琉球大学学術リポジトリ

島尻層泥岩地帯の切土ノリ面対策：I. 硬度変化からみたノリ面風化(農業工学科)

メタデータ	言語: Japanese 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, 小宮, 康明, Gibo, Seiichi, Komiya, Yasuaki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4058

島尻層泥岩地帯の切土ノリ面対策

——I. 硬度変化からみたノリ面風化——

宜保清一*・小宮康明*

Seiichi GIBO and Yasuaki KOMIYA : Cutting slope in shimajiri mudstone I. Weathering and hardness

I 緒 言

島尻層泥岩には地殻変動による大小の断層や褶曲が発達していて[5]，割れ目が多いばかりでなく，乾湿に弱い等の過圧密粘土特有の工学的性質[3,11]からその自然斜面及び切土ノリ面では崩壊やガリ侵食が起こっている。したがって，農地造成及び道路建設等に伴う切土工においてはノリ面のコウ配や保護工等に十分な配慮が必要であり，崩壊や侵食と密接な関係にある風化現象を把握することが急務となる。しかし，風化の研究は始まったばかりで，風化の定量的な表示は困難であるが，風化の程度の量的な表示なしには泥岩等の岩盤を対象とする切土工の合理的な設計・施工はありえない。

一般に，風化作用は機械的風化と化学的風化に分けられ，岩石が化学的変化を伴わずに細粒化される過程を機械的風化としている[4]。

風化の程度すなわち細粒化・軟化の程度を工学的観点から分類表示する場合「強さ」が最もよい指標となるため，泥岩の細粒化・軟化＝強度低下＝硬度低下を風化度のインジケーダーと考え，ノリ面の状態と硬度の関係について検討した。

II 調 査 方 法

島尻層泥岩斜面の切土面は，Photo. 1に示すように，通常ノリ肩から50～100cm程度まで完全に土壌化し，強・弱・未風化と続いている。そして弱及び未風化泥岩は，切土に伴う応力開放による過圧密粘土特有の吸水膨張と，乾燥湿潤の繰返し作用によって露頭面から風化し始める[3,10]。

調査では，Tale. 1に示すように，農地造成，宅地造成，道路建設等に伴って切土されたノリ面を数ケ所選定し，非植生ノリ面における風化の進行（硬度・含水比変化）とはく離・崩壊状況，植生による風化抑制効果，ガリ侵食露頭泥岩及び地すべり地帯の軟化泥岩の硬度測定を行った。

測定には軽便な原位置試験器が望ましいので，山中式土壌硬度計とコンクリート用のびょう打ち銃（ドライブイット銃303型，びょう詰長15cm）を使用した[2]。土壌硬度計には硬軟のわずかな変化も反映されるため，未風化に近い岩の状態か，土壌化して密度が均一になっている場合には比較的精度が良い反面，クラック等の存在や，スレーキング等によって密度が不揃いになっている場合当然測定値にバラツキが多い。それに対してピン貫入量には土塊の平均的硬度が反映されるので測定値のバナツキも小さい。

* 琉球大学農学部農業工学科

琉球大学農学部学術報告 28 : 151～161（1981）

Table 1 Measurement of hardness in the cutting slope of Shimajiri mudstone

Spots	Items of measurement	Remarks
Tohashina, Tomigusuku-son	Changes in hardness and water content in the cutting slope (Continuous measurement)	Housing preparation
Gibo, Tomigusuku-son	Hardness of the intact unweathered mudstone	Housing preparation
Tomigusuku, Tomigusuku-son	Hardness in the face of a gully formed by erosion	Borrowing - pit
Gishi, Kochinda-cho	Change in hardness in the slope with a vegetation (Continuous measurement)	Along farm road
	Change in hardness in the cutting slope without a vegetation (Continuous measurement)	Along farm road
	State of exfoliation, falling of soil and small-scale collapse	Along farm road
Takara, Kochinda-cho	Hardness of the softened mudstone	Along farm road (Landslide)
	Hardness in the face of a gully formed by erosion	Along farm road (Landslide)
	Hardness of the non-softened mudstone	Along farm road
Yonabaru-Tekku Yonabaru-cho	Hardness of the softened mudstone	Test-pit (landslide)

Ⅲ 結果と考察

1. 新鮮泥岩の硬度

Fig. 1に深度15mにおける島尻層泥岩の掘削直後の硬度を示す。土壌硬度指数はY＝34～37mmの範囲にあって，34mmが60%を占め，ピン貫入量はP＝4～6cmの範囲にあって，5cmが60%を占めている。参考までに未風化泥岩のN値等を示すと，N＝65～80，w_n＝20～25%，γ_t＝1.9～2.1 g/cm³，Gs＝2.65～2.80となっており，硬度の高い軟質岩であることがわかる。Fig. 2は切土後10年を経たガリ侵食面におけるピン貫入量を示す。ガリの畦部でP＝5～8cm，溝部でP＝3～6cmとなっている。Photo. 2，3からも，土壌化された表層が絶えず雨水によって洗掘され，新しい泥岩がガリ面を形成していることがわかる。

