

コンクリート圧縮挙動の損傷力学に基づいた解析

熊本大学工学部環境システム工学科 学生会員 ○津留和人
 熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程 学生会員 野口 翔
 熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程 非会員 後藤尚貴
 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

コンクリート圧縮挙動を損傷力学に基づいて解析するために、ローランドモデルの適用を研究中である。¹⁾これは、実際のコンクリート・コアによりコンクリートの損傷度を定量的に評価することを目的としている。これには、健全時の弾性係数の推定が必要なため、AEレートプロセス解析の適用を検討中である。そこで、本研究ではローランドモデルによる応力-ひずみ曲線の近似法について詳細に検討した。

2. 解析理論

2.1 ローランドモデル

ローランドモデルにより応力-ひずみ曲線は以下の式で近似される。

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

ここで、 E_0 ：初期接線弾性係数、 E^* ：健全な材料に相当する弾性係数、 A_0 、 λ ：材料固有の定数である。

また、 λ 値および $E^* A_0$ は、以下の式を用いて得ることができる。

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

$$E^* A_0 = \frac{E_0}{\varepsilon_c^\lambda (\lambda + 1)} \quad (3)$$

ここで、 E_c ：終局割線弾性係数、 ε_c ：終局ひずみである。

これにより、一軸圧縮試験により得られる実験値と損傷力学をもとに、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、以下の式を得る。

$$f(V)dV = dN / N \quad (4)$$

式(4)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。

$$f(V) = a/V + b \quad (5)$$

ここで、 a 、 b は定数である。

式(4)、(5)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ように決定できる。

$$N = CV^a \exp(bV) \quad (6)$$

ここで、 C は積分定数である。

3. 応力-ひずみ曲線の近似

本研究では、初期接線弾性係数 E_0 を定量的に応力-ひずみ曲線の接線勾配として求めるために、式(1)のローランドモデルに基づき、応力-ひずみ曲線を以下の式で近似した。

$$\sigma = a_1 \varepsilon + a_2 \varepsilon^{\lambda+1} \quad (7)$$

ここで、 a_1, a_2 はそれぞれ実験定数であり、応力とひずみの実験値より重回帰分析を行うことで求めた。式(7)において、

$$\left. \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=0} = E_0 = a_1 \quad (8)$$

となり、初期接線弾性係数 E_0 の算出が可能となる。

式(7)での近似法によって、 E_0 の値が異なり、そのため λ の値も異なることが明らかになった。そこで、以下の2通りの方法を検討した。

(Pattern 1)

乗数 λ を仮定し、 ± 0.1 、次に ± 0.01 の変動を与え、応力とひずみの実験値の重回帰分析を行い、実験値との相関係数を限りなく 1 に近づけ、 E_0 を決定した。

(Pattern 2)

健全な状態である $\lambda=1$ を初期値とし、重回帰分析を行い算出された E_0 を使って、式(2)より λ を求める。求められた λ に基づき、再び重回帰分析を行い、 E_0 を算出しなおす。これを、 λ の変化が小数点 2 桁まで値が等しくなるまで繰り返す。

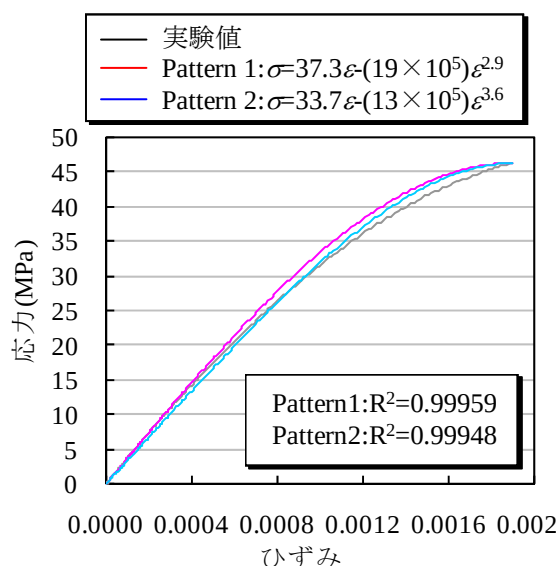


図 1. 応力-ひずみ曲線の比較

4. 考察

4.1 ローランドモデルの比較

(Pattern 1)、(Pattern 2)によって求められた E_0 を用いて、式(2)、(3)よりローランドモデルを求め、その比較を行った。一例を図1に示す。図より、相関係数は(Pattern 1)が 0.99959、(Pattern 2)が 0.99948 と、どちらもよく近似されているが、わずかに違うことが確認できる。また、図 1 中のローランドモデルを表した式でも、違いが認められる。

