



土木研究所資料

第 731 号

のり面工の効果ならびに選定基準に関する研究

昭和47年 2 月

建設省土木研究所
地質研究室
土質研究室

目 次

1. 研 究 目 的	1
2. 調 査 方 法	1
3. 切土のり面実態調査	4
4. 盛土のり面工の実態調査	70
5. 交通規制とのり面の崩壊調査	88
6. のり面崩壊観測調査	97
7. 空中写真の利用	112
8. 結 語	127

のり面の効果ならびに選択基準に関する研究

1. 研究目的

のり面保護工には各種の工法があり、現場の地形、地質などの条件、気象条件などに応じて、主として従来の経験によつて得られている一応の基準によつて工法の選定、設計、施工が行なわれている。

しかし、雨水などによつてのり面が崩壊することがあるが、のり面の侵食や崩壊の原因である雨水の影響、地層の層理や割目の状態、地下水の作用などをのり面の安定に直接結びつけることは困難であり、またこれまで行なわれてきた基準のようなものも、必ずしも工学的に明確な根拠に基づいていないとはいえないものもある。

異常集中豪雨などの苛酷な条件下においても、のり面の安定を確保でき、しかも経済的なのり面保護工の設計・施工法の確立が望まれるとともに、道路のり面の崩壊による事故の発生を防止するために、雨量などによる基準を設けて、交通規制を行なう必要があり、各種ののり面工に対して降雨量も考慮したのり面の安定性との関係を把握することが急務になっている。

このため、実際に行なわれているのり面保護工の各種工法とその効果を、数多くの実例について調査し、地域あるいは場所によつて、のり面の持つ各種の条件に最も適合したのり面保護工を見出すための研究を行なう。

また、道路交通の安全を確保するために、実際に行なわれている交通規制の実態を調査し、豪雨時における路線ごとの適切な交通規制基準を作成するための研究を行なう。

2. 調査方法

2-1 のり面工に関する調査

これまでに実施された種々ののり面保護に関する調査から、調査の方法として次の3つがあげられる。

1) のり面土の実態調査

実際に施工されているのり面について、のり面の持つ種々の条件について調査、解析し、のり面の妥当な選定基準を確立しようとするものである。

2) のり面の観測測定調査

個々ののり面に各種の計器を設置し、物理量を測定して、土質力学や岩盤力学の理論を適用して解析しようとするものである。

3) のり面の崩壊と交通規則の実態調査

実施される交通規制の実態と、実際に生じた降雨による崩壊について、種々の条件について調査、解析し、より精度の高い交通規制の基準を定めるとともに、のり面工の工法選定の基礎資料にしようとするものである。

2-2 調査内容

建設省技術研究会としての研究は、昭和44年度より3カ年計画でとりまとめることとし、その内容は次のように定める。

1) のり面工の実態調査

昭和44年度に代表的な全国の直轄国道の切土のり面、交通規制基準の危険箇所AまたはBに該当するのり面について調査した。昭和45年度に直轄国道区間内の人工盛土のり面で、ある連続して大略同じ土質やのり勾配、のり高、のり面工が行なわれているものについて、および各地方建設局において直轄国道の1～2路線を選定し、その路線で連続した約50kmの区間内に含まれる全ての切土のり面を対象として、全数調査を実施した。全数調査の対象となつた路線は次のとおりである。

北海道開発局	一般国道230号線	(札幌市)
東北地方建設局	" 49 "	(福島県石川郡平田村)
関東 "	" 19 "	(長野県東筑摩郡生坂村～長野市)
	" 127 "	(千葉県安房郡富津町～木更津市)
北陸 "	" 17 "	
中部地方建設局	" 25 "	(亀山市～上野市)
	" 42 "	(熊野市～三重県長島町)
近畿 "	" 9 "	(福知山市～兵庫県八鹿町)
	" 163 "	(奈良県生駒町)
中国 "	" 9 "	(江津市～益田市)
四国 "	" 32 "	(徳島県山城町～高知県大豊村)
九州 "	" 10 "	(宮崎県高城町～国分市)

また45年度、46年度に44年度実態調査箇所の追跡調査を行なつた。

実態調査及び全数調査の内容は路線名、調査箇所名、施工年月日、のり高、のり勾配、のり延長、自然斜面の状況、湧水の状況、水処理、土質、岩質、岩分類、岩石の割目状況、保護工種、のり面の安定性、風化落石、崩壊の状況、気象条件、植生及びモルタル吹付の状況、判定、正面図及び断面図などを記入する統一した調査表により行ない、カラー写真を貼付した。

2) のり面の観測測定調査

この調査は代表的なおり面にヒズミ計、傾斜計、間隙水圧計などの測定計器を設置して測定を行ない、安定計算などを含めて解析し、その結果をのり面工の選定基準に反映させるとともに、交通規制のための崩壊や危険性の予知、警告を行なうための資料としようとするものである。

45年度に中部地方建設局名阪国道工事々務所管内の国道25号線に1カ所選定し、約1年間観測した。また46年度に中国地方建設局山口工事々務所管内に2カ所選定し、計器の設置を行なっている。

3) 交通規制とのり面の崩壊調査

直轄指定区間内の交通規制区間およびその他の区間で崩壊を生じたために交通規制を行なつた場合

の規制内容について調査表を作成した。

調査の内容は、路線名、区間、個所、規制の種類、規制時刻、規制の理由、その区間で生じた崩壊の箇所と土量、のり面工の状況、原因となつた降雨の連続雨量、日雨量、時間雨量などの気象状況を調査した。

4) のり面土の空中写真判読

以上の調査は主として現地調査によつてゐるが、今後さらにのり面調査数の拡大、調査の省力化、のり面だけでなくのり面の後背地への調査範囲の拡張、さらに将来のり面台帳作成時などの基礎資料とするために、空中写真の判読による人工のり面の調査を実施した。

判読項目として、人工のり面について、のり面の規模、のり面保護工種、のり面の安定性、のり面崩壊形態の分類などを、のり周辺の自然斜面について、斜面の構造形態、構成地質、安定性、危険土塊の土量、湧水、植生などを考慮した。

調査判読地点として、45年度に北九州バイパス（門司一小倉）、46年度に一般国道8号線親不知附近を選定した。

3. 切土のり面実態調査

切土のり面の実態調査として、44年度は各地方建設局で危険箇所と認められているものを選定し、約650箇所のり面について調査を実施した。また、45年度には各地方建設局で1～2路線を選定し、1路線50kmにわたって切土のり面全数調査を実施した。全数調査の対象路線は12路線で、対象のり面数は1282箇所である。切土のり面の実態調査をまとめ、検討を加えると次のようになる。なお、のり面を土からなるのり面、土と岩とが混在しているのり面（以後混合のり面という）、岩からなるのり面の三つに分けて検討を加えた。

3-1 土に関係するのり面

3-1-1 切土のり面の安定性について

45年度に実施したのり面全数調査の結果を、土に関係するのり面（土からなるのり面と混合のり面をいう）と岩のり面に大別すると、土に関係するのり面は全体の40%をしめ、残りの60%が岩のり面である。また土に関係するのり面のうち、 $\frac{2}{3}$ は土のり面で、残りの $\frac{1}{3}$ が混合のり面である。切土のり面の安定性は土のり面がもつともよく、つづいて混合のり面で、岩のり面の安定性がやや悪くなっている。それぞれの安定性を示すと、土のり面が9割、混合のり面が8割、岩のり面が7割程度安定している。また、全体のり面の安定性は約8割程度のり面が安定を保っている。

44年度に実施した危険箇所のり面実態調査では、当然のことであるが、のり面全数調査に比べて安定度は落ちている。土に関係したのり面では安定なものが6割程度であり、岩のり面では5割程度である。

つぎに土に関係するのり面と岩のり面とに分けて、のり面の安定性に及ぼす個々の要因について検討を加えると次のようになる。

(1) のり面の現状について

全数調査の結果から、土のみおよび混合のり面について、のり面の現状をのべることにする。まず、のり面工種の全体的な比率を求めると、次のようになる。ただし、代表のり面工種は盛土のり面の場合同様に同一のり面に2～3ののり面工種が施工されている場合には堅固なり面工種を代表として選んである。

のり面工種	土のみ(%)	混合のり面(%)
擁 壁 工	21.5	29.0
張 石 工	5.7	0.6
張コンクリート工	2.2	1.2
モルタル吹付工	0.8	37.3
コンクリート枠工	1.7	2.4
ブロック張工	9.1	6.5
張 芝 工	15.7	—

種子吹付工	24.2	11.2
植生盤工	3.3	—
植生穴工	6.6	2.4
無処理	8.8	9.5
落石防止柵工	0.3	—

全国的にみると、土のみのり面では、植生工と擁壁工が多く使われており、混合のり面ではモルタル吹付工と擁壁工が多く使われている。

つぎに、各地方建設局ごとのり面の土質の特徴をのべると、土のみのり面数は中部が最も多く、つづいて東北、四国、近畿、中国、北陸の順になつていく。関東、北海道は土のみのり面数は少ない。九州は土の分類が不明なところが多かつたので入れていない。また土と岩の混合のり面の数は中部、四国に多く、他の地方は少ない。

土質別では、レキ質土、砂質土、粘質土のり面が多く、砂、粘土のり面は比較的少ない。特に土のみのり面では、砂質土のり面が最も多く、つづいてレキ質土、レキのり面が多くなっている。粘質土のり面もあるが、砂および粘土のり面はほとんどない。（図-3-1を参照）混合のり面では、レキ質土のり面が圧倒的に多く、つづいて砂質土のり面が多い。レキのり面も少しはあるが、粘質土、砂、粘土のり面はほとんどない。（図-3-2を参照）

のり勾配は、土の場合、四国を除いた他の地方建設局では1:1.0程度のものが圧倒的に多い。四国では1:1.2程度のものが多く、つづいて1:0.8程度のものが多い。また、1:0.8以下のものや1:1.2以上のものもあり、土質、のり高に応じて切取りがなされている。土質別に検討してみると、各土質ともり勾配は1:1.0程度のものが圧倒的に多い。一般に土質に関係なく1:1.0程度で切取られる場合が多いように思われる。レキ質土、砂質土のり面のなかには数は比較的少ないが、高さ、のり面水の状況に応じて1:0.8、1:1.2、1:1.5程度で切取られている箇所がある。混合のり面の場合も四国を除くと、土の部分のり勾配は1:1.0程度のものが最も多いが、土のみの場合と比較すると、1:0.8以下のものが多く、岩の勾配に近くなっている。四国では岩のり面が多いことから、混合のり面の土の部分のり勾配も岩のり勾配に近いものが多い。土質別では、レキのり面の勾配は1:0.6~1:1.0のものが多く、1:0.6以下のものもある。レキ質土では1:0.8~1:1.0までの範囲のり勾配のものがほぼ同程度平均してあり、他の土質に比べてきついものが多い。砂質土では、のり勾配は1:1.0程度のものが最も多く、つづいて1:0.8程度のものが多い。

のり高は土のみのり面の場合、各土質とも5m~30mの範囲に平均して分布しているが、比較的多いのり高は10m~15mのものである。地域別にみると、中部、北陸、四国では5.1m~10mのものが最も多く、のり高が高くなるにしたがってのり面の数は減少する傾向を示している。逆に北海道、東北、中国では20m~30mのものが最も多く、のり高が低くなるにしたがってのり面の数は減少する傾向を示している。関東、近畿では10m~15mのものが最も多い。これは各地

土の分類	全体に対する割合		のり面の安定性							
			安定		小崩落		落石		崩壊	
	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80
① ㇿ (GM, GP)	45		44		1					
② ㇿ質土 (GM, MC)	135		115		13		3		4	
③ 砂 (SW, SC)	3		3							
④ 砂質土 (SM, SC)	162		143		19					
⑤ 粘質土 (ML, CL, OL)	18		16		2					
⑥ 粘土 (MH, CH, OH)										
合計	363		321		35		3		4	

図一 3 - 1 全数調査による土の分類と のり面の安定性 (土のみ)

土の分類	全体に対する割合		のり面の安定性							
			安定		小崩落		落石		崩壊	
	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80
① ㇿ (GW, GP)	17		14		1		0		2	
② ㇿ質土 (GM, GC)	104		74		7		16		7	
③ 砂 (SW, SP)	0		0		0		0		0	
④ 砂質土 (SM, SC)	47		43		3		1		0	
⑤ 粘質土 (ML, CL, OL)	2		2		0		0		0	
⑥ 粘土 (MH, CH, OH)	0		0		0		0		0	
合計	170		133		11		17		9	

図一 3 - 2 全数調査による土の分類と のり面の安定性 (混合のり面)

域における傾向を示したものであり、のり面の数で比較すると、15 m以上の高いのり面が多い地域は、中部、東北、である。

のり面の位置と自然斜面の状況との関係についてのべると、土のみの場合、北海道、東北、北陸、中部では稜線に平行なのり面が多い。また、近畿、中国、四国などの西日本では斜面の突出部にあたるのり面が多い。谷部ののり面は全国的に少ない。突出部に多い土質はレキ質土、砂質土で、稜線に平行な部分に多い土質はレキ、レキ質土、砂質土、粘質土である。混合のり面の場合も、土のみの場合と同じような傾向を示している。

つぎにのり面水の状況を各地方建設局ごとにまとめてみると、比較的乾燥したのり面が多い地方は北陸、中国で、湿潤したのり面の比較的多い地方は東北、関東、近畿、四国である。また表面水のあるのり面は中部に多い。しかし、全体的にみると、湿潤したのり面は全体の13%、表面水のあるのり面は3%、湧水のあるのり面は1.5%である。残りの82.5%は乾燥したのり面であり、のり面の大半は乾燥したのり面であるといえる。湿潤したのり面の土質は、レキ質土、砂質土に多く、粘質土がつづいて多い。表面水、湧水のあるのり面はレキ質土ののり面に多い。また、粘質土は乾燥したのり面よりも湿潤したのり面の方が多くなっている。混合のり面の場合、中部では湧水のあるのり面が比較的多い。四国では湿潤したのり面がいくつかある。土のみののり面と比較すると、混合のり面では湿潤、表面水、湧水のあるのり面が多い。湿潤、表面水、湧水のあるのり面はほとんどレキ質土である。

(2) のり面の安定性について

切土のり面はその対象が自然状態の地山であるため、地質構造が複雑で不均一な性状を示すことが多く、また土質、地質、地層構成、地下水の流れなどについて詳細に検討することが困難であるため、のり勾配、のり面工種、施工範囲などを技術者の判断によつて大まかに定めているのが現状である。このため切土のり面の安定性を検討する際には、切土のり面の性状を十分把握したうえで、総合的判断にもとづいて行なうべきであるが、ここでは、のり面の現状のところでのべたのり面工、土質、のり勾配、のり高、自然斜面の状況、のり面水の状況などの個々の項目について安定性を検討してみた。

45年度に実施した全数調査の結果をまとめると、次のようになる。土のみののり面の場合、のり面工として多く使われているものに擁壁工、張石工、ブロック張工、張芝工、種子吹付工、植生盤工、無処理などがある。無処理を除くと、これらの工種の安定なものしめる割合は80%以上である。(図-3-3参照) 混合のり面の場合、のり面工としてモルタル吹付、擁壁工、種子吹付工、無処理などが多く使われている。土のみの場合と比べて混合のり面の安定なものしめる割合は全体的に悪くなっている。モルタル吹付工は数も最も多く、安定性も高い。これは、モルタル吹付工が比較的斜面の安定性の高い所に使用されることが多いために、安定性は高くなっていると考えられる。(図-3-4参照)

つぎに、土の分類とのり面の安定性についてのべると、土のみの場合、レキのり面は安定性は高く、98%程度安定している。レキ質土、砂質土、粘質土ののり面の安定なものしめる割合は82

のり面保護工	全体に対する割合		のり面の安定性									
			安定		小崩落		落石		崩壊			
	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
①擁壁工	78		69		8						1	
②張石工	21		20		1							
③張石付工	8		7								1	
④モルタル吹付工	3		1		2							
⑤コンクリート工	6		5		1							
⑥ブロック張工	33		29		4							
⑦張石工	57		56		1							
⑧種子吹付工	88		80		8							
⑨植生工	12		10		1						1	
⑩植生穴工	24		22		2							
⑪無処理	32		22		7		3					
⑫落石防止柵工	1										1	
合 計	363		321		35		3				4	

図-3-3 全数調査によるのり面保護工とのり面の安定性(土のみ)

のり面保護工	全体に対する割合		のり面の安定性									
			安定		小崩落		落石		崩壊			
	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
①擁壁工	49		33		5		8		3			
②張石工	1		1		0		0		0			
③張石付工	2		0		1		0		1			
④モルタル吹付工	63		56		4		3		0			
⑤コンクリート工	4		3		0		0		1			
⑥ブロック張工	11		7		0		0		4			
⑦簡芝工	0		0		0		0		0			
⑧張石工	0		0		0		0		0			
⑨種子吹付工	19		16		0		3		0			
⑩植生工	0		0		0		0		0			
⑪植生穴工	4		4		0		0		0			
⑫落石柵工	16		12		1		2		1			
⑬その他	0		0		0		0		0			
合 計	169		132		11		16		10			

図-3-4 全数調査によるのり面保護工とのり面の安定性(混合のり面)

～88%であり、比較的安定している。(図-1を参照) 全土質について考えると、のり面の安定なものしめる割合は80～90%程度である。混合のり面の場合は、砂質土、レキ質土ののり面が多く、レキ質土ののり面は砂質土ののり面と比較して、安定性はおちている。(図-2を参照) これはレキ質土の混合のり面には、湿潤したのり面および表面水や湧水のあるのり面が比較的多いため、雨水の影響を受けやすく細粒土が押し流され、レキの安定性が失われて落石を起こす例が多いためであると考えられる。

のり勾配は土のみの場合、71%が1:1.0程度であり、土ののり勾配は普通1:1.0程度で切取られていると考えてよさそうである。そのうち、安定なものしめる割合は88%程度である。1:1.2程度ののり面の安定なものしめる割合は97%で、1:1.0のものより安定性は増大している。(図-3-5を参照) 混合のり面の場合も1:1.0ののり勾配のものが最も多いが、1:0.8以下のものも多く、岩の勾配に近いものが多くなっている。のり面の勾配が1:0.3～1:1.0であるのり面の安定なものしめる割合は80%前後で、土ののり面に比べて安定性はやや悪くなっている。(図-3-6を参照)

土のみの場合、のり高は10m～15mのものが最も多く、5m以下ののり面は全部安定しているが、高さが高くなるにしたがつて安定性は悪くなっている。(図-3-7を参照) 混合のり面の場合は20m～30mのものが最も多く、土のみの場合と同様に、高さが高くなるにしたがつて安定性は悪くなっている。(図-3-8を参照)

自然斜面の状況についてつぎにのべると、土のみおよび混合のり面ともに、稜線に平行なのり面が最も多く、つづいて突出部が多い。谷部は少ない。土のみののり面では自然斜面の状況の変化がのり面に及ぼす影響はあまり認められないが、混合のり面では突出部の安定性が少し悪くなっている。

のり面は全体的に乾燥したのり面が圧倒的に多いが、安定性について検討すると、土のみおよび混合のり面とともに、表面水、湧水のあるのり面の安定性が悪くなっている。そのため、表面水、湧水のあるのり面に対しては有効な排水処理を施したのり面工対策が望まれる。

これまでに述べてきたことは、全数調査の結果をのべたもので、全国ののり面の一般的な傾向をかなり表わしていると思われる。これに反して、44年度に実施した実態調査は危険箇所を選定し調査したものであるから、全数調査の結果とかなり異なっている。44年度に実施した調査結果のうち、のり面の安定性について全数調査と異なる点をつぎに述べることにする。

土に関係するのり面ののり面工種としては、全数調査の結果と同様に、擁壁工、ブロック張工、モルタル吹付工、張芝工、種子吹付工、植生穴工などが多く用いられているが、特に注目すべき点は無処理または構造物によるのり面工の上部に無処理ののり面がかなりあり、その安定性が非常に悪いことである。(図-3-9を参照) また、張コンクリート工、コンクリート枠工、ブロック張工などの構築物によるのり面は保護工のしめる割合が多くなっている。これは、危険箇所と選ばれたのり面にはのり面に湿潤、表面水湧水のある箇所や植生工では安定が保てないような条件の悪いのり面が多いためと考えられる。(図-3-10を参照) これら構築物によるのり面工の安定性は比較

のり勾配	全体に対する割合		のり面の安定性							
			安定		小崩壊		落石		崩壊	
	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
① 1:1.81 以上	4		3						1	
② 1:1.80~1:1.51										
③ 1:1.50~1:1.21	23		19		3				1	
④ 1:1.20~1:1.01	30		29		1					
⑤ 1:1.00~1:0.81	256		226		26		3		1	
⑥ 1:0.80~1:0.61	31		26		4				1	
⑦ 1:0.60~1:0.31	15		15							
⑧ 1:0.30 以下	4		3		1					
合 計	363		321		35		3		4	

図-3-5 全数調査によるのり勾配とのり面の安定性(土のみ)

のり勾配	全体に対する割合		のり面の安定性							
			安定		小崩壊		落石		崩壊	
	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
① 1:1.81 以上	0		0		0		0		0	
② 1:1.80~1:1.51	0		0		0		0		0	
③ 1:1.50~1:1.21	7		3		3		0		1	
④ 1:1.20~1:1.01	3		2		1		0		0	
⑤ 1:1.00~1:0.81	69		57		3		6		3	
⑥ 1:0.80~1:0.61	47		37		3		5		2	
⑦ 1:0.60~1:0.31	31		25		0		4		2	
⑧ 1:0.3 以下	13		9		1		1		2	
合 計	170		133		11		16		10	

図-3-6 全数調査によるのり勾配とのり面の安定性(混合のり面)

のり高	全体に対する割合		のり面の安定性									
			安定		小崩落		落石		崩壊			
	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
① 5m 以下	29		29									
② 10m "	87		84		3							
③ 15m "	100		88		9		2		1			
④ 20m "	62		48		12		1		1			
⑤ 30m "	67		55		10				2			
⑥ 31m 以上	18		17		1							
合 計	363		321		35		3		4			

図-3-7 全数調査によるのり高とのり面の安定性(土のみ)

のり高	全体に対する割合		のり面の安定性									
			安定		小崩壊		落石		崩壊			
	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
① 5m 以下	7		7		0		0		0			
② 10m 以下	25		18		4		0		3			
③ 15m 以下	26		23		0		2		1			
④ 20m 以下	35		30		0		4		1			
⑤ 30m 以下	47		33		5		5		4			
⑥ 31m 以上	30		22		2		6		0			
合 計	170		133		11		17		9			

図-3-8 全数調査によるのり高とのり面の安定性(混合のり面)

のり面保護工	全体に対する割合	のり面の安定性									
		安定		小崩落		落石		崩壊		崩壊	
		回数	百分率	回数	百分率	回数	百分率	回数	百分率	回数	百分率
擁壁工	65	40	62	12	18	5	8	8	12		
張石工	18	16	89	1	6	0	0	1	6		
張コンクリート工	28	14	50	10	36	0	0	4	14		
モルタル吹付工	40	34	85	6	15	0	0	0	0		
コンクリート打込工	20	12	60	2	10	0	0	6	30		
ブロック張工	50	38	76	10	20	0	0	2	4		
筋芝工	10	6	60	4	40	0	0	0	0		
張芝工	55	42	76	12	22	0	0	1	2		
種子吹付工	72	52	72	16	22	0	0	4	6		
植生盤工	15	4	27	7	47	2	13	2	13		
植生穴工	47	30	64	11	23	2	4	6	13		
蒸処理	46	14	30	15	33	0	0	17	37		
網工	13	3	23	8	62	0	0	2	15		
落石防止柵工	20	10	50	15	75	2	10	1	5		
その他	15	8	53	5	33	1	7	1	7		

図-3-9 44年度調査によるのり面保護工とりの安定性

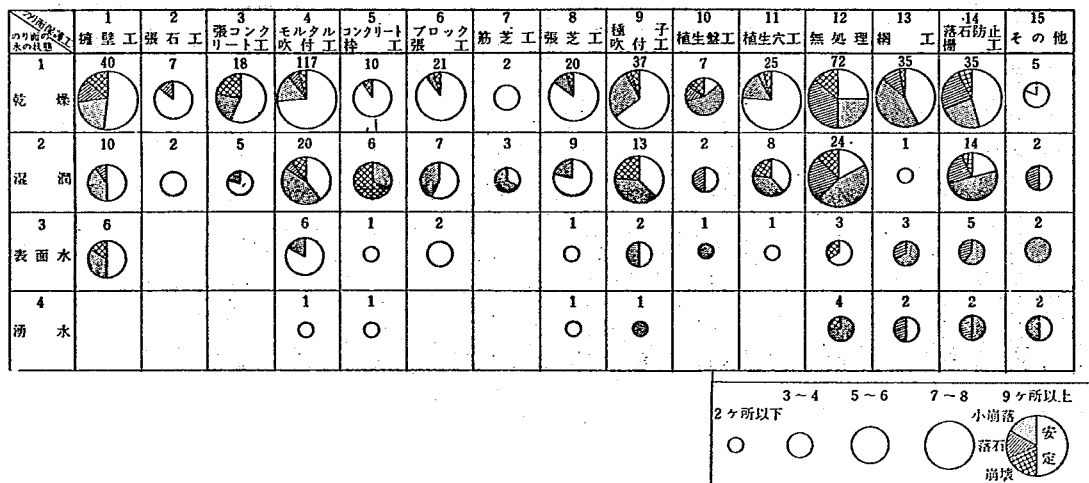


図-3-10 44年度調査によるのり面水の状態とりの面保護工

的斜面の安定性が高い所に使われるモルタル吹付工や張芝工、種子吹付工などの植生工に比べてやや劣っている。しかし、条件の悪いのり面に使われることが多いことを考慮すると、かなりそれに対する効果はあがつているともいえる。ただし、コンクリート枠工の場合、のり面の状態に応じて枠内を植生、コンクリート、石詰めにしたがるが、その選定が悪かつたり、また枠がしつかりしていないためにコンクリート枠がこわれた例がいくつかある。

のり面の土質としては、レキ質土、砂質土、粘質土ののり面がやはり多いが、全数調査の結果と比較すると、砂および粘質土ののり面のしめる割合が多くなっている。しかも、その安定性が、レキ、レキ質土、砂質土ののり面に比べて悪くなっている。また、粘質土ののり面の安定性も全数調査の結果に比べて悪くなっており、砂、粘質土ののり面には小崩壊、崩壊ののり面が多い。粘土ののり面は表面水などによる浸蝕に対しては比較的安定性は高いと思われるが、危険箇所の調査結果では小崩壊を生じたのり面が多くなっている。これは、土壌が悪く、植生がつきにくいなどの問題のあるのり面が粘土ののり面にあることを示唆している。つぎに土の液性限界で検討すると、液性限界が20%~40%ののり面で小崩壊、崩壊を起こす例が多く、40%~60%ののり面では小崩壊が多い。また、塑性限界が10%以下のものに小崩壊を起こしているものが多い。(図-3-11を参照) 危険箇所の調査で土質に関していえることは、全国的に比較的少ないのり面である砂および粘土のり面に危険箇所ののり面が多く、その安定性が悪く、また粘質土ののり面に崩壊ののり面が多いことである。粘質土ののり面に崩壊が多いのは、地下水位が高く、その排水が不十分なため間隙水圧が上昇し、土のせん断抵抗が減少してのりすべりを起こしたものと考えられる。そのため、このようなのり面では排水を十分行なうとともにのり勾配をかなりゆるくする必要があると思われる。

つぎに、のり勾配についてのべると、1:1.0程度ののり勾配のものが最も多く、危険箇所の調査のうちでは安定性も高い。混合のり面になるにしたがつてのり勾配も岩の勾配に近くなり、のり勾配もきつくなっている。安定性も勾配がきつくなるにしたがつて悪くなっている。また、崩壊を起こしそうな土質ののり面では勾配をゆるくしてあるが、1:1.0~1:1.5ののり勾配では、1:1.0ののり勾配のものより安定度は落ちている。(図-3-12を参照) 1:1.5よりゆるいのり勾配では安定性はかなりよくなっていることから、崩壊を起こしそうな土質ののり面や近隣ののり面で1:1.0程度ののり勾配で崩壊した例があるのり面では、思いきつてのり勾配を1:1.5よりゆるくする必要があると思われる。

のり高については、5m~10m、10m~15mのものが多く、15m以下のものと、15m以上のものとは、15m以下のものが多く、7割程度をしめている。(図-3-12を参照) 危険箇所と思われるのり面はのり高の高いのり面であると考えられがちであるが、この調査では以外と低いのり面に危険箇所が多くなっている。全数調査では土に関係するのり面の場合、のり高が15m以上のものと以下のものとは、しめる割合が約半々になっている。安定性についてはのり高が高くなるにしたがつて小崩落のものが増大する傾向にある。また、崩壊は5m~10mのものに多くなっている。

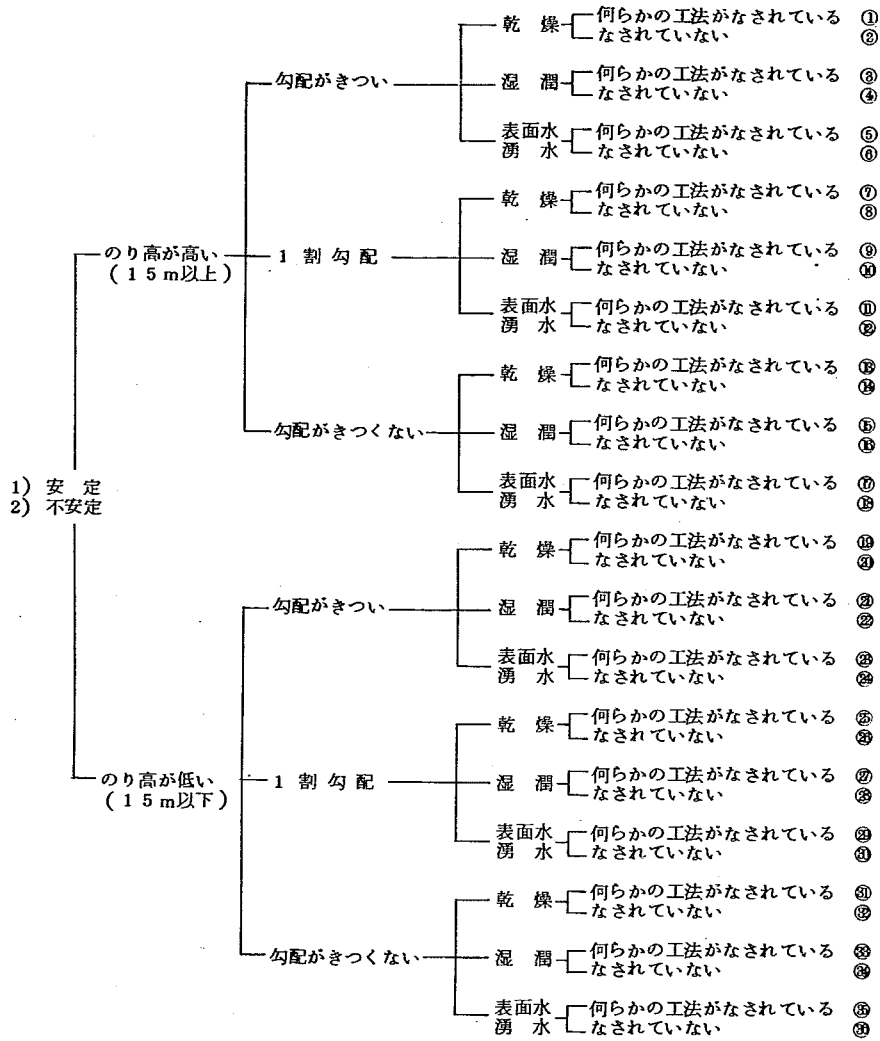
土の分類と 土のコンシステンシー		全体に対する 割合		のり面の安定性							
				安定		小崩落		落石		崩壊	
				回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
土の 分類	① (GM.GP)	25		18		4		1		2	
	② (GM.GC)	48		35		10		0		3	
	③ (SM.SP)	24		11		6		2		5	
	④ (SM.SC)	92		65		19		2		6	
	⑤ (ML.CL.OI)	45		23		13		0		9	
	⑥ (MH.CH.OH)	19		6		12		0		1	
	合 計	253									
土の 液性 限界	20%以下	29		16		8		1		4	
	20%~40%	179		71		30		4		74	
	40%~60%	48		20		17		2		9	
	60%~80%	17		9		8		0		0	
	80%以上	4		2		1		1		0	
	合 計	277									
土の 塑性 限界	10%以下	89		43		28		5		13	
	10%~20%	60		35		17		0		8	
	20%~30%	33		15		10		1		7	
	30%~40%	12		1		9		0		2	
	40%以下	10		2		7		0		1	
	合 計	204									

図-3-11 44年度調査による土の分類およびコンシステンシーとのり面の安定性

のり勾配と のり高		全体に対する 割合		のり面の安定性							
				安定		小崩落		落石		崩壊	
				回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
のり 勾配	1:0.30以下	3		3		0		0		0	
	1:0.31~1:0.55	18		9		7		0		2	
	1:0.56~1:0.75	15		7		8		0		0	
	1:0.76~1:0.99	19		10		7		0		2	
	1:1.0	82		60		13		1		8	
	1:1.1~1:1.2	8		5		3		0		0	
	1:1.3~1:1.4	7		3		4		0		0	
	1:1.5以上	11		8		1		0		2	
	合 計	163								0	
のり 高	5m以下	15		14		1		0		0	
	10m以下	58		39		14		0		5	
	15m以下	44		24		13		0		7	
	20m以下	21		13		7		1		0	
	30m以下	19		13		6		0		0	
	31m以上	6		2		3		0		1	
	合 計	163									

図-3-12 44年度調査によるのり勾配およびのり高とのり面の安定性

表-3-1 のり面の分類



(3) のり面工種の安定性について

のり面の安定性のところでは、のり面の安定性に及ぼす個々の要因についてのべたが、のり面工の安定性を検討する際には、のり面工種は土質、のり勾配、のり高、のり面水などの状況などに応じて

決定されるものであるから、これらの要因を考慮して検討する必要がある。このため、まず土質別に分類し、さらにのり高の高い場合と低い場合とに分類した。のり高の基準としては一応15mにした。これは土工指針などに示されている標準のり勾配にはのり高が15mまでしかないためである。そして、さらにのり勾配が1:1.0を基準にして、1:1.0とそれ以上とそれ未満に分類し、のり面水の状況に応じて、乾燥したのり面、湿潤なのり面、表面水・湧水のあるのり面に分けた。ここで、のり勾配の基準として1:1.0にとつたのは、のり面の現状のところでのべたように、土ののり面では土質に関係なく、のり勾配が1:1.0のものが圧倒的に多いためである。表-3-1は分類のしかたおよび分類番号を示したものである。また、のり面工種についても、いままでは代表のり面工種を決めてその安定性について検討したが、ここでは、同一のり面に施工されているのり面工種すべてについて検討を加えた。そのため、同一目的に使用されているのり面工種は一つにし、表-3-2に示すようなのり面工種の再分類した。

表-3-2 のり面工の分類

No.	のり面工種	再分類したのり面工種	略式記号
1	擁壁工	擁壁工	擁
2	張石工	張石工、張コンクリート工	張
3	張コンクリート工		
4	モルタル吹付工	モルタル吹付工	モル
5	コンクリート枠工	のり枠工	枠
6	ブロック張工		
7	筋芝工	植生工	植
8	張芝工		
9	種子吹付工		
10	植生盤工		
11	植生穴工	その他の工法	他
12	網工		
13	落石防止柵工		
14	その他の工法	無処理	無
15	無処理		

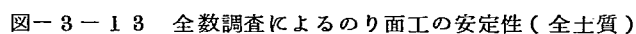
このような再分類したのり面工種の安定性を45年度の全数調査にもとづいて検討すると次のようになる。

土のみののり面の場合、のり高が15m以上の高いのり面では土質の違いによるのり面工種の選択の違いにいちじるしい差は認められない。そこで、土のみの場合の15m以上の全土質について乾燥、

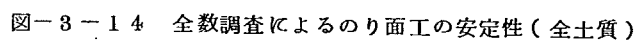
湿潤表面水・湧水のあるのり面ののり面工種をまとめ示したものが図-3-13～図-3-15である。のり高15m以上ののり面では、乾燥、湿潤、表面水・湧水ののり面とともに、のり勾配が1:1.0のものが大半をしめており、のり面工も植生によるものが多くなっている。植生だけでは安定が保てない場合には、のり枠工が多く施工されており、そのほかに張石工、張コンクリート工、擁壁工が施こされている。のり勾配が1:1.0以上ののり面はレキ質土ののり面に多く、1:1.0未満ののり面は砂質土ののり面に多い。表面水・湧水のあるのり面では、1:1.0ののり勾配のものは、擁壁工、張コンクリート工、植生工などが施工されているが、上部のり面が無処理の放置されているものに不安定なものが多い。1:1.1以上ののり面は安定しており、のり面工としてはのり尻に擁壁をし、擁壁より上ののり面に張コンクリート工を施こし、さらに上部のり面に植生工が施工されている。つぎにのり高が15m以上の混合のり面についてまとめたものが図-3-16～3-18である。混合のり面では、のり面が乾燥している場合、のり勾配が1:1.0と1:1.0未満のものがほぼ同程度あり、のり面保護工としてはモルタル吹付工と植生工またはのり枠工、擁壁と併用して使われているものが多い。のり勾配が1:1.1以上のものは少ない。湿潤したのり面はその数が少ないが、不安定なものには、擁壁、のり枠工などを施こしたのり面の上部のり面を無処理に放置したものが多い。また、表面水・湧水のり面では、のり勾配が1:1.0未満のものが大部分をしめている。しかも、安定なものがしめる割合は50%程度であり、のり勾配およびのり面工については検討する必要があると思われる。全体的にみて、混合のり面ではのり面工として安定なものには、モルタル吹付工と植生工、のり枠工、擁壁工などの組合せによつて安定を保っているものが多い。

つぎに、のり高が15m未満のものについてのべると、土のみののり面で、しかも乾燥したのり面では土質によつてのり勾配およびのり面工が異なっている。図-3-19～3-21は15m未満の乾燥したのり面のそれぞれの土質に対するのり面工の安定性を示したものである。のり高が15m以下のレキおよびレキ質土ののり面では、のり勾配が1:1.0のものが最も多いが、1:1.1以上および1:1.0未満ののり勾配のものもかなりある。のり勾配が1:1.0の場合、安全なのり面ののり面工としては植生工だけによるものが最も多く、つづいて張石工、張コンクリート工またはのり枠工と植生工とを併用したものが多い。1:1.0未満の急勾配ののり面では、擁壁工、張石工または擁壁工、張石工、張コンクリート工と植生工の併用などのある程度の土圧に対して耐えられるような構築物によるのり面工と植生工の組合せが多くなっている。のり勾配が1:1.1以上の比較的ゆるいのり面は、レキまじり土のため植生がつきにくく、また表面水などによつて細粒土が押し流され、比較的大きなレキが落石となつて落ちるため、これを防止するため、のり枠工またはのり枠工と擁壁工、張石工、植生工の組合せによるのり面工が多い。このように、レキおよびレキ質土ののり面では、のり高が15m以上のものと15m未満のものを比較すると、のり高15m未満ののり面のほうが現地のほうが現地の状況に応じてのり面工の選択に工夫がなされている。のり面の安定性のところでのべたようにのり高が高くなるにしたがつてのり面は不安定になる傾向があるので、むしろのり高が15m以上のものについて工夫がなされるべきであると考えられる。しかし、のり高が15m以上になると、

