

古第三紀杵島層分布地域における 切土工事に伴う地すべりの要因について

小野 仁・井出 修・前島俊哉

Factors Causing Landslides Associated with Cutting Works in the Terrain of the Paleogene Kishima Group

Hitosi ONO, Osamu IDE and Toshiya MAEZIMA

Abstract

Expressway construction works in Japan have recently been undertaken more extensively in mountainous regions than in flat areas. This has resulted in an increase in landslides and slope failures triggered by cutting works. In road construction involving cutting, such landslides and slope failures are problems of primary concern.

The Western Kyushu Expressway (Takeo-Sasebo Road) extends through a hilly area spanning 22.1 km from Daito-cho, Sasebo-City, Nagasaki Prefecture to Higashi-Kawanobori-machi, Takeo-City, Saga Prefecture (Fig. 1). This expressway involves 266 locations of cutting work. It is situated in an area where the Paleogene Kishima Group is extensively distributed. Landslides occurred at 57-i. e. 21%- of these 266 locations. Most of the slides are initial landslides of the bare rock. As present technology cannot accurately predict the occurrence of such initial landslides, the construction works were carried out under close observation and surveying, and also made use of computerized execution management.

The elaborate surveying operations throughout the period of these road construction enabled us to gather detailed data on topography, geology of slope faces and condition of the works at the time of each incident. Authors have conducted a factor analysis on the basis of these accumulated data to classify warning signs and to predict landslides associated with road construction works in regions of similar topography and geology.

In examining the frequency of occurrences of landslides, authors gave 32 items as factors (Table 1) to the topography, geology and the structural condition of the road. Locations with complete data on the 32 factors are 52 slided slope faces and another 83 non-slided ones. The above abundant data enabled to apply the mathematical quantification theory II.

Analyses were carried out in three stages of the preliminary, the schematic and the detailed design, because available data were different from stage to stage. Studies were also carried out on the factors causing large-scale landslide and comparatively small collapses. The following is an outline of the results of the analytical work.

① Results of analyses in the preliminary design stage.

In the preliminary design stage, analyses were made on the items and categories shown in Table 3. Fig. 39 shows the obtained right discrimination rates and correlation ratios and

their relation to the number of available factors.

The purpose at this stage is recognition of a general tendency. Taking the number of factors as 4, the both right discrimination rate and correlation ratio are 97% at the respective largest value and authors made use of 4 factors with large, partial correlation coefficient for analysis. They are (1) plane alignment of the route, (2) location of cutting, (3) sectional profile of the slope and (4) knick lines. The category scores of each item obtained and the ranges of items are shown in Table 4.

The sample scores obtained by way of each category score on the 4 items were classified into 10 grades and the rate of slide occurrence and non-occurrence by the grade is shown in Table 5. That is to say, the landslide occurrence rates are 91%, 43%, and 14% respectively where the sample scour is over 0.1850, between 0.1850 and 0.0471 and under 0.0471.

② Results of analyses in the schematic design stage.

In the schematic design stage, 20 items and categories shown in Table 7 were extracted from the findings of the primary geological survey (site surface exploration, geological reconnaissance and rough boring examination) and from measured plans (1 : 1,000).

The obtained right discrimination rate and correlation ratio and their relations to the number of items are shown in Fig.41. According to Fig.41, the correlation ratio diminishes where the number of items are less than 12 and the right discrimination rate of 12 items (90.7%) is almost equal to the largest value. Therefore, analyses were conducted with 12 items with the large partial correlation coefficient. Table 8 shows the category scores and item ranges thus obtained.

The sample scores obtained from each category score of the 12 items are divided into 10 grades. Number of the slided and non-slided sites and their ratio in each grade are shown in Table 9. The landslide occurrence rates are 94%, 48% and 2% respectively where the sample score rates are over 0.2982, between -0.0641 and 0.2981 and below -0.0641.

③ Results of analyses in the detailed design stage.

Since more detailed data are obtainable in the detailed design stage, 27 items shown in Table 11 were selected. The obtained right discrimination rate and correlation ratio and their relation to the number of items are shown in Fig.43. According to Fig.43, the correlation rate diminishes when the number of items is less than 21 and right discrimination rate (89.8%) becomes 97% of the largest value when the number of items is 21. Therefore, analysis was carried out with use of 21 items by large partial correlation coefficients. Table 12 shows the category scores and item ranges thus obtained.

The sample scores obtained by using each category score of the 21 items were classified into 10 grades and number of slide occurrence and non-occurrence at sites in each grade is shown in Table 13. The sample scores are over 0.4236 in all the sites where landslide occurred and they are below -0.1492 in the sites where landslide did not occurred.

④ Results of factor analyses regarding of landslide types.

In analytical study of factors by landslide types, authors provided the same items and categories as in the detailed design stage, but the number of items actually available was no more than 20 since there were only 52 samples.

The right discrimination rate and correlation ratio obtained and their relation to the number of items are shown in Fig.45. There are some inconsistencies in right discrimination rate, but the correlation is nearly constant when the number of items are over 15, and the 15 items with large partial correlation coefficients are used in the analysis. The category scores and item ranges obtained in this way for each item are shown in Table 16.

The sample scores obtained from each category score of the 15 items were classified into 10 grades. The number of occurrences of slope failures and landslides and their ratios by the grade are shown in Table 17. In summary, all the sites where the values of sample scores are

above 0.3469 and below -0.1179 are respectively of slope failure type and landslide type.

The above is the statement of the results of factor analysis of landslides conducted in 3 stages of the preliminary, the schematic and the detailed design stage. The right discrimination rates were respectively 74.1%, 90.6% and 89% and correlation coefficients were 0.5988, 0.7772 and 0.8164 in the 3 stages. The results are considered helpful in predicting landslides in road construction works in areas with similar topography and geology. However, to facilitate references in planning and executing cutting works authors have provided Table 19, which shows the degrees of contribution of each item in triggering a landslide as judged from a general point of view. The 10 items rated A are considered major contributors to landslides and therefore they must be scrutinized as primary factors for study. Those 12 items rated B are considered to have a fair amount of contribution also, even though not as much as those in A, and due attention must be paid to them. Those 11 items rated C do not contribute greatly to landslides but need be reviewed accordingly.

1 はじめに

わが国における高速道路の建設は、従来の平地部を主体とする縦貫道の時代から、近年は山間部を主体とする横断道の時代に移行し、道路建設において切土工事が多くなってきている。さらに、高規格幹線道路網の整備に伴って、山間部における道路建設が多くなることが予想される。

このような切土工事の多い道路建設における最大の問題は、切土工事に際して地すべりやのり面の崩壊が発生することである。道路計画が、すでに地すべりが発生している地帯、あるいは地すべり指定地を通過するようになっている場合には、事前に綿密な調査を行うことによって、十分な地すべり対策を施した設計・施工を行うことが可能であろう。しかしながら、実際には、外見上地すべり地とは考えられないような箇所でも、地すべりやのり面の崩壊が発生し、急ぎで調査を行って対策工を施工することがしばしば起こる。

西九州自動車道の一環である武雄佐世保道路のⅠ期区間とⅡ期区間は、長崎県佐世保市大塔町から佐賀県武雄市東川登町までの全長 22.1km の山岳道路で、266箇所 に及ぶのり面の切土工事であった。しかも、これらの切土工事箇所の21%にあたる57箇所において地すべりが発生した。これらの地すべりの大部分は岩盤の初生すべりであり、事前に予知することは現在の技術水準では困難であった。しかしながら、施工途中における地すべり発生による被害を極力少なくするために、情報化施工を実施し、その観測によって地中にひずみが生じたことが判明した場合には、直ちに押え盛土を施工して、変状の進行を防止するとともに、変状の実態の調査を実施し、それらのデータの解析に基づいて、施工性および経済性を考慮して、対策工を決定した。

以上のように、各のり面について細心の注意を払って情報化施工が実施されたために、各のり面についての地形・地質の調査や、変状発生時における施工条件などの詳細なデータが残されている。

斜面崩壊に数量化理論を用いた最近の研究としては、道路管理段階における崩壊事例を基にして、のり面や斜面の安定度の判定を行ったもの(中村, 1989)、あるいは、切り取り斜面を対象とし、落石型小崩壊についての要因分析を行ったもの(村上, 1990)などがある。

しかしながら、切土工事に伴って発生した地すべりの要因に関して、上記の地形・地質に関するデータを総合的に整理することは、同じような地形・地質条件にある地域の道路計画における地すべりの予測、施工対策に役立つものと考え、数量化理論を用いた要因分析を行った。ここに、その結果を報告する。

2 路線周辺の地形・地質の概要

西九州自動車道の一環である武雄佐世保道路のⅠ期区間とⅡ期区間は、長崎県佐世保市大塔町から佐賀県武雄市東川登町までの全長 22.1km の山岳道路で、この路線沿いには、標高670.2mの隠居岳および標高447.0mの神六山の2つの小さい峰があるが、この2峰以外の地域は、おおむね標高200m以下の丘陵地形を呈している。谷の開析は下方侵食が進み、全体的に谷幅は狭くなっている。路線は、この丘陵地の標高100~170mのところを切土工を主体として通過することになっている。

この地域周辺の地質構造は図-1に示す通りである。これによると、当路線周辺には世知原盆状構造、有田ドーム、矢筈盆状構造などが存在し、これらの褶曲構造によって生じた桑木場断層、湯無田断層、庭木断層が路線と交差している。また、これらのドームおよび盆状構造

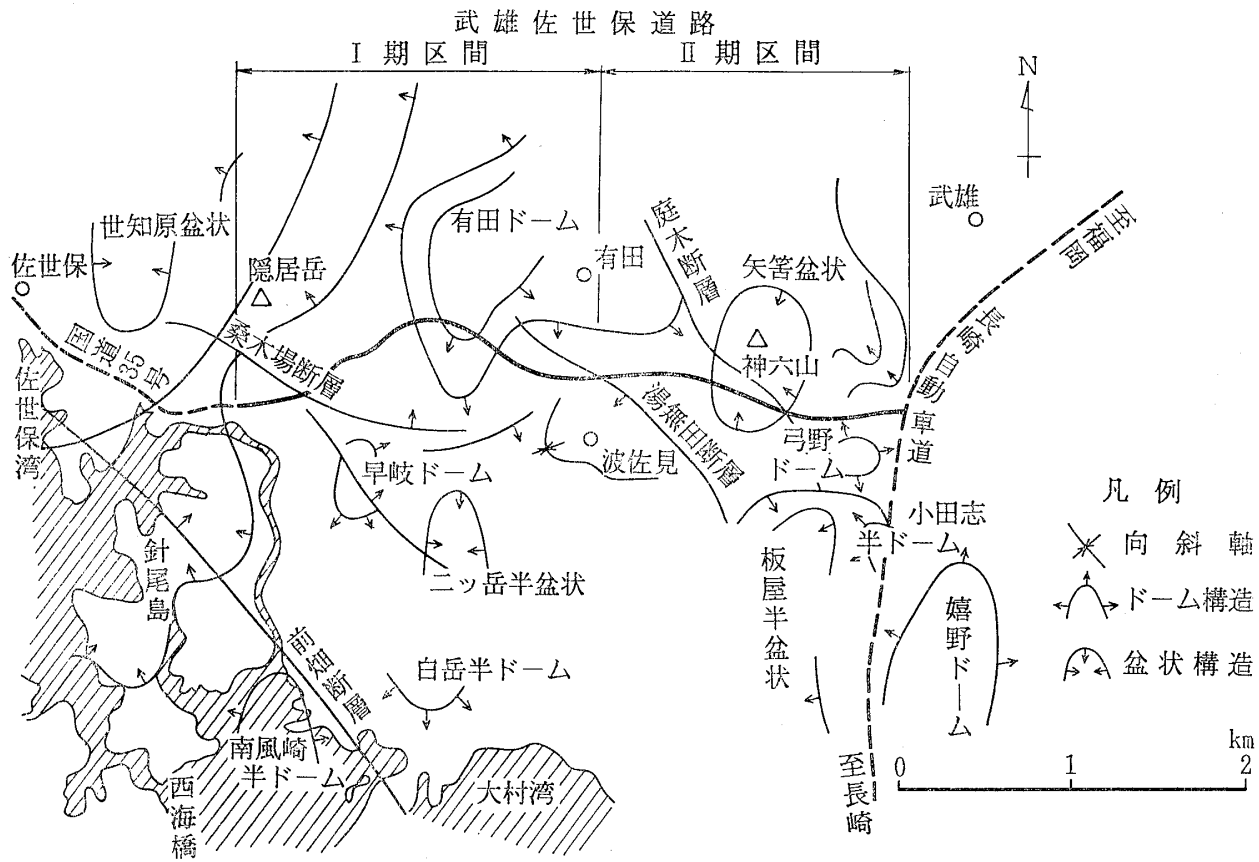


図-1 武雄佐世保道路周辺の地質構造
Fig.1 Geological structure along the Takeo-Sasebo Road

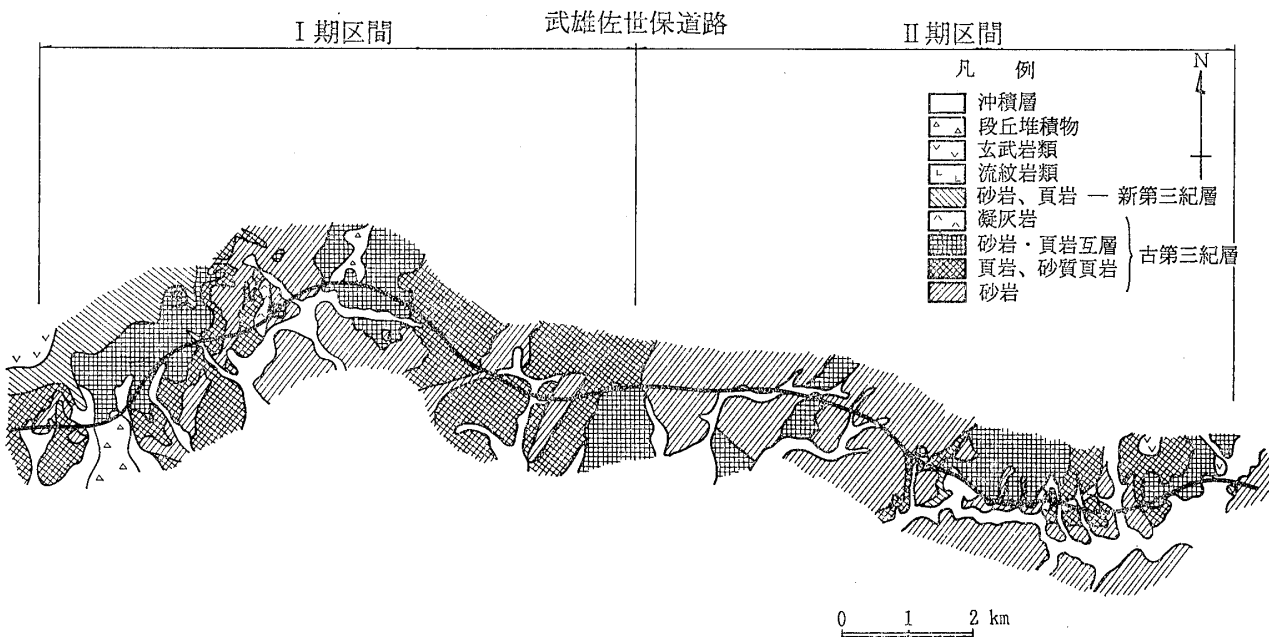


図-2 武雄佐世保道路付近の地質
Fig.2 Geological map along the Takeo-Sasebo Road

表一 1 地すべり発生に関係する地形、地質、道路構造条件

Table 1 Topography, geology and structural condition of road relating to landslide

項 目		項 目		項 目	
1	のり面の向き	12	緩斜面	23	貫入岩
2	のり面の形状	13	崩壊地	24	断層
3	路線の平面線形	14	滑落崖	25	植生状況
4	切土の位置	15	陥没地	26	切土断面積
5	切土の形状	16	沼・湿地	27	切土のり高
6	斜面の平面形	17	地すべり地帯	28	切土断面積/切土のり高
7	斜面の断面形	18	非対称山地	29	平均のり勾配
8	遷急線	19	リニアメント	30	自然斜面勾配
9	等高線の乱れ	20	地質	31	路線の方向と地層の走向とのなす角
10	丘状地形	21	凝灰岩	32	背後斜面勾配
11	沢状地形	22	崖錐		

から放射状に伸びる小断層が発達しており、複雑な地質構造となっている。

路線に沿って分布する地質は、新生代古第三紀漸新世の杵島層群に分類される砂岩、頁岩および凝灰岩からなる(図一2参照)。杵島層群の岩相は変化に富んでいるが、頁岩優勢の砂岩・頁岩の互層を主体としている。なお、武雄市側では局部的に安山岩、流紋岩の貫入が認められる。さらに、この地域の地質の特徴の1つとしては、層厚が数mmから10cm程度の凝灰岩の薄層を挟在していることである。この薄い凝灰岩層は粘土化していることが多い。この粘土化した凝灰岩は、膨張性に富むマイカースメクタイト混合層鉱物およびスメクタイトを含み、地すべりのすべり面となることが多い。

3 切土工事に際して発生した地すべりの実態

3・1 切土箇所の地形・地質条件および道路構造条件と地すべり発生頻度について

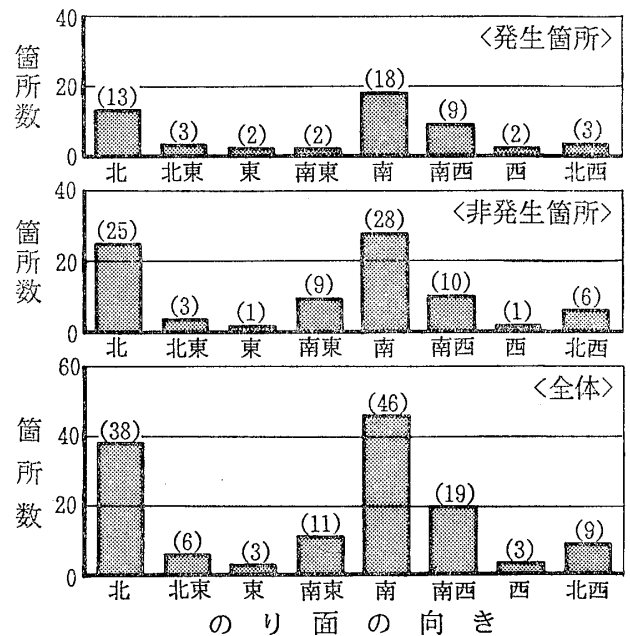
この路線においては、延長 22.1km の工事区間に266箇所の切土のり面があり、これらのうち、切土工事に際して地すべりが発生した箇所は、全体の21%の57箇所にのぼった。

地すべりの発生頻度を検討するにあたって、切土箇所の地形・地質条件および道路構造条件として、表一1に示すように、32の項目を設定した。これらの項目のすべりについて、データが整っていた箇所は、地すべりが発生したのり面では52箇所、地すべりが発生しなかったのり面では83箇所であった。

3・1・1 条件項目と地すべり発生の関係

(1) のり面の向き

のり面の向きを北、北東、東、南東、南、南西、西、北西の8つに分け、地すべりの発生箇所、非発生箇所別



図一3 のり面の向きに関する地すべりの発生頻度
Fig.3 Frequency of landslide occurrences in relation to direction of slope surfaces

にその頻度を示すと、図一3のようになる。

この道路はおおむね東西方向に通っているため、のり面の向きは、必然的に北向きおよび南向きのものが多い。北向きのり面は全体の28% (38箇所)、南向きのり面は34% (46箇所)で、両者合わせると全体の62%を占めている。

北向きのり面における地すべり発生割合は34%、南向きのり面における割合は39%となっている。ちなみに、北西、北および北東を合わせて、'北方を向いたのり面'とすれば、発生割合は36%であり、一方、南東、南および南西を合わせた'南方を向いたのり面'の場合には38%となり、北向きのり面および南向きのり面にお

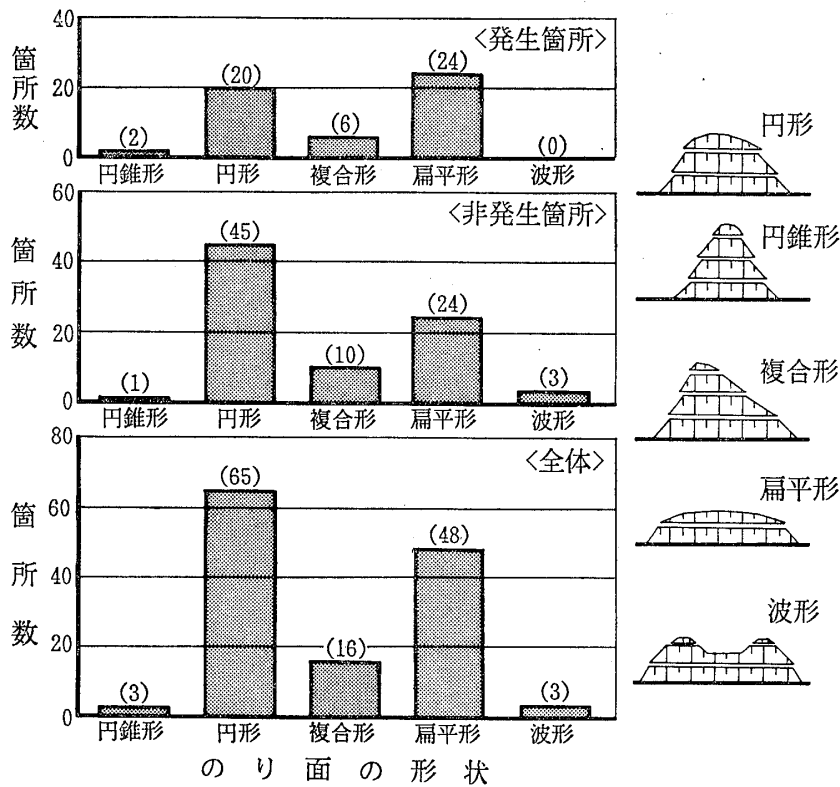


図-4 のり面の形状に関する地すべりの発生頻度
Fig.4 Frequency of landslide occurrences in relation to profile of slope surfaces

る発生割合とほとんど同じである。

のり面の向きとその安定性については、日当たりの相違による植生の発育の差や、これに付随する地下水の変化などが考えられ、これらが地すべり発生の要因となっている場合には、北向きのり面の安定性と南向きのり面の安定性に相違が現れるはずである。しかしながら、上記のように、この道路においては、北向きのり面と南向きのり面における地すべり発生の割合がほとんど同じであり、このことは、地すべりの発生がのり面の向きに関係がないことを意味している。

(2) のり面の形状

一般に、地山の地質が良好な場合には、急峻な尾根を形成していることから、このような地山を切土したときには、円形あるいは円錐形ののり面となる。これに対して、地山物質の風化が進んでいる場合や崖錐が厚く分布しているような斜面においては、扁平な形状を呈するようになる。ここでは、図-4の右側に示すように、のり面の形状を円形、円錐形、複合形、扁平形、波形の5つに分けて、発生箇所、非発生箇所別にそれらの頻度を示すと、図-4の左側に示すようになる。この結果によれば、円錐形および波形に関しては、全体の個数が少ないので、これらを除外し、円形、複合形および扁平形についての地すべり発生の割合を求めると、それぞれ31%、

