

# AE レートプロセス解析を用いた護岸コンクリートのフライアッシュ混和の影響評価

熊本大学 学生会員 ○松田 優希  
西日本技術開発株式会社 正会員 楠 貞則  
熊本大学 フェロー会員 大津 政康

## 1.はじめに

近年、石炭火力発電所からのフライアッシュ発生量は電力需要の増大と共に年々増加しており、コンクリート用混和材としての利用拡大が期待されている。その場合に、フライアッシュを混和したコンクリート構造物の耐久度が問題となる。そこで、フライアッシュを混和したものを含む、護岸工事でのコンクリート堤防から採取されたコアに対して、アコースティック・エミッション(AE)法によるレートプロセス解析<sup>1)</sup>を用いた損傷度評価を行い、フライアッシュ混和によるコンクリート構造物への影響を評価した。

## 2.解析理論

### 2.1 ローランドモデル<sup>2)</sup>

本研究では、損傷力学理論を基に応力-ひずみ曲線を以下の式で近似した。

$$\sigma = E_0 \varepsilon - E^* A_0 \varepsilon^{\lambda+1} \quad (1)$$

ここで、 $E_0$ ：初期弾性係数、 $E^*$ ：健全なコンクリートの弾性係数、 $A_0$ 、 $\lambda$ ：材料固有の定数である。 $E_0$ は応力とひずみの実測値より重回帰分析を行い求めた。

また、 $\lambda$ 値は、以下の式を用いて得ることができる。

$$\lambda = \frac{E_c}{E_0 - E_c} \quad (2)$$

ここで、 $E_c$ ：終局時の弾性係数である。

これにより、一軸圧縮試験により得られる実測値と損傷力学を基に、応力-ひずみ曲線をローランドモデルとして近似することが可能となる。

### 2.2 AE レートプロセス解析

AEの発生総数を $N$ 、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、

$$f(V)dV = dN / N \quad (3)$$

とおき、 $f(V) = a/V + b$ と発生確率関数を双曲線関数で近似し、損傷度を係数 $a$ 値で表現することにすれば、応力レベル $V$ に対するAE発生総数 $N$ の関係は次式で表現できる。

$$N = CV^a \exp(bV) \quad (4)$$

ここで、 $C$ ：積分定数である。

次に、一軸圧縮強度試験下での損傷パラメータ $\lambda$ の式(2)とAEレートプロセス解析値 $a$ の式(4)の相関関係および相関式を図-1に示す。この図は、過去のコンクリートの199サンプルをデータベース<sup>3)</sup>として用いた相関図である。相関係数は0.909であり、 $\lambda$ 値と $a$ 値はよく対応していることが認められた。

図-1中の近似式より、以下の式(5)を得る。

$$\lambda + (a \times 100) = (a \times 100)X + Y \quad (5)$$

ここで、 $E_0 = E^*$ のとき $a=0$ と仮定すると、式(2)および式(5)より、健全時弾性係数 $E^*$ は式(6)のようになる。

$$E^* = E_c + \frac{E_c}{Y} \quad (6)$$

この健全時弾性係数 $E^*$ と、一軸圧縮試験から得られる弾性係数を用いて相対的損傷度の評価を行った。

$$\frac{E_0}{E^*} \quad (7)$$

これにより、損傷度を弾性係数を用いて定量的に評価することが可能となる。

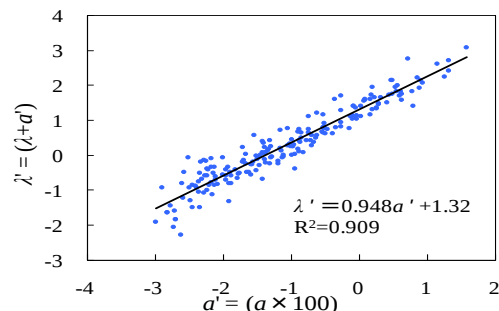


図-1  $\lambda$  値と  $a$  値との関係<sup>3)</sup>

キーワード アコースティック・エミッション、AE レートプロセス解析、フライアッシュ

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 熊本大学 TEL096-342-3542

### 3.実験概要

今回対象とする構造物は、標準の高炉セメント B 種を用いた呼び強度  $18\text{N/mm}^2$  で作製されたもの、それに加え、このコンクリートの配合に対し、フライアッシュを内割りで混入させたものと外割りで混入させたものの 3 種類のコンクリート堤防である。なお、水セメント比は 63.8%，粗骨材最大寸法は 40mm でスランブは 8cm であった。材齢 2 年程度であるこの堤防の表法覆工部分と波返工部分からそれぞれ一つずつ計 6 本のコア供試体を採取し、 $\Phi 100 \times 200\text{mm}$  の円柱供試体とし、一軸圧縮強度試験を行った。一軸圧縮強度試験時、供試体中央部分に AE センサを 2 個接着し、載荷時での AE 検出に用いた。AE 計測条件として、AE センサは広域帯型(共振周波数：約 1MHz)のものを使用し、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 計測に際して、しきい値は 42dB、不感時間は 2ms とした。

