林道切取りのり面における緑化工施工箇所選定法の提案

山本仁志*・小林洋司**・遠藤治郎*・大塚雍雄*・近嵐弘栄*

A Trial Plan Regarding the Selection Method of Constructed Points for the Revegetation on the Cutting Slope Surface

YAMAMOTO Masashi*, KOBAYASHI Hiroshi**, ENDO Jiro*,
OHTUKA Yasuo* and CHIKAKARASHI Hiroei*

1. はじめに

林道の切取りのり面における崩落土砂発生面では、降雨や降雪の繰り返しで、崩落土砂量は少量であるが、崩落侵食現象が常時発生している。このような崩落侵食土砂の発生が多い切取りのり面には、緑化工を施工して崩落侵食の対策とすることが必要である。そのために、緑化工を施工するに当たり、崩落侵食土砂量の推定値に基づいて緑化工の施工箇所や工種、混播割合を評価判定するのが望ましい。

一般道路，鉄道における直接交通障害となる切取りのり面の崩壊については，降雨との関係，崩壊発生予測やのり面崩壊の危険度評価などの研究がある^{2,5,9)}。林道では，谷沿いから山腹に施工されるにすぎないが，岩石のり面よりも土砂，土石の切取りのり面が多くなり，このような林道の切取りのり面では，降雪，降雨の繰り返して，崩落侵食土砂が常時発生している。この崩落土砂は，林道保全の上からも少なからぬ影響がある^{1,3,4)}。

新設林道では切取りのり面の全面に緑化工を行うようになったが、既設林道では裸地状態の切取りのり面が少なからず見られる。低規格林道や簡易林道においてはほとんどの切取りのり面に緑化工が行われていない。

このような崩落土砂侵食の発生の多い切取りのり面には緑化工を施工することが必要である。そのために、崩落侵食土砂量で路線を区分し、緑化工の施工箇所の適正な選定、コンクリートよう壁か、金網張り工かの施工種の判別、また、種子資材の混播割合を評価するために、数量化法が応用されている^{6,7,8)}。ここでは、のり面形状観察の要因と土質学的要因から、のり面崩落侵食土砂量区分を予測判定し、のり面崩落侵食土砂量の推定を試みた。

まず、数量化Ⅰ類を適用し、説明要因としては、のり面凹凸形状観察から得た要因に加えて、容易に行える土質工学試験の要因で、崩落侵食土砂量の推定を試みた。

次に数量化II類を適用し、のり面崩壊侵食土砂量区分を外的基準にして解析した。

2. 実験方法および資料

資料は、花崗岩を母岩とする粘性土質の降雨の多い山岳地域である新潟県五頭山国有林林道切り取りのり面から得られた。1987年から1988年にかけて、前橋営林局新発田営林署管内の五頭山塊西斜面の林道6路線(総延長約10 km)の切り取りのり面裸地部分から得た46箇所の直接一面セン断試験、のり面表土のフルイ分け試験、実容積試験の土質工学的要因とのり面形状調査の環境要因について調査データを得た。

崩落侵食土砂量を予測するために、説明要因として数量で表現出来る定量的要因だけでなく、分類で

* 新潟大学農学部
Fac. of Agric., Niigata Univ. Niigata, Igarashi 950-21

** 東京大学農学部
Fac. of Agric., Univ. of Tokyo Tokyo, Bunkyo-ku 113

表現できる定性的要因(例えば、のり面の位置が凹、凸地形である。または平行地形である。という表現ができる)を含むため、今回は数量化Ⅰ類、Ⅱ類の手法を適用して土質工学的要因、環境要因と崩落侵食土砂量の推定量に關係する要因を検討した¹⁰⁾。また、この手法を適用することによって定量的計測値を何 m 以下、何 m から何 m までというように分類し、大小關係での比較表現が可能である。