全のり面数 88



全のり面数 22



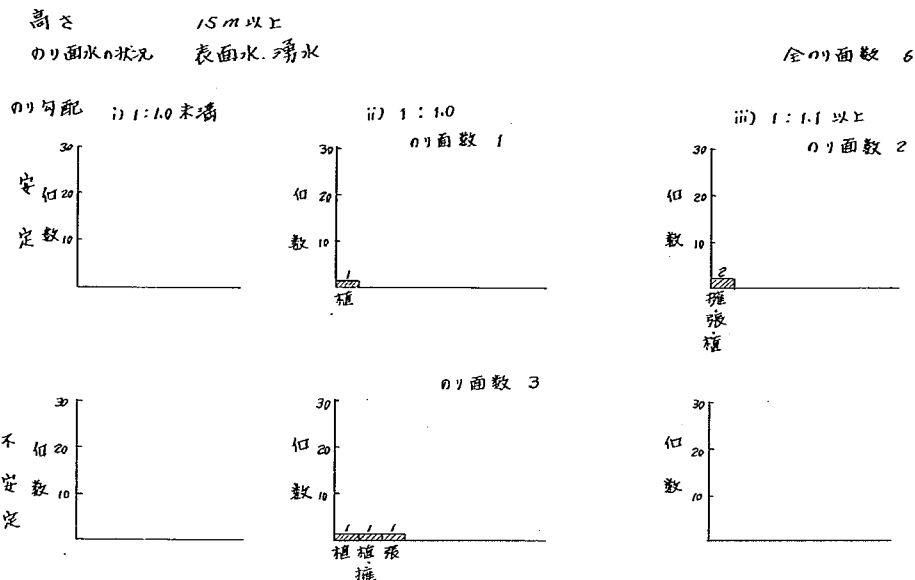


図-3-15 全数調査によるのり面工の安定性(全土質)

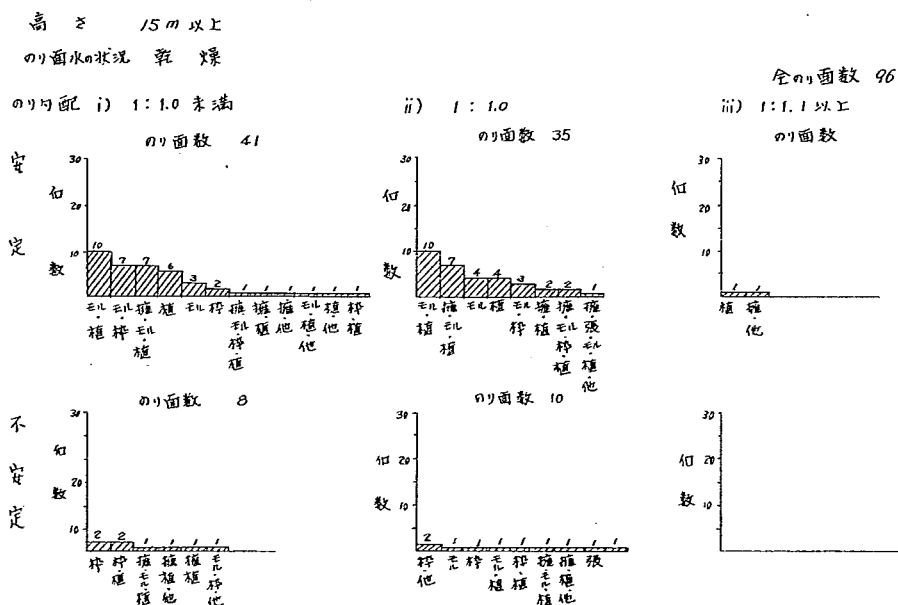


図-3-16 全数調査によるのり面工の安定性(混合のり面)

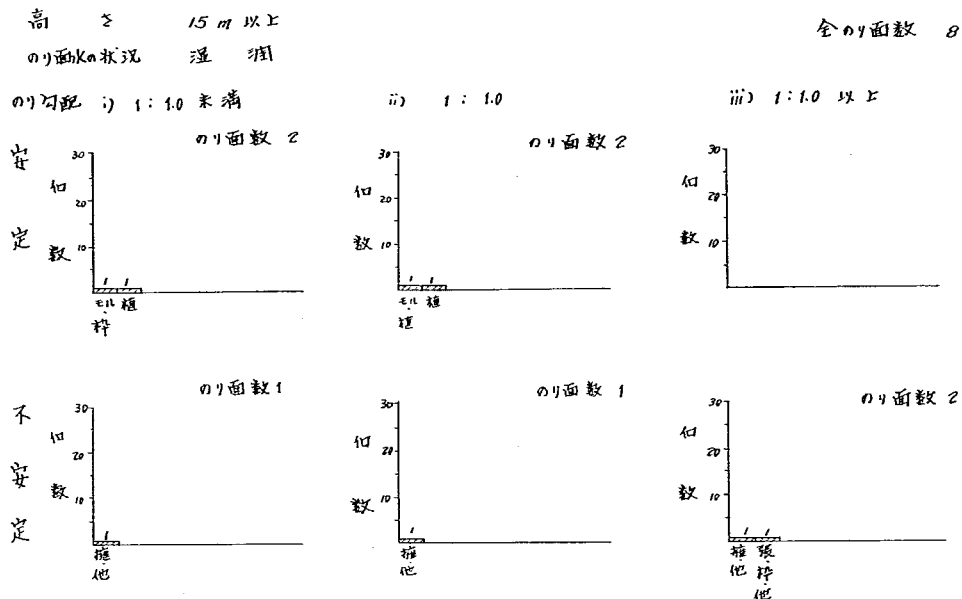


図-3-17 全数調査によるのり面工の安定性(混合のり面)

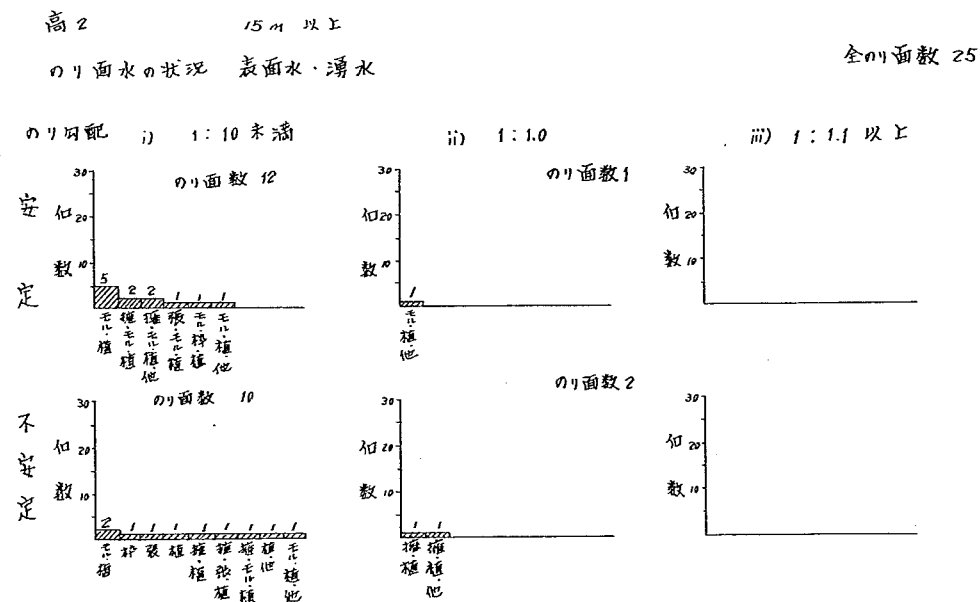


図-3-18 全数調査によるのり面工の安定性(混合のり面)

15m 未滿

乾燥

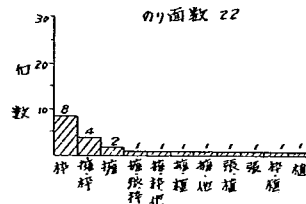
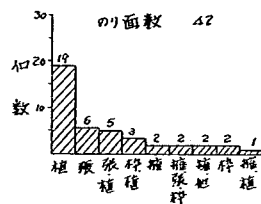
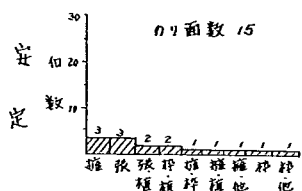
全のり面数 82

i) 1:1.0 未滿

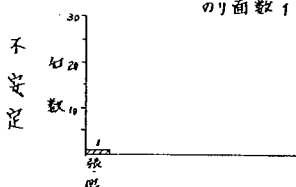
ii) 1 : 1,0

iii) $f: 1.1$ 以 Σ

のり面数 22



のり面数 1



のり面数で

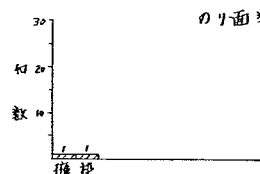


図-3-19 全数調査によるのり面工の安定性(レキおよびレキ質土)

15 m 未満

乾燥

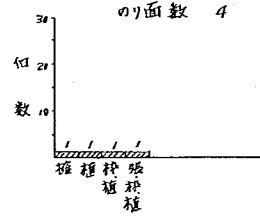
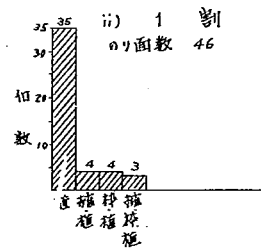
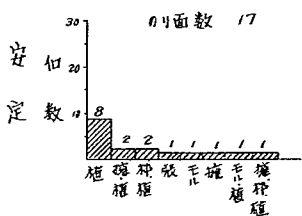
全のり面数 73

1) 1 割米満

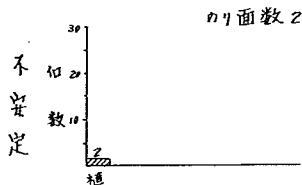
ii) 1 割

iii) 1.1 割以上

のり面数 4



のり面数 Z



のり面数 4

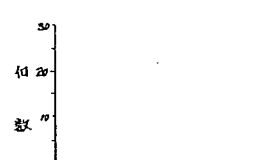
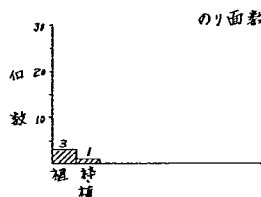


図-3-20 全数調査によるのり面工の安定性(砂および砂質土)

高さ 15 m 未満
のり面水の状況 乾燥

全のり面数 15

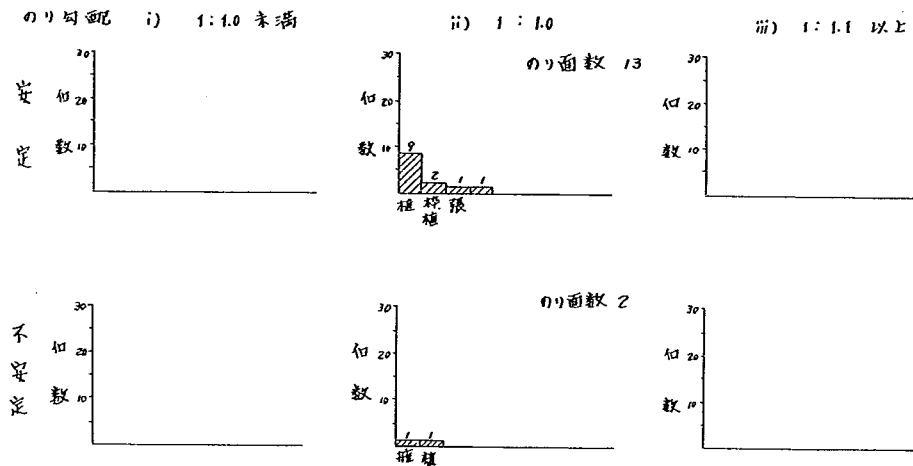


図-3-2-1 全数調査によるのり面工の安定性(粘土および粘質土)

のり幅も大きくなり、処理するのり面の面積は二乗できいてくるため、構築物によるのり面工に対する経費がかさむなどの理由からのり勾配は1:1.0のものが多くなっている。15m以下の乾燥した砂および砂質土ののり面では、のり勾配が1:1.0のものが全体の80%程度で残りの10%は1:1.0未満である。各のり勾配とも、安定したのり面ののり面工は植生工が大半をしめている。粘土および粘質土ではのり勾配は全部1:1.0であり、植生によるのり面工が多い。

図-3-2-2～3-2-3は15m未満の湿潤したのり面、および表面水・湧水のあるのり面の全土質について、のり面工の安定性をまとめたものである。まず、湿潤したのり面では、のり勾配が1:1.0で、植生によるのり面工が多くなっている。これは湿潤したのり面が粘質土に多いためである。レキおよびレキ質土ののり面では、植生工のほかのにり枠工、擁壁工、張石工などによるのり面工が行なわれている。砂および砂質土では植生工によるのり面工が多い。乾燥したのり面に比べて、やや植生工の安定性がおちている。このことから、のり面が乾燥していない場合にはのにり枠工などの補助工をして植生工を施す必要があると考えられる。のり高が15m未満の表面水・湧水のあるのり面については数が少ないので、何ともいえない。

混合のり面について、のり高が15m未満のものをまとめると図-3-2-4、3-2-5のようになる。図-3-2-4の乾燥したのり面では、のり勾配が1:1.0未満のものが77%程度しめており、残りが1:1.0ののり勾配である。のり面工は、のり勾配が1:1.0未満では、擁壁工または擁壁工と落石防止棚工、植生工の組合せによるのり面工が最も多く、つづいてモルタル吹付またはモルタル吹付工と植生工、のり枠工の組合せによるのり面工が多い。のり高が15m以上ののり面と比較する

と、のり勾配のきついものが多く、またのり面工も擁壁工、モルタル吹付工、植生工といった1種類ののり面工が多く、のり面工の組合せによる保護工は少ない。不安定なりの面も張石工、のり枠工、擁壁工のように1種類によるのり面工が多く、のり面上部が無処理のため小崩壊を起こしているものが多い。図-3-25 湿潤したのり面は数は少ないが、傾向としては乾燥したのり面とあまり変わらない。表面水・湧水ののり面は例がないため、省略してある。

土のみののり面では、全体的にみて土質の違いによるのり勾配およびのり面工の選択の違いはあまりないが、レキおよびレキ質土ののり面に違いが少し認められる。また、混合のり面では、土の部分ののり勾配が少しきつすぎると思われる箇所がある。また、15m未満ののり面では、岩および土質に応じて2~3種類ののり面工を併用すると安定性はさらに増大すると考えられる。

3-1-2 のり面工の崩壊に対する検討

切土のり面の安定性は地形的、地質的条件に大きく左右され、しかも地質構造が複雑で不均一な性状をもっていることが多いため、その崩壊のタイプも様々である。まず地形的に崩壊しやすい場所としては次のようなものがあげられる。

- (1) 構造破砕帯付近や火山山麓部などのように急こう配でかろうじて安定を保っているような崖錐堆積物の厚い直線的斜面
- (2) 集中豪雨などによつて土石流を押し流すような溪流

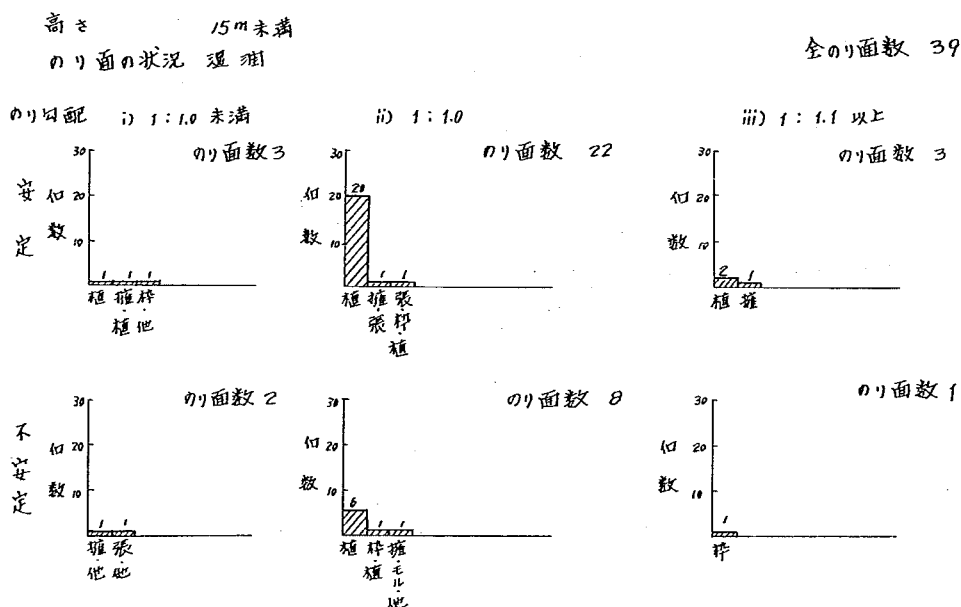


図-3-22 全数調査によるのり面工の安定性(全土質)

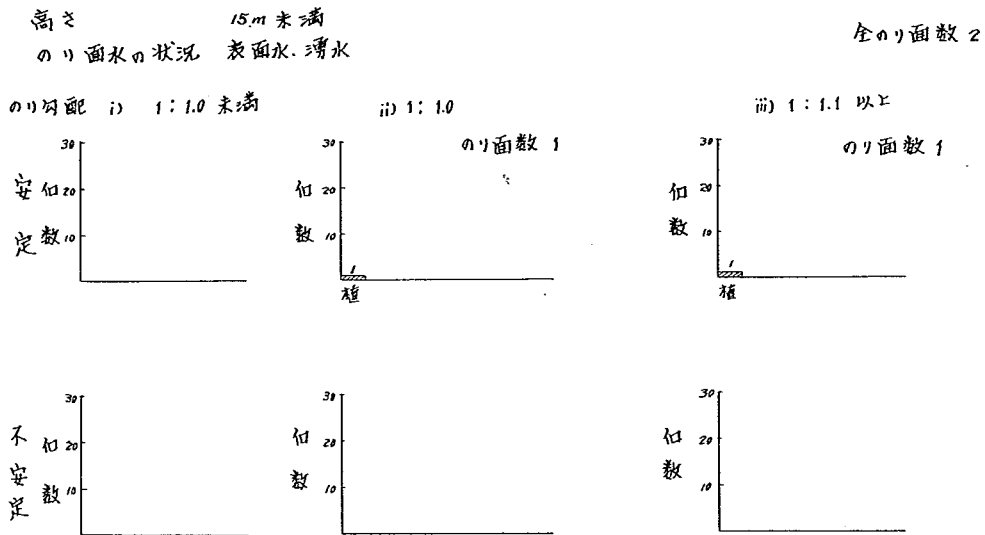


図-3-23 全敷調査によるのり面工の安定性(全土質)

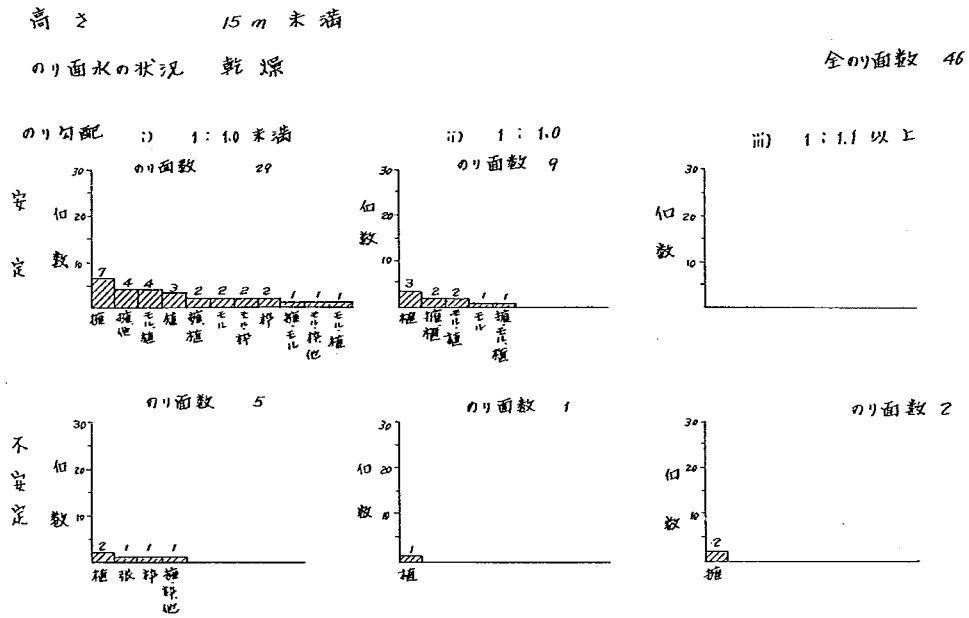


図-3-24 のり面工の安定性(混合のり面)

高さ 15 m 未満

のり面水の状況 混濁

全のり面数 5

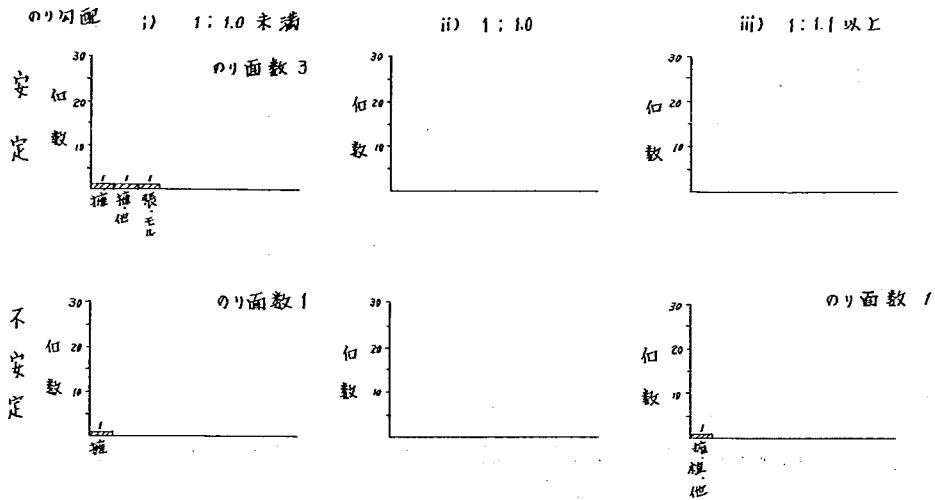


図-3-25 のり面工の安定性(混合のり面)

- (3) 斜面の鞍部および直線谷
- (4) 斜面の途中で、こう配や斜面の形態が急に変わるような傾斜変換部
- (5) 旧河床ならびに段丘
- (6) 地すべり地形
- (7) 湧水のある斜面
- (8) 地表に凹凸、傾斜の変化、小さなクラックなどがあらわれているような斜面

また、切土するにあたって地質的および土質的に問題の多いものに次のようなものがある。

- (1) じや紋岩または黒緑色片岩
- (2) 雲母片岩類
- (3) 破碎された粘板岩
- (4) 硬軟の互層
- (5) 凝灰質岩石
- (6) 火山性堆積物
- (7) 強粘土質
- (8) マサ(風化花崗岩)
- (9) 大きな構造破碎帯

切土のり面の崩壊のタイプには、いろいろのものがあるが、大きく分けると、次の3つに分類することができる。

- (1) 表層だけのもの

(2) やや深部にいたるもの

(3) やや広範囲にわたって生ずるもの(地すべりの)

このように、切取りのり面には崩壊しやすい地形や崩壊しやすい地質的、土質的な条件が存在する一方、切取りのり面の安定は降雨量、日照条件、凍結融解などの気候条件にも影響される。切土のり面の崩壊を検討する際には、これらのことも考慮して検討すべきであるが、ここでは44年度、45年度に実施した実態調査の結果にもとづき、主にのり面工の崩壊について検討することにする。この検討は現在施工されているのり面工にはどのような問題点があるかを見いだすためのもので、実態調査したのり面のうち、不安定なものだけを選びだし、検討を加えた。

(1) 44年度の不安定箇所ののり面工について

のり面工の安定性については45年度の全数調査の結果にもとづき、一般的傾向を前に示したが、それと同じ方法で、44年度に実施した危険箇所の不安定なのり面についても検討を加えてみた。図3-26はのり高が15m以上の乾燥した土のみののり面および乾燥していない土のみののり面についてまとめたものである。同様に図-3-27はのり高が15m未満ののり面についてまとめたものである。乾燥したのり面で比較すると、まずのり高が15m以上のもののほうが不安定なものが多く、のり面工としては単一ののり面工が多い。のり高が15m以下でのり勾配が1:1.0未満のものは植

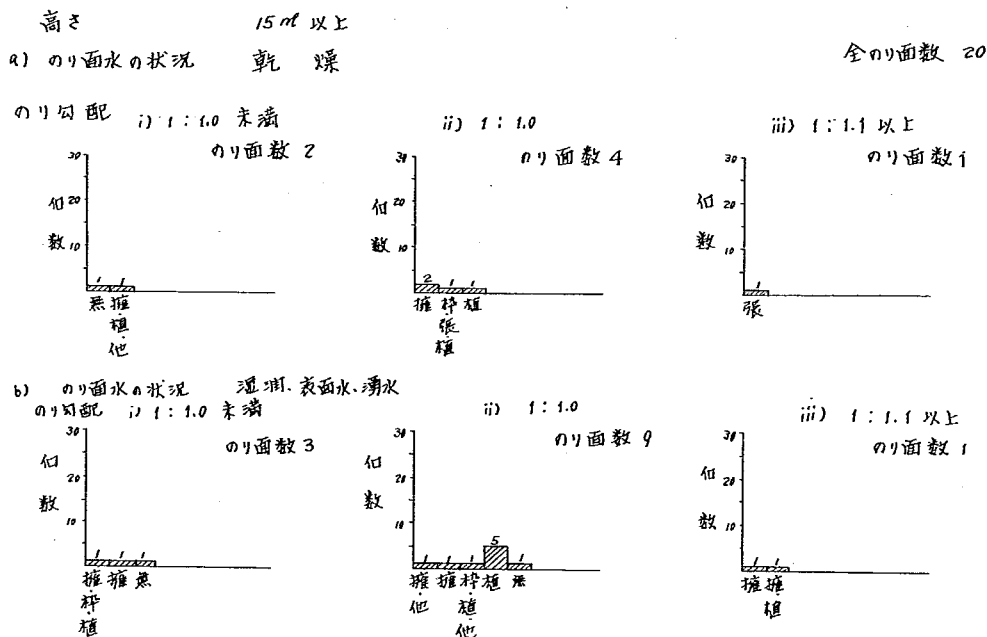


図-3-26 44年度調査の不安定な箇所ののり面工(全土質)

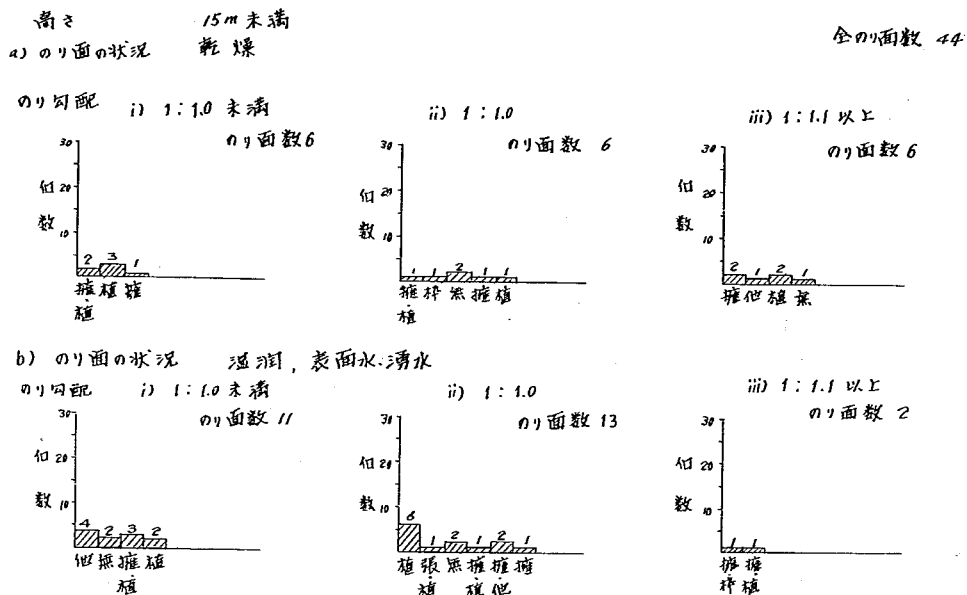


図-3-27 44年度調査の不安定な箇所ののり面工(全土質)

生工に不安定なものが多いことから、のり勾配に問題があるといえる。つぎに乾燥していないのり面についてのべると、のり高が15m以上のものおよび15m未満のものとも、不安定なりの面数は乾燥したのり面よりもうまわつている。のり面の現状のところでのべたように、全国的にのり面の80%程度は乾燥したのり面であり、残りの20%程度が乾燥していないのり面である。このことから、乾燥していないのり面の危険箇所の比率は乾燥したのり面に比べて高いといえる。このような乾燥していないのり面ののり面工として、擁壁工や植生工ばかりでなく、のり面浸食防止やのり表層部の崩落防止のための張石工、ブロック張工、コンクリート砕工、現場打ちコンクリート砕工などを用いてのり面の安定を計るべきであると考えられる。

図-3-28、3-29は混合のり面の乾燥したのり面と乾燥していないのり面についてまとめたものである。乾燥したのり面でいえることは、のり高が高いものおよび低いものともに、土の部分ののり勾配が1:1.0未満のきついものが多いことである。また土のみののり面に比べて無処理のり面も多くなっている。したがって、混合のり面で危険箇所とみられるのり面は、のり勾配がきつい所および無処理またはのりの一部に無処理のものが残っているような箇所であるといえることができる。乾燥していないのり面では、乾燥したのり面に比べてのり勾配はゆるく、のり面工も施とされているが乾燥したのり面に比べて不安定なものが多い。このため、混合のり面についても乾燥していないのり面については、効果のあるのり面工を検討すべきであると考えられる。

(2) 崩壊原因に対する検討

不安定な箇所の切取りのり面の崩壊原因について検討すると、のり面が不安定な理由として次の9

つに分類される。ここで、のり勾配1 : 1.0 のものを基準にしてのり勾配がきつい場合ときつくない場合とに分けてある。

- (i) のり面が無処理である。
 - イ) のり勾配がきつい。
 - ロ) のり勾配はきつくない。
- (ii) 構造物によるのり面工の上部のり面が無処理である。
 - イ) のり勾配がきつい。
 - ロ) のり勾配はきつくない。
- (iii) 落石防止棚、網工など施工されているがのり面が無処理である。
 - イ) のり勾配がきつい。
 - ロ) のり勾配はきつくない。
- (iv) のり面の1部が無処理のまま放置されている。
 - イ) のり勾配がきつい。
 - ロ) のり勾配はきつくない。
- (v) 植生の生育が悪い。
 - イ) 乾燥したのり面

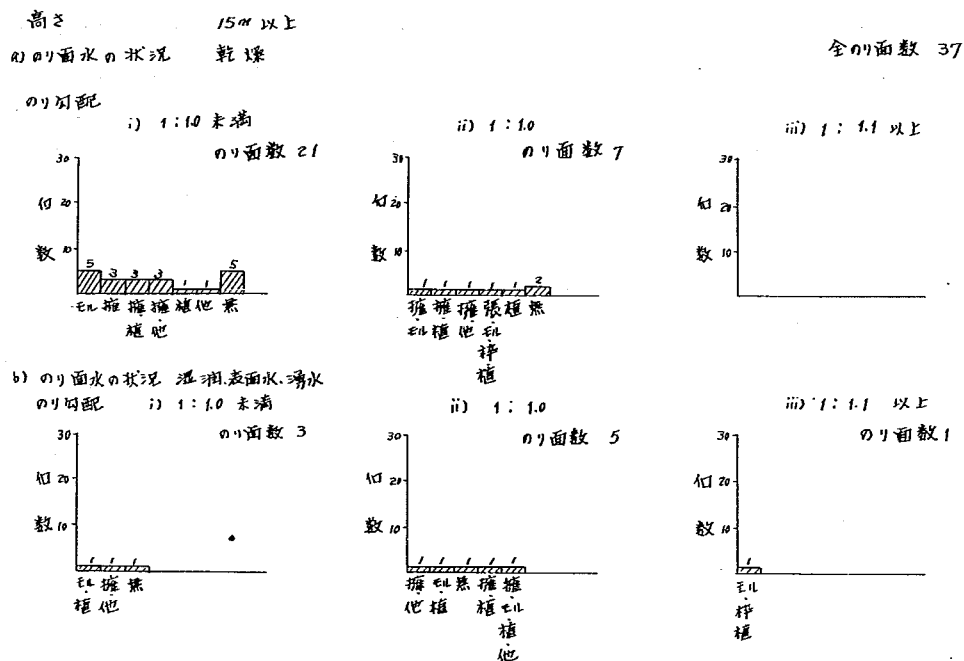


図-3-28 44年度調査の不安定な筒所ののり面工(混合のり面)

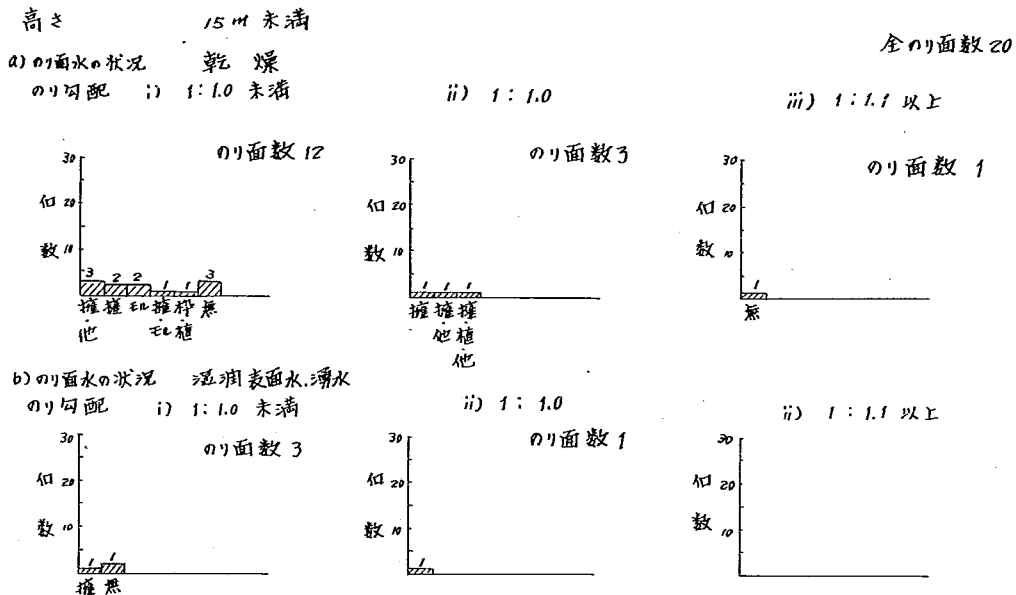


図-3-29 44年度調査の不安定な箇所ののり面工（混合のり面）

ロ) 乾燥していないのり面

- (i) 植生を施しているのり面のこう配がきつい。
- (ii) モルタル吹付の状態が悪い。
- (iii) 構造物および植生が施こされているが、排水施設に問題がある。
- (iv) その他の原因

(i)~(iv)まではのり面全体またはのり面の一部に無処理の部分がある場合で、切土のり面ではたとえ無処理であつてもそのり面が安定を保っている場合がある。そのため、無処理のり面はすべて問題のあるのり面とはいえないが、切土のり面は風化作用などによつて年々安定性は低下する傾向にある。このため不安定な箇所でのり面が無処理である場合には、風化防止、浸食防止のためののり面工をのり面に施すべきであつたという観点から、崩壊原因として(i)~(iv)のなかにいれてある。

植生工は表面水による浸食防止、凍上崩落抑制、緑化を目的として使われるもので、植生の生育が悪い場合にはその目的をはたすことができない。そのため、不安定箇所で植生状態が悪いと調査票に記されている場合は崩壊原因として(v)にいれてある。また、のり勾配が1:0.8が一般に植生の生育限界とされているが、不安定な箇所の植生工で、しかも植生を施こした部分ののり勾配1:1.0未満のものは、のり勾配に問題があるとして一応崩壊原因の(v)に入れた。

混合のり面では、モルタル吹付工が多く使われているが、植生工や擁壁工、のり砕工などと併用して使われる場合も多い。そこで、モルタル吹付以外の他の工法の部分で工法的に問題がなく、しかもモルタル吹付の部分の状態が悪い不安定なりのり面は(vi)の崩壊原因にいれてある。

のり勾配もきつなく、のり面には植生工または構築物によるのり面工が施こされており、しかも植生の生育状態も良く、またモルタル吹付の状態も悪くない場合は、排水に対する処置が不十分であるとして(Ⅱ)の崩壊原因に入れてある。

また地すべり粘土層がかんでいるようなのり面の崩壊は、のり面工だけで防止することは無理であるとしてその他にいれてある。

このような考えにもとずき、44年度、45年度の不安定な箇所ののり面を崩壊原因別に分類し、示したものが表-3-3、3-4である。また、それを図示したものが図-3-30である。44年度、45年度の結果についていえることは、崩壊原因のうち(i)~(v)にはいるものが多いことである。44年度の結果では、不安定な箇所128箇所のうち崩壊原因の(i)~(v)にはいるものが70箇所あり、全体の57%をしめている。また、45年度の結果では、不安定な箇所108箇所のうち74箇所が崩壊原因の(i)~(v)にはいつており、全体の69%をしめている。特に土に関係するのり面では、表面水や浸透水の影響を岩ののり面に比べて直接受ける場合が多く、何らかののり面工を施こすべきである。特に表面水による浸食に弱い土質で、のり勾配を直に切つて表面水の影響を少なくするほうが得策の場合を除いては、のり面を無処理のまま放置することは避けるべきであると考えられる。また、切土したのり面ののり尻に2~3mの簡単な土留擁壁や張石工を施こし、上部のり面は切り放しにしたために、不安定になつたのり面が、(i)~(v)の崩壊原因のうち、数のうえでもつと多くなつてい

表-3-3 崩壊原因の分類(44年度)

44年度

崩壊原因の分類	レキ及びレキ質土		砂および砂質土		粘土および粘質土		混合のり面		合 計
	15m以上	15m以下	15m以上	15m以下	15m以上	15m以下	15m以上	15m以下	
1. のり面が無処理である。 (1) のり勾配がきつい。 (2) のり勾配がきつくない。	1 1	2 1		2	1	2 1	5 4	4 3	15 12
2. 構築物の上部のり面が無処理である。 (1) のり勾配がきつい。 (2) のり勾配がきつくない。			1 3	1		2 3	9 6	4 1	17 17
3. 落石防止柵 網工等が施工されているが、のり面が無処理である。 (1) のり勾配がきつい。 (2) のり勾配がきつくない。	1 1					3	1		4 2
4. のり面の一部が無処理のまま放置されている。 (1) のり勾配がきつい。 (2) のり勾配がきつくない。							3		3
5. 植生の生育が悪い。 (1) 乾燥したのり面 (2) 乾燥していないのり面			1 1	2	2	1	2 2	1	5 7
6. 植生を施こしているのり面の勾配がきつい。		4			1	6	2	2	15
7. モルタルの状態が悪い。							5	3	8
8. 構築物および植生が施こされているが、排水施設に問題がある。		2		2	3	6	1		14
9. その他の原因 (地すべり粘土層がかんでいる) PC板ブロック。		1		1		2			4
合 計	7	11	6	8	7	26	40	18	123

表-3-4 崩壊原因の分類(45年度)

45年度

崩壊原因の分類	レキ及びレキ質土		砂および砂質土		粘土および粘質土		混合のり面		合 計
	15m以上	15m以下	15m以上	15m以下	15m以上	15m以下	15m以上	15m以下	
1. のり面が無処理である。 (1) のり勾配がきつい。 (2) のり勾配がきつくない。	1 2	4 2		1 2			2 3	5 1	13 10
2. 構築物の上部のり面が無処理である。 (1) のり勾配がきつい。 (2) のり勾配がきつくない。	2 3	2 4	1				5 5	5 3	14 16
3. 落石防止柵、網工等が施工されているが、のり面が無処理である。 (1) のり勾配がきつい。 (2) のり勾配がきつくない。	1								1
4. のり面の一部が無処理のまま放置されている。 (1) のり勾配がきつい。 (2) のり勾配がきつくない。	1						9 5	5	9 11
5. 植生の生育が悪い。 (1) 乾燥したのり面 (2) 乾燥していないのり面			1	2	1	2	1		6 1
6. 植生を施しているのり面の勾配がきつい。							3		3
7. モルタルの状態が悪い。				3			2		5
8. 構築物および植生が施こされているが、排水施設に問題がある。			3	3	1	7	4	1	19
9. その他の原因									
合 計	10	12	7	9	2	9	39	20	108

