

論文

[1143] 劣化コンクリートの AE 特性に関する研究

矢村 潔<sup>\*1</sup>・長井 吾朗<sup>\*2</sup>

1. はじめに

コンクリートの劣化の診断・評価にアコースティック・エミッション (AE) 計測法を利用する試みは、計測機器の進歩、コンピューターによる解析手法の進歩と相まって、最近、非常に注目されてきている(1)。しかし、複合材料であるコンクリートの AE 特性はきわめて複雑でありまた、変動も大きい。従って、定量的な評価方法を確立していくには基礎データの蓄積が必要不可欠である。本研究は、このような観点から、凍結融解作用によって劣化したコンクリートの圧縮試験時における AE 特性を主として実験的に明らかにしたものである。すなわち、凍結融解作用の繰り返しによって順次劣化させたコンクリート供試体の圧縮荷重を行い、その間の AE 特性を測定し、動弾性係数、静弾性係数、強度等の指標との関連を明らかにするとともに、同程度の圧縮強度を有する健全なコンクリートから得られた諸特性と比較検討し、劣化コンクリートの内部構造を明らかにしていくための基礎資料を得ることを目的としている。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

本実験で使用したコンクリートには、普通ポルトランドセメント、砕石 (最大寸法:20mm, 比重:2.68, 吸水率:1.0%) , 川砂 (F.M.:3.0, 比重:2.53, 吸水率:1.2%) を使用した。なお、混和剤は使用せずプレーンコンクリートとした。凍結融解試験用供試体のコンクリートの示方配合を表-1に示す。また、比較用の健全なコンクリートについては、同一の材料を使用し、水セメント比を 55% から 85% まで 3% づつ変化させ、劣化コンクリートに対応する強度を得るように配合設計を行った。

2.2 実験方法

凍結融解試験には 10×10×40 cm 角柱供試体を用い、コンクリート打設後 28日間 20℃水中養生を行い、初期値を測定した後、JSCE-1986 に準じて凍結融解試験を行った。適当な繰り返しサイクル毎に 2本の供試体を取り出し、それぞれを半分に切断し、10×10×20cm 角柱供試体 4本について動弾性係数の測定および圧縮荷重試験を行い、圧縮強度、静弾性係数、AE 特性等を測定した。凍結融解作用の繰り返しによってコンクリートの圧縮強度が当初の 60% 以下まで低下した時点で試験を打ち切った。比較用の健全なコンクリートについては、凍結融解試験と同様の供試体を用い、打設後28日間

20℃水中養生を行った後、ただちに凍結融解試験終了の供試体と同様の試験、測定を行った。AE 計測に使用した AE 計測システムの構成を図-1に示す。

表-1 コンクリートの示方配合

最大骨材寸法(mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )			
					W	C	S	G
20	10±2	2	55	44	196	356	826	934

\*1 摂南大学教授 工学部土木工学科, 工博 (正会員)

\*2 摂南大学大学院 工学研究科社会開発工学専攻

AE変換子は共振周波数が 140kHz のものを使用し、供試体側面の中央部にカップリング用パラフィンで接着した。変換子で検出されたAE信号はプリアンプ、ディスクリミネータで合計 60dB 増幅し、AE事象の頻度計数には不感時間 1ms のデッドタイム方式を用いた。しきい値は約 1V である。圧縮試験ではノイズ防止のため、供試体と載荷面の間にシリコングリース塗布のテフロンシートを挿入した。

### 3 実験結果とその考察

#### 3.1 凍結融解作用による劣化の概要

凍結融解作用の繰り返しサイクルとコンクリートの動弾性係数、静弾性係数および圧縮強度の関係を図-2に示す。動弾性係数はソニック法のたわみ振動から求めたものであり、静弾性係数は圧縮強度の 1/3 割線弾性係数である。本実験の供試体はプレーンコンクリートであるため、凍結融解作用の繰り返しの初期から弾性係数の急激な低下がみられる。静弾性係数は動弾性係数に比較して当初 20% 程度低く、繰り返しサイクルの増加と共にほぼ平行に低下する。従って、70サイクル以降は極端に小さな値となっている。圧縮強度は、弾性係数と比較して、凍結融解作用による低下の開始が遅れ、本実験では 50サイクル程度までは強度の低下が極めてわずかしみられなかった。しかし、それ以降繰り返しサイクルの増加と共に圧縮強度もかなり急激に低下している。凍結融解作用を受けたコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を図-3

