

(25) 鍋立山トンネル椎谷層泥岩の

物理的力学的性質についての一考察

鉄道技術研究所 櫻井 孝 立松英信 高橋昭教 水野 清
日本鉄道建設公団 川原敏明

1. はじめに

北越北線鍋立山トンネルは鉄道建設公団が昭和43年8月に掘削を開始したトンネルで、一時工事休止となったが、昭和60年8月工事再開となり、全長9117mの残り645mを現在施工中である。本トンネルは新潟県東頸城丘陵を形成する褶曲帯に位置し、トンネル中央部の椎谷層泥岩は破碎質となっており、第三紀層特有の著しい膨張現象を示している。さらに、可燃性ガスや油類の湧出を招き、最も厳しい地山条件となっている。^{1), 2)}

本報告は、鍋立山トンネルのような膨張現象を引き起こす地山の岩石の構成鉱物の種類と量を明らかにし、さらに破碎質のために力学試験用試料の採取が困難な場合に、地山の力学特性をどのように評価したら良いかという問題へのひとつのアプローチであり、今回施工対象部の岩石がどのようなものであるのか、鉱物学及び岩盤力学的考察を加えたものである。すなわち、採取試料の含水比の測定及びX線回折法等を用いて構成鉱物の同定及び膨潤性粘土鉱物の含有量の定量を行い、さらに採取試料から人工泥岩を作成し、人工泥岩の力学試験結果から地山の力学特性を評価しようとするものである。

用いた試料は鍋立山トンネルで実施した水平ボーリング(No.1～No.3)、及びトンネル坑内で採取したもの(ヘドロ噴出箇所付近 No.4～No.6、掘削切羽 No.7～No.11)で、表1に示すように全部で11試料である。

2. 膨潤性粘土鉱物の含有量の測定

2.1 試験方法の概要

X線回折試験の(001)回折線強度から直接膨潤性粘土鉱物の含有量を求める場合、次のような欠点を持っている。

- ① 膨潤性粘土鉱物の交換性陽イオンの種類によって回折線の形状が異なる。

表 1 鍋立山トンネル岩石試料試験結果

試料番号	採取位置	含水比 ^{*1} (%)	岩質	鉱物組成 ^{*1, *3}						膨潤性粘土鉱物 含有量(X)	陽イオン試験 Ca置換試料(含水比) 吸水量(ml/0.5g)	備考
				Qtz	Fd	Mt	Ch	Py	Scm			
水平ボーリング試料												
1	32x472m	(24.3)	やや硬質	+++	±	±	±	±	++	20~25	0.41 (82%)	深度 68m 付近
2	32x473m	(46.7)	粘土化	+++	±	±	±	±	+	15~20	0.39 (78%)	深度 69m 付近
3	32x475m	(23.9)	硬い	+++	±	±	±	±	+	15~20	0.37 (74%)	深度 71m 付近
提 供 試 料												
4	32x490m	(24.4)	やや硬質	+++	±	±	±	±	++	20~25	0.37 (74%)	
5	32x498m	(38.9)	粘土	+	++		±**	±	++	25~30	0.39 (78%)	噴出物
6	32x505m	(26.1)	やや軟質	+++	±	±	±	±	++	20~25	0.39 (72%)	
採 取 試 料												
7	32x533m	24.8	破碎質 塊状	+++	±	±	±	±	++	20~25	0.36 (72%)	人工泥岩 NA8601
8	32x533m	25.0	やや粘土質	+++	±	±	±	±	+	20~25	0.39 (78%)	
9	32x533m	24.0	僅かに粘土質	+++	±	±	±	±	+	20~25	0.40 (80%)	
10	32x533m	23.1	硬質	+++	±	±	±	±	±	15~20	0.34 (68%)	
11	32x533m	24.5	少々破碎質	+++	±	±	±	±	+	20~25	0.37 (74%)	

*1: () は採取後放置期間あり

*2: Qtz:石英, Fd:長石類, Mt:雲母あるいは雲母粘土鉱物, Ch:綠泥石, Py:黄鉄鉱,

Scm:膨潤性粘土鉱物(スメクタイト)

