

スメクタイトを含む新第三紀凝灰岩の膨潤特性

新潟県土木部 正 ○水野 隆 新潟県土木部 関谷俊昭 新潟県土木部 仲 洋治
川崎地質(株) 正 菅野孝美 川崎地質(株) 正 高橋 廣

1. はじめに

膨潤性変質軟岩が分布するグリーンタフ地域の切土斜面で、掘削直後に亀甲状の乾燥収縮亀裂が発達し、その後の湿潤乾燥の繰返しによって急速な斜面変状と斜面崩壊が発生した。当該地にはスメクタイト含有量が20%を越える膨潤性の高い凝灰岩が広く分布し、今後の道路計画に大きな障害となる事が予測された。

そこで、斜面切取りに伴う膨潤挙動を予測し、ノリ面保護に関する基礎資料を得る事を目的として、上載荷重及び初期含水比条件を変化させた膨潤特性試験（膨潤率・膨潤圧）を行い、膨潤挙動と試験前後の物性変化について検討した。これまでに初期物性値及び上載荷重を変化させた場合の膨潤挙動については、植本他¹⁾や亀井他²⁾による研究例があるが、施工へのフィードバック例はあまりない。本試験結果から、上載荷重は膨潤変形と膨潤時間に対して抑制効果と遅延効果をもたらし、乾燥に伴う物性変化は膨潤挙動を活性化させる事を明らかにした。これらの新第三紀凝灰岩の膨潤挙動について報告する。

2. 試験試料及び実験概要

試験試料は、斜面切取り半年後の掘削基面から採取したC_M級程度のデイサイト質火山礫凝灰岩で径数mm~1cm前後の火山礫を含む。スメクタイト含有量は25%前後を有し、CEC値は40meq/100g程度と高い。図1に示す交換性陽イオン組成からCa型に近いCa+Mg型に分類される。乾燥試料（炉乾・風乾）の浸水実験では、原形をとどめない程に崩壊し土砂化するが、非乾燥試料の浸水実験では表面の劣化のみで崩壊土砂化しない。このような崩壊形態は石田³⁾によるCa型スメクタイトの軟岩と一致する。

試験では、初期含水比及び上載荷重を変化させた場合の膨潤挙動について、浸水に伴う膨潤変形量と膨潤圧の経時変化を測定し試験前後の物性変化から比較検討した。膨潤率・膨潤圧試験とも圧密試験機を改良したものを用い、膨潤変形及び膨潤圧とも平衡に達するまで測定した。

上載荷重条件及び初期含水比条件を表1に示す。上載荷重の変化は上載荷重を拘束圧と仮定し、土木構造物による上載圧効果の把握を目的としている。乾燥条件は風乾燥と110°C炉乾燥とし、110°C炉乾燥はスメクタイト結晶中の層間水を脱水させ、結晶化学的な膨潤能力の活性化を目的としたものである。

3. 膨潤特性の試験結果及び考察

(1) 膨潤変形と上載圧効果

湿潤状態にある非乾燥自然試料に乾燥条件を与え、上載荷重を変えた場合の膨潤抑制効果を検討した。図2に示す様に非乾燥試料及び乾燥試料とも上載荷重による膨潤変形抑制効果を示している。試験結果から膨潤変形に対する上載荷重効果として、①膨潤変形の抑制効果、②膨潤変形の遅延効果が確認された。図2から膨潤変形抑制効果は、非乾燥・乾燥試料を問わず2tf/m²負荷時で高い。これは非乾燥自然試料の膨潤圧(1~2tf/m²)程度の上載荷重の負荷によって膨潤変形が抑制される事を示唆する。

