

# 岐阜県北部に分布する珪藻土の力学特性と微視的構造

岐阜大学	正会員	重松宏明
岐阜大学	正会員	八嶋 厚
(株)東電通		園原宏和
住友建設(株)		戸塚大介

## 1. はじめに

岐阜県美濃地方北部には、第三紀鮮新世後半から第四紀更新世初期にかけて、堰き止められた湖沼に堆積した珪藻土が広く分布している。珪藻土の自然含水比は液性限界よりも高く、圧密降伏後の圧縮性も非常に大きい。また、人為的攪乱や天候などによる乾湿の繰り返しによって、土が容易に流動化することがわかっている。したがって、切取り面工などの土木工事に伴う珪藻地盤の不安定化は大変大きな問題となっている。日本道路公団名古屋建設局白鳥工事事務所管内の高鷲インターチェンジ工事において、切取り面が Fig.1 に示すように崩壊した。当該地点の採取土による一軸圧縮強度は大きく、斜面安定解析の結果からは大きな安全率が見込まれていた地点である。

筆者らは、これらの現状を踏まえ、高品質の不攪乱試料（ブロックサンプリングにより採取）を用いて一連の室内試験（液性限界試験、水浸試験、一軸圧縮試験）を行い、また、室内実験に用いた試料を走査型電子顕微鏡（SEM）観察することにより、珪藻土の微視的構造が巨視的な力学特性にどのように関与しているかを理解した。また、現位置においては斜面の安定化を図るために、安定処理土を用いた斜面表層保護工、排水工などが施工されたが、それらの工法と力学特性の関係についても言及する。

## 2. 試料

筆者らは、高品質の不攪乱試料を得るために、東海北陸自動車道高鷲インターチェンジ工事の際に現れた珪藻土（以後、高鷲珪藻土とよぶ）をブロックサンプリングにより採取した。Fig.2 に高鷲珪藻土の試料採取地点を示す。また、Photo.1 には、ブロックサンプリングの実施方法を示す。Photo.1 からわかるように、木枠でサンプルを拘束し、シャベル等で地盤の周囲を掘って採取するため、従来からのサンプリング方法とは違って、摩擦などによる乱れが少ないと考えられる。Photo.2 に高鷲珪藻土の電子顕微鏡写真を示す。写真より、珪藻土中には直径約  $10\mu\text{m}$  のコップ状および  $50\mu\text{m}$  の皿状の淡水性珪藻遺骸が数多く含まれており、これらの内部に含まれる間隙水によって珪藻土の自然含水比は、自然粘土よりも高くなっている。また、珪藻土中には、粘土粒子に相当する  $5\mu\text{m}$  以下の破砕小片も数多く見られる。Table 1 に高鷲珪藻土の物理特性を示す。表より、高鷲珪藻土の自然含水比は 185~205% と非常に高く、液性限界は 153% で、自然含水比の方が液性限界よりも高くなっている。土粒子の密度（地盤工学会試験法<sup>1)</sup>に準ずる）は、 $2.27\text{g}/\text{cm}^3$  と一般の土粒子の密度 ( $2.65\sim 2.80\text{g}/\text{cm}^3$ ) より小さい。また、等方圧密降伏応力  $p_c$  は  $720\text{kPa}$  と非常に大きく、圧縮指数  $C_c$  は 3 近くあり、筆者らが以前に報告した上部大阪洪積粘土<sup>2)</sup>の  $C_c$  ( $0.75\sim 1.17$ ) と比べて 2 倍以上の大きな値を示している。

## 3. 高鷲珪藻土の工学的・力学的性質

### (1) 液性限界試験

高鷲珪藻土のコンシステンシーを把握するために、液性限界試験（地盤工学会試験法<sup>1)</sup>に準ずる）を実施

Mechanical properties and micro-structure of diatom earth in northern Gifu Prefecture

Hiroaki SHIGEMATSU, Atsushi YASHIMA(Gifu Univ.), Hirokazu SONOHARA(Todentsu Co. Ltd.) and Daisuke TOTSUKA(Sumitomo Construction Co. Ltd.)

