

⑥3 岩質材料の不連続部含有量とクリープ特性について

豊田高専 ○伊東 孝
豊田高専 赤木知之
中部電力（株） 河村精一

Creep Properties of Rock and Discontinuity

Takashi ITO, Tomoyuki AKAGI Toyota National College of Technology
Seiichi KOUMURA Chubu Electric Power Co., Inc.

Abstract

It is difficult to estimate creep properties of rock mass, which is subject to the discontinuity.

This paper presents the experimental results of uniaxial creep test using mortar specimens. The used specimen is $5\phi \times 10\text{cm}$ and contains some discontinuities which are ball in shape and distributed randomly.

In experimental results, the obtained creep curves contain the instantaneous elastic and plastic strain and creep elastic and plastic strain. The relation of these strain components and discontinuity are discussed.

1. まえがき

近年、地下発電所や放射性廃棄物等の地下貯蔵のための大規模地下空洞の安定性、あるいは原子力発電所における炉心基礎地盤や建屋背後の大規模斜面の長期安定性、さらには超伝導電力貯蔵施設における新しい概念を導入した地下空洞設計の問題など、より精度の高い評価が要求されつつある。

一方、岩盤構造物の設計は、岩盤を連続な弾性体と見なした解析のみならず、計算技術の発達に伴い弾塑性解析、粘弾性解析および粘弾塑性解析までもが行われている。しかし、そのインプットデータとなる岩盤の材料定数を決める研究は遅々として進んでいないのが現状である。

本研究は、以上の様な背景の元に、岩盤中に存在する不連続面の多少によって、その力学特性が如何に変化するかを定量的に把握することを目的とする。岩質部としてセメントモルタルを用い、不連続部には水に溶けず常に軟弱性を保つ練り消しゴムを使用した。今回の実験では、まず、不連続部の量と力学特性との関係のみを探るため、ゴムは球形としてモルタル中に満弁なく混入させた。行った実験は、一軸圧縮試験、および一軸圧縮クリープ試験である。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

供試体に混入する弱部の量を明らかにするために、供試体の基質部分にセメントモルタル、供試体に混入する弱部として直径5mmの球状に形作った練り消しゴムを用いた。供試体の形状は直径が50mm、高さ100mmの円柱形とした。練り消しゴムは加工が容易な上、強度もほとんど無く（弾性係数 3kgf/cm^2 ）弱部としては適

当なものであると考えられる。ただし、モールドへの打設の際、比重の違いからゴムが分離するのを防ぐために、ゴムに砂鉄を混ぜることにより比重をモルタルと同一に調整した。

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材には豊浦標準砂を用い、重量配合比をセメント：砂＝１：２、水セメント比 $W/C=0.63$ とした。

供試体は１バッチ当たり１２本作成した。バッチにはＡ～Ｄの４種類があり、Ａバッチでは１２本全てが練り消しゴム（不連続部）を混入しない供試体を作成した。Ｂバッチでは、７本には不連続部を混入せず、５本にのみ 5cm^3 の不連続部を混入した。Ｃバッチでは同様に５本に 10cm^3 、Ｄバッチでは 20cm^3 の不連続部を混入した。まとめたものを表１に示す。ここで、容積率とは供試体の体積(V)に対する不連続部の体積(V_r)の割合のことで、容積率(N_r)= V_r/V で定義する。

供試体の打設後、２４時間後に上面の整形を行い４８時間後に脱型した。材令１４日まで水中養生し、それ以後は空中養生を行い材令２８日において一軸圧縮試験およびクリープ試験を行った。

2.2 実験方法

一軸圧縮試験に用いる供試体には、側面の２箇所にひずみゲージ（共和電業 KFC-10-D16-11）を貼付し、縦ひずみおよび横ひずみを測定した。圧縮試験は油圧式圧縮試験機（前川製作所 最大載荷能力５０ｔ）を用いて行った。

