地盤と建設
Vol. 9, No.1, 1991

ボアホールスタンプ（ボーリング孔内亀裂調査装置）を用いた調査と岩盤すべり対策例

Study of Cracks in Rock by Borehole-stamp and Measurement of the Stability of Rock Slopes

勝部祐治*　（Yuji Katsube）
藤井俊逸*　（Shunitsu Fujii）

ボーリング孔内の岩盤亀裂調査方法としてボアホールスタンプという手軽で経済的な方法を開発した。本論文では、その調査方法・調査例及び調査結果に基づく対策例を紹介した。調査方法は、①型取り用チューブをパッカーに密着させ孔内に挿入し、②パッカーを膨張させることにより型取り用チューブに孔内の岩盤亀裂の型を残し、③型取った亀裂を測定することで孔内亀裂の走向・傾斜を求めるものである。今までの調査例から、①気温により亀裂の読み取り精度が変化する、②型取った亀裂が保存できない等の問題点はあるものの、かなり高い精度で亀裂測定ができることを確認している。この調査方法を用いて岩盤のクサビ抜け崩壊の対策を行なった事例では、地表の亀裂の方向とボーリング孔内の亀裂方向が同一の傾向を示すことを確認し、地層の亀裂特性の連続性を確認した。その上で頻度の多い亀裂面の組み合わせによるクサビ形状を推定し、斜面切土勾配の決定に役立てた。岩盤の斜面崩壊は岩の亀裂面に沿って生じる例が多いため、実際の現象に合わせた検討方法が今後重要となると思われる。

キーワード：安定解析、岩盤、切取り斜面、現地調査、試験装置、試験方法、すべり面、節理　C8／G6

1．まえがき

岩盤地すべり地やダムサイト建設地などにおいて、岩盤の節理や亀裂の状態を把握することは重要である。岩盤の亀裂を調査する場合、露頭観察やボーリングコア観察で行われることが多く、まれに大規模なダムサイトや地下空洞を建設する場合には、ボアホールスキャナー等が利用される。しかしこれらの調査では、詳細な亀裂状態の把握が困難であったり、調査費用が高額となる場合がある。本報告で示すボアホールスタンプは、ボーリング孔内で岩盤の亀裂を手軽にしかも経済的に調査する方法である。

本報告ではボアホールスタンプを用いて調査を行なった一例と岩盤斜面でのくさび抜け崩壊の対策を行なった事例を示すものである。

2．調査方法及び調査例

2-1.調査方法

ボアホールスタンプは、手軽な加圧装置（パッカー）と型取り用のチューブ（熱収縮チューブ）を用いて亀裂の型（スタンプ）を取り、亀裂方向（走向・傾斜）、亀裂間隔、開口の状態などを直接把握できる調査である。

ボアホールスタンプの調査方法は図-2.1に示すとおりであり、その手順を次に示す。

ゴム製パッカーに熱収縮チューブをハンドバーナーで加熱しパッカーに密着するように装着する。N方向（磁北）を示す基線をチューブ上に記入し、基線をN方向に保ちながら孔内に挿入する。パッカーを加圧しチューブを孔壁に押し付け亀裂の型を取る。パッカーを引き上げ型取った亀裂を油性ペンでトレースして持ち帰る。室内でボアホールクリノメータ（図-2.2）を用いて型取った亀裂の走向傾斜を測定する。測定した亀裂の走向傾斜はシュミットネット上へプロットすることで表現し、さらに深度データを用いてボーリングコアとの対比図を作成する。（シュミットネットへのプロットとコア対比図は解析ソフトを開発し実用化している。）

