

粘板岩切土斜面の地すべりについて

Landslide of a Cut Slope Consisting of Slate

山本 哲朗 (やまもと てつろう)

山口大学教授 工学部社会建設工学科

芋岡 敏彦 (いもおか としひこ)

㈱広測コンサルタント 係長

三浦 壹章 (みうら かずあき)

㈱広測コンサルタント 部長

篠崎 健 (しのざき たけし)

㈱広測コンサルタント 技師

1. はじめに

1997年7月、広島県東広島市において粘板岩からなる切土斜面で幅約80 m、長さ約40 mにも及ぶ大規模な地すべりが発生した。崩壊形態は、平面すべりと円弧すべりの合わさった複合すべりである。粘板岩には、その特徴的な構造である層理のほかに、節理が非常に多く発達していることが崩壊の素因になった。

本文では、この地すべりに対して現地調査、標準貫入試験を実施するとともに、不攪乱土の強度定数に及ぼす層理の方向、水浸の影響を室内一面せん断試験から求め、それらの結果に基づいて複合すべりの発生機構とその対策工について検討した。

2. 地形・地質

当該現場は広島県のはば中央部に位置しており、標高450 mから550 mの隆起準平原とよばれる低山地塊が広がり、なだらかな地形を形成している。今回発生した地すべりは、道路敷設の際、山腹の鞍部を開削して造られた切取り斜面において発生した(口絵写真—13)。口絵写真—14に示すように、滑落崖は高さ5 mにも及んだ。この山腹は勾配が20°~25°で緩く、また崖錐が存在していることから過去にも崩壊が発生しているものと判断できる。当該現場および周辺部の地質は、中生代層で岩種として粘板岩等の堆積岩、流紋岩が分布し、それらに花崗岩が貫入している。また、捕獲岩やこれら岩石のホルンフェルスが風化した土層内に点在する複雑な地盤構造を呈している。今回、崩壊した斜面を含む山腹は、その岩石学上の特徴である層理の他に節理が非常に多く発達した粘板岩からなる。

3. 地すべりの概要

道路敷設工事に伴い、山腹の鞍部が開削され、計画道路沿いの両側に切取り斜面が造られた。東側・西側斜面は、それぞれ勾配1:1.2, 1:1.0をもって開削された。両斜面ともに高さ3.5 mを標準にして切取り、幅1.5 mの小段および水路工を設けた。

地すべりの発生した東側斜面内の粘板岩の層理は、黒色、白色および淡灰色を呈し、その厚さは多くの場合に数mm~数cm、まれに十数cmに達した。これら層理

の形態は平行層理、発達程度は中層理以下に分類される¹⁾。粘板岩の走向はN70°E~EW、傾斜は65°Sが卓越しており、斜面は流れ盤状になっている。粘板岩は非常に風化が進行しており、指圧で容易に壊することができる。さらに細かな節理が無数に発達しており、走向はN30°W、傾斜は70°Wを呈するものが顕著である。また、西北西-東南東方向の断層の存在も確認され、この方向は河谷の方向と一致し、この付近一帯で明瞭な線状模様を形成している。この断層運動に伴い、粘板岩には数多くの節理が発達したものと考えられる。

4. 斜面土の諸性質

4.1 標準貫入試験の結果

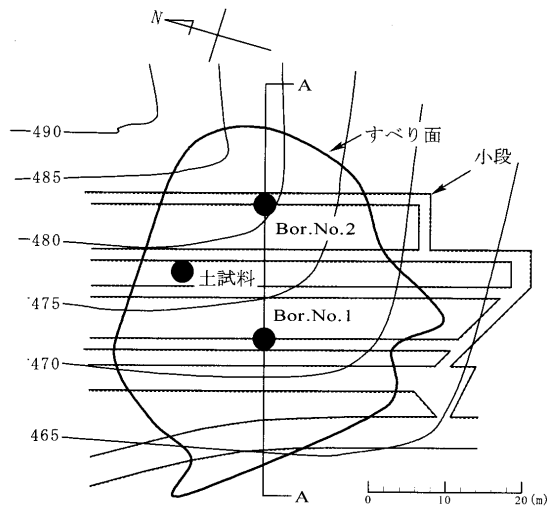
地すべりが発生した東側斜面の平面図および横断図をそれぞれ図—1, 2に示す。図—1に示した2箇所(Bor. No. 1, No. 2)で実施した標準貫入試験から得られたN値の深さ分布と土質区分を図—2に示す。No. 1は深さ11.3 mまではN値 ≤ 10 の砂質土、礫混じり粘性土、礫混じり砂質土、深さ約14.0 m以深では、 $\phi = 2$ mm~10 mmの礫を含み岩組織を有する軟岩(N値 ≥ 50)からなる。No. 2は深さ8.8 mまではN値 ≤ 10 の礫混じり砂質土、深さ約13.0 m以深でN値 ≥ 50 となり、土質分布はNo. 1とはほぼ同様である。両ボーリング箇所ともに深さ約10数m付近において土質が変化する。また残留地下水位面はNo. 1では深さ11.4 m, No. 2では深さ11.7 mに存在する。

