

論文

[1115] 凍結融解作用下モルタルのAE伝播特性

正会員○嶋田久俊（北海道開発局開発土木研究所）

正会員 堺 孝司（北海道開発局開発土木研究所）

1. はじめに

北海道のような寒冷地におけるコンクリート構造物は、十分な耐凍害性を有していることが要求される。一般に、コンクリートの凍害に対する検討は、ASTM C666 の急速凍結融解試験に準ずる方法によって行われているが、それらの結果と実際の耐凍害性との関連についての定量的な評価が十分なされていない。耐凍害性を合理的に評価するためには、凍害メカニズムの解明が重要である。

近年、微小ひびわれが生じる時に発生するAEの特性によって、コンクリートの破壊現象を明らかにしようとする研究が活発に行われている。著者らも凍結融解作用を受けるプレーンモルタルのAE計測を行い、劣化過程におけるAE発生特性に関する検討を行ってきた¹⁾。

本研究は、凍結融解作用を受けるモルタルのAE伝播特性が、AE発生数や位置標定に及ぼす影響について検討したものである。また、一つのセンサから発信された疑似AEパルスを他のセンサが受信した際の振幅や到達時間差から求めたAE伝播速度が、凍結融解作用によるモルタルの劣化の指標として有効かどうかの検討を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料及び配合

セメントとして普通ポルトランドセメント、細骨材として豊浦産標準砂を用い、水セメント比65%のプレーンモルタル及びAEモルタルを作製した。AEモルタルに関しては、AE減水剤およびAE助剤を用い、8%の空気（コンクリート換算で約4.5%）を連行した。表-1にモルタルの配合を示す。所定の材令後、AEセンサの取り付け等を行った。

(2) AE測定

図-1に、供試体設置状況を示す。4×4×16cmの角柱供試体（一部φ10×20cmの円柱供試体）の打設面を供試体底面とし、供試体上面には給水のためシリコンで高さ5mm程度の枠を設けた。共振周波数が140kHzのAEセンサ（φ8.5mm×22mm）を4つ使い、センサを供試体側面の中心に感熱接着剤（エレクトロンワックス）で接着した後さらにシリコンで覆った。

凍結融解サイクルは1サイクル6時間（槽内温度は最高+12℃、最低-25℃）で行った。センサで受信したAE信号を、50kHzのハイパスフィルター内蔵のプリアンプで40dBに増幅した後、ローパスフィルターを1000kHz、ディスクリレベルを55dBに設定したデータチェンバーに

表-1. モルタルの配合

	W/C (%)	S/C	C (g)	W (g)	S (g)	No. 70 (ml)	No. 202 (ml)	Air (%)
プレーン	65	2.0	640	416	1280	—	—	1.2
AE		2.3	640	396	1471	16	4	8.0

注) No. 70 は10%溶液、No. 202は1%溶液の値である。

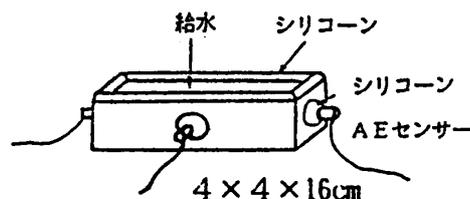


図-1. 供試体設置状況

記録しコンピューターによる処理を行った。

(3) 疑似AEパルスの伝播速度および振幅の測定

図-2に示すように、センサ1から一定の疑似AEパルスを発信させ、チャンネル1とチャンネル3が受信する時間差 Δt_1 を求めた。同様に、センサ2からAEパルスを発信させ、チャンネル2とチャンネル4が受信する時間差 Δt_2 を求めた。センサ1とセンサ3との距離を $L_1 (=0.16\text{m})$ 、センサ2とセンサ4の距離を $L_2 (=0.04\text{m})$ とし、 $V = (L_1 - L_2) \div (\Delta t_1 - \Delta t_2)$ をモルタル中のAE伝播速度とした。またセンサ1から疑似AEパルスを発信させた場合に、センサ3が受信する際の最大振幅を測定した。

