

(89) スクィーzingレベルの判定規準となるパラメータ（状態ひずみ比）について

東海大学	(正)	○	アイダン・オメル
豊田高専	(正)		赤木知之
愛知工業大学	(正)		川本眺万

A CONSIDERATION ON THE STATE STRAIN LEVELS FOR ASSESSING THE SQUEEZING POTENTIAL OF ROCKS AROUND TUNNELS

Ömer AYDAN	Tokai University
Tomoyuki AKAGI	Toyota National College of Technology
Toshikazu KAWAMOTO	Aichi Institute of Technology

ABSTRACT

The squeezing phenomenon of rocks around tunnels is one of the most important problem in tunnelling. Particularly, assessing the possibility of squeezing and its degree has always been a big problem for engineers. For this purpose, the authors have proposed to use the state strain levels for the assessment of the possibility and the degree of squeezing of rocks (Aydan et al. 1992). Since then, several questions have been arisen. The first question was associated with the use of normalised strain levels rather the strain levels themselves. The second question was related to the effect of confining pressure on the normalised strain levels. In this paper, it is clarified that the normalised strain levels for rocks of the same uniaxial strength are almost invariable while non-normalised strain levels of those are variable. Furthermore, the non-normalised strain levels depend on the confining pressure while the normalised strain levels are almost independent of the confining pressure. It is, therefore, concluded that the use of normalised strain levels is much more superior to that of non-normalised strain levels for assessing the possibility and degree of squeezing of rocks around tunnels.

1. まえがき

著者らは、いわゆる膨張性トンネルと呼ばれるその現象のメカニズムは、周辺地山が降伏してトンネル内空に押し出して来るスクィーzingと地山中の粘土鉱物が吸水して膨潤するスウェリングに分けられ、日本における膨張事例の多くはスクィーzingであることを指摘するとともに、その定量的予測方法について提案している¹⁾。

従来、トンネルがスクィーzingするかどうかは、地山を構成する岩石の種類、地質構造および地山強度比などからおおよそ推定できるまでになっているが、その定量的な判定となると、たとえば、周辺地山の周ひずみが1%を越えるとスクィーzingであるとするなどの大まかな判定規準の提案²⁾があるだけで、具体的なスクィーzingレベルを予測する手段はなかった。

それに対し、著者らの研究では、各種岩石試料に対する応力ひずみ曲線を収集整理し、破壊に至るまでの試料の状態変化を特徴づけるいくつかのひずみ値を特定し、それらを弾性限界ひずみで正規化した値を「状態ひずみ比」と定義し、それらによってスクィーzingレベルを分類したところ、きわめて明決な判定が可能になったものである。

そこで、本論文では、それらの状態ひずみ比を定義するの用いたバックデータをまとめ、その有効性を認定し得る根拠を示そうとするものである¹⁾。

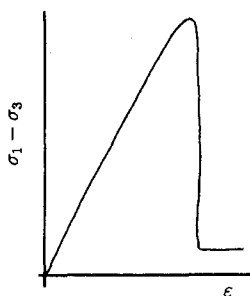


Fig. 1 Triaxial behaviour of rock-bursting rocks

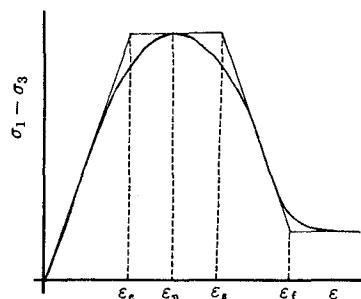


Fig. 2 Triaxial behaviour of squeezing rocks

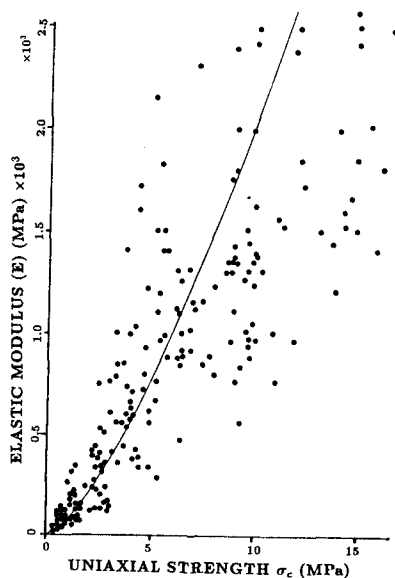


Fig. 3 Relation between elastic modulus and uniaxial strength

2. スクィーズングロックの応力-ひずみ挙動

トンネル壁面の変形挙動は、地山の降伏後の応力-ひずみ特性に依存する。図-1のような脆性的特性を示す岩石の場合は、内空変位はほとんど見られず、瞬時に壁面が破壊する「山はね」現象となる可能性を持つ。スクィーズングを示すのは、図-2のような応力-ひずみ特性を持つ岩の場合で、地山が降伏すると壁面変位がじわじわと進行して、大きな内空変位を示すことになる。降伏後の変形挙動は、当然、時間に依存するのでスクィーズングも時間に依存した現象となるが、本研究では、ひずみ値とそれに対するトンネル壁面変位だけでスクィーズングのレベルを判定すること考える。