クリープ試験は載荷状態で２週間、除荷した状態で４日とかなり長期間行い、その間微小なひずみの変化を捉えるためには、実験室内の環境を一定に保っておく必要がある。そこで、実験は室温（２２度）および湿度が一定に保たれた恒温室内で行った。載荷試験装置はＭＴＳ社製のサーボコントロール試験装置（最大載荷能力５０ｔ）である。

測定装置としては、軸荷重は最大付加荷重１０ｔのロードセル、軸変位は精度 $1/100\text{mm}$ の変位計を２本、側方ひずみは供試体の上、中、下部に装着した３つのリングゲージ、室温は温度ゲージを使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 不連続部含有量と一軸圧縮強度

図１にＡ～ＤＲ各種類の供試体の応力～ひずみ曲線の一例を示す。不連続部の容積率が増すにつれて、弾性係数および強度が減少することがわかる。また、最大強度時でのひずみ量、すなわち破壊ひずみ量が不連続部が増加するにつれて減少する傾向が見られ、より脆性的な特性を示すようになることがわかる。

図２に不連続部の容積率と一軸圧縮強度の関係を示す。容積率が２．５％（供試体ＢＲ）の強度低下が著しいが、ほぼ容積率１０％までは直線的に低下していると見て良いであろう。図中にそれぞれの容積率での一軸圧縮強度の平均と標準偏差を示してあるが、ゴム混入による強度のばらつきはさほど著しいものではないと思われる。

3.2 不連続部含有量と弾性係数

図３に代表的な軸ひずみ～側方ひずみ曲線を示す。不連

表１ 供試体の種類

種類	混入量 (cm^3 /本)	容積率 (%)	本数 (本)
A	0	0	12
B	0	0	7
	5	2.5	5
C	0	0	7
	10	5	5
D	0	0	7
	20	10	5

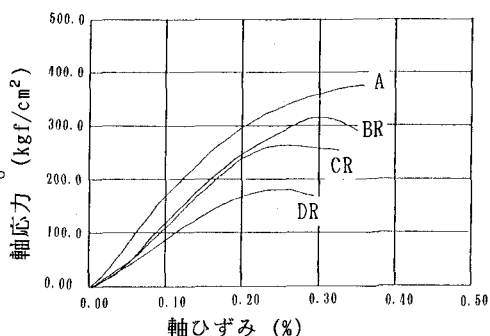


図１ 軸応力～軸ひずみ曲線

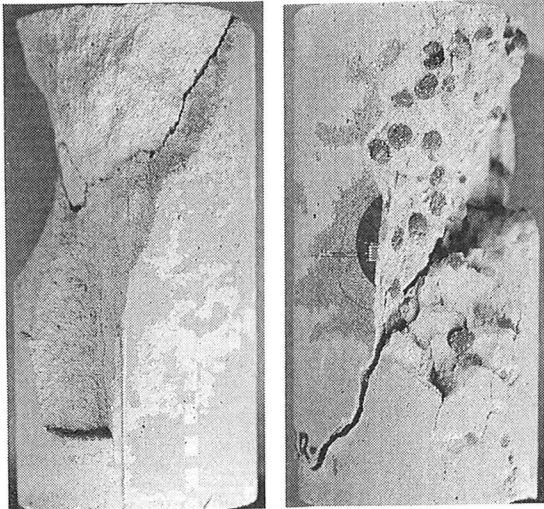
続部が増加するにしたがって、側方ひずみ量は減少する傾向が見られ、ポアソン比は減少していることがわかる。今回は、不連続部の容積率が10%までの実験を行ったが、それ以上の容積率に於ける力学特性を推定するために、平面応力、軸対称、3次元弾性応力解析を行った。解析での不連続部は、それを表す要素を取り除くことにより表現し、定量的には軸対称および3次元解析では容積率が、一方平面応力解析では面積率が実験と一致するように行った。

解析結果を実験結果の平均値と共に弾性係数について図4ポアソン比については図5に示す。弾性係数はほぼ50%まで直線的に低下することがわかる。ポアソン比は30%までは実験値とほぼ一致しているが、容積率が多くなるにしたがって実験値と離れてくるのは、不連続部を表す要素が偏ることによって極端に側方変位の大きい箇所が現れることなどによるものと思われる。

