

数量化法による切取り面の安全度解析

ANALYSIS OF STABILITY OF CUTTING SLOPES
BY THE QUANTIFICATION THEORY

久保村 圭助*・武井 昌博**

By Keisuke Kubomura and Masahiro Takei

1. まえがき

われわれが一つの現象を統計的手法により説明し、または時によりなんらかの予測に役立てようとする場合には、このような現象を多数回観測し調査したデータを基にして、数量的評価に結びつけていかなければならない。その際、組み立てられる解析機構、すなわち定式化されたモデルが基になることはいうまでもない。切取り面が降雨に対し安全であるか否かについても、ある尺度を設定することにより、これらを数量的に評価することが可能であるならば、のり面保守上好都合と考えられる。

ここでは切取り面の崩壊に関与する 11 個の要因を取上げ、線形モデルを設定することにより、その安全性を評価し、災害の予測に役立てたいと考えたものである。

切取り面が毎年降雨を直接原因として崩壊するいわゆるのり面災害の件数は相当なものである。そのためにこおむる直接、間接の被害額は巨額の損失となって国鉄の経営面に影響を与える。しかも多くの場合、人命事故に連なる危険性をはらんでいるだけに、切取り面の予防保守は重要なものの一つであることは論をまたない。このために切取り面の崩壊機構を解明するために物理的な実験、理論の面からの考究とは違った別の統計的な次元からの危険性の評価、判別が役立つならば切取り面全般の保守、改良に、より合理性確実性が期待できるのではないかと考えたのでこの試算を行なってみた。

切取り面が降雨を予想した場合、安全であるか、または危険であるかの予測は一般にいう判別の問題であって、2 者のうちいずれのグループに属している確率が大きいということである。

そこで市場調査等に因子分析として従来よく応用され

ている数量化理論による判別解析の手法をここに適用した。

ここで試算のために使用した基礎データは、災害をうけた切取り面の災害調査表のデータおよび今回サンプリングした健全な切取り面のデータである。

2. 切取り面の崩壊

(1) 崩壊の判別予測

ある線区内に存在する多くの一見して同質と思われる切取り面のうち、降雨を直接原因としてあるものは崩壊事故を起こし、他のあるものは健全で何事も起こらなかったという現象は、われわれがランダムに振ったサイコロの目と違って必ずや両者の間に崩壊に対する抵抗力の相違があったものとみなければならない。すなわち、崩壊要因のからみ合いの末、物理的構造の抵抗力を越える場合には崩壊し、これを越えなければ健全であるのだという推察は決して無理ではないであろう。

この物理的抵抗を他の全く新しい次元から眺めた尺度で表現できるとするならば、われわれはこの尺度を用いることによって、崩壊した多くの切取り面のグループと、健全な切取り面のグループがもつ性質との相違を知ることが可能であるし、またこの尺度の中味を吟味することにより、新しく取り上げた第 3 の切取り面はどの程度までの降雨には安全であるであろうかという目安もたてることができよう。

またさらに発展させて、工事費とからませることにより弱い切取り面を改良強化するポリシイをたてることもできる。

もちろん統計量として取扱うこの尺度は、確率現象としてとらえる限り、それぞれのグループはバラツキを有する。すなわち分布をもったものとして、図-1 のよう

* 正会員 国鉄施設局土木課長
国鉄鉄道技術研究所防災研究室主任研究員

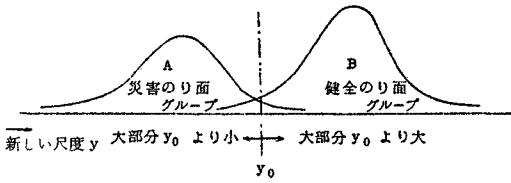


図-1 健全両グループの判別要領

に示される。

いま M 線区における多くの切取りり面の集団を考えるならば、この集団は A, B 2つの異質の小集団から構成されているものとみてよい。この異質の2グループをより分けるために欲しい尺度が上記の新しい尺度のことである。

ここでは一般に定性的要因をも扱える方法として、数量化理論による判別解析をする。

(2) 切取りり面崩壊要因の選定

さて、切取りり面が降雨を受けて崩壊にいたるものとして、この崩壊経路に關与する要因となるべきものを洗い直す必要がある。国鉄においては、のり面崩壊について表-1のような調査表で1件ごとに報告されているので、これから必要な要因は一応採用することができる。また切取りり面が崩壊に至る過程として、次の3要素が考えられる。すなわち、

