

「岩盤斜面の対策工の現状と課題」について

土木学会岩盤力学委員会斜面安定小委員会
小委員長 大西有三（京都大学）

岩盤を対象にした斜面には、自然斜面と切り取りによる人工斜面がある。今後、人口密集地から離れた山間部の開発が進むと必然的に両者が多くなってくることが予想される。一般的に、岩盤斜面の挙動予測はきわめて難しいとされており、その原因は崩壊の予兆から実際に崩壊するまでの時間がきわめて短いことに起因している。そのため、解析や計測など多くの研究開発が行われており、状況は少しずつではあるがよくなりつつある。

岩盤斜面安定小委員会では、小委員会発足以来、奥園前小委員長のもとで斜面の解析と計測についての議論を重ねてきており、その成果をまとめて1994年12月に「岩盤斜面の安定解析と計測」として出版した。その中でも詳しく述べられているように、岩盤斜面の挙動は地すべりとは大きく異なっており、本質的に考えを変えない限り対処できないような問題が数多く含まれている。岩盤斜面の場合には、崩壊のモードが地質条件（不連続面の存在）に強く影響され、解析や計測もその予想されたモードを念頭に置いて実施される。また、安定解析においても破壊のメカニズムと破壊モードが密接に関係していることが、解析のある面ではより複雑・困難にしている。このような状況を概念的に表した岩盤斜面の安定性を検討する一般的なフロー図を図-1に示す。

この図は、斜面の調査に始まって、解析、設計、施工の手順を示しているが、主体は岩盤斜面の安定性についてとその安定性を評価する方法についてであり、潜在的に危険な斜面の安定性を高める手法、すなわち安定化のための対策については表示していない。岩盤斜面の崩壊や、それを防ぐのに必要な改良の方法は費用のかかるものであるから、斜面の挙動に詳細な調査に携わる前に、経済面での関係事項のいくつかを考えることも必要であるが、その点についての検討もされていない。

岩盤斜面安定小委員会で検討すべきテーマは、上記の岩盤斜面安定化のための方策を探ることである。また、調査に際しては経済性も加味し、自然および人工の斜面を安定に保つための最適な方法はなにかについても議論を継続する予定である。対策工という面に注意を向けると、従来の書籍などは主として地滑りを中心に解説が行われており、前述のように岩盤に焦点を絞った議論はほとんど行われていないのが現状である。

では、岩盤斜面の対策工に関する検討内容にはどのようなものがあるかを少し調べてみると、

事前対策、事後対策、対策の選定方法、対策工の種類、対策工の設計、施工法、対策工の安定化のメカニズム、

といった項目が浮かび上がってる。これらは図-1に示す岩盤の斜面の挙動を調べる手順とほぼ匹敵するのであり、それだけ対策が大変であることを示唆している。今回のパネルディスカッションでは4名の専門家の方々にそれぞれの立場から、斜面安定化に向けての方策を語っていただくことになった。安定化のための対策工については、いろいろな指針や基準も存在する。ただし、それらが岩盤というものの性質に本当に合致したものであるかどうかは今後の研究によらなければならない。その点で、パネリストの立場の違いから出てくる視点の相違を汲み取っていただきたい。

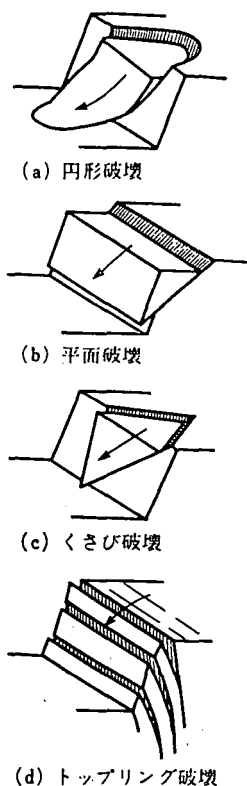
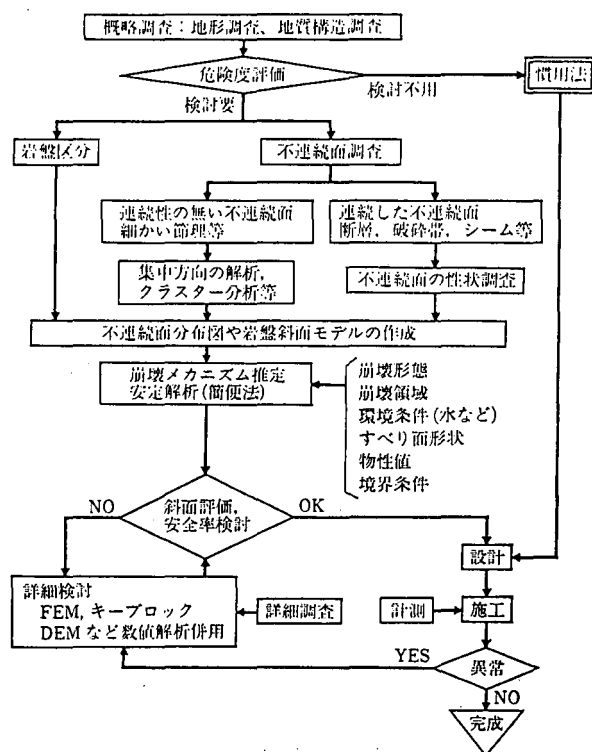


