

コンクリートの圧縮載荷過程で発生する AE 波のウェーブレット解析による主破壊点推定

新潟大学 学生会員 ○柴野 一真 東京農工大学 正会員 島本 由麻
新潟大学 正会員 鈴木 哲也

1. はじめに

コンクリート材料を用いた社会基盤や農業水利施設では、長期供用による損傷蓄積に伴う耐久性の低下が技術課題となっている。筆者らは各種応力場において発生するアコースティック・エミッション (Acoustic Emission; AE) を指標に損傷度評価を試みている¹⁾。特に圧縮応力場における AE エネルギーの発生実態から損傷度を評価できる可能性を確認している。

本報では、圧縮応力場において検出した AE にウェーブレット解析を施し、波動特性の抽出を試みる。そのことにより、既往研究では十分に明らかにされていない AE エネルギーの検出波特性から主破壊点の推定を試みる。

2. 解析方法

2.1 検討対象

解析対象には、損傷の進行した既設コンクリート道路擁壁より採取したコンクリートコアを用いた。コンクリートコアの圧縮強度は 31.5 N/mm^2 であり、最大ひずみは $1,455 \times 10^{-6}$ およびひずみエネルギーは $30.6 \text{ N} \cdot \text{m}$ である。圧縮載荷過程で検出した AE は 31,107 ヒットである。AE エネルギーの特徴量として、単位ひずみエネルギー (本論では $0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$) において発生した AE エネルギーに対する一連の圧縮載荷過程で発生する総 AE エネルギーの割合で定義される AE エネルギー発生頻度割合 $f_e(U)$ を用いた。なお、AE エネルギーは検出波の最大振幅値の二乗値として評価した。1 ヒット当たりの平均 AE エネルギーを定義した。1 ヒット当たりの平均 AE エネルギーは単位ひずみエネルギーにおける AE エネルギーの総和を単位ひずみエネルギーにおける AE ヒット数の総和で除した値である。

2.2 ウェーブレット変換による検出波の特徴量

検出した AE は、ウェーブレット変換を用いて、

検出波の周波数特性を検討した。時間 t における関数 $f(t)$ のウェーブレット変換は次式で定義される²⁾。

$$W_{\psi}f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\psi^{(a,b)}(t)} f(t) dt \quad (1)$$

$$\psi^{(a,b)}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

ここで、 $\overline{\psi^{(a,b)}(t)}$ は $\psi^{(a,b)}(t)$ の複素共役、 a はスケールパラメータ、 b はシフトパラメータである。解析では、ガボール (Gabor) ウェーブレットを用いた (式 (3))。

$$\psi(t) = \frac{1}{2\sigma\sqrt{\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} e^{-it} \quad (3)$$

ここで $\sigma=10$ とした。ウェーブレット変換によるスカログラムから、重心時間および重心周波数を定義した。時間周波数平面上の時間窓 1,024、周波数窓 160 か所の信号強度における時間座標の加重平均値を重心時間、周波数座標の加重平均値を重心周波数とした。

3. 結果および考察

Fig. 1 にひずみエネルギー U 、AE エネルギー発生頻度割合 $f_e(U)$ および 1 ヒット当たりの平均 AE エネルギーの関係を示す。本論では $f_e(U)$ が 0.1 (Fig. 1 中の点線) を上回った 4 回の AE エネルギー放出を載荷初期、中期および終期の 3 種類に分類し、それぞれ (I)、(II) および (III) とした。AE ヒット数は、(I) では 10,302 ヒット、(II) では 246 ヒット、(III) では 2,446 ヒットであった。1 ヒット当たりの平均 AE エネルギーは (I) では $8.7 \times 10^{-3} \text{ V}^2$ 、(II) では 0.44 V^2 、(III) では 0.13 V^2 であった。(I) と (II) では AE の規模と頻度が異なり、

