

# 琉球大学学術リポジトリ

翁長地内地すべりの安定解析と排土工について(農業工学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 宜保, 清一 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/4104">http://hdl.handle.net/20.500.12000/4104</a>

# 翁長地内地すべりの安定解析と排土工について\*

宜保清一\*\*

---

Seiichi GIBO : Stability analysis and remedial excavation for Onaga landslide, Tomigusuku-son

---

## I 緒言

泥岩のルーチンテスト結果に基づく安定解析では地すべり発生を十分に説明できず、斜面の安定問題において強度定数のとり方が常に問題となる<sup>11)</sup>。それゆえ、島尻層泥岩地帯の翁長地内地すべりにリングセン断試験結果を適用して安定解析を行い残留係数を求め、それを $c'-\phi'$ 関係式とモール・クーロンの破壊規準に導入してすべり面の平均セン断強度定数の決定を試みた<sup>8)</sup>。

また、地すべりの安定化対策において排土工に関する研究が少ないので<sup>9,13)</sup>、排土効果と強度定数のとり方の関係について検討し、実際に翁長地内地すべり対策に適用した。

## II 地すべりの概要

翁長地内地すべりは、排水路建設工事に伴って発生した地すべりで、直接的には斜面末端部における掘削と大雨が誘因となっている (Photo.1, Fig.1)。地すべり現象はコンクリート打設直後の擁壁の隆起・滑動となって現われ、その抑止のための簡単な対策工が施されたにもかかわらず、動きは停止しなかった。ボーリング調査によってすべり面をはっきり確認できなかったが、泥岩特有のテクトニックな破断面や層界面等の分離面が弱面を形成しているため、それが水の影響を受けてすべり面に移行したものである<sup>5,15,16)</sup>。なお、想定すべり面付近ではN値が20で、少量ながら宙水がみられた。

## III 安定解析

### (1) すべり面のセン断強度

想定すべり面に対して、土塊の単位体積重を $\gamma_t = 2.00 \text{ t/m}^3$ 、排水条件とし、簡便法による安定解析を行った。また、活動中であるので現地地形に対する安全率を $F_s = 1$ と仮定した。

いま、次式において

$$1 = (c' \Sigma \ell + \tan \phi' \Sigma W \cos \alpha) / \Sigma W \sin \alpha$$

$$c' = 0 \text{ とすると } \tan \phi' = \Sigma W \sin \alpha / \Sigma W \cos \alpha$$

$$\phi' = 0 \text{ とすると } c' = \Sigma W \sin \alpha / \Sigma \ell$$

\* 一部は土質工学研究発表会にて発表 (広島市, 1980, 6)

\*\* 琉球大学農学部農業工学科

琉球大学農学部学術報告 27 : 247~255 (1980)



Photo.1 General view of Onaga landslide

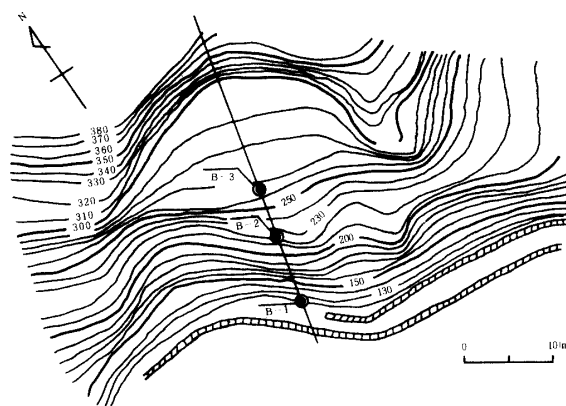


Fig.1 Contours and axis of movement of Onaga landslide

となり、直線の式は

$$c' = (-\Sigma W \cos \alpha / \Sigma \ell) \cdot \tan \phi' + \Sigma W \sin \alpha / \Sigma \ell \quad (2)$$

