

## 回転式打音法を用いたコンクリート内部欠陥評価に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○岡村 麻里  
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

## 1. はじめに

近年、経年劣化したコンクリート構造物が急速に増加し、膨大な数の既設構造物の点検を短時間かつ低コストで行うために、簡易かつ効率的な検査手法が求められている。図-1に示す回転式打音法は、簡易な非破壊検査法として用いられてきた従来の打音検査の精度と効率を向上させることを目的として開発されたもので、検査器の先端部を転がして発生させる連続的な打音の変化を用いて、異常箇所を速やかに特定することができる。しかし、本法を含む打音検査は、コンクリート内部の大きな損傷程度を振幅比（打撃力と音圧の比）を用いて把握できても、詳細な欠陥状態（深さや範囲）を定量的に評価することは困難である。そこで、本研究は、打音検査シミュレーションを実施し、コンクリート表面の加速度特性と欠陥状態の相関性について考察し、打音法による欠陥状態の推定可能性について検討した。

## 2. 解析概要

欠陥深さや寸法が異なる数種類の供試体モデルを用いた回転式打音検査のシミュレーションを行い、欠陥状態がコンクリート表面の加速度に与える影響について調べ、表面加速度の特徴量から欠陥寸法や深さを推定する手法の可能性を検討した。なお、本研究では、3次元有限要素汎用ソフトウェア MSC.Marc2014 を用いて解析を実施している。

## 2.1 解析モデル

解析モデルを図-2 に示す。回転式検査器および供試体は、3次元ソリッド要素を用いてモデル化した。検査器については先端の金属部のみをモデル化し、水平方向に並進速度(400mm/sec)とそれに対応する角速度を与えることで回転移動させた。実際の検査では、検査器先端をコンクリートに軽く押し当てた状態で転がして検査を行うため、その支圧力についてはバネ要素を用いて再現した。供試体モデルは、過去の実験で用いられたモルタル角柱供試体(100×100×400mm)と同じ寸法とした。境界条件については、供試体底面の両端から50mmの位置で鉛直支持(支点間300mmの単純ばり)し、端点を供試体が並進移動しないよう3方向に拘束した。

材料特性を表-1に示す。欠陥部については、試験体同様に発泡スチロールが埋設された状態を模擬した。

## 2.2 解析ケース

最初に欠陥の有無による比較を行った。欠陥を有するモデルについては、幅(X)50mm×厚さ(Y)20mm×長さ(Z)100mmの寸法の欠陥が供試体上面から20mmの深さに存在する場合を想定して解析を行った。

次に、欠陥範囲(欠陥厚は20mmの一定と仮定)と欠陥深さの影響を検討するために、欠陥の上面からの深さと図-2のZ軸方向の欠陥長さを変化させた考察を行った。表-2に、全15ケースの欠陥条件について示す。

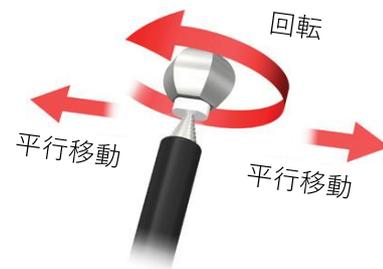


図-1 回転式打音検査器

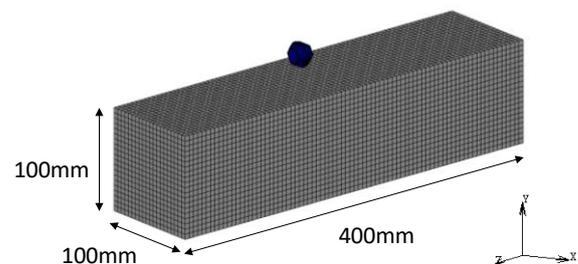


図-2 解析モデル

表-1 材料特性

	検査器	モルタル	欠陥部
ヤング率[N/mm <sup>2</sup> ]	$2.1 \times 10^5$	$3.238 \times 10^4$	10
ポアソン比	0.3	0.2	0.075
密度[g/cm <sup>3</sup> ]	7.85	2.184	$2.9 \times 10^{-2}$

表-2 解析ケース

寸法[mm <sup>2</sup> ]	深さ[mm]	寸法[mm <sup>2</sup> ]	深さ[mm]	寸法[mm <sup>2</sup> ]	深さ[mm]
50 × 100	20	50 × 150	20	50 × 200	20
	30		30		30
	40		40		40
	50		50		50
	60		60		60

### 2.3 打音データの評価法

本解析では、供試体上面中央を回転式打音検査器で打撃し、打撃位置から Z 軸方向に 40mm 離れた位置で得られるコンクリート表面の加速度時刻歴波形を用いて、その最大値および減衰性を評価した。減衰性については、加速度の時刻歴波形で振幅がおおよそ一定となる値 (1.0G) を下限基準値と定義し、加速度波形の開始時点から基準値を初めて下回るまでを継続時間として用いて評価した。さらに加速度波形にフーリエ変換を施し、表面振動の卓越周波数について比較・考察を試みた。

