

## AE 法と損傷力学に基づいた凍結融解劣化コンクリートの定量的損傷評価

熊本大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○磯田俊郎

熊本大学大学院自然科学研究科 学生会員 野口翔

熊本大学大学院自然科学研究科教授 正会員 大津政康

### 1. はじめに

劣化コンクリートの力学的特性の評価は重要な検討項目である。そこで、損傷度評価に有効性を示している AE による手法<sup>1)</sup>を適用した。本研究では凍結融解試験により人工的に劣化させたコンクリート供試体の一軸圧縮試験を行い、AE 発生挙動を近似する AE レートプロセス解析と損傷力学により得られたパラメータを比較・検討することにより、損傷度評価の可能性を検討した。その結果、健全時の力学的特性が不明である場合でも劣化程度を定量的に評価可能であることを明らかにした。

### 2. 解析理論

#### 2.1 AE レートプロセス解析

AE 発生総数  $N$ 、応力レベル  $V$  の AE 発生確率関数を  $f(V)$  とすると、応力レベル  $V$  から  $V+dV$  への応力増分に対し、以下の式を得る。

$$f(V)dV = dN / N \quad (1)$$

式 (1) で得た AE 発生確率関数  $f(V)$  に対し、損傷度の定量化のために、次のような双曲線関数を仮定する。

$$f(V) = a / V + b \quad (2)$$

ここで、 $a$ 、 $b$  は定数である。

式 (1)、(2) より応力レベル  $V$  に対する AE 発生総数  $N$  の関係は以下の式の様に決定できる。

$$N = CV^a \exp(bV) \quad (3)$$

なお、 $C$  は積分定数である。

#### 2.2 ローランドモデル

損傷力学における損傷変数  $\Omega$  は弾性係数の相対的变化として、以下のように定義される。

$$\Omega = 1 - \frac{E}{E^*} \quad (4)$$

ここで、 $E$ ：損傷を受けた材料の有効弾性係数、 $E^*$ ：健全な材料に相当する弾性係数である。

また、損傷変数  $\Omega$  と一軸圧縮下でのひずみとの関係を以下のように仮定している。

$$\Omega = \Omega_0 + A_0 \epsilon^\lambda \quad (5)$$

なお、 $\Omega_0$ ：初期損傷度、 $A_0 \lambda$ ：材料固有の定数

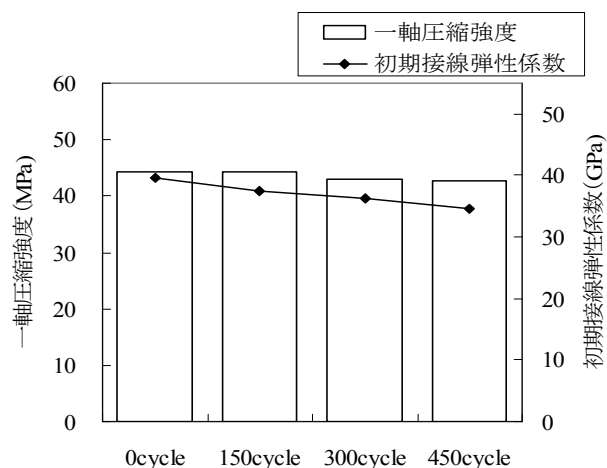
### 3. 実験概要

コンクリート供試体は W/C=55% の普通ポルトランドセメントを使用した角柱供試体 (100×100×400mm) である。そして、凍結融解試験 150cycle ごとに一軸圧縮試験および AE 計測を行った。AE 計測条件は、AE センサは広域帯型 (共振周波数：約 1MHz) であり、周波数帯域は 60kHz-1000kHz、AE センサの出力信号はプリアンプ 40dB、メインアンプ 20dB の計 60dB で増幅した。また、AE の発生数の計測に際して、しきい値は 42dB、デッドタイム (不感時間) は 2msec とした。

### 4. 結果および考察

#### 4.1 力学的特性

図一に一軸圧縮強度と初期接線弾性係数の関係を示す。図中の圧縮強度は 42.7~44.4MPa を示し、サイクル数の増加にともなう低下が確認された。また、初期接線弾性係数は 34.5~39.5GPa を示し、圧縮強度同様にサイクル数の増加にともない低下していることが確認された。なお、初期接線弾性係数は式 (5) に基づいて応力—ひずみ関係を近似することにより決定した。



図一 一軸圧縮強度と初期接線弾性係数の関係

## 4.2 AE レートプロセス解析結果

AE レートプロセス解析結果の例を図-2に示す。0cycle では応力レベルに対応して AE 発生確率関数値は増加しているのに対し、450cycle では载荷初期の段階から発生確率が高く、その後低下していることが分かる。これは式(2)の  $a$  値が、前者では負、後者では正となっていることに対応している。

