

横浜市 正真 石井 俊明
名古屋大学 正真 川本 肌万

1 緒言

岩質材料の挙動の研究においては、変形の進行を供試体内部の微視的な変化としてとらえ、外力に伴う構造変化を追跡するようなアプローチと、変形を巨視的な変形としてとらえ、主として、連続体力学の立場から応力とひずみの関係をとらえようとするアプローチがある。本研究は、モルタルおよび凝灰岩の三軸圧縮試験結果より、岩質材料の変形特性を連続体力学の立場から明らかにしようとするものである。材料のひずみよりなる系の内部応力状態とひずみ状態は、材料内部の微視的な構造変化の集積と見做し、材料の巨視的な挙動として反映される。(したがって、このような観点によって考えるならば、岩質材料の巨視的な変形を追跡することは極めて有効である)。

2 実験概要

2.1 供試体 セメントモルタル供試体は、普通ポルトランドセメントと豊前標準砂を用いて、水：セメント：砂 = 0.65 : 1 : 2 の重量

配合比で、1辺が10.8 cmの立方体につくられ、27日間水中養生の後、7日間空中養生され、材令35日で試験された。一方、凝灰岩は灰緑色で巨視的には等方等質とみなせるものであって、切削盤を用いて1辺が5.4 cmの立方体に整形された。それらの諸特性を表-1に示す。

表-1

	σ_c (kg/cm ²)	ϵ_c (%)	E (kg/cm ²)	ν	e_0	δ (g/cm ³)
モルタル	424	0.63	1.2×10^5	0.10	0.38	2.13
凝灰岩	915	0.995	8.25×10^4	0.11	0.06	2.71

2.2 載荷方法 互に直交する三軸方向から加圧板によって載荷する方式の三軸圧縮試験機を用い、つぎのような載荷方式によって、平均応力 σ_m とせん断応力 τ_{oct} と独立に変化させるように荷重を与え、ひずみ応答と ϵ_m と γ_{oct} と分離して考察した。Test A: 一軸圧縮試験($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 0$)、Test B: 静水圧載荷試験($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$)、Test C: 偏差応力試験($\sigma_m = \text{一定}$, Lodeパラメータ $\lambda = \pm 1$)、Test D: 静水圧応力履歴(σ_{hi})をもつ材料の偏差応力試験($\sigma_m = \text{一定}$, $\lambda = \pm 1$)、Test E: 静水圧定荷重載荷(静水圧クリープ試験) これらの試験の載荷経路を示すと図-1のようである。載荷速度は最大荷重方向で1~1.5 kg/cm²とし、他の方向の載荷速度はこれに準じた。

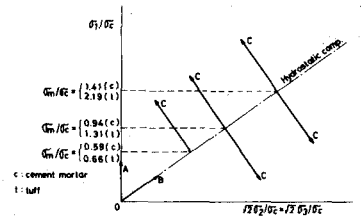


図-1 応力経路

3 実験結果ならびにその考察

3.1 静水圧載荷試験

実験によってえられた応力-ひずみ曲線を図-2、図-3に示す。図中 σ_m 、 ϵ_m はここで定義した降伏点での応力およびひずみであり、モルタルで $\sigma_m/\sigma_c = 1.05$ 、 $\epsilon_m/\epsilon_c = 0.39$ 、凝灰岩で $\sigma_m/\sigma_c = 2.50$ 、 $\epsilon_m/\epsilon_c = 1.20$ である。また図

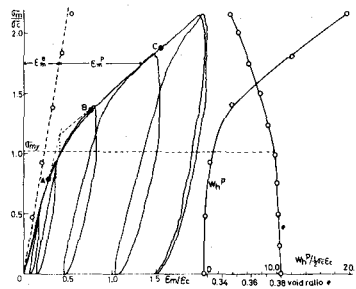


図-2 静水圧状態でのモルタルの挙動

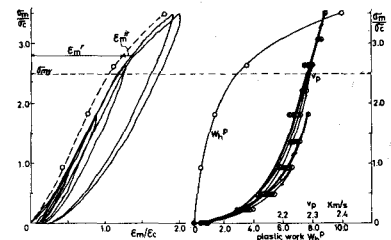


図-3 静水圧状態での凝灰岩の挙動

には除荷によって回復するひずみ(弾性ひずみ) ϵ_e と、回復しないひずみ(塑性ひずみ) ϵ_p とを分離して示

である。これらの2つの図より初期間ゲキ比(e_0)の大きさによる挙動の違いがわかる。間ゲキ比は次式によって求められる。 $e = e_0 - \frac{3\epsilon_m}{1-3\epsilon_m}(1+e_0)$ 。

