Japan Society of Engineering Geology

48. トンネルの変状に関わる地質構造と割れ目密集部の力学的性質

Geological Structure and Dynamic Properties of Shear Zone related to Tunnel with defects

○川越健，西金佑一郎，野城一栄，嶋本敬介（鉄道総研），石田良二（JR 総研エンジニアリング）
Takeshi Kawagoe，Yuichiro Nishikane，Kazuhide Yashiro，Keisuke Shimamoto，Rouji Ishida

1. はじめに

既設トンネル変状の原因の一つとして，トンネル周辺地山の地質構造とトンネルとの 3 次元的な位置関係が考えられる．文献調査の結果からトンネル変状が生じる地質構造をとりまとめると 3 つのタイプに大別出来ること，また塑性域の拡大の要因の一つとして力学的な弱層の分布などの影響を考慮する必要があることがわかった．そこで，原位置で採取した泥質岩類の割れ目が密集する箇所と塊状を呈する箇所の試料について岩石試験を行い，割れ目が密集する箇所の物性値がトンネルの変状に及ぼす影響について検討した．

2. 供用後に変状が生じるトンネルの地質構造

トンネルが変状した区間の地質構造についての概要を把握するために，トンネル，変状を主なキーワードとして文献を収集した．なお，対象とした文献は平成 25 年 8 月以前に発行されたものである．トンネル変状に関わる地質の情報が記載されている文献（223 文献）の内、変状箇所の地質構造が把握できた 74 トンネルについて整理をした（図 1）．その結果、トンネルの変状に係わる地山のタイプ（地質構造）は以下の 3 つに大別できることがわかった（図 2）．

地山タイプ①：力学的な強度に著しい差のある地層が分布する（13 トンネル）

地山タイプ②：断層破砕帯や割れ目を多く含む地層が分布する（32 トンネル）

地山タイプ③：力学的に均質であるが強度が小さい地層が分布する（12 トンネル）

また，これらに加えて湧水がある，膨潤する鉱物が含有されるなどの時には変状が促進される場合がある．変状箇所の主たる岩種は泥岩・頁岩が最も多く（全体の 39%），次いで火砕岩類（同 23%）であった．

主たる変状原因としては，多くが地山の「塑性圧」（全体の 41%）をあげているが，具体的に記載されていない事例もほぼ同数であった．「塑性圧」の他には岩石の「膨潤」、「緩み圧」、「潜在応力の解放」が数例あげられている．なお，上記の区分はトンネル切羽の大きさと地層の層厚とのスケールに依存する．タイプ②は①の一部と見なすこともできるが，本研究ではそれぞれの層厚が有意に厚く，その境界が変状発生に係わったと考えられる場合を①とした．また，タイプ②と③はトンネルの大きさと力学的な弱層の層厚による．切羽の大きさに対して，弱層の層厚さが薄い場合は②，非常に厚い場合（例えば，切羽およびその周辺の広い範囲に力学的な弱層が分布する）は③とした．

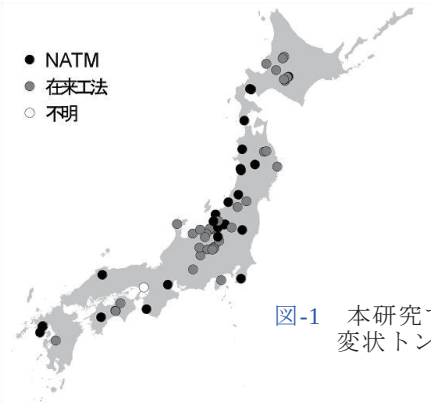

図-1　本研究で収集した変状トンネルの位置

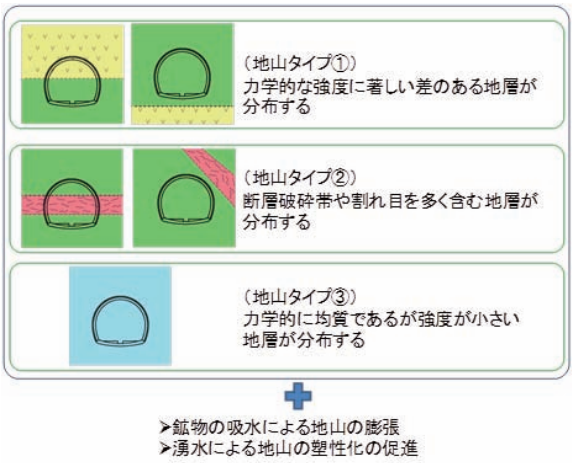

図 2　文献調査による変状トンネルの地質状況の整理結果

3. 岩石試料試験

トンネル切羽などから採取した古第三紀，新第三紀の複数箇所の泥岩を対象とし，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った．採取箇所の状況を写真-1 に示し，物理的，力学的性質などに関する主な試験の結果を表-1 に示す．

