

(46) 不均質性岩質材料の限界ひずみ
に関する実験的研究

神戸大学工学部 正会員 櫻井 春輔
神戸大学大学院 ○ 土原 久哉
伊 藤 萬(株) 土田 晃

An experimental study on critical strain of nonhomogeneous rock-like materials

Shunsuke SAKURAI, Kobe University
Hisaya THUCHIHARA, Kobe University
Akira THUCHIDA, Itoman Co., Ltd.

Abstract

An experimental study has been carried out rock-like materials consisting of cement, plaster, clay and sand to make clear critical strain of nonhomogeneous rock materials.

The models are made by changing the ratio of mixing hard soft materials.

The study reveals that critical strain of both soft materials containing some blocks of soft materials becomes smaller than that of homogeneous materials.

This means that we should be very careful when monitoring the stability of nonhomogeneous rock masses consisting of mixture of hard and soft rocks, because the value of critical strain becomes extremely small.

1. はじめに

最近トンネルや斜面の掘削あるいは土留構造物などの施工において、施工中の構造物の挙動を計測し、その結果を設計施工にフィードバックさせる情報化施工が一般的になってきた。これは、事前の十分な調査、解析に基づいて設計を行っても地盤特性の複雑さのために予測される挙動は実際の挙動と異なるためである。そして、情報化施工においては計測結果をいかに設計・施工にフィードバックさせるかが問題であり現場から得られる測定値から、まず構造物の当初設計が妥当であったかどうか、さらに設計変更が必要かどうかの判断が必要である。そのためには測定値に対して何らかの基準値を判定しなければならない。著者の一人は先に、計測は変位計測が主体であることを考慮して、ひずみによる基準値”限界ひずみ”を提案した¹⁾。これは、一軸圧縮強度と弾性係数の比である

$$\varepsilon_g = \sigma_c / E$$

ここに、 ε_g ：限界ひずみ、 σ_c ：一軸圧縮強度、 E ：弾性係数

で定義されるものであり、不規則な不連続面を有する原位置岩盤に対するその値を室内試験の結果から推定できることが明らかになってきた。しかし、岩盤は必ずしも均質ではなく場所に因って割れ目や風化の状況が異なっている。本研究ではそのような不均質な岩盤の限界ひずみについて実験的に検討を加えたものである。

2. 実験概要

2-1. 供試体モデル

ここでは力学的性質が異なる2種類の材料（硬質材および軟質材）を用いて、不均質性を表現する岩質材料供試体を作製する。力学的特性が異なる2種類の材料の選定は次のように行った。限界ひずみに関する研究¹⁾によると、土や岩石供試体を用いた室内試験の結果、一軸圧縮強度と限界ひずみの関係はFig-1のようになることがわかっている。したがって相異なる2つの岩質材料は図中の帯状の範囲内に位置するように選定される必要がある。そこで今回Table-1に示すような配合で作製された軟材Aおよび硬材Bを用いることにした。それぞれの力学特性はFig-2およびTable-2に示すようになり、ともにFig-1の帯状の範囲内に位置しており不均質性岩質材料を構成する個々の材料として適当であることがわかる。

Table-1. 使用材料（体積比）

材料	セメント	標準豊浦砂	石こう	粘土	水
A	—	—	0.5	1	0.6
B	1	2	—	—	0.62

Table-2. 個々の材料の力学特性

	一軸圧縮強度	弾 性 係 数	限界ひずみ
A	9 kgf/cm ²	1800kgf/cm ²	0.5 %
B	348 kgf/cm ²	99429kgf/cm ²	0.35 %