供試体の破壊状況を写真1に示す。不連続部を含まない場合は、載荷面下部にくさび形のせん断破壊面が生じているのがわかるが、不連続部を含んでいる場合にはせん断破壊面は一つの方方向に向かって不連続部をなぞる様に生じている。

3.3 クリープ試験結果

クリープ試験より得られたクリープ曲線を不連続部の容積率ごとに図6に示す。不連続部の容積率が0%、2.5%の結果では、クリープ荷重(σ_c)が増加すればクリープ曲線のひずみ量もそれに応じて増加しているが、5%および10%の結果においては、それが逆転しているものがみられる。クリープ挙動と言うものは、微小な荷重の変化に対しても非常に敏感に反応するものであると言われており、このように非常にデリケートな挙動を示すものに対して、不連続部の配置の偏りも、そ



供試体 A

供試体 D R

写真1 供試体の破壊状況

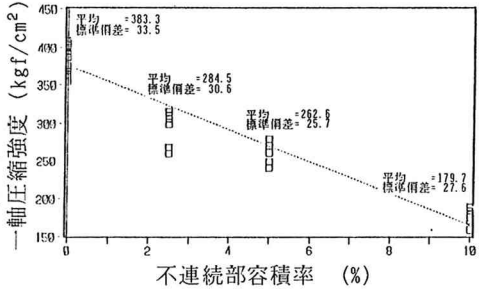


図2 一軸圧縮強度と容積率の関係

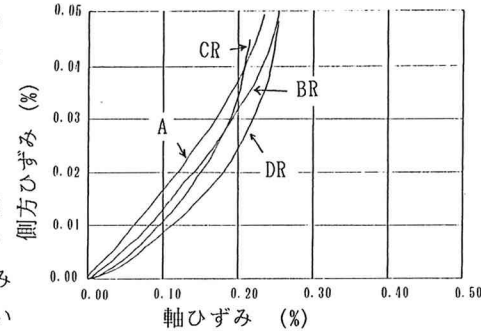


図3 側方ひずみ～軸ひずみ曲線

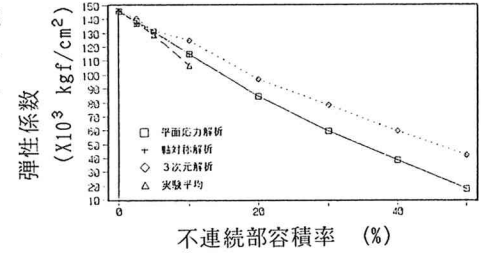


図4 弾性係数と容積率の関係

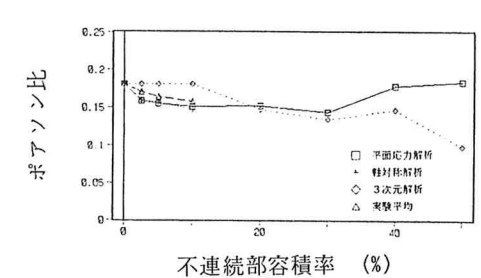


図5 ポアソン比と容積率の関係

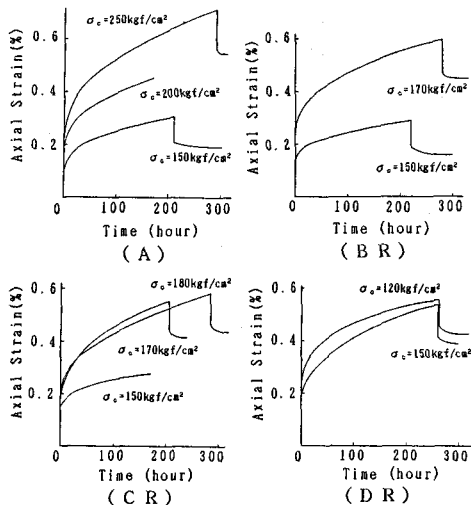


図6 各容積率のクリープ曲線

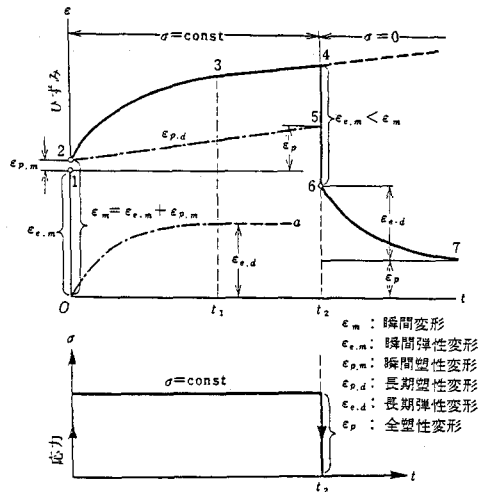


図7 クリープ曲線からの各ひずみ成分の算出

の量が増えてくれば問題になってくるものと思われ、上記のクリープ曲線の乱れもこのような影響によるものと思われる。