38%および50%となり、この地域においては、扁平形をしたのり面に地すべりが発生しやすいことを示している。

(3) 路線の平面線形

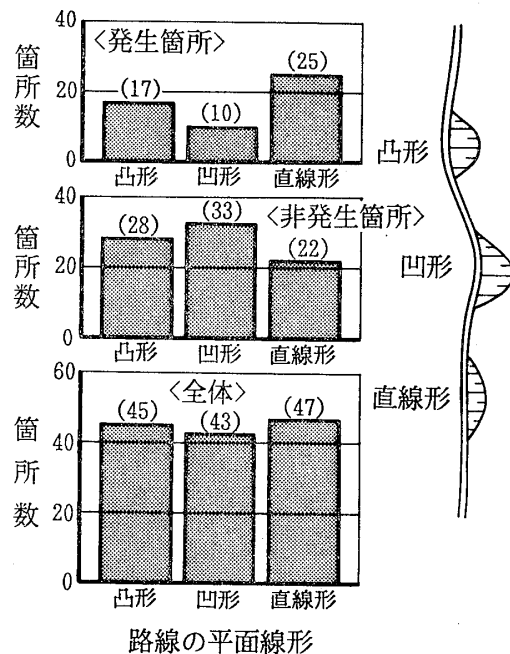
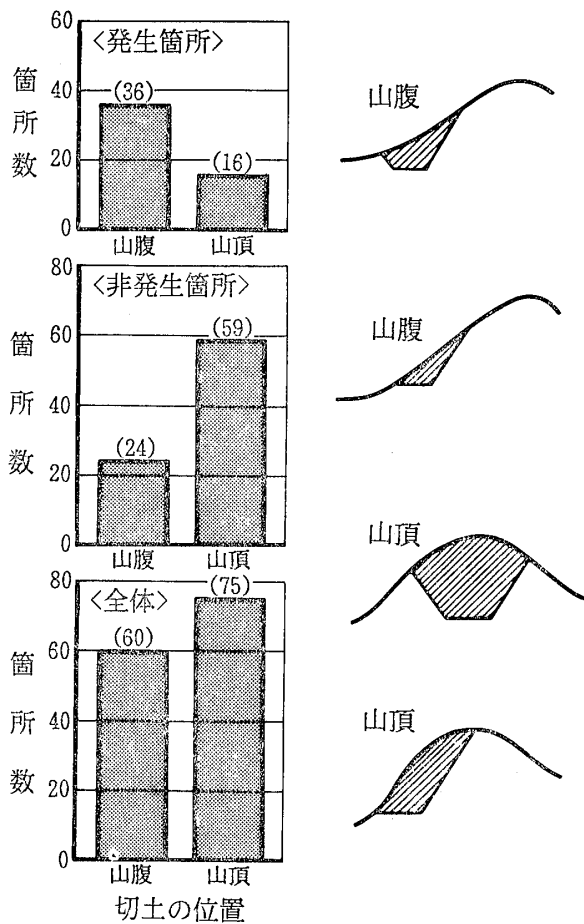
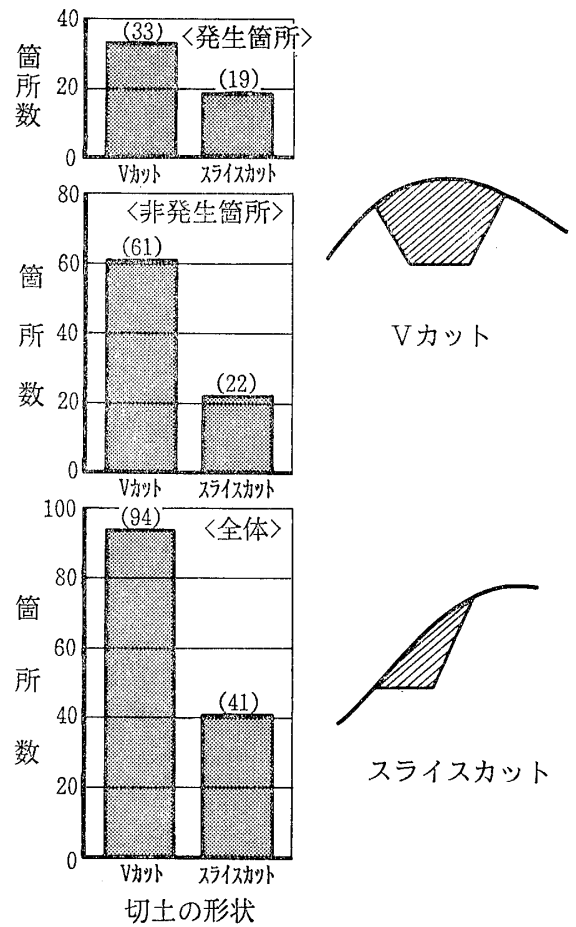


図-5 路線の平面線形に関する地すべりの発生頻度
Fig.5 Frequency of landslide occurrences in relation to plane alignment



図一六 切土の位置に関する地すべりの発生頻度
Fig.6 Frequency of landslide occurrences in relation to cutting location



図一七 切土の形状に関する地すべりの発生頻度
Fig.7 Frequency of landslide occurrences in relation to cutting profiles

路線の平面線形は、図一五の右側に示すように、路線の屈曲と切土のり面との位置関係を表しているもので、凸形、凹形および直線形に分けられる。図一五の左側に発生箇所、非発生箇所別にそれらの頻度を示す。これによると、凸形、凹形および直線形の全体の個数はほぼ等しく、それぞれ45箇所、43箇所および47箇所となっている。それぞれの形における地すべり発生の割合は、38%、23%および53%で、直線形の部分において多発していることになり、発生箇所の49%を占めている。これに対して、凹形の部分では直線形の箇所の約半分となり、発生しにくいことがうかがえる。

(4) 切土の位置

切土の位置としては、図一六の右側に示すような山腹形（のり面上部が山頂に達することなく、斜面の裾部を切土する場合）と山頂形（山頂まで切土する場合）とに分けることができ、これらの形について、発生箇所、非発生箇所別に頻度を求めると、図一六の左側に示すようになる。これによると、全体の箇所数としては、山腹形

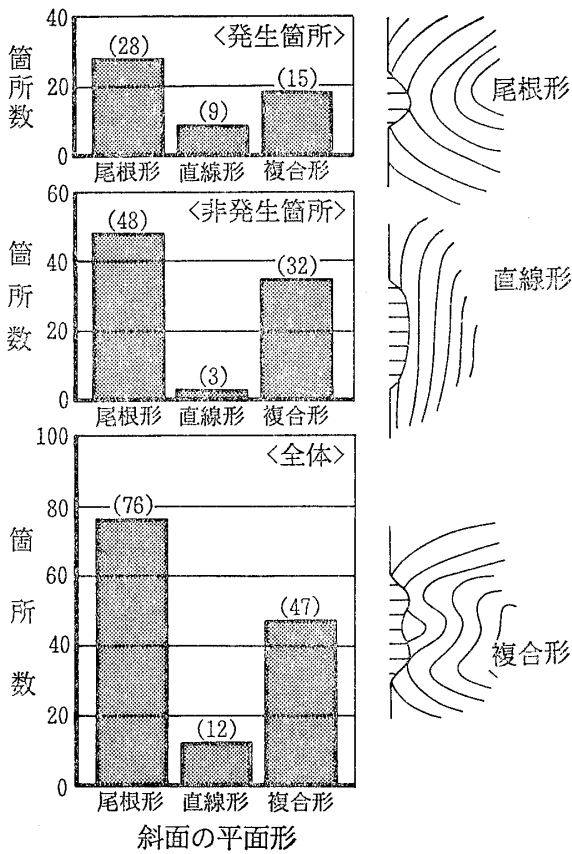
が60箇所、山頂形が75箇所、山腹形が少ないにもかかわらず、地すべり発生の割合は、山腹形の場合は60%を示し、山頂形の場合は21%となっている。また、発生箇所のうち、69%が山腹形であり、切土の位置が山腹形となる場合の方が発生しやすいことを示している。

(5) 切土の形状

この切土形状という項目は、さきの切土の位置によって自ずと決められるもので、切土の位置と類似の項目である。ここでは、図一七の右側に示すように、Vカットとスライスカットに分けて、それらの頻度を求めた。この結果によると、図一七の左側に示すようになり、地すべり発生の割合は、Vカットの場合は35%、スライスカットの場合は46%となり、両者の間には顕著な差異は認められない。

(6) 斜面の平面形

切土斜面の平面形は、図一八の右側に示すように、尾根形、直線形および複合形に分けて、発生箇所、非発生箇所別にそれらの頻度を求めた。この結果によると、図



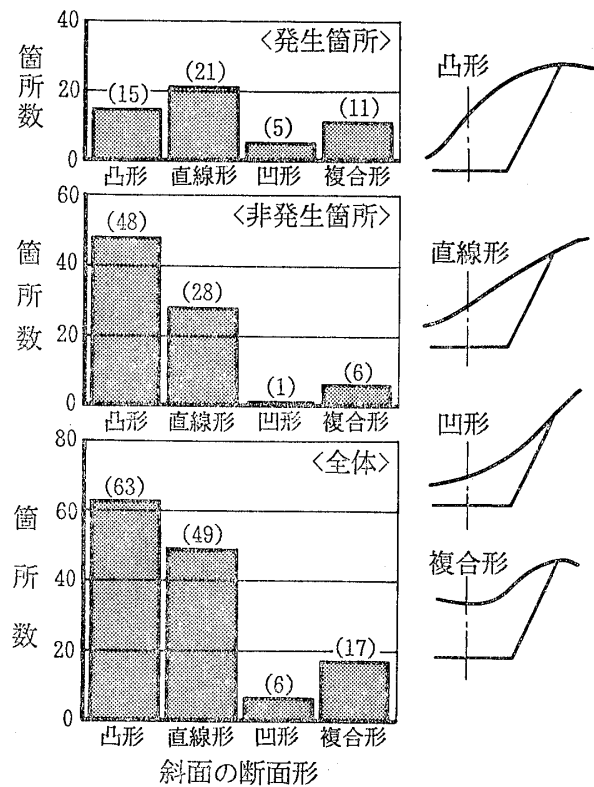
図一八 斜面の平面形に関する地すべりの発生頻度
Fig.8 Frequency of landslide occurrences in relation to plane of slopes

一八の左側に示すように、尾根形、直線形および複合形の全体の箇所数は、それぞれ76箇所、12箇所および47箇所、直線形の数是他の形に比べて少ないが、発生箇所の割合は、それぞれ37%、75%および32%である。尾根形と複合形とでは発生割合はほとんど変わらないが、直線形の場合は他の形に比べて極めて高い値を示し、直線形の箇所では地すべりが発生しやすいことがうかがえる。

一般的に、風化が進行した尾根ではなだらかな地形となること、また、流れ盤側の自然斜面勾配は緩くなる。このような地形を呈する箇所では切土を行うと、斜面の平面形は直線形となることが知られている。したがって、直線形の場合の割合が高くなっているものと思われる。

(7) 斜面の断面形

斜面の断面形は切土工の対象となる岩盤の風化状況を評価する一要因で、図一九の右側に示すように、岩盤が良好であれば凸形を示し、風化の進行や地すべりに伴って直線形、凹形に変化することが考えられる。また、斜面の上部の岩盤は良好であるが、下部が脆弱になっているような場合を複合形として分類したが、これは、凹形



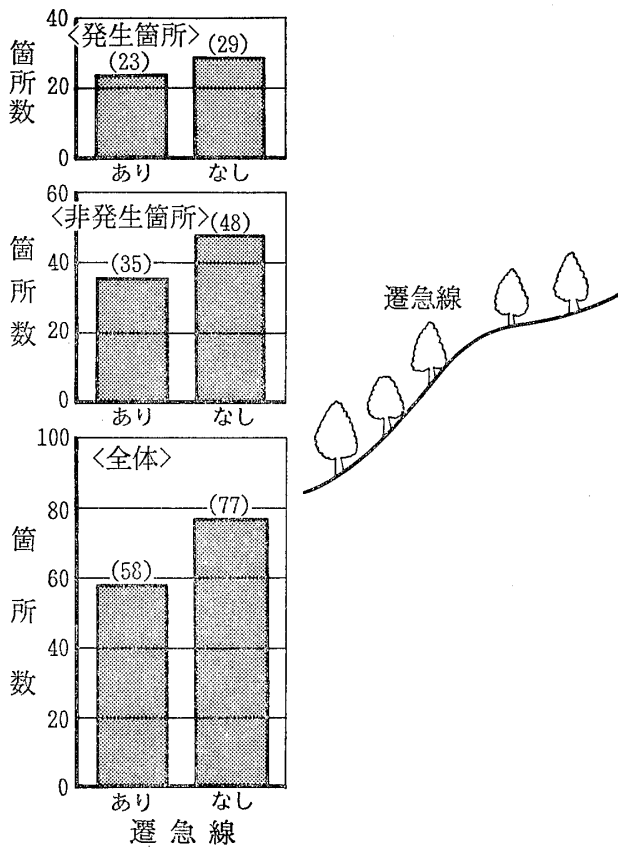
図一九 斜面の断面形に関する地すべりの発生頻度
Fig.9 Frequency of landslide occurrences in relation to profile of section of slopes

の変化形と考えられる。図一九の左側に、凸形、直線形、凹形および複合形に関する頻度を発生箇所、非発生箇所別に示してある。この結果によれば、凸形、直線形、凹形および複合形における地すべり発生の割合は、それぞれ24%、43%、83%および65%となっている。したがって、斜面の断面形が凸形の場合は、地すべりを起こしにくく、凹形や複合形の場合には、地すべりが発生しやすい傾向にあることを示している。

(8) 遷急線

遷急線とは、図一十の右側に示すように、尾根側から見て斜面勾配が大きくなる場所で、侵食崩壊や地すべりの頭頂部を表していることが多い。遷急線の有無について、発生箇所、非発生箇所別にその頻度を示すと、図一十の左側のようになる。地すべり発生の割合は、遷急線がある場合は40%、ない場合は38%で、ほとんどその差はない。また、地すべりが発生した箇所における遷急線の有無の割合は44%と56%で、有無を論じるほどの差は認められず、遷急線の有無と地すべり発生との間には関係がないことを示している。この路線沿いに見られる遷急線が段丘面の周辺部を表していることが多いためと考えられる。

(9) 等高線の乱れ



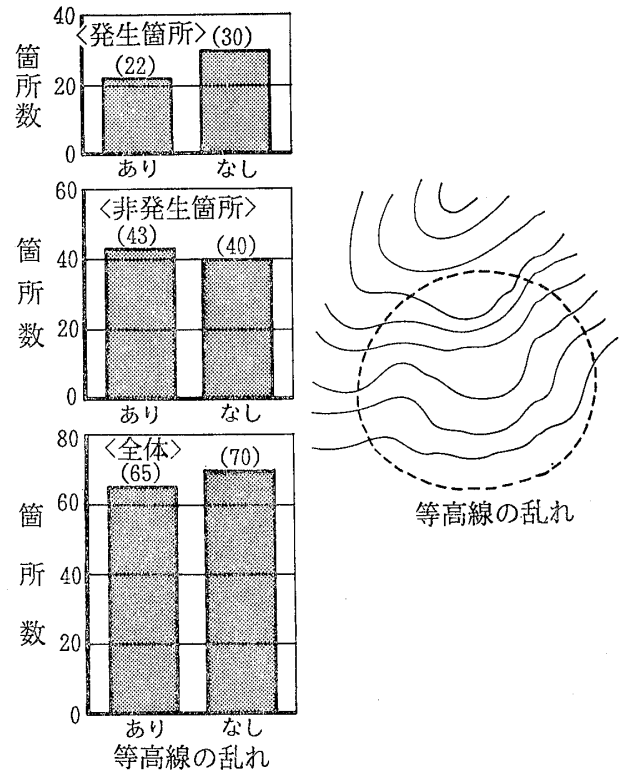
図一10 遷急線に関する地すべりの発生頻度
Fig.10 Frequency of landslide occurrences in relation to knick lines

図一11の右側に示すような等高線の乱れは、地表の凹凸や地形の乱れを表す要因であり、地すべり地形を示すことが多い。一般的に、土工事に伴って発生する地すべりの大部分は、旧地すべり土塊の再移動であるといわれている。

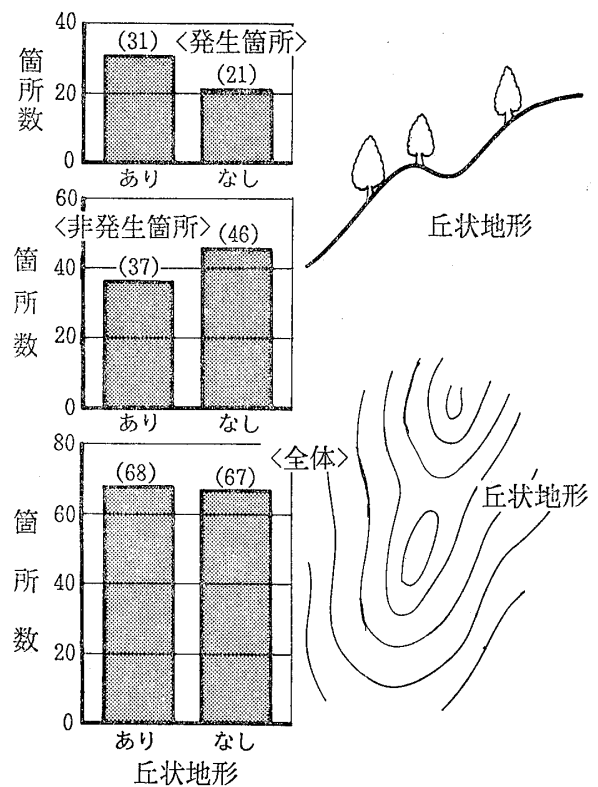
図一11の左側に示すように、等高線の乱れのある箇所は全体で65箇所(48%)で、乱れのない70箇所(52%)とほとんど同じ個数となっている。これに対して、地すべり発生箇所のうち、乱れのある箇所は22箇所、ない箇所は30箇所、それぞれ全体の34%と43%となっている。一方、非発生箇所においては、等高線の乱れがある箇所は43箇所もあり、発生箇所の2倍となっている。したがって、乱れがあっても地すべりが発生しない場合の方が多く、この路線における地すべりは、旧地すべり土塊の再移動ではなく、初生すべりと考えられ、等高線の乱れの有無と地すべり発生との関係は明瞭でない。

(10) 丘状地形

過去に地すべりが発生した箇所には、地すべりによって生じた高まりが存在することがあり、また、断層が存在する箇所では、ケルンバットと呼ばれる丘状地形が見



図一11 等高線の乱れに関する地すべりの発生頻度
Fig.11 Frequency of landslide occurrences in relation to disturbed contour lines



図一12 丘状地形に関する地すべりの発生頻度
Fig.12 Frequency of landslide occurrences in relation to hilly topography

られることがある(図-12参照)。したがって、このような丘状地形の存在は、過去における地すべりの発生あるいは断層の存在を示唆していることになる。

図-12の左側に示すように、丘状地形のある箇所は68箇所、ない箇所は67箇所である。これに対して、地すべり発生箇所のうち、丘状地形がある箇所は31箇所、ない箇所は21箇所、それぞれ全体の46%と31%となっている。一方、非発生箇所において、丘状地形がある場合が37箇所あり、発生箇所の場合に比べて若干多くなっている。したがって、丘状地形の存在によって地すべりが発生しやすいとはいえないようである。ただし、発生箇所について見ると、丘状地形の存在する比率が59%であることは、たまたま、発生した箇所に丘状地形が多く見られたと解釈すべきであろう。

(1) 沢状地形

地すべり地の側部には、図-13の右側に示すような沢状地形やガリーがあることが多い。したがって、地すべり地形を評価する項目として、沢状地形について検討することとした。

図-13の左側に示すように、沢状地形が見られる箇所

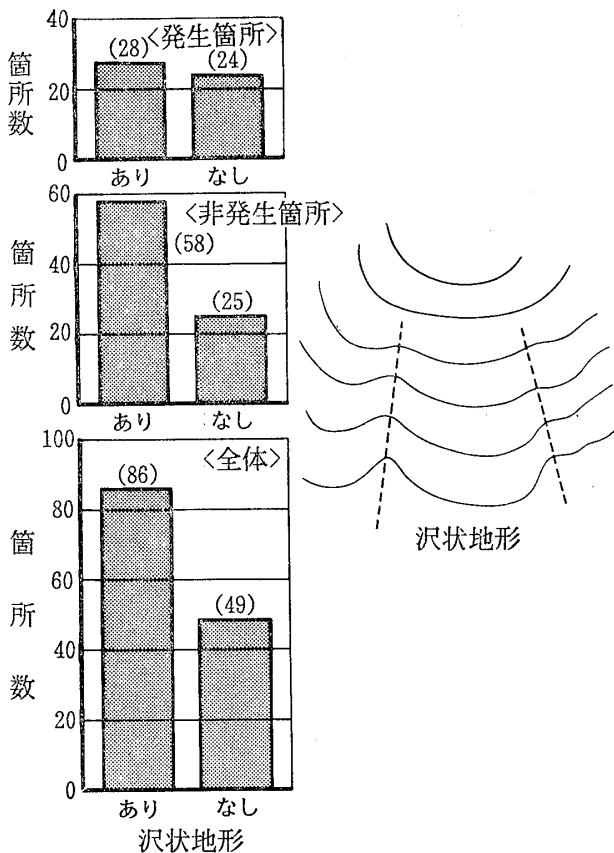


図-13 沢状地形に関する地すべりの発生頻度

Fig. 13 Frequency of landslide occurrences in relation to valley topography

は全体で86箇所(64%)あり、そのうちの28箇所において地すべりが発生しているが、その2倍に当たる58箇所においては発生していない。また、発生箇所においては、沢状地形がある箇所の方が若干多い(53%)が、非発生箇所においては、沢状地形がある箇所が58箇所(70%)を占めている。したがって、当地域の沢状地形の存在と地すべり発生との直接的な関係は認められない。

当地域において、沢状地形が多く見られることは、有田ドーム、矢筈盆地構造に代表されるような構造運動に伴って発生した断層が多く存在し、したがって、ここに分布する古第三紀杵島層群は全体的に亀裂が多いことに起因しているためと思われる。

(2) 緩斜面

地すべり地においては、図-14の右側に示すように、地すべり土塊によって形成された緩斜面が見られることが多い。これは、地すべり発生後において、地すべりを起した土塊の上部が陥没し、平坦な地形を呈するためである。また、風化の著しい山地においても、土塊の移動によって緩斜面が形成されることがある。

図-14の左側に示すように、緩斜面のある箇所は72箇所、ない箇所は63箇所である。これらのうち、いずれの場合も26箇所において地すべりが発生しており、その発

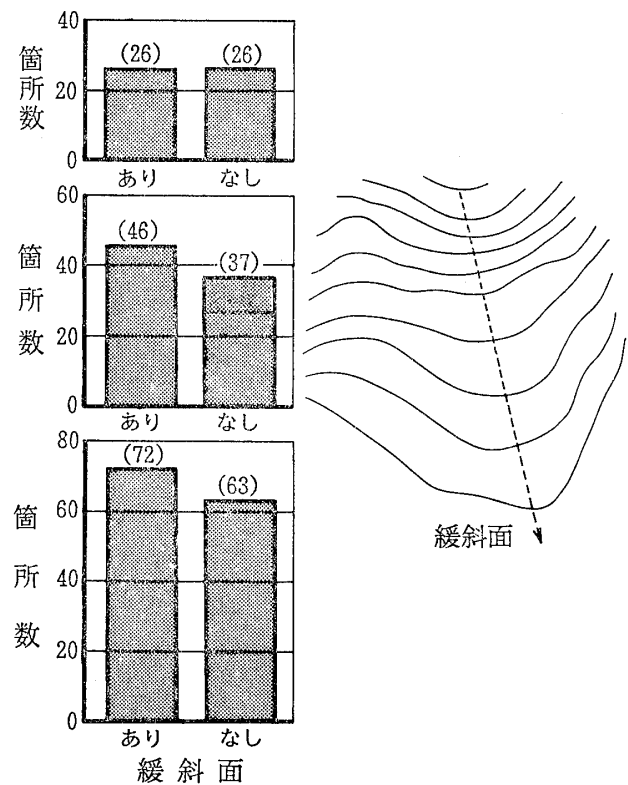


図-14 緩斜面に関する地すべりの発生頻度

Fig. 14 Frequency of landslide occurrences in relation to gentle slopes

生の割合は、それぞれ、36%と41%となり、ほとんど同じである。また、非発生箇所においては、緩斜面がある場合が46箇所、ない場合が37箇所となっている。したがって、緩斜面の存在と地すべり発生との関係はないものと考えられる。

