

開放型フィルターによる斜面の安定

Stability of a Slope with Open Type Filter

藤原東雄 Haruo FUJIWARA (徳山工業高等専門学校 土木建築工学科)
福田靖 Yasushi FUKUDA (徳山工業高等専門学校 教育研究支援センター)
上俊二 Shunji UE (徳山工業高等専門学校 土木建築工学科)
桑嶋啓治 Keiji KUWAJIMA (徳山工業高等専門学校 土木建築工学科)
常村忠生 Tadao TSUNEMURA ((株)多機能フィルター)

開放型フィルターは、植生を可能とし環境保護を考慮した斜面保護工法である。土砂汚染が深刻な沖縄の国頭マージと南風原泥岩にフィルターで保護し越流実験を行い、限界流量と濁度の関係から、フィルターの効果および性能を考察し、流速緩和に優れていることが明らかとなった。また、フィルターに植生を施すことで侵食強さが増し、植生による効果は大きいことが明らかとなり、この植生の効果を明確にするため一面せん断試験を行い、含根率と粘着力の関係から侵食に対する効果が明らかとなった。

キーワード：斜面侵食，限界流量，濁度，植生，含根率，粘着力 (IGC : E-6)

1. はじめに

山地面積が多く、平野は山地によって分断されている我が国では、社会生活の必要上から、自然の地形に改変を加えて土地を利用する。そのため地盤を不安定化させることとなり自然環境に変化が生じ、なんらかの対策が必要となる。また、地形改変を行う際、環境保全、景観保護の配慮など自然環境の復元の重要性が叫ばれ、自然保護を考慮した開発が求められている。特に斜面処理においては人工的な裸地斜面を周囲の環境と同化させる緑化が重要視されている。緑化の役割は、土砂の流出防止や地盤の安定といった土木工学的な部分から、自然の復元や環境の保全といった生態学的な部分まで拡大されている。斜面の保護・緑化に関する既存技術は、吹付工や植生シート工等種々あるが、いずれも植物を急速に発芽発根させて緑化を達成し、植物の根張り効果により法面の安定に繋げようというものである。これらの弱点は、緑化完成前の降雨で斜面が侵食を受けたり、生育基盤材や種子が流亡し、不均一な緑化となり、環境の悪化という問題を生じかねない。このことから、開発と景観保全の問題を同時に解決する工法として開放型フィルターが開発された。開放型フィルターはビニールシートでは不可能な植生や他の斜面保護工との併用を可能とし、植生期間中は土の侵食を防ぎ、植生後は回収しなくてよいという特徴があり、環境に考慮した工法である。

沖縄では、農地の基盤整備やリゾート開発の進行に対し、斜面保護対策が遅れており、土地が裸地化しているため、降雨により斜面は崩壊し、大量の土砂が流出している。また、斜面から海までの距離も短いため、雨のたびに土砂が海へ流出し、養殖場などの漁業被害やビーチ

封鎖による観光被害を与え、さらには珊瑚礁を死滅させつつある。この様なことから、沖縄では土砂汚染が深刻な問題となり、その対策が急がれている。沖縄本島北部には国頭マージ（赤土）と呼ばれる変成岩風化残積土層が分布しており、これは、受食性が高く、裸地化すると侵食により海域に流出しやすい。また、島南部に広がる南風原泥岩（クチャ）も同様な性質のあることが報告されている¹⁾。そのために様々な流失防止策がなされてきたが、1995年11月に赤土流出防止条例が施行され、海に流出が許される水の濁度は200ppm（水1ℓ中、土の量200mg）以下と定められた。

本報告では国頭マージと南風原泥岩の性質上の違いを調べ、開放型フィルターが赤土流出防止条例の規定を満たしているかどうか、開放型フィルターの侵食に対する効果および性能などについて考察する。また、その効果および性能をより明確にするため、フィルターを用いない斜面で実験を行い、流量と勾配および経過時間による濁度の違いを調べる。薄型のフィルターを使用し、構造の相違による性能と実用性を明らかにし、フィルターに植生を施し、植生による効果を考察する。植生の効果をより明確にするため、植生のみを施し実験を行い比較する。また、一面せん断試験を行い含根率と粘着力の関係から植生による効果を明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

2.1 開放型フィルター

使用したフィルターは、従来のフィルター（厚さ10mm）

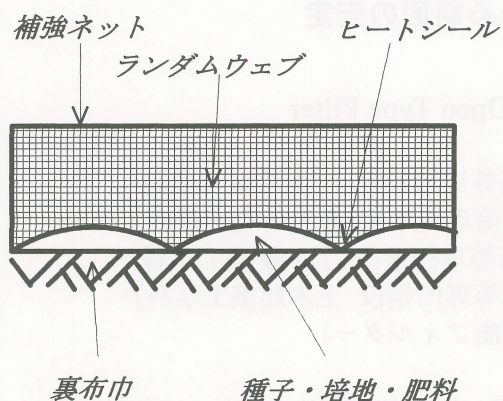


図-1 フィルターの模式図

表-1 試料の物理的性質

		国頭マージ	南風原泥岩
密度	ρ_s (g/cm ³)	2.788	2.676
液性限界	w_L (%)	28.5	59.50
塑性限界	w_P (%)	22.2	26.38
塑性指数	I_P	6.3	33.12