となる。ここで、 $\ell$  : 各スライスのすべり面長、 $W$  : 各スライスの重量、 $\alpha$  : 各スライスのすべり面が水平面となす角、 $c'$  : 地すべり土塊の有効粘着力、 $\phi'$  : 地すべり土塊の有効内部摩擦角を示し、 $\Sigma W \cos \alpha / \Sigma \ell$  はすべり面に働く平均垂直応力  $\bar{\sigma}_n'$ 、 $\Sigma W \sin \alpha / \Sigma \ell$  はすべり面に働く平均せん断強度  $\bar{\tau}$  を意味する。

翁長地内地すべりでは  $\Sigma W \cos \alpha = 2808.2 \text{ kg/cm}$ 、 $\Sigma W \sin \alpha = 1160.5 \text{ kg/cm}$ 、 $\Sigma \ell = 3218 \text{ cm}$  であるので、(2) 式に代入すれば

$$c' = -0.874 \tan \phi' + 0.361 \quad (3)$$

これより、 $\bar{\sigma}'_n = 0.874 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\bar{\tau} = 0.361 \text{ kg/cm}^2$  となることは明らかである (Fig. 2)。

(2) 平均せん断強度定数  $\bar{c}'$ 、 $\bar{\phi}'$  の決定

地すべりの安定解析において  $\bar{c}'$  と  $\bar{\phi}'$  を決めることは、今後の対策工法や新たな計画断面の設計等において最も重要なものであるが、現状ではそれらの定数の決定方法がないために、逆算より求める  $c'$ - $\phi'$  関係より、一方の強度定数を仮定して他方を求めるというやり方に従っており、その仮定は 2, 3 の慣例法に基づいている<sup>4,5)</sup>。さらに、泥岩斜面で発生する地すべりではその地質および強度特性に因る複雑さからすべり機構の把握が困難であり、未解明であるため、地すべり対策に苦慮している。すなわち、他の過圧密粘土と同様、島尻層泥岩でも地すべり解析にルーチンテスト結果のピーク強度定数  $c_{df}$ 、 $\phi_{df}$  を使用した場合過大な安全率が得られる反面、残留強度定数  $c_{dr}$ 、 $\phi_{dr}$  を使用した場合には  $F_s < 1$  となり、実際と矛盾する<sup>5)</sup>。

Skempton は、すべり面の平均せん断強度  $\bar{\tau}$  が Fig. 3 に示すように  $\tau_{df}$  と  $\tau_{dr}$  の間に位置することに注目して、残留係数  $R$  (すべり面全体に対する残留強度の動員率) を導入した (5) 式の関係を見出した<sup>12)</sup>。

$$\bar{\tau} = R \cdot \tau_{dr} + (1 - R) \tau_{df} \quad \text{または} \quad R = (\tau_{df} - \bar{\tau}) / (\tau_{df} - \tau_{dr}) \quad (5)$$

ところで、モール・クーロンの破壊規準より、ピーク強度及び残留強度は、それぞれ  $\tau_{df} = c_{df} + \bar{\sigma}'_n \tan \phi_{df}$ 、 $\tau_{dr} = c_{dr} + \bar{\sigma}'_n \tan \phi_{dr}$  であるので、これらを (5) 式に代入すれば

$$\bar{\tau} = \{ R \cdot c_{dr} + (1 - R) c_{df} \} + \bar{\sigma}'_n \{ R \cdot \tan \phi_{dr} + (1 - R) \tan \phi_{df} \} \quad (6)$$

さらに、 $\bar{\tau} = \bar{c}' + \bar{\sigma}'_n \tan \bar{\phi}'$  であるので、平均せん断強度定数  $\bar{c}'$ 、 $\bar{\phi}'$  は、それぞれ (7)、(8) 式で表現できる。

$$\bar{c}' = R c_{dr} + (1 - R) c_{df} \quad (7)$$

$$\tan \bar{\phi}' = R \cdot \tan \phi_{dr} + (1 - R) \tan \phi_{df} \quad (8)$$

翁長地内地すべりにおける土塊の残留及びピーク強度定数をそれぞれ  $c_{dr} = 0$ 、 $\phi_{dr} = 13^\circ$ <sup>6,7,12)</sup>、 $c_{df} = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\phi_{df} = 45^\circ$ <sup>1)</sup> とすれば、破壊規準の式と先に求めた  $\bar{\sigma}'_n = 0.874 \text{ kg/cm}^2$  から

