# 劣化模擬供試体の打音検査における音響データの基礎解析

Fundamental Study on Audio Data Frequency Analysis of Hammering Test

北海道大学 大学院工学研究院 ○正 員 橋本 勝文 (Katsufumi Hashimoto)
北海道大学 大学院工学研究院 非会員 福山 智子 (Tomoko Fukuyama)
北海道大学 大学院工学院 非会員 金 侖美(Kim Yunmi)
(株) 構研エンジニアリング 正 員 牛渡 裕二 (Yuuji Ushiwatari)
(株) 構研エンジニアリング 非会員 佐光 正和 (Masakazu Sakou)
(株) 太平洋コンサルタント 正 員 大塚 裕太 (Yuta Otsuka)

# 1. はじめに

コンクリート構造物の品質および健全性評価において は、劣化や内部の欠陥・損傷を把握するための手法を用 いて、適切な維持管理を実施することが重要となってい る。そのため、コンクリートの物性あるいは劣化程度を 客観的かつ定量的に評価する非破壊試験および評価方法 に関する研究が広く推し進められている<sup>1),2)</sup>。一般に適 用される打音法は、コンクリート表面をハンマーで打撃 した際に発生する音で表層部の欠陥の有無を判断する手 法であり、打音判定における信頼性は高いと言われてい る。

しかしながら,打音法による健全性評価に関する既往の報告<sup>3),4)</sup>は,評価結果の信頼性を定量的に示すまでに



図-1 模擬供試体の概要

表-1 埋設物の諸元

記号	埋設物までの深さ	埋設物			
		種類	寸法		
1	30mm	発泡スチロール	縦:200mm		
2	50mm	+	横:200mm		
3	70mm	膨張材入りペースト	厚さ:30mm		
4	10-160mm	発泡スチロール	縦:200mm		
			横:200mm		
		(新台)的上世)	厚さ:30mm		

表-2 膨張材入りセメントペースト

V/B %)	計量値(g)			
	۱۸/	В		
	vv	С	Ex	
25	300	1000	200	
	W:水	、C:セン	メント, E	x:膨張材



図-2 供試体の外観

至っていない。本研究では,異なる欠陥性状を模擬した 供試体に対して,打音法により得られる音響データの周 波数スペクトル解析を行った。これにより,熟練した点 検技術者の能力を見える形に置き換えることで,打音法 における実務上の経験則を汎用的かつ定量的な情報とす るための新たな知見を見出すことを目的とした。

## 2. 模擬供試体実験

#### 2.1 供試体概要

欠陥を模擬した鉄筋コンクリート供試体(以下,模擬 供試体,縦1000mm×横1000mm×高さ200mm)を作製 した。図-1 および表-1 に模擬供試体の概要および埋設

表-3 コンクリートの配合およびフレッシュ性状試験結果

W/C	s/a	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				スランプ	空気量	温度	
(%)	(%)	W	С	S	G	ad	(cm)	(%)	(°C)
49.6	41.4	157	317	746	1063	3.17	13	5.9	19

S:陸砂,G:陸砂利(max.25mm),ad:AE 減水剤



物の条件を示す。同図中の×印は打音箇所を示す。また, 図-2 に供試体の外観を示す。写真からわかるように, 膨張材入りペーストを埋設した箇所においては,かぶり コンクリートに浮きおよびひび割れが顕在化しているこ とがわかる。

欠陥を模擬するために使用した埋設物は市販の厚さ 30mm の発泡スチロールを所定の寸法に加工したもの, および表-2 に示す配合の膨張材入りセメントペースト である。型枠内に埋設物および鉄筋を配置し,表-3 に 示す配合およびフレッシュ性状を有するコンクリートの 打込みを行った。なお,ここで示す結果は供試体の作製 から 28 カ月間にわたり北海道旭川市に曝露した後に (2015 年 10 月実施) 打音法を適用したものである。 打音法においては、テストハンマーの大きさ(重さ) にもよるが、一般的には欠陥の検知可能深度は 10cm 程 度までと言われている<sup>5)</sup>。当該供試体に対する 2 名の熟 練技術者の打音法による診断によれば、図-1 中の No.4 (欠陥深度:145mm)の箇所においては欠陥の検知が 困難であると判定された。

以上の供試体を対象にして、コンクリート初学者なら びに若手技術者による打撃音を基に以下の解析を行った。 2.2 打音検査および周波数解析

打音検査用ハンマーを用いて一定のリズム (2 回/1 秒程度)で打音を繰り返した際の音響データをタブレッ ト端末により収集し,得られた振幅波形の FFT 解析に より周波数スペクトルを分析した。なお,本研究では, 各データにおいてスペクトル強度の最大値に対する正規 化処理を施した。すなわち,各周波数スペクトルにおけ る強度の最大値を1として,ピーク強度が0~1の範囲 となるように周波数スペクトルを表示することで,各測 定箇所におけるスペクトル形状の違いを抽出した。図-3 に打音法および周波数解析の流れを図示している。