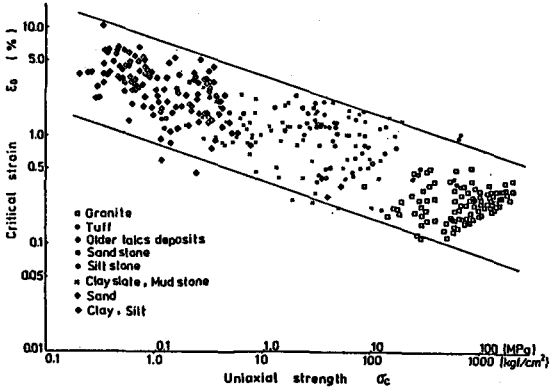


Fig-1 室内試験における限界ひずみと一軸圧縮強さ関係

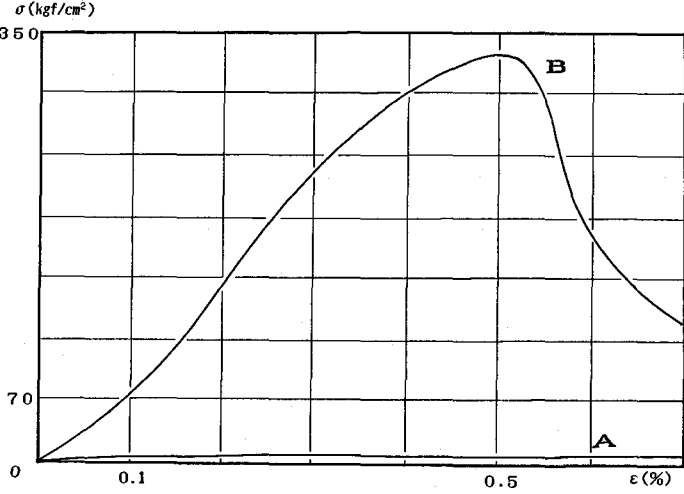


Fig-2 軟材Aと硬材Bの応力～ひずみ関係

2-2. 供試体の作製

これらのAとBの材料を用いて1つの供試体中にもう1つの材料よりなるブロックを混入させることにより不均質性岩質材料の供試体モデル2種類を作製する (Fig-3)。ここで2種類の供試体とは、硬材をベースにして軟材ブロックを混入した供試体 (SC供試体) と軟材をベースにして硬材ブロックを混入した供試体 (HC供試体) である。

2-3. 実験方法

前述の2種類の供試体 (供試体寸法は4cm×4cm×8cmと各ブロックの寸法は1.4cm×1.4cm×1.3cm) を用いて各ブロックの大きさと数を変化させながら一軸圧縮試験を実施した。なお、载荷に際してはひずみ制御を行いその载荷速度は0.01mm/minとした。

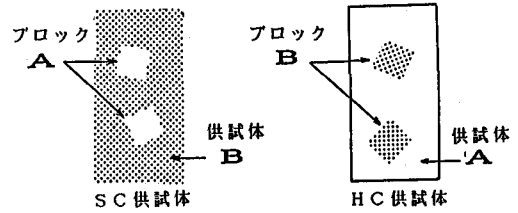


Fig-3 不均質岩質材料供試体モデル図

3. 実験結果及び考察

混入するブロックの体積および表面積をそれぞれ変化させた場合に不均質性岩質材料の力学特性がどのようになるか以下にその結果および考察を述べる。

3-1. 硬材混入率と限界ひずみ

ここで不均質性岩質材料中に占める硬材Bの割合を体積比で表したものを硬材混入率と定義し、 V_h/V (V_h ; 硬材の体積、 V ; 全体積) と表示する。

この硬材混入率と一軸圧縮強度および弾性係数の関係を図示するとFig-4のようになる。 $(\sigma_{ch}$ と E_h はそれぞれ硬材の一軸圧縮強度と弾性係数) 多少のばらつきはあるものの一軸圧縮強度および弾性係数はともに硬材混入率が小さくなると減少していく傾向にある。しかし、硬材混入率が50%前後で不連続な様相を呈している。このことに関して若干の考察を以下に述べる。

実験結果を一軸圧縮強度と限界ひずみの関係で整理するとFig-5のようになる。ここで、硬材混入率が0~50%程度までは、右下がりの直線上に結果が位置し (HC供試体)、それ以上にな

