

第 V 部門

FDTD 法による表面弾性波可視化技術の解析方法

京都大学
京都大学
京都大学

学生員 ○堀内 康平
正会員 服部 篤史
正会員 河野 広隆

1. はじめに

表面弾性波可視化技術¹⁾(以下, 本技術)はストロボスコープと微分干渉スペックルイメージングを用いたコンクリート構造物に対する新しい点検手法である. 山名ら²⁾の研究ではコンクリート供試体を用いた測定試験を行い, 表面の微細なひび割れや塗膜の剥離・塗膜下のひび割れが検知可能であることを明らかにした. しかしながら, 供試体内での弾性波の伝播状況や本技術の適用範囲については不明である. そこで, 本研究では本技術の測定メカニズムを解明し適用性を検討するための FDTD 法を用いた二次元解析の手法および評価方法を提案する.

2. 解析概要

2.1 解析モデル

使用した解析ソフトは Wave2000plus である. モデルは山名の実験で用いた供試体を基に図 1 のように作成した. 表面被覆はエポキシ樹脂, 二本のひび割れは空気のスリットで模擬した. 実験では曲げひび割れを生じさせた後に表面被覆を導入したため, 本研究でもひび割れにおける被覆の剥離は考慮していない. モデルの解像度は 10 ピクセル/mm で, グリッドは計算速度を優先し 0.5 グリッド/ピクセルと設定した. そのため, グリッドの寸法は 0.5mm で, これをひび割れ幅とした. モデルの条件を表 1 に, 材料特性値を表 2 に示す.

2.2 解析結果の処理方法

横ずらし(シア)した面外変位が可視化される技術のため, 被覆表面とコンクリート表面の y 変位に着目し, シア変位で表した. 左端より x[mm]におけるシア変位は x+1[mm]と x-1[mm]における y 変位の差として測定する.

シア変位分布は時間により変化するため, 1 ケース当たり 4 回測定した. 時間差分は音速と周波数に

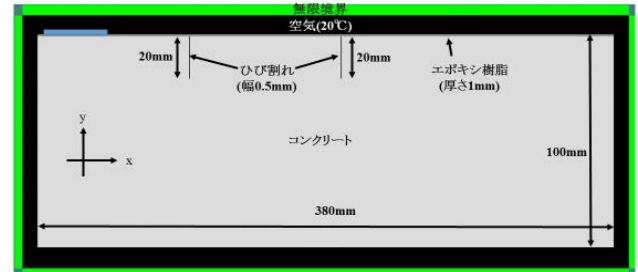


図 1 解析モデル

表 1 モデル条件

	条件
寸法	長さ 380mm×高さ 100mm
境界条件	1mm 厚の空気層(20°C), 無限境界
表面被覆	1mm 厚のエポキシ樹脂(塗膜を模擬)
ひび割れ	供試体左端より 100mm, 200mm に存在, 幅 0.5mm×深さ 20mm
振動子	供試体左端より 5-45mm に存在, 幅 40mm
入力波	縦波・正弦連続波, 30kHz, 変位入力
入力振幅	1(基準値)
測定点	各ひび割れ真上とその 2mm 右側に存在, 幅 0.5mm
内部鉄筋	なし
支持条件	なし

表 2 材料特性値

材料	コンクリート	空気(20°C)	エポキシ樹脂
ρ [kg/m ³]	2.311×10^3	1.240	1.151×10^3
λ [MPa]	7.361×10^3	1.467×10^{-1}	4.284×10^3
μ [MPa]	1.110×10^5	0.000	1.480×10^3
η [Pa·s]	0.000	2.980×10^{-5}	0.000
ϕ [Pa·s]	0.000	1.213×10^{-12}	0.000

ρ [kg/m³]:密度, λ [MPa]:第一ラメ定数, μ [MPa]:第二ラメ定数, η [Pa·s]:せん断粘度, ϕ [Pa·s]:体積粘性率

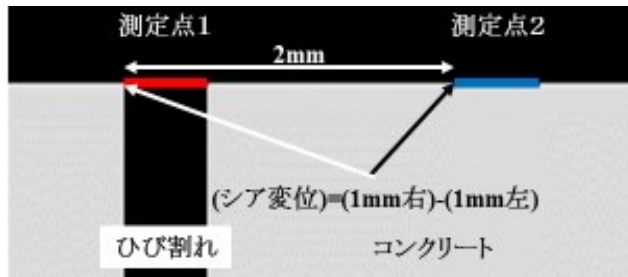


図2 測定点位置

より自動的に決定される。解析時間400 μ sのうち、弾性波伝播映像より 2000 ステップ(約 226 μ s)時点で定常状態になったと判断し、その時点および以降 500 ステップ(約 58 μ s)ごとに測定した。得られた 4 つのシヤ変位より各 x 座標における絶対値の最大値および平均値をプロットした。