* （株）藤井基礎設計事務所　企画開発室

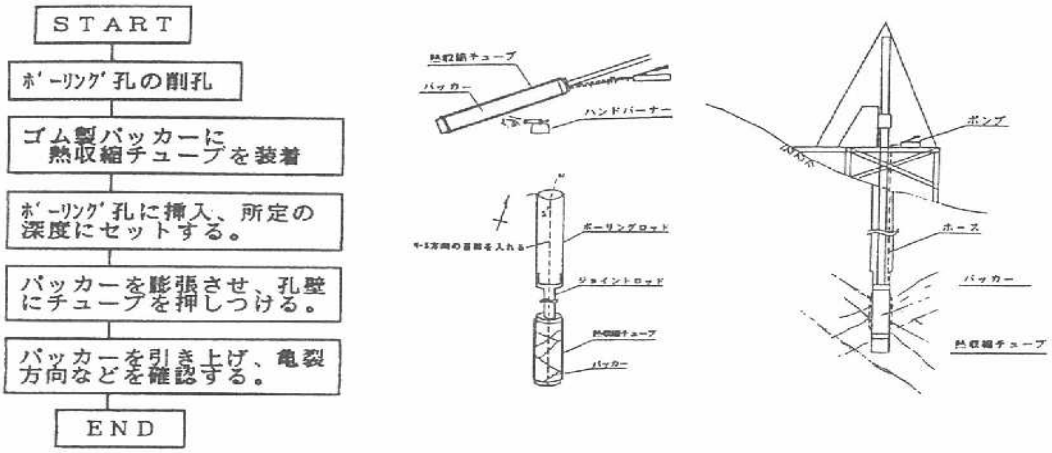


図-2.1　調査方法フローチャート

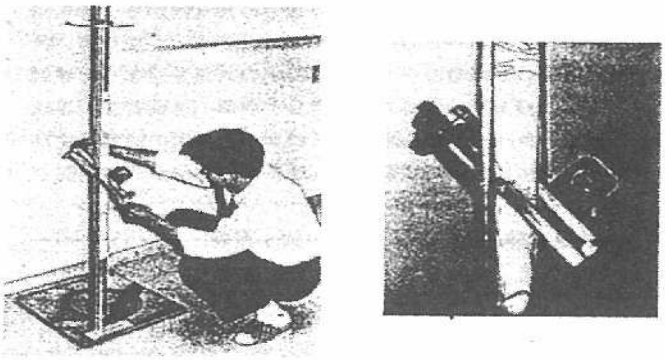


図-2.2　ボアホールクリノメータ

本調査の特徴についてまとめると以下のようになる。

1)ボーリング孔を利用するため、孔内の亀裂を直接調査できる。ボーリングコアと対比することにより、ボーリングコア採取時に生じた亀裂と本来の亀裂を判断することができる。

2)熱収縮チューブを使用することにより、水位下・水位上を問わずに調査ができ、小型軽量の調査用具で実施可能である。

3)測定条件に左右されるが、亀裂幅１㎜程度の亀裂までは測定可能である。

調査時の注意事項についてまとめると以下のようになる。

1)熱収縮チューブの方向確認には万全を期す必要がある。このため熱収縮チューブに基線を引くと伴にボーリングロッドにもＮ方向の基線を引く。

2)パッカー引き上げ後、速やかに型取った亀裂をマジック等でトレースする。チューブ上の亀裂は、時間が経過すると目視できなくなる。ボーリングコアを十分観察しておき、コアと対比しながらトレースすることが必要である。

3)熱収縮チューブは、気温により作業性が左右される。熱収縮チューブは20℃以上では自然収縮を生じ、気温が低い場合（5℃ 以下程度）では亀裂を型取りにくい状態となる。（夏期と冬期には測定できない場合がある）

従来、ボーリング孔内の情報を得る手段としてボアホールテレビシステムがある。ボアホールテレビと比較してボアホールスタンプを評価すると表-2.1のようになると思われる。

