

土 木 研 究 所 資 料

谷花地区における岩盤斜面の計器計測及び
割れ目調査による崩壊機構の検討

平成12年12月

建設省土木研究所
急傾斜地崩壊研究室

Copyright© (2000) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

谷花地区における岩盤斜面の計器計測及び 割れ目調査による崩壊機構の検討

急傾斜地崩壊研究室	室長	門間 敬一 ^{*1}
急傾斜地崩壊研究室	主任研究員	千田 容嗣
急傾斜地崩壊研究室	研究員	小嶋 伸一 ^{*2}
急傾斜地崩壊研究室	交流研究員	高木 登
	元交流研究員	小林 豊 ^{*3}
	元交流研究員	山口 正和 ^{*4}

要 旨

谷花地区の岩盤斜面で伸縮計や傾斜計による計器計測及び壁面スケッチなどによる割れ目調査を行い、その結果を分析した。計器計測の結果、計測値に温度依存の特性が強くみられること、計測値と温度との相関図により、計測値の日周期及び年周期の変動と異常変動、累積性の傾向が捉えやすくなることがわかった。また、詳細な割れ目調査の結果、本地区の場合には、割れ目状況が4タイプに分類されることがわかった。さらに分類された割れ目タイプの状況から岩盤斜面の安定状態を評価することは、崩壊機構を解明する上で有効であると考えられた。

キーワード：谷花地区、岩盤斜面、計器計測、割れ目調査、崩壊機構

*1 現 砂防技術総括研究官

*2 現 企画課

*3 現 交流研究員在職期間 平成9年4月～平成11年3月

*4 現 交流研究員在職期間 平成7年4月～平成9年3月

はじめに

岩盤崩壊は、突然発生し、甚大な被害を生じさせることがある。岩盤崩壊による被害を軽減するためには、岩盤崩壊のおそれのある斜面に対して、計器計測や亀裂状況の調査を行い、得られたデータをもとに岩盤斜面の安定性を評価し、対策を検討することが望ましい。しかし、これまでに岩盤斜面の挙動を計測機器により計測調査した事例は少なく、岩盤崩壊のメカニズムが明らかにされていないだけでなく、計測の手法自体が確立されていないのが現状である。

これらのことから、まず岩盤斜面で各種計測調査を実施し、データの蓄積と分析を進める必要がある。

土木研究所では、岩盤斜面の挙動計測技術を確立するための基礎資料を得るため、新潟県東蒲原郡三川村谷花地区の岩盤斜面に伸縮計、傾斜計、温度計を設置し、平成7年10月～平成10年11月にかけて計測を行い、データの蓄積を図るとともに、その計測結果を分析した。また岩盤斜面の崩壊機構の解明に資する資料を得るため、岩盤斜面が崩壊を起こす前には、割れ目が発達するものと考え、岩盤斜面の詳細な割れ目調査を行い、その調査結果を分析した。

本資料は、これらの調査分析結果をとりまとめ、岩盤斜面の挙動計測技術の確立と岩盤斜面の崩壊機構の解明に資するものである。

目 次

はじめに

1 調査の目的と調査値の概要	1
1. 1 目的	1
1. 2 調査地の概要	1
1. 2. 1 調査地の地形・地質の概要	1
1. 2. 2 調査対象岩盤の概要	1
2 計測機器の配置と計測結果	8
2. 1 計測機器の設置状況	8
2. 2 計測結果	11
2. 2. 1 A斜面	11
2. 2. 2 B斜面	13
2. 3 計測結果の解釈	17
2. 3. 1 温度データの特徴	17
2. 3. 2 温度変化の計測値への影響	19
2. 3. 3 温度補正の検討	24
2. 3. 4 計測データと計器温度の相関図による岩盤挙動の検討	26
2. 3. 5 F F Tによる計測データの検討	27
2. 4 計器計測結果のまとめと分析	34
2. 4. 1 計器計測結果のまとめ	34
2. 4. 2 計器計測値に関する検討	34
2. 4. 3 岩盤斜面の挙動分析手法の検討	35
3 割れ目調査	39
3. 1 割れ目解析	39
3. 1. 1 岩盤の基本物性	39
3. 1. 2 主要開口割れ目と岩体のブロック区分	42
3. 1. 3 割れ目の方向性と割れ目系の区分	45
3. 1. 4 割れ目系の特徴とその成因	46
3. 1. 5 割れ目の頻度	58
3. 1. 6 崩壊機構の推定	60
3. 2 岩盤斜面における割れ目解析結果のまとめ	65
4 まとめ	68
おわりに	69
参考文献	70

1 調査の目的と調査地の概要

1. 1 目的及び検討内容

岩盤崩壊は、発生の頻度は低いものの、崩壊が発生した場合には甚大な被害が生じさせることがある。岩盤崩壊のおそれのある斜面に対して、道路防災上、岩盤崩壊に対する監視手法の確立が望まれているが、これまで岩盤崩壊に関する調査計測の事例が少なく、岩盤斜面の計測技術や岩盤斜面の崩壊機構に関する研究は、地すべりに比べて非常に遅れているのが現状である。このため、岩盤崩壊メカニズムを解明するために、各種の計測調査を岩盤斜面に適用し、データの蓄積と分析を進める必要がある。さらに、計測機器やそのシステムを岩盤斜面の計測に適したものに改良する必要がある。

このような背景から、新潟県東蒲原郡三川村谷花地区をモデル斜面に選定し、計測技術の確立に資する基礎資料を得ることを目的として、岩盤斜面に伸縮計及び傾斜計を設置し、データの蓄積を図るとともに、計測データの分析を行った。また、岩盤斜面の崩壊機構の解明に資する基礎資料を得るため、割れ目調査を行い、その結果を分析した。

1. 2 調査地の概要

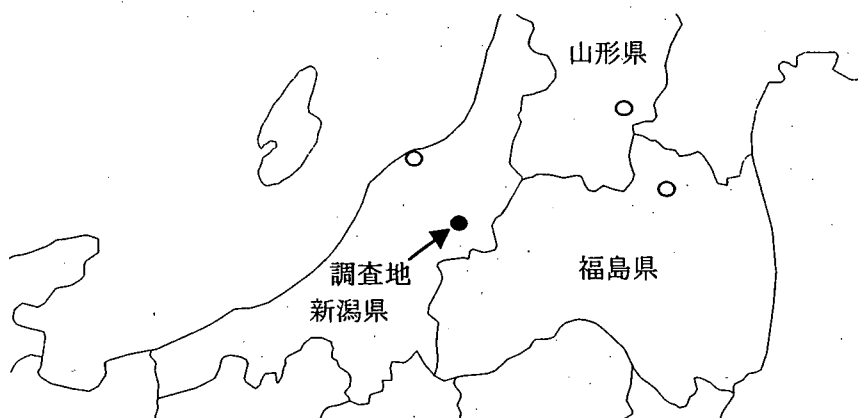
1. 2. 1 調査地の地形・地質の概要

調査地は、図－1.1に示すように新潟市の南東約45km、一級河川阿賀野川及び直轄国道49号線に面した急傾斜岩盤斜面に位置する（図－1.2，1.3）。兩岸山頂部の標高は300～400mで、山腹は約50°の急斜面となっている。

調査地周辺の地質は、古生代～中生代の砂岩、粘板岩、石灰岩から構成される堆積岩類（中・古生層）と、これを不整合で覆う新生代新第三紀の安山岩、流紋岩、凝灰岩、砂岩等からなる津川層、及びこれらを覆う崖錐堆積物等で構成される。

中・古生層は浸食を受け緩斜面をなし、中古生層部分の斜面上には崖錐地形が発達し、上方の流紋岩の急崖からの落石により供給された大小の礫が覆っている。斜面の急崖を形成しているのは津川層の流紋岩である。流紋岩には貫入後の冷却収縮により生じた方形状の節理が発達しており、これが浮石の生産と崩壊現象の素因として働いている。

計測対象の岩盤斜面は、急崖の中腹部に位置し、それぞれA，B斜面と称している。両斜面は1つの大きな流紋岩より構成される岩塔の周辺部に位置している。



図－1.1 調査地位置図

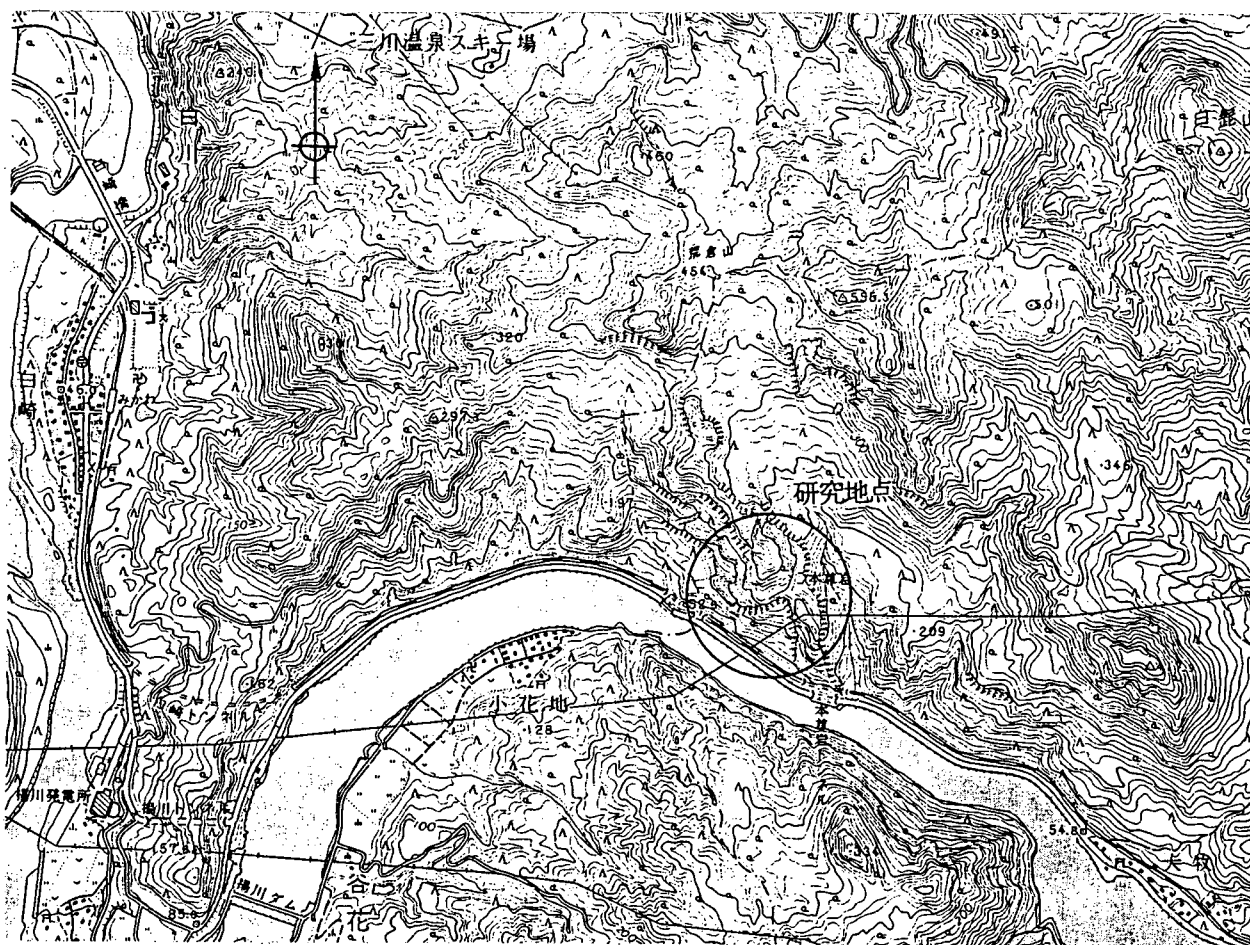


図-1.2 計測地位置図(1:25,000 津川 国土地理院)

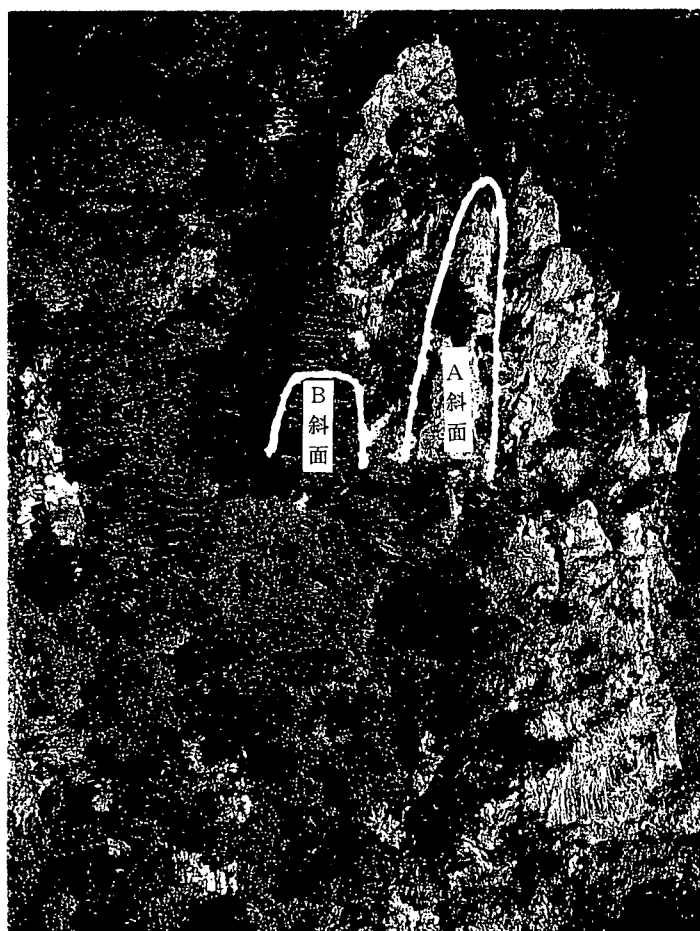


図-1.3 計測地周辺地質図

1. 2. 2 調査対象岩盤斜面の概要

計測対象の岩盤斜面の斜め空中写真を写真－1.1, 1.2に示す。B斜面は樹木に隠れてほとんど見えない。図－1.4, 1.5は斜め空中写真の図化の結果である。

A斜面は、その東側に位置する岩盤斜面と明瞭な谷地形により分離されている柱状の岩盤ブロックと考えられる。本斜面では、岩盤斜面の割れ目構造を直接計測することが困難であるため、空中写真及び幾つかの現地計測により、主要な亀裂を計測した。写真解析による不連続面の計測は、点の座標を求める写真解析の原理を応用し、不連続面上の3点の座標を計測することで不連続面の空間位置を決定する事により、不連続面の走向・傾斜を算出した。結果をシュミットネットに示したものが、図－1.6である。不連続面は大きく3種に区分が出来ることがわかる。