### 4.実験結果と評価

表-1 にそれぞれ供試体の重量、圧縮強度( $f_c$ )、初期弾性係数  $E_0$  および AE レートプロセス解析で評価された弾性係数  $E^*$  を示す。また、相対損傷度  $E_0/E^*$  と圧縮強度の関係を図-2 に示す。ここで、表法覆工部分を(下)、波返工部分を(上)と称し、それぞれの供試体を、標準(下)、標準(上)、FA 内割り(下)、FA 内割り(上)、FA 外割り(下)、FA 外割り(上)と表現する。

まず、表-1 と図-2 より、標準供試体に比べ FA 外割り供試体では、圧縮強度の増加が顕著であることが確認できる。しかし、 $E_0/E^*$  による評価において、健全なものは 1.0 あたりを上下することが知られていることから、標準供試体と FA 内割り供試体が損傷している可能性は低いと考えられるが、 $E_0/E^*$  の値が 0.8 を下回る FA 外割り供試体に関しては、損傷している可能性が考えられる。次に、標準供試体に比べ FA 内割り供試体では、圧縮強度がほぼ同程度の値を取っているが、 $E_0/E^*$  の値の増加が顕著であることが確認できる。

また、表法覆工部分と波返工部分を比べると、圧縮強度に関しては、標準供試体と FA 内割り供試体は表法覆工部分の方がやや低下しているが、FA 外割り供試体は波返工部分の方が顕著に低下している結果となった。 $E_0/E^*$  に関しては、全供試体において表法覆工部分の

方が損傷している結果となった。特に、FA 内割り供試体において、波返工部分に比べ表法覆工部分の  $E_0/E^*$  の低下が顕著であった。

これらの結果より、配合に対するフライアッシュの混和の割合により、コンクリート堤防の圧縮強度と損傷度が変化する可能性が示唆された。また、コンクリート堤防において、波返工部分に比べ表法覆工部分の方が、より損傷を受けている可能性があるとして評価することができた。

表-1 各供試体の試験結果

| 供試体      | 重量(kg) | $f_c(\text{N/mm}^2)$ | $E_0(\text{kN/mm}^2)$ | $E^*(\text{kN/mm}^2)$ | $E_0/E^*$ |
|----------|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 標準(下)    | 3.31   | 34.5                 | 30.02                 | 35.96                 | 0.83      |
| 標準(上)    | 2.94   | 36.2                 | 32.17                 | 37.48                 | 0.86      |
| FA内割り(下) | 3.48   | 32.4                 | 33.93                 | 36.08                 | 0.94      |
| FA内割り(上) | 3.34   | 34.3                 | 33.59                 | 30.71                 | 1.09      |
| FA外割り(下) | 3.36   | 60.1                 | 40.00                 | 53.30                 | 0.75      |
| FA外割り(上) | 3.32   | 52.5                 | 42.73                 | 54.06                 | 0.79      |

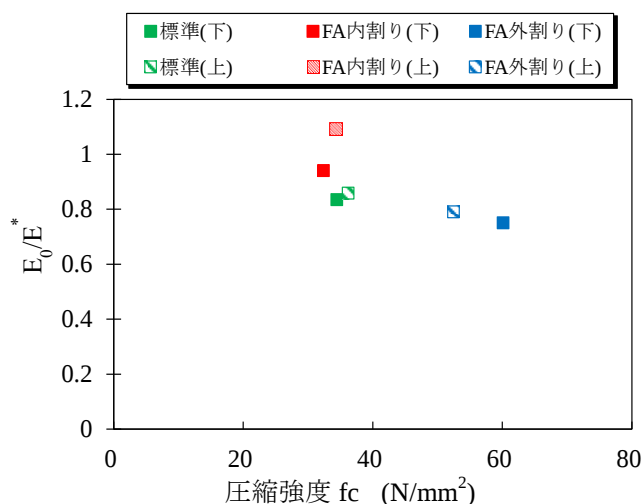


図-2 各供試体の損傷度評価

### 参考文献

- 1) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論（第2版），pp.44-49，森北出版，2005.8
- 2) Shah, S. P., Swartz, S. and Ouyang, C., Fracture Mechanics of Concrete, John Wiley & Sons, pp. 452-459, 1995.
- 3) 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，pp.1791-1796，2004.