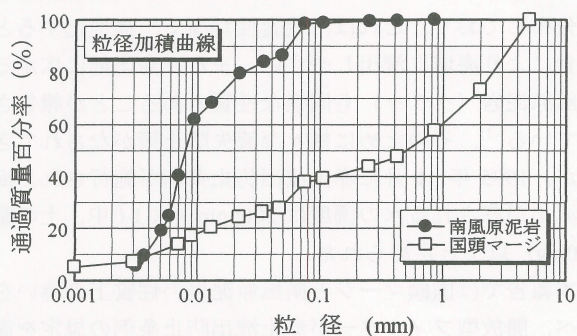


図-2 粒径加積曲線

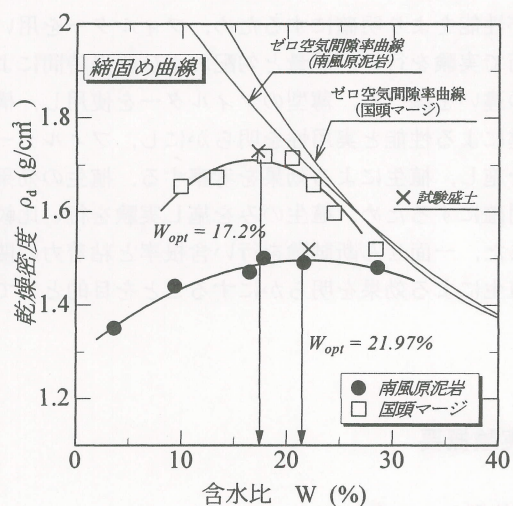


図-3 締固め曲線



施工前



施工直後



施工後5ヶ月

写真-1 沖縄県渡嘉敷村 村道阿波連線仮道建設工事

施工時期 2001年1月

施工条件 種子配合

バヒアグラス、ローズグラス、トールフェスク、ウィーピングアラブグラス、イタチハギ、ヤマハギ、ネムノキ

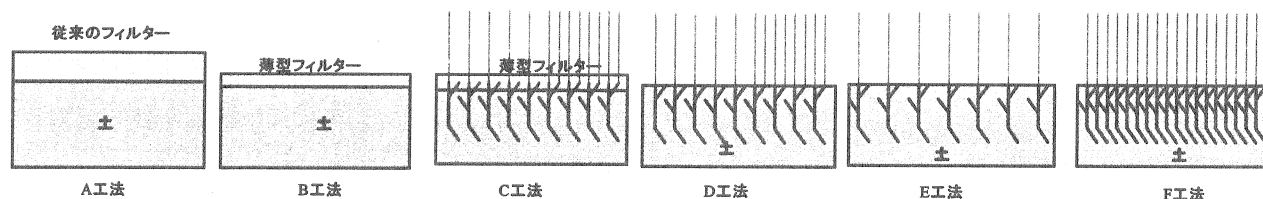


図-4 使用した保護工法

と薄型フィルター（厚さ4.5mm）の2種類で、フィルターの主要な部分は毛細根に似た短い化学製品をランダム配向の形でマット状に不織布化したものである。繊維はポリエステル製で変質せず、極めて柔らかいものである。繊維マットは空隙率97～98%のフィルター構造をしており、濡れても乾いても間隙は変わらず、ランダム配向の繊維は土と馴染み、かつ絡みやすい。個々の繊維の形状は湿潤時でもたわんだり、密着することのないよう中空の筒状をなしている。このランダムウェブは、斜面に張り付けばそのままフィルター層を形成する。その模式図を図-1に示す。機能については、侵食防止、土壌培養、凍上崩落や風害などのシェルターの役割を果たし土砂移動を防ぐ、通気・保水・遮光と夜露や霧雨などを捕まえたり、土中水分の蒸発を防ぐ、雨滴衝撃の吸収などがある。フィルターの施工事例を写真-1に示す。写真-1に見られる様に、開放型フィルター施工後数ヶ月経過すると、緑化しその景観を取り戻す。