図-1 岩盤斜面の安定性検討フロー

地山補強土工法の効果と設計法

日本道路公団試験研究所 田山 聡

1. はじめに

地山補強土工法は、鉄筋等の補強材を地中に設置し、斜面の崩壊を防ぐ工法であり、我が国においては、約20年前より採用されてきた。一方、本工法のメカニズムの解明等の研究も10年程前より、標準砂等の土を用いて実施されてきた。しかし、道路公団の近年の実績では、約3/4は岩を対象としている。そこで、岩の流れ盤すべりのような直線すべりにおける、補強機構を明らかにするために実験を行った。

2. 設計法の現状

従来、本工法は、①補強材の引張り力に期待した極限つり合い法による円弧すべり、②補強材のせん断力に期待した極限つり合い法による直線すべりおよび③疑似擁壁効果に期待した疑似擁壁の安定計算等によって設計されてきた。最近では、②についてはせん断効果自体が疑問視され、せん断というよりはむしろ曲げによる効果であるといわれている。しかし、その設計法は未だ確立されていない。また、③については外的安定計算と位置付けられ、①による内的安定計算と併用されるか、地震時の検討を除くとほとんどの場合、①による内的安定で設計が決まるので、③は無視される場合が多い。また、海外では、④2-ウエッジ法も用いられており、今後これを応用して限界状態設計法へと移行していく動きにある。

3. 岩に関する模型実験

(1) 実験方法

実験は、図1に示すように、すべり面を有する軟岩を想定した模型供試体に、あらかじめ補強材を設置し、上部より载荷するものである。供試体の背面、側面および底板には、厚さ50mmの鋼板を設置し、载荷部には無限運動ベアリングを設置して、水平方向の抵抗を除去している。

供試体は、軟岩を想定して、目標一軸強度(55kgf/cm²)が材令14日で得られるように、表1に示す配合とした。すべり面は事前にビニールシートとグリースで作ってある。

補強材にはφ9mmの丸鋼を使用し、端部には5cm×5cm、t=3mmの鉄板をナットで固定した。

载荷は、速度0.5mm/minの変位制御とした。計測項目は、载荷荷重、载荷軸方向変位、载荷軸直角方向変位および補強材のひずみである。

実験は、補強材打設角 β を30°、50°、70°および90°と変えて行った。

(2) 実験結果および考察

図2は、载荷板の鉛直変位と载荷荷重の関係を示したものである。 $\beta=90^\circ$ のケースが、変位約2mm、载荷荷重約0.8tfで降伏しているのに対し、 $\beta=30^\circ$ および50°のケースは3~5mm、载荷荷重約4tfで降伏している。また、降伏後を見ると、わずかに設置角度が大きいケースほど荷重の増加が大きい。

図3は、载荷板変位約1.5mmのときの、補強材の表裏両側のひずみの分布を示したものである。 $\beta=30^\circ$ の場合には、補強材に曲げと引張りが生じているが、 $\beta=90^\circ$ の場合には、補強材に

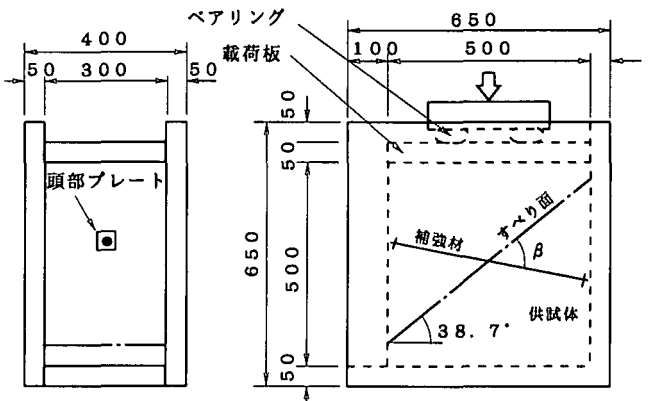


図1 実験装置

表1 供試体の配合

	(kg/m ³)		
早強セメント	SCP-B	ベントナイト	水
350	550	50	655

*1 SCP-Bは市販の硅砂微粉末
*2 ベントナイトは浅間産300メッシュ

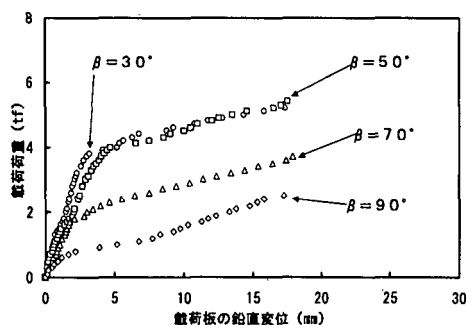


図2 載荷板変位と載荷荷重の関係

曲げのみが作用していることがわかる。実験後に供試体をはつて補強材を観察したところ、補強材が曲げられながら、引っ張られていることが確認された。また、すべり面付近の地盤の、補強材が曲げ変形をする際圧縮を受ける側が、逐次破壊していることも確認された。

