

統計的手法による道路用盛土のり面の安定度解析

STABILITY ANALYSIS OF BANKS FOR ROAD BY STATISTICAL METHODS

南部 光 広*・軽 部 大 蔵**・浅 野 雅 行***
By Mitsuhiro NANBU, Daizo KARUBE and Masayuki ASANO

1. 概 説

(1) 従来の研究

土構造物の大型化は、必然的に大規模な災害につながる。道路のり面もその例外ではなく、そのために精度の高いしかも容易に利用できる安定度解析法が必要になっている。のり面の崩壊は、すべり面より上方の土塊がすべり面に沿って移動する現象であるから、のり面の寸法、構成土の自重、せん断強度、間隙水圧が詳細に把握されておれば、理論的には安定度を土質力学的に検討することが可能であり、実際重要な構造物においては、たとえば円弧すべり計算などがなされている。

しかし、道路や鉄道のように細長い路線に沿って形成される多数のり面の安定度を土質力学的に検討することは、次の理由によってあまり現実的でない。

(1) 路線が長いために地質が多岐にわたっているので、構成土の力学定数を求めるための土質調査数が膨大となる。

(2) 間隙水圧分布を推定することはむずかしい。特に降雨によって一時的に形成される地下水面を見積るのとは不可能である。

(3) のり面の形式や寸法も雑多であるので解析個数が膨大となる。

(4) 膨大な安定計算を行っても、その結果不安定と判定されるのり面、あるいは実際に災害をひき起こすのり面の数はわずかであるから、経済的に引き合わない。

上記 (1)~(4) の理由のため、実際ののり面の設計は道路土工指針¹⁾などの各種指針によって行われることになる。よりどころとなる指針は、公的な団体が既往の統

計資料や統計的研究に基づいて作成していることは周知のとおりである。この意味でのり面安定に関する統計的研究は重要であるが、それには単相関によるもの^{2),3)}、多変量解析によるもの(因子分析・数量化理論・重回帰方程式)がある。いずれの場合も、あるのり面の構成をできるだけ客観的に、容易に判定あるいは判別し得る要因によって、のり面の安定度を推定できるものでなければならない。

数量化理論によって自然斜面あるいは切り取りのり面の安定を解析した研究は著者らを含めてすでにくつかなき^{4)~6)}。たとえば、久保村・小橋は国鉄沿線における切り取りのり面、あるいは航空写真判読による後背自然斜面のデータについて解析を行い⁷⁾、山本・福山は広島県内の道路切り取りのり面のデータについて解析を行っている⁸⁾。この種の解析で降雨量のデータを与えると問題となるのは、調査時点までに崩壊していないのり面の降雨量を何年先までさかのぼって調べるかである。のり面は時間の経過とともにその性質を変化させるから、この問題は重要である。また、これまでの調査資料には降雨量の記録がないのり面が多いので、降雨量を要因にとりこむことにすれば解析に使用し得るデータの数は限られたものとなる。

本論文の特徴は、(1) 盛土のり面についてはじめて数量化解析を行ったこと、(2) 従来の切土のり面についての解析では降雨量を要因に取り入れていたが、上述の理由から降雨に関する項を要因から除いて解析を行い、あらためて解析結果と降雨量・崩壊土量との関係を求めたこと、(3) 設計指針の代表例として道路土工指針を取りあげ、“のり面標準こう配”を与えるにはのり面防護工も規定する必要があることを指摘している点である。

(2) 解析の手法

のり面の安定性には多くの要因が関与する。それらの要因を同時に取りあげる多変量解析法としては、従来よ

* 正会員 工修 (株) 応用地質調査事務所大阪事務所

** 正会員 工博 神戸大学助教授 工学部土木工学科

*** 前田建設工業土木設計部

り重回帰分析が用いられている。重回帰分析では属性として取り入れる要因はすべて定量的なもの（数値で表わせるもの）でなければならない。しかし、のり面の安定性に関与する要因には定性的なもの（数値でもって表わせないもの、例：土質分類）が多いので適用できない。このような場合には定性的属性（要因）の各カテゴリーに適当な数値を与えて、定量的変数と同様に多変量解析を施す林知己夫氏の理論¹⁰⁾が適用できる。本論文で用いたのは林の数量化理論のうち第二類といわれるモデルである。これは基本的には判別解析と同一であり、 R 個の定性的属性に関する知識を用いて、それぞれのサンプルが外的基準で示される T 個の群のいずれに属するかを判別するためのモデルである。今回の例では、まず安定のり面と崩壊のり面の双方について盛土のり面の安定に関与していると思われる要因に関する調査を行う。そして外的基準に安定、崩壊の2群をとり（したがって $T=2$ となる）、この外的基準とのり面の安定に関与している個々の要因との相互関係を分析することにより、個々の要因がのり面の安定にどの程度寄与しているかを知るものである。

いま、 R 個の要因がそれぞれ k_j 個のカテゴリーを持つと想定する。そして i 番目のサンプルが j 番目の要因に関し k 番目のカテゴリーで反応するときのみ 1、他の (k_j-1) 個のカテゴリーに反応したときには 0 の値をとるとする。すなわち

$$\delta_i(jk) = \begin{cases} 1 & (\text{カテゴリー } k \text{ に反応したとき}) \\ 0 & (k \text{ 以外のカテゴリーに反応したとき}) \end{cases}$$

なる変数を与える。そして各サンプル別に

$$a_i = \sum_j \sum_k \delta_i(jk) x_{jk} \dots \dots \dots (1)$$

なる合成変数を考える。ここで係数 x_{jk} 値を決定する条件として各群別のサンプルの a 値の差を最大とすることをを用いる。すなわち相関比 η (あるいはその2乗 η^2) が最大となるように x_{jk} の数値を決定する。ただし η^2 は級間分散 (σ_b^2) を全分散 (σ^2) で割った商である。

すなわち、

$$\eta^2 = \sigma_b^2 / \sigma^2$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 - \bar{\alpha}^2, \quad \sigma_b^2 = \sum_{t=1}^T \frac{n_t}{n} (\bar{\alpha}_t - \bar{\alpha})^2$$

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i, \quad \bar{\alpha}_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i(t)=1}^{n_t} \alpha_{i(t)}$$

ここに n_t : t 群に属するサンプル数

ここで η^2 を最大にするということは群別の効果を最大にするということである。すなわち各サンプルの要因の反応模様が外的判断（安定、崩壊）をよく表現しているということになる。これは数量化の場合、直接的には反応模様からの外的基準への予測的中率を最大にする

ことと等価になる。

η^2 を最大にする x_{jk} を求めるには η^2 を x_{jk} で偏微分してそれぞれを 0 とおけばよい。すなわち、

$$\frac{\partial \eta^2}{\partial x_{jk}} = 0 \quad (j=1, \dots, R, k=1, \dots, k_j)$$

