

衝撃弾性波法によるコンクリート内部空洞の簡易探查法

A simplified inspection method for detecting flaws in concrete by Impact Elastic Wave method

尾場瀬 宏美*1 (正会員) 極 檀 邦夫*2 (正会員) 境 友昭*3 池端 秀幸*4

1. はじめに

コンクリートの非破壊試験方法に関する研究は、過去数十年にわたり、内部欠陥検知に有力とされる衝撃弾性波法が、測定の簡便性と正確性から、多くの企業や研究者に注目されつつあった。

既往の研究成果では、短い測定データから極めて精度のよいスペクトル推定が可能な方法として、情報の最大エントロピーを求める MEM、あるいは時系列の最良線形予測の考えに基づく MEM スペクトグラム (時間窓 MEM) によって周波数スペクトルを求めて、コンクリート構造物の厚さの推定や内部空洞・剥離等の詳細情報を検知する方法の有効性を検証した。この方法では内部欠陥の範囲を定めることができるが、解析結果は用いる測定波形データ数に若干依存することから、解析の基本となる測定波形からコンクリート内部欠陥を探查できる簡便方法を考案した。

本研究は、内部空洞を設けたコンクリート供試体を対象とし、加速度計が検知した測定波形を MEM により解析しないで、鋼球接触時間および弾性波速度によるコンクリート内部空洞の位置を直接同定する方法について検討し、動的 FEM 解析によって弾性波の伝播挙動を模擬した。さらに、測定結果と FEM 解析結果を比較し、この方法の有効性を示唆した。

2. 実験概要

2.1 供試体及び測定概要

(1) 供試体

空洞・剥離等の内部欠陥を想定した実寸構造物を擬似する壁式モデル (B1800×H1550 (基礎厚 200)×T200mm、図 - 1) を製作した。



図 - 1 供試体概要

供試体内に、かぶり厚さ、サイズの異なる発泡スチロールを 6 点埋設し擬似空洞とした (表 - 1)。

供試体本体と基礎部には、設計基準強度 24N/mm²、スランプ 15cm、最大骨材寸法 20mm のコンクリートを用いた。表 - 1 空洞寸法及びかぶり厚さ

番号	寸法 (mm)	かぶり厚さ (mm)	備考
1	200 × 200	30	
2	200 × 200	30	傾斜角 30°
3	200 × 200	100	
4	100 × 100	30	
5	200 × 200	50	
6	100 × 100	100	

(2) 測定装置

測定装置は、インパクト (鋼球直径 10mm)、加速度計 (センサー) 及び PC を内蔵した測定器本体から構成される。サンプリングクロックは 10µs である。

(3) 計測方法

測定は、コンクリート表面の 10cm 方眼交点に加速度計を手で鉛直に押し付け、その近傍 (4~5cm 位) をインパクトで軽打する。供試体上部の弾性波速度はインパルスハンマーと加速度計を有する 2ch の同種測定機器を用いて透過法で測定した。

2.2 測定結果及び考察

(1) 透過法による弾性波速度分布

測定結果は、供試体上部の空洞位置の弾性波速度が非常に遅くなり、平均値の約半分に低減した。

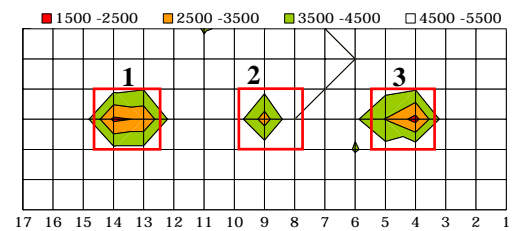


図 - 2 供試体上部の弾性波速度分布 (単位: m/s)

(2) 鋼球接触時間

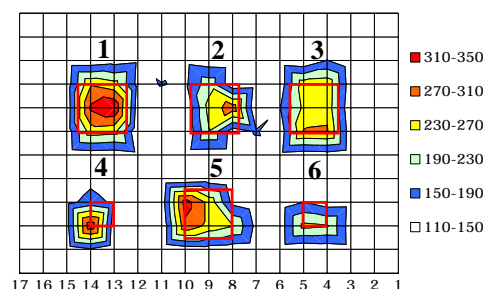


図 - 3 鋼球接触時間分布 (単位: µs)

*1 榊大進コンサルタント 工博
 *2 東海大学工学部土木工学科 助教授
 *3 アプライドリサーチ(株) 代表取締役・工博
 *4 榊大進コンサルタント 代表取締役

測定波形の初期波形から算出した鋼球接触時間の平均値は、空洞なし 136 μs に比べ空洞部分 317 μs と長くなる結果が得られた。かぶり厚さ 10cm の空洞では、かぶり厚さ 3cm と 5cm の場合に比べ鋼球接触時間の増加は小さいが、空洞は明確に判別できる。