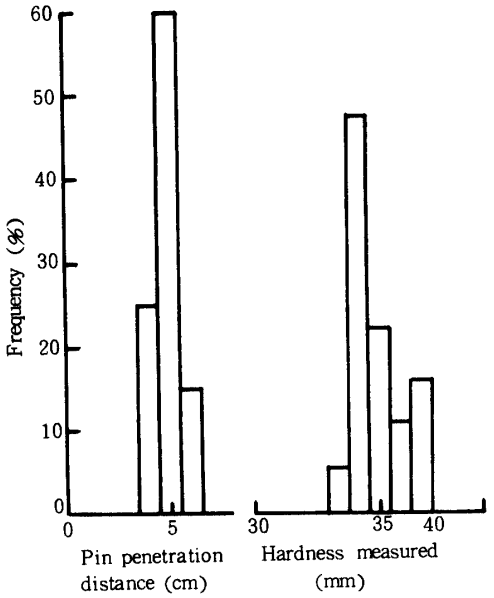

Fig.1 Hardness of an unweathered Shimajiri mudstone, Gibo, Tomigusuku-son

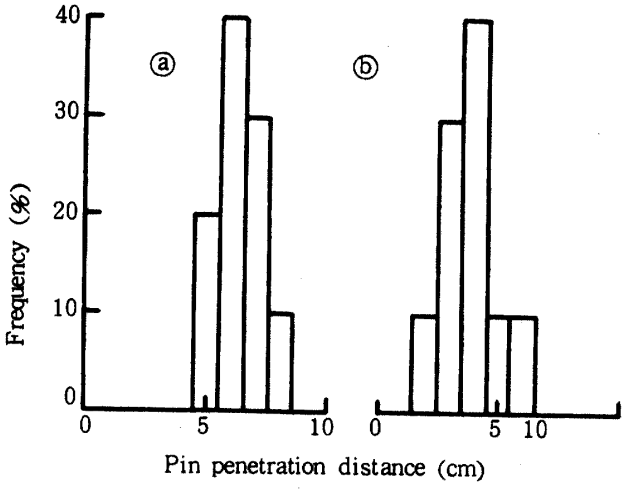

Fig. 2 Hardness in the face of a gully formed by erosion, Tomigusuku, Tomigusuku-son
ⓐ : A ridge between the gullies
ⓑ : A gully

2. 表土ハギ深度と硬度・含水比変化

ピン貫入量と土壌硬度指数　泥岩切土ノリ面の風化には水平方向の風化と切土以前から継続している垂直方向の風化があるが，ここでは前者について検討する。

photo.4 は切土面の風化の進行状況を把握するため，切土ノリ面に2.5，10，25cm厚さの表土ハギを行ったもので，52年3月7日，9月7日，11月30日の3回，硬度及び含水比変化を継続測定した(Table 2)。調査ノリ面は1割5分コウ配で，Fig. 3，4に付した新鮮泥岩の硬度線からして52年3月7日の時点までに表層部はかなり風化しているが，背後からの流出水によるガリ侵食はなく，雨滴による表面はく離が多少存在するのみである。3月7日～11月30日の9ケ月余に起こる硬度変化はFig. 3，4に示すとおりである。表面（2.5 cm）ではピン貫入量がノリ面のノリ肩から下方全域においてめだった変化を示していないのに対し，土壌硬度指数はノリ肩からの長さ100～150cmの領域で大きく変化している。これは，11月30日に表面含水比が比較的高い状態にあったことが硬度指数に影響しているためであり，表面の硬度変化をよく表わす山中式土壌硬度計と土塊全体の硬度を表わすびょう打ち銃の特徴が測定値に反映されているようである。10cmの表土ハギ深度では75～150cmの領域でピン貫入量が10cm近くも増大する反面，硬度指数は全域で小さく変化している。25cmの表土ハギ深度ではピン貫入量が50～100cm領域で10cm以上，100～150cm領域で5cm内外増加し，硬度指数も同様な傾向を示している。

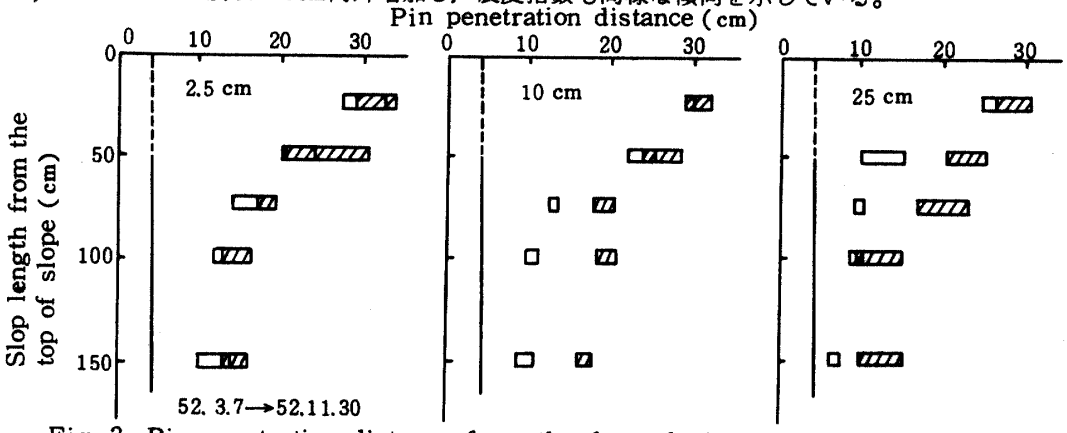

Fig. 3 Pin penetration distance from the face of slope after removal of surface soil of thickness of about 2.5cm (left), 10cm (middle) and 25cm (right) respectively, Tohashina, Tomigusuku-son