写真－1.1 計測地を含む斜面の写真(正面)

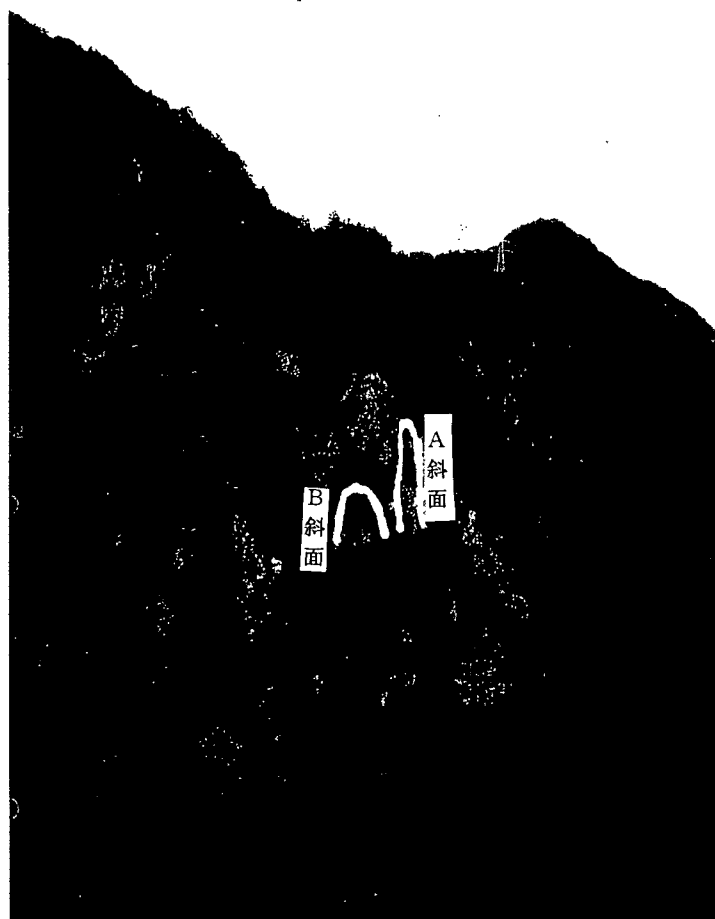


写真-1.2 計測地を含む岩頭の写真(西側側面)

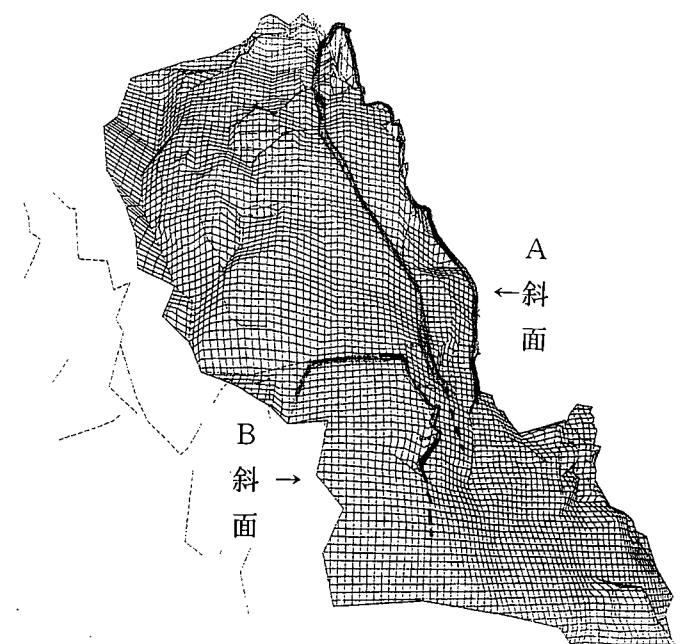


図-1.4 計測岩盤斜面周辺斜め空中写真図化結果

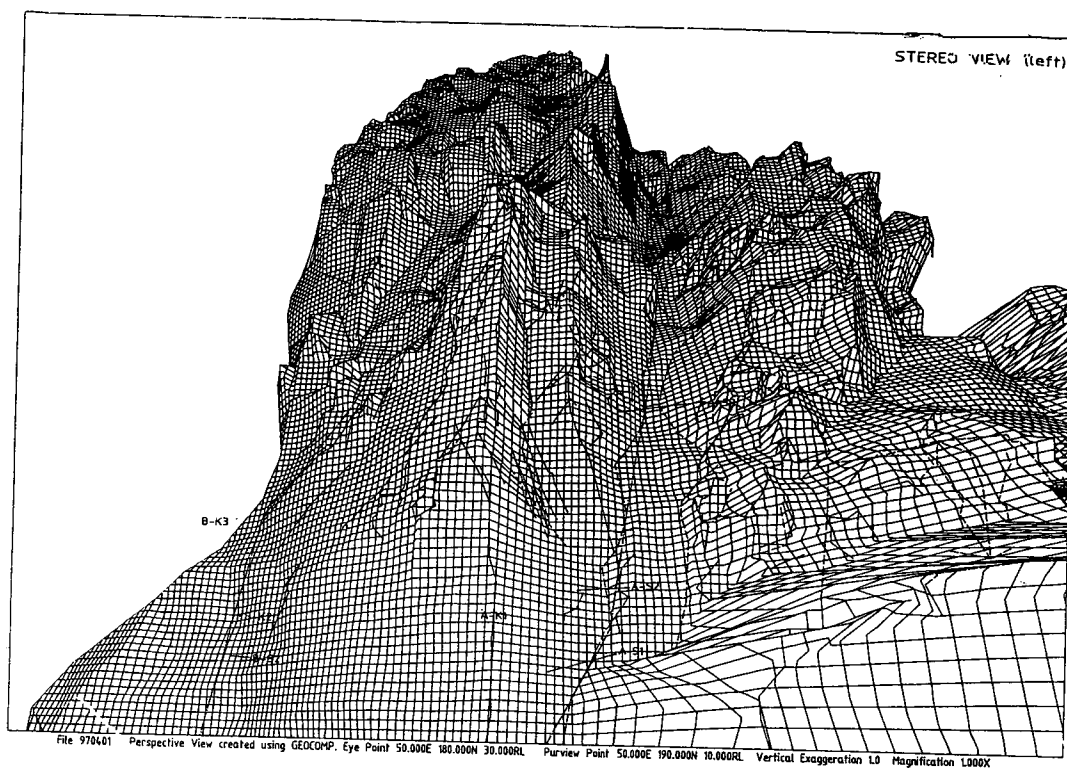


図-1.5 計測岩盤斜面周辺斜め空中写真図化結果

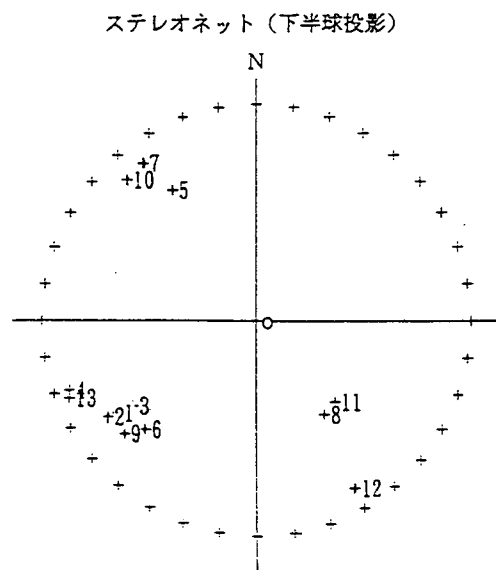
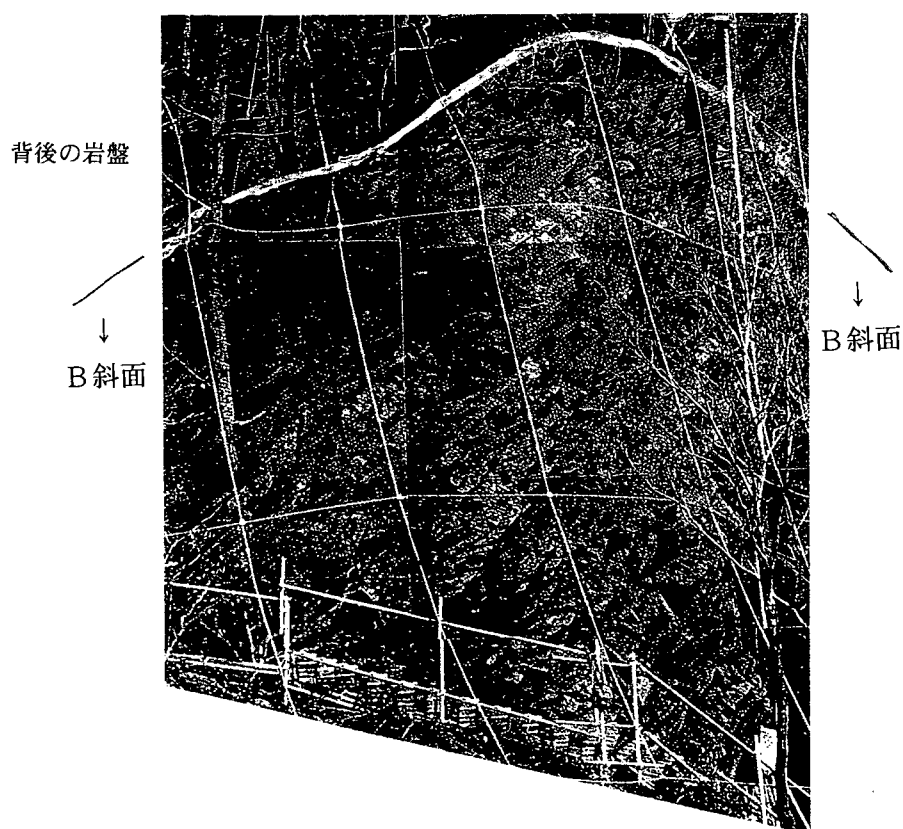


図-1.6 A斜面の主要な割れ目のシュミットネット図

B斜面については計測対象岩盤斜面の形状の詳細把握と地質構造に関する調査を実施した。斜面の規模は、幅約15m、奥行き約5m、高さ約12mの岩盤斜面である。写真-1.3にB斜面の写真を、図

ー 1.7 に岩盤斜面スケッチ図を示す。岩盤斜面は、西側、南西側、南東側に鉛直からオーバーハングをなす急崖が分布する。この内、南西側壁面は、オーバーハング面が階段状に認められる。

岩盤斜面壁面の観察結果から、計測対象岩盤斜面は、地質的な初生構造であると判断される 1 本の線構造と 3 つの面構造から構成されている。線構造には、流紋岩貫入岩体貫入時の流理構造が認められ、この方向に鉱物粒子の配列や発泡孔の伸長が認められる。面構造としては、流紋岩冷却時に形成されたと判断される節理系の割れ目が識別される。



写真－1.3 B 斜面の写真(西側側面)

