

損傷がコンクリートの力学特性に及ぼす影響に関するエネルギー的考察

関西大学 学生会員 ○小西 麻央

関西大学 正会員 上田 尚史

1. はじめに

コンクリートの圧縮力下の挙動は弾性域、微視的な損傷の進展域、巨視的な損傷の表れ、局所破壊というように応力レベルに応じて様々な挙動を示す。このような非線形挙動に対して、これまでにエネルギーに着目して評価する研究がなされている。例えば、コンクリートの圧縮破壊過程を、微細ひび割れによって費やされるエネルギーにより評価する研究¹⁾や、破壊時のポストピーク挙動を圧縮破壊エネルギーと関連づけて評価する研究²⁾などである。

本研究では、コンクリートの損傷や破壊をエネルギー的な観点から統一的に評価できるのではと考え、繰り返し載荷による損傷がコンクリートの力学特性に及ぼす影響についてエネルギー的な観点から考察を行った。

2. 実験概要

本研究では $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱供試体を用いて圧縮試験を行った。供試体は含水比の影響を確認するため、図1に示す養生方法により、気乾状態、湿潤状態、乾燥状態の三通りの状態とした。含水比は次式より求めた。

$$w = (W_t - W_{\text{dry}}) / (W_1 - W_{\text{dry}}) \quad (1)$$

$$W_{\text{dry}} = \alpha W_1 \quad (2)$$

ここに、 w は含水比であり、 W_t 、 W_1 はそれぞれ試験直前の重量、7日間水中養生後の重量である。 W_{dry} は絶乾時の推定重量であり、係数 α を用いて W_1 から推定した。 α は同一配合の別供試体の絶乾重量と W_1 の重量の比であり、本研究では $\alpha = 0.948$ であった。気乾状態、湿潤状態、乾燥状態に対して上式で求めた平均的な含水

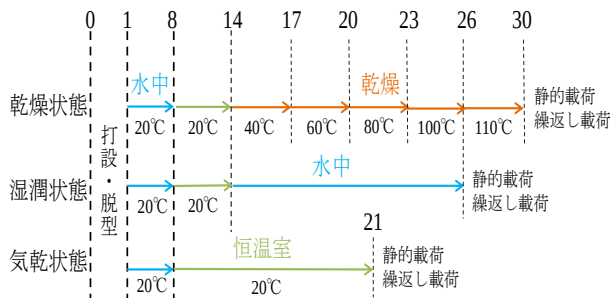
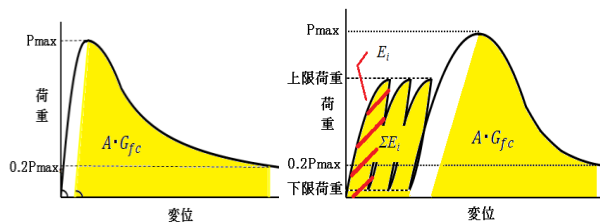


図1 供試体養生方法

比は、それぞれ 61%, 96%, 10% であった。

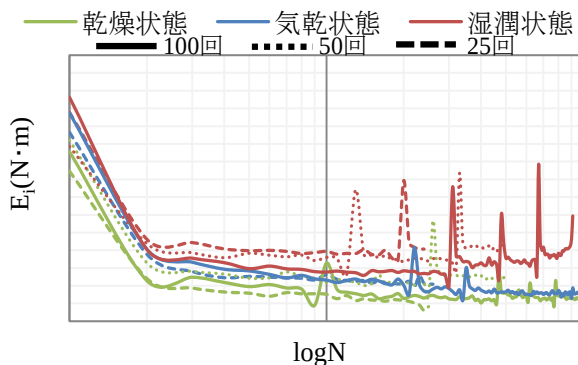
載荷試験にはアムスラー型万能試験機を使用し、変位計により供試体の変位を3点計測した。各状態において供試体3本ずつ静的載荷試験を行い、圧縮強度 f'_c と破壊時に吸収されるエネルギーとして圧縮破壊エネルギー $G_{fc}^{(2)}$ を求めた。繰り返し載荷は、静的載荷試験より得られた平均 f'_c の 0.85 倍を上限応力とし、下限応力は平均 f'_c の 0.10 倍（気乾状態、湿潤状態）、0.05 倍（乾燥状態）とした。繰り返し回数 N は 25, 50, 100 回の3通りとし、所定の載荷回数後に単調載荷により破壊させた。なお、それぞれの試験における供試体数は1本である。既往の研究³⁾より予測される疲労寿命は、湿潤状態は $N_f = 89$ 、乾燥状態 $N_f = 580$ である。

本研究では既往の研究を参考にして、破壊時に吸収される圧縮破壊エネルギー $G_{fc}^{(2)}$ と、繰り返し載荷時に吸収される1サイクルあたりの損失エネルギー $E_i^{(1)}$ により検討した。圧縮破壊エネルギーは図2(a)に示す領域であり、静的載荷試験において最大荷重の0.2倍まで低下したときまでに吸収されたエネルギーを供試体断面積



