残留係数を導入した二次元および三次元安定解析

－沖縄，仲順地すべり－

Two and Three Dimensional Stability Analyses in which the Residual Factor is Incorporated
–Application to the Tyunjun Landslide in Okinawa-

○中村真也[*]，宜保清一[*]，林義隆[**]，太田英将[**]
Shinya NAKAMURA, Seiichi GIBO, Yoshitaka HAYASHI and Hidemasa OHTA

１．はじめに

現在のルーチン的な安定解析手法では，すべり面の設定並びに安定計算上の困難さから，地すべり移動ブロックを二次元問題として取り扱っている[1, 2]。しかし，地表面形状，すべり面形状、地下水面形状等の三次元的な情報が無視されてしまい，地すべりの形状によっては二次元的な取り扱いが適当でない場合や，不適切な対策になってしまう場合がある[3～7]。そのような地すべりでは，地すべりブロックを把握するための調査を十分に行い，三次元的に解析する必要がある。

本研究では，沖縄，仲順地すべり[8]について，すべりブロック三次元情報，残留強度，破砕ピーク強度等の詳細な調査・測定試験結果を用いて残留係数を導入した三次元安定解析を行い，二次元解析の結果と比較した。

２．仲順地すべりの概況および土質強度

仲順地すべりは，豪雨により発生した初生型すべりで，地すべり斜面の中・上部では移動量が大きく鏡肌を呈するほどにすべり面が発達しており，斜面下方部は移動量が相対的に小さくすべり面領域の泥岩は破砕された状態にある。すべり面においては，移動量の大きい斜面中上部では残留強度が，相対的に移動量の少ない斜面下方部では破砕ピーク強度が発揮される。

破砕泥岩[9]のピーク強度は，有効垂直応力 σ_n'= 100kN/m^2～300kN/m^2 に対して，c_f' = 10kN/m^2，ϕ_f' = 30.5°が得られている。練り返し調整試料のピーク強度（完全軟化強度）および残留強度はそれぞれ，c_{sf} = 4.4kN/m^2・ϕ_{sf} = 31.3°，c_r = 0kN/m^2・ϕ_r = 9.3°である。

３．すべり面の平均強度定数

「残留係数を導入した安定解析法」[10, 11 等]では，すべり面の平均強度 $\bar{\tau}$ は残留強度 τ_r と破砕泥岩のピーク強度 τ_f との合力で与えられる

$$\bar{\tau}=R\cdot\tau_r+(1-R)\cdot\tau_f \qquad (1)$$

式（1）の $\bar{\tau}$，τ_r および τ_f をモール・クーロン式で表すと次のようになる

$$\bar{\tau}=c'+\bar{\sigma}_n'\cdot\tan\phi' \qquad (2)$$

$$\tau_r=c_r+\bar{\sigma}_n'\cdot\tan\phi_r \qquad (3)$$

$$\tau_f=c_f'+\bar{\sigma}_n'\cdot\tan\phi_f' \qquad (4)$$

式（3）および式（4）を式（1）に代入し，式（2）と対応させると次の式が得られる

$$c'=R\cdot c_r+(1-R)\cdot c_f' \qquad (5)$$

$$\tan\phi'=R\cdot\tan\phi_r+(1-R)\cdot\tan\phi_f' \qquad (6)$$

三次元安定解析では，まず CAD を用いた解析プログラム[12]を用いてすべりブロックを作成し，Hovland の式において F_s＝1.00 として次の c'－$\tan\phi'$ 関係式を得た

$$c'=-90.70\cdot\tan\phi'+21.35 \qquad (7)$$

本地すべりのすべり面は鏡肌面と脆弱化した破砕岩領域からなっているので，残留強度定数（c_r = 0kN/m^2・ϕ_r = 9.3°）および破砕ピーク強度定数（c_f' = 10kN/m^2，ϕ_f' = 30.5°）を式（5）および式（6）に代入して，式（8）および式（9）を導き

$$c'=10(1-R) \qquad (8)$$

$$\tan\phi'=R\cdot\tan 9.3^\circ+(1-R)\cdot\tan 30.5^\circ \qquad (9)$$

---

[*]琉球大学農学部 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus
キーワード：安定解析，すべり面，せん断強度
[**]太田ジオリサーチ Ohta Geo Research

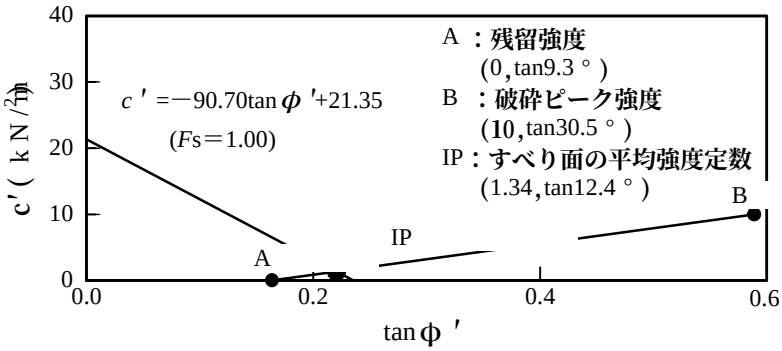
式（8）および式（9）を式（7）に代入して R=0.866 を求めた。最後に，R=0.866 を式（8）および式（9）に代入して，すべり面の平均強度定数 $\bar{c}'$ ＝1.34kN/m^2，$\bar{\phi}'$ ＝12.4°を求めた。上記の解析法を図解的に示したのが Fig. 1 である。