- (1) どのような素質をもったもので構成され
- (2) 現在までにどのくらい経年、風化を重ね
- (3) 現在ではどのような環境下に擁護され

そしてその果てに降雨という直接外力を受け崩壊するに至るということである。この一連の疑問に答えるものとして、図-2により下記の点を中心に検討を加え、調査

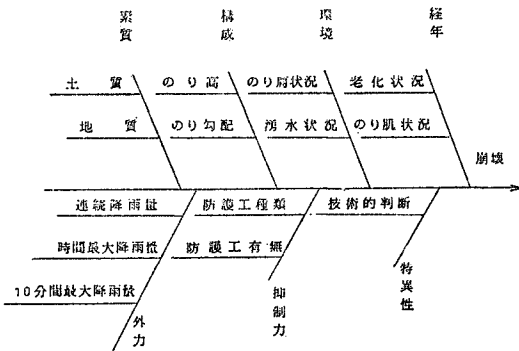


図-2 のり面崩壊要因特性

表記載事項以外に要因を追加し、その結果 11 個の要因を採用した。

a) 素質

素質としてまず考えられるものには地質と土質がある。地質は一般には広範囲を問題とした場合には有力な

要因として影響力をもつものであるが、これに反して土質は狭範囲な線区に大きく影響するかも知れない。もちろん今回の試算においても、地質をも取り入れるべきであろうが、都合により土質一本のみにしぼった。なお調査表中土質の項で、砂利・砂と併記したものについては別に礫として取扱った。

b) 構成

切取りり面の構成要因としては、のり面勾配、高さおよびのり長がある。しかし、この3種全部を取り入れる要はないであろう。ここでは既設データとの関係において勾配と高さをとる。

c) 環境

切取りり面が、素質、構成を同じくしても災害を受ける危険の度合いは同じであるとはいえない。林地、水田など付近の環境の相違がそれぞれ違う影響をおよぼす。これまで災害とはほとんど無縁とされていた箇所の切取りり面が相ついで災害を発生せしめたという事例は案外多くなってきた。これは付近の森林伐採、宅地造成等による環境の変化があずかって原因をなしているものとみてよい。

d) 経年

構造物は経年によって物理的強度が低下することは確

表-1

第 号
昭和 年 月 日

施設局長殿 のり面災害調査表(切取り) 長

所	コード	変性	ロード	熱	管理	ロード	別								
のり高 (m)	<5	10	15	20	25	30	35	40	(99)						
のり勾配 (%)	<3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	>15	(99)
のり腐状況	1. 自然斜面 (高さ 10m 以下) 2. 水田灌漑 3. 林 4. 湧水路 5. その他														
のり腐状況	平時 1. 乾燥 2. 湿潤 3. ゆう水														
のり腐状況	降雨時 1. 湿潤 2. ゆう水 3. 表面湧水														
防護工の有無	01. 防護工無し 02. 土留壁 03. 土留柵 04. コングリート 05. 盛りコンクリート 06. 盛り土 07. 砂利 08. 砂利 09. 砂利 10. 砂利 11. のり腐下流 12. 養生														
災害発生	年 月 日 時 分														
開	年 月 日 時 分														
運搬方式	1. 無 2. 歩行 3. 運搬 4. 履帯 5. 不通														
時間	<1	3	6	12	18	24	30	4日	7日	7日	(9)				
積土重量 (m³)	<10	30	100	300	1000	3000	3000	3000	3000	(99)					
土質	<5	10	30	100	300	1000	1000	1000	1000	(99)					
積土重量 (m³)	<5	10	15	20	25	30	35	40	40	(99)					
積土重量 (m³)	1. 用 2. 融雪水 3. 湧水 4. 風化 5. 表面湧水 6. 環境の変化														
積土重量 (千円)	応急 復旧見込み 合計														
積土重量 (千円)	<6	12	24	48	48										
連続降雨時間	<5	100	150	200	250	300	350	400	400	(99)					
連続降雨量 (mm)	<50	100	150	200	250	300	350	400	400	(99)					
最大降雨量 (mm)	<50	100	150	200	250	300	350	400	400	(99)					
最大24時間雨量 (mm)	<50	100	150	200	250	300	350	400	400	(99)					
風向 (斜面に対し)	1. 順風 2. はば風角 3. ななめ 4. 平行														
土質	砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂 砂														
土質	1. 砂岩 2. 軟岩 3. 砂利 4. 砂 5. シルト 6. 粘土														
工事計画	1. 計画してあった 2. 計画してなかった														
危険度	1. 指定警報指定箇所 2. 要修箇所 3. 普通箇所														
同一のり面における災害	1. 同一箇所 2. 附近 3. 無														
記号															