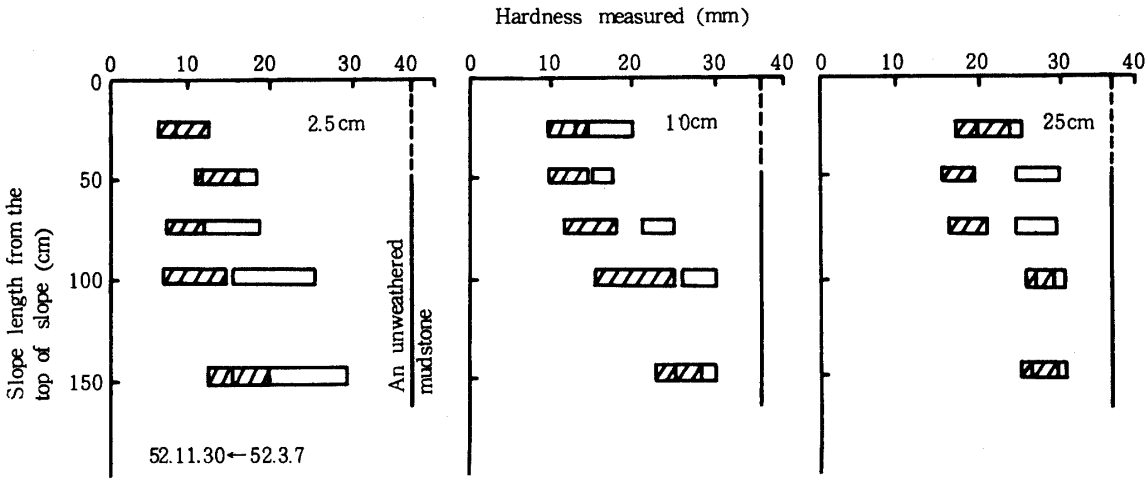

Fig. 4 Hardness measured in the face of slope after removal of surface soil, Tohashina, Tomigusuku-son

Table 2 Hardness and water content in the cutting slope, Gishi, Kochinda-cho, March 7, 1977

	Depth from the surface of slope								
①	2.5 (cm)			10 (cm)			25 (cm)		
(cm)	W_n (%)	P (cm)	Y (mm)	W_n (%)	P (cm)	Y (mm)	W_n (%)	P (cm)	Y (mm)
25	8 13	33 31 31 27	11 12 8 8 7 10 8 6 12 10 8 8 10 10	27 28	28 28 30	22 20 20 20 18 15 13 13 12 17 13 15 13 12	28 28	25 25 25 25 26	26 20 20 19 24 22 24 23 22 22 21 24 20 19 23 21
50	14 15	20 20 24 24	12 13 18 17 15 18 15 18 16 18 13 12 13	25 26	25 25 25 21 22 16 16 14	17 15 16 17 15 21 17 15 15 15 15 15 15	28 28	22 18 15 10 10	30 29 27 24 24 25 28 26 26 28 29 26 26 28 26
75	20 14	17 15 15 14	8 11 8 7 9 7 7 7 6 7 7 10 8 6	24 24	13 13 13	26 24 25 24 27 23 21 24 20 21 23 21 26 25	26 27	10 9 10	27 24 28 28 30 26 28 28 29 28 28
100	6 14	13 13 13 13	22 23 15 18 22 15 25 20 15 15 *10 10 15	25 25	10 11 11	30 30 25 31 30 28 26 26 26 27 29 29 29 27 27	25 26	10 9 9	30 27 30 29 30 27 27 27 25 27 28 30 28 28 29
150	15 12	10 13 13 14	19 22 20 25 10 15 15 22 15 25 28 28 26 24 18 24	26 25	10 11 9 10 11	28 27 25 29 28 27 28 27 30 27 30 27	25 25	7 7 7	29 31 29 29 29 30 26 31 30 30 30 29

①:Slope length from the top of slope W_n: Natural water content P: Pin penetration distance Y: Hardness measured *: Crack

含水比　泥岩の風化の原因の一つにスレーキングと密接な関係にある含水比変化がある。Fig. 5，6に示すように，表面では測定日によって含水比が大きく変化し，表土ハギ深度10cm及び25cmにおける場合と著しく異なる。これは，3回の測定結果の平均含水比と標準偏差が，それぞれ表面において14%と7.24，10cmにおいて27%と1.39，25cmにおいて29%と1.31であることからも明白である。実際，表層部は晴天時の乾燥・収縮と雨水による湿潤を繰返しており，土塊の水分状態がPF 4.5以上の場合にスレーキング現象も活発になることも報告されている[6,7]。ちなみに，那覇における52年の2月と7月の日射量を比較してみた場合，2月は300～399cal/cm²/dayの日が5日間（平均日射量が232cal/cm²/day）であるに対し，7月は300～605cal/cm²/dayの日が26日間もあり，夏季の乾燥が風化を促進させている。