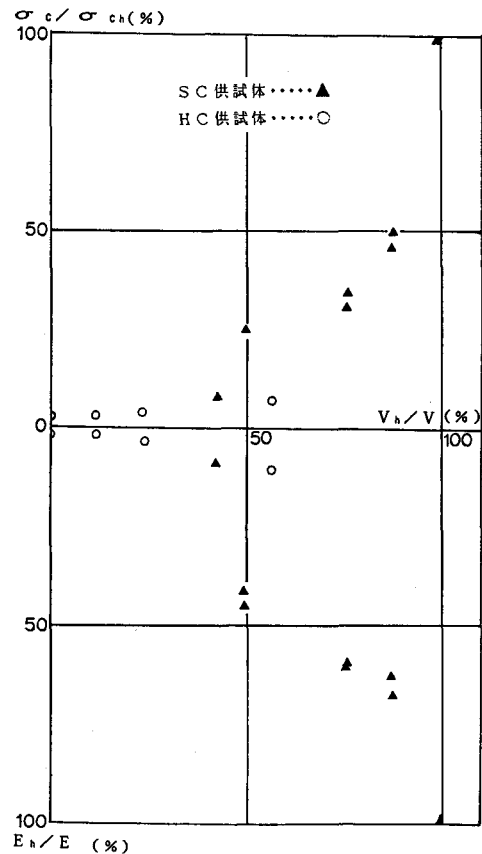


Fig-4 硬質混入率～一軸圧縮強度比弾性係数比関係

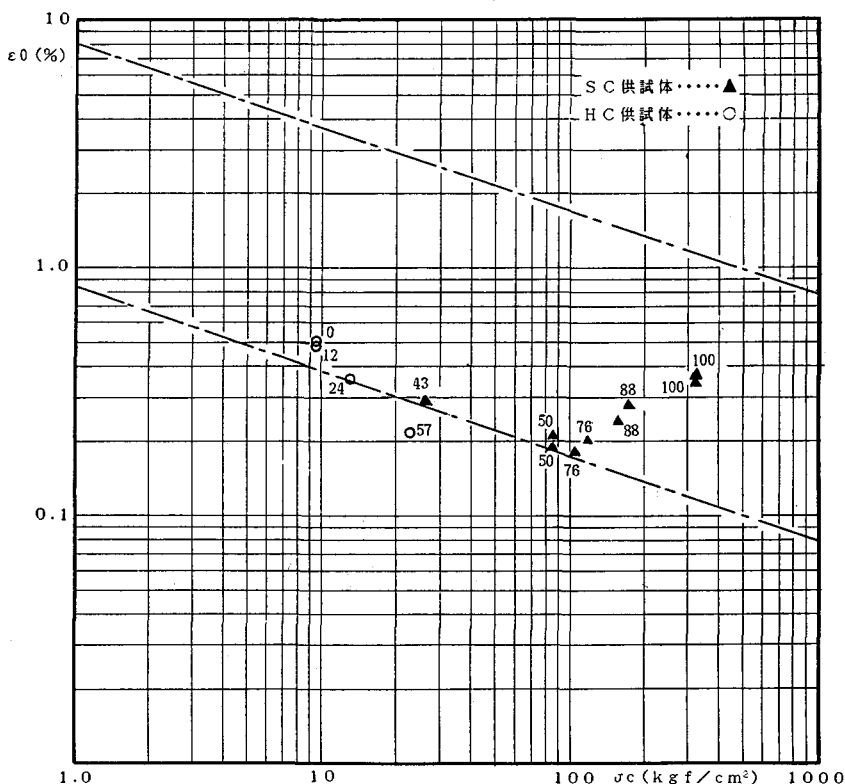


Fig-5 一軸圧縮強度～限界ひずみ関係

ると右上がりの直線上に位置している（SC供試体）。 $\varepsilon_h / \varepsilon_{h0} (\%)$

これまでの限界ひずみの研究から、一軸圧縮強度～限界ひずみ関係図（Fig-1）において、右下がりの直線は異種類の地盤材料を表し、右上がりの直線は同種類の材料を表すことがわかっている。つまり、硬材混入率が増えるに従って不均質性岩質材料としての材質が変化し（硬くなり）、ある程度に達すると混入率が増加しても材質は変化せず、むしろ軟材による構造的欠陥が減少していくものと思われる。今回の実験では、その遷移点が硬材混入率50%程度のところにあったため、その付近で不安定となり不連続の様相が現れている。そして、この領域は実質的にSC供試体とHC供試体が互いに入れかわるところである。

また、硬材混入率と限界ひずみの関係はFig-6のようになる。（ ε_{h0} は硬材の限界ひずみ）ここで注目すべきことは、不均質性岩質材料の限界ひずみが硬材のそれよりもさらに小さくなることである。