(4) AE発生位置標定

4つのセンサが受信するイベントタイムの時間差により2次元位置標定を行った。その際の伝播速度は、上記の方法で求めた値である。

(5) 雑音その他の対策

微小ひびわれによって生じるAEを確実に捕えるためには、周辺雑音の除去を第一に考える必要がある。本研究の場合凍害によるAEを対象としており、供試体を低温槽に入れた状態でAE測定を行うため、送風装置や冷凍機の振動等により、種々の雑音が発生するものと思われる。そこで、図-1に示したように、4つのセンサを用い、すべてをヒットするAEのみを選別した。また、給水のため供試体上部に存在する表面水がAEイベント数に及ぼす影響が大きいため、測定時には表面水を除去した。

3. AE発生数に及ぼす伝播特性の影響

(1) AE発生数

図-3に、凍結融解サイクル数とAEイベント数の関係を示す。いずれの場合も1サイクル目に生じるイベント数が最も多く、プレーンモルタルの水中養生7日以外に関しては2サイクル以降AEイベント数は減少傾向にあることがわかる。これらの現象は、1サイクル目ですでに凍結融解作用による微小クラックが形成されている可能性を示している。しかし、空気量や材令の違いがAEイベント発生数に及ぼす影響は明確には現われていない。

(2) AEパルスの受信時振幅特性

表-2に凍結融解開始前のAEパルスの受信時振

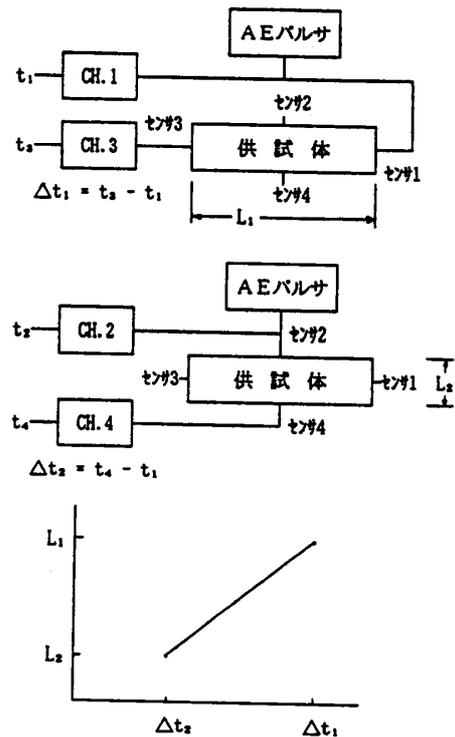


図-2. 伝播速度および振幅の測定

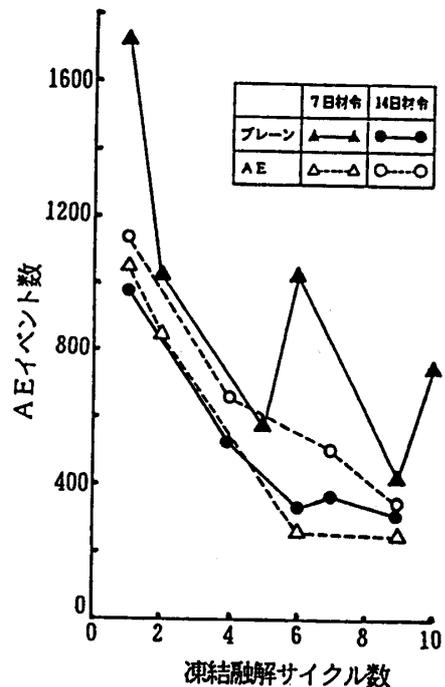


図-3. 凍結融解サイクルとAEイベント数の関係

	7日材令	14日材令
プレーン	85 dB	73 dB
AE	71 dB	75 dB

表-2. AEパルスの受信時振幅特性

幅を示す。一定のパルスを発信させているにも拘らず、受信時のAE振幅は、供試体によって異なっている。AEイベントの収集は、受信時の最大振幅がディスクリレベルを越えたものを対象にしており、振幅の減衰特性が異なる場合、AEイベント数にも影響を及ぼすと考えられる。例えばAEモルタルの場合、振幅の減衰は7日材令の方が14日材令よりも大きくなって、AEイベント数が少なくなった可能性がある。そのため、空気量や材令のAEイベント数に及ぼす影響が明らかにならなかったものと思われる。このようにAE伝播特性が異なる場合、測定機の設定条件を同一にした状態で得られたAEイベント数を用いて劣化程度を直接的に評価することは適当でなく、伝播特性を考慮した計測、処理を行う必要があると考えられる。

