

道路法面やトンネル掘削等で問題となる「酸性硫酸塩土」について

Acid Sulfate Soil Causing Geotechnical Problems at Tunnel and Cut Slope Excavation Works

重松 宏明 (しげまつ ひろあき)
石川工業高等専門学校 准教授 環境都市工学科

1. はじめに

酸性硫酸塩土とは、**口絵写真—14** (https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=1555%3A2009-01-07-08-26-28&catid=101%3A2008-09-18-06-24-51&Itemid=72) に示すような黄鉄鉱 (パイライト, FeS_2) と呼ばれる鉱物を含有する地盤が掘削等で大気に曝された後、黄鉄鉱と水・酸素の化学反応によって硫酸 (H_2SO_4) が生成される土のことを言う。本稿では、中性 (土中において還元状態にある場合) から強酸性に至るまでの過程において、酸性硫酸塩土の強度やコンシステンシーなどの基本的な土質特性がどのように変化するかを紹介する。

2. 実験試料及び調整

実験に用いた酸性硫酸塩土は、石川県河北郡津幡町北中条 (石川高専近傍) 地内の土取り場にて採取した粘性土である。この粘性土は元来きれいな暗灰色を示しているが、採取地点の表層部分をシャベルなどで削っていくと、所々に赤褐色の酸化鉄が現れた (**口絵写真—15**) (URL 同前)。

表—1 に採取直後の試料の物理・化学特性を示す。なお、表中に示す試料 A は地表面から 3.5~5.0 m、試料 B は同じ地点で地表面から 0.5~1.5 m の深さから採取したものである。表に示すように、同じ土層であっても深度によって粒度組成やコンシステンシー限界に若干の違いが認められる。採取直後の試料の pH は、試料 A が 6.1~6.2、試料 B が 4.7~5.0 を示したことから、地表面に近いほど酸性化が進行していることが分かる。また、試料採取時において、地下水位が地表面から 2.5 m の深さに存在したことから、採取直後の両者の含水比は異なる。

表—1 採取直後の酸性硫酸塩土試料の物理・化学特性¹⁾

	試料 A	試料 B
深さ (m)	3.5 ~ 5.0	0.5 ~ 1.5
pH	6.1 ~ 6.2	4.7 ~ 5.0
含水比 w (%)	55.4 ~ 62.7	37.8 ~ 45.5
液性限界 w_L (%)	68.2	58.3
塑性限界 w_p (%)	30.3	23.3
塑性指数 I_p	37.9	35.0
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	2.670	2.690
砂分 (%)	9	31
シルト分 (%)	67	61
粘土分 (%)	24	8
強熱減量 L_i (%)	4.6	—

る。

採取した試料の全量を 0.85 mm のふるいで裏ごしした後、所定の大きさのバットに入れ、含水比が変化しないように施し、インキュベーター内で一定温度 (20°C) のもと、所定の期間放置した。なお、バットの中の試料は表面から酸性化が進行することから、放置中においても定期的に試料をかき混ぜ、酸性化の不均一性を極力防ぐようにした。本実験では、自然含水比状態で酸性化が進行する場合を想定していることから、試料を湿潤状態 (自然含水比状態) で、かつ均一に酸性化させる必要がある。

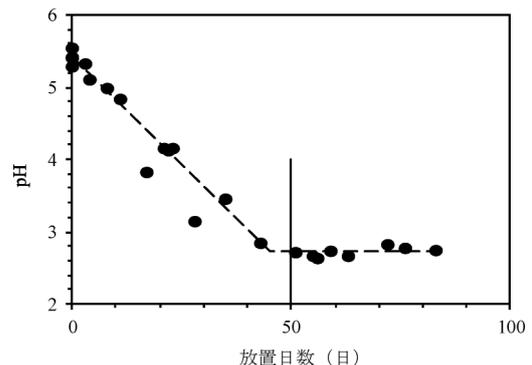
3. 結果及び考察

3.1 pH の経時変化

図—1 に採取した試料の放置日数の経過に伴う pH の変化を示す。図より、放置開始時の pH は 5.5 付近 (採取直後に比べると幾分低下) の値を示しており、日数の経過とともに酸性化が進行し、放置開始から 50 日後には pH は 2.7 付近まで下がり、その後はほぼ一定の値を示す。50 日以上放置させた試料を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察したところ、土中に石膏 (硫酸カルシウム, CaSO_4) の析出が確認できた。