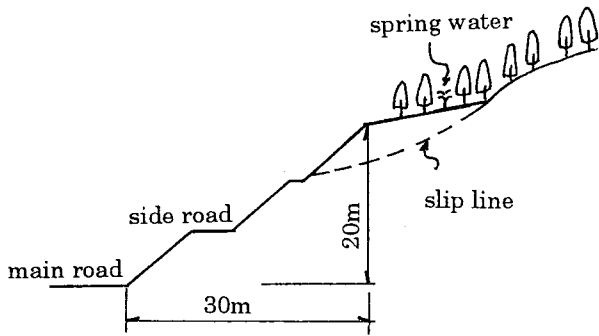


Fig.1 Slip line in the cut slope at road construction site.



Photo.1 Block sampling technique.

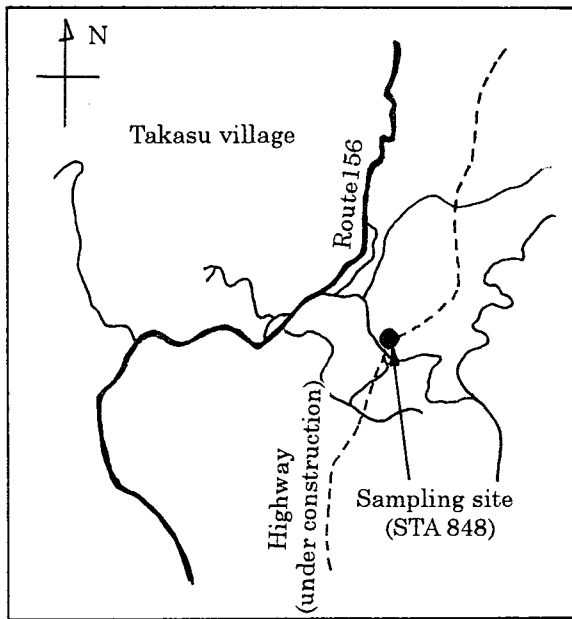


Fig.2 Sampling site of Takasu diatom earth.

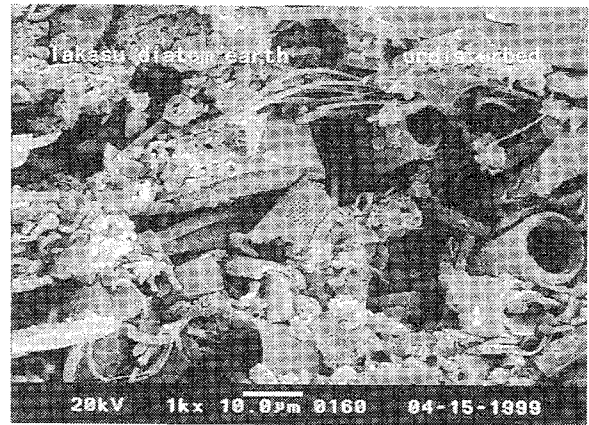


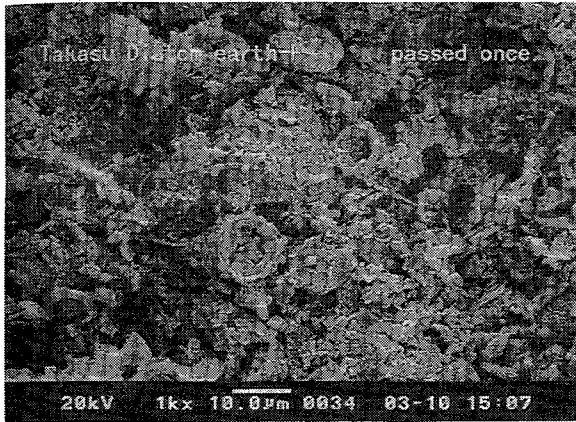
Photo.2 SEM micrograph of raw sample of Takasu diatom earth.