$$\tau_{dr} = 0.202 \text{ kg/cm}^2, \quad \tau_{df} = 4.874 \text{ kg/cm}^2$$

となり、 $\bar{\tau} = 0.361 \text{ kg/cm}^2$  と (5) から  $R = 0.966$  となるからこれを (7)、(8) 式に代入して結局

$$\bar{c}' = 0.136 \text{ kg/cm}^2, \quad \bar{\phi}' = 14^\circ 25'$$

を得る。

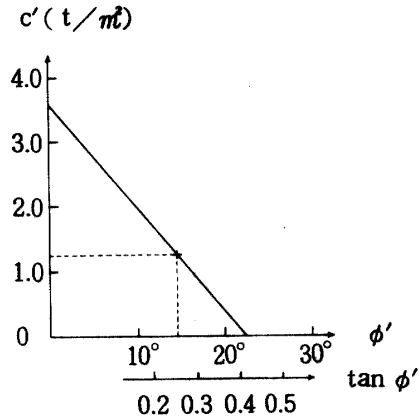


Fig. 2  $c'$ - $\phi'$  diagram for Onaga landslide

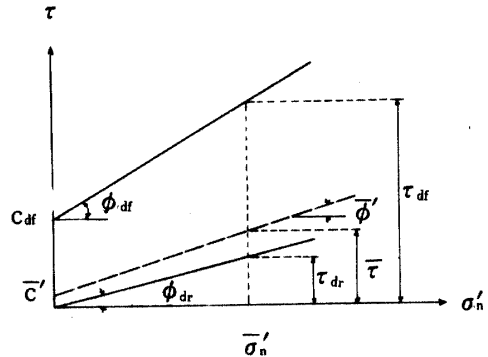


Fig. 3 Strength envelopes for an overconsolidated clay

このように、翁長地内地すべりではほとんど残留強度に近いすべり面強度が動員されており、先の高良地内地すべりにおける  $R = 0.940^5)$ 、中村らの報告<sup>10)</sup>における  $R = 0.920$  も合せて考えれば、泥岩斜面で発生する地すべりでは、London Clay 等の他の過圧密粘土と同様、進行性破壊やその他の影響ですべり面のかかなりの部分が強度低下を起こしているものと解釈できる<sup>2,3,9,12)</sup>。

#### IV 排 土 工

##### (1) 基本的な考え方

排土は地すべりに対する最も効果的な安定化工法であるが、二次災害の危険性や用地の問題、及び周辺構造物に及ぼす影響等の種々の不都合な点も持ち合せている。

排土工は、原則的に斜面を緩やかにして安定化をはかる平坦化 (Flattening) と階段状に切り取る段切り (Benching) に分けられる。両者、及びそれらの組合せと安定化との関係については中村らが報告<sup>10)</sup> しているので、ここでは残留係数を導入して求められる平均せん断強度定数を中心とした定数の変化に対する安全率の変化について検討し、有利な排土方法をみつけることを課題とする。

##### (2) 排土方法と安全率

翁長地内地すべり斜面における排土方法を Fig. 4 に、Flattening Benching 及び両者の組合せによる解析結果を Table 1 に示す。安定解析には ①  $c', \phi'$  ②  $c', \phi'$  ③  $c_{dr}, \phi_{dr}$  ④  $c_{dr}, \phi_{dr}$  の4種の定数を適用した。 $c' = 0, \phi' = 22^\circ 27'$  は、活動中の地すべりではすべり面が形成されていて粘着力を失っているという一般的な考え方にに基づき、 $c'-\phi'$  図において  $c' = 0$  として  $\phi'$  を決めたものである。

