

塑性変形を生じるトンネル周辺地山の物性に関する考察

応用地質(株) 技術本部 正会員 竹林亜夫
 応用地質(株) 技術本部 正会員 三上元弘
 応用地質(株) 技術本部 正会員 國村省吾
 応用地質(株) 技術本部 正会員 奥井裕三
 大阪大学大学院 フェロー会員 松井 保

1. はじめに

NATMの導入以来約25年が経過し、その間に数多くのトンネルが建設されてきた。NATMでは、工事中に計測管理を実施しているので、実工事で集められた多くの計測値をまとめた研究も行なわれている¹⁾。その中で、内空変位が大きい現象は、トンネル周辺地山に塑性域が形成された結果であり、地山強度比が2以下かつ内部摩擦角が30°以下の場合が顕著であると報告されている²⁾。本論文では、このような塑性変形の生じるトンネルにおける地山性状と地山物性値について、実用的な考察を行なったので、ここに報告する。

2. 内部摩擦角が30°以下の地山性状

内部摩擦角が30°以下の地山は、表-1に示すように、岩種としては、一般にφ地山のうち粘土化したものとC地山の大部分である。これらの岩種では、地質構造運動や変質・風化過程で割れ目が増加し、その割れ目に粘土が形成される。特に泥岩、頁岩、粘板岩、凝灰岩等の粘性土で形成された岩は、図-1に例示するように、一旦割れ目が発生すると割れ目が広がり、その割れ目に粘土が形成される。粘土の中にモンモリロナイト、クロライト、滑石等の鉱物が含まれる場合や2μm以下の細粒分が多い場合は、内部摩擦角がさらに小さくなる²⁾。

3. 切羽現象を代表する地山の一軸圧縮強度

地山強度比は地山の一軸圧縮強度に対するトンネル土被り荷重の比で表される。したがって、その算定には、トンネル切羽現象を代表する地山部分の一軸圧縮強度が必要となる。塑性変形が生じる地山は、切羽全体が均一に粘土化している場合は稀で、通常は切羽の一部の粘土化や、割れ目部分に粘土が介在しているために、地山の強度を低下させている場合が多い。このような施工事例の報告書の中には、塑性変形現象が発生しているにもかかわらず、その地山の一軸圧縮強度が大きいと、地山強度比が2以上の場合の報告もある。その場合は、切羽を代表する一軸圧縮強度が反映されているわけではなく、コアとして採取できた岩片の一軸圧縮強度をそのまま採用したためと考えられる。

表-1 岩種と内部摩擦角

地山分類	岩種	φ(度)
φ地山	硬質岩	花崗岩、斑れい岩、石灰岩、砂岩、チャート等
	中硬質岩	安山岩、玄武岩、礫岩等
	軟質岩	蛇紋岩
		凝灰岩
		凝灰角礫岩
	変質岩等	砂層
C地山	中硬質岩	砂礫層
		粘板岩
		頁岩
	軟質岩	千枚岩
		緑色片岩
		泥岩
	変質岩等	シルト岩
		温泉余土

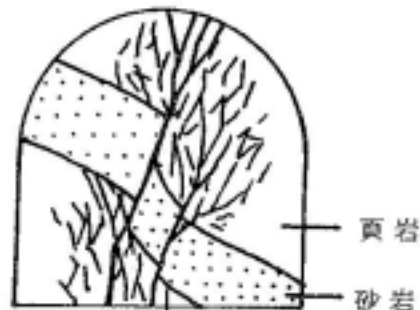


図-1 砂岩と頁岩の断層分布の例
 (頁岩部の割れ目の広がり)

キーワード：トンネル 地山強度比 内部摩擦角 地山評価 切羽

連絡先：〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5 TEL:048-665-1811 FAX:048-667-9340

4．地山物性と土質定数の関係

泥岩、頁岩等の地山に粘土が充填した割れ目が存在すると、図 - 2 に示すように、割れ目付近の含水比分布は高くなり、割れ目が多く存在すれば地山の含水比も高くなる。同様に、泥岩、頁岩等の地山に粘土が充填した割れ目が存在すると、地山の一軸圧縮強度も低下する。割れ目が多く存在すれば、地山の一軸圧縮強度は著しく低下する。

土丹、泥岩、粘土質蛇紋岩の一軸圧縮強度と含水比の関係を図 - 3 の上図に示す。これによると、類似堆積環境や変質過程により数値は異なるが、含水比が大きくなると、一軸圧縮強度は低下する関係にある。土粒子の比重は構成岩石でほぼ一定であるので、飽和状態での地山の自然含水比と単位体積重量の関係は図 - 3 の下図のようになる。