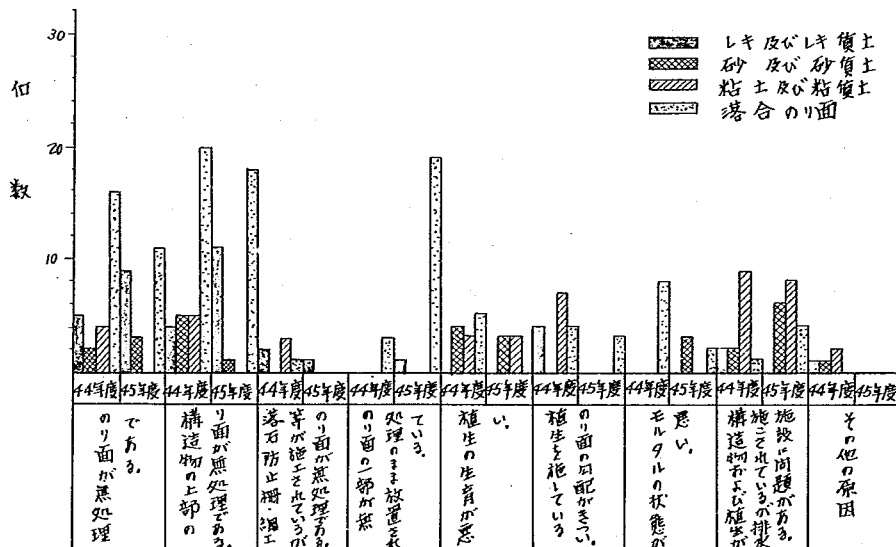


図-3-30 崩壊原因の分類

土留擁壁や張石工などの構築物が崩壊した例はほとんどない。上部ののり面の無処理の部分が表面水や浸透水によつて小崩壊を起こし、除々に破壊が進行して大きな崩壊を起こす例が多いので、のり尻付近ばかりでなく、上部のり面についてものり面工を施こして、安定を保つべきである。のり面ののり肩からのり尻までのり面工が施こされているが、のり面を平面的にみた場合、のりの一部に無処理の箇所があり、その部分が崩壊した例が混合のり面に多い。しかものり高の高いものに多いことからして、のり面工を施こす面積が広くなるため、切土した時点で比較的崩壊しやすい場所だけのり面工を施こし、安定している箇所は無処理のまま放置したものと思われる。一般にのり面の中央付近はのり高も高いため、のり面工は施こされているが、中央より両肩の上部のり面が無処理のことが多い。この無処理の部分のあたりは、地形的に傾斜変換部にあたる場合も多く、また斜面の浸透水が流出しやすい場所でもあるので、無処理の部分は残さないようにすべきであると考えられる。混合のり面においては、土の部分と岩の部分との境には水が集まりやすいと一般的にいえるため、土の部分が無処理であると浸透水によつてすべりや洗掘を受けやすい。

このため、このような場所ののり面工は十分検討したうえで決定すべきである。植生を施こしたのり面の勾配がきつかつたり、植生の生育の状態が悪いなどの植生が原因でのり面が不安定になった例は、崩壊原因のうちで、44年度においては22%をしめており、45年度では9%程度である。植生工はのり面を流下する表面水による浸蝕の防止および凍上による崩落の抑制などを目的として使われるものであるから、浸透水や湧水の影響を受けやすい部分や、やむをえずのり勾配をきつくする場合は、崩落防止のためののり枠工と併用して使うべきであると考えられる。また植生については施工時期に問題がある場合も多いと考えられる。

モルタル吹付工はもともと岩の風化防止および浸蝕防止のために使われるため、土のみののり面では使われる例は少ない。また、混合のり面でも乾燥したのり面にしか使われない。浸透水や湧水のある箇所では、水圧の作用および乾燥・湿潤のくりかえしによつてクラックを生じやすく、寒冷地では凍結融解によつてモルタルがはく離し、その役目を果さなくなるからである。混合のり面全体にモルタル吹付をする場合は、岩と土との境に水が集まりやすいため特に注意する必要があると考えられる。44年度の調査では、混合のり面の8箇所モルタル吹付が原因となつて崩落しており、45年度には混合のり面では2箇所、砂質土で3箇所モルタル吹付が原因となつて崩壊している。

崩壊原因として④の排水施設に問題があると判定された箇所は44年度で14箇所、45年度は19箇所で、それぞれ全体の11%、18%をしめている。土質では粘土および粘質土に多い。これは一般的に、粘質土は表面浸食などに対して他の土質に比べて抵抗力が強いため、あまりのり面の排水に気がくばられないためかもしれない。特に、15m以下の低いのり面に多いことからして、このような理由づけも成りたつと考えられる。

3-1-3 実態調査のまとめ

切土のり面の標準工法を検討するにあつて、まず実態調査の結果をまとめると次のようになる。

45年度に実施した全数調査の結果では、

- (1) 土に関係するのり面と岩からなるのり面のしめる割合は4:6程度であり、全のり面のうち、安定なものは80%程度である。
- (2) 土のみのり面では、のり勾配は1:1.0のものが70%程度しめており、その安定性もよい。のり勾配を1:1.0よりゆるくすると、安定性はさらによくなる。
- (3) 混合のり面では、土のり面に比べてのり勾配のきついものも多く、安定性も少し悪くなっている。
- (4) 乾燥したのり面が、全のり面のうちの80%程度をしめており、残りの20%程度が湿潤、表面水、湧水のあるのり面である。表面水、湧水のあるのり面の安定性が悪い。
- (5) のり高は土のみの場合、10m~15mのものが最も多く、混合のり面では20m~30mのものが多く、安定性はのり高が高くなるにしたがつて悪くなる傾向にある。
- (6) のり面工としては、土のみの場合、植生工が多く使われており、植生工で安定が保てない場合は植生工と擁壁工、張石工、およびのり枠工と併用してのり面の安定が保たれている。
- (7) 混合のり面では、モルタル吹付工と植生工、擁壁工、のり枠工と併用して使われているものが多い。などである。つぎに、44年度の危険箇所の調査結果では、
 - (1) のり面の土質としては、全国的に比較的少ない砂および粘土のり面に危険箇所が多く、またその安定性も悪い。
 - (2) のり勾配は1:1.0のものが最も多く、その安定性もよい。また1:1.0~1:1.5のり勾配のものが、1:1.0のり勾配のものより安定度は落ちていることから、崩壊を生じやすいような地形、土質の場合はのり勾配を思いきつて1:1.5よりゆるくすることが必要である。
 - (3) 無処理のり面が多く、その安定性が悪い。
 - (4) 全数調査に比べて、張コンクリート工、コンクリート枠工、ブロック張工などの構築物によるのり面工が多い。これは、危険箇所に選ばれたのり面が、湧水のある箇所や植生工で安定が保てないような条件の悪いのり面が多いためである。
 - (5) 湿潤、表面水、湧水のあるのり面の安定性が、乾燥したのり面に比べて悪い。などである。

また、のり面工の崩壊原因についてまとめると次のようになる。なお44年度、45年度の結果を合わせて、箇々の崩壊原因の全体的な比率が求めている。

- | | |
|--|-----|
| (1) のり面が無処理、または上部のり面が無処理、のり面の一部が無処理なもの | 63% |
| (2) 植生を施したのり面の勾配がきついか、植生の生育の悪いもの | 16% |
| (3) 構築物および植生が施されているが、排水施設に問題があるもの | 14% |
| (4) モルタル吹付の状態が悪いもの | 6% |
| (5) その他 | 2% |

つぎに、今回調査したもののうち安定したのり面について各土質ごとの代表的なのり面を示すと、図-3-31~3-34のようになる。

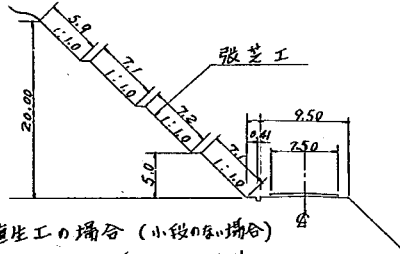
図-3-31はレキおよびレキ質土の代表的なり面を示したもので、植生工だけでり面を保護する場合はa)のようにり勾配を1:1.0にし、り高5~8mごとに1.0~2.0mの小段を設ける方法が多くとられている。そして、り面には張芝工、種子吹付工が多く施工されている。植生だけではり尻部のあたりが不安定でり面の安定が保てない場合、り勾配をゆるくして安定を図ることが地形上困難な場合はb)、c)に示すようなブロック張工、石張工、擁壁工などと植生工とを組合せたり面工が多く用いられている。b)、c)のような場合、擁壁工、張石工、ブロック張工を施工して、上部のり面は切り放して放置されることがある。これは、崩壊原因のところでのべたようにこの無処理の部分が原因となつて崩壊する例が多いので、必ず植生を施さすべきである。b)ではブロック張工の上のり面に小段のない場合で、c)は小段のついている場合である。

一般に小段は、長大のり面の下部では表面水の流速、流量が増加し、洗掘力が大きくなるため、り面の途中にはほぼ水平な段をつけることによつて流速を低下させる目的と、小段に排水こうを設けて、水をりの外へ排水させれば、り面下部に表面水が集中することを防ぐこともできるなどの利点を持つている。しかし、表面水が小段から切土のり面内に浸透しやすくなり、り面の安定を低下させることもあるので、小段を設ける場合は、り高、り面の土質などの諸条件を考慮して決定すべきである。レキおよびレキ質土のり面では、り高が15m以上のときはa)に示すようなり面断面のものが最も多い。つづいて、a)のり面の下部にり枠工を施工し、り面下部の洗掘に対して抵抗を持たせたものおよびb)、c)のり面断面のものが多くある。また、b)のり面は、かなり大きなレキを含んだレキまじり土のり面のように、表面水によつて細粒土が押し流され、レキが転石となつて崩落する場合および表面水や浸透水のあるり面に多く用いられている。この方法はり面の下部を擁壁工などで土留めをし、上部のり面に、ブロック張工又はコンクリート枠工を施工するので、り枠の場合は枠内は普通植生が用いられている。また浸透水や湧水のある箇所では枠内を石詰めにするのがよい。り高が15m以下の場合は、り勾配が1:1.0のものでは、a)、b)、c)のものが多く使われているが、d)に示すようなり勾配をゆるくして、り枠工またはり枠工と擁壁工の組合せによるり面工も多い。一般にレキ質土では、落石を生ずることが、他の土質に比べて多いのでd)のような工法を用いるのがよい方法であると考えられる。

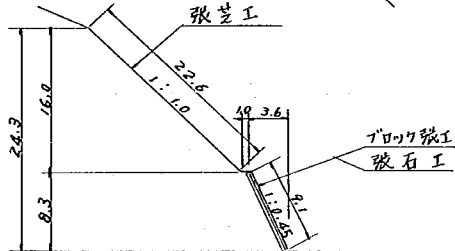
次に砂および砂質土のり面についてのべると、代表的なり面工の断面は図-3-32に示すようなもので、レキおよびレキ質土の場合と変わるところがない。り高が15m以上では、図-3-20のa)に示すようなり勾配が1:1.0程度で、り面を植生でおおう場合がごく一般的で、b)、c)に示すような場合は、り面の下部が洗掘されたり、りすべりを生じるような場所に用いられる。り高が15m以下でも、り勾配は1:1.0のものが最も多く、植生工がり面工として使われる場合が多いが、り勾配が1割未満のものもかなりある。この場合はa)のほかはb)、c)の示すようなり面工によつて安定をはかるのがよいと考えられる。砂質土の植生には、種子吹付工が最も一般的に多く使われている。その他に、張芝工、植生穴工が使われている。

粘土および粘質土の代表的なり面工の断面を図-3-33に示した。粘土および粘質土のり面

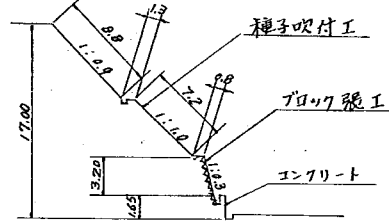
a) 植生工による場合



b) 擁壁工と植生工の場合 (小段のない場合)



c) 擁壁工と植生工の場合 (小段のある場合)



d) のり拌工の場合

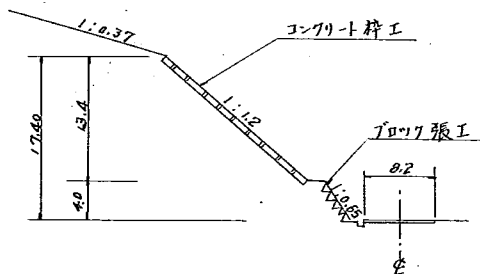
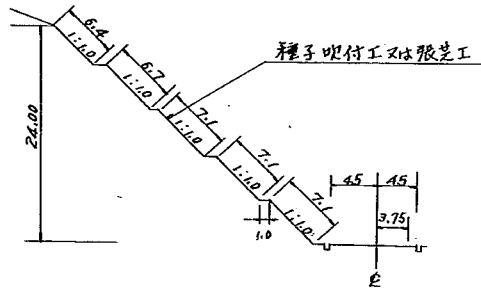
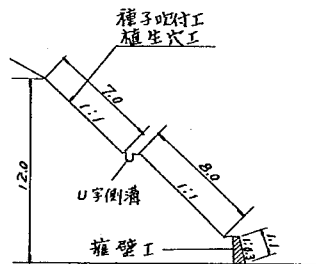


図-3-31 レキおよびレキ質土の代表のり面工

a) 植生による場合



b) 擁壁工と植生工による場合



c) のり材工と植生工による場合

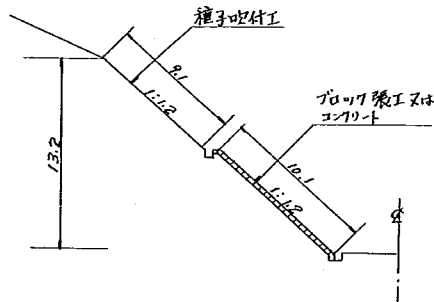
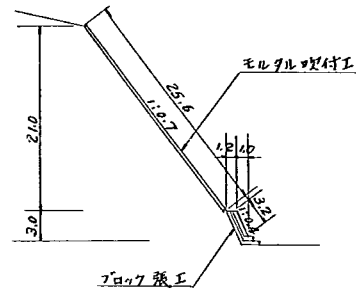


図-3-32 砂および砂質土の代表のり面工

a) モルタル吹付工による場合



b) モルタル吹付工と植生工による場合

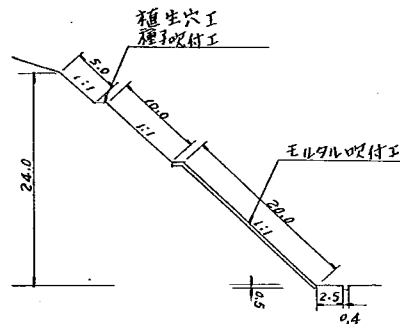


図-3-33 混合のり面の代表のり面工

も工法的にはレキおよびレキ質土、砂および砂質土ののり面と違いはない。15 m未満の湿潤したのり面で植生によるのり面工で小崩壊を起こしている例が多いので、このような箇所にはc)に示すようなコンクリート枠工、張石工などでのり面の下部を補強する方法がよいと考えられる。

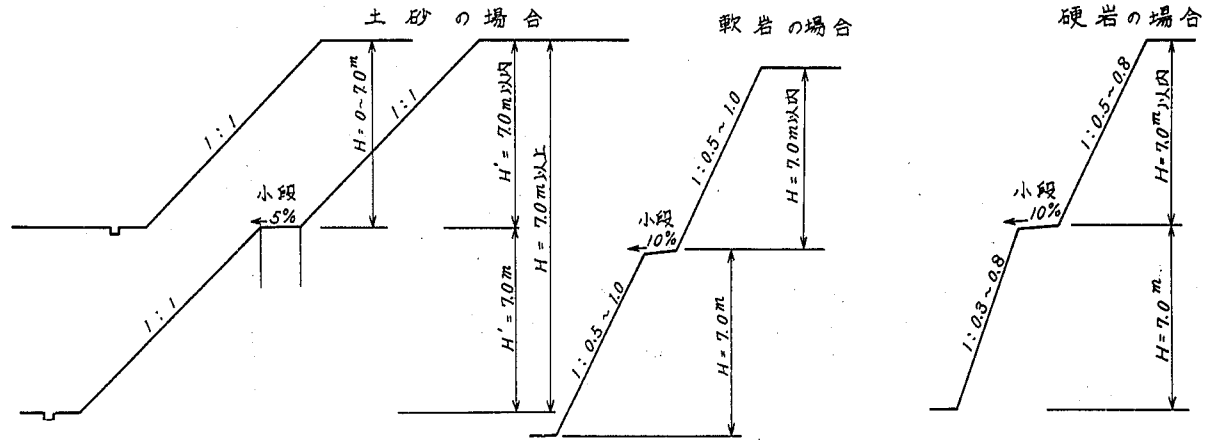
混合のり面についてつぎに述べると、混合のり面ののり面工としては図-3-34のa)に示すようなモルタル吹付工またはモルタル吹付工ののり面下部をブロック張石工で補強したもの、b)に示すような岩の部分にはモルタル吹付工を施工し、土の部分には植生を施したものの2つに大別される。a)のようなモルタル吹付をのり面全面にする場合は、岩と土との境界などがはつきりしない比較的風化の進んでいない岩に用いられる。また乾燥したのり面でしかも斜面からの浸透水の少ないのり面に限られる。b)は岩の上にある土砂の部分の厚さがあつく、斜面からの浸透水が土砂の伝わってくる可能性もあり、のり面全体にモルタル吹付を施すことに問題があるようなのり面に使われる。一般にモルタル吹付の目的は岩の風化防止および浸蝕防止のために使われるものであり、土砂の雨水による浸蝕防止には植生工と考えるべきである。b)のような地形にモルタル吹付工を全面に施したために、モルタル吹付にクラックが入り、モルタル吹付が崩壊を生じた例もあるので、a)にすかb)にするかについては十分検討して決定すべきである。

混合のり面の土の部分は岩ののり勾配と同じ勾配で切り取られる場合があるが、やはり土の部分のところでは岩ののり勾配と変えるという考えの方が妥当であると考えられる。そして、岩と土の境界のあたりでは、浸透水などの影響を受けやすいので、植生工だけでなく、構造物による補強工法を加えるようにするとそのり面の安定性は増大すると考えられる。

標準工法を検討するにあたっては、まず問題になることは、のり勾配をいくにするかという問題である。標準のり勾配として一般に用いられているものとして表-3-5に示すようなものがある。この表をみると、まず岩ののり面ののり勾配が大まかに規定されているのに対し、土ののり面ではかなりこまかく規定されている。ここまで、何度もくりかえし述べてきたように、土ののり面では、今回実施した実態調査の結果では、土質に関係なく、のり高にあまり関係なくのり勾配が1:1.0のものが最も多く、表-3-5にとらわれることなく、のり勾配が1:1.0で切土される場合が多いと考えられる。表-3-5においても全土質についてみると、のり勾配が1:1.0程度のものが多くなることはうかがえるが、このようにこまかく規定する必要があるのかという疑問が生ずる。

そこで、546箇所の土ののり面について各土質に分類し、のり勾配とのり高の関係をまとめ、図示したものが図-3-35である。レキ(GW, GP)においては、のり勾配が1:0.8~1:1.0のものが全体の65%をしめており、そののり面の安定性も高い。またのり高が10 m以上のものは、ほとんど全部のり勾配が1:1.0以下のものである。標準のり勾配に比べて一般にきつく、標準のり勾配でもきつい方の値が多く用いられている。つぎに、レキ質土(GM, GC)についてのべると、標準のり勾配はレキとレキ質土では同じであるが、図-3-23においてレキと比べると、レキ質土ではのり勾配のゆるいものが多い。のり勾配はレキの場合と同様に1:0.8~1:1.0のものが最も多いが、のり高が15 mを越えると安定性はおちている。また、のり勾配が1:0.8以下のものは、

表-3-5 標準のり勾配



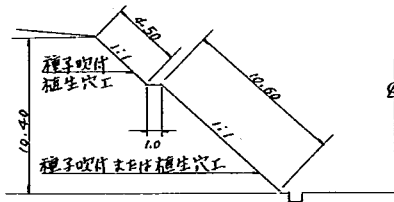
地山の土質および地質		切土高 (m)	勾 配 (割)	標準勾配 (割)
硬 岩			0.3 ~ 0.8	0.3, 0.5, 0.8
軟 岩			0.5 ~ 1.2	0.5, 0.8, 1.0
砂			1.5 ~	
砂 質 土	締まっているもの	5 m 以下	0.8 ~ 1.0	
		5 ~ 1 0 m	1.0 ~ 1.2	
	ゆるいもの	5 m 以下	1.0 ~ 1.2	
		5 ~ 1 0 m	1.2 ~ 1.5	
レキ質土	締まっているもの、また は粒度分布の良いもの	1 0 m 以下	0.8 ~ 1.0	
		10 ~ 15 m	1.0 ~ 1.2	
	締まっていないもの、ま たは粒度分布の悪いもの	1 0 m 以下	1.0 ~ 1.2	
		10 ~ 15 m	1.2 ~ 1.5	
粘土、粘質土		1 0 m 以下	0.8 ~ 1.2	
岩塊または玉石まじりの粘質土		5 m 以下	1.0 ~ 1.2	
粘 土		5 ~ 1 0 m	1.2 ~ 1.5	

注 1) 表はのり肩とりの尻を結んだ平均勾配を表わす。

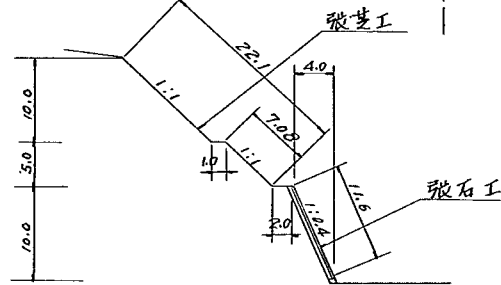
注 2) 表は、植生等による適切な保護をした場合に適用できる。

岩の切土のり面の設計には岩の割れ目、節理の状況、岩層の乱れ、風化に対する抵抗性、肌落ちを生ずる可能性等を調査して決定するものとする。

a) 植生工による場合



b) 張石工と植性工による場合



c) かり棒工と植生工による場合

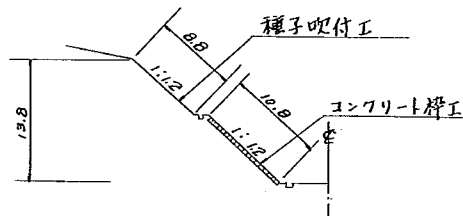
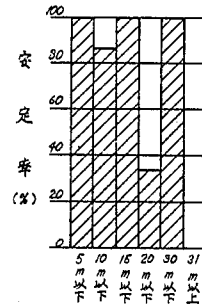


図-3-3-4 粘土および粘質土の代表のり面工

レキ (GW. GP)

勾配 0.8以下

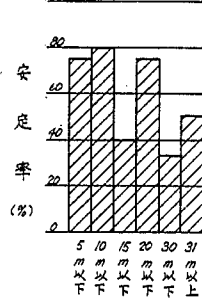
個数 2 7 2 3 4 1



レキ 黄土 (GM. GC)

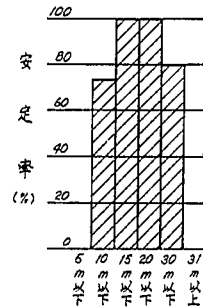
勾配 0.8以下

個数 4 10 5 4 3 2



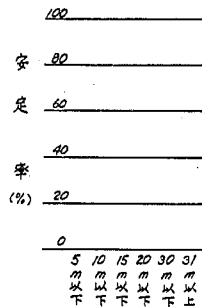
1.0 以下

1 11 13 6 10 0



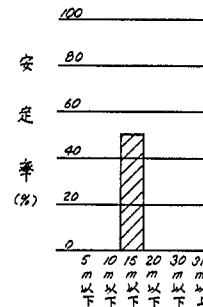
1.2 以下

0 0 1 0 0 0



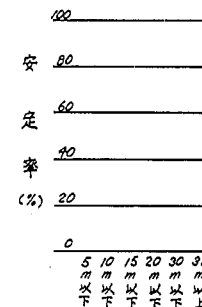
1.5 以下

0 0 2 0 0 0



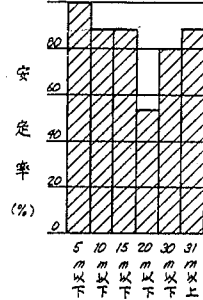
1.51 以上

0 0 0 0 0 0



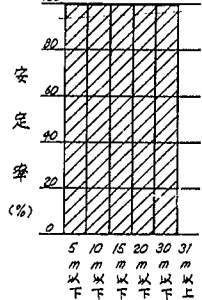
1.0 以下

7 26 26 15 24 8



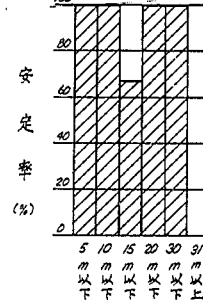
1.2 以下

6 3 5 4 2 1



1.5 以下

2 2 3 4 2 0



1.51 以上

0 2 0 0 1 1

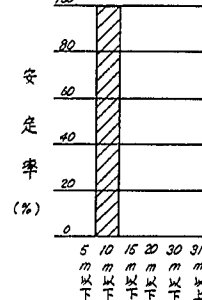
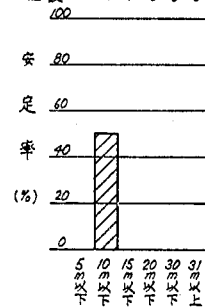


図-3-85 のり勾配とのり高の関係 (その1)

砂 (SW, SP)

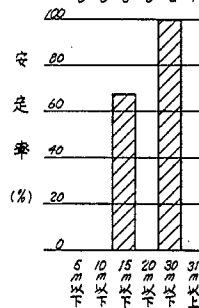
勾配 0.8 以下

個数 0 4 1 0 0 0



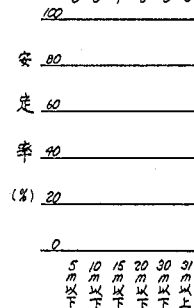
1.0 以下

個数 0 0 3 0 2 1



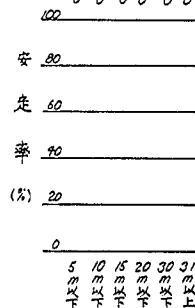
1.2 以下

個数 0 0 1 0 0 0



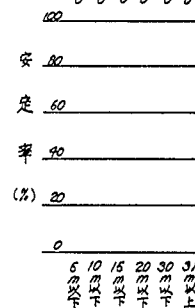
1.5 以下

個数 0 0 0 0 0 0



1.51 以上

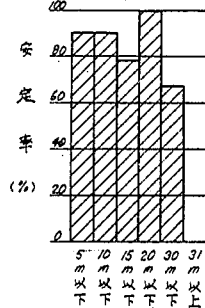
個数 0 0 0 0 0 0



砂質土 (SM, SC)

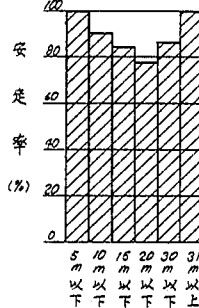
勾配 0.8 以下

個数 10 9 13 4 3 0



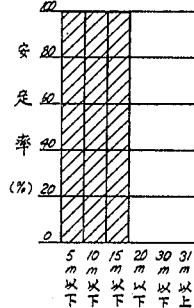
1.0 以下

個数 5 51 43 26 21 6



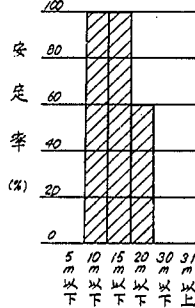
1.2 以下

個数 2 3 2 1 1 0



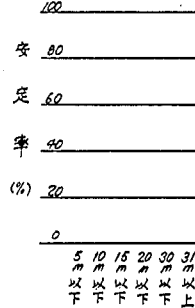
1.5 以下

個数 0 2 3 5 3 0



1.51 以上

個数 0 0 0 1 0 0

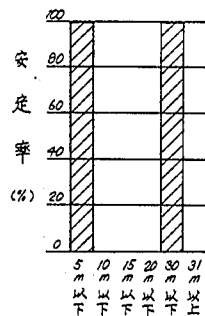


図一三—35 のり勾配とのり高の関係 (その2)

粘質土 (ML, OL, CL)

勾配 0.8以下

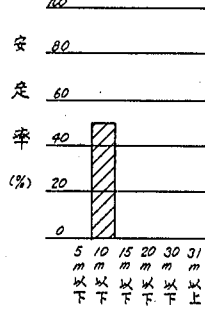
個数 2 1 1 1 2 0



粘土 (MH, CH, OH)

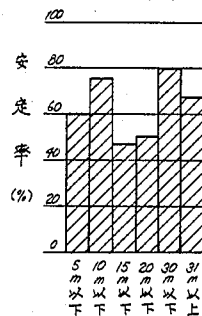
勾配 0.8以下

個数 1 2 5 1 0 0



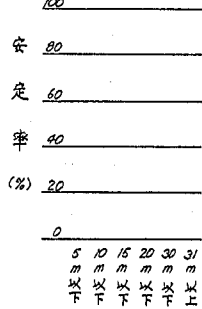
1.0以下

個数 15 8 15 4 5 3



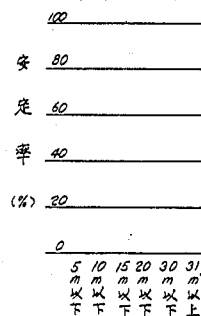
1.0以下

個数 0 1 0 1 0 0



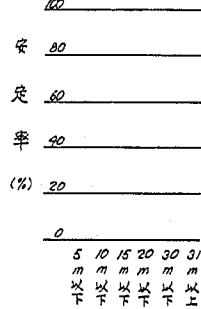
1.2以下

個数 1 1 0 1 0 0



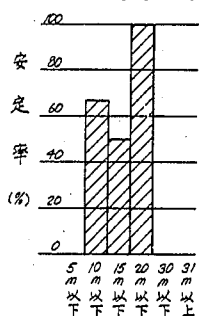
1.2以下

個数 0 1 0 0 0 0



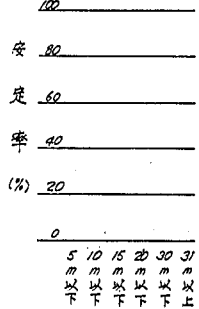
1.5以下

個数 0 3 2 3 1 0



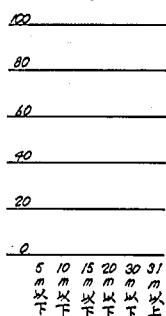
1.5以下

個数 0 1 0 1 1 0



1.5以上

個数 0 0 0 0 0 0



1.5以上

個数 1 0 0 0 0 0

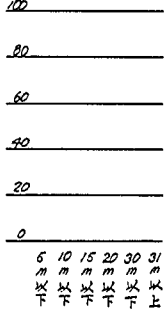


図-3-35 のり勾配とのり高の関係 (その3)

のり高に関係なく安定性は悪い。そのため、レキ質土においては1:0.8以下のり面を切土することとはさけるべきであると考えられる。1:1.1~1:1.5のものについてはのり高が30m程度でも比較的安定しており、レキ質土においては、標準のり勾配によつて仕上げれば、問題はないと考えられる。

砂(SW, SP)ののり面が今回の調査では少なく、全体の1.6%程度である。のり勾配は1:1.0程度のものが多い。

砂質土(SM, SC)ののり面では、のり勾配が1:0.8~1:1.0のものが全体の71%をしめており、そのうちのり高が10m以下のものは安定性は高いが、10mを越えると安定性は少しおちている。また、のり勾配が1:1.1~1:1.5で、のり高が15m以下のものは安定性は高く、標準のり勾配は一応妥当であると考えられる。

粘質土(ML, CL, OL)ののり面は一般に安定性は高いと考えられるが、図-3-23においては全体的に安定性は他の土質に比べて悪くなつてゐる。粘土(MH, OH, CH)についても同様なことがいえる。粘質土および粘土については、のり勾配を検討する必要がある。また、数においては1:0.1ののり勾配のものが圧倒的に多いが、その安定性をみると、レキ質土、砂質土では15mをこえると少し安定性がおちており、また、レキでは20mをこえるとおちている。

そこで、表-3-5の標準のり勾配についてのべると、まず同じ砂質土でも密実なものと密実でないものとの区分は必要であると考えられるが、切土高5m以下と5~10mの区分は必要ないと考えられる。そして、15mをこえる場合は、こう配のうち、ゆるい値のこう配のものを使用するのが良いと考えられる。一応、15m以下の場合、標準のり勾配で切取りを行なえば、のり勾配に関してはよいと考えられる。しかし、のり高が15mをこえる場合および岩と土とからなる混合のり面については検討する必要があると考えられる。

3-2 岩に係するのり面

3-2-1 切土のり面の安定性について

昭和44年度に実施した危険箇所の調査結果では全調査箇所数650箇所のうち岩に係するのり面は60%を占める400箇所、45年度全線調査1,300箇所のうち約65%を占めている。岩石のり面の安定性は土のり面に比べて悪く、44年度調査で約50%、46年度調査で約80%程度安定を保っている。

(1) のり面の現状について

危険箇所および全数調査の結果から、のり面工種の全体的な比率を求めると次のようになる。ただし、代表のり面工種は、同一のり面に2~3のり面保護工種が施工されている場合にはそののり面へ主たるのり面保護工を代表のり面保護工としている。

のり面工種			44年度調査	45年度調査
擁	壁	工	7.5%	8.8%
張	石	工	1.0%	0.5%

張コンクリート工	3.7%	0.5%
モルタル吹付工	32.6%	30.1%
コンクリート砕工	2.2%	1.0%
ブロック張工	2.0%	1.9%
張芝工	0	0.1%
種子吹付工	6.0%	3.7%
植生盤工	0.5%	0.8%
植生穴工	3.0%	0.6%
無処理	18.9%	45.6%
落石防止柵工	11.2%	2.0%
綱工	9.0%	4.1%
その他	1.0%	0.2%

全国的にみると岩石ののり面では無処理が最も多く、モルタル吹付工、擁壁工が多く施工されている。

のり勾配は岩石のり面の場合、 $1:0.3 \sim 1:1.0$ の範囲に大部分入っており、 $1:0.5 \sim 1:0.8$ の勾配が最も多く、 $1:1.2$ 以上の勾配は極めて少なく、 $1:1.0$ 以下の急な勾配の所より安定性は若干高くなっている。のり高は 40 m 以上のものも見られるけれども、各岩石種とも $5 \sim 35\text{ m}$ の範囲に分布しているが、高さ $5 \sim 15\text{ m}$ のものが最も多く、土ののり面に比べてあまり差はないように見えるが、一般的傾向としてのり高は高くなっている。のり勾配とのり高との関係は認められず、ある一つの地域についてはどののり高でもほぼ一定ののり勾配で切土しているようである。

(2) のり面の安定性について

切土のり面は自然地山を切土しているために、地質が複雑であることが多く、また水の状況などによつて安定性の検討を行なわなければならないが、のり勾配、の保護工などは技術者の判断によつて大まかに定められている。ここでは地質、のり勾配、のり高などの個々の項目について安定性を検討した。

昭和45年度に実施した全数調査の結果をまとめるを次のようになる。岩石ののり面の場合、のり面保護工として多く使われているものはモルタル吹付工、擁壁工、植生工、綱工、ブロック張工などであるが、のり面処理として最も多いのは無処理である。これらの工法のうち無処理が最も安定性悪く73名が安定しており、植生工は75%、その他の工種は80%以上安定している。(図-3-42, 43参照)

つぎに、岩石名とのり面の安定性をみてみると、片岩の安定性が予想に反して高く、約95%程度安定している。ついで花崗岩が86%程度安定していて、蛇紋岩を除く他の岩は約70%程度安定している。(図-3-36, 37, 38, 39参照) しかし将来の安定性も考えた判定では片岩の安定性は特に無処理で悪くなっていることを考慮する必要がある。また、片岩と同様に他の岩種におい

保護工種 岩石名	1 擁壁工	2 張石工	3 張コン リート工	4 モルタル 吹付工	5 コンクリート 砕工	6 ブロック工	7 筋芝工	8 張芝工	9 種付 子工	10 植生盤工	11 植生穴工	12 無処理	13 網工	14 落石防止 柵工	15 その他
1 花崗岩	3 			20 		1 			3 		1 	20 	5 	5 	1
2 石英斑岩	3 			15 		1 			7 			4 	1 	4 	2
3 蛇紋岩			1 	3 		1 			1 		1 	1 	1 		
4 流紋岩												1 	1 		
5 安山岩	9 			5 	1 	1 				1 		10 	7 	15 	1
6 凝灰岩	5 		1 	26 	1 	1 		4 			8 	10 	4 	5 	
7 片岩			1 			1 							5 	1 	
8 礫岩・砂岩	9 	1 	2 	24 	2 	1 			9 			10 	6 	2 	
9 頁岩	1 	3 	10 	27 	5 	1 		1 	4 	1 	2 	18 	6 	13 	
10 チャート												2 			

図-3-36 岩石名とのり面保護工 安定性 (44年度)

岩石名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
岩石名	擁壁工	張石工	張コンクリート工	モルタル吹付工	コンクリート枠工	ブロック張工	砕石工	張芝工	種子吹付工	植生盤工	植生穴工	黒処理	網工	落石防止柵工	その他	
花崗岩	1 ○	0	0	14 ○	3 ○	8 ○	0	0	3 ○	0	0	4 ○	7 ○	0	0	
石英斑岩	1 ○	1 ●	0	76 ○	0	0	0	0	10 ○	0	0	44 ○	1 ○	0	0	
蛇紋石	0	0	0	0	0	2 ●	0	0	0	0	0	1 ○	2 ○	0	0	
流紋岩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 ●	0	1 ●	0	0	0	
安山岩	1 ○	0	0	7 ○	1 ○	2 ○	0	0	1 ○	1 ●	3 ○	13 ○	0	2 ○	0	
凝灰岩	0	1 ○	0	12 ○	0	4 ○	0	0	0	0	0	4 ○	1 ○	2 ○	0	
片岩	31 ○	0	3 ○	21 ○	2 ○	0	0	0	0	3 ○	0	186 ○	18 ○	12 ○	0	
礫岩・砂岩	29 ○	1 ○	0	29 ○	0	0	1 ○	0	7 ○	2 ○	0	25 ○	1 ○	1 ○	1 ○	
頁岩	10 ○	1 ○	1 ○	59 ○	1 ○	0	0	0	10 ○	0	1 ○	89 ○	4 ○	0	1 ○	
チャート	0	0	0	0	0	1 ○	0	0	0	0	0	12 ○	0	0	0	
シラス	0 ○	0	0	9 ○	0	10 ○	0	38 ○	1 ○	0	4 ○	11 ○	0	2 ○	0	
不明	0	0	0	33 ○	1 ○	0	0	0	0	0	0	2 ○	0	0	0	

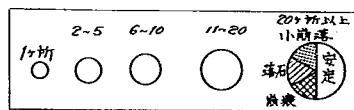


図-3-37 岩石名と法面保護工 安定性 (45年度)

岩 石		合 計				安 定				小 崩 壊				落 石				崩 壊					
		個数	百 分 率 20 40 60 80				個数	百 分 率 20 40 60 80				個数	百 分 率 20 40 60 80				個数	百 分 率 20 40 60 80					
石 名	花 崗 岩	60					27					11				18				4			
	石 英 斑 岩	37					18					10				6				3			
	蛇 紋 岩	9					7					1				1				0			
	流 紋 岩	2					0					1				1				0			
	安 山 岩	50					24					7				16				3			
	凝 灰 岩	65					37					13				12				3			
	片 岩	8					4					4				0				0			
	礫 岩 , 砂 岩	66					27					24				4				11			
	頁 岩	102					57					28				11				6			
	チ ャ ー ト	2					0					1				1				0			
	合 計	401					201																
岩 分 類	軟 岩 (Ⅰ)	122					45					48				18				11			
	軟 岩 (Ⅱ)	135					75					33				17				10			
	中 硬 岩	63					31					12				15				5			
	硬 岩 (Ⅰ)	61					38					3				17				3			
	硬 岩 (Ⅱ)	11					1					4				6				0			
		合 計	392																				