を解けば x_{jk} の値が得られる。

2. 数量化理論第 II 類による安定度解析

(1) データの概要

統計的にデータを処理する際に最も重要なのは、そのデータがいかなる母集団を代表するかであろう。本論文では、建設省が道路のり面調査の一環として昭和 45 年度に直轄国道区間内の盛土のり面調査を行った際のデータ²⁾を引用させていただいた。その調査箇所は区間内の危険箇所と認められるところであり、ほぼ同じ土質・のり勾配・のり高・防護工などが連続している区間は一か所とみなしている。表-1 にデータの地方別個数を示す。ここで崩壊のり面とは盛土のり面建設当初より調査時点までの間に何らかの変状（表面侵蝕を含む）があった箇所である。

表-1 数量化解析に用いたデータの各地方別個数

数量化解析	群別	九州	四国	中国	近畿	中部	北陸	関東	東北	北海道	計
Case 1	安定	44	23	12	45	44	19	35	28	0	250
	崩壊	28	0	10	9	17	9	0	15	2	90
Case 2	安定	21	10	8	37	29	14	25	29	0	173
	崩壊	9	0	9	8	11	8	0	14	2	61

切土のり面では内部の構造が複雑であり、のり面の安定性に関与すると思われる要因をすべて調査項目に取り入れることは困難である。したがって統計処理で扱われる要因はその一部でしかない。よって、解析結果はその他の要因が同一である限られた地域にしか適用できない。

しかし、盛土のり面は人工的なものであり、その内部も比較的単純で明確な場合が多い。このことはデータに安定性に関与する要因を大部分取り入れることを可能ならしめる。ゆえに地域性をあまり考慮する必要はなくなるであろう。よって、盛土のり面では母集団をかなり範囲の大きいものにとっても問題点は少ない。表-1 によると多少データ数に地方別のかたよりのあるが、北海道を除いてほぼ全国にわたっており、全国の建設省直轄国道区間内の盛土のり面を代表するデータであるといえよう。

(2) 解析した各 Case

表-2 の A 欄にアイテム（要因）・カテゴリーの分類

表を示す。解析に取り入れた要因は表-2 に示す 8 個である。この 8 要因は簡易に調査でき、なおかつのり面の安定に影響する要因を比較的網羅していると思われる。ただし土質と最大乾燥密度については、たとえば統一分類法（盛土および基礎用の分類表）によれば両者の間に相関関係が認められている。表-3 は今回のデータのうちで土質と最大乾燥密度が記入されていた 241 個のデータについての土質と最大乾燥密度との相関表である。これによっても土質が(1) 礫→(6) 粘土になるにしたがって最大乾燥密度が小さくなる傾向が明らかである。したがって要因間の独立性を保つために Case 1 では最大乾燥密度を省き、Case 2 では土質を省いた。また、各アイテム内のカテゴリーをあまりに細分化すると現地調査に多くの労力が必要となり統計的手法の特徴が失われるので、道路土工指針などを参考にしてカテゴリー数は 4~6 個にとどめた。

(i) Case 1……7 アイテム, 31 カテゴリー (安定データ 250 個, 崩壊データ 90 個)

(ii) Case 2……7 アイテム, 30 カテゴリー (安定データ 173 個, 崩壊データ 61 個)

表-2 の B 欄に各 Case のアイテム・カテゴリーの反応個数を示す。

(3) アイテム間の独立性の検討

各アイテムが独立性を保っているかを検討するためにアイテム間の偏相関係数 (r_{ij}) を求めた。表-4, 表-5 はその結果を示しているが, $|r_{ij}| < 0.4$ であり, 独立性

表-2 アイテム・カテゴリーの分類と各カテゴリーの反応個数

アイテム	カテゴリー	B 欄			
		Case 1		Case 2	
		安定 250	崩壊 90	安定 173	崩壊 61
経過年数	1. ~ 1年	31	17	22	9
	2. ~ 2年	24	11	18	6
	3. ~ 5年	69	32	56	26
	4. ~ 以上	126	30	77	20
地 形	1. 山 岳 盛 土	115	58	64	38
	2. 平 地 盛 土	135	32	109	23
曲率半径	1. ~ 100m	24	4	13	2
	2. ~ 200m	37	13	27	12
	3. ~ 500m	45	16	29	13
	4. ~ 以上	31	14	23	10
	5. 直 線	113	43	81	24
のり高	1. ~ 5m	85	31	65	19
	2. ~ 10m	103	27	73	19
	3. ~ 15m	35	18	21	13
	4. ~ 20m	11	11	4	7
	5. ~ 以上	16	3	10	3
のり勾配	1. ~ 1.5(割)未満	19	9	13	5
	2. 1.5 ~ 1.8未満	195	61	137	41
	3. 1.8 ~ 2.0	26	17	17	13
	4. ~ 以上	10	3	6	2
土 質	1. 礫 (GP・GW)	32	3		
	2. 礫質土 (GM・GC)	37	19		
	3. 砂 (SP・SW)	29	3		
	4. 砂質土 (SM・SC)	91	36		
	5. 粘質土 (CL・ML・OL)	43	25		
	6. 粘 土 (CH・MH・OH)	18	4		
最大乾燥密度	1. ~ 2.0 t/m ³			22	5
	2. ~ 1.75			64	18
	3. ~ 1.5			64	27
	4. ~ 1.2			19	11
	5. ~ 以下			4	0
防 護 工	1. 全面張工, 全面擁壁工, 全面(張工+擁壁)	10	1	8	1
	2. コンクリート枠工中心の防護工	32	6	21	3
	3. 擁壁工(張工)+植生工	99	16	62	9
	4. 植 生 工 の み	103	67	77	48
	5. そ の 他	6	0	5	0

は保たれていると思われる。著者らの解析例では, $|r_{ij}|$ が 0.6 程度までであれば解析結果はほとんど差がないことが判明している¹¹⁾。

(4) 解析結果

a) 度数分布図 (図-1, 図-2)

この図は安定データおよび崩壊データの α 値に関する

度数分布図を表わしている。図中の α_0 は、それより α 値が大である安定データの全安定データに対する‘割合’と、小である崩壊データの全崩壊データに対する‘割合’とが同一となる α 値であり、その‘割合’を的中率とよんでいる。的中率は Case 1 が 71.5%，Case 2 が 72.8%である。

表-3 土質と最大乾燥密度との相関表

土質	最大乾燥密度 (t/m ³)		(1)~2.0		(2)~1.75		(3)~1.5		(4)~1.2		(5)~以下		小計	
	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊
(1) 礫	6	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	13	0
(2) 礫質土	6	4	11	3	4	5	4	0	0	0	0	0	25	12
(3) 砂	3	0	8	1	10	2	1	0	0	0	0	0	22	3
(4) 砂質土	6	1	37	11	25	11	2	5	2	0	0	0	72	28
(5) 粘質土	1	0	9	5	11	10	10	7	0	0	0	0	31	22
(6) 粘土	0	0	0	0	4	0	6	1	2	0	0	0	12	1
小計	22	5	65	20	61	28	23	13	4	0	0	0	175	66
合計	27		85		89		36		4		0		241	

