

デジタル打音検査と AI・シミュレーションの
統合的活用によるコンクリート内部構造診断の実現
(2) シミュレーションモデル開発と AI 順解析による大規模 DB 化

原子燃料工業株式会社 正会員 〇松永 嵩、小川 良太、匂坂 充行
原子燃料工業株式会社 磯部 仁博
東京大学 山田 知典、吉村 忍

1. 研究目的

コンクリート内部構造（内部空洞、剥離、ひび割れ等）を診断する技術を開発するためには、欠陥の種類や規模に伴うデジタル打音検査の評価指標の変化を定量的に評価する必要がある。しかしながら、コンクリートの欠陥種類・規模は多岐にわたり、各種欠陥とデジタル打音検査の評価指標の大規模データベース（DB）を必要とする。そこで、本報では、コンクリート内部構造診断技術の開発を目的として、AI・シミュレーション技術を活用し、コンクリートの内部構造診断に必要な大規模 DB を構築した結果について取りまとめた。

2. 研究アプローチ

コンクリートの内部構造診断に必要な大規模 DB の構築アプローチについては、以下の通りである。

- 1) FEM シミュレーション（時刻歴応答解析）を用い、コンクリート構造物を打撃した際の振動をシミュレーションするモデルを構築
- 2) FEM シミュレーションモデルの妥当性確認（実験データとの比較）
- 3) 欠陥を模擬した FEM 解析モデルによる面的評価結果を全結合ニューラルネットワークで学習し、任意の欠陥の種類や規模から、コンクリート表面で得られる周波数を推定する順解析 AI を構築

3. FEM シミュレーション

3. 1 シミュレーションモデル及び解析条件

解析には汎用 FEM 解析ソフトである ADVENTURE Cluster を用いた。コンクリート板厚方向の振動モード（5 kHz）や剥離によるたわみ振動モード（2 kHz～10 kHz）の周波数を評価指標とするため、コンクリートの音速が 4000 m/s とすると、10 kHz の振動モードでは 400 mm 程度の波長となる。したがって、十数 mm 程度の骨材については、着目する振動モード領域での影響は限定的であると考えられ、個別にモデル化せずに一様部材としてモデル化した。

解析モデル形状は、図 1 に示すように、供試体のサイズは 1000 mm×1000 mm×厚み 400 mm で、欠陥（内部空洞、剥離、ひび割れ）は 1000 mm×1000 mm の範囲の中央部に配置した。各種解析条件については、表 1 に示す通りであり、10 kHz 程度の振動モード（波長は 400 mm 程度）を評価可能となるようにメッシュサイズ、要素、解析時間間隔を設定した。なお、打撃荷重を付与した位置近傍の節点における、コンクリート表面垂直方向速度成分の振動波形について、高速フーリエ変換し、着目する振動モードの周波数を評価指標とした。

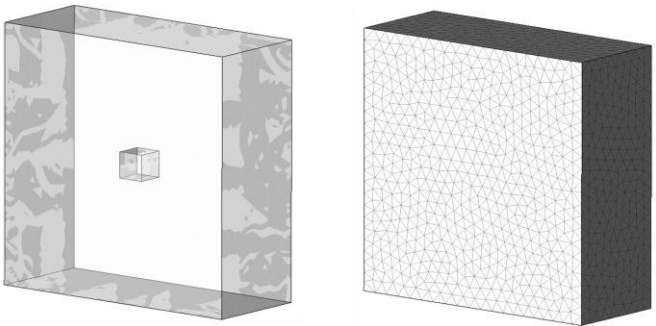


図 1 解析モデル形状

表 1 解析条件

メッシュ	基本節点間隔	50 mm
	要素	4 面体 2 次要素
物性値	弾性係数	33GPa, 37GPa
	密度	2400 kg/m3
	ポアソン比	0.2
打撃荷重	荷重	100 N
	波形	三角波
	荷重付与時間	0.1 ms
解析時間条件	解析間隔	4μs
	解析最大時間	10 ms
	総ステップ数	2500step

キーワード AI, AE センサ, 打音検査, 施工不良, 経年劣化

連絡先 〒590-0481 大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目 950 番地 原子燃料工業（株） T E L 072-452-7221

3. 2 モデルの妥当性確認

無欠陥のコンクリート供試体における、1000 mm×1000 mm の平面の中心位置の周波数分布に関して、実験と FEM 解析を比較した（図 2）。実験と FEM 解析で周波数強度は差があるが、周波数ピーク位置は、概ね一致している。

また、内部空洞（サイズ 100 mm×100 mm かぶり厚 100 mm）を模擬した供試体に対して、欠陥中心から±150 mm の範囲で周波数を評価した結果の比較（図 3）では、欠陥中心部で周波数が 100Hz 程度低下し、周囲に広がる結果が実験及び FEM 解析ともに得られ、妥当性が示された。実験結果のほうが周波数の低下量が大きい点については、内部空洞模擬に用いた発砲スチロールを固定するため機構（全ねじボルトやナット）や、発砲スチロールによって気泡が溜まった等により、想定より縦振動の周波数が低下した可能性がある。

