

坑内変位の大きい特殊地山の区分に関する考察

応用地質(株) 正会員 竹林 亜夫 正会員○三上 元弘
正会員 國村 省吾 正会員 奥井 裕三

1. はじめに

トンネル掘削をしばしば困難にするいわゆる“膨張性地山”は、周辺地山に塑性領域が発生した結果であるが、塑性領域の発生条件は既往の理論式で与えられる。本報文では、わが国でこれまでにNATMで施工されたトンネルの切羽地質観察及び坑内変位（内空変位及び天端沈下）のデータを収集、分析し、理論式と照合することにより、膨張性地山といわれる特殊地山の設計・施工上の区分を試みたので報告する。

2. 弾塑性理論解析による塑性領域の発生条件

地山を完全弾塑性体、側圧係数を 1.0 とした円形トンネルの Kastner の弾塑性理論式に、支保の内圧(p_i)を考慮すると、塑性領域の算定式は次の式で与えられる¹⁾²⁾。

$$\frac{\rho}{a} = \left[\frac{2}{\zeta + 1} \frac{\gamma H(\zeta - 1) + q_u}{p_i(\zeta - 1) + q_u} \right]^{\frac{1}{\zeta - 1}} \quad \text{式 (1.1)}$$

ここに、 ρ ：塑性領域の半径、 a ：トンネル掘削半径、 q_u ：地山の一軸圧縮強度、

$$\zeta = \frac{1+k}{1-k}, \quad k = \sin \phi, \quad \phi : \text{地山の内部摩擦角}$$

式(1.1)に、地山強度比： $\alpha = q_u / \gamma H$ 、支保の内圧(p_i)を初期地圧(γh)で無次元化した支保の内圧係数の式： $\omega = p_i / \gamma h$ を代入すると次式のようにになる。

$$\frac{\rho}{a} = \left\{ (1-k) \frac{\alpha(1-k) + 2k}{\alpha(1-k) + 2\omega k} \right\}^{\frac{1-k}{2k}} \quad \text{式(1.2)}$$

式(1.2)において、左辺=1 とすると、トンネル周辺地山に塑性領域が形成される条件における地山強度比(α)と内部摩擦角(ϕ)の関係は、支保の内圧係数(ω)をパラメータとして図-1 のように表される。

3. 坑内変位の程度と地山強度比および内部摩擦角の関係

わが国のトンネル施工事例の中で、地山の強度特性が報告されているトンネルの坑内変位の程度を、地山強度比と内部摩擦角を軸にして図-2 に示す。同図に

おいては、多くの事例で坑内変位が 50mm を越えると支保に変状を生じ始めていることを考慮した上で、坑内変位の程度をいくつかに分けている。同図に示すように、図-1 と同様に地山強度比と内部摩擦角を括りとして、変位量の大きさの程度を①～⑤の領域に区分できる。各領域の地質条件、施工状況は以下のとおりである。

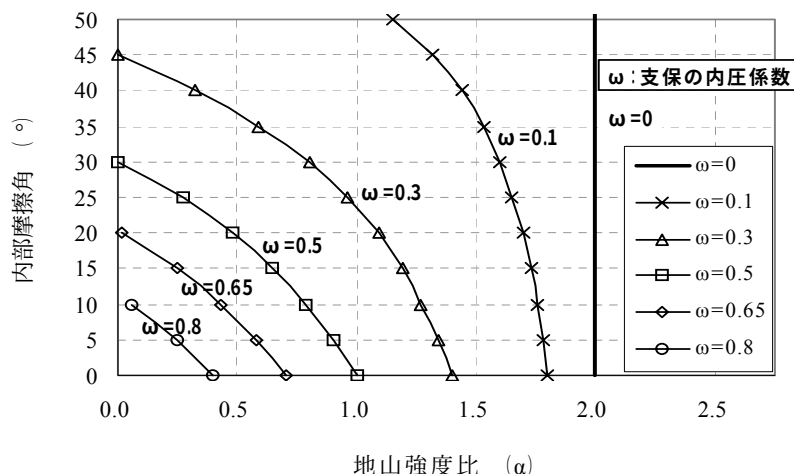


図-1 支保の内圧を考慮した塑性領域の形成条件
(曲線の左側に該当するとき塑性領域が発生)