2.2 試料の物理的性質

各試料の性質を知るために、液性限界試験、塑性限界試験、密度試験、粒度試験、締固め試験を行った。これらの実験結果は、図-2、図-3および表-1に示すとおりである。

2.3 使用した保護工法

実験した工法は以下の6種類であり、各工法の構造を図-4に示した。

- ・A工法：従来のフィルター（厚さ10mm）
- ・B工法：薄型フィルター（厚さ4.5mm）
- ・C工法：薄型フィルターで植生（根：2cm, 茎：15～20cm）
- ・D工法：植生のみ（間隔1cm, 大：根3cm, 茎25～32cm, 小：根1cm, 茎2.5cm）
- ・E工法：植生のみ（間隔3cm, 大：根2.5cm, 茎20～28cm, 小：根1cm, 茎2cm）
- ・F工法：植生のみ（間隔密, 大：根3cm, 茎25～32cm, 小：根1cm, 茎2.5cm）

ここで、大はトールフェスク、小がバミューダグラスである。また、B工法は、フィルターに植生を併用した場

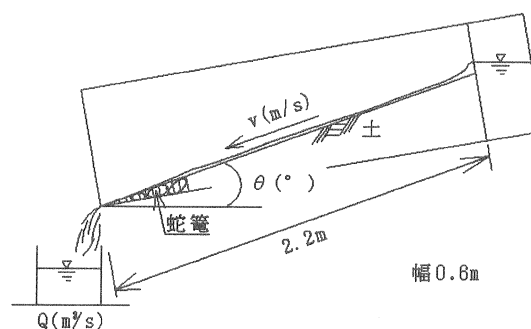


図-5 斜面形状

合の効果を明らかにするために、従来のフィルターより薄型のフィルターを使用した。薄型であることで日光がフィルターに遮られることが減り、効率の良い光合成を行うことが可能となる。斜面表面との密着性も高まり、植物が根を広げる期間が短縮され、発芽・成長の速度は速くなると思われる。なお、すべての植生期間は1ヶ月である。

2.4 限界流量測定試験

降雨実験を行う方が現実に近いため好ましいのだが、降雨実験では斜面の位置により流量、流速が異なるため^{2), 3), 4)}越流実験を行った後、流量を降雨量に換算した。まず試料を5mmふるいでふるい分けし、ふるいを通った土を盛土して締固める。図-5に示すように斜面上部より一様に流れる流量 Q (m³/s)の水を流し（オーバーフロー）、斜面が侵食するまで徐々に流量を上げる。ある流量に達すると、雨水がフィルター内にとどまらずフィルターと土の間を流れ出し、フィルターが波打ち始め、斜面が侵食される。このときの流速を染料により可視化し測定した。濁度が200ppmを超えたときの流量を限界流量とした。斜面勾配は 10° , 20° , 30° および 40° とし、斜面先端部より流出してきた水を採取し、それぞれの水の濁度を測定する。測定は限界流量を1としたときの1/2, 3/4の流量および限界流量について行った。南風原泥岩については水道水の限界流量および1/6, 1/4, 1/3の流量について同様に行った。B工法、C工法、D工法、E工法およびF工法については、斜面勾配は 30° とし、限界流量を測定す

表-2 限界流量測定試験結果（国頭マージ） 奥行 0.6m

$\theta (^{\circ})$	$i^{1/2}$	$Q (m^3/s)$	$v (m/s)$	$A (m^2)$	$h (m)$	n	限界降雨量(mm/h)
10	0.420	3.86×10^{-4}	0.10	3.86×10^{-3}	6.43×10^{-3}	0.13	1052
20	0.603	2.96×10^{-4}	0.11	2.69×10^{-3}	4.48×10^{-3}	0.16	807
30	0.760	2.43×10^{-4}	0.11	2.01×10^{-3}	3.35×10^{-3}	0.22	662
40	0.916	2.31×10^{-4}	0.10	2.31×10^{-3}	3.85×10^{-3}	0.22	630

表-3 限界流量測定試験結果（南風原泥岩） 奥行 0.6m

$\theta (^{\circ})$	$i^{1/2}$	$Q (m^3/s)$	$v (m/s)$	$A (m^2)$	$h (m)$	n	限界降雨量(mm/h)
10	0.420	7.00×10^{-4}	0.20	3.50×10^{-3}	5.83×10^{-3}	0.07	1910
20	0.603	7.00×10^{-4}	0.20	3.50×10^{-3}	5.83×10^{-3}	0.10	1910
30	0.760	7.00×10^{-4}	0.25	2.80×10^{-3}	4.67×10^{-3}	0.08	1910
40	0.916	7.00×10^{-4}	0.25	2.80×10^{-3}	4.67×10^{-3}	0.10	1910

る際、流量 Q を A 工法の限界流量の 1/10 の流量から開始し、限界流量と濁度の相違を調べる。

2.5 濁度試験

フィルターを用いない斜面で、斜面上部より一様に流れる流量の水を流す。赤土流出防止条例の規定の 200ppm の濁度を生じさせる流量を求めるため、斜面勾配を 10° 、 20° 、 30° および 40° で、60 分間で 10 分ごとに流出してきた水を採取し、濁度を測定する。