3. 状態ひずみと状態ひずみ比の定義

図-2に示したスクィーズングロックの応力-ひずみ曲線において、それぞれの状態が変化する時のひずみを図に示すようにいくつか定義して、それを状態ひずみと名づける。すなわち、

- 弾性限界ひずみ (ϵ_e): 初期の直線部の延長線とピーク点を通る水平線の交点のひずみ値
- ピークひずみ (ϵ_p): ピーク時のひずみ値
- 軟化開始ひずみ (ϵ_s): 軟化過程の直線分の延長線とピーク点を通る水平線との交点のひずみ値
- 流動開始ひずみ (ϵ_f): 流動過程の漸近線と軟化過程の直線部の交点のひずみ値

これらの状態ひずみ値によってスクィーズングのレベルを判定することが出来ないだろうかと、既往の調査事例から岩石試料の結果を抽出し、状態ひずみを読み取ってそれらを一軸圧縮強度との関係として整理してみた。その結果を図-4～6に黒マークで示す。それらの結果によれば、状態ひずみの基本値である弾性限界ひずみは固より他の値もかなりばらついており、一軸圧縮強度との相関性を確かめることができない。これらのばらつきは弾性係数とも関係すると思われるので、同じく試験データを整理して弾性係数と一軸圧縮強度の相関性も調べた。その結果を図-3に示すが、弾性係数は一軸強度の100～500倍の値を示し、かなり

のばらつきを示している。このような状態では一軸圧縮強度をパラメータとして状態ひずみ値を基本にしたスキューズィングのレベルの判定は困難であると言わねばならない。そこで、思考を原点に戻し、スキューズィングの状態とは、その時の地山のひずみ値ではなく、地山材料が降伏した後のひずみ挙動に関するものと考え、これら状態ひずみ値をそれらの一つである弾性限界ひずみで除して正規化した値を判定規準としてみることにした。それらを状態ひずみ比と名づけ、つぎのように定義する

$$\eta_e = 1, \quad \eta_p = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_e}, \quad \eta_s = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_e}, \quad \eta_f = \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_e} \quad (1)$$

図-4～6にこれらの値を白ぬきのマークでプロットしてある。黒マークで示した状態ひずみに比較して一軸圧縮強度とかなりよい相関が見られる。このことは強度が同程度であれば、たとえ弾性係数が異なってもその状態ひずみ比はほぼ同じであることを意味している。著者らは、これらの関係を式で表し、状態ひずみ比によってスキューズィングのレベルを分類し、対応したトンネル壁面変位を算定する手法も導入して、地山の一軸圧縮強度と土被りからスキューズィングを定量的に予測する方法を提案している¹⁾。

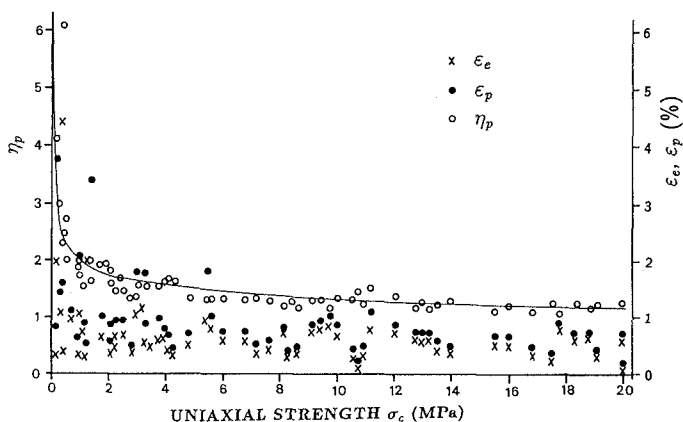


Fig. 4 Relation between $\varepsilon_e, \varepsilon_p, \eta_p$ and uniaxial strength