されたとすると一般形は

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_j)$$

のごとく表わされる。y が正規分布にしたがう場合には近似的に第一次形式とするのが一般である。

さて変量yは要因に与えた補助変量の線形和として求めることは決まったが、では補助変量にどのような数値を与えるのか、その概括を述べる。

いま、母集団からそれを代表するようなサンプルN個を取り出し、これらN個のサンプルにつき、関連する要因について調べ上げたものが表-2であるとする。

分類 I, II, …, T は母集団中に存在する異質グループであって切取りのり面の問題においては、健全グループ、災害グループといったもので、サンプルにおいてはすべてそれらがいずれのグループに属しているのかは既知である。

ここで次の定義をする。

$$\begin{aligned} \delta_i(jk) &= 1 && i \text{ 番目のサンプルで } j \text{ アイテム} \\ & && \text{の要因中 } k \text{ カテゴリーに入った} \\ & && \text{とき} \\ &= 0 && \text{しからざるとき、すなわち } k \text{ カ} \\ & && \text{テゴリー以外の所に入っている} \\ & && \text{とき} \end{aligned}$$

しかし、 x_{jk} を与えるべき j アイテム、k カテゴリーの数値とすれば

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

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{i(t)=1}^{n_i} \sum_j \sum_k \delta_i(t)(jk) \cdot x_{jk} \dots \dots \dots (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_i n_i \cdot \bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_i \sum_j \sum_k \delta_i(jk) \cdot x_{jk} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、異質グループの判別を最も効果よくしたい目的のもとに x_{jk} に数値を与えるということは、これらグループ間の相互位置を最も切離すようにすればよい。すなわち、グループ間の相関比 η の自乗値を最大にするという立場をとればよい。この場合 σ^2 が一定の条件下では、 η^2 の極大はすなわち最大であることは自明である。

$$\eta^2 = \frac{\sigma_b^2}{\sigma^2} \dots \dots \dots (4)$$

- η : 相関比
- σ_b^2 : グループ間の分散
- σ^2 : 全分散

η^2 を最大にするということは、式(4)を x (ここで x_{jk} と区別して x_{uv} と記す) で偏微分したものを0とおくことにより求められる。

すなわち、

$$\frac{\partial \eta^2}{\partial x_{uv}} = 0 \quad (u=1, 2, \dots, R \quad v=1, 2, \dots, kR)$$

これから

$$\frac{\partial \sigma_b^2}{\partial x_{uv}} \cdot \sigma^2 - \frac{\partial \sigma^2}{\partial x_{uv}} \cdot \sigma_b^2 = 0$$

$$\therefore \frac{\partial \sigma_b^2}{\partial x_{uv}} = \eta^2 \cdot \frac{\partial \sigma^2}{\partial x_{uv}} \dots \dots \dots (5)$$

ところが

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_b^2}{\partial x_{uv}} &= \frac{2}{n} \left[\sum_j \sum_k \sum_i \frac{g^t(jk) \cdot g^t(uv)}{n_i} \right. \\ &\quad \left. - \sum_j \sum_k \frac{n_{jk}}{n} \cdot n_{uv} \right] \cdot x_{jk} \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

また

$$\begin{aligned} \eta^2 \cdot \frac{\partial \sigma^2}{\partial x_{uv}} &= \eta^2 \cdot \frac{2}{n} \left[\sum_j \sum_k f(jk, uv) \right. \\ &\quad \left. - \sum_j \sum_k \frac{n_{jk}}{n} \cdot n_{uv} \right] \cdot x_{jk} \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

ただし

$$\begin{aligned} \sum_{i(t)} \delta_i(t)(jk) &= g^t(jk) \\ \sum_{i(t)} \delta_i(t)(uv) &= g^t(uv) \\ \sum_j \delta_i(jk) &= n_{jk} \\ \sum_i \delta_i(uv) &= n_{uv} \\ \sum_i \delta_i(jk) \cdot \delta_i(uv) &= f(jk \cdot uv) \end{aligned}$$

