

(28) 膨潤性地山におけるトンネルの緩み領域の推定法に関する研究

応用地質株式会社 ○鶴原 敬久

応用地質株式会社 進士 正人

An Estimation of Identification of Loosening Zone depending on Swelling Rock Media

Takahisa, TSURUHARA, OYO Corporation
Masato, SHINJI , OYO Corporation

summary

It is often observed that a time-dependant deformation is larger than an elastic deformation in tunnel excavation. This phenomenon indicates that the tunnel support suffers time-dependant behavior of swelling rock media. One of authors measured that kind of detailed behaviour due to tunnel excavation. And they tried to separate all deformations due to tunnel excavation into elastic deformations and time-dependant deformations by using highly precise measuring systems.

In this paper, we proposed a new technique of estimating the loosening zone and its degree by using time-dependant deformations and applied in the case of above mentioned behavior. Compared our results with the result by Sakurai's inversion method, we conclude the technique proposed in this paper to be validated for evaluation of the stability of swelling rock media surrounding tunnel considering the back analysis method as a result of applying the technique to the actual data of field measurements during tunnel constructions.

1. はじめに

膨潤性を有する地山にトンネルを施工する場合、トンネル掘削によって発生する変形よりも大きい変形がトンネル掘削後に観測されることがある。この様な、地山の膨潤性に起因する時間依存的な変形はトンネルの支保に与える影響が大きいため、その緩み領域およびその程度を把握することが、支保の安定性評価、しいてはトンネルの最適設計のために重要となる。著者のひとりは、以上の様な観点から、膨潤性トンネルにおけるB計測において、高頻度の精密計測を実施した¹⁾。その計測結果より、掘削直後の弾性的な変形と時間依存性による変形が重ね合わされた形として掘削時の変形が得られることを示した。本文では、時間依存性の変形挙動を基に地山の緩み領域とその程度を推定する方法について述べる。さらに、計測結果に本文で提案した推定法を適用しその妥当性についての若干の検討を行う。

2. 緩み領域の推定法の提案

本文では膨潤現象に起因した時間依存性の変形挙動を主に取り扱う。そして、その変形挙動の顕著な領域をいわゆる「緩み領域」と呼ぶこととする。一般に、時間依存性の変形挙動の原因は、モンモリロナイトなどの粘土鉱物の膨潤特性に起因した地山の膨張とそれに伴う劣化現象と考えられるが、応力と変形という観点でこの挙動を考え

ると、これは、一定の応力状態の下で時間の経過とともに変形が進行していく現象と捉えることができる。しかし、この現象は、応力だけに依存しておらず、モンモリロナイト等の化学的な性質に深く関係することから、その挙動の厳密な定式化は非常に複雑になるものと考えられ

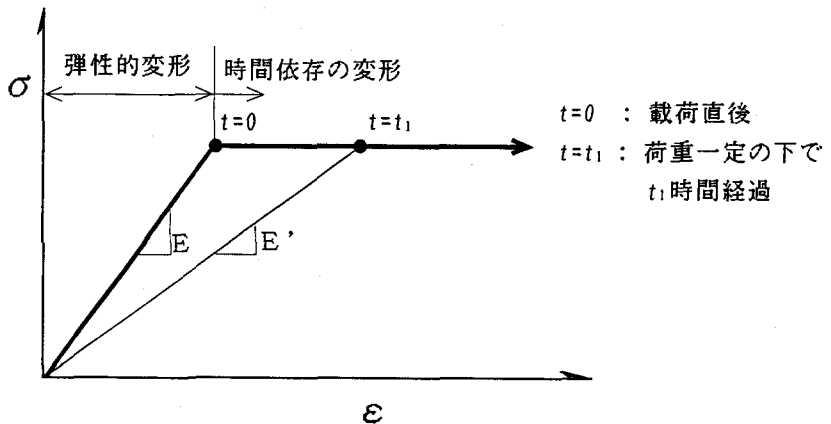


図-1 時間依存の変位量が発生した場合の応力-ひずみ関係

る。従って、ここで提案する手法は、時間依存性の変位計測結果から緩み領域とその程度を逆解析的手法によって把握することを目的とするものである。ここでは、応力が一定の状態ではひずみが増加するものの、発生するひずみ量は時間と共に徐々に収束する傾向にあるものを取り扱う。これは、応力-ひずみ関係として表わすと図-1の様に表わされる。このひずみがどの程度進行し、どこに収束するかは、地山の膨潤能力、応力状態並びに地下水の影響の程度等に依存して異なると考えられるが、ここでは、この緩みの発生を見掛け上、地山の物性値（弾性係数およびポアソン比）の経時的な低下として考え、計測された時間依存性の変形を最も良く表現する物性値の低下の分布を評価することにより緩み領域の推定とその程度を把握することとした。