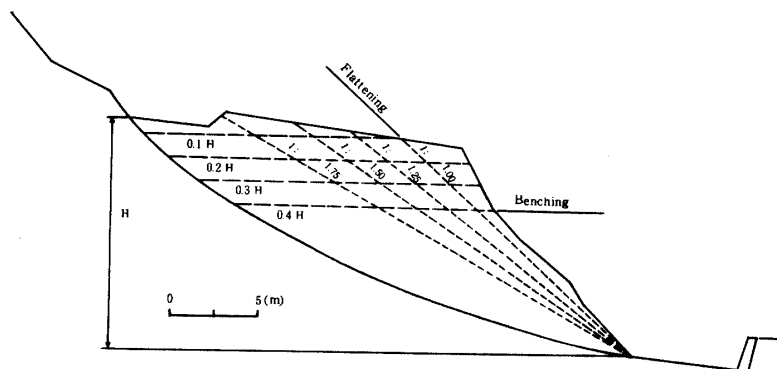


Fig. 4 Cross section along axis of movement of Onaga landslide and methods of excavation for stabilization of slope

Table 1. Variation in safety factor with changing of excavation method and shear strength parameter

Strength parameter	Benching	Flattening				
		Present ground	1 : 1.00	1 : 1.25	1 : 1.50	1 : 1.75
$\bar{c}' = 0.136(\text{kg/cm}^2)$ $\bar{\phi}' = 14^\circ 25'$	Present ground	1.00	0.94	0.98	1.03	1.18
	0.1 H	0.98	0.98	1.03	1.08	1.21
	0.2 H	1.07	1.08	1.09	1.19	1.30
	0.3 H	1.19	1.21	1.21	1.28	1.41
	0.4 H	1.31	1.35	1.38	1.45	1.50
$c' = 0$ $\phi' = 22^\circ 27'$	Present ground	1.00	0.92	0.90	0.88	0.88
	0.1 H	0.96	0.96	0.93	0.90	0.89
	0.2 H	1.01	1.01	0.98	0.96	0.94
	0.3 H	1.10	1.09	1.02	1.00	1.01
	0.4 H	1.14	1.14	1.09	1.08	1.02
$c_{dr} = 0$ $\phi_{dr} = 13^\circ$	Present ground	0.55	0.51	0.50	0.49	0.49
	0.1 H	0.54	0.53	0.52	0.50	0.50
	0.2 H	0.55	0.56	0.55	0.54	0.52
	0.3 H	0.61	0.61	0.54	0.56	0.56
	0.4 H	0.64	0.64	0.62	0.61	0.67
$c_{df} = 4.0(\text{kg/cm}^2)$ $\phi_{df} = 45^\circ$	Present ground	13.51	12.38	14.55	16.54	20.73
	0.1 H	13.54	13.16	15.60	17.50	21.25
	0.2 H	15.91	15.83	16.45	19.63	23.31
	0.3 H	17.53	18.24	18.37	21.90	25.58
	0.4 H	20.56	21.43	23.58	25.31	28.02

表から明らかなように、ピーク強度定数を用いた解析結果では安全率が極端に大きくなるため、ルーチンテスト結果を地すべりのメカニズム解析に直接使用することは適当ではない。また残留強度定数の場合も、ピーク強度の場合程ではないが、この地すべりに単独に適用するには問題があろう。したがって、 $c' - \phi'$  図と関係する (a) と (b) の場合に対して、Flattening = const. の時の Benching の変化、及び Benching = const. の時の Flattening の変化が斜面の安定化と如何なる関係にあるかについて検討した。すなわち、Fig. 5, 6 に示すように、Flattening = const. の時は、Benching を大きくとる程安全率は大きくなり、(b) の場合 ( $c' = 0$ ) より (a) の方がより安全率の増加が顕著である。そして、Benching = const. の時の Flattening による斜面の安定化においては、(a) の場合、安定率は、全体的に大であるが、平坦化による増は Flattening = const の時の Benching の変化程期待できない。(b) では Flattening の度合を高めることによって逆に安全率は減少し、段切量の少ない時にはほとんどが  $F_s < 1$  となり、対策を施すことによってむしろ危険な状態となる。