3.2 酸性化に伴う強度の変化

所定の期間放置させた試料を必要量取り、所定の乾燥密度になるように静的に締固め、一軸圧縮試験用供試体 (直径 5 cm, 高さ 10 cm) を作製した。なお、一軸圧縮試験に締固め供試体を用いた理由は、粘性土の強度や変形に及ぼす酸性化の影響を重点的に把握するためである。図—2 に試料 A 及び B で作製した供試体の一軸圧縮試験の結果を示す。なお、乾燥密度の違いにより、それぞれの一軸圧縮強度 q_u は若干ばらついている。



図—1 放置日数の経過に伴う採取試料の pH の変化²⁾

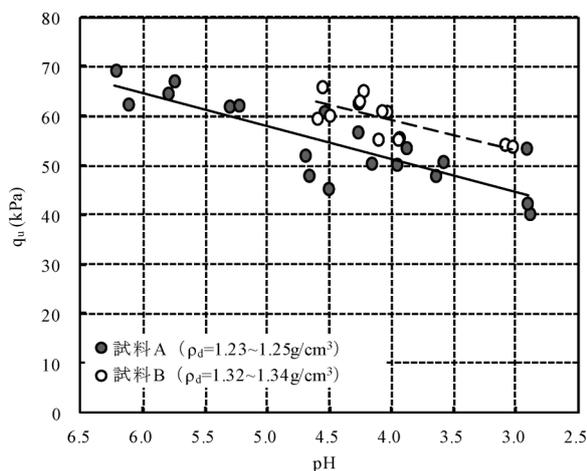


図-2 一軸圧縮試験の結果 (q_u -pH 関係)¹⁾

試料 A で作製した供試体の一軸圧縮試験の結果より、 q_u は pH 6 以上のとき 62~70 kPa の値を示し、その後酸性化の進行 (pH の低下) とともに、徐々に低下している。また、pH 3 以下の q_u が 40~53 kPa の値を示していることから、粘性土の強度は酸性化が進行することによって当初の 2/3 程度にまで低下する。試料 B で作製した供試体の一軸圧縮試験結果については、試料 A で作製した供試体の試験結果と概ね傾向が一致した。

3.3 酸性化に伴うコンシステンシー限界の変化

一軸圧縮試験に用いた試料 A を別途用意して、pH を測定した後、液性・塑性限界試験を実施した。

図-3 にコンシステンシー限界と pH の関係を示す。なお、図中の pH は液性限界 w_L 、塑性限界 w_P に相当する含水比の pH とは異なり、試験開始前の放置試料の pH である。試験終了後の試料の pH と比較した結果、その差は 0.2 以下であった。図より、酸性化の進行とともに w_L と w_P の両者はともに低下し、塑性指数 I_P もやや低下傾向にあることが分かる。

pH と w_L 、 w_P の関係から得た近似式を用いて、一軸圧縮試験に用いた各供試体の含水比 w からコンシステンシー指数 $I_C (= (w_L - w) / I_P)$ を計算したところ、pH の低下とともに I_C が低下することを確認した。 I_C は細粒土の自然含水比状態における相対的な硬さを表す目安であることから、酸性化に伴う I_C の低下が一軸圧縮強度を低下させる要因になっていると考えられる。