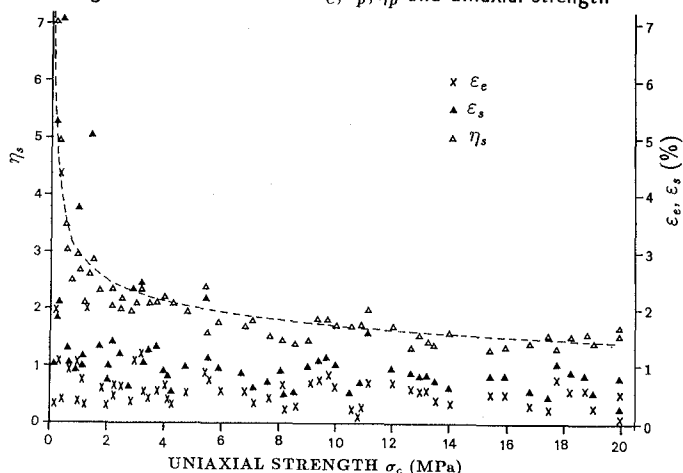


Fig. 5 Relation between $\varepsilon_e, \varepsilon_s, \eta_s$ and uniaxial strength

4. 状態ひずみと状態ひずみ比の拘束圧依存性について

調べた岩石試料データには、一軸圧縮強度および三軸圧縮試験の結果が混在しており、当然のことながら試験結果は拘束圧に依存するものと考えられるから、そのことを確認しておかなければならない。数多く検討し

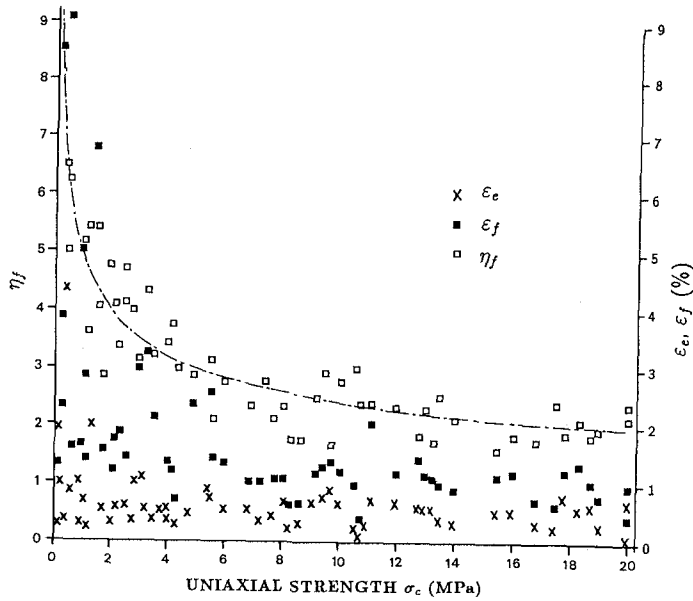


Fig. 6 Relation between $\varepsilon_e, \varepsilon_f, \eta_f$ and uniaxial strength

た試料データの中から代表的な四つの岩石（しらす、神戸層泥岩、大谷石、船入石）を選んで、それらの応力-ひずみ曲線および状態ひずみと状態ひずみ比の拘束圧依存性を調べた結果を図-7～10に示す。それぞれ異なる一軸圧縮強度が異なっている例でシラスは0.5 MPa、神戸層泥岩は2 MPa、大谷石は10 MPa、船入石は20