キーワード：トンネル 地山強度比 内部摩擦角 坑内変位 特殊地山

連絡先：応用地質(株)技術本部 〒331-8688 さいたま市北区土呂町 2-61-5 TEL:048-667-9396 FAX:048-667-9340

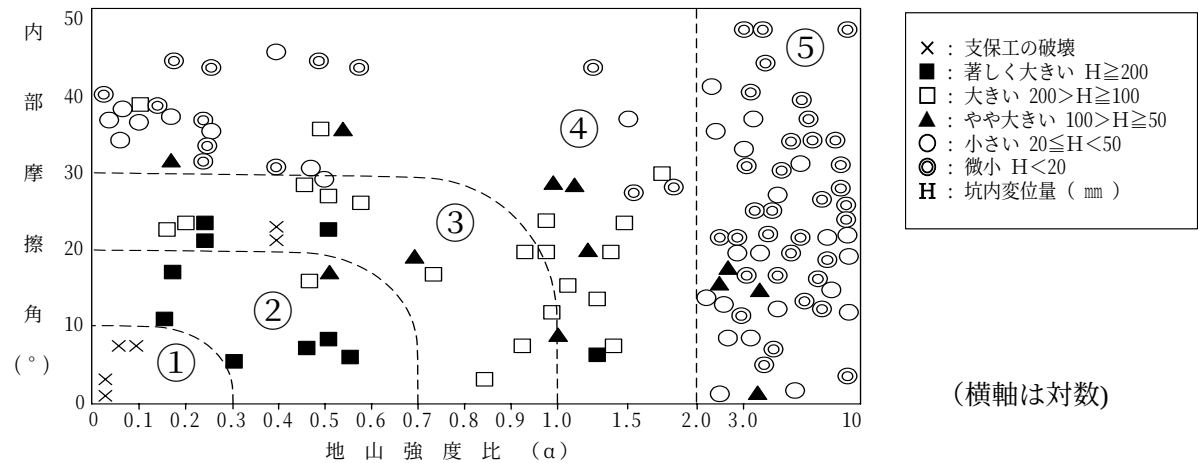


図-2 坑内変位の程度と地山強度比および内部摩擦角の関係

- 領域①：鍋立山トンネルで最も難渋した区間等であり、特殊工法を採用しても、支保の変状が著しい。
- 領域②：折爪トンネル、飯山トンネル等の難渋した区間であり、特殊な施工法や多重支保工を駆使しても変位が大きい。
- 領域③：膨張性地山であると報告されているトンネルで、剛性の大きい支保工でも変位が大きい。
- 領域④：内部摩擦角が 30° 以下のデータは、いわゆる膨張性地山に該当し、標準支保パターンで坑内変位が大きくなっている。内部摩擦角が 30° 以上のデータは、固結度の低い砂・砂礫およびシラス地山等で、内空変位量は小さいが天端沈下が大きく、脚部補強工等で対応している。
- 領域⑤：標準支保パターンで施工しても坑内変位が小さい。

このように、これまでのトンネル施工事例における計測データを整理すると、図-1 に示した理論的な塑性領域発生条件と整合することがわかり、坑内変位が大きくなる特殊地山条件を地山強度比と内部摩擦角の大きさで区分できるといえる。

4．特殊地山の区分と設計・施工の検討方針

坑内変位の程度ならびに地山強度比と内部摩擦角の大きさから、特殊地山条件を表-1 のように区分し、それぞれの区分に応じた設計手法の選定や、施工方法・補助工法の検討を行うことを提案する。

表-1 地山区分と設計手法および施工法

区分	地山強度比	内部摩擦角	設計手法	必要な施工法、支保工および補助工法等
①	0.3 以下	10° 以下	解析手法と類似手法	特殊工法と特殊支保工等の検討、試験施工等
②	0.7 以下	20° 以下	解析手法と類似手法	やや特殊な施工法と特殊支保工等の検討
③	1.0 以下	30° 以下	標準設計に加えて解析手法と類似手法	標準設計の支保工の剛性を高め、早期閉合、補助工法を検討
④	2.0 以下	30° 以下	標準設計に加えて解析手法と類似手法	標準設計の支保工の剛性をやや高め、早期閉合、補助工法を検討
		30° 以上	標準設計に加えて解析手法と類似手法	脚部沈下を防止する施工法および支保工を適用する
⑤	2.0 以上		標準設計	標準支保パターン

5．おわりに

本報文においては、理論および施工データから坑内変位量が大きくなる特殊地山条件を区分した。トンネルの計画段階において、地山強度比や地山の内部摩擦角を把握することで、提案した区分に基づいたトンネルの設計手法の選定、施工方法および補助工法の検討を行うことができると考える。今後はさらにデータを蓄積し、より具体的な設計・施工方法の提案を行いたいと考える。

<参考文献>

- 1) 谷本親伯：土木特殊工法シリーズ 4－NATM-1，森北出版(株)，P158，1984
- 2) 今田徹： NATM の理論と実際，土木工学社，pp10～16，1983