式(6), (7)よりマトリックス標示をすれば

$$Hx = \eta^2 Fx \dots \dots \dots (8)$$

式(8)の連立方程式を解けば x が求められる。

数量化理論の一般論として以上はグループの数が T 個の場合として述べたが、今回の場合は、健全グループと災害グループの2つに限られているので式(8)はさらに簡単になり式(9)をもって示される。

$$H = F \cdot x \dots \dots \dots (9)$$

ここに、

$$h : \frac{g^2(jk)}{n_2} - \frac{g^1(jk)}{n_1}$$

$$h : f(jk, uv) - \frac{n_{jk}}{n} \cdot n_{uv}$$

$$x : x_{jk} (j=1, 2, \dots, R, k=1, 2, \dots, kR)$$

(2) 判別の的中率

数量化により判別解析をする場合の効果とは客観的には、的中率により表現される。

的中率をあるいは判別精度、あるいは判別の成功度または、さらに信頼度(信頼性における信頼度とまぎらしくはない場合には)と呼んでもよい。的中率について具体的には試算における判別の項で述べるが、予測する場合、実際にはAグループに属すべきであるものをBグループに属する、といい切ったときの誤びゆう率を1から引いた値、すなわち成功率をもって尺度とする。

いま既設のサンプルにつき数量化した要因の x_{jk} の

和として y 値を横軸にとったヒストグラムをえがくと、一般にはこれらはそれぞれのグループごとに図-3のようにまとまった分布をとるはずである。ところが図-3において重なりあった部分については、このいずれの分布に属すべきであろうか。あるいはまた新しくとり上げた切取り面の y 値を計算したとき、もしもこの重なり部分にプロットされたとして、判別のための誤り、すなわち裏をかえして的中率が最も大きくするように両者の領域を設定する問題がある。この両者の領域の境界点を y_0^* とすると

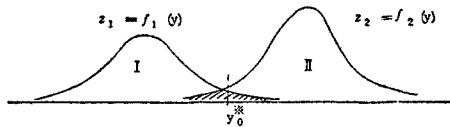


図-3 グループ判別図

$$y < y_0^* \text{ あるいは } y > y_0^*$$

かにより、その属すべきグループを判断するのである。

しかして境界点 y_0^* の位置は的中率が最大になるように決めればよい。

ある値 y_0 を採った時の的中率 $P(y_0)$ は第1, 2グループのサンプルの母集団における相対比率をそれぞれ π_1, π_2 としたとき

$$P(y_0) = \pi_1 \int_{-\infty}^{y_0} f_1(y) dy + \pi_2 \int_{y_0}^{+\infty} f_2(y) \cdot dy \dots\dots\dots(10)$$

となる。ゆえに的中率を最大にする境界点は

$$\pi_1 f_1(y) = \pi_2 f_2(y) \dots\dots\dots(11)$$

のときの y_0 をとればよく、それを y_0^* とすると、このときの的中率は

$$P^* = \pi_1 \int_{-\infty}^{y_0^*} f_1(y) dy + \pi_2 \int_{y_0^*}^{+\infty} f_2(y) \cdot dy \dots\dots(12)$$

である。

ところが、 π_1, π_2 は一般には判然としないことが多い。そのときには y_0 のmin-max解がある。それは相対比率が、的中率にとって最も不利になる場合をまず想定し、その場合における最良的中率が得られるように y_0 を決定するのである。

すなわち、

$$P(y) = \max_{y_0} \min_{\pi_1}$$

とすれば

$$P(y_0) = \int_{-\infty}^{y_0} f_1(y) \cdot dy = \int_{y_0}^{+\infty} f_2(y) \cdot dy \dots\dots(13)$$

を満足する値 y_0^* をとればよい。この y_0^* を使ったときの的中率は、

$$P^* = \int_{-\infty}^{y_0^*} f_1(y) \cdot dy \dots\dots\dots(14)$$

与えられる。

(3) 数量化法による x のもつ意味

このようにして決めた各水準(カテゴリー)の値が一体いかなる意味をもつものであるか、この辺で整理しておく必要がある。

それは第一に数量化は水準の有する数値として求めたものではなく、あくまでも数値を与えたことである。それはグループ間をなるべく離して判別の効果を上げるという意図のもとにであった。しかもそのためにとった尺度は各要因における水準値の和というモデルであったから各水準のとるべき数値は絶対的のものであることを要しない。比較ができればよいのである。このために x の値は間隔尺度として有効さを発揮し、数値の差のみが意味をもつ。たとえば、寒暖計の目盛りにおいて 20°C と 30°C とは温度差のみ意味があるのであって、決して後者は前者の1.5倍あたたかいとはいえないがごときである。