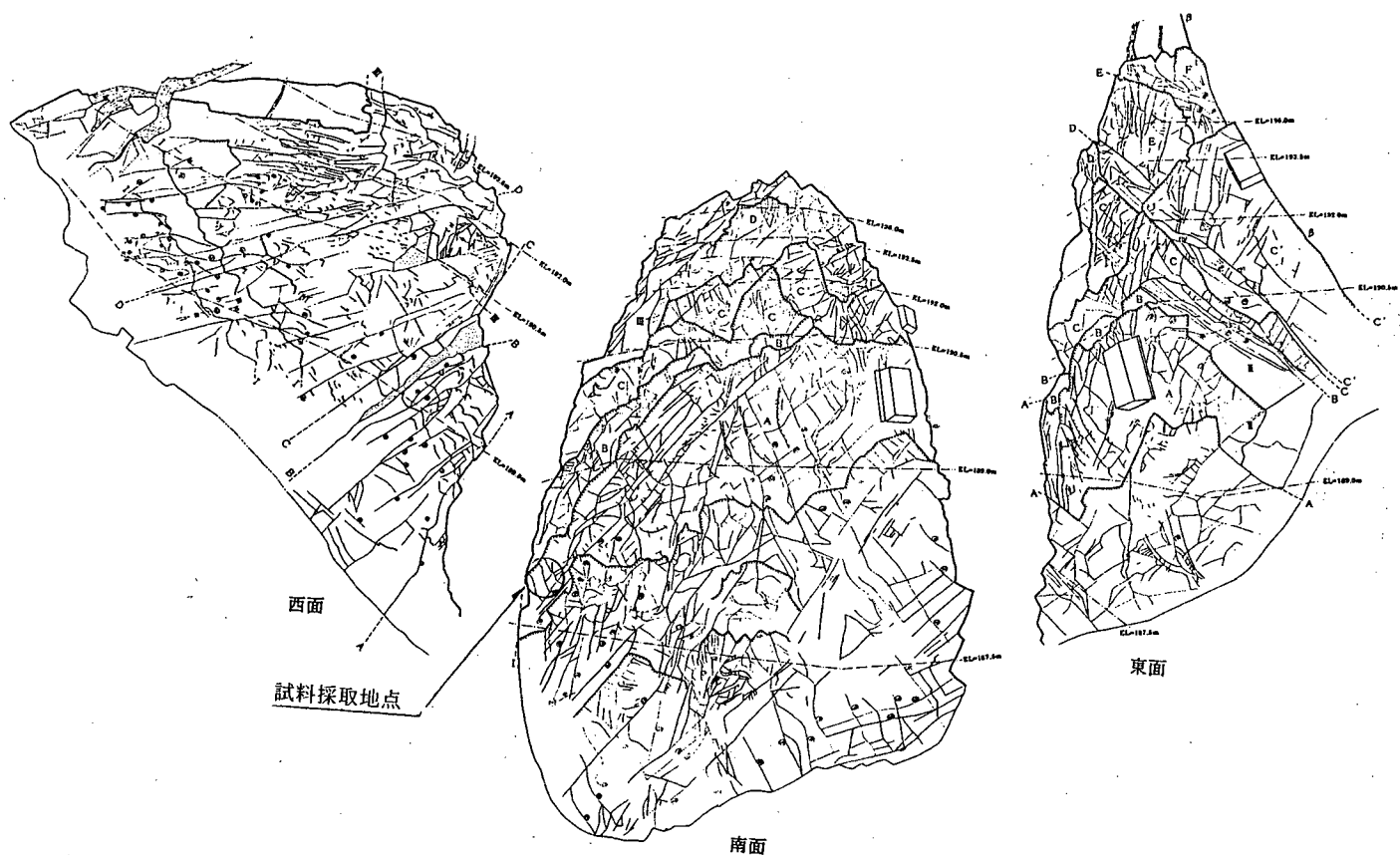


図-1.7 B斜面スケッチ図

214サンプルの割れ目の面構造（走向と傾斜）をシュミットネット図（図-1.8）に投影しても、ほぼ、3つの領域に構造の集中が見られる。その構造は、NW-SE方向の走向を有し、E方向に急傾斜する面（Ⅰ系統）、NE-SW方向の走向を有し、NW方向に傾斜する面（Ⅱ系統）と、NE-SW方向の走向を有し、SE方向に傾斜する面（Ⅲ系統）の3系統に分類される。

表-1.1は、B斜面（図-1.7）から採取した試料の室内岩石試験結果である。構成岩石は高一軸圧縮強度と高圧裂引張強度を持っている。

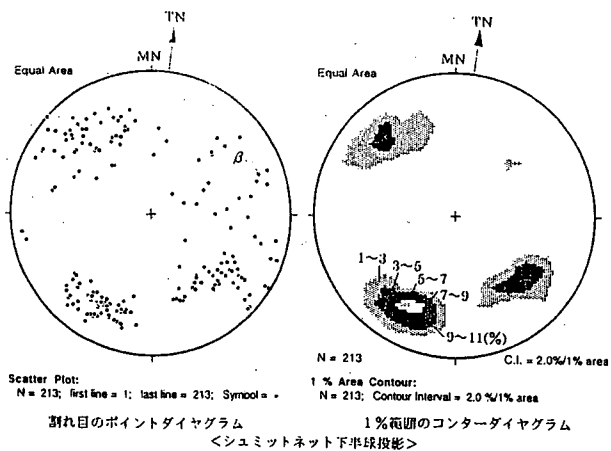


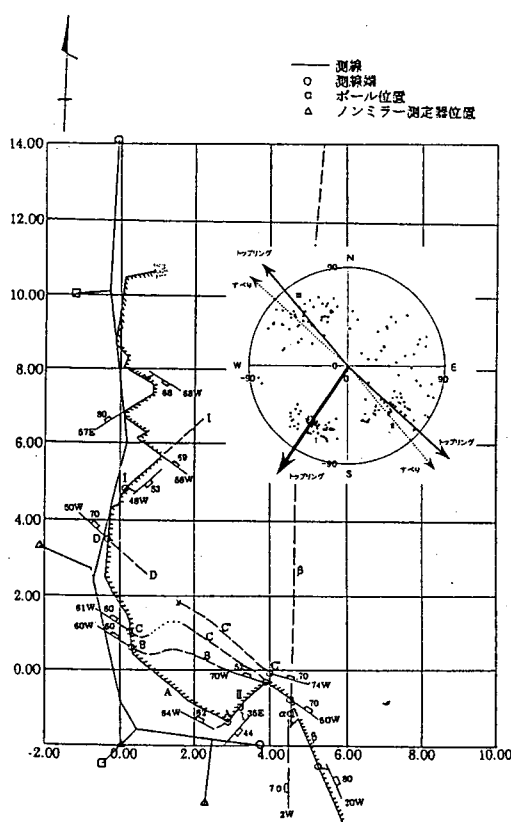
図-1.8 B斜面割れ目方向を示すシュミットネット図

表-1.1 室内岩石試験結果一覧表

試料番号		1	2
見掛比重(自然)	g/cm^3	2.39	2.40
見掛比重(乾燥)	g/cm^3	2.37	2.68
見掛比重(湿潤)	g/cm^3	2.42	2.42
有効間隙率	%	4.83	4.13
吸水率	%	2.04	1.74
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	2.376	2.381
一軸圧縮強度	q_u MPa	147	170
静ポアソン比	ν_s	0.239	0.254
静弾性係数	E_s MPa	5,230	4,710
圧裂引張強度	σ_t MPa	1.39	0.91
超音波速度(自然・P波)	V_p m/s	4,340	4,260
超音波速度(自然・S波)	V_s m/s	2,280	2,280
動ポアソン比	ν_d	0.310	0.300
動せん断弾性係数	G_d MPa	1,240	1,240
動弾性係数	E_d MPa	3,240	3,210

すなわち、対象岩盤斜面を構成する岩盤ブロックそのものの変形は非常に小さいことが予想され、剛体として取り扱って問題ない。したがって、岩盤斜面の挙動を規制するものは岩盤に存在する不連続面としての割れ目を介して生じるか、脆性的破壊様式をとるものと判断される。

そこで、岩盤の割れ目調査結果から調査対象岩盤の挙動機構について検討すると、割れ目方向の分布を示したシュミットネット図から、岩盤斜面は南西方向への転倒と北西方向、南東方向へのすべりや転倒機構を有する挙動が生じやすい（図－1.9）。また、岩盤斜面南西壁面には、 $N50\sim70^{\circ}W$ 走向で、北に $60\sim70^{\circ}$ 傾斜するオーバーハング面が明瞭に観察されていることから、対象岩盤斜面の挙動機構は南西方向への転倒が最も有力であると判断される。



図－1.9 B斜面の岩盤斜面挙動機構平面スライス図

2 計測機器の配置と計測結果

2.1 計測機器の設置状況

対象斜面における岩盤斜面動態観測システムは、表－2.1に示す地盤傾斜計、地盤伸縮計、温度計から構成される。観測計器は、地すべりや構造物の変位計として一般に用いられているものである。また、計測機器は、図－2.1, 2.2の模式スケッチ図に示すように計測器を設置しており、傾斜計については図－2.3に示すような設置金具を用いて岩盤壁面に設置している。

表-2.1 計測機器一覧表

計測機種	仕 様
地盤傾斜計 (B-K4 除く)	測定範囲: $-5 \sim 5^{\circ}$ (1成分型) 出力: $4,000 \times 10^6$ ひずみ 非直線性: 1% R O
地盤伸縮計	測定範囲: 200mm / 回転(エンドレス) 出力: 1,000 ~ 5,000Hz 電氣的分解能: $5 \mu\text{m} / \text{Hz}$ 直線性: $\pm 0.8\%$ F S
温度計	測定範囲: $-30 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 出力: 100×10^6 ひずみ 直線性: $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
データ収録装置	入力チャンネル: 4 ch, 12ch 測定間隔: 3 min から 10day メモリ容量: 64 k B

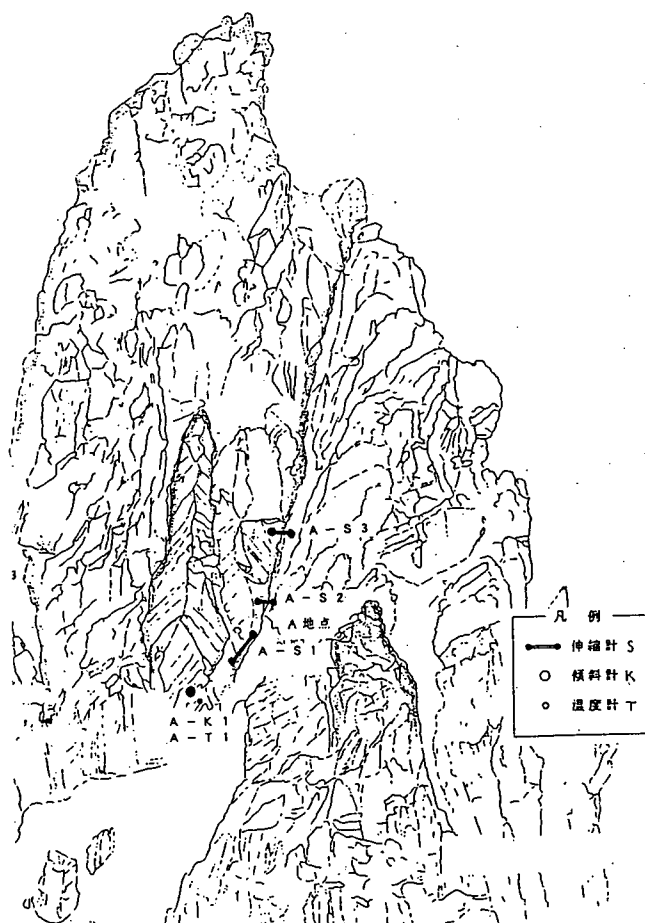


図-2.1 A斜面模式スケッチ図

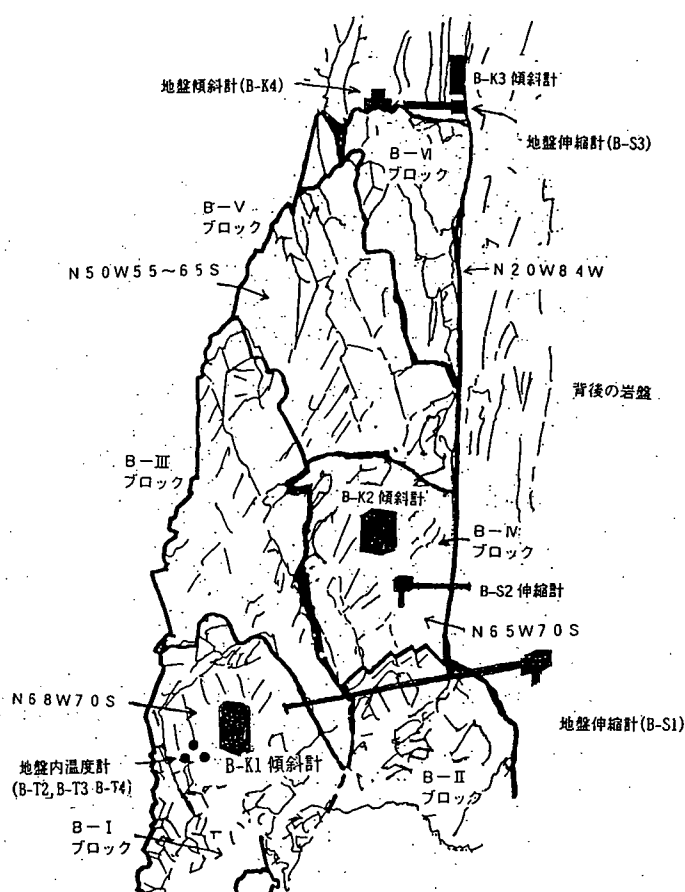


図-2.2 B斜面模式スケッチ図

注) 仮に、高さ10mの岩体の転倒により、最上部の亀裂が開くと考えた場合、亀裂が0.4mm開くことが傾斜計の1メモリ分(0.0025°)の変化である。

B-T 2～4 は岩盤内の温度を計測するために設置しており、それぞれ岩盤表面から深さ 8 cm, 48cm, 78cmの地点に図-2.4 に示すように設置した。

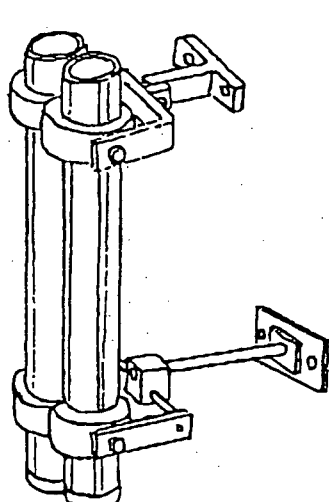


図-2.3 傾斜計の設置方法

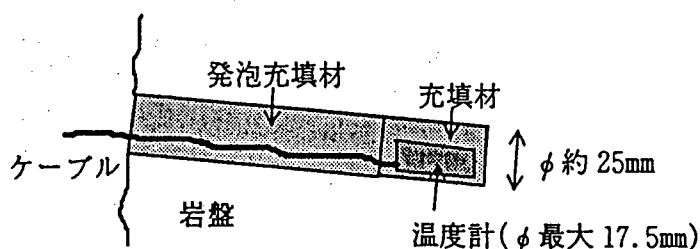


図-2.4 岩盤内温度計の設置状況模式図

図-2.5 は、各計器の配線系統図である。図に示されるように各計器データは、データロガーに収録し、半自動観測を行っている。計測間隔は、計測開始当初の平成7年10月23日～から約2ヶ月間は30分間隔、その後は2時間間隔であり、平成9年12月より1時間間隔となっている。

