

# 劣化が超音波伝播特性に与える影響に関する研究

香川大学 学生会員 ○荒木志帆 正会員 吉田秀典  
四国総合研究所 正会員 中川裕之

## 1. はじめに

非破壊検査の1つである超音波法の受信の方法は、反射法と透過法に大別される。前者では、欠陥や境界面での反射の違いにより傷を検出するのに対し、後者は、欠陥や試験体の組織による超音波の減衰度合いから、傷や組成を評価する方法である。透過法では、対象物を挟みこむように発振子と受振子が設置されるが、反射法では、対象物の同じ面に発振子と受振子が設置されるのが一般的である。道路や橋など構造物については、透過法による診断が可能であるが、原子力発電所の建屋やトンネル構造物などについては、透過法による診断は困難で、反射法による計測が望まれる。不均一材料であるコンクリートに対する超音波法の適用に関する研究については、透過法の適用事例や研究は多数あるものの<sup>1),2),3)</sup>、反射法に関するものは多くなく、そもそも適用が可能であるか否かも、依然として明確となっていない。そこで本研究では、超音波反射法（以降、反射法）の適用の可否を議論することを目的に、アルカリ骨材反応（以降、ASR）によって劣化したコンクリートを取り上げ、3次元有限要素解析による検討を実施することとした。

## 2. 供試体概要

解析の対象としたのは、図-1に示すASRを促進させた供試体で、発・受振子間隔（図中の $d$ ）を150, 250, 400mmと変化させて反射法による試験を実施している。詳細については、文献<sup>4)</sup>を参照されたい。

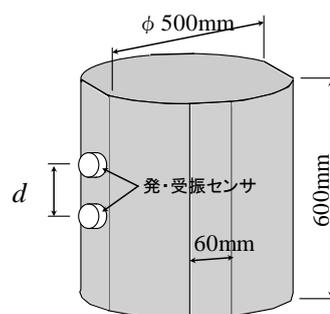


図-1 測定方法および供試体の形状

## 3. 超音波解析

### 3.1 解析概要

解析の対象とした供試体は、ASRを促進供試体であることから、劣化としては、骨材の膨張にともなって骨材周辺領域に生ずるマイクロクラックや、それが局所化して成長するひび割れなどが挙げられる。

こうしたことを数値解析メッシュなどに反映させることは非常に煩雑であり、そもそも、粗骨材の配置が不明であることから、本研究では、粗骨材そのものの弾性係数を低下させることで、マイクロクラックが発生して弾性係数が低下するというタイプの劣化を簡易的に表現することとした。この場合、コンクリートを粗骨材とそれ以外のモルタルに分ける必要があるため、解析では、粗骨材要素とモルタル要素の2つの要素を設けた。また、供試体の配合設計<sup>4)</sup>を基に、全体積に占める粗骨材の割合を全体積の50%と設定した。なお、粗骨材要素の配置については、乱数発生プログラムを作成し、それをを用いてランダムに配置した。

コンクリートのポアソン比と密度については得られておらず、コンクリートとして一般的な値として、解析では、密度を $2.3\text{g/cm}^3$ 、ポアソン比を0.2として用いた。弾性係数と密度は弾性波速度に影響を及ぼすことから、本研究では、密度を一定値と仮定し、弾性係数については、次節において、試験結果との比較を通して検討することとした。解析ステップ数は解析精度に影響を及ぼさない最小のステップ数を検討した結果、0.0003秒を400ステップとした。発振子への入力波についても、本研究の対象とした試験供試体に入力された波形<sup>4)</sup>を基に、周波数50kHzの正弦波の半波長を発振子に相当する位置に圧縮波として与え、受振子に相当する位置において変位を出力した。なお、紙面の関係から、解析結果の提示は、端子間距離が150mmのケースのみとする。

### 3.2 弾性係数の同定

本節では、超音波試験の結果と解析結果を比較することで、巨視的な材料の弾性係数を定めることとした。ただし、ここで定める弾性係数は、劣化していない健全状態のものである。材料の巨視的な弾性係数を $25,000\text{ N/mm}^2$  (case1.1)、 $35,000\text{ N/mm}^2$  (case1.2)そして $45,000\text{ N/mm}^2$  (case1.3)という3パターンで解析を行った（図

- 2). 試験結果を鑑みた結果, case1.2 が健全状態の弾性係数に近く, また, 前述より, 粗骨材含有率は 50%としていることから, 巨視的な弾性係数が  $35,000\text{N/mm}^2$  に近くなるように, 健全状態のモルタル要素と粗骨材要素の弾性係数をそれぞれ,  $25,000\text{N/mm}^2$  と  $50,000\text{N/mm}^2$  と設定した.

### 3. 3 劣化の検討

#### (1) 骨材の弾性係数の低下

ASR による骨材劣化によって, 劣化の程度 (骨材の弾性係数の大きさ) が超音波の伝播に及ぼす影響について検討した. 全粗骨材要素のうち 25%を劣化要素とし, その弾性係数を  $40,000\text{N/mm}^2$  (case2.1),  $30,000\text{N/mm}^2$  (case2.2) そして  $20,000\text{N/mm}^2$  (case2.3) と, 劣化なし (standard) という 4 パターンで解析を行った (図 - 3). これより, 材料劣化の進行にともない, 反射波の到達時刻が遅くなること分る.