また、要因の効き方はそのカテゴリーに与えた数値の幅によって示されることも納得がいくであろうし、しかもこれらの和の大小により災害、健全いずれのグループに属すであろうかの予測判別に役立つのである。この場合、負の値は災害の助長にあずかるものと早急な錯覚におちてはならない。負の値をとっても一向差し支えない。

なお、要因、すなわちアイテムの分散をもって要因の効きとするのも一法であるが、それは頻度を加味するような場合に都合がよい。さらに得られる数値は上式を誘導してきてわかるように多次的な操作の中であるから、全要因の関連の下にそれぞれ他の要因の影響を加味したものであると認識することは重要である。

4. 試 算

(1) 試算のための線区選定

切取り面の安全、危険性を診断するのに、数量化理論を応用して判別解析を試みるが、実際にどの線区を取上げるかについては次の諸点を考慮した。

- a) 分析作業からの観点
 - ① 切取りのり面のまとまった線区であること
 - ② 災害という事象の発生が元来少数であるから、台風などの被害が多発して、データの集取が容易なところ
- b) 企業面からの観点
 - ① 重要性の高い、いわゆる主幹線であるところ
 - ② 輸送需要が多いところもしくは見込まれるところ
 - ③ 他の輸送機関が発達し、競合路線としての位置にあるもの等である。

以上の着眼により日豊本線を探り上げたが、データの不足を補う意味において同線区に隣接する豊肥本線からもデータをとった。

(2) データ

試算の基になるデータは、そもそも出現頻度の少ない災害のり面と、これに反して絶対数の多い健全のり面との2グループを比較するという状況なので、災害のり面データは、なるべく多い方が望ましく昭和34~40年間にわたるのり面災害調査表の中からごく小数の不均合なものを除外して100件を取り出した。また別に健全なり面を選出する要があるが、それは次のような手段によった。すなわち、日豊、豊肥両線の切取のり面に一連番号をつけ、各切取のり面ごとに全長に対する10等分点

を設定した。しかる後、両線の災害切取のり面サンプルと同数ずつのものを二段抽出した。

また100件の健全のり面における降雨量は、同付近における害災のり面のそれと同じものをとった。

判断項目等定性要因については現場調査員に主旨徹底を図った上、つとめて同一レベル、同一主観の評価をした。データのとり方については、これが解析の基礎になるだけに、最も理想的な集計でなければならないが、今回の調査にあってもいろいろな事情、束縛のため必ずしも最良な方法であったとは思われないので、データ集計についての考察・検討はさらに後で述べる。

(3) 集計作業

集計作業については、データ数が多い場合には最初か

付表-1 切取りの面項目別調査一覧表

Table with 13 columns: 年度番号, 位置, 土質 (堅岩, 軟岩, 礫, 砂利, シルト, 粘土), 老化の進み (良好, 中程, 著しい), のり高 (m), のり勾配, のり肩の状況 (自然, 林, 畑, 水, 池, 田, 路, その他), のり肩の状況 (風, 成, 吹, 沸, 水, 状況, 防, 護, 工, の, 有, 無), 連続降雨量 (mm), 時間最大降雨量 (mm), 判断 (上, 中, 下).

付表-2

f(jk, uv) 表

g(jk) 表

Large table with 13 columns and multiple rows. Columns include soil type, weathering, height, slope, shoulder status, rainfall, and judgment. It contains a complex grid of numerical data for various conditions.

ら電子計算機を使用すれば便利であるが、ホールソートカードを用いて分類集計作業をするのもよいであろう。いまの場合には必ずしも多いとはいえない数量であるので手作業分類集計を行なった。現場機関ではこの方法で安直に行なうことができる。

その方法手順を述べる。

① まず原始データの要因内容を付表-1のように該当項目にチェックして一覧表に整理する。

② 付表-1においてjアイテム、kカテゴリーにチェックされたものの集計をする。これを2元表式に整理したものが付表-2のf(jk, uv)表およびg^t(jk)表である。

なお、g^t(jk)表の数値は災害、健全グループについてそれぞれjアイテム、kカテゴリーにチェックされたものの合計である。f(jk, uv)表は後のFに、g^t(jk)はHのために使用する。