なお、温度は地盤傾斜計設置用のアルミケーシング内に密封し、計器温度を計測している。B-T 1はB-K 1, A-T 1はA-K 1を計測しており、これをもって、各岩盤斜面の計器温度を代表させている。

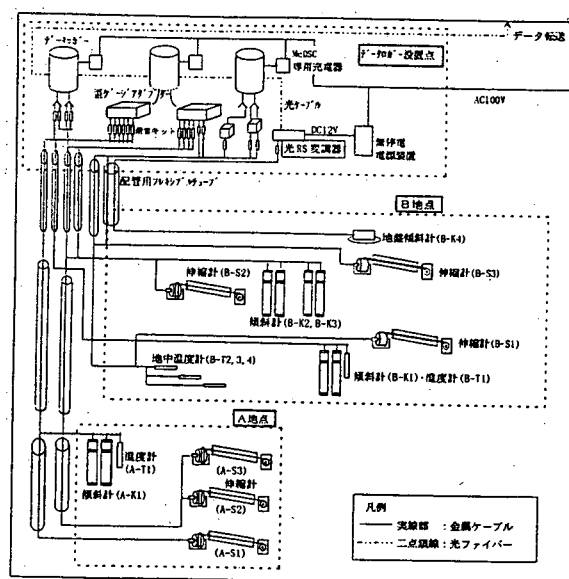


図-2.5 計測器配線系統図

2. 2 計測結果

以下に各計測器データの計測結果について述べる。なお、図-2.6に示すように傾斜計の変動は、X方向が岩盤壁面と直角方向、Y方向が岩盤壁面の走向方向に概ね設置している。

なお、計測結果の欠測部分には、途中で計測機器の増設・メンテナンス等による。

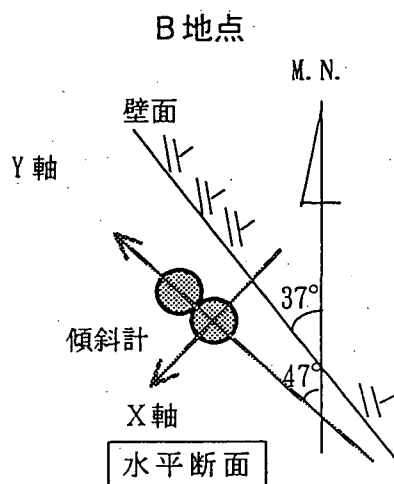


図-2.6 傾斜計の設置方向

2. 2. 1 A斜面

①温度計A-T1 (図-2.7)

温度計は、A-K1に設置されており、日周期と年周期の目立つ周期変動が認められる。1日当たり5～20℃程度の変動幅で周期変動が認められ、年間の平均的な変動幅は約30℃となっている。

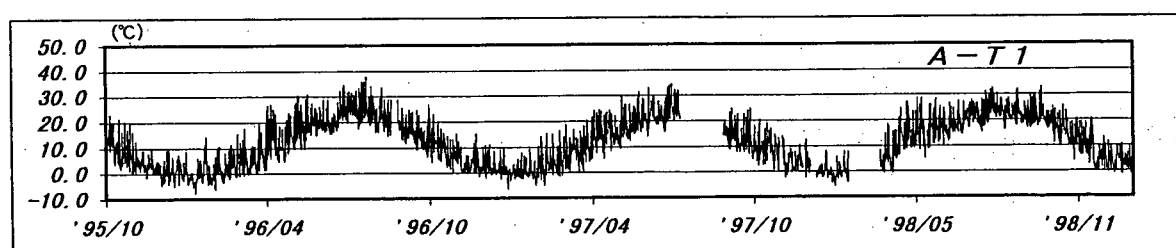


図-2.7 温度計A-T1データ経時グラフ

②地盤傾斜計A-K1 (図-2.8)

傾斜計では、温度と相関がよい周期変動が観測されている。グラフからは、1日周期と年周期の変動が認められるようである。一日当りの振幅0.01～0.02°程度であり、年当りの周期振幅は、0.02～0.05°程度である。

なお、X軸が累積性をもち経年的に若干山側に傾斜しているようにも見えるが、計測期間内の累積変動値は-0.040程度であり、また、日周期と年周期からなる日常変動(0.050°程度)の範囲内であ

り、累積性を評価するためには今後とも観測を継続する必要がある。

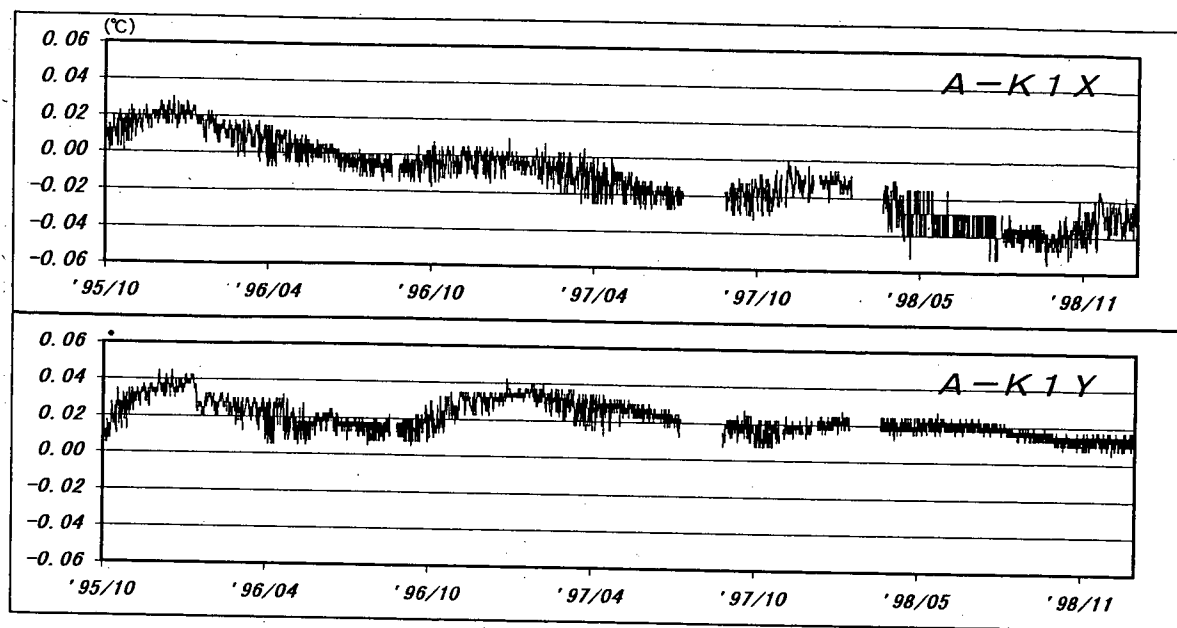


図-2.8 地盤傾斜計A-K1データ経時グラフ

③地盤伸縮計A-S1, S2, S3 (図-2.9, 2.10, 2.11)

伸縮計においても年周期の変動が認められる。A-S2, A-S3の変動量は、A-S1よりも大きくなっている。これは、設置状況やセンサーの温度特性の個体差である可能性も排除できないが、計測している割れ目系が全く別であることを考えると岩盤の何らかの挙動を観測している可能性もある。

しかし、岩盤崩壊に至る挙動を示す場合には、非可逆的な変動となるのに対し、当該データは可逆的な変動を示していることから、温度による岩の膨張収縮による日常変動であると考えられる。

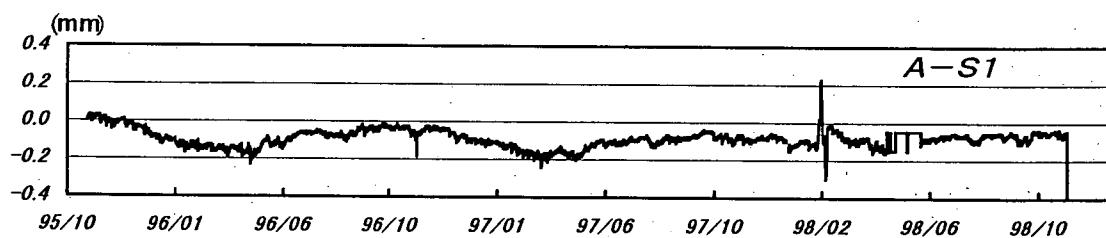


図-2.9 地盤伸縮計A-S1データ経時グラフ

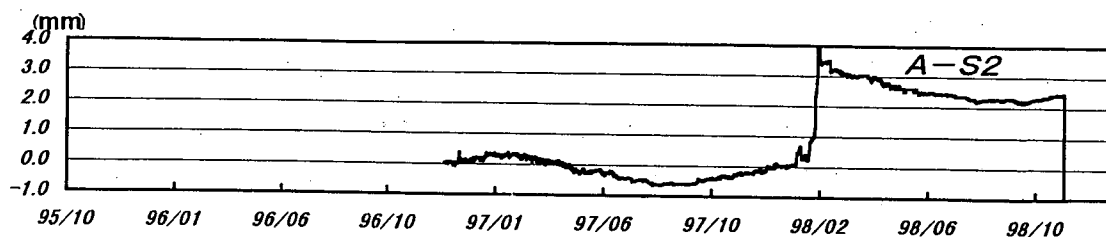


図-2.10 地盤伸縮計A-S2データ経時グラフ

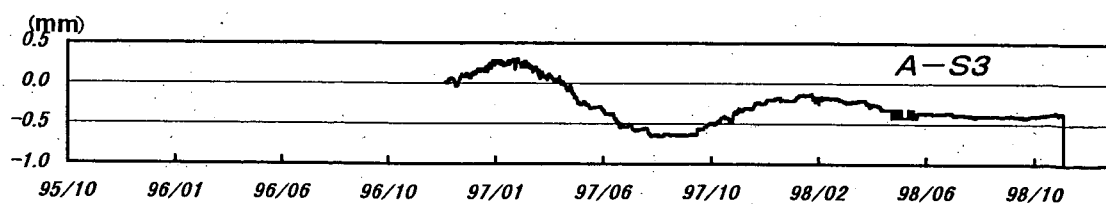


図-2.1.1 地盤伸縮計A-S3データ経時グラフ

2.2.2 B斜面

①温度計B-T1 (図-2.1.2)

温度計は、B-K1に設置されており、日周期と年周期の目立つ周期変動が認められる。1日当たり5～25℃程度の変動幅で周期変動が認められ、年間の平均的な変動幅は約30℃となっている。

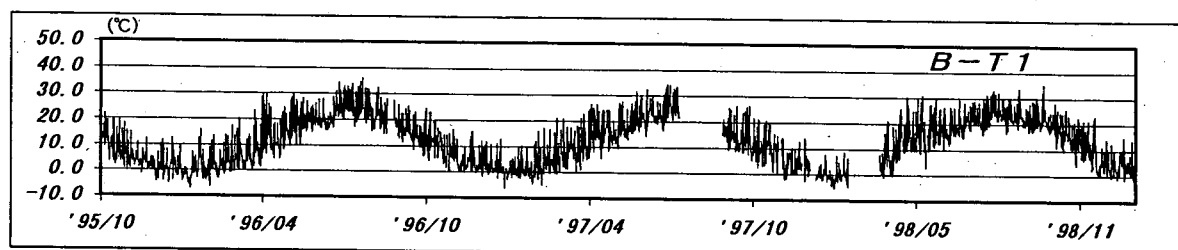


図-2.1.2 温度計B-T1データ経時グラフ

②地盤傾斜計B-K1 (図-2.1.3)

特徴的な観測結果として、B-K1傾斜計のY軸で4月～5月、11月～12月にかけて観測された約0.1°の大きな累積変動（異常な変動）が挙げられる。B斜面に設置したB-K1以外の計測機器では、異常な変動は認められず、日常変動のみである。よって、B-K1の異常な変動は、局地的な異常であると考えられる。この異常な変動は、数時間～1月ほどかけて進行すること、明らかに計器や取付金具の温度特性とは異なる変動パターンであること、毎年同じような変動を繰り返す再現性があることから、何らかの岩盤の異常な挙動を示している可能性が強い。

なお、B-K1のX軸に山側へ倒れる累積傾向の可能性がある変動が認められる。

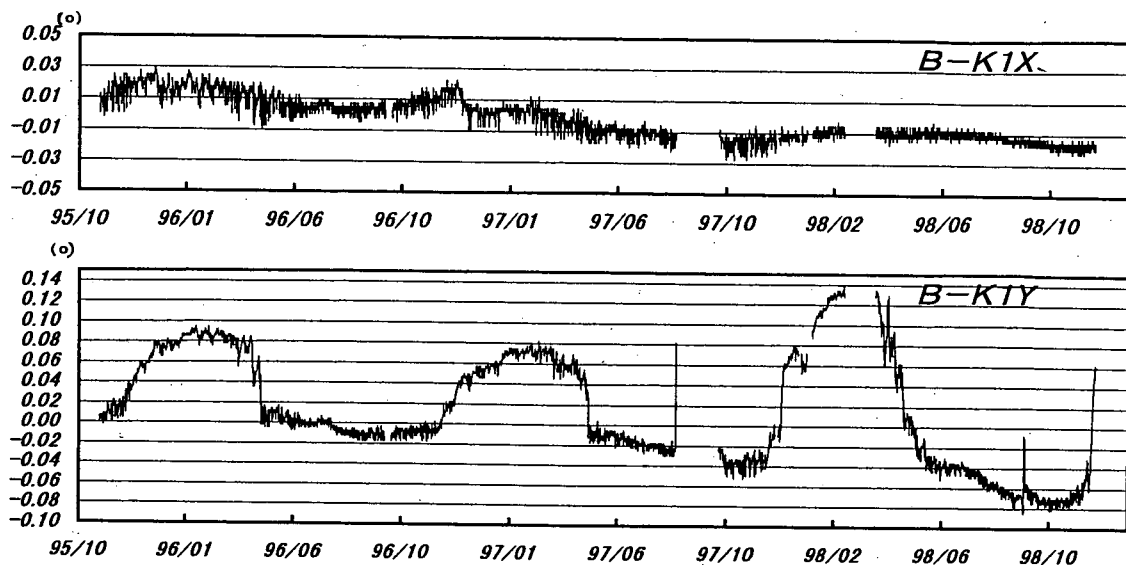


図-2.13 地盤傾斜計B-K1データ経時グラフ

③地盤傾斜計B-K2, K3 (図-2.14, 2.15)

