

# 地すべりのすべり面平均強度定数の推定

- 沖縄、島尻層群泥岩地すべり -

Estimation of average shear strength parameters along the slip surface of landslides

- Shimajiri-mudstone landslides, Okinawa -

木村 匠\*, 宜保 清一\*\*, 中村 真也\*\*

Sho KIMURA, Seiichi GIBO, Shinya NAKAMURA

## 1. はじめに

地すべり再発防止工の設計に当たっては、すべり面平均強度定数（平均粘着力  $\bar{c}$  ・ 平均内部摩擦角  $\bar{\phi}$ ）が必要不可欠であり、合理的な地すべり安定解析を行うには、地すべり土（岩）の測定せん断強度の適切適用により  $\bar{c}$  ・  $\bar{\phi}$  を決定することが重要である（宜保，1987；八木ら，1995）。

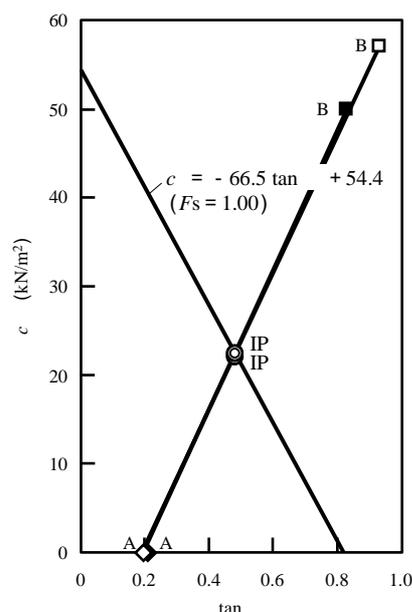
地すべりのすべり面においては、残留強度、完全軟化強度および破碎ピーク強度のいずれか、または、それらの複数が動員されることが示されている（例えば、Skempton, 1964, 1970；宜保ら，1984；Mesri and Shahien, 2003；中村ら，2004；木村ら，2010）。宜保，中村ら（2003a, 2005, 2007）は、残留状態、強風化（完全軟化）状態、破碎状態の泥岩で発揮されるせん断強度の差異および相互関係を強度図に整理し、強度図を用いた地盤評価について検討している。また、残留強度  $c_r$  ( $c_r=0$ ) と地すべり土の物理的・鉱物学的因子との関係については、近年、配向性粘土鉱物（スメクタイト St, バーミキュライト Vt, 緑泥石 Ch, 雲母 Mc, タルク Tc）総量との良好な相関が明らかになっている（宜保ら，2000, 2003b；Nakamura et al., 2008）。 $\bar{c}$  ・  $\bar{\phi}$  の決定に必要なせん断強度を、強度図や関係図（以降、両者について強度図と呼ぶ）から推定することができれば、適切かつ迅速に防止対策を進めることが可能になる。

本研究では、島尻層群泥岩分布地域のすべり形態の異なる4地すべりについて、まず、物理的・鉱物学的性質、ボーリングコアの状況等を基に、強度図からすべり面に関与するせん断強度を推定し  $\bar{c}$  ・  $\bar{\phi}$  を求めた。次に、測定せん断強度を用いて  $\bar{c}$  ・  $\bar{\phi}$  を求め、前者との比較により推定せん断強度活用で得られる  $\bar{c}$  ・  $\bar{\phi}$  の有効性を検証した。

## 2. すべり面平均強度定数 ( $\bar{c}$ ・ $\bar{\phi}$ ) の推算

### 2.1 森川地すべり

本地すべりは、本島中部西原町森川の沖縄自動車道西原 IC の切土斜面で発生した初生泥岩地すべりである。地すべりは、194mm の集中降雨（2007年8月11日）を誘因として発生し、その後の182mm（12月19日から25日の連続降雨量、浦添市当山）と118mm（12月21日）の降雨により変状が拡大した。地すべりの規模は斜長が約50m、幅が約20m、すべり面平均深度が約7mである。地すべりの移動量は0.5～1mと小さい。すべり面は、ボ



