

圧縮応力場に発生する AE のワイブル解析によるコンクリート損傷度評価

日本サミコン株式会社 非会員 ○ 飯塚一成

日本サミコン株式会社 非会員 西田浩之

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 柴野一真

新潟大学自然科学系（農学部） 正会員 鈴木哲也

1. はじめに

コンクリートに発達したひび割れは、各種応力場において AE（Acoustic Emission）を発生させる。本報では、圧縮応力場に発生する AE を指標にコンクリート損傷度を定量評価した結果を報告する。検出した AE パラメータは、ワイブル解析により特徴量を抽出した。

2. AE 計測を導入した圧縮強度試験

対象のコンクリート構造物は 1972 年竣工の道路擁壁である。採取した 8 本のコンクリートコアを対象にした圧縮強度試験では、ひび割れ挙動を検出するため Acoustic Emission（AE）計測を導入した。AE 計測装置は SAMOS（PAC 社製）である。コンクリートコアの側面部に 150 kHz 共振型 AE センサを設置した。荷重はロードセルにより記録し、ひずみは円周方向および軸方向のひずみゲージにより測定した。AE の計測条件として、増幅値は合計 60 dB、検出波の周波数は 5~400 kHz、閾値は 42 dB およびサンプリング周波数は 1 MHz とした。

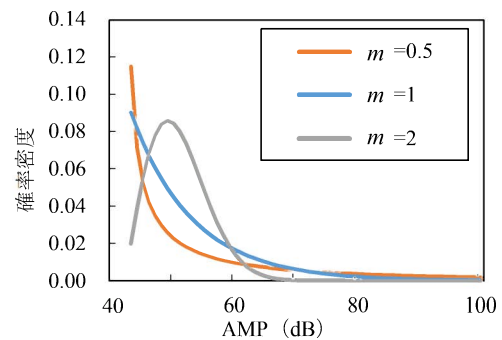
3. AE パラメータのワイブル分布に基づくコンクリート損傷度評価

脆性材料が多くの微小要素から構成されていると考えると、コンクリートの破壊確率分布はワイブル分布に従う。

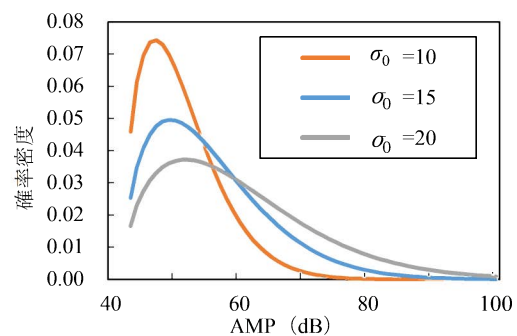
試験片が n 個の要素からなり、試験片の強度は個々の要素の強度分布 $G(\sigma)$ に従うとすると、試験片が破壊しない確率 $1-F(\sigma)$ は、以下の式となる。

$$\begin{aligned} 1-F(\sigma) &= \{1-G(\sigma)\}^n \\ &= \exp[1-G(\sigma)^n] \quad (G(\sigma) \ll 1 \text{ のとき}) \\ &\approx \exp(-nG(\sigma)) \end{aligned} \quad (1)$$

強度分布として、 $G(\sigma) \propto (\sigma - \sigma_n)^m$ と仮定したもの



(a) 形状母数による比較



(b) 尺度母数による比較

図-1 ワイブル分布の確率密度関数

が、三母数のワイブル分布であり、破壊確率分布は以下の式となる。

$$F(\sigma) = \begin{cases} 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\sigma - \sigma_n}{\sigma_0}\right)^m\right\} & (\sigma \geq \sigma_n) \\ 0 & (\sigma < \sigma_n) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 m は形状母数、 σ_0 は尺度母数、 σ_n は位置母数である。

二母数のワイブル分布に関してワイブルパラメータはワイブルプロットの傾きと切片から求めた。本解析における破壊確率 F_i の推定手法として、メジアンランク法を用いた。ランク法とは、 n 個の実験値を小さい順に並べその順序数を用いて、破壊確率を推定する方法である。本解析では、载荷初期（ひずみ 0~100 μ ）における AE パラメータの AMP および A-FRQ を用いてワイブルパラメータの推定を行った。

ここで低ひずみレベルの AE を対象にした理由は、
 載荷初期の AE エネルギー放出率が損傷と密接に関係
 しているためである²⁾。損傷が進行したサンプルほ
 ど初期 AE エネルギー放出率は大きくなる。得られた
 ワイブルパラメータと初期 AE エネルギー放出率の関
 係より、損傷度を評価した。