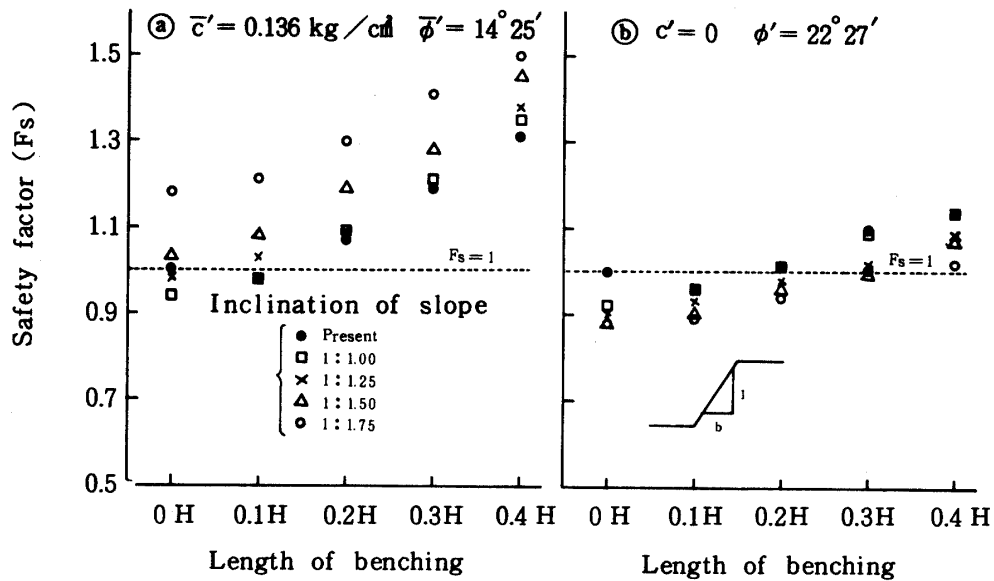


Fig. 5 Variation in safety factor with changing of benching

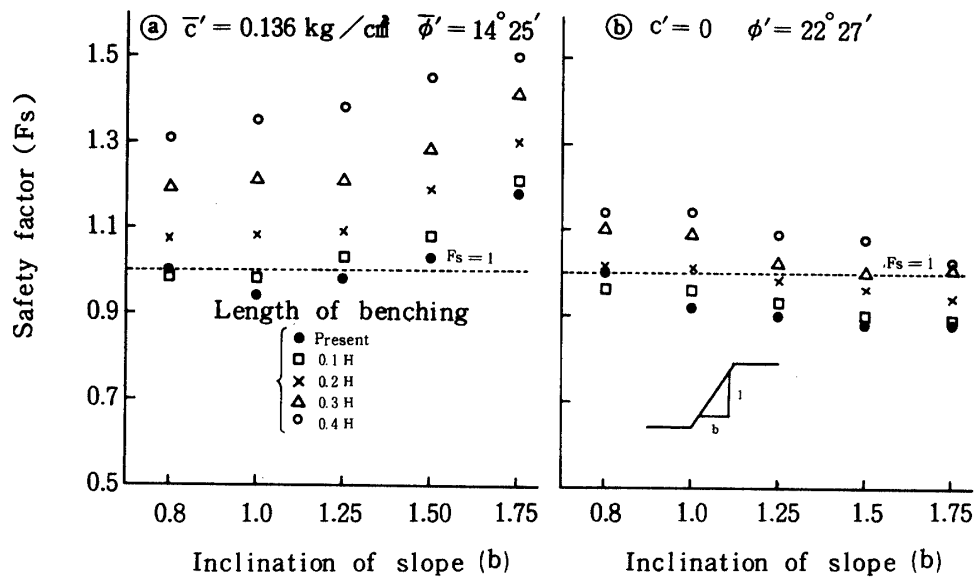


Fig. 6 Variation in safety factor with changing of flattening

このように、FlatteningよりもBenchingの方が安定化に及ぼす効果が大であるが、実際問題としては、経済的に有利で効果的な工法が要求されるため、排土量と安全率の関係についても検討を加えた。すなわち、Fig. 7より、排土のみによって計画安全率PF=1.2以上を達成できるものは、点線より上側に在るもので、中でも有利な工法は、少ない排土量で必要安全率を得る①現状地形に0.4HのBenchingを施すもの、②1:1.00のFlatteningと0.3HのBenchingの組合せ工法である（実際に行われた対策では①と②の中間位の状態で排土を完了し、良好である）。なお、排土量との関係において安定