また、4 回の測定では偏りが生じる可能性があるためひび割れ部におけるシヤ変位に関してはひび割れ真上と 2mm 右側に測定点を設置し 2000-3500 ステップ間でシヤ変位の絶対値最大値を連続的に測定した。最大値によりひび割れが可視化できると考えたためである。測定点位置の模式図を図 2 に示す。

3. 解析結果および考察

2.2 に示した 2 通りの処理方法のうち、絶対値最大値を図 3、平均値を図 4 に示す。横軸は左端からの距離[mm]を、縦軸はシヤ変位の入力振幅に対する比率を示す。図内の点は測定点の連続測定で得られた絶対値最大値である。700 ステップ(約 79 μ s)時の変位ベクトルの絶対値の分布を 255 段階グレースケールで図 5 に示す。黒が変位なし、白が入力振幅と同じ変位量を表す。

両図ともに表面被覆・コンクリートの両者がほぼ同じ変位分布となり、被覆がコンクリートと一体となって振動していることがわかる。またシヤ変位のピークが x=100,200 の二か所(x=5,45 でのピーク値は振動子端によるので無視)で見られ、ひび割れの位置と一致するため本技術の機構同様シヤ変位により面外変位の不連続を検知できたと考えられる。図 4 では平均値は正負で打ち消し合い実際より小さいため、絶対値最大値がより正確な面外変位分布といえる。

実際の計測では振動子の励振信号と同期して面外変位の最大・最小値を測定している。本解析で 4 回のみであるが、測定点での連続測定による絶対値最大値と大差ないため問題ないと思われる。

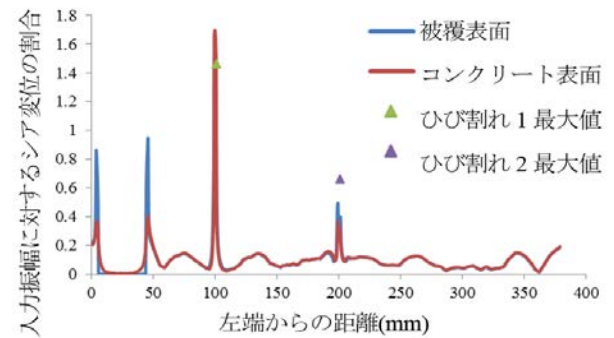


図3 絶対値最大値による評価

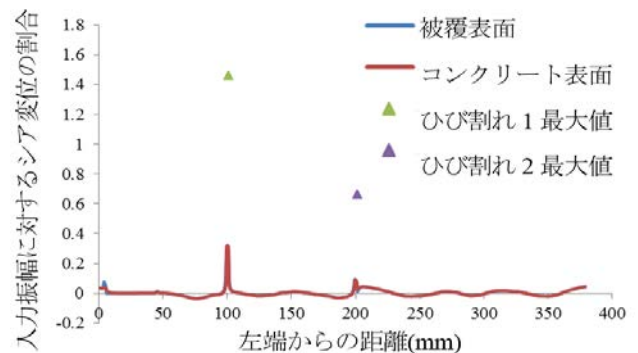
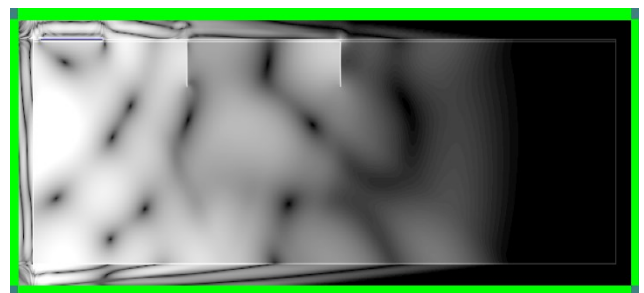


図4 平均値による評価

図5 弾性波伝播映像(700 ステップ・約 79 μ s 時)

4. 結論

- 1) FDTD 二次元解析によるシヤ変位を用いた表面弾性波可視化技術の解析は可能である。
- 2) シヤ変位はひび割れ部のみ連続測定するか、定常状態になった後 4 回測定することで適切に評価できる。
- 3) データ処理は平均値でなく絶対値最大値を取った方がより適切である。

参考文献

- 1) 畠堀，服部他：光学的表面弾性波可視化技術のコンクリート検査への適用，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，2016.7.
- 2) 山名，畠堀，服部他：表面弾性波可視化技術による表面被覆下で発生・進展するコンクリートのひび割れ検出，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 17 巻，2017.10