した。まず最初に、試料を調整するために、標準網ふるい  $420\mu\text{m}$  を用いて高鷲珪藻土を 1 回、3 回および 5 回裏ごしした。また、珪藻遺骸を完全に破壊するために、高鷲珪藻土を空気乾燥させた後、すり鉢にてすりつぶした。なお、珪藻土は自然含水比が非常に高いため、裏ごしした試料については、空気乾燥させて含水比を調整した。Photo.3(a)は  $425\mu\text{m}$  のふるいで 1 回裏ごしした高鷲珪藻土の電子顕微鏡写真である。珪藻の殻は数  $\text{nm}$  と非常に薄く物理的に破壊されやすい。しかしながら、多くの珪藻は殻の破片が所々に散らばっているものの、筒状の形を保っていることがわかる。また、Photo.3(b)は、空気乾燥後にすり鉢にてすりつぶした高鷲珪藻土の電子顕微鏡写真である。写真より、珪藻遺骸の形状を保ったものは全く存在していない。Fig.3 に液性限界試験結果を示す。図より、高鷲珪藻土の自然含水比 (185~205%) は液性限界よりも高くなっている。液性限界は、裏ごし 1 回の場合では 153%、3 回では 145%、5 回では 141%、そしてすりつぶした状態では 120%であった。このように裏ごし、あるいはすりつぶしを行うことによって、土中の珪藻遺骸が徐々に破壊されて液性限界が低下するものと考えられる。また、裏ごし回数を増やすほど若干ではあるが曲線の傾斜が緩やかになっている。これは、少しの含水比の変化によって高鷲珪藻土のコンシステンシーが変化することを示している。土木工事の際に経験する機械的攪乱によって、珪藻遺骸の形状が破壊されることが予想されるが、この破壊により液性限界が低下し、容易に流動化しやすい土となることが理解できる。このことが、実際の切取り面崩壊の一因であると考えられる。

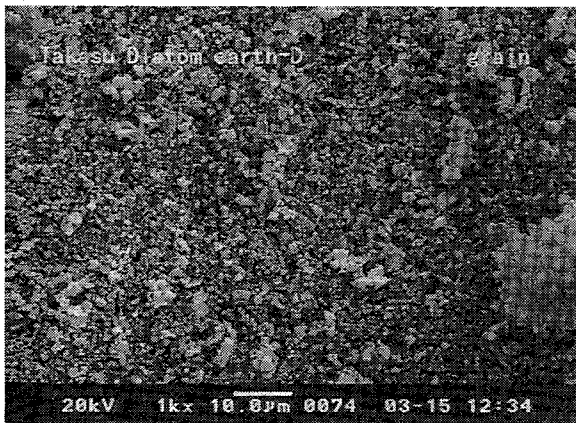
Table 1 Mechanical and physical properties of Takasu diatom earth.

unconfined compressive strength (kPa) $q_u$	384
pre-consolidation pressure (kPa) $p_c$	720
compression index $C_c$	2.94
swelling index $C_s$	0.15
density ( $g/cm^3$ ) $\rho_s$	2.27
natural water content (%) $w_n$	185~205
liquid limit (%) $w_L$	153*

\*: passed once through 0.42mm sieve



(a)



(b)

Photo.3 SEM micrographs of Takasu diatom earth, (a)passed once through 0.42mm sieve and (b)ground.