3.4 酸性化に伴う水溶性成分含有量の変化

一軸圧縮試験後の供試体 (試料 A) から水溶性成分試験用の試料を分取し、間隙水中に含まれる各種イオン濃度を測定した。図-4 に各種水溶性成分含有量と pH の関係を示す。縦軸の左側に硫酸塩含有量 (S_{SO_4}) を示し、右側に水溶性カルシウム・マグネシウム・ナトリウム・カリウム含有量 (S_{Ca} , S_{Mg} , S_{Na} , S_K) を示す。なお、塩化物イオン濃度については測定していない。図より、酸性化によって pH が低下するとともに、水溶性カルシウム・マグネシウム、及び硫酸塩が増加していることが分かる。特に pH 4 以下における硫酸塩の増加が著しい。この原因として、土中における石膏の析出が影響しているものと考えられる。水溶性ナトリウム・カリウ

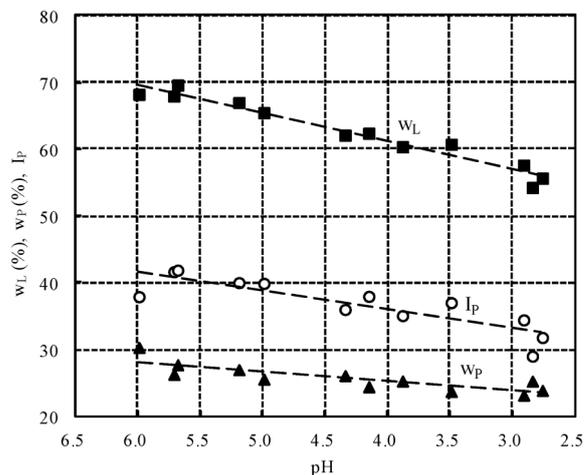


図-3 コンシステンシー限界と pH の関係¹⁾

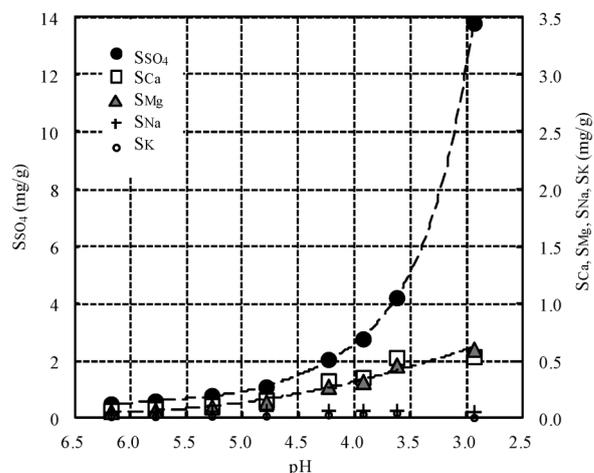


図-4 各種水溶性成分含有量と pH の関係¹⁾

ムについては微量で、しかもほとんど変化がない。

4. おわりに

本稿では、酸性硫酸塩土の酸性化に伴って土質特性がどのように変化するのかを概括した。近年、強酸性化した酸性硫酸塩土地盤から成る道路法面の不安定化、トンネル掘削等で排出した酸性硫酸塩土 (ずり) の処分問題が深刻化している。今後、法面等の設計においては、土質特性に及ぼす酸性化の影響を盛り込む必要がある。建設残土として排出した酸性硫酸塩土については、環境保全、建設事業のコスト縮減などの面から、早急に適正な処理法を検討し、新たな地盤材料としての適用性を図っていかなければならない。本稿で紹介した実験結果がその一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 重松宏明・東 真吾・池村太伸・澤本洋平・林 宗平・能澤真周・八嶋 厚：黄鉄鉱に起因する酸性化が粘性土の土質特性に及ぼす影響評価，土木学会論文集 C, Vol. 62, No. 2, pp. 429~439, 2006.
- 2) 重松宏明・西木佑輔・西澤 誠・池村太伸：酸性硫酸塩土の石灰安定処理に関する一考察，土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 2, pp. 425~430, 2009.

(原稿受理 2013.12.24)