表-4 Case 1 における各要因間の偏相関係数

	経過年数	地形	曲率半径	のり高	のり勾配	土質	防護工
経過年数	-1.0000	0.1584	0.1647	0.0286	0.0038	-0.1546	0.2580
地形		-1.0000	-0.1684	-0.3670	-0.0072	0.0851	-0.1568
曲率半径			-1.0000	0.1215	-0.0517	-0.0652	-0.2228
のり高				-1.0000	-0.1380	-0.0125	0.1338
のり勾配					-1.0000	-0.0396	0.0361
土質						-1.0000	0.0622
防護工							-1.0000

表-5 Case 2 における各要因間の偏相関係数

	経過年数	地形	曲率半径	のり高	のり勾配	最大乾燥密度	防護工
経過年数	-1.0000	0.1482	0.1687	0.1360	-0.0369	0.0995	0.1240
地形		-1.0000	-0.1830	-0.3163	-0.0475	-0.0381	-0.1896
曲率半径			-1.0000	-0.0104	-0.0479	-0.0955	-0.1473
のり高				-1.0000	-0.0769	-0.0500	0.1558
のり勾配					-1.0000	0.0204	0.0498
最大乾燥密度						-1.0000	-0.0839
防護工							-1.0000

b) レンジ図 (図-3, 図-4)

この図は各アイテム内のカテゴリーの x_{jk} 値を示している。すなわち一連の折線はその直下に記入したアイテムに対応し、折線内のプロットは左から順に表-2 のカテゴリー番号に対応している。また各アイテム名の下に記入した数値はレンジ値を表わしている。ただしレンジ値とは、各アイテム内の x_{jk} 値の最大値と最小値との差である。一方、各のり面の安定度を表わす α 値は式 (1) からわかるようにレンジ値が大きいアイテムほど反応カテゴリーによって大きく変化する。したがってレンジ値が大きいアイテムほどのり面の安定性に影響する割合が高いといえる。

Case 1 ではレンジの値は、防護工>のり高>土質>経過年数>のり勾配>地形>曲率半径であり、Case 2 では、最大乾燥密度>防護工>のり高>経過年数>のり勾配>地形>曲率半径である。両 Case とも、ほとんど同じ傾向を示している。よって防護工、最大乾燥密度は重要度が非常に高く、次いで

のり高、土質が高い。これらに比べて曲率半径、地形はその割合が低い。次に、各アイテム別にカテゴリーについて考察を加える。

〔防護工〕

度数分布図で α 値が大であるほど安定データ/(安定データ+崩壊データ)の値が大となっている。したがって、 α 値が大であるほどのり面の安定度合は高いといえる。よって、カテゴリー一別の係数値 (x_{jk}) が大きいほど安定度合が高いこと

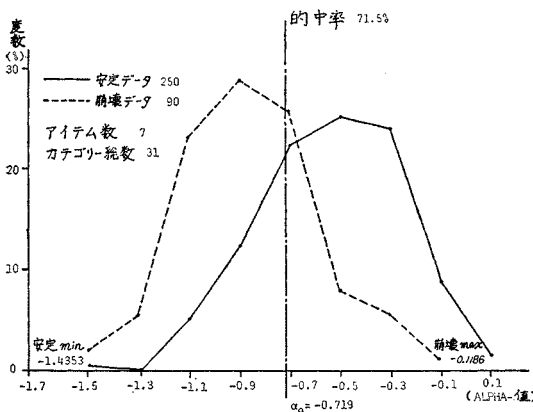


図-1 数量化解析 Case 1—度数分布図

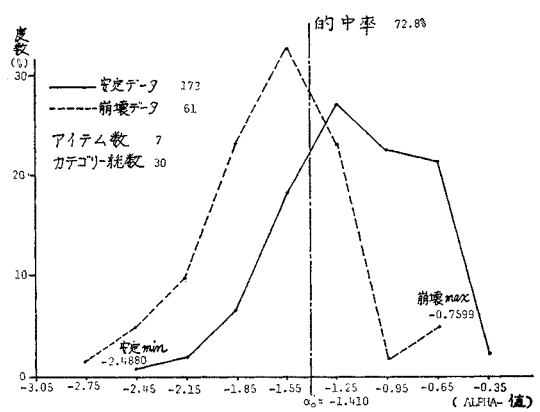


図-2 数量化解析 Case 2—度数分布図

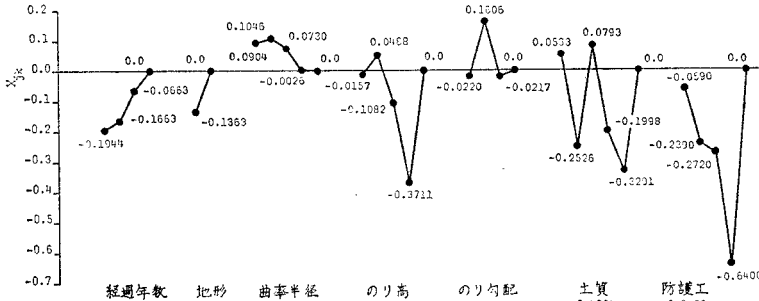


図-3 数量化解析 Case 1—レンジ図

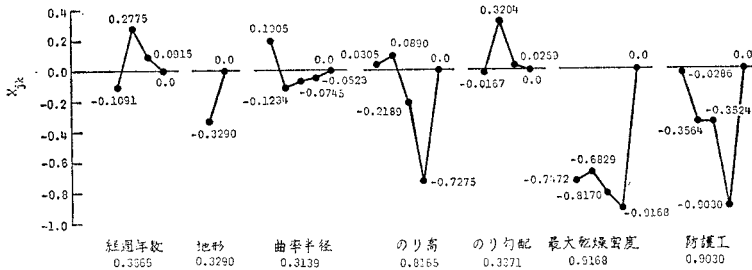


図-4 数量化解析 Case 2—レンジ図

になる。カテゴリー番号 (5) その他, を除くと, (1) 全面張工が最も安定度合が高く, (2) コンクリート枠工中心の防護工, (3) 擁壁工+植生工はほぼ同程度であり, (4) 植生工のみが大きく崩壊側に傾いている。Case 1 ではレンジの値が 0.6400 と非常に大きく, 防護工を変えることによりのり面の安定度合が大きく変わることを示している。

〔土質・最大乾燥密度〕

土質別では粘質土が Case 1 の x_{jk} 値 = -0.3291 と最も安定性が悪く, 次に礫質土, 砂質土が悪い。これに比べて礫, 砂は安定性が良い。表-2 から計算される安定率でも同じ傾向である。ここに安定率とは, 安定データ数/全データ数 (安定データ数 + 崩壊データ数) とする。