図一3-38 岩石名および岩分類とのり面の安定性（44年度）

岩 石		合 計				安 定				小 崩 壊				落 石				崩 壊			
		個数	20	40	60 80	個数	20	40	60 80	個数	20	40	60 80	個数	20	40	60 80	個数	20	40	60 80
岩 名	I) 花 崗 岩	43				37				3								3			
	II) 石 英 斑 岩	134				97				2				34				1			
	III) 蛇 紋 岩	5				3				0				0				2			
	IV) 流 紋 岩	6				0				0				2				4			
	V) 安 山 岩	31				22				6				3				0			
	VI) 凝 灰 岩	27				19				5				3				0			
	VII) 片 岩	274				262				6				0				6			
	VIII) 砂 岩	97				72				16				2				7			
	IX) 頁 岩	176				113				17				42				4			
	X) チャート	5				5				0				0				0			
	XI) シラス	82				65				16				0				1			
	XII) 不 明	22				22				0				0				0			
合 計		903																			
	a) 軟 岩 I	87				63				11				10				3			
	b) 軟 岩 II	282				207				35				27				13			
	c) 中 硬 岩	196				163				2				31				0			
	d) 硬 岩 I	187				167				7				11				2			
	e) 硬 岩 II	19				12				0				4				3			
	合 計		771																		

図一3-39 岩石名および岩分類とのり面の安定性（45年度）

ても無処理の判定は悪くなつており、何らかの保護工を施工すべきだと思われる。

岩石のり面の場合、のり勾配は $1:1.0$ 以下で切土されていると考えて良さそうである。 $1:1.2$ 以下ののり勾配が安定性が高く、約80%程度安定しており、 $1:1.2$ より緩いのり勾配では安定性は悪くなっている。 $1:1.2$ より緩いのり勾配での安定性が悪いのは地質状態が悪く、 $1:1.2$ 以上ののり勾配で切土しても安定が保てないことによるものと考えられる。(図-3-40, 41参照)

のり高は土のり面に比べて高く、のり高40mを越すものも少なくない。しかし一般にはのり高20m~25m以下で切土されているようである。岩石のり面の場合のり高が高いからといって不安定であるということは少ないが、ある岩種のある保護工におけるのり面ではある一定の高さ以上になると急激に不安定性が増加する傾向がある。例えば花崗岩でモルタル吹付工の場合、のり高15~20m以上になると落石崩壊が多くなる。

(3) のり面工種の安定性について

のり面の安定性を検討するためには、のり面の地質、土質、のり高、のり勾配、のり面の湧水の状況などに応じてのり面保護工が決定されるので、ここではのり面保護工をのり面の持つ各種要因についてその安定性を検討した。ここでは昭和44年度、45年度調査をあわせて検討している。

① 擁壁工

高さ1~2mの腰擁壁を除く擁壁工の調査箇所数は109箇所である。擁壁工の安定性は極めて高く、倒壊したものはない。しかし、擁壁工は地質条件の悪い所に施工されるために、擁壁工上部ののり面(比較的無処理又は植生工の箇所が多い)が小崩落、落石している例が多く、全体として見れば不安定となつている。とくに安定性の悪い花崗岩、石英斑岩、レキ岩、砂石の場合、崩落は無処理部分で生じている。

また、擁壁工天端に落石防止柵工の施工(特に高さ1~2mの腰擁壁に多い)が多いが、擁壁工上部からの崩落土を受けとめるために有効な工法であると考えられる。

② 張石工

調査箇所数は8箇所であるが、高さ1~2mのコンクリート擁壁の腰擁壁を同様の考え方のものを入れると数はもつと多い。高さ数m以上の張石工はのり勾配も $1:0.8 \sim 1:1.0$ とゆるく安定した工法である。

③ 張コンクリート工

調査箇所数は19箇所である。張コンクリート工も擁壁工と同様に、地質条件の悪い所で施工されているためか安定性は悪くなっている。しかし、擁壁工と同様に張コンクリート工自体には問題は少なく、張コンクリート工上部ののり面又はその周辺部において崩落している例が殆んどである。また一部には張コンクリート工の袖部の岩が崩落しているのが見られる。

④ モルタル吹付工

調査箇所数は391箇所、岩石のり面保護工として、無処理を除いて、最もよく用いられている工法である。昭和44年度の危険箇所調査では比較的安定性は悪く、小崩落、落石、崩壊ともが多い

岩 石		合 計				安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊			
		個数	百 分 率				個数	百 分 率				個数	百 分 率				個数	百 分 率			
勾配	1:0.3以下	75					32					12					25				
	1:0.35~1:0.55	106					58					28					11				
	1:0.60~1:0.75	42					19					14					7				
	1:0.80~1:0.95	24					9					6					7				
	1:1.0	41					22					9					8				
	1:1.1~1:1.2	2					1					0					1				
	1:1.3~1:1.4	4					3					0					1				
	1:1.5以上	7					3					1					0				
合 計		301																			
の高り	0 ~ 5m	15					10					1					2				
	5 ~ 10m	55					23					13					16				
	10 ~ 15m	78					39					17					14				
	15 ~ 20m	60					31					15					9				
	20 ~ 30m	70					34					17					11				
	30m 以上	41					18					8					14				
合 計		319																			

図-3-40 のり面の勾配およびのり高とのり面の安定性(44年度)

岩 石		合 計				安 定				小崩壊				落 石				崩 壊			
		個数	%				個数	%				個数	%				個数	%			
勾配	1:0.3以下	219					178					25					15				
	1:0.5	273					209					28					31				
	1:0.8	287					233					15					32				
	1:1.0	188					153					7					17				
	1:1.2	18					15					3					0				
	1:1.5	8					5					0					1				
	1:2.0以上	7					4					2					6				
合 計		1000					797					80					96				
の高り	0 ~ 5m	131					115					9					4				
	5 ~ 10m	245					210					22					10				
	10 ~ 15m	215					162					20					29				
	15 ~ 20m	154					127					13					9				
	20 ~ 25m	103					79					7					12				
	25 ~ 30m	51					34					6					8				
	30 ~ 35m	32					22					2					7				
	35 ~ 40m	15					9					5					1				
	40m 以上	47					39										6				
合 計		993					797					84					86				

図-3-41 のり面の勾配およびのり高とのり面の安定性(45年度)

岩 石	合 計				安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊			
	個数	百 分 率 20 40 60 80				個数	百 分 率 20 40 60 80				個数	百 分 率 20 40 60 80				個数	百 分 率 20 40 60 80			
の り 面 保 護 工	擁 壁 工	30				15				8			5			2				
	張 石 工	4				4				0			0			0				
	張コンクリート工	15				8				4			0			3				
	モルタル吹付工	131				89				27			8			7				
	コンクリート枠工	9				5				2			0			2				
	ブロック張工	8				8				0			0			0				
	筋 芝 工	0				0				0			0			0				
	張 芝 工	5				3				0			0			2				
	種子吹付工	24				9				11			1			3				
	植 生 盤 工	2				0				1			1			0				
	植 生 穴 工	12				9				2			1			0				
	無 処 理	76				15				23			29			8				
	網 工	36				16				10			10			0				
	落石防止柵工	45				16				12			14			3				
	そ の 他	4				3				0			1			0				
	合 計	401																		

図-3-42 岩石のり面の保護工とのり面の安定性(44年度)

岩 石	合 計					安 定					小 崩 落					落 石					崩 壊				
	個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80
の り 面 保 護 工	擁 壁 工	73				58					7					5					3				
	張 石 工	4				3					1					0					0				
	張コンクリート工	4				3					1					0					0				
	モルタル吹付工	251				233					11					6					1				
	コンクリート枠工	8				4					3					0					1				
	ブロック張工	16				15					0					0					1				
	筋 芝 工	1				1					0					0					0				
	張 芝 工	0				0					0					0					0				
	種子吹付工	31				25					2					4					0				
	植 生 盤 工	7				3					2					1					1				
	植 生 穴 工	5				4					0					0					1				
	無 処 理	380				279					24					64					13				
	網 工	34				30					3					1					0				
	落石防止柵工	17				14					1					1					1				
	そ の 他	2				1					0					1					0				
	合 計	833																							

図-3-43 岩石のり面の保護工とのり面の安定性(45年度)

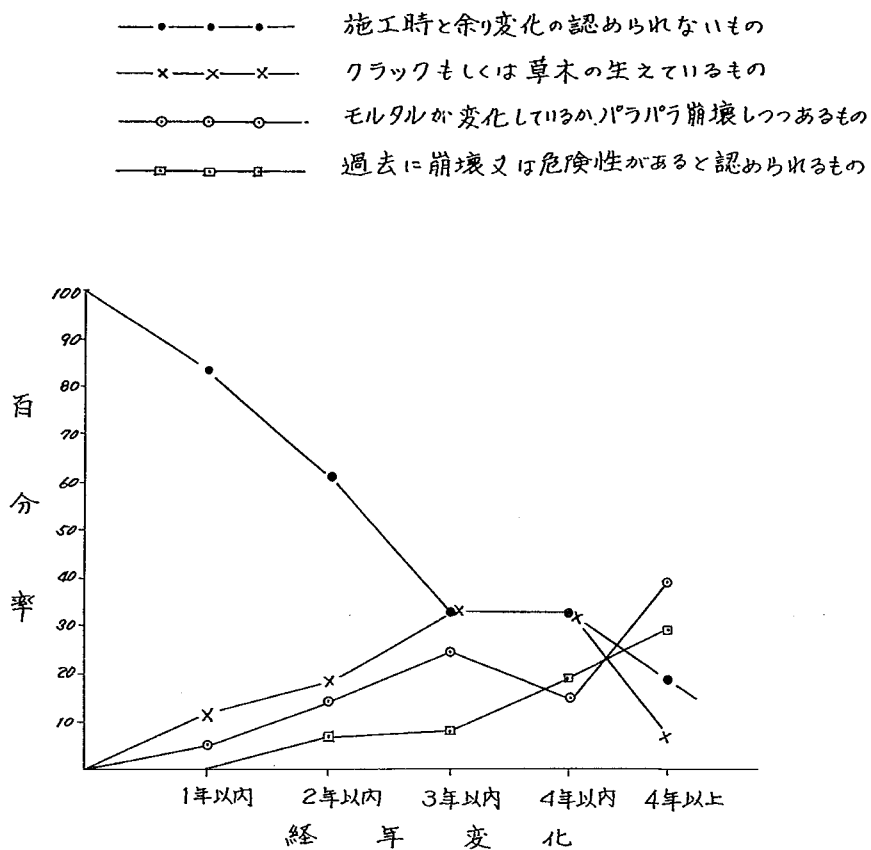


図-3-4-4 モルタルの安定性と経年変化の関係

が、昭和45年度の全数調査では凝灰岩への適用個所を除いて比較的安定性は良い。

調査した個所のモルタル吹付工は一般にモルタル吹付工の初期の段階に施行されているためか崩落した例が多い。モルタル吹付工の崩壊の例としては、一般にのり勾配が1:0.3~1:0.8と急勾配の個所、吹付厚が3~5cmとうすい個所、さらにマサ土のような風化岩に施工しているためにモルタルと岩との密着が悪い個所などにおいて剝離崩壊している。

一般に割目間隔も広く、割目程度も良い硬岩においてはモルタル吹付工は有効であり、さらに吹付厚さが厚く、鉄網入りの吹付は風化岩に適用した例を除けば安定しており、今後とも岩石の風化の進行を抑えるという点では有効な工法であるが、片面吹付後岩の状態を確認できないという欠点があり、また吹付厚の薄いものは施工後数年経過するとモルタルにクラックが入り、吹付の効果は低くなる。(図-3-44参照)。

⑤ コンクリート枠工

調査個所数は16個所である。コンクリート枠工は花崗岩、砂岩、レキ岩、頁岩などの中硬岩以下の軟岩に適用され、湧水などのある安定性に問題のある個所に施行されている。したがってコンクリート枠工の安定性は悪く小崩落、崩壊のり面数が多い。しかしコンクリート枠工は地質の悪い個所で施工し、積極的に安定を図るための工法であり、切土勾配を1:1.0以上にゆるくすると、枠内の処理を石詰め、コンクリート張など適切に選択すれば有効な工法と考えられる。

また、関東ローム、崖錐層などの軟岩又は土砂において、表面水などによる浸食を受け易いのり面の洗掘防止を図るために、のり面に数段コンクリート枠工を施工することはのり面の安定を保つ上に有効な工法と思われる。

⑥ ブロック張工

調査個所数35個所である。ブロック張工はこの外高さ1~2mの腰擁壁として施工されたものが数多くあり、またのり勾配が1:0.5などと急なものもあり、さらにコンクリート枠工にブロック張を施工している例も多い。ここでブロック張工はのり勾配1:0.8~1:1.0以上、のり高約5m以上のものを取扱っている。

ブロック張工は張コンクリート工、張石工などを同様に安定な工法と思われる。蛇紋岩、シラスにおいて崩壊例が見られるが、他工法と同様にブロック張工自体は安定しており、崩壊は全てブロック張工上部の無処理のり面の崩壊であり、工法としての問題は水処理を除いては比較的少ない。

⑦ 植生工

筋芝工、張芝工、種子吹付工、植生盤工、および植生穴工を一括して植生工と呼ぶ。調査個所数は122個所であるが、擁壁工、コンクリート張工などの上部に施工されているもの、コンクリート枠内処理として施工されているものなどを含めると植生工は岩石のり面の半数近くに施工されている。植生工は花崗岩、石英斑岩、凝灰岩、レキ岩、砂岩、頁岩およびシラスによく施工され、張芝工、種子吹付工および植生穴工がよく施工されている。

植生工はその適用が土壌硬度、保水性、養分などの関係から土に適用されるのが一般的で、岩の場

合にもほと軟岩Ⅰ、軟岩Ⅱに施工されていることが多い。一部中硬岩にも適用されているが、その大部分は植生穴工であり、軟岩Ⅰ、Ⅱのように張芝、種子吹付工は施工されていない。

岩に対する植生工は一般に安定性悪く、小崩落、落石、崩壊ともに多い。この理由としては土壌が硬く根が張らない、のり勾配が急なため種子吹付け工などにおいては種子が流亡する、保水性が悪くまた養分も少ないために成育が悪く裸地ができ易いなどが考えられ、今後岩ののり面に対して適用する場合には十分これらのことを考慮して行なうべきである。

⑧ 無処理

調査箇所数464箇所、岩石のり面ののり面処理としては最も多い。また擁壁工などの構築物、モルタル吹付工、植生工など他工法が施工してあるのり面の一部が無処理である所を含めるとその数はもつと多い。安定性は何らかの保護工が施工してある個所に比べて悪く、小崩落、落石、崩壊共に極めて多い。特に擁壁工、張コンクリート工など構築物を施工しているのり面で、不安定なり面とされているものは大部分その工法の上部の無処理部分が崩落しているものであり、それらを考慮すると岩石のり面の崩落の相当数は無処理に起因している。(図-3-49参照)。したがって、のり面を無処理のまま放置しておく場合は十分な検討を行なう必要があり、もし無処理で放置しておく場合は網工または落石防止柵工などを施工し、崩落が生じても路面に直接被害を与えないようにすることが肝要である。

⑨ 網工、落石防止柵工

網工、落石防止柵工は他の保護工とはその目的が違い、他の工法が積極的にのり面の安定を図ろうとするのに対して、網工、落石防止柵工は落石、小崩落などが発生しても直接道路交通に支障を与えないとする工法である。

網工の調査のり面数は70箇所、落石防止柵工74箇所である。網工、落石防止柵工の施工は無処理箇所が大半であり、落石、小崩落は施工当初からある程度その発生が予測されているところから、落石、小崩落ともに多いが、路面へ直接被害を与えている例は少ないようである。しかし、のり面の崩壊が数十mに及ぶような崩壊に対してはこれらの工法では崩落土を防ぐことができなく、また巨岩の落石に対しても効果はない。したがって、このような崩壊、落石の発生が予測される個所では擁壁工、落石覆工などの構築物による保護を考える必要がある。

(4) 割目の状態と安定性の関係

岩石のり面の安定は岩の硬さ、風化程度すなわち岩の材料としての強度にも大きく左右されるが、岩の中にある節理などの割れ目もその安定に重要な意味を持つていると考えられる。例えば、岩石の割目が流れ盤か受け盤か、割目の間隔はどの程度か、割目は開口しているか密着しているかなどによつて、切土勾配も保護工種も変えなければその安定性は保てないし、割目の開口の程度によつて落石、小崩落の発生頻度も異なってくる。

岩の割目を成因別に大別するとは3つに大別される。才Ⅰに節理である。節理をさらに分類すると一つは岩自体の初生的に持つている節理で、花崗岩の方状節理、安山岩、玄武岩の板状、柱状節理

などがそれである。次に岩生成後に地殻変動などの構造運動によつてできた節理で、ある地域にはある特定の方向を示すことが多く、節理面の走向傾斜を調査することによつて大きな構造変化を知ることができる。最後に、岩の風化が進み、岩の中の微少な、潜在的な節理が現われたもので、方向の一定しない無数の節理群である。

才2に、堆積岩、変成岩にある層理、片理である。層理は堆積岩の堆積面で、頁岩や砂岩頁岩互層などで顕著に見られる。片理は片岩において顕著に見られ、構造運動によつてできたものである。したがつて、その岩石が受けた構造運動の回数によつて、一方向またはそれ以上存在し、片岩の崩壊時の滑面となることが多い。

才3に、断層とくに小断層である。一般に破砕巾が数 m 以上ある断層を除いて、破砕巾が数十 cm 以下の小断層は数多くあり、それらの断層破砕帯では水みちとなつて湧水することも多く、強度も低いためのり面の安定に対し大きな要因となつてゐる。

のり面の安定を検討する場合には、この割目が節理、層理・片理または小断層のいずれかであるか、その方向性、発生頻度（間隔）などを調査して行なう必要があるが、ここでは調査内容から、割目の程度（密着しているか、または開口しているか）、割目の間隔（間隔が広い、または狭いか）だけに着目して、のり面の安定を検討した。また、ここでは特に割目の多い花崗岩、石英斑岩・流紋岩・安山岩、および片岩についてのみ検討している。割目の程度および間隔については表-3-7を参照のこと。

① 花崗岩

花崗岩の場合、モルタル吹付工は割目程度がⅠ（割目が密着している）・Ⅱ（開口が認められるが密着に近い）、および割目間隔 a （割目間隔20 cm 以上）の場合に安定性が高く、割目程度がⅢ（割目にそつて風化しているか、約5 cm の開口がある）・Ⅳ（約10 cm 以上の開口がある）および割目間隔 $b \cdot c \cdot d$ （割目間隔20 cm 以下）の場合は落石、小崩落が多く、安定性は悪くなつてゐる。

花崗岩のコンクリート枠工、ブロック張工は施工箇所数が少ないので明確ではないが、割目の程度、間隔に関係なく、はゞ安定している。

植生工は割目程度Ⅰ、割目間隔 a, b の岩において安定しているが、割目程度がⅡ、Ⅲ、Ⅳ、割目間隔 d, c になるに従つて安定性は悪くなる。この理由は風化の著しい花崗岩はマサとなり、割目が不明瞭になつて判定が困難になることによるものであろう。植生工を施工する場合には、1:0.5~1:0.8のような急勾配ののり面も見られるが、芝の成育のり面の安定などの点から1:1.0以上の必要がある。

無処理は割目程度、割目間隔に関係なく不安定であり、とくに小崩落、落石が多く見られる。

② 石英斑岩、流紋岩、安山岩

石英斑岩、流紋岩、安山岩に適用したモルタル吹付工は比較的安定している。この理由は割目間隔が比較的広く、堅岩であるためにモルタル吹付の効果がよく出ているものと考えられる。

無処理は落石、小崩落が多く、不安定である。ただし、割目程度Ⅰの岩でのり高が比較的低い（約

表一 3 - 6 岩石名分類表

	岩石グループ名	グループに含まれる岩石名
1	花 崗 岩	花崗岩, 花崗閃緑岩, 石英閃緑岩, 閃緑岩, モンゾニ岩, ベグマタイト, 片麻岩
2	石 英 斑 岩	石英斑岩, 花崗斑岩, 玢岩, アプライト
3	蛇 紋 岩	蛇紋岩, 斑斕岩, 輝緑岩, 輝緑玢岩, 角閃岩, かんらん岩, 輝緑凝灰岩 (ジャールスタイン)
4	流 紋 岩	流紋岩 (石英粗面岩), 石英安山岩
5	安 山 岩	安山岩, 玄武岩, 粗粒玄武岩, 粗面岩, 熔結凝灰岩, 変朽安山岩 (スビライト)
6	凝 灰 岩	凝灰岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩, 火山角礫岩, 集塊岩
7	片 岩	片岩 (結晶片岩), 黒色片岩, 緑色片岩, ホルンフェルス
8	砂 岩	砂岩, 礫岩, 角礫岩, 石灰岩
9	頁 岩	頁岩, 粘板岩, 泥岩, シルト岩
10	チャート	チャート, 珪岩
11	シラス	シラス
12	不 明	記載のないもの

表一 3 - 7 岩石の割れ目の分類

割れ目程度

I	ほとんど密着している。
II	開口が認められるが密着に近い。 切取のり面で流れ盤でも滑落は生じない。
III	割れ目によって風化し, あるいは約 5 cm の開口があり, 割れ目から崩落しやすい。流れ盤の場合滑落しやすい。
IV	約 10 cm 以上の開口がある。あるいは, そのような開口に風化土がつかまっている。

割れ目間隔

a	20 cm 以上	c	5 ~ 10 cm
b	10 ~ 20 cm	d	5 cm 以下

岩 石		合 計				安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊			
		個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80
割 れ 目 程 度	(I) ほとんど密着	85					59					10					7				
	(II) 開口が認められる が既ぬき着に近い	119					55					35					25				
	(III) 約5cmの開口がある	145					55					43					34				
	(IV) 約10cmの開口が ある	38					26					9					1				
	合 計	387																			
割 れ 目 間 隔	a) 20 cm 以上	97					55					16					24				
	b) 10~20cm	63					24					15					13				
	c) 5~10cm	64					21					18					20				
	d) 5 cm 以下	135					66					49					10				
	合 計	359																			

図-3-45 岩石の割れ目程度および間隔ととり面の安定性

岩 石		合 計				安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊			
		個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80	個数	20	40	60	80
割 れ 目 程 度	I) ほとんど密着	276					247					22					1				
	II) 開口が認められる が既ぬき着に近い	256					184					9					55				
	III) 約5cmの開口がある	98					54					19					19				
	IV) 約10cmの開口がある	24					16					0					7				
	合 計	654																			
割 れ 目 間 隔	a) 20cm 以上	184					141					25					9				
	b) 10~20cm	59					33					9					14				
	c) 5~10cm	94					58					4					17				
	d) 5cm 以下	327					268					11					42				
	合 計	664																			

図-3-46 岩石の割れ目程度および間隔ととり面の安定性

(1) 岩分類

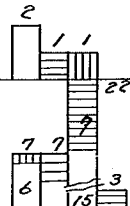
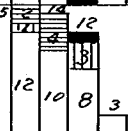
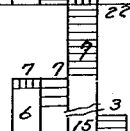
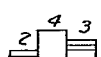
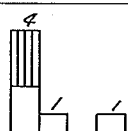
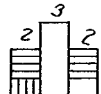
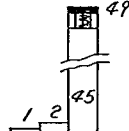
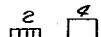
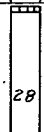
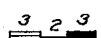
岩石名	割小目程度 I	II	III	IV
花崗岩				
石灰岩				
蛇紋岩				
凝灰岩				
片岩				
礫岩 砂岩 頁岩				
チャート				
シラス				凡例
その他				数字は何数を示す データは昭和45年 度調査による。
	a b c d 割小目間隔	a b c d	a b c d	a b c d

図-3-47 岩石種毎の岩分類毎の割目の状態と安定性の関係

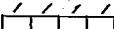
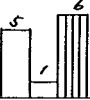
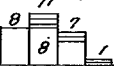
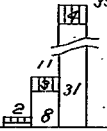
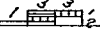
(2) 岩分類Ⅱ

岩石名	割水目程度 I	II	III	IV
花崗岩				
石英斑岩 斑岩				
蛇紋岩				
凝灰岩				
片岩				
礫岩 砂岩 頁岩				
チャート				
シラス				
その他				
	a b c d 割水目間隔	a b c d	a b c d	a b c d

(3) 岩分類Ⅲ

岩石名	割目程度 I	II	III	IV
花崗岩				
石炭岩 英斑岩 蛇紋岩				
蛇紋岩				
凝灰岩				
片岩				
礫岩 砂岩 頁岩				
チャート				
シラス				
その他				
	a b c d 割目目間隔	a b c d	a b c d	a b c d

(4) 岩分類 IV

岩石名	割れ目程度 I	II	III	IV	
花崗岩					
石灰岩 砂岩 頁岩					
蛇紋岩					
凝灰岩					
片岩					
礫岩 砂岩 頁岩					
チャート					
シラス					
その他					
	abcd 割れ目間隔	abcd	abcd	abcd	

(5) 岩分類 V

岩石名	割れ目程度 I	II	III	IV	
花崗岩					
石英斑岩 流紋岩 安山岩			1 		
蛇紋岩					
凝灰岩		2 			
片岩	2 	1 			
礫岩 砂岩 頁岩			1 		
チャート	2  5 	5  1 			
シラス					
その他					
abcd 割れ目間隔 abcd abcd abcd					

10 cm以下)場合にのみ安定なり面が多い。この場合のり勾配は1:0.8以上のゆるい勾配である必要がある。

③ 片岩

今回の調査では張コンクリート工、モルタル吹付工ともに割目に関係なくほど安定している。この理由としては、今回の調査で片岩はほど四国に集中しており、岩の状態(モルタル吹付工の場合、岩分類軟岩Ⅱ以上にしか施工されていない)をよく考慮して施工してあるためだと考えられる。

片岩の無処理は岩の割目の状態に関係なく、極めて不安定であり、小崩落、落石、崩壊ともに多い。

3-2-3 岩石のり面の崩壊などに対する検討

岩石が堅硬、無節理、無層理であるならば、切土されたり面は垂直であつても相当のり高でも極めて安定である。しかし、岩石には節理、層理などの割目、断層破碎帯などがあり、風化によつてその固結度、堅硬さも変化してくる。さらに岩生成後、火成岩の貫入または地殻変動によつて変質、脆弱化し、それらによつて岩の強度は低下し、切土した場合安定性は悪くなり、とくに3-1-2の項で述べたような個所において切土するとのり面は不安定になることが多い。岩石はその固結度、風化の仕方、割目の状態など各岩種によつてそれぞれ特徴があり、それにしたがつて起り得る崩壊の形態は異なつてくる。

岩のり面の崩壊の原因は種々考えられるが、ここでは岩のり面の主たる崩壊原因と考えられる次の9の原因を考えた。

①無処理 ②急勾配 ③節理面より風化 ④表面流水(降雨による) ⑤モルタル吹付が薄い、または悪い。 ⑥地すべり性 ⑦浮石の落石 ⑧その他 ⑨不明

岩石のり面の崩壊が無処理部分で生じている場合は無処理にしている。急勾配とは調査表を検討し、岩の状態、保護工の種類から考えて、急勾配と判断された場合である。節理面より風化とは、調査表の崩壊原因の欄に節理面より風化と記してある場合で、および節理が極めて発達し、施工時より相当の時間が経過して明らかに節理面が風化していると判断された場合である。表面流水とは崩壊前にかなりの降雨があつた場合である。モルタル吹付が薄い又は悪いとは、モルタル吹付の厚さが3~5 cmで鉄網入りでない場合、および風化岩などに適用して明らかにモルタル吹付工が有効でないと判断される場合である。地すべり性とは調査表より判断して明らかに地すべり性崩壊と認められる場合である。浮石による落石とは風化岩を切土して玉石状の堅岩が浮石として残り、それが崩落した場合である。

のり面の崩壊は単一の原因で発生することは少なく、いくつかの要因が重なつて不安定となり、それがあるきつかけによつて発生するものと考えられる。例えば、浮石のあるり面が無処理であつて、それが豪雨時に落石となつて崩落した場合である。したがつて、ここでは崩落の原因となつていてと考えられる全てについて、それぞれの原因に加算している。したがつて各崩壊原因の絶対数は必ずしも崩壊数そのものを示してはいない。またここでは昭和44年度調査については各調査表についてさらにその崩壊原因について検討したが、昭和45年度の全数調査では各調査表に記入してあるものの

みを取りあげている。したがって昭和44年度と45年度の調査結果を同一に見なすことはできない。

各岩石種に対する崩壊原因を検討する前に各岩石種ごとに岩の割れ目と岩分類の判定との関係についてべる。岩分類(軟岩Ⅰ, 軟岩Ⅱ, 中硬岩, 硬岩Ⅰ, 硬岩Ⅱ)の判定は, 最近機械掘削が主となってきたところから, サイズモグラフ, リッパーマーターなどと呼ばれる簡易弾性波試験機による弾性波試験やボーリングコアによる一軸圧縮強度などにより求められることがある。しかし, それらは大規模あるいは安定に問題のあるのり面についてのみ実施されることが多く, 一般ののり面では従来どりの目で見えて判定するとか, 路線調査のボーリングにより判定しているのが現実である。そこで割目の状態が岩分類にどのように反映されているかを調べたのが図-8-48である。各岩石種をも顕著な傾向は見られないが, おおまかに云つて次のような傾向がある。ただし, 蛇紋岩, チャートは数が少なく不明であり, シラスは割目とはあまり関係ないので割愛する。

① 花崗岩

花崗岩の風化には, 風化が進むにしたがつて順次マサ化していくものと, 節理が発達し, その節理面より順次風化し玉石状に堅岩が残る2種類ある。したがって, 岩分類Ⅰ, Ⅱは割目間隔が狭く, 割目程度の悪いものと, 割目の不明瞭な割目程度Ⅰ, 割目間隔a, bのものの両極端にある。中硬岩より硬いものは割目程度Ⅱ, Ⅲ, 割目間隔b, cを中心として存する。

② 石英斑岩, 流紋岩, 安山岩

石英斑岩, 流紋岩, 安山岩は岩の性質が類似しているため, ここでは一緒に取扱う。

石英斑岩, 流紋岩, 安山岩などは方状, 柱状, 板状の節理が発達するが, 緻密, 堅硬であり岩片としての強度は高く, またそれからの風化の仕方が割目にそつて細片化しレキ状になるものと, 割目にそつて堅岩より急に土壌化するものがある。したがって岩分類は割目間隔によつて大きく影響されている。すなわち, 割目間隔の狭いものほど軟岩であり, 広いものほど硬岩に判定されている。安定性も割目間隔に関係があり, 間隔の狭いものほど崩壊, 落石が多い。岩分類と割れ目の要素はかなり一致する。

③ 凝灰岩

ここでいう凝灰岩は凝灰岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩, 火山角礫岩, 集塊岩などを含んでいる。したがって, 大まかに言つて凝灰岩には岩だけののり面と土としての性質の強いマトリックス(基質)中に堅岩があるのり面の2種がある。しかし, 全体的に見てみると, 凝灰岩は割目程度Ⅳ, 割目間隔dに評価されているものはほとんど軟岩Ⅰ, もしくはⅡと評価されている。また割目程度と間隔が良くなるに従つて硬岩に評価される傾向にある。割目の要素と岩分類は若干一致する。

④ 片岩

片岩は過去に強い強い構造運動を受けているために片理が発達し, そのため異方性が強く, 扁平な割れ方をする。また変成作用のために著しく破碎された所があり, 強い風化作用を受けている所がある。これらの理由のために片理面より細片化し, したがって割目間隔はdおよびcに集中する傾向がある。また細片化しているために割目程度はⅠまたはⅡに集中する傾向にある。岩分類と割目との間

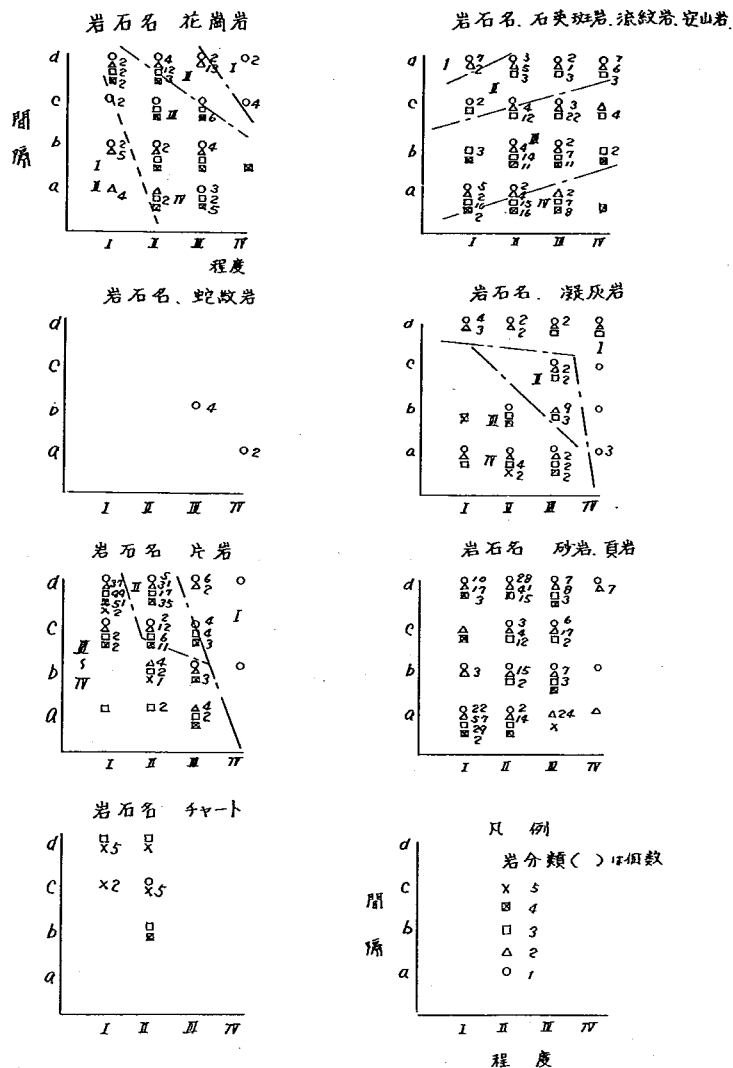


図-3-48 岩分類と割目の関係

には明瞭な対応性はない。

安定性は岩分類が軟岩より硬岩になるにしたがい、崩壊より小崩壊になる傾向にある。

⑤ レキ岩, 砂岩, 頁岩(泥岩)

レキ岩, 砂岩, 頁岩(泥岩)などの堆積岩はのり面に関して検討する場合, それらが互層になっていたり, 明瞭に区別できない場合が多いので一括して取扱う。のり面に出てくる堆積岩類は比較的新しい才三紀層の切土が多く, また比較的古い時代の堆積岩類は地殻変動のために乱され, 細片化しているためには割目に関係なく軟岩ⅠまたはⅡに評価されている。割目の要素と岩分類は関係ない。

次に各岩石種に対する崩壊に対して検討を加える。崩壊原因などについては前述のとおりである
(表-3-8, 9および図-3-49, 50参照)

① 花崗岩

花崗岩は風化するとマサ化したり、マサの中に堅岩が玉石状に残っており、また割目は方状の節理が発達している。

花崗岩の崩壊は軟岩Ⅰに属するものは無処理部分、植生工またはモルタル吹付部分の小崩落が多い。崩壊の原因としては降雨による表面流水が最も多く、風化、および凍結融解がそれに続いている。すなわち、無処理部分または植生工部分の風化が進行し、降雨や凍結融解によつて表層剝離などの小崩壊を起すものと思われる。崩壊後の対策工法としては擁壁、落石防止柵、モルタルの再吹付、植生工(種子吹付)などが施工されているが、いずれもほど安定しているようである。

軟岩Ⅱより堅硬な岩は落石が多い。落石の大半は無処理の個所で生じており、モルタル吹付工施工個所に1個所生じているのみである。落石の多い原因としては岩が堅く、節理が方状に発達しているために風化によつて節理が開口し、落石するものと思われる。落石後の対策工としては落石防止柵および網工を施工し、ほど安定している。

崩壊の数は少なく、無処理およびモルタル吹付施工部で発生している。崩壊原因は豪雨によるものが多く、モルタル吹付の崩壊は寒冷地の凍結融解によるものである。崩壊後再切土およびモルタル吹付を施工し、その後変化はないようである。寒冷地におけるモルタル吹付は凍結融解による影響が大きいため、施工にあたっては十分検討する必要がある。

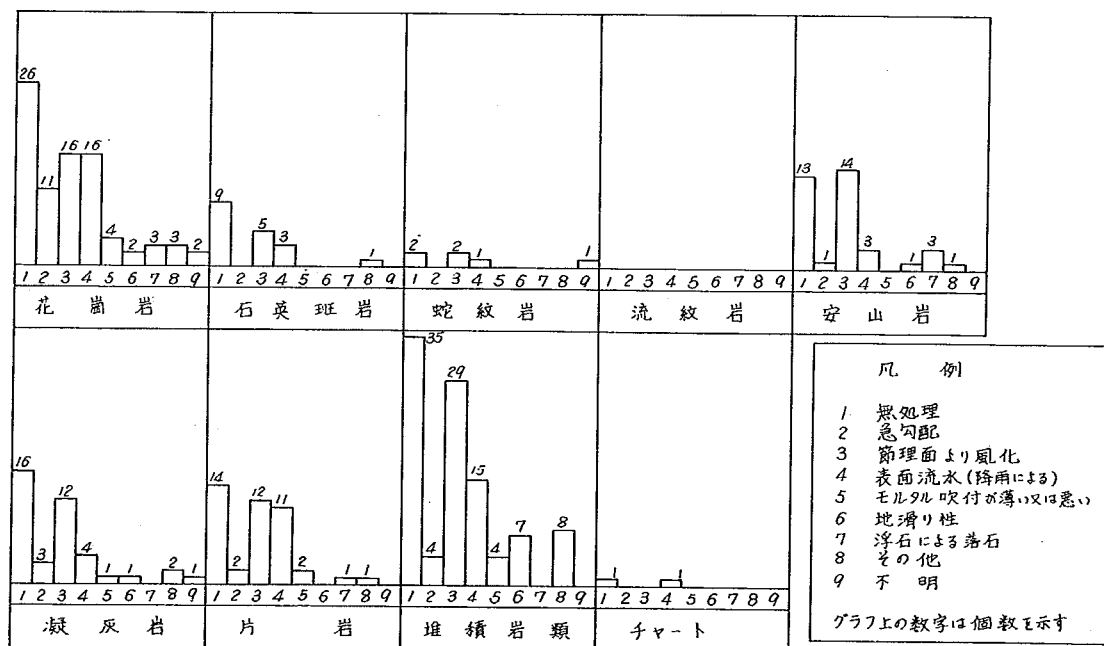


図-3-49 岩石種ごとの崩壊原因(44年度分)

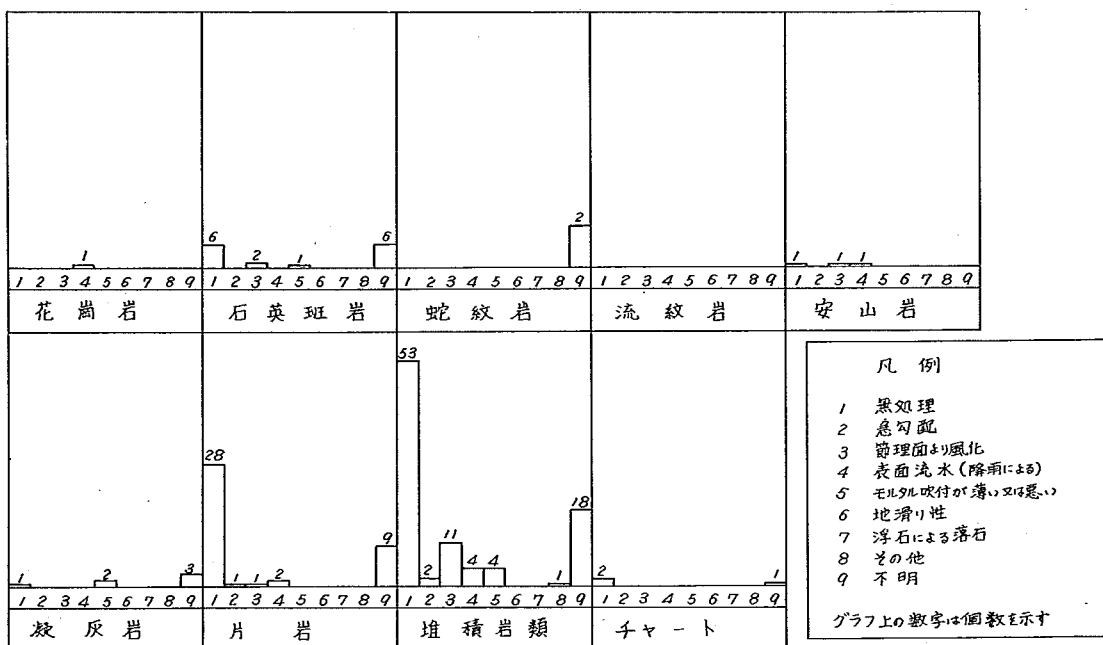


図-3-50 岩石種ごとの崩壊原因(45年度分)

