

含水状態がモルタルの圧縮破壊過程に及ぼす影響

九州大学大学院 学生会員 ○尾上 幸造 フェロー 松下 博通 正会員 鶴田 浩章
正会員 佐川 康貴 学生会員 若林 幹夫

1. 背景および目的

セメント硬化体の強度は含水状態によって異なり、高含水状態のものほど強度は小さくなることが知られている。この現象を説明するためには、荷重を受ける供試体の内部に生成される損傷がどのように進展するかを把握し、さらにそれが含水状態によってどの程度変化するかを調べる必要がある。本研究では異なる数種類の含水状態に調整した $\phi 7.5 \times 15 \text{cm}$ のモルタル供試体の圧縮破壊過程について検討を行った。具体的には、上限応力を数段階に変化させて繰返し荷重を行い、ヒステリシスループの面積から損失エネルギーを算出し、これをもとに供試体内部に生成される損傷の進展具合を調べた。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3 ，比表面積 $3260 \text{cm}^2/\text{g}$ ），細骨材には海砂（表乾密度 2.57g/cm^3 ，吸水率 1.56%，粗粒率 2.67）を使用した。モルタルの配合は $W/C=0.45$ ， $S/C=2.42$ であり、これはフロー値が 200 ± 5 となるよう定めた。供試体は $\phi 7.5 \times 15 \text{cm}$ の円柱供試体とした。

2. 2 供試体の養生条件

供試体は材齢 1 日にて脱型後、90 日間 20°C 水中にて標準養生を行った。その後、数種類の環境条件下に約 3 週間放置し、供試体の重量が安定し試験期間中に大幅に変化しないとみなされる時点で荷重を行った。なお、供試体グループは、 $20^\circ\text{C} \cdot 60\% \text{RH}$ の恒温恒湿室内で 3 週間乾燥させたもの（A）， 50°C で 3 週間乾燥させたもの（ D_{50} ）， 50°C で 2 週間乾燥させたのち 90°C で 1 週間乾燥させたもの（ D_{90} ）， 50°C で 2 週間、 90°C で 1 週間乾燥させたのち水中に 3 日間浸漬し、そのまま水中で荷重を行ったもの（W）の 4 種類である。荷重時における各供試体グループの逸散水量は、A, D_{50} , D_{90} , W の順に 29g, 82g, 133g, 16g であった。

2. 3 荷重方法

荷重には 2000kN 耐圧試験機を使用し、供試体軸方向に 2 枚貼付したワイヤストレインゲージ（検長 60mm）により縦ひずみを測定した。各要因 3 本の供試体については単調増加荷重を行い、最大耐力点までの応力-ひずみ曲線を求め、さらに最知ら¹⁾の方法により平均化した。これより、最大応力時のひずみ ϵ_c の約 35%，50%，65%となるひずみに対応する応力および最大応力の 90%となる応力を特定し、これらの応力を上限とする繰返し荷重を行った。荷重除荷の繰返しは 10 回とした。

2. 4 実験結果の整理

実験結果の整理にあたっては、岡田ら²⁾の方法を参考にした。荷重除荷曲線とエネルギーの関係を図-1 に示す。ある 1 サイクルの荷重除荷曲線は ABCDE の経路を辿るが、外力により与えられた総エネルギー E_t （ABCFA の面積）は、損失エネルギー E_i （ABCDEA の面積）と弾性ひ

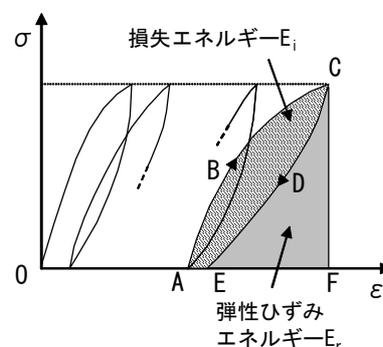


図-1 荷重除荷曲線とエネルギーの関係

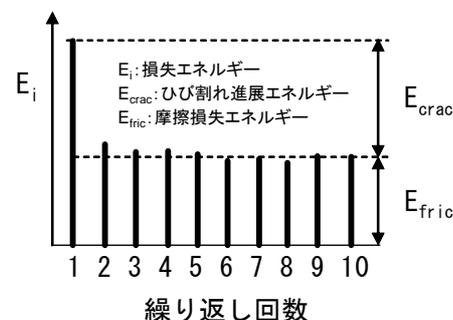


図-2 損失エネルギーの変化

キーワード：含水状態，圧縮破壊過程，ひび割れ進展エネルギー，飽和度
〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL&FAX 092-642-3271

ずみエネルギー E_r (CDEF Cの面積)に分けられる。さらに、同一応力レベルにて繰返し载荷を行い、 E_i を順番に並べると図-2のようになり、一定値に収束した部分を摩擦による損失エネルギー E_{fric} 、第1サイクルの E_i と E_{fric} との差をひび割れ進展に使われたエネルギー E_{crac} として分離できる。

