

(27) 軟岩の限界ひずみにおよぼす間隙水の影響について

神戸大学大学院 学生会員 ○ 川嶋幾夫
神戸大学大学院 学生会員 大谷達彦
神戸大学工学部 梅田安哉
神戸大学工学部 正会員 櫻井春輔

Effects of pore water on critical strain of soft rocks

Ikuko kawashima, Kobe Univ.
Tatsuhiko Otani, Kobe Univ.
Yasuchika Umeda, Kobe Univ.
Shunsuke Sakurai, Kobe Univ.

Abstract

In order to assess the stability of tunnels, Sakurai has proposed the Direct Strain Evaluation Technique(DSET), in which "critical strain" (a uniaxial compressive strength divided by modulus of deformation) plays an important role as an allowable value for assessing the strain distribution occurring around a tunnel. It has already been demonstrated that the critical strain of jointed rock masses can be obtained easily from laboratory tests. However, the effects of environmental factors such as confining pressure and water content on the critical strain have not been clearly understood yet. In this paper, therefore, these environmental factors are investigated in the laboratory by performing uniaxial and triaxial compressive tests on cylindrical specimens of soft rocks. It is concluded that the effects of these environmental factors are negligibly small, so that the critical strain can be assumed to be nearly constant under the condition of any confining pressure or moisture content.

1. まえがき

近年、岩盤構造物の施工において、現場計測結果を設計や施工管理にフィードバックさせる情報化施工が一般的に行われるようになってきた。この情報化施工においては、現場計測結果をいかに評価するかが重要であり、そのための、基準値が不可欠になっている。一方、現場計測では、その容易性から変位計測が主体に行われる。このような状況から、著者の一人はこのときの規準値として、変位から直接求めることができるひずみ量の規準値である"限界ひずみ； ε_g "を提案した¹⁾。この限界ひずみは図-1のように一軸圧縮強度を変形係数で除した値として定義する。

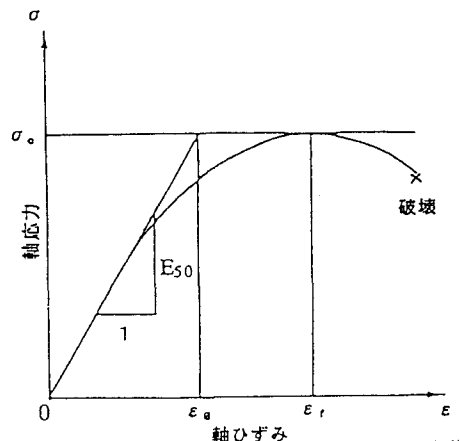


図-1. 一軸圧縮応力状態の限界ひずみの定義

$$\varepsilon_g = \sigma_c / E_{50} \quad (\text{ここで、} \varepsilon_g: \text{限界ひずみ, } \sigma_c: \text{一軸圧縮強度, } E_{50}: \text{変形係数}) \quad (1)$$

これまでの研究から、原位置試験から求めた限界ひずみと、室内試験から求めたそれがほとんど変わらず、したがって室内試験より求めた限界ひずみの値を用いて現場計測結果の評価を行い得ることが分かっている²⁾。

しかしながら、原位置における岩盤は地下水および降雨による浸透水などの影響を受ける。また、地下水や浸透水は天候や季節によって変化するため、岩盤の含水状態もこれに伴い変化する。さらに、岩盤の含水状態が飽和状態にあるときは、地下水圧がこれらの影響を受けて変動する。このため、限界ひずみを原位置岩盤の評価のための基準値として適用するには、限界ひずみにおよぼす間隙水の影響を調べる必要がある。そこで、本研究では、まず軟岩を用いて含水比を変化させた一軸圧縮強度試験を行い、含水状態と限界ひずみの関係を調べた。つぎに、三軸圧縮応力状態における限界ひずみを定義したうえで、拘束圧と限界ひずみの関係について調べた。

