

ひずみ制御のもとでのセメントモルタルの変形挙動

名古屋大学 正 川本 勝万
 東海大学 正 斎藤 敏明
 名古屋大学 学生 石井 俊明

はじめに 岩石などの脆性材料の破壊後（強度破壊以後）の挙動の研究は、地下空洞周辺の破壊域の進展や山はね現象の解析にとってきわめて重要になってくる。著者らはサーボコントロールシステムによるひずみ制御三軸圧縮試験機を用い、任意のひずみ径路をもつ圧縮試験を行い、岩質材料とシートのセメントモルタル（108mm立方）の破壊（降伏）後を含めた変形挙動を追跡した。

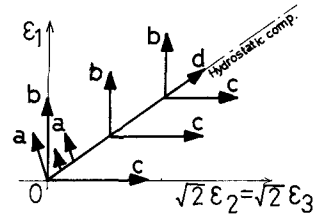


図-1 Rendulic面上に示したひずみ径路

1. ひずみ制御試験 載荷方式は次のとおりである。（図-1参照）
- a. 拘束圧一定 ($\sigma_2 = \sigma_3 = \text{const}$) での圧縮試験。
 - b. 拘束ひずみ一定 ($\epsilon_2 = \epsilon_3 = \text{const}$) での圧縮試験。
 - c. 一方向ひずみを一定とした圧縮試験。
 - d. 静水圧状態 ($\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3, \dot{\epsilon}_1 = \dot{\epsilon}_2 = \dot{\epsilon}_3$) での圧縮試験。
 - e. 一軸及び静水圧状態での応力緩和試験。

2. 実験結果と考察

(1) 一軸圧縮試験: セメントモルタルの応力-ひずみ曲線に対するひずみ速度の影響を調べるために、種々のひずみ速度で行った一軸圧縮試験結果を図-2に示す。これから、ひずみ速度約 $7.0 \times 10^{-6} / \text{sec}$ 以下で、完全な応力-ひずみ曲線が得られることがわかる。一軸圧縮試験での強度破壊におけるひずみ（以下このひずみを ϵ_p とする）は、ひずみ速度が違って約0.40%とほぼ一定である。この実験によるセメントモルタルのYoung率と一軸圧縮強度はそれぞれ $9.2 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$, 310 kg/cm^2 である。

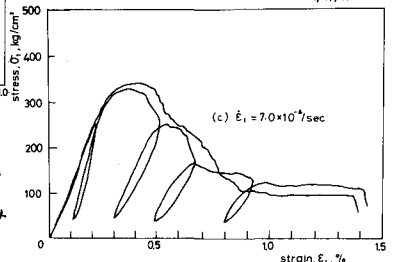
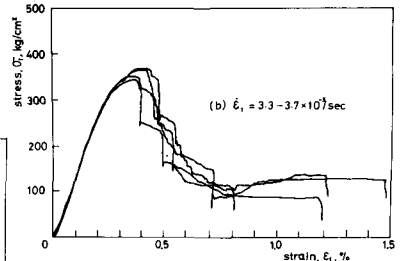
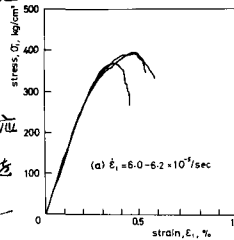


図-2 一軸圧縮試験による応力-ひずみ図

(2) 三軸圧縮試験: 最小及び中間主ひずみをある一定値に保って、最大主ひずみを増加させて降伏または破壊に至らしめるものである。この実験結果を図-3に示す。この図から次のことがわかる。応力-ひずみ曲線の傾きは、拘束ひずみの増加とともに大きくなる。それぞれの拘束ひずみでの曲線の傾きは、降伏後の領域内のある一定の大きさより上では、載荷方向のひずみ (ϵ_1) が大きくなるにつれて大きくなる。さらにその傾きは静水圧載荷における傾きと等しくなっていく。拘束ひずみ $0 \sim 2.0 \epsilon_p$ の範囲での変形

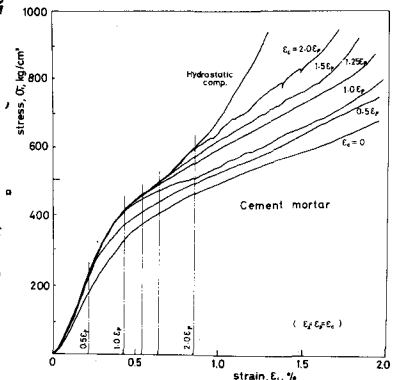


図-3 ひずみ制御三軸圧縮試験による応力-ひずみ図

挙動は、すべてほぼ相似のカーブを描く。

種々の拘束圧下での通常の三軸圧縮試験で得られる応力-ひずみ曲線を図-4に示す。降伏後の応力-ひずみ曲線の傾きは拘束圧の増加に従って小さくなり、拘束圧 50 kg/cm² ではほぼ水平になる。