周期的な日変動、年変動が認められる。日変動には顕著な異常な変動は見られないが、長期的に見ると、X軸は山側、Y軸は上流側（壁に向かって右）に向かう累積性の疑われる変動が認められる。

X軸の動きは、オーバーハング面がトップリングするのとは逆方向であり、観測を継続し、他の計器の累積性と比較することにより、岩盤の挙動なのか計器の経年変化による特性なのか設置器具の影響なのかを判断する必要がある。

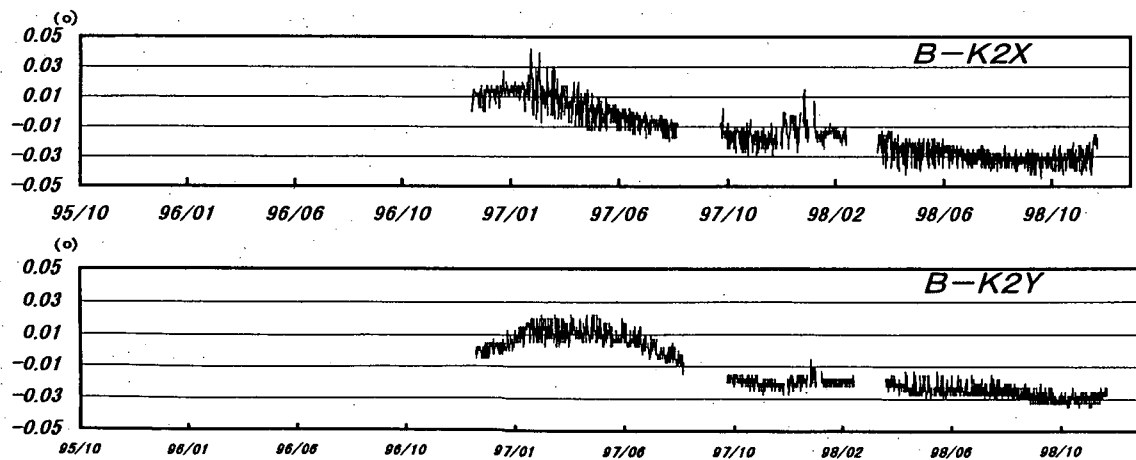


図-2.14 地盤傾斜計B-K2データ経時グラフ

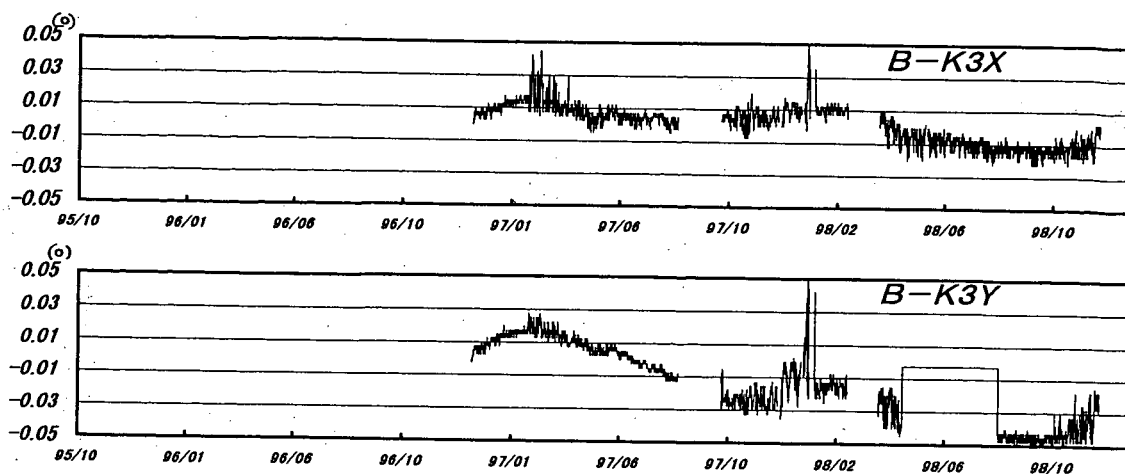


図-2.15 地盤傾斜計B-K3データ経時グラフ

④地盤傾斜計B-K4 (図-2.16)

B斜面頭部に設置してある計測器である。ブロック全体の安定性を把握するため、レンジの大きい計器を設置しており、その分温度特性も大きくなっている。このため、他の傾斜計にくらべ日常変動が大きくなっているのが判る。B-K3等での日常変動は $0.01 \sim 0.02^\circ$ 程度なのに対し、B-K4では 0.04° 程度と大きくなっていることから、B-K4傾斜計の日常変動が岩盤の挙動であるとは考えにくい（岩盤の挙動であれば他の計測器でも大きな変動が観測される可能性が大きい）。つまり、日常変動の大部分が計器の特性と考えられる。

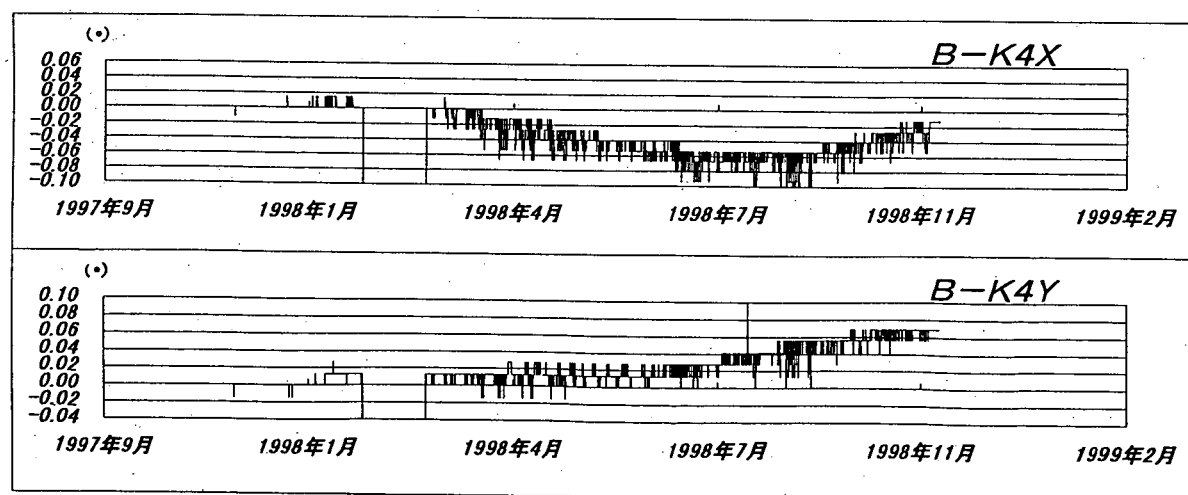


図-2.16 地盤傾斜計B-K4データ経時グラフ

⑤地盤伸縮計B-S1, S2, S3 (図-2.17, 2.18, 2.19)

観測期間が短く現在のところ評価が困難であるが、日常変動や年周期と思われる変動が観測されているものと思われる。

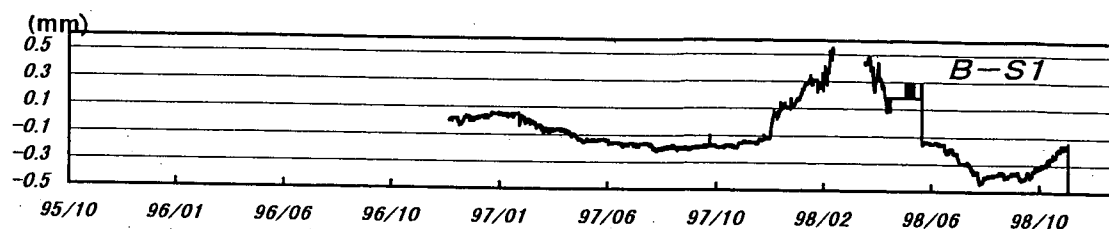


図-2.17 地盤伸縮計B-S1データ経時グラフ

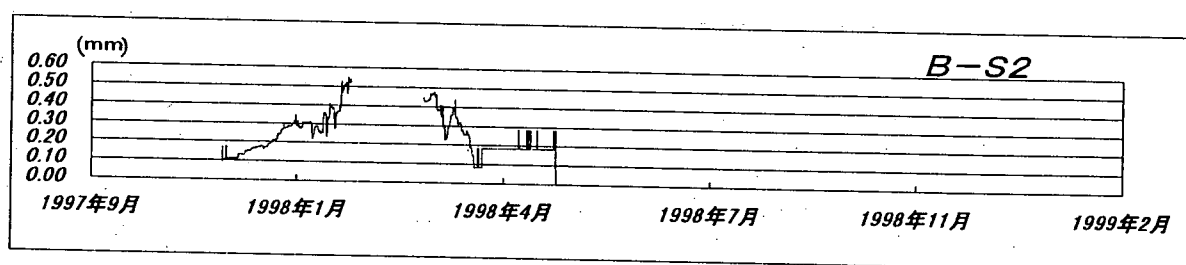


図-2.18 地盤伸縮計B-S2データ経時グラフ

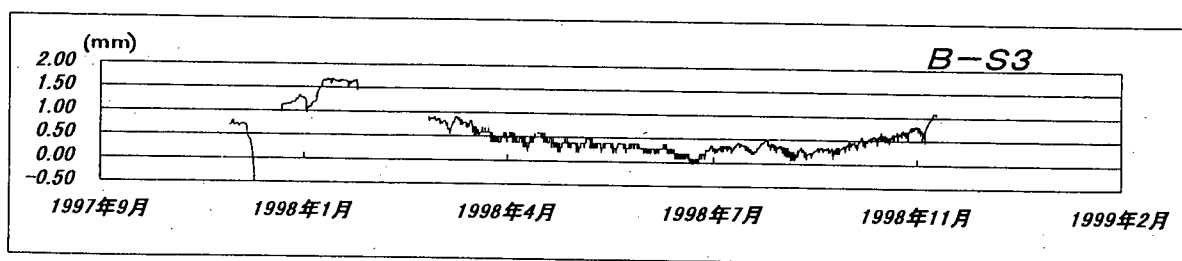


図-2.19 地盤伸縮計B-S3データ経時グラフ

⑥温度計B-T2~4 (図-2.20)

B-T2~4は、岩盤斜面内に埋設した温度計であり、それぞれ岩盤表面からの深さ8cm, 48cm, 78cmの深さに設置してある。気温と岩盤内温度のタイムラグは、グラフ上で見る限り、深さ8cmでは、ほとんど認められず、深さ48cmで約12時間、深さ78cmで約18時間である。すべての岩盤内温度計データで、0°C以下の温度は記録されなかった。

