

AE法を用いたコンクリートの損傷パラメータ推定に関する実験的研究

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○山岸 俊太郎
 新潟大学自然科学系(農学部) 正会員 鈴木 哲也

1. はじめに

長期間供用されたコンクリート構造物では、各種環境要因によりひび割れ損傷が顕在化する。構造材料の力学特性は、圧縮強度試験などにより評価されることが多いが、一般的にひび割れが顕在化していないコンクリートを対象としており、ひび割れを有するコンクリート損傷の物性評価方法は未だ確立されていない。

本報では、ひび割れを有する損傷コンクリートの物性値を詳細評価した結果について報告する。実験的検討ではAE法を導入した圧縮強度試験を実施し、AE発生挙動と応力-ひずみ挙動の両観点からコンクリートの損傷度を評価した。その際、コンクリート物性をP波速度より評価し、損傷度との関係を考察した。

2. 解析手法

2.1 損傷パラメータλによる力学特性評価

損傷パラメータλは応力-ひずみ曲線の初期接線弾性係数 E_0 と割線弾性係数 E_c の関係(図1)より導出され、式[1]より定義されている。

$$\lambda = \frac{E_c}{E_0 - E_c} \quad [1]$$

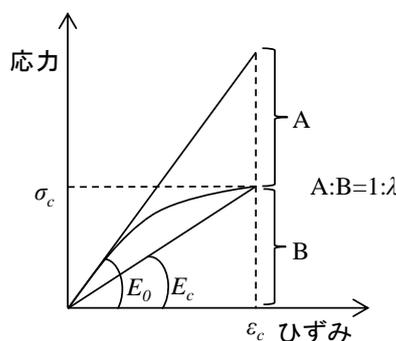


図1 応力-ひずみの関係

2.2 AE発生挙動のモデル化

コンクリートの圧縮応力下におけるAE発生挙動は、確率過程論における定式化が可能である。AEの発生総数を N 、ひずみレベルを ε とし、AE発生確率密度関数を $f(\varepsilon)$ とすると、 ε から $\varepsilon+d\varepsilon$ へのひずみ量の増分に対し、以下の式[2]を導くことができる。

$$f(\varepsilon)d\varepsilon = \frac{dN}{N} \quad [2]$$

AE発生確率密度関数 $f(\varepsilon)$ に対して、次のような指数関数曲線を仮定する。

$$f(\varepsilon) = \alpha \cdot \exp(\beta\varepsilon) \quad [3]$$

ここで、 α と β は定数である。

式[3]で β はひずみレベル ε でのAE発生頻度を反映

し、 β の正負によりAEの発生確率が異なるモデルになっている(図2)。 β が正ならば、ひずみレベルの低い段階でAE発生確率関数が低いことを意味し、コンクリート材料が健全な状態であることが評価できる。 β が負ならば、ひずみレベルの低い段階でAE発生確率関数が高いことを意味し、損傷が進行した材料であると評価することができる。

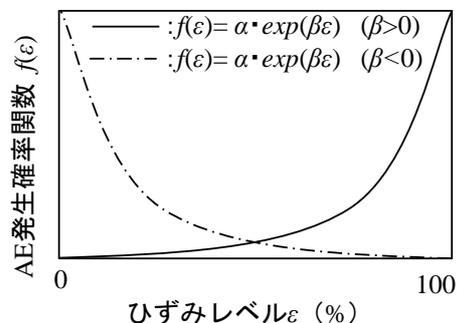


図2 AE発生確率関数 $f(\varepsilon)$ とひずみレベルの関係

3. 圧縮強度試験

実験はAE計測を導入した圧縮強度試験を実施し、供試体の破壊過程に発生するAEを検出した。計測は供試体の側面部にひずみゲージおよびAEセンサを設置して行った。しきい値は42 dBとし、60 dBの増幅を行った。AEセンサは150 kHz共振型センサを用いた。実験に用いた供試体は、水中凍結融解試験により人工的に損傷を与えたコンクリート・コア(モデル試験)67本と損傷を与えていないコンクリート・コア(無損傷サンプルと記す)11本、実構造物より採取したコンクリート・コア37本である。

4. 結果および考察

4. 1 パラメータを用いたコンクリート損傷評価

コンクリート・コアの損傷評価には、 λ 値と β 値の関係からコンクリートを「損傷」、「中間的損傷」、「健全」に区分し評価した (図 3)．損傷は、 $\lambda > 1.129$ かつ $\beta < 0.028$ のコンクリート・コアを示す．健全は、 $\lambda \leq 1.129$ かつ $\beta \geq 0.028$ のコンクリート・コアである．中間的損傷は、評価範囲の損傷と健全の条件に該当しないコンクリート・コアである．健全の評価範囲は、無損傷サンプルを用いて設定した．評価範囲の設定では、コンクリート物性のばらつきを考慮し、 λ および β の正規分布から平均値と標準偏差を用いて決定した¹⁾．検討の結果、損傷と評価されたコンクリート・コアは実構造物であることが確認され、モデル試験は、中間的損傷から健全に評価された (図 4)．