そこで、曲げによる補強と引張りによる補強がどの程度の割合を示すかを調べるために、次のような検討を行った。

$\beta = 90^\circ$ のケースの載荷荷重は曲げ効果のみによると仮定し、他のケースの曲げ効果分として角度補正を行った。また、補強材のひずみから引張り効果の分を計算した。図4に、載荷荷重が降伏する以前の、載荷板変位0.5mm、1.0mmおよび1.5mmにおける曲げ効果と引張り効果の和と補強材設置角度の関係を示す。同図に実験値も併せて示しているが、計算値とよく一致している。曲げ効果は、 $\beta = 30^\circ$ および 50° のケースでは、全体の20~25%であるのに対し、 $\beta = 70^\circ$ のケースでは、50%を越えている。

4. おわりに

今回の実験では、曲げによる効果は $\beta = 30^\circ$ および 50° で20~25%、 $\beta = 70^\circ$ で50%以上であった。ここではすべり面の体積膨張を考慮していないことも加味しなければならないが、一般に土砂に比べて軟岩では、曲げ効果の占める割合が大きくなると思われる。この曲げ効果の評価として、弾性地盤内の杭として考えることも試みたが、地盤の逐次破壊等もあり、横方向地盤反力係数の設定に問題があった。実際の設計にあたっては、同じ問題が残ると同時に、許容変位量を設定しなければ設計できないという問題もある。今後の研究成果が待たれるところである。

(参考文献)

朝日、吉村、田山。鉄筋補強土工に関する模型載荷実験。日本道路公団試験所報告、Vol.27, p.19-32(1990)

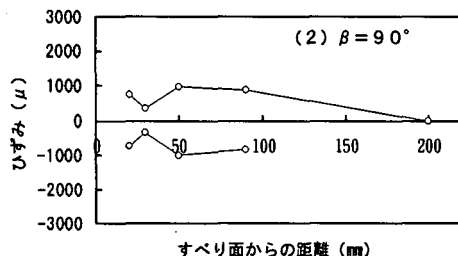
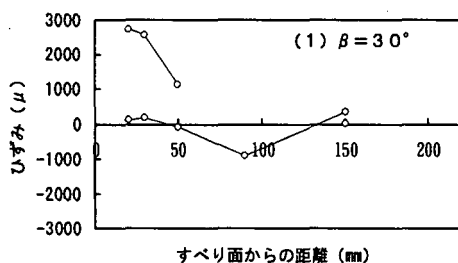


図3 補強材のひずみ分布

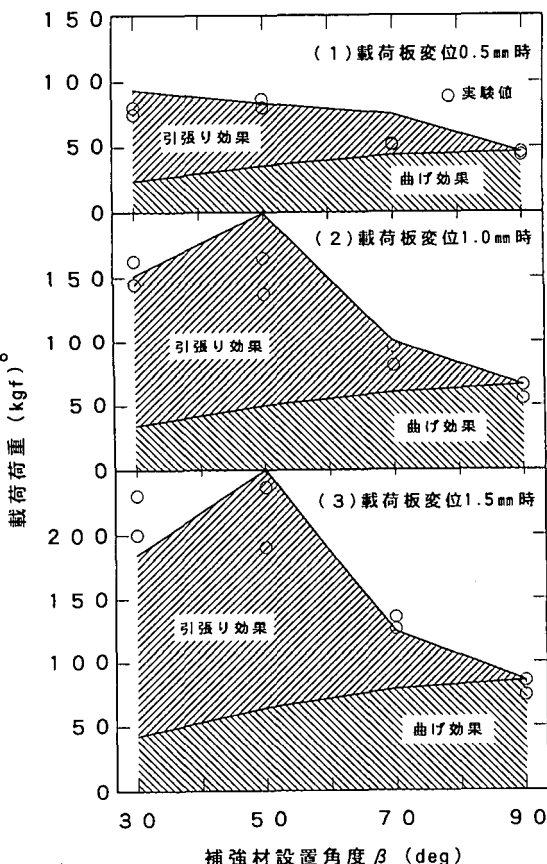


図4 曲げ効果と引張り効果

ロックボルトと斜面地盤内部構造の関係

名城大学理工学部 清水泰弘

1. はじめに

岩盤斜面の崩壊は岩盤の強度よりも内包する不連続面により発生することが多い。特に土木工事の対象となる地表付近では岩盤の成因によるものの他、地殻変動や風化により多数の不連続面が存在する。これらの不連続面は、岩盤の成因による規則的な方向性を持つことが多い。この規則的な方向性を持った不連続面により斜面崩壊は、図-1にも見られるようにすべり破壊、トップリング破壊、たわみ性トップリング破壊など、さまざまな破壊形態によって起こることが知られている。