強度図から得た強度定数	強度測定試験から得た強度定数
A : 残留強度 (tan11.4°, 0)	A : 残留強度 (tan10.7°, 0)
B : 破碎ピーク強度 (tan39.6°, 50.0)	B : 破碎ピーク強度 (tan42.9°, 57.0)
IP : すべり面平均強度定数 (tan25.7°, 22.4)	IP : すべり面平均強度定数 (tan25.7°, 22.5)

図-1 森川地すべりの  $c$  -  $\tan$  図  
The  $c$  -  $\tan$  diagram from the stability analysis of Morikawa landslide

\*鹿兒島大学大学院連合農学研究科 The United Graduate school of Agricultural Sciences, Kagoshima University

\*\*琉球大学農学部 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus

キーワード：土の静力学的性質，せん断強度，安定解析

ーリングコアの観察と Bv-1 および Bv-3 におけるひずみ観測によって確認され、Bv-2 では強破碎泥岩ゾーン中の深度 10.25m に位置した。末端部では泥岩の破碎・弱화가さほど激しくない。本地域の地すべりとしては比較的緩慢な移動形態は、層理面と切土のり面の関係が受け盤であることに起因している。

安定解析では地下水位をひずみが観測された時の水位（実測最高水位）とした。すべり面では、破碎ピーク強度とすべり面に転化した地質弱面の残留強度が同時に動員される。すべり面土の  $I_p = 46.8$  が得られているので、 $r - I_p$  関係式（ $r = -4.9 \ln(I_p) + 30.07$  ( $r = 0.929$ )) より、 $r = 11.4^\circ$  ( $c_r = 0$ ) を得た。本地すべりは、切土後の応力解放に伴う地質弱面の拡大を契機として破碎泥岩ゾーン（すべり面ゾーン）が形成され、破碎の進展に伴って地すべり変状が顕在化したものである。すべり面ゾーンには弱破碎泥岩も併存していることから、破碎ピーク強度は高めの値とした。強度図から中・弱風化泥岩のピーク強度群の代表値として、 $c_f = 50.0 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi_f = 39.6^\circ$  ( $c_f = 50 \text{ kN/m}^2$  として関係線（破線）より得た）

を採用し、「残留係数を導入した安定解析法」(宜保, 1996)により、残留係数  $R = 0.552$ 、 $\bar{c} = 22.4 \text{ kN/m}^2$ 、 $\bar{\phi} = 25.7^\circ$  を推算した。一方、リングせん断試験 (宜保, 1994) および三軸圧縮 (CU) 試験 (地盤工学会, 2000) により得られたせん断強度は、それぞれ  $r = 10.7^\circ$  ( $c_r = 0$ )、 $c_f = 57.0 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi_f = 42.9^\circ$  であり、それらの適用では  $R = 0.606$ 、 $\bar{c} = 22.5 \text{ kN/m}^2$ 、 $\bar{\phi} = 25.7^\circ$  となった (図 - 1)。

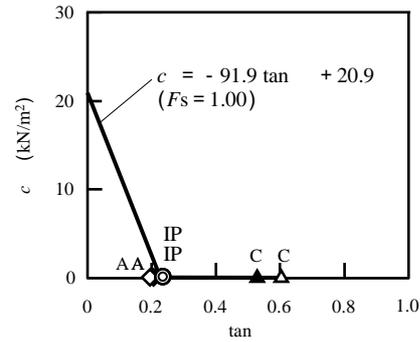
## 2.2 登又地すべり

本地すべりは、本島中部中城村登又に位置し、2005年6月17日に総降雨量 549mm (6月11日から17日、北中城村安谷屋)の降雨を誘因として発生した。地すべりの規模は、斜長が約 150m、幅が約 100m、すべり面平均深度が約 7m、滑落崖の高さが約 15m で、初生泥岩地すべりに類別される (陳ら, 2007)。本地すべりは、島尻層群泥岩の傾斜地盤に島尻泥岩を岩砕盛土した造成斜面が不安定化したもので、盛土層と基盤の強風化泥岩との境界面付近は浸透水の影響により弱化していたと考えられる。地すべりの水平方向の移動量は中腹部で約 15m で、末端部は隆起していた。すべりブロック上方部 (Bv-2) および中腹部 (Bv-3) において、鏡肌を呈するすべり面が確認された (深度 11.35m (Bv-2)、5.45m (Bv-3))。隆起した末端部付近 (Bv-4) では、高含水の粘性土 (0~6.2m)、強風化 (軟化) 泥岩 (6.2~7.0m)、弱風化泥岩 (7.0m~) が認められた。