表-2.1　ボアホールスタンプとボアホールテレビシステムの比較

		ボアホールスタンプ	ボアホールテレビシステム
現場作業	作業内訳	熱収縮チューブの装着 所定の深度へのセット 加圧・型取り 亀裂のトレース	孔内洗浄 所定の深度へセット カメラを回転し８枚程度の連続画像を撮影
	作業性	１ｍ毎に型取るため、ロッドの昇降作業あり ボーリング技師と調査員で作業	専任の熟練した技師が必要 作業に細心の注意が必要
	作業条件	ほぼ全てのボーリング孔で適用 孔内水の影響なし可能 斜孔、水平孔でも可能 気温に作業期間が左右される	孔内を洗浄し、孔内に崩壊がなく内部が清浄であることが必須条件 斜孔には適用困難
	作業時間	20ｍの孔に対して２～３日（連続測定）	孔内洗浄、機械搬入を含めて５～７日
調査精度		亀裂の走向傾斜はほぼ正確に測定 亀裂幅のチェック可 ヘアークラックは測定不可	走向傾斜は正確に測定 孔壁の岩質、色調、凹凸を確認 孔内湧水状況を把握 岩盤の緩み、空洞の確認
亀裂計測		ボアホールクリノメータにより迅速に測定可能	画像処理、連続写真の組合せ、展開写真からコア状への処理に時間がかかる
評　価		経済的な調査方法である 20ｍ程度の深度で威力を発揮 手軽で機動性に富む	費用は高い 熟練技術者が必要であり、高価な機械を使うため機動性が低い 50ｍ以上の深度で威力を発揮する

2-2.調査例

現在まで、島根県内で４～５箇所で本調査を実施し、良好な結果を得ている。調査対象とした現場は切土箇所であり、流れ盤方向での土塊や岩塊の抜け出しや、すべり破壊を問題としたものである。調査例として、ボーリングコアとボアホールスタンプによる亀裂解析結果（Ｎ方向から目視した結果）を比較して図-2.3、図-2.4に示した。ボーリングコアと解析結果の対比は良好であり、特にコアがＮ方向を向いている6.0m～7.0mで確認できる。また9.0～10.0mでは、コアは破砕して礫状を示すものの、ボアホールスタンプ結果では亀裂方向が確認できた。

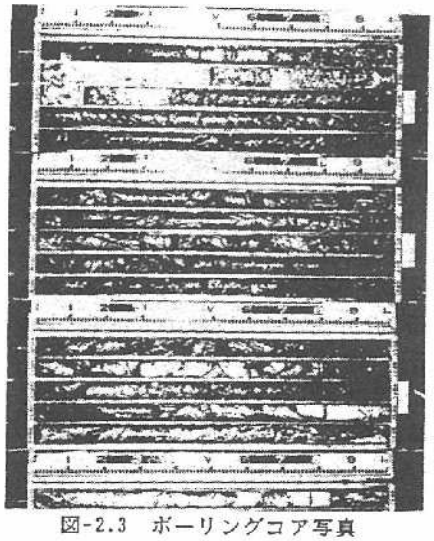


図-2.3　ボーリングコア写真

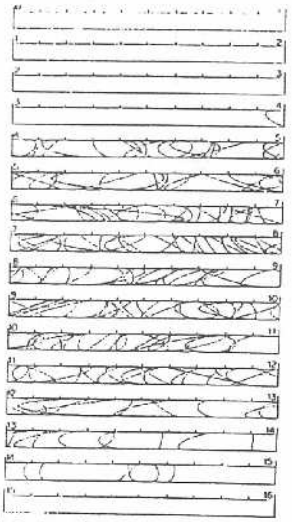


図-2.4　ﾎﾞｱﾎｰﾙｽﾀﾝﾌﾟ亀裂解析結果

2-3.今後の課題

本調査の今後の課題として以下が挙げられる。

1)気温に左右されない型取り材料の開発、及び型取った亀裂を保存できる材料の開発を行なう。

2)現場の作業性を向上させる方法（専用のロッドを作成する等）の開発を行なう。

3)引き上げ時にチューブがわずかに収縮しているためボーリング孔内の亀裂とチューブ上の亀裂には誤差がある。（傾斜で5°程度）亀裂読み取り誤差を低減するためにボアホールクリノメータの改良を行なう。

3　ボアホールスタンプを使用した対策例

3-1．対策地の概要

対策地は道路改良工事の切取箇所で、勾配１：０．５、直高２５ｍの切取途中に、深さ３ｍ程度のクサビ抜け崩壊を生じた。図－３．３、図－３．１１に対策地の平面図、断面図を示す。地質は節理の発達した軟岩Ⅰ～中硬岩状の花崗岩よりなり、地形図から見たリニアメントが対策地の近くを通過している。３－２項で、クサビ抜け崩壊に対する調査・検討事項を整理し、３－３項で対策地での検討結果を紹介する。

