

蛇紋岩の化学・力学特性の測定例

日本地研（株） 眞邊 一郎

1. はじめに

調査地の地質は、三郡-蓮華変成岩に区分され古生代石炭紀末期に地下深部で形成された変成岩が分布し、蛇紋岩や花崗閃緑岩を挟む（図-2）。

本報告は、構造物基礎の安定検討に関わる蛇紋岩の化学・力学特性や、地質リスクについて調査結果をもとに考察するものである。

2. 蛇紋岩の成因と特徴

海洋プレート運動に伴い大陸プレートの下に沈み込んだ堆積物や玄武岩は高圧変成岩になり、更に沈み込むとマンテルウェッジの下に達する。マンテルウェッジを構成するかんらん岩がプレート運動で運ばれた水と反応して蛇紋岩化し、体積が膨張することで相対的に密度が低下し浮力が生じる。形成された蛇紋岩と高圧変成岩は、引き伸ばされながら地殻上部に押し上げられ、地殻を突き抜けて上昇しやがて地表に達する。また、蛇紋岩は地表近くの割れ目に貫入、あるいは地表の岩盤を押し上げ割れ目を作りながら貫入してくる（図-1）。

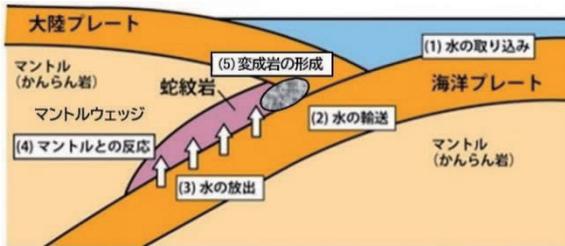


図-1 蛇紋岩と変成岩の由来を示す模式図(一部加筆)¹⁾

蛇紋岩は、新鮮部では優黒質で塊状であるが、風化が進むと白石綿（クリソタイル）、滑石（タルク）、緑泥石（クロライト）に変質し葉片状を呈す脆弱な岩石に変化する。なお、蛇紋岩中には緑色片岩や閃緑岩の岩塊が挟まれている状況も観察できる。

3. 室内試験

土木工事において蛇紋岩にはさまざまな問題が指摘されており、調査地の蛇紋岩が一部粘土化した白色鉱物を伴い葉片状に細礫化した岩相を示すことから（図-3）、事前に室内試験を行って支持層としての適性を評価した。

室内試験は、①蛇紋岩の構成鉱物種、特に膨潤性粘土鉱物のスメクタイト、緑泥石/スメクタイト混合層鉱物の同定、②膨圧発生の目安となる陽イオン置換容量 CEC \geq 20 (meq/100g) の確認、③地盤抵抗力（圧縮強さ σ_c ）の測定を行った。なお、化学分析と力学試験は目的に応じて試料を選定しており、試験箇所はそれぞれ異なる。

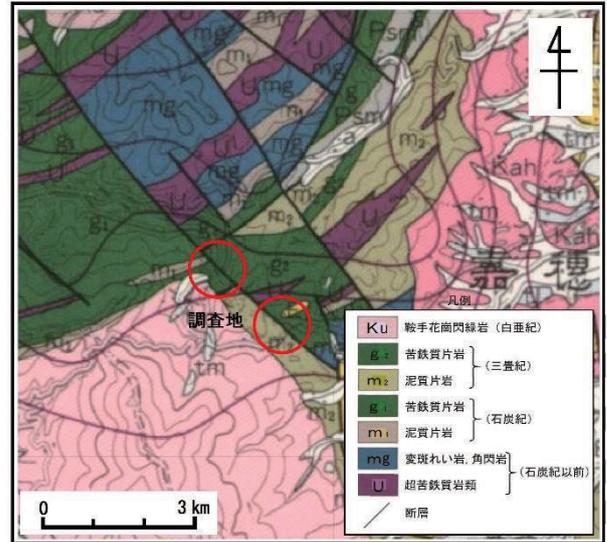


図-2 調査地周辺の地質図²⁾



図-3 蛇紋岩のボーリングコア

4. 室内試験結果

室内試験は、調査ボーリングで採取したコアから試験片を選定し、以下の化学分析と力学試験を実施した。

表-1 室内試験項目

試験区分	規格	室内試験	求められる値
化学	NEXCO 724-1997	陽イオン置換容量	CEC (meq/100g)
	NEXCO 725-1997	X線回折試験	鉱物種、石英指数
力学	JGS 2132-2009	岩石の密度試験	単位体積重量 (kN/m ³)
	JIS M 0302	岩石の圧縮強さ試験	圧縮強度 (MN/m ²)