近年、施工されている小規模な工事では、諸般の事情から十分な地盤調査が行なわれることが少ないため諸データが不足し、ロックボルトの打設の間隔、長さおよび挿入角度などが土砂斜面に近い考え方で設計施工されている場合が多く見受けられる。そこで、見過ごすことのできない岩盤斜面内部の不連続面の特性とロックボルトの関係について考察する。

2. 不連続性岩盤斜面の破壊形態¹⁾

不連続性岩盤斜面は、内包している不連続面の方向、間隔、連続性およびブロックサイズなどによりさまざまな破壊形態が考えられる。この破壊形態は、次のように大きく3つに分類することができる。

1) 岩石の強度のみに依存する破壊形態

- (1) せん断すべり破壊
- (2) トップリング破壊

2) 岩石と不連続面の強度に依存する破壊形態

- (3) せん断とすべりの複合破壊
- (4) バックリング破壊
- (5) たわみ性トップリング破壊

3) 不連続面の強度に依存する破壊形態

- (6) 平面すべり破壊
- (7) くさび形すべり破壊
- (8) トップリング破壊

これらを模式図的に表すと図-1のようである。

たとえば、互層の岩盤斜面に対しては層の傾斜角 α ($\beta = \alpha - 90^\circ$) と斜面の傾斜角 i および内部摩擦角 (ここでは不連続面の表面摩擦角) ϕ の関係によって表-1のような破壊形態が見られる。

一般的に岩盤斜面崩壊は、上記のような色々な破壊形態で生ずるが、単独の破壊形態で生ずるより幾つかの形態が複合した状態で発生することが多い。これらの破壊形態では、初期段階に現われる変位分布の位置がそれぞれ異なる。換言すれば、岩盤斜面内部の卓越する不連続面方向により予測される破壊形態により初期破壊が現われる場所が異なる。このことは、ロックボルトの設計や施工法を考えると重要事項として考慮することが必要であろう²⁾。

3. ロックボルトの補強効果³⁾

ボルトは円柱状の部材であると考えることができるから、岩盤の破壊にともなうせん断変形が大きくなりえない限り、その剛性や抵抗力は、(1)軸方向の剛性と抵抗、(2)せん断剛性と抵抗、の二つの成分からなると考えられる。したがって、ボルト補強効果は次のように分類される。

1) ボルトの軸方向の応答のみを含む補強効果

- (1) 内部圧力効果
- (2) 地山の弾性係数の改良

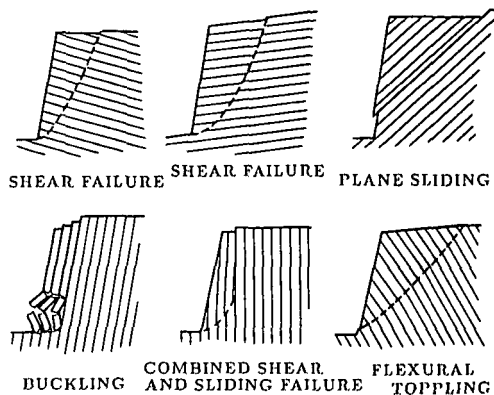


図-1 破壊形態の模式図

- (3) 吊り下げ効果
 (4) アプリフトにたいする抵抗
 2) ボルトの軸方向応答およびせん断
 応答を含む補強効果
 (1) すべり破壊に対するせん断補強効果
 (2) トップリング破壊（たわみ性トップ
 リング）に対するせん断補強効果
 (3) 梁形成効果

表－1 破壊領域と破壊形態の関係

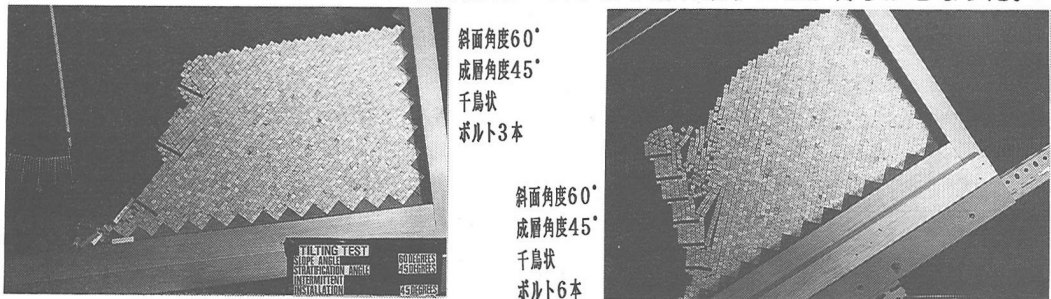
領域	α				
	$0 \leq \alpha < \phi$ $\alpha < i$	$\phi \leq \alpha \leq i$	$i \leq \alpha < 90^\circ$	$90^\circ \leq \alpha < 90^\circ + i, \beta < i$	$90^\circ + i \leq \alpha < 180, \beta \geq i$
破壊様式	せん断破壊	すべり破壊 すべりとせん断の複合破壊	すべりとせん断の複合破壊 座屈破壊	たわみ性トップリング破壊 せん断破壊	せん断破壊