Case 2 では最大乾燥密度のレンジ値が最も大きい。 x_{jk} 値では, カテゴリー番号 (5) $0.0 > (2) -0.6829 > (1) -0.7472 > (3) -0.8170 > (4) -0.9168$ であるが, 安定率では, (5) $(4/4) > (1) (22/27) > (2) (64/82) > (3) (64/91) > (4) (19/30)$ と (1) と (2) とが逆になっている。安定率より見ると, 一般的に最大乾燥密度が小さくなるほど安定性が悪くなっている。表-3 では他の要因との関係もあるが, 最大乾燥密度 (r_d) が $1.75 (t/m^3)$ 以下では崩壊の割合が大きくなっている。特に安定性が悪いのは,

- 礫質土 $1.75 > r_d \geq 1.50 \dots$ 安定率 4/9
- 砂質土 $1.50 > r_d \geq 1.20 \dots$ 安定率 2/7
- 粘質土 $1.75 > r_d \geq 1.20 \dots$ 安定率 21/38

である。したがって礫質土で最大乾燥密度が 1.75 未満, 砂質土で 1.50 未満, 粘質土で 1.75 未満の場合は注意が必要である。

〔のり高・のり勾配〕

のり高については全般的にのり高が大きくなるにしたがって安定性は悪くなっている。表-6 は Case 1 におけるのり高とのり勾配との相関表である。この表についての考察は 4. のり面の形状と安定率の章で加えることにする。

〔経過年数〕

経過年数のレンジの値は Case 1, 2 とともに中位であるが, その値は比較的小さい。表-7 は Case 1 における土質と経過年数との相関表である。一般に盛土は建設当初が最も安全率が小さく, 時間の経過とともに圧密が進行して安全率は

は大きくなっていく。表-2 によれば圧密の進行が速い

表-6 数量化解析 Case 1 のデータについて, のり高とのり勾配との相関表

のり高 \ のり勾配	(1)~1.5割未満		(2)1.5~1.8未満		(3)1.8~2.0		(4)~以上		小計	
	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊
(1)~5m	7	4	73	23	4	4	1	0	85	31
	安定率63.6%		79.6		50.0		100.0		73.3	
(2)~10m	8	2	78	18	13	7	4	0	103	27
	80.0		81.3		65.0		100.0		79.2	
(3)~15m	1	2	25	10	6	5	3	1	35	18
	33.3		71.4		55.6		75.0		66.0	
(4)~20m	2	1	8	8	1	1	0	1	11	11
	66.7		50.0		50.0		0.0		50.0	
(5)~以上	1	0	11	2	2	0	2	1	16	3
	100.0		84.6		100.0		66.7		88.9	
小計	19	9	195	61	26	17	10	3	250	90
	67.9		76.2		60.5		76.9		73.5	
合計	28		256		43		13		340	

注: 表中の安定率は, 全データ数(安定, 崩壊)に対する安定データ数の割合である。

表-7 数量化解析 Case 1 のデータについて, 土質と経過年数との相関表

土質 \ 経過年数	1. ~1年		2. ~2年		3. ~5年		4. ~以上	
	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊	安定	崩壊
1. 礫	2	0	3	2	9	0	18	1
2. 礫質土	10	3	5	4	11	7	11	5
3. 砂	5	0	4	1	7	2	10	0
4. 砂質土	10	6	9	3	22	12	52	15
5. 粘質土	3	8	0	1	13	10	28	6
6. 粘土	1	0	3	0	7	1	7	3

礫、砂については年数の経過に伴う安定率の増大の傾向は認められないが、圧密の進行が遅い粘質土ではその傾向が認められる。特に5年以上になると28/34と82%の安定率になっている。

〔地形・曲率半径〕

地形では山岳盛土の方が平地盛土よりも崩壊側に傾いている。この一因として山岳盛土は水の集まりやすい谷部に施工される場合が多いことがあげられよう。

曲率半径はレンジ値も小さく、カテゴリー別の明確な傾向も認められない。

3. 道路土工指針「ノリ面標準コウ配」について

Case 1 の解析結果を用いて、道路土工指針¹⁾の「盛土

材料および盛土高に対するノリ面標準コウ配」に示されている設計指針の安定度を判定する。表-8の土質、のり高、のり勾配の組合せは上記の「ノリ面標準コウ配」の組合せにほぼ対応させてある。ただし、表中に*印を付した組合せは「ノリ面標準コウ配」には示されていないが、長大のり面の安定度を判別するために加えたものである。判定は表に示した組合せの α 値が分岐点 $\alpha_0 = -0.719$ より大であれば○、小であれば×とされている。

土質別にみると

1) 礫

のり高10mまでは、植生工のみでも安定部類(○)に入っている。のり高10~15mでは植生工のみで崩壊部類(×)であるが、(3)擁壁工+植生工にすると α 値が

表-8 Case 1 の結果と道路土工指針の「盛土材料および盛土高に対するノリ面標準コウ配」との比較

解 析 条 件 (的中率 71.5%)

ア イ テ ム	カ テ ゴ リ ー	x_{kj} 値
経 過 年 数	(1) 1 年 以 内	-0.1944
地 形	(2) 平 地 盛 土	0.0
曲 率 半 径	(5) 直 線	0.0

土 質 ($x_{j,k}$ 値)	の り 高 ($x_{j,k}$ 値)	の り 勾 配 ($x_{j,k}$ 値)	防 護 工						道路土工指針における盛土材料
			(4) 植生工のみ		(3) 擁壁工+植生工		(2) コンクリート特工中心		
			α 値	判定	α 値	判定	α 値	判定	
(1) 礫 (0.0533)	(1) 0~5m (-0.0157)	(2) 1.5~1.8未満 (0.1606)	-0.6362	○	-0.2682	○	-0.2352	○	岩 塊 玉 石
	(2) ~10m (0.0488)	(2) 1.5~1.8未満 (0.1606)	-0.5717	○	-0.2037	○	-0.1707	○	
	(3) ~15m (-0.1082)	(3) 1.8~2.0 (-0.0217)	-0.9110	×	-0.5430	○	-0.5100	○	
	(4) ~20m (-0.3711)	(3) 1.8~2.0 (-0.0217)	-1.1739	×	0.8059	×	-0.7729	×	
(2) 礫質土 (-0.2526)	(1) 0~5m	(2) 1.5~1.8未満	-0.9421	×	-0.5723	○	-0.5393	○	粒度分布の よい礫質土
	(2) ~10m	(3) 1.8~2.0	-1.0599	×	-0.6919	○	-0.6589	○	
	(3) ~15m	(3) 1.8~2.0	-1.2169	×	-0.8489	×	-0.8159	×	
(3) 砂 (0.0793)	(1) 0~5m	(2) 1.5~1.8未満	-0.6102	○	-0.2422	○	-0.2092	○	粒度分布の よい砂
	(2) ~10m	(3) 1.8~2.0	-0.7280	×	-0.3600	○	-0.3270	○	
	(3) ~15m	(3) 1.8~2.0	-0.8850	×	-0.5170	○	-0.4840	○	
	(4) ~20m*	(3) 1.8~2.0*	(-1.1479)	(×)	(-0.7799)	(×)	(-0.7469)	(×)	
(4) 砂質土 (-0.1998)	(1) 0~5m	(2) 1.5~1.8未満	-0.8893	×	-0.5213	○	-0.4883	○	砂 質 土
	(2) ~10m	(3) 1.8~2.0	-1.0071	×	-0.6391	○	-0.6061	○	
	(3) ~15m*	(3) 1.8~2.0*	(-1.1641)	(×)	(-0.7961)	(×)	(-0.7631)	(×)	
(5) 粘質土 (-0.3291)	(1) 0~5m	(2) 1.5~1.8未満	-1.0186	×	-0.6506	○	-0.6176	○	かたい粘質土
	(2) ~10m	(3) 1.8~2.0	-1.1364	×	-0.7684	×	-0.7354	×	
(6) 粘 土 (0.0)	(1) 0~5m	(2) 1.5~1.8未満	-0.6895	○	-0.3215	○	-0.2885	○	かたい粘土
	(2) ~10m	(3) 1.8~2.0	-0.8073	×	-0.4393	○	-0.4063	○	