#### (2) 表面ひび割れの発生

表面ひび割れの発生が超音波の伝播に及ぼす影響について検討するために, 14mm と 28mm という 2つの深さを想定し, 解析を行った (図 - 4). ひび割れで反射する波とひび割れ先端を回折する波が現れる. 本解析では, 受振子を発生ひび割れの下方に設置しており, 受振子は, 主として, ひび割れで回折した波を感知する. したがって, 表面ひび割れの深さによって, 回折した波が受振子に到達する時間が異なる.

#### (3) 複合劣化

上記 (1) と (2) を複合させた解析を行った (図 - 5). 表面ひび割れによって直接波の, また, 粗骨材の劣化によって反射波の受振子への到達が遅れており, これより, 実際の超音波試験で得られた波形<sup>4)</sup>に近いものとなった.

### 4. まとめ

本研究より, 弾性係数が低下している場合, 反射波の到達時間が遅くなることから, また, ひび割れが存在する場合, 直接波が変化することから, 健全時や以前に測定した結果と比較することで, 劣化の程度を評価できることが示唆された.

#### 参考文献

- 1) 村瀬豊, 魚本健人: 超音波によるコンクリート構造物の内部欠陥調査方法に関する研究, 生産研究, Vol.56, No.2, pp.172-175, 2004.
- 2) 村瀬豊, 勝木太, 魚本健人: 超音波によるコンクリート内部空洞の可視化法, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1923-1928, 2004.
- 3) 福島謙一, 魚本健人: 弾性波によるコンクリートの裏面ひび割れの検出, 生産研究, Vol.50, No.10, pp.373-374, 1998.
- 4) 中川裕之, 横田優, 長尾和明, 松島学: 超音波法による ASR 膨張測定に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, ROMBUNNO.1275, 2011.

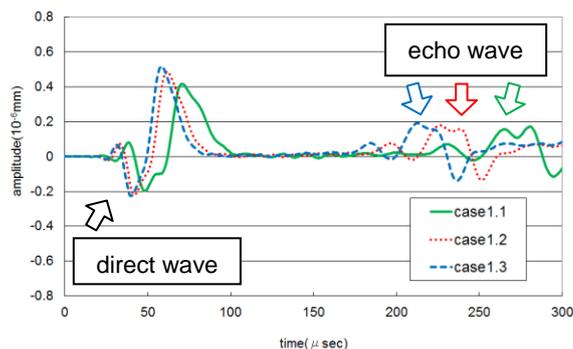


図-2 応答波形 (弾性係数の検討)

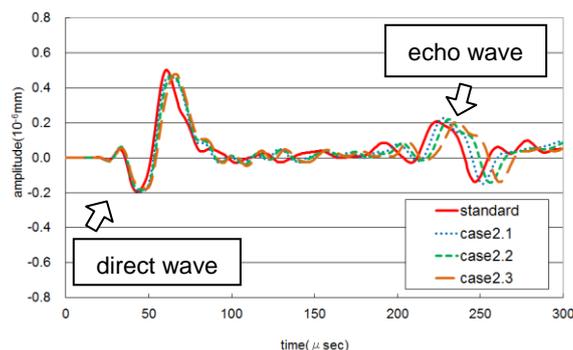


図-3 応答波形 (骨材の劣化)

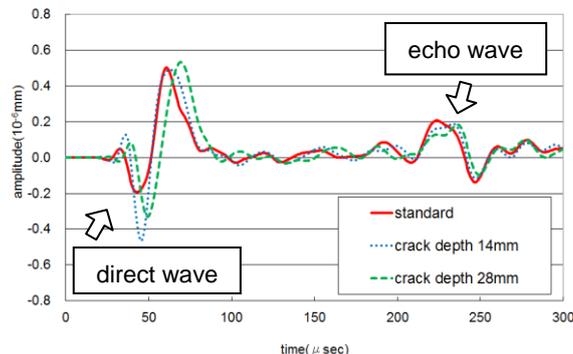


図-4 応答波形 (ひび割れの発生)

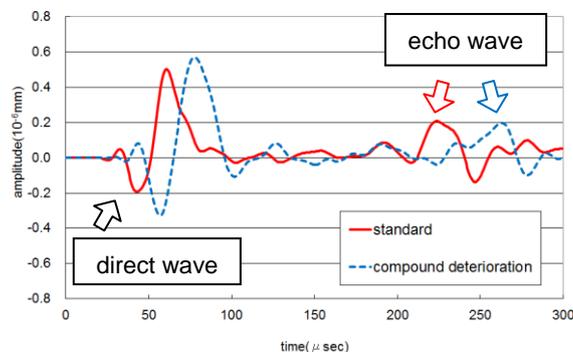


図-5 応答波形 (複合劣化)