キーワード コンクリート、ウェーブレット解析、Acoustic Emission (AE)、AE エネルギー

連絡先 〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 新潟大学農学部

TEL : 070-4149-0148 E-mail : a18n033f@mail.cc.niigata-u.ac.jp

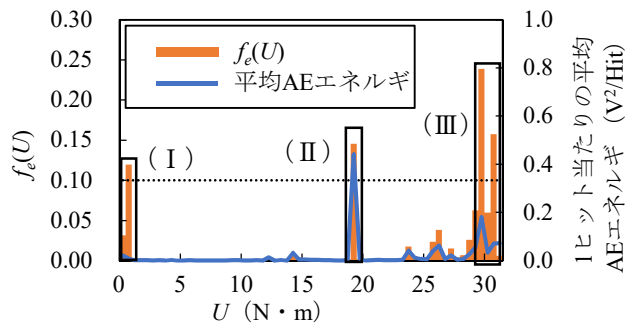


Fig. 1 AE エネルギー発生頻度割合 $f_e(U)$ と平均 AE エネルギーの関係

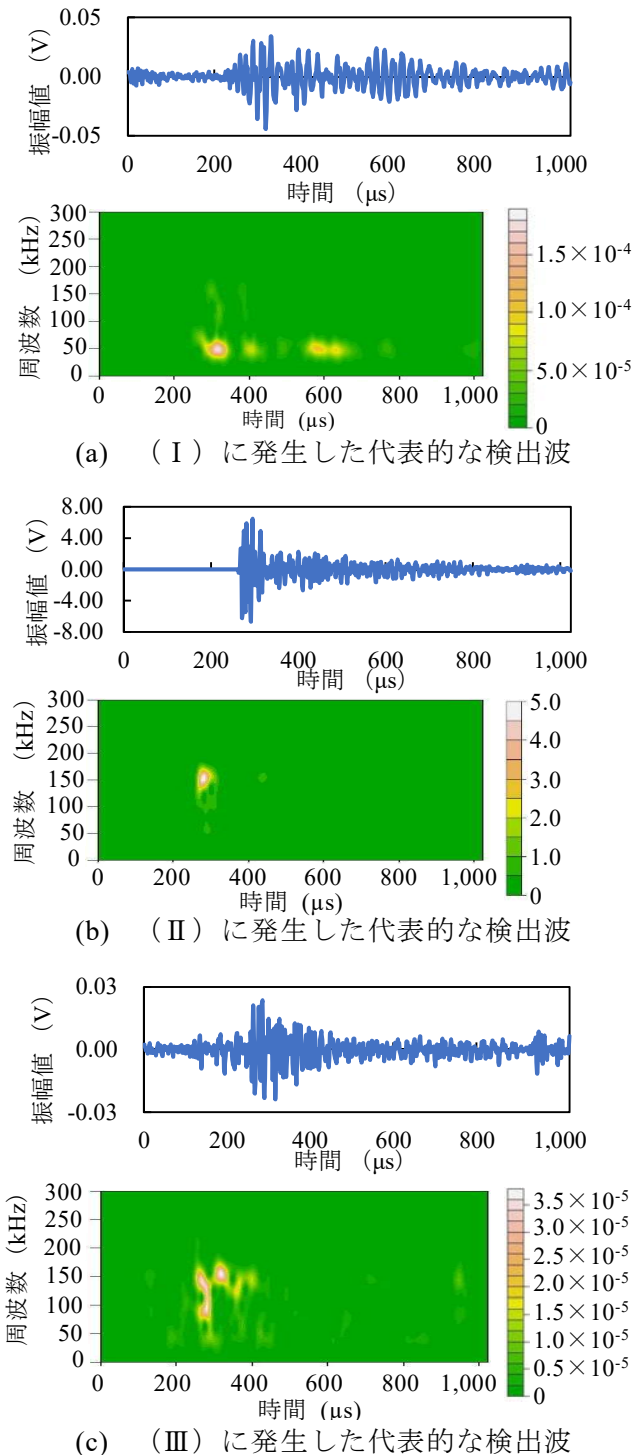


Fig. 2 圧縮荷重過程の検出波の時刻歴波形図とスカログラム

破壊挙動も異なることが示唆された。(III)は 25 N・m 近傍から継続して AE エネルギーが検出されたことから、(II)での大規模な破壊が誘発した AE 発生であると考えられる。本サンプルでは最大応力よりも以前に AE 指標の観点から主破壊となっていたと推察される。

Fig. 2(a), (b)および(c)はそれぞれ (I), (II) および (III) で発生した検出波の時刻歴波形図とスカログラムを示す。右のカラーバーは信号強度である。Fig. 2(a)より、検出波の不明瞭な立ち上がりとその時間帯から 50 kHz 近傍の周波数帯域で連続的に信号が発生していた。Fig. 2(b)より、検出波の急激な立ち上がりとしち上りの時間に約 150 kHz の周波数帯域で信号が確認された。Fig. 2(c)より、検出波の不明瞭な立ち上がりとしち上りの時間に 250~400 μs に 50~180 kHz の周波数帯域の信号が確認された。検出波の特徴量である平均重心周波数と平均重心時間はそれぞれ (I) では 84 kHz, 460 μs, (II) では 117 kHz, 435 μs および (III) では 108 kHz, 472 μs であった。

以上より、検出波の時間周波数の信号強度分布と AE エネルギーは圧縮荷重過程の破壊挙動に影響を受けると推察される。本サンプルは、圧縮強度 31.5 N/mm² であるが、AE エネルギー指標からその 84 %の 26.4 N/mm² (Fig. 1 (II)) が主破壊点であると推定され、損傷の進行が示唆された。

4. おわりに

本報では、コンクリートコアの圧縮荷重過程で発生した AE にウェーブレット解析を行い、検出波特性を評価した。検討の結果、荷重過程に応じた AE 波の特徴から、コンクリート損傷の定量評価が可能であることが示唆された。

引用文献

- 1) Suzuki, T., Nishimura, S., Shimamoto, Y., Shiotani, T. and Ohtsu, M. (2020): Damage estimation of concrete canal due to freeze and thawed effects by acoustic emission and X-ray CT methods, *Construction and Building materials*, 245, 118343.
- 2) 榎原 進 (1995): 数理科学セミナー ウェーブレットビギナーズガイド, 東京電機大学出版局, 17-23.