

酸性硫酸塩土の強度定数について

石川工業高等専門学校                      ○池村太伸・杉野竜一  
石川工業高等専門学校 正会員      重松宏明

1. 緒言

黄鉄鉱 (pyrite,  $\text{FeS}_2$ ) を有する地盤は、土中において還元状態にある場合は中性を示すが、掘削などによって土が一旦大気にさらされると、その直後から黄鉄鉱は水・酸素と反応して硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) を生成する。このような土を「酸性硫酸塩土」と呼ぶ。石川県には酸性硫酸塩土が広く分布し、近年河北郡津幡町地内において、酸性化した粘性土地盤からなる切土法面が崩壊した事例がある<sup>1)</sup>。今後、法面などの設計に酸性化の影響を盛り込むためには、強酸性に至るまでの強度定数 ( $c$ ,  $\Phi$ ) の変化を把握する必要がある。そこで本研究では、採取した酸性硫酸塩土を湿潤状態で段階的に酸性化させた後、これらの試料を用いてリングせん断試験を実施した。その結果から、粘着力  $c$  とせん断抵抗角  $\Phi$  に及ぼす酸性化の影響について調べた。また、酸性化に伴う  $c$  と  $\Phi$  の変化を詳細に検討するために、酸性化に伴うコンシステンシー限界の変化、および粒度組成の変化についても言及した。

2. 実験試料および実験の概要

実験に用いた酸性硫酸塩土は、筆者ら<sup>2)</sup>がこれまで酸性土の研究材料として用いてきた土と同じで、河北郡津幡町北中条 (石川高専近傍) の土取り場より採取した粘性土である。表-1 に採取直後の試料の物理・化学特性を示す。シルト分が 50%以上含まれていることから、採取した酸性硫酸塩土はシルト質土である。pH は 5.4~5.5 となっており、若干酸性化が進行していた。採取した試料の全量を 0.85mm 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濡れタオルで覆い、インキュベーター内で一定温度 (20℃) のもと、所定の期間放置した。放置完了後、これらの試料を必要量取り、リング (外径 15cm, 内径 10cm) 内に入れてセットした。実際の法面の不攪乱状態における湿潤密度が  $1.837\text{g/cm}^3$  であることを考慮し、400kPa の垂直応力にて 180 分間圧縮した。そして、拘束圧 80, 120, 160kPa の定圧下において、 $0.095^\circ/\text{min}$  の変位角速度でせん断した。表-2 に試験条件を示す。試料の酸性度は pH 5.3~5.4 (採取直後) を「弱酸性」、pH 4.1~4.3 を「酸性」、pH 2.8 を「強酸性」とした。なお、強酸性の拘束圧 120kPa については、実施していない。試験前・後の pH はほとんど同じであった。含水比については、試験前と後では 2%ほどの差があった。

3. 結果と考察

本研究では、 $c$  と  $\Phi$  のみを求めることを目的としているため、簡易定圧条件<sup>3)</sup> (垂直応力を反力板側で測定することを前提に、従来の方法である垂直応力を制御しない簡便な方法) のもとでリングせん断試験を行った。ただし、せん断強度  $\tau_f$  は破壊時の垂直応力で定義する。図-1 にリングせん断試験の結果を示す。図より、弱酸性 (採取直後) の試料の強度定数は  $c=5.35\text{kPa}$ ,  $\Phi=11.6^\circ$  であった。 $c$  は酸性化が進行するとともに低下し、強酸性 (pH=2.8) においては、 $c=0$  となった。 $\Phi$  については、酸性化が進行するとともに少しずつ上昇し、強酸性 (pH=2.8) においては、 $\Phi=14.3^\circ$  と弱酸性よりも  $2.7^\circ$  増加した。図-2 に酸性化に伴う  $c$  と  $\tan\Phi$  の変化を示す。

