

コンクリート 供試体打撃音における共振周波数の抽出 Extraction of Resonance Frequency from Impact Sound on Concrete Specimens

○ 合田 且一朗・青山 咸康*・小林 晃*
Katsuichiro GODA, Shigeyasu AOYAMA and Akira KOBAYASHI

1. 概要

近年、コンクリート構造物の剥落や劣化が大きな問題になりつつあり、我が国では適切に診断するために様々な非破壊検査法¹⁾が用いられている。本論では、1次検査として頻繁に使用される打音法²⁾に着目し、打撃音から共振周波数を抽出することで打音法の定性的・定量的評価のための基礎的実験と有限要素法を用いた時刻歴応答解析により結果の解析的検証を行った。また、実構造物への適用のために、大規模供試体に対して打音試験を行った。

2. コンクリート 供試体の共振周波数

2.1 共振周波数の抽出

(1) 実験方法

4種類のセメント水比(強度)の異なる供試体と欠陥(3cm切り欠き・異物)をもつ角柱供試体(10×10×40cm)を作製し、Fig.1のような装置によりたわみ共振打撃音と縦波共振打撃音を測定した。供試体の打撃はハンマーにより手動で行った。供試体の支持位置はたわみ共振振動の1次の節とする。テープレコーダに録音した打撃音をPC上でwav形式で再録音(AD変換, サンプリングレート: 22050Hz, 量子化: 8bit)し、時系列データとして解析する。

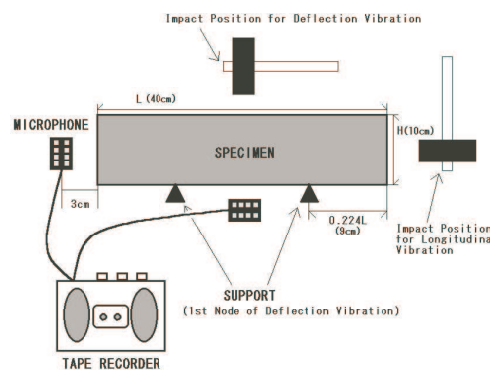


Fig.1 Experimental System

(2) 打撃音の統計的解析³⁾

コンクリートが不均質複合材料であることや、打撃・支持の方法が一定でない等の理由により、打撃音には複数の卓越周波数が存在する。複数の卓越周波数からたわみ・縦波共振周波数を決定するために、固有値解析による振動モード・固有周波数 (Fig.2), 局所定常 AR モデル・AIC (Fig.3) を用いた。

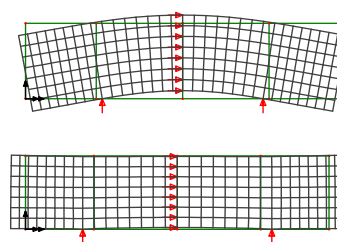


Fig.2 Deflection and Longitudinal Vibration Mode

局所定常 AR モデル解析は、小区間に分割された時系列ごとに自己回帰 (AR) モデルを適用することにより非定常時系列に対しても有効な手法である。

Fig.3(b)はいくつかの小区間に分割した AR パワースペクトル、(c)は赤池情報基準 (AIC) の大小によって小区間を統合した AR パワースペクトルを示している。これによって大まかにモデル変換点の位置を推定することができる。AICはモデル当てはめの適合具合を示す指標であり、小さいほど最適といえる。Fig.3(d)・(e)は(c)における2つのモデル変換点を AIC を用いて精密に推定したものである。これによって雑音を多く含む打撃音からも打撃による振動部分を切り出し、求めたい周波数を抽出できる。

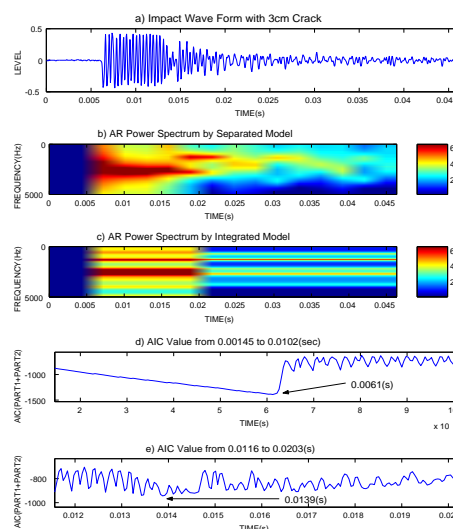


Fig.3 Local Stationary AR Analysis

*京都大学大学院農学研究科: Graduate School of Agricultural Science, Kyoto Univ.

