

超音波法による早強セメントペーストの凝結性状評価

岐阜大学 学生会員 ○内田慎哉, 正会員 鎌田敏郎
学生会員 池上和司, 正会員 六郷恵哲

1. はじめに

著者らは、超音波法によるセメントペーストの凝結性状評価についての研究を行ってきた¹⁾。その結果、超音波計測によって得られた受振波最大振幅値は、ペーストの粘性の増大に起因して変化する指標である可能性を明らかにした。しかしながら、最大振幅値とセメントペーストの粘性との詳細な対応関係や、振幅値の変化する理論的背景については、未解明の部分が残されていた。

そこで本研究では、これに引き続き、セメントペーストを対象として超音波計測を行うとともに、材料の粘性の観点から凝結性状を評価することを目的に、単一円筒形回転粘度計により粘度測定を行った。なお、超音波計測および粘度測定と並行して、プロクター貫入抵抗試験も行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

セメントには早強セメントを使用し、セメントペーストの水セメント比は45%とした。

2.2 超音波計測方法

図-1 に型枠および試料の概要を示す。型枠は、長さ100mm、高さ100mm、幅35.6mmの鋼製型枠を使用し、幅方向に超音波を透過させるため、型枠の両側面の中央部にそれぞれ穴を開けた。AEセンサは、試料との接触圧を一定とするために、センサホルダを用いて真鍮のプレート（長さ50mm、高さ50mm、厚さ0.3mm）に固定した。センサ間距離は35mmである。超音波計測は、セメントに水を加えた時点（この時点では、型枠内にセメントペーストは存在しない）より開始し、72時間実施した。なお、計測は20±2℃の室内にて行った。

計測に用いた超音波は、ファンクションシンセサイザおよびバイポーラ電源を使用して、印加電圧240V、送振間隔50secのパルス波とした。試料を透過した超音波は、AEセンサにより受振し、サンプリング周波数2MHzでデジタル化した後、AE計測装置に記録した。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。

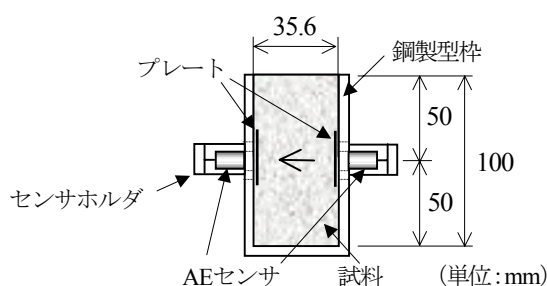


図-1 型枠および試料の概要

2.3 粘度測定方法

試料内部における粘度の経時変化を把握するため、超音波計測と併行して、写真-1 に示す単一円筒形回転粘度計（以降、回転粘度計と呼ぶ）による粘度の測定を実施した。セメントペースト練混ぜ後、φ90mm、高さ120mmのビーカーへ試料を投入し、経過時間1時間から、粘度測定を行った。粘度の測定間隔は、10～30分とした。なお、セメントペーストは非ニュートン流体であるため、回転粘度計により得られる結果は「見掛け粘度」と定義されている²⁾。

各時間での見掛け粘度の測定手順としては、JIS K 7117-1²⁾を参考に、以下に示す手順で行った。まず、φ3.18mmのスピンデルを垂直に試料に浸した後、回転速度10rpmで1分間連続してスピンデルを回転させた。その後、見掛け粘度を連続して2回測定し、測定された2つの値が互いに3%以上離れていないことを確認した。これら2つの値の平均値を見掛け粘度として算出した。

3. 結果と考察

3.1 超音波伝播速度による評価

超音波伝播速度およびプロクター貫入抵抗値の経時変化を図-2に示す。図における経過時間0時間とは、セメントに加水が行われた時刻であり、伝播速度は空気中での音速に相当する約340m/sを示している。続いて、型枠に試料が投入された直後において、超音波が受振されない場合がみられるものの、ある時刻より超音波が連続的に受振され始めている。この時点での伝播速度は、水中での音速（約1500m/s）より小さい値を示している。しかしながら、その後は、時間の経過に伴い伝播速度は急激に増加し、約1300m/sで速度の増分が緩やかとなった。本研究では、便宜上、伝播速度が約1300m/sとなるまでの領域をステージ1と定義する。

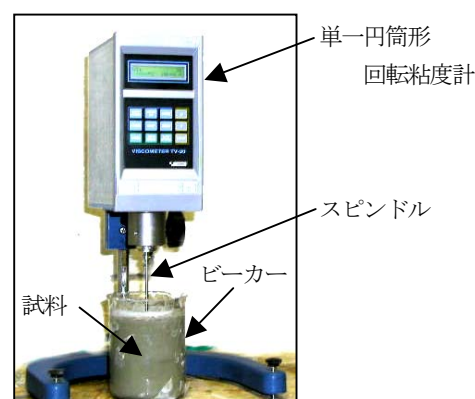


写真-1 単一円筒形回転粘度計による粘度測定状況

キーワード：凝結性状、非破壊検査、超音波法、単一円筒形回転粘度計、見掛け粘度

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 Tel/Fax：058-293-2470

ステージ1以降では、伝播速度は緩やかに増加し、水中での音速に近い値を示している（この領域をステージ2とする）。

続いて、ステージ2以降においては、セメントペースト中におけるエトリングライト結晶の占める割合が急激に大きくなることにより、伝播速度が速くなり¹⁾、約3000m/sでほぼ一定となった。ここで、伝播速度が約3000m/sとなるまでの領域をステージ3、ステージ3以降から計測終了までをステージ4とする。