3. 実験結果および考察

図-3にひび割れ進展エネルギー E_{crac} と第1サイクル折返し点のひずみ ε_1 の関係を示す。 E_{crac} と ε_1 は両対数紙上で直線関係となり、ひずみの増大に伴ってひび割れ進展に必要なエネルギーが累乗的に増加することが明らかとなった。

図-4に E_{crac} と $\varepsilon_1/\varepsilon_c$ (最大応力時のひずみに対する第1サイクル折返し点のひずみの比)の関係を示す。ここで最大応力時のひずみは、単調増加载荷によって求めた値の平均とした。回帰曲線を外挿してひずみ比が1となる E_{crac} は供試体が最大耐力点に至ったときのひび割れ進展エネルギーであると予想されるが、供試体グループAを除き、高含水状態のものほど小さくなっている。これは、水分が付着することで供試体内部に発生するひび割れの界面エネルギーが低下し、ひび割れの進展が促進されるため、より少ないエネルギーで最大耐力点に至るだけのひび割れが形成されることを示していると考えられる。

図-5に最大耐力点における E_{crac} と供試体の飽和度の関係を示す。ここで飽和度は、同一の乾燥過程を経た処女供試体を割裂しハンマーで5mm角程度に砕いて採取した試料の質量 m_1 、これを真空ポンプにより減圧吸水させて飽水状態にした質量 m_2 、さらに105℃乾燥炉で24時間乾燥させることにより絶乾状態にした質量 m_3 を測定し、 $((m_1-m_3)/(m_2-m_3)) \times 100$ を計算して求めた。試料採取位置は供試体高さ中央における中心部と側面近傍であり、それぞれより得られた値の平均をその供試体グループの飽和度とした。図より飽和度が高くなるにつれ、最大耐力点における E_{crac} は直線的に減少することが分かる。供試体グループAのプロットが直線から外れたのは、炉乾燥させた供試体と比較して微細ひび割れの発生量が少なかったためと考えられる。

4. 結論

- (1) ひび割れを進展させるために必要なエネルギー E_{crac} は、ひずみの増大に伴って累乗的に増加した。
- (2) ひずみ比が1となる時、すなわち最大耐力点に至ったときのひび割れ進展エネルギー E_{crac} は、供試体が高含水状態にあるほど小さくなった。
- (3) 最大耐力点におけるひび割れ進展エネルギー E_{crac} は、供試体の飽和度が高くなるにつれ直線的に低下した。

【参考文献】

- 1) 最知, 四戸: 応力度-ひずみ度平均曲線によるコンクリートのダメージ評価, コンクリート工学論文集, Vol.10, No.2, pp.73-82, 1999.5
- 2) 岡田, 小柳, 六郷: 含水量の異なるコンクリートの圧縮破壊過程に関するエネルギー的考察, 土木学会論文報告集, No.248, pp.129-136, 1976.4

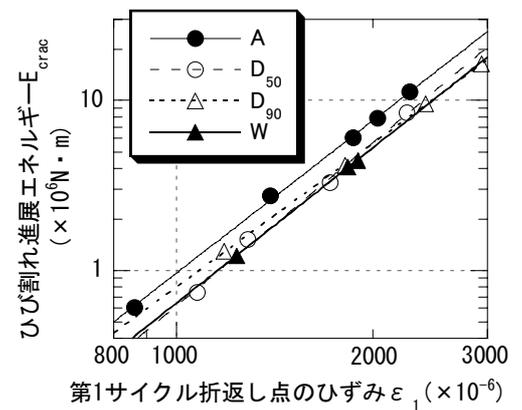


図-3 E_{crac} と第1サイクル折返し点のひずみの関係

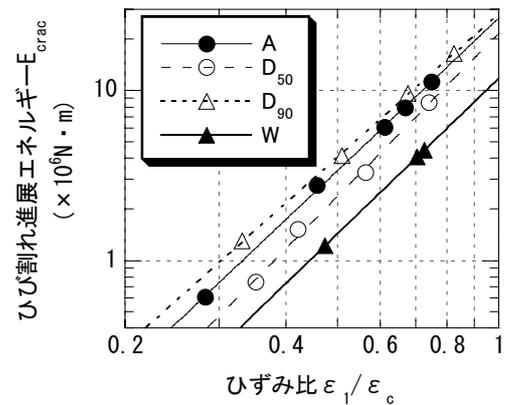


図-4 E_{crac} とひずみ比の関係

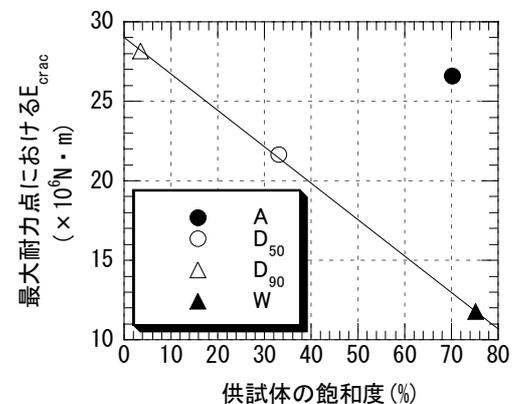


図-5 最大耐力点における E_{crac} と供試体の飽和度の関係