なお、 ϵ_m は塑性的に失われるエネルギーであるので、 $\epsilon_m = \int 3\sigma_m d\epsilon_m$ によって計算される。

3.2 偏差応力試験 モルタルについては、 $\sigma_m/\sigma_c = 0.59$ (静水圧に対して弾性域内)、 0.94 (降伏領域内)、 1.41 (わずかな硬化域内)、また、凝灰岩については、 $\sigma_m/\sigma_c = 0.66$ (弾性域内)、 1.31 (弾性域内)、 2.19 (降伏領域内)に対して、それぞれ、 $\lambda = \pm 1$ の状態を試験した。 $\lambda = -1$ の場合の応力-ひずみ曲線と体積変化を示すと、図-4、5のようである。これ

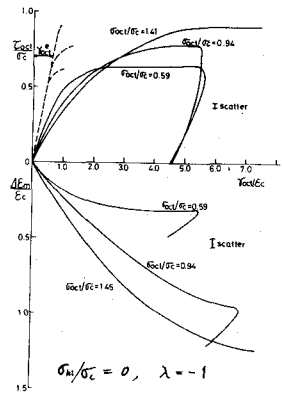


図-4 モルタル

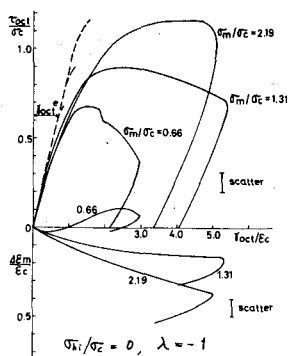


図-5 凝灰岩

ら平均応力 σ_m の増加によって弾性的性質は変化しないことや、平均応力の増加につれてせい性挙動から延性挙動へ遷移していくことがわかる。そして静水圧に対して降伏して、すでにわずかな硬化域に入っている場合には、偏差応力 σ_{oc} に対してもわずかな硬化域に入っていると考えられる。これらの事柄は、平均応力 σ_m と偏差応力 σ_{oc} に対する変形が独立でないことを示し、わずかな硬化に伴う end cap 型の降伏条件を考えることによって説明される。図-4、図-5にはせん断応力 σ_{oc} の増加に対する体積変化 $\Delta\epsilon_m$ が示されている。間ゲキ比の小さい凝灰岩で $\sigma_m/\sigma_c = 0.66$ の場合を除いて、いずれも Contractancy を生じたことがわかる。

3.3 過圧縮偏差応力試験 3.2で述べたように、わずかな硬化 end cap 型の降伏条件は満足することによって材料特性がよく説明されるが、これをさらに、静水圧応力履歴 σ_{hi} を加えた材料に対して、Test C の同様の方法で偏差応力試験を行なった。モルタルや凝灰岩などの岩質材料が一般的に等方硬化材料ならば、静水圧状態に対してわずかな硬化するとせん断応力状態に対してもわずかな硬化すると考えられる。ここでは、モルタルに対して、 $\sigma_{hi}/\sigma_c = 1.42, 2.42$ と、凝灰岩に対しては、 $\sigma_{hi}/\sigma_c = 2.19, 3.50$ について試験を行ない、Test C の場合の結果と比較することにより、過圧縮状態の挙動を調べた。試験結果の一部を示すと、図-6、図-7のようである。これらの図から、弾性的な性質は過圧縮材料でほとんど変化せず、また、静水圧応力履歴をかけたことによって、材料のせん断変形特性が均一化したとみなせるようである。ダイラタンシーは正規圧縮の場合に比べて増加している。この現象は土質材料と類似の挙動であり、岩質材料においても構造が高圧である正規圧縮材料が静水圧応力履歴をかけたことによって低圧化され、それによって、ダイラタンシー特性も真の正変化すると思われる。このような立場に立つならば、前述した end cap 型の降伏条件の硬化とは、内部的には構造の低圧化に他ならない。

静水圧クリープ試験の結果や、実験結果から考えられる岩質材料の降伏条件および硬化法則などについては紙面の都合で、講演会当日発表する。

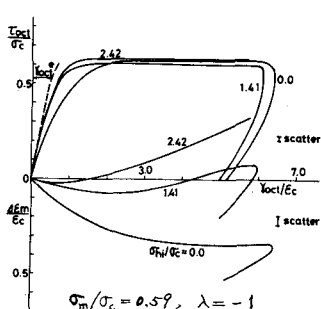


図-6 モルタル

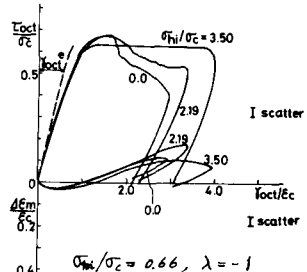


図-7 凝灰岩