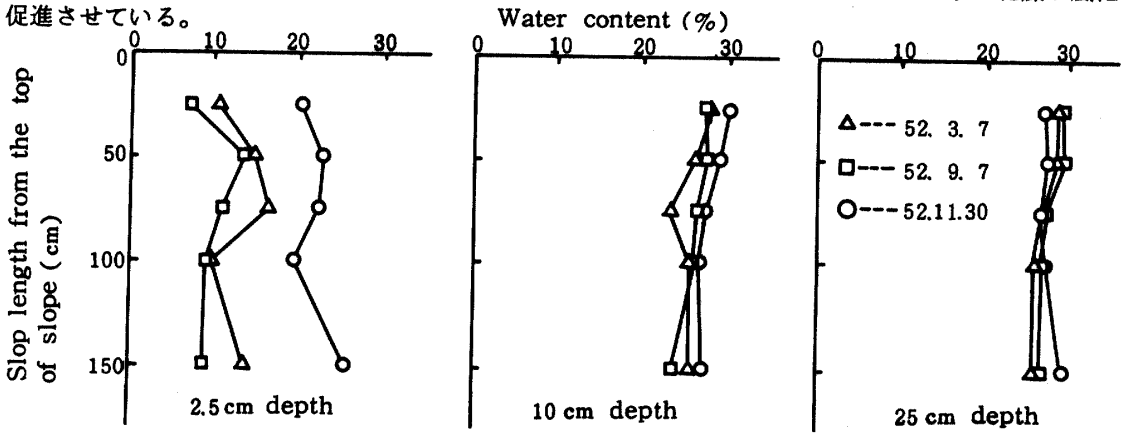

Fig. 5　Variation in water content in the slope length from the top of slope and in the depth from the surface of slope, Tohashina, Tomigusuku-son

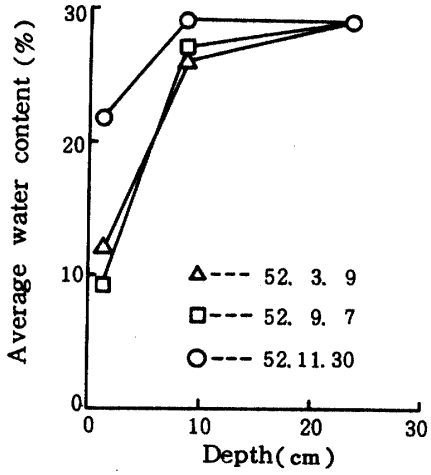

Fig. 6　Relationship between water content and depth from the surface of slope

3. 植生による被覆効果

photo. 5に示す植生及び非植生ノリ面（1割4分コウ配）は，基幹農道建設の際切土されたもので（昭和50年10月，植生は51年4月），垂直方向の風化帯がノリ肩からおよそ100cmまで形成されている。Fig. 7に植生ノリ面における硬度の頻度分布を示す。50～100cmの領域の粗生部でP＝15～20cmが80%を占めているのに対し，密生部ではP＝13～16cmの範囲に届まっている。そして150～300cmの領域の粗生部ではP＝11～17cm，密生部ではP＝10～13cmとなっている。

一方，植生されてないノリ面ではFig. 8に示すようにP＝10～37cmの広範囲の貫入量が得られており，植生ノリ面の場合と比較して風化作用が顕著である（photo. 6）。図でP＝10～15cmとなって

いる測定位置は風化土がはく離・崩落して凹部となっているところであり，多少規模が拡大するとphoto.7に示すような小崩壊が起こる。

このように，植生による被覆効果によって風化の最大要因である表層土や泥岩の温度変化や水分変化が小幅に抑えられるため[1,9]，乾湿の繰返しによるスレーキング現象が緩慢となり，深部への風化の進行を抑制する。

4. 地すべり・崩壊性泥岩の硬度

調査は，東風平町高良地内の地すべり性崩壊と与那原町与那原テック地すべりにおいて行われた。前者は圃場整備地区の農道切土ノリ面を末端としたもので，その右方側ノリ面も数十メートルにわたり小規模崩壊を起こしている。切土ノリ面背後地の琉球石灰岩のキャップロック中の地下水に端を発する浸透水がち密な泥岩を透過する間に，基盤泥岩は地質学的なタイムスケールで風化を受けて一種の軟化現象を起こしている。そのような軟化泥岩の強度低下が地すべり・崩壊の発生素因となる[8]反面，切土ノリ面では苔が生えていてスレーキングが活発になるほどの乾燥状態に至らないため，非地すべり地の切土ノリ面におけるような表面はく離や崩落はほとんどみられない。