*3: 量的目安 +++>++>+>±

*4: No.5の試料については、他の試料と鉱物組成が異なり、7m付近にある鉱物も通常の
緑泥石とは異なる。

② 膨潤性粘土鉱物の結晶性の良否によって回折線の形状が異なる。

③ 不定方位試料の作成が難しい。

そのため、これらの欠点を補うため、試験方法に種々の工夫を行い、測定精度を5%の幅で表示できる定量法を開発した。この方法の試験手順の要点を次に示す。³⁾

① 乳鉢で粉碎した試料を 0.5M CaCl₂ 溶液にを用い、陽イオン交換処理を行う。

② 陽イオン交換処理した試料 1.5g に一定粒径の非晶質物質 0.5g を加え、十分混合した後、錠剤成形器により成形し、φ20mmのディスクとする。

③ ディスクを用い、一定手順でX線回折試験を行い、定量用試料の(001)回折線について、チャートから半価幅と面積強度を読み取る。

④ 標準試料によりあらかじめ作成した検量線を用い、含有量を求めるための検量線の傾きを定量用試料の半価幅により決定し、その検量線を用い、定量用試料の面積強度に対応する膨潤性粘土鉱物の含有量を求める。

このようにして求めた膨潤性粘土鉱物の含有量を表1に示す。

なお、表1にはCa型にイオン交換した粉末試料を用いた簡易吸水試験結果を示しているが、この吸水量からも、精度は悪いが膨潤性粘土鉱物の含有量が推定できる。³⁾

2. 2 試験結果

試料の鉱物組成は、一部の試料を除いてほぼ同様で、石英、膨潤性粘土鉱物（モンモリロナイトと考えられる）を主成分とし、長石類、雲母粘土鉱物、緑泥石、黄鉄鉱を含んでおり、椎谷層に見られる泥岩としては一般的なものである。ただひとつの例外は坑内（32K498M）で採取した噴出物（試料 No.5）である。

X線回折法を利用した膨潤性粘土鉱物の定量結果は表1に示すように、いずれも 20 % ± 5 % の範囲にあり、全体として大きなバラツキは認められない。ただし、No.1～3の水平ボーリング試料では、採取位置及び岩質が異なり、No.7～11の坑内採取試料では、目視により様々な岩質を選

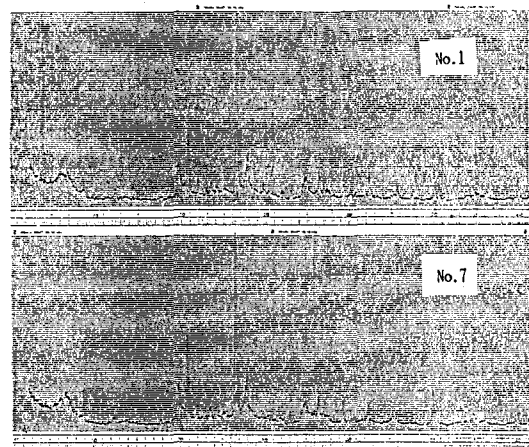


図1 不定方位試料のX線回折試験結果の例

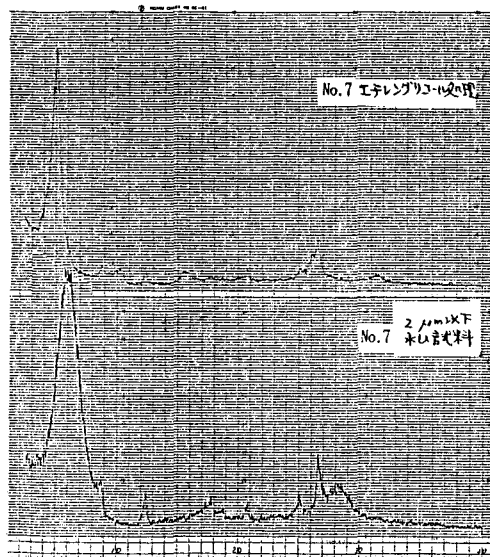


図2 定方位試料のX線回折試験結果の例

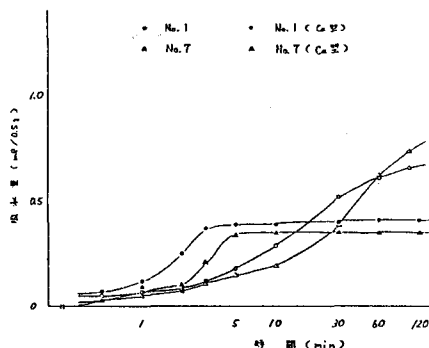


図3 簡易吸水試験結果の例

んでいる。

また、簡易吸水試験の結果からも膨潤性粘土鉱物の含有量を概ね 20 %と推定することができる。

3. 人工泥岩の力学試験結果

3. 1 用いた試料及び作成方法^{4), 5)}

坑内採取試料No.7を用い人工泥岩を作成した。人工泥岩とは、0.11mm以下に粉碎した乾燥試料に、所定の含水比になるように水を加えて練り混ぜ、 $\phi 35\text{mm}$ のシリンダー内で押し固めたもので、そのまま力学試験の供試体とすることができる。採取時の試料の含水比は24.8%で、水中でほぐした試料の液性限界は 134.4%、塑性限界は20.7%であった。また、乳鉢ですりつぶした試料の粒度はシルト分39%、粘土分61%である。