崩落侵食土砂量の算出モデルとして、次のような体積を理論値とした。のり面形状の測定は図-1に示すA点からB点到測線を張り、この測線 AB と地表線との鉛直距離を測線長(測線 AB 間)斜距50 cm 間隔で下から測定した。さらに測線 AB の長さ(L)と、測線 AB と路盤線ののり面側の角(α)($\angle ABC$)を測定した。のり面崩壊土砂量はのり面 1 m^2 当りに侵食されたであろう推定土砂量である。この算出方法は図-1に示すように道路横断面図にのり面形状を書き込み、のり面施工勾配線と地表線とで囲まれた山側の部分(図-1で右側、ハッチング部分)の面積に幅1 m を乗じ施工のり長、施工經過年で除した値である^{11,12,14)}。

直線一面セン断試験は在来型セン断試験機を用いて行った。この試験の試料はマイター・ボックス(直径60 mm)と突き棒(直径25 mm 突き固め圧力10 Kgf)とで15回突き固めた。試験はセン断速度1 mm/min で、垂直荷重を0.05, 0.15, 0.25 Kgf と変化させて行った。その結果、1 試料につき3 個のデータを得た。さらにのり面表土のサンプルを用い4.76

mm $\sim$ 0.74 mm の標準フルイを用いてフルイ分け試験を行った¹³⁾。

のり面表土から採取した土壌サンプルは重量を測定した後、DIK-100 型実容積試験機を用いて測定し、固相重量、孔隙率、仮比重、含水量を算出した^{15,16)}。

のり面形状の調査をした五頭山塊の地質は、主に花崗岩であり、他に第三紀層、第四紀層が分布する。降雨量は、近傍の津川観測点で年降雨量2,549 mm であった¹⁵⁾。

3. 算出結果と考察

3.1 崩落侵食土砂量に影響する要因の抽出

崩壊には、素因として、地質、土質、地形、斜面勾配などがあげられ、誘因として、降雨、融雪の作用や人為的作用などがある。また、林道切り取りのり面崩落の場合、地形、地質、斜面勾配、標高、のり面勾配、降雨、融雪、湧水、のり肩の林況などが考えられる。そこで、とりあげた要因は、土質工学的要因として、見かけの内部摩擦角(ϕ)、見かけの粘着力(c)、標準フルイ2,000 μm 通過率、420 μm 通過率、74 μm 通過率、100 ml の実容積、重量、固相重量、孔隙率、見かけの比重、含水量の11項目と、のり面形状調査から得た環境要因として、1) のり面方位、2) 地形勾配、3) 切込み量(切り取り深さ)、4) 施工のり面勾配、5) 施工のり長、6) 標高、7) のり面位置(地形図での凹地形、平行地形、凸地形)、8) のり面形状型(のり面が全面で侵食され、堆積土がほとんどない型：A型、のり面上部が侵食され、中央部から下部に堆積した型：B型、のり面中央部より上部が侵食され、下部に堆積がない型：C型、のり面中央部より下部まで侵食され、堆積がない型：D型、判定できない型：E型)の8項目である。

3.2 数量化手法の適用の結果

3.2.1 数量化Ⅰ類(外的基準を崩落侵食土砂量とした場合)

まず、説明要因について述べると、崩落侵食土砂量との単相関の相関係数を求めた場合、各々の要因には強い相関は見られなかった。土質工学的要因では、直接一面セン断試験の見かけの粘着力が見かけの内部摩擦角より高く、標準フルイ試験の2,000 μm 標準フルイ試験が420 μm 、74 μm 標準フルイ試験より高く、実容積試験の重量、固相重量が他の試験項目より高かった。7つの環境要因では、のり勾配、