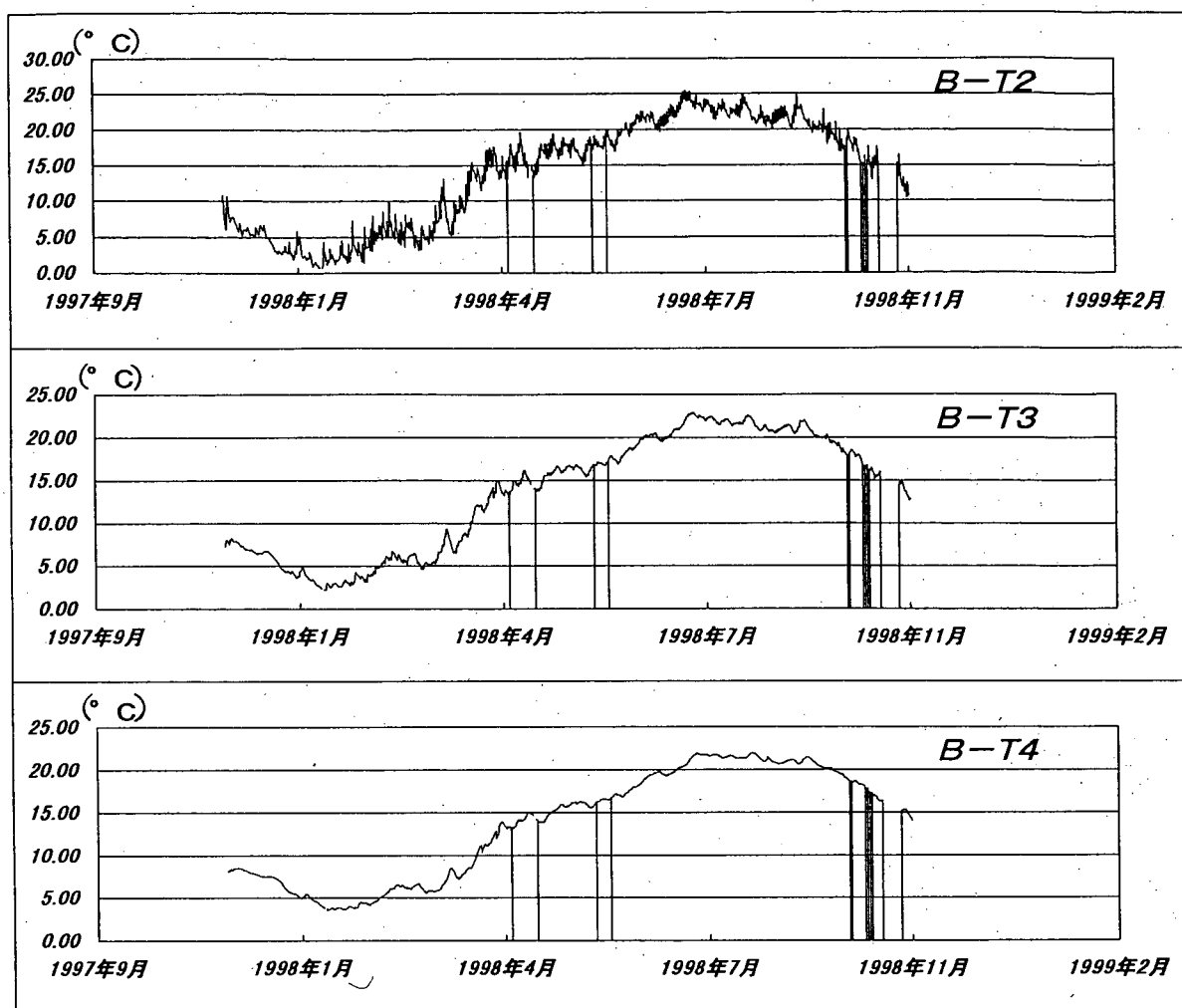


図-2.20 温度計（岩盤内）B-T2, T3, T4データ経時グラフ

2.3 計測結果の分析

2.3.1 計測データの特徴

以上のように、何れの計測器においても、日周期と年周期の変動が認められていることがわかる。各計測器の日変動幅（0時～23時）の頻度分布図は図-2.21に示す通りである。変動幅2メモリ分（傾斜計は 0.005° （B-K4は 0.02° ）、伸縮計は 0.01mm ）は、通常発生するノイズと思われるが、各計器ともそれを超える最大日変動幅も観測されている。

また、表-2.2に示すように年間の変動幅（1月1日～12月31日）は、傾斜計 $0.02\sim 0.22^{\circ}$ 、伸縮計 $0.2\sim 1.7\text{mm}$ であり、年間変動幅に対しては十数～数十メモリに達する変動が認められている。

B-K1Yについては、このような周期変動以外にも冬季に最低計器温度が 0°C を記録する頃にプラス側に徐々に傾動し、また春期に最高計器温度が 20°C を記録する頃に急激にマイナス方向に傾動し、もとの傾動量に戻る特異的な変動が認められる。変動幅は約 0.1° であり、この傾向はこれまで

3年間同様であり、一種の年周期変動と考えられる。なお、図-2.21のB-K1Yの日変動量頻度グラフを見ても日変動量は特に異なった傾向は認められない。

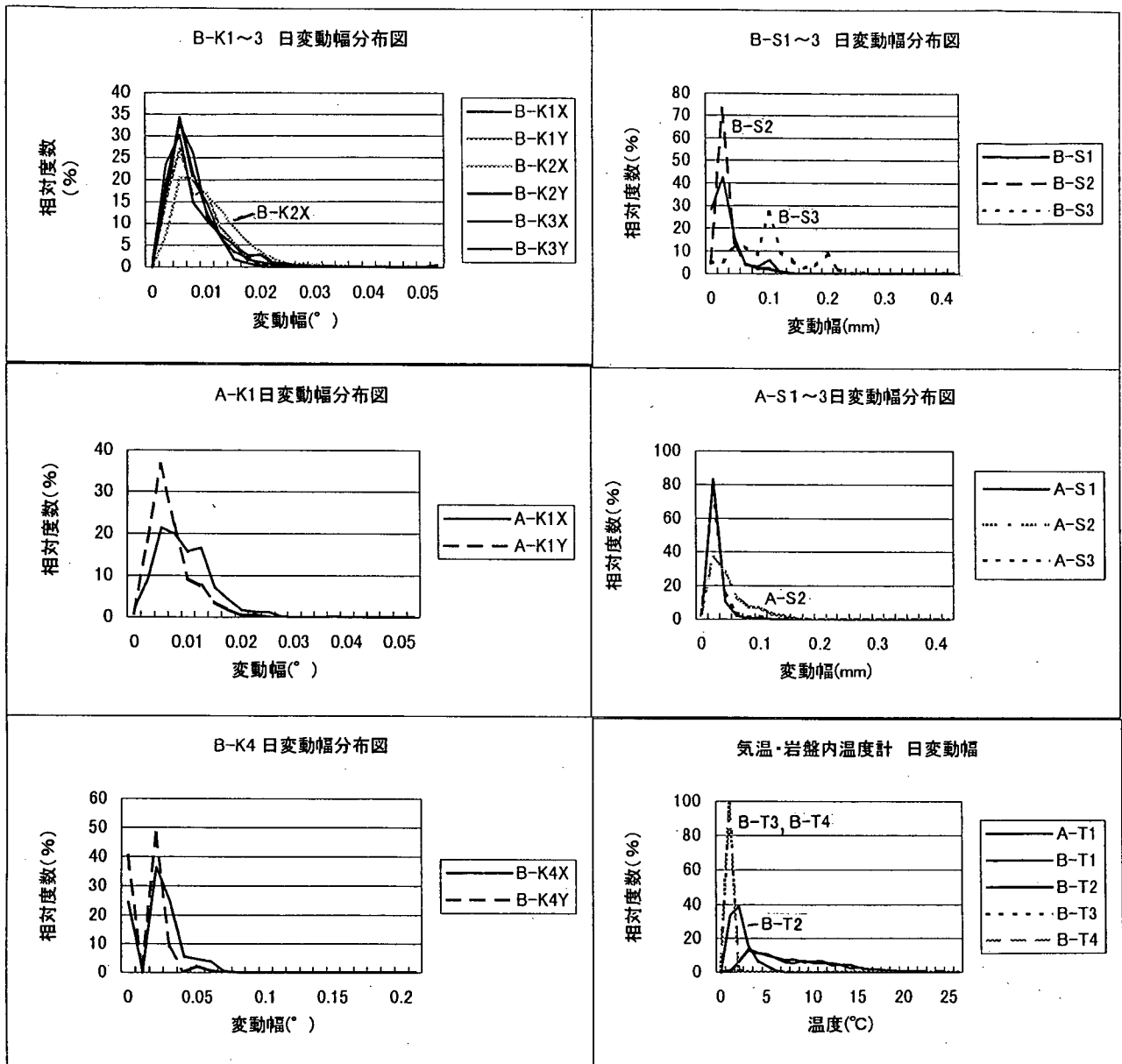


図-2.21 各計測機器の日変動量相対度数分布図

表-2.2 各計測器の最大年変動量

年		観測開始	96	97	98	
A 斜面	A-K1	X軸 (°)	95/10/23	0.0475	0.0425	0.0500
		Y軸 (°)	〃	0.0400	0.0350	0.0225
	A-S1 (mm)		〃	0.2200	0.2050	0.1800
	A-S2 (mm)		96/12/4		1.0400	1.0950
	A-S3 (mm)		96/12/4		0.9750	0.3050
	A-T1 (°C)		95/10/23	45.6200	40.9600	38.8000
B	B-T1 (°C)		95/10/23	43.3400	40.7600	40.6800
	B-T2 (°C)		97/12/25			24.8400
	B-T3 (°C)		〃			20.7800
	B-T4 (°C)		〃			18.4200
	B-S1 (mm)		96/12/4			0.6700
	B-S2 (mm)		97/12/22			1.0300
	B-S3 (mm)		96/12/4		1.0450	1.7150
	斜面	B-K1	X軸 (°)	95/10/23	0.0375	0.0750
Y軸 (°)			〃	0.1125	0.1350	0.2250
B-K2		X軸 (°)	96/12/4		0.0725	0.0525
		Y軸 (°)	〃		0.0500	0.0225
B-K3		X軸 (°)	〃		0.0600	0.0375
		Y軸 (°)	〃		0.0950	0.0600
B-K4		X軸 (°)	97/12/22			0.1360
		Y軸 (°)	〃			0.0840

欠測期間は含まない

2. 3. 2 温度変化の計測値への影響度

ここでは、B-K1の計測データを中心に、計測データの分析を試みる。B-K1の観測データでは、振幅約0.01~0.02°の1日周期の固有変動を繰り返している。したがって、岩盤斜面の有意な挙動と見なすデータはこの1日周期の変動幅を越えるものでなければ検出されないことになる。すなわち、地盤傾斜計自体の分解能は0.0025°であるが、現地計測における測定分解能は、この1日周期の変動幅に支配されていることになり、計器自体の精度から1桁の低下を示していることになる。

温度データと比較すると、計測データの変動パターンは形状が近似し、温度の影響が大きく作用していることがわかる。したがって、より精度の高い変動の判定を行うには、これらの温度の影響を補正する必要がある。これらの変動要因は、①計測器設置の設置器具の温度特性、②岩盤斜面の熱による温度膨張特性、③計測機器自体の温度特性等が複雑に関連した結果生じていると考えられる。そこで、これらの計測値に対する影響度を検討する。

①計測器の設置器具による影響の検討

まず、B-K1の例を用いて設置金具の影響を計算する。B-K1は図-2.22に示すように、N44°W走向の壁面に設置しており、壁面にほぼ直行する方向にX成分(B-K1X)、ほぼ平行な方向のY成分(B-K1Y)を測定している。

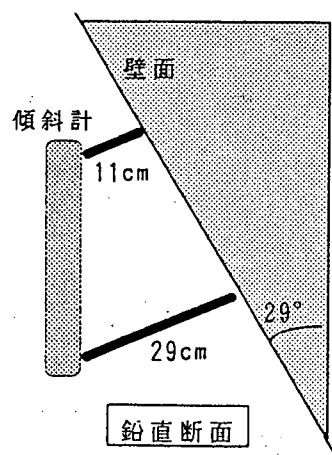


図-2.22 地盤傾斜計B-K1の設置状況

取付金具等による影響は、設置金具の大きさと、金属の線膨張率により、その温度変化による金具の変位が計算できる。

今、年平均温度変動量は約30℃で、温度変化に対して設置金具の影響は、以下のように考えられる。

鉄製設置金具 設置金具の長さの差 180mm, 線膨張率 $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 気温年較差30℃
 (傾斜計) 30℃当りの年間収縮差 0.0594(mm) ($=180 \times 11 \times 10^{-6} \times 30$)
 設置金具の間隔 $L = \text{約}350\text{mm}$
 30℃当りの年間傾動量 0.01° ($\approx \sin^{-1}((180+0.0594)/L) - \sin^{-1}(180/L)$)
 インバールワイヤー 長さ約2,000mm, 線膨張率 $0.13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 気温年較差30℃
 (伸縮計) 30℃当りの年間収縮差 0.008(mm) ($=2000 \times 0.13 \times 10^{-6} \times 30$)

B-K1の設置事例の場合、取付金具の影響は、30℃の温度変化に対して、傾斜計で 0.01° 、伸縮計の場合、インバール線の長さを2mとしても、30℃の温度変化に対して0.008mm程度である。

なお、計測岩盤斜面での観測実績では、温度の年較差が約30℃である。以下の表-2.3に、温度による設置金具等の伸縮の影響と、観測データの年較差を示す。

表-2.3 設置金具の温度変化による観測値への影響

計器の種類	30℃の温度変化に対する金具等の伸縮による変位量 (A)	観測データの年較差 (B)	金具等の観測値への影響 (A/B)
傾斜計	0.01° 以下	$0.05 \sim 0.2^{\circ}$	1/5以下
伸縮計	0.008mm以下	0.2~1.6mm	1/25以下

このように、計測岩盤斜面での設置事例では計算上、取付金具等の伸縮による影響は、無視できる

ほどではないが、変動量全体の中では、比較的小さいといえる。

②岩盤の熱膨張による影響

次に岩盤の熱的な原因による挙動の可能性の有無を考察することにより、その影響を検討する。岩盤内温度計の変化を見ると深さ 8 cm では温度計 B-T 2 では日周期の変動が大きく見られ変動幅も大きくなっている。深さが 48 cm, 78 cm と深くなるにつれ日周期の温度変化は認められなくなり年周期の変動幅も小さくなっている。B-T 2 を基準とした岩盤内温度計相互の温度差は表-2.4 に示すようになる。

表-2.4 設置金具の温度変化

	[B-T2] - [B-T4] ℃	[B-T2] - [B-T3] ℃
最大値	5.70	4.80
最小値	-5.42	-3.94
温度差	11.78	8.74

今、図-2.23 に示すような板状の岩盤のブロックを考え、岩盤の温度膨張による傾動量の変化を下式より推定する。

岩盤斜面の線膨張率を α とする。

$$\alpha T = \Delta L / L \quad (2.1)$$

α : 岩盤ブロックの熱による単位温度当りの線膨張係数 (概ね、 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ オーダー)

T : 温度 (℃)

ΔL : 岩盤ブロック表面の熱による膨張量 (m)

L : 岩盤ブロックの長さ (m)