③ 次に付表-3に説明してあるように、f(jk, uv)表を基にしてF表を、g^t(jk)表からH表およびh表を計算する。

④ 付表-3にて求めた各エレメントの最下段の値を転置して対角線に対対象させた。

以上の集計計算をするとF表は係数行列になり、h表が定数ベクトルになり式(9)の連立方程式をたてることができる。

たとえば、その第1式を記すと次のとおりである。

$$13.020 x_{11} - 3.220 x_{12} - \dots - 0.970 x_{113} = 0.100$$

このような連立方程式を解くことだけは電子計算機の力を借りることになるが、そのようにして解いたのが表-3である。

5. 考 察

(1) x値にみる要因効果の検討

計算機の結果得られたx値は表-3の通りであるが、ここでレンジの大きいものとしては時雨量、土質、老化、のり高、ついでりの肌状況の順になっているところから、要因の効き方はこのような順序になっているものと理解される。また、反対に効き方の小さいものとしては防護工の有無、種類、判断、のり勾配などである。

防護工の効きが小さいということは、ちょっと意外な気もするが、これは防護工の有無およびその種別が切取り面の安定に効果的でないと解釈するよりもむしろ、「防護工を設置するような悪条件をそろえた切取り面」と解釈した方が妥当であろう。そのことは基礎データまで逆上って検討しなければならないし、また、このような解析にはとかくあやまりをしがちである。つまり、基礎データをとるときに災害データにおいて単に防護工

付表-3

n=200 (1) F表

(2) H表, h表

				土 質					時間最大降雨量				グループ		
				堅 岩	軟 岩	礫	砂 利	砂	判 断	上	中	下	災害健全		
				C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C _{10.5}	C _{11.1}	C _{11.2}	C _{11.3}	(I)	(II)	H
土 質	堅 岩	C ₁₁	0.070000	13.888	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	0.100
		C ₁₂	0.230000	0	13.888	0	0	0	0	0	0	0	13	33	0.200
		C ₁₃	0.100000	0	0	13.888	0	0	0	0	0	0	10	0	0
	礫	C ₁₄	0.075000	0	0	0	13.888	0	0	0	0	0	13	0	-0.110
		C ₁₅	0.125000	0	0	0	0	13.888	0	0	0	0	21	4	-0.170
		C ₁₆	0.110000	0	0	0	0	0	13.888	0	0	0	19	0	-0.160
	砂	C ₁₇	0.290000	0	0	0	0	0	0	13.888	0	0	10	20	0.190
		C ₂₁	0.105000	0	0	0	0	0	0	0	13.888	0	55	91	0.160
		C ₂₂	0.630000	0	0	0	0	0	0	0	0	13.888	44	9	-0.350
シルト	C ₂₃	0.265000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	-0.400	
	C ₃₁	0.070000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C ₃₂	0.385000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
粘土	C ₃₃	0.245000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C ₃₄	0.150000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C ₃₅	0.360000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
老化の進歩	C ₃₆	0.265000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C ₃₇	0.070000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C ₃₈	0.385000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
のり高	C ₃₉	0.245000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C ₄₀	0.150000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C ₄₁	0.360000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
連続降雨量	~200	C ₉₂	0.150000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	~300	C ₉₃	0.360000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	~400	C ₉₄	0.245000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	400~	C ₉₅	0.180000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	時間最大降雨量	C _{10.1}	0.050000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
判断	上	C _{11.1}	0.120000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	中	C _{11.2}	0.525000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	下	C _{11.3}	0.355000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	判 断	C _{11.4}	0.120000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	判 断	C _{11.5}	0.525000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

製表要領
F表
第1段 f(jk, uv)
第2段 $\frac{nj}{n}, n_{uv}$
第3段 $f(jk, uv) - \frac{nj}{n} \cdot n_{uv}$

H表
第1段 g^t(jk)
第2段 $\frac{g^t(jk)}{n_t}$
右欄 $\frac{g^t(jk)}{n_2} - \frac{g^t(jk)}{n_1}$

表-3 x 値

要因	x_{jk}	レンジ	要因	x_{jk}	レンジ
土質	C ₁₁	-0.00109	のり肌	C ₆₁	0.00357
	C ₁₂	-0.00126		C ₆₂	0.00676
	C ₁₃	-0.00346		C ₆₃	0
	C ₁₄	-0.02005	湧水	C ₇₁	0.00325
	C ₁₅	-0.00901		C ₇₂	0.00031
	C ₁₆	-0.00637		C ₇₃	0
	C ₁₇	-0			
老化	C ₂₁	0.00909	防護工	C ₈₁	-0.00207
	C ₂₂	0.00501		C ₈₂	-0.00095
	C ₂₃	0		C ₈₃	0
		C ₈₄		-0.00085	
のり高	C ₃₁	-0.00294	連続降雨量	C ₉₁	0.00037
	C ₃₂	0.00331		C ₉₂	0.00383
	C ₃₃	0.00205		C ₉₃	0.00051
	C ₃₄	0.00597		C ₉₄	0.00123
	C ₃₅	0		C ₉₅	0
のりこう配	C ₄₁	0.00320	時雨量	C ₁₀₁	0.02499
	C ₄₂	0.00036		C ₁₀₂	0.01594
	C ₄₃	0.00015		C ₁₀₃	0.01380
	C ₄₄	0		C ₁₀₄	0.01406
		C ₁₀₅		0	
のり肩	C ₅₁	0.00031	判断	C ₁₁₁	0.00177
	C ₅₂	0.00467		C ₁₁₂	0.00173
	C ₅₃	0.00094		C ₁₁₃	0
	C ₅₄	0.00429			
	C ₅₅	0			