この分類にみられるように、これらの補強効果はロックボルトの軸方向あるいはせん断方向の応答の合成効果である。ゆえに、岩盤斜面を連続体として取り扱うかあるいは、簡易な安定計算とすれば、これらのボルトの2つの応答を考慮した力学モデルを考えれば、どのような問題にもロックボルトの補強効果を量的に評価することが容易になる。しかし、実際の岩盤斜面は、多くの不連続面を内包しており、岩盤斜面崩壊の主要因である不連続面の幾何学的あるいは力学的特性を考慮することは必要なことである。

4. ロックボルトの模型実験

ロックボルトの補強効果を明らかにするために、多数の木製ブロックを用いた二次元状態の模型実験を行なった。この模型実験は、不連続性岩盤斜面をブロックの集合体と考え、複雑な多数の不連続面を単純化した単一形状のブロックを積み上げて行なった。実験は、ブロックの形状、不連続面のパターン（方眼状、千鳥状）および成層方向（不連続面角度）などを変えて実施した。ロックボルトには、布製のガムテープを同一位置に表裏一体に貼ることで模型化した。ロックボルトの挿入角度は、斜面角度に関係なく水平を基準に 0° 、 $+30^\circ$ 、 -30° に設定し、それぞれの補強効果を比較検討した。

実験結果の一例を示すと写真－1および－2のようである。この実験では、ロックボルトによる補強効果を定量的に明らかにすることは出来なかったが、定性的には十分な結果を得た。中でもロックボルトを設置した領域が疑似擁壁のような挙動を示すことが明らかとなった。



写真－1

4. おわりに

地球上では、休むことなく岩盤内の不連続面が増加し岩盤斜面はもとより山地全体の形状をも変化させる営みを続けている。新しく掘削した岩盤斜面であっても地表近くの場合であれば前記した破壊形態の進展がどの程度の不安定化をもたらしているかを調査することは非常に困難なことである。経済的な設計および施工時の安全性と詳細な事前調査費の割合が問題をより複雑化しているようであり、不連続面を考慮したロックボルトの設計・施工方法や計測計器や計測技術の開発を含め総合的な検討が望まれる。

参考文献

1. 清水泰弘、Omer AYDAN、土山茂希、市川康明：不連続性岩盤斜面の安定性評価に関する統一的手法について、土木学会論文集、第415号／VI-12、pp.109-118、1990。
2. 清水泰弘、アイダン・オマル、川本眺万：計測変位による岩盤斜面の安定性の評価について、第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.146-150、1993。
3. 川本眺万、アイダン・オマル：ロックボルトの支保機構について、電力土木、No. 214、pp. 3-13、1988。

拘束圧付加型短ボルトによる 急勾配切土斜面補強法

(株)フジタ 技術研究所 福島 伸二

§ 1. 拘束圧付加型短ボルト工法の概要

都市近郊の急傾斜地での開発工事が増加しており、土地の有効活用のためには切土の急勾配化による用地確保がますます重要になってきている。このためには急勾配の切土が可能で経済的な斜面安定化工法の開発が急務である。従来この種の安定化工法としてボルト系の斜面補強法は切土斜面内にボルト（通常ボルト長さは切土高さの1/4～1/2）を打設し、ボルトと地山との相対変位によりボルト周囲に発揮される摩擦により地山変形を抑制して補強する摩擦型ボルト工法がある。これに対して拘束圧付加型ボルト工法は、図-1に概念図を示すように、摩擦型ボルトよりも短いボルトを削孔先端の拡幅部に定着して（反力部）、さらにボルト頭部の壁面プレートをナットで締め付けてボルトに軸力(P)を導入して、壁面プレートと反力部間の地山に拘束圧($\Delta\sigma$)を付加して斜面表層に圧縮された壁状領域を形成する補強法である。この拘束圧付加は地山の粘着力を見掛け上増加させ、その部分の地山を一体化させる効果がある。ここではこの工法の概要と切土斜面補強効果を確認するために実施した現場荷重試験結果を報告したい。

§ 2. 本工法の設計・施工法

本工法の設計は図-2に示すようにボルトによる補強領域とその背面の地山を通る傾きの異なる2本の直線すべり面からなる破壊モードを想定して安定計算を行うものである。先ず背面部Ⅰの力のつりあいから補強領域Ⅱに作用する土圧(P_E)を求め、この土圧に対して補強領域が所定の安全率を満足するために必要な粘着力 c_2 を算定する。この粘着力 c_2 と補強前の粘着力 c との差($c_2 - c$)を次式

$$\Delta\sigma = (c_2 - c) / \tan \phi$$

により拘束圧付加量 $\Delta\sigma$ に変換する。この計算を補強領域を通るすべり面の傾き α_2 を種々変えて行って最大の $\Delta\sigma$ を検索して、短ボルトに導入すべき軸力を計算する。

