

# 論文 凍結融解作用を受けたコンクリートの AE 特性に関する研究

矢村 潔\*1・長井吾朗\*2・弓場茂和\*2

要旨：本研究は、圧縮載荷試験におけるアコースティック・エミッション（AE）特性からコンクリートの劣化程度を評価する手法の開発のための基礎資料を得ることを目的とし、凍結融解作用の繰り返しを受けたコンクリートのカイザー効果特性について実験的に明らかにしたものである。本実験を通して、凍結融解作用の繰り返しサイクルが小さいうちはカイザー効果が比較的明瞭に認められるが、繰り返し回数が増加してくるにつれて曖昧となり、圧縮強度が低下してくる領域になると初期載荷履歴がほとんどわからなくなり、劣化によりカイザー効果が消滅する挙動が明らかになった。  
 キーワード：アコースティック・エミッション，カイザー効果，凍結融解作用，劣化，

## 1. はじめに

近年、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が計測機器の進歩，解析手法およびその基盤であるコンピュータ環境の充実と相まって各方面で注目されてきており，一部では実用の域に達している。しかし，コンクリートの AE 特性はきわめて複雑で変動も大きく，影響する要因も多岐にわたっている。従って，AE によるコンクリートの劣化の診断・評価を定量的に行っていくためには，さらなる基礎データの蓄積が重要である。本研究は，このような観点から，凍結融解作用を受けたコンクリートの圧縮試験時における AE 特性のうち，主としてカイザー効果特性について実験的に明らかにしたものである。過去の履歴荷重までは AE 発生がないとするいわゆるカイザー効果は，鋼，岩石等多くの固体材料について認められている。コンクリートに関してもこのような特性がある程度認められているものの，水和反応の継続，各種要因による劣化，変質によってかなり曖昧になることが推測される。本研究は，このうちコンクリートの劣化とカイザー効果の関係について実験的に明らかにしていこうとするものである。

## 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：0.4%），川砂（F.M.：3.14，比重：2.49，吸水率：1.3%）を使用した。また，AE減水剤を使用し，6%程度の空気を導入した。コンクリートの示方配合を表-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 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	S	G	混 和 材 量 (cc)	
									AE助剤	AE減水剤
20	10±2	6	55	46.7	156	284	807	992	851	709

### 2.2 実験方法

凍結融解試験にはφ10×20cm円柱供試体を用い，コンクリート打設後28日

\*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

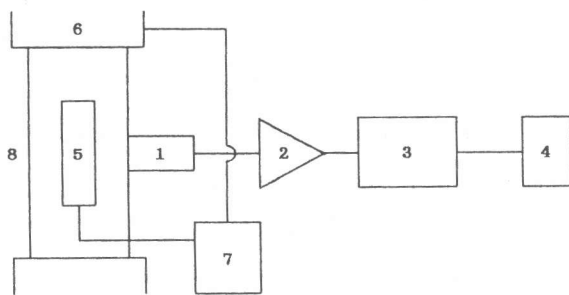
間20℃水中養生を行った。その時点で、先行荷重をかけただちにJSCE-1986に準じた凍結融解の繰り返し作用を与えた。先行荷重は構造物における実働応力レベルを考慮して圧縮強度の30%および50%とした。なお、圧縮強度は先行载荷時に3本の円柱供試体の圧縮強度試験から求めた。適当な繰り返しサイクル毎に2本の供試体を取り出し、動弾性係数を測定したのち圧縮载荷試験を行い、圧縮強度、静弾性係数、AE特性等を測定した。同時に比較のため同一配合で初期载荷後気中保存したコンクリートのカイザー効果に関する実験も行った。

本実験でAE計測に使用したAE計測システムの構成を図-1に示す。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事象の頻度計測には不感時間1msのデッドタイム方式を用いた。圧縮試験ではノイズ防止のため、供試体と载荷板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



(1) AE変換子 (2) プリアンプ (3) ディスクリミネータ  
(4) プロッター (5) ひずみゲージ (6) ロードセル  
(7) ひずみ測定器 (8) 供試体