3-2．調査・検討事項の整理

図－３．１に岩盤クサビ抜け崩壊に対する調査・検討事項を整理する。図中に番号をつけた①～⑤について以下に説明を加える。

①亀裂面の状態

亀裂面の状態により亀裂面のせん断強度を過去の試験結果から推定したり、あるいは経験的に安定性を判断する際の指標となるためよく観察する必要がある。

②亀裂の方向・数

亀裂の方向を正確に求めることがクサビ抜けを解析する際に重要となる。地表ではクリノメーターによって簡単に測定できるが地中でもボアホールスタンプ、ボアホールテレビ等で亀裂測定を行ない、地表の結果と合わせて亀裂の方向・数を分析すると効果的である。

③亀裂の組み合わせ

クサビ抜け崩壊は亀裂の組み合わせによって発生する。②で求めた亀裂をシュミットネット上にプロットし頻度の多い亀裂を選びクサビ抜けが生じる亀裂の組合わせを考える。地表に崩壊地形がある場合はその崩壊形状が想定した亀裂の組合せと一致する可能性が大きい。

④力学的な解析

③で求めた亀裂の組み合わせよりクサビ抜けモデルを作成しせん断面のせん断強度を考慮すれば力学的に安定かどうか判断される。しかし、せん断面には亀裂が開口している部分、密着している部分、粘土化している部分、あるいは岩自体をせん断する部分が複合すると考えられるため、解析上はせん断強度に対して次のような仮定を設けることが妥当であると考えられる。

１）崩壊箇所等があれば逆算によりせん断強度を推定する。

２）亀裂面のせん断試験を行なう。

３）過去の試験結果例を参考とする。

くさび破壊の解析には文献１）が参考となる。

⑤経験的な解析

図－３．２は日本道路公団設計要領[2]より抜粋した割れ目が流れ盤となる岩盤の過去の実績に基づく安定勾配評価方法である。１方向に亀裂が集中する場合には参考になると思われる。

3-3．対策方法

３－２項で説明した①～⑤の結果をまず紹介する。

①亀裂面の状態

節理面に１cm程度の粘土を挟んでいる部分や粘土が抜け出て開口亀裂となっている部分が露頭で広範囲に観察された。

②亀裂の方向・数

地表では露頭の節理面をクリノメーターで測定し、地中ではボアホールスタンプを用いて測定した。

図－３．４～図－３．７に結果を示す。図－３．６より地表ではＡ，Ｂ，Ｃ，Ｄの４つのブロックに亀裂が集中していることが分かる。図－３．７より地中でも同様の傾向があるがＣ，Ｄブロックが明瞭でない。これはボーリング孔内では鉛直に近い亀裂は読み取り確率が低くなるためと考えられる。

③亀裂の組み合わせ

図－３．６の各ブロックの代表面を以下のように抽出した。走向傾斜は磁北を基準としている。

面Ａ　　Ｎ６８Ｗ４３Ｎ　　（Ａ，Ｂブロック代表面）

面Ｃ　　Ｎ　２Ｗ５５Ｅ　　（Ｃブロック代表面）

面Ｄ　　Ｎ４５Ｅ８０Ｓ　　（Ｄブロック代表面）

これらの面の内、露頭で最も多く生じている崩壊は面Ａ、面Ｄを滑り台とするものであった。

④力学的な解析

考えられるクサビ抜けモデルを次のように作成した。

図－３．８　面Ａ、面Ｄ、切土法面勾配１：１．０の組み合わせ

図－３．９　面Ａ、面Ｄ、切土法面勾配１：０．８の組み合わせ

図－３．１０　面Ａ、面Ｄ、切土法面勾配１：０．５の組み合わせ

切土法面勾配１：１．０の場合は、切土法面勾配と面Ａ・面Ｄの交線の方向が平行になり、クサビ抜けの可能性がなくなってくる。せん断面の強度は、崩壊が生じた状態のすべり力がすべり抵抗力と等しいと仮定して、力学的な解析手法により決定した。

