

強力空中超音波励起による弾性表面波を利用した非接触火害診断

Non-contact fire damage diagnosis using surface acoustic waves generated by High-Intensity Aerial Ultrasonic Waves

○浅田裕介¹, 齊藤卓哉², 大隅歩³, 伊藤洋一³*Yusuke Asada¹, Takuya Saito², Ayumu Osumi³, Youichi Ito³

Abstract: We have developed the noncontact method of fire damage diagnosis of concrete using high-intensity aerial ultrasonic waves method and optical equipment.

In this report, as basic study, we attempt to measure the propagation speeds of acoustic surface wave on the surface of mortar to diagnosis fire damage of mortar.

1 はじめに

強力空中超音波と光学機器を用いたコンクリートの非接触火害診断法¹⁻³⁾の実用化を目指している。本手法は、火災時の高温に曝されたコンクリートの弾性率変化を、音響振動特性の変化として捉え、火害を診断する方法である。

現在、提案手法の課題の一つである深さ方向の診断に対し、深さ方向の弾性率変化を表面波音速と周波数の関係から推定する手法を考案し、研究を行っている。

本報告では、その基礎検討として火害を受けたモルタルの弾性表面波の伝搬速度の変化を、提案手法で非接触計測することを試みている。

2 計測原理

コンクリートは、570°C以上の高温下ではその材質と構造に起因して弾性率と密度が低下する⁴⁾。この時の弾性率の変化の割合は、密度に比べて非常に大きい。従って、次式で表される弾性表面波の速度は、火害によって大きく低下する。

$$C_R = \frac{0.87 + 1.12\nu}{1 + \nu} \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1 + \nu)}} \quad (1)$$

ただし、 C_R : 表面波伝搬速度、 ν : ポアソン比、 E : ヤング率、 ρ : 密度である⁵⁾。また、弾性表面波は周波数に依存した深さの表層部分を伝搬する⁶⁾。従って、高い周波数の弾性表面波は火害の影響を強く受けて伝搬速度は低下し、低い周波数においては、伝搬速度はあまり変化しないと予想される⁷⁾。

提案手法では、これらの現象を利用し、弾性表面波の周波数に対する伝搬速度の変化をイメージングすることでコンクリートの深さ方向の火害状況を診断する。さらに、提案手法で用いる強力空中超音波は強い非線形性を有するため、整数倍の高調波が同時に照射され

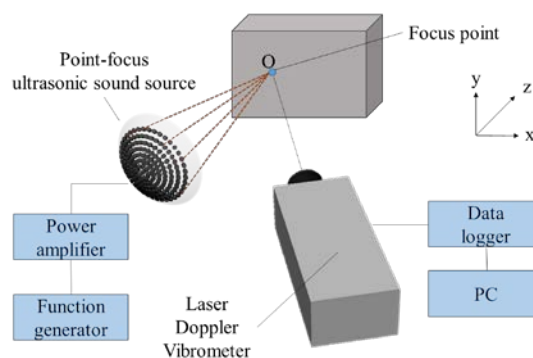


Fig. 1 Schematic view of experiment system

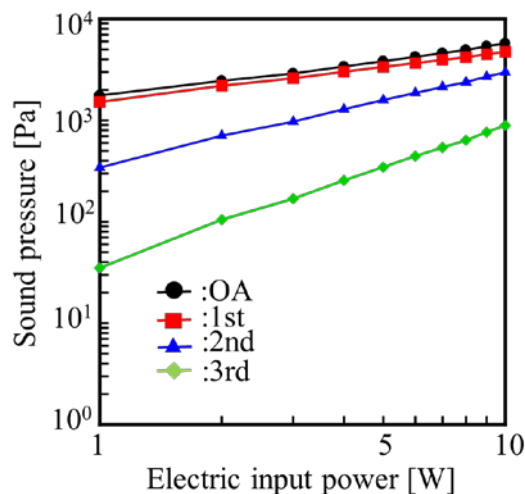


Fig.2 Sound pressure characteristic at focus point

ることになる。これを利用すれば、各周波数成分で弾性表面波の伝搬速度を同時計測することが可能となる。

3 実験方法

Fig.1 に、計測原理に基づいた実験装置の概略を示す。装置は、強力空中超音波を放射できる音源と振動を計測するレーザドップラ振動計(LDV)、およびその他の周辺機器で構成されている。音源は、駆動周波数 40 kHz、立ち上がり時間 1 ms の振動子 263 個を図のように半球ドーム(半径 150 mm)に沿って頂点を基点に配置してい