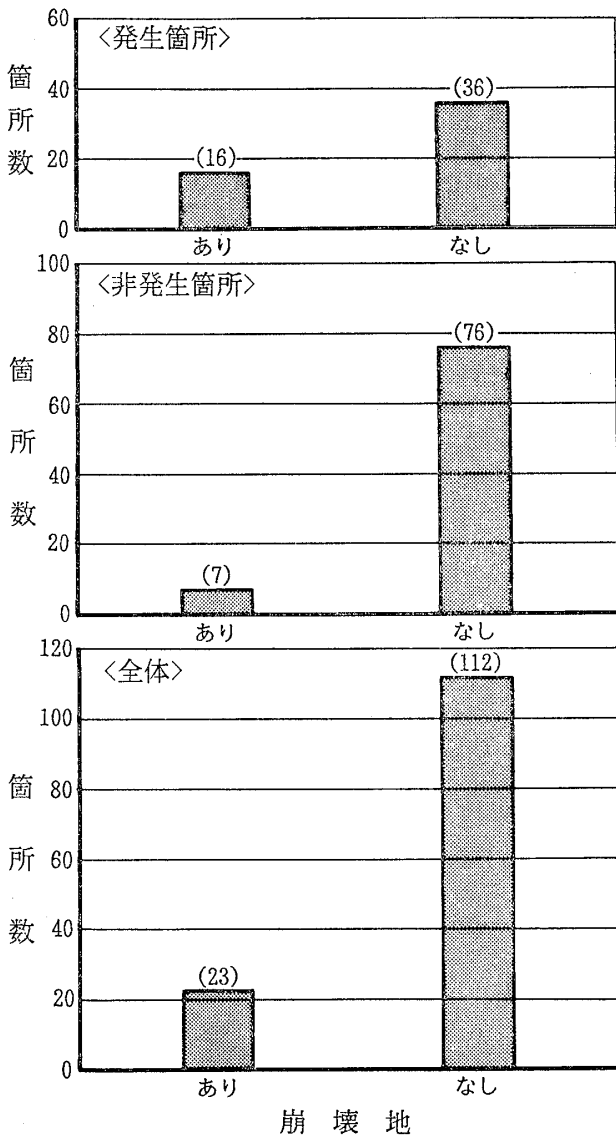
(13) 崩壊地

崩壊地の存在は、素因的に見て、自然斜面が不安定であることを示している。図一15に示すように、崩壊地がある箇所は23箇所、そのうちの16箇所(70%)において地すべりが発生している。一方、崩壊地がない場合には、113箇所のうちの36箇所(32%)において地すべりが発生している。これは、崩壊地がなくても地すべりは発生するが、崩壊地があることによって、地すべり発生

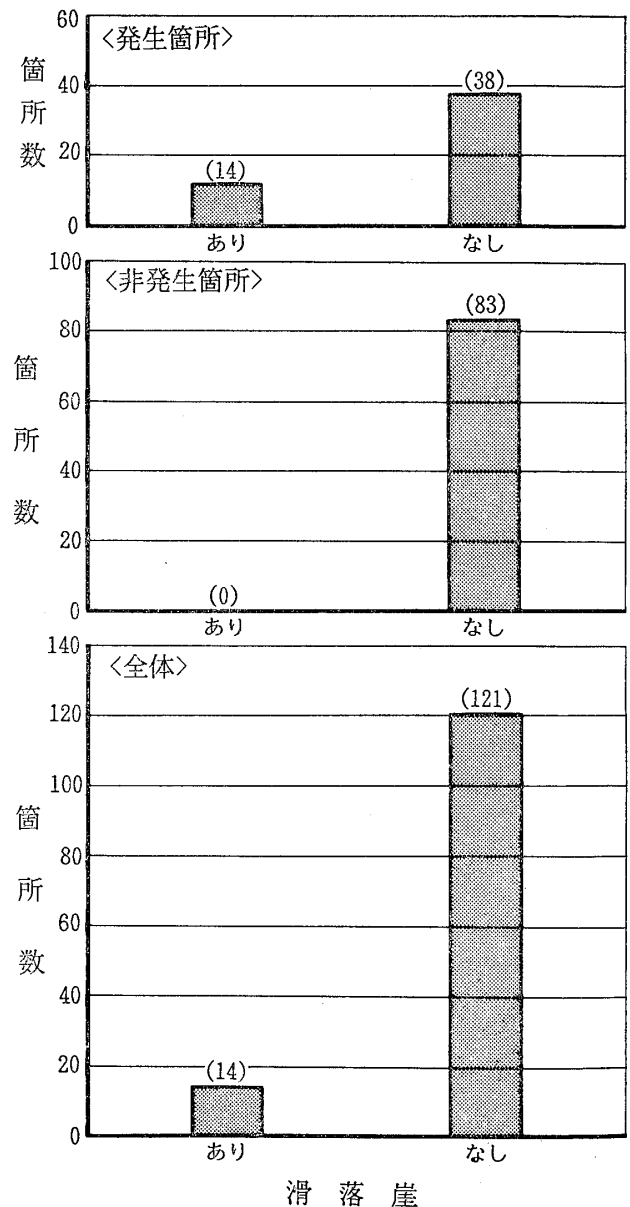
が加速されることができると考えることができる。

(14) 滑落崖

滑落崖は地すべり活動によって生じる地形の状態であって、滑落崖の存在は、地すべりの履歴を表す重要な要因となる。図一16に示すように、非発生箇所には滑落崖は存在せず、14箇所の滑落崖はすべて発生箇所のみに見られている。これは、滑落崖の存在が地すべりの発生に関係しているように見えるが、発生箇所において、存在する箇所の割合は25%程度で、存在しない箇所がその3倍であることは、全体的に見て、地すべりの発生が滑落崖に依存する度合はそれほど大きくないものと思われる。



図一15 崩壊地に関する地すべりの発生頻度
Fig.15 Frequency of landslides in relation to slope failures



図一16 滑落崖に関する地すべりの発生頻度
Fig.16 Frequency of landslides in relation to main scarp

(15) 陥没地

陥没地の存在は、滑落崖の存在と同様に、地すべり活動の履歴を示す要因であるが、図一17に示すように、発生箇所の中の2箇所が存在するのみで、検討対象とはならない。

(16) 沼・湿地

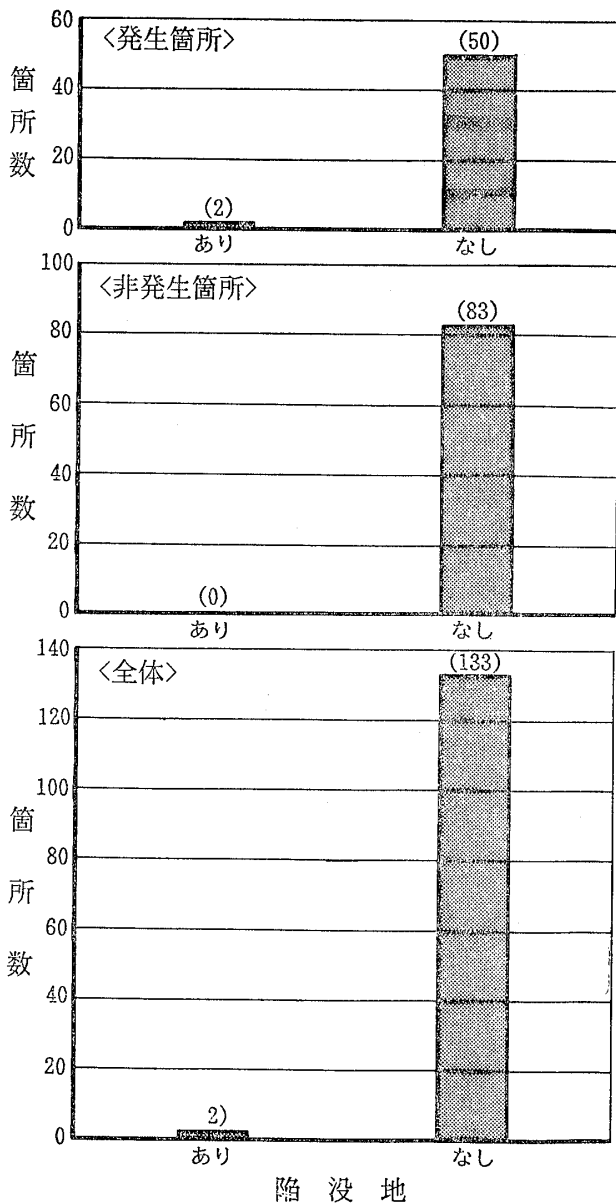
一般に、地すべり地には著しい凹凸があり、また、湧水があることが多く、地下水位が高い場合には、凹地に水が溜まりやすい。また、凹地や緩い谷地形を利用した人工的な溜池がしばしば見られるが、図一18に示すように、発生箇所の中の3箇所に湿地が見られただけ

で、陥没地の場合と同様に、検討対象とはならない。

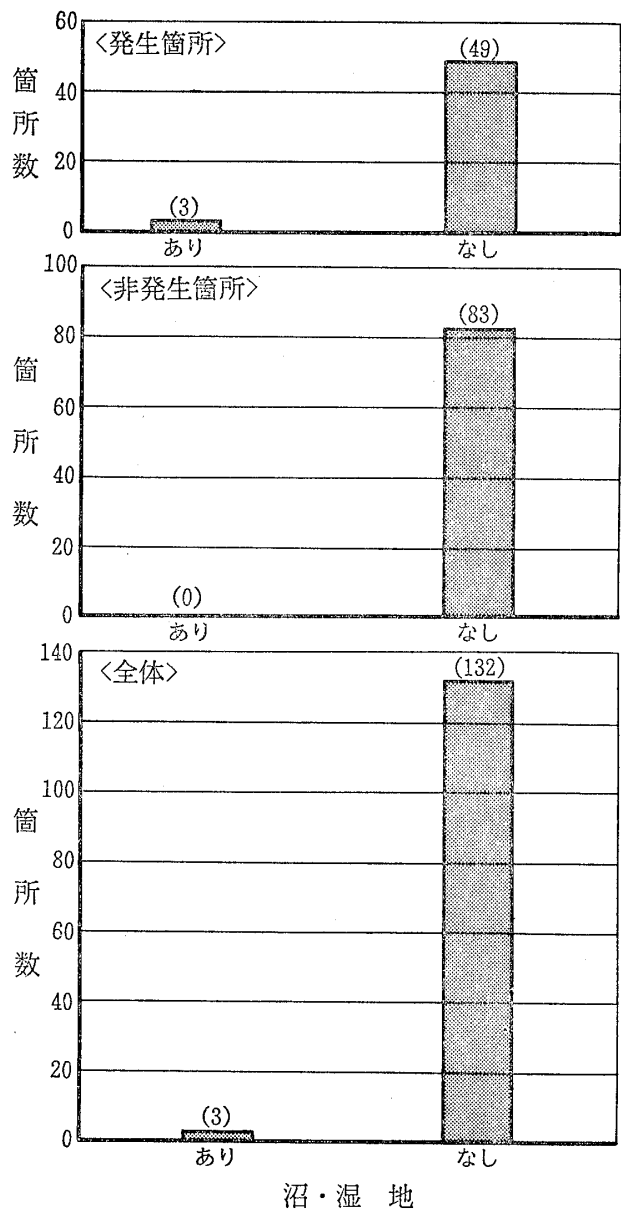
(17) 地すべり地帯

この要素は、地すべり土塊の再移動に関するものである。図一19に示すように、地すべり地帯である箇所は8箇所、すべての箇所で地すべりが発生しており、非発生箇所には、地すべり地帯は存在しない。一方、発生箇所において、そこが地すべり地帯である割合は15%で、地すべり地帯以外の場合の5分の1程度となっている。

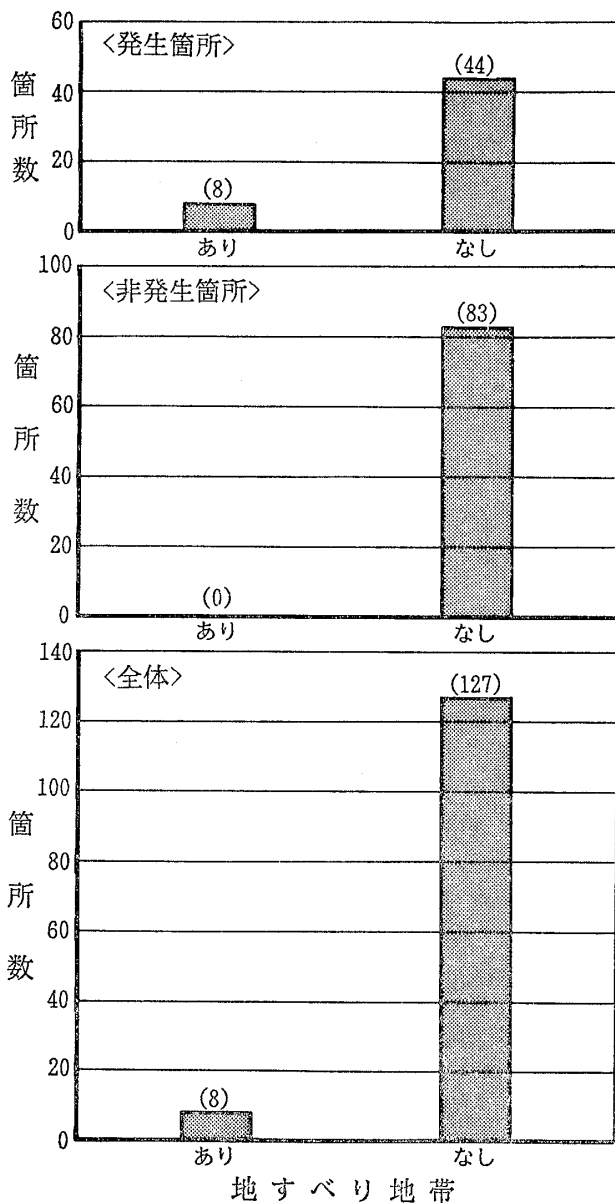
高速道路調査会(1985)によれば、地すべり活動の約52%は旧地すべり土塊の再移動であるとしているが、これと比べると、この道路地域における割合は極めて低い



図一17 陥没地に関する地すべりの発生頻度
Fig.17 Frequency of landslide occurrences in relation to collapses



図一18 沼・湿地に関する地すべりの発生頻度
Fig.18 Frequency of landslide occurrences in relation to swampy topography

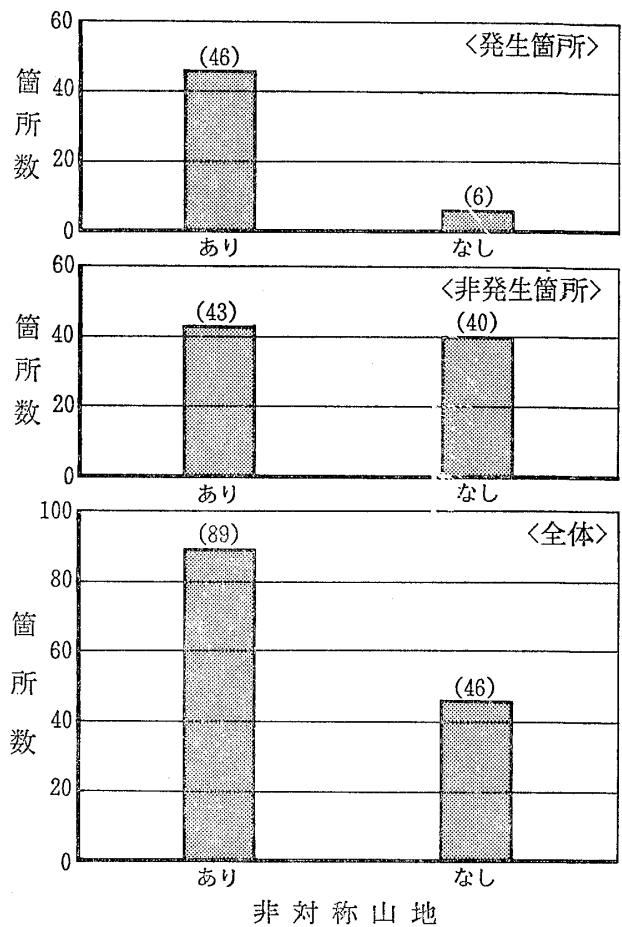


図一19 地すべり地帯に関する地すべりの発生頻度
Fig.19 Frequency of landslide occurrences in relation to landslide zones

ことになり、この地域における地すべり発生には、地すべり地帯以外の要素が大きく関与していることを示唆していることになる。

(18) 非対称山地

尾根を挟んだ両側の斜面勾配が異なる山地は、一般に非対称山地と呼ばれている。この道路地域に分布する地質は、新生代古第三紀杵島層群に分類される堆積岩であり、受け盤側に対して流れ盤側の斜面の傾斜が緩くなり、非対称山地となっている箇所が多い。図一20に示すように、全体の66%に当る89箇所が非対称山地となっている。このうち、非対称山地における地すべり発生箇所数は46箇所、発生の割合は52%である。これに対し



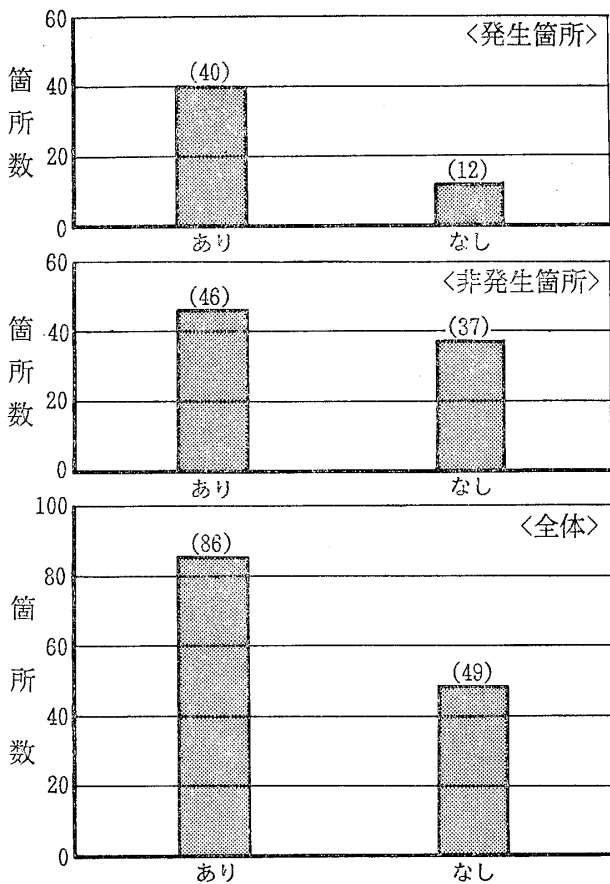
図一20 非対称山地に関する地すべりの発生頻度
Fig.20 Frequency of landslide occurrences in relation to asymmetrical hills

て、非対称山地でない場合には、発生の割合はわずか13%で、非対称山地の場合に比べて極めて小さくなっている。また、発生箇所において非対称山地の場合が占める割合は88%でもあることから、非対称山地に地すべりが発生する確率が大きいことを示している。

(19) リニアメント

リニアメントとは、一般的に、断層、地質が異なることによる硬軟の境界、褶曲軸などのような弱線を表すものである。当地域においては、断層によるリニアメントが多く見られる。

図一21に示すように、さきに述べた非対称山地の場合と同じような傾向を示しており、全体の47%に当る86箇所にリニアメントが認められ、このうち、40箇所において地すべりが発生し、その発生の割合は47%となっている。これに対して、リニアメントがない箇所においては、発生の割合は24%程度で、リニアメントがある場合の半分程度となっている。また、発生箇所において、リニアメントがある場合の占める割合は77%であり、リニ



リニアメント

図-21 リニアメントに関する地すべりの発生頻度
Fig.21 Frequency of landslide occurrences in relation to lineaments

メントの存在は地すべり発生の一要因となっているように思われる。

(2) 地質

地質との関係を検討するに当たって、それぞれのり面の地質を砂岩(砂岩のみ)、砂岩>頁岩(砂岩が多い)、砂岩=頁岩(砂岩と頁岩が等量)、砂岩<頁岩(頁岩が多い)および頁岩(頁岩のみ)の5つに分類した。

図-22に示すように、砂岩のみの箇所は60箇所、これは全体の44%を占めている。これらのうち、地すべり発生箇所は18箇所(30%)で、非発生箇所の42箇所(70%)に比べて半分以下となっている。同様に、頁岩のみの箇所では、砂岩のみの場合に比べて箇所数は17箇所と少ない(3分の1以下)が、地すべり発生箇所は4箇所(24%)で、非発生箇所の13箇所(76%)にくらべると3分の1程度になっている。これに対して、砂岩と頁岩の互層となっている58箇所においては、発生箇所と非発生箇所の個数は30箇所と28箇所、ほとんど同じといえてよい。これは、単層の場合よりも互層の場合の方が地

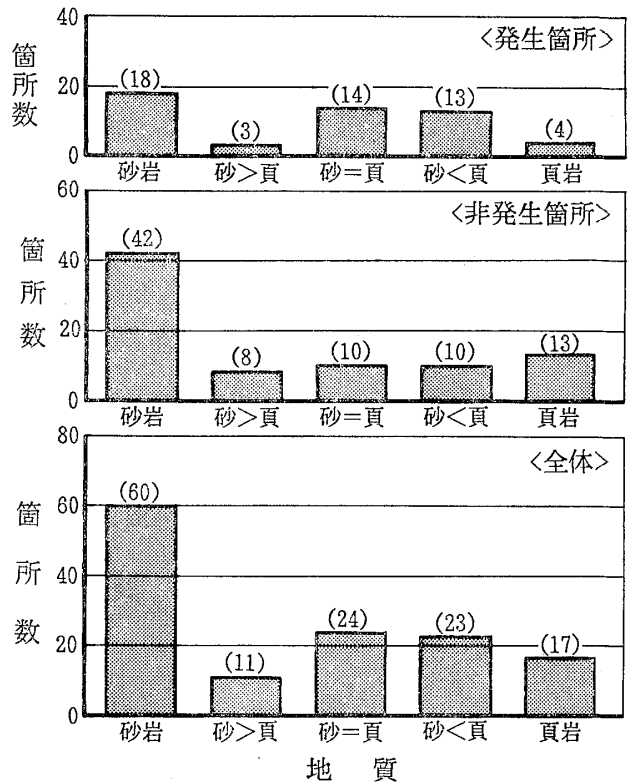


図-22 地質に関する地すべりの発生頻度
Fig.22 Frequency of landslide occurrence in relation to geology

すべりが発生しやすいことを示している。この場合、砂岩に比べて、強度が小さい頁岩がすべり面となることによると考えられる。

(2) 凝灰岩

当地域に分布する第三紀層中には、凝灰岩の薄層が挟在する。X線分析の結果によると、この凝灰岩は膨張性を有するスメクタイトを含有していることから、この薄層がすべり面となる可能性が高いことが考えられる。

図-23に示すように、凝灰岩の薄層が挟在する38箇所のうち、61%に当る23箇所において地すべりが発生している。これに対して、凝灰岩の薄層が挟在しない場合の発生の割合は30%程度であり、凝灰岩の薄層の存在が地すべりの発生に関与していると考えられる。