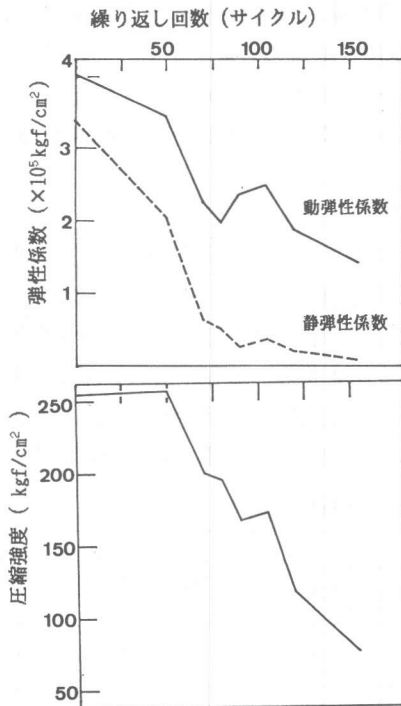


図-2 凍結融解の繰り返し回数と弾性係数、圧縮強度の関係

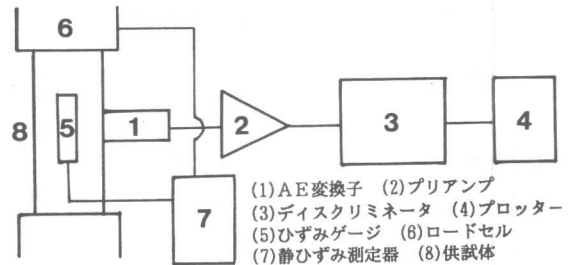


図-1 AE計測装置

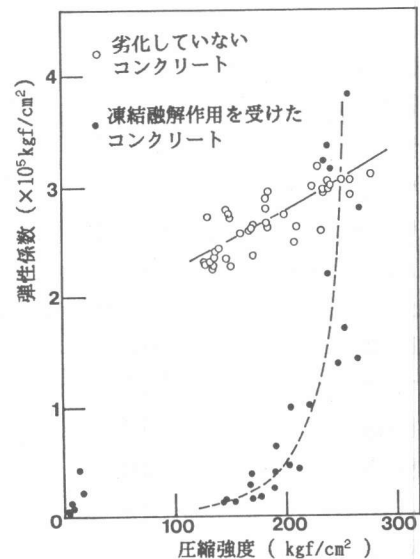


図-3 コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係

に示す。図には比較のため水セメント比を変化させて強度を低下させたコンクリートについても示してある。この図から劣化コンクリートは弾性係数の低下が強度低下に先行し、劣化初期の段階で同一程度の強度を有する健全なコンクリートと比較して弾性係数が極端に小さくなっている。なお、本実験では一般に劣化の目安とされている相対動弾性係数が 60% になるのは 70 サイクル程度であり、その時点での圧縮強度は当初の 80% 程度であった。

### 3.2 AE発生状況の概要

各供試体の圧縮載荷試験時におけるAE発生状況の例を図-4に示す。図の縦軸にはそれぞれの圧縮応力度（横軸の値）において圧縮応力度  $1\text{kgf/cm}^2$  の増加に対してのAE発生計数を示したものである。一般に健全で相当程度の圧縮強度を有するコンクリートに対しては、圧縮載荷時において、圧縮強度の 40~60%あたりからAEが発生し始め 70~80% から発生頻度が急激に増加し、破壊に到ることが知られている。本実験においても、ほぼ同様の傾向が認められるが、水セメント比が大きくなり、圧縮強度が低下するにつれて載荷初期から若干のAE発生が認められるようになり、以後比較的低応力レベルからAE発生頻度が徐々に増加していき破壊にいたるようになる。このような傾向は、従来からも認められているところであり、コンクリート供試体の一軸圧縮下でのAE挙動を微小ひびわれの発生過程と対応させ、微小ひびわれは漸増的に発生し集積され、主破壊にいたると考え、その間のひびわれ発生挙動をレートプロセスとして解析することが試みられている(2)。