2.6 一面せん断試験

土より上の茎・葉の部分を取り除いて、根の影響を調べるために、含根率を変化させ、飽和状態と不飽和状態（図-3 の最適含水比の状態）で試験を行い、含根率と粘着力および内部摩擦角の関係を調べた。飽和状態の場合は、せん断箱にセットした後に、水を十分に与え飽和させた。含根率は次の式により求めた。

$$\text{含根率} = \frac{\text{根の乾燥重量}}{\text{土の乾燥重量}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

3. 実験結果と考察

3.1 限界流量測定試験

それぞれの勾配での限界流量 Q と流速 v を表-2 および表-3 に示す。国頭マージにおいて、斜面勾配が大きければ限界流量は小さくなっている。つまり急勾配になるほど少ない流量で限界に達し、フィルターの性能が限界に達することが分かった。南風原泥岩の場合、実験装置の最大水供給量に至っても、200ppm の濁度を発生するに至らず、限界流量を測定することが不可能であった。そこで、最大水供給量に対する結果を示して、国頭マージの結果との比較を行う。したがって、限界流量と勾配の関係は明らかにできなかった。国頭マージの結果をマンニングの式に当てはめる。ここで、 A はフィルター内の

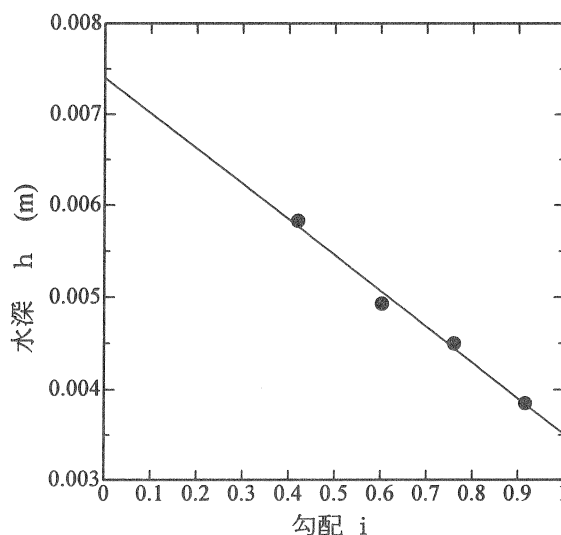


図-6 勾配と水深の関係

$$Q = A \times V \quad (2)$$

(A : 断面積, V : 流速)

$$V = R^{2/3} \times i^{1/2} / n \quad (3)$$

(i : 勾配, R : 径深, n : 粗度係数)

$$R = A / S \quad (4)$$

(S : 潤辺)

$$Q = A^{5/3} \times i^{1/2} / n \quad (5)$$

水の流下断面積、および h は水深である。結果より粗度係数 n は、地盤上（土の水路、直線、等断面で $n=0.016 \sim 0.025$ ）⁵⁾ に水が流れる場合の約 4 倍程度あり、フィルターが流速を相当減少させていると考えられる。図-6 に国頭マージの水深 h と勾配 i の関係を示す。これから斜面勾配が

表-4 国頭マージ($\theta=30^\circ$)における限界流量測定試験

工法	Q/2 のとき	3Q/4 のとき	Q のとき	限界流量 Q (m^3/s)	流速 V (m/s)
	濁度 (ppm)	濁度 (ppm)	濁度 (ppm)		
A	80	100	480	24.3×10^{-5}	0.11
B	120	170	420	3.57×10^{-5}	0.10
C	2	10	460	64.9×10^{-5}	0.21
D	110	180	530	3.33×10^{-5}	0.10
E	110	180	730	2.00×10^{-5}	0.11
F	80	120	430	12.5×10^{-5}	0.11

表-5 南風原泥岩($\theta=30^\circ$)における限界流量測定試験

工法	Q/6 のとき	Q/4 のとき	Q/3 のとき	Q のとき	限界流量 Q (m^3/s)	流速 V (m/s)
	濁度 (ppm)	濁度 (ppm)	濁度 (ppm)	濁度 (ppm)		
A	90	50	100	20	70.0×10^{-5}	0.25

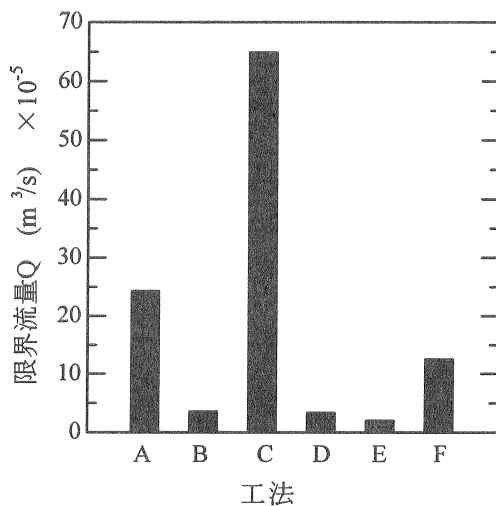


図-7 各工法による限界流量の違い (国頭マージ)