## 3. 解析結果

### (1) 欠陥の有無による影響

欠陥が無い供試体と欠陥が有る供試体の周波数特性について比較した結果を図-3 に示す。この図より、7.5kHz 以下の周波数領域に認められる 2kHz、5kHz、7.5kHz 付近の 3 つの卓越周波数は欠陥の有無に関わらず共通に現れるが、欠陥を有する供試体は健全な供試体と異なり、10kHz 付近に明確な卓越周波数が現れることが認められ、欠陥に起因する成分であると考えられる。

### (2) 減衰性についての比較

打音の減衰性に関して、コンクリート表面の振動の継続時間と欠陥寸法および欠陥深さの関係を図-4 に示す。この図より、同じ欠陥深さでも欠陥寸法が大きくなるほど振動の継続時間は長くなる傾向があることが明瞭に認められる。また、欠陥深さが大きくなるにつれて、継続時間は短くなる傾向があることが確認され、特に欠陥寸法が大きい場合にはその傾きは大きく、欠陥深さが大きくなるにつれて振動の継続時間は一定値に近づいていくものと考えられる。

### (3) 周波数特性についての比較

欠陥の有無に関わらず存在する 7.5kHz 付近の卓越周波数と欠陥が有る場合だけ現れる 10kHz 付近の卓越周波数について、欠陥寸法と深さを変化させた場合の比較を行った結果を図-5 に示す。図より、同じ欠陥寸法では欠陥深さを変化させても 7.5kHz および 10kHz 付近の卓越周波数はおおよそ一致していることが分かる。一方で、欠陥寸法を変化させた場合は、欠陥寸法が大きくなるにつれて卓越周波数は低周波の方に推移し、特に 10kHz 付近の卓越周波数で顕著に認められる。このことから、高周波領域の卓越周波数は欠陥の寸法の影響を受けやすいと考えられる。

## 4. 結論

本研究では、コンクリート内部の欠陥条件を想定して回転打音検査の数値シミュレーションを行うことで、欠陥状態と

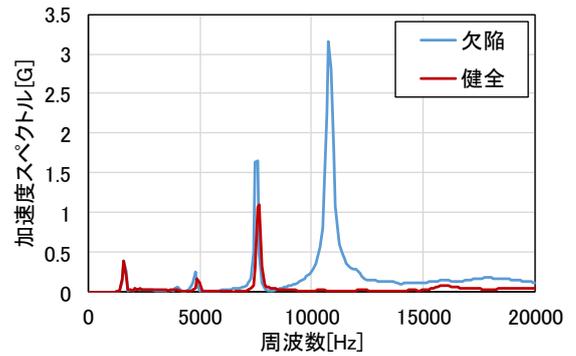


図-3 周波数特性 (欠陥の有無)

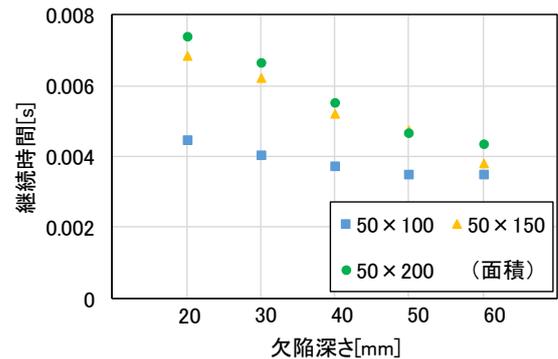


図-4 欠陥位置と継続時間の関係

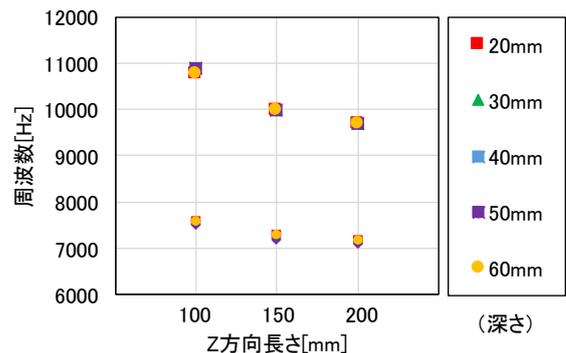


図-5 欠陥寸法と周波数差の関係

コンクリート表面の加速度の相関性について検討を行った。ここで得られた知見を以下に示す。

- (1) 欠陥寸法が大きくなると、7.0kHz より高い周波数領域に見られる 2 つの卓越周波数がそれぞれ低周波の方向に推移し、減衰性が向上することが確認された。このことから卓越周波数とその減衰性を詳細に調べることで、欠陥寸法を推定可能であると考えられる。
- (2) 欠陥深さが浅くなると、減衰性が低下していくことが確認された。このことから、表面振動の減衰特性を計測することで欠陥の深さを推定可能であると考えられる。

今後、詳細に回転式打音法による打音の特性を把握するには、鉄筋の影響や浮き・剥離の現実的な振動特性を考慮した解析を行う必要があると考えられる。