があったということよりも、この防護工が災害の発生に実際抗し得なかったかどうか、ということではなければならない。また、この種解析において、もしもグループ判別でなしに崩壊土量のごときものを尺度にとって危険度を推定するような場合であれば、要因としての防護工は崩壊土量の多量発生防止に役立ったか否かの観点から黑白をきめるべきである。今回の解析においては得られたデータ、および既設のデータからは残念ながらあいまいさはまぬがれなかったらみがある。

(2) 判 別

x_{jk} 値を初期サンプル 200 個に挿入して得られる y 値を度数分布にて表わしたものが図-4 である。災害、健全の両者についてそれぞれ密度関数に近似させると $N\{-0.0172, (0.0082)^2\}$, $N\{-0.0037, (0.0040)^2\}$ になり、的中率は、

$$y_0^* = -0.0082$$

を限界点として

$$P^* = \int_{-\infty}^{P^*} f_1(y) \cdot dy = 0.86$$

となる。

すなわち、限界値 -0.0082 を境とし、これよりも小さい y 値をもつ切取り面を災害を受けるであろうと推察し、また、これより大なる y 値をもつものを安全であると断言してもそれは 86% の確率で正しいことを示している。

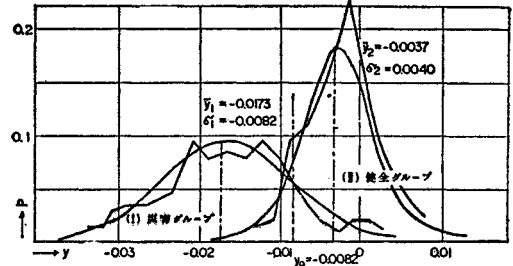


図-4 判 別 図

今回の試算に使用したデータ 200 個は日豊、豊肥両線から抽出したのであるが、それと同一母集団とみなせる日豊本線佐伯保線区管内の全切取り面 556 個所について頭初の技術的判断による判定と実際との関係を見ると表-4 のとおりであった。表-4 における判定の正しさは 0.70 である。

表-4 健全判別の実績

判断	実 際	災害を受けた	健全である
危険とみた		15	49
安全であるとみた		15	477

総数 556

さらに、参考のために、昭和 38~41 年度間における切取り面の全国災害件数 679 個についてみるに災害を予測してなんらかの手を打つべきであるとしていたものの割合は各年度を通じて 0.29~0.30 の程度であった。

なお、第 2 グループに属しているデータのうち $y_0^* = -0.0082$ よりも小なるものを取り出してみると表-5 の通りである。これは現時点において危険性を帯びている切取り面であると判断してよい 1 つの資料を提供するであろう。

表-5 弱小のり面 単位雨量 (mm)

線 名	キ ロ 程	y 値	連続降雨量	時間雨量
日 豊	169.590	-0.0083	<400	<40
	169.820	-0.0114	"	"
	172.170	-0.0131	"	<60
	185.300	-0.0118	"	<80
	185.300	-0.0097	"	"
	233.950	-0.0148	<300	<60
	238.636	-0.0207	"	<40
豊 肥	240.060	-0.0172	"	"
	74.750	-0.0088	<200	"
	74.800	"	"	"
	87.770	-0.0230	<300	"
	104.160	-0.0089	"	"
	126.100	-0.0146	<400	"