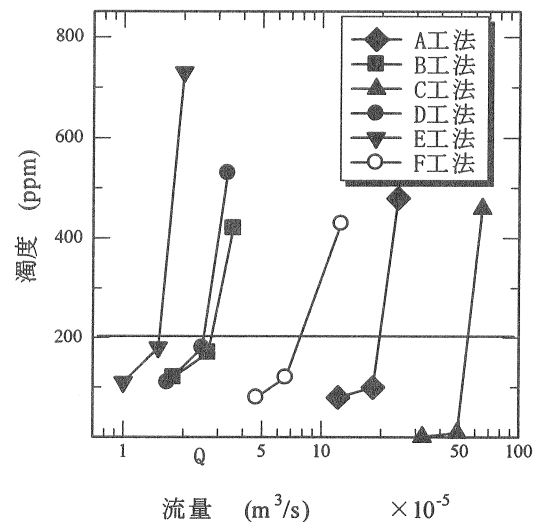


図-8 限界流量と濁度の関係 (国頭マージ)

まれば水深が決まり断面積Aが決まってくる。したがって、式(5)より任意の勾配の限界流量Qが決まる。ここで、粗度係数nは表-2を参考にする。この流量Qより、限界降雨量に換算される。

限界流量以下の流量について、赤土流出防止条例により水の濁度は200ppm以下でなくてはならない。実験結果から表-4および表-5に示すように、国頭マージ、南風原泥岩のいずれも限界流量に達するまでは規定内であった。ゆえに、開放型フィルターは国頭マージおよび南風原泥岩に対してその効果を十分に発揮している。また、斜面勾配 40° のとき国頭マージは $Q=2.31 \times 10^{-4} (\text{m}^3/\text{s})$ で侵食しているが、南風原泥岩は $Q=7.00 \times 10^{-4} (\text{m}^3/\text{s})$ でも侵食していない、したがって、南風原泥岩は国頭マージの限界流量の少なくとも3倍以上の侵食強さがあるといえる。

しかし、南風原泥岩が流出したときの水の色は、肉眼では、濁りを確認するには至らないが、100ppm前後の濁度を記録している。したがって、肉眼だけで判断するのではなく注意が必要である。

薄型フィルターの厚さは4.5mmで従来のフィルターの10mmの約1/2の厚さである。このフィルターの持つ限界流量を測定したところ、従来のフィルターは $Q=2.43 \times 10^{-4} (\text{m}^3/\text{s})$ であるのに対し $Q=3.57 \times 10^{-5} (\text{m}^3/\text{s})$ と約1/7の値で限界に達した。薄型であるためフィルター内部を通る水の量が減り、少ない流量でフィルター内にとどまることができず限界に達する。

図-7は各工法による限界流量の違いを示したものである。植生のみのD工法およびE工法では、結果に大きな差は見られなかったが、植生間隔の密なF工法では限

表-6 $\theta=30^\circ$ における限界流量の換算降雨量(mm/h)
(単位幅 1.0m)

試料	工法	斜面長	
		2.2m	10m
国頭マージ	A	717.6	160
	B	97	22
	C	1770	398
	D	90	20
	E	55	12
	F	340	75
南風原泥岩	A	1910	420

表-7 限界流量の 1/20 の流量の換算降雨量(mm/h)
(単位幅 1.0m)

試料	勾配(°)	斜面長	
		2.2m	10m
国頭マージ	10	52.0	11.7
	20	40.0	9.0
	30	33.1	7.4
	40	31.5	7.0
南風原泥岩	10	95.0	21.1
	20		
	30		
	40		

界流量は大きくなっている, また, B 工法に比べ C 工法は限界流量が極めて大きくなっている. これは後で述べる様に土の粘着力を大きくすることと, フィルターと植生を併用すれば相乗効果が現れ, 単独よりも 10 倍程度の限界流量になると考えられる. 図-8 に示すように, 限界流量までは濁度は 200ppm 以下になっている. このことより限界流量以下では, 侵食を防ぐという機能には差が見られない. 植生による効果では, 間隔 3cm—間隔 1cm—間隔密の順で限界流量は大きく, これは 3cm 間隔では土と根の粘着しかないのに対して, 1cm 間隔では植物同士の根の結びつきが加わったためと思われ, 間隔を密にすることでよりいっそう土と根の結びつきが強くなったものと思われる^{6), 7), 8), 9)}.

