

NATM施工時の計測変位に基づく地山特性と支保設計の評価

(株) 大本組 正 ○鈴木昌次

日本道路公団 日永田雅司

山口大学 正 古川浩平・中川浩二

1. はじめに NATMによるトンネル建設においては、施工段階での観察や計測に基づいて現場に即応した設計の変更がなされ、通常の場合は標準的な支保パターンを地山状況に応じて選定する。また、計測変位は管理基準値との比較によって評価される。しかし、計測変位は地山特性、施工方法等に大きく影響を受ける。このため、経験的手法の範囲内では支保パターンごとの統一的な基準値を設けることは困難であり、現状ではトンネルごとに過去の事例から設定する方法がとられている。本研究ではこの点に着目し、計測変位から得られたパラメータを日本道路公団の定める支保パターン¹⁾ごとに分類し、最終変位量の予測および管理基準値を切羽ごとに簡易に求めるための一方法を考察する。ここでは中国地方において日本道路公団により発注され、花崗岩地山に発破掘削によるNATMで施工されたトンネルでの施工実績を収集した。

2. 等価地山定数の推定 支保建て込み後にトンネルが構造的に安定したと考えられる時点での地山状況を示す力学的指標として、変位の最終計測値を用いて逆解析的に地山定数を求めた。ここでは、9トンネルにおける計170切羽でのデータを用いた。解析は、計測値と境界要素法による解析解の差が最小となる時の変形係数と応力比 K (地山水平応力 σ_h /地山鉛直応力 σ_v)とを求めるものである。 σ_v は、地山の単位体積重量 γ (0.026MN/m³)と土被り厚 H の積 γH としている。解析モデルはトンネル中心軸に対称な平面歪モデルとし、地山のポアソン比は、0.25を用いた。目的関数と制約条件を下式(1)に示す。

目的関数： $|\delta_v - \zeta_v(E_{eq}, K_{eq})| \rightarrow \min$ 制約条件： $|\delta_h - \zeta_h(E_{eq}, K_{eq})| \leq \varepsilon \cdots \cdots (1)$

ここに、 E_{eq} ：等価変形係数(MPa)、 K_{eq} ：等価応力比、 δ_v ：計測天端沈下量、 δ_h ：計測内空変位量、 $\zeta_v(E_{eq}, K_{eq})$ ：天端沈下量(解析解)、 $\zeta_h(E_{eq}, K_{eq})$ ：内空変位量(解析解 $\times 2$)、 ε ：許容誤差

なお、本研究では地山の真の物理定数を求めることを目的とせず、支保剛性や本来非線形と考えられる地山の物理的性質を含めて地山を均質な弾性体と考えている。このことから、ここで得られた定数を等価変形係数、等価応力比と呼ぶ。図-1に土被り厚と等価応力比の関係を示した。図より、等価応力比は0.5~2.0の範囲でばらつくことがわかる。この点に関しては、地山応力比を推定した研究例²⁾や実測結果³⁾と一致する。このことから、等価応力比は地山応力比とその一般の傾向においてほぼ同様と考えられる。図-1の曲線は式(2)の回帰式を示したものである。

$$K_{eq} = 0.159 + 0.525 \log_{10}(H) \cdots \cdots (2)$$

支保パターン別に等価変形係数と土被り厚の関係を求め図-2~5に示した。図中の直線は式(3)~(6)の回帰式、点線は75%信頼区間を示したものである。

$$(A, B) : \log_{10}(E_{eq}) = 1.767 + 1.114 \log_{10}(H) \cdots (3)$$

$$(C_1) : \log_{10}(E_{eq}) = 1.674 + 1.063 \log_{10}(H) \cdots (4)$$

$$(C_{11}) : \log_{10}(E_{eq}) = 1.969 + 0.856 \log_{10}(H) \cdots (5) \quad (D_1) : \log_{10}(E_{eq}) = 1.870 + 0.870 \log_{10}(H) \cdots (6)$$

図-2~5と式(3)~(6)より、何れの支保パターンにおいても土被り厚の増加に伴って等価変形係数も増加し、その相関もかなり強いことがわかる。特に、軽微な支保形態のA、Bパターンに対して、かなり剛と考えられる C_{11} および D_1 パターンがほぼ同様な傾向を示していることが着目される。支保形態の差異に関わらず等価変形係数の示す傾向が同様であることは、従来の支保パターン選定が適切に実施されてきたことを示すと考えられる。図-2~5では同一の土被り厚においても等価変形係数に多少のばらつきが認められる。この原因としては、硬岩地山に施工されたトンネルでの計測変位自体が一般に小さいことから計測誤差によるばらつきが

