

温度履歴を受けるモルタルの硬化過程における超音波および AE モニタリング

東京都立大学 学生会員 ○長島裕丈 正会員 大野健太郎 上野敦

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の生産性向上のためにコンクリートのプレキャスト化が推進されている。プレキャストコンクリートは早期脱型を目的として蒸気養生が行われる。蒸気養生工程における前養生時間について、貫入抵抗値が 3.5N/mm^2 以上となるまでの時間を確保することより、また、最高温度保持工程から降温工程にかけてのコンクリート表層部の乾燥抑制のための散水により²⁾、その後の強度・耐久性が高まることが確認されている。本研究では、蒸気養生を模擬した温度履歴養生中のモルタルを対象に、組織形成過程を超音波法にて測定・評価し、微細ひび割れなどが生じる際に放出される弾性波を AE 法にて検出し、養生工程中の組織変化や水和を阻害するような事象検出の基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

表-1 に本研究で用いたモルタルの配合を示す。普通ポルトランドセメントおよびセメント強さ試験用標準砂を使用し、水セメント比 50% のモルタルを作製した。図-1 に蒸気養生を模擬した温度履歴養生工程を示す。本研究では、接水後 20°C 一定の気温で封緘養生した CONST, 20°C 一定の前養生を 30 分確保し、その後温度履歴養生を行った STEAM-P0, さらに、JIS A 1147 に準拠した貫入抵抗値が 3.5N/mm^2 になるまで 20°C 一定の前養生を 355 分確保し、その後温度履歴養生を行った STEAM-P3.5 の 3 水準の比較を行った。さらに、温度変化による型枠やステンレス板などの膨張・収縮により AE が発生すると想定されたため、空の型枠にセンサを設置した状態 (empty) での計測も行った。全ての供試体は温度管理機能を有する養生槽内で養生し、モルタルの内部温度および養生槽内温度の測定を行った。また、図-2 に超音波法および AE 法に用いた供試体とセンサ配置を示す。計測には共振周波数 60kHz の AE センサを用い、検出信号をプリアンプで 40dB 増幅し、閾値を 35dB として AE 計測を実施した。超音波法では、 15V 、継続時間 $10\mu\text{s}$ の矩形波を AE センサに作用させることで超音波を入力した。計測は接水後 30 分から材齢 24 時間まで実施した。また、JSCE-G 505 に準拠し、材齢 1 日および 28 日にて圧縮強度を取得した。

3. 実験結果および考察

3.1 超音波伝搬速度

CONST の超音波伝搬速度と温度の関係を図-3 に示す。超音波伝搬速度は凝結始発時間よりも早い接水後 200 分から増加しており、このタイミングは水和の誘導期から C_3S の反応へ移行を開始する時期と考えられる。すなわち、JIS A 1147 の凝結試験よりも早期にモルタルの組織変化点を捉えていると考えられる。その後、水和反応が進み、モルタルの液相中を水和