施工は図-3に示すように以下の手順で行う。

①地山を掘削機械により一段切土する（この時の一段の切土高さは約2mを標準とする）。②斜面の表面保護のためにラス金網を張り付けてからモルタルを吹き付ける。③新たに開発した拡幅削孔専用ビット¹⁾により、所定のピッチ ΔV 、 ΔH で水平から所定の角度で約100～150cm（ボルトの長さによる）の深さまで $\phi 50$ mm程度で削孔した後、さらに孔底部か

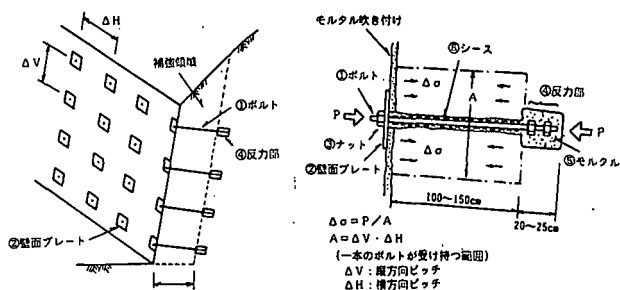


図-1 拘束圧付加型短ボルト工法（概念図）

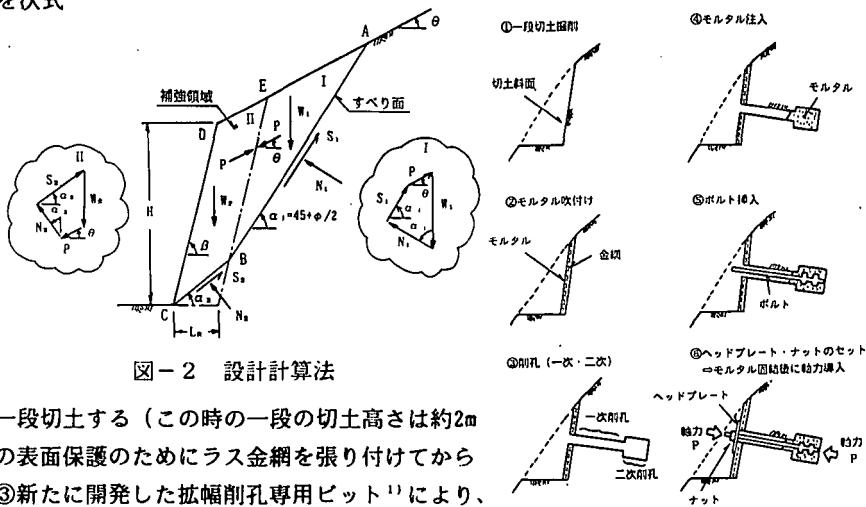


図-2 設計計算法

図-2 施工手順

ら約20～25cm奥まで拡大削孔（現状ではφ150mmとしている）する。④孔内先端部の拡幅孔内にモルタルを注入する。⑤ボルト先端部を拡幅孔内に定着させる（ボルトの補強領域に相当する自由長部にはボルト周囲のモルタル定着防止のためのシースを着ける）。⑥ボルト頭部にボルト軸に垂直になるように壁面プレートを設置し、注入モルタルの固結後にナットを締め付けボルトに所定の軸力を導入し地山に拘束圧を付加する（この時の導入軸力の制御は締付けトルクと軸力の直線関係を利用してトルクレンチのトルク測定により行う）。⑦以下この作業を繰り返し行う。

§ 3. 補強効果確認試験

本工法による切土斜面補強法における短ボルトの効果を確認するために火山灰質粘性土層（地山強度は三軸圧縮試験と一面せん断試験により粘着力 $c=0.2\sim 0.3\text{kgf/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=25\sim 30^\circ$ ）からなる地山に図-4に示すようなそれぞれ並列に高さ $H=5\text{m}$ 、幅 $W=5\text{m}$ の範囲を短ボルトで補強した切土斜面と無補強の切土斜面を設け現場载荷試験を実施した。図-5に载荷試験から得られた载荷重(Q)～载荷板沈下量関係(δ)を示すが、ボルトで補強した切土斜面の方が载荷直後から大きな载荷重を示している（無補強時の約1.5倍）。また地中変位測定結果から、ボルトで補強した斜面は無補強斜面よりも地山奥にすべり面が発生し、地山が一体化してすべりに抵抗していることが確認された。

本工法は現在までに、上述した载荷試験を実施した造成地内の切土斜面（切土高さ $H=7\sim 12\text{m}$ 、勾配1:0.2、ボルトピッチ $\Delta V=\Delta H=1\text{m}$ 、面積約 650m^2 ）や、敷地境界までの背面用地が少なく摩擦型ボルト工法や、地権者の同意が得られないためアンカー工法が採用できない建築の山留め工2例（①切土高さ $H=7\sim 10\text{m}$ 、勾配1:0.2、ボルトピッチ $\Delta V=\Delta H=1\text{m}$ 、面積約 1000m^2 、②切土高さ $H=10\sim 15\text{m}$ 、勾配1:0.15、ボルトピッチ $\Delta V=\Delta H=1\text{m}$ 、面積約 800m^2 ）に適用されている。