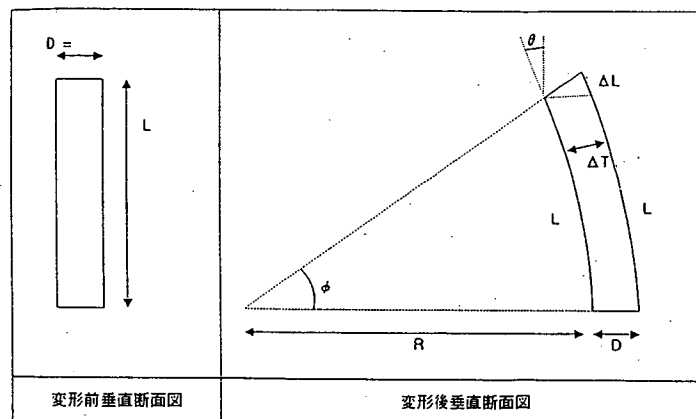


図-2.23 板状の岩盤ブロックの熱膨張による変動モデル

熱による岩盤ブロックの表面の膨張により、高さ L の岩盤ブロックは図-2.23 のように ϕ だけ

傾動する事になる。その状態での岩盤ブロックの変形の中心点までの長さをRとすると以下に示すようになる。

$$R \times \phi = L \quad (2.2)$$

$$(R + D) \times \phi = L + \Delta L \quad (2.3)$$

R : 変形の中心点までの長さ (m)

ϕ : 岩盤ブロック上面の傾斜角(=岩盤斜面上部での傾動量) (rad)

D : 岩盤ブロックの厚さ (m)

上式より、Rを消去し ϕ についてとくと、以下のようになる。

$$(L / \phi + D) \phi = L + \alpha T L \quad (2.4)$$

$$\phi = \alpha T L / D \quad (2.5)$$

今、岩盤厚さを温度計の設置位置の間隔にあわせD=40cm, 70cmで温度差9℃, 12℃、膨張係数は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 、計器の設置位置から岩盤高さを概ね3mとして計算すると

岩盤厚さ40cmの場合、

$$\phi = 10^{-5} \sim 10^{-6} \times 9 \times 3 / 0.4 \text{ (rad)} = 0.004 \sim 0.04 \text{ (}^\circ\text{)}$$

岩盤厚さ70cmの場合、

$$\phi = 10^{-5} \sim 10^{-6} \times 12 \times 3 / 0.7 \text{ (rad)} = 0.003 \sim 0.03 \text{ (}^\circ\text{)}$$

未確定な数値が多いが、概ね熱膨張による岩盤斜面の変動は表-2.5のように推定される。

表-2.5 岩盤斜面の温度膨張による観測値への影響

計器の種類	一年間の岩盤内温度変化に対する熱膨張による変動 (A)	観測データの年較差 (B)	岩盤の熱膨張による影響 (A/B)
傾斜計	0.003~0.04°	0.05~0.2°	1/65~4/5程度

このように推定値は多いものの計算上は、岩盤斜面の温度膨張の影響はほとんどないと思われる値～計測結果の中で比較的に大きな値と幅広い範囲となることがわかる。

③計測機器自体の温度特性

谷花地区で使用した計器の、公称仕様を以下に示す。なお、公称仕様は、最低限保証するスペックであり、実際の精度や温度係数は、表-2.6よりも良好な場合も多いが、個体差のばらつきがかなりある。

表-2.6 谷花地区仕様計器 公称仕様一覧表

計器名	測定範囲	電 気 的 分解能 ^{*1}	精 度	温度係数
温 度 計	-30~70℃	0.02℃	±0.3℃	—
傾 斜 計 (BK-4以外)	±5°	0.0025° (9'')	±0.1° (フルスケール)	±7''/℃ ^{*2}
傾 斜 計 (BK-4)	±30°	(45'')	±0.06° (フルスケール)	±30''/℃
伸 縮 計	20mm/回転	0.005mm	±0.16mm (フルスケール)	±0.02mm/℃

*1：温度計及び傾斜計(除B-K4)は、歪み-周波数変換アダプターを介し、データロガーに接続した状態での電氣的分解能

*2：傾斜計(除B-K4)の温度係数は、公称精度がないため、メーカーが別途実施した抜き取り試験結果(谷花地区設置とは異なる個体)の値を掲載した。

*3：傾斜計(B-K4)の電氣的分解能は、0.1''で表示されるが、機器自体の分解能は0.0125°であり、ここではこれを記載した。

計測機器は、一般に測定範囲が大きくなると、それに比例して分解能や精度、温度係数などが大きくなる(悪化する)傾向にある。つまり、測定範囲と精密さは相反する関係である。

上の表では、B-K4以外の傾斜計の温度係数が約±7''/℃となっているが、正確には、メーカーの抽出検査で、製品毎にばらつきがあり、-7.2~+1.1''/℃であった。

谷花地区における日平均的な温度変化は、約7℃であり、これより推測される計器自体の日温度特性による変動幅は、傾斜計(BK-4を除く)は0.014°、傾斜計(BK-4)は0.058°、伸縮計の平均変動幅0.14mm以内と推定される。

それに対して、谷花地区の計測機器の平均的な変動幅は傾斜計(BK-4を除く)は0.008°、傾斜計(BK-4)は0.014°、伸縮計は0.033mmとなっており、計器自体の温度特性の範囲内に収まっていることがわかる。

次に計測値には、計測機器の温度特性と岩盤の熱膨張の両者の影響が混在していることを検証するために、平成10年4月1日~8月31日のデータを用いて、0時における温度(B-T1)と傾動値(B-K1)、日較差と傾動値の変動幅(B-T1の日最高温度-日最低温度、B-K1の日最大値-日最小値)の関係を求めた。日単位程度の短い時間での温度変化に対しては、岩盤の熱膨張による体積変化は追随しないと仮定すると、日単位の傾動値の変動幅は、温度の日較差に応じた計測器の温度特性によって生じたものと考えられる。計測値が、全て計測器の温度特性に支配されているものとすれば、岩盤の熱膨張による体積変化の影響が十分現れると考えられる5ヶ月という期間で計測された温度と傾動値の相関の傾きの大きさも、日較差と日単位の変動幅との相関の傾きの大きさと同程度となることになる。

結果を図-2.24に示す。図からわかるように、両者は相互に異なった勾配を示しており、計測値は、計測機器の温度特性だけでなく、岩盤の熱膨張による影響等も合わせて受けていることが推定される。

定される。

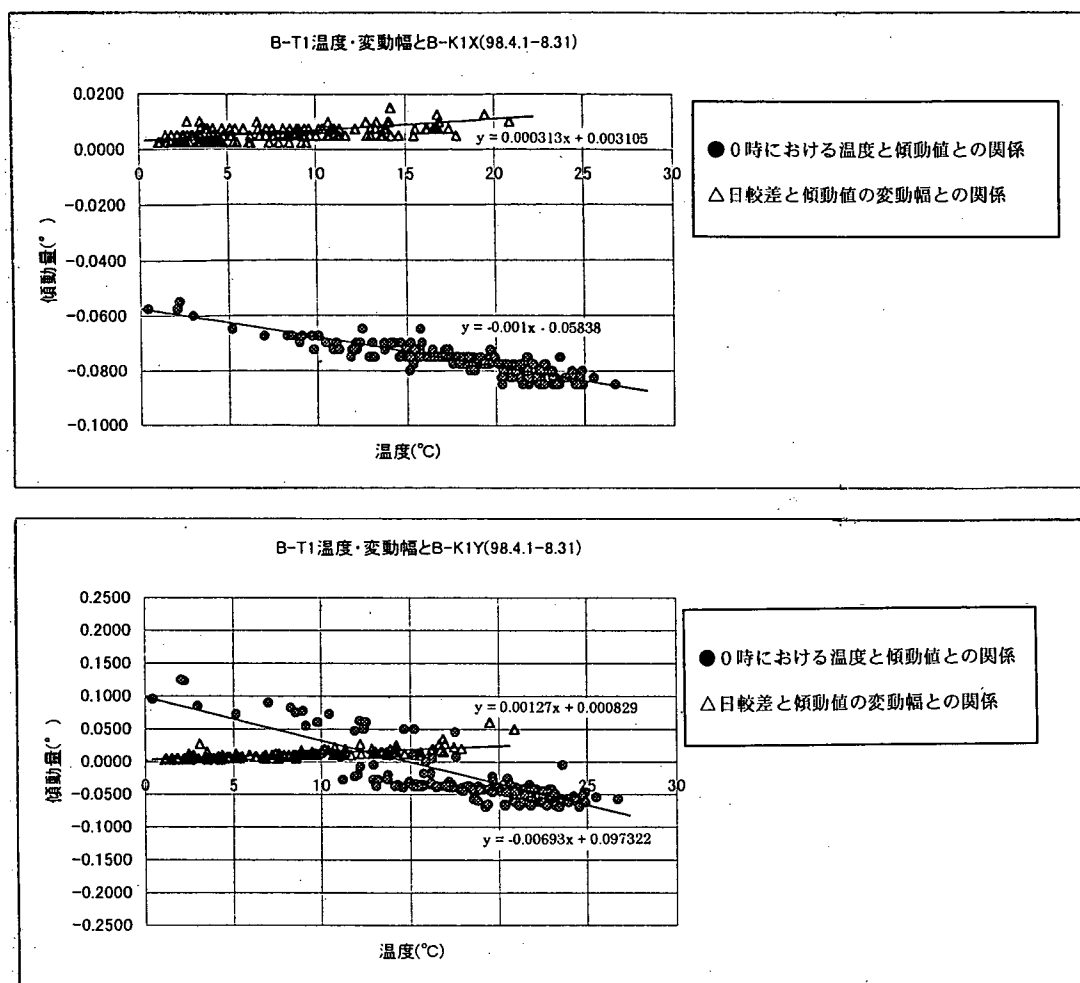


図-2.24 0時における温度(B-T1)と傾動値(B-K1), 日較差と傾動値の変動幅の相関図

以上をまとめると、次のことが言える。

- ①岩盤斜面の計測値の内、設置金具による観測値への影響は比較的小さい。
- ②計測値には岩盤斜面の温度膨張による周期的な運動や計器の温度特性の、どちらも影響を与えている可能性があり、これらの分離は困難である。
- ③したがって、計測結果に対する温度の影響を補正するにあたっては、これらの影響の分離を行わず、補正法や評価手法を考えていく必要があると言える。

2.3.3 温度補正の検討

B-K1データ計測開始当初の1995年10月23日～11月20日間のデータ(28日間:1,309データ)を用いたB-K1とB-T1の相関図を図-2.25に示す。B-K1X, B-K1Yとも計器温度と比較的良好な相関を示す。この相関を計測自体の温度特性として計測データの補正を行った。温度補正前後の計測データの経時グラフを図-2.26に示す。補正後の経時グラフによると、計測の温度特性によると考えられる1日周期変動幅が 0.02° から 0.005° 程度にまで低下した。しかし、補正後データには振幅の小さな不規則なノイズが認められる。これは、傾斜計と温度計の最小メモリーに対

する計測データの1日当り変動幅の違いを反映しているものと考えられ、その比は温度計で1:50~100に対して地盤傾斜計では1:3~7である。図-2.27に示すように1995年10月24~26日の3日間のB-T1とB-K1Xの経時グラフを拡大すると、B-T1のスムーズな曲線に比較して、B-K1Xは階段状を呈する。この影響により、温度補正後のデータにノイズが残っているものと考えられる。温度補正後の変動幅は地盤傾斜計自体の最小メモリ(=0.0025°)程度である。

なお、1997年3月20日~1997年5月31日の岩盤内温度計B-T2とB-T4、B-T2とB-T3の温度差とB-K1Xの相関も求めたが、相関はB-K1とB-T1の場合より悪くなり、温度補正はB-K1とB-T1の関係より行うこととした。