安定解析では、地下水位を実測最高水位とし、鏡肌を呈する中腹部および上方部のすべり面において残留強度の、末端部においては完全軟化強度の関与を想定した (図 - 2)。すべり面土の  $I_p$  および鉱物学的性質が得られているので、 $I_p = 41.6$  から、 $r - I_p$  関係式より  $r = 11.9^\circ$  ( $c_r = 0$ ) を、非配向性鉱物 (Qr, Fd, others) 総量 52% から、 $r_{sf}$  - 非配向性鉱物総量関係図より  $r_{sf} = 28.0^\circ$  ( $c_{sf} = 0$ ) を得、 $R = 0.949$ 、 $\bar{c} = 0.0 \text{ kN/m}^2$ 、 $\bar{\phi} = 12.8^\circ$  が推算された。一方、リングせん断試験により得られた  $r$  および  $r_{sf}$  はそれぞれ  $11.5^\circ$  ( $c_r = 0$ )、 $31.3^\circ$  ( $c_{sf} = 0$ ) で、この場合、 $R = 0.941$ 、 $\bar{c} = 0.0 \text{ kN/m}^2$ 、 $\bar{\phi} = 12.8^\circ$  となった (図 - 2)。

## 参考文献

陳ら (2007) : 日本地すべり学会誌, 43(6), pp.1-12. 宜保 (1994) : 地すべり, 31(3), pp.24-30. 宜保 (1996) : 地すべり, 33(2), pp.46-50. 宜保 (1987) : 土と基礎, 35(11), pp.27-32. 宜保ら (2000) : 農土木学会論文集, 210, pp.69-74. 宜保ら (2003a) : 農土木学会論文集, 227, pp.113-118. 宜保ら (2003b) : 日本地すべり学会誌, 40(4), 1-7. 宜保ら (2007) : 平成 19 年度日本地すべり学会九州支部学術講演会講演論文集, 70-73. 宜保ら (1984) : 地すべり, 20(4), 1-6. 宜保ら (1986) : 地すべり, 23(3), pp.15-20. 宜保ら (1984) : 地すべり, 20(4), pp.1-6. 地盤工学会 (2000) : (社)地盤工学会, p.441-545. 木村ら (2010) : 日本地すべり学会誌. (掲載号未定) Mesri G and Shahien M. (2003) : *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, ASCE, 129(1), pp.12-31. Nakamura et al., (2008) : *Proc., Int. Conf. on Geotech. Eng. 2008*, Hammamet-Tunisia, pp.505-510. 中村ら (2004) : 農土木学会論文集, 229, pp.47-53. 中村ら (2005) : 土と基礎, 53(4), pp.11-13. Skempton (1964) : *Géotechnique*, 14(2), pp.77-101. Skempton (1970) : *Géotechnique*, 20(1), pp.320-324. 八木ら (1995) : 土木学会論文集, 523/ -32, pp.59-67.



強度図から得た強度定数 強度測定試験から得た強度定数

A : 残留強度 ( $\tan 11.9^\circ$ )	A : 残留強度 ( $\tan 11.5^\circ$ )
C : 完全軟化強度 ( $\tan 28.0^\circ$ )	C : 完全軟化強度 ( $\tan 31.3^\circ$ )
IP : すべり面平均強度定数 ( $\tan 12.8^\circ$ )	IP : すべり面平均強度定数 ( $\tan 12.8^\circ$ )

図 - 2 登又地すべりの  $c - \tan$  図

The  $c - \tan$  diagram from the stability analysis of Noborimata landslide