解析では、まず図-1に示す弾性変形の部分の荷重-変位関係を次式で算定する。

$$[K] \{U\} = \{F\} \quad (1)$$

次に観測された全変位量が最も良く表現でき、かつ、以下の荷重-変位関係が満足されるように物性値の評価を行う。

$$[K^*] \{U^*\} = \{F\} \quad (2)$$

ここで、

$\{F\}$: 荷重ベクトル

$[K]$: 初期の剛性マトリックス $[K^*]$: 時間依存性の変位計測時の剛性マトリックス

$\{U\}$: 初期の変位

$\{U^*\}$: 計測された全変位

である。この時、時間依存性の変位は(1)、

(2)式を用いて以下のように計算できる。

$$\{\Delta U\} = \{U^*\} - \{U\} \quad (3)$$

解析は、 $\{\Delta U\}$ と時間依存性の計測変位との差が最小になるように $[K^*]$ の値の最適化を繰り返す計算によって行う。

3. 実測例への適用

計測を行った断面は、比較的硬質な凝灰岩と、粘土化が著しい軟質な凝灰岩が互層状に分布し

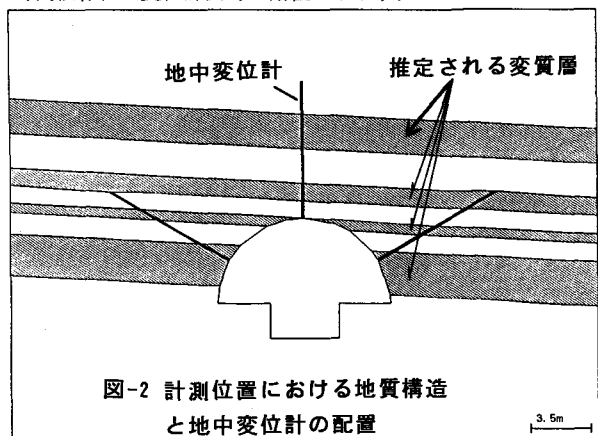


図-2 計測位置における地質構造と地中変位計の配置

ている。硬質な凝灰岩は 300kgf/cm^2 程度の一軸圧縮強度を示し変質の程度は小さい。一方、粘土化が著しい凝灰岩は、室内試験結果ではモンモリロナイトを多量に含み、水浸すると膨張し泥状化した後崩壊することが分かった。解析対象断面は膨潤する地質としない地質が複雑に分布する地質状況となっている。切羽観察結果および後述する時間依存性の変形挙動から推定された膨潤性を有する地質の構造と、計測配置を図-2に示す。計測結果の内、壁面変位の経時変化と切羽の進行状況を図-3に示す。図-3に示すよう

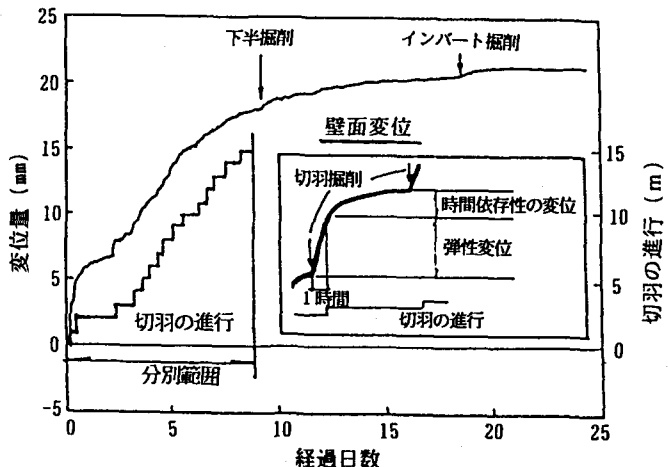


図-3 壁面変位の経時変化

に、切羽の進行直後に変位が増加していることがわかる。そこで、図-3中の概念図に示される様に計測された全変位を弾性変位と時間依存性の変位に分離した。

地山の膨潤性に起因した時間依存性挙動は地山の初期応力に依存して発生する傾向がある²⁾ことから、時間依存性の挙動の発生原因である緩み領域を推定するには、弾性状態(時間依存性の挙動を含まない状態)での応力状態を把握しておく必要がある。ここでは、まず、全変位量から分別した弾性変形量を基に、神戸大学櫻井教授の提案による逆解析³⁾を行い、地山の弾性係数と初期応力の算定を行った。逆解析に用いた計測変位と解析変位の比較図を図-4に示す。図-4の結果から明らかなように、計測値と解析値は十分良く一致している。すなわち、時間依