酸性硫酸塩土の酸性化に伴うコンシステンシー限界の変化を調べるために、一軸圧縮試験実施後の供試体を用いて、pH を測定した後、液性・塑性限界試験を行った。図-3 にコンシステンシー限界と pH の関係を示す。図より、酸性化とともに液性限界  $w_L$ 、塑性限界  $w_p$  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。これ

表-1 採取直後の物理・化学特性

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| pH                                  | 5.4~5.5   |
| 自然含水比 $w$ (%)                       | 34.0~35.4 |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ ) | 2.679     |
| 砂分 (%)                              | 14.8      |
| シルト分 (%)                            | 54.7      |
| 粘土分 (%)                             | 30.5      |
| 強熱減量 $L_i$ (%)                      | 4.3       |

表-2 試験条件

|     | 拘束圧<br>(kPa) | pH  |     | 含水比(%) |      |
|-----|--------------|-----|-----|--------|------|
|     |              | 試験前 | 試験後 | 試験前    | 試験後  |
| 弱酸性 | 80           | 5.3 | 5.4 | 33.6   | 31.9 |
|     | 120          | 5.4 | 5.6 | 33.3   | 32.1 |
|     | 160          | 5.4 | 5.5 | 33.5   | 31.1 |
| 酸性  | 80           | 4.2 | 4.1 | 33.8   | 32.4 |
|     | 120          | 4.3 | 4.3 | 32.7   | 30.9 |
|     | 160          | 4.1 | 4.2 | 33.0   | 31.5 |
| 強酸性 | 80           | 2.8 | 2.8 | 35.8   | 33.3 |
|     | 120          | —   | —   | —      | —    |
|     | 160          | 2.8 | 2.9 | 35.1   | 33.2 |