2.2 解析的検証

時刻歴応答解析を用いて実験結果のモデル化を行った。実験の打撃位置にパルス波を入力し、録音位置の変位応答のパワースペクトルを求めた。運動方程式は Newmark β Method を用い、比例減衰 ($\alpha = 1.0E - 5, \beta = 1.0E - 7$) を考慮した。解析に用いる動弾性係数は JIS A 1127 試験⁴⁾によって導かれる値を採用し、動ポアソン比は 0.25 とした。Fig.4 は打撃音の波形解析結果と解析結果を示したものであり、打撃音を打撃振動の伝播問題としてモデル化することができると思われる。

2.3 実験結果

Fig.5 に示すように共振周波数と強度の関係は、強度が高くなれば共振周波数も上昇する傾向がはっきりと見られた。ただし、水中養生直後は供試体の含水率低下の影響で、共振周波数は低下する。欠陥の影響に関しては、3cm 切り欠きの存在により共振周波数が低下することが確かめられ(たわみ低下率: 0.7, 縦波低下率: 0.93), 固有値解析結果とも一致した (Fig.6)。異物が存在する供試体に関しては、異物なしのものとの違いは認められるが、解析によって再現することはできなかった。

3. 打音試験の大規模供試体への適用例⁵⁾

鉄道総合研究所にある打音試験用大規模供試体を使用させて頂いて、打音試験を行った。Fig.7 は異なる深さに空洞が存在する供試体例(奥行き: 500mm)である。Fig.8・9 に深さ 5cm・10cm に空洞が存在する供試体の打撃波形、パワースペクトル、統合 AR パワースペクトルを示す。空洞による影響としては、打撃波形に不自然な箇所が存在すること、低周波数 (150Hz 付近) に卓越周波数を持つことなどが挙げられる。空洞やジャンカ深さが浅い (20cm 程度) 場合には、上記の特徴が顕著であるが、深くなると特徴を検知するのが困難になる。これは、空洞までの厚さが薄ければ、たわみ共振が卓越し、厚ければ縦波共振が卓越することに関連していると思われる。

4. 結論

統計的解析手法や固有振動モードを考慮することで、打撃音からたわみ・縦波共振周波数を抽出できた。共振周波数と強度・含水率・切り欠き長さには相関が見られ、有限要素法を用いて振動問題としてモデル化が可能である。

実構造物への適用に関しては、空洞・ジャンカ等の存在を検知できるが、その深さは 10~20cm 程度が限度であると思われる。定量的な評価を行うためには、打撃音のどのような特徴に着目するかが最も重要であると考えられ、対象構造物のモデル化が必須である。

参考文献

- 1) 伊東良浩・魚本健人: ひび割れを有する鉄筋コンクリート梁の打撃音, 土木学会論文集 No. 564/V-35, pp.169-176, 1997. 2) 魚本健人・伊東良浩: 打音法によるコンクリートの非破壊検査, コンクリート工学論文集 第7巻第1号, pp.143-152, 1996. 3) 北川源四郎: FORTRAN 77 時系列解析プログラミング, 岩波書店, 1993. 4) 土木学会: H11 コンクリート標準示方書 [基準編], 土木学会, 1999. 5) 榎本秀明・稲川敏春: トンネル覆工コンクリートを対象とした打音評価手法, 物理探査学会, 2001.

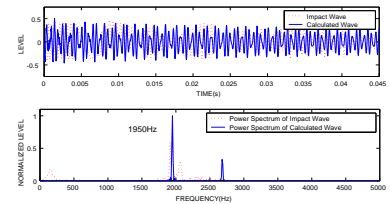


Fig.4 Calculated Wave

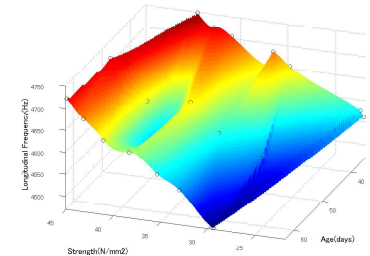


Fig.5 Longitudinal Frequency Result

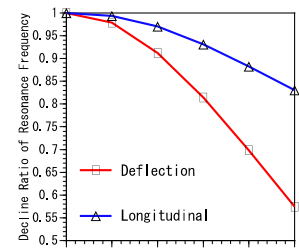


Fig.6 Crack Length Effect

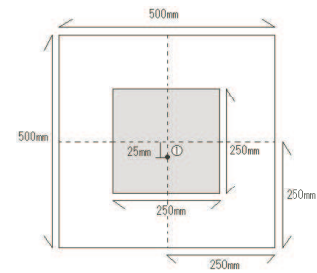


Fig.7 Specimen with Cavity

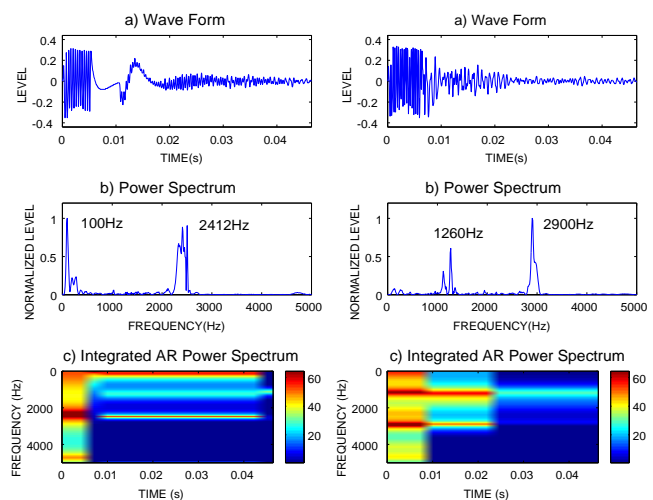


Fig.8 Cavity, 5cm Depth Fig.9 Cavity, 10cm Depth