降雨強度 r (mm/h) が模型斜面に降り続くとすると, 総降雨量は

$$q = \frac{1}{3.6 \times 10^{-6}} rBL \quad (m^3/sec) \quad (6)$$

ここに, B : 幅(m), L : 長さ(m)である.

総降雨量が流出量に等しいとして, 左辺に実験で得られた限界流量 Q を, 右辺には単位幅 $B=1$ (m) および長さ $L=2.2$ (m) を代入すれば, 換算降雨強度が表-6 のように求められる. この表では斜面長を 10m としたときの降雨強

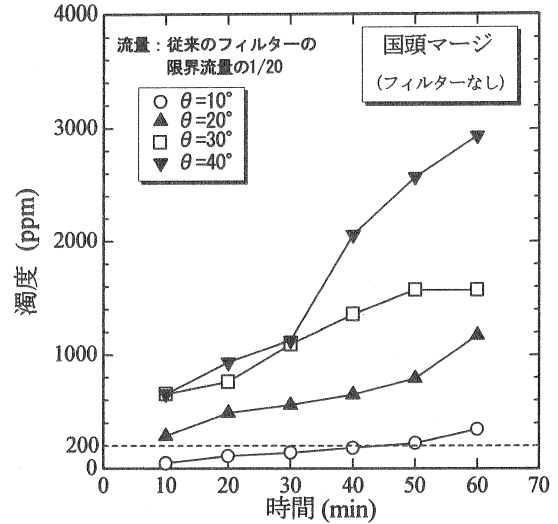


図-9 濁度試験結果 (国頭マージ)

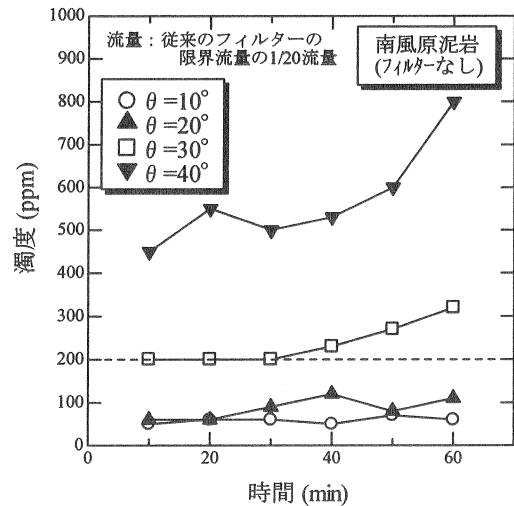


図-10 濁度試験結果 (南風原泥岩)

度も示している. B 工法は斜面長 2.2m で 97mm/h, 斜面長 10m で換算すると, 22mm/h である. 沖縄での過去最高の降雨量は 103mm/h¹²⁾ であり, 2つの値を比較すると斜面長 2.2m では差が少ない. しかし現場では, 斜面長 2.2m 以上の所が多くあり, 日照と降雨による乾湿の繰り返しによる影響で, より少ない降雨量で斜面の崩壊が考えられる. したがって, 薄型フィルターと植生を併用する場合は植生にとって良好な時期に施工する必要がある.

3.2 濁度試験

図-9 および図-10 は国頭マージと南風原泥岩の裸地の場合での勾配と経過時間による濁度の変化を表したものである. 結果よりそのほとんどが時間の経過と勾配の上昇により, 濁度が増加していることが分かる. 時間の経過による濁度の増加は, 時間が経つにつれて斜面の凹凸が多くなり崩れやすくなったためと考えられる. また斜

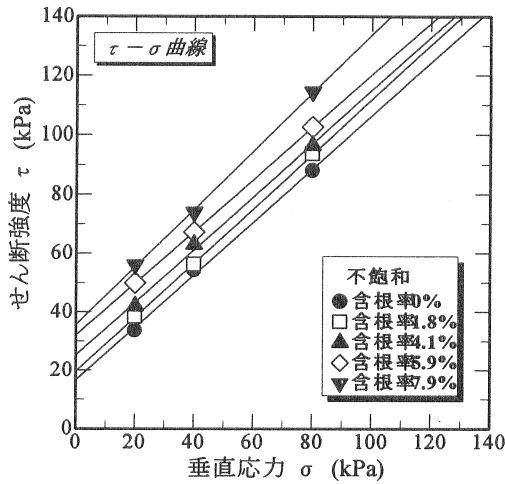


図-11 垂直応力とせん断強度の関係
(国頭マージ：不飽和状態)