(1) 化学分析結果

蛇紋岩の膨張性の判定に陽イオン置換容量試験を、主要構成鉱物と粘土鉱物の同定に X線回折試験（全岩分析、定方位分析）を行った。

①陽イオン置換容量試験

分析結果から、CEC=19.6~27.0 (meq/100g) が確認された。いずれの試料も CEC が20meq/100g 前後またはそれよりも高い値を示しており、膨圧（膨張）の可能性があると判定される。

表-2 陽イオン置換容量試験結果³⁾

番号	Bor. No.	試料名	CEC 塩基置換容量 (meq/100g/dry)	判定基準 (日本鉄道建設公団、1977)
1	No.4	4-1(R1-10)	27.0	(1)膨圧発生の可能性が非常に大きいもの ①主要構成粘土鉱物がスメクタイト ②CEC \geq 35meq/100g ③ボーリングサンプル中破砕部多い
2	No.4	4-2(R1-10)	19.6	
3	No.7	7-1(R1-11)	20.5	(2)膨圧発生の可能性があるもの ①主要構成粘土鉱物がスメクタイト ②CEC \geq 20meq/100g
4	No.14	14-1(R1-5)	19.6	

②X線回折試験

全岩分析は、主要構成鉱物種の同定を行う目的で実施した。また、鉱物量を半定量的に把握するため、石英指数⁴⁾を用いた解析を行った(表-3)。

表-3 全岩分析結果

番号	Bor. No.	試料名	全岩分析(石英指数)										
			石英	長石	雲母	角閃石	緑泥石	緑泥石/ス멕タイト混合層鉱物	滑石	蛇紋石	滑石(タルク)	ジムソンナイト	方解石
1	No.4	4-1(R1-10)	15.0	3.3	0.4	5.0	10.9		0.3				1.5
2	No.4	4-2(R1-10)	1.5	2.9	1.8	2.8		0.6	2.3				1.4
3	No.7	7-1(R1-11)								17.8	27.0	6.3	
4	No.14	14-1(R1-5)					5.1			8.7	1.0		

定方位分析は、全岩分析で得られた構成鉱物のうち、粘土鉱物を詳細に同定するため実施した(表-4)。

表-4 定方位分析結果⁵⁾

番号	Bor. No.	試料名	定方位分析										
			角閃石	カオリナイト	緑泥石	緑泥石(2八面体型)	緑泥石/ス멕タイト混合層鉱物	ス멕タイト	滑石	蛇紋石	滑石(タルク)		
1	No.4	4-1(R1-10)	○		○	○	○	○					
2	No.4	4-2(R1-10)	○	x			○			○			
3	No.7	7-1(R1-11)			○	○		○					○
4	No.14	14-1(R1-5)		x	○								○

x:塩酸処理で検出限界以下であることを確認

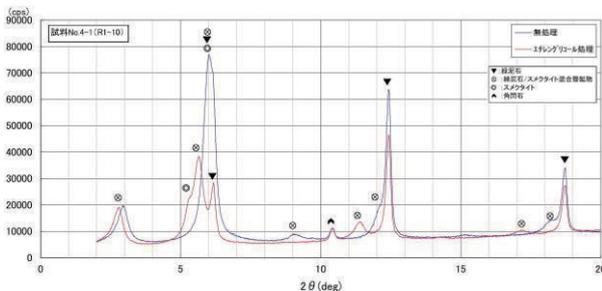


図-4 回折チャート(無処理、エチレングリコール処理)

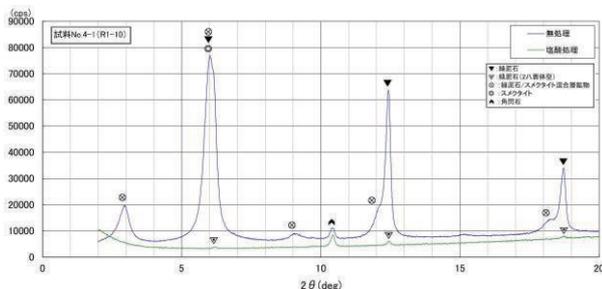


図-5 回折チャート(無処理、塩酸処理)