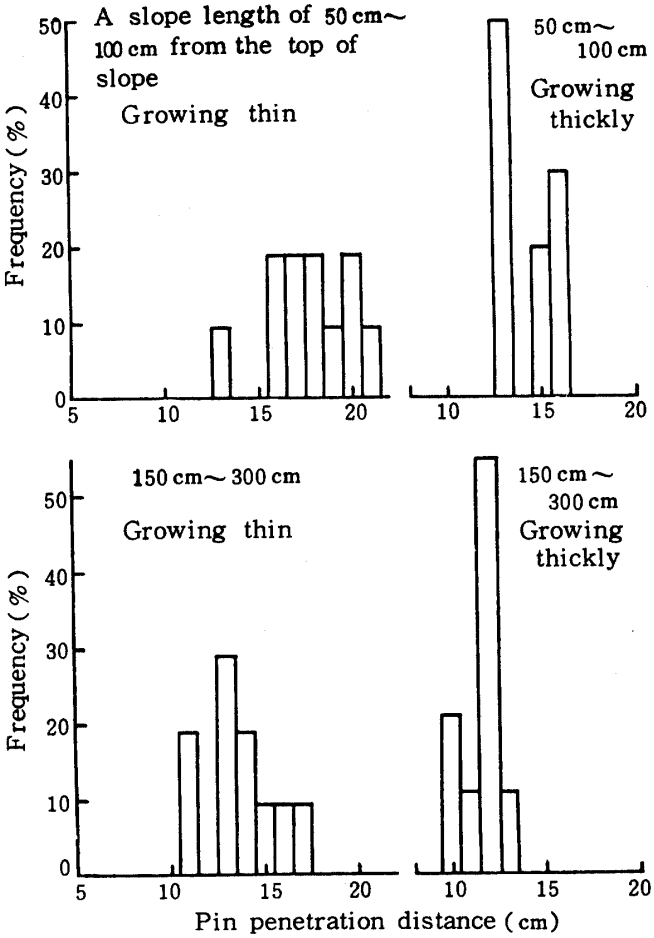

Fig. 7 Hardness in the slope with a vegetation, Gishi, Kochinda-cho

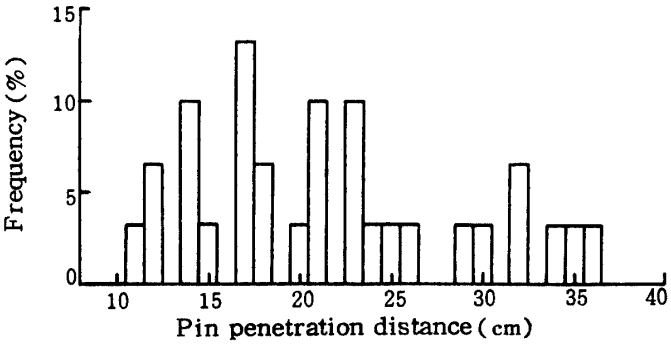

Fig. 8 Hardness in the slope without a vegetation, Gishi, Kochinda-cho

Fig. 9, 10 は高良地内の未崩壊ノリ面におけるピン貫入量と土壌硬度指数の度数を示す。表土ハギ後の軟化泥岩の硬度がP＝25～30cm，Y＝24～26mmの範囲にあるに対し，表面における硬度がP＝35

～44cm，Y＝9～20mmとなっていることは，切土に伴う応力開放による吸水膨張とその後の風化の進行によって一段とルースになったためだと思われる[3]。

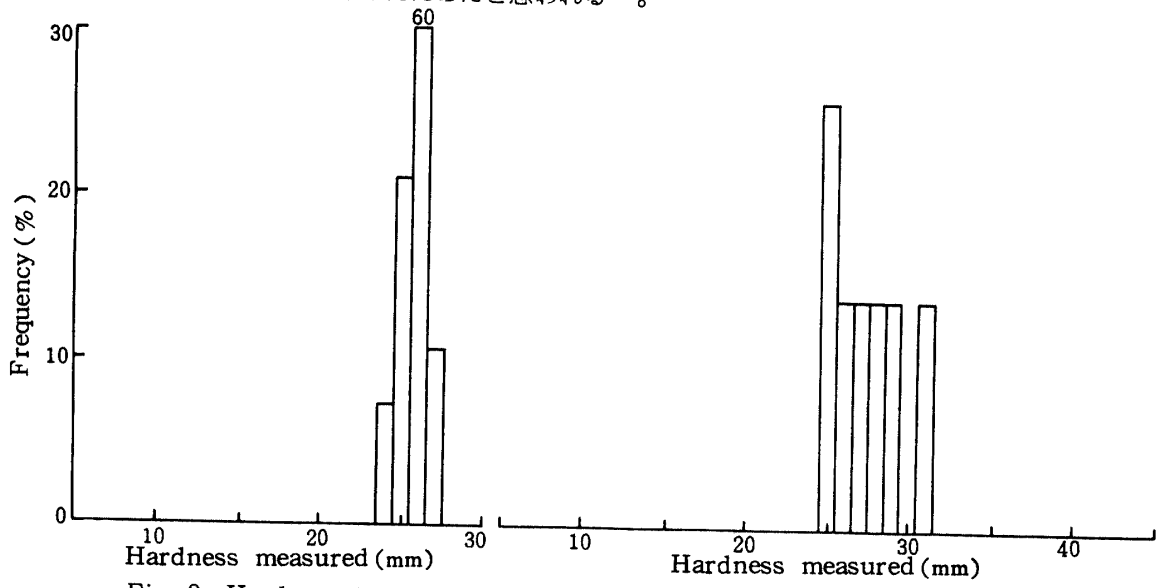

Fig. 9 Hardness in the cutting slope of the softened mudstone after removal of surface soil of about 30cm thickness