(2) 崖錐

崖錐は、上部斜面から供給された岩屑が斜面の裾部や谷などに堆積したもので、それ自体は安定した斜面を形成していることが多い。

図-24に示すように、崖錐が存在する箇所は全体で15箇所、そのうちの10箇所地すべりが発生している。しかしながら、これらの箇所における地すべりが崖錐部の滑動でないことから、崖錐の存在と地すべりの発生との関係はないと考えられる。

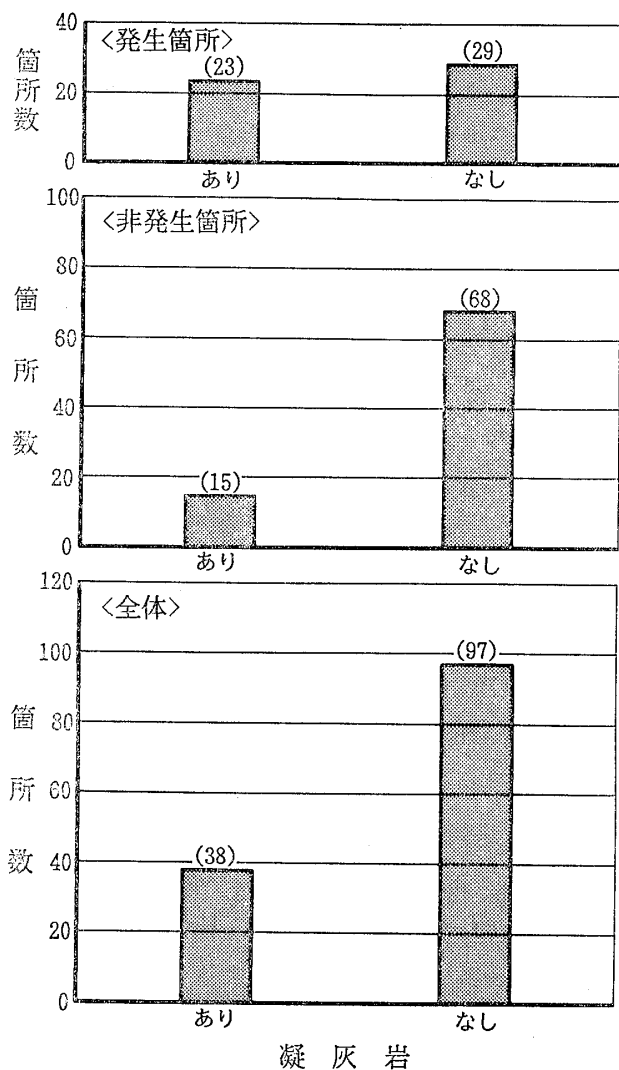


図-23 凝灰岩に関する地すべりの発生頻度
Fig. 23 Frequency of landslide occurrences in relation to tuffs

(23) 貫入岩

貫入岩の存在は、地質の不連続性を評価する要因の一つであるとともに、貫入時に周辺の地山に変質を及ぼし、その変質部がすべり面となる可能性がある。

図-25は、貫入岩の存在する箇所が4箇所しかなく、そのうち、地すべりが発生したのは1箇所のみで、検討対象とはならない。

(24) 断層

一般に、初生すべりの原因として、断層の存在が指摘されているので、断層がのり面に存在する場合、断層がのり面に近接して存在する場合、断層がない場合に分けて、発生箇所および非発生箇所の頻度を示すと、図-26のようになる。この結果によると、発生する場合は17%、近接して存在する場合は45%、存在しない場合は40%となっている。ここに、断層が存在する

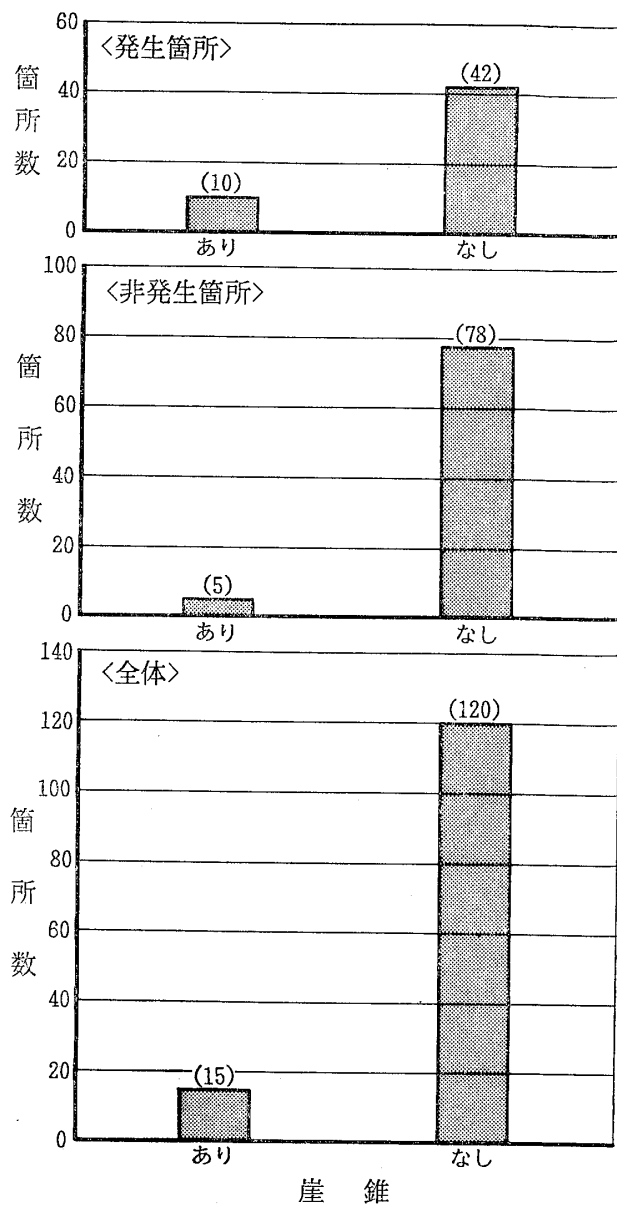


図-24 崖錐に関する地すべりの発生頻度
Fig. 24 Frequency of landslide occurrences in relation to talus deposits

場合（近接して存在する場合を含む）でも、地すべりが発生しない場合の割合は70%となっており、断層の存在と地すべり発生との関係は明確でない。

(25) 植生状況

植生の相違は、地盤中の地下水の状態や地盤の風化状況などを表していることが多い。したがって、これらの地盤条件が地すべり発生に関係しているとすれば、植生と地すべりとの間に関係があってもよいことになる。しかしながら、図-27に示す結果によれば、広葉樹の箇所は55箇所て全体の41%、針葉樹の箇所は58箇所て43%であるが、他の植生箇所は数が少ないので、一括して扱うことにすると、その他の箇所として22箇所て16%とな

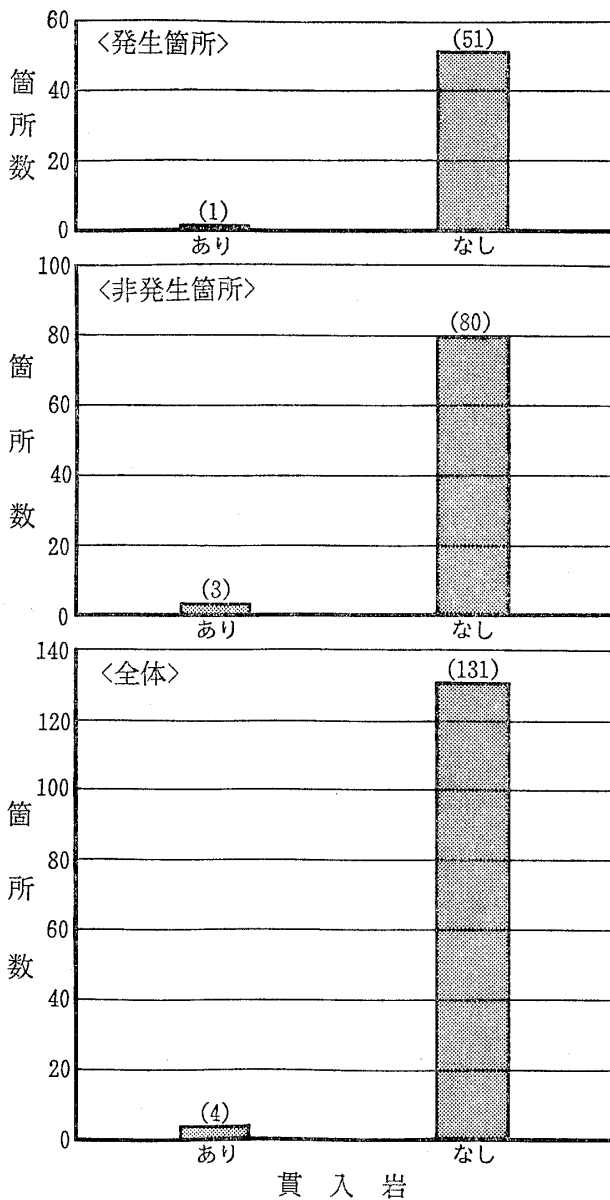


図-25 貫入岩に関する地すべりの発生頻度
Fig.25 Frequency of landslide occurrences in relation to intrusive rocks

る。それぞれの植生箇所における発生の割合は、広葉樹箇所が42%、針葉樹箇所が33%、その他の箇所が45%（雑木：75%、みかん畑：63%、畑：25%、茶畑：17%）となり、植生と地すべり発生との間には関係はないようである。

㉔ 切土断面積

切土断面積は、のり高が最も高くなる断面において、道路センターあるいはマッチラインからの面積を求めることにした。この項目は、切土量と地すべり発生との関連を検討することを目標としたものである。図-28に示すように、切土断面積を200m²間隔に区分すると、200m²以下が41箇所（30%）、201~400m²が49箇所（36%）、401

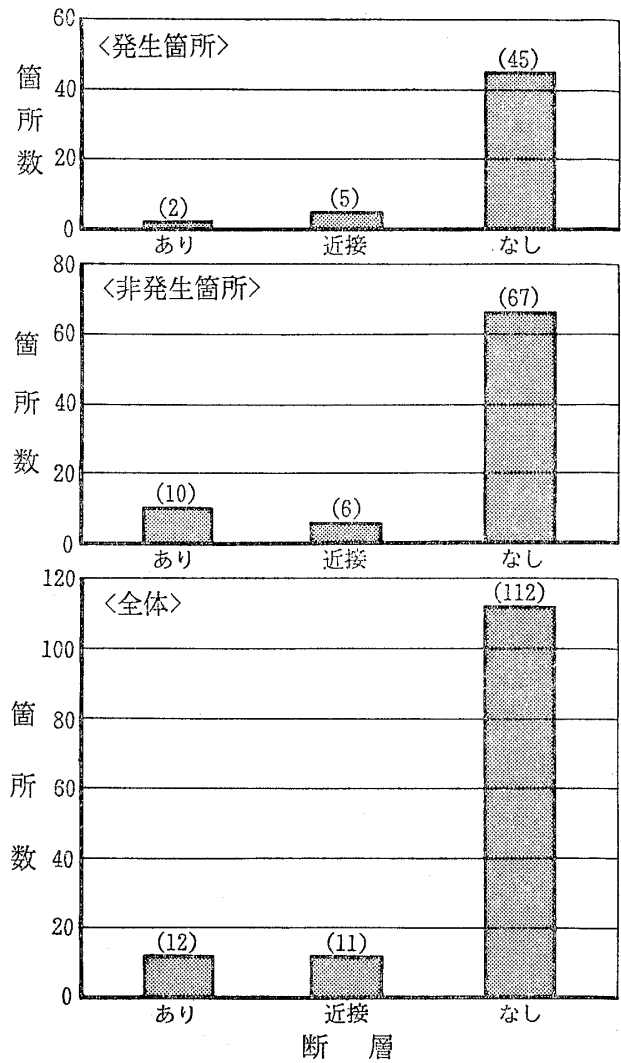


図-26 断層に関する地すべりの発生頻度
Fig.26 Frequency of landslide occurrences in relation to faults

~600m²が29箇所（21%）、601m²以上が18箇所（13%）で、大部分は600m²以下である。

この結果に基づいて、断面積区別に地すべり発生の割合を見ると、200m²以下の場合には44%、201~400m²の場合には37%、400~600m²の場合には28%となっている。さらに、600m²以上の場合は44%となる。したがって、大局的には、面積の大小と地すべり発生との間には関係はないものと思われる。

㉕ 切土のり高

切土のり高としては、切土のり高の直高を使用した、図-29に示すように切土のり高を10m間隔に区分し、のり高区別に地すべりの発生の割合を見ると、10m以下の場合には29%、11~20mの場合には39%、21~30mの場合には31%、41m以上の場合は44%となっている。これに対して、31~40mの場合には70%となり、他の間隔の場合

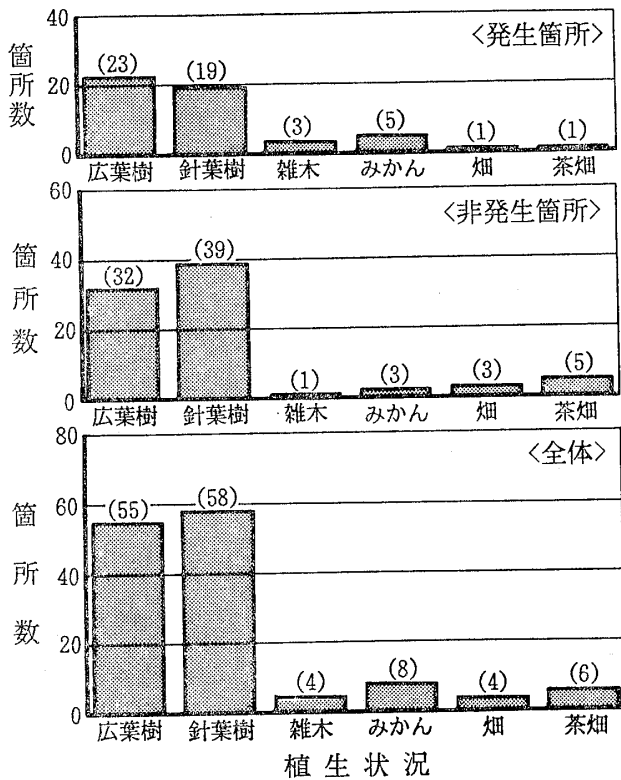


図-27 植生状況に関する地すべりの発生頻度
Fig.27 Frequency of landslides occurrences in relation to vegetation conditions

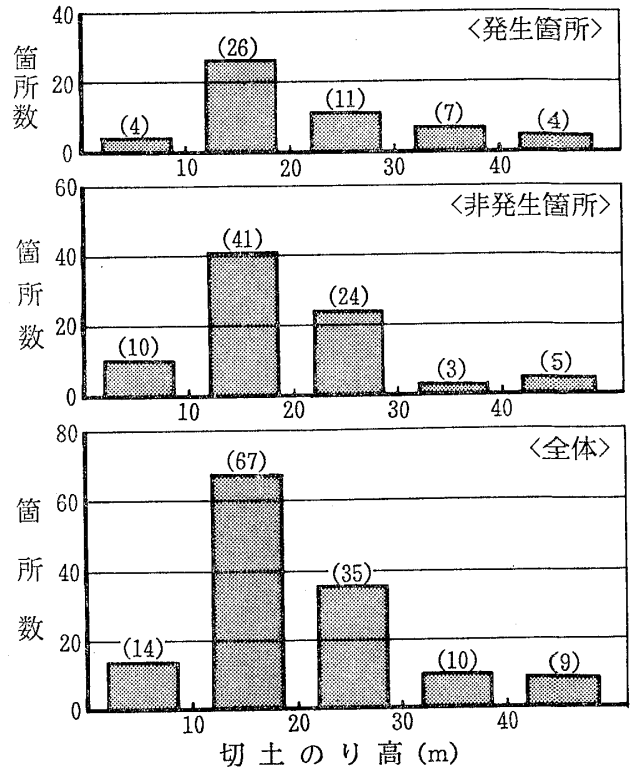


図-29 切土のり高に関する地すべりの発生頻度
Fig.29 Frequency of landslides occurrences in relation to the height of cuttings

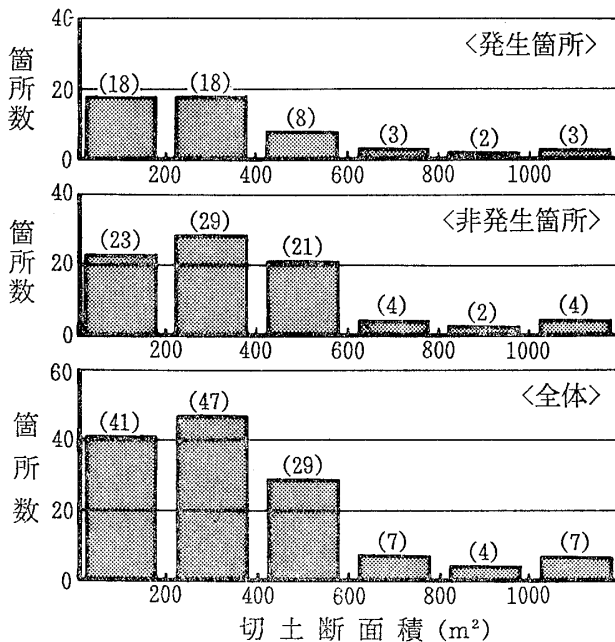


図-28 切土断面積に関する地すべりの発生頻度
Fig.28 Frequency of landslides occurrences in relation to sectional area of cutting

に比べて、大きい値を示している。したがって、大局的には、切土のり高と地すべり発生との間には明瞭な関係はないものと考えられる。

(29) 切土断面積/切土のり高

さきに述べた切土断面積および切土のり高のそれぞれについては、地すべり発生との間に明瞭な関連を見ることはできなかったが、ここでは、切土のり高に対する切土断面積の比と地すべり発生との関係を検討する。

図-30に示すように、断面積/のり高の値を10m間隔に区分し、区分別に地すべりの発生の割合を見ると、10m以下の場合には46%、11~20mの場合には48%、21~30mの場合には25%、31~40mの場合には36%となる。なお、断面積/のり高の値が20mを境にして発生の割合を見ると、20m以下の場合には48%であるのに対して、20m以上の場合には25%となり、20m以下の場合の約半分になっている。

この切土断面積/切土のり高の値は、切土の形状がスライカットとなるか否かを評価するもので、切土断面積が同じであってもスライカットとなればその値は小さくなる。したがって、図-30に示すように、20m以下の場合に地すべりが多く発生していることは、スライカットの方が発生の割合が大きいことを示すことになる。

さきに、切土の形状の項で述べたように、地すべり発生の割合が、スライカットの場合に46%、Vカットの場合に35%であったことと同じ傾向を示している。

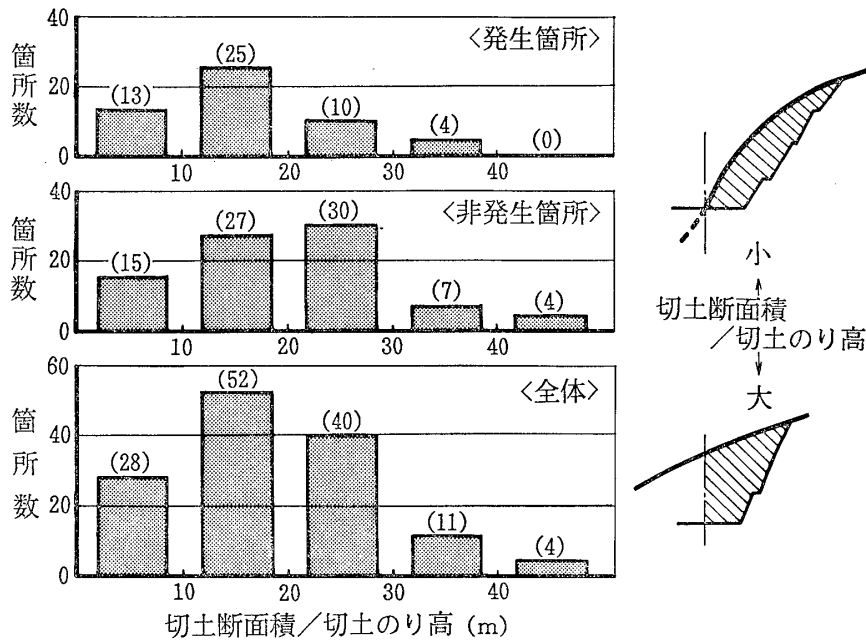


図-30 切土断面積/切土のり高に関する地すべりの発生頻度

Fig.30 Frequency of landslide occurrences in relation to ratios of sectional area of cutting and the height of cutting

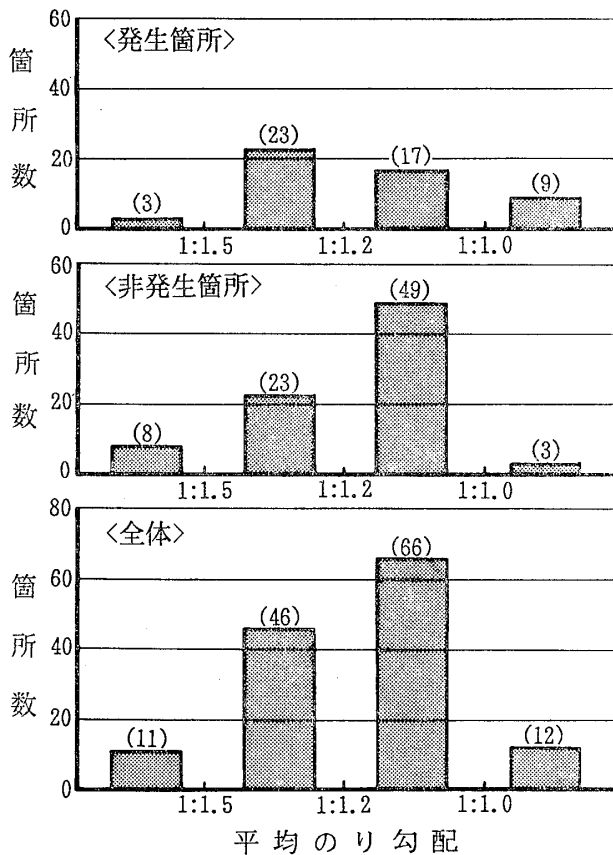


図-31 平均のり勾配に関する地すべりの発生頻度

Fig.31 Frequency of landslide occurrences in relation to average inclination of slopes

(29) 平均のり勾配

一般的には、のり勾配が急であるほど地すべりが発生しやすいと考えられている。

図-31に示すように、平均のり勾配を1:1.5以下、1:1.6~1.2, 1:1.3~1.0および1:0.9以上に4区3分し、区別に地すべり発生割合を求めると、1:1.5以下の場合には27%、1:1.6~1.2の場合には50%、1:1.3~1.0の場合には26%、1:0.9以上の場合には75%となっている。この結果によると、勾配が1:0.9以上の場合には、地すべり発生の可能性が大きいことをうかがうことはできるが、勾配が1:1.0以下の場合には、勾配の大きさと地すべり発生との関係は明瞭でない。

(30) 自然斜面勾配

自然斜面勾配としては、道路センターからのり肩までの勾配を採用した。図-32の右側に示すように、道路の両側(A側とB側)において切土工事が行われるとき、A側の勾配 θ_A を+とし、B側の勾配 θ_B を-記号で表した。

図-32の左側に示すように、地すべり発生の割合は、勾配が $-10 \sim 10^\circ$ の場合には33%、 $11 \sim 30^\circ$ の場合には47%、 31° 以上の場合には46%を示しており、勾配が水平に近い場合($-10 \sim 10^\circ$)に比べて勾配が大きくなると、発生の割合が大きくなるようであるが、勾配が 10° 以上の場合にはあまり関係がないようである。これに対して、勾配が -30° 以下の場合には13%となり、+記号の場合に比