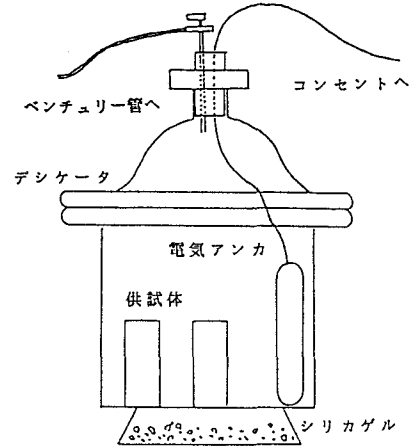


図-2. 乾燥装置

2. 含水状態と限界ひずみの関係

ここでは、含水状態と限界ひずみの関係を調べるために、二種類の軟岩を用い、これらの含水状態を種々に変えた供試体を用いて一軸圧縮試験を行った。

2.1 供試体

実験には、多孔質凝灰岩である田下石および神戸層砂岩を直径50mm×高さ100mmの円柱供試体に整形して用いた。

ここでは、含水状態と限界ひずみの関係を調べるため、供試体の含水状態を種々に設定したが、これは次のようにして行った。

まず、供試体を真空脱気水槽内に一週間以上浸して飽和状態にした。その後、供試体を徐々に乾燥させ予め設定した含水状態に調整した。このとき図-2に示す乾燥装置を用いたが、これはベンチュリー管を用いてデシケータ内を20mmHgの圧力に保持し、同時に電気アンカでデシケータ内の温度を40℃に保つことができるものである。この装置を用いることにより、図-3に示した水の蒸気圧曲線からわかるように、供試体の乾燥が十分期待できることが分かる。ここでは、含水状態を調整するにあたって、飽和度をパラメータにして20%刻みに100（飽和）、80、60、40、20、0（絶乾）%のケースを設定し、この飽和度を目標に含水状態を調整した。また、このときの乾燥中供試体の飽和度は次式より推定した。

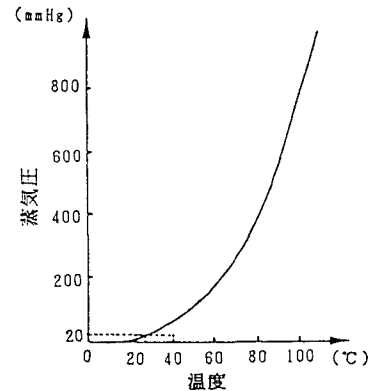


図-3. 水の蒸気圧曲線

$$(\text{飽和度}) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$\text{ここで、} V_v = V - \frac{W_w}{\gamma_w (G_s - 1)} \quad (3)$$

$$V_w = \frac{W - G_s (V - V_v)}{\gamma_w} \quad (4)$$

ここで、 V ：供試体の体積、 W_w ：水中重量、 W ：供試体の重量、 G_s ：予め測定しておいた岩質部比重、 γ_w ：水の単位体積重量

このように飽和度を調整した供試体を用いて実験を行い、実験終了後に直ちに含水比を測定した。また、室乾状態の含水比は実験室内において十分乾燥するまで放置した岩石のものである。

2.2 実験方法および計測方法

一軸圧縮試験はいずれも定ひずみ速度（0.01%/min）で载荷を行った。計測は、軸荷重はロードセルで行い、軸方向および周方向のひずみは対称の位置に貼付したそれぞれ2枚のひずみゲージで行った。

2.3 実験ケース

この実験には、2つの性質の違う軟岩である凝灰岩と砂岩を用いて、それぞれ飽和度が100、80、60、40、20、0%の6ケースについてそれぞれ3個ずつ行った。

2.4 実験結果

まず、軸応力～軸ひずみ関係を、凝灰岩と砂岩についてそれぞれ図-4および図-5に示す。これらの図より、含水比が大きくなるに従って、強度および変形係数が小さくなっていることがわかる。一方、ピーク強度時のひずみは含水比が大きい場合はほぼ一定であることが分かる。

つぎに、凝灰岩および砂岩について、一軸圧縮強度～含水比関係を図-6および図-7に、また変形係数～含水比関係を図-8および図-9にそれぞれ示す。図-6および図-7から一軸圧縮強度～含水比関係において凝灰岩、砂岩ともに含水比が大きなものほど一軸圧縮強度は小さく、また、これが下に凸の関係にあることが分かる。一方、図-8、図-9に示した変形係数～含水比関係においても同様であり含水比が大きいものほど変形係数が小さくなっており、このときも下に凸の関係にある。これも凝灰岩および砂岩に共通している。

つぎに、一軸圧縮強度と変形係数の比として求める限界ひずみと、含水比との関係を凝灰岩、砂岩についてそれぞれ図-10、図-11に示す。これらの図から、どちらの岩石についても室乾状態の含水比をほぼ境にして、それより含水比が大きい場合は限界ひずみが一定になっていることがわかる。一方、一般に原位置の岩盤は地下水や降雨の影響を受け含水状態が変化するが、室乾状態よりは、含水比が小さくならず、室乾～飽和の間の範囲にあると考えられる。ここで、限界ひずみが室乾～飽和の範囲においてほぼ一定になることを考えると、原位置岩盤の限界ひずみは一定として扱うことができ施工管理における管理基準値として、優れた特性を有しているといえる。