⑤経験的な解析

③で抽出した各ブロック代表面の切取斜面上の見掛けの傾斜角は面Ａ、面Ｃ、面Ｄに対してそれぞれ２９°、５５°、７７°となる。

この値で図－３．２から安定勾配を評価すると１：１.６～１：０.８とかなりの幅となることがわかる。したがって本地の場合、この手法で安定勾配を評価することは非常に難しい。

対策は①～⑤の結果にもとずき以下の３案で比較検討した。

第１案　勾配１：１．０で切土しモルタル吹付けにより法面保護を行なう。地質の特に悪い所は補強鉄筋等で施工時に対処する（図－３．１１参照）。

第２案　勾配１：０．８で切土を行ない補強鉄筋１＝３．０ｍを２ｍ間隔で設け表層の抜け出しを防止する。補強鉄筋径は力学的解析手法にて径を決定した（図－３．１２参照）。

第３案　頭部は、勾配１：０．８で再切土を行ない末端部は現状切勾配に０．５のまま法枠＋アンカー工を用いる。アンカーの断面は、力学的解析手法にて決定した（図－３．１３参照）。

この３案のうち、第１案が最も経済的となった。これは、切土部の背後が尾根地形となっており、切土勾配を緩くしても掘削土量が極端に変化しないためである。施工性からも、補強鉄筋及びアンカー施工の必要がない第１案が有利と考え、第１案を決定案とした。

4　まとめ

道路の切取斜面が、施工中及び施工後に岩盤の亀裂面に沿って崩壊する事例がよく見られる。このような崩壊は小規模でも突発的に発生することが多く、人災となる危険性が高いと考えられる。

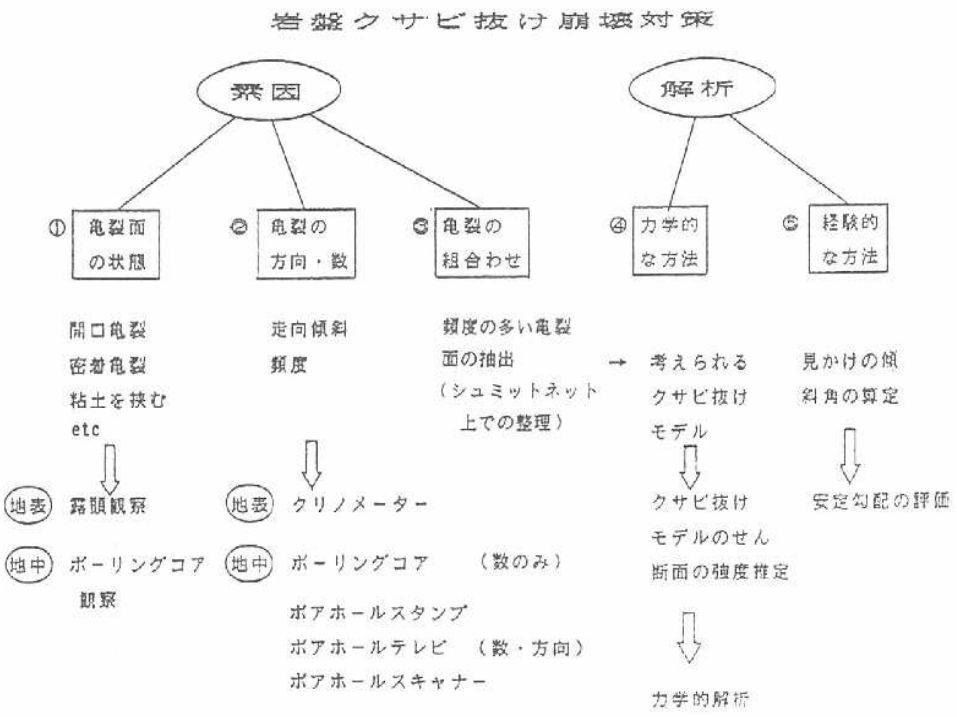
従って岩盤斜面の割れ目に沿った崩壊に対し、適切な調査・設計方法を確立していくことが今後重要であると思われる。本報告は岩盤の亀裂に着目し、試行錯誤しながら岩盤斜面の調査・設計を行った事例である。