図-1 AE計測装置

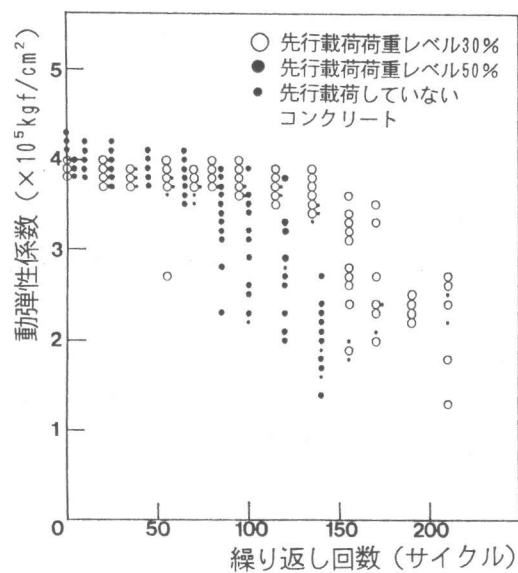


図-2 動弾性係数の変化

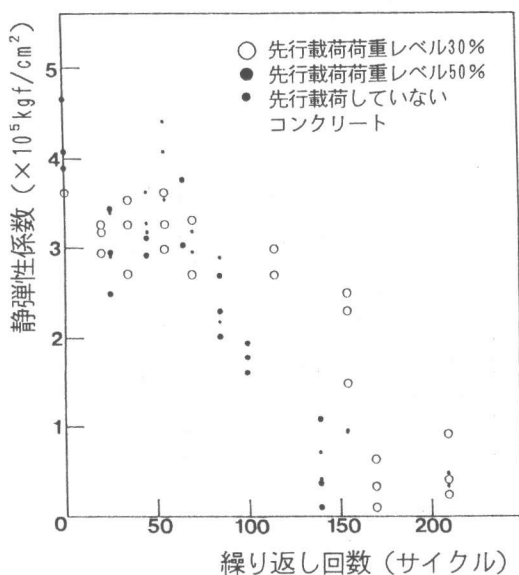


図-3 静弾性係数の変化

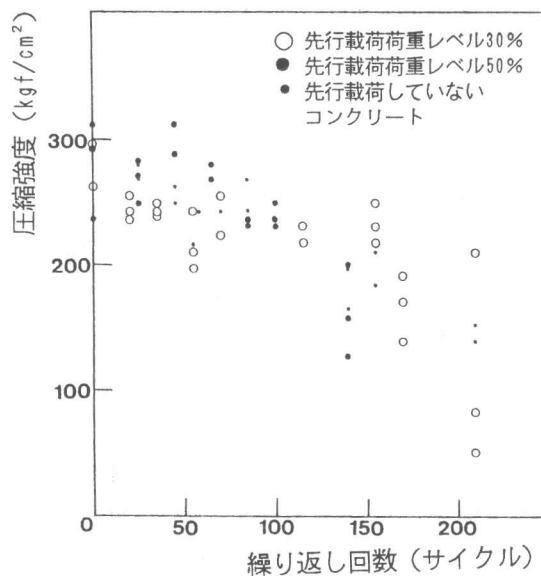


図-4 圧縮強度の変化

トの動弾性係数、静弾性係数および圧縮強度の関係を図-2~4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。これらの図から、同一条件での変動、ばらつきがかなり大きいものの、いずれの指標についても100~150サイクルでかなり大幅な低下がみられる。また、全般的に弾性係数の低下が強度の低下に先行する傾向が認められる。一般に6%程度の空気を導入した場合、凍結融解作用の繰り返しによって300サイクル程度までは動弾性係数等の低下はほとんどないことが知られているが、本実験では凍結融解作用の繰り返し前に初期荷重を行っていない供試体についても上記傾向が見られた。この原因としては、供試体が $\phi 10 \times 20$ cmの小型であったこと等が考えられる。また、凍結融解作用の繰り返し前の初期荷重の影響に関しては、初期荷重荷重が静的強度の30%の場合には、初期荷重を行っていない場合とほとんど同じで、初期荷重の影響は見られないが、初期荷重荷重が静的強度の50%の場合には、凍結融解作用の繰り返しによる各種指標の低下の割合が100サイクル以降わずかではあるが大きくなる傾向が認められ初期荷重による微小ひびわれ等の影響が現れているものと考えられる。

### 3. 2 凍結融解作用を受けたコンクリートのAE発生状況

初期荷重を行っていない供試体の圧縮荷重時におけるAE発生状況の例を凍結融解作用の繰り返しサイクル毎に図-5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 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ の増加に対してのAE発生計数を示したものである。これらの図から、凍結融解作用の繰り返しサイクルが小さい領域では、低応力レベルではAEがほとんど発生せず破