図7に示すように、実験から得られたクリープ曲線から瞬間弾性ひずみ、遅延弾性ひずみ、瞬間塑性ひずみ、および粘塑性ひずみを算出した。これらのひずみは図8に示すレオロジーモデルによって評価できる。そのクリープ式を次式に示す。

上式の右辺第1項は瞬間弾性ひずみ、第2項は遅延弾性ひずみ、第3項は粘塑性ひずみ、そして第4項は瞬間塑性ひずみに対応している。ここで、 $H(\sigma)$ はステップ関数であり、 κ_1 、 κ_2 はスライダの係数を表している。 κ_1 、 κ_2 の値は今回の実験で得られたクリープ曲線全てに瞬間塑性および粘塑性ひずみが存在したために求めることができなかった。他のクリープ定数 J_0 、 J_1 、 η_2 、 J_p は図7に基づいて算出したそれぞれのひずみ量とクリープ応力および载荷時間より求めることができる。さらに、遅延時間 T_1 はクリープ曲線の除荷時間をスペクトル解析することにより求めることができる。このようにして求めたそれぞれのクリープ定数と不連続部の容積率の関係を図9～図13に示す。

クリープ荷重が150kgf/cm²の曲線より得られた定数は黒印で示し、また他の荷重についてもクリープ定数が荷重に対して線形であると仮定してここに示した。 J_0 、 J_1 、 J_p ともに不連続部の容積率と比例関係にあると言ってよいであろう。また、 η_2 については2.5%のデータを除けばほぼ不連続部の容積率と反比例関係にあると言えよう。

遅延時間 T_1 に関しては容積率との相関は見られなかった。

図14に各ひずみ成分の割合が不連続部の容積率に対してどの様に変化するかを示した。塑性ひずみの割合は容積率が増加するに従って増える傾向にあり、また、遅延ひずみはそのほとんどが粘塑性ひずみであり、遅延弾性ひずみは容積率にかかわらずほぼ一定の割合を示している。