まだ様々な問題点が残されているが、今後さらに工夫を重ねより実用的な方法に発展させたいと思っている。

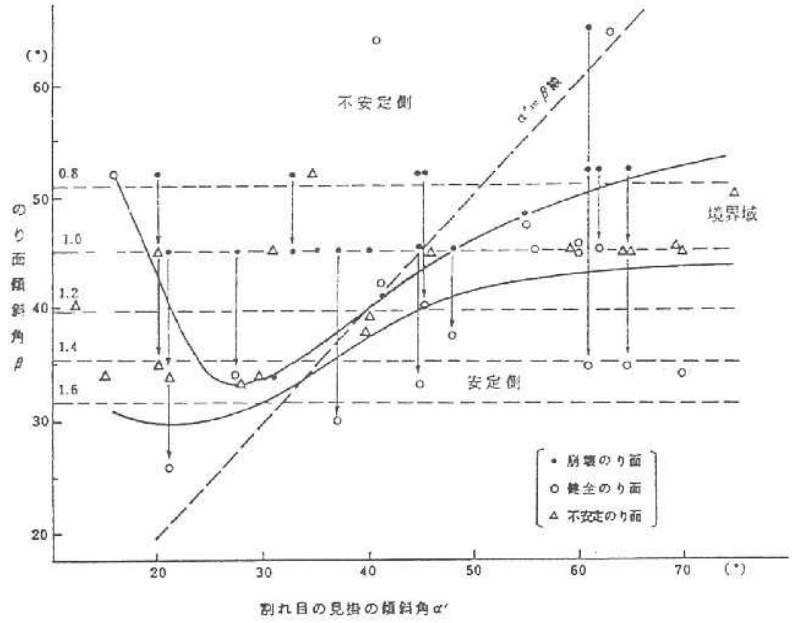
参考文献

１）E.Hoek・J.W.Bray：岩盤斜面工学　pp.152～162。

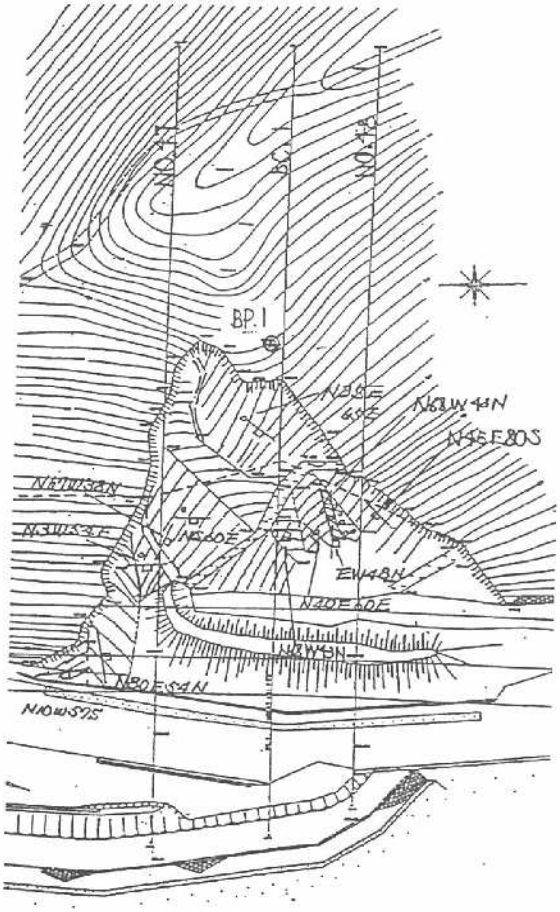
２）日本道路公団(1983)：設計要領第１集　pp.245～246。



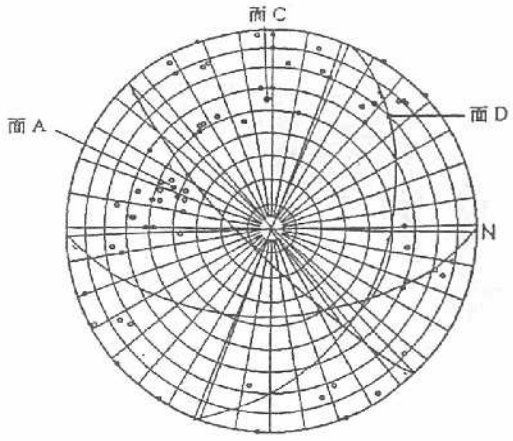
図－３，１　岩盤クサビ抜け崩壊に対する調査・検討事項



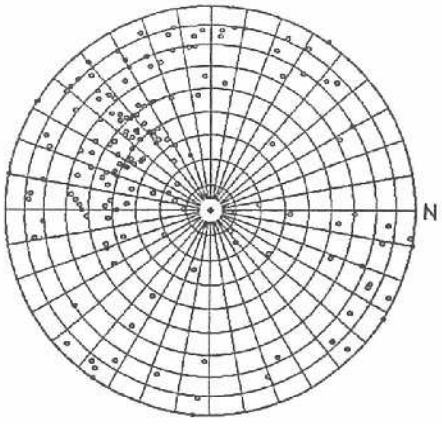
