

サーモソニック法による超音波加振条件と ひび割れを有するモルタルの発熱挙動

Thermo-Sonic Method for Crack Detection in Mortar

北海道大学工学部 ○学生員 熊谷駿佑 (Shunsuke Kumagai)
 北海道大学大学院 正員 橋本勝文 (Katsufumi Hashimoto)
 北海道大学大学院 学生員 高橋尚 (Nao Takahashi)
 北海道大学大学院 正員 杉山隆文 (Takafumi Sugiyama)

1. はじめに

現在、インフラ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、打音法には検査者の知識、経験に結果が左右されるという問題点がしばしば指摘される。加えて、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。上記の技術的及び社会的背景に対して様々な新たな非破壊検査技術が開発されている。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（ひび割れ部とほぼ同義）で生じる摩擦、打撃による局所的な温度上昇を赤外線サーモグラフィで計測し、主として金属材料を対象としてき裂を検知する検査手法である¹⁾。サーモソニック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、さらに発熱の特徴を分析することで表面の発熱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、本手法は金属やコンジット材料等の熱伝導率の高い材料に対して用いら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⁾、モルタルやコンクリート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、発熱挙動を観察するために適した加振条件を定めることが大変重要である。

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、超音波加振条件がモルタル内部のひび割れ箇所での発熱に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

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。模擬ひび割れは、供試体作製時に高さ 12.5 mm の高さに直径 40 mm の円形の可溶性高分子フィルム（以下、フィルム）を設置することで作成した。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

