

圧縮疲労破壊するコンクリートの AE 発生挙動に関する実験的研究

東京工業大学大学院 学生員 久保 陽平
 東京工業大学大学院 学生員 渡辺 健
 東京工業大学大学院 フェロー 二羽 淳一郎

1. はじめに

コンクリートの疲労は、静的破壊荷重よりも小さい荷重が繰返し作用することで、コンクリート内部に微細ひび割れが発生し、そのひび割れの進展・連結に伴い、コンクリートが損傷する現象である。ひび割れの発生に伴い、コンクリート内部から AE（アコースティック・エミッション）が生じる。AE 法は、この AE を検出することで、コンクリートの損傷程度を評価する手法である。本研究は、コンクリートの圧縮疲労試験の際に、AE 法を適用して、コンクリートの疲労性状を AE 発生挙動（発生頻度、波形の特徴）に基づいて定量的に評価することを目的としている。

2. 試験の概要

圧縮疲労試験には、直径 100 mm、高さ 200 mm の円柱供試体を用いた。水セメント比は 0.5、粗骨材の最大寸法は 20 mm とした。疲労試験時のコンクリートの圧縮強度 f'_c は 50.4 N/mm^2 であった。疲労載荷条件は、作用応力の最小値 σ_{min} を $0.1 f'_c$ で一定とし、最大値 σ_{max} を $0.80 f'_c$ ならびに $0.85 f'_c$ の 2 水準とした。なお、ノイズによる AE の測定結果への影響を防ぐため、供試体両端部に減摩パッドを挿入した。疲労試験から、供試体数 4 体の実験結果を得た。

図 1 に、圧縮疲労試験の概要を示す。荷重 - 変位曲線を測定し、曲線下の面積から供試体のひずみエネルギー

吸収量を算出した。鉛直方向および水平方向のひずみを測定し、体積ひずみを算出した。AE は、供試体高さ中央部に 150 kHz 共振型センサを 2 台設置し、しきい値は 65 dB およびカウント数 2 以上、増幅度は 60 dB とし計測した。

3. 試験結果

3.1 コンクリートの疲労と AE

図 2 に、コンクリートの疲労と AE の関係を示す。 N_f 回の疲労荷重が作用し、ひび割れが蓄積され疲労破壊した供試体のひずみエネルギー吸収量は、ひび割れ形成に伴い発生した AE エネルギーと相関があると考えられる。図 3 に、各供試体において、疲労破壊までの載荷回数 N_f と、試験中に計測された AE エネルギーの累積値およびひずみエネルギー吸収量の関係を示す。 N_f の増加に比例して、各測定値も増加していた。累積 AE エネルギーおよびひずみエネルギー吸収量の増加は、供試体内部に形成されたひび割れ面積が増加したことによると考えられるので、 N_f とひび割れ面積の間にも相関があると推測できる。以上、図 2 に示した各測定値の関係を確認することができたことから、AE 法を用いてコンクリートの疲労性状を評価することの可能性が示された。

3.2 AE 法による疲労進行評価および疲労破壊の予測

図 4 に、疲労進行に伴う AE 発生頻度および体積ひず

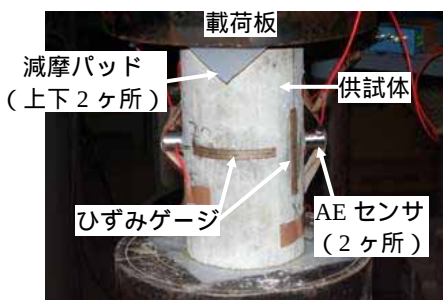


図 1 圧縮疲労試験の概要

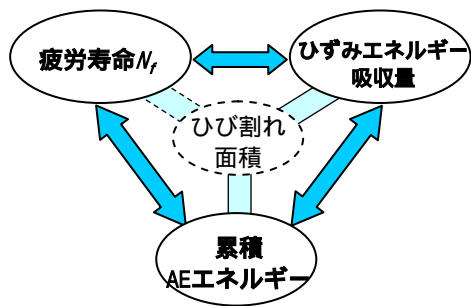


図 2 コンクリートの疲労と AE

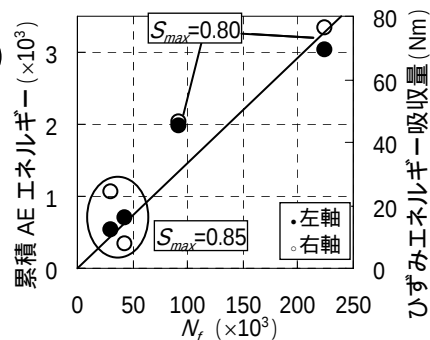


図 3 各測定値の相関

キーワード：AE（アコースティック・エミッション）、疲労

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-M1-17 TEL03-5734-2584 FAX03-5734-3577