図－３，２　流れ盤のり面における割れ目傾斜角と限界［日本道路公団[2]］



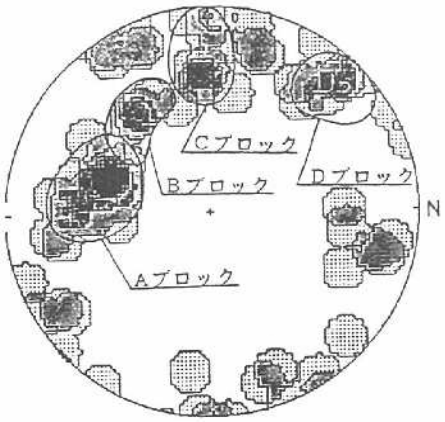
図－３．３ 崩壊地平面図



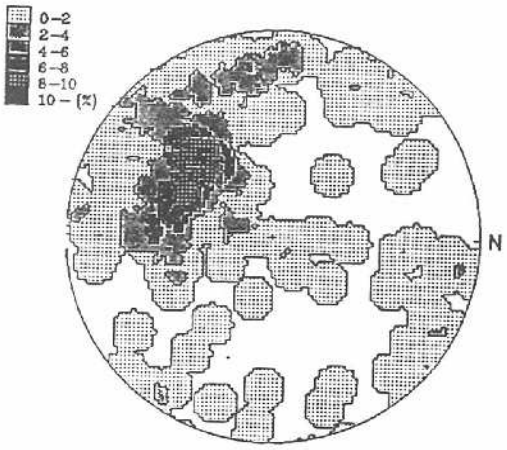
図－３．４ 地表節理面の分布
（シュミットネット投影）



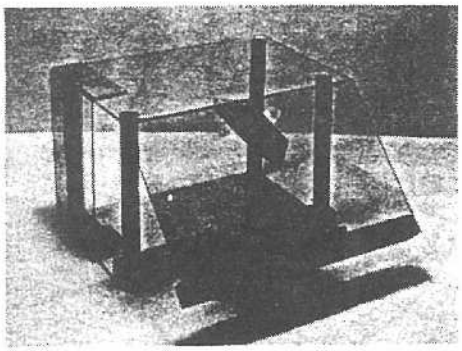
図－３．５ 地中節理面の分布
（シュミットネット投影）



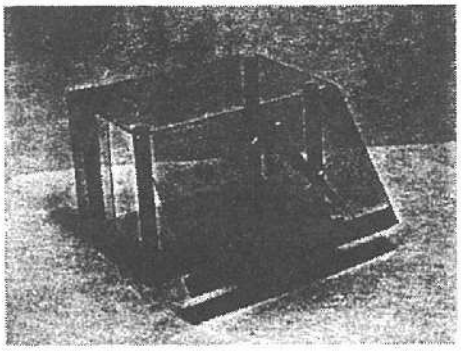
図－３．６ 地表節理面の頻度分布
（シュミットネット投影）



