

圧縮応力場の Acoustic Emission の周波数特性に基づく コンクリートの損傷度評価に関する研究

Use of Acoustic Emission Frequency for Damage Evaluation in Compressive Stress Field

○向井萌華*・柴野一真*・Nadezhda MOROZOVA*・鈴木哲也**

○Moeka MUKAI*, Kazuma SHIBANO*, Nadezhda MOROZOVA* and Tetsuya SUZUKI**

1. はじめに

コンクリート材料を用いた農業水利施設では、損傷蓄積に伴う耐久性能の低下に対する定量的評価法の開発が技術課題である。筆者らは圧縮応力場における AE エネルギートレンドに 2 つの変曲点を持つダブルロジスティック関数を適用することで、ひび割れ進展段階の同定が可能であることを明らかにした¹⁾。その際、同定されたひび割れ進展段階の特徴量に基づき、損傷度評価が可能であることが示唆された。課題として、極度に損傷が進行したコンクリートコアでは明確なひび割れ進展段階を AE エネルギートレンドのみで同定することは難しいことが挙げられる。

そこで、AE エネルギーに加え、周波数特性から損傷度によるひび割れ進展段階の違いを明らかにすることを試みた。本研究では、ひび割れが顕在化したコンクリートと実験室で打設したコンクリートを対象に圧縮応力場のひび割れ進展段階をダブルロジスティック解析により同定した。同定した進展段階における重心周波数の推移を比較することで損傷度評価を試みた。

2. 実験・解析方法

2.1. 供試体

竣工後 50 年が経過した RC 構造の排水樋門から採取したコンクリートコア（以下、損傷サンプルと記す）と実験室で打設した無損傷サンプルを用いた。X 線 CT 法によるひび割れと空隙の面積率の平均値は無損

傷サンプルで 1.35 %、損傷サンプルで 3.99 %であった。

2.2. ダブルロジスティック関数による AE エネルギー発生トレンドの推定

コンクリートの圧縮応力場における AE エネルギーの発生トレンドは、ひび割れ進展段階と密接に関連している。ひずみエネルギーと累計 AE エネルギー発生頻度割合 $F_e(U)$ を変数としてダブルロジスティック関数で近似し、6 つのパラメータを抽出する。式

(1) にダブルロジスティック関数、Fig. 1 に圧縮応力場におけるひび割れ挙動と $F_e(U)$ および周波数の関係を示す。ここで、 m および m' は第一、二変曲点のひずみエネルギー、 r および r' は各変曲点における傾き、 p は第一変曲点が占める $F_e(U)$ の割合、 γ は

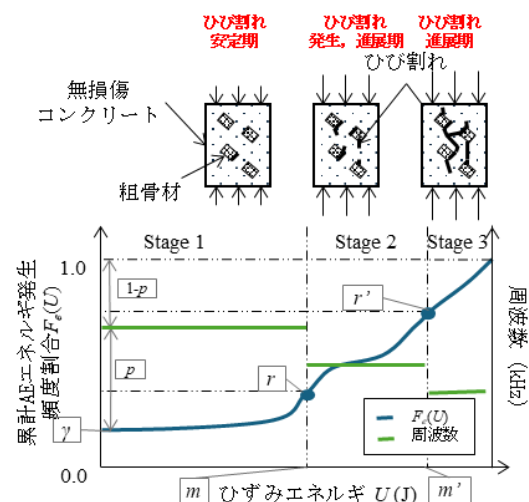


Fig. 1 圧縮応力場におけるひび割れ挙動、 $F_e(U)$ および周波数の関係
Relationship between crack behavior, $F_e(U)$ and frequency in compressive stress field.