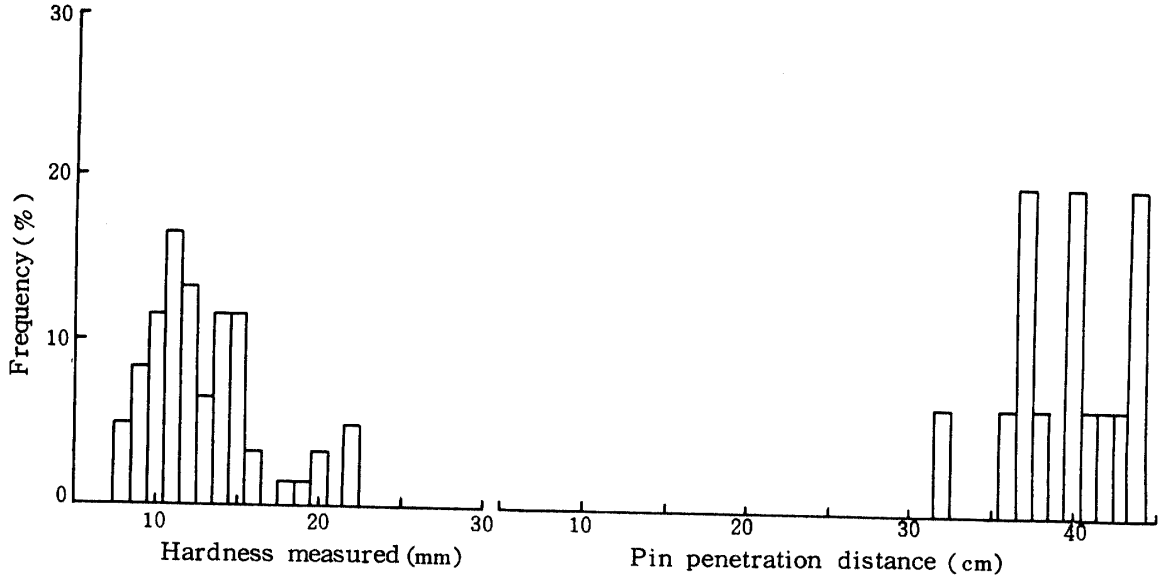

Fig. 10 Hardness in the cutting slope of the softened mudstone, landslide, Takara, Kochinda-cho, December 26. 1977

また，Fig.11に示すように，同一ノリ面の一部にみられるガリ侵食面ではP＝30～40cm，Y＝16～24mmが得られ，Fig. 2に示した非地すべり性斜面における場合と比べてかなりの硬度差といえる。Fig.12は同圃場整備地区の非軟化泥岩切土ノリ面における測定結果であるが，前記した地すべり・崩壊ノリ面と場所的・造成時期的にほとんど同じであることから，両者における差違は地すべり多発地形であるか否かに帰着するようである。

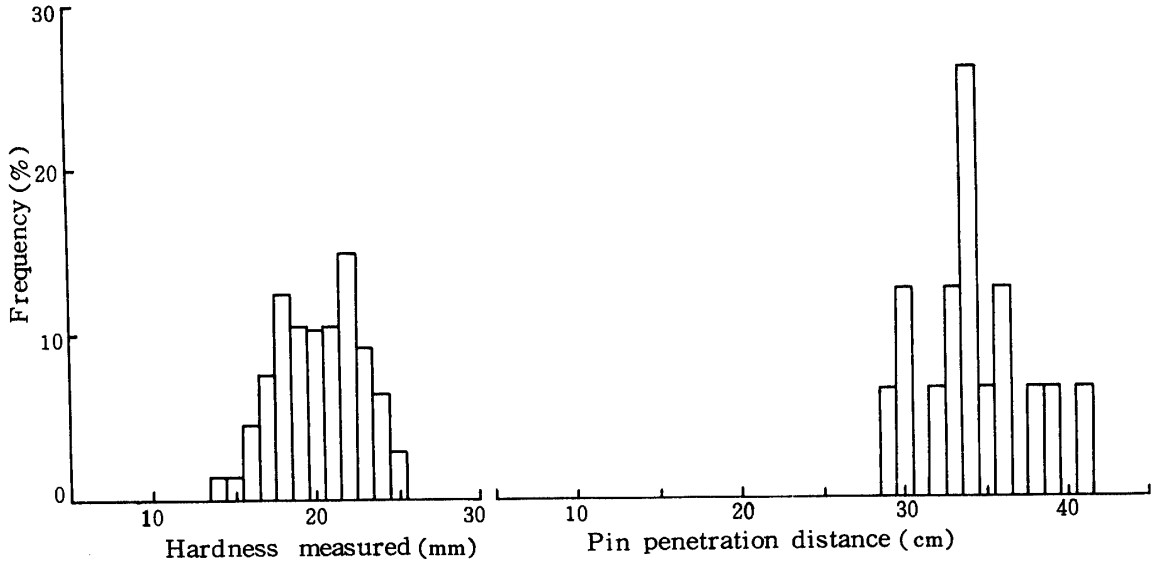

Fig. 11 Hardness in the face of a gully shaped in the slope of the softened mudstone, landslide, Takara, Kochinda-cho, December 26, 1977