人工泥岩の含水比は 15、20、25%の3通りとし、一軸圧縮試験及び3通りの封圧下の三軸圧縮試験（非圧密非排水条件）を実施した。

3. 2 人工泥岩の力学特性

図4に作成した人工泥岩の密度と、圧縮試験終了後に測定した含水比の関係を示す。図5は、坑内で採取した試料

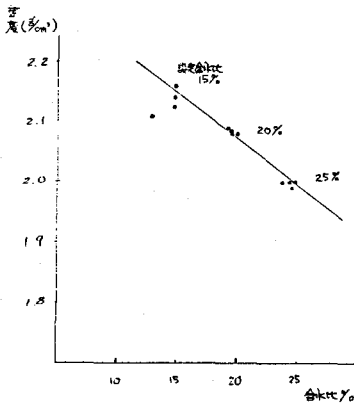


図4 人工泥岩の試験後含水比と密度

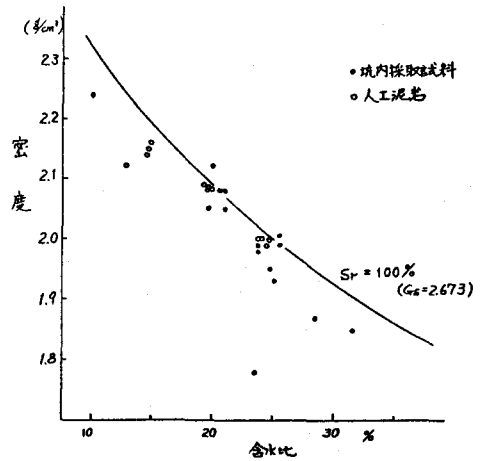


図5 採取試料の含水比と密度の関係

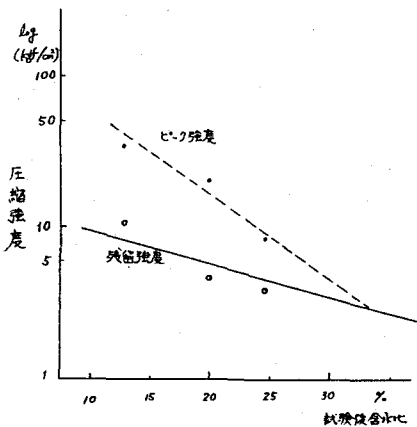


図6 人工泥岩の一軸圧縮試験結果

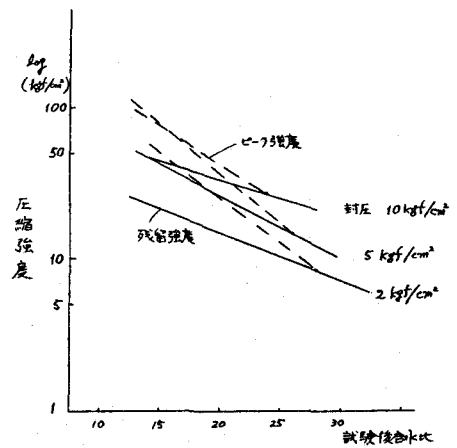


図7 人工泥岩の三軸圧縮試験結果

の含水比と密度の関係を示したものであるが、人工泥岩はほぼ飽和していることがわかる。

図6に人工泥岩の一軸圧縮試験結果、図7に三軸試験結果を直線近似したものを示す。図にはピーク強度と残留強度を対数目盛りで示しているが、いずれも含水比が大きくなるにつれて強度が低下していることがわかる。また、三軸圧縮試験で封圧及び含水比が大きくなるとピーク強度が消滅している。すなわちピーク強度と残留強度は図中の傾き異なり、例えば図6によると、含水比30%を超えたところに両者の交点が存在する。

図8及び図9は採取試料及び人工泥岩の一軸圧縮強度と含水比及び密度との関係を示したもので、人工泥岩はばらつきが小さく、またその残留強度は最も小さい値となっている。

4. 考察及びまとめ

試料を採取した32K533M 切羽は全体的にやや破碎質となっており、一部に鏡肌もみられた。試料の採取にあたっては、できるだけバラエティを持たせ、硬質のものからやや粘土質のものまで採取したが、含水比の測定結果は、23～25%とばらつきが小さかった。また、X線回折の結果、主要構成鉱物として膨潤性粘土鉱物があげられ、その含有量は概ね20±5%で、あまりばらついていない。これらの結果から、膨圧を生じている鍋立山トンネルの地山を構成している主要な物質は「水と膨潤性粘土鉱物」であるということが出来る。