4. 2 P波速度計測によるコンクリートの物性評価

コンクリート・コア 57本を対象にP波速度を計測し、物性値を評価した． λ と β の関係から健全と評価されたコンクリート・コアでは、P波速度 3,632~4,080 m/s (平均値: 3,827 m/s) となり、中間的損傷では 2,079~4,080 m/s (平均値: 3,538 m/s) となった．損傷では 1,680~3,971 m/s (平均値: 3,088 m/s) となり、P波速度の平均値は健全、中間的損傷、損傷の順に高いことが確認された．本研究では、 λ と β による損傷度評価とコンクリート物性 (P波速度) の関係を考察した．検討の結果を図 5 に示す．図 5 では、プロットしたデータ間のP波速度を補完するためクリギング²⁾を行った．同図から評価範囲健全ではP波速度 3,700~4,100 m/s の範囲であるのに対して、評価範囲損傷では 1,700~3,500 m/s の範囲であった．P波速度にばらつきがあるものの、損傷と評価されたコンクリート・コアのP波速度は健全のものと比較して低く、健全から損傷にかけてP波速度の低下が確認された．

5. おわりに

本研究では、圧縮強度試験に AE 計測を導入し、圧縮破壊過程における AE 発生挙動とひずみレベルの関係から評価値 β を算出し、損傷力学における損傷パラメータ λ との関係からコンクリート損傷を評価した．P波速度よりコンクリートの物性値を評価し、損傷度評価との関係を考察した．検討の結果、評価値 λ と β の関係から損傷と評価されたコンクリート・コアは、健全と比較して最大で 2,400 m/s 低下していることが確認され、コンクリート損傷とP波速度との関連が示唆された．

参考文献

- 1) 社団法人 土木学会：2007年度制定 コンクリート標準示方書[設計編：本編]，pp32-33 (2009)
- 2) Hans Wackernagel 著，青木謙治監訳：地球統計学，森北出版株式会社 (2004)

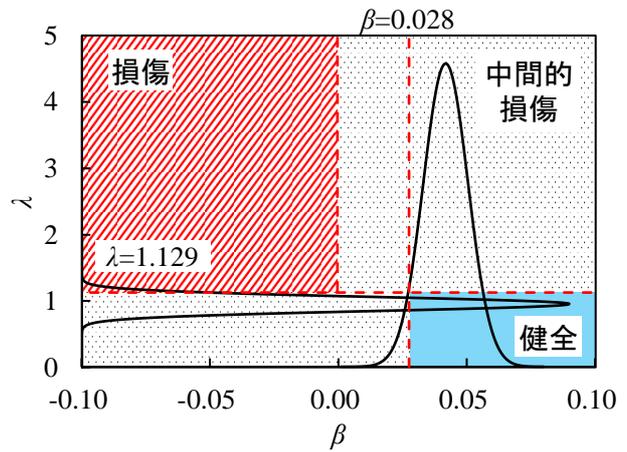


図 3 λ と β の関係

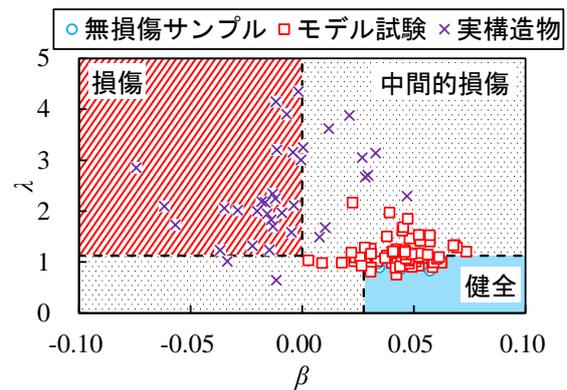


図 4 λ と β の関係

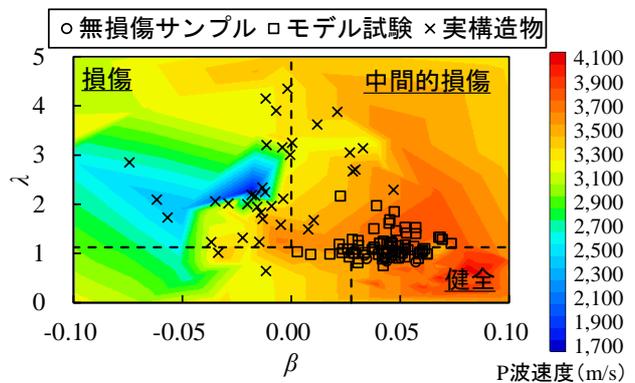


図 5 コンクリート損傷と P 波速度の関係