(a) 静的載荷試 (b) 繰り返し載荷

図2 応力-ひずみ曲線とエネルギーの関係


 図3 1サイクルの E_i

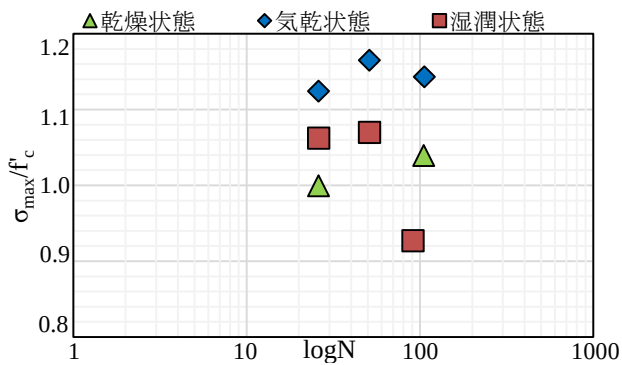
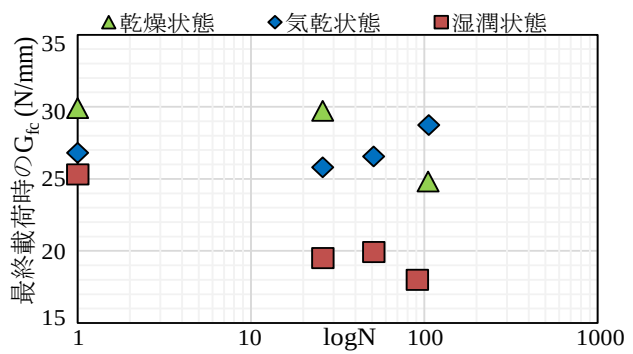
 キーワード
連絡先

圧縮破壊エネルギー、消費エネルギー、損傷、破壊

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

上田 尚史

TEL 06-6368-0899

図4 σ_{max}/f'_c と繰り返し回数 N の関係図5 最終載荷時の G_{fc} と繰り返し回数 N の関係

A で除したものである。損失エネルギーは図 2 (b) に示す繰り返し載荷過程で吸収されたエネルギーである。

3. 実験結果および考察

(1) サイクルにおける E_i

図 3 に 1 サイクルにおける E_i を示す。既往の研究¹⁾と同様に初回繰返し時の E_i が最も大きく、2 サイクル以降は大幅に減少し 10 サイクルまでの E_i がほぼ一定値に収束する傾向となった。繰返し回数が増加しても、1 サイクルで消費されるエネルギーは同程度であることが確認された。また、含水比が大きいほど 1 サイクルにおける E_i は大きい傾向がみられた。

(2) 繰返し回数が最大応力 σ_{max} に及ぼす影響

図 4 に最終載荷での最大応力 σ_{max} と f'_c の比と繰返し回数の関係を示す。湿潤状態の $N=100$ の供試体は、91 回目の載荷において上限応力に至る前に応力が低下したため、これを最終載荷とした。本研究では上述の供試体では σ_{max} が低下したが、その他の供試体は同一環境状態では σ_{max} は同程度であり、繰返し回数の影響は明確でなかった。これは疲労寿命に対して繰返し回数が少なかったためであると考えられる。

(3) 繰返し回数が G_{fc} に及ぼす影響

図 5 に繰返し回数と最終載荷時の G_{fc} の関係を示す。なお、繰返し回数 1 回の結果は、静的載荷試験結果の平均値である。静的載荷試験の結果より、 G_{fc} は乾燥状態が最も大きく、気乾状態と湿潤状態は同程度である。これは乾燥状態では、初期の剛性や軟化勾配が他の状態と比較して緩やかになったためである。乾燥過程において微細な損傷が生じた可能性が考えられる。

繰返し載荷試験の結果、湿潤状態 $N=25$ と $N=50$ 、乾燥状態 $N=100$ では、最終載荷時の G_{fc} が低下した。これは破壊時の軟化勾配が静的載荷の供試体と比較して急になったためである。前節の結果と併せて考えると、繰

返し載荷による損傷は最大応力 σ_{max} よりもポストピーク挙動に対してより大きく影響する可能性があると言える。ただし、これらの結果は各条件に対して 1 体のみの試験結果であるため、今後データの蓄積を行うなどより詳細な検討が必要である。

4. まとめ

本研究により得られた結果を以下に示す。

- (1) 含水比にかかわらず、繰返し回数が増加しても 1 サイクルの損失エネルギー E_i は同程度であった。また、1 サイクルにおける損失エネルギー E_i は含水比が大きいほど大きくなった。
- (2) 本研究で行った繰返し回数は、疲労寿命に対して回数が少なかったため、最終載荷での最大応力 σ_{max} の変化に明確な影響は確認できなかった。
- (3) 最大応力 σ_{max} が変化しない繰返し回数であっても、最終載荷時の圧縮破壊エネルギー G_{fc} が低下する供試体があった。このことから繰返し載荷による損傷はポストピーク挙動に対して大きく影響する可能性が考えられる。

ただし、個体差によるばらつきなども考えられるため、今後データの蓄積を行うとともに損傷の蓄積とポストピーク挙動の関連性などメカニズムに基づいた評価を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 尾上ら：コンクリートの静的圧縮破壊過程に関するエネルギー的考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，2008。
- 2) H. Nakamura and T. Higai：Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete，Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads，471-487，2001。
- 3) 松下ら：コンクリート内部空隙中の液体の表面張力が圧縮疲労強度に及ぼす影響，コンクリート工学論文集，Vol.17，No.1，2006。