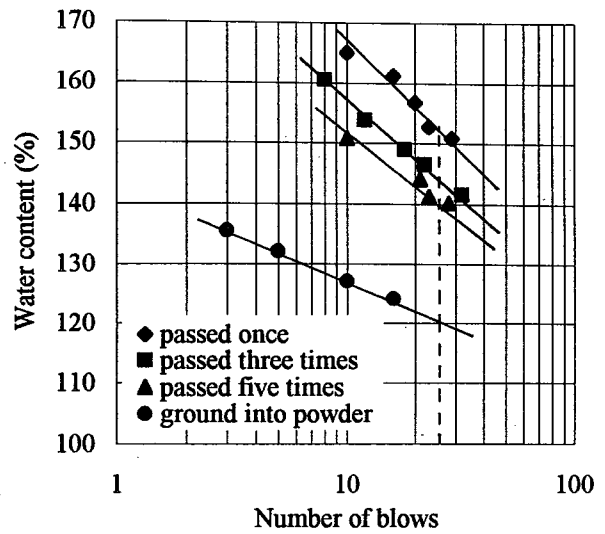


Fig.3 Liquid limit chart of Takasu diatom earth passed through 0.42mm sieve by a putty knife.

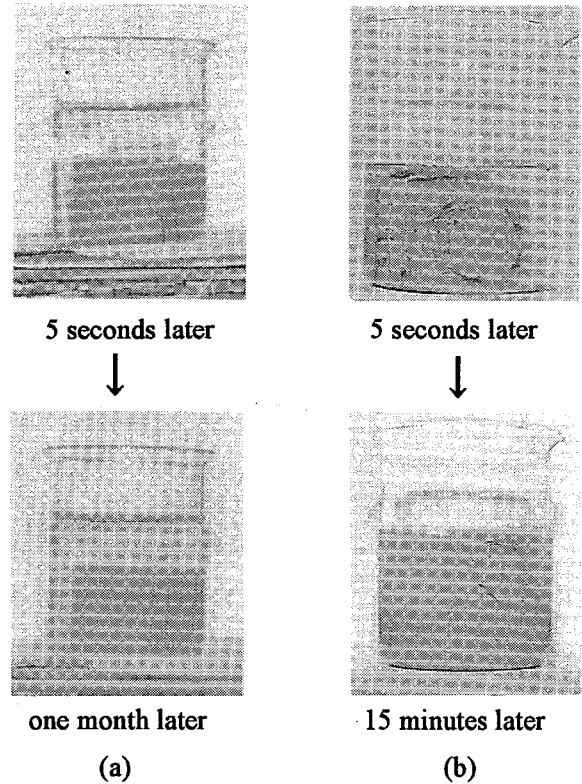


Photo.4 Slaking properties of Takasu diatom earth, (a)raw sample and (b)air dried sample.

## (2) スレーキング特性

高驚珪藻土のスレーキング特性を把握するために水浸試験を行った。本研究で実施した水浸試験は、学会試験法に準じたスレーキング試験方法とは異なり、供試体 (3cm×3cm×3cm) を脱気水に満たしたビーカーに入れて、水浸開始直後、1分後、2分後、4分後、8分後・・・と供試体が細粒化する様子を観察する方法である。Photo.4 に非乾燥試料 (自然含水比状態) および空気乾燥試料の試験結果を示す。非乾燥試料では、水浸させてから1ヶ月経っても供試体の表面が僅かに崩れるのみで際だった変化はみられない。しかし、空気乾燥させた試料においては、水浸させた直後から試料の表面が崩壊し、15分後には写真

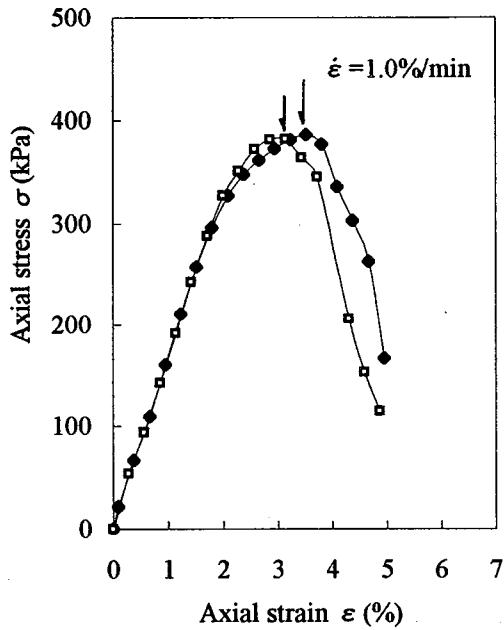


Fig.4 Experimental results of unconfined compression test.