図1 測線によるのり面測量

表 1 環境要因 8 アイテム31カテゴリーと土質工学的要因11アイテム31カテゴリーの表（試算過程におけるアイテム・カテゴリーに対する重相関係数の変化）

アイテム	カテゴリー	試算 1	試算 2	試算 3	試算 4	試算 5	試算 6	試算 7
見かけの内部角	～34° 35°～	2 0.102*		2 0.484*				
見かけの粘着力	～0.2 kgf/m ² 0.2～0.3 kgf/m ² 0.3 kgf/m ² ～	3 0.901*		3 0.476*			3 0.255*	
2,000 μm フルイ 通過率	～60% 60～70% 70%～	3 0.965*			3 0.665*			
420 μm フルイ 通過率	～10% 10～20% 20%～	3 0.969*			3 0.769*			
74 μm フルイ 通過 率	～2.0% 2.0～4.0%	2 0.964*			2 0.560*			
実容積	30～45 ml 46～60 ml 61～75 ml	3 0.965*				3 0.383*		3 0.534*
重量	～130 g 130 g～	2 0.060*				2 0.657*		
固相重量	～70 g 70～100 g 100 g～	3 0.932*				3 0.512*		
孔隙率	～60% 60～70% ～70%	3 0.955*				3 0.210*		
比重	～2.50 ～2.60 ～2.70 2.70～	4 0.935*				4 0.560*		4 0.370*
含水量	～20% 20～30% 30%～	3 0.962*				3 0.224*		
のり面方位	N S E W NE NW SE SW	8 0.942*	8 0.485*	8 0.567*	8 0.714*	8 0.706*	8 0.515*	8 0.594*
切込み量	～3 m 3 m～4 m 4 m～	3 0.961*	3 0.194*	3 0.351*	3 0.572*	3 0.510*		
地形勾配	～22° ～31° 32°～ ～20° ～30° ～35° ～40° 40°～	3 0.963*	3 0.049*	3 0.278*	3 0.473*	3 0.350*	5 0.485*	
のり長	～3 m 3 m～4 m 4 m～5 m 5 m～	4 0.847*	4 0.100*	4 0.353*	4 0.291*	4 0.463*		
のり面勾配	～55° 56°～60° 61°～	3 0.737*	3 0.247*	3 0.338*	3 0.429*	3 0.545*	3 0.415*	
標高	～200 m 200 m～400 m	2 0.813*	2 0.252*	2 0.121*	2 0.481*	2 0.407*		
のり面位置	谷 山腹 尾根	3 0.823*	3 0.341*	3 0.236*	3 0.557*	3 0.321*		3 0.431*
形状	A型 B型 C型 D型 E型	5 0.944*		5 0.676*	5 0.719*	5 0.754*		
アイテム数		19	7	10	11	14	4	4
カテゴリー数		62	26	36	39	49	19	18
重相関係数		0.985	0.631	0.810	0.896	0.882	0.666	0.710

表中、上の数字はカテゴリー数 * は偏相関係数

のり長、のり面位置が地形勾配、のり面方位、切込量、標高に比べて高い値を示した。しかし、全体的には、相関係数は、0.29～0.04の間で個々の要因と崩落侵食土砂量との間に相関があるとは言えない。そこで、崩落侵食土砂量は、一個の説明要因でなく、寄与率の高い適切な説明要因数個を用いて決定するのが妥当であると考えられる。崩落侵食土砂量を多くの要因について調査、分析を行うには多大の労力と経費がかかるので、説明要因（調査項目）をしぼり込むことが求められている。崩落侵食土砂量は、数個の説明要因で説明が可能であり、調査にかかる労力と経費が節減できる。

土質工学的要因11項目と環境要因8項目を用いて各アイテムの各カテゴリーのカテゴリー数量(SCORE)を算出するために、各アイテムのカテゴリーを表-1のように表現した。切取りのり面において各アイテムの該当するカテゴリーのカテゴリー数量を総計した値が、その切取りのり面の予測崩落侵食土砂量である。

まず、土質工学的要因11アイテムと環境要因8アイテムの18アイテム62カテゴリーで算出した場合、表-1の試算1のように重相関係数が0.985となり、重相関係数は高いが、説明要因の数が多いため、以下のように試算を繰り返した。次に、環境要因ののり面形状は、のり面が崩落を生じ、侵食された後の形、すなわち侵食後ののり面表土の状態と考えられるので、これを除き、環境要因は、のり面方位、切込量、地形勾配、のり勾配、のり長、標高、のり面位置の7項目とした。環境要因7アイテムの試算(表-1の試算2)による重相関係数は、0.631と低いが、環境要因7項目による崩壊土砂量の算定も可能と考えられる。ここで、土質工学的要因すべてを各切取りのり面で測定することは経済的、人的負担が大きいのと思われる。しかし、土質工学要因はのり面の基本的性質を表しているの、完全に除外しない場合の例を考える。7環境要因は、観測が簡易な上、短期間に調査が行えるものと考えられる。そこで、直

