

地山強度とトンネルの内空変位に関する一考察

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
 応用地質(株) 技術本部 正会員 呉 旭

1. はじめに

既往の NATM 施工事例によると、トンネル施工時に内空変位が大きくなって問題を生じる（概ね 50mm 以上）のは、地山強度比が 2 以下でかつ地山の内部摩擦角 ϕ が概ね 30° 以下の場合であると報告されている¹⁾。この傾向に関し、地山強度比および岩盤の内部摩擦角とトンネルの塑性変形との関係について施工事例と弾塑性解析結果とを分析し、ある知見を得たので報告する。

2. 既往施工事例にみられる地山強度比と内空変位の関係

図—1 に既往施工事例にみられる地山強度比と内空変位の関係を地山の内部摩擦角 ϕ により分類した結果を示す¹⁾。図よりややバラツキはあるが $\phi=30^\circ$ を下回ると地山強度比が 2.0 以下の場合に内空変位が大きくなる傾向があることが読みとれる。

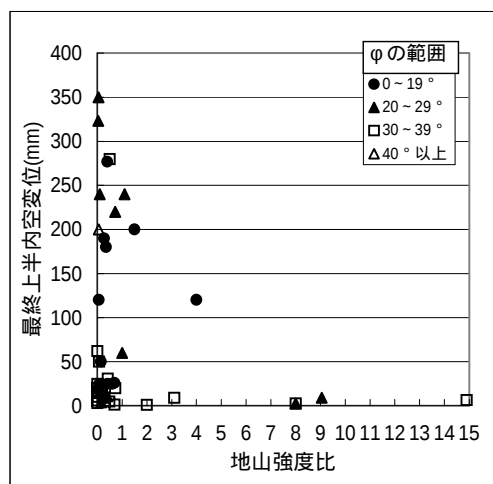
以下では、施工前に把握できる内部摩擦角の大きさと施工時の変位の関係について解析を交えて考察した。塑性変形する場合の壁面変位は理論解析でも求めることができるが、支保の効果とトンネルの実際の形状を考慮するために、FEM 解析を実施した。

3. 解析概要

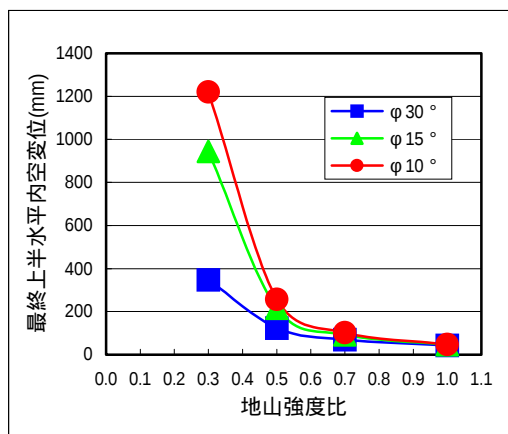
解析は、地山強度定数 (c , ϕ) と地山強度比 ($q_u / \gamma H$) の違いにより、トンネル掘削時の内空変位の相対的な大きさの傾向を得ることを目的とし、二次元弾塑性 FEM 解析を実施した。

地山強度比の設定に際しては、一軸圧縮強度 q_u を 4N/mm^2 に固定し、地山強度比が 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 となるよう、土被りを変化させた。内部摩擦角 ϕ は、 10° , 15° , 30° の 3 ケースとし、地山弾性係数 E は $E=100q_u$ 、粘着力 c は q_u 、 ϕ からモール・クーロンの破壊基準を仮定して計算した。

トンネル断面は 2 車線道路トンネルの大きさとし、支保パターンは D を想定した。支保部材は吹付コンクリートと鋼製支保工のみモデル化した。掘削工法は全断面掘削とし、インバート掘削前の上半水平内空変位を読みとった。なお、内空変位は、実際の測定を意識し解析により算出される全変位量の 1/2 の値とした。



図—1 内空変位と地山強度比との関係



図—2 地山強度比と弾塑性解析から得られた内空変位との関係

キーワード：トンネル 地山強度比 内部摩擦角 地山評価 解析

連絡先：〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5 TEL:048-665-1811 FAX:048-667-9399