計算に $\bar{c}'$ 、 $\bar{\phi}'$ だけを適用したのは、活動中という理由で地すべり面の粘着力を零とすることには無理があり、時間の経過と共にチキソトロピー等の影響で強度が回復し粘着力が作用するようになると考えたためであるが、何よりも重要なことは、この $\bar{c}'$ 、 $\bar{\phi}'$ が $c'-\phi'$ 関係にせん断試験から得られた定数を導入して決定された値であるということです。

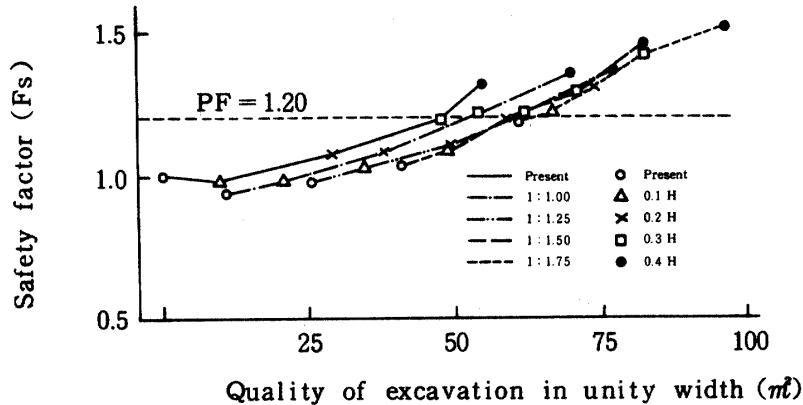


Fig. 7 Relation between safety factor and quantity of excavation with applying the parameters of  $\bar{c}'$  and  $\bar{\phi}'$  to stability analysis

(3) 考 察

地すべり面において内部摩擦角が粘着力より優勢に働いている場合 Flattening より Benching の方が安全率の増加が期待できるとした中村らの研究結果<sup>10)</sup>と同様、翁長地内地すべりにおいても Benching による安定化が有効であるという結果になったが、これは内部摩擦角が比較的優勢に働いていることから妥当であるといえる。

しかし、特に Benching による背後地の地すべり誘発や周辺構造物への影響等を考え合せると、翁長地内地すべりで行ったような主に Benching による排土事例は少なく、実際には、二次災害をもたらさない程度の Benching と Flattening の組合せを Buttress 等のような押え工と併用して建設すべきであろう。

V 結 言

排土方法がすべり面強度定数と密接な関係にありながら、仮定に基づいた強度定数を使用することは安全率を不確実なものにするため、設計が不鮮明になり、適切な対策を行うことができない。

したがって、せん断試験結果を  $c'-\phi'$  図と関係づけて決定した強度定数 $\bar{c}'$ 、 $\bar{\phi}'$ を排土工に適用して安全率の問題を論じることは意義あることである。

検討結果を箇条書きにすると、以下ようになる。

- (1) 翁長地内の地すべりにおいてはすべり面の強度低下が著しく、残留係数は  $R = 0.966$  となる。
- (2)  $c'-\phi'$  関係式とモール・クーロンの破壊規準に残留係数を導入することによって、地すべり面の平均せん断強度定数 $\bar{c}'$ 、 $\bar{\phi}'$ が一義的に決まる。
- (3) 地すべり対策では、信頼できる強度定数に基づいて設計がなされるべきであり、翁長地内地すべりの場合  $\bar{c}' = 0.136 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\bar{\phi}' = 14^\circ 27'$  を適用した結果、良好である。



- (4) Benching は, Flattening に比べて排土効果が大であるが, 実際地すべりに適用するに際しては二次すべりの危険性や経済性も考慮した両者の有利な組合わせを Buttress 等の押え工と併用すべきである。