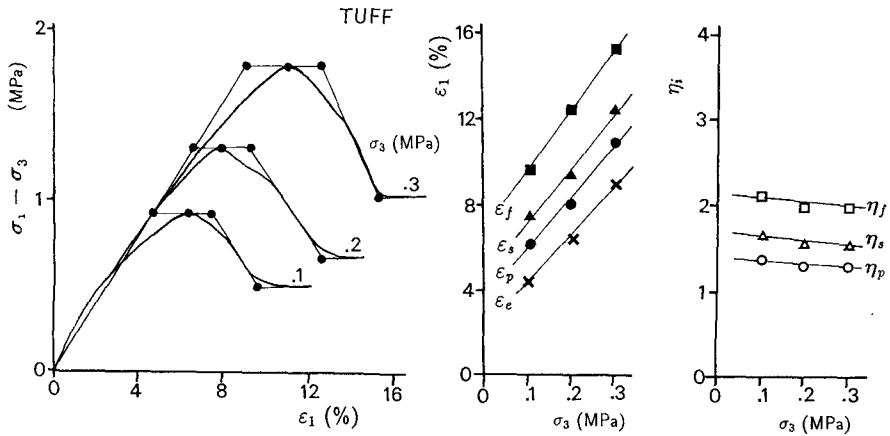


Fig. 7 State strains and strain levels for Shirasu Tuff

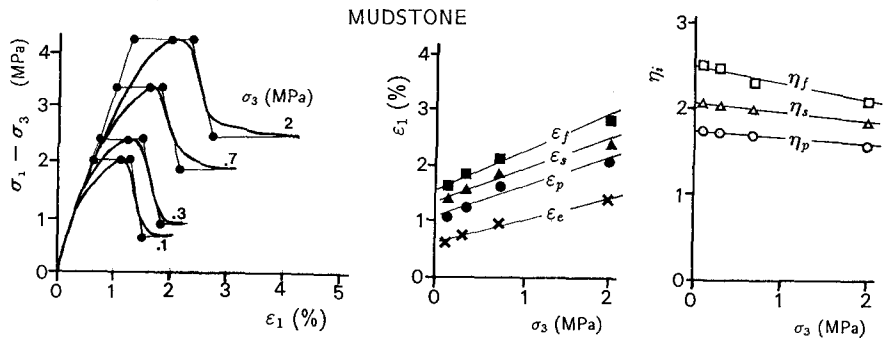


Fig. 8 State strains and strain levels for Kobe Mudstone

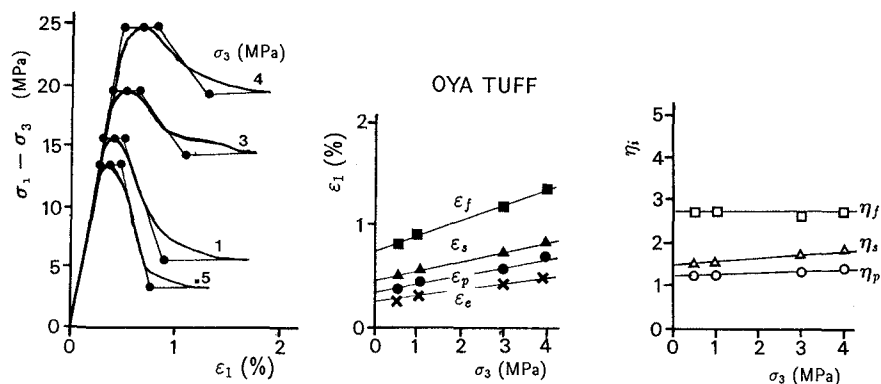


Fig. 9 State strains and strain levels for Oya Tuff

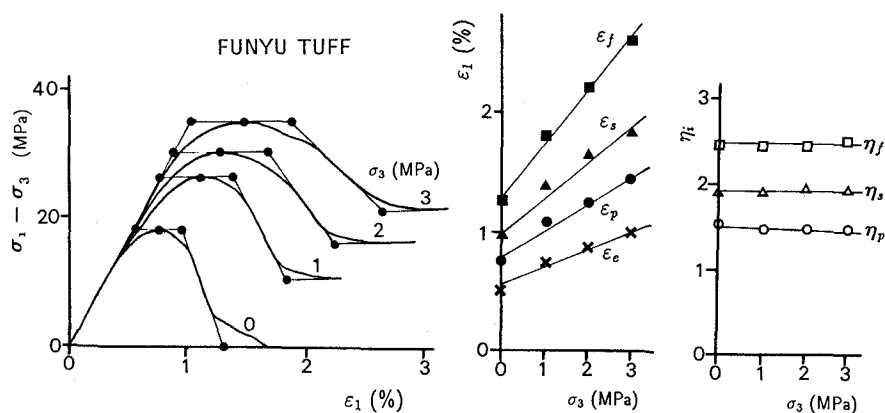


Fig. 10 State strains and strain levels for Funyu Tuff

MPaである。いずれも、状態ひずみ値は拘束圧に依存して大きくなる傾向を示しているのに対し状態ひずみ比は拘束圧に対してほぼ一定値を示していることがわかる。

5. あとがき

スキューズングロックの岩石試験結果を収集整理し、それらの状態ひずみと状態ひずみ比に関して検討を行った。その結果、同強度の岩に関して状態ひずみにくらべ、状態ひずみ比がほとんど不変であることが明らかになった。さらに、状態ひずみが拘束圧に依存するのに対し、状態ひずみ比は拘束圧に依らないことも明確になった。従って、トンネル周辺岩盤のスキューズングの可能性とレベルの予測に使うパラメータとしては、状態ひずみより状態ひずみ比の方がより妥当であると結論づけることができる。

参考文献

- 1-) アイダン・オメル、赤木知之、伊東孝、川本眺万: スキューズング地山におけるトンネルの変形とその予測方法について、土木学会論文集、No.448/III-19, pp.73-82, 1992.
- 2-) Saari, K.: Analysis of plastic deformation (squeezing) of layers intersecting tunnels and shafts in rock. PhD Thesis, University of California, Berkeley, 1982.