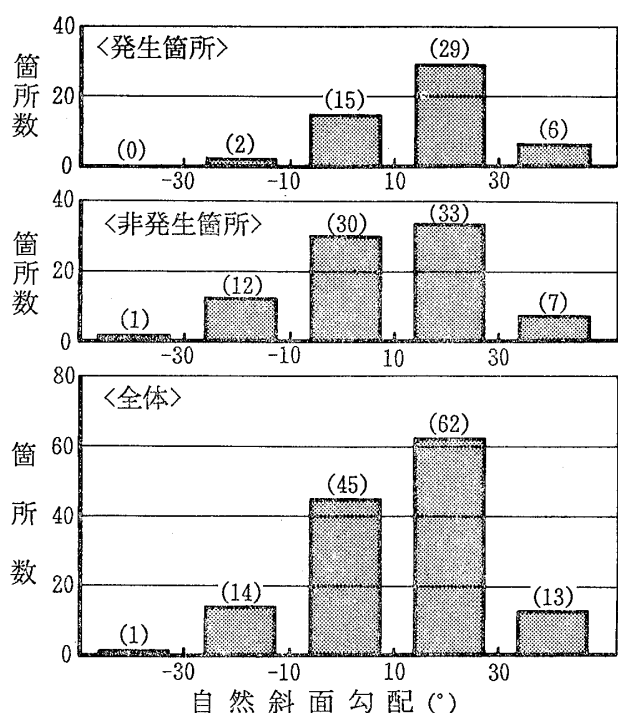


図-32 自然斜面勾配に関する地すべりの発生頻度
Fig. 32 Frequency of landslide occurrences in relation to natural slope gradation

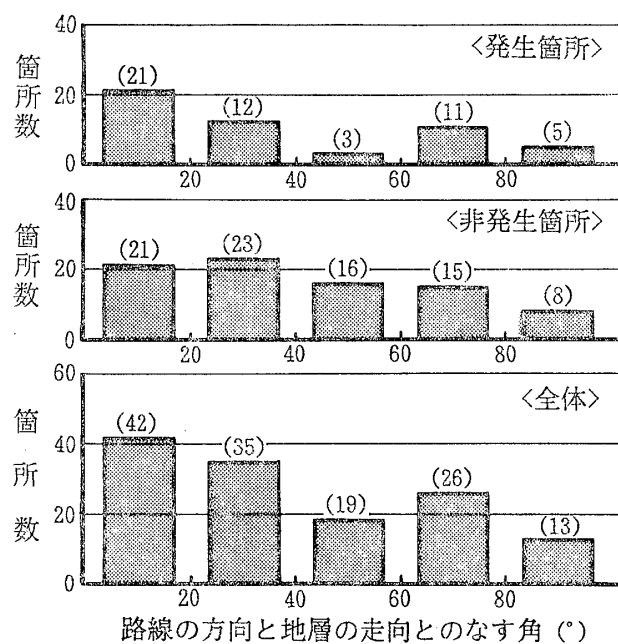


図-33 路線の方向と地層の走向とのなす角に関する地すべりの発生頻度
Fig. 33 Frequency of landslide occurrences in relation to angle of direction of the route and strike of layers

べて小さい値を示している。これは-記号で示した箇所の斜面が受け盤であることによるものと考えられる。

(3) 路線の方向と地層の走向とのなす角

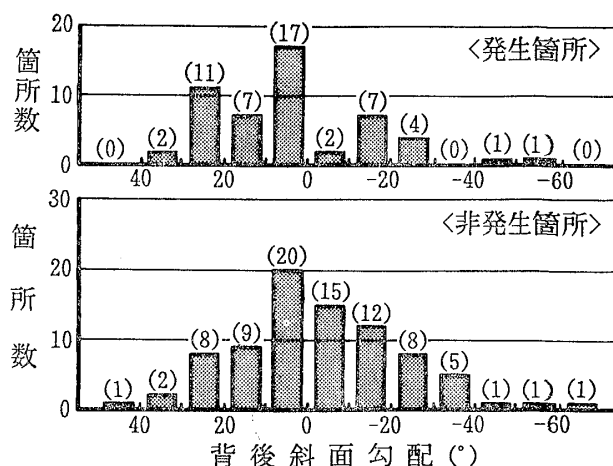


図-34 背後斜面勾配に関する地すべりの発生頻度
Fig. 34 Frequency of landslide occurrences in relation to slope gradation of the backside

路線の方向と地層の走向とのなす角が大きいくほど、切土のり面における地層の見掛けの傾斜は緩やかになって現れる。したがって、路線の方向と地層の走向とのなす角が大きいくほど、地すべりは発生しにくいことになると考えられる。

図-33に示すように、角度区別別に地すべり発生の割合を見ると、20°以下の場合には50%、21~40°の場合には34%、61~80°の場合には42%、81°以上の場合には38%となっている。これらに対して、41~60°の場合には16%と小さく、地すべり発生は、路線方向と地層の走向とのなす角に依存するよりも、土塊自体が不安定な状況にあったことがうかがえる。

(32) 背後斜面勾配

切土のり面の背後に残存する自然斜面は、図-34の右側に示すように、切土の形状がVカットになる場合、その背後の斜面は、A側では高くなるが、B側では低くなる。ここでは、B側の勾配を-記号で表すこととした。

図-34の左側に示すように、背後斜面勾配が-の場合でも地すべりの発生が見られ、勾配が緩い0~-10°の場合には、17箇所の12%に当たる2箇所において地すべりが発生しているのみであるが、-11~-20°の場合および-21~-30°の場合には、地すべり発生の割合はそれぞれ37%および33%となっている。一方、勾配が+の場合の地すべり発生の割合は、0~10°の場合には46%、11~20°の場合には44%、21~30°の場合には58%、31~40°の場合には50%となっている。これらのことから、背後斜面勾配は地すべり発生には、それほど大きく関与しないものと考えられる。

3・1・2 要約

さきに設定した32の項目のうち、のり面の形状、路線

の平面線形, 切土の位置, 斜面の平面形, 斜面の断面形, 崩壊地, 非対称山地, 地質, 凝灰岩, 切土断面積/切土のり高, 自然斜面勾配の11項目は, 地すべり発生との関係が比較的大きいと考えられるものである。

また, 遷急線, 丘状地形, 滑落崖, リニアメント, 崖錐, 貫入岩, 断層, 平均のり勾配, 路線の方向と地層の走向とのなす角, 背後斜面勾配の10項目は, やや関係があると考えられるものである。

これらの項目に対して, のり面の向き, 切土の形状, 等高線の乱れ, 沢状地形, 緩斜面, 陥没地, 沼・湿地, 地すべり地帯, 植生状況, 切土断面積, 切土のり高の11項目については, 地すべり発生との関係は認められないという結果が得られた。

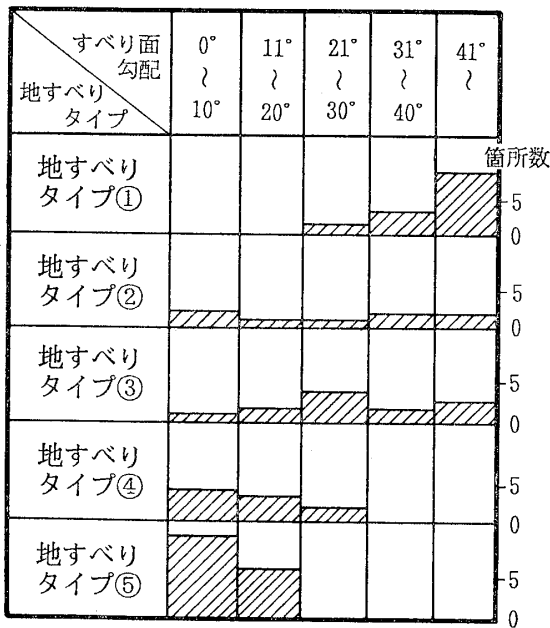
3・2 地すべりの形態について

当該道路建設における切土工事に際して発生した地すべりを, その発生形態に基づいて分類すると, 表一2に示すようになる。タイプ①およびタイプ②は, 規模が比較的小さい崩壊型の地すべりで, それぞれ亀裂型およびトップリング型に対応する。タイプ③, タイプ④およびタイプ⑤は, いわゆる地すべりで, それぞれ, 風化岩と健岩の境界をすべり面とするもの(風化堺界型), 風化頁岩層をすべり面とするもの(層理面型Ⅰ)および風化凝灰岩をすべり面とするもの(層理面型Ⅱ)である。

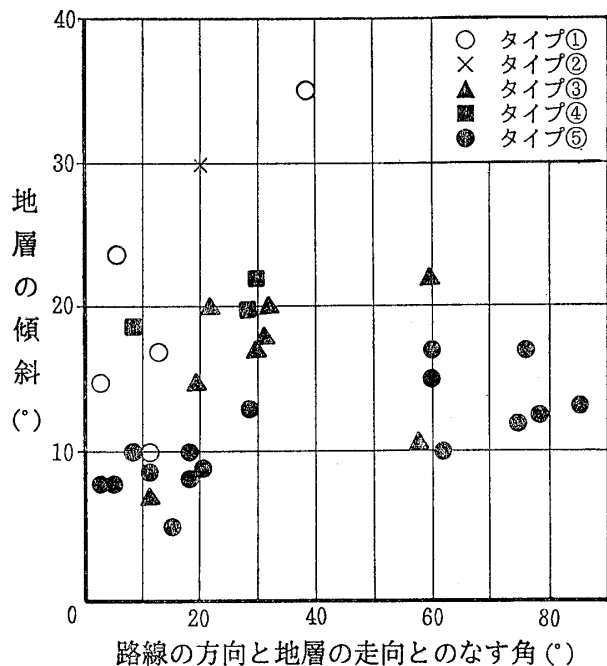
表一2に示すように, 風化凝灰岩をすべり面とするタイプ⑤が16箇所でも多く, ついで, タイプ①が13箇所, タイプ③が12箇所, タイプ②およびタイプ④がそれぞれ8箇所となっている。したがって, 比較的すべりの規模の小さい崩壊型のすべりが21箇所であるのに対して, 規模が大きく, すべり面が明瞭で, 平面すべりの形態を呈する地すべり型のすべりは, 全体の63%に当る36箇所となっている。

それぞれのタイプについて, すべり面勾配別の頻度を示すと, 図一35に示すようになる。この図によると, タイプ①のすべり面勾配が21°以上であるのに対して, 層理面をすべり面とするタイプ④およびタイプ⑤においては30°以下であり, とくに, 当路線の特徴的な地すべりである風化凝灰岩の薄層をすべり面とするタイプ⑤においては, 16箇所のすべてが20°以下で, そのうち10箇所は10°以下である。

つぎに, 路線の方向と地層の走向とのなす角と地層の傾斜角との関係をタイプ別に示すと, 図一36に示すようになる。ここに, 路線の方向と地層の走向とのなす角を求めるに当って, 57箇所のうち25箇所については地層の走向が不明確であったので, データが明示されている32箇所についての結果である。この図によると, タイプ①およびタイプ②の崩壊型の場合, データが少ないくらいはあるが, 路線の方向と地層の走向とのなす角が40°よ

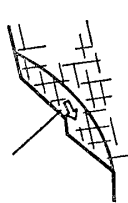
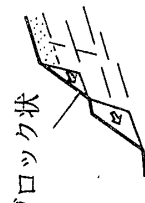





図一35 地すべりの形態およびすべり面勾配に関する地すべり発生頻度
Fig.35 Frequency of landslide occurrences in relation to type of landslide and the landslide surface gradation



図一36 路線の方向と地層の走向とのなす角と地層の傾斜角との関係
Fig.36 Relation among angle of direction of the route, strike of layers and the dip of layers

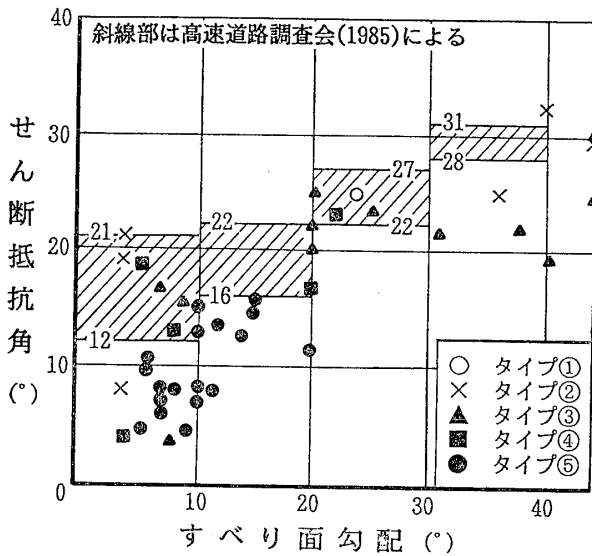
表一2 武豊佐世保道路における地すべりの形態
Table 2 Types of landslide on Takeo-Sasebo Road

地すべりの型	崩壊状況 (崩壊の起因と崩壊の機構)	崩壊のり面の地質	模式断面図	箇所数	発生比率
崩壊型 亀裂型 (タイプ①)	切土工に起因する荷重除去、掘削作業の影響ある層の浸透などにより、「目」が広がる。また、岩自体の風化(スレ)により岩盤の強度が低下する。発達し、崩壊の規模は小さい。	崩壊は、亀裂(層理、葉理、節理)や小断層がよく発達した砂岩、頁岩の風化岩盤、強風化岩盤内で発生する。		13	23%
崩壊型 トッピング型 (タイプ②)	切土工に起因する荷重除去、掘削作業の影響ある層の浸透などにより、「目」が広がる。また、岩自体の風化(スレ)により岩盤の強度が低下する。発達し、崩壊の規模は小さい。	砂岩、頁岩の風化岩盤で発生する。とくに、層理面、節理面、断層のいずれかがのり面に沿って流れていく場合が多い。		8	14%
地すべり型 風化境界型 (タイプ③)	切土工に起因して強風化岩盤、風化岩盤、新鮮岩盤の境界すべり面として発生する。面の比較的深い部分から滑落する。	砂岩、頁岩の強風化岩盤、風化岩盤、新鮮岩盤の境界すべり面として発生している。節理面および断層との関係は不明確である。また、古い地すべり跡地の場合も含まれる。		12	21%
地すべり型 層理面型 I (風化頁岩) (タイプ④)	崩壊の主原因は切土工に伴う応力解放と荷重除去であるが、頁岩が著しく風化している箇所(5~20°)の層理面であり、粘土化している場合が多い。崩壊規模は大きい。滑動速度は緩慢である。	頁岩のみが差別風化を受けて粘土化している。		8	14%
地すべり型 層理面型 II (風化凝灰岩) (タイプ⑤)	当該地域における特徴的な地すべりで、その形態はタイプ④と同様であるが、砂岩、頁岩に挟在する風化凝灰岩(層厚数mm~20cm)が、応力解放による吸水・膨張を起因として強度低下を引き起こし、これをすべり面として滑動する。すべり面の勾配は5~20°で、崩壊規模は大きい。	砂岩、頁岩中に風化凝灰岩を挟在する。		16	28%

り小さいとき、他のタイプに比べて地層の傾斜角が大きい場合に地すべりが発生している。これに対して、風化凝灰岩の薄層をすべり面とするタイプ⑤の場合は、地層の傾斜角が小さい場合でも発生しており、また、路線の方向と地層の走向とのなす角が60°以上の場合でも発生している。

3・3 すべり面のせん断強度について

すべり面勾配とせん断抵抗角との関係を示すと、図一



図一37 すべり面勾配とせん断抵抗角との関係
Fig.37 Relation between landslide surface inclination and angle of shear resistance

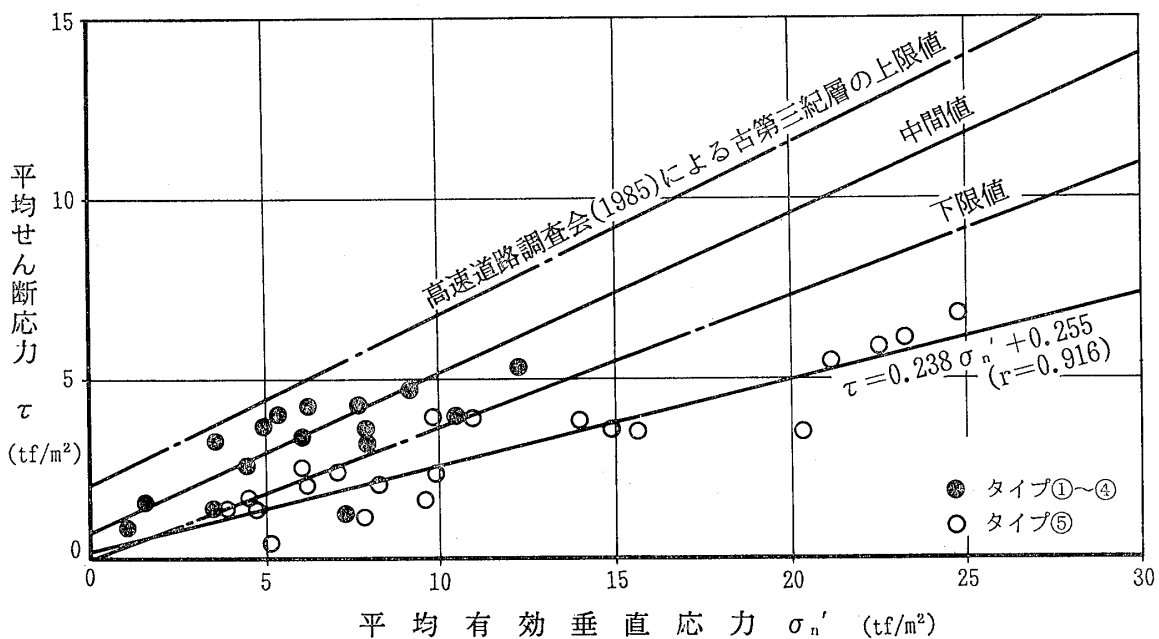
37に示すようになる。ここに、せん断抵抗角は、すべり土塊の平均的な垂直層厚から見掛けの粘着力c'を仮定して、簡便法による安定解析(逆算法)の結果を用いて求めたものである。したがって、この図には、安定解析を実施したすべてのケースについてプロットしてある。なお、タイプ③およびタイプ⑤については、2次すべりあるいは3次すべりが発生した場合の解析結果をもプロットしてあるので、箇所数よりも多くなっている。

高速道路調査会(1985)によれば、すべり面勾配とせん断抵抗角との関係は、図一37に斜線ブロックで示してあるように、すべり面勾配が大きくなるにしたがって、せん断抵抗角は大きくなり、しかも、そのバラツキの範囲は狭くなっている。これに対して、当道路に関する結果は、バラツキ範囲は全体的に大きい、高速道路調査会の結果と同じように、すべり面勾配が大きくなるにしたがって、せん断抵抗角も大きくなる傾向にある。しかしながら、タイプ⑤のせん断抵抗角の大部分の値は、高速道路調査会の結果よりも小さくなっている。また、タイプ③についても、すべり面勾配が30°以上になると、同様に小さい値を示している。

つぎに、地すべりの発生を現場における大型のせん断試験とみなし、

$$F_s = \frac{\sum c'/l + \sum (W \cos \alpha - ul) \cdot \tan \phi'}{\sum W \sin \alpha} \quad (1)$$

で表される安定解析式(簡便式)を書き直すと、



図一38 平均有効垂直応力と平均せん断応力との関係
Fig.38 Relation between mean effective normal stress and mean shear resistance stress

$$\frac{F_s \cdot \sum W \sin \alpha}{\sum l} = c' + \frac{\sum (W \cos \alpha - ul)}{\sum l} \cdot \tan \phi' \quad (2)$$

となる。これをクーロンの破壊基準

$$\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi' \quad (3)$$

に比較対応すると、平均せん断応力 τ および平均有効垂直応力 σ'_n は、つぎのように表すことができる。

$$\tau = \frac{F_s \cdot \sum W \sin \alpha}{\sum l} \quad (4)$$

$$\sigma'_n = \frac{\sum (W \cos \alpha - ul)}{\sum l} \quad (5)$$

ここに、式(4)を用いて平均せん断応力 τ を求めるに当っては、地すべり発生時の安全率を $F_s=1.0$ とした。

式(4)および式(5)によって計算された平均せん断応力 τ と平均有効垂直応力 σ'_n との関係は、図一38に示すようになる。図示するに当っては、当地域における特徴的な地すべりであるタイプ⑤を白丸で、その他のものを黒丸で示し区別した。

この結果によると、全体的には多少のバラツキはあるものの、平均有効垂直応力 σ'_n の増加に伴って、平均せん断応力 τ は直線的に増加することが判明した。なお、図中には、高速道路調査会(1985)による古第三紀層に関する関係を実線および破線で示してある。この高速道路調査会の結果と、この道路地域に分布する杵島層群における結果を比較すると、タイプ①、タイプ②、タイプ③、タイプ④については、1つを除いて高速道路調査会の範囲に含まれている。

しかしながら、風化凝灰岩をすべり面とするタイプ⑤については、そのほとんどが高速道路調査会の下限値を下回っており、タイプ⑤の平均有効垂直応力 σ'_n と平均せん断応力 τ との関係はつぎのようになる。

$$\tau = 0.238\sigma'_n + 0.255 \quad (r=0.916) \quad (6)$$

以上のように、タイプ①、タイプ②、タイプ③、タイプ④については、高速道路調査会(1985)の示す結果と同じ傾向を示しているが、タイプ⑤の場合は、既存のデータと比較して、平均せん断応力 τ の値が低くなることは明らかである。したがって、古第三紀層の分布地域であっても、風化凝灰岩を挟在する箇所については、土工事によるわずかな応力の相違によって、地すべりの発生をうながすことが考えられる。

4 要因分析

4・1 分析方法

斜面の安定度を評価する方法としては、一般に、過去の災害記録の調査、空中写真の判読、ボーリングによる調査などによって、地すべり履歴、地すべり地形、地質状況などを抽出し、これらのデータに対して経験的判断を下す方法が用いられている。また、斜面安定の理論式から安全率を求める方法が用いられている。ただし、これらの方法は定性的判断に基づく面が多く、解析に当て個人差が生じやすい。これらの調査方法の着眼点、判断基準などは、日本道路協会(1986)の「道路土工——のり面工・斜面安定工指針」に詳細に述べられている。このほかに、地すべりの要因分析によく用いられる定量的方法としては、多変量解析法がある。これらの方法を要約するとつぎのようになる。

- 1) 経験法——過去の地すべり履歴、空中写真判読および地形・植生などの特性や他地域との関連に基づいて、安定性を定性的に判断する方法。
- 2) 点数法——崩壊に関与すると考えられる種々の要因をいくつかの等級に分け、それらの等級にあらかじめ危険度に応じた点数を与えておき、これらの合計点数の大小によって、対象としている斜面の危険度を予測する方法。
- 3) 力学的安定解析法——ある時点における対象斜面の力学的安定性を決定するために、基本的要因を数値的に予測仮定し、それらの数値を用いて斜面安定の理論式から安全率を算出し、その結果に基づいて、変動についての予測を行う方法。
- 4) 多変量解析法——大量の崩壊発生例と、それらと対比可能な非発生例について、両者の差異をもたらしていると考えられる要因のデータから、各要因の特性値の組合せと発生率の複合的關係を統計的に解析し、その結果に基づいてその後の予測をする方法である。さらに、その結果を簡略化して点数法に利用することもある。

4・2 多変量解析

多変量解析法は、統計的な解析手法であり、多くのデータ(母集団)が必要である。当線路においては、古第三紀の堆積岩という同一の地質条件において、266箇所切土工事箇所のうち、57箇所において地すべりが発生し、そのうちの52箇所については、種々の項目の詳細なデータが残されている。また、これらのデータに対比できる非発生箇所のデータも数多く(83箇所)あることから、多変量解析を実施した。