表-1 逆解析結果(物性値)

弾性係数(kgf/cm^2)	11000
ポアソン比	0.3
単位体積重量(g/cm^3)	1.8
土被り高さ(m)	55.0

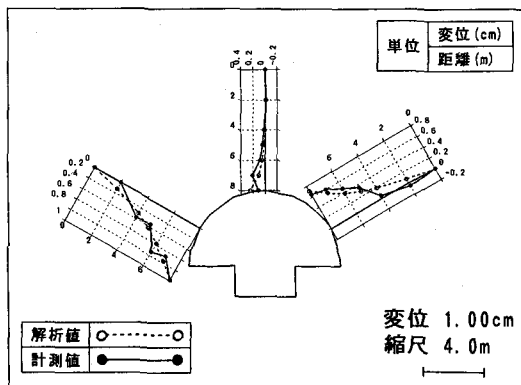


図-4 逆解析結果

計測変位と解析変位の比較(弾性解析のみ)

存性を含まない状態では、地山は、ほぼ一様に挙動するものと判断される。なお、逆解析では、膨潤する部分としない部分の弾性係数は同じ値としている。逆解析の結果得られた物性値一覧表を表-1に示す。また、初期応力は、 $\sigma_x=30.5\text{kgf/cm}^2$, $\sigma_y=99.0\text{kgf/cm}^2$, $\tau_{xy}=4.1\text{kgf/cm}^2$ という結果が得られている。

次に、時間依存性の変形挙動から緩み領域の推定とそ

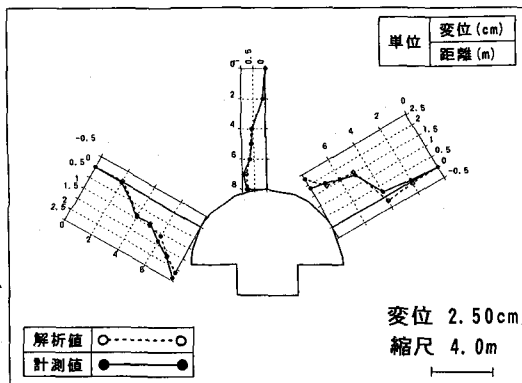


図-5 緩み領域の推定結果

計測変位と解析変位の比較((時間依存性の変位))

の程度の同定を行った。図-5に、
 (3)式から求められた解析変位
 (ΔU)と時間依存性の計測変位
 との比較を示す。また、その時の、
 緩み領域の弾性係数と、ポアソン
 比の分布をそれぞれ図-6並びに
 図-7に示す。図-5からわかる
 ように、計測値と解析値は、非常
 に良く一致しており、逆解析の結果
 得られた物性値は、時間依存性
 の影響を反映したものと判断でき
 る。時間依存性によって低下した
 箇所は、図-6に示すように、ト
 ンネルを横断する変質帯に強く現
 われている。

図-8に全変位量(弾性変位量
 +時間依存性の変位量)を用いた
 一般的な逆解析³⁾を行ないその結果
 得られた最大せん断ひずみ図を示
 す。また、図-9にここで提案す
 る方法による最大せん断ひずみ図
 を示す。