一方、凍結融解作用によって劣化したコンクリートのAE挙動に関して次のような特徴が認められる。すなわち、凍結融解作用の繰り返しを受けることによって圧縮載荷初期からAEの発生が見られるようになる。しかし、動弾性係数の低下が 20%程度以内であり、圧縮強度の低下が極めてわずかな領域では、同程度の圧縮強度を有する劣化していないコンクリートのAE挙動と基本的には同じと考えて差し支えない。しかし、相対動弾性係数の低下が劣化の目安とされている 60%程度になり、圧縮強度が 20% 以上低下する領域になると、載荷初期において大量のAE発生が見られるようになり、ある程度載荷が進み応力レベルが高くなると一旦AE発生頻度が小さくなる。それ以降、さらに応力レベルが高くなると同程度の圧縮強度を有する劣化していないコンクリートとほぼ同様の挙動を示し、破壊にいたるようになる。

### 3.3 劣化コンクリートのAE特性

図-4は変動が激しく具体的な特性を把握するのが困難であるので、以下の方法で修正を行った。すなわち、ある測定点を中心に前後2点をとり、5点について最小2乗法により回帰2次曲線を求め、中心の測定点をこの曲線上に移動する(図-5参照)。このような操作を各測定点について行って曲線をなめらかにした。得られた代表的な曲線を各条件で比較して示したのが図-6である。各供試体についてこの曲線からAE発生レートが明確に増加し始める位置を読み取り(図-6中の○印に相当)、それぞれの供試体の圧縮強度との関係で示したのが図-7である。この図から劣化コンクリートと劣化していないコンクリートはほぼ同じ直線上に乗り、圧縮強度が同じであれば破壊に結び付くAE発生状況いにかえれば微小ひびわれ発生の連鎖過程が類似していると推察することが出来る。しかし、載荷初期の低応力レベルにおいては両コンクリートの間に顕著な相違が認められる。すなわち、劣化していないコンクリートでは強度が低い場合でも載荷初期にはAEの発生がわずかしか見られないのに対し、劣化によって強度が低下したコンクリートでは載荷初期から大量のAE発生が認められる。この傾向は相対動弾性係数が 60%程度まで減少し、圧縮強度がはっきりと低下し始めるあたりから顕著にな