この解析においては、地層の傾斜角などの量的要因のみならず、岩盤の風化状況、斜面の形などの質的要因に基づいて、地すべり発生の有無のような質的な外的基準を予測あるいは判別することになるので、数量化Ⅱ類を使用した。

また、解析は、解析の対象とする時点によって抽出可能な要因が異なることから、

- 1) 予備設計段階
- 2) 概略設計段階
- 3) 詳細設計段階

の3つの段階について実施するとともに、規模の大きい地すべり型と比較的規模の小さい崩壊型とを区別する要因についても検討した。

分析の手順は、つぎのとおりである。

- 1) はじめに、抽出したアイテムとカテゴリーを用いて数量化Ⅱ類による計算を行い、外的基準（地すべりの発生と非発生）に大きく寄与する偏相関係数を求める。
- 2) つぎに、偏相関係数が低いアイテムから順次そのアイテムを除外して計算を繰返し、判別の中率および相関比を求める。この両者の値から、効率的で妥当であると判断されるアイテムの個数を求め、これらのアイテムについて詳細な計算を行う。
- 3) 上記の計算から得られたカテゴリーのスコアを用いて、各サンプルごとのサンプルスコアを求め、これに基づいて頻度分布図（スコア図）を作成し、地すべり発生の可能性を判断する基準を決定する。

4・3 数量化Ⅱ類による分析結果

4・3・1 予備設計段階における分析結果

予備設計段階においては、国土基本図(1:5,000)、地質平面図(1:50,000)および土地利用基本図(1:50,000)を用

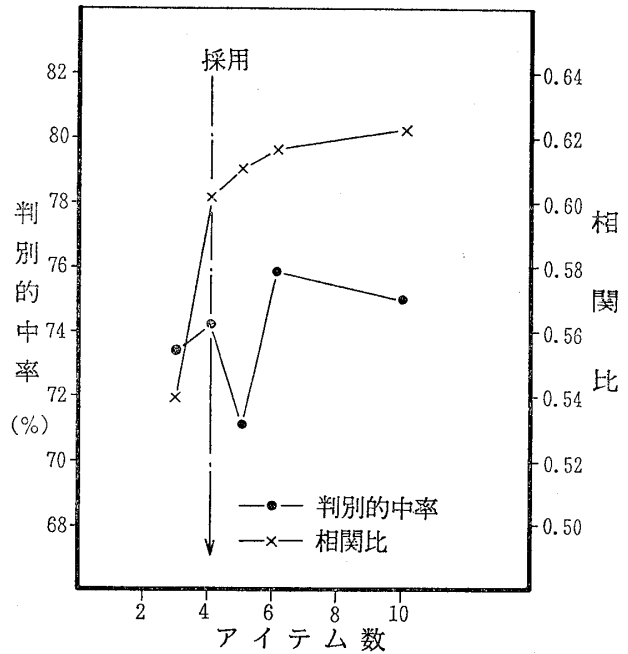


図-39 予備設計段階のアイテムの数と判別の中率および相関比との関係

Fig.39 Relation among the number of items at the preliminary design stage, right discrimination rates and correlation ratio

いて、表-3に示すアイテムおよびカテゴリーを抽出して、数量化Ⅱ類による分析を行った。

求められた判別の中率および相関比とアイテムの個数との関係は、図-39に示すようになる。判別の中率はアイテムの個数が5個のときに最小になっていて、全体的にはバラツキがある。これに対して、相関比の方は、アイテムの個数が3個から4個になると、0.54から0.60へと急激に大きくなり、アイテムの個数が4個より大きくなっても相関比はそれほど大きくなならない。

予備設計段階においては、おおよその傾向が判ればよ

表-3 予備設計段階のアイテム、カテゴリーおよび偏相関係数

Table 3 Items, categories and partial correlation coefficient at the preliminary design stage

	アイテム	カテゴリー	偏相関係数
1	路線の平面線形	凸形、凹形、直線形	0.3457
2	斜面の断面形	凸形、直線形、凹形、複合形	0.2472
3	切土の位置	山腹、山頂	0.2285
4	遷急線	あり、なし	0.2200
5	緩斜面	あり、なし	0.1129
6	非対称山地	あり、なし	0.1111
7	斜面の平面形	尾根形、直線形、複合形	0.0953
8	のり面の形状	円形+円錐形、複合形、扁平形	0.0801
9	等高線に乱れ	あり、なし	0.0215
10	切土の形状	Vカット、スライスカット	0.0201

表一四 予備設計段階のアイテムのスコアおよびレンジ

Table 4 Item scores and ranges at the preliminary design stage

アイテム	カテゴリー	度数	スコア	レンジ
路線の平面線形	凸形	49	0.0683	0.3732
	凹形	44	-0.2212	
	直線形	42	0.1520	
遷急線	あり	34	0.2373	0.3172
	なし	101	-0.0799	
斜面の断面形	凸形	65	-0.0921	0.2962
	直線形	47	0.0438	
	凹形	7	0.0946	
	複合形	16	0.2041	
切土の位置	山腹	59	0.1428	0.2537
	山頂	76	-0.1109	

表一五 予備設計段階のサンプルスコアの級とその箇所数および比率

Table 5 Grade of sample scores, the number of sites of each grade and ratio at the preliminary design stage

級	箇所数			箇所数比率(%)	
	全体	発生箇所	非発生箇所	発生箇所	非発生箇所
-0.5040 ~ -0.3661	19	1	18	1.9	21.7
-0.3662 ~ -0.2283	4	0	4	0.0	4.8
-0.2284 ~ -0.0905	37	8	29	15.4	34.9
-0.0906 ~ 0.0471	19	2	17	3.8	20.5
0.0472 ~ 0.1849	21	9	12	17.3	14.5
0.1850 ~ 0.3227	14	13	1	25.0	1.2
0.3228 ~ 0.4605	11	10	1	19.2	1.2
0.4606 ~ 0.5983	7	6	1	11.5	1.2
0.5984 ~ 0.7361	2	2	0	3.8	0.0
0.7362 ~ 0.8739	1	1	0	1.9	0.0
合計	135	52	83	100.0	100.0

く、なお、アイテムの個数を4個とした場合の判別的中率および相関比は、それぞれの最大値に対して97%であるので、偏相関係数の大きい4つのアイテム、すなわち、①路線の平面線形、②切土の位置、③斜面の断面形、④遷急線（表一三参照）を用いて分析を行った。この場合に得られた各アイテムのカテゴリーのスコアおよびアイテムのレンジは、表一四に示すようになる。これによれば、'路線の平面線形'のレンジが最も高く、そのスコアを見ると凸形および直線形の値が大きい。したがって、'路線の平面線形'の凸形および直線形の場合が地すべりの発生に大きく寄与していることがわかる。これは、

切土後に地山の応力が分散するようになる箇所が危険であり、アーチアクションのような応力状態が考えられる凹形の場合が安全となると解釈される。

さらに、'切土の位置'では山腹の場合、'斜面の断面形'では複合形の場合および'遷急線'では存在する場合は、地すべり発生に寄与することがわかる。

表一四に示した各カテゴリーのスコアを用いて求めたサンプルスコア（最大；0.8739，最小；-0.5040）を10個の級に分け、それらの級における発生箇所数と非発生箇所数およびそれらの比率を示すと表一五のようになる。また、これをヒストグラムで表すと図一四0のように

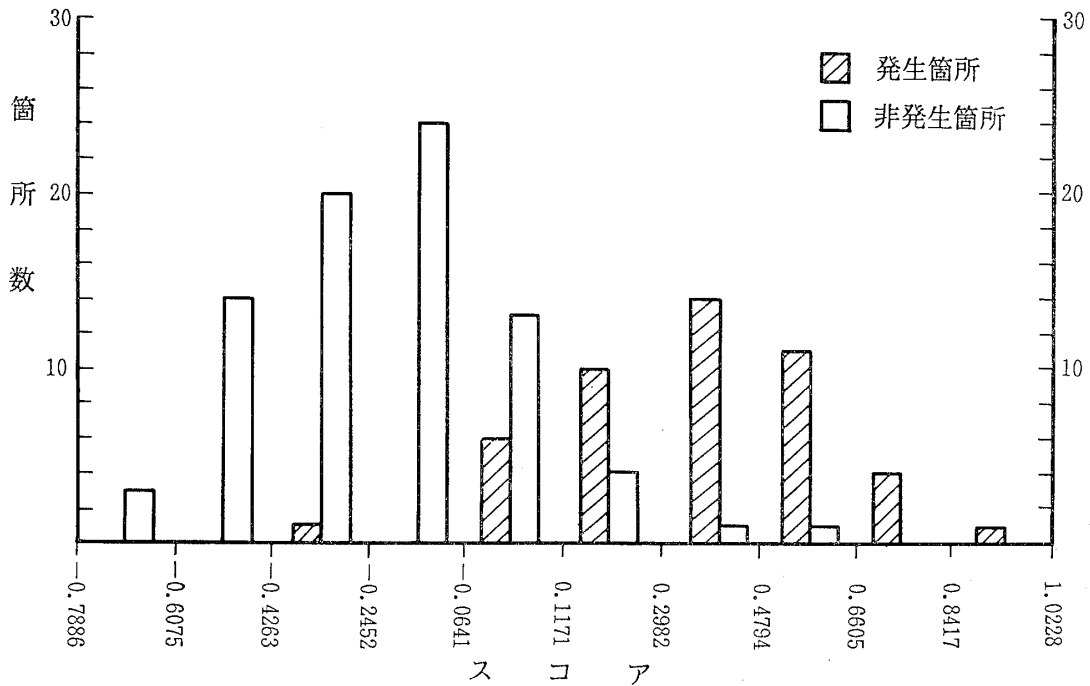


図-40 予備設計段階のサンプルスコアの級別頻度
 Fig.40 Frequency of grades of sample scores at the preliminary design stage

表一六 予備設計段階の崩壊予測区分
 Table 6 Classification of slope failure prediction at the preliminary design stage

地すべり発生の可能性	サンプルスコア
大	0.1850 以上
中	0.0472 ~ 0.1849
小	0.0471 以下

なる。これによると、サンプルスコアの値が0.1850以上の場合は、非発生箇所が3箇所であるのに対して、発生箇所は32箇所となり、この範囲における発生の割合は91%となる。また、サンプルスコアが0.0472から0.1849の間では、21箇所のうち9箇所ですべりが発生し、12箇所は非発生箇所となっており、発生の割合は43%となる。一方、サンプルスコアが0.471以下の場合には、79箇所のうち発生箇所は11箇所、発生の割合は14%となっている。したがって、地すべり発生の可能性を、これらのサンプルスコアを用いて、大、中、小の3段階に区分すると、表一六に示すようになる。

4・3・2 概略設計段階における分析結果

概略設計段階においては、第一次地質調査（地表地質踏査および概略ボーリング調査）の結果および実測平面図を用いて、表一七に示す20個のアイテムおよびそれら

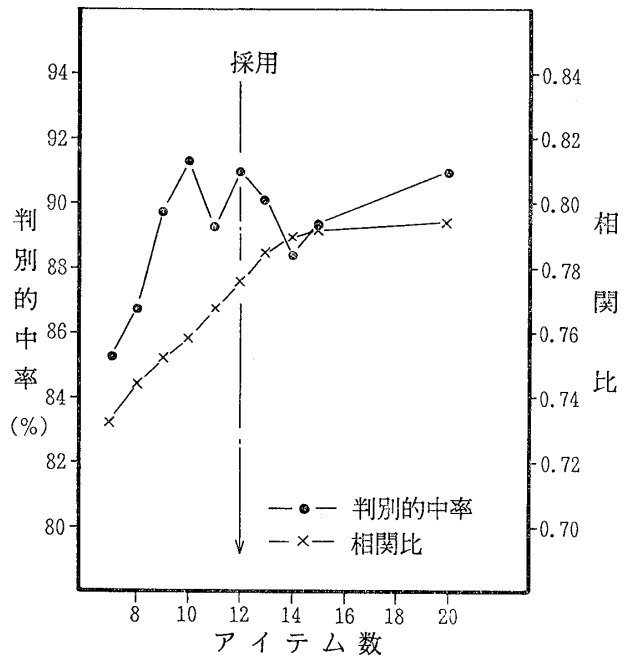


図-41 概略設計段階のアイテムの数と判別の中率および相関比との関係
 Fig.41 Relation among the number of items at the schematic design stage, right discrimination rates and correlation ratio

のアイテムに属するカテゴリーに関するデータを抽出して分析を行った。この場合、データを抽出した箇所は、発生箇所については47箇所、非発生箇所については80箇所、全体で127箇所であった。

表一七 概略設計段階のアイテム, カテゴリーおよび偏相関係数

Table 7 Items, categories and partial correlation coefficient at the schematic design stage

	アイテ ム	カテ ゴ リ ー	偏相関係数
1	地層の傾斜	流れ盤、受け盤、水平	0.5227
2	路線の平面線形	凸形、凹形、直線形	0.3973
3	自然斜面勾配	-40°~-11°、-10°~9°、10°~29°、30°以上	0.3328
4	切土の位置	山腹、山頂	0.2513
5	平均のり勾配	1:1.5以下、1:1.4~1:1.2、1:1.1~1:1.0、1:0.9以上	0.2363
6	リニアメント	あり、なし	0.2232
7	遷急線	あり、なし	0.2130
8	切土断面積/切土のり高	0~9m、10~19m、20~29m、30~39m、40m以上	0.1927
9	{ 路線の方向と地層 の走向との角	0°~19°、20°~39°、40°~59°、60°~79°、80°以上	0.1825
10	非対称山地	あり、なし	0.1772
11	背後斜面勾配	{ -90°~-51°、-50°~-31°、-30°~-11°、 -10°~9°、10°以上	0.1711
12	丘状地形	あり、なし	0.1689
13	斜面の断面形	凸形、直線形、凹形、複合形	0.1562
14	地すべり地帯	あり、なし	0.1555
15	斜面の平面形	尾根形、直線形、複合形	0.1013
16	のり面の形状	円形+円錐形、複合形、扁平形	0.0741
17	等高線の乱れ	あり、なし	0.0606
18	沢状地形	あり、なし	0.0437
19	切土の形状	Vカット、スライスカット	0.0306
20	地質	単層、互層	0.0293

これらの結果から求められた判別の中率および相関比とアイテムの個数との関係を図一41に示す。これによると、判別の中率については、アイテムの個数が9個から13個の間では若干のバラツキはあるが、平均的には90%であるのに対して、アイテムの個数が8個の場合は86.5%と低い値を示している。また、アイテムの個数が14個と15個の場合は、アイテムの個数が9~13個の場合よりも小さい値を示している。一方、相関比については、アイテムの個数が7個から12個の間においては、1個あたり0.0094の割合で増加しているが、12個から15個の間では1個あたり0.0060の増加と小さくなっている。したがって、相関比から見ると、アイテムの個数が12個以下でない方がよいと考えられる。また、アイテムの個数が12個のときの判別の中率は90.7%で、最大値(アイテムの個数が10個のとき:90.9%)とほとんど変わらないことから、偏相関係数の大きい12個のアイテム(表一七参照)を用いて分析を行った。得られた各アイテムのカテゴリーのスコアおよびアイテムのレンジは、表一八に示す通りである。

これによると、'地層の傾斜'のレンジが最も大きくなり、カテゴリーとしては流れ盤が地すべりに寄与していることがわかる。'自然斜面勾配'では、上方に向かって勾配が急なほど地すべりが発生しやすいという結果が得られている。'平均のり勾配'では、1:0.9以上および1:1.4~1:1.2の2つのカテゴリーが地すべりに寄与

するという結果となっている。前者は円弧すべりやトップリング型の地すべりの発生を示しており、後者は平面すべりにおいては、のり面が緩くてもすべる可能性があることを示している。すなわち、平面すべりにおいては、すべりの先端部の土塊が抵抗力として作用するため、平面すべりの対策工として排土工を採用するに当たって、のり面を緩くすることは必ずしも有効でないことになる。

表一八に示した各カテゴリーのスコアから求めたサンプルスコア(最大;1.0228, 最小;-0.7886)を10個の級に分け、それらの級における発生箇所数と非発生箇所数およびそれらの比率を示すと表一九のようになる。また、これをヒストグラムで表すと図一42に示すようになる。これによると、サンプルスコアの値が0.2982以上の場合は、2箇所において地すべりは発生していないが、30箇所において地すべりが起こっており、その発生の割合は94%となる。また、サンプルスコアが-0.0641から0.2981の間では、33箇所のうち16箇所地すべりが発生し、その発生の割合は48%となっている。一方、サンプルスコアが-0.0340以下では、地すべりの発生箇所は62箇所のうちの1箇所のみで、その発生の割合は2%弱である。したがって、地すべり発生の可能性を、これらのサンプルスコアを用いて3段階に区分すると、表一10に示すようになる。

4・3・3 詳細設計段階における分析結果

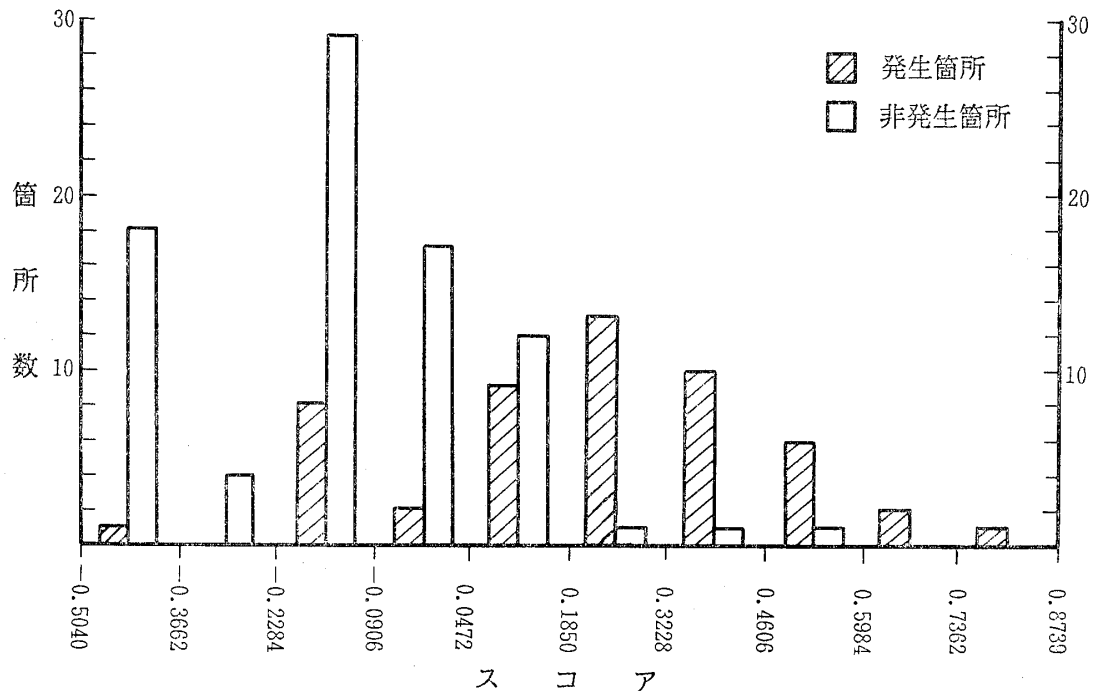
表-8 概略設計段階のアイテムのスコアおよびレンジ
Table 8 Item scores and ranges at the schematic design stage

アイテム	カテゴリ	度数	スコア	レンジ	アイテム	カテゴリ	度数	スコア	レンジ
地層の傾斜	流れ盤	75	0.1793	0.4425	切土断面積 /切土のり高	0m~9m	23	-0.1536	0.2488
	受け盤	50	-0.2632			10m~19m	48	-0.0028	
	水平	2	-0.1450			20m~29m	40	0.0952	
自然斜面勾配	-40°~-11°	15	-0.2896	0.4322	30m~39m	12	0.0216	0.2171	
	-10°~9°	45	-0.0145		40m以上	4	-0.0997		
	10°~29°	58	0.0640		あり	32	0.1624		
	30°以上	9	0.1426		なし	95	-0.0547		
平均のり勾配	1:1.5以下	11	-0.1802	0.3870	山腹	52	0.1187	0.2010	
	1:1.4~1:1.2	45	0.0399		山頂	75	-0.0823		
	1:1.1~1:1.0	63	-0.0233		あり	82	0.0680		
	1:0.9以上	8	0.2068		なし	45	-0.1240		
路線の平面線形	凸形	48	0.0913	0.3055	丘状地形	45	0.0965	0.1495	
	凹形	40	-0.2063		なし	82	-0.0530		
	直線形	39	0.0992		あり	89	0.0433		
背後斜面勾配	-90°~-51°	3	0.2426	0.2647	非対称山地	38	-0.1015	0.1170	
	-50°~-31°	7	-0.0221		0°~19°	40	0.0440		
	-30°~-11°	30	0.0040		20°~39°	32	0.0399		
	-10°~9°	54	-0.0009		40°~59°	19	-0.0730		
10°以上	33	-0.0195		60°~79°	25	-0.0729			
					80°以上	11	0.0160		

表一9 概略設計段階のサンプルスコアの級とその箇所数および比率

Table 9 Grade of sample scores, the number of sites of each grade and ratio at the schematic design stage

級	箇所数			箇所数比率(%)	
	全体	発生箇所	非発生箇所	発生箇所	非発生箇所
-0.7886 ~ -0.6074	3	0	3	0.0	3.8
-0.6075 ~ -0.4262	14	0	14	0.0	17.5
-0.4263 ~ -0.2451	21	1	20	2.1	25.0
-0.2452 ~ -0.0640	24	0	24	0.0	30.0
-0.0641 ~ 0.1170	19	6	13	12.8	16.3
0.1171 ~ 0.2981	14	10	4	21.3	5.0
0.2982 ~ 0.4793	15	14	1	29.8	1.3
0.4794 ~ 0.6604	12	11	1	23.4	1.3
0.6605 ~ 0.8416	4	4	0	8.5	0.0
0.8417 ~ 1.0228	1	1	0	2.1	0.0
合計	127	47	80	100.0	100.0



図一42 概略設計段階のサンプルスコアの級別頻度

Fig.42 Frequency of grades of sample scores at the schematic design stage

表一10 概略設計段階の崩壊予測区分

Table 10 Classification of slope failure prediction at the schematic design stage

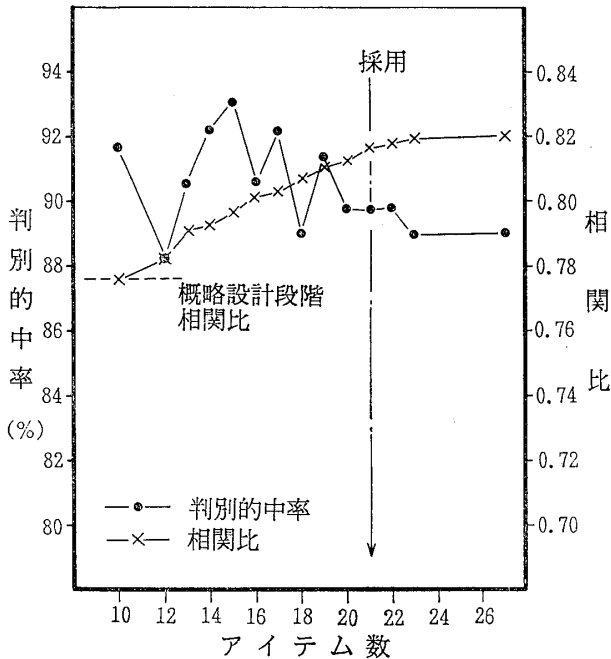
地すべり発生 の可能性	サンプルスコア
大	0.2982 以上
中	-0.0641 ~ 0.2981
小	-0.0640 以下