接一面セン断試験と環境要因との組合せ、標準フルイ分け試験と環境要因との組合せ、実容積試験と環境要因との組合せを考えた。この3組合せで試算(表-1の試算3, 4, 5)の結果、これらの重相関係数は、0.810, 0.896と0.882であった。

次に、土質工学的要因と環境要因の相関係数の小さいアイテム、また偏相関係数の低いアイテムを順次除いて、数量化I類を用いてアイテム・カテゴリーの数量の算出を順次アイテムを減らしながら、試算を繰り返した。すなわち、のり面形状は先の理由から除き、また、偏相関係数の小さな「標高」を除いて試算を繰り返し行った。その結果、直接一面セン断試験に関しては見かけの粘着力、環境要因ではのり面方位、地形勾配、施工のり面勾配が残り、その重相関係数は0.666であった(表-1の試算6)。また、実容積試験の6アイテムと環境要因7アイテムの組

表3 4 アイカム・19カテゴリーカテゴリーの数量(SCORE)

アイテム	カテゴリー	数量 (score)
420 μ m 標準フルイ通過率	～10%	0.153
	～20%	0.120
	20%～	0.012
のり面方位	N	0.000
	NE	0.096
	E	0.016
	SE	0.022
	S	-0.068
	SW	-0.092
	W	-0.188
地形勾配	NW	0.103
	～20°	0.000
	～30°	0.035
	～35°	0.028
	～40°	0.155
のり勾配	40°～	0.011
	～55°	0.000
	56°～60°	-0.093
	61°～	-0.091

表2 相関表

	420 μ m 標準フルイ通過率	のり面方位	地形勾配	のり勾配
420 μ m 標準フルイ通過率	1.000	0.299	0.008	-0.297
のり面方位		1.000	-0.294	-0.133
地形勾配			1.000	-0.034
のり勾配				1.000

表 5 のり面崩落侵食量の表 3による計算例

	m ² 当たりの 侵食量(m ³)	420 μ m フルイ 通過率(%)	方位	地形勾配 (°)	のり勾配 (°)	推定崩落 侵食量(m ²)
角田	0.0234	32.8	SE	19	55	
スコアー*		0.012	0.022	0.000	0.000	0.034
弥彦A	0.0479	38.6	NW	23	63	
スコアー*		0.012	0.103	0.035	-0.091	0.059
弥彦B	0.0318	34.0	NW	18	63	
スコアー*		0.012	0.103	0.000	-0.091	0.024

*：表 3参照

表 4 重相関係数と偏相関係数

偏相関係数	420 μ m 標準フルイ通過率	0.569
	のり面方位	0.675
	地形勾配	0.621
	のり勾配	0.536
重相関係数		0.769

合せでの試算では、実容積，比重，のり面方位，のり面位置の4要因となった。この重相関係数は0.710であった（表-1の試算7）。

さらに標準フルイ試験の3アイテムと環境要因7アイテム（のり面形状を除く）の組合せでは420 μ m 標準フルイ通過率と3環境要因（のり面方位，地形勾配，のり面勾配）が残り，重相関係数は0.769となったのでこれを経済的な説明要因と位置づけた。この結果の相関表を表-2に，カテゴリー数量（SCORE）を表-3に，そして重相関係数と偏相関係数を表-4に示した。

結果の表-3の具体的なデータによる推定量の計算例を表-5に示した。適用地点は，地量化Ⅰ類によるスコア算出点と異なる弥彦，角田山の3箇所である。適用地点ののり面測定値を表-3の該当するカテゴリーの数値に置き換えると，その合計値は推定崩落侵食量となる。すなわち，一番目の角田の場合，420 μ m 標準フルイ通過率が32.8%で0.012，のり面方位がSEで0.022，地形勾配が19°で0.000，のり面勾配が55°で0.000となり，その合計は，0.034である。この0.034がこの測定のり面箇所における1m²当たり0.034m³の崩落侵食土砂量という推定値である。

3.2.2 数量化Ⅱ類(外的基準をのり面崩壊土砂量区分(多い，少ないの2分類)にした場合)
のり面が侵食され，具体的にのり面の土砂の移動が進行している間は植生は入らない。このため，土

