できる。加振条件は周波数を 20kHz、30kHz の 2 水準、ホーンによる拘束応力を 7kPa、34kPa、50kPa の 3 水準とし、各水準を組み合わせた計 6 パターンの条件で供試体を加振した。供試体に対する撮影方向により撮影範囲の模擬ひび割れの深さや幅が異なるため、4 方向から撮影を行った。加振時間 (超音波発振の継続時間) は 3 秒間とし、3 秒間の加振時間を含む前後 10 秒間の供試体表面の熱画像を赤外線カメラで距離 20cm の地点から撮影した。撮影した動画から発熱が顕著なピクセルを中心に 453 点を測定点として選出し、これらの点での発熱をデータとして取得した。さらに、供試体の CT 断面画像を用いて各測定点直下の模擬ひび割れの幅と深さを測定し、発熱データと合わせて分析を行った。

キーワード モルタル、非破壊検査、サーモグラフィ、超音波加振、X 線 CT

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目北海道大学工学部 A4-53 室 TEL011-706-6180

3. 実験結果および考察

全 453 点の測定点のうち、286 点の直下で模擬ひび割れが確認できた。以降の分析には、この 286 点の発熱データを使用した。図 2 は 30kHz の超音波加振時の 34kPa と 50kPa の拘束応力下で超音波加振した際の各測定点での最高温度の関係を示している。これより、50kPa の拘束応力下では 34kPa の応力下と比べて測定点の温度上昇が大きくなる傾向を読み取れる。加えて、7kPa の拘束応力下では測定点での発熱は他の条件に比べ微弱であった。ここから、拘束応力が大きいほど発熱挙動は顕著になることがわかる。また、20kHz の超音波加振でも同様の結果が得られたため、この傾向への超音波の周波数の影響は低いと考えられる。

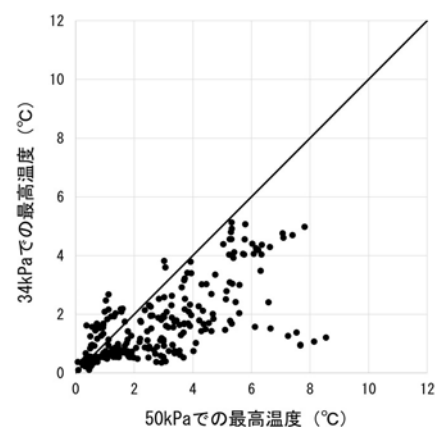


図 2 異なる拘束応力下での測定点の発熱

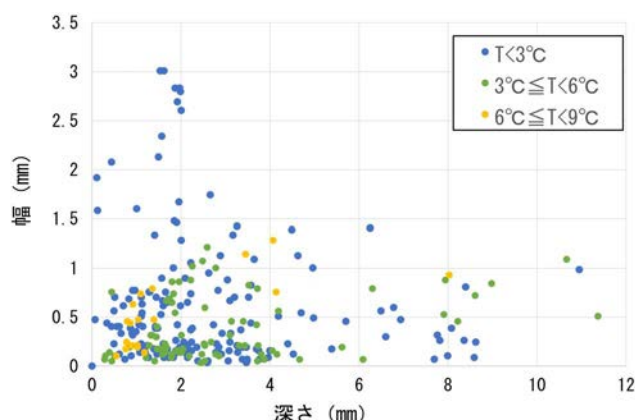


図 3 ひび割れの幅および深さと温度上昇 (30kHz)

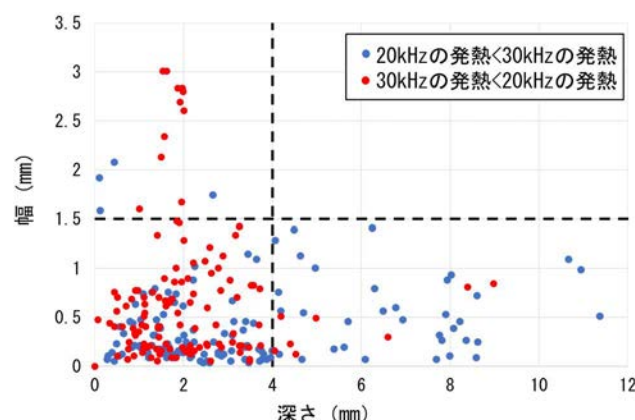


図 4 超音波加振の周波数と発熱の差異

図 3 は模擬ひび割れの幅および深さと 30kHz の超音波加振に対する温度上昇の関係を示している。グラフからはひび割れの幅が大きい場合、また、ひび割れが深い位置にある場合、温度上昇が小さくなる傾向が読み取れる。なお、20kHz の超音波に対する測定点の温度上昇ではやや異なる傾向が見られた。この差異を可視化したものが図 4 である。図 4 は 2 種類の超音波に対する測定点の発熱の傾向をプロットの色で示した図である。これより、30kHz で発熱が大きい点（青色の点）は幅 1.5mm 以下の領域に広く分布しているのに対し、20kHz で発熱の大きい点（赤色の点）は深さ 4mm の領域に広く分布しており、ひび割れ幅に応じて超音波の周波数の変化に対しての発熱挙動が異なることが分かる。双方の条件を満たす領域では明確な傾向は確認できず、超音波加振条件とひび割れ幅および深さの関係について今後詳細に検討する。

4. まとめ

サーモソニック法によるモルタル内部のひび割れ検出について得られた知見を以下に示す。

- ・ 拘束応力が大きいほど発熱挙動は顕著になる。20～30kHz の範囲においてはこの傾向に対する超音波の影響は小さい。
- ・ ひび割れの幅が大きい場合、ひび割れが深い位置にある場合には温度上昇が小さくなる。
- ・ ひび割れの形状に応じて超音波の周波数の変化に対する反応は異なる。

本研究で得られた結果は、公益財団法人 JKA2022 年度補助事業により得られた成果の一部である。

参考文献

- 1) 西名慶晃, 今西大輔: 超音波励起サーモグラフィ法によるき裂検知技術の基礎検討, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.846, p.16-00251, 2017
- 2) 橋本勝文, 塩谷智基: サーモソニック法の適用によるひび割れ界面の可視化, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1360-1365, 2022