注 1) 表中で α 値とは、各アイテムの反応カテゴリーの $x_{j,k}$ 値の和である。

注 2) 判定は α 値が α_0 値=-0.719より大であれば○、小であれば×である。

注 3) 表中で*印を付した欄は、「ノリ面標準コウ配」にはないが、長大のり面の安定度を判別するために加えたものである。

-0.5430 となり安定部類に入る。そして分岐点 α_0 値より少し大きな値であるので、安定確率は的中率 71.5%より大きくなる。のり高が 15~20m になると防護工(3)でも崩壊部類になっている。

2) 礫質土

のり高が 10m までは、防護工(2)または(3)で安定部類である。10~15m では防護工(2)または(3)の場合、崩壊部類である。(1)にすれば安定部類に入るが、のり高が大であるために工費がかさむことになる。

3) 砂

防護工が植生工のみの場合、のり高が 5~10m になると崩壊部類に入る。防護工を(2)または(3)にすると安定部類に入り、 α 値は α_0 値よりかなり大きな値になるので安定度は大となる。

4) 砂質土

のり高が 10m までは、植生工のみでは崩壊部類であり、防護工を(3)にすると安定部類に入る。

5) 粘質土

表-9 Case 1 におけるのり高 0~15m のうち、のり勾配が(1)~1.5(割)未満、(3) 1.8(割)~2.0(割)、(4) 2.0(割)~以上のデータと、のり高が 15m~以上の全データ表

のり高	のり勾配	安定データ					崩壊データ																										
		経	地	曲	高	勾	経	地	曲	高	勾																						
(1) 0m~5m	(1)~1.5未満	4	1	5	1	1	4	4	1	2	3	1	1	5	2	(3) 10m~15m	(3)1.8~2.0	4	2	5	3	3	6	2	1	2	4	3	3	5	4		
		4	1	5	1	1	4	1	3	2	4	1	1	4	4			3	2	3	3	4	4	3	1	3	3	5	4				
		4	1	5	1	1	4	1	3	2	4	1	1	4	4			2	2	1	3	3	2	3	1	4	3	5	4				
		4	2	5	1	1	3	1	2	2	5	1	1	4	2			1	2	5	3	3	2	4	2	5	3	3	6	4			
		4	2	5	1	1	3	3	3	1	5	1	1	4	1			4	1	2	3	3	5	3	(崩壊土量 1020m³)								
	3	2	3	1	1	4	3	(崩壊土量 4200m³)					4	1	1		3	3	2	3	3	1	4	3	3	2	2						
	3	2	5	1	1	4	3						2	1	1		3	4	1	1	3	1	5	3	4	4	3						
	5	1	4	1	1	4	1						1	1	4		3	4	3	3													
	4	1	3	1	3	1	3	3	1	4	1	3	5	4	3		1	3	3	4	4	3											
	4	2	5	1	3	4	3	3	1	3	1	3	5	4	3		1	5	4	1	4	2	3	1	5	4	1	4	4				
	4	2	4	1	3	4	4	4	2	2	1	3	4	4	2		1	5	4	1	2	1											
	1	2	3	1	3	2	3	4	2	5	1	3	4	4	(1)全面張工になっているか (3)擁壁工+植生工の可能性が高い																		
	4	2	1	1	4	5	3																										
	(2) 5m~10m	(1)~1.5未満	2	1	1	2	1	4	2	2	1	1	2	1	4		4	(4) 15m~20m	(2)1.5~1.8 未満	4	1	5	4	2	4	3	4	1	5	4	2	4	3
			4	1	5	2	1	5	3	4	1	1	4	2	1		3			3	1	3	4	2	4	4							
3			2	5	2	1	5	3	3	1	5	4	2	6	3	3	1			5	4	2	5	2									
2			2	2	1	4	3	4	1	2	4	2	4	4	4	1	3			4	2	2	3	4									
3			2	4	2	1	5	1	4	1	2	4	2	4	3	2	2			4	4	2	3	4									
2		1	2	2	1	3	4	4	1	3	4	2	5	3	3	1	3		4	2	4	3											
3		2	2	2	1	3	1	3	1	2	4	2	4	4	3	1	5		4	2	2	4											
4		1	5	2	3	6	3	4	1	5	2	3	6	4	4	1	2		4	2	4	3	2	1	2	4	2	1	3				
4		1	5	2	3	6	2	(崩壊土量 4150m³)					(3)1.8~2.0	3	1	5	4		3	4	4	2	1	3	4	3	2	4					
4		2	3	2	3	4	3	4	1	5	2	3	6	4	(4)2.0~以上	3	1		5	4	4	4	3										
4		1	3	2	3	5	2	4	2	3	2	3	1	3	(1)~1.5未満	2	1		1	5	1	6	3										
3		1	2	2	3	4	4	3	1	5	2	3	5	4	(5) 20m~以上	(2)1.5~1.8 未満	4		1	1	5	2	1	3	3	1	4	5	2	6	3		
3		2	3	2	3	4	4	3	1	2	2	3	5	4			4		1	1	5	2	1	3	3	1	4	5	2	4	4		
2		1	1	2	3	4	5	3	1	5	2	3	4	4			2		1	5	5	2	6	3									
3		1	5	2	3	5	4	4	2	5	2	3	4	4			3		1	4	5	2	4	2									
3	1	5	2	3	5	4	3	1	5	5	2	4	2	3			1	5	5	2	4	2											
3	1	5	2	3	5	4	3	1	5	5	2	4	3	3		1	5	5	2	4	3												
1	2	1	2	3	3	4	3	1	1	5	2	2	5	3		1	1	5	2	2	5												
1	1	3	2	3	4	3	3	1	4	5	2	2	2	3		1	4	5	2	2	2												
2	1	3	2	3	4	3	3	1	3	5	2	1	3	3		1	3	5	2	1	3												
3	2	5	2	4	3	4	1	1	1	5	2	4	3	2		1	3	5	2	1	3												
3	1	2	2	4	2	3																											
1	2	5	2	4	2	1																											
4	2	2	2	4	5	3																											
(1)~1.5未満	(1)~1.5未満	4	1	3	3	1	1	4	3	1	5	3	1	4		4	(3)1.8~2.0	3	1	2	5	3	4	4									
		4	1	3	3	1	1	4	3	1	5	3	1	4		4	(4)2.0~以上	3	1	2	5	4	3	3	4	1	5	5	4	4	3		
		4	1	2	3	1	4	4	4	1	2	3	1	4	4	2	1	1	5	4	3	3											