§ 4. おわりに

本工法の特徴は摩擦型ボルトに比較してボルト長を短くできるので敷地境界までの用地が少ない場合にも適用できること、急勾配切土により土工量を少なくでき用地の有効活用も可能なこと、大型施工機械を必要とせず施工が簡単で経済的に優れていることなどである。また以上述べたように本工法の切土斜面の安定化に効果があることを確認できたが、この補強効果を効果的に得るには反力部に相当する削孔先端部が設計で想定したように拡幅されていることが重要である。さらに確実な工法とするには、現在の拡幅率が通常削孔部の約3倍程度（φ50mm⇒φ150mm）であるが、より大きな拡幅率の削孔ビットの開発が必要である。

参考文献

- 1) 谷森祐二・足立能知・福島伸二・望月美登志：拘束圧付加型短ボルトで補強した急勾配切土斜面の挙動、第29回土質工学会研究発表会、pp2437-2440, 1994.

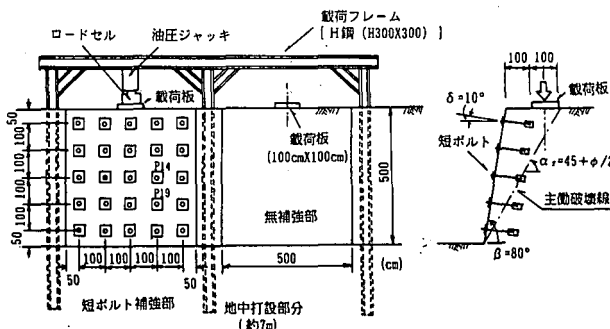


図-3 現場载荷試験ヤード（高さ $H=5\text{m}$ 、幅 $W=5\text{m}$ ）

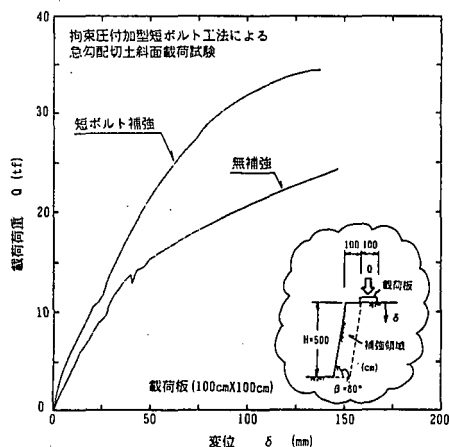


図-5 载荷試験結果（载荷荷重(Q)～载荷板沈下量(δ ））

岩盤斜面の対策例と施工管理への一提言

前田建設工業（株） 神藤 健一

1. まえがき

岩盤斜面の安定は、不連続面の分布、性状、組み合わせと斜面の規模・方向性によって支配されるが、これを事前に評価することは難しく、岩盤斜面の設計や対策工は経験的に行われているのが現状である。しかし、今後は長大切土法面が数多く計画されており、これを安全かつ経済的に施工していくには、岩盤斜面の崩壊機構や対策工の効果を明らかにして、合理的な設計や施工管理方法を確立していく必要がある。このためには、岩盤斜面の崩壊例や対策例を収集分析し、実際に岩盤斜面の安定を評価するための留意点や可能性を検討していくことが大切であり、ここではその一例を紹介する。

2. 崩壊・対策例

岩盤斜面の崩壊パターンは、不連続面の分布、組み合わせと斜面の方向との関係で、平面すべり・くさびすべり・複合すべり・トップリング崩壊等に分類されるが、ここでは平面すべりとくさびすべりの数例を紹介する。これらの事例から、すべりに対する安定を評価するためには、①すべり面になる不連続面の抽出②崩壊規模とすべり面の性状等が重要な項目となる。また、対策工も②やすべりの原因および周辺条件によりロックボルト、アンカー、杭等の抑止工、水抜き対策、押え盛土、法勾配の変更・切直し等が採用されている。

3. 調査・観察による不連続面の抽出

岩盤斜面の安定性を評価するには、岩盤に無数に分布する不連続面からその性状や走向・傾斜・連続性等を評価して、安定性を左右する不連続面を抽出する必要がある。このためには、平面すべりによる極限解析、ステレオネット表示による検討、キープロック解析等によって、斜面の規模や方向性との関係で抽出すべき不連続面の走向・傾斜と性状を事前に検討し、不連続面の観察基準を作成しておく必要がある。また、この不連続面が抽出できれば、後述するように解析により安定評価や計測による管理等が可能になり、合理的な対策工も検討できる。

4. 平面すべりの変位解析事例

平面すべりの場合、極限平衡解析により安定が検討され、対策工が設計されるが、すべり面の物性値や崩壊規模を正確に評価することが難しく、変位等が発生しない場合、対策工の設計を行うことは難しいのが現状である。ここでは、ジョイント要素を組み込んだ有限要素法（JFEM）を用いて、計測管理により法面の安定や対策工の検討ができる可能性について、崩壊事例をもとに報告する¹⁾。図-1に示すような実際に崩壊したモデルに対して、すべり面の ϕ を一定にCをパラメータに解析した結果