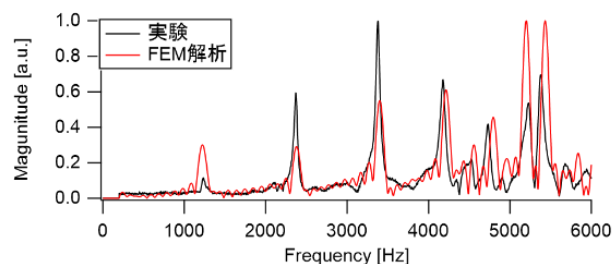


図 2 実験及び FEM 解析の周波数分布比較

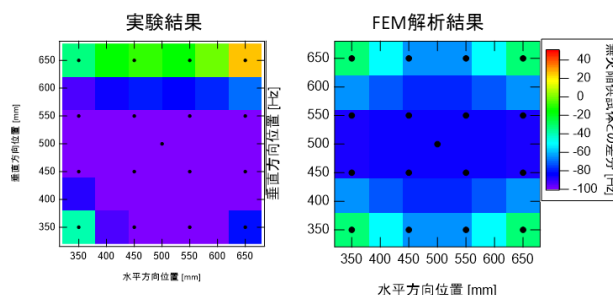


図 3 実験及び FEM 解析の面的評価比較

4. 順解析 AI の構築

3 層の全結合ニューラルネットワークに対し、欠陥のサイズ、かぶり厚などの欠陥パターンを入力層に、コンクリート表面で得られる周波数変化量を出力層にして、FEM 解析結果を学習させた順解析 AI を構築した。構築した順解析 AI に空洞サイズおよびかぶり厚を与えて周波数変化量を推定した結果（図 4）においては、欠陥サイズが大きくなる、または深くなるほど周波数の低下量が増大する傾向がみられ、欠陥サイズが大きく、かつ、かぶり厚が小さい場合では、かぶり部のたわみ振動が生じ始める傾向など、実験で得られた傾向に整合する結果が得られた。今後、この面的評価結果から、欠陥状態を推定する逆解析 AI を構築する計画である。

5. まとめ

コンクリートの内部構造診断の開発を目的として、デジタル打音検査と AI・シミュレーションを統合活用として、実験を再現可能な FEM 解析モデルを構築した。また、FEM 解析結果を学習した順解析 AI を構築し、コンクリートの欠陥種類・規模と振動特性の大規模 DB を構築する見通しを得た。

謝辞

本研究は、国土交通省令和元年度建設技術研究開発助成制度により実施した「デジタル打音検査と AI・シミュレーションの統合的活用によるコンクリート内部構造診断の実現」の成果の一部である。

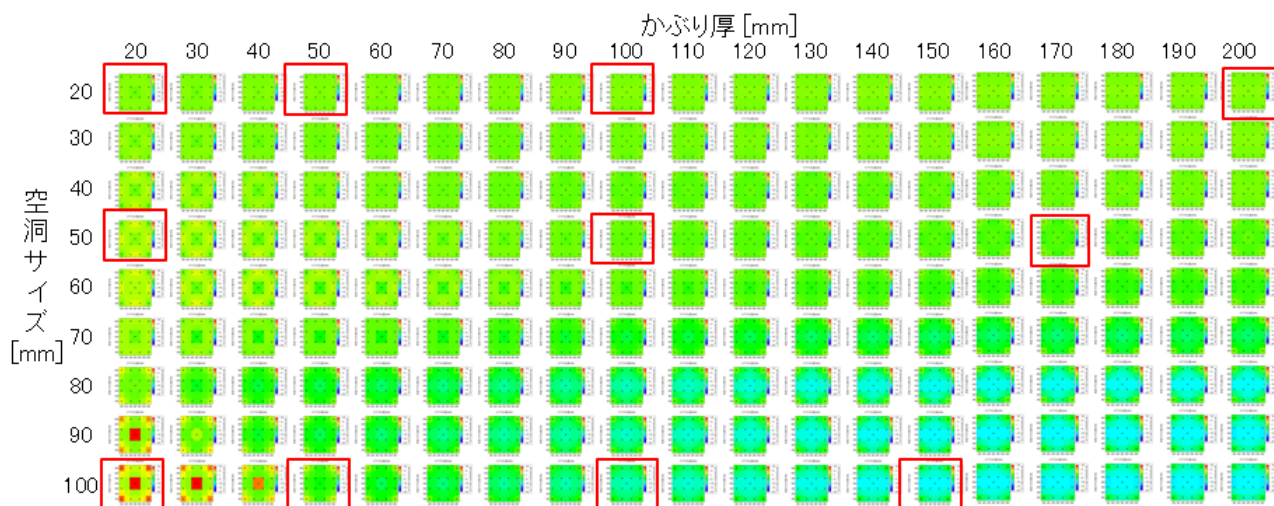


図 4 FEM 解析結果を学習した順解析 AI による大規模 DB 化の例（内部空洞）

赤枠は、実際に FEM 解析データがある箇所