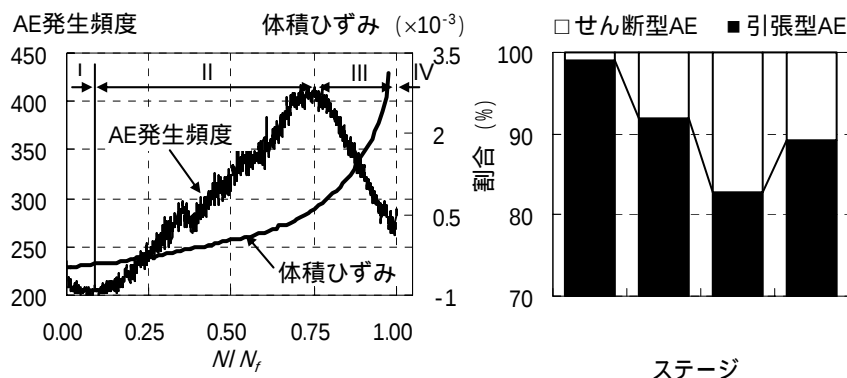


図4 疲労進行に伴う
AE発生頻度の変化

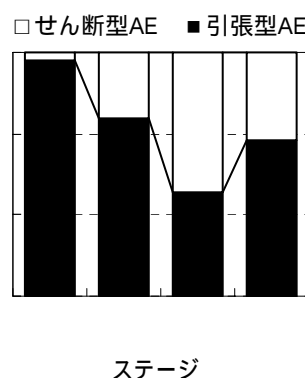


図5 AE種類の識別

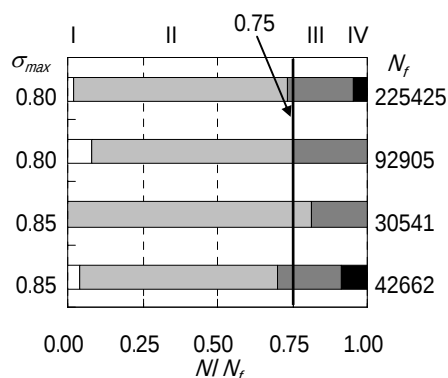


図6 各ステージの N/N_f

みの変化を示す。 N/N_f は、载荷回数 N を N_f で除した値で、AE発生頻度は、20秒間ごとのAEヒット数を示したものである。AE発生頻度の変化に着目することで、疲労進行過程をステージI～IVに大別した。各ステージの特徴として、ステージIは载荷開始から急激な減少傾向、ステージIIは単調増加傾向、ステージIIIは急激な減少傾向、ステージIVは疲労破壊直前における急激な増加傾向が挙げられる。AE発生頻度の変化から、疲労荷重を受けるコンクリート供試体がどのステージにあるか、簡易に識別できることがわかる。さらに、AE波形の特徴を調べるため、各ステージで発生するAEを、引張型AEおよびせん断型AEの2種類に識別した。図5に、AE種類の識別を示す。AEの識別は、Uchidaら¹⁾の提案を参考に、RA値(=立ち上がり時間/最大振幅値)および平均周波数(=カウント数/継続時間)を用いて行った。図5から、ステージが進むにつれ、せん断型AEの割合が増加することがわかる。ステージIVにおいて引張型AEの割合が増加したのは、脆性的な疲労破壊に至る際に、ひび割れが進展・連結したためであると予想される。

AEの発生頻度および波形の特徴に着目し、各ステージにおける損傷進行の特徴を考察する。ステージIでのAE発生頻度の減少は、カイザー効果により、AEイベント数が減少したものと考えられる。ステージIIでのAE発生頻度の増加は、供試体内部における微細ひび割れが発生・進展し、あるいは複数の微細ひび割れの連結が進むことにより、次第にカイザー効果が消失することを表している。ステージIIIでは、体積ひずみの急増期とステージIIIへの移行期がほぼ同一であることがわかる。供試体内部に存在するひび割れが進展・連結

して体積が膨張したことから、AEがひび割れに遮られセンサに到達できない、あるいはAEが減衰し振幅値がしきい値を下回り、センサに到達しても検出されないため、AE発生頻度が減少したと考えられる。また、既存のひび割れ面間での摩擦に起因するせん断型AEの割合が増加したことから、供試体内部にひび割れが蓄積されていることが推定できる。ステージIVでは、脆性的な破壊に伴い、AE発生頻度が増加する。

図6に N/N_f に対する各供試体のステージをまとめる。それぞれの供試体の間で N_f に相違が見られるにもかかわらず、AE発生頻度が減少するステージIIIへの移行期はほぼ同時期であり、平均で $N/N_f = 0.75$ であった。このことから、疲労したコンクリートにセンサを貼付し、測定したAEの発生頻度が減少を示した供試体は、ステージIII(N/N_f が0.75以上)の状態にあり、終局状態($N/N_f = 1.0$)に近いと予測できる。

4. まとめ

圧縮疲労試験から得られた各測定値の間に相関が認められたことから、コンクリートの疲労性状をAEと関連付けて考察した。また、AE発生頻度および引張型AE・せん断型AEの識別から、供試体の疲労の程度の違いを明らかにした。特に、AE発生頻度の減少に着目することで、疲労破壊の時期を予測できる可能性が示された。

参考文献

- 1) M. Uchida, N. Tsuji, M. Ohtsu: Identification of Cracking in Concrete Structures by Acoustic Emission, Proceedings of The 16th International Acoustic Emission Symposium, pp.138-143, 2002.11