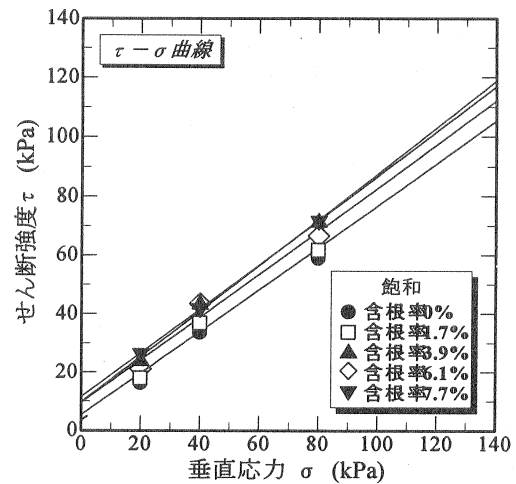


図-12 垂直応力とせん断強度の関係
(国頭マージ：飽和状態)

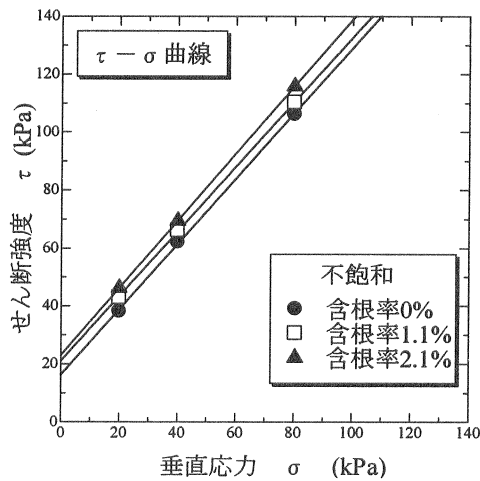


図-13 垂直応力とせん断強度の関係
(南風原泥岩：不飽和状態)

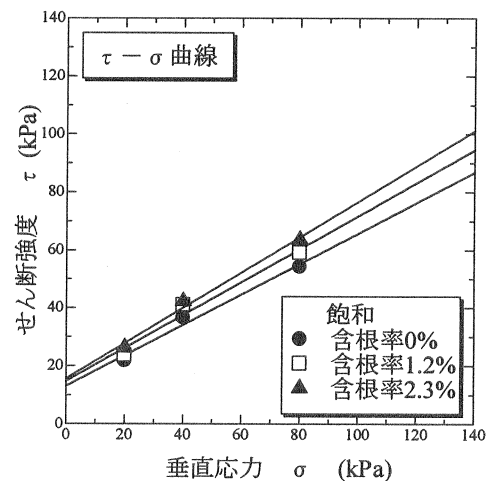


図-14 垂直応力とせん断強度の関係
(南風原泥岩：飽和状態)

面勾配の上昇による濁度の増加は、勾配が上がると流速が速くなり摩擦抗力が強まったためと考えられる。濁度試験結果を見るとほとんどの斜面で条例に定められている 200ppm を上まわっている。国頭マージは南風原泥岩に比べ全体的に濁度が大きくなっている。これは、斜面の表面は侵食に弱く、剥離・掃流力の影響も受けやすい。一度侵食された箇所が水が浸透し、水の流れる溝を形成し連続的に侵食が起きた。 $\theta=10^\circ$ を除く斜面では実験開始から 20 分前後には溝が形成され、その時点で濁度は 200ppm をこえていた。つまり、国頭マージは裸地化の状態では締固めの影響は少なく、早い段階で表面は崩壊し内部の崩壊が始まると考えられる。国頭マージでは $\theta=10^\circ$ の時が、南風原泥岩では $\theta=30^\circ$ の時が 200ppm の境である。このときの流量を降雨量に換算したものを表-7 に示す。沖縄において降水量が 10mm/h を越す日数は、毎月平均約 4 日間で梅雨や台風の時期では約 6 日間である¹⁰⁾。

つまり普通の降雨により 200ppm を越す可能性が大きい。

3.3 一面せん断試験

図-11 は国頭マージの不飽和状態の垂直応力とせん断強度の関係を示したものである。含根率の増加に伴いせん断強度が増加していることがわかる。しかし、図-12 に示すように、飽和状態では含根率の増加によりせん断強度は増加傾向にあるものの、差は少ししか見られない。同様に南風原泥岩の結果を図-13 および図-14 に示す。南風原泥岩についても、含根率の増加に伴いせん断強度は増加している。含根率と粘着力の関係を図-15 に示す。含根率の増加とともに粘着力も増している。しかし、図-16 に示すように内部摩擦角は含根率に関係なくほぼ同じ値となっている。飽和した試料においても不飽和の試料においても、国頭マージより南風原泥岩の方が粘着力が高く、また飽和状態では間隙水により粘着性が落ちるため、