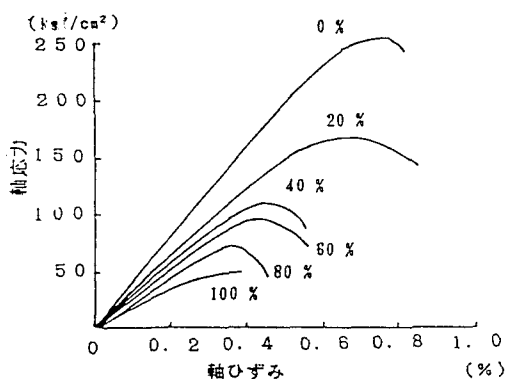


図-4. 軸応力～軸ひずみ関係（凝灰岩）

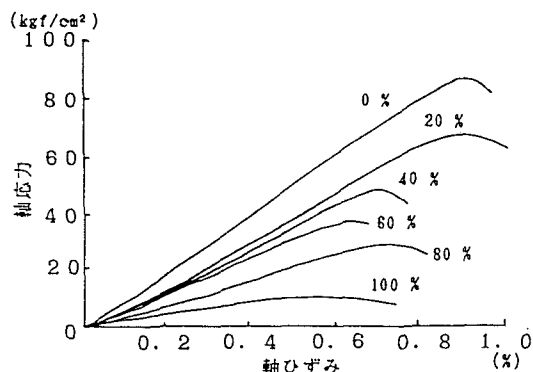


図-5. 軸応力～軸ひずみ関係（砂岩）

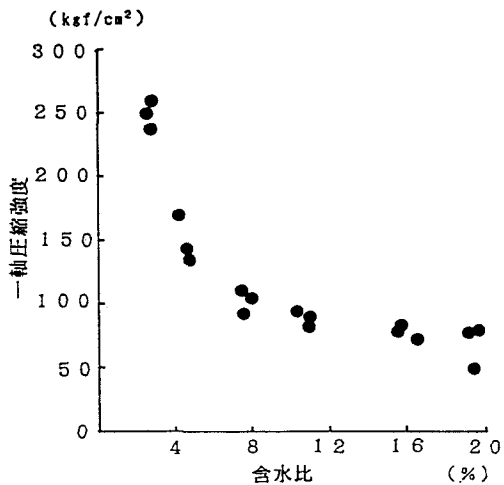


図-6. 一軸圧縮強度～含水比関係 (凝灰岩)

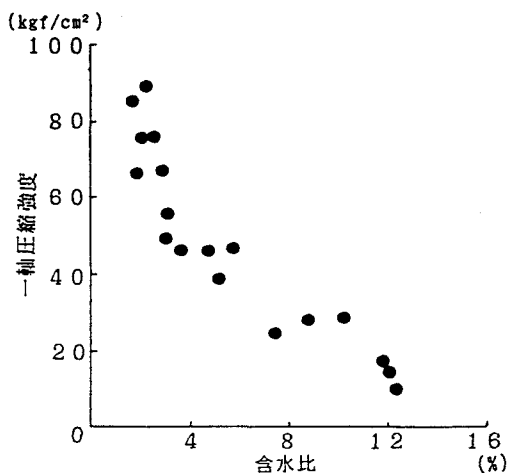


図-7. 一軸圧縮強度～含水比関係 (砂岩)

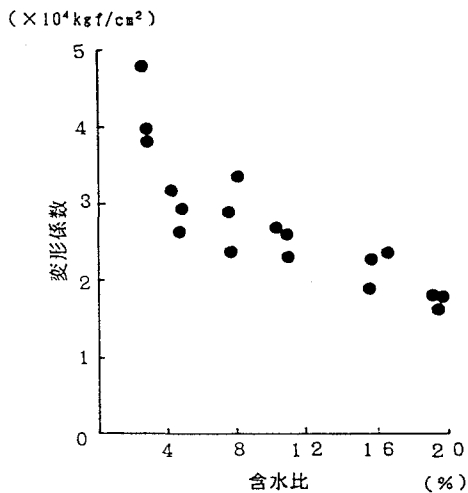


図-8. 変形係数～含水比関係 (凝灰岩)

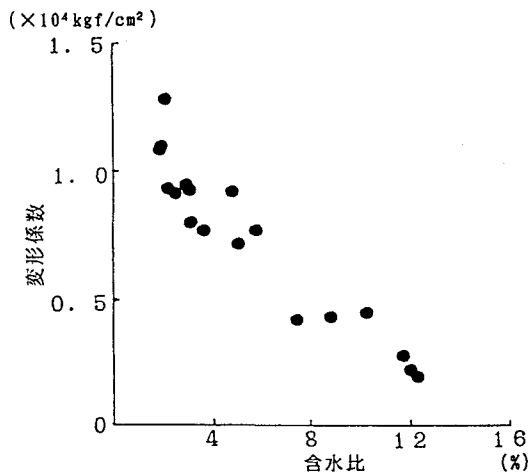


図-9. 変形係数～含水比関係 (砂岩)