注：表中の各データ番号は〔経：経過年数、地：地形、曲：曲率半径、高：のり高、勾：のり勾配、土：土質、防：防護工〕のカテゴリー番号を表わしている。

全般的に安定性は悪く、のり高が5m以下の場合に防護工が(2)または(3)で安定部類に入っているだけである。のり高がそれ以上になると崩壊部類に入る。

6) 粘土

のり高が5m以下では植生工のみでも安定しており、それ以上(5~10m)では防護工(2)または(3)で安定部類に入っている。

4. のり面の形状と安定率

Case 1におけるのり高とのり勾配との相関表(表-6)の各項について、他の要因との関連性を考慮して、個々のデータ分析を行う。表-9にのり高0~15mのうち、のり勾配が(1)~1.5未満、(3)1.8~2.0、(4)2.0~以上のデータと、のり高が15m~以上の全データを示す。表中のデータ番号は〔経過年数・地形・曲率半径・のり高・のり勾配・土質・防護工〕の順に、各アイテムのカテゴリー番号を表わしている。

(1) のり高 0~5m

表-10はCase 1におけるのり高が(1)0~5m、のり勾配(2)1.5割~1.8割未満のデータについて、土質と防護工との相関表である。

- ① のり勾配 1.5(割)未満(安定7個、崩壊4個)
 (安定) 防護工(1)……3個、(3)……3個
 (4)……1個
 (崩壊) 防護工(1)……1個、(2)……2個
 (4)……1個

表-10 Case 1におけるのり高0~5m、のり勾配1.5~1.8(割)未満のデータについて、土質と防護工との相関表

群別	防護工		小計	
	土質	カテゴリー(4)植生工のみ		
安定	1. 礫	8	1	9
	2. 礫質土	6	7	13
	3. 砂	5	2	7
	4. 砂質土	17	16	33
	5. 粘質土	3	4	7
	6. 粘土	3	1	4
	小計	42	31	73
崩壊	1. 礫	0	0	0
	2. 礫質土	4	0	4
	3. 砂	1	0	1
	4. 砂質土	6	1	7
	5. 粘質土	11*	0	11*
	6. 粘土	0	0	0
	小計	22	1	23

* 経過年数カテゴリー (1)7個、(2)0個、(3)0個、(4)4個

崩壊データには防護工が(1)と(2)のものが75%も占めており、たとえのり高が5m以下の場合でものり勾配を急にするのは危険であることを示している。

- ② のり勾配 1.5~1.8 未満(安定73個、崩壊23個)

粘質土で植生工のみの場合、安定率3/14で安定性は非常に悪く、しかものり高の割には崩壊土量が多いようである(粘質土・植生工のみで崩壊に至った11個のうち、原調査表に崩壊土量が記入されている5個の内訳は、100, 150, 282, 500, 600m³である)。また崩壊データ11個のうち7個が経過年数1年以下である。

表-10より崩壊に至った23個のうち22個は‘植生工のみ’である。このことは、逆に防護工(1)、(2)、(3)の状態では、安定度が高いことを示している。のり高が5m以下・のり勾配1.5~1.8未満・植生工のみで安定な土質は礫・砂・砂質土である。

- ③ のり勾配 1.8~2.0(安定4個、崩壊4個)

崩壊に至っているのはすべて防護工が植生工のみの場合であり、特に粘質土は安定性が悪い。

以上の検討より、やわらかい粘質土の場合は、のり高がたとえ5m以下でものり尻部に擁壁工などを設けて、のり尻からの崩壊を防ぐ必要があること、砂質土は粘質土ほど安定性が悪くないが、植生工のみでは十分に安定であることはいえないことがわかる。

(2) のり高 5~10m

- ① のり勾配 1.5 未満(安定8個、崩壊2個)

崩壊に至っているのは、いずれも防護工が植生工のみの場合である。安定データと比較すると、粘質土・砂質土において植生工のみでは非常に危険であり、擁壁工、コンクリート枠工などで補強する必要がある。

- ② のり勾配 1.5~1.8 未満(安定78個、崩壊18個)

表-11はCase 1におけるのり高が(1)5~10m、のり勾配(2)1.5割~1.8割未満のデータについて、土質と防護工との相関表である。表-11より安定、崩壊群とも防護工が植生工のみのデータの割合が〔のり高(1)、のり勾配(2)〕に比べて多少小さくなっている。土質が礫では植生工のみでも安定6個、崩壊1個と安定性が良い。また、砂でも安定3個、崩壊1個と安定度は比較的高い。そして、礫、砂とも防護工(1)、(2)、(3)ではすべて安定しており、安定度は非常に高い。

- ③ のり勾配 1.8~2.0(安定13個、崩壊7個)

(2.0)~以上(安定4個、崩壊0個)

表-9のデータより、のり勾配1.8~2.0における土質と防護工との相関表が表-12である。表-11とあわせて見ると、設計指針では、‘砂質土、かたい粘質土、かた

表一11 Case 1 におけるのり高 5~10 m, のり勾配 1.5~1.8 (割) 未満のデータについて、土質と防護工との相関表

群別	土質	防護工	カテゴリー	カテゴリー	小計
		(4)	(4)植生工のみ	(1)(2)(3)(5)	
安定	1. 礫		6	5	11
	2. 礫質土		7	4	11
	3. 砂		3	5	8
	4. 砂質土		8	14	22
	5. 粘質土		4	17	21
	6. 粘土		4	1	5
	小計		32	46	78
崩壊	1. 礫		1	0	1
	2. 礫質土		4	0	4
	3. 砂		1	0	1
	4. 砂質土		5	4	9
	5. 粘質土		3	0	3
	6. 粘土		0	0	0
	小計		14	4	18