二次元安定解析（簡便法）では，まず次の c'−tanϕ'関係式を得て

$$c' = -130.26 \cdot \tan\phi' + 38.46 \quad (10)$$

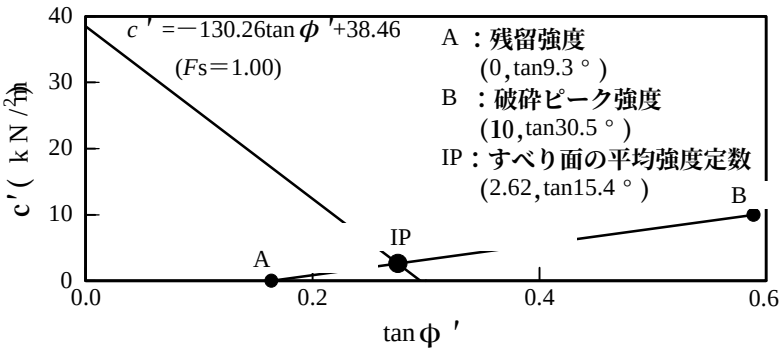
式（8）および式（9）を式（10）に代入して R=0. 737 を求めた。R=0.737 を式（8）および式（9）に代入して，すべり面の平均強度定数 $\bar{c}'$ ＝2.62kN/m^2，$\bar{\phi}'$ ＝15.4°を求めた（Fig. 2）。

二次元解析では，最大断面を用いてすべり面の平均強度定数を算出するに対して，三次元解析では，すべりブロックの形状が正確に評価され，またすべりブロック縁辺部のいわゆる三次元効果がすべり抵抗力に加味されることから，滑動力，垂直力等がより確かなものとなり，精度が向上する。



図−1　三次元安定解析結果（c' − ϕ' 関係およびすべり面の平均せん断強度定数）

Fig. 1　c' − ϕ' relationship and average shear strength parameters obtained by the three dimensional stability analysis



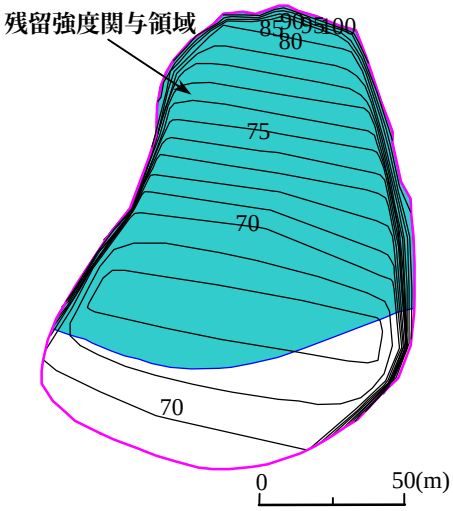
図−2　二次元安定解析結果（c' − ϕ' 関係およびすべり面の平均せん断強度定数）

Fig. 2　c' − ϕ' relationship and average shear strength parameters obtained by the two dimensional stability analysis

4．すべり面における残留強度関与領域の決定

すべりの移動状況およびすべり面の状況を基に繰り返し計算（三次元解析）を行い，残留強度および破砕ピーク強度の関与領域を決定した（Fig. 3）。すべり面において発揮される強度の関与領域を明らかにすることにより，合理的でより効果的な対策が可能となる。

本研究は科学研究費補助金（課題番号：13660247）の補助を受けて実施したものである。



図−3　すべり面における残留強度関与領域

Fig. 3　Slip surface area attaining the residual strength

参考文献

1)農業土木学会，土地改良事業計画設計基準－農地地すべり防止対策－，pp.16～28，1989.　2)日本道路協会，道路土工－のり面工・斜面安定工指針，pp.345～353，1999.　3)太田・林，*地すべり*，**38**(3)，2001.　4)林・太田，*第37回地すべり学会講演発表集*，1998.　5)太田・林，*第37回地すべり学会講演発表集*，1998.　6)木村隆俊ら，*第38回地すべり学会講演発表集*，1999.　7)杉本・綱木，*土木技術資料*，**43**(6)，2001.　8)宜保ら，*土と基礎*，**48**(8)，2000. 9)周ら，*地すべり*，**32**(4)，1996. 10) 宜保ら，*地すべり*，**18**(2)，1981. 11)宜保，*地すべり*，**33**(2)，1996. 12)林ら，*第37回地盤工学研究発表講演集*，2002.