

山岳トンネルにおける熱水変質起源による塑性地山の変状事例

安藤ハザマ 土木事業本部 正会員○鶴田亮介 正会員 山本浩之
ジェイアール総研エンジニアリング 石田良二 上間綾乃

1. はじめに

トンネルの「盤膨れ」と呼ばれる変状には、Squeezing という地山周辺が塑性化し、押し出しが生じ支保工等が変形する現象と、Swelling という膨張性粘土鉱物が吸水膨張し覆工に過大な応力が作用する現象がある。土木学会¹⁾ではこれらを一括して「塑性圧」として取り扱っている。近年、Swelling によるトンネル供用後の変状事例が多く報告されている²⁾。中部地方の中央構造線に近接する道路トンネル工事において、硬質岩中の切羽に当初想定にない粘土化した脆弱部が出現し、掘削時に大きな変状が発生した。変状原因を特定する目的で、粉末 X 線回折等の膨張性を評価する試験を行った。その結果、膨張性粘土鉱物は存在せず、切羽状況や計測結果等を総合的に評価し、変状原因を押し出し性の塑性地圧と判断し支保パターンの変更等を行った。本報告では、膨張性に関する試験結果および検討結果を報告するとともに変状の原因を考察する。

2. 地質状況

当該トンネルは、静岡県に建設中の延長約 2.4km、掘削断面積約 80m²の道路トンネルである。当該地域には、中央構造線が南西－北東に走り、トンネルは中央構造線に近接した北西側で構造線に沿って位置する。図-1 に地質縦断面図を示す。

図-1 より、トンネルには領家変成岩類の泥質片岩と珪質片岩が互層状に分布し、坑口より 200m 付近に断層と低速度帯、600m 付近に低速度帯が想定されていた。

3. トンネル掘削状況

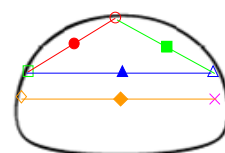
トンネル掘削開始後、坑口より 300m 付近の切羽(図-1 の①)において、硬質な片岩中に軟弱な粘土層が不規則な形状で出現し、出現頻度や面積が次第に多くなる傾向を示した。変位については、掘削後早期に発現し増加傾向が認められた。最終的な内空変位および沈下量は、表-1 に示すように 100mm を超える箇所が多く、一部で縫い返しを余儀なくされた。このような状況は図-1 の①～④間の約 300m 間続いた。当該区間の最大土被りは約 120m であった。当該区間の設計支保パターンは CII でありインバートの設置予定はなかったが、切羽の状況や計測値、さらに粘土鉱物の試験結果等を考慮して地山分類を見なおし、設計変更により支保パターンを CIIb～DII に変更し、インバートを検討した。

4. 試験・分析結果

切羽に出現した粘土の膨張性を把握するため、粉末 X 線回折、スレーキング試験、CEC・交換性陽イオン分析を行った。膨張性に関する試験全体の結果を表-1 に、粉末 X 線回折図の一例を図-2 に示す。

表-1 計測値の状況

計測位置		内空変位		沈下	
		最大値 (mm)	発生 箇所	最大値 (mm)	発生 箇所
①	TD.390	-91.0	◆	-127	△
②	TD.462	-136.0	▲	-106	□
③	TD.516	-107.7	▲	-103	□
④	TD.640	-35.0	●	-105	△



キーワード：山岳トンネル，塑性地圧，膨張性粘土鉱物，熱水変質

連絡先：〒107-8658 東京都港区赤坂六丁目1番20号 TEL:03-6234-3670 FAX:03-6234-370

(1) 試料

試料は図-1 に示す変状が大きい①～④の 4 カ所の切羽より採取した粘土塊であり、一部に岩片が混じる。スレーキング試験を行うため、塊状試料については乱さずに採取した。

(2) 粉末 X 線回折

全ての試料が石英と雲母を多量に含み、長石類・緑泥石・炭酸塩鉱物・黄鉄鉱が多く、試料に含まれる。スメクタイトは試料④で僅かに含まれ、他の試料では確認されなかった。切羽と試料の肉眼観察では、粘土と周囲の泥質片岩との境界は不規則・不明瞭であるが、強度的な境界は明瞭であり、せん断による破碎を受けた形跡は認められない。また、軟質化した粘土中には硬質岩が円礫状に残り、粘土中に原岩の物と思われる組織が認められる。粘土周辺の泥質片岩には鏡下で長石類・白雲母が多く認められる。これらのことから、泥質片岩が熱水変質することにより緑泥石・微細な雲母粘土鉱物・黄鉄鉱等が生成され、粘土化・軟質化したものと推定される。

