

表面被覆が表面弾性波可視化に与える影響の 2 次元 FDTD 解析

京都大学

学生員

○堀内

康平

京都大学

正会員

服部

篤史

京都大学

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ckルイメージングを用いたコンクリート構造物の表面付近の変状に対する新しい点検手法である. 山名ら²⁾の研究では RC 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 FDTD 法を用いた 2 次元解析を行い各要因の影響を比較した.

2. 解析概要

2.1 解析モデルと解析要因

使用した解析ソフトは Wave2000plus である. モデルは山名らの実験で用いた RC 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または鋼板, 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施したため, 本研究でもひび割れ付近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(メッシュ)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, 解析要因を表 3 に示す.

2.2 解析結果の処理方法

横ざらししたレーザー光による隣接 2 点の面外変位差(シア変位)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.

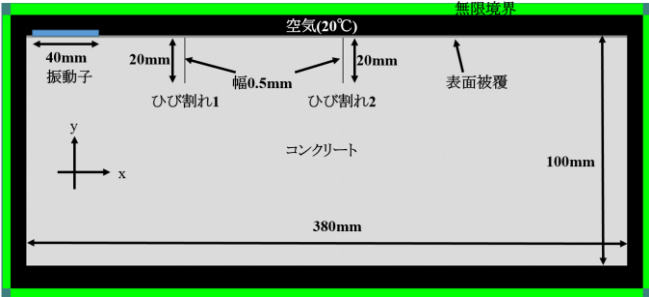


図 1 解析モデル

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℃), 無限境界
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℃)	エポキシ樹脂	鋼板
ρ [kg/m ³]	2.31×10^3	1.24	1.15×10^3	7.80×10^3
λ [MPa]	7.36×10^3	1.47×10^{-1}	4.28×10^3	1.12×10^5
μ [MPa]	1.11×10^5	0.00	1.48×10^3	7.99×10^4
η [Pa・s]	0.00	2.98×10^{-5}	0.00	2.03×10^2
ϕ [Pa・s]	0.00	1.21×10^{-12}	0.00	4.58×10^{-5}
E[MPa]	2.65×10^4	0.00	4.06×10^3	2.00×10^5

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, E[GPa]:ヤング係数

キーワード 表面弾性波可視化技術, コンクリート, 表面被覆, ひび割れ検知, 非破壊検査, FDTD 法
連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスターC1 棟 TEL075-383-332

表 3 解析要因

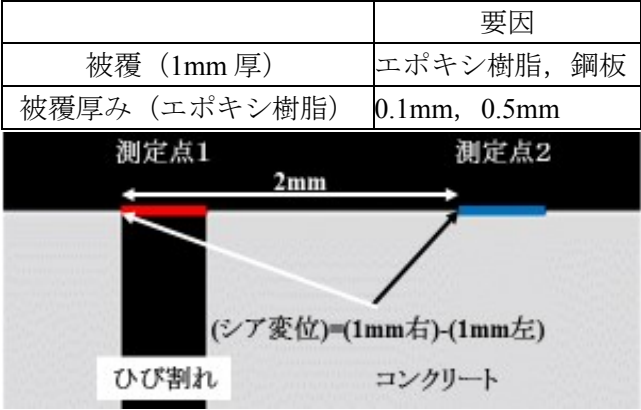


図 2 測定点位置

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 つのシア変位分布より各 x 座標における絶対値の最大値をプロットした.

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ア変位に関してはひび割れ真上と 2mm 右側に測定点を設置 (図 2) し 2000-3500 ステップ間でシア変位の絶対値最大値を連続測定から抽出した. 最大値の一瞬によりひび割れが可視化できると考えたためである.

3. 解析結果および考察

解析結果の一例 (エポキシ樹脂, 厚さ 1mm) を図 3 に示す. 縦軸はシア変位の入力振幅に対する比率を, 横軸は左端からの距離[mm]を示す. 被覆表面とコンクリート表面のシア変位分布がほぼ一致し, ひび割れ部でのみシア変位の数値が大きくなることがわかる.

左側 (x=100[mm]) のひび割れでのシア変位と各表面被覆の曲げ剛性[N・mm²]の関係を図 4 に示す. 曲げ剛性が高いほどシア変位は小さくなる. これは弾性波伝播によりひび割れ部周囲のコンクリートが面外方向に変形するのに対して, その上の表面被覆が抵抗となって変位を制限するからである. また, 本技術で着目しているのは面内でなく図 5 のような面外変位であるため, 引張剛性よりも曲げ剛性との相関が強いと考えられる.

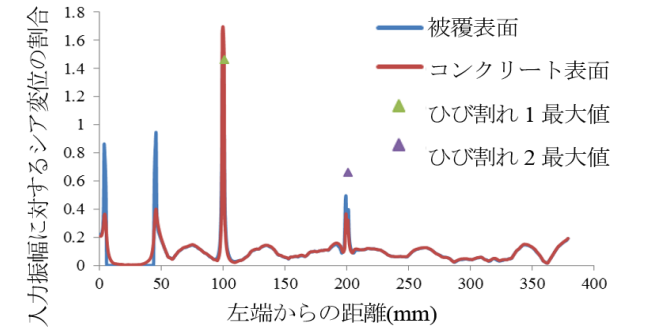


図 3 解析結果 (エポキシ樹脂, 厚さ 1mm)

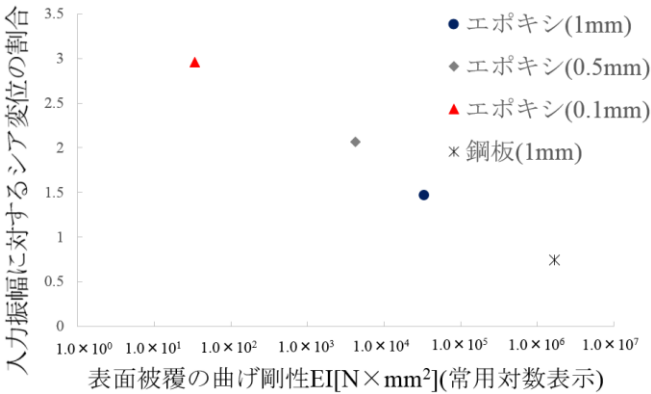


図 4 各要因のシア変位-EI

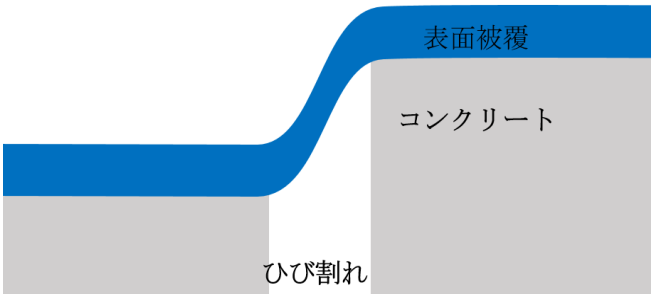


図 5 ひび割れ部での表面被覆

4. 結論

- 1) 2 次元 FDTD 解析を用いてシア変位に着目することで本技術の解析を行うことができた.
- 2) 表面被覆の曲げ剛性が大きいほどシア変位が小さくなった.

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.