詳細設計段階においては、さきの段階の場合よりも、さらに詳細なデータが入手できることから、表一11に示すような27個のアイテムを選択した。なお、さきの段階において、‘地層の傾斜’というアイテムのカテゴリーを流れ盤、受け盤、水平としていたが、この段階では、見掛けの傾斜を角度で表すことができるので、アイテムの名称を‘見掛けの傾斜(地層の)’とし、カテゴリーを -40° ~ -21° 、 -20° ~ -1° 、 0° ~ 19° 、 20° 以上の4段階に区分した。また、‘地質’のカテゴリーに地質名を採用し、砂岩と頁岩の占める割合の多少によって、砂岩、

表一11 詳細設計段階のアイテム、カテゴリおよび偏相関係数

Table 11 Items, categories and partial correlation coefficient at the detailed design stage

	アイテム	カテゴリー	偏相関係数
1	見掛けの傾斜 (地層の)	-40°~-21°、-20°~-1°、0°~19°、20°以上	0.4868
2	路線の平面線形	凸形、凹形、直線形	0.4025
3	自然斜面勾配	-40°~-11°、-10°~-9°、10°~29°、30°以上	0.3488
4	平均のり勾配	1:1.5以下、1:1.4~1:1.2、1:1.4~1:1.0、1:0.9以上	0.2454
5	非対称山地	あり、なし	0.2146
6	貫入岩	あり、なし	0.2076
7	凝灰岩	あり、なし	0.1994
8	リニアメント	あり、なし	0.1898
9	切土の位置	山腹、山頂	0.1887
10	斜面の断面形	凸形、直線形、凹形、複合形	0.1861
11	背後斜面勾配	{ -90°~-51°、-50°~-31°、-30°~-11°、 -10°~9°、10°以上	0.1835
12	切土断面積/切土のり高	0~9m、10~19m、20~29m、30~39m、40m以上	0.1679
13	遷急線	あり、なし	0.1670
14	斜面の平面形	尾根形、直線形、複合形	0.1419
15	断層	あり、近接、なし	0.1361
16	{路線の方向と地層 の走向とのなす角	0°~19°、20°~39°、40°~59°、60°~79°、80°以上	0.1326
17	地質	砂岩、砂岩>頁岩、砂岩=頁岩、砂岩<頁岩、頁岩	0.1223
18	等高線の乱れ	あり、なし	0.1198
19	のり面の形状	円形+円錐形、複合形、扁平形	0.1098
20	滑落崖	あり、なし	0.1036
21	地すべり地帯	あり、なし	0.0958
22	丘状地形	あり、なし	0.0878
23	崖錐	あり、なし	0.0348
24	崩壊地	あり、なし	0.0196
25	切土の形状	Vカット、スライスカット	0.0112
26	緩斜面	あり、なし	0.0107
27	沢状地形	あり、なし	0.0042



図一43 詳細設計段階のアイテムの数と判別の中率および相関比との関係
Fig. 43 Relation among the number of items at the detailed design stage, right discrimination rates and correlation ratio

砂岩>頁岩、砂岩=頁岩、砂岩<頁岩、頁岩の5つに区分した。この場合に、データを抽出した箇所は、発生箇所については47箇所、非発生箇所については80箇所、全体では127箇所であった。

表一11に示した27個のアイテムを用いて求められた判別の中率および相関比とアイテムの個数との関係は、図一43に示す通りである。これによると、判別の中率はバラツキが大きく、しかもアイテムの個数が大きくなるにしたがって低くなる傾向が見られる。これに対して、相関比は、アイテムの個数が10個と21個の間では1個あたり0.0036の割合で一様に増加している。これに対して、21個以上では0.0005の割合で若干大きくなっているが、大きな変化は見られない。アイテムの個数が21個のときの判別の中率は89.8%で、最大値(アイテムの個数が15個のとき:93%)の97%となることから、偏相関係数の大きい21個のアイテムを用いて分析を行った。この場合に、表一11においては、崖錐の偏相関係数は23番目であったが、27個のアイテムの偏相関係数の小さいものから除去しながら、判別の中率および相関比を求める過程において、崖錐が21番目に位置する結果となった。求めら

表-12 詳細設計段階のアイテムのスコアおよびレンジ

Table 12 Item scores and ranges at the detailed design stage

アイテム	カテゴリ	度数	スコア	レンジ	アイテム	カテゴリ	度数	スコア	レンジ
見掛けの傾斜 (地層の)	-40°~-21°	5	-0.2939	0.5809	背後斜面勾配	-90°~-51°	3	0.1597	0.2661
	-20°~-1°	45	-0.2137			-50°~-31°	7	0.0007	
	0°~19°	70	0.1297			-30°~-11°	30	0.0633	
	20°以上	7	0.2870			-10°~9°	54	0.0209	
自然斜面勾配	-40°~-11°	15	-0.3397	0.4768	切土断面積 /切土のり高	10°以上	33	-0.1064	0.2531
	-10°~9°	45	-0.0676			0m~9m	23	-0.1433	
	10°~29°	58	0.1190			10m~19m	48	-0.0079	
	30°以上	9	0.1371			20m~29m	40	0.0630	
貫入岩	あり	3	-0.4196	0.4298	斜面の断面形	30m~39m	12	0.1098	0.2461
	なし	124	0.0102			40m以上	4	-0.0404	
平均のり勾配	1:1.5以下	11	-0.0702	0.3295	斜面の断面形	凸形	65	-0.0507	0.2461
	1:1.4~1:1.2	45	0.0256			直線形	41	0.0133	
	1:1.1~1:1.0	63	-0.0390			凹形	7	0.0022	
	1:0.9以上	8	0.2593			複合形	14	0.1954	
路線の平面線形	凸形	48	0.0573	0.3099	凝灰岩	あり	36	0.1586	0.2213
	凹形	40	-0.1878			なし	91	-0.0627	
	直線形	39	0.1221						

表-12 詳細設計段階のアイテムのスコアおよびレンジ (つづき)
 Table 12 Item scores and ranges at the detailed design stage (continued)

アイテム	カテゴリ	度数	スコア	レンジ	アイテム	カテゴリ	度数	スコア	レンジ
滑落崖	あり	10	0.2029	0.2202	切土の位置	山腹	52	0.0810	0.1371
	なし	117	-0.0173			山頂	75	-0.0561	
断層	あり	11	-0.1025	0.2040	遷急線	あり	32	0.1003	0.1341
	近接	9	0.1015			なし	95	-0.0338	
	なし	107	0.0020			砂岩	49	-0.0358	
非対称山地	あり	89	0.0511	0.1709	地質	砂岩>頁岩	14	-0.0438	0.1053
	なし	38	-0.1198			砂岩=頁岩	26	0.0615	
	尾根形	81	0.0268			砂岩<頁岩	21	0.0463	
斜面の平面形	直線形	15	0.0638	0.1648	等高線の乱れ	頁岩	17	-0.0119	0.1050
	複合形	31	-0.1010			あり	40	-0.0719	
路線の方向と地層の走向とのなす角	0°~19°	40	0.0022	0.1458	のり面の形状	なし	87	0.0331	0.0895
	20°~39°	32	0.0667			円形+円錐形	66	-0.0349	
	40°~59°	19	-0.0791			複合形	17	-0.0058	
	60°~79°	25	-0.0377			扁平形	44	0.0546	
	80°以上	11	0.0203			あり	15	0.0501	
リニアメント	あり	82	0.0500	0.1411	崖錐	なし	112	-0.0067	0.0568
	なし	45	-0.0911			あり	15	0.0501	

表-13 詳細設計段階のサンプルスコアの級とその箇所数および比率
Table 13 Grade of sample scores, the number of sites of each grade and ratio at the detailed design stage

級	箇所数			箇所数比率(%)	
	全体	発生箇所	非発生箇所	発生箇所	非発生箇所
-0.7222 ~ -0.5311	6	0	6	0.0	7.5
-0.5312 ~ -0.3402	22	0	22	0.0	27.5
-0.3403 ~ -0.1492	27	0	27	0.0	33.8
-0.1493 ~ 0.0416	22	4	18	8.5	22.5
-0.0417 ~ 0.2325	14	8	6	17.0	7.5
0.2326 ~ 0.4235	9	8	1	17.0	1.3
0.4236 ~ 0.6144	16	16	0	34.0	0.0
0.6145 ~ 0.8054	8	8	0	17.0	0.0
0.8055 ~ 0.9963	2	2	0	4.3	0.0
0.9964 ~ 1.1872	1	1	0	2.1	0.0
合計	127	47	80	100.0	100.0

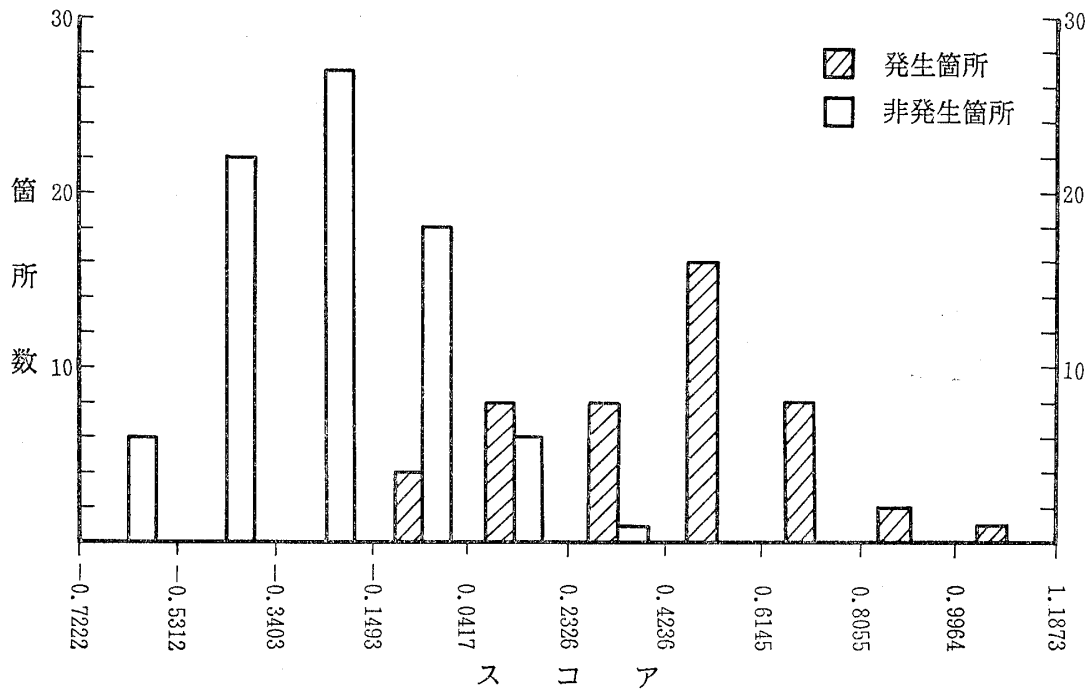


図-44 詳細設計段階のサンプルスコアの級別頻度
Fig.44 Frequency of grades of sample scores at the detailed design stage

表-14 詳細設計段階の崩壊予測区分
Table 14 Classification of slope failure prediction at the detailed design stage

地すべり発生の可能性	サンプルスコア
大	0.4236 以上
中	-0.1493 ~ 0.4235
小	-0.1492 以下

れた各アイテムのカテゴリのスコアおよびアイテムのレンジは、表-12に示す通りである。

この分析結果を概略設計段階の分析結果と比較すると、'見掛けの傾斜(地層の)', '自然斜面勾配', '平均のり勾配', '路線の平面線形'などのアイテムのレンジが大きいこと、また、それらのアイテムのカテゴリのスコアの大小関係も同様の傾向にあることがうかがえる。なお、'貫入岩'の有無についてのアイテムのレンジが'自然斜面勾配'について三番目の大きさを示しているがこれは、貫入岩が存在した3箇所ののり面のすべてが非

発生箇所であったことによるためである。

表-12に示した各カテゴリーのスコアから求めたサンプルスコア（最大；1.1872，最小；-0.7222）を10個の級に分け，それらの級における発生箇所数と非発生箇所数およびそれらの比率を示すと，表-13のようになり，

そのヒストグラムを図-44に示す。これによると，サンプルスコアが0.4236以上の場合は，27箇所のすべてにおいて地すべりが発生しており，一方，-0.1492以下の場合は，地すべりが発生していない。これに基づいて地すべり発生の可能性を3段階に区分すると，表-14のようになる。

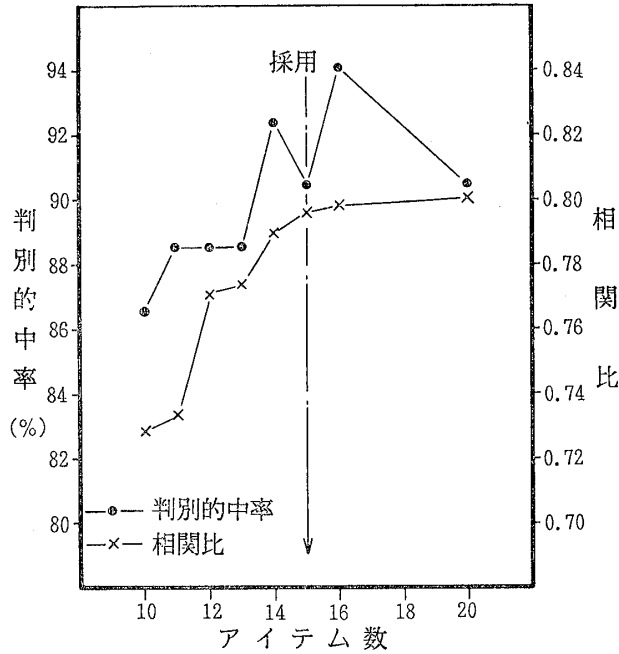


図-45 形態別のアイテムの数と判別率および相関比との関係

Fig.45 Relation among the number of items regarding of the types of landslide, right discrimination rates and correlation ratio

4・3・4 形態別による要因分析の結果

表-2に示したように，当路線における切土工事に際して発生した地すべりは，規模の小さい崩壊型と比較的規模の大きい地すべり型に分けることができる。地すべり発生の初期から対策工を施工するまでには長い時間を要し，しかも，対策工費が増大することから，地すべりの形態を正確に推定することができれば，事前に詳細な調査を実施して，情報化施工を行うことが可能となり，工期の短縮や工費の節減に結びつくことになる。

このために，崩壊型と地すべり型とを区別するためのアイテムとカテゴリーを定めることを目的として，さきに述べた詳細設計段階の場合と同様のアイテムとカテゴリーを設定したが，サンプルの数が地すべりが発生した52箇所となるために，実際に抽出することができたアイテムは表-15に示す20個であった。

これらの結果から求められた判別率および相関比とアイテムの個数との関係は図-45に示す通りである。この図によると，判別率のバラツキが大きい，アイテムの個数が16個までは次第に大きくなるが，20個の場合は，アイテムの個数が15の場合と同じ程度に低くなっている。一方，相関比については，アイテムの個数が

表-15 形態別のアイテム，カテゴリーおよび偏相関係数

Table 15 Items, categories and partial correlation coefficient regarding of the types of landslide

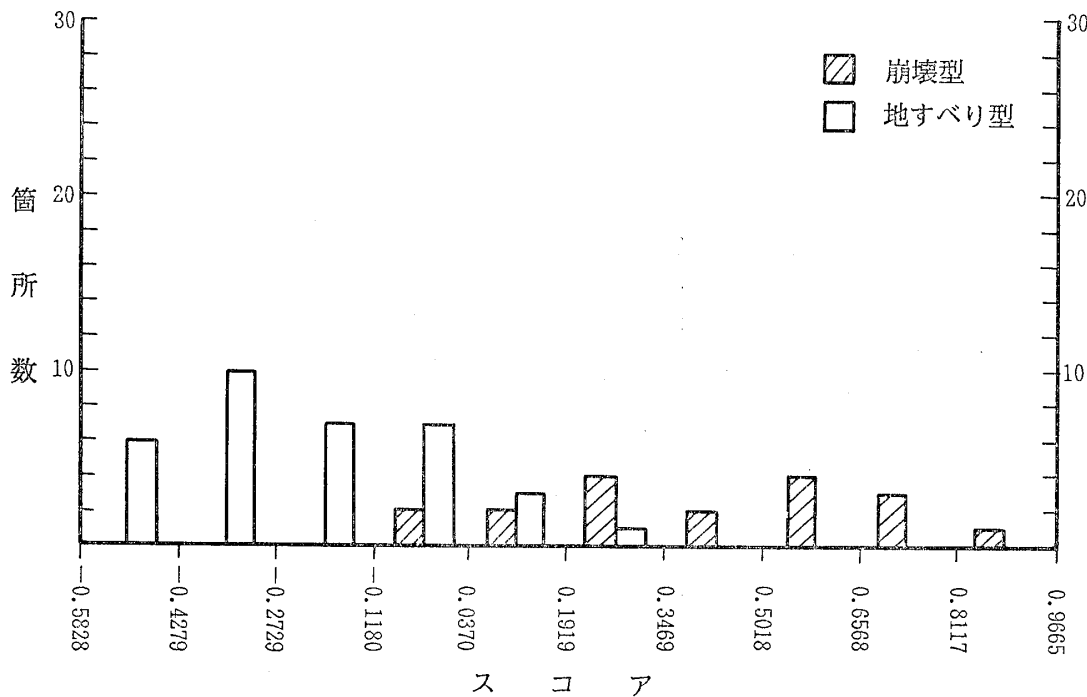
	アイテム	カテゴリー	偏相関係数
1	非対称山地	あり、なし	0.4180
2	地質	砂岩、砂岩>頁岩、砂岩=頁岩、砂岩<頁岩、頁岩	0.4125
3	凝灰岩	あり、なし	0.3577
4	滑落崖	あり、なし	0.3519
5	崩壊地	あり、なし	0.3251
6	斜面の平面形	尾根形、直線形、複合形	0.3169
7	斜面の断面形	凸形、直線形、凹形、複合形	0.2983
8	路線の平面線形	凸形、凹形、直線形	0.2952
9	崖錐	あり、なし	0.2808
10	断層	あり、近接、なし	0.2581
11	丘状地形	あり、なし	0.2448
12	等高線の乱れ	あり、なし	0.2255
13	のり面の形状	円形+円錐形、複合形、扁平形	0.2124
14	切土の位置	山腹、山頂	0.1769
15	地すべり地帯	あり、なし	0.1575
16	緩斜面	あり、なし	0.0931
17	リニアメント	あり、なし	0.0877
18	遷急線	あり、なし	0.0790
19	沢状地形	あり、なし	0.0547
20	切土の形状	Vカット、スライスカット	0.0194

表-16 形態別のアイテムのスコアおよびレンジ
Table 16 Item scores and ranges regarding of the types of landslide

アイテム	カテゴリ	度数	スコア	レンジ	アイテム	カテゴリ	度数	スコア	レンジ
地質	砂岩	18	0.1766	0.6592	崖	錐	あり	-0.2271	0.2952
	砂岩>頁岩	3	0.4019				なし	-0.0681	
	砂岩=頁岩、	15	-0.0932		崩壊地	あり	0.1869	0.2859	
	砂岩<頁岩	12	-0.1632			なし	-0.0990		
断面	頁岩	4	-0.2573	0.4908	切土の位置	山腹	-0.0917	0.2806	
	あり	2	-0.4653			山頂	0.1889		
	近接	5	-0.0437		凸形	-0.1402	路線の平面線形		
	なし	45	0.0255		凹形	-0.0146			
	あり	23	-0.2444		直線形	0.1164			
凝灰岩	なし	29	0.1989	0.4383	のり面の形状	円形+円錐形	-0.0522	0.2178	
	あり	11	-0.3429			複合形	0.1656		
滑落崖	なし	41	0.0920	0.4349	丘状地形	扁平形	-0.0005	0.2042	
	あり	43	0.0716			あり	-0.1257		
非対称山地	なし	9	-0.3420	0.4136	地すべり地帯	あり	-0.1684	0.1990	
	尾根形	26	-0.1291			なし	0.0785		
斜面の平面形	直線形	12	0.0057	0.3641	等高線の乱れ	なし	0.0306	0.1824	
	複合形	14	0.2350			あり	-0.0947		
	凸形	17	0.1517			なし	0.0877		
斜面の断面形	直線形	20	-0.0237	0.3027	等高線の乱れ	あり	-0.0947	0.1824	
	凹形	4	-0.1109			なし	0.0877		
	複合形	11	-0.1510			なし	0.0877		

表一17 形態別のサンプルスコアの級とその箇所数および比率
 Table 17 Grade of sample scores, the number of sites of each grade and ratio regarding of the types of landslide

級	地すべり箇所数			箇所数比率(%)	
	全 体	崩 壊 型	地すべり型	崩 壊 型	地すべり型
-0.5828 ~ -0.4278	6	0	6	0.0	17.6
-0.4279 ~ -0.2728	10	0	10	0.0	29.4
-0.2729 ~ -0.1179	7	0	7	0.0	20.6
-0.1180 ~ 0.0369	9	2	7	11.1	20.6
0.0370 ~ 0.1918	5	2	3	11.1	8.8
0.1919 ~ 0.3468	5	4	1	22.2	2.9
0.3469 ~ 0.5017	2	2	0	11.1	0.0
0.5018 ~ 0.6567	4	4	0	22.2	0.0
0.6568 ~ 0.8116	3	3	0	16.7	0.0
0.8117 ~ 0.9665	1	1	0	5.6	0.0
合 計	52	18	34	100.0	100.0



図一46 形態別のサンプルスコアの級別頻度
 Fig.46 Frequency of grades of sample scores regarding of the types of landslide

表一18 形態別の崩壊予測区分
 Table 18 Classification of slope failure prediction regarding of the types of landslide

地すべりの形態	サンプルスコア
崩 壊 型	0.3469 以上
崩壊型~地すべり型	-0.1180 ~ 0.3468
地すべり型	-0.1179 以下

14個までは、若干のバラツキは見られるが、1個あたり0.0158の割合で増加している。しかし、アイテムの個数が15を越えると増加はほとんど見られない。このことから、偏相関係数の大きい順に15個のアイテムを用いて分析を行った。得られた各アイテムのカテゴリーのスコアおよびアイテムのレンジを表一16に示す。

この地すべりの形態についての結果を詳細設計段階にける地すべり発生についての結果と比較すると、詳細設計段階の場合に18番目であった‘地質’のレンジが最

も大きくなっており、また、15番目であった‘断層’が2番目に大きいレンジとなっている。また、詳細設計段階の場合には採用されなかった‘地すべり地帯’、‘丘状地形’、‘崩壊地’が採用されている。一方、概略設計段階および詳細設計段階の場合に大きなレンジ値を示していた‘地層の傾斜（見掛けの傾斜）’、‘自然斜、面勾配’、‘平均のり勾配’は、形態別の場合には採用されてい

ない。

表-16のスコアに付してある一記号は地すべり型を示し、無記号は崩壊型を示している。したがって、レンジの最も大きい‘地質’においては、頁岩が多くなるほど地すべり型が発生しやすいことを示している。

表-16に示した各カテゴリーのスコアから求めたサンプルスコア（最大；0.9665，最小，-0.5828）を10個の

表-19 地すべり発生に対する地形・地質条件および道路構造条件の影響度合一覧

Table 19 Effect-reference chart of topography, geology and structural condition of road on landslide