砂の移動を防止する緑化基礎工の施工を付加したのり面保護工が必要となる。ここで，のり面崩落侵食土砂量を1m²当たり0.02m³以下とそれ以上との2分類を外的基準にして数量化Ⅱ類の手法で，5つの環境要因（のり面方位，地形勾配，切込量，のり勾配，標高）と測定容易な土質工学的要因の420 μ m 標準フルイ通過率，土の自然含水比を用いて検討した。

その結果，表-6のようなSCOREと偏相関係数，重相関係数，大小の区分点-0.4616を得た。のり面崩落侵食土砂量が1m²当たり0.02m³以下の場合の具体的なカテゴリーの組合せは，のり面方位がWとNWとSEで，地形勾配が35°以下で，切込量が2mから3mと4mから6mで，のり勾配が60°以下で，標高が200m以上で，420 μ m 標準フルイ通過率が10%以下と20%以上で，含水比が20%以上である。対象崩落侵食のり面において，7アイテムの該当カテゴリーが上記のカテゴリーの組合わせの場合，SCOREの合計値が最大値で-1.431，最小値で-5.204となり，崩落侵食土砂量の多少を判別する区分点-0.4616より小さい。これは「のり面崩落侵食土砂量が1m²当たり0.02m³以下」と判定できる。

例えば崩落侵食土砂量の多い例として，角田山ののり面の2測定箇所を表-7に示す。表-7のように各アイテム・カテゴリーに該当した表-5の数値の合計値は，角田AとBののり面箇所で-0.016，-0.085となり，区分点値より大きく，崩落侵食土砂量(m²当たりの侵食量)は，0.045，0.044である。すなわち崩落侵食土砂量が1m²当たり0.02m³より多いと判定できる。

したがって，緑化工を行う場合崩落侵食土砂量の移動を防ぐための緑化基礎工の工事が必要と考えられる。

このように環境要因と420 μ m 標準フルイ通過

表 6 環境要因と土質工学的要因の数量表

アイテム	カテゴリー	スコア	レンジ	偏相関係数
のり面方位	N	0.122	1.862	0.614
	S	0.674		
	E	0.815		
	W	-0.323		
	NE	0.309		
	NW	-1.077		
	SE	-0.420		
	SW	0.120		
地形勾配	～20°	-0.496	2.082	0.754
	～30°	-0.298		
	～35°	-0.729		
	～40°	1.353		
	40°～	0.072		
切込量	～1 m	0.391	1.872	0.746
	1 m～2 m	0.421		
	2 m～3 m	-1.270		
	3 m～4 m	0.602		
	4 m～5 m	-0.809		
	5 m～6 m	-0.395		
	6 m～	0.580		
のり面勾配	～55°	-0.016	0.945	0.441
	56°～60°	-0.629		
	61°～	0.316		
標高	～100 m	0.630	0.946	0.441
	100 m～200 m	0.284		
	200 m～300 m	-0.316		
	300 m～	-0.132		
420 μ m フルイ通過率	～10%	-0.234	0.725	0.455
	10～20%	0.337		
	20%～	-0.388		
含水量	～20%	0.370	1.165	0.527
	20～30%	-0.033		
	30%～	-0.795		
外的基準侵食土砂量	0.02 m ³ 以下			
	0.02 m ³ 以上			
重相関係数				0.752
区分点*	-0.4616より小さい場合は、崩落侵食土砂量が少ない			
	-0.4616より大きい場合は、崩落侵食土砂量が多い			

*：(区分点は、対象のり面における7アイテムの該当スコアの合計値による2分類を判定する区分値(しきい値))

表 7 のり面崩落侵食土砂量区分点による判別計算例

	m ² 当たり 侵食量 (m ³)	420 μ m フルイ 通過率 (%)	含水率 (%)	方位	地形勾配 (°)	切込量 (m)	のり面勾配 (°)	標高 (m)	判定得点
角田A	0.045	39.5	42.8	E	14	11.22	48	120	
スコア*		-0.388	-0.795	0.815	-0.496	0.580	-0.016	0.284	-0.016
角田B	0.044	41.9	37.5	E	18	6.52	59	85	
スコア*		-0.388	-0.795	0.815	-0.298	0.580	-0.629	0.630	-0.085