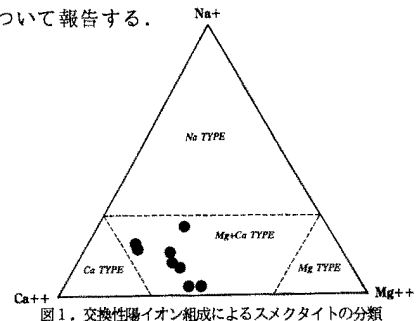


図1. 交換性陽イオン組成によるスメクタイトの分類

荷 重 条 件 tf/m ²	初期含水比(%)			
	Wn 自然	Wn×90% 風 乾	Wn×50% 風 乾	Wn×0% 絶 乾
0	◎	×	×	◎
2	◎	○	○	◎
4	◎	×	○	◎
6	◎	×	○	◎
8	◎	○	○	◎

◎：膨潤率試験+膨潤圧試験 ○：膨潤率試験 ×：なし

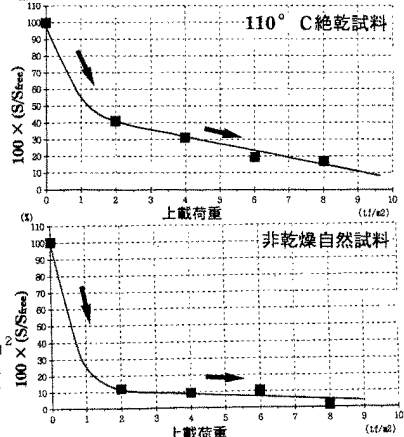
図2. 上載圧荷重による膨潤変形抑制効果（S/S_{free}:自由膨潤時膨潤率S_{free}に対する各上載圧別膨潤率Sの比率）

図3に示す様に上載荷重を与える事で間隙への吸水を制限し、吸水による体積増加が小さくなる事から乾燥密度が大きくなり外部膨潤及びスメクタイトによる内部膨潤の抑制に貢献していると考えられる。図4は、絶乾条件試料において膨潤変形が平衡に達した時の膨潤率と時間の関係をそれぞれ自由膨張時を1にした場合の抑制比で示したものであり、上載荷重による遅延効果と膨潤変形の抑制効果を明瞭に表している。

(2) 乾燥条件と膨潤圧

図5は、乾燥後試料の物性値を非乾燥自然試料の物性値の平均値で除した値と膨潤圧の関係図で、各乾燥状態における物性値を非乾燥自然試料の物性値平均を1とした場合の比で表している。これらの関係図から乾燥に伴う含水比の低下と乾燥密度の増加が膨潤圧の大きさを支配する事を示す。すなわち、乾燥密度の増加は乾燥による体積収縮を意味し、体積収縮は岩石粒子間や鉱物粒子間の自由水や吸着水の脱水及びスメクタイトの結晶格子中の層間水の脱水を意味する。したがって物理的にも結晶化学的にも取り込みうる自由水の量が大きくなり高い膨潤圧を発生させると考えられる。また、非乾燥自然試料に対する乾燥試料の物性値の比がある一定のレベルを越える時に高い膨潤圧が発生している。

(3) 膨潤と終息時間

図6は、膨潤が平衡に達した時点の膨潤率もしくは膨潤圧と終息時間の関係を示している。膨潤率の分布が時間軸方向にばらつくのは、上載荷重を変化させた試料を混在してプロットしているためであり、上載荷重による遅延効果と膨潤変形抑制効果を意味する。膨潤圧は非乾燥自然試料に対して、乾燥程度の高い試料ほど高く、終息時間が長くなる事を明瞭に示し、長期間にわたり膨潤圧が発生し続ける事が確認された。また、膨潤の終息段階では膨潤圧が膨潤変形に比べて早い時間で終息する事から膨潤圧と膨潤変形の非同調性を示唆するものである。

4. おわりに

初期含水比条件及び上載荷重条件を変化させて膨潤特性試験を行い、スメクタイト含有量の高い新第三紀凝灰岩の膨潤挙動の特徴を検討した非乾燥自然試料では、表面付近の未飽和分の吸水に限定される事から膨潤挙動は小さいが、乾燥条件を与えると、収縮亀裂の発達によって浸水に対する耐久性を喪失して吸水能が高まる。同時に岩石内部への水の供給が容易になるとスメクタイト層間へも積極的に水が供給され結晶化学的な膨潤が発生すると考えられる。