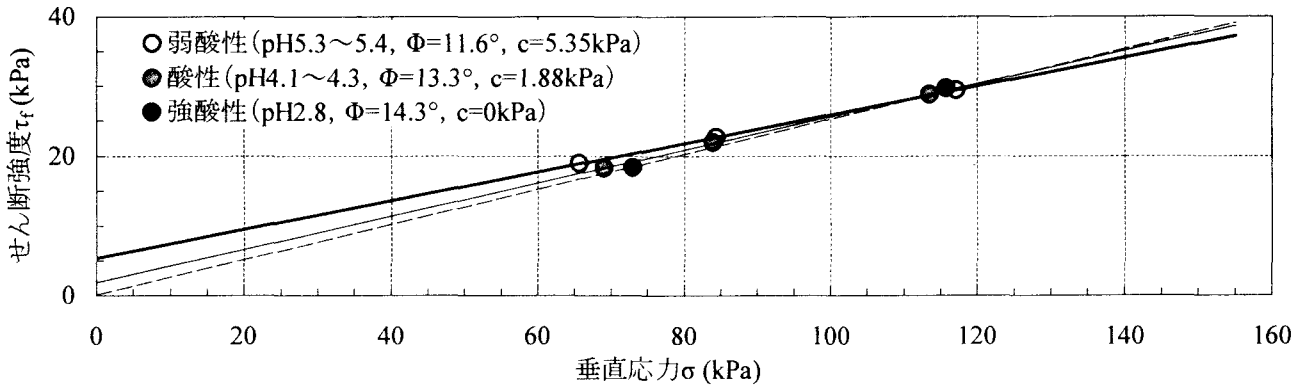


図-1 リングせん断試験の結果

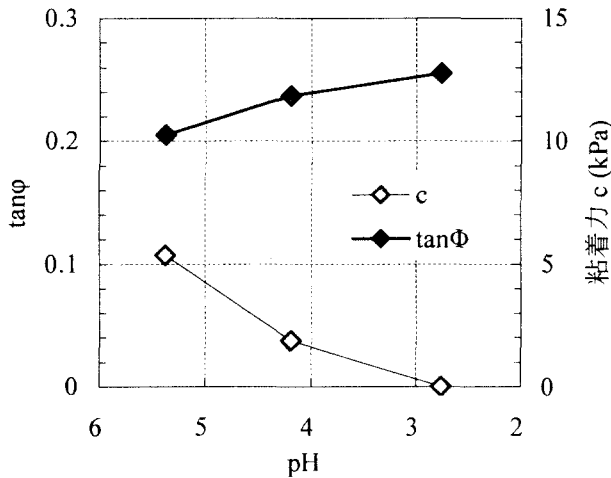


図-2  $c$  と  $\tan \Phi$  の変化

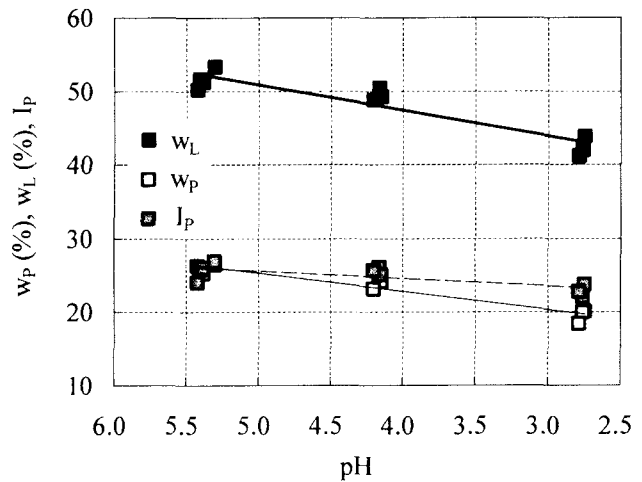


図-3 コンシステンシー限界とpHの関係

については、筆者ら<sup>2)</sup>が以前に行った実験でも同じような傾向が得られた。

図-4 に酸性硫酸塩土の酸性化に伴う粒度組成の変化を示す。図より、強酸性に至るまでの砂の含有率はそれほど大きな変化はないが、細粒分中のシルトと粘土の割合については、大きく変化した。つまり、強酸性において、シルト分が増加し、粘土分が減少した。

以上のことから、酸性化に伴う強度定数の変化 ( $c$  の低下,  $\Phi$  の上昇) は、コンシステンシー限界の低下、および粒度組成の変化と密接に関係しているものと思われる。

#### 4. 結言

本研究で行った試験結果から、酸性硫酸塩土の強度定数は強酸性に至る間での過程において大きく変化する。つまり、 $c$  は酸性化が進行するとともに低下し、強酸性 (pH=2.8) においては、 $c=0$  となる。 $\Phi$  については、酸性化が進行するとともに少しずつ上昇する。また、強度定数の変化は、酸性化に伴うコンシステンシー限界の低下、および粒度組成の変化と密接に関係しているものと思われる。

#### 参考文献

- 1) 佐野博昭, 山田幹雄, 奥村充司, 出村禧典, 能澤真周, 加治俊夫: 切土法面における酸性土の形成とその工学的性質の推定法, 日本地すべり学会誌, Vol.41, No.2, pp.70-76, 2004.
- 2) 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 (印刷中)
- 3) (社) 地盤工学会: 第7編せん断試験 (第4章一面せん断試験), 土質試験の方法と解説, pp.579, 2000.

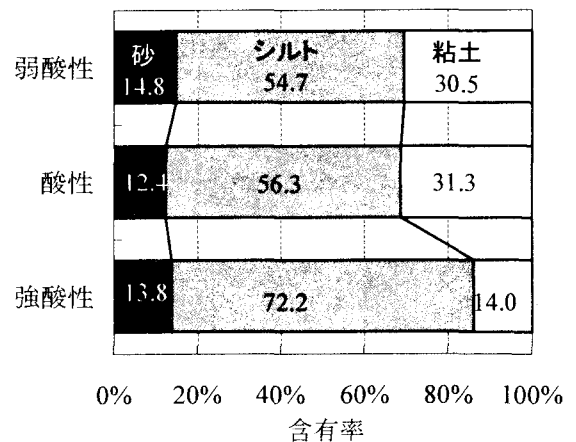


図-4 粒度組成の変化