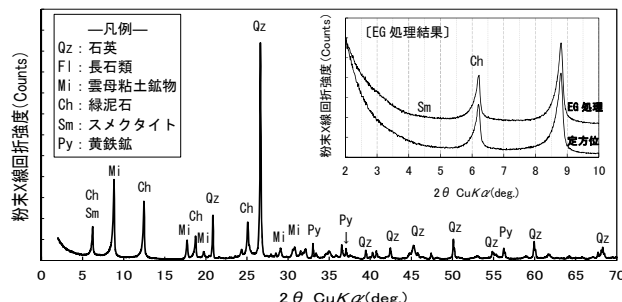


図-2 粉末 X 線回折図 (試料④)

(3) スレーキング試験結果

スレーキング試験は 1 回の乾湿で材料の劣化を判定する JGS 2124-2009 「岩石のスレーキング試験方法」に準拠した。表-2 に試験結果を示す。全ての試料がスレーキング指数「3」であり、劣化形態は崩壊型³⁾を示した。試料中にはスメクタイトは存在しない（試料④もごく僅かで試験に影響する含有量でない）ため、強度ないし固結度が低い試料が乾湿により物理的に崩壊したものと判断される。

表-2 膨張性に関する試験結果一覧表

試料 No.	位置	組成鉱物									スレーキング試験		CEC (meq/100g)
		Qz	Fl	Am	Mi	Ch	Sm	Ka	Ca	Py	指数/型	吸水率	
①	TD.389.2	◎	▼	—	◎	—	—	△	▼	▼	3(C) 崩壊型	11.60	17.7
②	TD.450.4	◎	△	—	◎	△	—	—	▼	—	3(C) 崩壊型	14.86	21.3
③	TD.510.0	◎	△	▼	◎	▼	—	—	▼	▼	3(C) 崩壊型	18.52	6.2
④	TD.642.7	◎	▼	—	◎	○	▼	—	—	△	3(C) 崩壊型	28.36	13.9

凡 例

Qz : 石英
Fl : 長石類
Am : 角閃石
Mi : 雲母類
Ch : 緑泥石
Sm : スメクタイト
Ka : カオリン鉱物
Ca : 炭酸塩鉱物
Py : 黄鉄鉱

目安の含有量

◎ : 多量
○ : 中量
△ : 少量
▼ : 僅か

スレーキング試験・指数 (C) : 浸水崩壊度

(4) CEC・交換性陽イオン分析

表-2 に CEC・交換性陽イオン分析結果を示す。CEC 値は 6.2～21.3meq/100g であり、過去に盤膨れが発生したトンネルの CEC 値より小さい値を示した。本試料の CEC 発現は、雲母粘土鉱物や緑泥石によるものと判断される。

5. まとめ

今回のトンネル変状は、①変位が掘削直後より発現し、数日間でも収束傾向が見られなかった。②切羽に熱水変質が成因と考えられる軟質な粘土が大きく分布した。③粘土は膨張性粘土鉱物を含まないが、顕著なスレーキング性を示した。これより、当該区間の変状は、粘土化した地山の掘削に伴う強度低下により、トンネル周辺地山が塑性化したものと判断された。この事例では、膨張性粘土鉱物であるスメクタイトが存在しないものの、膨張性に関する試験を行うことにより、変状原因が塑性地圧であると判断され、変状に対する対策工や維持管理における考え方等が明確になった。今後同様の現象が想定されるトンネルにおいては、通常の硬質岩の強度試験に加えて、深部で粘土化した D 級岩盤において、膨張性に関する試験も実施する必要があるものとする。

参考文献 1) 土木学会 (2003) : トンネル変状のメカニズム, p.46. 2) 岡崎健治・伊東佳彦 (2011) : トンネルの供用開始後に生じる変状と経時変化に関する考察, トンネル工学報告集, 第 21 巻, pp.183-188. 3) 石田良二・西川総明 (1992) : スメクタイトを含む軟岩の諸性質 (1), 粘土科学, Vol.32, No.2, pp.97-107.