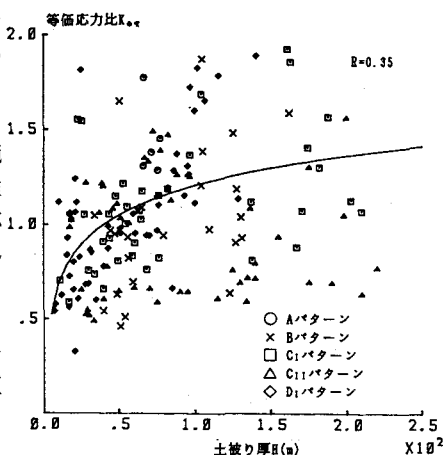


図-1 等価応力比と土被り厚の関係

少なくないと考えられる。また、支保パターンは段階的に設けられているため、それぞれの支保パターンが選定された岩盤状況にはいくらかの幅があることが考えられる。

2. 最終変位予測と管理基準値の設定 以上より、等価応力比は土被り厚に関してばらつきは大きいものの式(2)で推定は可能であろう。等価変形係数は式(3)～(6)を用いて支保パターンごとに推定が可能である。この推定値は従来の施工実績での平均的な値であり、適正に支保パターンの選定がなされた場合に予測される値である。このことから、土被り厚と支保パターンより等価変形係数と等価応力比を推定し、本文で用いた弾性解析モデルに適用すればトンネルの最終状態を予測することができよう。さらに、この解析ではパソコンを用いて瞬時に解を得ることができるため、坑内観察時に簡易に利用できる。このため、切羽ごとに最終変位量を予測し、管理基準値とすることも容易にできる。この管理基準値の意味するところは、岩盤状況に対して適切な支保設計がなされた場合に生じる変位であり、管理の第一目標となるものである。したがって、最終計測値がこの基準値を上回る場合には何らかの特殊条件が存在することを示唆すると考えられる。特に、収束段階で大きく上回る場合には地山条件を再確認する必要があるだろう。

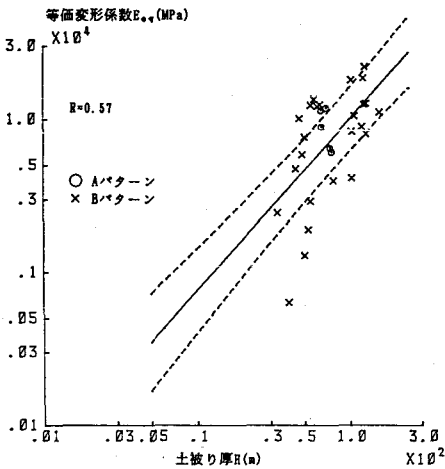


図-2 等価変形係数と土被り厚の関係 (A、B)

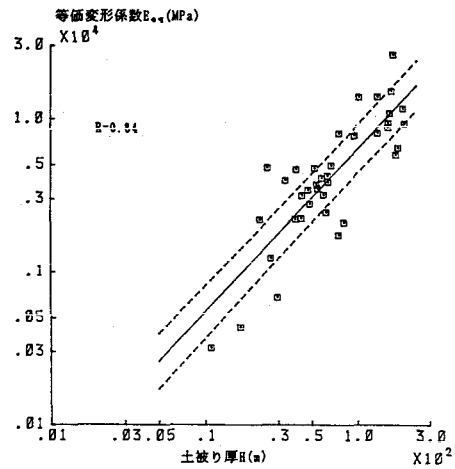


図-3 等価変形係数と土被り厚の関係 (C₁)

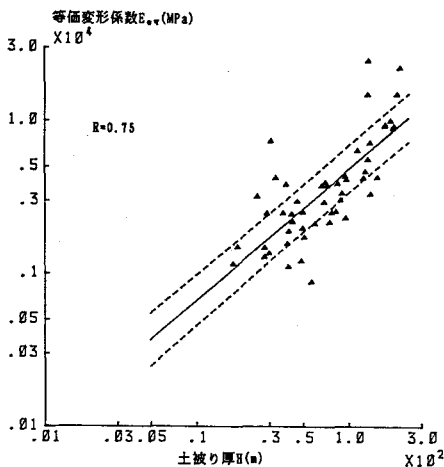


図-4 等価変形係数と土被り厚の関係 (C₁)

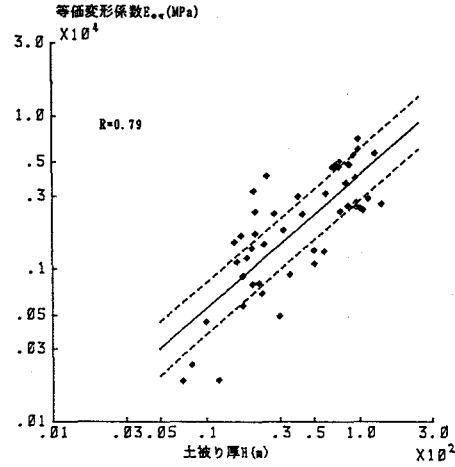


図-5 等価変形係数と土被り厚の関係 (D₁)

参考文献: 1) 日本道路公団: 設計要領第三集第9編トンネル, pp. 79, 1985.10, 2) 松本嘉司・西岡 隆・鹿野 正人: 吹き付けコンクリートとロックボルトを用いたトンネルの特性と事前設計法, 土木学会論文集, 第37号/III-6, pp. 161~169, 1986.12, 3) 斉藤敏明・石田 毅・寺田 豊: 実測結果に基づくわが国の地下岩盤内の初期地圧状態の検討, 土木学会論文集, 第394号/III-9, pp. 71~78, 1988.6