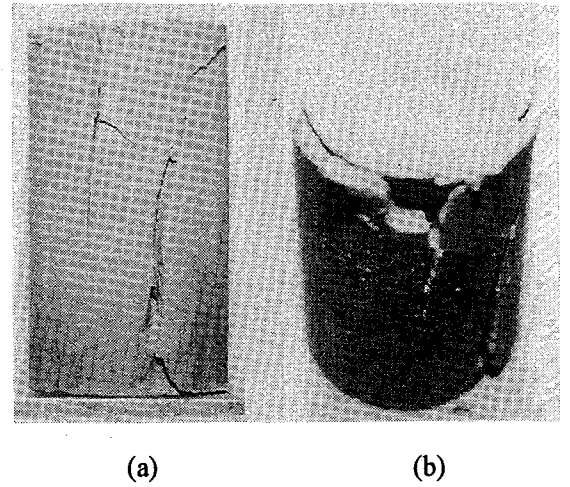


Photo.5 Failure state, (a)side and (b)top.

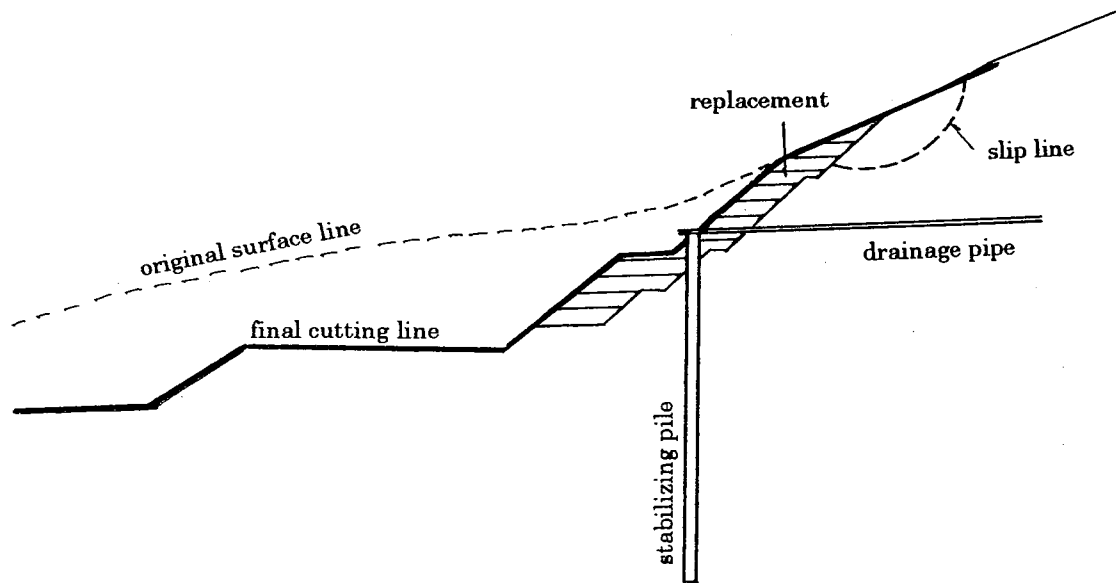


Fig.5 Slope profile with three countermeasures; drainage pipes, stabilizing piles and surface replacement by the improved soil.