図-8と図-9を比較して明ら
 かなように、提案する方法による
 解析結果では、局所的に大きなひ
 ずみが緩み領域に集中して生じて

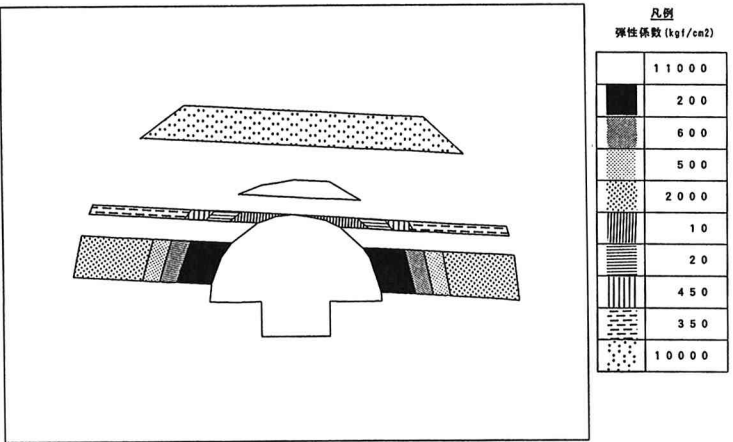


図-6 緩み領域推定後の弾性係数の分布図

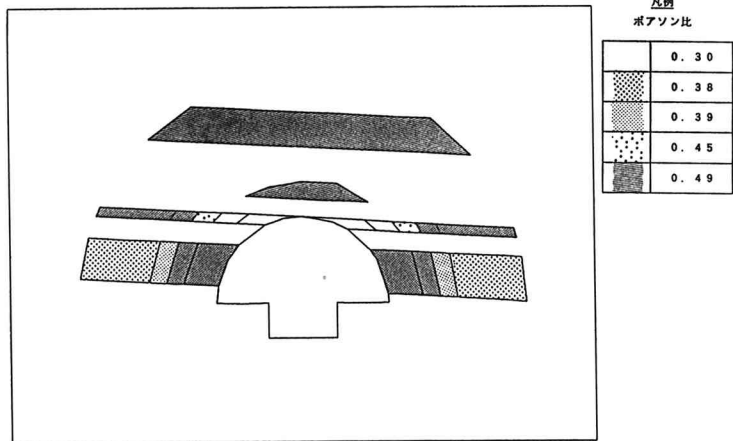


図-7 緩み領域推定後のポアソン比の分布図

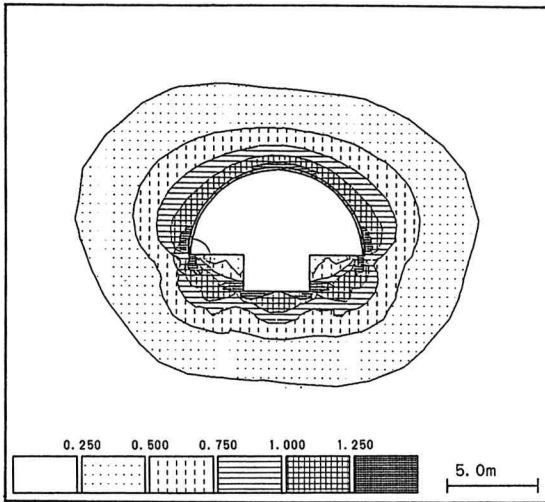


図-8 全変位量から算定した最大せん断ひずみ図
 -通常の逆解析を用いた方法-

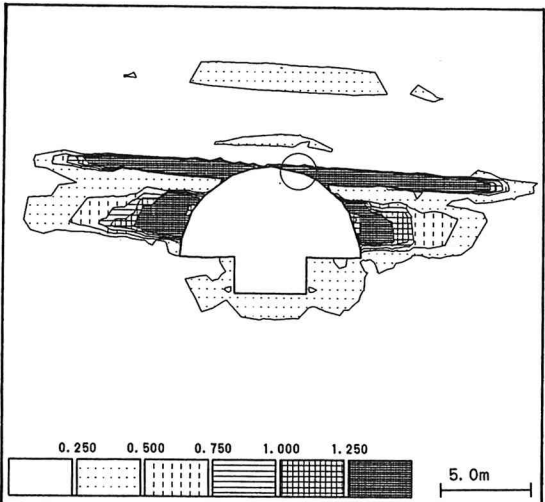


図-9 全変位量から算定した最大せん断ひずみ図
 -提案する方法-

おり、従来の逆解析結果によって得られた最大せん断ひずみの分布では、それが極めて平均化された形で発生していることがわかる。

4. あとがき

膨潤性地山におけるトンネルの設計手法として、室内試験の標準試験で得られる特性曲線を利用する方法が大塚鶴原(1990)⁹⁾により提案されているが、膨潤試験には多くの時間を要することから、施工中に支保設計の見直しを行う場合には多大の時間的ロスを生じることになる。

本文では、膨潤を地山の劣化現象として捉えることにより、膨潤に起因する緩み領域を地中変位計等の坑内計測結果を用いて簡単に推定する方法論を提案した。そして、その結果を実際の施工事例に適用することにより、従来の逆解析では表現することが難しかった局所的な不安定領域を算定することが可能なことがわかった。

今後は、多くの事例で本手法を適用し、本文で述べた仮定の妥当性も含めて、さらに検討を進めて行きたい。

<参考文献>

- 1) 満弘之、三上元弘、進士正人：計測結果に基づく膨張性地山挙動の把握、第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1990.2
- 2) 鶴原敬久、大塚康範：岩盤斜面の変形挙動の予測手法に関する一考察、日本応用地質学会平成3年度年次学術講演会論文集、1990.10
- 3) 櫻井春輔、進士 正人：マイクロコンピュータによる地下空洞掘削時の安定性の評価、土木学会論文集、第35号/III-3、1985
- 4) 大塚康範、鶴原敬久、Omer AYDAN、満弘之：膨潤性地山の変形挙動とその予測手法、第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1990.2
- 5) 植本直之、大塚康範、満弘之：膨潤性地山における変形挙動と対策工の効果、土と基礎、Vol.36, No.5, pp43-48、1988.5