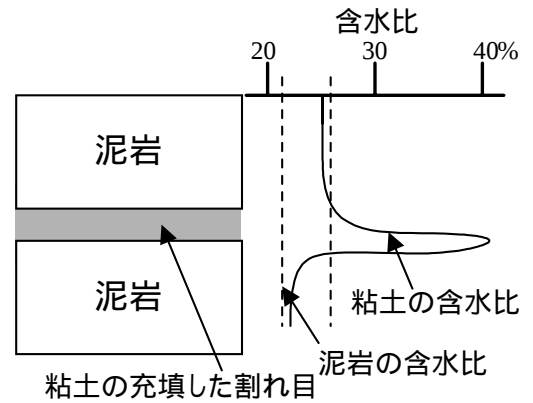


図 - 2 泥岩の割れ目付近の含水比分布

5．切羽現象を代表する土質定数の推定

切羽現象を代表する土質としては、すべり現象を呈する場合にはすべり面の強度定数が、有限要素数値解析におけるように地山を連続体として取扱う場合には割れ目の粘土を考慮した土質定数がそれぞれ重要となる。切羽現象を代表する土質の一軸圧縮強度を直接的に試験できない場合には、前述のように、類似地山を含む現地地山の $q_u - w$ 関係や $y_t - w$ 関係や $q_u - y_t$ 関係を作成する。そして、一軸圧縮試験が出来ない場合には、切羽現象を代表する地山の自然含水比や単位体積重量から一軸圧縮強度を間接的に推定し、その地点での地山強度比を把握する。内部摩擦角についても、直接的に三軸圧縮試験が出来ない場合には、構成粘土鉱物分析、含水比試験、 $2 \mu\text{m}$ 粒子含有量試験などから間接的に求めることが出来る²⁾。

6．まとめ

このような塑性変形の生じるトンネルにおける切羽を代表する土質定数を推定する方法は、トンネル施工時だけでなく調査・設計時においても、ボーリングコアで各種の試験を行うことにより活用することができ、また事例が増えれば推定精度も高まると考えられる。

参考文献

- 1) 中田・西村・中野：岩石ごとの地山挙動に関する研究，トンネルと地下，Vol.29，No.1，pp53～63，1998．
- 2) 竹林・三上・國村・奥井：山岳トンネル工法における岩盤の強度定数と内空変位の関係に関する事例研究，土木学会トンネル工学研究論文・報告集，第11巻，pp183～188，2001．

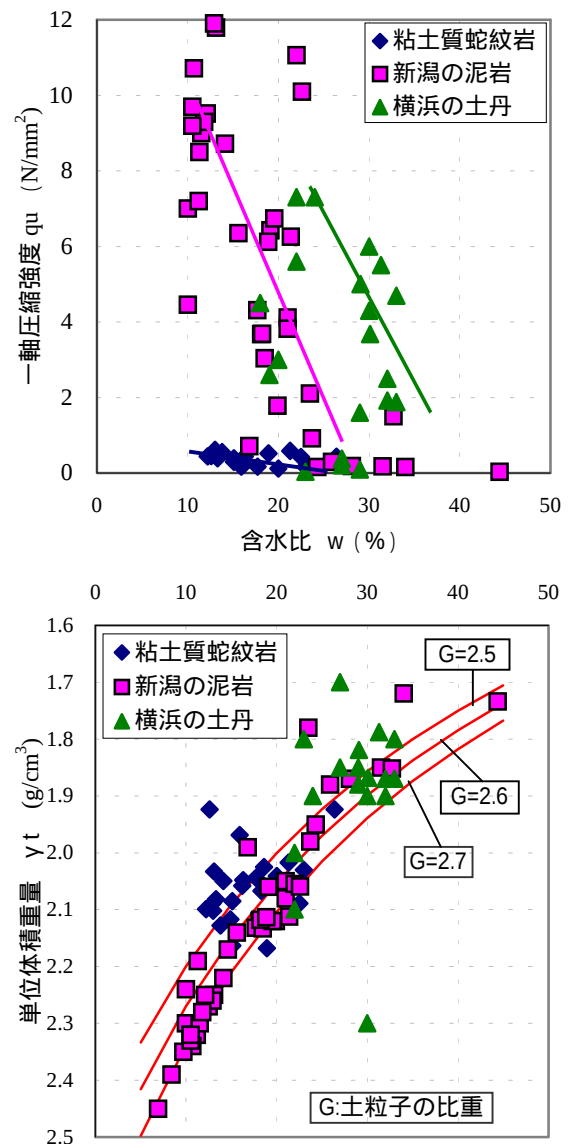


図 - 3 一軸圧縮強度および単位体積重量と含水比の関係