一方、坑内採取試料から作成した人工泥岩の力学試験結果から、人工泥岩の強度、密度、含水比はたがいに強い相関を持ち、例えば、含水比が大きくなると密度が小さくなり、強度は著しく低下する。この傾向はボーリング及び坑内採取試料の岩石試験結果でも認められ、その値は、人工泥岩の値と程よい一致を示している。また、人工泥岩の力学試験では、ピーク強度と残留強度が得られているが、含水比または封圧が大きくなるとピーク強度が消滅することになった。現段階ではまだ検討の余地があるが、今回の試料では、含水比が30%を超えると、地山は掘削前から潜在的に塑性化していることが想像される。

以上より、地山の強度を知るひとつの方法として、地山の含水比測定を提案することができ、その強度を評価するのに、人工泥岩の力学試験結果が利用できそうである。

(参考文献)

- 1) 大塚正幸、高野 研：膨張性泥岩におけるトンネルの挙動と地質特性、土と基礎、27-7、1980.7
- 2) 谷 利章、小島 隆：膨張性地山へ再挑戦 北越北線鍋立山トンネル、トンネルと地下、17-10、1986.10
- 3) 櫻井 孝、立松英信、水野 清：膨潤性粘土鉱物の簡易定量法の研究、鉄道技術研究報告No.1312、1986.2
- 4) 櫻井 孝、高橋昭教：人工軟岩の力学特性、日本応用地質学会昭和60年度研究発表会、1985.10
- 5) 櫻井 孝、高橋昭教：人工軟岩の三軸圧縮試験、第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1986.2

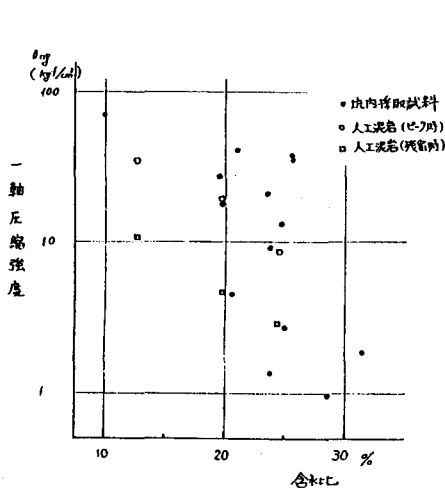


図8 含水比と一軸圧縮強度の関係

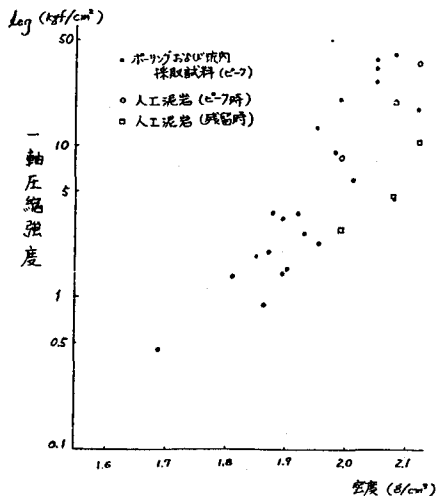


図9 密度と一軸圧縮強度の関係

(25) SOME CONSIDERATIONS TO ESTIMATE THE QUALITY AND STRENGTH
OF SO-CALLED EXPANSIVE MUDSTONE ROCKMASS

Railway Technical Research Institute, JNR

Takashi SAKURAI, Hidenobu TATEMATSU

Akinori TAKAHASHI, Kiyoshi MIZUNO

Japan Railway Construction Public Corporation

Toshiaki KAWAHARA

ABSTRACT

We had proposed a quantitative method for swelling clay mineral content using X-ray diffraction method with 5 % accuracy. By the method, mudstone samples from Nabetachi-yama tunnel, which is being suffered from extremely heavy earth pressure, are examined to contain 20 ± 5 % smectite. An artificial mudstone, which is obtained by drying and crushing the natural mudstone, adding it with some water, and putting it into a cylinder to consolidate it by pressing, is also made and mechanical tests are practiced. Test results show that the strength of the artificial mudstone depends strongly on the water content.

On the other hand, the strength, density and water content of the natural mudstone sampled in the tunnel and by boring have close relation to each other and this fact shows good coincidence to those relation in the artificial mudstone.

Consequently, we can propose that to measure the water content of mudstone is the most convenient work to estimate the rock strength and test results of an artificial mudstone may be used to evaluate the rockmass strength.