表一12 Case 1 におけるのり高 5~10 m, のり勾配 1.8~2.0 (割) のデータについて、土質と防護工との相関表

群別	土質	防護工	カテゴリー	カテゴリー	小計
		(4)	(4)植生工のみ	(2)(3)(5)	
安定	1. 礫		0	0	0
	2. 礫質土		0	0	0
	3. 砂		1	0	1
	4. 砂質土		2	4	6
	5. 粘質土		3	1	4
	6. 粘土		0	2	2
	小計		6	7	13
崩壊	1. 礫		0	1	1
	2. 礫質土		0	0	0
	3. 砂		0	0	0
	4. 砂質土		2	0	2
	5. 粘質土		2	0	2
	6. 粘土		2	0	2
	小計		6	1	7

い粘土' でのり高 5~10 m の場合、のり勾配 1.8~2.0 になっているが、防護工が植生工のみでは安定性はあまり良くない。構造物による防護工の効果は大きく、それを施工することによって安定度は非常に高くなる。

一方、砂ではのり勾配 1.8~2.0 で盛土すれば安定性は保たれており、現在の設計指針が妥当なことを示している。

(3) のり高 10~15 m

表一13 はのり高が (3) 10~15 m, のり勾配 (2) 1.5 割~1.8 割未満のデータについて、土質と防護工との相関表である 表一13 より、のり高 10~15 m では盛土材

表一13 Case 1 におけるのり高 10~15 m, のり勾配 1.5~1.8 (割) 未満のデータについて、土質と防護工との相関表

群別	土質	防護工	カテゴリー	カテゴリー	小計	備考
		(4)	(4)植生工のみ	(1)(2)(3)(5)		
安定	1. 礫		0	3	3	
	2. 礫質土		1	3	4	
	3. 砂		2	1	3	
	4. 砂質土		4	4	8	
	5. 粘質土		3	2	5	
	6. 粘土		1	1	2	
	小計		11	14	25	
崩壊	1. 礫		0	0	0	
	2. 礫質土		4	3	7	→防護工カテゴリー (2)1個, (3)2個, (4)4個
	3. 砂		0	0	0	
	4. 砂質土		1	1	2	→防護工カテゴリー (2)1個, (4)1個
	5. 粘質土		1	0	1	
	6. 粘土		0	0	0	
	小計		6	4	10	

料に用いる土質は礫、砂が望ましいことがわかる。礫質土については設計指針で 15 m まで示されているが、崩壊土量 4200 m³ の大崩壊が 1 個あり、これほどののり高になってくると礫質土を盛土材料として用いることは望ましくない。砂質土においては植生工のみでは不安定であり、防護工を擁壁工(張工)+コンクリート枠工+植生工のように堅固なものにすれば、ある程度は安定性が保てると思われる。

(4) のり高 15~20 m

のり勾配 1.5~1.8 未満の砂質土では、

防護工 (3).....(安定) 3 個 (崩壊) 2 個

防護工 (4).....(安定) 2 個 (崩壊) 1 個

と安定性はあまり良くない。また、のり高が 0~15 m に比べて防護工が (2) または (3) で崩壊に至っている割合が大きい。

(5) のり高 20 m ~ 以上

のり勾配 1.5~1.8 未満において、防護工が植生工のみで安定しているデータはない。

(6) 分析結果のまとめ

以上の結果より防護工が植生工のみでは安定度が必ずしも高いとはいえない。それに比べて構造物を併用した場合には高くなっている。植生工と構造物を併用する場合、一般に構造物はのり尻部に設けているので、盛土のり面ではのり尻部を堅固な防護工で補強することにより安定度がかなり高くなることを表わしている。そのことを考慮に入れ、上の分析結果をもとにして現在の設計指針に対する改良意見を示したのが 表一14 である。表からわかるように、設計指針で省かれている各種防護工の適用性をも考慮に入れている。

表-14 盛土材料における現在の設計指針に対する改良意見

のり高	土質	のり勾配(%)	防護工	備考
0 m ~ 5 m	礫, 砂	1.5~1.8	植生工のみ	
	砂質土, 礫質土	1.5~1.8	植生工のみ	細粒分の含有率が大きであり, 不安定な場合は腰擁壁を設ける。
	かたい粘土	1.5~1.8	植生工のみ	安定性が悪い場合は腰擁壁を設ける。
	やわらかい粘土・粘質土	1.8~2.0	腰擁壁工+植生工	
5 m ~ 10 m	礫, 砂	1.5~1.8	植生工のみ	のり高が10m近くになり, 安定性が悪い場合は, 腰擁壁を設けたり, コンクリート枠工で補う。やむを得ずのり勾配を急にしなければならない場合は, 全面張工もしくは腰擁壁工+コンクリート枠工とする。
	砂質土, 礫質土	1.8~2.0	植生工+(コンクリート枠工)+(張工)+擁壁工 植生工+コンクリート枠工	
	かたい粘土	1.8~2.0	植生工+(コンクリート枠工)+(張工)+擁壁工 植生工+コンクリート枠工	
	やわらかい粘質土・粘土	—	用いない方がよい。	やむを得ない場合…のり勾配2.0以上, 防護工植生工+コンクリート枠工+(張工)+擁壁工とする。
10 m ~ 15 m	礫, 砂	1.8~2.0	植生工+(コンクリート枠工)+(張工)+擁壁工 植生工+コンクリート枠工	
	砂質土, 礫質土	1.8~2.0	植生工+コンクリート枠工+(張工)+擁壁工	細粒分の含有率が大きである土は, 用いない方がよい。
	粘土・粘質土	—	用いない方がよい。	

注：表中の防護工欄の（ ）は, 用いても用いなくてもどちらでもよいことを示している

近年, 高速道路などの道路網の整備に伴い, 山岳地帯を中心に長大盛土のり面の数が増えてきた。ところが現在の設計指針ではのり高が 15 m までしか示されていない。のり高 15 m 以上ののり面に対しても指針の設置が望まれている次第である。盛土のり面では, 切土のり面に比べて盛土材が比較的均質であり, それを人為的に選択できる利点がある。したがって長大のり面に対する設計指針の設置も可能であると思われる。

5. 崩壊土量とのり面安定度, 降雨量との相関性

(1) 崩壊土量とのり面安定度との相関性

のり面崩壊でも実際には災害になるものとならないものがある。その目安の一つとして崩壊土量がある。図-5 は Case 1 の崩壊データのうちで原調査表に崩壊土量が記入されていた 44 個のデータについて, 崩壊土量と α 値との相関図である。度数分布図(図-1)において, α 値が小になるほど崩壊の可能性が大であるので, 理想としては左上りの傾向になるべきであろう。しかしこの図ではほとんど相関性が認められない。ただ 200 m³ 以上の崩壊土量があった大きな崩壊は α 値 -0.7 以上では起こっていない。