## 3. 実験結果および考察

図-4 に No.1~No.9 の周波数スペクトルを示す。ここで示す周波数スペクトルは、一般に人間の可聴域とされる 20~20,000Hz について示している。

No.1, No.2 および No.3 の周波数スペクトルは, 図-1 からもわかるように, 健全部を示しており, 概ね同一の 波形を示し, 最大強度(図-4 中の矢印の位置) は 2,000 ~3,000Hz 付近に存在している。このことから, コンク リート初学者ならびに若手技術者による打撃音および解 析結果に大きなバラツキはないと言える。

No.4, No.5 および No.6 では,発泡スチロールを内部 に斜めに配置している。No.4 の結果は上述の No.1~ No.3 (健全部) と同様に 2,000Hz の近傍のピークが卓越 しており,熟練技術者の診断結果と同様に,健全部とス ペクトル形状は概ね一致する。一方で,コンクリート表 面から模擬した欠陥部まで距離が浅くなるほど,ピーク 強度は 2,000Hz 以下へとシフトしており, No.6 では 500 ~600Hz 付近に最大のピークを示している。

No.7, No.8 および No.9 では, 膨張材により浮きおよ びひび割れが確認されていた。劣化深度とピーク強度を 示す周波数の関係は, No.4~No.6 と同様の傾向を示し ている。特に, 欠陥深度が浅くなるにつれてピーク強度 が低周波へとピーク強度を示すスペクトル形状が幅を広 げながらシフトしていることがわかる。

図-5 に同等の欠陥深度を有する No.6 (25mm, 浮き・ ひび割れ無) および No.7 (30mm, 浮き・ひび割れ有) で得られた打音による振幅波形を示す。特に, 減衰時間 が No.6 は No.7 と比較して長いだけでなく, 一見して, No.6 においては, 一定の周期が表れているのに対し, No.7 においては, 様々な周期の波が混在している。こ れにより, 図-4 で示したような, ピーク幅が狭くシャ ープになるか (No.6), 広くブロードになるか (No.7) 周波数スペクトルは欠陥深度に加え表面の劣化状況 (ひ び割れの有無)等から決定されることが理解できる。

## 4. まとめ

欠陥深度が浅くなるにつれてピーク強度が低周波へと シフトし,目視で確認できる表面の浮き・ひび割れが顕 在化した場合には,ピーク幅が広がることがわかった。 欠陥深度が表面から深い場合(No.4)には,熟練技術者 にも変状の検知は困難であり,周波数スペクトルの変化 を検出できないことと関連付けて説明できた。一方で, 目視ならびに技術者の可聴音と振幅波形に生じる変化を 打音による周波数スペクトル解析から読み取ることで, 変状を判別できる可能性を示唆できた。

昨今,技術者不足が叫ばれ,打音法を用いた点検技術の継承および若手技術者の育成が急務とされている。コ



ンクリート表層部の健全性診断においては、簡易デバイ スの開発<sup>の</sup>が推し進められているが、本研究の成果は、 熟練技術者の能力および経験値による人間の能力を定量 値に変換できる可能性を示すものである。更なるデータ の蓄積を基に、社会実装できる情報として成果の構築を 進めたい。

## 参考文献

- 岩崎俊樹、内田慎哉,鎌田敏郎,岩野聡史、周波 数分析方法の違いが衝撃弾性波法によるコンクリ ートの版厚推定に与える影響に関する基礎検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp. 1780-1785, 2012.
- 2) 塩谷智基,大澤智,高田雄大,弾性波の周波数応 答特性による不均質材料の損傷評価に関する研究, 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, Vol.14, pp.337-342, 2014.
- 金森正樹、飯坂武男、菊川浩治、梅原秀哲、コン クリートの打音による健全性の評価について、コ ンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp. 601-606, 2001.
- 水野宏俊,飯坂武男,杉山秋博,米澤彰賢,打音 法によるコンクリートの評価に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.59, pp.155-156, 2004.
- (5) 森康雄, 岩井孝幸, 時岡誠剛, トンネル覆工打音 診断システムの開発, 熊谷組技術研究報告, No.63, pp.57-64, 2005.
- 北川真也,長寿命化・維持管理・リニューアル: コンクリート表層部の健全性診断,建設の施工企 画,No.718, pp.36-40, 2009.