(3) 測定波形

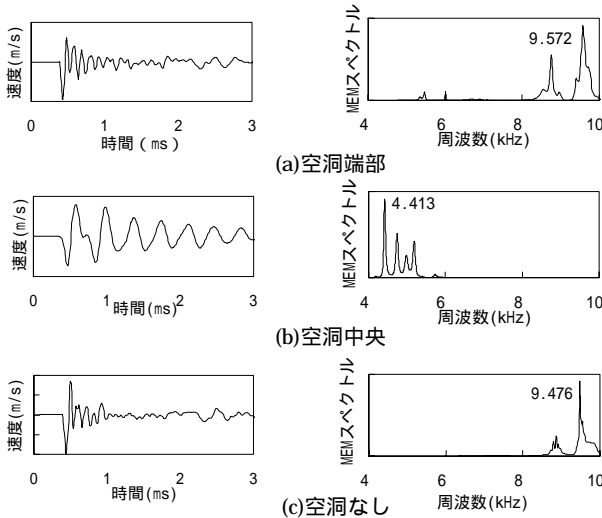


図 - 4 空洞，空洞なし部分の測定波形及び MEM 解析結果

3. 動的 FEM 解析及び比較検討

3.1 FEM 解析概要

空洞およびかぶり厚さと弾性波の伝播挙動を検討するため、供試体上部の内部空洞中心断面 (1800 × 200 × 4mm) をモデル化し、動的 FEM 解析を行った。衝撃荷重は測定した鋼球接触時間より継続時間 100 μs の半波正弦波とする。

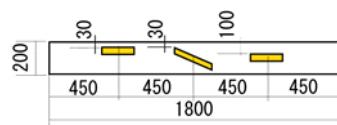


図 - 5 供試体上部の解析モデル

3.2 解析結果

図 - 7 は、空洞中央および空洞なしの弾性波伝播であるが、両者の波動伝播パターンは大きく異なっている。図 - 7(b)および図 - 6(b)に、空洞中央を打撃した場合に生じるたわみ振動を示した。波形の周期は、空洞端部ならびに空洞なし部分よりも短くなる傾向が実測結果 (図 - 4(b)) と一致している。

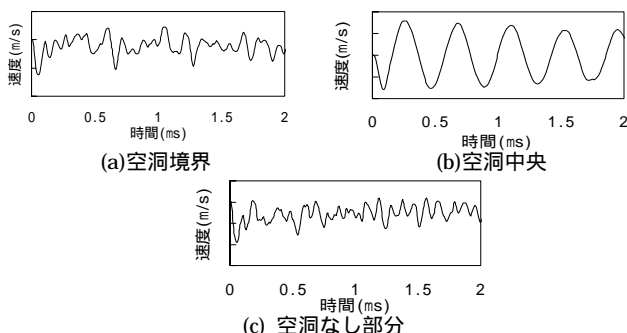


図 - 6 空洞 の速度波形解析結果

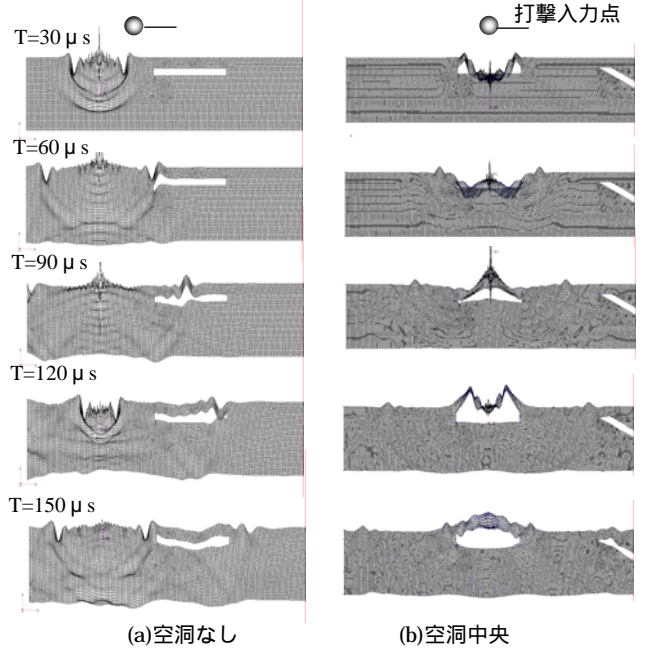


図 - 7 空洞 の弾性波伝播

鋼球接触時間の実測結果と FEM 解析値を比較すると(表 - 2)、たわみ変形のある空洞中央、たわみがない空洞端部と空洞なしとの違いは一目瞭然である。

表 - 2 鋼球接触時間の比較(単位: μs)

検討位置	測定値	解析値
空洞 中央	317	353
空洞 境界	124	180
空洞なし部分	136	170

4. おわりに

本文で検討した簡便法は、コンクリート内部空洞(視点を変えると剥離・浮き)の検出方法は、測定した弾性波の周波数スペクトルや位相を解析しないで、弾性波の初期波形から算出した鋼球接触時間及び弾性波速度を手掛かりに欠陥位置を検知する方法である。

MEM スペクトグラムは、コンクリート内部全体を解析した詳細情報が得られるのに対して、鋼球接触時間と弾性波速度とを比較するだけで、かぶり厚さ 10cm で 10cm サイズの空洞位置を正確かつ迅速に同定できたことから本法は実用性があると考えられる。

参考文献

1. Mary Sansalone, Nicholas J. Carino: Impact-Echo: A Method for Flaw Detection in Concrete Using Transient Stress Waves, U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, 1986.9
2. 岩野聡史, 極壇邦夫, 境友昭: 衝撃弾性波法によるコンクリート内部欠陥探査, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1521-1526, 2002
3. 鎌田敏郎, 浅野雅則, 国枝稔, 六郷恵哲: コンクリート表層部欠陥の定量的非破壊検査への打音法の適用, 土木学会論文集, No.704/V-55, pp.65-79, 2002.5
4. 明石外世樹: コンクリートの非破壊試験に関する研究, 土木学会論文集, No.390/V-8, pp.1-22, 1988.2
5. Waleed F. Tawhed and Sarah L. Gassman: Damage Assessment of concrete bridge decks using Impact-Echo Method, *ACI Materials Journal*, V.99, No.3, May-June, 2002