ここで α 値と崩壊土量との相関性が低い原因として, 一つには誘因である降雨量の項目を加味していないことがある。もう一つには各崩壊のメカニズムの違いを考慮

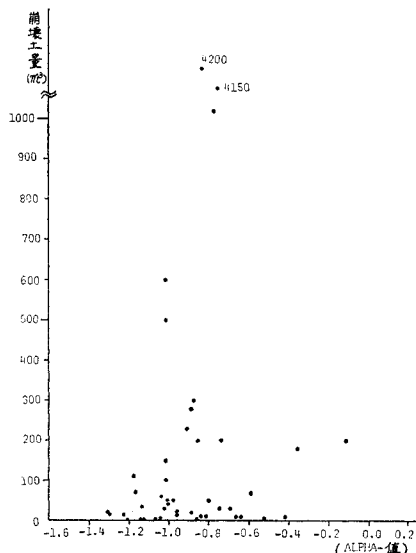


図-5 数量化解析 Case 1 における ALPHA 値と崩壊土量との相関図

していないことである。メカニズムが異なれば重要度の高い要因も違ってくるので各データの α 値の割合も異なってくるであろう。

(2) 崩壊土量と降雨量およびのり面安定度との相関性

のり面崩壊はのり面独自に持っている素因子に誘因が加わって発生する。大部分の場合, 直接の誘因となるのは降雨である。数量化解析の要因に降雨量を取り入れる

際に、安定のり面ではその値が明確でない。よって、取り入れる要因は素因子だけに限定するのが望ましい。そして、数量化解析によって求められた α 値は多数の素因子を定量化した値とみなし、その値と降雨量とを結びつけていくと崩壊の予測が可能になる。あるのり面がどれくらいの降雨の際に崩壊し、その時の崩壊土量が予知できれば、のり面崩壊によって人命を失うこともなく、その対策もたてやすい。国鉄では長年の経験と研究により、のり面採点表を作製して判定基準としている²⁾。

また、一口に降雨量といっても降雨形態は無数にあるので、安定性に直接影響する形での明確な関数を求める必要がある。その一例として実効降雨量があるが、これも完全であるとは思われない。今回の解析では Case 1 の崩壊データのうちで、原調査表に崩壊土量、連続降雨量、時間最大降雨量が記入されていた 20 個のデータについて、従属変数に崩壊土量を取り、連続降雨量 \times 時間最大降雨量 $\times 10^{-3}$ の値と Case 1 で求めた α 値とを独立変数にとり重回帰分析を行った。降雨量を上述の種値で表現した理由は、切土のり面について同様の解析を行った際¹⁾、独立変数として単に連続降雨量、あるいは時間最大降雨量をとるよりも大きな重相関係数が得られたためである。ここで降雨量の積値は誘因を、 α 値は素因子を定量化した値であるとみなしている。

〔重回帰方程式〕

Case 1 の崩壊データ数 20 個

$$y=28.8323 x_1-8.6825 x_2-23.8238 \dots \dots (2)$$

重相関係数=0.7750

ここに、

y ; 崩壊土量 (m^3)

x_1 ; 連続降雨量 \times 時間最大降雨量 $\times 10^{-3}$ (mm^2)

x_2 ; 数量化解析 Case 1 で求めた α 値

上式より降雨量の積値(x_1)が大になるほど、 α 値(x_2)が小になるほど崩壊土量(y)は大になる。そして、 x_1 の係数のほうが x_2 の係数より大きく、変数の order も x_1 は1~100に対して x_2 は-0.1~-1.5であるので、崩壊土量は降雨量に大きく左右され α 値にはあまり左右されないことになる。このことは誘因である降雨量の影響が大であることを示している。

6. 結 論

のり面の崩壊は、いうまでもなく力学的な現象である。しかし、その安定性を力学的に解析するには、間隙水圧をはじめ多くの測定困難な諸数値を決定しなければならない。一方、統計的手法は崩壊のメカニズムを無視しているとはいえ、容易に調査しうる要因によって安定度を推定できる。このように、のり面安定の力学的な解

析法と統計的な解析法は互いに補いあう性質のものであろう。この論文では、

(1) 盛土のり面のデータを林の数量化理論第二類を用いて解析を行った。その結果に適合して道路土工指針の‘盛土材料および盛土高に対するノリ面標準コウ配’に示されている代表的な施工例の安定度を判別した(表—8)。

(2) その判定結果と個々のデータを詳しく分析し、道路土工指針に対する改良意見を示した。そしてここでは各種防護工の適用性を考慮に加えた(表—14)。

(3) 従来の災害予測の目的で、数量化解析で求めた α 値と降雨量による崩壊土量の推定式を示した。その結果が式(2)である。

以上の結果は、今回の解析に用いたデータが建設省直轄国道区間内の危険箇所と認められる所より得られたデータであるので、厳密にはその区間にしか適用できないかもしれない。しかし、盛土は人工的なものであり、その内部構成は比較的均一であり、明確である。安定度に関与する重要要因の地域、区間による差異は少なく、それらの要因を調査するのも容易である。表—2で示される8要因は、それらの要因をかなり網羅していると思われる。よって、今回の解析で得られた内容は、一般の道路盛土のり面におけるものと同一であると考えてよいと思われる。

最後にご指導いただいた建設省土木研究所土質研究室の方々をはじめ、ご助言いただいた多方面の方々へ厚く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 道路土工指針, 日本道路協会, 丸善.
- 2) のり面工の効果ならびに選定基準に関する研究, 第25回建設省技術研究会, 1971.11.
- 3) 桑原啓三・久染勝行: 道路のり面の実態調査, 土と基礎, 第168号, pp. 55~61.
- 4) 丸安隆和: 写真判読による地すべり, 崩壊の統計的研究, 土木学会論文報告集, 第116号, pp. 37~55.
- 5) 久保村圭助・小橋澄治: 国鉄の斜面崩壊の実態と対策, 土と基礎, 第168号, pp. 48~54.
- 6) 中野尊正・門村 浩・松田磐余: 東京山手台地におけるがけ・擁壁崩壊危険度の実態調査, 土と基礎, 第168号, pp. 21~26.
- 7) 山本弘夫・福山俊郎: 数量化理論による道路切取りのり面の崩壊についての研究, 第27回土木学会年次学術講演会第IV部会, pp. 269~272.
- 8) 南部光広・浅野雅行: 統計による切り取りのり面の安定度解析, 第8回土質工学研究発表会, pp. 131~134.
- 9) 南部光広・小野 晃・軽部大蔵: 国道42号線の切取りのり面の安定度解析, 昭和49年度土木学会関西支部年次学術講演会, pp. III-35-1~2.
- 10) 安田三郎: 社会統計学, 丸善, pp. 187~215.
- 11) 南部光広: 統計的手法による道路のり面の安定度解析, 神戸大学工学部土木工科大学院修士論文, 1974.3.
- 12) 小橋澄治・小倉正巳: 切り取りのり面の安定度調査法について, 土と基礎, 第185号, pp. 55~61.

(1974.12.12・受付)