一方、貫入抵抗値は、いずれの場合も、ステージ3において始発（3.5N/mm²）および終結（28N/mm²）を示している。これより、超音波伝播速度は、始発から終結の領域における材料の状態変化に対して十分な感度を有しているものと考えられる。

3.2 受振波最大振幅値による評価

図-3に最大振幅値比および見掛け粘度の経時変化を、前述のステージ区分（ステージ1～3）と併せて示す。この図では、最大振幅値比および見掛け粘度の経時変化の対応関係を判読しやすくするために、横軸のスケールを0時間から10時間までとした。また、図に示す最大振幅値比は、実験ケースにおいて計測時間内に出現した波形振幅の最大値を1として、それに対する任意の経過時間での振幅の値との比率として定義した。図によれば、最大振幅値比は、ステージ2において急激に増加し、明確な変曲点を伴って頭打ちした。

一方、見掛け粘度は、ステージ1では小さな値を示している。しかしながら、ステージ2において見掛け粘度は急激に増加し、その後、フルスケール（400Pa・s）となった。これは、水和反応の進行に伴い、セメント粒子間の凝集および接合が助長される³⁾ことにより、セメントペーストのせん断応力に対する抵抗が増加したためであると考察できる。また、図-2の貫入抵抗値の経時変化と図-3における見掛け粘度の経時変化とを比較すると、見掛け粘度が急激に増加してフルスケールとなるまでの時刻は、始発以前であることがわかる。これより、本研究で用いた回転粘度計により測定される見掛け粘度は、貫入抵抗試験によって判定される始発を迎える以前の試料において、セメントペーストのせん断応力に対する抵抗の変化を捉える指標と考えられる。さらに、図-3における最大振幅値比と見掛け粘度の両者の曲線の傾きを比較すると、ほぼ似た傾向を示していることがわかる。このことから、最大振幅値は、ステージ2においてセメントペーストのせん断応力が増加し、透過する超音波のエネルギーが飛躍的に大きくなることと対応して急激に増加したと考察できる。

4. まとめ

以下に、本研究で得られた結論を示す。

- 1) 回転粘度計により測定される見掛け粘度は、貫入抵抗試験により判定される始発以前の状態にあるセメントペーストのせん断応力に対する抵抗性の程度と対応しているものと考えられる。
- 2) 最大振幅値の経時変化は、見掛け粘度の挙動とかなり

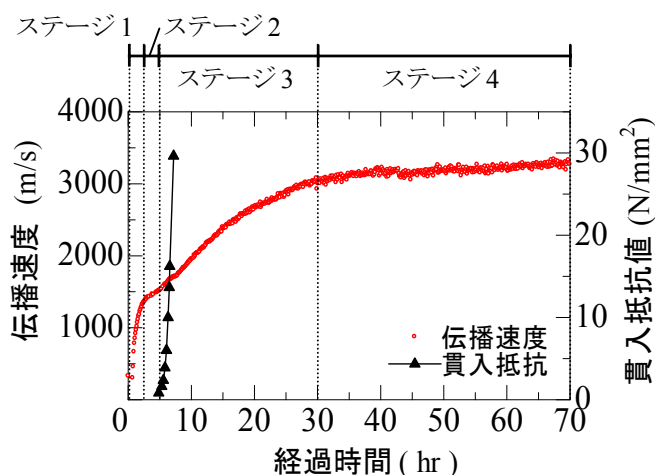


図-2 超音波伝播速度および
プロクター貫入抵抗値の経時変化

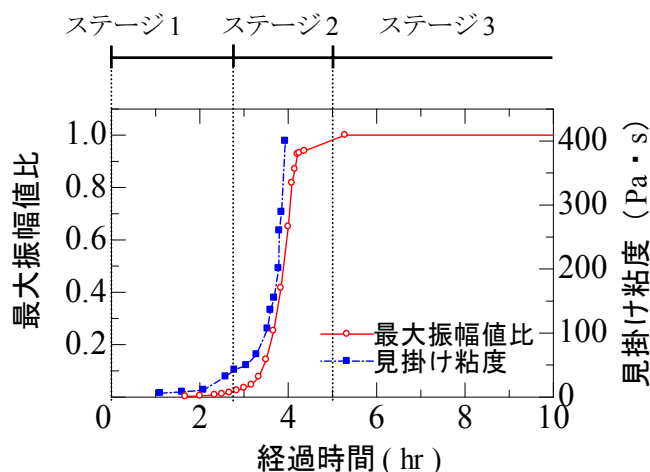


図-3 最大振幅値比および見掛け粘度の経時変化

近く、セメントペーストのせん断応力の変化を適確に捉えることができる。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（萌芽研究15656105）の援助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 内田慎哉，鎌田敏郎，国枝稔，六郷恵哲：超音波伝播特性に着目した超速硬セメントペーストの凝結硬化過程の評価手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.1631-1636，2003
- 2) 日本工業規格：JIS K 7117-1 プラスチックー液状，乳濁状又は分散状の樹脂ーブルックフィールド形回転粘度計による見掛け粘度の測定方法，1999
- 3) 名和豊春，江口仁，大島秀明：セメントの初期水和と流動性に関する一考察，セメント技術年報，40，pp.55-58，1986