スメクタイトを含む膨潤性軟岩では、乾燥条件を与えさらに再湿潤させると大きな膨潤変形と膨潤圧を発生させる。したがって湿潤状態を保持し乾燥による体積収縮を許容しない事が重要である。また、非乾燥自然試料の膨潤圧（ $1 \sim 2 \text{tf/m}^2$ ）程度の上載荷重付加で膨潤変形が抑制される事などの知見を元に、今後さらにデータを蓄積し膨潤性岩盤を対象とした切土施工ヘフィードバックしていきたい。

【参考文献】

- 1) 植本直之・大塚康範・滴 弘之: 膨潤性地山における変形挙動と対策工の効果., 土と基礎, 36-5, 1988.
- 2) 亀井健史・榎本雅夫: 水浸に伴う不飽和シルト質土の膨潤特性., 土木学会論文集, No. 505/III-29, pp. 88-96, 1994.
- 3) 石田良二・神藤健一: スメクタイトを含む軟岩の劣化防止に関する研究., 応用地質35巻, 5号, pp. 1-14, 1994.

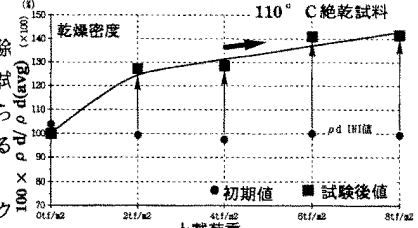
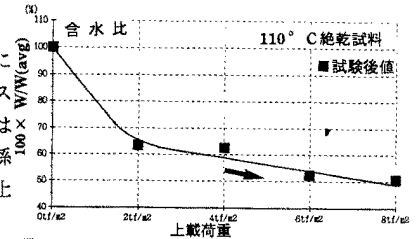


図3 非乾燥自然試料の物性平均値 (avg) に対する各上載圧別物性値の変化比率

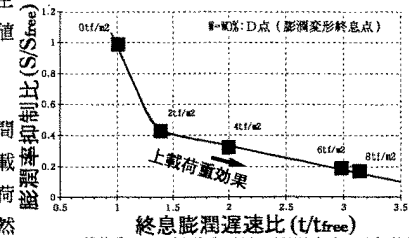


図4 上載荷重による膨潤抑制効果と膨潤終息時間遅延効果 (自由膨張時の膨潤率: S_{free} , 膨潤終息時間: t_{free})

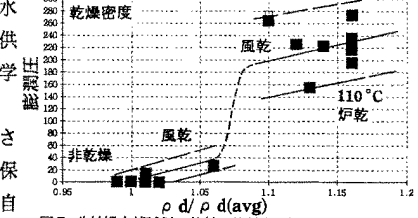
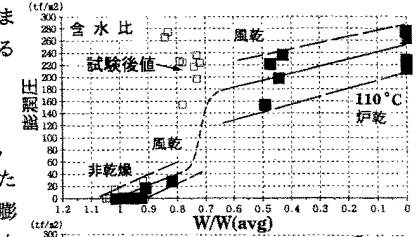


図5 非乾燥自然試料の物性平均値 (avg) に対する各上載圧別物性値の変化比率と膨潤圧の関係

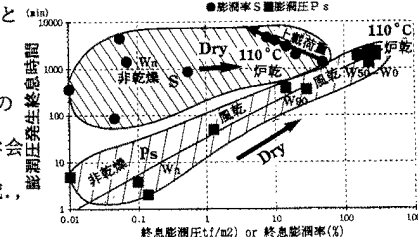


図6 膨潤変形もしくは膨潤圧と膨潤終息時間の関係 (Ps: 膨潤圧, S: 膨潤率, avgは非乾燥自然試料の平均値)