*：表 6参照

率，土の自然含水比を調べることでより緑化計画の段階において，施工か否か，また施工種，混播などの見通しをつけることができると考えられる。すなわち裸地のままで良いか，将来のり面が崩落を生じ，のり面崩壊の素因となり得る可能性があるか否かも設計段階で見通しが得られるものと思う。

4. 結論

崩壊侵食土砂量は，土質工学的要因の420 μm 標準フルイ通過率と3環境要因すなわちのり面方位，地形勾配，施工のり面勾配で推定できた。次に数量化II類を適用し，のり面崩壊侵食土砂量区分を外的基準にして解析した結果，5つの環境因子（のり面方位，地形勾配，切込量，のり面勾配，標高）と土質工学的要因の420 μm 標準フルイ通過率，土の自然含水比から崩壊土砂量の大きさを区分することができた。この結果を総合してのり面凹凸形状観察要因と測定容易な土質工学的要因から，のり面崩落侵食土砂量区分で，緑化工施工箇所を選定し，のり面崩落侵食土砂量の推定量に応じた緑化工の設計の選択評価に応用できると考えられる。

この方法による調査資料をもとに，のり面形状の環境要因と容易に測定できる土質工学的要因で崩壊侵食土砂量を推定評価し，緑化施工箇所や緑化施工箇所における緑化工種の選定および組合せ，播種の組合せおよび混合割合を設計することが可能と思われる。

したがって，ここに提案する方法は，花崗岩を母岩とする粘性土質で降雨の多い山岳地域において有効な工種の選定，設計施工の順位などを検討する資料として有用であると推測できる。

参考文献

- 1) 井上源基・福田章史・市原恒一・福田光正：林道法面工法の評価検討，昭和56年度国有林野事業会計技術開発試験成績報告書，林業試験場，137-171，1981
- 2) 神村 孝・村木由尚：ファジイエキスパートシステムによる表層崩壊危険度診断，平成元年砂防学会発表会概要集，153-154，1989
- 3) 菊池政泰：林道の法面崩壊に関する研究(2)，第9回林道研究発表論文集，89-93，1974
- 4) 菊池政泰：林道の切取法面の安定度解析，85回日林講，318-320，1980
- 5) 小林秀孝・福本 泉・谷岡秀幸・斉藤辰男：切取・斜面の崩壊危険度評価について，土木学会第45回年次学術講演会概要集3，882-883，1990
- 6) 久保田圭助・武井昌博：数量化法による切取りのり面の安全度解析，土木学会論文報告集194，141-150，1971
- 7) 持永竜一郎・福山俊郎：シラスのり面崩壊に関する要因分析，土木学会論文報告集197，101-110，1972
- 8) 南部光弘・軽部大蔵・浅野雅行：統計的手法による道路用盛土のり面の安定度解析，土木学会論文報告集241，93-103，1975
- 9) 打萩珠男：ひと雨による山腹崩壊土量の実用計算法試案，新砂防69，30-35，1968
- 10) 山本宏夫・福山俊郎：数量化理論による切取りのり面の崩壊についての研究，第27回土木学会学術講演会講演概要集IV部会，269-272，1972
- 11) 山本仁志・矢部茂明：林道の切取りのり面の崩落土砂量について，36日目林関東支論，223-224，1985
- 12) 山本仁志：五頭山塊の林道のり面崩落土砂量について，38回日林関東支論，267-268，1986
- 13) 山本仁志・佐々木克実：新潟県下の林道切取りのり面崩落土についての一考察，39回日林関東支論，273-274，1987
- 14) 山本仁志：佐渡演習林大倉林道のり面の崩落土について，新潟大演報20，173-186，1987
- 15) 山本仁志・為永二郎：五頭山塊の切取りのり面崩落土砂量についての一考察，40回日林関東支論，229-230，1988
- 16) 山本仁志：林道切取りのり面崩落土砂量の推定，日林誌74(1)，37-43，1992

(1995.12.25受理)

- 1) 井上源基・福田章史・市原恒一・福田光正：林道法