

コンクリート内部の水分不均一性が超音波伝播性状に与える影響

香川大学 学生会員 ○岩瀬大真 正会員 岡崎慎一郎
 四国総合研究所 正会員 中川裕之 香川大学 フェロー 吉田秀典

1. はじめに

日本の社会基盤整備は長年にわたり実施され、その結果として現在では膨大なインフラが蓄積されている。今後の社会基盤整備ではこれらの適切な維持管理が主体となっていくと考えられ、その蓄積規模を考えると、コンクリート構造物の内部状況を正確に把握し、早期に劣化箇所を発見する技術が必要である。そこで、様々な分野で内部欠陥の検出、対象物の位置判定などを正確に行うことが可能な超音波法の適用がコンクリートの分野でも期待されている。しかし、コンクリートは内部に空隙やひび割れ、粗骨材を含む不均質材料であることから、超音波はそうした箇所で反射、散乱、回折等の複雑な伝播をする。加えて、既往の研究では、コンクリートの含水状態によるヤング率の変化について、統一的な見解が見出されておらず、超音波の伝播性状にどのような影響を与えるのか不明確である。そこで、本研究では、供試体が湿潤状態から絶乾状態までの幅広いレンジで超音波試験を実施し、供試体の含水率変化が超音波伝播性状に与える影響の把握を目的とする。さらに、超音波試験から得られたヤング率等を用いて、有限要素法による超音波の伝播シミュレーションを行うことで、供試体の内部状況や境界条件が超音波の伝播にどのように影響するのかを検討する。

2. 研究手法

実験では図 1 のように、モルタル円柱供試体 ($\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$) を空気量 5%, 10%, 14.5% で作製した。超音波測定装置は、発・受振子が外形 40mm, 共振動 0.5MHz のものを使用し、超音波測定時には供試体表面にグリースを塗布した上でこれらを設置し、透過法で測定を実施した。含水状態の変化にともなう超音波伝播性状の把握を目的とするため、まず、供試体を 1 週間以上水中で保管し、供試体が湿潤状態になった後、質量と超音波の測定を行った。その後、40℃の恒温乾燥炉で供試体を保管し、絶乾状態になるまで、1 週間を目安に定期的に超音波測定を行った。また、超音波伝播試験は供試体にひび割れ等がない状態（健全状態）と、乾燥炉に 1 年以上保管して供試体にひび割れが発生した状態（劣化状態）の 2 タイプで実施し、両者の試験結果を比較した。

解析では、超音波実験供試体と同条件の解析モデルを作成し、透過法による計測を模擬することから発・受振子の距離を 200mm とした 2 次元の解析メッシュ（図 2）を用意した。また、

実験で用いる超音波センサの直径が 40mm であることから、解析における受振と発振の範囲を 40mm に設定した。発振子への入力波形については、超音波試験で供試体に入力された波形を基に、周波数 200kHz 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、受信子に相当する位置において変位を出力した。加えて、供試体内部の空隙や含水分布を考慮した解析モデルを作成し、超音波試験から得られたヤング率と密度を用いて超音波シミュレーションを行い、空隙や含水分布がどのように影響を与えるかを確認した。

3. 研究結果

超音波試験において、含水率の低下にともなう超音波伝播速度の変化を図 3 に示す。まず、供試体のひび割れの有無に関わらず、空気量の多い供試体ほど伝播速度は遅くなることが確認できた。また、乾燥にともなう



図 1 超音波測定器

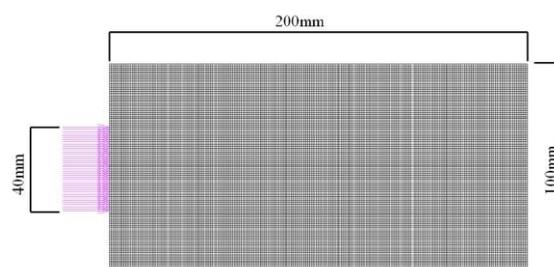


図 2 解析メッシュ

含水率の低下により、伝播速度は減少傾向を示し、健全状態の供試体では、含水率が2%程度までは線形的な減少傾向を示すが、それ以下の範囲では傾きが変化した。ひび割れのある場合には健全状態と比較して、空気量5%時は約300m/s、10%と14.5%時は約350m/sの差があり、乾燥による劣化が超音波の伝播速度に影響を与えていることが確認できた。また、健全状態と劣化状態では、同じ含水率の範囲でもあっても、伝播速度低下の傾きが異なることが確認された。加えて、超音波試験において、超音波伝播速度が大きく変化していない場合でも、受振波形の振幅は変化しており、含水率の低下にともない振幅は図4のように低下した。健全状態では含水率1%以下の範囲で増加傾向に転じ、供試体の内部状態が飽和や絶乾状態というように一様に近づくほど、計測される振幅が大きくなることがわかった。