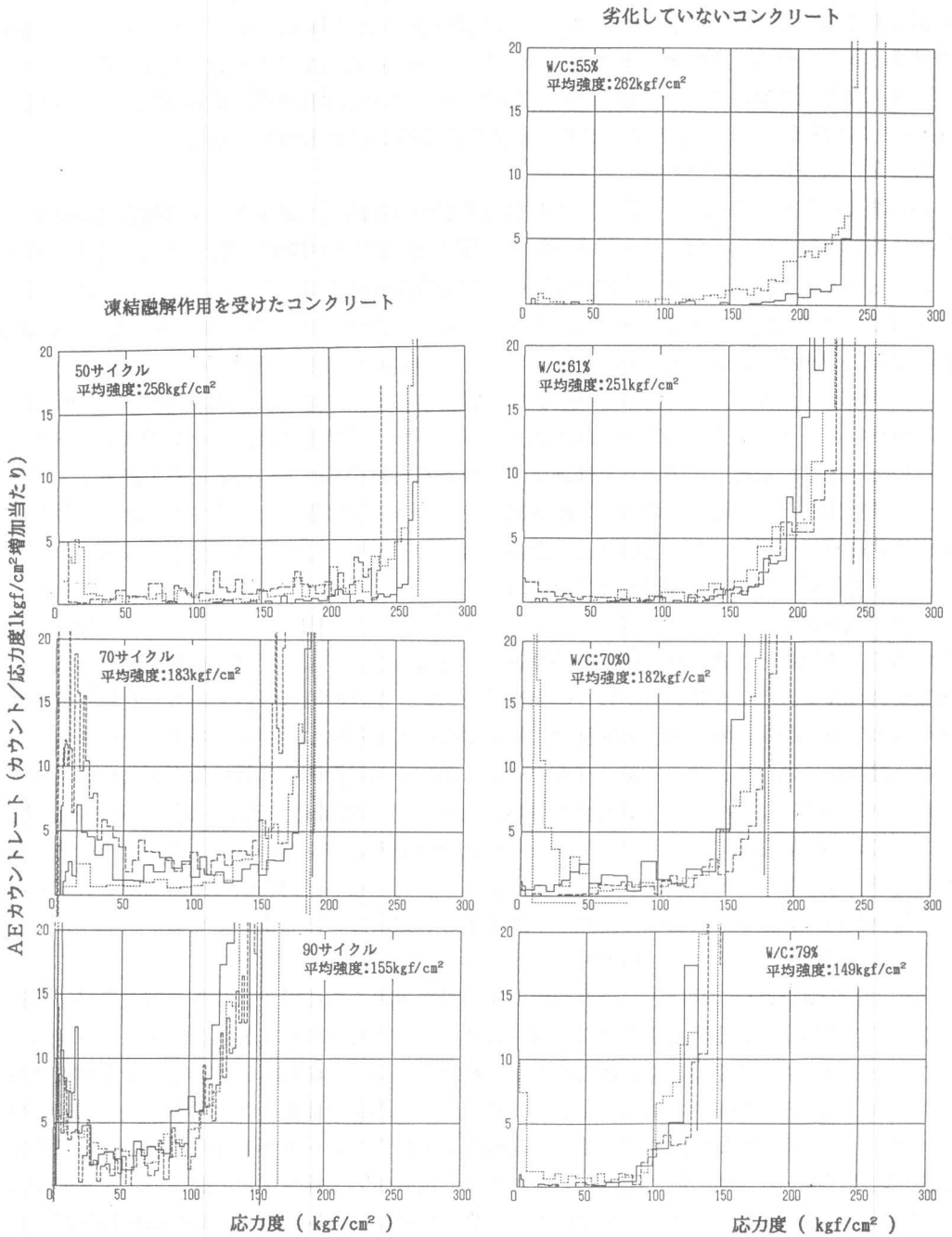


図-4 AE発生状況

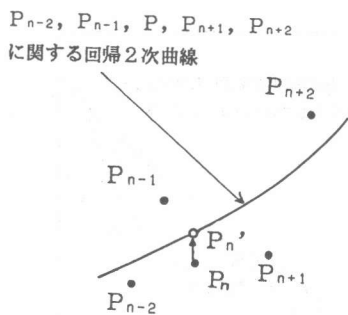


図-5 測定値の調整

り、凍結融解作用によるコンクリートの劣化の特徴と見る事ができる。図-8に各供試体について累加AE発生数が破壊直前までの累加数の50%になる応力レベルとその供試体の圧縮強度の関係を示したもので、やはり劣化が明確に現れるあたりから両コンクリートの差が顕著に現れている。本実験では要因、試料も少なくまた、変動、ばらつきも大きいので、明確にはいえないが、このような現象は、劣化が現れる初期領域から認められ、また、極めて低応力レベルで検知出来ることから、今後その発生メカニズム等を明らかにすることによって、劣化の評価に有効に利用できる可能性があると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究は、圧縮荷試験におけるAE特性からコンクリートの劣化程度を評価する方法の開発のための基礎資料を得る目的で、凍結融解作用によって劣化したコンクリートの一軸圧縮荷試験時におけるAE特性を実験で明らかにしたものである。得られた結果を以下に要約し、本研究のまとめとする。

- (1) コンクリートが凍結融解作用をうけて劣化する場合、弾性係数の低下が先行し、圧縮強度の低下はやや遅れて現れる。また、劣化コンクリートの弾性係数は、同一強度の劣化していないコンクリートと比較してかなり小さい。
- (2) コンクリート強度が低下するにつれて、また、コンクリートの劣化が進行するにつれて低応力レベルからAEの発生が見られる。
- (3) 凍結融解作用で劣化したコンクリートについて破壊に結び付くAE発生挙動は、同程度の