* 新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

** 新潟大学自然科学系（農学部） Institute of Agriculture, Niigata University

キーワード：コンクリート，Acoustic Emission，AE ダブルロジスティック解析，損傷度評価，周波数

初期 AE エネルギー放出率を示す。

$$F_e(U) = \gamma + (1 - \gamma) \left[\frac{p}{1 + e^{r(m-U)}} + \frac{1-p}{1 + e^{r'(m'-U)}} \right] \quad (1)$$

Stage 1 ($0 < U \leq m$) はひび割れ安定期, Stage 2 ($m < U \leq m'$) はひび割れの発生から進展段階, Stage 3 ($m' < U$) はひび割れ進展期と考えられ, 既往研究より検出波の周波数はひび割れ進展に対応して低下することが明らかになっている²⁾. 本研究では, 重心周波数 (C-FRQ) をもとに損傷度の異なる 2 つのサンプルのひび割れ進展段階を推定した。

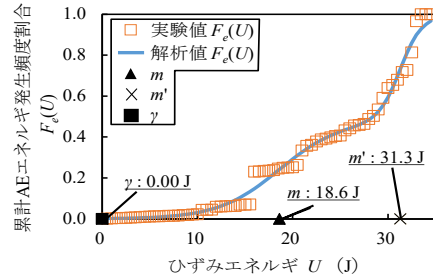
3. 結果および考察

ダブルロジスティック関数による AE エネルギートレンドの推定結果を Fig. 2 に示す. 無損傷サンプルでは, 変曲点 m , m' 付近で $F_e(U)$ が急激に上昇しているのに対し, 損傷サンプルは上昇がなだらかであった. ひび割れ進展段階と AE エネルギー挙動が密接に関係していることから, 損傷サンプルは無損傷サンプルと比較して, ひび割れ進展段階が明確でないことが示唆された。

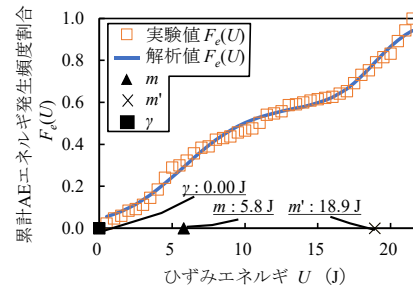
Fig. 3 に各 Stage の C-FRQ 平均値を箱ひげ図として示す. 無損傷サンプルでは, Stage 1 から Stage 3 にかけて徐々に周波数が低下する傾向にあった. 損傷サンプルでは Stage 1 において四分位範囲が 117.6 ~ 130.3 kHz であり, 無損傷サンプルの Stage 2 および Stage 3 における四分位範囲と同程度の値を示した. 損傷サンプルは Stage 1 から Stage 3 にかけて大きな変動は確認されなかった. C-FRQ の推移より損傷サンプルにおける Stage 1 のひび割れ進展段階は無損傷サンプルの Stage 2 および Stage 3 におけるひび割れ進展段階と同一であることが示唆された。

4. おわりに

本研究では, 極度に損傷が進行したコンクリートコアと実験室で打設したコンクリートを対象に圧縮応力場の AE エネルギー



(a) 無損傷サンプル



(b) 損傷サンプル

Fig. 2 AE ダブルロジスティック解析結果
AE double logistic analysis results.

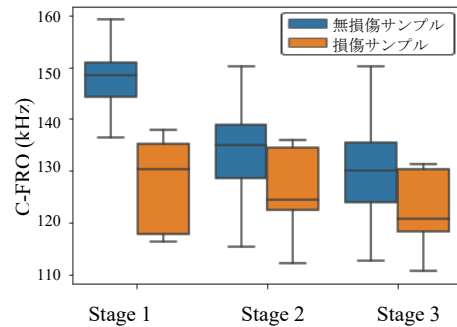


Fig. 3 重心周波数の変化

Change of C-FRQ.

トレンドをダブルロジスティック関数により推定した. その結果, 無損傷サンプルと損傷サンプルの C-FRQ の推移の比較から, 損傷サンプルの Stage 1 は無損傷サンプルの Stage 2 および Stage 3 と同様のひび割れ進展段階にあることが示唆された. コンクリートコアの損傷度評価における周波数指標の有用性が示唆された。

引用文献

- 1) 柴野一真他 (2023): AE ダブルロジスティック解析によるコンクリートコアの損傷度評価に関する実験的研究, 農業農村工学会論文集, **91** (1), 111-121
- 2) Wang, Z., Ning, J. and Ren, H. (2018) : Frequency characteristics of the released stress wave by propagating cracks in brittle materials, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, **96**, 72-82.