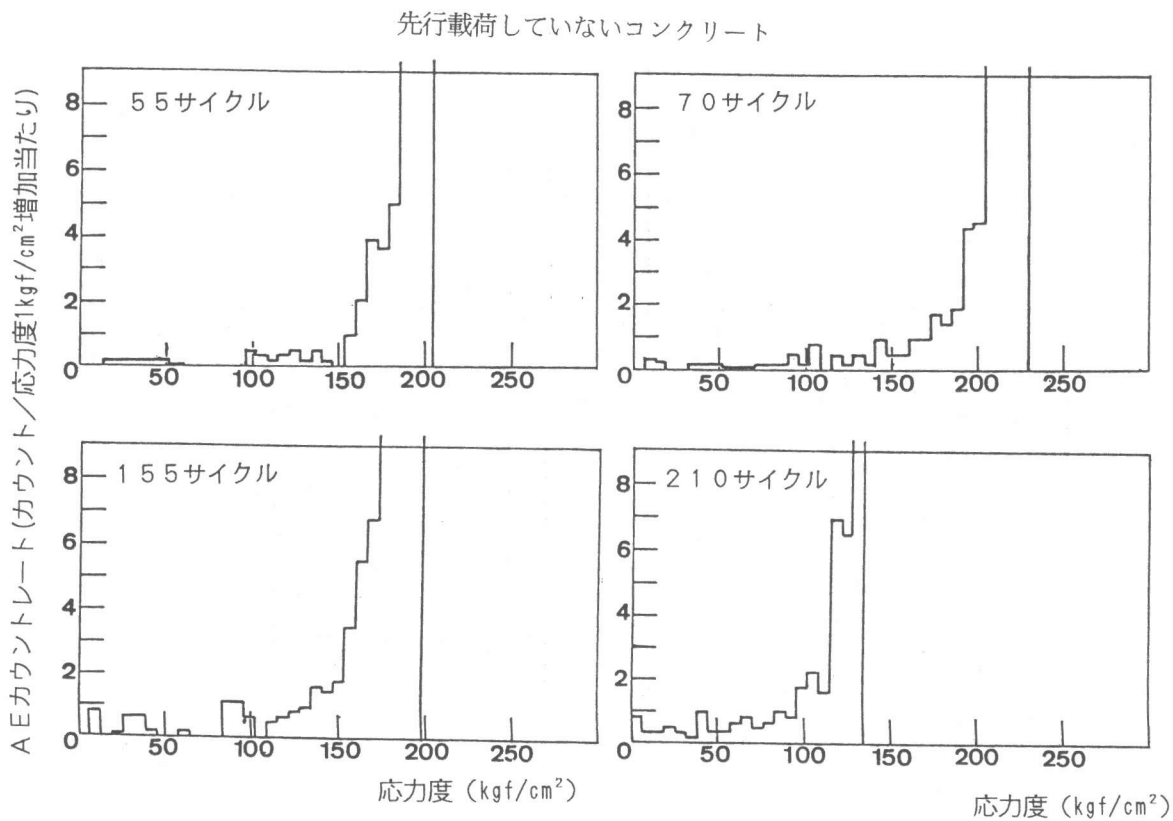


図-5 AE発生状況（初期荷重を受けていない場合）

先行載荷荷重レベル：30%

先行載荷荷重レベル：50%

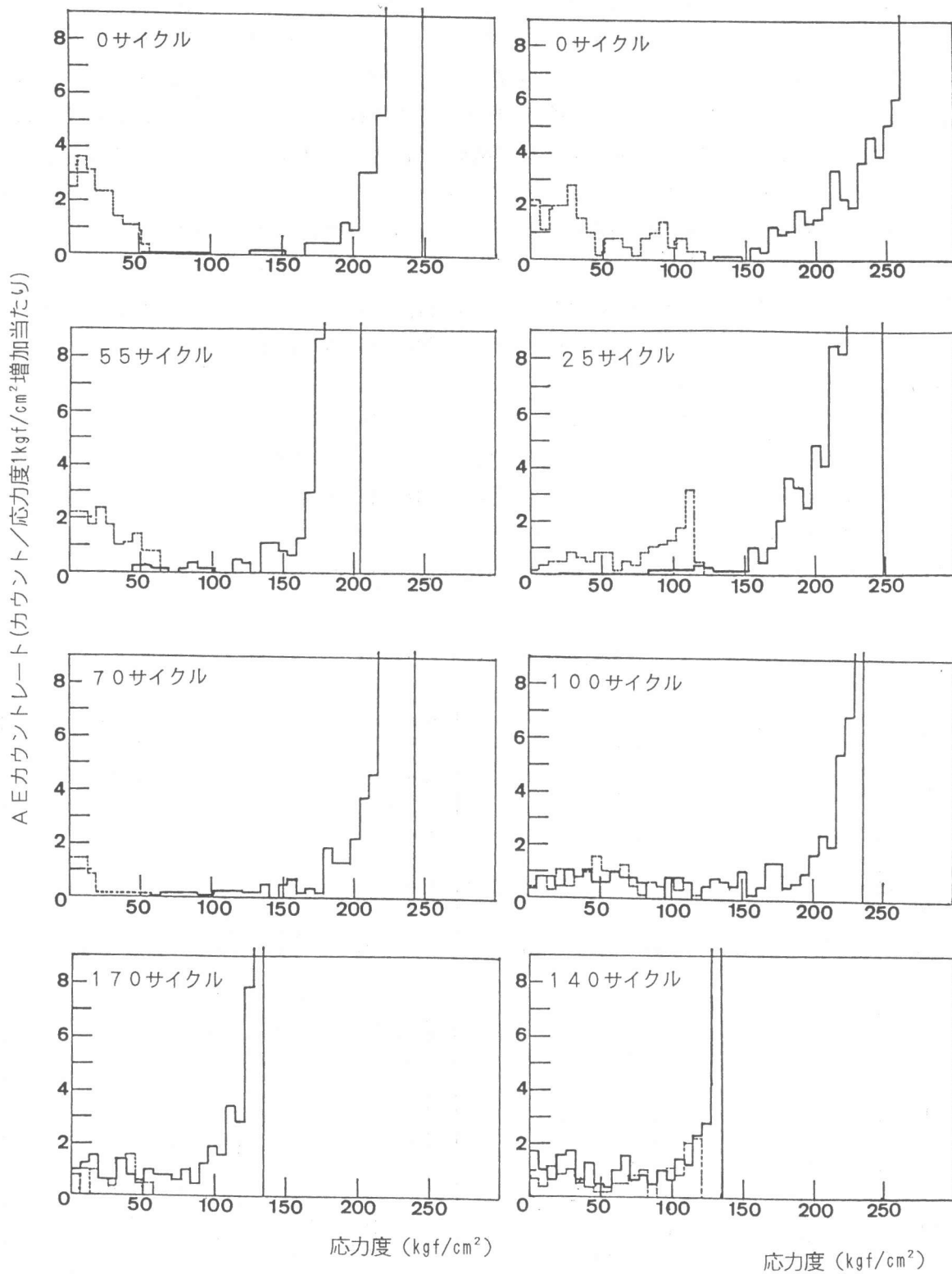


図-6 AE発生状況 (初期載荷を受けた場合)

壊近傍に至って急激にA E発生計数が増加する。一方、繰り返しサイクルが大きくなり、圧縮強度が低下する領域になると、低応力レベルからA Eの発生が認められ、また破壊荷重のかなり手前からA E発生計数の増加が始まるようになる。このような現象は劣化していないコンクリートの場合において従来から認められているコンクリート強度の大小によるA E発生状況の関係に対応している[2]。

### 3. 3 凍結融解作用を受けたコンクリートのカイザー効果特性

凍結融解作用を受ける前に初期荷重を受けた供試体の圧縮荷重試験時のA E発生状況の例を凍結融解作用の繰り返しサイクル毎に図-6に示す。図中の破線は初期荷重におけるA E発生計数を示したものである。まず、繰り返しサイクル数が0の場合、すなわち初期荷重後ただちに再度圧縮荷重した状態では初期荷重履歴領域ではA E発生が見られず、処女領域に入った直後からA Eが発生し始めカイザー効果が明確に認められる。以後凍結融解作用の繰り返しサイクルが増加するにつれて初期荷重履歴領域内でもA E発生が見られるようになる。さらに繰り返しサイクルが増加し、圧縮強度が低下してくるようになると荷重初期の低応力レベルからかなりのA E発生が見られるようになり、初期荷重履歴がわからなくなる。なお、初期荷重履歴を越えて破壊に到る高応力レベルでのA E発生挙動は初期荷重履歴に関係なくほぼ同程度の圧縮強度を有するコンクリートと同様であると見なせる。