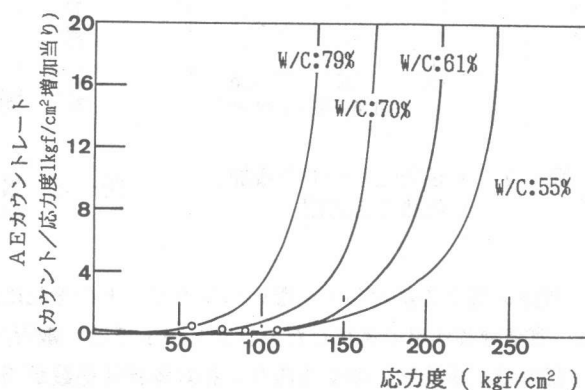
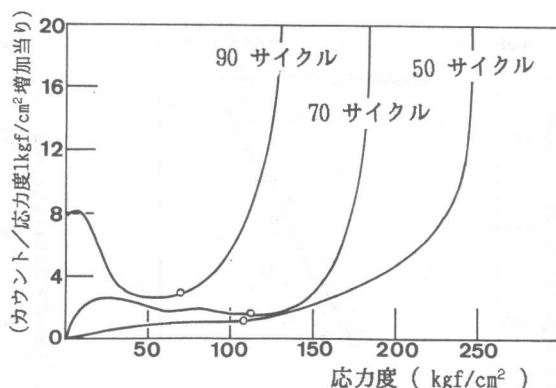


図-6 AE発生状況の修正曲線

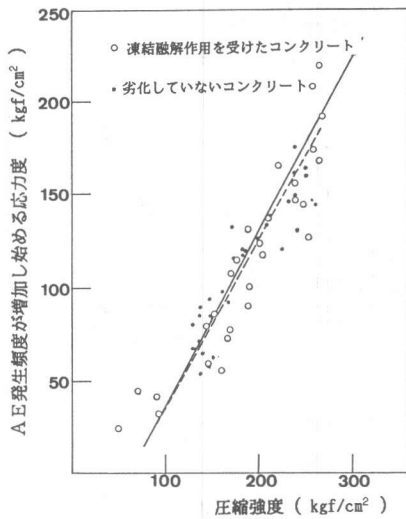


図-7 AE発生レートが増加し始める応力度

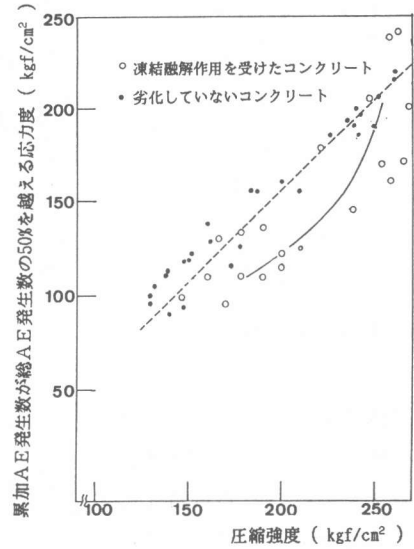


図-8 累加AE発生数が総AE発生数の50%を越える応力度

強度を有する劣化していないコンクリートのそれに類似している。

- (4) 凍結融解作用で劣化したコンクリートでは、荷初期から大量のAE発生が見られ、この傾向は、本実験に関する限り、相対動弾性係数が60%程度まで減少し、圧縮強度がはっきりと低下し始めるあたりから顕著になった。

本研究は、著者の1人に与えられた平成4年度文部省科学研究費補助金で行った一連の研究の一部である。

#### 参考文献

- 1) 丹羽義次監修，大津政康：AEの特性と理論
- 2) M. Ohtsu, Y. Kawai and S. Yuji, "Evaluation of Deterioration in Concrete by Acoustic Emission Activity", コンクリート工学年次論文報告集, No.10-2, 1988, pp.849-854