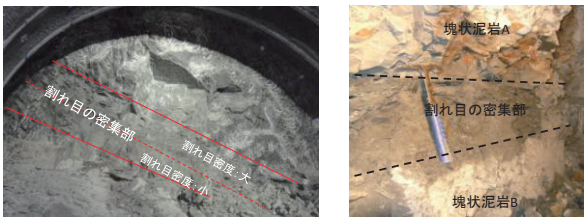

写真-1　試料を採取した泥岩の岩相
（左：古第三紀の泥岩，右：新第三紀の泥岩）

NII-Electronic Library Service

表-1　岩石試験の結果

試料		密度	スレーキング試験	X線回折 Smの含有量	CEC	吸水膨張試験 膨張圧	吸水膨張試験 膨張量	一軸圧縮強さ 平均	超音波伝播速度 平均	三軸圧縮試験 UU
		g/cm^3	区分（形態）[1]	%	meq/100g	kN/m^2	%	kN/m^2	km/sec	Cuu:kN/m^2
古第三紀泥岩	塊状泥岩1	2.362	2（崩壊型）	22	20.7	23.0（14日）	0.92（9日）	8483.6	P波:2.69 S波:1.15	Cuu:4,233.5 φ uu:9.2°
	割れ目の密集部1	2.034	4（中間型）	45	35.0	63.1（14日）	4.87（11日）	67.9	—	Cuu:40.1 φ uu:36.5°
	割れ目の密集部2	2.163	4（中間型）	21	20.1	57.8（6日）	1.84（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	74.7（8日）	0.47（4日）	8946.0	P波:2.78 S波:1.23	Cuu:4,892.6 φ uu:17.6°
	塊状泥岩3	2.311	2（崩壊型）	27	27.2	13.6（4日）	0.28（4日）	11420.3	P波:2.98 S波:1.42	Cuu:4919.6 φ uu:25.5°
新第三紀泥岩	塊状泥岩A	1.961	3（崩壊型）	24	22.3	—	—	3,708.3	P波:1.93 S波:0.70	Cuu:1,583.2 φ uu:6.3°
	割れ目の密集部	1.892	3（崩壊型）	21	23.6	—	—	965.2	P波:1.26 S波:0.50	—
	塊状泥岩B	1.794	3（崩壊型）	23	21.1	—	—	2,179.2	P波:1.68 S波:0.50	Cuu:1,900.2 φ uu:3.6°

古第三紀の泥岩に比べて新第三紀の泥岩は全体として密度が小さく，一軸圧縮強さなどの力学的性質を示す試験結果の値も小さい．それぞれの年代の泥岩の中では，塊状泥岩に比べて割れ目の密集部は密度が小さく，一軸圧縮強さが著しく小さい傾向にある．また，超音波伝播速度も低い傾向にある．

スメクタイト（Sm）の含有量，CEC の値，スレーキング試験の結果と岩相との間には明瞭な関係性は認められなかった．古第三紀の泥岩を対象とした吸水膨張試験の結果もそれらとの明瞭な関係は認められなかったが，割れ目の密集部では大きな膨張圧，膨張量を示すものがある．

試料を採取したそれぞれの箇所における割れ目の密集部の成因は解明できていないが，割れ目の密集部と塊状の泥岩では力学的性質が著しく異なるといえる．また，今回の試験結果の範囲では膨潤性粘土鉱物の含有量と力学的な性質は必ずしも対応していない．

4. 地質構造がトンネル変状に与える影響

割れ目の密集部がトンネル覆工後（ここでは 50 年経過時）の変状に与える影響を数値解析により検討した．解析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 [2]．物性値は表-1 中の古第三紀泥岩の値を使用した．解析は割れ目の密集部の幅を 1.6m とし，トンネル軸方向の傾斜を切羽の掘削方向に約 4°（ケース 1，図-3）と 30°（ケース 2，図-4）傾斜する 2 通りのケースで行った．掘削時の解析はベンチ長 3m，支保パターンは I_N 相当とした．解析の結果を図-3，4 に示す．ケース 1 では割れ目の密集部がインバート下方となる付近で SL 内空変位が最大となるが，インバートや天端の変位はほとんど認められない．これに対してケース 2 では同様の地点で盤ぶくれ量が大きくなっている．

5. まとめ

今回の岩石試験の結果から，割れ目の密集部は塊状泥岩に比べて力学的強さが弱いことがわかった．試計算の結果，このような弱層が存在すると完成後のトンネルに変位が生じる可能性があること，またトンネルとの 3 次元的な位置関係によってはトンネルに現れる変位の状況は異なることがわかった．

今後，地質構造がトンネル変状に与える影響を解明し，このような弱層の評価方法を検討する予定である．

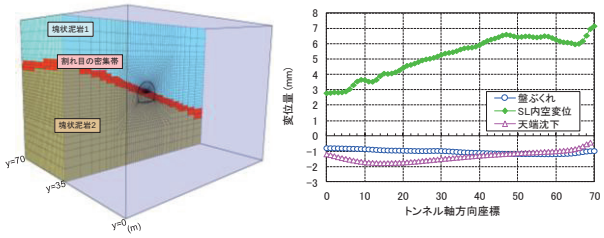

図-3　解析による覆工後の変位量（ケース 1：50 年後）

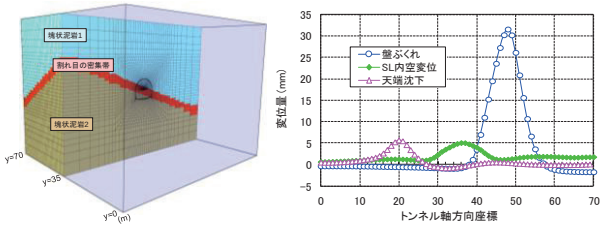

図-4　解析による覆工後の変位量（ケース 2：50 年後）

文献

1) 石田ほか（1992）：スメクタイトを含む軟岩の諸性質(1)-交換性陽イオンと吸水特性-，粘土科学，Vol.32，No.2，pp.97-107.

2) 嶋本ほか(2013)：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.

NII-Electronic Library Service