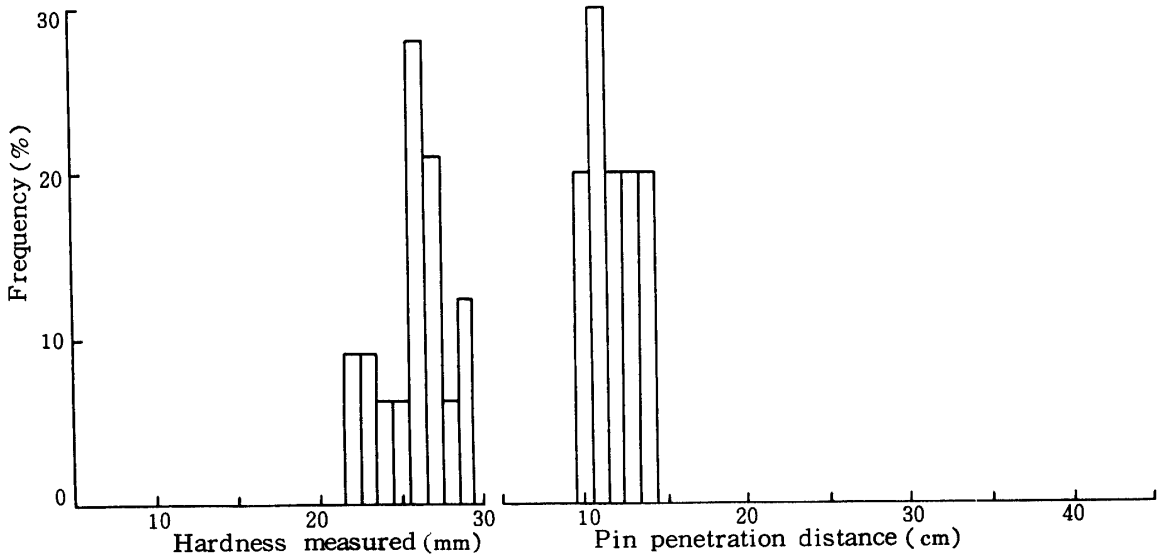

Fig. 12 Hardness in the cutting slope of the non-softened mudstone, Takara, Kochinda-cho, December 26, 1977

Ⅳ 摘 要

びょう打ち銃と山中式土壌硬度計を使用して泥岩切土ノリ面の風化状態と硬度の関係について調査し，以下の結果を得た。

(1) 未風化泥岩のピン貫入量及び硬度指数はそれぞれP＝4～6cm，Y＝34～37mmとなり，泥岩表土ではそれぞれP＝30～40cm，Y＝5～25mmとなる。

(2) ガリ侵食面ではP＝3～8cmとなり，表層風化部が絶えず雨水によって洗掘されて泥岩が露頭している。

(3) 切土面は乾燥・湿潤を繰返し，P＝15～20cmの風化層を早期に形成する。深度25cm付近では含水比変化も小さく，風化速度も緩慢となる。

(4) 非植生ノリ面ではP＝10～37cmが得られ，風化土の崩落や小規模崩壊によってノリ面が絶えず後退している。

(5) 植生ノリ面ではP＝10～17cmが得られ，植生の被覆効果によって表層及び内部の泥岩の乾燥化が抑制され，風化速度も緩慢となる。

(6) 地すべり多発斜面の軟化泥岩の硬度はP＝25～30cm，Y＝24～26mmを示し，かなり強度を低下させている。

最後に，御指導下さった鹿児島大学難波直彦教授と，直接調査・解析を担当した卒業生の知花稔（大栄組）・宜志富紹春（沖縄県土地改良連合会）・九反田浩人（沖縄県農林水産部）・伊芸隆（沖縄県農林水産部）の諸氏に深謝致します。

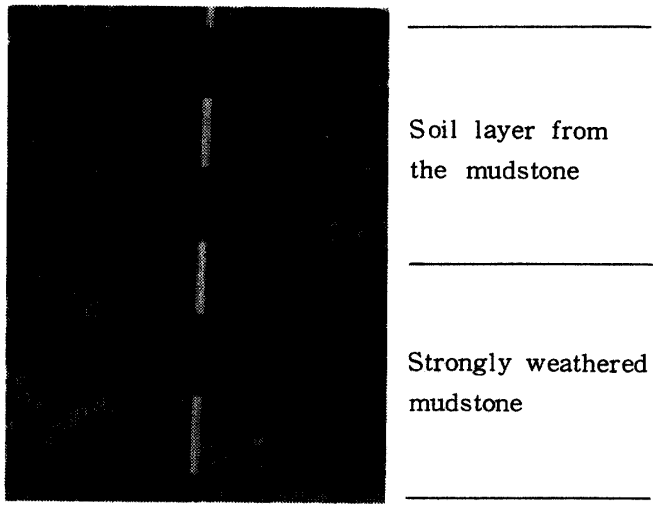

Photo. 1 Typical cutting profile of ground of Shimajiri mudstone close to the surface, Gishi, Kochinda-cho

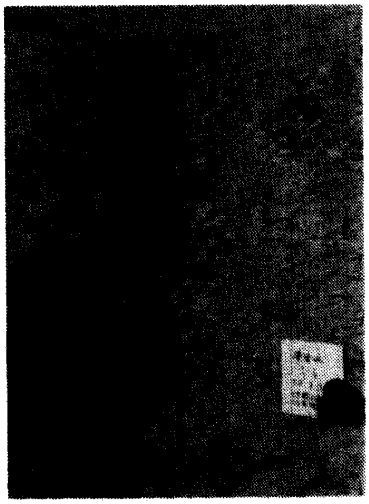

Photo. 2 Typical gully erosion seen in the slope of the non-softened mudstone, Tomigusuku, Tomigusuku-son