る。Fig.2 に集束点における供給電力特性を示す。10W 時に約 5700Pa の極めて強力な音波が発生し、基本周波数(駆動周波数)に加えて整数次の高調波音波が発生している。この強力音波の照射により励振されたコンクリート表面の振動を、LDV で非接触計測する。なお、LDV は 3 軸の精密ステージにより正確に移動できるようにしてあり、振動の位相情報を同時に取得する。計測のタイミングは、移動を完了した後 1 秒間待機し、その直後の振動子印加電圧信号の立ち上がりをトリガーとして、計測点の振動情報を取得する。さらに、バンドパスフィルタ(カットオフ周波数：中心周波数±1 kHz)により基本周波数、及び各高調波成分を抽出し、各周波数成分の瞬時振動速度分布よりイメージングを行う。

実験で用いた試料は寸法 220×150×50 mm のモルタルである。なお、試料全体が 500 °C 以上の火害領域になるように、電気炉を用いて加熱している。

4 実験結果

実験は、試料表面中央のエリア(50 mm×30 mm)に対して 1 mm 間隔で計測を行った。なお、音源の駆動は印加電圧：24 V、サイクル数：20 サイクルとし、計測時間：1 ms で波形の取得を行った。一例として、Fig.3 にある時刻における計測領域の表面波伝搬(第二次高調波：80 kHz)の様子を示す。なお、結果は、計測時間内における振動速度の最大値で規格化して示してある。

両結果を比較すると、火害を受けた試料の弾性表面波の間隔が明らかに短くなっており、伝搬速度が減少していることが確認できる。そこで、伝搬速度を算出するために Fig.3 の破線上(y=15 mm)の振動速度分布を抽出した。結果を Fig.4 に示す。図より、表面波のピーク間を平均波長として伝搬速度を算出した。算出した結果を Table.1 に示す。

結果より、伝搬速度は約 400 m/s ほど減少し、明確に火害の影響を検出することが出来た。

以上より、加熱による伝搬速度の違いから火害をイメージングできる可能性があることがわかった。

5 まとめ

強力空中超音波と光学機器を用いて、試料表面に生じた弾性表面波の伝搬情報を利用し、モルタル試料使い実験的な基礎検討を行った。

その結果として、火害により弾性表面波の伝搬速度の明確な変化を観測することが出来た。

6 参考文献

[1] 大隅, 他, 日本火災学会論文集 63(3), pp.57-65,

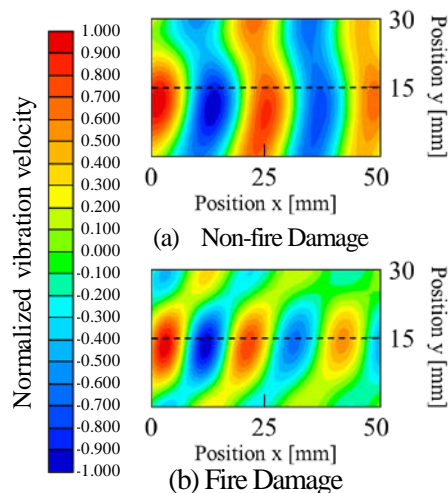


Fig.3 Distribution of vibration velocity by instantaneous value

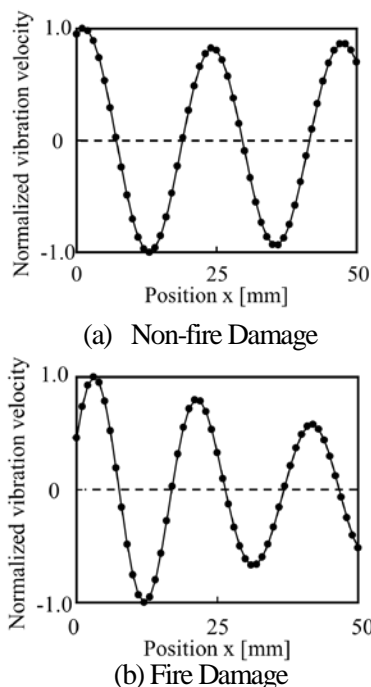


Fig.4 Normalized vibration velocity by instantaneous value

Table.1 Velocity of Surface wave

Non-fire Damage	Fire Damage
1949 [m/s]	1543 [m/s]

2013.

- [2] 興津, 他, 音講論(春), pp1159-1160, 2016.
- [3] 興津, 他, 音講論(春), pp1049-1050, 2017.
- [4] 原田, 日本建築学会論文集(47), pp11-18, 1953.
- [5] 長, 他, 新コンクリートの非破壊試験, pp67, 2010.
- [6] 西山, 他, 音響振動工学, pp241, 1979.
- [7] 長, 他, 表面技術, pp790-795, 2009