表-3-8 岩石種ごとの崩壊原因(44年度分)

崩壊原因の分類	地 質									合 計
	花崗岩	石英斑岩	蛇紋岩	流紋岩	安山岩	凝灰岩	片 岩	堆積岩類	チャート	
1. 無処理	26	9	2		13	16	14	35	1	116
2. 急勾配	11				1	3	2	4		21
3. 節理面より風化	16	5	2		14	12	12	29		90
4. 表面流水(降雨による)	16	3	1		3	4	11	11	5	54
5. モルタル吹付が薄い又は悪い	4					1	2	4		11
6. 地滑り性	2				1	1		7		11
7. 浮石による落石	3				3		1			7
8. その他	3	1			1	2	1	8		16
9. 不 明	2		1			1				4
合 計	83	18	6		36	40	43	102	2	330

② 石英斑岩

石英斑岩の小崩落は節理面の粘土化の著しい無処理のり面で発生しているのみで、他は落石が圧倒的に多い。落石は無処理部分の軟岩Ⅱより堅硬な岩で、割目程度Ⅱ～Ⅲ、間隔b～cに属する岩が大半を占めている。落石の原因としては無処理部分の岩石の風化、豪雨および湧水であり、落石後の対策として落石防止柵が多く施工されている。崩壊は無処理のり面の割目に雨水が浸透し、剪断力がなくなつて崩壊したものである。崩壊後の対策としては擁壁工、モルタル吹付、厚さ8cm鉄網入、が施工され安定化している。

- 3 - 9 岩種種ごとの崩壊原因(45年度分)

崩壊原因の分類	地 岩									合 計
	花崗岩	石英斑岩	蛇紋岩	流紋岩	安山岩	凝灰岩	片 岩	堆積岩類	チャート	
1. 無処理		6			1	1	28	53	2	91
2. 急勾配							1	2		3
3. 節理面より風化		2			1		1	11		15
4. 表面流水(降雨による)	1				1		2	4		8
5. モルタル吹付が薄い又は悪い		1				2		4		7
6. 地滑り性										0
7. 浮石による落石										0
8. その他								1		1
9. 不 明		6	2			3	9	18	1	39
合 計	1	15	2	0	3	6	41	93	3	164

③ 流紋岩

流紋岩も石英斑岩と同じように柱状、板状の節理が発達している。流紋岩は軟岩Ⅰ・Ⅱに分類されるもので落石・小崩落を生じている。落石、小崩落の原因は無処理部分の岩石の風化および雨水の割目よりの浸透によるものである。落石、小崩落の対策工としては大部分網工が施工され、その後安定

風化が著しく砂質土状になっている個所で過去に崩壊しているところがあるが、崩壊後(崩壊前のり勾配、のり面保護工種は不明)石積擁壁($H=3m$)、コンクリート枠工(のり勾配 $1:1.5$, $H=20m$ 以上、詳細不明)で安定化している。

④ 安山岩

安山岩もまた柱状板状の節理が発達している。安山岩は無処理部分の小崩落、落石が多く、大崩壊は発生していない。小崩落の原因は風化部分が降雨時に剝離崩落したものであり、落石もまた風化による表層剝離の落石である。崩壊後の対策は落石個所でモルタル吹付工($8cm$)の施工および富山工事事務所で洞門工を施工し、安定化している。

⑤ 凝灰岩

無処理およびモルタル吹付工で小崩落が多い。岩分類は軟岩Ⅰ・Ⅱに属しているが、割目には関係ない。小崩落の原因としては風化による割目からの崩壊とモルタル吹付工の剝離であり、対策工として網工が施工されている。

落石は中硬岩、硬岩Ⅰに分類される岩で、岩の割目の状態にはあまり関係ない。その崩壊原因は豪雨による表面流水によるもので、対策工としてモルタル吹付工、網工が施工されている。

⑥ 片岩

片岩は片理、層理が発達し、また割目も発達している。したがって、無処理個所の小崩落が極めて多い。小崩落は岩分類および割目程度にはあまり関係ないが、割目間隔 $c \sim d$ ($10cm$ 以下)の所が圧倒的に多い。崩壊原因は雨水などの表面流水が大半を占め、またのり勾配が急なために崩落しているものがある。

落石は小崩落に比べ数は少ない。落石は岩分類として中硬岩又は硬岩Ⅰに分類されるものが多く、崩壊原因は風化によつて割目より剝離崩壊したものが多く、対策工として大部分網工が施工されている。

片岩の崩壊は片岩が著しく風化し土壌化している個所で、地すべり性の崩壊が生じている。崩壊後の対策工として、崩壊個所のうち1カ所は栗石詰コンクリート枠工および植生工により安定している。

⑦ 堆積岩類

頁岩（泥岩）、砂岩、レキ岩およびその互層を含む。小崩落が圧倒的に多いが、崩壊も他の岩に比べ多い。小崩落は岩種に関係ないが、岩分類は軟岩Ⅰに属するものが多い。無処理の個所が小崩落の90%以上を占める。小崩落の原因は岩の風化剝離および表面流水によるものが大部分である。経年変化による小崩落の発生数はあまりかわらず、同一個所またはその周辺が崩落している。対策工として、落石防止柵工、モルタル吹付工、植生工が多く、その大部分は現在のところ安定している。

落石は少ない。岩種にも岩分類にも関係なく発生している。保護工は当然のことながら無処理に多く、対策工として一部で落石防止柵工、モルタル吹付工が行なわれている程度である。

崩壊も岩種、岩分類にあまり関係ない。地すべり性の崩壊が多く、その原因は浸透水によるものが多い。保護工は無処理、モルタル吹付個所が多く、対策工としては切土勾配をゆるくし、コンクリート枠工および植生工によつているものが多く、現在安定している。

⑧ シラス

シラスの崩壊は擁壁工を除いてほぼ全保護工種にわたつて発生している。崩壊原因はすべて豪雨によるものである。

以上を総合すると全体的に見て、小崩落の多い岩種は落石が少なく、小崩落の次の段階の破壊は崩壊へと移行し、逆に落石の多い岩種は小崩落、崩壊ともに少ない。岩種的に前者に属するのは凝灰岩、片岩、砂岩、レキ岩、シラスなどの比較的軟かい岩種に多く、後者に相当するのは石英斑岩、流紋岩、安山岩などの比較的硬く、割目間隔の広いものである。岩ののり面の崩落の原因はシラスを除いて、殆んどその大部分が無処理の個所で発生している。すなわち、無処理個所、（一部は植生工個所もあるが）が施工後数年経過すると岩の風化が進行し、割目の程度が悪く、また間隔も広くなり、降雨によつて剪断強度が低下し、崩落するといった一連の崩壊原因が考えられる。したがつて、今後無処理ののり面を極力少くすることが肝要だと思われる。また、モルタル吹付工において、吹付厚さの薄いものは剝離崩落することが多く、吹付の効果が全く見られなくなるので、吹付厚を厚くするなどその適用にあつては十分検討の余地がある。また凍結融解の恐れのある個所および湧水のある個所、著しく風化している岩の個所などは吹付当初より効果に疑問があるのでその適用に当つては慎重に行なう必要がある。

4. 盛土のり面工の実態調査

45年度に実施した盛土のり面工の調査箇所は各地方建設局で危険箇所と認められるものが選定しており、その数は450箇所である。

4-1 盛土のり面の安定性について

調査箇所の450箇所のうち、盛土のり面の安定性についてまとめてみると表-4-1のようになる。

表-4-1 安定性の区分

	安 定	小 崩 壊	表面浸食	崩 壊	計
個 数	349	49	32	20	450
百 分 率	77.6	10.9	7.1	4.4	100.0

安定なものが全体の78%をしめており、調査箇所として危険箇所を選んだことを考慮すると、盛土のり面の安定性は高いといえる。また降雨による表面水や浸透水によつて、のり面が浸蝕されたり、のり尻が洗掘されるような小崩壊が全体の18%をしめており、車の通行に支障をきたすような崩壊は全体の4%程度である。

次に、盛土のり面の安定性に影響を及ぼすと考えられるのり面工、土質、のり勾配、のり高、線形および地形について検討すると、次のようになる。

(1) のり面工種

盛土のり面は、切土のり面と違って無処理のままのり面を安定に保つことは困難なため、のり面を安定に保つために何らかののり面工が施こされている。また車の通行を円滑にするために路面の排水を良くする排水施設が設けられており、のり肩部からの浸透水の流入が少ないこと、また片盛土のような地山からの浸透水も盛土築造時に、排水孔や排水層を設けることによつて浸透水を抜くことができるため、切土のり面に比べてのり面の安定性は高いといえる。

のり面工としては、盛土材料が土であるため植生工が一般に多く用いられており、地形的にのり勾配を緩くして安定を図ることが困難な場合や用地などの経済性およびのり先の保持のために、擁壁工と併用して植生が用いられる場合が多い。また、高盛土のすそ部のように、洗掘または湧水による表層すべりを起こしやすいところでは、コンクリート枠工と併用して植生工が用いられている。高架や橋梁の下のように雨や陽光の当たらない場所、構造物との取付部や縦断勾配の変化部および曲線部の内側などのように集中水の流下するおそれのある場所では、ブロック張工また石張工が一般に使われている。

図-4-1は、45年度に実施した調査結果にもとづいて、のり面工とのり面工の安定性の関係を示したものである。なお、のり面工が同一の箇所では2～3工種使用されている場合には、堅固なり面工をその代表工種として選んである。例えば、擁壁工より上ののり面に筋芝工が施工されている場

のり面保護工	全体に対する割合		のり面の安定性							
			安定		表面浸蝕		小崩壊		崩壊	
	回数	百分率	回数	百分率	回数	百分率	回数	百分率	回数	百分率
①擁壁工	105		89		0		3		5	
②張石工	24		19		2		2		1	
③コンクリート工	13		10		0		1		2	
④ブロック張工	12		10		0		1		1	
⑤筋芝工	108		97		3		5		3	
⑥張芝工	33		18		7		7		1	
⑦種子吹付	13		11		0		2		0	
⑧植生盤工	19		9		1		8		1	
⑨無処理	0		0		0		0		0	
⑩その他	3		3		0		0		0	
合計	330		266		21		29		14	

図-4-1 のり面保護工とのり面の安定性

合には、代表のり面工種として擁壁工が選んである。そのため、擁壁工上部のり面に崩壊があつた場合にも、擁壁工が不安定であるとまとめられている。

のり面工としては筋芝工、張芝工、種子吹付工、植生盤工などの植生工だけによるのり面工が全体の52%をしめており、擁壁工と併用した植生工と合すると85%になる。張石工、コンクリート工、ブロック張工などの条件の比較的悪いのり面に使用されるのり面工は全体の15%程度である。無処理のり面はない。このことから、盛土のり面のり面工種として植生工がよく一般に使われているといえる。植生工が多く使われる理由として、雨水による浸蝕の防止、凍上崩落の防止、緑化による美的効果などの目的のほか、構築物によるのり面工に比べて低廉で経済的であるためである。しかし、植物の根は比較的表層に止まることから、深い滑り面を生じるようなのり面崩壊には効果が期待できない。盛土は盛土材料を締固めて築造するため、土質調査および土質試験結果に基づいて設計施工が十分行なわれることから、深い滑り面を生じるようなのり面崩壊は少なく、のり面工として植生工が適当であると考えられている。

植生工のうち、筋芝工が最も多く使われており、その安定性も良く全ての土質に用いられている。つづいて張芝工、植生盤工、種子吹付工の順に多く使われている。張芝工、植生盤工は美観上、早く植生被覆を完成したいとき、および洗掘の起こりやすい土質で土羽を打つ場合に一般に使われる工法であるが、今回の調査結果ではその効果が十分現われていなく、筋芝工に比較して安定性は落ちている。砂質土のような浸食を受けやすいと考えられる土質での張芝工の安定性は良く、その効果が認められるが、粘質土、レキ質土のり面で逆に安定性が悪くなっている。また、植生盤工では、砂質土で不安定なものが多く、粘質土では安定性が良いという結果がでている。これらの工種は、工期その他の関係で植生工の不適期である夏季または冬季にやむえず施工される場合が多いため、根が張る前

に豪雨や凍結融解などによつて流されたり、枯死する危険性が高いためと考えられる。粘質土のように凍上や霜害の影響を受けやすい土質で、植生工の不適期な時期に植生する場合は植生盤工が良く、砂質土のような浸蝕を受けやすい土質で植生被覆を早く完成したいときは張芝工が良いと考えられる。また、施工面積が大きく、労力の不足する場合、あるいは急速に施工しなければならない場合などに用いられる機械施工で行なう種子吹付工は安定性も良く、砂質土ののり面に多く用いられている。

擁壁工は土質に応じた土圧を考慮して設計されているため、擁壁自体が事故を起こした例はほとんどなく、全ての土質に対して有効に用いられている。

張石工、コンクリート枠工、ブロック張工の安定性は筋芝工および擁壁工に比べてやや落ちているが、これはこれらの工法が降雨の影響を直接受けやすいのり面に施工されるため、構築物より上ののり面が小崩壊程度を起こしたのも含まれているためである。のり面水や浸透水による小崩壊程度の崩壊であれば、張石工、コンクリート枠工、ブロック張工で十分防止できると考えられるので、雨水の影響を受けやすいのり面には一部でなく、広範囲に使用すればさらに有効度は増すと考えられる。

(2) 土 質

盛土材料が砂質土、粘質土、粒度のよい砂、粒度のよいレキ質土などの場合は、特に土羽土を置かなくても、それ自体で植生を施すのり面を安定に保つことができる。盛土のり面に植生を行なう際に土羽土を置く必要のある盛土材料は、粒度のわるい砂、砂利、玉石、岩塊のように保水性の悪い材料に限られる。

調査結果では盛土材料として砂質土が最も多く使われており、つづいてレキ質土、粘質土である。レキ、砂、粘土は盛土材料として使われる例は前者に比べて比較的少ない。レキ質土、砂質土、粘質土の安定性はほぼ同程度で、安定なもの全体の75～80%である。(図-4-2を参照) レキ質土で表面浸食が他の土質に比べてやや多く、これは植生がつきにくいためと考えられる。粘土の安定性は全体的に良い。また砂質土の盛土はその数が多いため、こわれる箇所も多く、一般的に砂質土は表面浸食や小崩壊を起こしやすいと考えられるが、今回の調査では不安定なもの割合は他の土質に比べて余り変わりはない。しかし、砂質土は豪雨などの浸透水によつてのり尻部が崩落しやすく、また崩落が次第に上部のり面におよんで大きなのりすべりを起こしやすい。破壊の比率は他の土質と余り変わりはないが、盛土材料として砂質土が使われることが多いため、全体の数では崩壊の数も多いのでのり面の安定には十分考慮する必要がある。

(3) のり勾配

盛土のり面ののり勾配は標準勾配として各土質とも一般に、1 : 1.5 ~ 1 : 2.0のものが多く使われており、高盛土や盛土材料が高含水比の火山灰質粘性土であるとか、片盛り箇所でおき水が多いとか、あるいは用地事情でのり面を標準値以上にするなどの場合は安定計算を行なつてのり勾配を決定している。そのため、盛土のり面が大きな崩壊を起こす場合は少ない。また、植生はのり勾配が1 : 0.8より急なり面では施工困難であるが、盛土ののり勾配は1 : 1.5より緩いものが使われるため、植生をするうえに支障はない。

調査結果によると、各土質ともりの勾配が1:1.5割程度のものが最も多く、全体の76%をしめている。そのうち安定なもの82%である。つづいて多いものが1:1.8程度の勾配で全体の11%にあたり、レキ質土、砂質土に多い。1:1.8よりゆるい勾配のものは砂質土、粘質土に多く、全体の9%をしめている。のり勾配が1:1.5よりゆるやかなものについて安定性を検討すると、勾配がゆるくなるにしたがつて安定性は必ずしも良くなつてはいえない。(図-4-8を参照)

これは不安定なものの中に、表面浸食および小崩壊などの表面水の影響と思われる崩壊が多く生じており、大きな崩壊は少ないためである。このことから、のり勾配を1:1.5程度にし、のり面および小段の排水に留意して施工すれば、盛土のり面が不安定になる可能性は少ないと考えられる。しかし、盛土が高くなると、勾配が1:1.5ではのり面の転圧が不十分になりやすいため、各土質に応じて一般に勾配をゆるくして施工されているが、今回の調査では1.5割よりゆるい勾配の盛土でも、後でのべるようにのり面附近の密度は必ずしも高くなく、転圧が十分なされていないため、表面浸食や小崩壊を起こしている場所がいくつかある。

(4) のり高

盛土のり高は3m~5mのものが最も多く、全体の27%程度をしめている。次いで5m~7m、

土の分類	全体に対する割合		のり面の安定性							
			安定		表面浸食		小崩壊		崩壊	
	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
① L・GW GP	36		30		1		3		2	
② L・砂質土 GM GC	60		47		6		5		2	
③ 砂 SW SP	23		20		1		2		0	
④ 砂質土 SM SC	133		104		8		13		8	
⑤ 粘質土 ML CL OL	53		41		5		6		1	
⑥ 粘土 MH CH OH	26		23		1		0		2	
計	331		265		22		29		15	

図-4-2 土の分類とのり面の安定性

のり勾配	全体に対する割合		のり面の安定性							
			安定		表面浸食		小崩壊		崩壊	
	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80	回数	百分率 20 40 60 80
① 1:1.0 以下	12		11		1		0		0	
② 1:1.1~1:1.2	3		2		0		0		1	
③ 1:1.3~1:1.5	252		207		17		17		11	
④ 1:1.6~1:1.8	35		27		1		5		2	
⑤ 1:1.8以上	29		18		4		6		1	
合計	331		265		23		28		15	

図-4-3 のり勾配とのり面の安定性

7 m～9 mの順になつており、のり高が高くなるにしたがつて数は減少している。のり面の安定性は、レキおよびレキ質土では高さが高くなるにしたがつて安定性は悪くなつていますが、砂質土ではのり高にあまり関係なく、各高さともほぼ同程度である。また、粘質土および粘土ではのり高が0.7 m程度のは比較的よく安定しているが、1.0 mを越えると安定性はやや落ちていく。特に粘土では1.0 m以上になると、崩壊を起こす危険性があるので設計、施工の際には注意を要する。(図-4-4を参照)

(5) 地形と線形

道路の路面には排水を良くするために横断勾配がつけられている。また急峻な山岳地では長い縦断勾配がつづいたり、曲線部には片勾配がつけられている。このような場所には雨水が集りやすく、そのための排水設置が考慮されているが、いつたん水が溢れて雨水がのり面を流下すると、のり面の安定をそこなう場合が多い。このため、山岳地にある盛土と平地にある盛土とに分けて、盛土部および盛土付近に曲線が入っているか、また縦断勾配の大きさおよび勾配の長さなどが、のり面の安定に及ぼす影響について検討を加えてみた。

平地盛土のうち路面の平坦な盛土は当然のことであるが、山岳盛土より多く、40%程度である。山岳盛土では平坦なものは少なく、縦断勾配が3%～5%の最も多い。つづいて5%～7%、1%～3%の順になつており、平地盛土に比べて勾配がきつくなっている。勾配長は200 m～300 mのものが最も多く、つづいて300 m～400 mのものが多く。線形については直線のものと曲線のものととの比が平地盛土ではほぼ同程度であるが、山岳盛土では曲線のある盛土の方が多い。曲線半径は山岳盛土では300 m以下のものが、曲線のあるもののうちの大半をしめており、平地盛土に比べて曲線半径の小さいものが多い。(図-4-5～4-8を参照)

つぎに安定性について述べると、山岳盛土のほうが平地盛土に比べて全体的にのり面の安定性は悪くなっている。特に山岳盛土では、縦断勾配の長さが長くなるにしたがつて、安定性があるくなる傾向にあり、また曲線の長さが150 m以下の短いものの方が、曲線の長いものに比べて安定性は悪くなっている。また、曲線の内側ののり面に表面浸蝕や小崩壊を起こす例が、曲線の外側ののり面に比べてやや多くなっている。

平地盛土では、縦断勾配の長さが長くなるにしたがつて安定性は少し良くなっているが、大差は認められない。また曲線に着目すると、曲線の長さや安定性の間には余り関係は認められない。このことは、平地盛土では縦断勾配もゆるく、勾配の長さや曲線の長さによつて路面に降つた雨水がのり面をそこなう場合が少ないためと考えられる。逆に山岳盛土では、盛土周辺からの雨水も道路路面に集まりやすく、縦断勾配が長くなるにしたがつて、路面を流れる水が多くなり、しかも縦断勾配もきついため路面を流れる水の流速も早くなり、溢れた水によつて盛土のり面がそこなわれる例が多いためと考えられる。このため、山岳盛土では、路面排水を十分行なうことが大切であると考えられる。また、このような危険箇所には張石工、ブロック張工などの構造物によるのり面保護が必要であると考えられる。

のり高	全体に対する割合		のり面の安定性							
			安定		表面浸蝕		小崩壊		崩壊	
	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80	個数	百分率 20 40 60 80
① 1m 以下	0		0		0		0		0	
② 3m 以下	31		20		1		0		2	
③ 5m 以下	86		66		6		12		2	
④ 7m 以下	66		55		6		4		1	
⑤ 9m 以下	39		36		1		2		0	
⑥ 9.1m 以上	94		69		2		11		7	
合計	316		254		21		29		12	

図-4-4 のり高とのり面の安定性

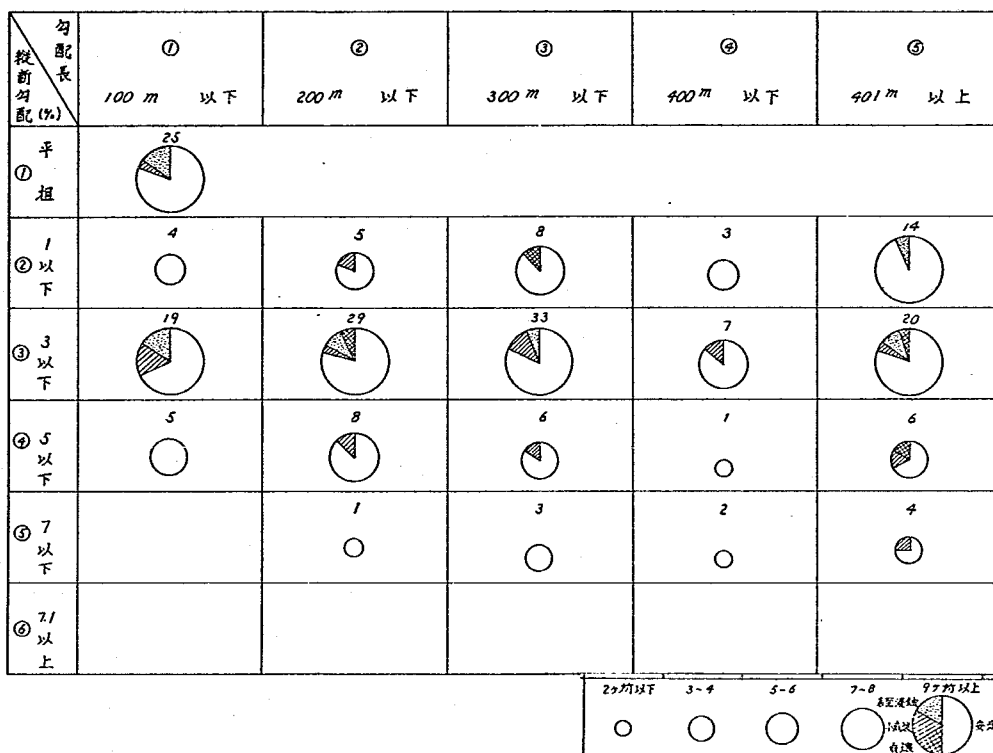
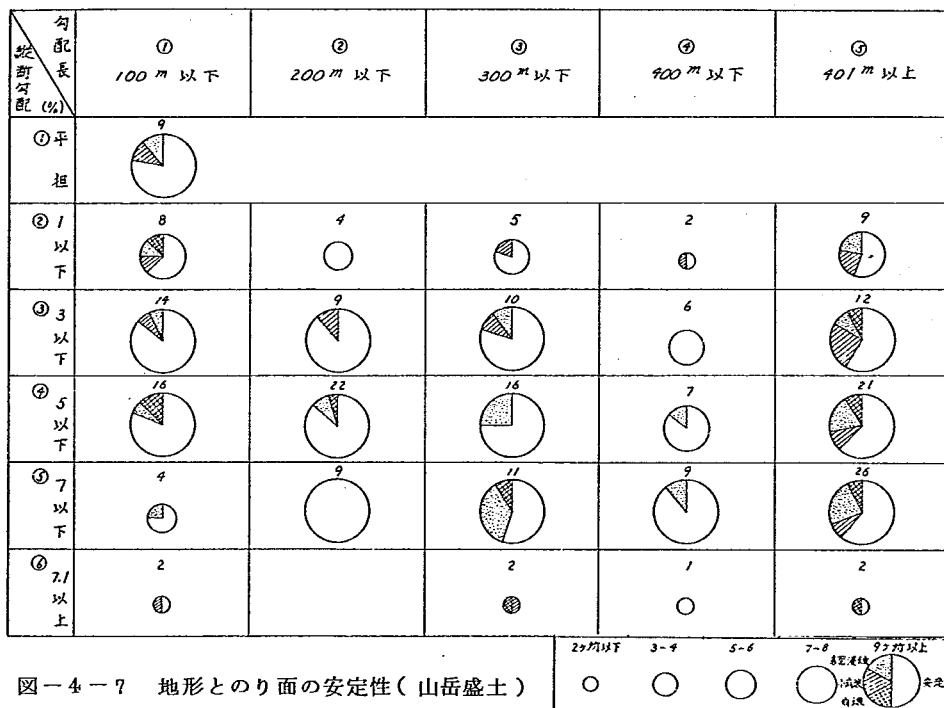
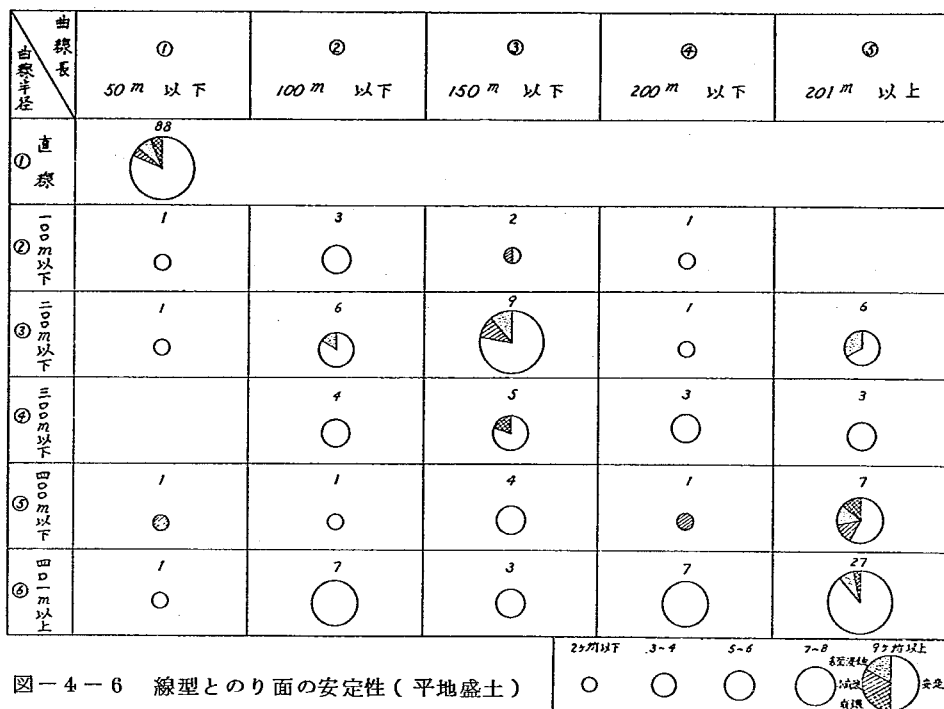


図-4-5 地形とのり面の安定性（平地盛土）



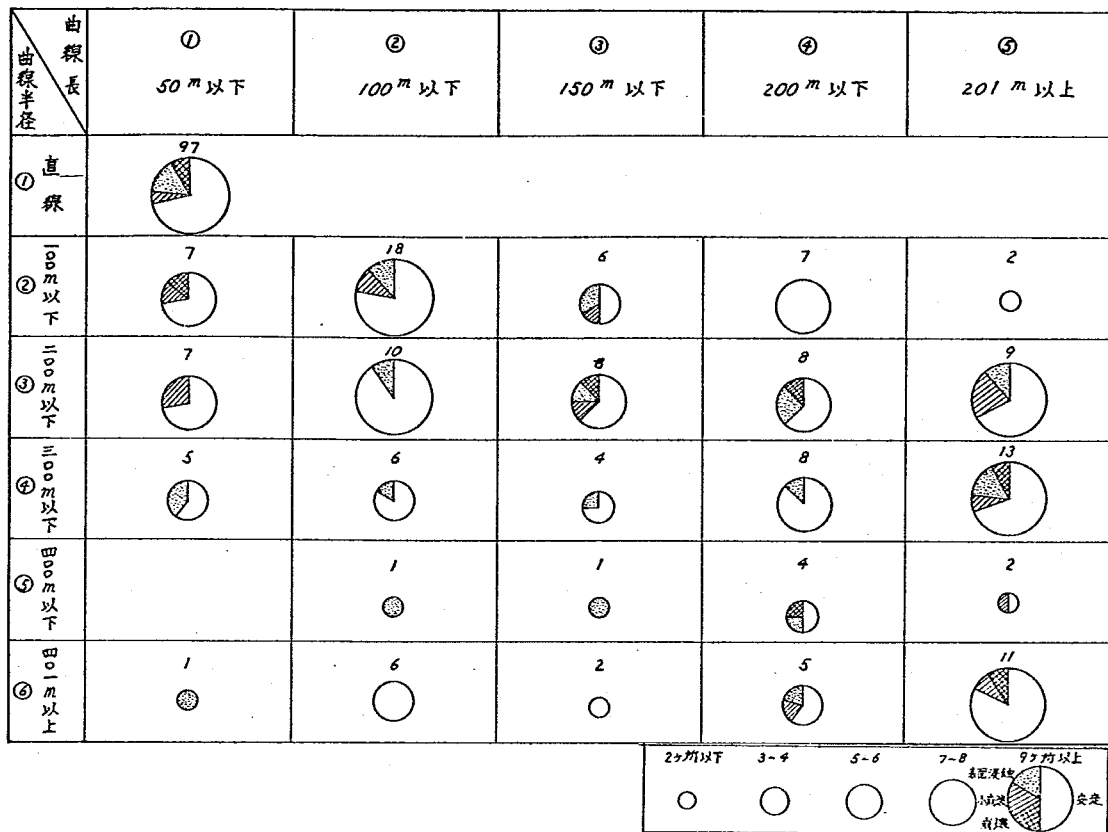


図-4-8 線型とのり面の安定性(山岳盛土)

4-2 崩壊に対する検討

調査した盛土のり面のうち、不安定なものだけを選び出し、その崩壊原因、崩壊土量、雨量、締め固め度、および排水工などについて検討を加えてみた。

(1) 崩壊の分類

盛土のり面の崩壊には、地震や豪雨によつて盛土自体が滑べりを生じて崩壊する大規模なものから、のり面を流下する表面水によつてのり面のり尻部が浸蝕される程度のもので多くの種類、形態が存在する。

大規模な崩壊には地震や豪雨による崩壊のほか、基礎地盤の強度不足によつて工事中に生ずる崩壊がある。一般に盛土を築造する際には、基礎地盤の土質調査ならび盛土材料に関する土質試験などの調査をし、盛土自体の安定性が十分検討されたうえで、盛土が行なわれるのが普通であり、そのため完成した盛土自体の安定性は高いといえる。また、軟弱な地盤や盛土材料が高含水比の火山灰土であるような盛土の安定性に不安のある場合には、試験盛土を行なつて盛土の安定性を十分確かめたり

えて、盛土が行なわれるため、崩壊を起こす例は全体的にみて少ない。片切、片盛土のような場合には、地山からの浸透水によつて盛土内の間隙水圧が上昇して盛土が崩壊する例もあるが、このような場所には地山からの浸透水を抜くために、地山を段切りにし、砂層の遮断層を設けて浸透水が盛土内に入らないよう処置がなされている。また、含水比の高い盛土材料で高盛土をする場合は、上載荷重によつて盛土内の間隙水圧が上昇し、のりのはらみ出しや崩壊を生ずることもあるので、盛部内に砂の排水層を設けて間隙水圧を低下させる方法がとられている。この他に、地すべり地帯に築造された盛土は地すべりによつて崩壊を起こす例があるが、このような場合には、地すべり対策工が普通なされている。このように大きな崩壊に対する対策は事前に行なわれることが多いため、大きな崩壊の例は少ないが、地震に対する対策は過去の地震災害の記録からもわかるように十分な対策はなされておらず、今後検討する必要のある問題であると考えられる。

大規模な崩壊を除くと、盛土の崩壊は降雨時の雨水の浸透によるのりすべりや表面水によるのり面の浸蝕などがあげられる。これらの崩壊は前の崩壊に比べて比較的小規模の崩壊であり、崩壊がのり面の比較的浅い層に限られるため、車の通行に直接影響を及ぼす例は少ないが、そのまま放置しておくと次第に崩壊が進み、盛土の安定性がそこなわれて大きな崩壊を生ずる危険があるので十分注意する必要がある。のりすべり及びのり面の浸蝕を防止する方法としてはのり面工が一般に使われている。のり面工にはのり面の安定性のところで述べたように、大きく二つに大別される。1つは、のり面の表面水による浸蝕防止のための植生工であり、もう1つは浸透水のある場所や雨水の集中しやすい場所および高盛土ののり尻などのようにのりすべりを生じやすい場所に使われる構造物によるのり面工である。盛土のり面に良く使われる構造物によるのり面工としては、ブロック張工、石張工、コンクリートブロック枠工、土留擁壁などがある。しかし、のり面工だけでのりすべりやのり面浸蝕を防止することは無理であり、路面やのり面に降つた雨水を排除する排水工と併用して考えるべきである。またのりすべりのおそれのある箇所には必要に応じてフィルター層などによる排水を行なつて盛土のり面付近の安定性を大きくすることも大切である。

崩壊の形態についていろいろと調べてきたが、崩壊の原因についてまとめなおしてみると表4-2になる。

(2) 崩壊原因

調査を実施した盛土のうち、不安定な盛土のり面、101箇所を選びだし、崩壊原因の記載されていないものを除いた92箇所の崩壊原因についてまとめると、崩壊原因として表面水、浸透水、基礎地盤、その他の4つに大別される。そのうち、表面水による崩壊が全体の67%をしめており、浸透水の24%を加えると、降雨に直接起因すると考えられるのり面の崩壊が全体の91%にも達している。残りの3%が基礎地盤による崩壊であり、5%がその他によるものである。このように降雨による浸透水および表面水による崩壊が多い理由として、盛土築造中または完成後間もない基礎地盤の強度不足や上載荷重による間隙水圧の上昇によつて生ずる崩壊が全体的にみて少ないことにもよるが、調査を実施した盛土が完成後かなりの日数が経過したものが多いため、そのような崩壊が今回の調査

表-4-2 盛土の崩壊の形態ならびに崩壊原因

崩壊の形態	崩壊原因ならびに条件
大規模の崩壊	基礎地盤の強度不足 盛土材料の強度不足 地山からの浸透水・湧水 地すべり地 地 震
のりすべり	降雨による浸透水 地山からの浸透水 のり面付近の締固めが不十分
洗 掘	降雨によるのり先の洗掘 降雨によるのり面の浸蝕

表-4-3 崩壊と崩壊原因

破壊原因	表 面 水	浸 透 水	基礎地 盤	擁壁移動	そ の 他
北 海 道		1			
東 北	13	1			1
関 東					
北 陸	3	1			
中 部	10	5	1	1	
近 畿	9	3			
中 国	10	5			
四 国	3	2			1
九 州	14	4	2		2
計	62	22	3	1	4
%	67.4	23.9	3.3	1.1	4.3

の対象となる例が少ないことにもよると考えられる。

このことから、完成後ののり面の安定性は降雨に対する対策を十分行なえば、大半の崩壊は防止し得ることになる。

その他のなかには擁壁の移動による崩壊が1箇所含まれている。このことは、擁壁工は図-4-1に示したように105箇所もあり、そのうちの1つが擁壁工自体が崩壊したもので、擁壁工自体の安定性は非常に高いといえる。(表-4-3を参照)

(3) 崩壊土量

盛土のり面の崩壊土量は、表面水や浸透水による表面浸蝕や小崩落が多いため、比較的少ないものが多くなっている。崩壊土量が30 m³以下のものが全体の58%をしめており、崩壊のうちの6割が30 m³以下の小規模な崩壊である。また、崩壊土量が100 m³以下のものは全体の78%で、約8割をしめている。このことから、植生工、のり砕工およびブロック張工などののり面工を十分行なえば、完成後の盛土の崩壊の大半は防止しうると考えられる。しかし、浸透水によつてのり尻あたりで小崩落を起こした崩壊が、次第に進み、ついに盛土の安定性が失われて大きな崩壊を起こしたような例もある。

500 m³を越えるような大きな崩壊は全体の8%程度で、砂質土ののり面に多い。これは、豪雨にもとづく過度の浸透流が、盛土のり尻付近を構成する土の強度を低下させるために生じるもので、のり尻部のような小崩落を起しそうな場所には、土留擁壁や空張の張石工などののり面保護工を設けるべきである。特に砂質土の盛土には必要であると考えられる。

(4) 雨 量

盛土のり面の安定性はすでにのべたように降雨による表面水あるいは浸透水の影響をいちじるしく受ける。一般的傾向として、崩壊発生までの連続雨量は日本北部から南部へいくに従つて多くなっている。年間降雨量は北部に比べて南部はかなり多いので多雨地域では多量の降雨がないとのり面の崩壊は容易に発生しないことになる。これは多雨地域では降雨に対する対策が今までの経験にもとづき、降雨の少ない地域に比べて十分なされているためと考えられる。

盛土は乾いた状態であるかぎりには安定性は高いが、降雨などによる浸透水の作用を受けるとのり面にすべりを生じるのは、一方に土中に起こる浸透流がすべりを起こさせようとする力、すなわち、セメント断力を増加させ、他方にのり面を構成させている土のセメント断力を低下させるためと考えられる。

安定性の比較的高いと思われる河川堤防について、大規模な崩壊を起こさせた降雨量を調べてみると、総降雨量は250 mm以上で、しかも20 mm/hr を起す強雨がかなりの時間継続している。また、人工降雨による大型盛土の破壊実験においても、総降雨量が250 mm程度に達すると、盛土のり面およびのり肩付近に亀裂が生じ、実験終了時には崩壊を生じることが明らかにされている。また、実験前と実験後ではコーンペネトロメーターによる土の強度にはいちじるしい違いのあることが示されている。

今回実施した調査の結果では、盛土のり面が崩壊に至るまでの連続雨量は50 mm～150 mmのものが全体の56%で最も多い。また、350 mm以上の豪雨によるものが37%もあり、地域的には九州および中部の多雨地域に発生している。最大時間雨量は20 mm/hr～30 mm/hr のものが最も多く、つづいて10 mm/hr～20 mm/hr のものが多い。河川堤防や大型盛土の破壊実験の結果と比べると、盛土のり面では連続雨量が少なくなっている。これは、河川堤防では表面水や浸透水による浸蝕やのりすべりの小崩壊が含まれていないこと、および大型盛土の破壊実験では表面水の影響が考慮されていないことにもよるが、道路のり面では安定性のところでも述べたように、地形や線形によつて路面

に降った雨水が路面にそつて流れ出し、雨水が集中しやすくなるため、排水工が十分でない場合は水が溢れてのり面の安定性をそこなう場合が多いためと考えられる。

崩壊に至るまでの降雨量の大きいものはほとんど九州で、九州を除くと、連続雨量が150mm、最大時間雨量が30mm程度の降雨に対する対策が十分なされていれば、被害もかなり減少すると考えられる。