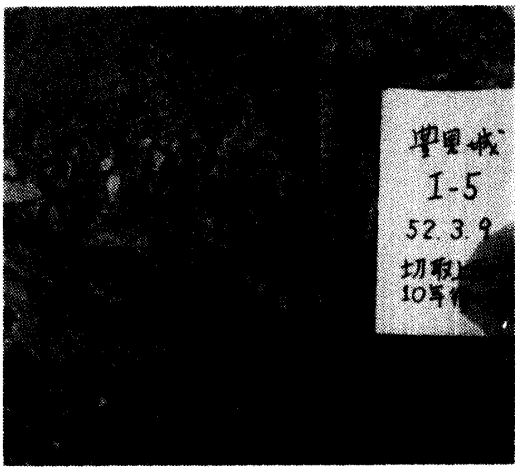

Photo. 3 A profile of the mudstone in the gully by erosion, Tomigusuku, Tomigusuku-son

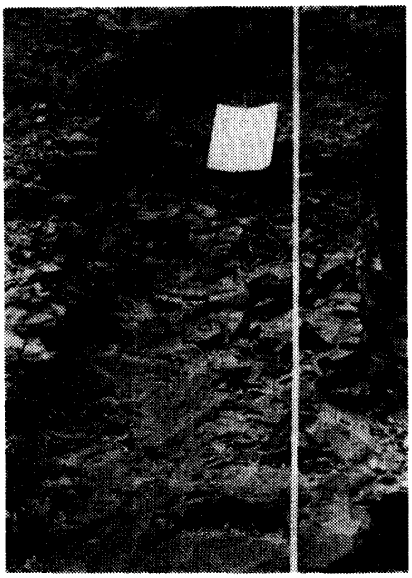

Photo. 4 Slope faces after removal of surface soil, about 2.5cm(left), 10cm(middle) and 25cm(right) thickness respectively, Tohashina, Tomigusuku-son

Photo. 5 Cutting slope with a vegetation used for measurement of hardness, Gishi, Kochinda-cho

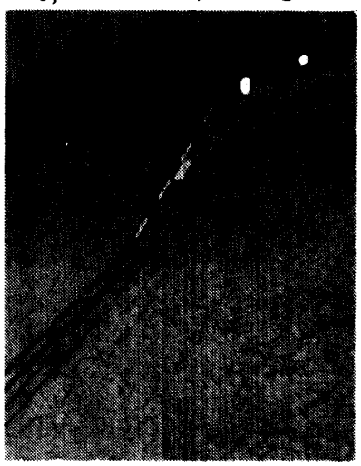

Photo. 6 Cutting slope without a vegetation used for measurement of hardness, Gishi, Kochinda-cho

Photo. 7 A small-scale collapse seen in the cutting slope without a vegetation, Gishi, Kochinda-cho

引 用 文 献

1. 青木茂一 1954 土壌と植生，pp. 126～129，養賢堂，東京
2. 土質工学会編 1974 日本の特殊土，pp. 218～219，土質工学会，東京
3. ―――― 1975 切土ノリ面，pp. 111，土質工学会，東京
4. ―――― 1979 岩の工学的性質と設計・施工への応用，pp. 22，土質工学会，東京
5. 江藤哲人 1978 沖縄本島の島尻層群中にみられる小断層群の性状と新旧関係，琉球列島の地質的研究，3：93～96

6. 宜保清一 1975 代表的沖縄本島土壌の乾燥過程とスレーキングの関係，琉大農学報， 22 ： 279～287
7. ―――― 1976 受食性土塊の崩壊と乾燥の関係，第47回農土学会九州支部シンポジウム〝沖縄の特殊土壌〟 21～33
8. ―――― 1978 島尻層軟化泥岩の残留強度について，琉大農学報， 25 ： 265～281
9. 村上律雄 1969 敷わらの効果に関する農業気象学的研究，研究時報， 21 ： 639～685
10. Ollier, C.D.／松尾新一郎監訳 1971 風化―― その理論と実態，pp. 29，ラティス，東京
11. 新城俊也，小宮康明 1978 乾湿繰返しによる島尻層泥岩の強度低下，琉大農学報， 25 ： 307～323

Summary

Based on the idea that strength is the best index of weathering and implies a hardness when the degree of weathering is classified from the engineering point of view, this report deals with the relationship between the progressive state of weathering and hardness in the cutting slope of Shimajiri mudstone. Measurement of the hardness was conducted by using a pin penetration gun and a soil hardnessmeter of Yamanaka-shiki.

Results obtained are as follows :

1. The pin penetration distance P is expressed in P= 4 − 6cm, and the measured hardness Y in Y=34-37mm, respectively, in unweathered Shimajiri mudstone; and they have been P=30−40cm, and Y=5−25mm, respectively, in the soil layer from the mudstone.
2. P = 3 − 8cm has been obtained in the face of a gully formed by erosion.
3. The cut plane in the mudstone repeats drying and wetting and forms soon a weathered layer with the hardness of P= 15 − 20cm
4. In the slope without vegetation, P= 10 − 37 cm has been obtained, and the face of the slope keeps going back by falling of weathered soil in the mudstone and by small-scale collapse.
5. In the slope covered with vegtation P= 10 − 17 cm has been obtained. It is observed that drying of the mudstone is suppressed by the covering effect.
6. The softened mudstone has such hardness as P=25 − 30 cm and Y=24−26mm, and its strength drops considerably in comparison with that of non-softened mudstone.