また、過去 123 サンプルを用いた相関係数の平均は、(Pattern 1)が 0.99990、(Pattern 2)が 0.99992 であり、わずかな相違が確認された。

4.2 割線弾性係数 E_1 との比較

式(8)より算出された初期接線弾性係数 E_0 と、実験値として算出される割線弾性係数 E_1 の比較を図2に示す。図より、(Pattern 1)の方がよく E_1 に対応しており、より実験値を反映した値といえる。近似値として得られる E_0 においては、 E_1 との相関の高い (Pattern 1)の方が、妥当であると考えられる。

4.3 データベースの比較

コンクリートの圧縮特性を示すものとして、AE 発生総数-応力レベル、応力-ひずみ曲線間に相関が見出せれば、AE 法による損傷度評価が可能になると考えられている。損傷パラメータ λ 値と AE レートプロセス解析値 a 値の関係を、過去の 123 サンプルをデータベースとして用い、以下の相関式として表した。

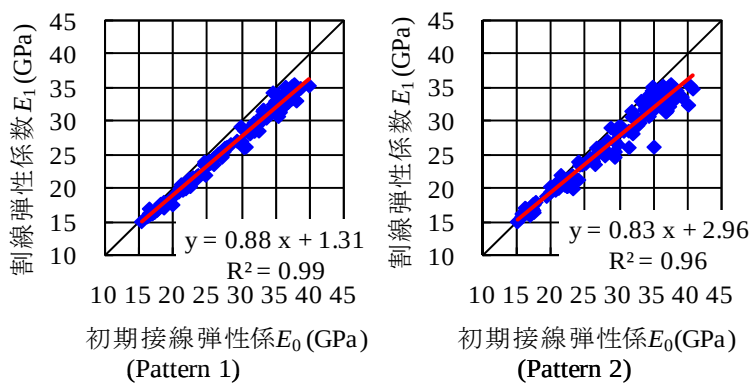
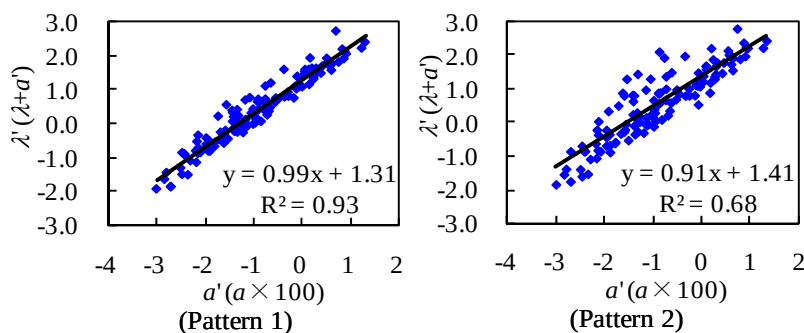
図 2. E_0 と E_1 の比較

図 3. データベースの比較

$$\lambda + (a \times 100) = (a \times 100)X + Y \quad (9)$$

ここで、 $E_0 = E^*$ のとき $a=0$ と仮定すると、式(2)および式(9)より、

$$E^* = E_c + \frac{E_c}{Y} \quad (10)$$

として、健全時弾性係数 E^* を求めることができる。

健全時弾性係数 E^* を求めるために使用するデータベースの作成に際し、 E_0 と λ 値が重要となる。そこで、(Pattern 1)、(Pattern 2)より求めた E_0 、 λ 値を用いて、式(9)を得るためのデータベースをそれぞれ作成し、その比較・検討を行った。それぞれのデータベースを図 3 に示す。図より、相関式の相関係数は(Pattern 1)が 0.93、(Pattern 2)が 0.68 である。損傷パラメータ λ 値と AE レートプロセス解析値 a 値の相関が高いデータベースの方が、信頼性が高いと考えられる。よって、相関の高いデータベースが得られる(Pattern 1)のほうが妥当であると認められた。

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。