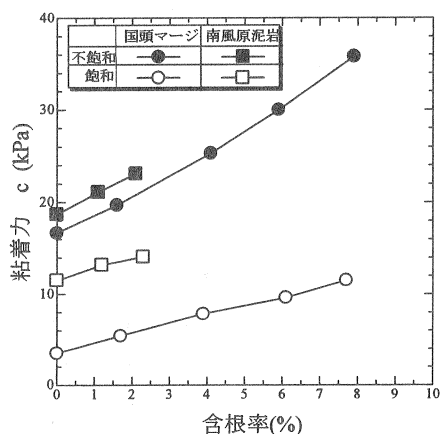


図-15 含根率と粘着力の関係

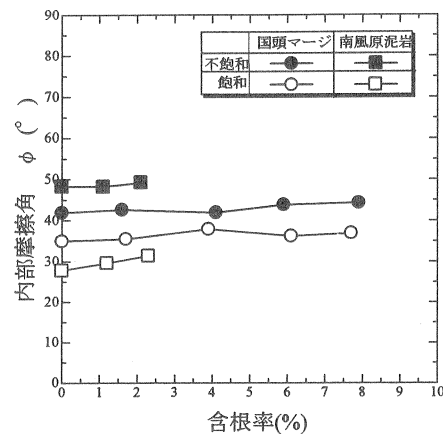


図-16 含根率と内部摩擦角の関係

不飽和状態の結果に比べ粘着力の増加が少ないことが分かる。しかし国頭マージの場合、植生なしのものに比べると含根率 8%の結果は飽和、不飽和問わず 2 倍程度の粘着力が出ているため植生による効果は十分あるといえが、植生してから数ヶ月間は植物も十分な成長が見られないためその間の降雨による侵食は避けられない。南風原泥岩については、密な間隔で植生を施し数ヶ月間育てたが、思ったように含根率が増えなかった。このことから南風原泥岩は、植生のみでの増加はある程度までしか望めないと考えられる。そこで開放型フィルターとの併用が有効となってくる^{11), 12)}。

4. まとめ

開放型フィルターで斜面を保護し越流実験を行い、以下のことが明らかになった。

- 1) 開放型フィルターは斜面上を流れる水の流速緩和に優れている。
- 2) 薄型フィルターは従来のフィルターと同様の機能を持つが限界降雨量の差は大きく、梅雨などの多雨期を避けた施工が望まれる。
- 3) 薄型フィルターに植生を施すことで侵食強さは増加し、その効果は大きい。
- 4) 植生のみによる斜面保護を行うときは、多雨期を避け密な植生で、植生期間は十分とる必要がある。
- 5) フィルターを用いた場合と用いない場合では濁度の量にかなりの差が生じ、フィルターを用いない場合は斜面勾配と時間経過の増加に伴い濁度は増加した。

参考文献

- 1) 満本裕彰, 大見謝辰男, 比嘉榮三郎, 花城可英: クチャ (島尻層群泥岩) の流出について (第 2 報), 第 10 回沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 59-60, 1997.
- 2) 藤原東雄, 上俊二, 福田靖, 常村忠生: 多機能フィル

ターを用いた斜面保護に対する降雨実験, 第 29 回土質工学研究発表会講演概要集, pp. 1795-1796, 1994.

- 3) 藤原東雄, 上俊二, 福田靖, 常村忠生: 開放型フィルターを用いた斜面保護に対する降雨実験, 第 30 回土質工学研究発表会講演概要集, pp. 1771-1772, 1995.
- 4) 藤原東雄, 上俊二, 福田靖, 常村忠生: 開放型フィルターを用いた斜面保護に対する降雨実験, 第 31 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 2005-2006, 1996.
- 5) 土木学会: 土木工学ハンドブック I, p. 494.
- 6) 藤原東雄, 上俊二, 福田靖, 桑嶋啓治, 常村忠生: 開放型フィルターを用いた限界流量に対する濁度試験, 第 10 回沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 71-72, 1997.
- 7) 藤原東雄, 上俊二, 福田靖, 桑嶋啓治, 常村忠生: 開放型フィルターを用いた限界流量に対する濁度試験, 第 33 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 1745-1746, 1998.
- 8) 藤原東雄, 上俊二, 福田靖, 桑嶋啓治, 常村忠生: 開放型フィルターを用いた限界流量に対する濁度試験, 第 34 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 2153-2154, 1999.
- 9) 藤原東雄, 福田靖, 上俊二, 桑嶋啓治, 常村忠生: 開放型フィルターを用いた斜面に対する限界流量と濁度試験, 地盤工学における生態系を考慮した環境評価に関するフォーラム発表論文集, pp. 31-38, 1999.
- 10) 小平桂一: 理科年表平成 10 年, 丸善株式会社 pp. 228-229, 1998.
- 11) 藤原東雄, 福田靖, 上俊二, 桑嶋啓治, 常村忠生: 開放型フィルターを用い植生を施した斜面保護, 第 35 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 2473-2474, 2000.
- 12) 藤原東雄, 福田靖, 上俊二, 桑嶋啓治, 常村忠生: 開放型フィルターと植生を併用した斜面保護, 第 36 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 2445-2446, 2001.