(5) 排水

盛土のり面を安定に保つには、のり面工だけでは不十分であり、路面およびのり面に降った雨水を排除する排水工についても十分考慮する必要がある。盛土のり面の排水工には、のり面の安定性を低下させる浸透水、湧水を対象とする水平排水層、横孔排水孔などがあり、小規模なのりすべりを対象とするもののにり面表面に設ける盲みぞ、のり面蛇かごなどがある。また表面水を対象として計画されるもののにり肩排水こう、小段排水こう、ならびに縦排水こうなどがある。これらの排水工は地形、場所、気象条件、盛土の形、大きさ、土質などを考慮して決定すべきものである。しかし、気象条件と地形が排水施設を設計する際に最も重要な要因であると考えられるので、調査票に設計降雨量および集水面積とが記載されているものについて、安定な箇所と不安定な箇所に区分して検討を加えてみた。

盛土のり面が安定している箇所の設計降雨量は30mm/hr～50mm/hrと50mm/h～100mm/hのものが同数で最も多い。つづいて150mm/hr～200mm/hrとなつている。つぎに集水面積は1000m²～2000m²のものが最も多く、つづいて3000m²5000m²、2000m²～3000m²の順になつている。不安定な箇所の設計降雨量は50mm/hr～100mm/hrのものが多く、また集水面積は0m²～1000m²のものが最も多く、つづいて、1000m²～2000m²のものが多く、不安定な箇所の集水面積はその大半が2000m²以下で、比較的小さい集水面積の所で多いのが特徴的である。(図-4-9、4-10を参照)

雨量のところで述べたように、崩壊を起こす最大時間雨量は30mm/hr程度であることからしてたとえ、流達時間をもとにした降雨強度を対象に考えたとしても、設計降雨量は十分大きくとつてあると思われる。また集水面積の比較的小さい所で不安定なものが多いことは、4-1-1の地形と線形のところでのべたように縦断勾配の長さが長く、曲線の長さ150m以下の急峻な曲がりくねつた山岳地を横断する盛土で、のり面が不安定になりやすいことを意味している。そのため、曲線部の内側の路肩にはL型側溝を設け、L型側溝の高さを高くして、集中水が溢れてのり面を流下することがないように注意を払うべきである。しかし、設計降雨量も十分大きくとつてあり、また集水面積の比較的小さい所で不安定なものが多いことからして、排水施設の容量不足に起因して破壊が生ずる例はむしろ少なく、予想しない表面水、浸透水の影響が加わつての崩壊や表面浸蝕、小崩落などが原因となつて排水施設の機能がそこなわれること、例えば溝がつまりて水が溢れることが原因となる崩壊が多いと考えられる。

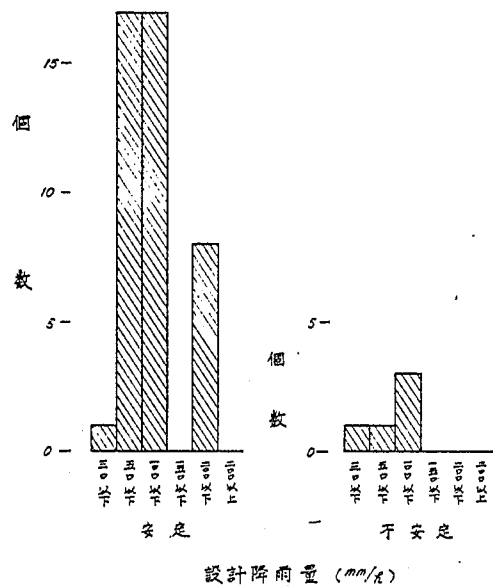


図-4-9 安定性と設計降雨量

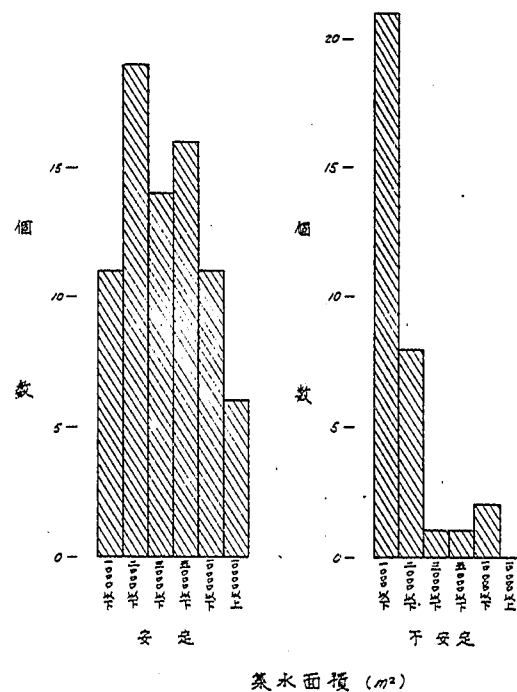


図-4-10 安定性と集水面積

(6) 締固め度

盛土のり面の締固めは最近ではのり勾配に応じて、ブルドーザに被けい引式タイヤローラあるいは振動ローラなどを連結して締め固めたり、特殊のり面転圧機を用いて締固めを行なっている。しかし、のり面の締固めが不十分である場合には、それが原因となつて表面付近の肌落ちや洗掘による浸蝕が起こる危険性を持つている。そのため、のり面の転圧は十分行なう必要がある。

図-4-11は各地方建設局から提出されたものを集計し盛土のり面付近の締固め効果を土質ごとに示したものである。図の横軸の百分率は現場密度を最大乾燥密度で割つて求めたものである。一般に盛土の締め固め密度は室内試験によつて求めた最大乾燥密度の90%と定められている。全土質について締固め度を検討すると、締固め度90%以上のものは全体の44%で半分以下である。また、85%以上にすると64%となり%程度がこのなかにはいる。締固め度80%以上になると74%で、全体の%程度になる。締固め度80%以下のものが全体の1/4もあることからして、必ずしもり面付近の締固めは十分であるとはいえない。つぎに土質別にみると、砂質的のり面が最も多く、つづいて粘質土である。比較的、締固めのよい土質としては、レキ、レキ質土、砂で、砂質土の締固めは、締固め度が高いところで度数が大きくなっているが、締固め度80%以下のものもあり、必ずしも締固めはよいとはいえない。粘質土のり面の締固めは、比較的締固め度の高いところに分布しており、締固め効果はあがつているともいえるが、70%以下の極端に締固め度の悪いものもある。粘土のり面は、他の土質に比べて全体的に締固めは悪いといえる。

盛土のり面付近の締固め効果は、かなりあがつているところもあるが、図-4-11の結果からもわかるように、締固めが不十分なところもかなりある。のり面の転圧はなかなか困難な仕事であるが、のり面の締固め方法を変えるなりして、のり面の締固めを十分行なうべきであると考えられる。

4-3 実態調査のまとめ

盛土のり面は人工的に築造する土構造物であるため、切土のり面に比べて局部的な不均一性は比較的少なく、また不安定になりやすい場所には事前にその対策を施して処置することが、切土のり面に比べて容易なため、のり面の安定性は高い。そのため、標準工法も決定しやすく、標準工法にそつて設計し、盛土を築造すれば、大きな崩壊を起こす可能性は極めて少ない。しかし、盛土のり面の安定性および崩壊に対する検討のところで述べたように、降雨による表面水や浸透水によつて、浸蝕や小崩落を起こしているような箇所もあり、盛土のり面の安定性は現在の方法で必ずしも満足できるものとはいえない点がある。

盛土のり面の実態調査にもとづいて検討した結果を整理し、まとめると次のようなことが指摘できる。

- (1) 盛土のり面ののり面工としては、植生工が一般に多く用いられており、その安定性も比較的よい。
- (2) 擁壁工自体の安定性は高く、土留に効果的である。
- (3) 浸透水のある場所や雨水が集中しやすい場所および植生の適さない場所ののり面工としては張石

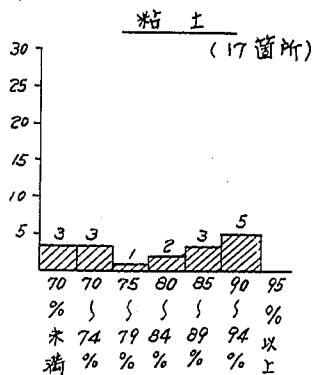
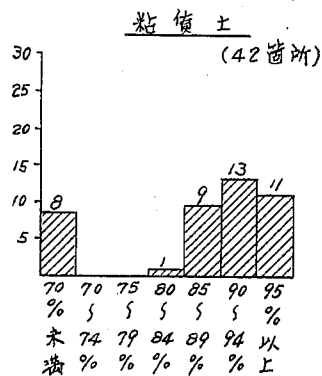
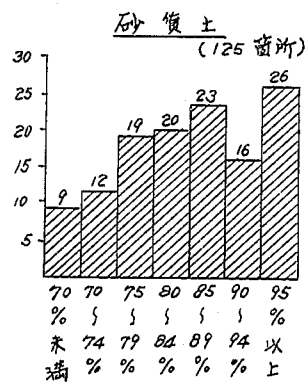
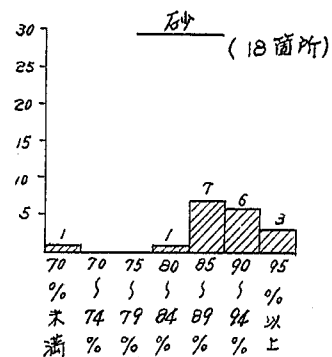
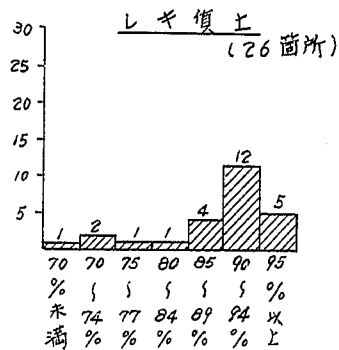
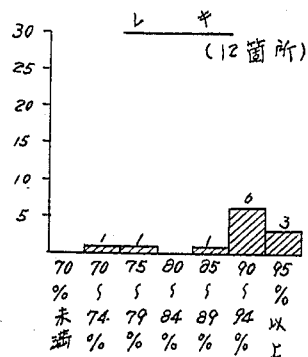


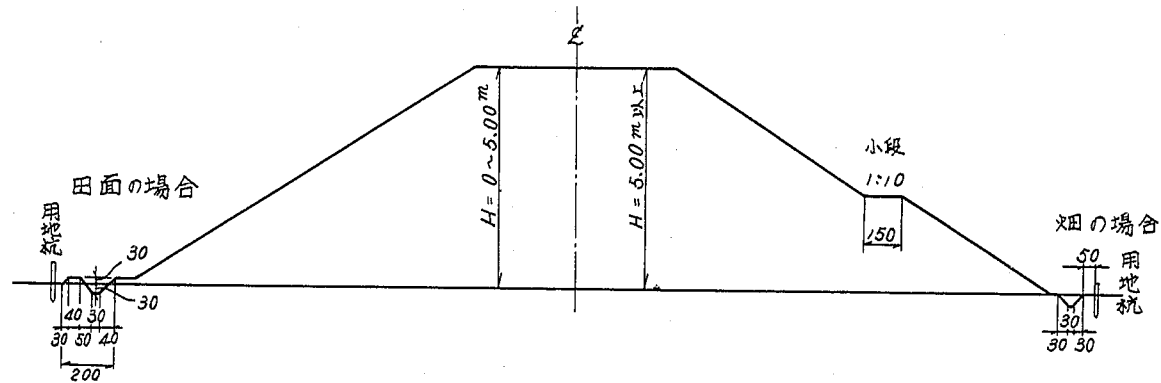
図-4-11 のり面の締固め度

工、コンクリート枠工、ブロック張工が多く使われており、のりの一部でなく、広範囲に使用するとその効果は増大する。

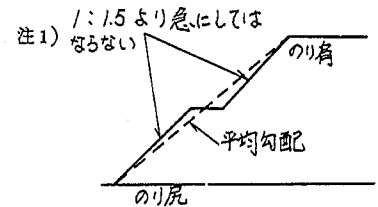
- (4) のり勾配は土工指針などの標準のり勾配で十分である。
- (5) 盛土のり面の崩壊は降雨による表面水や浸透水によつて生ずる表面浸蝕とのりすべりのような小崩壊がその大半をしめしている。
- (6) 盛土のり面が崩壊に到るまでの連続雨量は150mm程度で、最大時間雨量は30mm/hr程度である。
- (7) 崩壊を起こしやすい場所としては、高盛土および縦断勾配が長く、曲線の長さが150m以下程度の盛土に多い。また、集水面積の比較的小さい所で破壊は生じやすい。
- (8) 排水施設の容量不足に起因して破壊が生ずる例は少なく、予想しない表面水、浸透水の影響が加わつての表面浸蝕、小崩落などが原因となつて排水施設の機能がそこなわれて破壊する例が多い。
- (9) 盛土のり面付近の締固めが不十分な場合は、表面水や浸透水によつて浸蝕や小崩落を起こやすく、のり面の締固めは十分行なう必要がある。

この調査結果および各地方建設局で検討された標準工法をもとにして、盛土のり面の標準工法を作製すると図-4-12のようになる。この標準工法は道路土工指針などに示されているものとほぼ同じものであるが、実態調査の結果から特に注意すべき点を摘要事項としてつけ加えた点が異なっている。この摘要事項は現地の設計者の判断によつて決定されるべき事項で、良く調査したうえで決定すべきものである。

盛土のり面実態調査から、盛土のり面の安定性について特に構造物の取付部、縦断勾配の変化部、曲線部の内側のような路面を流れる雨水が集中しやすい場所には、排水設備を十分施こし、排水こうがつまらないような対策を施こし、管理を行なうとともにのり面にはブロック張工、石張工などの浸蝕防止の効果のあるのり面工を設けて、のり面の安定性をはかることが大切なことを強調しておきたい。



盛土材料	盛土高 (m)	こう配 (割)	のり面保護工
粒度分布の良い砂	0 ~ 5	1.5 ~ 1.8	すべての土質に対して植生工でのり面を被覆する。但し、岩塊、ズリ、切込砂利、砂などの盛土には砂質土あるいは粘性土で被覆し、植生工を施す。被覆の厚さは30 cm以上とする。
砂利および砂利混じり砂	5 ~ 10	1.8 ~ 2.0	
粒度分布の悪い砂 (海岸砂質、単粒度のもの)	0 ~ 10	1.8 ~ 2.0	
岩塊および玉石 (ズリ等も含む)	0 ~ 10	1.5 ~ 1.8	
	10 ~ 20	1.8 ~ 2.0	
砂質土	0 ~ 5	1.5 ~ 1.8	
硬い粘質土、硬い粘土	5 ~ 10	1.8 ~ 2.0	
軟らかい粘質土 (飽和度または空気間隙率で管理しなければならないような土)	0 ~ 5	1.8 ~ 2.0	



こう配は「のり肩」と「のり尻」を結んだ平均こう配であるが、その中間では1:1.5より急にしてはならない。

注2) 盛土高とはのり肩からの直高をいう。

図-4-12 盛土のり面の標準工法

5. 交通規制とのり面の崩壊調査

交通規制が実施され、調査表が提出されたものについて、46年度および過去3年間の調査結果をまとめると次のようになる。

5-1 46年度の調査結果

(1) 交通規制と規制理由

46年度に交通規制が実施され、調査表が提出された交通規制の数は58箇所、1昨年の79箇所および昨年の139箇所に比べて少なくなっている。

崩壊が生じ交通規制を行なったものが50箇所、最も多く、そのうち崩壊により通行不能となつたものが19箇所となつている。また、降雨量が基準雨量を越えたことにより交通規制を行なったものが8箇所あり、そのうち崩壊を実際に生じたものは2箇所である。(表-5-1を参照)

(2) 規制区間の指定・非指定

交通規制の92%が交通規制の指定区間で生じている。(表-5-2を参照)

(3) 交通規制と雨量

交通規制が行なわれた際の連続雨量は0mm~50mmのものが最も多く、つづいて50mm~100mm、150mm~200mmの順になつており、1昨年、昨年と比較すると、少ない連続雨量で崩壊が生じ、交通規制が行なわれることになつている。(表-5-3を参照)また、最大時間雨量では0mm/h~10mm/hのものが最も多く、つづいて20mm/h~30mm/hのものが多くなつている。時間雨量が40mm/hを越えたものは2箇所だけである。(表-5-4を参照)雨量強度の大きいものが比較的多い地域としては近畿、九州があげられる。

つぎに最大日雨量についてのべると、最大日雨量は0mm~50mmのものが最も多く、つづいて100mm~150mm、50mm~100mmのものが多い。(表-5-5を参照)

(4) 交通規制と崩壊土量

交通規制が行なわれた箇所の59%が崩壊土量が200m³以下のものであり、昨年の報告においても200m³以下のものが全体の70%程度をしめていることからして、のり面の崩壊は比較的小規模のものが多くといえる。(表-5-6を参照)

(5) のり面工と交通規制

交通規制が行なわれたのり面の保護工種として無処理のものが15箇所、最も多く、全体の34%をしめている。つづいて、擁壁工が多く、全体の30%程度をしめているが、擁壁自体が崩壊したものはない。擁壁工の上部のり面が無処理のため、この無処理の部分が崩壊したものが大半をしめている。モルタル吹付工が崩壊した箇所が5箇所あるが、このうちモルタル吹付の部分が崩壊した例は2箇所である。また、落石防止柵については崩土が落石防止柵を越えて道路に崩落し、通行に支障をきたす場合が4箇所ある。(表-5-7を参照)

5-2 過去3年間の調査結果

(1) 各工事々務所における基準雨量

図-5-1, 各工事々務所で交通規制をするために定められた基準雨量を集計し各年度別に図で示したものである。基準雨量として使われる降雨量は全国的にみると、連続雨量が一般に多く使われている。

連続雨量を基準雨量にした場合についてのべると、44年から46年の3年間を通じて151mm～200mmの連続雨量のものが最も多いが、46年度になるにしたがつて基準雨量となる連続雨量に各工事々務所で幅ができてきている。すなわち、50mm程度の降雨を基準雨量にとっている事務所もあれば、250mm程度の多い降雨を基準雨量にとっている事務所もある。また、最大時間雨量は逆に46年度になるにしたがつて幅がせばまっており、時間雨量31mm/h～40mm/h程度のものが多くなっている。

地域別にみると、北海道では最大日雨量を基準雨量にとっている場合が多く、また北陸では最大日雨量と最大時間雨量を基準雨量にとる場合が多い。その他の地方は連続雨量と最大時間雨量とから基準雨量を定めている場合が多い。基準雨量として定められた雨量強度は北から南にいくにしたがつて大きくなっている。すなわち近畿以西では151mm～200mmの連続雨量のものが多く、北日本では101mm～150mmのものが多く、北海道では51mm～100mmの最大日雨量が多く使われている。

(2) 交通規制を実施したのり面の調査結果

交通規制を実施した276箇所ののり面について、三年間の調査結果をまとめると、全体の90%程度が交通規制の指定区間にはいつている。(表-5-8を参照) 規制理由として降雨量が基準雨量を越えたことによる事前規制が行なわれるものは全体の25%であり、残りの75%は崩壊が生じ通行に支障をきたした場合に交通規制が行なわれている。(表-5-9を参照) 降雨量が基準雨量を越えたことによる事前規制のうち、実際に崩壊が生じたのは60%程度である。これはかなり高い適中率であるといえるが、この理由の一つに45年度の調査のうちに中部地方建設局内の33箇所の事前規制のなかの28箇所がごくわずかに崩壊したものが含まれているためである。これを除くと、実際に崩壊したものは34%程度である。

つぎに、崩壊土量は0～200m³のものが全体の65%をしめており、200m³～400m³のものを加えると75%程度になり、比較的規模の小さい崩壊が多いといえる。(表-5-10を参照)

崩壊したのり面のうち、無処理のものが全体の42%をしめており、無処理ののり面が最も多く崩壊している。つづいて擁壁上部ののり面が無処理のものが多く、全体の21%である。また、網工、落石防止柵工などの落石止工がなされているのり面で崩壊が起こり、崩土が道路上に崩落したものが全体の12%程度をしめている。モルタル吹付工またはその上部ののり面が崩壊したものは10%程度である。しかし、擁壁工などではそれ自体が崩壊した例は少ないが、モルタル吹付自体が崩壊したものがモルタル吹付工の崩壊のうちの約半数程度をしめており、モルタル吹付の部分の維持管理には注意が必要があると思われる。(表-5-11を参照)

つぎに、降雨量についてのべると、図-5-2は三年間の交通規制を実施し、実際にのり面崩壊が

生じたときの連続雨量，最大時間雨量，最大日雨量を示したものである。44年度は比較的降雨量の大きいものが多くなっている。45年度は連続雨量，最大日雨量が0mm～50mm，最大時間雨量が0mm/h～10mm/hのものが多く，これは北海道で積雪による崩壊が大半をしめているためである。そこで，北海道を特殊な例として除くと，連続雨量が151mm～200mm，最大時間雨量が11mm/h～20mm/h，最大日雨量が101mm～150mmのものが多くなる。46年度では北海道の例を除いても，雨量の少ないものが多くなっている。（表-5-12～5-14を参照）

表－５－１ 地域別の規制理由

地 域	規制理由	1	2	3	4	5	6	計
北 海 道		1	8	1	6			1 6
東 北		1	2					3
関 東			1		1			2
北 陸		5	4	2				1 1
中 部					2			2
近 畿			5		4			9
中 国					1			1
四 国					4			4
九 州		1	8		1			1 0
計		8	2 8	3	1 9			5 8
%		1 3.8	4 8.3	5.2	3 2.7			1 0 0.0

1. 降雨量が基準雨量を越えた。2. 崩壊が生じた。3. 崩壊により車輛、人命損害が予測された。
4. 崩壊により通行不能となった。5. 崩壊により人命、車輛に被害を生じた。6. その他

表－５－２ 規制区間種別

地 域	規制区間種別	指 定	非 指 定
北 海 道		5	3
東 北		3	
関 東		1	1
北 陸		1 1	
中 部		2	
近 畿		7	
中 国		1	
四 国		4	
九 州		1 0	
計		4 4	4
%		9 2	8

表－５－３ 交通規制した時の連続雨量

地域 \ 連続雨量 (mm)	0～50	50～100	100～150	150～200	200～250	250～300	300～350	350～400	400 以上
北 海 道	5	3	1	2					
東 北				1		1			
関 東	1	1							
北 陸	3	2							
中 部		1							
近 畿	2		1	1	1	1			
中 国		1							
四 国	2			1					
九 州									
計	14	5	3	4	1	1			
%	50.0	17.9	10.7	14.2	3.6	3.6			

表－５－４ 交通規制した時の最大時間雨量

地域 \ 最大時間雨量 (mm)	0～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
北 海 道	6	2	2					
東 北			1				1	
関 東	1	1						
北 陸	3	1						1
中 部	1							
近 畿	2	1	1	1				
中 国	1							
四 国	2							
九 州	1	1	5	1				
計	17	6	9	2			1	1
%	47.2	16.7	25.0	5.5			2.8	2.8

表－５－５ 交通規制した時の最大日雨量

地域	最大日雨量(mm)	0～50	50～100	100～150	150～200	200～250	250～300	300 以上
北海道		6	1	2				
東北					1		1	
関東		1	1					
北陸		2	3					
中部			1					
近畿		2	1	2	1			
中国		1						
四国		2						
九州		1	2	5				
計		15	9	9	2		1	
%		41.7	25.0	25.0	5.5		2.8	

表－５－６ 交通規制をした箇所の崩壊土量

地域	崩壊土量(m ³)	0～200	200～400	400～600	600～800	800～1000	1000～1500	1500～2000	2000 以上
北海道		6	1	3	1				
東北		1	2						
関東						1			
北陸		2			1				1
中部			1				1		
近畿		3	1	1					1
中国		1							
四国		2	2						
九州		9							
計		24	7	4	2	1	1		2
%		58.5	17.1	9.8	4.9	2.4	2.4		4.9

表－５－７ 交通規制をした箇所ののり面保護工

のり面保護工 地域	擁壁工	張コンクリート工	モルタル吹付工	コンクリート砕工	筋芝工	張芝工	種子吹付工	植生穴工	無処理	網工	落石防止柵工	その他
北海道	1		1			1	1		4		1	1
東北	1			1					1			
関東	1										1	
北陸	2						2		1			
中部			2									
近畿	2								2		2	
中国	1								1			
四国	3								1			1
九州	2		2						5			
計	13		5	1		1	3		15		4	2
%	30		11	2		2	7		34		9	5

表－５－８ 過去３年間の規制区間種別

規制区間種別 地域	指 定	非 指 定
北海道	34	9
東北	11	8
関東	10	1
北陸	16	
中部	50	1
近畿	20	
中国	19	
四国	22	3
九州	40	1
計	222	23
%	90.6	9.4

表-5-9 過去3年間の地域別の規制理由

地 域 \ 規制理由	1	2	3	4	5	6	合 計
北 海 道	1	2 2	1 6	1 6		7	6 2
東 北	1	3		1 5			1 9
関 東		1		1 0			1 1
北 陸	6	4	4	2			1 6
中 部	4 6	2	2	5			5 5
近 畿	8	9	1	6			2 4
中 国	3	6	4	5		1	1 9
四 国		1 7	1	6	1		2 5
九 州	2	3	4	2 1	1		3 6
計	6 7	7 2	3 2	8 6	2	8	2 6 7
%	2 5.4	2 6.9	1 1.9	3 2.1	0.7	3.0	1 0 0

- 1.降雨量が基準雨量を越えた。2.崩壊が生じた。3.崩壊により車輛、人命損害が予測された。
4.崩壊により通行不能となつた。5.崩壊により、車輛に被害を生じた。 6.その他

表-5-10 過去3年間の交通規制した箇所の崩壊土量

地 域 \ 崩壊土量(m)	0~200	200~400	400~600	600~800	800~1000	1000~1500	1500~2000	2000以上
北 海 道	1 4	3	3	2	1	1	1	1
東 北	7	3	2	1	5		1	
関 東	6	1		1	2			
北 陸	5	3		1	1		1	1
中 部	2 8	5	1	1		2		1
近 畿	7	2	2	1		1		1
中 国	1 7	1		1				
四 国	1 3	2	2	2			2	3
九 州	3 4		3			1		1
計	1 3 1	2 0	1 3	1 0	9	5	5	8
%	6 5.2	1 0.0	6.5	5.0	4.5	2.5	2.5	4.0

表－５－１１ 過去３年間の交通規制した箇所ののり面保護工

のり面保護工 地 域	擁壁工	張りコンクリート工	モルタル吹付工	コンクリート砕り工	筋芝工	張芝工	種付子吹工	植生工	無処理	網工	落止石柵防工	その他
北海道	3		1		1	2	1		21	3	5	1
東北	1		1	1	7	2			5	1		
関東	1		4	2					3		3	
北陸	3		1				2		3	2		
中部	12		7				1					
近畿	4								6	1	2	
中国	5	1			1			2	11		1	
四国	5								17	2		2
九州	8		6			2	1	1	18	1	2	
計	42	1	20	3	9	6	5	3	84	10	13	3
%	21.1	0.5	10.0	1.5	4.5	3.0	2.5	1.5	42.2	5.0	6.5	1.5

表－５－１２ 過去３年間の交通規制した時の連続雨量

連続雨量(mm) 地 域	0~50	50~100	100~150	150~200	200~250	250~300	300~350	350~400	400以上
北海道	25	6	3	2	1				
東北		1	1	3	1	4	5		2
関東	5	2		3					
北陸	4	3	2		1				
中部		4	22	11	5	1	4	1	2
近畿	2		4	2	6	5			
中国	3	4	3	3	4	1			
四国	5	3	3	5		1			2
九州	1	1	2	12	1	1		2	10
計	45	24	40	41	19	13	9	3	16
%	21.4	11.4	19.0	19.5	9.0	6.2	4.3	1.4	7.6

表-5-13 過去3年間の交通規制した時の最大日雨量

地域 \ 最大日雨量(㎜)	0~50	50~100	100~150	150~200	200~250	250~300	300以上
北海道	27	3	5				
東北		7	3	4	2	1	
関東	3	2		3			
北陸	3	4	3				
中部		8	16	4	11	1	3
近畿	3	2	11	2			
四国	5	6	4		1		
中国	7	4	5				1
九州	1	7	11	6		2	
計	49	43	58	19	14	4	4
%	25.7	22.5	30.4	9.9	7.3	2.1	2.1

表-5-14 交通規制した時の最大時間雨量

地域 \ 最大時間雨量(㎜)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
北海道	27	5	3	1				
東北		1	7	3	1		2	
関東	4	1	4					
北陸	4	3	1	1				2
中部	1	16	19	4	5	2		2
近畿	2	4	8	2				
中国	4	9	3	2				
四国	6	3	1	4	2		1	
九州	3	9	8	3	3		6	6
計	51	51	54	20	11	2	9	10
%	24.5	24.5	26.0	9.6	5.3	1.0	4.3	4.8

6. のり面崩壊観測調査

切土のり面の安定性は3-1-1のところで述べたように、全数調査の結果ではのり面全体の8割程度は安定を保っており、予想よりも比較的高い安定性を示している。しかし、のり面の崩壊の原因や様相が複雑なため、複雑な地質構成や地下水の状態を調査・設計の段階で確実に把握することが困難である。そのため、のり面の勾配あるいはのり面工などの設計は近隣の同種の条件の場所に実施された施工例を参考にし、技術者の経験にもとづく判断によつて行なわれることが多い。また、切土のり面は切土する以前は地山の中にあり、あまり風化作用を受けなかつたものが、大気にさらされるため風化作用によつて、年々強度は低下するものもある。

このような理由から、現在安定しているのり面も豪雨などによる水の作用に対して必ずしも安定であるとはいえない。のり面が安定に保つように、のり面を常に維持管理し、不安定なりのり面は切直しをするか、のり面工を新たに施工するなどしてのり面を安定に保つべきである。しかし、経費、工期、用地などの理由から、なかなか困難な問題である。そのため、集中豪雨などによつて崩壊を起こしそうなりのり面もかなりあると考えられる。しかも、一度崩壊を起こすと車の通行に重大な支障をきたすとともに、最近では人身事故につながるケースも多くなつており、道路の維持管理にのり面は苦慮されている問題である。そのため、普通はある基準降雨量に達した場合には、交通を規制し、のり面崩壊による事故を少なくする方法がとられている。しかし、この基準降雨量は経験的判断によつて決定されたものであり、ある区間にわたつて定められているため個々ののり面に対する基準雨量ではない。個々ののり面がどの程度の降雨に対して安定であるか、また崩壊がいつ発生するかなどを判定する方法があれば、交通規制も現在よりもやりやすく、また交通に対する支障や事故も少なくなると考えられる。

のり面崩壊観測調査は、のり面の崩壊を予知する方法を見だし、交通規制に関する基礎資料を得るために行なつたものである。観測を実施したのり面は名阪国道工事々務所管内の三重県上野市治田地先ののり面である。切土したのり面は花崗岩の上にレキまじり土がついているような地形で、のり面には伸縮計、表面変位計、地中変位計、水位計、間隙水圧計、傾斜計を設置した。そして、これらの計器による観測結果にもとづいて、崩壊の予知に関する検討を加えた。

6-1 観測場所の概要

この観測はのり面の崩壊を各種の計器を設置して測定を行なうとともに、安定計算を含めて解析し、その結果をのり面工の選定基準に反映させるとともに、危険性の予知、警告を行なうための資料としようとするものである。

観測測定場所は中部地建名阪国道工事々務所管内、国道25号線41K500Rである。モデルのり面の地質は、岩分類軟岩工に相当する粗粒風化花崗岩であり、上部に厚さ約4mの段丘レキ層状の砂レキ層が載っている。のり方向はN40°E45°S、節理面はN40~35°E、80°S、N20°W、90°S、N10°E、80°W、N70°W50°N、およびN60°E10°Nが発達している。また節理面間隔は50~100cm、節理は開口なく、節理にそう風化が進んでいる。

観測箇所の地山の強度は一軸圧縮試験、三軸圧縮試験結果では、最も硬いもので $C = 50 \text{ kg/cm}^2$, $\phi = 51^\circ$, やや硬いもので, $C = 4.5 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 38^\circ$, やや軟いもの, $C = 0.3 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 31^\circ$ を示している。崩壊地点の岩質から考えるとやや軟かいものに属するが、崩壊は節理面で生じており、節理面強度によつて検討する必要がある。

6-2 計器埋設

地すべりによる斜面崩壊を観測した際は国鉄の鉄道研究所などで数多く行なわれており、その観測データをもとにして崩壊を予知する方法が見出されている。しかし切取りのり面のような地すべりに比べて比較的突発的に生ずる崩壊に対して、観測した例はあまりない。これは地すべりのような崩壊が継続する場合には、斜面が動き出して後に計器を埋設しても、崩壊の観測記録がある程度得られるためである。これに対して、切取りのり面の場合、崩壊が突発的であり、崩壊発生後、計器を埋設するだけの時間的余裕がないこと、および崩壊が局部的であるため、崩壊前に計器を埋設する場合には多数の計器を埋設しなければならないなどの理由で、崩壊の観測記録を得るのに困難であるといえる。

このような理由から切土のり面の崩壊観測のデータを得るために切土を行なつたのち、ただちに計器を埋設した。計器は1割で切つた花崗岩の部分と花崗岩の上のつて1.5割のレキまじり土の部分に埋設した。のり面に埋設した計器は伸縮計、間隙水圧計、傾斜計、水位計、表面変位計および地中変位計の6種類で、その埋設位置は図-6-1, 6-2に示した。埋設計器の特徴、およびその個数を示すと次のとおりである。なお、計器の埋設は昭和45年9月17日より9月20日までの4日間に実施した。

(1) 伸縮計

伸縮計はのり面の地表部の変位量を測定するもので、時計機構によつて作動させ、変位をインバー線の侵縮によつて自己記録させる構造になつている。設置位置はのり面の崩壊する方向と平行にし、クラックや段落ちのある場所のように崩壊の起りやすい場所に置くのがよい。伸縮計の測定範囲は最大300mmで、地表面の変位が伸縮計の最大変位量を越えた場合には、インバー線を取りかえることによつて測定を継続することも可能である。また記録器には実際の地表部の変位量に対して、5倍拡大されたものが出る仕組みになつており、読み取りが容易になつている。1回の巻き取りによる測定期間には1日、7日、30日の3種類があり、各測定期間ごとに記録紙の取り換えと時計のゼンマイ巻きを行なう必要がある。今回の測定には7日のものを使用した。

伸縮計は崖すいの部分に5個、花崗岩の部分に5個の合計10個の計器を設置した。伸縮計を設置する際には、クラックや崖すいの崩壊しやすい部分に移動杭を設け、その上部に計器を置くための固定杭を設けた。インバー線は木樋や塩ビ管などの保護管で保護するのがよいが、今回の測定には保護管は用いなかつた。

(2) 表面変位計

表面変位計は地表面にあらわれている岩のクラックの開き度を測定するためのものである。岩ののり面では、年月が経過するにしたがつて岩が風化し、クラックの開き度も大きくなり、ついには崩壊を起こす結果となる。特に、選定したのり面の岩が花崗岩であり、風化しやすい岩であるため表面変

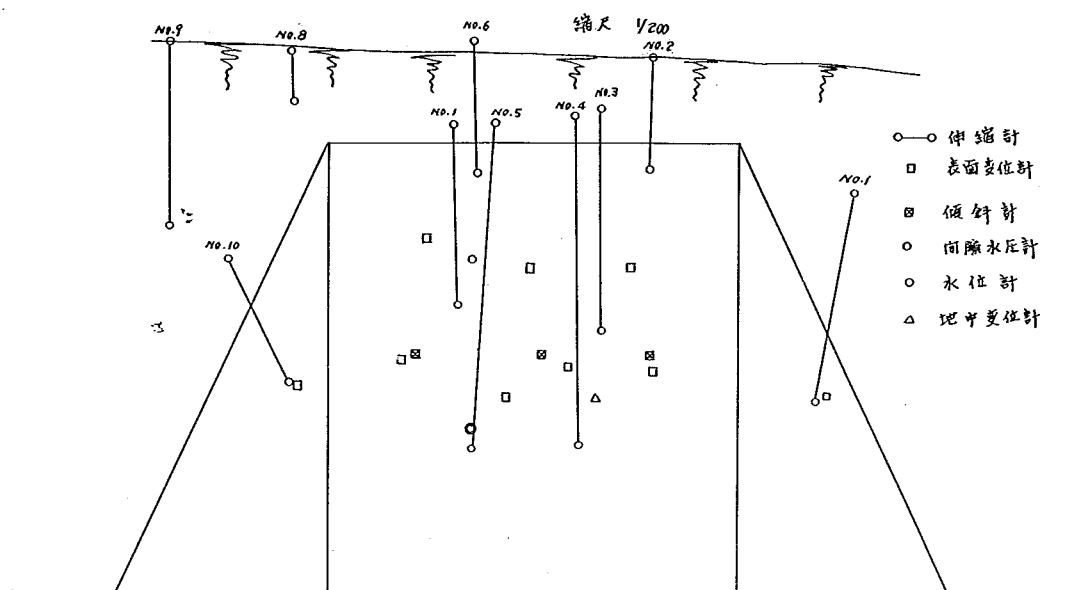


図-6-1 計器設置位置正面図

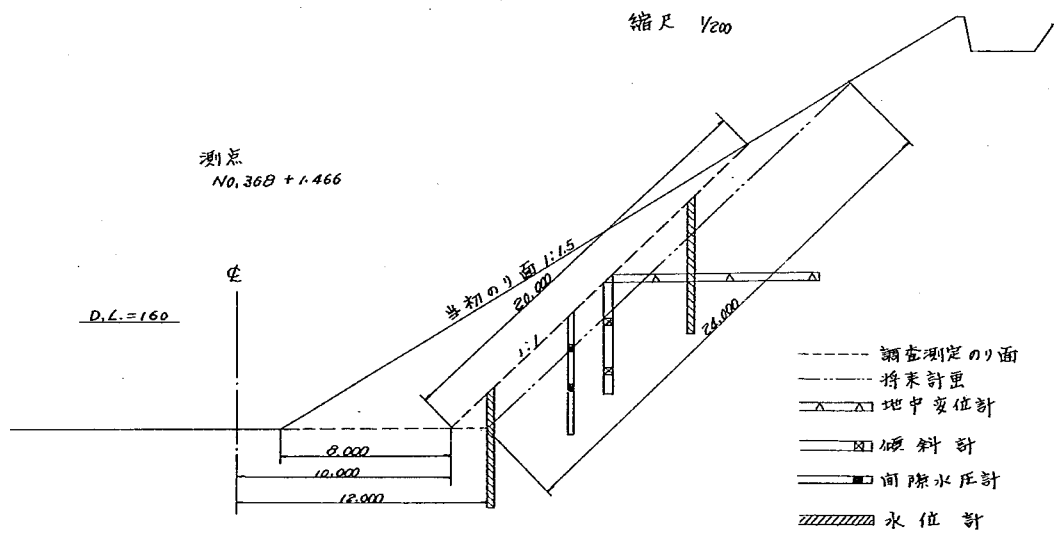


図-6-2 のり面観測測定の箇所断面図

位計を設置した。また、表面変位計はのり面の岩のクラックを測定するのに便利のような構造に改善した。すなわち、クラックをはさんで、片方に10 cm四方の固定板を設置し、他方にダイヤルゲージ式の差動トランスのピックアップを固定する方式にした。計測範囲は最大20 mmで、設置の際にはクラックの拡がる方向へ15 mm、収縮する方向へ5 mmになるように0点を調整した。設置場所は花崗岩のクラックある場所に限り、9個の計器を設置した。

計器は外部からの浸透水を防止するためにOリングが取り付けられており、完全防水防湿型になっている。

(3) 地中変位計

伸縮計および表面変位計は地表面の変位量を測定するものであるが、地中変位計は地中の各点における変位量を測定するためのものである。地中変位計はあらかじめ水平ボーリングをした孔内に、測定点にアンカーをとりつけた塩化ビニール管を挿入し、アンカーより張つたインバー線を地表面でカウンターバランスさせて、地中の変位を撓動抵抗の変化によつて測定するものである。水平ボーリングの長さは10 mにした。また、水平ボーリングの位置はのり面の中央付近の花崗岩の部分で、アンカーの位置はのり面の表面より2 m, 6 m, 10 mの3箇所にした。