4.2 物理的性質・強度定数

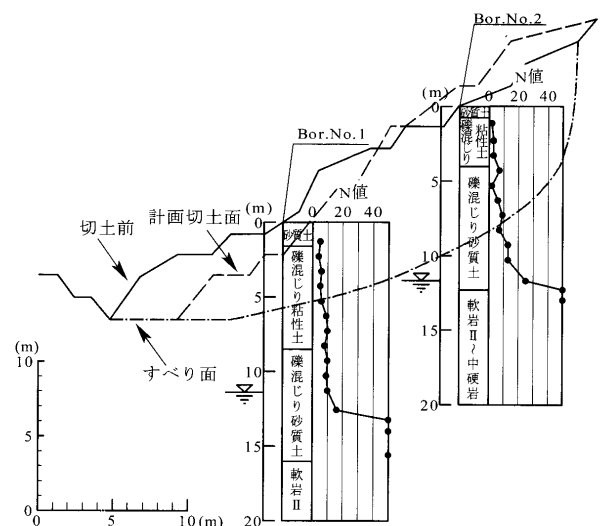
図—1に「土試料」と記した箇所でブロックサンプリング法によって粘板岩の強風化土を採取した。土試料の諸物理的性質は表—1に示す。この表に示すように、土試料は低液性限界シルト(ML)に分類された。粉末X線回折試験から主要鉱物は石英、ス멕タイトであることを確認している。口絵写真—15, 16に粘板岩風化土のSEM写真(倍率3500倍)を示す。

土試料採取時の自然状態(非水浸)および1日間水浸状態(水浸)の土試料に対して、圧密・排水条件下で在来型一面せん断試験を行った。供試体(直径60 mm, 高さ20 mm)は、層理がせん断面に対して垂直および平行となるような2種類のものを作製した。垂直応力 σ_N は49, 98および147 kN/m²の3通りに変えた。図—

論文



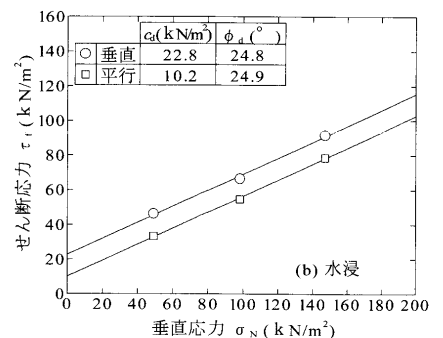
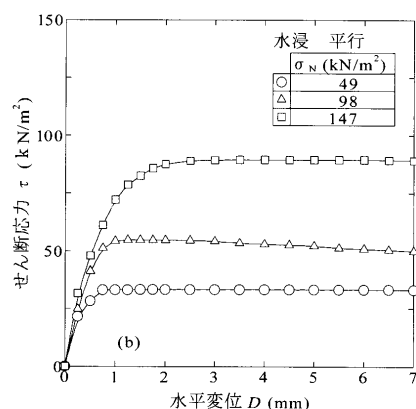
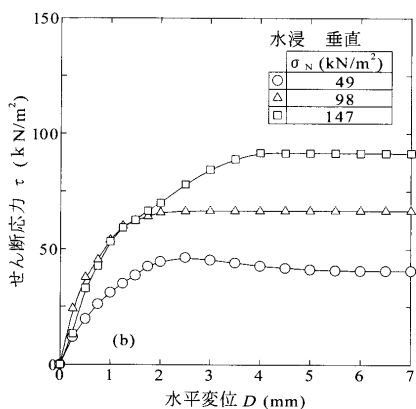
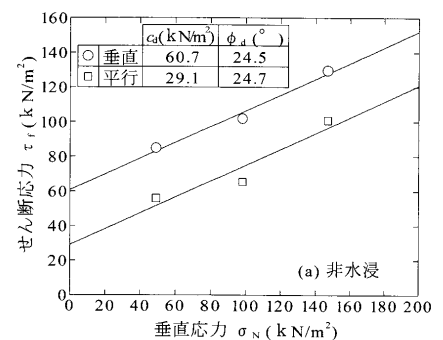
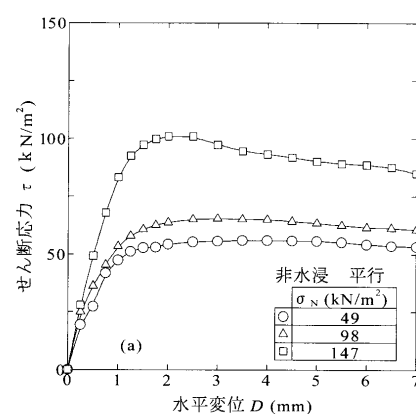
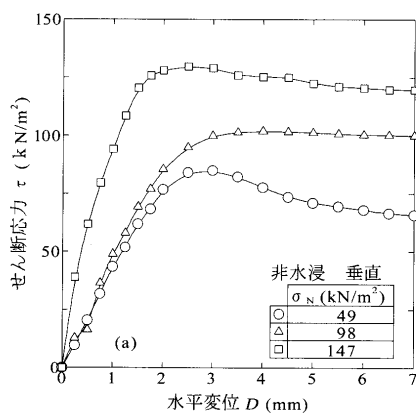
図一 標準貫入試験実施箇所および土試料採取箇所