一方、硬材混入率と限界ひずみの関係は連続的でありFig-4の一軸圧縮強度と弾性係数のように不連続の様相はない。

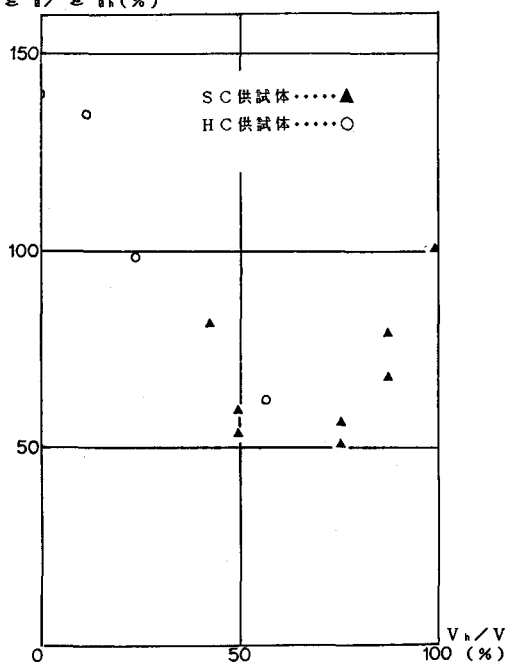


Fig-6
硬材混入率～限界ひずみ比関係

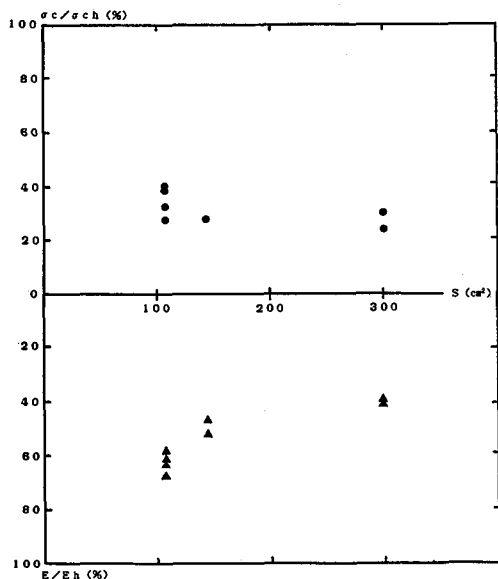


Fig-7 表面積～一軸圧縮強度比、弾性係数比関係

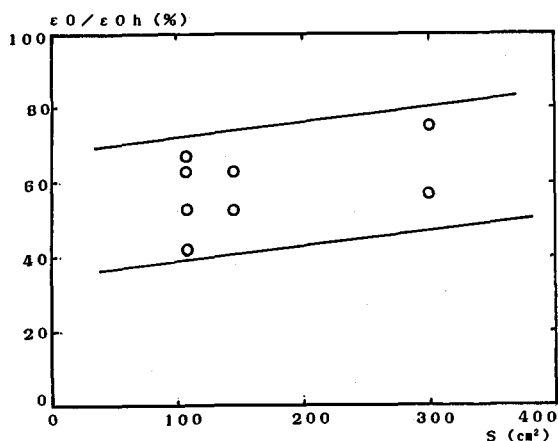


Fig-8 表面積～限界ひずみ比関係

3-2. ブロックの表面積と限界ひずみ

次に同一の硬材混入率下においてブロックの表面積を変化させた場合について述べる。今回の実験ではSC供試体を用いて、硬材混入率を80%（一定）とし、ブロックの寸法を1cm×1cm×1cm、2cm×2cm×2cm、3cm×3cm×3cmの3通りに変えて実験を行った。ブロックの表面積（S）と一軸圧縮強度および弾性係数の関係を図示するとFig-7のようになる。一方、ブロックの表面積と限界ひずみの関係はFig-8のようになる。

これらの結果から表面積が大きくなるにつれて、一軸圧縮強度や弾性係数は共に若干減少する傾向があり、その比として定められる限界ひずみはほぼ一定もしくは若干増加する傾向にあることがわかる。

4. まとめ

- (1) 硬材および軟材により構成される不均質性岩質材料の限界ひずみは硬材のそれよりさらに小さくなる。
- (2) 硬材および軟材により構成される不均質性岩質性材料の特徴は、硬材混入率に対応してHC供試体のように材質の変化を示す場合とSC供試体のように構造的変化を示す場合の2通りに分けられる。
- (3) 硬材を供試体とし、軟材をブロックとした不均質性岩質材料（SC供試体）において、同一硬材混入率でもブロックの表面積が大きいほど限界ひずみは若干増える傾向にある。

(参考文献)

- 1) 櫻井春輔：NATMにおける現場計測と管理基準値、土と基礎、34-2(337)、1986。