ひずみ制御試験においては、任意のひずみ径路を辿って破壊(降伏)に至らしめることができる。ひずみ表示による破壊(降伏)曲面はこのような実験で得られた破壊(降伏)ひずみによって表わされる。ひずみ表示の降伏曲面は、図-5に示すように、応力-ひずみ曲線上の降伏点のひずみを Rendulic 面(及び直交断面; $\sigma_m = \text{const}$)上にプロットすることによって得られる。図の実線の外側の範囲で、材料は降伏しているとみなすことができる。Mohr の 2 次式による破壊基準を仮定すると、最大、最小主応力表示の破壊基準として、

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + 2(\sqrt{m+1} - 1)^2 St(\sigma_1 + \sigma_3) = (\sqrt{m+1} - 1)^2 (2 - m + 2\sqrt{m+1}) St^2 \quad (1)$$

(m : 脆性度, St : 引張強度)

が得られる。主ひずみ表示された破壊基準は、等方性と線型弾性を仮定すれば、次の応力-ひずみ関係を(1)式に代入することによって得られる。

$$\sigma_{ij} = \lambda \epsilon_{\alpha\alpha} \delta_{ij} + 2\mu \epsilon_{ij} \quad (2)$$

ポアソン比、脆性度をそれぞれ $\nu = 0.15$, $m = S_c/S_t = 8$ とすると、破壊曲面は図-5の破線で示すようになる。

(3) 応力緩和試験: 一軸及び静水圧状態で、ひずみを2時間一定に保った試験結果を図-6、図-7に示す。この図より、 $\sigma_1 \sim \log t$, $\sigma_m \sim \log t$ 関係はそれぞれの拘束ひずみについて線型であり、その傾きはその拘束ひずみの大きさに影響される。応力緩和は $E/\epsilon_p = 0.25 \sim 0.5$ の弾性域でも観察される。一軸状態での応力低下速度は $E/\epsilon_p = 0.8$ から $E/\epsilon_p = 1.25$ まで拘束ひずみの増大とともに大きくなっていくが、ほぼ $E/\epsilon_p = 1.5$ 以上では $\sigma_1 \sim \log t$ 曲線の傾きは小さくなり、応力緩和はかなり小さくなる。この現象は、材料の粘弾性的性質の他にも、供試体の局部破壊や、クラックの発生、伝播と密接な関係があることを示している。これに対して静水圧状態($\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$)での度力緩和速度($\sigma_m \sim \log t$ 曲線の傾き)は拘束ひずみの増大とともに大きくなる。

謝辞: 本研究は石川兼治, 辻本真明, 加藤保道の諸氏の協力のもとに行われた。深く感謝いたします。(参考文献: 略)

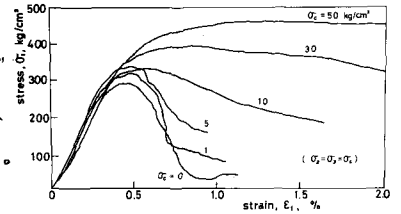


図-4 応力制御三軸圧縮試験による応力-ひずみ図

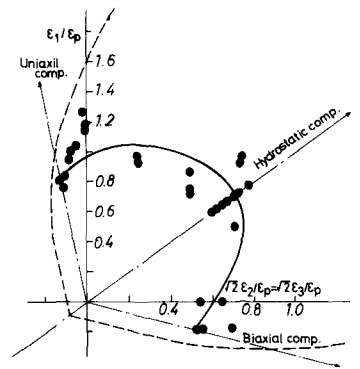


図-5 Rendulic 面上に示した降伏面

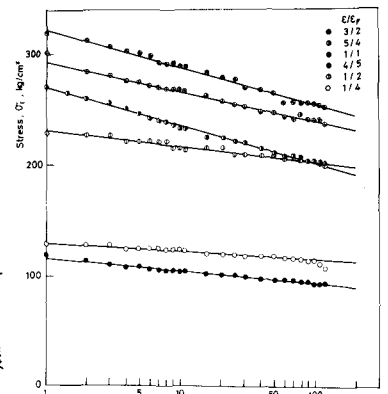


図-6 一軸定ひずみ下における応力緩和

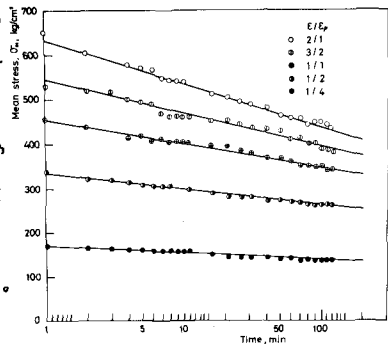


図-7 静水圧状態定ひずみ下における応力緩和