図二 崩壊斜面のA-A断面および標準貫入試験結果

表一 土試料の諸物理的性質

試料	ρ_s (g/cm ³)	U_c	D_{max} (mm)	D_{50} (mm)	F_c (%)	F_{clay} (%)	W_L (%)	W_P (%)	I_P	土質 分類
土試料	2.677	8.13	3.10	0.098	87.1	32.4	39.9	29.3	10.6	ML



図三 層理面がせん断面に垂直な供試体

図四 層理面がせん断面に平行な供試体

図五 $\tau_f \sim \sigma_N$ の関係

3, 4にそれぞれ層理がせん断面と垂直および平行な場合の供試体のせん断応力～水平変位の関係を示す。それぞれの供試体に対して非水浸および水浸の結果をそれぞれ図(a), (b)に示す。図一3, 4から分かるように、供試体および試験条件の違いにかかわらず供試体のせん断応力 τ は、水平変位が2 mm程度で最大値をとった後、一定値をとる場合と低下する場合の2とおりが見られ

た。

図一5に示した破壊線から分かるように、供試体の非水浸・水浸の違いおよび層理のせん断方向に対する違いにかかわらず、内部摩擦角 ϕ_d は24.5～24.9°ではほぼ一定値となっている。一方、粘着力 c_d は非水浸および水浸供試体ともせん断面に対して層理が垂直である供試体の方が、層理が平行である供試体よりも2倍程度大きい

ことが分かる。また、両供試体とも水浸によって粘着力がかなり小さくなる。山本ら^{2)~4)}はまさ土および三郡変成岩風化土の場合にも1日間水浸することによって粘着力が顕著に低下することを明らかにしている。本現場では、粘板岩が流れ盤状であったので、特に層理がせん断面に平行である供試体の粘着力に注目すると、図—5 (a) のように非水浸時に $c_d = 29.1 \text{ kN/m}^2$ (図中, □印) であった粘着力が水浸によって図—5 (b) のように $c_d = 10.2 \text{ kN/m}^2$ (図中, □印) まで約 1/3 に低下していることが明らかになった。このように、粘板岩の強風化土試料が1日間水浸されることによって、層理に沿うせん断強度の低下は粘着力の著しい減少によってもたらされることが示された。

上述した四つの供試体の内でせん断強度が最大となるのは、非水浸状態で層理に対して垂直にせん断した場合であり、せん断強度が最小となるのは、水浸状態で層理に対して平行にせん断した場合である。