さらに具体的にカイザー効果の存在の程度を評価するために次式で与えられる Felicity Ratio(FR)を用いる。

$$\text{Felicity Ratio (FR)} = \text{A E 発生開始応力} / \text{処女荷重時の最大応力}$$

FR値と凍結融解作用の繰り返しサイクル数との関係を図-7に示す。本実験では圧縮荷重試験時におけるノイズの影響でA E発生開始位置の特定が困難な場合が多くばらつきがかなり大きくなっているが、全体的な傾向として以下のことがいえる。すなわち、繰り返しサイクルが50サイクル程度以下で圧縮強度、弾性係数等がほとんど低下していない領域ではFR値はおおむね0.8以上の値を示している。しかし繰り返し回数が50サイクルを越え圧縮強度が低下し始める50~100サイクルあたりからFR値

の低下が顕著となり、最終的には荷重初期からA E発生がみられFR値が0に近づきカイザー効果が全く現れなくなる。また、このFR値の低下は初期荷重レベルが大きいほど速くなる傾向が認められる。このような挙動は初期荷重によって不安定な部分が破壊され応力再分配によって安定した後、凍結融解作用の繰り返しによってコンクリート内に再び不安定な部分が形成されたことを示すものである。また本実験に関する限り凍結融解

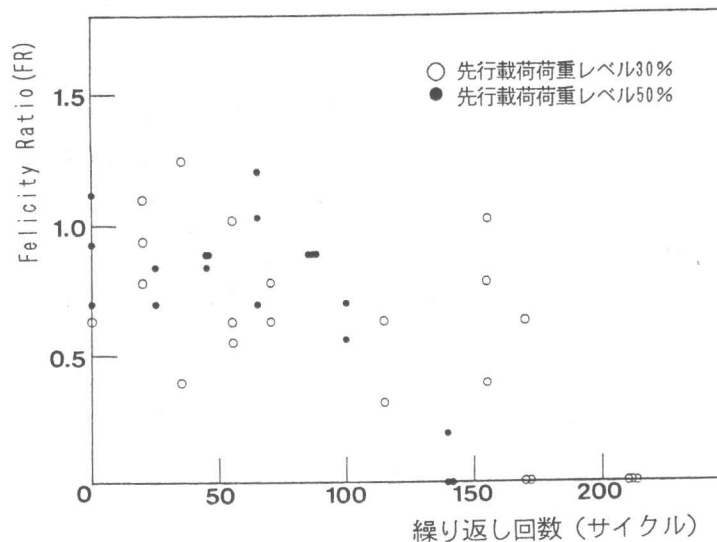


図-7 FR値と凍結融解作用の繰り返し回数の関係

作用の繰り返しによるFR値の低下挙動は静弾性係数の低下挙動と最もよく対応している。

以上のことから、コンクリート実構造物で履歴荷重がおおむねわかっているならばA E発生荷重からコンクリートの劣化程度をある程度推定することが可能であると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究は、圧縮荷試験におけるA E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ことを目的とした一連の研究のうち、凍結融解作用の繰り返しを受けたコンクリートのカイザー効果特性について実験的に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) 凍結融解作用によるコンクリートの劣化は空気量等以外に供試体の形状・寸法等の影響を受ける可能性がある。また、本実験に関する限り凍結融解作用を受ける前に初期荷重を受けた場合、初期荷重の大きさが圧縮強度の30%以下程度であれば凍結融解作用による劣化挙動に影響を与えないが、50%程度になると若干劣化の進行が速くなる傾向が認められる。
- (2) 凍結融解作用の繰り返しサイクルが小さい領域では、低応力レベルでA E発生がほとんど見られないのに対し、繰り返しサイクルが大きくなり圧縮強度が低下する領域になると、低応力レベルからA Eの発生が認められ、また破壊荷重のかなり手前からA E発生計数の増加が始まる。
- (3) 凍結融解の繰り返しサイクルが小さいうちは初期荷重履歴領域ではA E発生がほとんど見られないが、繰り返しサイクルが大きくなるにつれて初期荷重領域内でもA Eが発生するようになり、さらに繰り返しサイクルが増加し圧縮強度が明確に低下する領域になると初期荷重の影響はほとんど認められなくなり、荷重初期からA Eが発生するようになる。
- (4) FR値は凍結融解の繰り返しサイクルの増加に伴い徐々に低下し、コンクリートの圧縮強度が低下し始めるサイクル数あたりから急激に低下する。この低下の状況は静弾性係数の低下挙動ときわめて相関が高い。

#### 参考文献

- 1) 丹羽義次監修，大津政康：A Eの特性と理論，1988.8
- 2) 矢村潔，長井吾朗，”劣化コンクリートのA E特性に関する研究”，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.1，pp.853-858，1993.7
- 3) Ohtsu, M, Kawai, Y and Yuji, S, "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，pp.849-854，1988.6