4. 結果および考察

図-2 にひずみ 0~100 μ における AE パラメータの
 ワイブル解析結果と初期 AE エネルギー放出率の関係
 を示す。ワイブルパラメータの形状母数においては、
 初期 AE エネルギー放出率との間に A-FRQ および AMP
 において相関が確認されなかった。形状母数は分布
 のばらつきの表す。A-FRQ および AMP の形状母数
 はすべてのサンプルで 1 を上回っており、図-1 (a) の
 $m=2$ に該当するピークを持つ分布となった。形状が
 異なるばらつきが確認されなかったことから、相関
 が確認されなかったと考えられる。尺度母数と初期
 AE エネルギー放出率の間には、AMP および A-FRQ に
 おいて 5%水準で相関が確認された(図-2 (a), (b))。

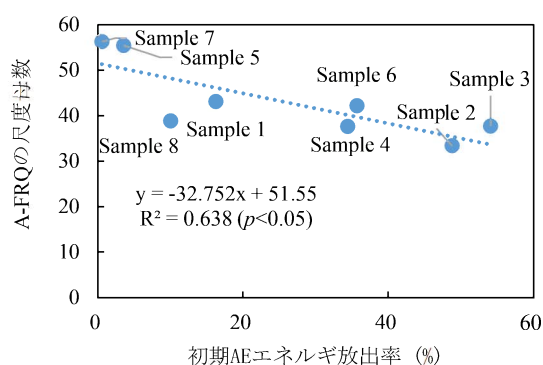
図-3 (a)で示されるように、損傷が進行した(初期 AE
 エネルギー放出率が大きい) Sample 3 では、0~100 kHz
 の周波数帯が高い割合で確認され、無損傷の Sample
 7 では、100~150 kHz の周波数帯域が確認された。図
 -3 (b)で示されるように、損傷サンプルでは 60~80 dB
 の AMP が検出され、無損傷サンプルでは確認されな
 かった。

5. おわりに

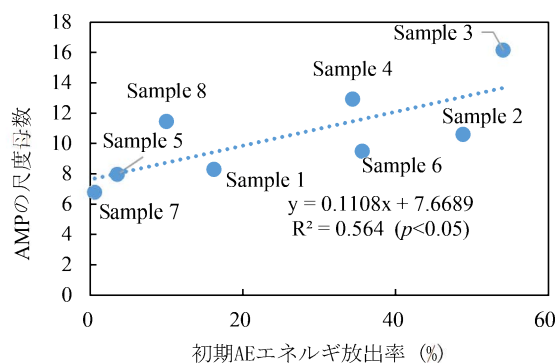
本研究では、低ひずみレベルでの AE パラメータ
 のワイブルパラメータにより損傷を評価した。その
 結果、尺度母数と初期 AE エネルギー放出率に相関が
 確認された。

参考文献

- 1) 榎学：マテリアルの力学的信頼性，内田老鶴圃，
pp. 71-79, 2006.
- 2) Suzuki, T., Nishimura, S., Shimamoto, Y., Shiotani, T.,
and Ohtsu, M.: 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, 2020.

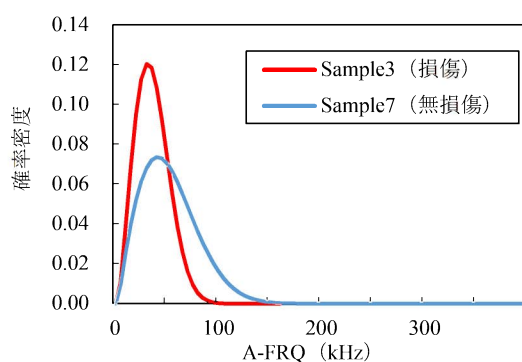


(a) A-FRQ の尺度母数

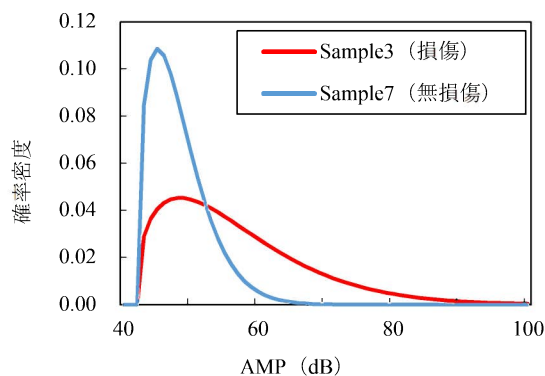


(b) AMP の尺度母数

図-2 ひずみ 0~100 μ における AE パラメータのワイブル
 解析結果と初期 AE エネルギー放出率の関係



(a) A-FRQ



(b) AMP

図-3 ひずみ 0~100 μ における AE パラメータのワイブル
 分布