

地すべり斜面の混合型破壊解析における残留強度面のモデル化

Modeling of residual strength surface in the analysis for mixed type of failure in landslides

○川本 治、山田康晴、中里裕臣、井上敬資、古谷保
 KAWAMOTO Osamu, YAMADA Yasuharu, NAKAZATO Hiroomi,
 INOUE Keisuke, FURUYA Tamotsu

1. はじめに

我が国の農地地すべりの多くは再活動地すべりであり、過去のすべり面に沿った残留強度に規定される斜面移動の割合が大きいと考えられる。しかし、実際の地すべり土塊の一部には、ひずみ軟化・せん断帯への変形の局所化を伴う初生的な進行性破壊が併せて生じていると考えられ、このような混合型破壊の解析技術の高度化が望まれる。残留強度面では、強度評価のみでなく弾性域・塑性域における変形のモデル化が限界荷重評価を含む数値解析結果に大きな影響を与えることが明らかになっている¹⁾。ここでは、残留強度面の塑性域での剛性係数（塑性剛性）と弾性域での剛体化処理が数値解に与える影響を明らかにする。

2. 解析手法の概要

有限要素弾塑性モデルの内部力項を崩土・基盤部における初生破壊と残留強度面における再活動破壊のそれぞれで評価し、両者の合計と外力項との平衡解析を行う。前者は田中²⁾によるせん断帯の発生を考慮したひずみ軟化弾塑性モデルを用い、後者はPlesha³⁾による定式のうち巨視的挙動に相当して弾塑性挙動をする零層厚の接合面モデルを用いる。残留強度面における破壊後変位は塑性剛性（接線・法線成分）によって規定し、弾性域においては塑性剛性に大きな係数（剛体化係数）を乗じて変位の拘束を行う。残留強度面では弾性変形が生じないので、塑性剛性と剛体化係数は物性値ではなく、数値解析の精度や収束性が適正となるように設定すべきである。解析手法の詳細については文献^{1),4)}を参照されたい。

3. 解析した現地及び物性値評価の概要

中国四国農政局神石高原農地保全事業（1995～2005）で対策の行われた農地地すべり（M地区）を解析した。現地で第三紀備北層群の風化泥岩を採取し、各種試験及びパラメータ決定を行った（表1）。

表1 パラメータ一覧

	崩土	基盤
ヤング率 E' (kPa)	8628	8628
ポアソン比	0.20	0.20
内部摩擦角(ϕ_p' , 度)	32.6	-
粘着力(C_p' , kPa)	7.0	-
(完全軟化強度)		
内部摩擦角(ϕ_r' , 度)	28.2	-
粘着力(c_r' , kPa)	0.0	-
(残留強度)		
内部摩擦角(ϕ_r' , 度)	6.4	-
粘着力(c_r' , kPa)	3.8	-
単位体積重量 γ (kN/m ³)	17.59	17.59
水中単位体積重量 γ_{sub} (kN/m ³)	7.84	7.84
透水係数 k ($\times 10^{-7}$ cm/sec)	6.193	6.193
初期タイルトン角 (Φ_0')	0.0	-
内部摩擦角低減係数 B	7.92	-
粘着力低減係数 D	7.92	-
せん断帯幅 W (m)	0.0128	-

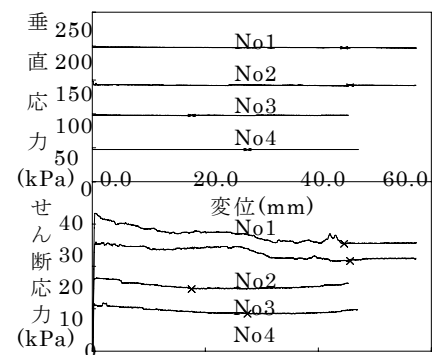


図1 応力-変位曲線(リングせん断)

農村工学研究所、National Institute for Rural Engineering、

斜面安定・土圧・支持力、地盤の変形、農地保全

ピーク強度・弾性係数・せん断帯幅は不攪乱試料の三軸圧縮試験 (CD 試験) を行って求めた。崩土破壊時の終局強度は完全軟化強度とし、正規圧密試料の三軸圧縮試験 (CD 試験) により求めた。崩土と基盤の境界を残留強度面とし、プレカット試料を用いたリングせん断試験 (CD 試験、図 1) により残留強度を求めた。この際、Bishop らによる原設計機種 (WF25800, Wykeham Farrance 社製) を使い、せん断面への垂直荷重を高精度に評価しつつ強度評価を行った⁵⁾。強度特性を一括して図 2

