泥岩を掘削対象とするトンネルの変状に関わる割れ目密集部の力学的性質

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 〇川越 健,正会員 嶋本敬介

(株) JR 総研エンジニアリング 石田良二

1. 目的

トンネルの変状には地質,地形,トンネル構造,施工状況などの多くの要因が関係している¹⁾.既往の報告などでは変状の主な原因をトンネル周辺地山の塑性域の拡大としている場合が多い.また,塑性域が拡大する地質学的な理由としては岩石の吸水膨張,潜在亀裂の伸展による緩みの拡大,軟弱層での押し出し圧などが報告されている.膨張性地山の指標としては地山強度比や岩石の物理特性,スメクタイト含有量などがある²⁾.しかし,これらの指標で同様の結果を得た場合でも、トンネル掘削時や供用後の変状の有無,その程度が異なる場合がある.この一因として,力学的な弱層の分布などの地質構造の影響が考えられる.そこで,本研究では現位置で採取した新生代の泥質岩を対象とし,割れ目が密集する箇所から採取した試料と塊状を呈する箇所から採取した試料について岩石試験を行い,割れ目の密集部の物性値がトンネル変状に及ぼす影響について検討した.

2. 岩石試料試験

試料は古第三紀の泥岩を掘削対象とする切羽(土被りは約 160m)から採取した. 試料を採取した切羽には 左肩から右上半踏前にかけて,幅 0.8~1.6m 程度の割れ目が密集するゾーン(以下「割れ目の密集帯」と呼ぶ.) が分布している(写真-1). このゾーンでは粘土と角礫状の岩片が混在する状態であった.一方,この割れ目

の密集帯の上下には割れ目が少なく硬質な塊状の泥岩が分布してい る. 試料は割れ目の密集帯で2試料(割れ目密集帯1,2),およびそ の上下に分布する塊状の泥岩をそれぞれ1試料(上位の塊状の泥岩を 塊状泥岩1,下位のそれを塊状泥岩2,とする)を掘削時に採取した. 割れ目密集帯1は同2に比べ割れ目が多く含まれていた.これらの試 料について,既往の膨張性地山の判定指標などを参考に,粉末X線 回折,スレーキング試験,CEC・交換性陽イオン組成分析,一軸圧縮 試験,三軸圧縮試験(UU),超音波伝播速度測定および吸水膨張試験 を実施した.試験結果を表-1に示す.塊状泥岩に比べて割れ目の密



写真-1 試料採取した切羽の状況

集帯では密度が小さく、一軸圧縮強さが著しく小さい.また、超音波伝播速度も低くなっている.これらは 表-1 岩石試料の試験結果

	密度	スレーキング 試験	X線回折	CEC 交換性限	こおよび 易イオン測定	吸水膨張試験						一軸圧縮強さ	超音波伝播速 度	三軸圧縮試 験
			Smの 含有量	CEC	交換性陽イ オン	脻	張圧(kN/r	n²) 膨張1		膨張量(%)		平均	平均	UU
	g/cm ³	区分 (形態) ³⁾	5	meq/100g		載荷0	10	最大膨張圧	載荷0	10	最大膨張圧	kN/m²	km/sec	Cuu:kN/m ²
塊状泥岩1	2.362	2 (崩壊型)	22	20.7	16.8	23.0 (14日)	13.7 (12日)	[23.0] 0 (-)	0.92 (9日)	0.53 (5日)	[23.0] 0.26 (1日)	8483.6	P波:2.69 S波:1.15	Cuu: 4233.5 ¢uu: 9.2°
割れ目の密集帯1	2.034	4 (中間型)	45	35.0	23.4	63.1 (14日)	37.7 (11日)	[64.0] 0 (-)	4.87 (11日)	0.85 (3日)	[64.0] 0.03 (30分)	67.9	測定不能	Сии:40.1 фии:36.5°
割れ目の密集帯2	2.163	4 (中間型)	21	20.1	27.0	57.8 (6日)	60.0 (7日)	[58.0] 26.7 (6時間)	1.84 (4日)	1.93 (5日)	[58.0] 0.33 (4日)	331.5	P波:1.07 S波:0.54	-
塊状泥岩2	2.361	2 (崩壊型)	19	18.3	14.6	74.7 (8日)	23.2 (9日)	[75.0] 3.4 (8日)	0.47 (4日)	0.27 (5日)	[75.0] 0.17 (2日)	8946.0	P波:2.78 S波:1.23	Cuu: 4892.6 φuu: 17.6°

キーワード トンネル変状,割れ目,地質構造,変状予測解析

連絡先

先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL: 042-573-7265

割れ目を多く含んでいることに起因すると考えられる.スメクタイトの相対的含有量や CEC および交換性陽イオンの値は割れ目の密集帯で値が大きい傾向が認められ,またスレーキングをしやすい試料(写真-2)であった.吸水膨張試験は無拘束状態での試験結果を踏まえた拘束圧を設定して試験を行った.吸水膨張試験結果(拘束圧:初期載荷圧+10kN/m²)を図-1に示す.表-1,図-1から割れ目の密集帯で塊状泥岩に比べて膨張圧,膨張率ともに大きくなること,割れ目の密集帯では比較的早期に圧力が発生していることがわかる.ただ し、割れ目の密集帯でも割れ目の密度により結果が異なること,塊状泥岩2の無負荷(初期載荷圧のみ)時の結果のように、強度にばらつきも認められる(表-1).今回,試料を採取した泥質岩からなる地山では、トンネルの変状を考える際に割れ目の密集する箇所の力学的な性質に着目する必要がある

3. 割れ目の密集帯がトンネル変状に与える影響

割れ目の密集帯がトンネルの施工時あるいは完成後の変状 にどの程度の影響を与えるのかについて数値解析により検討 した.掘削時の変状については NATM を想定した三次元逐次掘削 解析で,完成後の変状については掘削に伴う地山の緩みを考慮し た地山強度低下解析を行い,掘削から完成後の変状発生までを一 貫した同一モデルで計算を実施した³⁾.物性値は表-1 の値を使用 した.解析は、2 通りの割れ目の密集帯の幅(ケース1:0.8m,ケ ース2:1.6m)で実施した.ケース2の解析モデルを図-2に示す. 掘削解析はベンチ長 3m,支保パターンは I_N相当として実施した. 施工時に発生した変位量を図-3 に示す.内空変位はケース1 では 50mmと小さいが,ケース2では100mmを超える結果が得られた. また,割れ目の密集帯が切羽面で観察されなくなる y=43m 付近で 盤ぶくれが発生する結果となった.覆工完了後の変位量を図-4 に 示す.y=48m 付近で盤ぶくれ量が大きい.

4. まとめ

今回,試料採取の対象とした切羽において割れ目が密集するゾ ーンは塊状泥岩に比べて力学的強さが弱く,含有される粘土鉱物 の量も異なっていた.試計算の結果,このような弱層が路盤部に 分布する場合は盤ぶくれなどのトンネル変状に繋がる可能性があ ることが分かった.今後,変状に対する弱層の評価方法を検討す るとともに,地質構造がトンネル変状に与える影響を解明する必 要がある.

参考文献

1)土木学会、トンネルの変状メカニズム、2003.
2)土木学会、トンネル標準示方書山岳工法・同解説、2006.
3)嶋本ほか、建設時の影響を考慮した山岳トンネルの路盤隆起現象とその対策工に関する研究、土木学会論文集 F1, Vol.69, No.2, pp.105-120, 2013.



写真-2 スレーキング試験結果
(24時間後)
左:割れ目の密集帯 2,右:塊状泥岩 2







図-3 解析による掘削時の変位量