最後に本研究に当り, 豊見城村経済課真保栄明・上原武弘の両氏と, 55年度卒業の谷口宏文(現: 沖縄総合事務局農林水産部)・上里 力(現: 沖縄県農林水産部)の両君の御協力及び文部省科研費(代表者 藤川武信)の援助があったことを付記し謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) たとえば, 赤井浩一, 他 1973 沖縄島尻層泥岩の力学特性, 京都大学防災研究所年報, 16(B): 753 ~ 764
- 2) Bjerrum, L. 1967 Progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clay shales, 3rd Terzaghi Lecture, ASCE, 93 (5): 1 ~ 49
- 3) Bishop, A. W. 1967 Progressive failure - with special reference to the mechanism causing it, Proc. Geotechnical Conference, Oslo, 2: 142 ~ 150
- 4) たとえば, 藤田壽雄 1979 設計における土質定数の考え方, 土と基礎, 27(6): 71 ~ 78
- 5) 宜保清一 1978 泥岩地帯自然斜面の安定と残留強度, 琉球大学農学部学術報告, 25: 283 ~ 294
- 6) \_\_\_\_\_, 他 1979 島尻層泥岩分離面のセン断特性, 地すべり学会第18回研究発表会予稿集 56 ~ 57
- 7) \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ 1980 島尻層泥岩の残留強度, 土質工学研究発表会講演集 485 ~ 488
- 8) \_\_\_\_\_ 1980 すべり面の平均セン断強度定数  $\bar{c}'$ ,  $\bar{\phi}'$  の決定について, 農業土木学会昭和55年度大会講演集
- 9) 北原義浩 1978 斜面の掘削時の安定について, 土と基礎, 26(6): 23 ~ 30
- 10) 中村浩之, 他 1978 排土方法による地すべり安定化の検討, 地すべり, 15(2): 33 ~ 38
- 11) 斉藤 豊, 他 1978 長野県信州新町奈良屋地すべりの滑動状況と原因, 地すべり, 15(3): 1 ~ 10
- 12) Skempton, A. W. 1964 Long term stability of clay slopes, Geotechnique, 14: 77 ~ 101
- 13) Skempton, A. W. 1977 Slope stability of cuttings in Brown London clay, Special Lecture given to 9th I. C. S. M. F. E., Tokyo, 25 ~ 34
- 14) Symons, I. F. 1968 The application of residual shear strength to the design of cuttings in overconsolidated fissured clay, Ministry of Transport RRL Report LR 227, Crowthorne, 1 ~ 14
- 15) 高野秀夫 1971 続地すべりと防止工法, P15 ~ 18, 東京, 地球出版株式会社
- 16) ザルバ・メンツル/松尾新一郎訳 1974 地すべりとその対策, P89, 152, 東京, 鹿島出版会

### Summary

This report deals with the determination of the average shear strength parameters,  $\bar{c}'$  and  $\bar{\phi}'$ , mobilized on the slip surface at sliding.

In general, it is difficult to explain the occurrence of a landslide with stability analysis based on the result of routine tests on an overconsolidated clay like Shimajiri mudstone, and a problem always arises in selecting the kind of strength parameters to be used.

In order to approach the problem, the residual factor,  $R$ , is introduced into the  $c'-\phi'$  relationship obtained by the back analysis and the failure criteria of Mohr-Coulomb, and this makes the determination of the parameters,  $\bar{c}'$  and  $\bar{\phi}'$ , possible.

This report also considers the remedial excavation (flattening and benching cut) on the landslide and indicates, from the investigation into the relation between the quantity of excavation and safety factor resulting from stability analysis based on the parameters,  $\bar{c}'$  and  $\bar{\phi}'$ , that benching of the slope becomes clear to be more available than flattening. Benching work, however, has a close connection with the safety of a slope and a structure located to the upper part of the troubled area. Consequently, a method to effectively combine the both excavations should be used at the present time, together with buttress, counterweight fills and so on.