表-1 モルタルの配合

W/C (%)	単位量(g/L)		
	W	C	S
50	256.0	512.1	1536.2

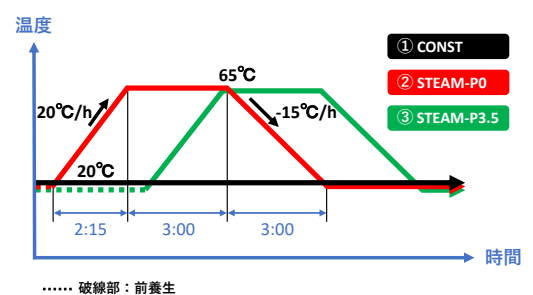


図-1 温度履歴養生工程

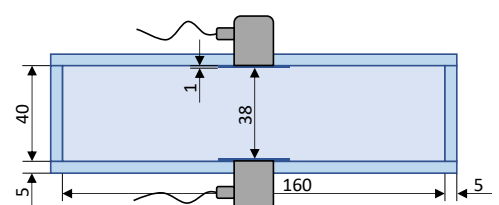


図-2 供試体概要とセンサ配置

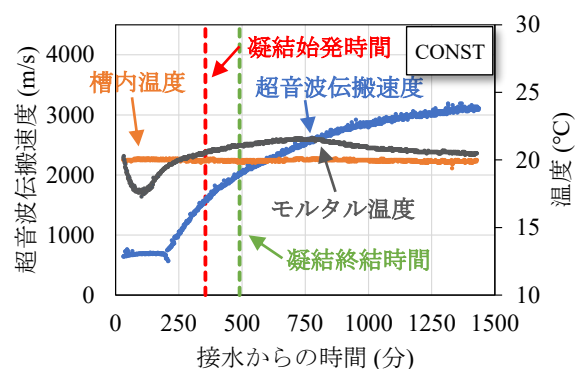


図-3 超音波伝搬速度と温度の関係

キーワード モルタル, 温度履歴養生, 超音波伝搬速度, 積算温度, AE ヒット数

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL 042-677-1111

生成物が埋めることで、超音波伝搬速度も上昇する関係性が確認できる。

次に、養生条件ごとの超音波伝搬速度と積算温度の関係を図-4に示す。各条件とも積算温度が $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ になると超音波伝搬速度が上昇するのがわかる。つまり、養生条件にかかわらず、モルタルは積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ を起点に C_3S から水和物が析出を開始し、表面積が増大することで超音波の伝搬特性が向上し、超音波速度が上昇したと推察される。その後の超音波伝搬速度の傾きに注目すると、接水30分後に温度履歴養生を開始した STEAM-P0 は CONST の傾きを大幅に上回っており、急速なモルタルの成長を表している。一方で、貫入抵抗値 $3.5\text{N}/\text{mm}^2$ まで前養生時間を確保した STEAM-P3.5 は CONST とほぼ同様の曲線を描いており、STEAM-P0 のモルタルよりも緩やかに水和物が形成されていると考えられる。ここで、各養生条件での材齢28日の圧縮強度は図-5に示すように、STEAM-P0 < STEAMP3.5 < CONST の順である。このことから、モルタル組織の成長が安定期に達する前に温度履歴養生を開始すると、超音波伝搬速度の傾きが大きく、急速に水和物が形成されるものの、その結果得られる強度は低いため、 20°C 封緘養生の超音波伝搬速度と積算温度の傾きを上回らないような養生方法が強度面から妥当であると示唆される。

3.2 AE ヒット数および圧縮強度

累積 AE ヒット数と材齢1日および材齢28日における圧縮強度を図-5に示す。なお、ここで用いた AE ヒット数は、図-6に示すように、モルタルとは無関係の AE ヒット数を示す empty との差分 AE 数を表している。また、差分 AE 数は最高温度保持工程以降に顕著であり、既往の研究結果²⁾より、乾燥等が要因となって生じた AE と推察される。材齢28日の圧縮強度は、CONST が最も高く、P0 が最も低い。また、累積 AE ヒット数が多いほど圧縮強度が低くなり、検出された AE はモルタル組織に悪影響を及ぼす要因を示していると考えられる。

4. まとめ

超音波伝搬速度の結果より、 20°C 封緘養生の場合、凝結始発時間よりも早い接水後200分は、セメントの水和反応過程における誘導期後の C_3S の反応開始時期に相当し、水和生成物析出に伴う表面積の増加の結果、超音波速度が上昇したと推察される。また、超音波伝搬速度と積算温度の関係より、モルタルは積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ を起点に弾性体への移行を開始すると考えられ、 20°C 封緘養生のモルタルの傾きを上回らないような温度履歴養生方法とすることで封緘養生と同程度の圧縮強度が得られると考えられる。累積 AE ヒット数と圧縮強度の関係から、AE ヒット数が多くなると、圧縮強度は低下傾向を示したため、養生中に発生した AE はモルタル組織に有害であると推察され、AE ヒット数の多少から強度低下を伴わない養生工程条件が提案できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 村田哲, 上野敦, 大野健太郎, 宇治公隆: 極初期の組織形成が温度履歴養生後のモルタルの特性に及ぼす影響, コンクリートの工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.493-498, 2015.
- 2) 鳥海秋, 原洋介, 宇治公隆, 上野敦: 蒸気養生中の散水がコンクリート表層部の品質および強度特性に及ぼす影響, コンクリートの工学年次論文集, Vol.40, No.2, pp.481-486, 2018.

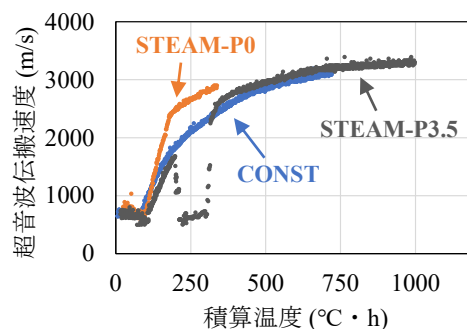


図-4 超音波伝搬速度と積算温度の関係

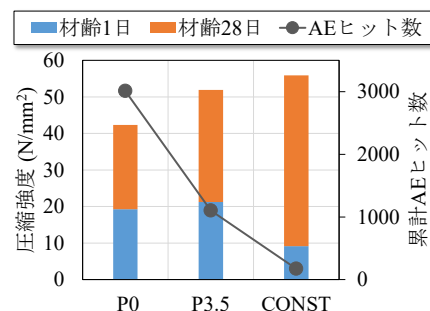


図-5 累積 AE ヒット数と圧縮強度の関係

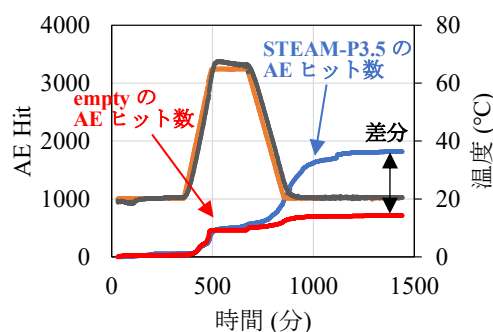


図-6 STEAM-P3.5の累積 AE ヒット数