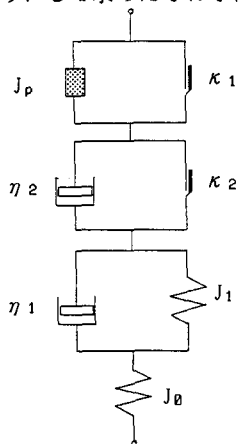


図8 レオロジーモデル

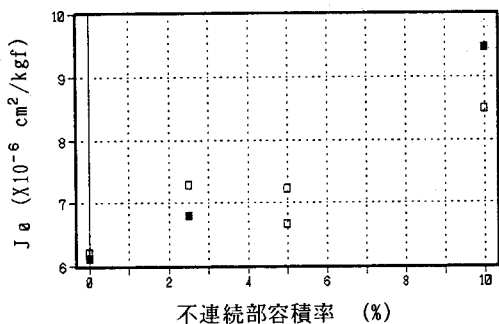


図9 J_0 と容積率の関係

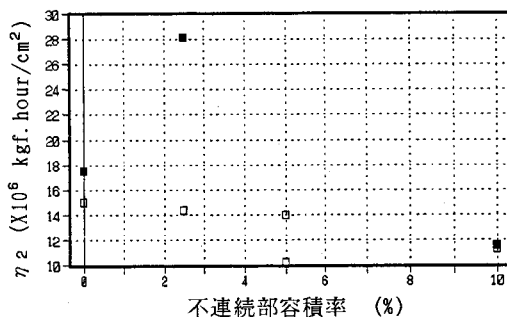


図12 η_2 と容積率の関係

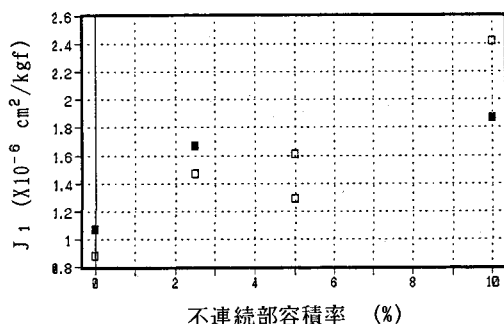


図10 J_1 と容積率の関係

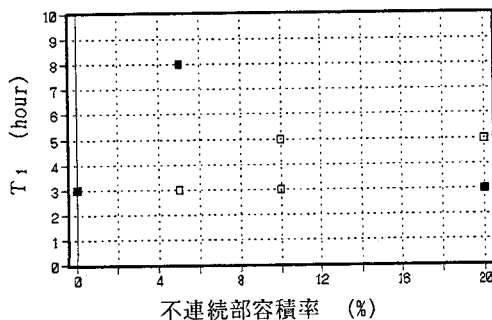


図13 T_1 と容積率の関係

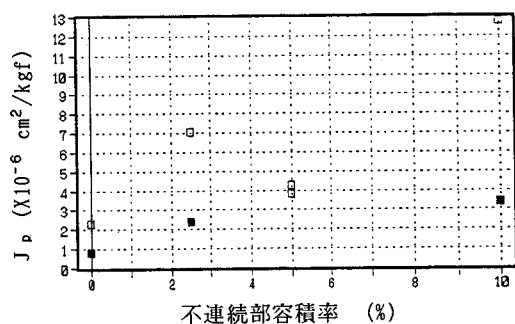


図11 J_p と容積率の関係

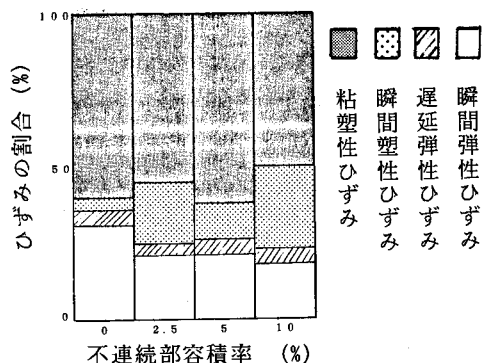


図14 各容積率におけるひずみ成分の割合

4. まとめ

本研究において得られたおもな結論を要約すると次の通りである。

- 1) 一軸圧縮試験より得られた見かけの弾性係数は、不連続部の容積率が10%までの結果でみる限り、ほぼ直線的に減少する。さらに、弾性解析結果によれば、容積率が20%までは直線的に減少し、それ以後も減少傾向は若干緩やかになりながらもほぼ直線的に減少すると言えよう。
- 2) ポアソン比も弾性係数と同様に容積率に対して反比例の関係が存在するようである。
- 3) クリープ試験はデータ数が少なく、またばらつきが大きいこともあり、実験結果の定量的な評価を行うことはできなかったが、定性的に不連続部が存在することによって瞬間弾性ひずみ、瞬間塑性ひずみ、遅延弾性ひずみ、長期塑性ひずみすべてが増加することがわかった。言い替えると、本研究で用いたモデルのクリープ定数 J_0 、 J_1 、 J_p は容積率に比例し、 η_2 は容積率に反比例する傾向があることがわかった。

参考文献

- (1) 赤木知之、：粘弾性定数の決定法に関する研究、文部省科学研究費一般研究(C)研究成果、1980
- (2) 大草重康、：新しい土質力学I、森北出版、1973