# 圧縮力を受けるモルタル内部で消費される各種損失エネルギーに関する一検討

九州大学大学院 学生会員 尾上幸造 大屋敦志

九州大学大学院フェロー松下博通

## 1.はじめに

含水状態の違いにより、セメント硬化体の圧縮強度が異なることが知られている。これは、セメント硬化体が載荷を 受ける際, 内部に存在する水が微細ひび割れの発生・伝播に影響を及ぼすためと考えられる。この微細ひび割れを直接 観察し,さらに定量化することは困難であるが,応力-ひずみ曲線下の面積で定義される損失エネルギーを用いること で、間接的な定量化が可能であると考えられる。本研究では、静的圧縮力を受けるセメント硬化体内部で消費される各 種損失エネルギーが応力レベル(ひずみレベル)の増大にともなってどの様に変化するか調べるとともに、それらに及 ぼす含水量の影響について考察を行った。

#### 2. 実験概要

## 2.1 使用材料および配合

供試体は 07.5 × 15cm の円柱とした。セメントには普 通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm<sup>3</sup>, 比表面積 3260cm<sup>2</sup>/g),細骨材には海砂(表乾密度2.57g/cm<sup>3</sup>,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。

2.2 試験方法

供試体は,材齢91日まで水中養生を行い,その後乾燥 過程を変化させることによって含水量の異なる4つの供 試体グループ(各グループにつき15本程度)を作製した。 供試体の養生方法および飽和度を図 - 1 に示す。

載荷には 2000kN 耐圧試験機を使用した。載荷方法は,

材齢(日)01 105 112 飽和度 <u>20\_水中</u> 20 60%RH恒温恒湿室 供試体グ 70.2% А 20 水中 50 乾燥炉 D<sub>50</sub> 33.1% 50 乾燥炉 90 乾燥炉 20 水中 أµ □<sub>90</sub> 3.5% 乾燥炉 20 20 水中 50 乾燥炉 90 プ W 75.2% 打設 脱型 図 - 1 供試体の養生方法および飽和度 損失エネルギーEi E∷損失エネルギ <sub>rrac</sub>:ひび割れ進展エネルギ Е F 摩擦損失エネルギー 0 5 6 8 9 1 2 3 4 7 10 , 弾性ひずみエネルギーE, 載荷の繰り返し回数 図 - 2 各種エネルギーの 図-3 損失エネルギーの

定量化 変化 応力 - ひずみ関係を得ることを目的とした静的載荷およびセメント硬化体内部で発生する各種エネルギーの定量化を目 的とした繰返し載荷の2種類を行った。各種エネルギーの定量化にあたっては、岡田ら<sup>1)</sup>の方法を参考にした。図-2 に繰返し載荷を行った際の応力 - ひずみ曲線の概念図を示す。ある1サイクルの載荷除荷曲線はABCDEの経路を辿り, 外力により与えられた総エネルギーE(ABCFA)は,損失エネルギーE(ABCDEA)と弾性ひずみエネルギーE(CDEFC) に分割できる。下限応力を 0N/mm<sup>2</sup>とし,上限応力を一定として繰返し載荷を 10 サイクル行った場合,損失エネルギー Eiは図 - 3のように変遷する。損失エネルギーEiは繰返し初回で最も大きく,第5サイクル以降はほぼ一定値に収束す

る。損失エネルギーの収束値は,主に供試体内部で熱として変換される摩擦損失エネルギーEmeである。第1サイクル においても同様の摩擦損失が起こっていると仮定すると,

第1サイクルにおける損失エネルギーEilと摩擦損失エネ ルギーEffic の差は,ひび割れの発生伝播に消費されたエ ネルギー,すなわちひび割れ進展エネルギーEcracとなる。

E<sub>i1</sub>=E<sub>crac</sub>+E<sub>fric</sub>

本研究では,繰返し載荷の上限応力を数段階に変化さ せることによって,プレピーク域において供試体内部の 各種損失エネルギーがどのように変化するかを調べた。



キーワード:圧縮応力 微細ひび割れ 載荷除荷曲線 表面エネルギー 損失エネルギー 連絡先:〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL&FAX 092-642-3271

