

超音波によるセメントペーストの硬化挙動の評価手法に関する一考察

岐阜大学 学生会員 ○内田慎哉 桑原常晃 浅野雅則
熊谷組 正会員 河村 彰男
岐阜大学 正会員 鎌田敏郎
新潟大学 正会員 久田 真

1. はじめに

セメントペーストの硬化挙動を把握するための試験方法にはさまざまなものがある。代表的なものとして、貫入抵抗試験や超音波伝播速度を用いた方法¹⁾などが挙げられる。

貫入抵抗試験では、作業方法の観点からみて、短時間に硬化するセメントペーストの急激な材質変化を逐一追跡していくことは物理的に難しく、このような材料の硬化挙動的に捉える手法がないのが現状である。

そこで、本研究では、超音波の計測に AE 計測システムを活用し、評価パラメータとして伝播速度、波形の最大振幅値を用いて、短時間に变化する材料の硬化挙動を捉えることを主眼とした検討を行うこととした。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

セメントには、超速硬セメントを使用した。セメントペーストの材質の違いが計測パラメータに与える影響を検討するため、水セメント比を 30, 40 および 50% と変化させた。なお、全てのケースについて、凝結遅延剤を 0.6% 添加した。

2.2 超音波計測方法

型枠および試料の概要を図-1 に示す。図に示すように、幅 100mm、高さ 100mm、長さ 400mm の木製型枠を作製し、短軸方向に超音波を透過させるため、型枠両側面の中央部にそれぞれ穴を開け、AE センサの一部を試料内に埋め込むようにした。センサ間距離は 65mm とした。実験は 5°C の室内で行い、セメントペーストをモルタルミキサにより練り混ぜた後に、型枠に投入した。なお、超音波計測については、セメントに水を加えた時点から開始し、セメントペーストが硬化した後、伝播速度の変化がゆるやかとなるまで行った。

計測に用いた超音波は、パルスジェネレータにより、印

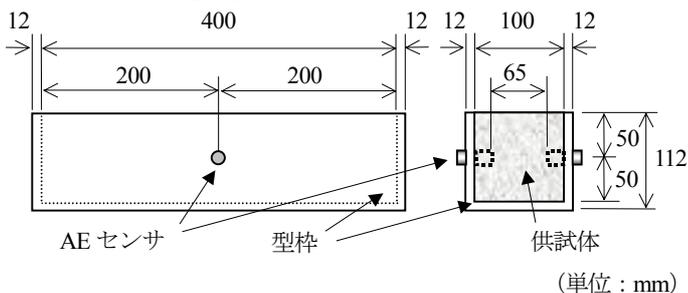


図-1 型枠および試料概要

加電圧 375V、送振間隔 0.8sec のパルス波で発振し、AE センサにより受振した後、サンプリング周波数 2MHz でデジタル化して AE 計測装置で記録した。発振および受振には、140kHz に共振点をもつ AE センサを用いた。また、測定においては、ノイズ除去を目的として 50~500kHz のバンドパスフィルタを用いた。

本実験で用いた超音波計測には、以下に示す 3 つの特徴がある。すなわち、超音波センサと異なり AE センサを使用しているため、超音波を縦波あるいは横波と区別することなく、ペースト中を透過した弾性波の波形として検出できる。また、パルスジェネレータを使用しているため、最初に発振したパルスと次に発振したパルスが干渉しないようにパルス送振間隔を調整できる。さらに、波形の記録に AE 計測装置を用いるため、連続的な計測が容易である。

3. 結果と考察

3.1 超音波伝播速度による評価

超音波伝播速度と経過時間との関係を図-2 に示す。まず、図-2 における経過時間 0(hr)とは、セメントに加水が行われた時間を示しており、この時点では型枠内に試料はなく、センサ間には空気のみが存在する。図によれば値は約 330m/s を示しており、加水直後は空気の伝播速度が計測されている。続いて、型枠に投入された直後の試料では超音波が透過しない領域²⁾あるいは透過しても伝播速度が水（約 1500m/s）よりも遅い領域がある。このうち、超音波が受振されない理由は、セメントペーストの粘性による超音波のエネルギー吸収が大きいためと考えられる。また、これらの領域は、水セメント比が大きくなるほど長くなる傾向を示した。その後は、水の伝播速度に近い値を始点として時間の経過とともに伝播速度は速くなり、明確な変曲部を伴って頭打ちとなった。

変曲部近傍における単位時間当たりの速度の増加割合は、水セメント比が大きくなるにしたがって、ゆるやかになることがわかった。また、伝播速度が頭打ちする領域においても、水セメント比が大きくなるほど伝播速度が遅くなる傾向を示した。以上のことから、本実験で用いた超音波の計測方法により、セメントペーストの密実性の違いを、定性的ではあるが伝播速度を用いて把握することができたと考えられる。

キーワード：硬化挙動、非破壊評価、超音波法、伝播速度、最大振幅値

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部土木工学科 Tel/Fax : 058-293-2470