4．解析結果および考察

図 - 2 に示すように、地山強度比が 0.7 以上の場合、内空変位は内部摩擦角の大きさにほとんど関係しない。しかし、地山強度比が 0.5 の場合、 $\varphi=30^\circ$ の地山では $\varphi=10^\circ$ の場合の約 1/2 になり、地山強度比が 0.3 になると 1/3 程度になる。地山強度比が同じであるとする、変位の大きさは塑性領域の大きさに依存するので、 φ が小さい地山は塑性化しやすいことになる。これらの解析により、地山強度比と内部摩擦角を適切に評価することにより、ある程度の変位の傾向を把握できることがわかった。

5．内部摩擦角に着目した岩種の分類

既往の施工事例を整理し、図 - 3 には C 地山、図 - 4 には φ 地山の内空変位と地山強度比の関係を示す。図 - 4 の中で、地山強度比が 2 以下で内空変位が大きいデータは、 φ 地山が粘土化した状態のものである。

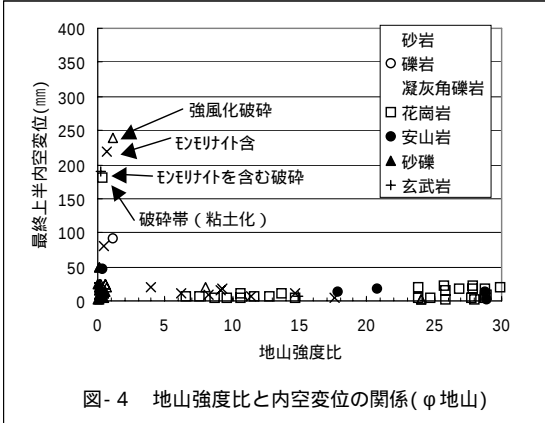
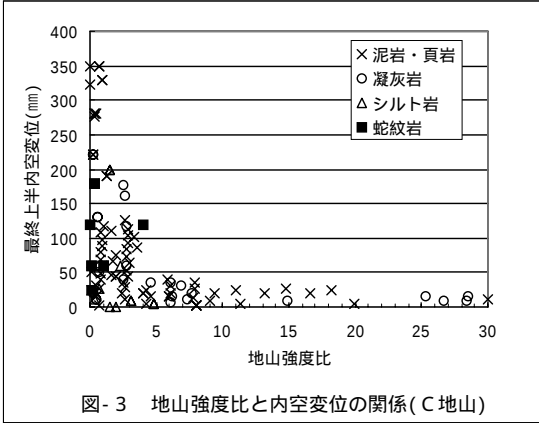


表 - 1 には筆者らが提案している破碎・変質を考慮した岩石グループ¹⁾を示す。この分類は日本道路公団の岩石グループ²⁾の塊状岩盤を φ 地山 (φ が 30° 以上)、層状岩盤を c 地山 (φ が 30° 未満) に分類し、さらに S (破碎・変質岩と土砂) というカテゴリーを追加したものである。

上図を踏まえると、内空変位が概ね 50mm より大きいものは、破碎・変質した c 地山、または粘土化した φ 地山であり、表 - 1 の S - b に分類されることが示される。

表 - 1 破碎・変質を考慮した岩石グループ (参考文献²⁾ に一部加筆)

	H (硬質岩)	M (中硬質岩)	L (軟質岩)	S (破碎・変質岩と土砂)
φ 地山 (塊状岩盤)	花崗岩類、ホルンフェルス、片麻岩、斑れい岩、石灰岩、チャート、砂岩(中古生層)など	安山岩、玄武岩、石英安山岩、流紋岩、ひん岩、礫岩、砂岩(第三紀層)	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩	S-a 左記の各種岩石の破碎変質の内、粘土化していない場合。および第四紀砂層・礫層
C 地山 (層状岩盤)		粘板岩、頁岩(中古生層)	緑色片岩、黒色片岩、千枚岩、泥岩、頁岩(第三紀層)	S-b 層状岩盤の破碎・変質したもの。塊状岩盤で破碎・変質して粘土化したもの。および第四紀シルト・粘性土層

注)  は変化の方向を示す。

6．おわりに

既往の施工事例と今回の解析結果から、トンネル調査・設計時での地山物性や地山強度比の評価が施工時の変位傾向を左右することを示した。今後は、支保剛性や地山強度と変形特性の関係を明確にすることにより、山岳トンネルの地山分類や合理的な支保設計に役立てたい。

参考文献

1) 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
2) 日本道路公団：設計要領第三集（トンネル），1997