5. 地すべりの発生機構とその対策

本地すべりは粘板岩の強風化土からなる斜面で発生し、その崩壊形態は平面すべりと円弧すべりの合わさった複合すべりであった。これと同様な複合すべりの例は三郡変成岩からなる切り取り斜面において見られている⁴⁾。本地すべりでは、図—2 に示すように山腹の切り取りに伴い、層理・節理が非常に多く発達し、黄褐色ないし青灰色を呈する粘板岩が強風化した礫混じり粘性土層あるいは礫混じり砂質土層内に円弧すべり面が発生し、それに伴い斜面の安定性が低減して、斜面の滑落崖近傍において崩積土とその下位の地山の境界にすべり面をもつ平面すべりが発生するまでに崩壊が拡大した。地すべり発生前に大きな降雨量は観測されていなかったことから、山腹鞍部の切り取りに伴う斜面の不安定化、さらに崩壊斜面の末端部で多量の湧水が見られたことから、層理・節理に地下水が浸透した結果、流れ盤状の粘板岩の層理に沿う粘着力低下によるせん断強度の減少 (図—5 参照) によって地すべりが発生したと考えられる。また崩壊面の一部には、地下水の流動が顕著であることを示す厚さ 1 mm 以下の光沢質黒色薄層土^{5),6)}が沈積しており、このことも地すべりの発生を助長したと考えられる。

なお、山腹切り前後の安全率をフェレニウス法によって求めた。強度定数としては、粘板岩風化土の層理がせん断面に平行で水浸した供試体から得られた値 ($\phi_d = 24.9^\circ$, $c_d = 10.2 \text{ kN/m}^2$) を用いた。その結果、山腹切り前には安全率 $F_s = 1.4$ 、切り後には $F_s = 1.1$ という結果が得られた。このように、山腹切り後にも安全率が1.0以上となり、地すべりは発生しないという結果

が得られた。本地すべりは粘板岩に特有に見られる層理のみならず節理の存在に起因して発生しているので、節理に沿う土のせん断強度をも取り入れた安定計算が必要であるが、節理が平面状でなく、一面せん断試験用の供試体を作製することができないために節理に沿う土の強度定数を求めることができなかった。今後、現場せん断試験により、そういう節理に沿う土のせん断強度を測定することが必要であり、その結果を用いて地すべりの安定解析をせねばならないという課題が残された。

対策工として、排土工+アンカー工、斜面の切直し工 (勾配約 1 : 2.0) あるいはフリーフレーム工が考えられるが、当現場では地下水が無視できないので、水平ボーリングによって事前に水抜きを完全に実施することが不可欠である。

6. ま と め

層理・節理の非常に発達した粘板岩からなる切土斜面で発生した地すべりの発生機構を現地調査および一面せん断試験の結果から検討し、層理・節理に地下水が浸透した結果、流れ盤状の粘板岩の層理に沿う粘着力の低下によるせん断強度の減少によって地すべりが発生したことが明らかになった。すべり面表面には、地下水の流動が顕著であることを示す光沢質の黒色薄層土が沈積しており、このことも地すべりの素因の一つとなった。

このように層理・節理が発達し、地すべりを起こした斜面の対策工として、排土工とアンカー工の併用、斜面の切直し工あるいはフリーフレーム工も含めて経済性の面から現在検討中である。

参 考 文 献

- 1) 地学団体研究会新版地学事典編集委員会：新版地学事典，平凡社，p. 721, 1996.
- 2) 山本哲朗・高本直邦・松本 直：山口県内の白亜紀花崗岩からなる斜面の豪雨時崩壊について降雨と地震から危険斜面を守る地盤工学に関するシンポジウム発表講演集，pp. 11~16, 1997.
- 3) 山本哲朗・鈴木素之・宮内俊彦・植野泰史：三郡変成岩からなる切土斜面の豪雨時崩壊，土と基礎，Vol. 47, No. 8, pp. 29~31, 1999.
- 4) 山本哲朗・鈴木素之・国広清己・原田 博：三郡変成岩切土斜面の複合すべりについて，土と基礎，Vol. 48, No. 11, pp. 21~23, 2000.
- 5) 山本哲朗・鈴木素之・福岡正人・宮内俊彦・岡林茂生・瀬原洋一：すべり面上の光沢質黒色薄層土に起因した斜面崩壊，土と基礎，Vol. 48, No. 7, pp. 24~27, 2000.
- 6) 山本哲朗・鈴木素之・吉原和彦・宮内俊彦：不連続面上の光沢質黒色薄層土に起因した斜面崩壊と設計強度定数，地すべり，Vol. 37, No. 4, pp. 49~57, 2001.

(原稿受理 2001.5.17)