ある媒体中での超音波伝播速度 v は、一般化した形で記述すると式(1)のようになる³⁾。

$$v = \left[\frac{K + (4/3)G}{\rho} \right]^{1/2} \text{ (m/s)} \quad (1)$$

ここで、 ρ は媒体の密度、 K は体積弾性率および G はせん断弾性率である。経過時間の初期においては、媒体としての水の体積弾性率に支配されていた伝播速度が、セメントの水和の進行とともに、セメントペースト全体における水和物の占める割合が大きくなり、伝播速度が増加していくものと考えられる。そして、水和物の生成速度がゆるやかになると、弾性率の増分が小さくなり、伝播速度がほぼ一定となるものと考えられる。

図-3 にプロクター貫入抵抗試験の結果を示す。JIS A 6204 においては、凝結の目安として、貫入抵抗値が 3.5N/mm^2 および 28.0N/mm^2 に達した時間をそれぞれ始発および終結としている。これを参考に図-2 と図-3 を比較すると、水セメント比 50% の場合は若干異なるものの、本実験の範囲内では、始発以前から超音波が透過し、始発から終結までの間に伝播速度が徐々に増加しているものと考えられる。以上のことから、本研究の範囲内では、伝播速度は、始発から終結の間において凝結硬化に関する状態変化を把握するのに有効な指標と考えることができる。

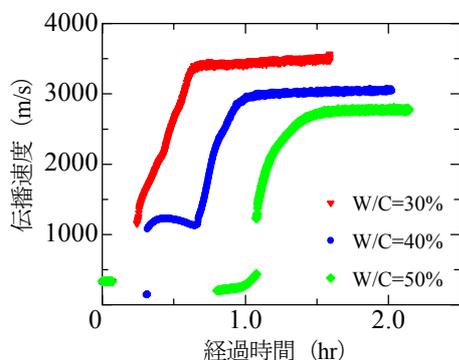


図-2 超音波伝播速度と経過時間の関係

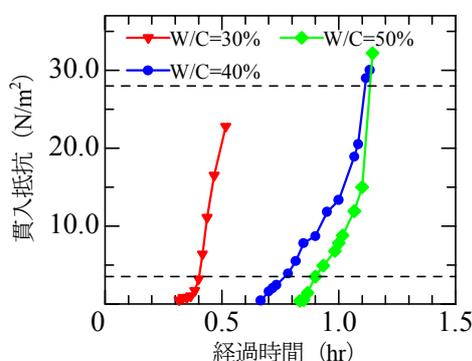


図-3 貫入抵抗と経過時間の関係

3.2 最大振幅値による評価

最大振幅値比と経過時間の関係を図-4 に示す。本研究では、各配合ごとに、受振波形より得られた最大振幅値のう

ちで最も大きな値に対する比率として、最大振幅値比を求めた。

図-4 に示すように、最大振幅値比は、ある時点において急激に増加し、その後頭打ちとなった。超音波が透過し始めたころのセメントペーストは、水にセメント粒子が懸濁したかなり濃厚なサスペンションである。このため、ペーストは粘弾性的性質を有しており¹⁾、主に粘性拡散による著しい減衰のため振幅は小さくなる。しかしながら、水和反応に伴って、粘性拡散による減衰が小さくなり、透過エネルギーが飛躍的に大きくなったためと考えられる。

また、伝播速度と同様に、配合によるセメントペーストの硬化挙動の違いを確認することができた。

図-2 と図-4 との比較において、伝播速度の場合と最大振幅値比が急激に増加し始める時間はおおむね一致しているものの、頭打ちとなるまでの時間は明らかに最大振幅値比の方が短いことがわかる。このように、最大振幅値比は、伝播速度とは異なり、セメントペーストの粘性に関する側面からの評価に有効であるものと考えられる。また、図-3 と図-4 との比較より、最大振幅値比は、始発後のより早い段階での急激な組織変化を捉えている可能性が高いと考えられる。

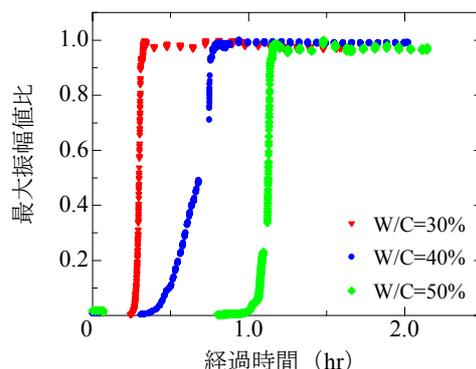


図-4 最大振幅値比と経過時間の関係

4. まとめ

超音波の計測に AE 計測システムを活用し、評価パラメータとして伝播速度、最大振幅値を用いることにより、セメントペーストの硬化挙動を連続的にモニタリングできることを示した。また、これらのパラメータにより、それぞれ材料の異なる性状が評価できる可能性を明らかにした。

参考文献

- 1) 角田 忍, 明石外世樹: 超音波による凝結初期におけるセメントペーストおよびモルタルの物性変化の測定, 材料, Vol.32, No.352, pp.175-181, 1983
- 2) 山路文夫: コンクリートの凝結測定に関する検討, セメント技術年報, XXX, pp.259-262, 1976
- 3) たとえば和田八三久, 生嶋 明共編: 超音波スペクトロスコーピー [基礎編], 培風館, p.165, 1990