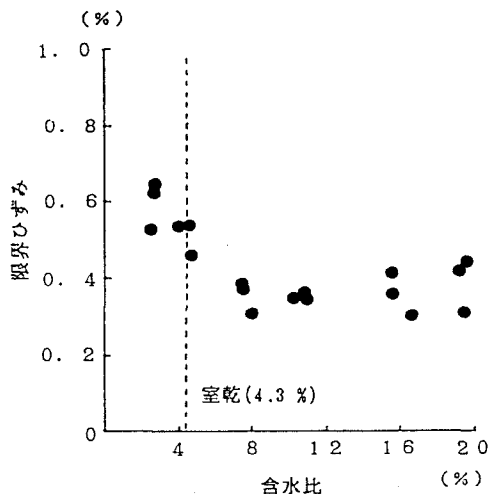


図-10. 限界ひずみ～含水比関係 (凝灰岩)

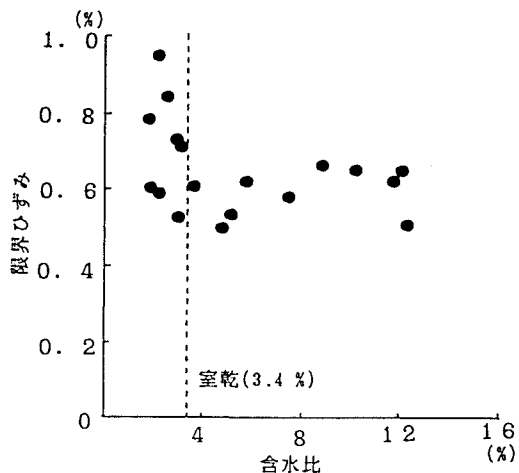


図-11. 限界ひずみ～含水比関係 (砂岩)

3. 拘束圧と限界ひずみの関係

つぎに、拘束圧との関係を調べるために、排水条件の三軸圧縮試験を行った。ここでの実験には多孔質凝灰岩である田下石を用いた。

3. 1 排水条件の三軸圧縮試験における限界ひずみ

これまで一軸圧縮応力状態において、限界ひずみは一軸圧縮強度の変形係数に対する比として定義してきたが、ここでは、一軸圧縮強度にかえて最大軸差強度を用いる。

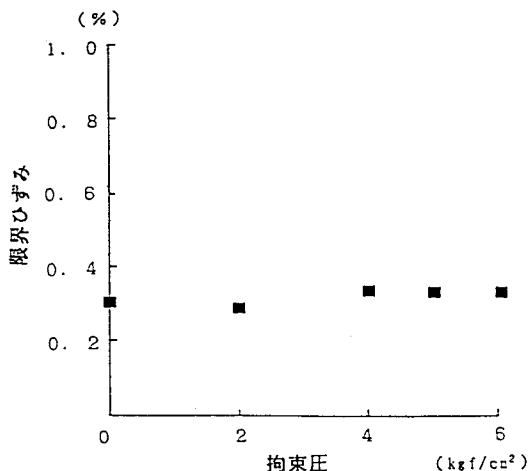


図-12. 限界ひずみ～拘束圧関係（排水試験）

3. 2 実験の概要

つぎに、拘束圧と限界ひずみの関係を調べるために、排水条件の三軸圧縮試験を行った。このとき、真空脱気水槽内で飽和状態にした供試体を用い、拘束圧は0, 2, 4, 5, 6 kgf/cm²のケースについて実験を行った。

3. 3 実験結果

図-12に拘束圧を変化させたときの、排水条件の三軸圧縮試験結果から求めた限界ひずみ～拘束圧関係を示す。これより、拘束圧が変化しても限界ひずみはほとんど変わらないことが分かる。また、三軸圧縮試験より求めた限界ひずみの値は、一軸圧縮試験より求めたそれとほとんど同じ値を示していることが分かる。

4. まとめ

本研究では、限界ひずみにおよぼす間隙水の影響を調べた。その結果、次のことが分かった。

① 一般の岩盤の含水状態は室乾～飽和の範囲にあると考えられる。このときの限界ひずみは、含水比の大小に拘らず一定の値となる。

② 岩盤内において、その拘束圧が変化する場合においても、その限界ひずみは一定で、かつ、一軸圧縮応力状態における値と大差ない。

以上のことより、含水状態や拘束圧の変化する岩盤においても一軸圧縮試験から求められる岩石の限界ひずみを岩盤の管理基準値として適用することができる。

謝辞：本研究において試料を御提供頂いた神戸市開発局に感謝致します。

（参考文献）

- 1) 櫻井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文報告集，第317号，pp.93～100，1982年
- 2) Sakurai, S.: Displacement Measurements Associated with the Design of Underground Openings, Proc. Int. Sympo. Field Measurements in Geomechanics, Zurich, Vol. 2, pp. 1163～1178, 1983.