のように完全に細粒化した。これらの観察から、高鷲珪藻土の乾湿がスレーキング特性に大きく影響していることが理解できる。つまり、降雨などによる乾湿の繰り返しの劣化が、珪藻地盤の切取りり面の安定性を著しく低下させていると考えられる。

### (3) 一軸圧縮試験

Fig.4 に高鷲珪藻土の一軸圧縮試験結果を示す。図より、軸ひずみが3%ほどでピークに達し、ピーク点を過ぎてからの応力の低下が著しい。また、一軸圧縮強度が 400kPa 近くあることから、乱さない状態においての高鷲珪藻土は強固である。供試体の破壊状況を Photo.5 に示す。写真から、岩石の破壊時などにみられる縦割れが生じている。実験はこの縦割れが発生した段階で終了したため、残留応力を測定することはでき

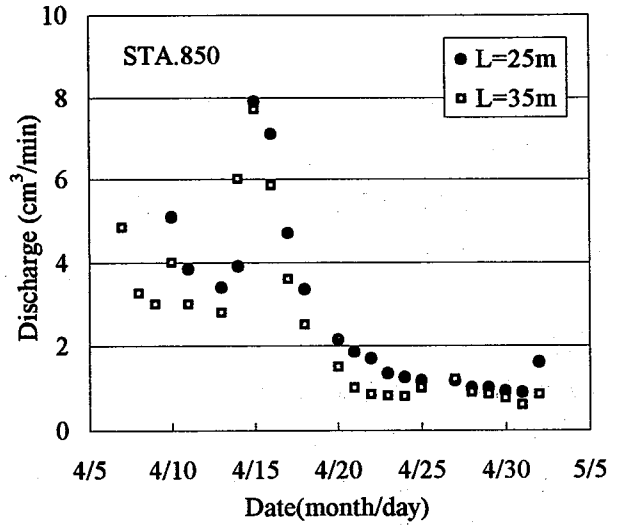
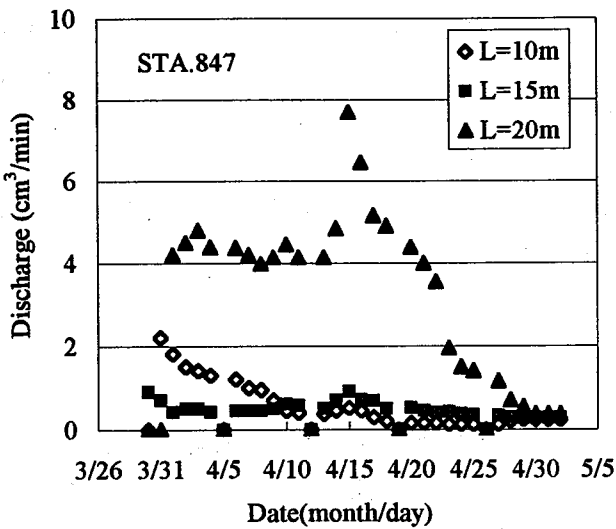


Fig.6 Time history of discharge from drainage pipes with different length.