(3) 選定要因ならびに的中率に対する検討

試算のために取入れた要因が切取り面の崩壊を数量

表-6 相関係数行列

u \ j	土質	老化の進み	のり高	のり勾配	のり肩状況	のり肌	湧水状況	防護工	連続雨量	時間雨量	判断
土質	1	0.1408	0.0521	0.0042	0.1599	0.2181	-0.0408	0.1184	-0.0080	0.1575	0.0018
老化の進み		1	0.1398	0.0415	0.1808	0.0446	-0.0260	0.0837	-0.0439	-0.1351	0.3825
のり高			1	0.0355	0.0828	0.1214	-0.0766	-0.0134	0.0250	0.1504	0.0104
のり勾配				1	-0.0682	0.0747	0.0261	-0.1115	0.1478	0.1572	-0.0787
のり肩状況					1	0.2686	-0.2096	0.0413	-0.0959	0.0889	0.1298
のり肌						1	0.0196	0.0579	-0.0557	0.0404	0.1356
湧水状況							1	-0.0866	-0.0170	-0.0019	0.0822
防護工								1	0.1171	-0.0948	0.0205
連続雨量									1	0.1063	-0.1980
時間雨量										1	-0.2184
判断											1

的に説明するのに十分適切であったか否かの目安は数量化された後の段階においては要因相互の相関係数なり、偏相関係数を計算することによって知る。表-6 は相関係数行列であるが、これをみるにおおむね要因間の独立性は保たれているとしてよいであろう。

以上のようにして切取り面の降雨による崩壊の危険性を判断する一手段として統計による数量化を試みた。試算の結果からみるならば十分この方面へのこの種手法の応用が可能のように思われる。もちろん、精度を向上させることが重要で、そのためには解決してかからねばならぬ問題点が多いはずである。次にそれらについて検討する。

数量化の適用を評価する尺度として判別的な中率なるものをとったが、この的中率を上げるためにはデータの影響が最も大きいとせねばならない。そこで問題となるのは次の点である。一般的には、

(1) 取入れる要因およびその水準の適否

(2) 現場において実地調査測量する際の正確さ
にわけて考えることができる。しかも両者は統計解析にはたがいに関連があるので、原則としては試算工程に先立って密接に打合わせる事が望ましい。今回の試算においては既設データを利用する方針で出発したもののゆえ、(2)項の点をチェックすることはなかった。(1)項についても限られた要因しか与えられていないので、これで十分とはいえないかも知れない。また一方、計算機能力からも制約があった。以上を要約して、

(a) 要因および水準の数すなわち、ランク付けが少ないうらみがあった。

(b) 要因2元表においてはなほだしく小さい値のものはむしろ初めに戻って除外するか、隣接の水準に統合した方がよい。

6. 結 論

以上のようにして日豊本線を中心として取上げ、数量化による崩壊の安全、危険性を判別した。試算過程の各時点において若干の検討、考察を加えてきたが結論としてここに要点を列記する。

(1) 切取り面の崩壊要因の効き

要因の効きとして、時雨量、土質、老化、のり高、のり肌の状況等が強く、逆に防護工、判断、のり勾配は効き方が弱い。

(2) 判別効果

任意の切取り面を取上げ、これのもつ諸要因数量をとって y_i を計算した時、判別限界点 $y_0^* = -0.0082$ と比較することによりグループ判別を行なうと的中率は約86%で、経験による的中率よりも大きい。

今回、ただ一度のこのようなデータとサンプリングによつての結果をもって、ただちに十分であるということではできないし、むしろ、納得しにくい点もあったが、考察の結果をこれら不備の点の改良、訂正に向けるならば、なお次のようなことがいえるであろう。

(1) 従来心理効果を伴った市場調査などによく用いられている数量化方式は土木分野、たとえば、のり面防災の見地から多変量解析の一方法として十分応用可能である。

(2) のり面の危険度を数量的に評価することにより順位づけができる。この場合、運転支障時間、被害額、崩壊土量等をもって尺度とすることもできる。

(3) 弱いり面に対しては、強化費用、発生率等を知ることにより、最適強化方策を講ずることができる。

最後にこの数量化法による切取り面の安全度解析を

行なうにあたっては、大分鉄道管理局工事課および現場保線区の方々に多くの調査や資料提供をお願いし、また山田前防災研究室長のご指導をいただいたので、心より御礼申し上げて報告を終わりたい。

参 考 文 献

1) 青山博次郎：数量化の一問題，統計数理研究所彙報

Vol. 8, No. 4

- 2) 林 知己夫：数量化理論とその応用例，統計数理研究所彙報，Vol. 8, No. 4
- 3) 植松 俊夫：市場調査のための統計的数量化の理論と実際，統計数理研究所，昭 37
- 4) 丸安隆和外：都市における自然災害，土木学会論文集 No. 159

(1970.12.7・受付)