[1]

### 3.実験結果および考察

図 - 4 に繰返し載荷によって得られる応力 - ひず み曲線の一例を示す。また,このときの損失エネル ギーE<sub>i</sub>の変化を図 - 5 に示す。既往の知見<sup>1)</sup>と同様 に,損失エネルギーE<sub>i</sub>は1サイクル目で最も大きく, その後一定値に収束した。

図 - 6 に各種エネルギーとひずみ比の関係を両対 数グラフで示す。ここでひずみ比とは,静的載荷に おける最大応力時のひずみを1としたときの第1サ イクル折り返し点のひずみの比である。各種エネル ギーとひずみ比は,両対数グラフ上で直線関係とな った。したがって,各種エネルギーは以下の式によ って表すことができる。

$E_{i1} = \alpha_1 (\epsilon_1 / \epsilon_c)^{\beta_1}$	[2]
$E_{crac} = \alpha_2 (\epsilon_1 / \epsilon_c)^{\beta 2}$	[3]
$E_{\text{fric}} = \alpha_3 (\epsilon_1 / \epsilon_c)^{\beta 3}$	[4]

ここに,  $\epsilon_1/\epsilon_c$  はひずみ比であり,  $\alpha_1-\alpha_3$ ,  $\beta_1-\beta_3$  は実験定数である。本研究で求めた実験定数と供試体の 飽和度の関係を図 - 7 に示す。なお, 図中の記号は

図 - 1の供試体グループを表す。  $\alpha_2$ について見ると,供試体グループAを除き, 飽和度が大きいほど小さくなっている。言い換えると,セメント硬化体の含水量 が多いほど,微細ひび割れの発生・伝播のためのエネルギーが小さくなるという ことである。このことは,水分が付着することによって,微細ひび割れを形成す るのに必要な表面エネルギーが減少する<sup>20</sup>ことを示しているものと考えられる。  $\beta_1 \sim \beta_3$ は,ひずみ比の増加に対する損失エネルギーの増分,すなわちエネルギー増 加速度を表すと考えられるが,飽和度によらずほぼ等しい値となった。

図 - 8 に、ひび割れ進展エネルギー $E_{crac}$ と摩擦損失エネルギー $E_{fric}$ の関係を示す。 供試体の含水状態が同一であれば、繰返しの上限応力の大きさによらず、 $E_{crac}$  と  $E_{fric}$ の割合は一定となっている。さらに図 - 9より、供試体の飽和度が大きいほ ど、 $E_{fric}$ と  $E_{crac}$ の比は大きくなることが分かる。これは、水分子の存在により、 粘性摩擦が大きくなることを示していると考えられる。 $E_i$ の算出は比較的容易で あり、今後さらに検討する必要はあるものの、飽和度から  $E_{crac}$ および  $E_{fric}$ の概略 値を把握できる可能性があると言える。

4.まとめ

- (1) プレピーク域における損失エネルギー $E_i$ ,ひび割れ進展エネルギー $E_{crac}$ ,摩 擦損失エネルギー $E_{fric}$ は,ひずみ比の増大に伴って累乗的に増加する。
- (2) ひび割れ進展エネルギーE<sub>crac</sub>の式[3]におけるα<sub>2</sub>の値は、供試体シリーズAを 除くと、含水量が多いほど小さくなる。すなわち、水分が存在することで、 微細ひび割れの発生・伝播に必要なエネルギーは小さくなる。





- (3) 損失エネルギーE<sub>i</sub>のうち,摩擦損失エネルギーE<sub>tic</sub>とひび割れ進展エネルギーE<sub>crac</sub>に変換される割合は,供試体の 含水状態ごとに一定であり,飽和度が高いほど両者の比は大きくなる。
- (4) 比較的算出が容易な E<sub>i</sub> および飽和度から, E<sub>crac</sub> および E<sub>fric</sub>の概略値を把握できる可能性がある。
  【参考文献】
- 1) 岡田ら: 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
- 2) 堀素夫:表面エネルギーから見たセメント硬化体の強さ,窯業協会誌,70[7],pp.54-59,1962