- ① 極限解析とJFEMによる安定・不安定の判定とは、ほぼ差がない結果が得られる。
- ② 引張り応力の分布から推定される引張亀裂の位置と実際のクラック発生位置がほぼ一致することから地山に発生する引張亀裂の位置の推定が可能で、この結果より計測範囲や対策範囲が検討できる。
- ③ ジョイント要素がない（すべり面がない）場合とある場合との変位量の差分をとると、この変位量と計測によるクラック発生時の変位量がほぼ一致しており、解析的に崩壊までの変位量が推定できるので、この結果により計測管理基準の設定が可能と考えられる（図-2参照）。
- ④ ①、③の結果からCをパラメータに極限解析による法面の安全率と解析による変位量との関係を整理すると、 $F_s = 2.0$ 以下ではほぼ安全率に反比例して変位量が増加する傾向が得られ、 $F_s = 1.2$ 以下となる変位量は③の変位量の約6割となり、この変位量によって対策工の追加等の判断できる可能性がある。
- ⑤ ④は掘削のそのステップの評価であるが、掘削ステップと変位量の関係を安全率（Cのパラメータ）で整理することにより、図-3に示すように崩壊が生じる掘削ステップの以前からの変位の傾向の違いにより、法面の安定性を早い段階である程度把握でき、対策工の追加等の検討が可能と考えられる。

等が得られた。今後、このような崩壊事例を数多く分析し、適用性を検討していく必要がある。

5. 対策例からみた計測管理基準

ロックボルトと吹付けによる法面補強土工法²⁾による変状事例を、法高と水平変位量/法高(=α)の関係で整理した結果を図-4に示す。砂質土で $\alpha=1.7\times10^{-3}$ 以上で、粘性土崖錐等では $\alpha=3.0\times10^{-3}$ 程度で変状や増しボルトが施工されている。このような関係を岩盤斜面でも数多く収集分析することにより、計測による法面の安全管理や対策工の必要性の判断が可能になると考えられる。

以上であるが、今後土木学会岩盤力学委員会・斜面小委員会でのこのような崩壊・対策例を収集・分析し、対策工に関してまとめていきたいと考えているので、ご協力をお願いします。

参考文献

- 1) 久慈他：数値解析による岩盤斜面の安定と挙動予測に関する検討（その1，その2）前田建設技術研究所報 Vol. 34(1993), Vol. 35(1994)
- 2) 前田建設工業(株)技術資料 急勾配切土法面補強工法 平成6年3月

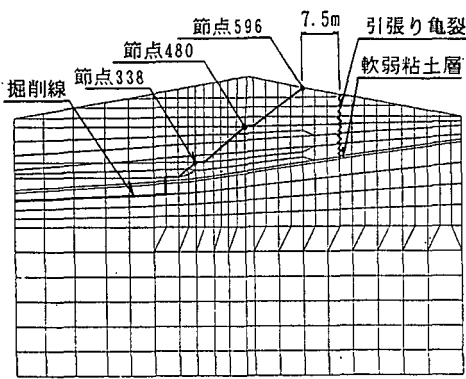


図-1 A道路法面の解析モデル図

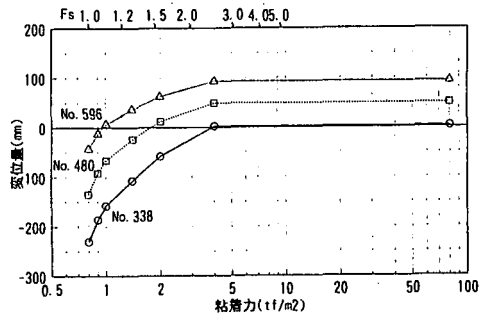


図-2 A道路法面の注目点の変位と粘着力の関係

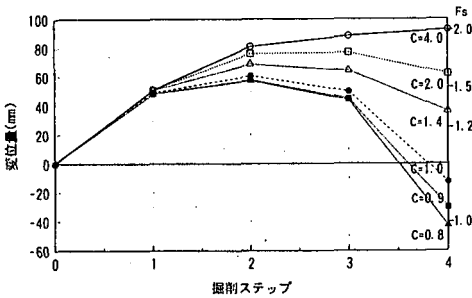


図-3 A道路法面の法肩(No. 596)の変位と掘削ステップの関係

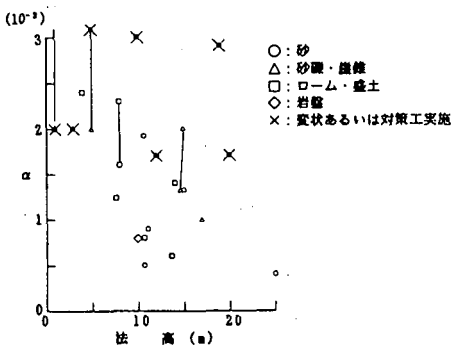


図-4 水平変位量/法高さ(=α)と法高さの関係