4. AE発生位置標定

図-4に、ブレーション7日の供試体の1サイクル目に生じたAEの発生位置標定結果を示す。実際に測定した伝播速度を用いているにも拘らず、供試体外に多くの点が標定されている。供試体内に標定されたイベント数は全体の約以下であった。しかも、かなり離れた位置に標定されている。他の供試体の場合、ブレーション7日の供試体程ではなかったが、それでも全体の約以上は供試体の外に標定された。今回用いた供試体は、センサ2と4の間の距離が4cmと短く、形状的にもセンサ1と3の間の距離がセンサ2と4の間の距離の4倍であり、位置標定には適さなかった可能性がある。

そこで、 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を用いて同様の実験を行った。表-1のブレーションと同じ配合で、材令3日後に測定を開始した。図-5にAEの発生位置標定結果を示す。角柱供試体に比べ、ある程度改善され、形状としては円柱供試体の方が位置標定には適していると言えよう。しかし、依然として供試体外に標定される点が存在する。

図-4で示したブレーション7日の角柱供試体の1サイクル目に生じたAEの振幅の分布を図-6に示す。発生した一つのAEに対して4つのセンサが受信する振幅はそれぞれ異なるが、それらすべてのデータを対象としている。ディスクリレベルの設定により、

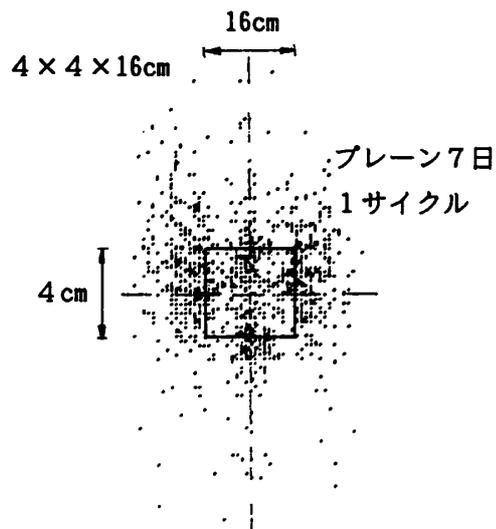


図-4. 位置標定結果 (角柱供試体)

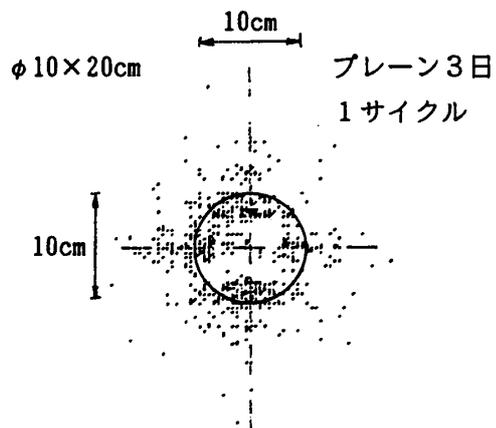


図-5. 位置標定結果 (円柱供試体)