	項目	頻度分析	多変量解析			総合
			予備設計段階	概略設計段階	詳細設計段階	
1	のり面の向き	×	—	—	—	C
2	のり面の形状	○	×	×	×	C
3	路線の平面線形	○	○	○	○	A
4	切土の位置	○	○	○	△	A
5	切土の形状	×	×	×	×	C
6	斜面の平面形	○	×	×	△	B
7	斜面の断面形	○	○	×	○	A
8	遷急線	△	○	○	△	A
9	等高線の乱れ	×	×	×	△	B
10	丘状地形	△	—	△	×	B
11	沢状地形	×	—	×	×	C
12	緩斜面	×	×	—	×	C
13	崩壊地	○	—	—	×	B
14	滑落崖	△	—	—	○	B
15	陥没地	×	—	—	—	C
16	沼・湿地	×	—	—	—	C
17	地すべり地帯	×	—	×	×	C
18	非対称山地	○	×	△	△	B
19	リニアメント	△	—	△	△	B
20	地質	○	—	×	△	B
21	凝灰岩	○	—	—	○	A
22	崖錐	△	—	—	×	B
23	貫入岩	△	—	—	◎	B
24	断層	△	—	—	○	B
25	植生状況	×	—	—	—	C
26	切土断面積	×	—	—	—	C
27	切土のり高	×	—	—	—	C
28	切土断面積 ／切土のり高	○	—	○	○	A
29	平均のり勾配	△	—	○	○	A
30	自然斜面勾配	○	—	◎	◎	A
31	路線の方向と地層 の走向とのなす角	△	—	△	△	B
32	背後斜面勾配	△	—	○	○	A
33	地層の傾斜	—	—	◎	◎	A

級に分け、それらの級における崩壊型と地すべり型の発生箇所数およびそれらの比率を示すと、表一17に示すようになり、そのヒストグラムを図一46に示す。これによると、0.3469以上の場合は10箇所のすべてが崩壊型である。これに対して、-0.1179以下の場合は23箇所のすべてが地すべり型となっている。これに基づいて、地すべりの形態を判別するために、崩壊型、崩壊型～地すべり型および地すべり型の3つに区分し、それぞれのサンプルスコアの値を示すと、表一18に示すようになる。

5 まとめ

以上に述べたように、地質が古第三紀新新世の杵島層群のところを通過する武雄佐世保道路の建設においては、極めて多くの切土工事が行われ、それに伴って数多くの地すべりが発生したのであるが、各切土箇所においては、情報化施工が行われ、切土箇所の地形・地質条件や道路構造条件などに関する詳細なデータが保存されていた。これらの地形・地質条件や道路構造条件のうち、表一1に示した32の項目と、それに加えるに地層の傾斜の項目を加え、それらの項目(アイテム)について、地すべり発生との関係を考察した。

地すべりの発生と各項目ごとの関係については、頻度分析を行い、さらに、予備設計段階、概略設計段階、詳細設計段階の3つの場合について、多変量解析を行ったが、これらの結果を用いて、今後、同じような地質条件にある地域において、切土工事を計画・実施する場合の参考にするために、地すべり発生に対する各項目の関与度合を総合的に判定した。その結果は表一19に示す通りである。

表一19において、頻度分析の結果(3・1・2参照)については、地すべり発生との関係が比較的大きいとした項目を○印、やや関係があるとした項目を△印、関係がないとした項目を×印で表してある。また、多変量解析の結果については、検討対象としたアイテムのうち、解析に使用しなかったアイテムを×印で表し、解析対象としたアイテムのうち、求められたレンジの値が0.4以上のものを◎印、0.2以上0.4未満のものを○印、0.1以上0.2未満のものを△印、0.1未満のものを×印で表してある。

以上のような分類に基づいて4つの結果を総合的に判断すると、表一19の右端のように示すことができる。

Aに属する項目は、路線の平面線形、切土の位置、斜面の断面形、遷急線、凝灰岩、切土断面積/切土のり高、平均のり勾配、自然斜面勾配、背後斜面勾配、地層

の傾斜の10項目で、これらの項目は地すべり発生に大きく関与することが考えられ、必ず検討対象として採用すべきものである。

斜面の平面形、等高線の乱れ、丘状地形、崩壊地、滑落崖、非対称山地、リニアメント、地質、崖錐、貫入岩、断層、路線の方向と地層の走向とのなす角の12項目はBに属しており、地すべり発生に対しては、Aほど大きく関与しないと考えられるが、十分に調べておくことは必要である。

なお、Cに属する11項目は、地すべり発生にはさほど関与しないであろうが、一応は検討対象とする必要があるものと考えられる。

なお、この報文で取り扱った項目(アイテム)は、地形条件、地質条件および道路構造条件であるが、降雨などの気象条件や土工速度などの施工条件は考慮していない。降雨に関しては、2箇所において変位との関連が認められたが、ほとんどの切土箇所は降雨あるいは地下水に関係することなく変位が起きているため、項目(アイテム)としては採用しなかった。しかしながら、一般には、降雨によって切土のり面が不安定になることから、一般要因として吟味しなければならないと考える。また、施工条件では、応力解放に伴う強度低下を量的および経時的に評価することは必要であり、この事項を要因とすることも重要であろう。

ここに述べた解析結果は、入手できた多数の正確なデータを最大限に活用して実施することができたために、かなりの精度を持っているものと考えている。したがって、この武雄佐世保道路の場合と同じような地形・地質条件にある地域、たとえば、九州では直方地区(直方層群)、天草地区(坂瀬川層群)、対馬地区(対州層群)などの道路計画における地すべりの予測および施工対策に役立つものと考えている。

謝 辞

この報文の執筆にあたっては、貴重なデータの提供を受け、また、それらのデータの使用について御了解をいただくとともに、懇切なる御指導を賜った日本道路公団の瀬在武氏(当時福岡建設局武雄佐世保道路工事事務所長、現在本社技術部調査役)を始め、関係各位から戴いた御指導ご鞭撻に対し、心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

鎌手勝美, 桂 貴浩, 小野 仁, 井出 修(1987): 古第

三紀杵島層群の切土による地すべりについて 第
23回土質工学研究発表会論文集 pp.171~172.
高速道路調査会(1985):地すべり地形の安定度評価に関
する研究報告
村上幸利,五味貞夫(1990):切取り斜面の落石型小規模
崩壊に関する素因の分析例 土と基礎 Vol.
38, No. 7, pp.69~74.
中村康夫,平野 勇,佐々木靖人,石塚克己,阿部冒彦
(1989):道路のり面・斜面崩壊調査(その2)
土木研究所資料 第2728号
日本道路公団福岡建設局武雄佐世保道路工事事務所
(1987):西九州自動車道(武雄佐世保道路)Ⅰ期
区間地すべり対策検討報告書
日本道路公団福岡建設局武雄佐世保道路工事事務所
(1990):西九州自動車道(武雄佐世保道路)Ⅱ期

区間地すべり対策検討報告書
日本道路協会(1986):道路土工——のり面工・斜面安
定工指針
瀬在 武,小野 仁,井出 修(1988):地すべり地帯
における道路切土の情報化施工 九州技報 第四
号, pp.37~42.
瀬在 武,小野 仁(1990):古第三紀層地すべりにおけ
るのり面の安定化 土木技術 45巻 3号
pp.67~76.
瀬在 武,小野 仁,八村智明,前島俊哉(1991):古第
三紀層地すべりの要因分析結果 第27回土質工学
研究発表会。
瀬在 武,小野 仁,井出 修(1991):古第三紀層の切
土工に伴う地中変位観測例 第36回土質工学シン
ポジウム。

付記——情報化施工の一例

本文にも述べたことであるが、武雄佐世保道路のⅠ期
区間およびⅡ期区間の22.1kmの間においては、切土工

事箇所が266箇所あり、そのうちの57箇所において地す
べりが発生した。しかしながら、情報化施工を実施する

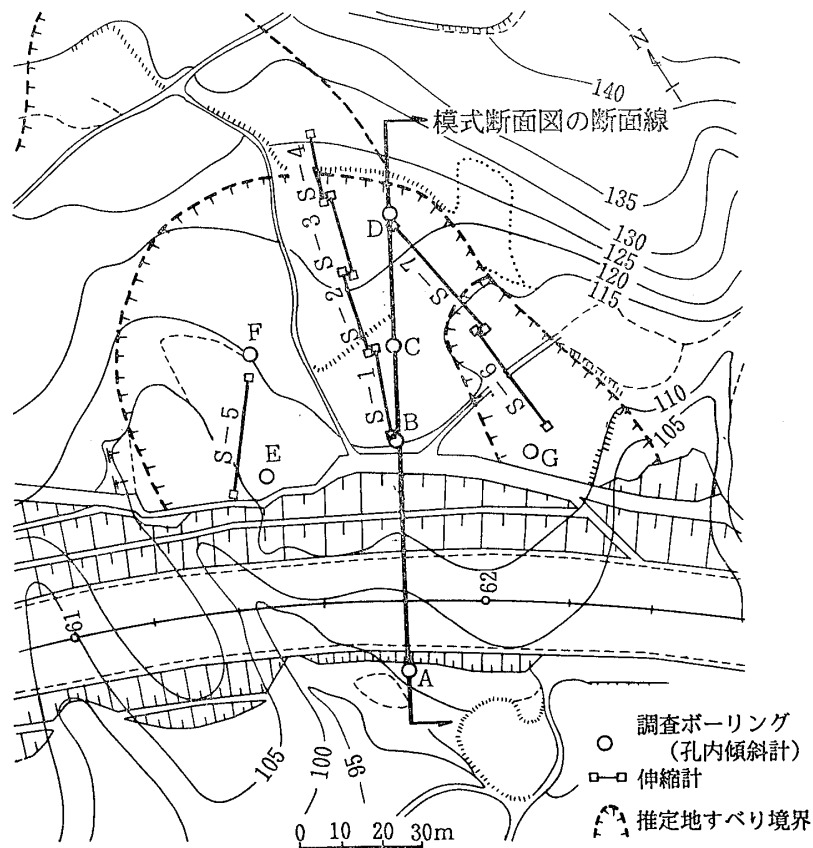


図-I A箇所の平面図
Fig.I Plan of A area

ことよって、施工性および経済性を考慮した対策工を行って、被害を極力少なくすることができた。また、情報化施工を実施したことよって、この報文において使用したような、各切土工事箇所についての情報を得ることができた。

したがって、何らかの参考になればと考え、この道路建設に際して実施した情報化施工における調査・解析の一端を紹介することにした。

本文の3・2において述べたように、当地域の地すべりは、5つのタイプに分けることができた。これらのうち、当地域における特徴的な地すべりであるところの土塊の移動速度は緩慢ではあるが、すべりの規模が大きいタイプ⑤（風化凝灰岩をすべり面とするもの）に該当す

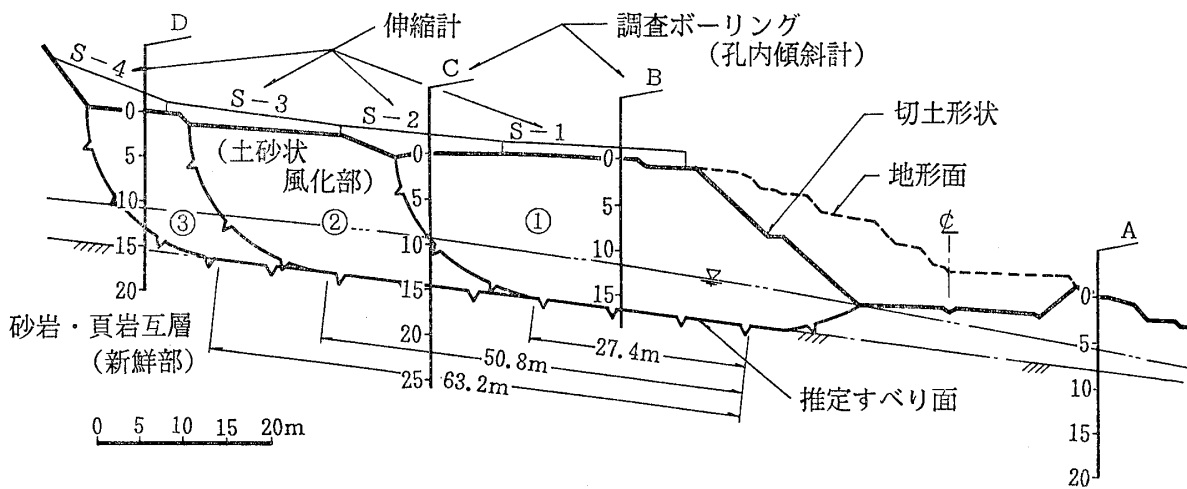
る地すべりが発生したA箇所の状況について述べる。

(1) 地形および地質

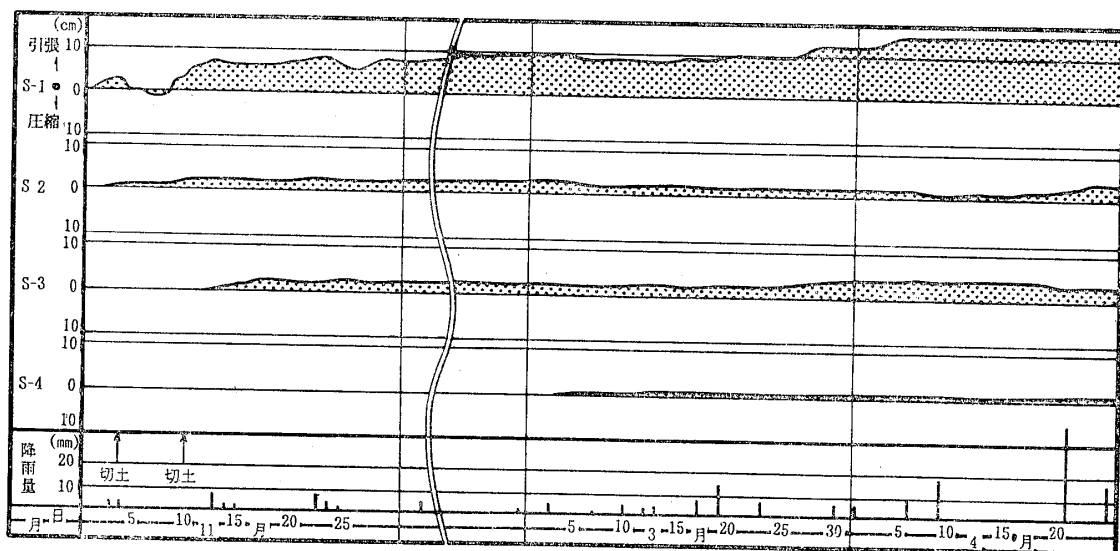
A箇所の平面図を図一Iに示す。この図からわかるように、当箇所は凹型斜面の末端付近を切土したもので、地形的には等高線の乱れが認められること、変形した立木が見られることなどから推定すると、古い地すべり地である可能性を含んでいる。

地質は、砂岩と頁岩との互層からなり、地層は切土のり面に対しては流れ盤となっている。地表から約15mくらいまでは風化しており、それ以深は新鮮な岩盤である。なお、風化岩盤と新鮮岩盤との境界には、粘土化した風化凝灰岩の薄層を挟在している。

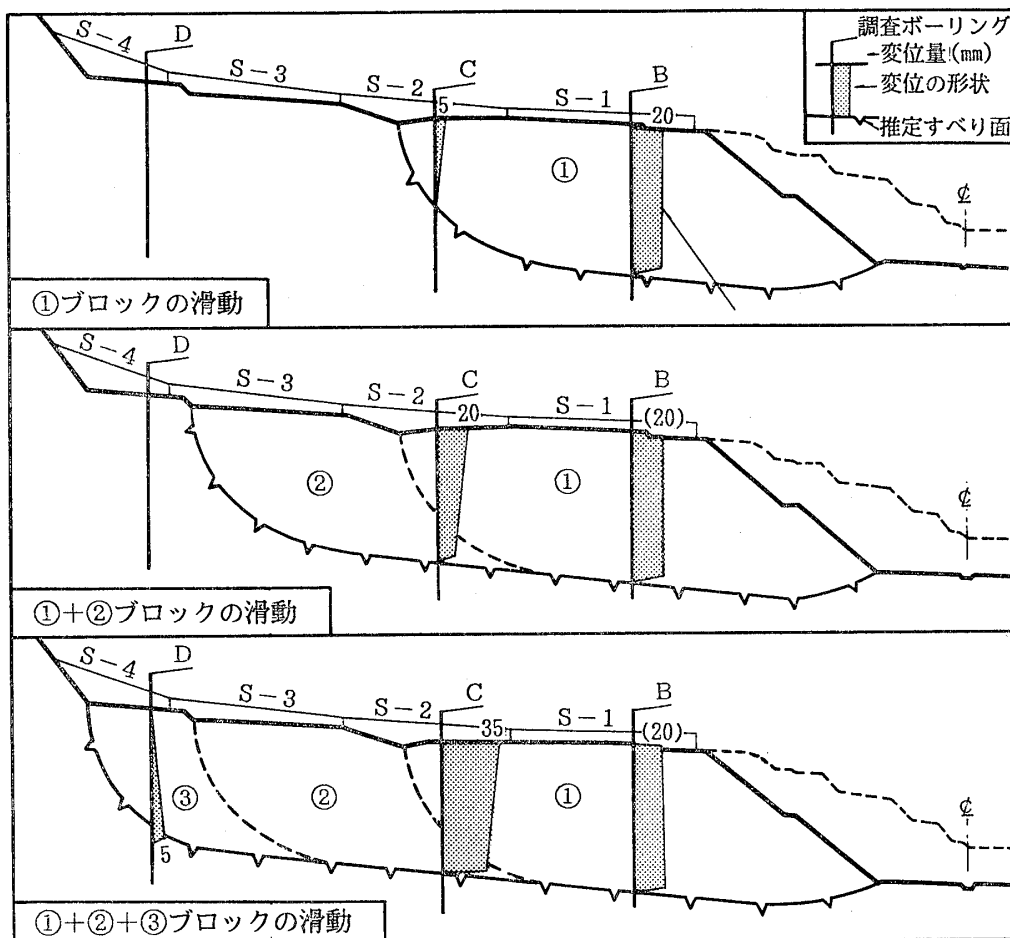
(2) 切土工事に伴う地すべりの発生状況



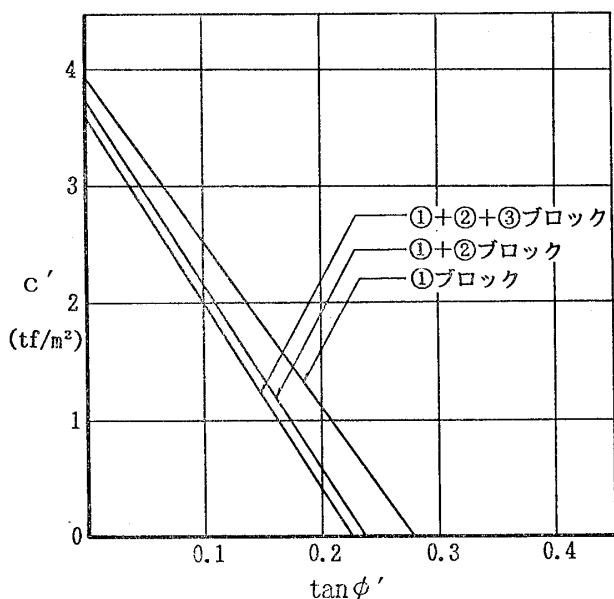
図一II 模式断面図
Fig.II Schematic cross section of A area



図一III 伸縮計観測結果
Fig.III Displacement measured by extensometer



図一IV 地中変位の発生状態模式図
Fig.IV Start pattern of in-sit displacement



図一V 逆解析から求められた c' と $\tan \phi'$ の関係
Fig.V Relation between the cohesion and the angle of shear resistance from inversion analysis

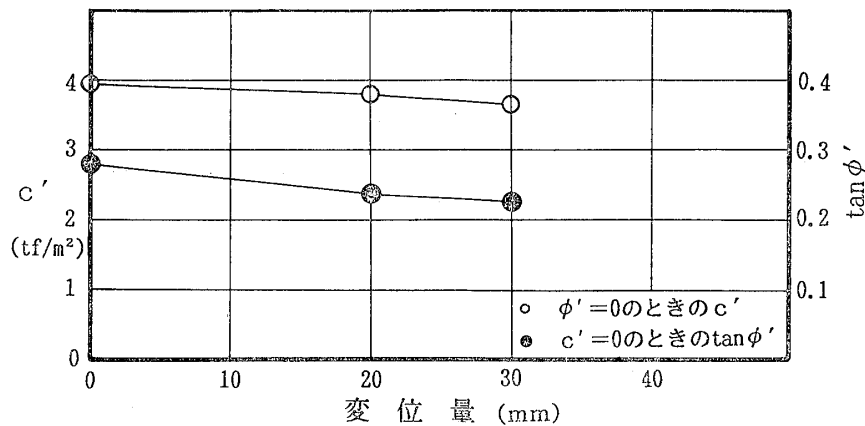
切土工事に伴う地山の変位を把握するために、図一Iに示す位置に、孔内傾斜計（7孔）および伸縮計（7測線）を設置した。図一Iに示す断面線におけるこれらの計測器の位置関係を図一IIの断面図に示してある。

(a) 伸縮計による地山の変位

図一IIに示す伸縮計（S-1, S-2, S-3, S-4）によって求められた変位の経時変化を図一IIIに示す。この結果によると、まず切土位置に最も近い伸縮計（S-1）に変位が現れ、その後の切土工事の進展に伴って、順次上部の伸縮計へと、変位領域が拡大していく様子が明瞭に示されている。特に、伸縮計S-1では、圧縮側への変位と引張り側への変位を繰り返しながら、徐々に引張り側への変位が増大していることが認められる。

(b) 孔内傾斜計による地中の変位

図一IIに示すB, CおよびDの3つの観測孔における孔内傾斜計による地中変位の計測結果によれば、この図に示すように、各孔とも、およそ15mくらいの深度において、明瞭なせん断変位が認められた。



図一VI せん断変位量と c' および $\tan \phi'$ との関係

Fig. VI Relation between the shear displacement and c' and $\tan \phi'$

図一Vは孔内傾斜計観測孔B, CおよびDにおける地中変位の発生状態を模式的に示したものである。この図に示すように、孔内傾斜計による観測結果も、伸縮計の場合と同様に、まず切土位置に最も近い観測孔Bに変位が発生し、切土工事の進展に伴って、変位の範囲がだいに上部へと拡大する、いわゆる逐次破壊の形態となっている。

これらの観測結果から判断すると、この切土箇所の地すべりの滑動は、切土工事に伴う応力解放に起因する逐次破壊によって、順次ブロック①からブロック②、ブロック③へとすべりの規模が拡大していったものと考えられる。

(3) 安定解析

図一Vに示すように、ブロック①、ブロック②およびブロック③を仮定し、

- (a) ブロック①のみの場合
- (b) ブロック①とブロック②を一体とした場合

(c) ブロック①, ブロック②およびブロック③を一体とした場合

について、変位の観測結果から、平面すべりを基本とする複合すべり面を推定し、スライス分割法による簡便法を用いて、安定解析を実施した。

図一Vは、上記の3ケースについて、安全率 $F_s=1.0$ として逆算して求めた c' (見掛けの粘着力) と $\tan \phi'$ (ϕ' : せん断抵抗角) の関係を示したものである。この図によって明らかなように、すべり面の長さが大きくなる、すなわち、すべりの規模が拡大するにしたがって、 c' の値に対する $\tan \phi'$ の値 ($\tan \phi'$ の値に対する c' の値) が小さくなるのがわかる。

図一VIは、孔内傾斜計による観測結果から推定したすべり面付近のせん断変位量と、見掛けの粘着力 c' および $\tan \phi'$ の関係を示したものである。この結果によると、せん断変位量が増加するにしたがって、すべり面のせん断強さが低下することがわかる。

応用地質年報 No. 13

〈非売品〉

平成 4 年 3 月 20 日 発 行

編 集 応用地質株式会社企画統合室

発 行 者 陶 山 國 男

発 行 所 応用地質株式会社

〒 102 東京都千代田区九段北 4-2-6 市ヶ谷ビル

電 話 03 (3234) 0811 FAX 03 (3263) 6854

印 刷 所 高千穂プリント株式会社

©応用地質株式会社 1991

(無断転載を禁ず)