(4) 水位計

水位計はボーリング孔内の地下水位の変化を測定するものであり、一般に使われている自記録のできる水位計を使用した。この水位計は孔内に投じたフロートが地下水位の変化によつて上下に変動する量を記録用ドラムにペン書きするもので、時計で記録用ドラムを駆動させるため長時間の連続記録が可能である。水位計の記録日数は30日で、30日経過ごとに記録紙を取り換える必要がある。また測定の精度は10 mmである。計器の埋設位置はのり尻より2.6 m, 16.3 mの二箇所、のり面の下部と上部に水位計を設置した。ボーリング孔の深さ6 mにした。

(5) 間隙水圧計

観測するのり面が花崗岩ののり面であるため、間隙水圧計を圧入することが不可能なため、まずボーリングを行なつて間隙水圧計を埋設した。埋設した間隙水圧計は中間パイプを通してボーリング孔内に埋め込んだもので、埋設後周囲を土で埋め戻しを行なつた。計測範囲が0.4 kg/cm²の間隙水圧計を使用し、のり尻から8 mの位置に、のり面の表面よりそれぞれ1.45 m, 3.4 m, 5.5 mの深さに3個埋設した。なお、間隙水圧計の測定精度は±0.5である。

(6) 傾斜計

傾斜計はすべり面の位置およびすべり量を測定するもので、あらかじめボーリングした孔内に中間パイプを通して、目的の位置にピックアップを降ろし、周囲を土で埋め戻して固定する。ピックアップの中心軸には規準方向とそれに直角の方向に固定された2個の撓動抵抗があり、振子の傾斜角に応じて撓動する2個の接点とその抵抗のおおのに配置されている。そして、ピックアップが傾斜すると振子は垂直のままであるから、撓動接点の位置が変化する。この抵抗値の変化量を測定器で読みとると傾斜角度が求まることになる。このような傾斜計をのり面の中央付近に、三箇所ボーリングを行

ない、1ボーリング孔につき2個、合計6個埋設した。なお傾斜計の深さはそれぞれのり面の地表面より2.15 m、4.75 mである。

(7) 測定器

伸縮計および水位計は時計付きの記録用ドラムによる機械的記録方式であるため、測定器は特に必要でない。測定期間が経過するごとに、ドラムについている記録紙を取り換えることによつて測定を継続することができる。しかし、表面変位計、地中変位計、間隙水圧計、傾斜計は遠隔自記記録するために、自記記録器が必要である。そのため、24点用の打点式自記記録器を使用した。この記録器は連続または6時間に1回、12時間に1回と始動周期を変えることができる。今回の観測には6時間に1回の始動周期で記録した。

6-3 観測結果

観測は計器を埋設した昭和45年9月17日より、花崗岩の風化によつてのり面が崩壊した昭和46年8月7日までの約1年間にわたつて実施した。のり面の崩壊状況ならびに計器による測定結果について述べると次のようである。

(1) のり面の崩壊状況

計器を埋設した時点におけるのり面は、切土を行なつて間もないのり面であるため、風化もなく硬い花崗岩ののり面で、見た目には写真-1に示すような安定なのり面のように思われた。そのため、花崗岩の上部にのつているレキまじり土が小崩壊を起こす程度か、花崗岩の風化によつて、落石を生じる程度の崩壊しか期待できないようなのり面であつた。しかし、計器埋設の際、のり面をよく観察するとおり面の方向と直角方向に数箇所、2~3mm程度の大きなクラックではないが認められたこと、地域的に多雨地帯であるため花崗岩の風化もはやいと、および周囲ののり面で1割程度の勾配で切土したところ崩壊を起こした例があり、現在は1.5割~2.0割程度のゆるいのり面に切り直されていることなどの理由から、崩壊するかもしれないという期待が一応もたれた。

計器埋設した4日間は天候が悪く、ほとんど毎日雨の日であつた。そのため降雨による浸透水の影響を観察することができたが、のり尻周辺が湿潤する程度で浸透水は認められなかつた。また、水位計による地下水位ものり面から、6.0m程度で、地下水位が低いことが知られた。そのため、浸透水や湧水によつて間隙水圧が上昇し、その結果有効応力が減少し崩壊するといった現象はあまり期待できないのり面であつた。

観測測定を開始した昭和45年9月17日から、約1ヵ月後の10月23日に図-6-1の左側の伸縮計No10のあたりの土砂が小崩落を起こした。崩壊土砂量は3m³程度で、大きな崩落には至らなかつたが、No10の伸縮計が土砂とともに崩落し、測定が不可能となつた。崩壊場所は花崗岩の上のレキまじり土の部分で、計器埋設時には部分的に段落が認められた箇所である。その後、あまりのり面には大きな変状は認められなかつたが、12月の時点でのり尻付近には表面水の浸蝕によつてかり浸蝕を受けた形跡が認められるようになった。しかし、明けて翌年の46年の5月末頃から、計器埋設時に認められたクラックからはらみ出しが生じ、のり面の崩壊が起こる危険性が認められるようにな

つた。この時期には、硬い花崗岩であつたのり面も、かなり風化がすすみ、のり面の表面は簡単にはげ落ちる状態にまでになった。そして、6月の梅雨期に入つて崩壊が一期に進んだ。すなわち、伸縮計 $\#9$ 地点の崩壊が6月5日に起こり、つづいて上部のり面の1.5割で切土したレキまじり土の部分にクラックが入り、7月25日にはのり面全体が大きな崩壊を起こし、崩れ落ちた。写真-2は崩壊後ののり面の状態を示したもので、上部のり面の崩壊の落差は3.9 m程度に達した。また、すべり面付近ののり面の状態はレキまじり土砂の下は風化した花崗岩が手で押しつぶせる程度に風化しており、崩れ落ちたのり面は花崗岩というよりも、むしろマサ土に近い状態になつていた。図-6-3は崩壊後ののり面の断面を示したもので、のり面中央部のクラックからのり面上部にかけて崩壊を起こしたことが認められる。

(2) 観測時の降雨量

のり面崩壊の観測地点に選定したのり面は、三重県と奈良県の県境に近い場所で、日本でも比較的雨の多い多雨地帯である。なお年間平均降雨量は約1400 mmである。のり面観測を実施した昭和45年9月17日から、観測を終了した昭和46年8月5日までの累計降雨量は1267 mmに達した。そのうち、降雨量の多かつた月は7月で、月降雨量は257.5 mmである。つづいて5月、6月の161 mm、171.5 mmである。なお、9月の月は半月間に131 mmも降っており、7月につづいて多い月であるといえる。逆に降雨の少なかつた月は1月、2月、12月で、それぞれの降雨量は27 mm、47.5 mm、52 mmである。つぎに、日降雨量についてのべると日降雨量が20 mm~30 mmのものが12日、30 mm~50 mmのものが5日、50 mm以上のものが4日となつている。

(3) 伸縮計の観測結果

地すべりの崩落の予測として、最近実施されている方法は道路上あるいはその付近に亀裂、段落ちが発生した場合や道路の1部が崩落した場合に、これらの亀裂および段落ちをまたいで、警報器つき伸縮計を設置し一定時間当りの速度を測定して危険状態を予想する方法がとられている。しかしながら、ひずみ速度は地すべりの規模や土質にかなり影響される。すなわち、粘性土の場合は比較的大きなひずみ速度でもなかなか崩落しないが、砂質土や風化岩で構成されている時は、短時間で滑落する傾向がある。特にのり面は地すべりに比べて崩壊の規模が小さいため、短時間に崩落する場合が多いといえる。

図-6-4は今回実施した伸縮計ののり面の観測結果を示したものである。図の上の部分は日降雨量を示しており、下には変位量が示されている。なお、 $\#4$ 、 $\#6$ の伸縮計は計器がのせてある固定点が移動した変位量である。一見してわかることは、降雨量と変位量との間に相関があるということである。すなわち、降雨量の少ない12月、1月、2月、3月には各点の伸縮計ともほとんど変化していないが、降雨量の多い6月、7月には大きく変動していることである。また、伸縮計 $\#9$ に着目すると、雨の比較的多かつた9、10、11月には変位量が大きくなつてきているが、12、1、2、3月の時期にはほとんど変化しておらず、運動は停止している。そして、4月に徐々に動き出し、5、6月と降雨の多い時期に変位が急上昇し、ついに崩壊している。このことは、のり面の崩壊も突発的

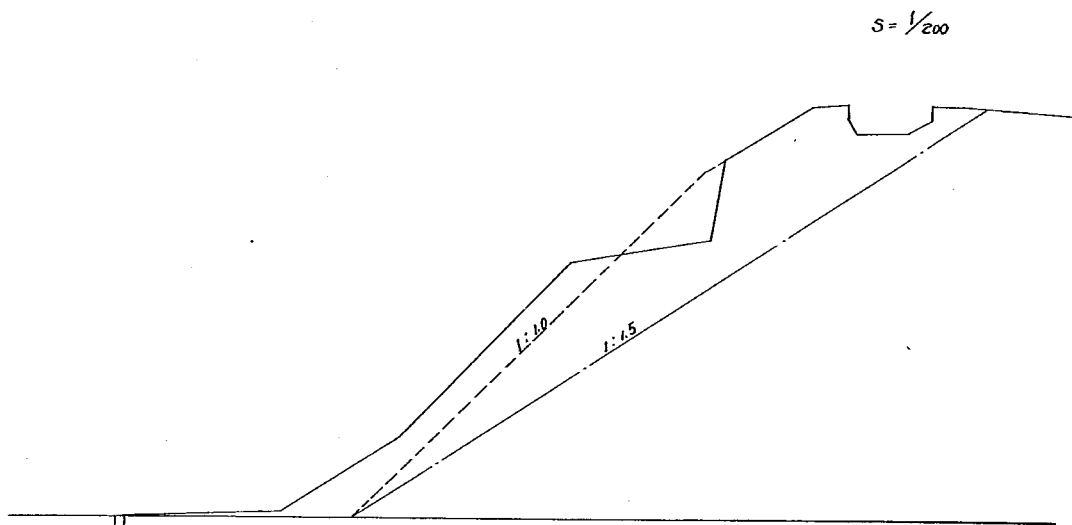


図-6-3 のり面崩壊後の断面図

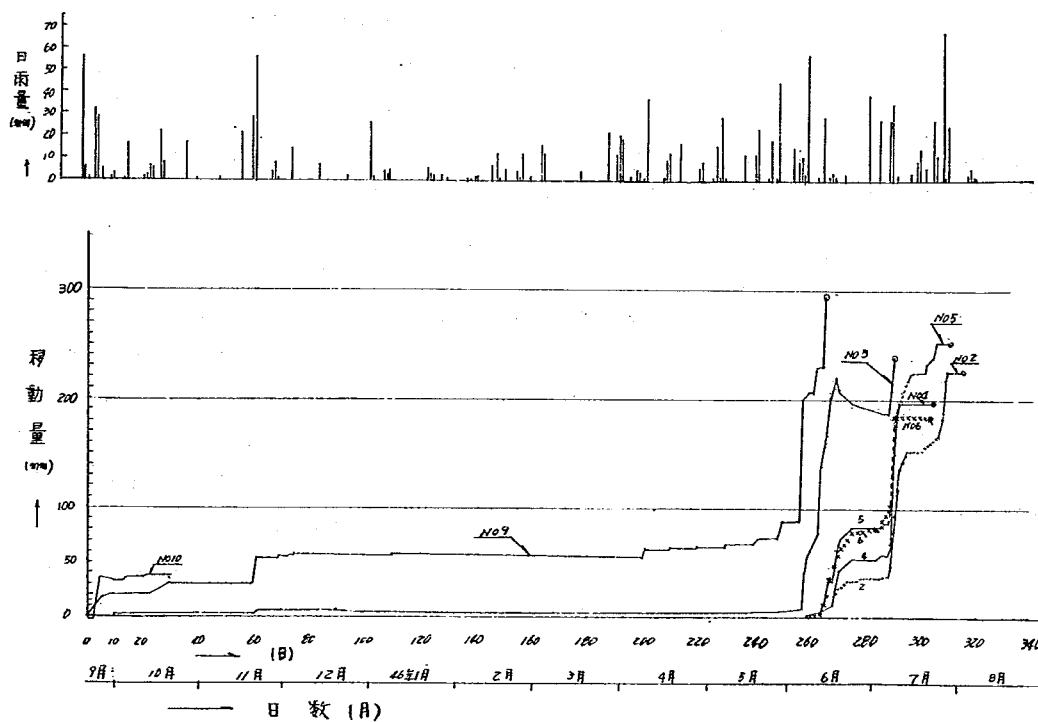


図-6-4 移動量と雨量

に起こるものでなく、一雨ごとに徐々に動き出し、ある変位置に至り、安定性が失われると急激に崩落が起こることを示している。また、降雨の多い時期には変動するが、降雨の少ない時期にはその運動も停止することを示している。

つぎに、連続雨量について検討してみると、次のようになる。まず、計器埋設した直後、9月22日～9月23日にわたって72mmの雨量があつたが、このとき伸縮計No.9、No.10はそれぞれ1.2cm、3.0cmの変動を示した。その後、あまり変化は認められないが、10月16日～10月17日に30mm前後の雨量があり、No.10の伸縮計の地点が小崩壊を起こした。このときはNo.9の伸縮計はあまり変化していない。しかし、11月18日～11月19日の85mmの雨量のとき、No.9の伸縮計は2cm程度変動している。その後、また変動は停止していたが、昭和46年5月26日～5月27日の47mm程度の雨で1.2cmばかり変動した。そして、6月3日～6月6日にわたって79mmの降雨があり、このとき1.2cmも変動し、崩壊を起し始めた。また、この雨でNo.3の伸縮計も3.3cm程度変動した。この時期は丁度のり面のクラックからはらみ出しやレキまじり土の上部のり面にクラックが認められ、のり面全体の崩壊のきざしがあらわれた時である。その後、約1ヶ月の間に100mm程度の雨量があり、No.2の伸縮計が3.7cm、No.3の伸縮計が1.5cm、No.4の伸縮計が5.5cm、No.5の伸縮計8.8cm、No.6の伸縮計が9cm程度変動した。特に、6月12日の28.5mmの降雨から変動し始め、その後の1週間がもつとも大きい変動を示している。変動量の大きい伸縮計ほど早く変動が起つていことからして、崩壊が徐々に伝播し、進行性破壊を起していることがうかがえる。そして、7月6日から7月7日の72mmの雨量でNo.3の伸縮計の地点が崩壊し、No.2、No.4、No.5、No.6の伸縮計もそれぞれ5cm～8cm程度変動した。そして、7月22日～23日の38.5mmの雨でのり面が大きな崩壊を生じた。

のり面崩壊の初期の段階と崩壊によつてのり面が崩落した時期とを比較すると、連続雨量および変位置のあいだにかなりの相違点が認められる。のり面の崩壊の初期の段階では、それまで比較的のり面が安定していたため、かなりの連続雨量がないとのり面は変動しないし、またその変位置も少ない。そして、崩壊が進むにしたがつて、少ない連続雨量で変動し始め、またその変位置も大きくなる。崩壊時には30mm前後のあまり大きくない連続雨量でのり面では崩落している。例えば、No.9の伸縮計の変位置と連続雨量を例にとると、崩壊の初期には連続雨量72mmに対して変位置が1.2cmであつたものが、崩壊が進むにしたがつて85mmに対して2.3cm、46.5mmに対して1.2cm、79mmに対して1.2cmと、変位置1cmに対する連続雨量が60mmであつたものが、37mm、38mm、8mmと低下していることがわかる。そして、28.5mmの連続雨量で崩壊を起している。

つぎに切土し、計器埋設してから崩落するまでの累計変位置は、No.2、No.3、No.4、No.5、No.6、No.9の伸縮計で、それぞれ2.6cm、2.3cm、1.9cm、2.5cm、1.8cm、2.8cmであり、2.0cm～2.5cmのものが多い。

(4) 間隙水圧計ならびに水位計の観測結果

浸透水および湧水のあるのり面では、間隙水圧の上昇によつてすべり面での有効応力が減少し、土

のせん断抵抗が小さくなるため、崩壊を起こす場合がある。そのため、斜面の安定性を検討する際には、現地の試料を採取し、三軸圧縮試験などから土のせん断強度を求め、また現地に間隙水圧計を埋設して間隙水圧を測定し、それらの結果をもとにして安定解析が行なわれることが多い。

図-6-5は水位計によつて測定した地下水位の高さを示したものである。なお、測定期間中の地下水位の変動量は5 cm程度である。

つぎに、間隙水圧計の測定結果についてのべると、計器埋設時の間隙水圧は、のり面から8.0 mの位置の $\#1$ （のり面より1.45 m下）で 0.013 kg/cm^2 、 $\#2$ （のり面より3.4 m）で 0.032 kg/cm^2 、 $\#3$ （のり面より5.5 m下）で 0.020 kg/cm^2 である。その後の降雨と間隙水圧との関係を調べてみると、降雨時には間隙水圧は当然のことであるが上昇している。間隙水圧の上昇割合は梅雨期以前ではのり面が比較的乾燥している場合が多いため、その割合は少なく、 $\#2$ 、 $\#3$ ともに、計器埋設時に比べて 0.05 kg/cm^2 の上昇程度である。 $\#1$ はほとんど変化していない。間隙水圧の上昇のしかたには、土質および地質によつてかなり異なると考えられるが、測定結果では、梅雨期前では、降雨中よりも降雨後12時間程度経過した時に間隙水圧が最高値を示している。また、水位がもとの値に回復するのに少なくとも4~5日必要である。このため、梅雨期のように降雨の多い日が続く場合、間隙水圧が低下する時間がないため、降雨があるたびごとに間隙水圧は上昇することになる。5月末頃から、間隙水圧は上昇し始め、のり面が崩壊した7月25日には $\#2$ 、 $\#3$ の間隙水圧計はそれぞれ 0.176 kg/cm^2 、 0.315 kg/cm^2 の値を示し、計器埋設時に比べて 0.115 kg/cm^2 程度上昇している。これは水頭往直すと、115 cmになり、浸透水がのり面の崩壊に影響を及ぼしていることがうかがえる。

図-6-6は測定した間隙水圧をまとめ、図示したものである。

(5) 表面変位計の観測結果

表面変位計は岩ののり面のクラックの開き度の変化を測定するために設置したものである。計器の容量は20 mmであり、計器埋設時には、クラックが大きくなる方向に容量を大きくするために、0点を5 mmに合した。そのため、クラックの大きくなる方向へ15 mm、小さくなる方向へ5 mm測定することが可能である。のり面に埋設した計器は9個で、そのうち、クラックの開きが大きくなつたものが3個、最初大きくなり、のち減少したものが2個、小さくなつたものが3個、計器が故障したものが1個となつている。クラックの大きくなつたもののうち、2個は計器埋設後1ヶ月の間に、しかも降雨のあと1日で急激に15 mm程度増加したものである。1つは、計器埋設後、徐々に増加し、のり面崩壊時には7.4 mm程度、クラックは大きくなつている。また、クラックが大きくなり、のちに減少したものの変動量は±3 mm程度である。クラックが小さくなつたものでは、急激に容量いっぱい達したものが1個、徐々になつたものが1個、1 mm程度の変化のものが1個となつている。

表面変位計と伸縮計のそれぞれの観測結果を比べた場合、表面変位計は降雨量との関係がはつきりせず、また変動のしかたも、それぞれ観測した場所の計器で異なつている。この理由としては、花崗岩の風化が早く、表面水によつて設置した固定板および計器の下部分が洗掘されたため、測定した

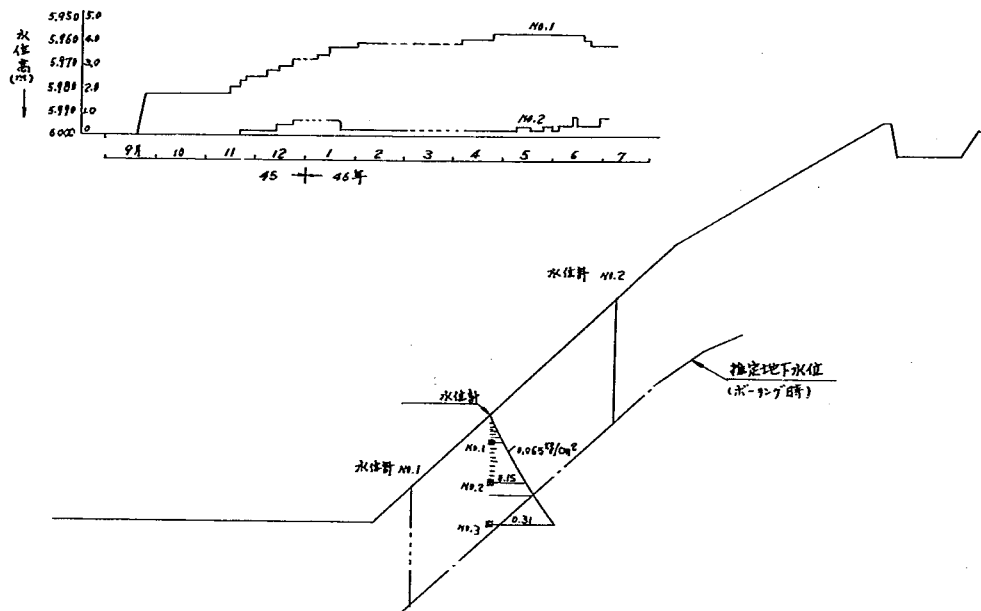


図-6-5 地下水の変化

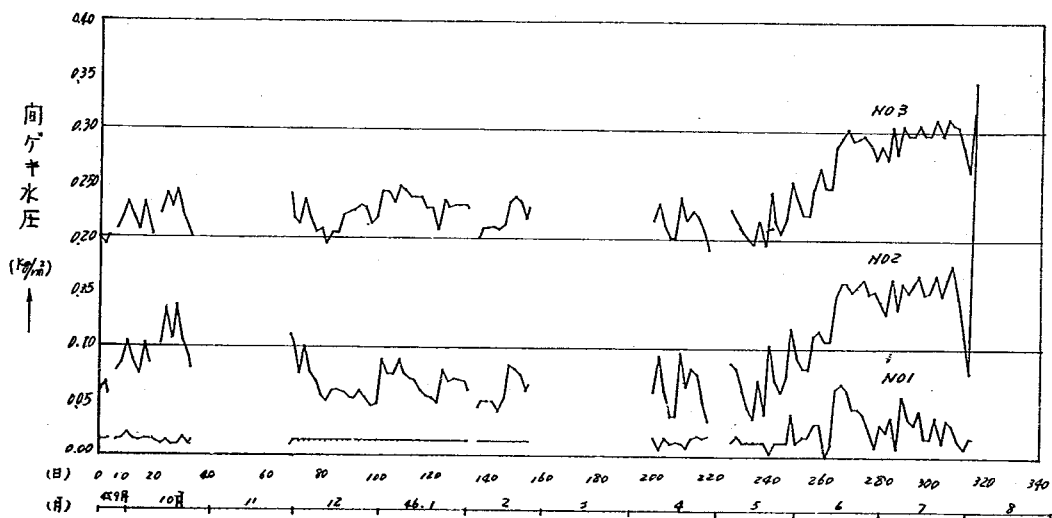


図-6-6 間ゲキ水圧の変化

結果には洗掘によつてそれらが移動した量も含まれていること、および完全防水といえどもおおいもせずのり面に放置していたため、計器がさびつき動きが鈍くなつたことなどがあげられる。このため、岩ののり面のクラックを測定する際には、計器および固定板の設置方法に工夫をこらし、雨水が直接あたらないようにおおいをすべきである。また、凝灰質岩、泥岩、年代が若く節理の発達した岩や変成を受けた岩のように風化の早い岩には、クラックの開き度を測定するための表面変位計はあまり適切であるといえない。

(6) 傾斜計、地中変位計の観測結果

傾斜計はのり面の中央付近の横方向に3箇所、1箇所につき2個の合計6個埋設した。深さはのり面から2.15 mと4.75 mの位置である。のり面崩落が起こる半月前までは、傾斜計の動きはほとんど認められなかつたが、それ以後徐々に動き出したがそれほど大きくならなかつた。

しかし、多少ではあるが ϕ 11の地点では、深さ2.15 m、4.75 mのところがともに動いており、すべり面が深いことを示している。また ϕ 12の地点では、深さ2.15 mの傾斜計は動いているが、4.75 mのところであまり変化していない。また ϕ 13の傾斜計も変動していない。このことから、図-6-1において崩壊はのり面の右下方向へ起こつていくことがうかがえる。

傾斜計はすべり面の位置を測定するのに用いられる計器であるが、すべり面を正確に求めるには数を増やす必要がある。しかし、埋設する場所が限られるため、計器は崩壊しやすい場所を選ぶことが大切である。

地中変位計は地中の変位を測定するために1箇所選び、埋設したものであるが、すべりが地中変位計よりも上部で生じたため、地中変位計の変動は認められなかつた。

6-4 崩壊の予知に関する検討

切土ののり面の崩壊は複雑な地質構成や降雨による浸透水、地下水が原因となつて崩壊する例が多い。また、自然地盤はきわめて複雑で不均一であると同時に切土のり面は盛土と異なり、施工後の時間経過とともに徐々に不安定になる性質を持つているため、調査・設計の段階で安定計算によつてのり面の安定性を検討する場合はごくまれであると考えてよい。

切土した時点での花崗岩の三軸圧縮試験で求めた強度定数は弱いところで $C = 8 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi = 36^\circ$ である。ところが、崩壊したのちの断面および傾斜計の測定結果からすべり面を推定し、円弧すべりによる分割法で、 $\phi = 36^\circ$ と仮定して C の値を求めると、図-6-7のように $C = 0.25 \text{ t/m}^2$ になる。三軸圧縮試験から求めた土の強度は採取、成形時のみだれによる誤差が多少含まれているにしても、切土した時点と崩壊時とでは、かなり違つている。これは、のり面を無処理のまま10ヶ月程度放置していたため、風化作用によつて花崗岩が風化し、強度が低下したためである。このように切土した時点で、風化作用などによる岩の強度の低下を推定することは不可能であり、そのうえ岩ののり面ではクラックなどが発達しており、すべり面を仮定することも困難である。また土ののり面においても、不飽和度の土の強度を求めることがむずかしいのが現状である。このようなことから、切取りのり面の安定解析はむずかしいといえる。しかし、風化作用による岩の強度の低下割合および不飽

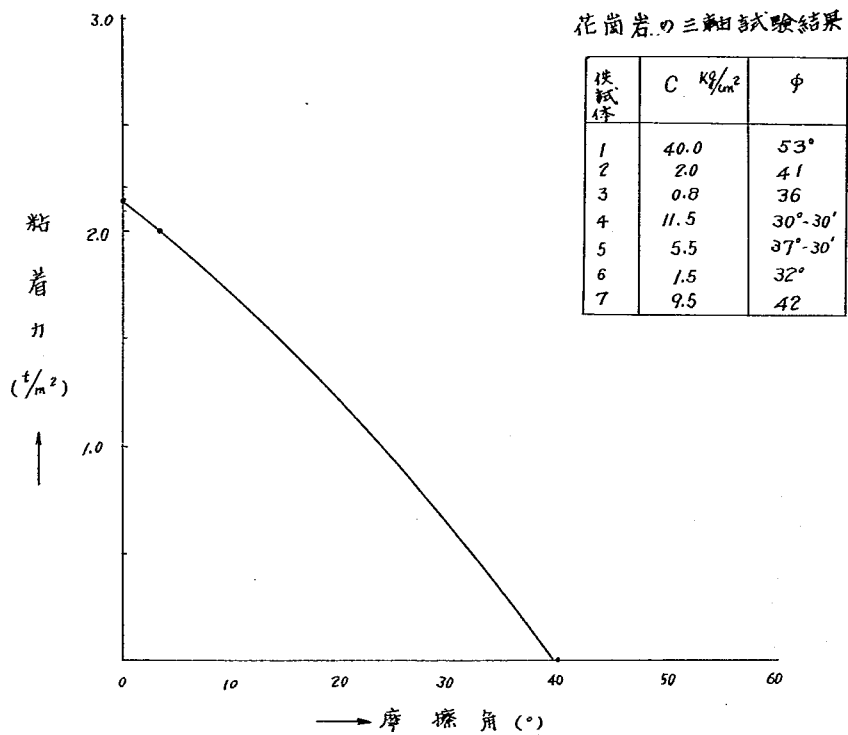


図-6-7 すべり面から求めた C , ϕ の値

和の土のせん断強度に関する研究を行なつて、のり面の安定性に関する総合的判断をくだす場合の基礎資料をととのえることは大切なことであると考えられる。また、花崗岩は切土したときは圧縮強度もかなりあつたものが、10ヶ月後にはその強度がいちじるしく低下し、マサ土のようになってきたことからして、花崗岩の風化が予想以上に早いことがうかがえる。

切土のり面は切土した時点で安定であつたのり面も、時間の経過とともに不安定になる性質を持っているので、どの程度の降雨に対してのり面が安定であるか、またいつ崩壊するかを予測することは道路を管理するうえで重要なことである。

斜面の崩壊を予知する方法としては、普通斜面にあらわれた亀裂および段落をまたいで、警報器つき伸縮計を設置し、一定時間あたりのひずみ速度を測定することによつて危険状態を判断する方法がとられている。この方法は斎藤らによつて見出されたものであり、ひずみ速度に着目して、ひずみ速度と破壊に達するまでの時間の関係を求めて、実際の地すべりの崩壊の予知に役立てたものである。図一6-4の伸縮計の観測結果をみてもわかる降雨量と変位量との間には相関関係にあり、降雨量が多くなると変位量は大きくなるが、降雨がないと変位も停止する傾向にある。斎藤の理論はもともとクリープ理論にもとづいたものであり、時間の経過とともにひずみ速度は増加することになる。

地すべりのように崩壊規模の大きく、ひずみ速度もゆつくりしている場合とのり面の崩壊のように、比較的小さく、ひずみ速度の早い場合とでは崩壊の現象も異なると考えられる。のり面の崩壊規模が小さい場合、例えば板10のような場合は1日で崩壊し、観測記録も十分とれないからである。また、のり面の崩壊は比較的浅いところで起こることが多いため、降雨の影響を直接うける。すなわち雨水の浸透によつてせん断強度が低下し変形を起こすが、降雨が止まると浸透水の影響が少なくなり、せん断強度が回復し変形が少なくなる。そして降雨のたびごとに、このような作用を受け、次第に変形が大きくなり安定性が失われて崩壊するケースが多いと考えられる。このことより、のり面の崩壊は降雨量と変位量との関係から崩壊を予測することが大切であると考えられる。図一6-4の変位量にもそのようなことがあらわれている。降雨があると変形するが、降雨がないと変形が止まることから、変形は階段状に上昇している。

つぎに、連続雨量と変形について検討を加えてみる。観測結果のところでものべたように、切土した初期の段階では、かなりの連続雨量がないとのり面は変形しないが、時間が経過するにしたがつて少ない連続雨量で変形し始める。

図一6-4をみると崩壊に近づくにしたがつてある変位量変形するのに必要な連続雨量は小さくなつており、この状態において連続雨量が大きくなると、変形量はそのぶんだけ大きくなり、崩壊することになる。観測結果が1ヶ所に限られているためはつきりしたことはいえないが、のり面の崩壊の予知の方法として、図一6-4の結果を利用してのり面がある変位量変形するのに必要な連続雨量を求め、この連続雨量から、のり面が崩壊に達するのに必要な連続雨量を算出し、その連続雨量で崩壊が起こるものとする方法も1方法であると考えられる。このように、伸縮計による表面変位を測定し、それをもとにして基準降雨量を求め、交通規制をすれば、交通規制のための基準降雨量の精度もあがると考

えられる。

次に表面水や湧水のあるのり面では降雨による浸透水によつて、間隙水圧が上昇し、のり面の安定性が失われて崩壊を起こした例もある。また、降雨による浸透水がのり尻より上部に流失する場合は、のり尻付近が洗掘されて小崩落を起こし、小崩壊が上部へも影響を及ぼし、小崩壊を誘発し、ついには崩壊を起こすこともある。このため、のり面の安定性を検討する際には、間隙水圧および地下水位を測定することは必要である。しかし、のり面の崩壊の予知に測定した間隙水圧および地下水位の値をそのまま使うことは現状では少し無理のようである。今回測定した間隙水圧は、崩壊が起こる1ヶ月前頃から上昇し始めているが、のり面の安定性をそこなうほどの大きさではない。

表面変位計はクラックの開き度の変化の割合によつて岩ののり面の崩壊を予知しようとする新しい試みであるが、測定したのり面が花崗岩のり面であまりにも風化が早かつたため、表面水の浸食によつて計器のまわりが洗掘され、あまり良い結果が得られなかつた。今後、新たに別ののり面に設置し、検討する予定にしている。

傾斜計はもともとすべり面の位置を測定するものであり、崩壊の規模を知るうえで有効な計器である。またのり面の崩壊の予知をある程度知ることではできるが、いつ崩壊が生じるかなどを予測する計器としては不十分である。この理由としては、ボーリングをし、孔内に多数の計器を埋めるため、のり面の崩壊を起こしそうな場所を適切に選択しないと良い結果が得られないことがあげられる。また、のり面の変形を傾斜角で求めるなら、伸縮計などに比べてあまり感度がよくないという欠点をもっている。地中変位計についても同様なことがいえる。

のり面の崩壊を予知するための計器としては、以上のべてきたことがらからして、伸縮計がもつとも良いと考えられる。そして、のり面の状況および目的に応じて、他の計測器を加えて測定するとさらに崩壊に対する詳しいデータが得られ、より適確な崩壊の予測をすることが可能になると考えられる。のり面の崩壊を予知する方法としては、のり面の崩壊の規模が大きく、地すべりの崩壊の場合には、斎藤らの方法によつて予地することができる。しかし、のり面の崩壊のほとんどは地すべりのような大規模な崩壊は少なく、のり面の崩壊現象も異なっている。観測結果からいえることは、のり面の変形量と降雨量との間には非常に相関がよく、また基準雨量でもつて交通規制が行なわれていることからして、伸縮計でもつてのり面の変形量を測定し、前にのべたような変形量と連続雨量との関係を求め、各のり面が崩壊する連続雨量を算出して、この値を越えた場合にはのり面が崩壊するという考え方ものり面の崩壊の予知の1方法であると考えられる。

なお、のり面崩壊観測調査は名阪国道工事々務所の協力で行なつたもので、観測調査に協力していただいた方々に深く謝意をのべるしだいです。

写真-1 計器埋設時ののり面状態

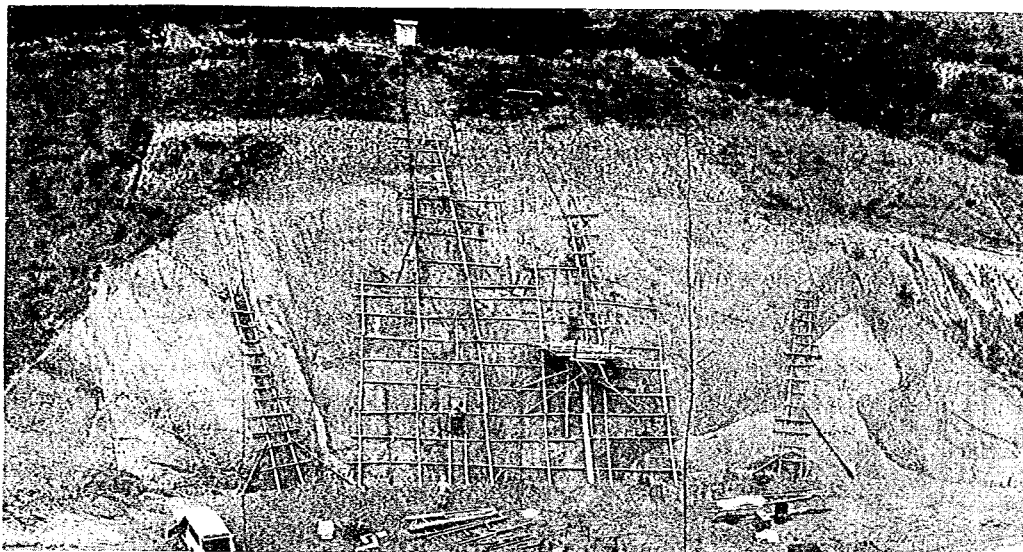
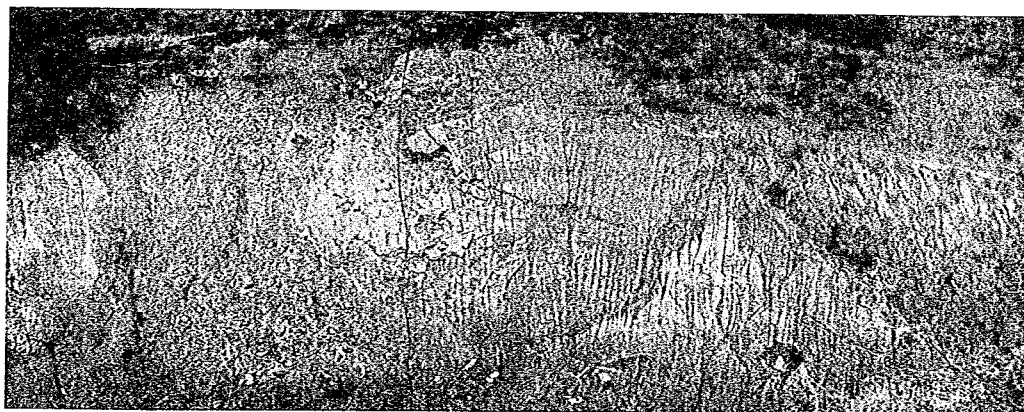


写真-2 崩壊時ののり面状態



7. 空中写真の利用

7-1 これまでの経過

切土のり面の安定解析に空中写真がどの程度利用できるかについての検討を昭和45年以来進めてきた。

昭和45年度は、北九州道路について、国土基本図の縮尺1/14,000 空中写真を用い、縮尺1/1,000 でのり面付近の図化、のり面工種の判読をおこない、空中写真利用の可能性について検討をおこなった。

本年度は、国道8号線の親不知付近について、縮尺1/6,000 空中写真を用い、縮尺1/500 でのり面付近の図化、のり面工種およびのり面安定度についての判読をおこなうと共に、空中写真を利用したのり面安定解析の方法および限界について検討をおこなった。

7-2 のり面の図化

国道8号線親不知付近について、高田国道工事々務所の縮尺1/6,000 空中写真(表-7-1)を利用し、縮尺1/500 でのり面付近の図化をおこなった。

表-7-1 利用した空中写真

	昭和45年度 北九州道路	昭和46年度 国道8号線
計画機関	国土地理院	北陸地方建設局 高田工事々務所
写真番号	国土基本図 CG-69-5 C5-7, 8, 9,	国道8号線 C1-27, 28,
カメラ	RMK-A	RC8
画面距離	152.45mm	210.63mm
撮影高度	2,100m	1,300m
撮影年月日	昭和44年11月13日	昭和44年8月10日

縮尺1/6,000 空中写真を12倍に引伸ばす縮尺1/500 の図化であつたので、一級図化機ウィルド・オートグラフA7を使用した。

図化にあつては、空中写真撮影前に対空標識の設置がおこなわれていなかったため、対地標定は国道8号線の1/1,000 平面図を利用しておこなったが、対地標定を正確におこなうには確かな地物が不足して、概略の対地標定をおこなうに止まつた。通常の図化の常識からみれば、1/1,000 平面図をもとに対地標定をおこなうこと、1/6,000 空中写真を12倍にも伸して縮尺1/500 で図化をおこなうことは図化精度の上で、問題があるが、ここでは、1/6,000 空中写真を利用して、のり面をどの程度まで細かく判読、図化できるかということを目的にした。

のり面の図化にあたっては、空中写真上で区分できるのり面保護工種、植生分類をはじめ、識別できるすべての線・パターン・色調差をのり面平面図7-1に描画した(図・7-1〔1〕～図・7-1〔5〕) さらに、この平面図7-1を現地においてのり面と対照し、現地調査の結果により修正、追加してまとめたものが、のり面平面図7-2である。(図7-2〔1〕～図7-2〔3〕)。

のり面平面図7-1と7-2では、保護工種判読の誤り、意味のない線の記入、保護工種区分線の部分的な脱落などがあるが、主要部は描画されており、現地で簡単な点検をおこなうだけでよいことが明らかであろう。

のり面幅延長・のり高・のり勾配についても現地で点検したが、対地標定をおこなう場合に使用した平面図の地物と空中写真上の地物の対応さえついていれば、長さ、高さの測定誤差(現地で直接計った長さ・高さの値と空中写真により測定した長さ、高さの差)は1m以内に十分おさまっていた。