超音波試験から得られたヤング率等を用いて数値解析を実施した結果、空隙率やヤング率の幾何学的分布が超音波の伝播に影響を与えることを確認した。具体的には、空隙の増加により、発振子から受信子に到達するまでに超音波が広範囲に拡散していることが超音波伝播シミュレーションからわかり、空隙の割合が増加することで弾性波速度と振幅が低下することを確認した。また、乾燥にともなうヤング率の低下を考慮し、内部状態を2つの要素に分割し乾燥領域を変化させた。その結果、図5のような変位応答を得た。ここで、凡例に乾燥領域の大きさを示す。乾燥領域の増加とともに伝播速度と振幅は低下するが、一定以上大きくなると再び振幅が増加するという、超音波試験で得られた含水率と受振波形の振幅の増減現象と類似した結果が得られた。

4. まとめ・今後の課題

本研究では、コンクリートの品質評価に超音波法を適用することを念頭におき、実験および数値解析的なアプローチにより、コンクリート中の含水率が超音波伝播性状に与える影響を検討した。その結果、超音波は供試体内部の含水分布により、伝播速度、振幅等が変化することを確認した。そのため、超音波測定時にコンクリート内部の含水分布を把握することで、再現性のある試験を行うことが可能であると考えられる。しかし、本研究では、超音波の伝播を行う解析モデルを2次元に置き換えて解析しているため、3次元解析への応用や材料減衰、内部のひび割れ等について検討する必要がある。また、含水率の低下によるヤング率低下のメカニズムも諸説あるため、解析上でどのように考慮するかを今後の課題として検討する必要がある。

参考文献

- 1) 五十嵐豪, 堀口直也, 丸山一平: 異なる平衡相対湿度条件下でのセメント硬化時のヤング率と相組成の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.366-pp.370, 2011
- 2) 荒木志帆, 吉田秀典, 中川裕之, 難波美枝: 各種劣化要因が超音波法における波形に及ぼす影響に関する数値解析的検討, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.15-pp.25, 2014

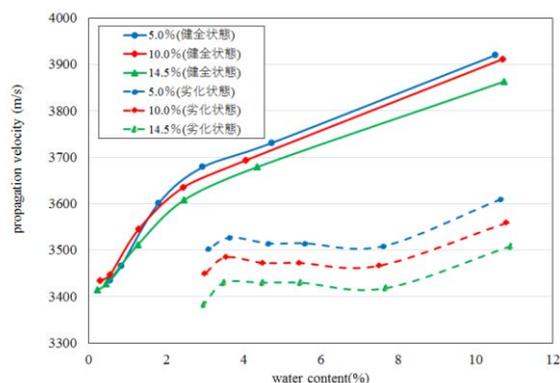


図3 供試体含水率と超音波伝播速度の関係

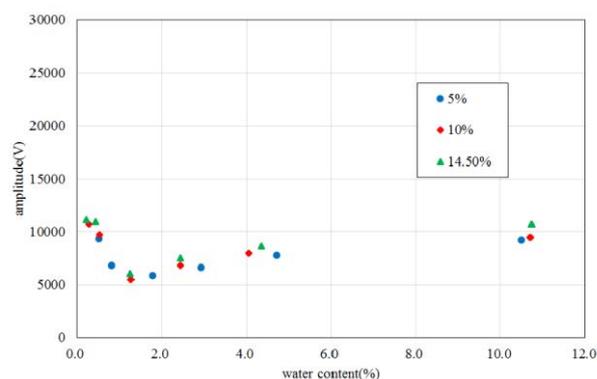


図4 含水率と第1波の振幅

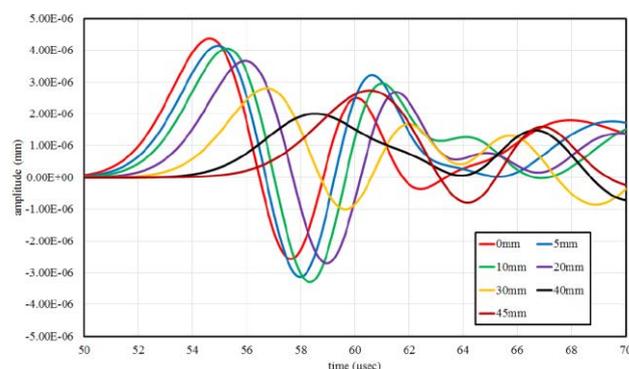


図5 変位応答 (乾燥領域の比較)