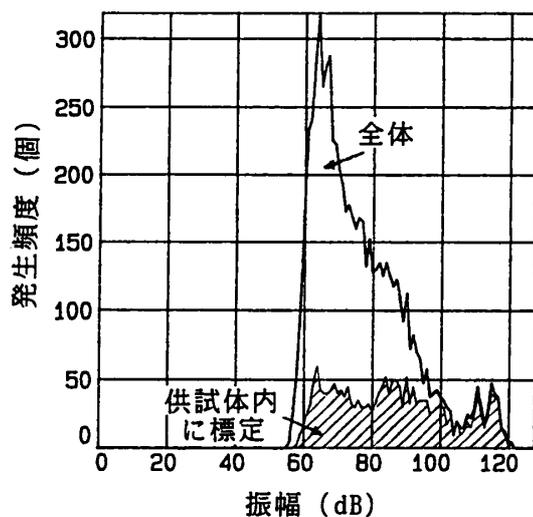


図-6. AEの振幅分布

4つのセンサがいずれも55dBを越えるAEのみを選別しているため、約65dBまでの頻度は少ないが、全体的には振幅が小さいもの程発生頻度が大きいようである。

発生位置が供試体内に標定されたAEの振幅の分布を斜線で示す。供試体外に標定されたものの多くは振幅が小さいことがわかる。伝播速度を求めた際の受信時の振幅は85dBであり、振幅の小さい場合にもその伝播速度を用いたため、供試体外に標定される結果を生じたと考えられる。

5. 凍結融解作用による劣化の指標

凍結融解作用によってモルタルの内部に微小クラックが形成されるため、波動の伝播性能が衰えると考えられる。そこで本実験ではAEパルスから求めたAE伝播速度と受信時振幅特性が凍結融解作用による劣化の指標として有効かどうかの検討を行った。

図-7に凍結融解サイクル数とAE伝播速度の関係を示す。かなりばらつきが見られるが、10サイクル程度までは凍結融解作用によるAE伝播速度の変化はほとんどない。それ以降のサイクルに関しては、ブレーンモルタルの水中養生7日だけの結果しか得られていないが、凍結融解サイクルが増加するにしたがって、AE伝播速度が減少している。

図-8に凍結融解サイクル数とAEパルスの受信時振幅の関係を示す。AEパルスの受信時振幅も凍結融解サイクルが増加するにしたがって減少しており、AE伝播速度とAEパルスの受信時振幅は凍結融解作用による劣化の指標として有効であると考えられる。

6. まとめ

本実験で得られた結果を取りまとめると以下のようである。

- (1) 凍結融解サイクルとAE発生数の関係から、1サイクル目ですでに凍結融解作用による微小クラックが形成されている可能性がある。
- (2) AE伝播特性がAEイベント数に及ぼす影響が大きいため、得られたAEイベント数でそのまま劣化程度を評価することは適当でないと考えられる。
- (3) 今回用いた角柱供試体は位置標定を行う場合には、あまり適当でないと考えられる。
- (4) 供試体外に標定されたAEの多くは、受信時の振幅が小さいものであった。
- (5) AE伝播速度とAEパルスの受信時振幅は、凍結融解サイクルの増加に伴って減少する傾向が見られるため、凍結融解作用による劣化の指標として有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 嶋田久俊、堺 孝司：凍結融解作用を受けるモルタルのAE特性、第44回土木学会年次学術講演会講演概要集、平成元年10月、pp.20～21

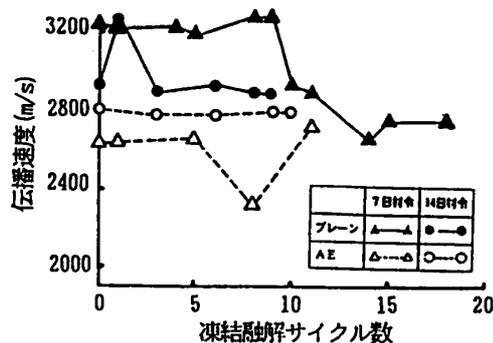


図-7. 凍結融解サイクル数とAE伝播速度の関係

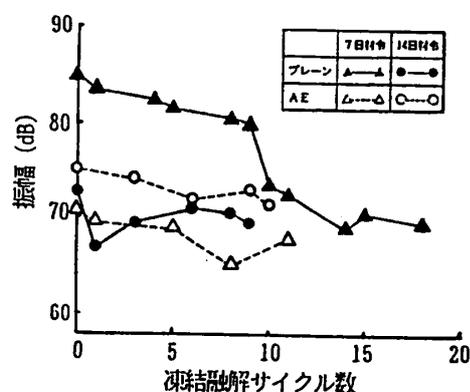


図-8. 凍結融解サイクル数とAEパルスの受信時振幅の関係