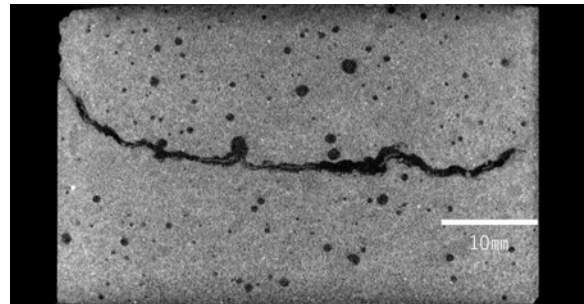


図 1 供試体 B の断面 CT 画像

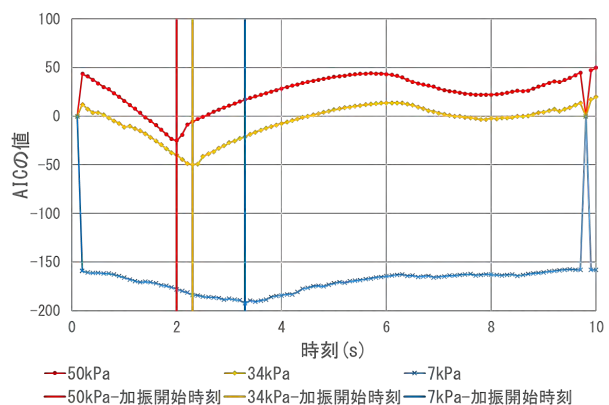


図 2 B-9-20-7/34/50 の AIC による加振開始時刻

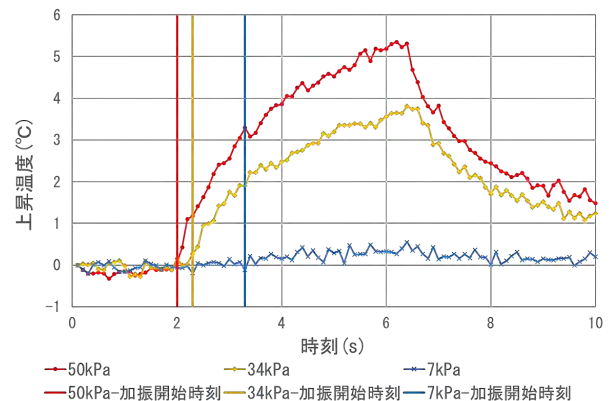


図 3 B-9-20-7/34/50 の温度変化と加振開始時刻

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（それぞれ 0

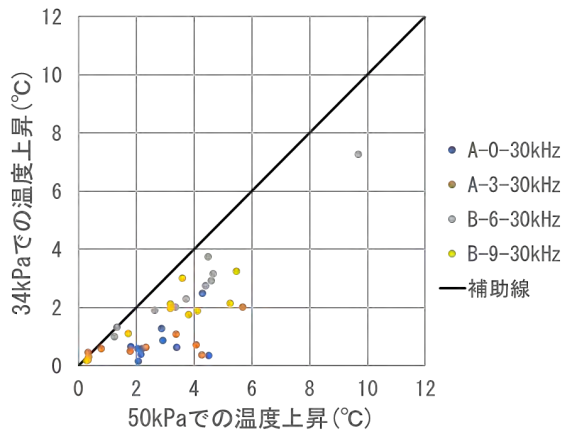


図4 超音波加振時（30kHz）の拘束応力と発熱量

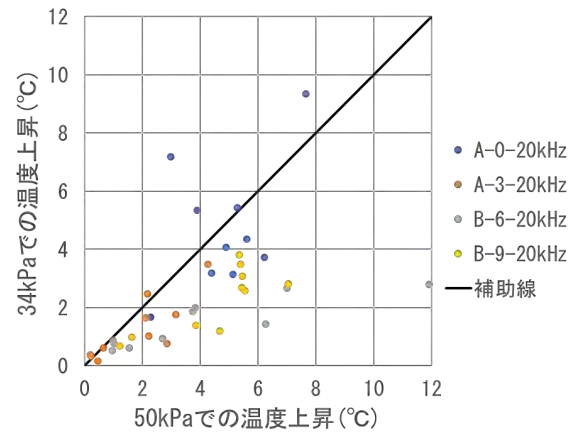


図5 超音波加振時（20kHz）の拘束応力と発熱量

時方向，3時方向，6時方向，9時方向）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確認された供試体表面での任意の点（合計10点）に対し取得データを分析した。

3. AICを用いた加振開始時刻の決定

既往の研究³⁾を参考にして、10秒間の温度変化を示す時刻歴応答に対し、AIC（赤池情報量規準：Akaike Information Criteria）を算出し、各測定点の加振開始時刻を抽出した。10点の測定点で得られた加振開始時刻の平均を動画の加振開始時刻として決定し、加振開始から6秒間のデータを発熱挙動のデータとして採用した。実験時の状況や環境に応じて、以下の条件を満たすデータのみを使用した。

- ① 10秒間の熱画像撮影動画のうち、前半部分（0～5.0秒）に開始時刻が抽出できる。
- ② 抽出時刻前後1秒のAICの値と比較してAICが5以上小さい。
- ③ 上記前後0.2秒以内にAICを示す2次導関数が190以上になる時刻が存在する。
- ④ 同一動画の測定点の中に抽出時刻の前後1秒以内にAICの値が最小となる点がある。

4. 実験結果および考察

ここでは、各動画のデータの名称を供試体の名称，撮影方向，超音波の周波数，拘束応力をハイフンでつないで表記する（例えば，供試体Aに20kHzの超音波を34kPaの圧力をかけながら与えて0時方向から撮影したデータはA-0-20-34）。B-9-20-7/34/50について、AICを計算した1つの測定点での結果を図2に示す。図中の実線はAICにより抽出された加振開始時刻を示しており、超音波加振時の温度上昇履歴に重ねた結果が図3である。34kPa，50kPaの拘束応力下では加振開始時刻は温度上昇の開始時刻を精度よく検知しており、AICによる加振時刻の抽出方法が有効に機能していると判断できる。一方で、7kPaの場合には温度上昇が微弱であり発熱挙動を示す温度プロファイルのS/Nが低いいため、AICでは加振開始時刻を検知できない。また、他の測定点での7kPaのデータでは先述した条件に該当せ

ず加振開始時刻の推定ができない点も多かった。このことから、34kPaおよび50kPaでの取得データを対象に以下の分析を行った。

図4および図5は、34kPaと50kPaの拘束応力下で超音波加振した際の測定点での最高温度の関係についての20kHzおよび30kHzの超音波加振時の結果である。いずれの場合も、多くの測定点はグラフ右下に分布しており、50kPaでの拘束圧力下の方が上昇温度は大きくなる傾向が読み取れる。前述した7kPaでの微弱な発熱挙動を踏まえると、拘束応力が大きいほど発熱挙動が顕著になることがわかる。ただし、A-0-20-34の場合34kPaでの発熱が卓越する点が見られる。この発熱挙動は加振条件の等しい他の点でも得られない特異的な挙動である。この結果は、測定点付近の模擬ひび割れの位置や形状に起因する可能性が高いと考えられる。特に、模擬ひび割れの幅は損傷部の摩擦に関与し、応力に応じて変化する可能性もあることから、本実験で得られた発熱挙動へ多大な影響を与えていると考えられる。

5. まとめ

本研究により、以下の知見を得た。

- (1) 超音波加振による温度上昇が明確な場合にはAICを用いて加振開始時刻を精度良く検知することが可能である。
- (2) 拘束応力が大きくなるほど発熱挙動は顕著になる。ただし、特定の応力で顕著な発熱を見せるひび割れの位置や形状が存在する可能性がある。

謝辞

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
- 3) 前田直樹：地震波自動処理システムにおける読み取りおよび評価，地震，第2輯，38巻，3号，pp.365-379，1985