分析番号1~3の0定方位分析において、膨潤性粘土鉱物である緑泥石/ス멕タイト混合層鉱物およびス멕タイトが確認されたが(表-4)、全岩分析では検出限界以下~少量の検出にとどまっている(表-3)。膨潤性粘土鉱物が各試料の鉱物全体に占める割合は少ないと考えられる。

なお、分析番号4では蛇紋岩特有の含有鉱物である蛇紋石や滑石は検出されるが、全岩分析、定方位分析ともに膨潤性粘土鉱物は検出されなかった。

(2) 力学試験結果

圧縮強度 $\sigma_c=20.0\sim 100.0$ (MN/m²) が確認された。試験は棒状コアで採取された供試体を使用した。採取コアは全体に亀裂が多く、表-6の鉛直地盤反力制限値は硬岩(変位照査時1,000kN/m²、耐荷照査時1,500kN/m²)に該当する。

表-5 力学試験結果

No. ボーリングNo. (深さ)	No.5 R1-9 (7.20~7.40m)	No.6 R1-12 (4.80~5.00m)	No.10 R1-1 (7.80~8.00m)
	直 径 D cm	4.825	4.841
高 さ H cm	9.902	10.070	10.016
質 量 g	511.7	493.9	488.3
断 面 積 A cm ²	18.28	18.41	17.64
密 度 ρ g/cm ³	2.826	2.665	2.764
単 位 体 積 重 量 γ_t kN/m ³	27.72	26.14	27.11
破 壊 荷 重 P kN	184.0	106.0	35.3
圧 縮 強 度 σ_c MN/m ²	100.0	57.5	20.0

表-6 基礎底面の鉛直地盤反力制限値⁶⁾

岩盤の種類	基礎底面の鉛直地盤反力度の制限値(kN/m ²)		目安とする値	
	9.5.1の変位の制限の照査	9.5.2の耐荷性能の照査	一軸圧縮強度(MN/m ²)	孔内水平載荷試験による変形係数(MN/m ²)
硬岩	亀裂が少ない	2,500	3,750	10以上
	亀裂が多い	1,000	1,500	500未満
軟岩	600	900	1以上	

5. まとめ

化学分析の結果から、CEC では膨圧の可能性ありと判断されたが、膨潤性粘土鉱物(ス멕タイト、緑泥石/ス멕タイト混合層鉱物)は全体に少ない結果となった。他の粘土鉱物として蛇紋石、滑石や緑泥石が検出されており、特に蛇紋岩中にス멕タイト、滑石、緑泥石が混在すると周囲の岩盤との境界でせん断強度とせん断抵抗角が低下することが知られている(図-6)。

したがって、蛇紋岩を支持層とする直接基礎部では圧縮強度が硬岩に判定される場合でも、施工時の岩掘削に伴う応力開放や浸水で急激な強度低下が生じ支持力不足となるリスクがあり、浸水防止対策を含む基礎面養生や、平板載荷試験で支持力を確認すべきである。

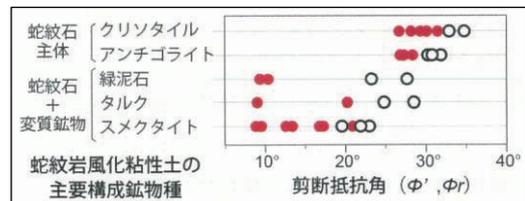


図-6 蛇紋岩の主要構成鉱物とせん断抵抗角の関係⁷⁾

また、蛇紋岩にはアスベストの主原料である白石綿が脈状に分布することが知られており、掘削に伴う粉塵の発生・人体への悪影響が懸念される。よって、アスベストの分布が疑われる場合は、コア鑑定や室内試験で事前に含有量を確認し、施工時の飛散防止対策や管理方法、掘削残土の処理方法を入念に検討する必要がある。

《引用・参考文献》

- 1) 広島大学:プレート境界で発生するゆっくりに地震は岩石中の浸透率の違いにより発生することを証明, 2012.
- 2) 産業技術総合研究所:20万分の1「福岡」, 1993.
- 3) 土木学会:トンネル標準示方書, 2016.
- 4) 林正雄:地熱井コア・スライムの定量記載、地熱学会誌, 1979.
- 5) 吉村尚久:粘土鉱物と変質作用, 2001.
- 6) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 2017.
- 7) 防災地質チーム:寒地土木研究所月報, 2020.