

補助事業番号 2022M-177

補助事業名 2022年度 サーモソニック法によるコンクリートの迅速品質検査方法の補助事業

補助事業者名 北海道大学大学院工学研究院土木工学部門環境機能マテリアル工学研究室

1 研究の概要

コンクリートにより構成される土木インフラ構造物の老朽化に伴う適切な維持管理(点検・診断)現場において、コンクリート内部の損傷を確認するための現場計測システムの簡素化計測機器の技術や点検時の作業性に関して、飛躍的な精度向上や業務効率化が進められている。特に、種々の曝露環境における環境作用によるコンクリートの損傷・劣化に伴う品質情報の即時取得に対する要求が非常に強い。一方で、充当予算や技術者人材の不足に基づく社会問題を踏まえれば、簡便かつ迅速にコンクリートの品質を正確に評価可能な試験方法の確立が急務である。

2 研究の目的と背景

微小試験片に対してサーモソニック法を適用することで、内部の劣化やひび割れの状態に基づくコンクリートの品質を極短時間(数秒間)で正確に判断できる試験方法を確立する。コンクリートの品質に関する検査を目的として実現すべき技術として、見えない劣化・損傷状況を正確に評価できることと、簡便で迅速な検査ができることという、従来はトレードオフの関係にある双方の特徴を提案する試験方法は備えるものである。さらには、提案手技術が新設から供用年数を経た様々なコンクリート構造物の維持管理局面で実装・活用されることを推し進める。

3 研究内容

(1) ひび割れの発熱挙動と超音波加振条件に基づくサーモソニック法の開発

<https://concrete.eng.hokudai.ac.jp/wp-content/uploads/2023/05/JKA.pdf> (URL)

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3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の応力下に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1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2である。図2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。

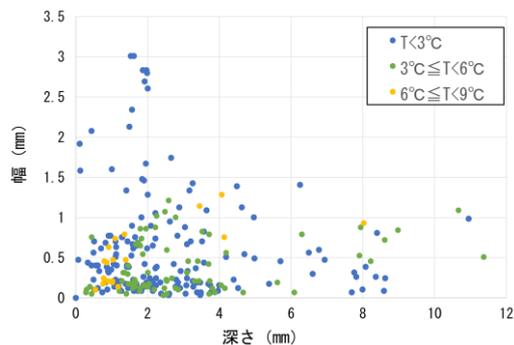


図1 ひび割れの幅および深さと温度上昇

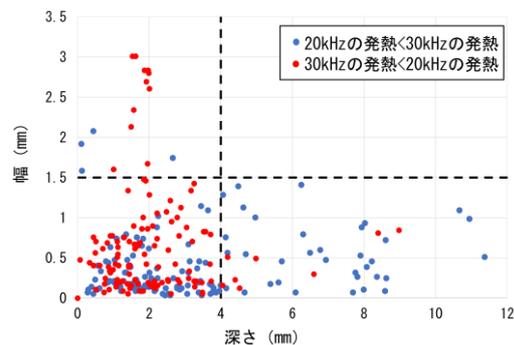


図2 超音波加振の周波数と発熱の差異

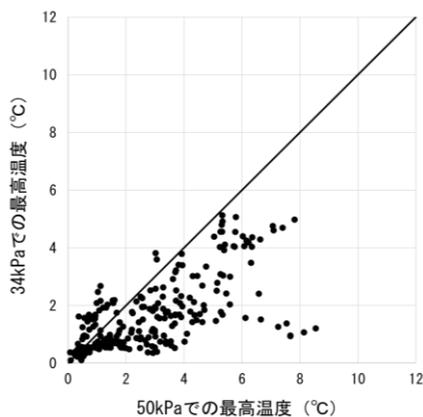


図3 異なる拘束応力下での測定点の発熱

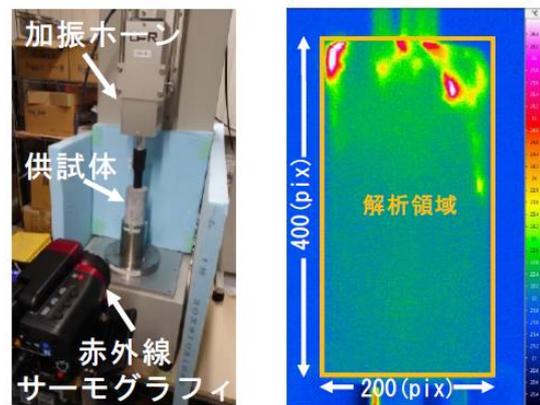


図4 サーモソニック法の試験概要

(2) サーモソニック法によるひび割れおよび損傷度の評価

<https://concrete.eng.hokudai.ac.jp/wp-content/uploads/2023/05/JKA.pdf> (URL)