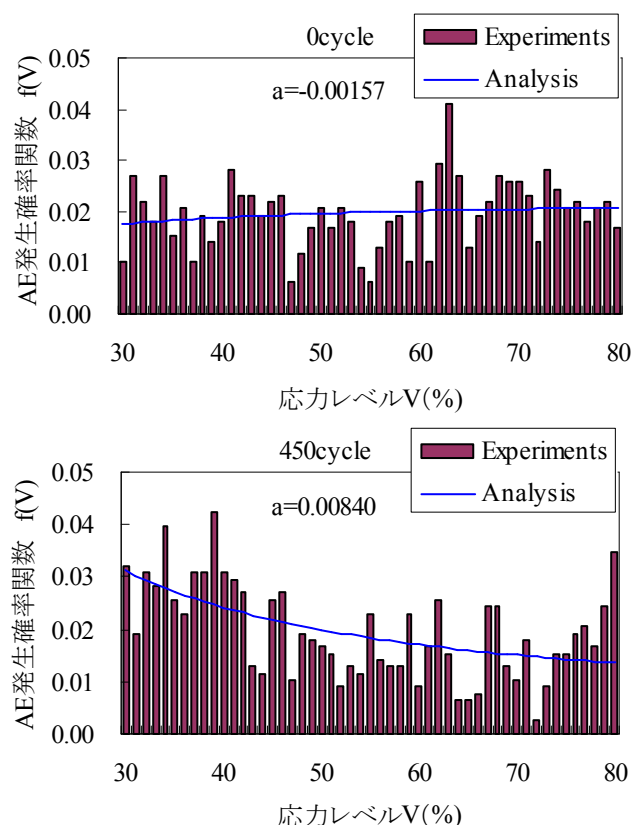


図-2 AE 発生確率関数と応力レベルの関係

## 4.3 データベースの構築に基づく健全時の弾性係数 $E^*$ の推定と相対損傷度評価

初期損傷度  $\Omega_0$  を求める際に、健全時の弾性係数  $E^*$  が必須となる。そこで、健全時弾性係数  $E^*$  を AE 計測結果から推定した。一軸圧縮試験下での初期接線弾性係数  $E_0$  と終局割線弾性係数  $E_c$  により求められる式 (5) の  $\lambda$  値と AE レートプロセス解析値  $a$  値との相関関係及び相関式を図-3 に示す。図より、ばらつきはあまり見られず  $\log_e(\lambda)$  と  $a$  値はよく対応していることが認められる。材料固有の定数  $\lambda$  は式 (4) より

$$\lambda = \frac{E_c}{E_0 - E_c} = \frac{1 - \Omega_c}{\Omega_c - \Omega_0} \quad (6)$$

であり、図-3 中の近似式より、以下の式を得る。

$$\log_e(\lambda) = \log_e\left(\frac{1 - \Omega_c}{\Omega_c - \Omega_0}\right) = aX + Y \quad (7)$$

ここで、 $E_0 = E^*$  のとき、 $\Omega_0 = 0$ 、 $a = 0$  と仮定すると、式 (7) より式 (8) が得られ、健全時の弾性係数  $E^*$  の推定が AE レートプロセス解析により可能となる。

$$E^* = E_c + \frac{E_c}{e^Y} \quad (8)$$

式 (8) より  $E^*$  を推定し、相対損傷度  $E_0/E^*$  として損傷度評価を行った結果を図-4 に示す。ここで、評価値が 1 を上回っていれば健全な状態であり、1 を下回っていれば損傷している状態である。また、実験値として 0cycle の  $E_0$  を  $E^*$  として  $E_0/E^*$  を求めた。図より、サイクル数の増加にともない、評価値が低下していることが確認できる。また、実験値と解析値の一致は良好であり、健全時のコンクリートの力学的特性が不明である場合でも劣化したコンクリートの力学特性の低下程度が AE 計測により推定可能であることが認められた。

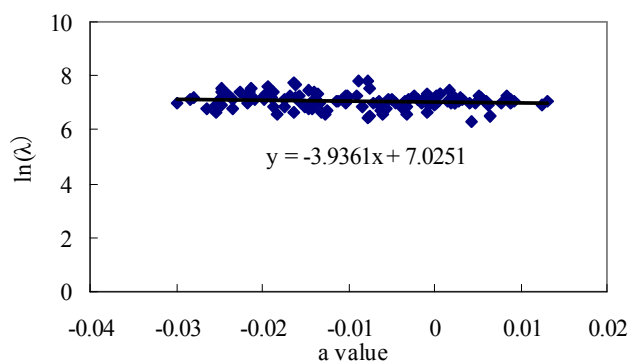


図-3  $a$  値と  $\ln(\lambda)$  の関係

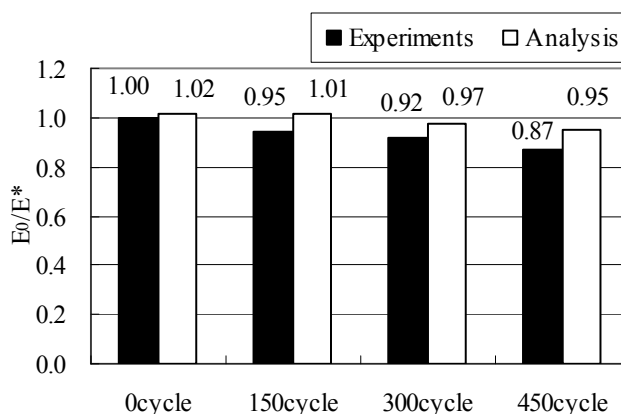


図-4 相対損傷度評価

## 5. 参考文献

- 1) 鈴木哲也、池田幸史、米野現樹、大津政康：データベース構築に基づく AE レートプロセス解析によるコンクリートの定量的損傷度評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.26、No.1、pp1791-1796、2004