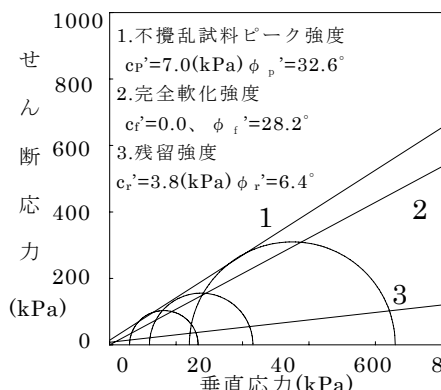


図 2 Mohr 包絡線

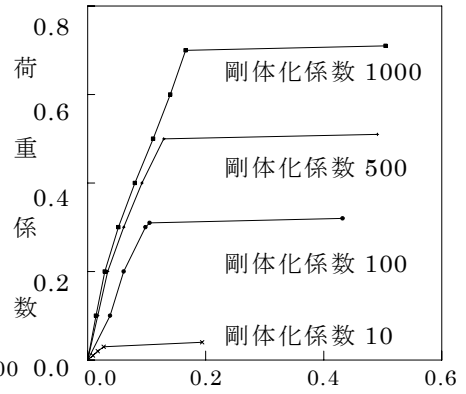


図 3 荷重・変位関係

強度面とし、プレカット試料を用いたリングせん断試験 (CD 試験、図 1) により残留強度を求めた。この際、Bishop らによる原設計機種 (WF25800, Wykeham Farrance 社製) を使い、せん断面への垂直荷重を高精度に評価しつつ強度評価を行った⁵⁾。強度特性を一括して図 2

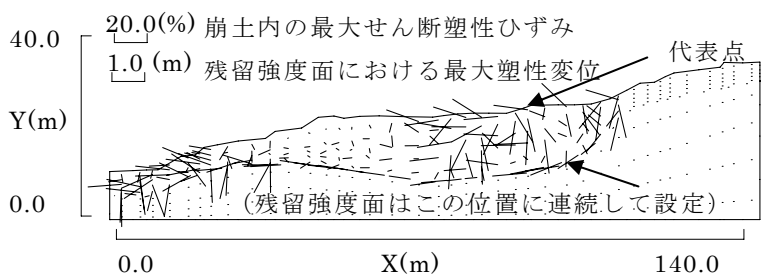


図 4 崩壊時の最大せん断塑性ひずみ・変位

4. 解析結果

自重と浸透力を漸増させて有限要素弾塑性解析¹⁾を行った結果として代表点 (位置を図 4 に示す) における荷重-変位関係を図 3 に、崩壊時の最大せん断塑性ひずみ (崩土) 及び塑性変位 (残留強度面) を図 4 に示す。残留強度面の塑性剛性を 0.863 kN/m^3 とし、剛体化係数を 1000 とした。図 4 には他の剛体化係数を用いた場合の荷重-変位関係も併せて示しており、限界荷重は剛体化係数に大きな影響を受けることが明らかである。

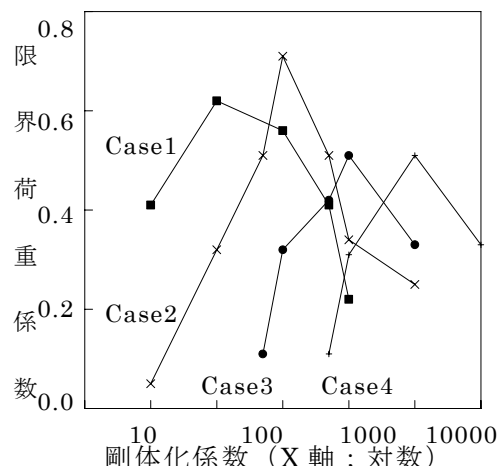


図 5 剛体化係数と荷重係数の関係

図 5 には他の塑性剛性を用いた場合も含めて剛体化係数と限界荷重の関係を示す。図中のケース 1~4 で塑性剛性はそれぞれ、 $8.63, 0.863, 0.0863, 0.00863 \text{ kN/m}^3$ である。剛体化係数が過小な場合には残留強度面での過大な変形により限界荷重が過小に評価されるとともに、剛体化係数が過大な場合にも収束速度の低下により限界荷重が数値的に過小に評価され、いずれの場合にも限界荷重への影響は極めて大きい。それぞれのケースで限界荷重のピーク値を与える塑性剛性と剛体化係数のセットを適正值と考えれば、各ケースの限界荷重係数は $0.51 \sim 0.71$ の範囲にあり、解の客観性はある程度保証されると考える。

参考文献 1) 川本・山田・古谷(2007),第 42 回地盤工学研究発表会 (投稿中)、2) 田中忠次(1987),わかりやすい土質力学原論,土質工学会, pp.203-243、3) Plesha M. E.(1987),Int. J. Num. Anal. Meth. Engng. 11,pp.345-362、4) 川本・山田・古谷(2006),第 45 回地すべり学会研究発表会 289-292、5)川本・山田・古谷(2007),農村工学研究所報告 (投稿中)、