上記の円柱モルタル供試体に対して圧縮試験を実施した。27.6MPaの圧縮強度が得られた材齢3日の時点で、圧縮強度の70% (19.3MPa)、90% (24.8MPa)となるまで载荷を行った供試体を2つずつ作製した(以下70%供試体あるいは90%供試体とする)。また、圧縮試験を行わない健全な供試体を1つ作製し(以下Initialとする)、計5つの供試体に対して実験を行った(図4参照)。サーモソニック法をモルタル供試体に適用することで、圧縮応力履歴の異なるひび割れ状況を評価した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 供試体の損傷度や拘束力、超音波の周波数が発熱挙動に影響を及ぼす。
- 2) X線CTでは確認できない微細なひび割れも検出できる可能性がある。

3) 超音波加振により得られる温度変化速度とひび割れの開口幅には一定の相関がある。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

コンクリートの品質評価を行う点検技術者および試験コンサルタントが受益者である。種々の試験技術や点検手法には点検技術者の経験や知識に診断結果が依存することが多く、診断結果と実際の内部劣化・損傷程度との乖離を無くすことで、技術者不足や技術継承の問題を解決できることは、インフラ構造物を支える点検および試験業務分野に大きな便益をもたらす。小型・廉価かつ簡便で迅速な試験による高精度でコンクリートの品質評価を実現する本提案技術は、上記の当該業界のニーズに応える技術開発として、大きな期待が寄せられると断言できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

き裂(コンクリート分野における「ひび割れ」とほぼ同義)を含む金属材料においては、この温度上昇現象を赤外線サーモグラフィで画像化・き裂部を可視化できることは知られている。一方で、コンクリートは熱伝導率が低くひび割れを生じる劣化・損傷の検知を目的とした同手法の適用は不可能と考えられた。しかしながら、さらには、微小試験サンプルに対する試験方法を新たに提案することで、極短時間の微破壊試験により、セメントコンクリートの品質評価試験として同手法が適用可能とする研究に他に事例を見ない研究開発テーマに着手している。

本提案技術は、コンクリートの品質評価を一度の非破壊試験で短時間に成しえるだけでなく、開発する試験装置一式は可搬性にも優れたものを想定しており、大幅な点検作業工程と作業量の削減を可能とする。他に類似技術は無く、また、一連の試験装置や試験方法が導入コストやプロセスの観点からも優れたものとするので、インフラ構造物の管理・保全事業を主とする企業および、点検・調査・試験・診断の受託業務を主とする建設サービス企業の既存技術・機器類に対する本提案技術の優位性は極めて高く、実用化が充分に見込まれる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【特許】

- ・ 特願2022-144450(非破壊検査装置、及び非破壊検査方法)

【国際学術論文】

- ・ Katsufumi Hashimoto and Tomoki Shiotani、Sonic-IR imaging technique for detection of crack interfaces in cementitious materials、Construction and Building Materials、Vol.386、131549(2023)

【国際会議論文および口頭発表】

- ・ Katsufumi Hashimoto、Nao Takahashi and Shunsuke Kumagai、Damage and Defect Identification in Cementitious Materials with Heat Generation by applying Thermo-Sonic Method、International Conference on Unmanned System Applications- Geoinformatics、Agriculture、Manufacturing & Environment (2023) 受付受理済

【国内学会論文および口頭発表】

- ・ 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)
- ・ 熊谷駿佑、橋本勝文、高橋尚、杉山隆文、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、令和4年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会(2023)
- ・ 熊谷駿佑、橋本勝文、高橋尚、杉山隆文、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、令和5年度全国大会第78回年次学術講演会(2023)受付受理済
- ・ 高橋尚、橋本勝文、杉山隆文、熊谷駿佑、サーモソニック法によるモルタル内部の損傷度と発熱挙動の評価、コンクリート建造物の補修、補強、アップグレード論文報告集(2023)投稿中

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

超音波加振ホーンおよびサーモソニック方式品質検査装置

<https://concrete.eng.hokudai.ac.jp/wp-content/uploads/2023/05/JKA.pdf> (URL)

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 北海道大学大学院(ホッカイドウダイガクダイガクイン)

住 所： 〒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A4-08

担 当 者 准教授 橋本勝文(ジュンキョウジュ ハシモトカツミ)

担 当 部 署 土木工学部門(ドボクコウガクブモン)

E - m a i l: hashimoto.k@eng.hokudai.ac.jp

U R L:

https://concrete.eng.hokudai.ac.jp/wp-content/uploads/2022/04/Personal-page_Hashimoto.pdf