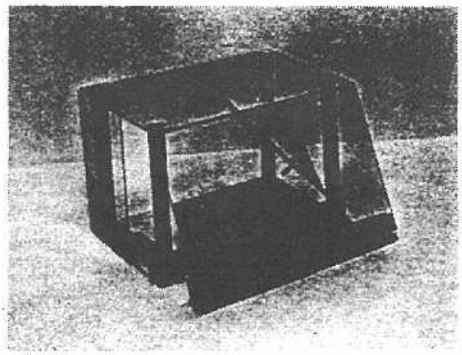
図－３．７ 地中節理面の頻度分布
（シュミットネット投影）



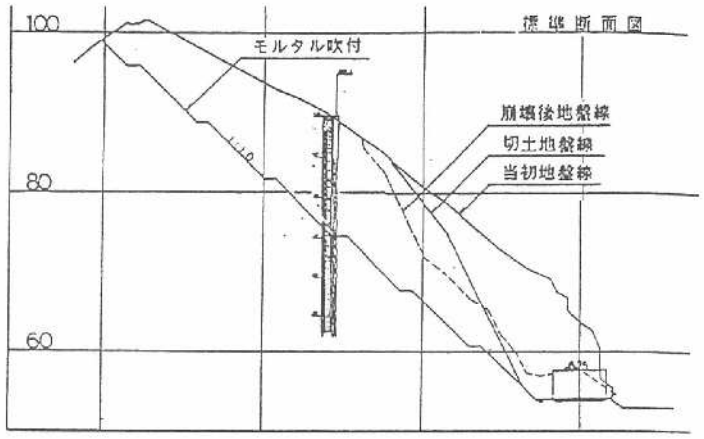
図－３．８ 面Ａ，面Ｄ，切土法面１：１.０の組み合わせ



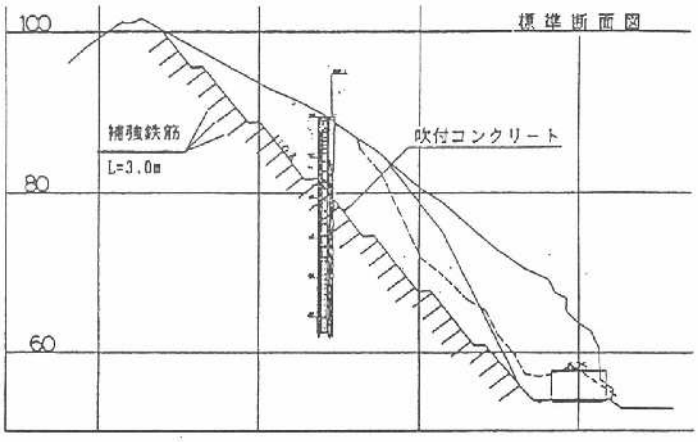
図－３．９ 面Ａ，面Ｄ，切土法面１：０.８の組み合わせ



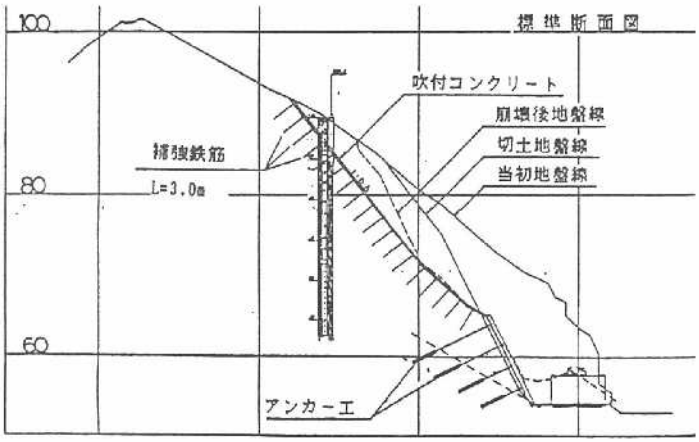
図－３．１０面Ａ，面Ｄ，切土法面１：０.５の組み合わせ



図－３．１１第１案対策工標準断面図



図－３．１２ 第２案対策工標準断面図



図－３．１３第３案対策工標準断面図