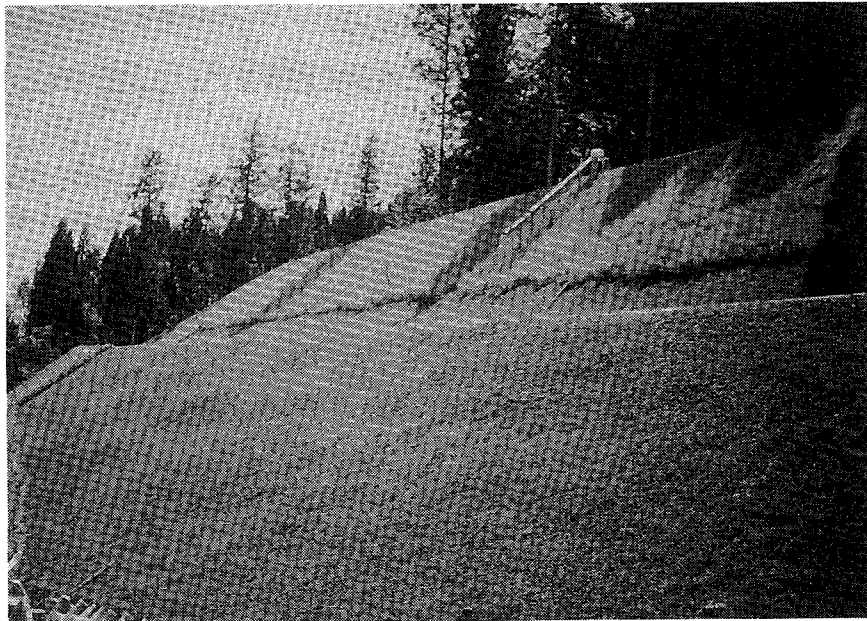


Photo.6 Stabilized slope with countermeasures.

なかった。また、珪藻土は繰り返すと半液体状に変化するため、鋭敏比を求めることはできなかったが、液性限界からもわかるように、超鋭敏であることは十分に予測できる。

#### 4. のり面安定化対策

切取り面の崩壊を引き起こす外力には、斜面自体の重量および外部から付加される間隙水圧が考えられる。また、さきの実験結果から明らかなように、機械的攪乱による珪藻土の強度低下や表層の乾湿繰り返しによる劣化等も崩壊の要因である。これらの考察に基づき、現地では、抑止杭、表層保護工、排水工が計画された (Fig.5 参照)。斜面の自重に対抗するために、抑止杭が施工された。また、のり面表層の乾湿繰り返しによる劣化を防ぐために、生石灰-セメント混合材を用いた安定処理土が表層に被覆された。このままでは、のり面背後の珪藻地盤の間隙水が蓄積される危険性があるので、排水パイプの設置が別途計画された。最適な排水パイプ長を求めるために、崩壊のり面に隣接する切取斜面において試験施工が実施された。有孔

管を用いた排水パイプの長さを 10 m から 35 m に変化させて排水量の経時変化を観測した。その結果を Fig.6 に示す。この図より、10 m と 15 m の長さでは排水機能が十分でないことがわかる。一方、長さが 20 m 以上では排水量に大きな差はなく、20 m で十分の排水機能が確保できることがわかった。この試験結果に基づき、当該斜面においても有孔管を用いた 20 m の排水パイプ孔が施工された。抑止杭、表層保護工、排水工、さらには表層の植生工を実施した結果、当該斜面は計画通り切下がり、安定を保っている（現状の斜面の様子を Photo.6 に示す）。

## 5. 結論

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) 高鷲珪藻土は、裏ごし回数が多くなると土中の珪藻遺骸が徐々に破壊され、液性限界が低下する。つまり、人為的な外力によって超軟弱な性質に変化する。また、すりつぶし状態のように珪藻遺骸が多く破壊されると、含水比の少しの変化によってコンシステンシーが変化する。
- 2) 自然含水比状態（不攪乱試料）の高鷲珪藻土を水浸させても供試体が崩壊することはないが、いったん乾燥させてから水浸させると著しいスレーキング現象がみられる。つまり、高鷲珪藻土は、乾湿の繰り返しの影響を強く受けるため、工事の際は十分に注意が必要である。
- 3) 一軸圧縮強度が 400kPa 近くあることから、高鷲珪藻土は非常に強固である。しかし、一度乱す（練り返す）と半液体状に変化することから超鋭敏である。
- 4) 上記の室内試験結果および崩壊斜面での排水試験工に基づき、安定化対策を実施した。選択された対策工は、抑止杭、表面保護工、排水工および表層植生工である。これらの対策工の結果、当該斜面は安定に施工を完了した。

## 参考文献

- 1) 八嶋厚・重松宏明・岡二三生・長屋淳一：上部大阪洪積粘土の力学特性と構造変化，土木学会論文集（印刷中）。
- 2) 地盤工学会：土質試験の方法と解説。