7-3 のり面の判読

7-3-1 のり面保護工種の判読

1/500 のり面平面図の描画時および1/6,000 密着写真上での簡易実体鏡による観察で、のり面保護工種およびのり面の安定度について判読した結果、および現地でののり面の調査結果をまとめたのが表7-2『のり面の判読・現地調査対照表』である。表2をみると、調査路線が急斜面の北側を通るため日蔭となる部分が多く、日蔭の部分ではのり面保護工種の判読が困難であったが、日なたの部分では工種の判読がある程度可能で、その結果は表7-3『のり面判読の傾向』に示してある。表7-3には昭和45年度の判読結果もあわせて示しておいた。

表7-2 のり面の判読・現地調査対照表

のり面番号	判 読	現 地 調 査	備 考
2	擁壁工	擁壁工	上方に崖すいあり
3	擁壁工	擁壁工	
4	擁壁工	擁壁工	
5	(張石工) 擁壁工	擁壁工	小崖すいあり
6	モルタル吹付	モルタル吹付工	無処理(岩露出)と誤る可能性あり
7	1) 擁壁工 2) モルタル吹付	1) ブロック張工 2) モルタル吹付工	
8	無処理		写真映像体擁壁工となる
9	1) 張石工 2) モルタル吹付	1) ブロック張工 2) モルタル吹付工	
10	1) 擁壁工 2) 張石工 3) 筋芝工 張石工	1) 擁壁工 2) 張石工 3) 筋芝工 ブロック張工	上方に大崖すいあり
11	モルタル吹付	モルタル吹付工	形態、色調より張コンクリート工と誤る可能性あり段切の縦筋に凹凸あり
12	張石工	擁壁工	小地すべり地形末端
13	擁壁工	擁壁工	大地すべり地形末端
14	張石工	擁壁工 ブロック張工(一部)	大地すべり地形末端

表-7-3 のり面判読の傾向

	箇所数	正しく判読した箇所数	判読率%	誤って判読した内訳と理由
擁 壁 工	16	13	81	張石工 3
	8	6	75	張石工 2
ブロック張工	0			
	4	0	0	擁壁工 3 張石工 1
張 石 工	6	3	50	擁壁工 2 モルタル吹付工 1
	1	0	0	
コンクリート砕工	7	4	57	張芝工 1 芝がよく生育したため 筋芝工 1 同 上 張コンクリート工 1
	0			
モルタル吹付工	0			
	4	4	100	
張 芝 工	20	12	60	擁壁工 1 日陰であったため 張石工 5 無処理 2 灌木が進入したもの
	0			
筋 芝 工	0			
	1	1	100	

注1. 上段は北九州道路(写真縮尺1/14000), 下段は国道8号親不知付近(写真縮尺1/6000)の判読結果

北九州道路と国道8号線についての判読結果から、のり面保護工が空中写真上でみえる特徴をまとめたのが表-7-4「保護工種判読の要点」である。表-7-4ののり面保護工種区分のうち実線で一括区分された各保護工種群(表-7-4の工種群Ⅰ～Ⅳ)は他の保護工種群とはかなり異なつた特徴を空中写真上で示すので、のり面保護工を4種の保護工種群に区分することはかなり容易である。しかし、各保護工種群をさらに各のり面保護工種に細分するのはかなりむずかしい。

表-7-4 保護工種判読の要点

工種群	保護工種	形 態	色 調	き め	そ の 他
Ⅰ	擁 壁 工 ブロック張工	のり面の下方に位置し、急勾配で、上端は厚みをもっていることが多い。	灰～灰白、古いものは暗灰 ハレーションを起し易い	こまかい	工事の折の押し板の模様がみえることあり
	張 石 工		灰～暗灰、新しいものは灰白	やや荒い	
	張コンクリート工	擁壁工にくらべ勾配はややゆるめで、上端の厚みは少ない。	灰～灰白、古いものは暗灰 ハレーションを起し易い	こまかい	工事の折の押し板の模様がみえることあり
Ⅱ	コンクリート 枠 工	のり面の下方に位置し、急勾配で、コンクリート枠がみえる。張芝と組合せたものは芝の成長によりコンクリート枠がみえなくなることが多い。	コンクリート枠は灰～灰白	張芝と組み合わせたもので、芝の生長したものは張芝工に似ている	
Ⅲ	モルタル 吹 付 工	カットしたときの地山の凹凸がみえる。	灰～灰白、 ハレーションを起し易い	こまかな部分にまだらな部分が混る	基盤が明るい色調であると無処理(岩露出)と区別困難な場合あり
Ⅳ	張 芝 工 植生盤工 種子吹付工	勾配はゆるい	灰～暗灰	こまかいがまだら	
	筋 芝 工 植生穴工	勾配はゆるい	灰～淡灰の地山と灰色の芝が帯状に交互にみえる。		芝が成長すると張芝工等との区別は困難

写真縮尺によるのり面保護工種判読の難易は、表-7-8に示してあるが、調査例がまだ少なく、写真縮尺が1/14,000から1/6,000に大きくなった場合にどの程度判読率が向上するかを示すことはできなかった。しかし、北九州道路1/1,000のり面平面図と国道8号1/500のり面平面図とで、後者の方がはるかに得られる情報の多いことは理解できよう。

7-3-2 のり面安定度の判読

のり面安定度について、空中写真からどの程度判読できるかについては、昭和44年8月に集中豪雨により各所で地すべり・崩壊の生じた国道8号の崩壊箇所について、災害前の1/20,000 国土基本図写真と災害直後の1/6,000 空中写真(のり面図化に使用)を比較し、さらに現地での地形・地質調査から表-7-5「空中写真によるのり面安定度の判定」を得た。この結果からわかるように、縮尺1/6,000の空中写真を使つても、のり面保護工が安定か不安定かということは、保護工が数10センチ程度も大きく破損あるいは変形しているような場合を除いては困難である。

空中写真が有効なのは表7-5に示したように、

1. 地すべり地形、断層地形など不安定な地形と接しているかどうか。
2. のり面上方に崖すいなど不安定な堆積物があるか。
3. のり面上方に水あるいは土砂を集めるような急な谷があるか。
4. のり面上方の基岩の風化状況はどうで、落石の危険はないか。
5. 以上の項目に対応してのり面保護工が適切であるか。

などである。これらは、一度集中豪雨があると、非常に大きな被害をもたらすものであり、のり面安定度の調査において重要な項目である。しかも、これらの項目のうち、1~3は現地調査も必要であるが、空中写真を実体観察することで明らかになる場合が多い。

7-3-3 空中写真利用の可能性

土木研究所がおこなつた切取り斜面全線調査票の各項目について、北九州道路と国道8号での実験をもとに検討し、とりまとめたのが、表-7-6「空中写真利用の可能性」であり、縮尺1/10,000以上、特に1/5,000以上の大縮尺空中写真があれば、これをのり面調査には是非利用すべきであるといえる。縮尺1/10,000以上の大縮尺空中写真がまだない場合には、撮影のための経費が必要となるが、主要路線の特に危険な区間については、新たに大縮尺空中写真を撮影しても、のり面とその背後の山地斜面の十分な調査をしておく必要がある。

表-7-5 空中写真によるのり面安定度の判定

のり面位置	1/20,000空中写真の判読 (昭和44年8月災害前)	1/6,000空中写真の判読 (昭和44年8月災害直後)	現地調査結果 (昭和46年9月)	のり面の処理
1. 浄土沢 洞門付 近	地すべり地形に似た地形(延長 500 m, 幅500 m)の末端にあた り不安定。 この地形の両端の沢(特に西の 赤崎川)付近が特に不安定。		中央部付近には破砕されている が基盤がみられるが、東端の沢 付近には軟弱な土砂堆積、赤崎 川付近は未調査	小崩壊に対しては洞門 効果あり
4. 5	小崖すい有無の判読困難	地形谷型部で小崖すいが小崩壊		洞門が必要
10	のり面上方に浅い谷あり	のり面上方に浅い谷あり、崖すい (延長80 m, 奥行170 m)堆積し やや不安定		
12	谷型地形のみ判読	小地すべり地形(延長120 m, 幅 60 m)あり、不安定		ポケットを持つ擁壁工必 要
14 大崩沢 より西 へ250 m まで	大崩沢付近へ並木沢間に地すべ り地形(延長700 m, 奥行 1,200 m)の西側末端部で不 安定	同 左	破砕された凝灰質岩、崖すいで 構成	
15 大崩沢 大竹沢	上記地すべり地形西部の沢、二 つの沢は樹木に覆われた大きな 崩壊跡の急斜面を刻んでおり、 不安定	大崩沢で小崩壊、大竹沢上部で大崩壊、 両者下方で合流し、国道延長180 m にわたり土砂堆積(40,000 m ³)	流出土砂には径20~30 cm の角礫含む	崩壊部の砂防工事、国鉄の 防塞工があるが、できれば 高架した方がよい。
16 大竹沢 並木沢	上記地すべり地形の末端部で 不安定	上方に流出土砂あり	未調査	
17 並木沢	上記地すべり地形東端の沢、 沢上流に樹木に覆われた崩壊 地形あり、不安定	沢ぞいには土砂流出、幅50 m 過去の崩壊ヒン度は高い。	沢の両岸は破砕され、軟弱な 土砂露出	道路を高架にし、流出土砂 をくぐらせる。
18 駒返洞 門	崖すいらしきものあり(延長 150 m, 幅35 m)	崖すいあり、旧洞門上に土砂堆積、 落石・小崩壊の危険あり	極急斜へ崖をなす石灰岩斜面 末端の崖すい。	洞門で十分な効果あり
19 大峰洞 門	地すべり地形に似た地形(延 長550 m, 幅35 m)の末 端にあり、不安定	既設洞門上に小崩落あり、昭和45 年に崩壊(幅50 m)あり	ブロック状の地すべりで、破 砕された輝緑凝灰石と石灰岩 がみられる。	小崩壊に対しては洞門効果 あり

表一 7 - 6 空中写真利用の可能性

切取り斜面全線調査票

地 点 番 号	番 路 線 名	号	距離 標	k	m	R レ
調 査 担 当 者	調査地名					
調 査 地 点	調査・地名					
調 査 年 月 日	S 年 月 日					

1. 調査番号 No.

2. のり面の状態

		1/10000 空中写真	1/5000 空中写真	
のり高 (m)	<5 10 15 20 25 30 35 40 >	A	A	
のりこう配 (分)	<3 5 6 10 12 15 20 25 30 >	B	A	
のり幅延長 (m)	<5 10 20 30 50 100 200 300 500 >	A	A	
自然斜面	高さ m こう配 分	A	A	
自然斜面の状況	1.突出部 2.谷部 3.發線に平行	A	A	のり面附近、あるいは、その上方に崖すいなどの不安定なものがないかを見る。
ゆう水の状況	1.乾燥 2.湿潤 3.表面水 4.湧水	D	C	のり面からゆう水のほか、周辺の地形より、のり面の集水性の良否を見る。
小 段	のり勾配 分 のり長 m	B	A	
同一のり面における災害	1.同一ヶ所 2.附近 3.無	B	B	のり面附近、特に上方自然斜面に崩壊、地入り等が生じていないかを見る。
水 処 理	有 無 工法 ()	D	C	

3. のり面の土質および岩質

1) 土質の場合

正面図番号	統一分類法による分類			
	1.レキ 2.レキ質土 3.砂 4.砂質土 5.粘質土 6.粘土	C	C	
	1.レキ 2.レキ質土 3.砂 4.砂質土 5.粘質土 6.粘土			

注 A 空中写真のみで可能
B 空中写真と現地調査の併用が効果的
C 空中写真からも条件が良ければ情報が得られるが現地調査の方が効果的なもの
D 空中写真では不可能

2. 岩質の番号

正面図 符 号	岩石名	岩 分 類					風化落石		われ目程度				われめ間隔				C	C	岩分類については周辺山地の傾斜・起伏量・山頂部の形・露岩の状況などを見る。風化の状況は近くの沢での崖すいの規模をみる。
		軟 岩 Ⅰ	軟 岩 Ⅱ	中 硬 岩 Ⅰ	硬 岩 Ⅰ	硬 岩 Ⅱ	有	無	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	a	b	c	d			

4. のり面保護工と安定性

のり面保護の 有 無	1.擁壁工 2.張石工 3.張コンクリート 4.モルタル吹付 5.コンクリート枠工 6.ブロック張工 7.筋芝工 8.張芝工 9.種子吹付工 10.植生盤工 11.植生穴工 12.樹工 13.落 石防止柵工 14.その他 15.無処理	B	B	
のり面の安定	1.安定 2.小崩落 3.落石 4.崩壊	C	B	
判 定	1.適切な工法と考えられる。 2.検討を要する。			のり面が地入り地形などの不安定地形にないが、のり面上方斜面の安定性もあわせてみる。

5. のり面保護工の標準断面図

B 縮尺1/1000	A 縮尺1/500	
---------------	--------------	--

6. 正面図

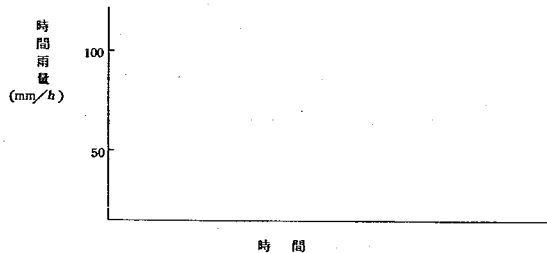
B 縮尺1/1000	B 縮尺1/500	縮尺1/750~1/500程度で描く。のり面だけでなくのり面上 方の自然斜面の概略を後継部まで描く。
---------------	--------------	---

距離		B	B
測点			

7. 崩壊の状態（風化落石を含む）

のり面の安定	安 定				小 崩 落		落 石		崩 壊		C	B			
崩 壊 の 原 因	1. 雨 2. 表面流水 3. 湧水 4. 融雪水 5. 凍結融解 6. 風化 7. その他												C	C	地上り地形に経緯がつかっていないため、まわりの地形からみてのり面に集水し易くないか等現地で判断しにくいことを検討する。
崩 壊 土 量(m³)	<10 100 1000 3000<				風化落石土量	延長 m		土量 m³/年	B	B	崩壊時に空中写真が撮影された場合				
	50 300 3000														
崩 壊 斜 面 高(m)	<5 10 15 20 25 30 35 40<												A	A	同 上
崩 壊 巾(m)	<3 5 8 10 15 20 30 40 50 50<												A	A	同 上
崩 壊 年 月 日	S 年 月 日														
連 続 降 雨 時 間	<6 12 24 48 48<														
連 続 降 雨 量(mm)	<50 100 150 200 250 300 350 400 400<														
最 大 時 間 雨 量(mm)	<10 20 30 40 60 80 100 120 120<														
最 大 2 4 時 間 雨 量 (mm)	<50 100 150 200 250 300 350 400 400<														

時間雨量図



8. 法面の植生

法面の植生環境	良	普通	悪	法面植生状態	良	普通	悪	C	B
---------	---	----	---	--------	---	----	---	---	---

9. モルタル吹付工の状態

変化の規模（I部分 全面）	C	B
---------------	---	---

10. 写真（のり面の変状を示す部分的写真）

S 年 月 日 撮影

11. 崩壊状態の略図

正面図

断面図

B	B	崩壊時に空中写真が撮影された場合
---	---	------------------

7-4 のり面調査における空中写真利用の方法

7-4-1 空中写真の縮尺

のり面安定度の調査においてまず必要なことは、のり面の状況を細部まで正確に記録したのり面台帳を作成しておき、それにのり面の安定度の判定に必要な資料を盛り込んでおくことである。

のり面の安定度を判定する資料とする場合、のり面平面図の縮尺としては縮尺 $1/750 \sim 1/500$ 程度のものが必要である。縮尺 $1/750 \sim 1/500$ の平面図を図化するには、縮尺 $1/7,500 \sim 1/5,000$ 以上の空中写真が必要である。このような大縮尺空中写真が国道ぞいに撮影されている例は少ないので、新規に大縮尺の空中写真を撮影する必要がある。

のり面の安定度について検討を要する地域には高山地が多く、そのような地域では、縮尺 $1/7,500 \sim 1/5,000$ の空中写真を飛行機で撮影するのがカメラを普通角にしても無理な場合がかなり出てくるから、その場合はヘリコプターによる垂直写真撮影を考慮する必要がある。

7-4-2 空中写真の撮影

撮影コースの計画にあたっては、空中写真の主点が傾斜の急なのり面の前面にくるようにし、のり面およびその背後の山地斜面が明りように写るようにしなくてはならない。なお、使用するフィルターは濃いフィルターを利用し、新しいのり面でのハレーションをできるだけ押えるようにすることが必要である。また、のり面が日陰となつている場合は判読が困難になるので、北向のり面の多い路線では、日陰の生じにくい日時・天候での撮影を心掛けねばならない。

4.3 のり面図化の方法

大縮尺の空中写真を新規に撮影する場合でも、のり面あるいは斜面災害の危険のある山地全域について対空標識をあらかじめ設置しておくのは経済的ではないので、のり面平面図の精度をあまり問題にしなれば、縮尺 $1/2,500$ 程度以上の平面図を使つて対地標定をおこなうと経済的である。したがって、このような平面図がない場合、あるいは、あつても対地標定が困難な場合に対空標識の設置作業や刺針作業を考えるとよい。

7-4-3 のり面の図化

のり面の図化にあたっては、図-7-1に示したように、のり面の外形のみでなく、空中写真上に表われている色調・パターンの違いがあれば、その境の線を引き、線状のものがあればそれを忠実にたどることが必要である。このようにのり面を表現しておけば、空中写真上で区分したものがどのような工種であるか、あるいは露出した基盤がどのようなものであるか判読できなくても、のり面について表現すべき区分線はほとんどすべて描画されていると考えられるので、現地ではのり面の保護工種あるいはその破損状況等について判定すればよく、やつかいな現地での測量がなくなり、現地調査の能率を大幅に高め、通過車輛による現地調査の危険性は非常に軽減される。

高さについては、のり面保護工種の境、植生の境、勾配・形態の変換点について測定・記録しておき、のり面とその周辺の断面図が描画できるようにしておく。

のり面平面図の作成にあたっては、のり面だけでなく、その上方はある自然斜面も稜線部まで概略の図化をおこない、のり面上方斜面の安定度をさぐる資料とすることが必要である。

7-5 むすび

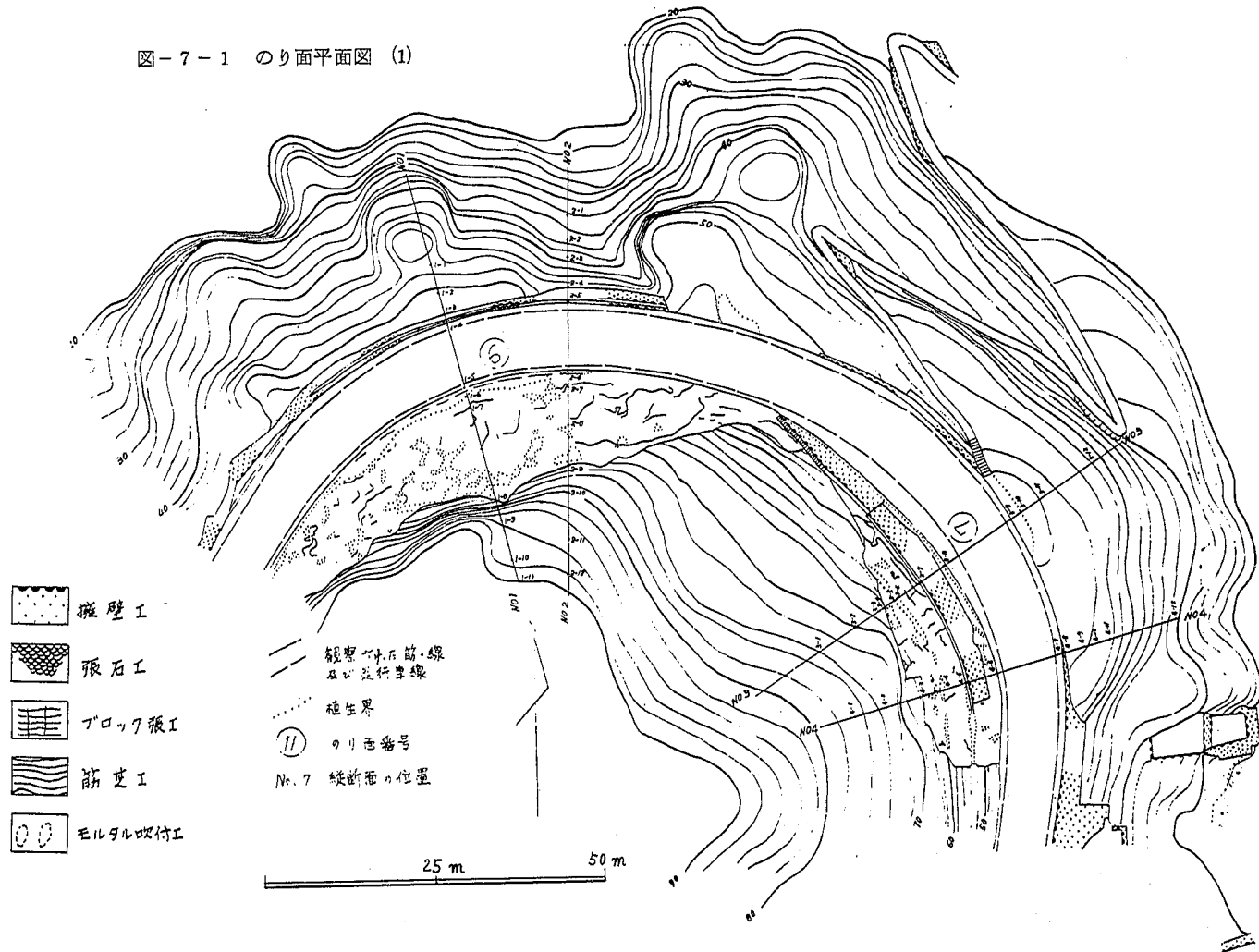
のり面の安定度を知り、のり面安定への対策を立てるには、のり面台帳を整備しておくことが必要であり、その整備に空中写真を利用することは、大縮尺空中写真を利用し、のり面形の正確な描画、台帳の均一さの保持、現地測量・調査を軽減し安全性を確保する上ですぐれており、ごく簡単な現地調査を併用すれば技術的には問題はなく、今後大規模なりのりが連続する山岳地国道については、空中写真を十分に活用することを考えてよいであろう。

この研究ではのり面を対象としたが、山岳道路では飛騨川の災害にみられるような沢ぞいに押し出してくる土石流についての対策、あるいは冬期のなだれについての対策も同時に考えねばならない。これらについても空中写真を十分に利用していくことを考える必要があろう。

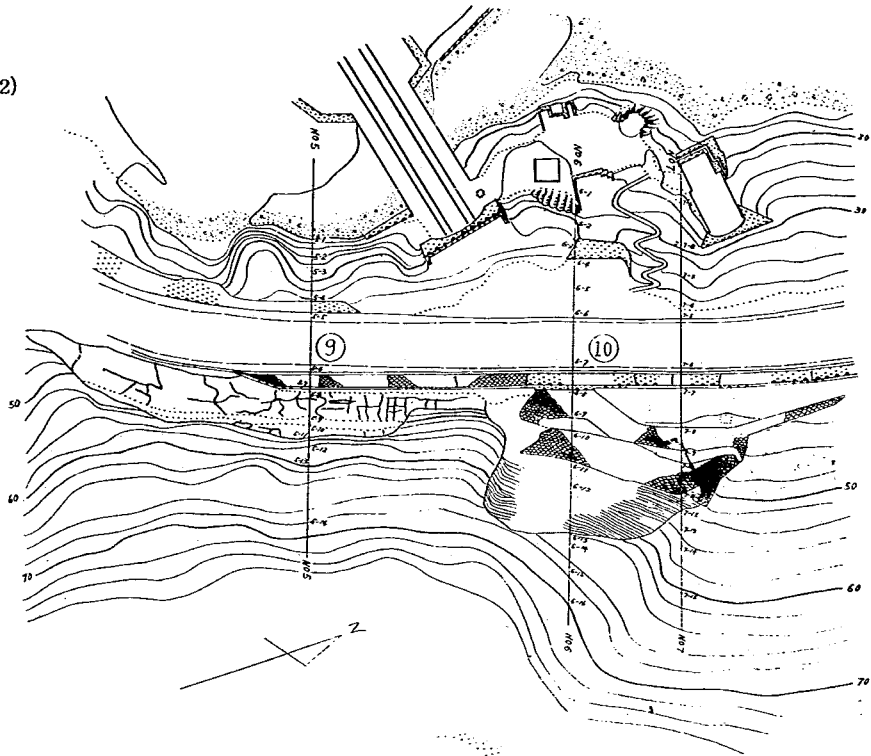
この研究をおこなうにあたり、北陸地方建設局高田工事々務所に便宜を計つていただいた。

この研究（7.空中写真の利用）は国土地理院測図部が担当した。

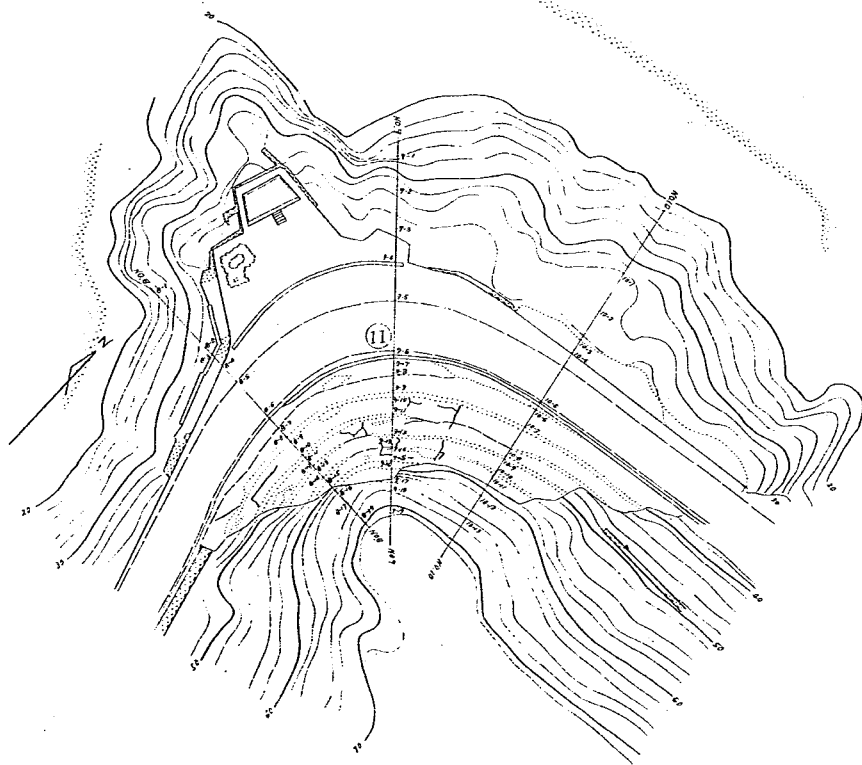
図-7-1 のり面平面図 (1)



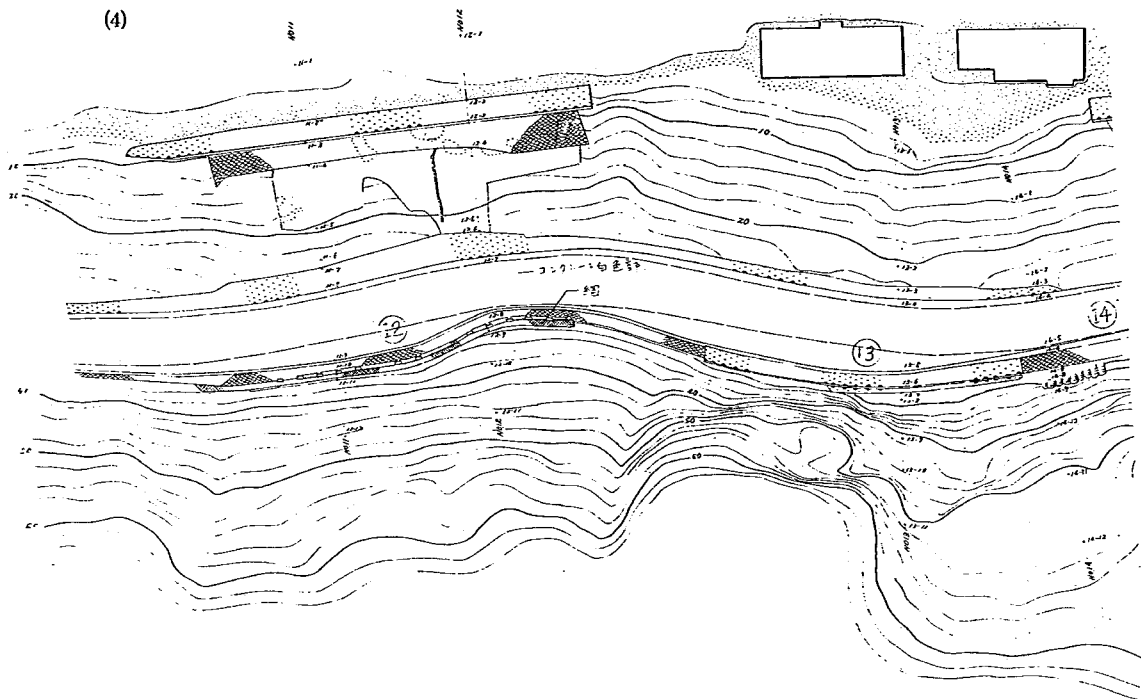
(2)



(3)



(4)



(5)

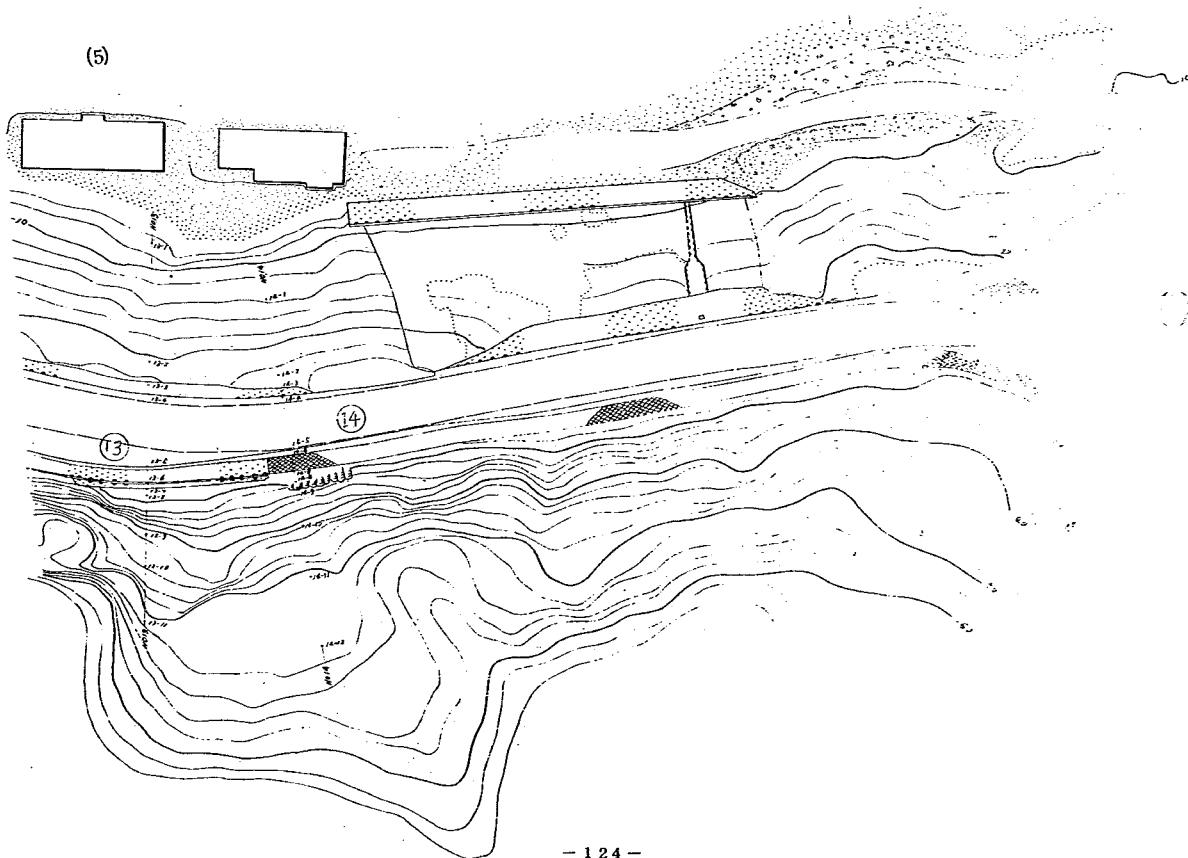
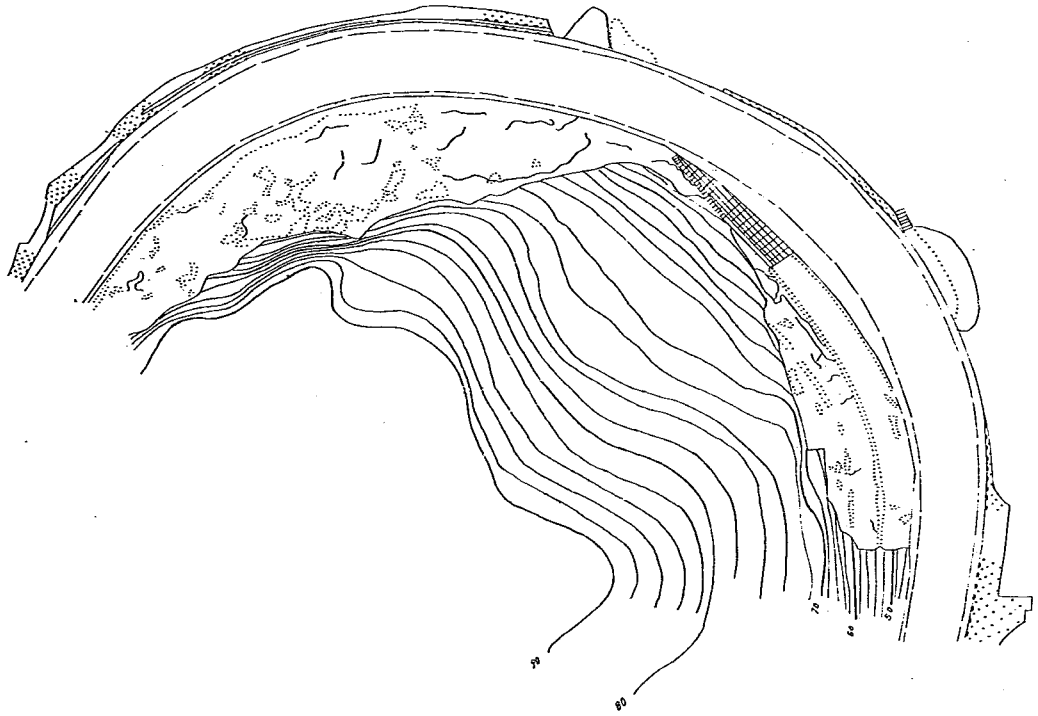
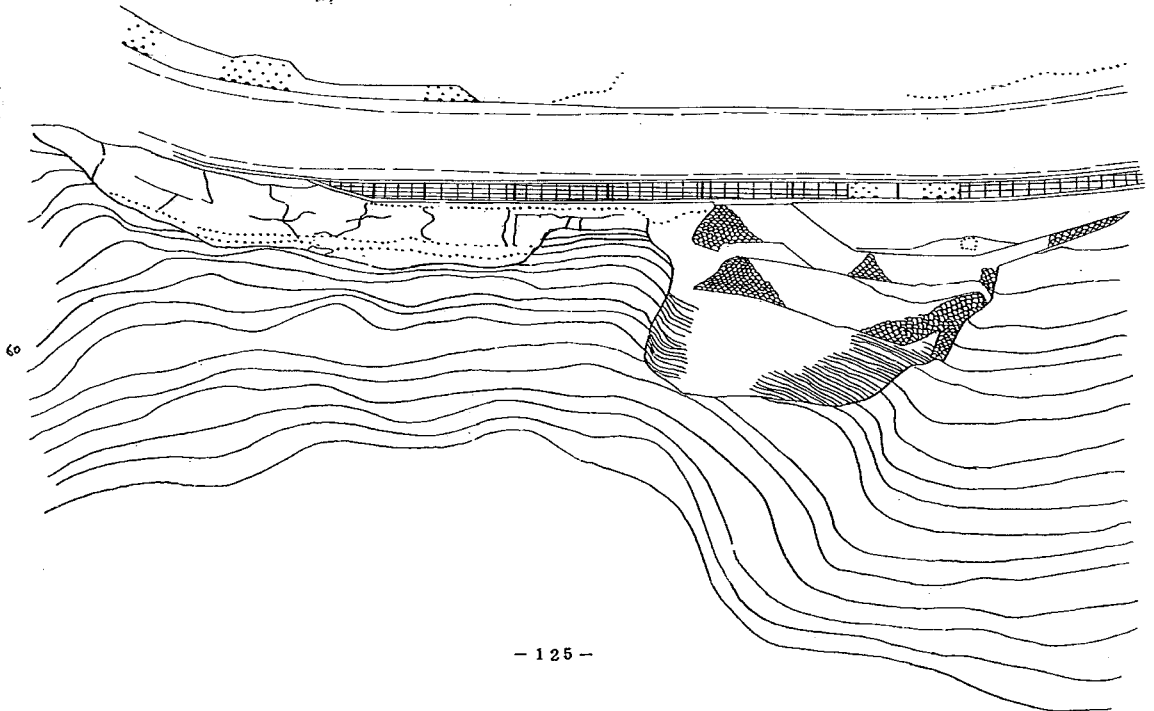


図-7-2 のり面平面図

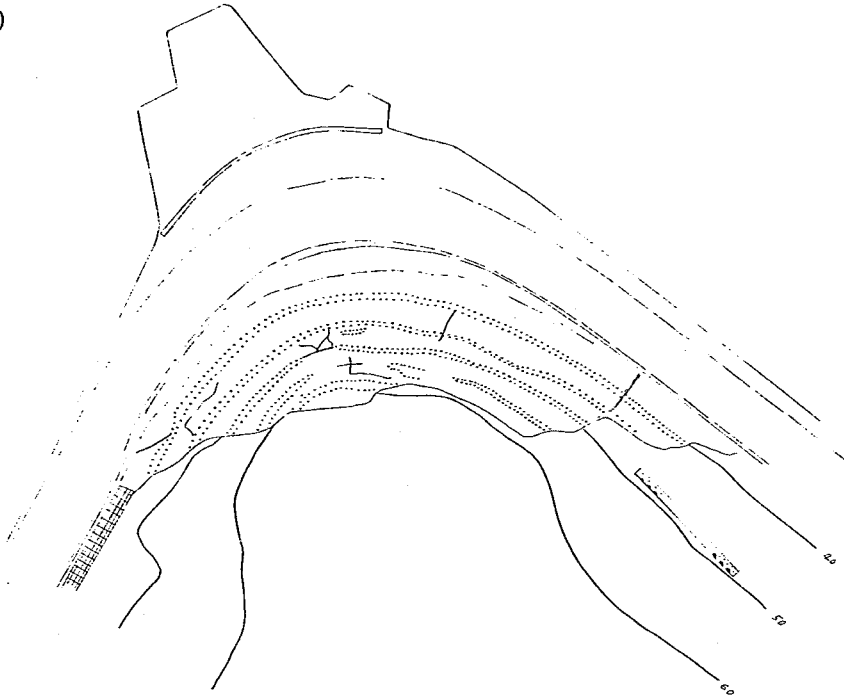
(1)



(2)



(3)



8. 結 語

道路ののり面保護工は道路の機能を十分発揮させるためには、極めて重要なものであり、また最近のり面に対する一般の認識も急速に高まつてきている。本研究は昭和44年より3年間にわたつて、盛土および切土のり面ののり面保護工、および交通規制について実態調査を行ない、その結果より、各のり面保護工の効果とのり面保護工の選定基準を求めたものである。

この調査は、実態であつてある工種が多く施工されていても、その工種が必ずしも最適なものであるとはいひ難い。この結果に対して力学的な検討、種々の検討を行なつてより妥当なものを求めることが必要である。

この報告にはまだまだ残された問題も多く、のり面工の妥当な選定のためには今後さらに調査研究を進めていかねばならない。

最後にこの研究を行なうに当り、御助力、御助言を下さつた方々に深く感謝する次才である。