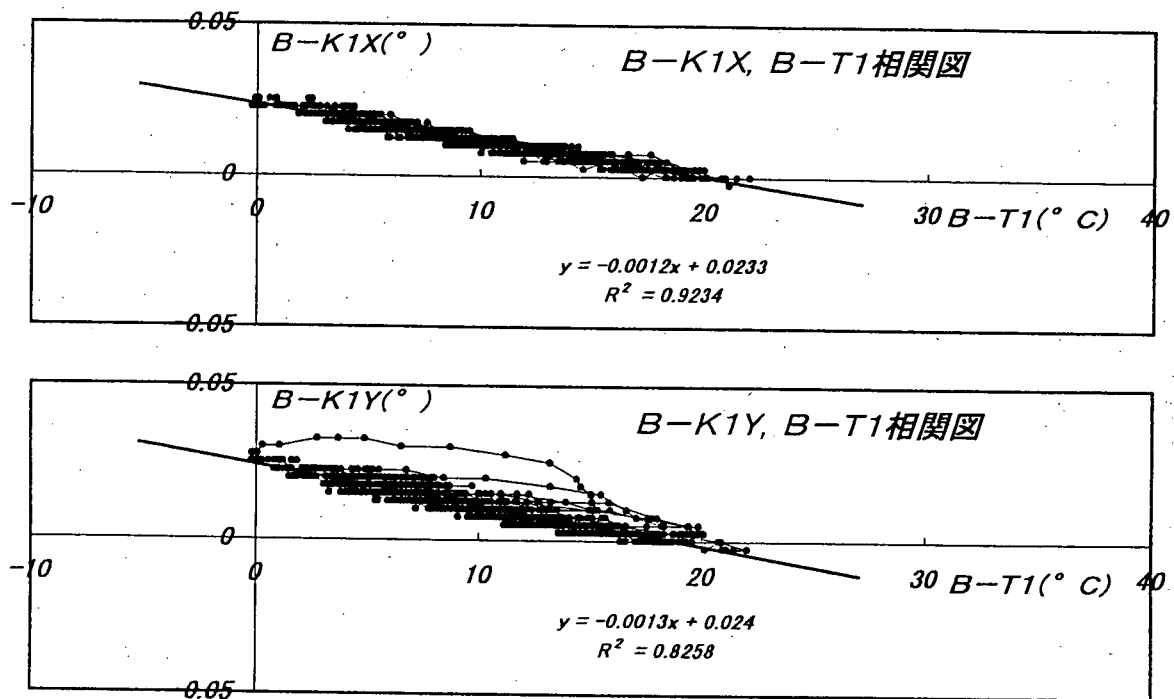


図-2.25 地盤傾斜計B-K1データと温度計B-T1との相関図

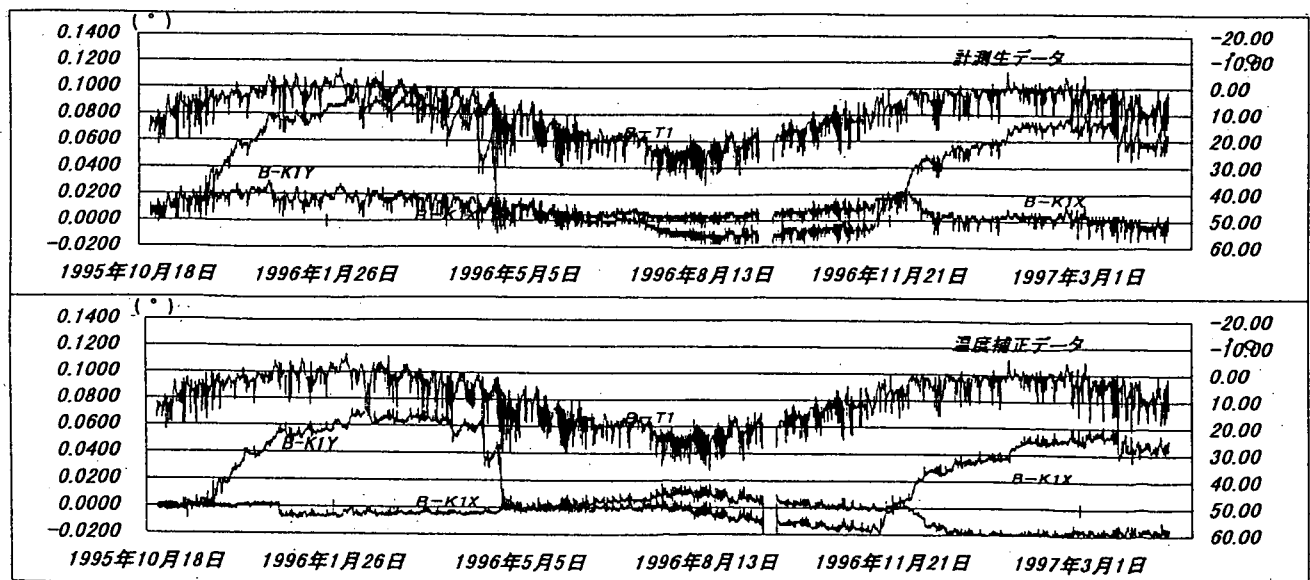


図-2.26 地盤傾斜計B-K1の計測生データと温度補正後データの経時グラフ

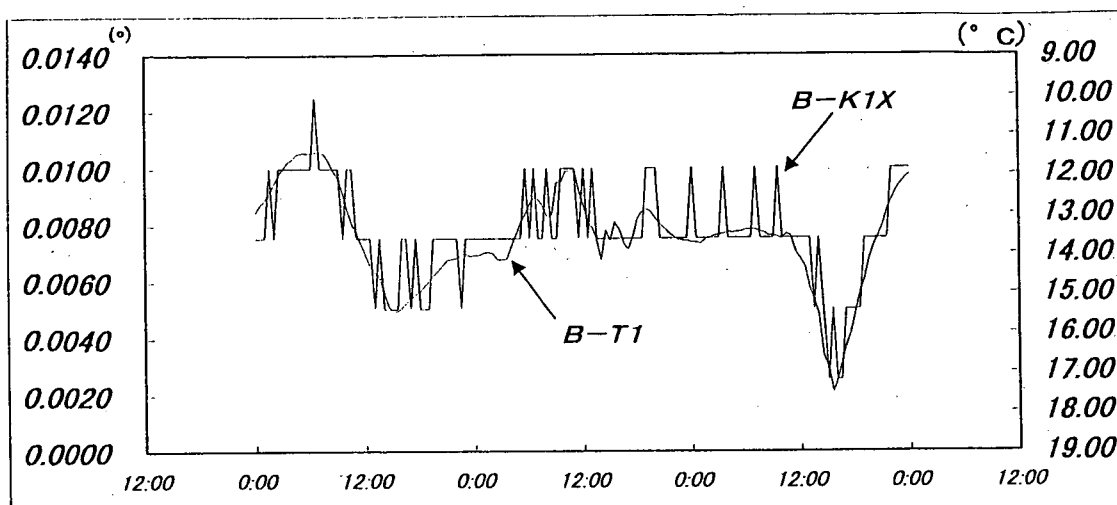


図-2.27 地盤傾斜計B-K1Xと温度計B-T1データの拡大図 (1995年10月24~26日のデータ)

2.3.4 計測データと計器温度の相関図による岩盤挙動の検討

観測結果によるとB-K1Yでは、冬季にプラス側に、春期にマイナス側に傾動し、元の値に戻る明瞭な変動が認められる。このデータと計器温度との相関図を作成すると、観測データは1日周期のほぼ同勾配のループを描きながらY軸方向にシフトすることが認められる (図-2.28)。1日周期のほぼ同勾配のループは、計測における温度依存特性を強く反映しているものと考えられ、岩盤斜面の有意な変動は、このループのY軸方向のズレとして表現されることが考えられる。このように相関図を作成し、平常時の周期的なループのシフトを判別することにより岩盤斜面の累積的挙動の有無を判定できる可能性があり、その場合には計測生データと、温度補正データの経時グラフと併せて計測データの分析に用いることが有効であると思われる。

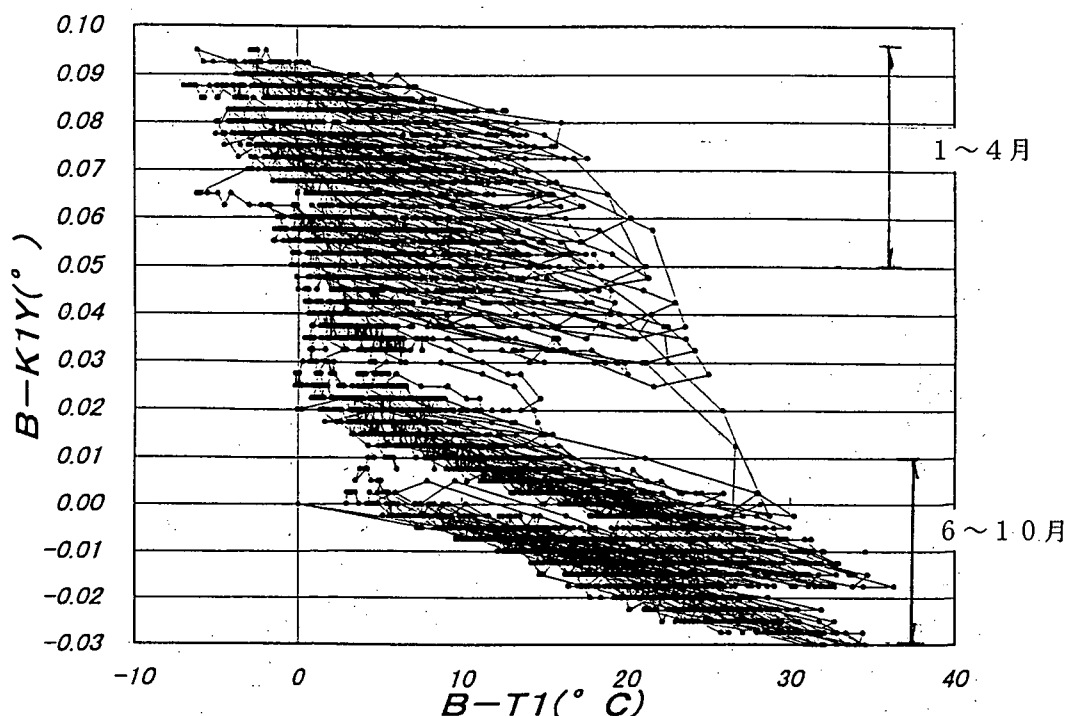


図-2.28 地盤傾斜計B-K1Yデータと温度計B-T1データとの相関図

2. 3. 5 F F T^①による計測データの検討

計測値に含まれている周期的成分の大小を相対的に比較する手法として、周波数分析がある。これから、日変動や年変動あるいは月変動のどの成分が卓越しているかを検討することが出来る。

本計測結果からは、温度に起因する変動として計測データに年周期と日周期が卓越すると予想している。

今回の周波数分析はF F T（高速フーリエ変換）と呼ばれる手法を実施した。時系列データとなっている計測値にF F Tを施すことにより、そのデータ群に含まれている周波数成分をスペクトル図により表示するものである。この分析により、日周期変動、年周期変動、非周期的変動（累積変動等）成分毎の変動の大きさを認識できることが期待される。

F F Tを用いることにあたっては以下の点に留意する必要がある。

- ①データは等間隔の時刻で計測され、かつ連続している（欠測がない）ことが必要である。
- ②今回用いた高速フーリエ変換の場合、データの数 2 の偶数乗個必要である。
- ③図-2.29のようにデータの値に飛びがある場合や、初期値と最終値が一致しない場合には解析の誤差が大きくなる。

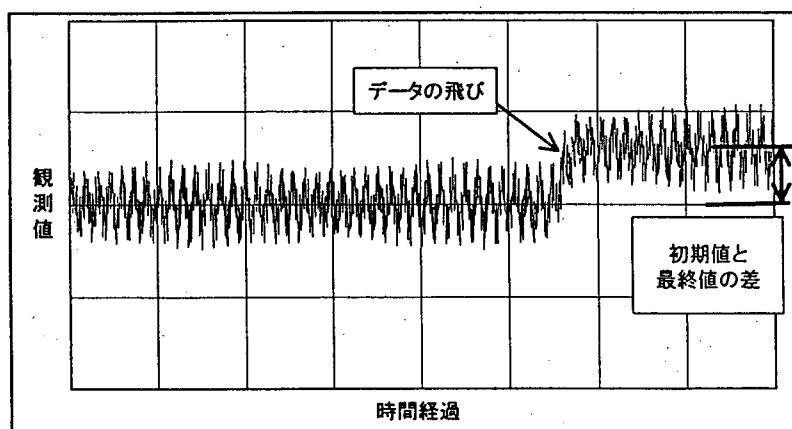


図-2.29 F F Tによる誤差の要因

本計測データを分析するに先立って、周波数分析によってどのような変位データがどのように表現されるかについて、模擬データを用いて検証した。なお、作成した模擬データは、以下の点を考慮して作成した。

- ①異なる3つの周波数を含めた。ここでは1日周期、20日周期、200日周期を重ね合わせた。これは日周期、月周期、年周期をイメージさせたものである。なお、データ作成の都合上、月周期、年周期は20の倍数とした。

②実際の岩盤変動の最長期周期は年周期と考えているが、実際の計測では、メンテナンスや欠測等により、1年以上の連続データを得ることが困難な場合が多い。よって、データに含まれる最長周期（模擬データでは200日）よりも短い期間のデータ（模擬データでは128日間）で解析し、分析できない最長周期の影響を確認することにする。

③実際の計測では、岩盤の異常変位やノイズ等によるデータの飛びが発生することが多い。この影響を検証するためにデータの飛びを人為的に作成して周波数分析を試みる。

④岩盤の変位パターンの1つとして、累積的に変位していくパターンが考えられる。このときのスペクトル上への現われ方を検証する目的で、累積性のある模擬データの分析を試みる。

⑤模擬データの諸元は以下のとおり。模擬データの波形を図-2.30に示す。

- ・ 周波数：1日（振幅1），20日（振幅0.5），200日（振幅1）の重合
- ・ 計測間隔：3時間（1/8日）
- ・ 観測期間：128日（データの個数：1,024個＝210個）
- ・ 累積性：128日間に振幅4相当まで単調増加
- ・ データの飛び：振幅3相当のデータの飛び

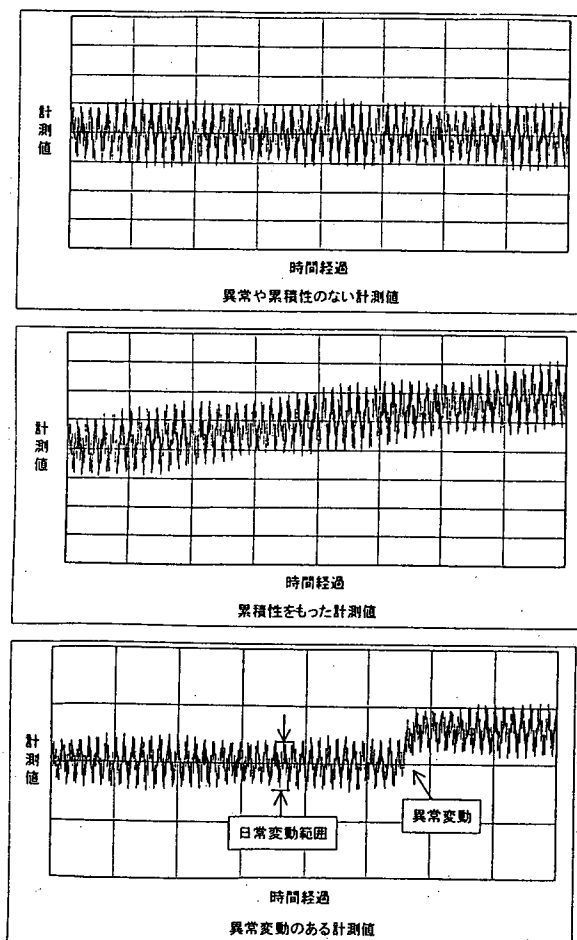


図-2.30 FFT分析を行った模擬データ

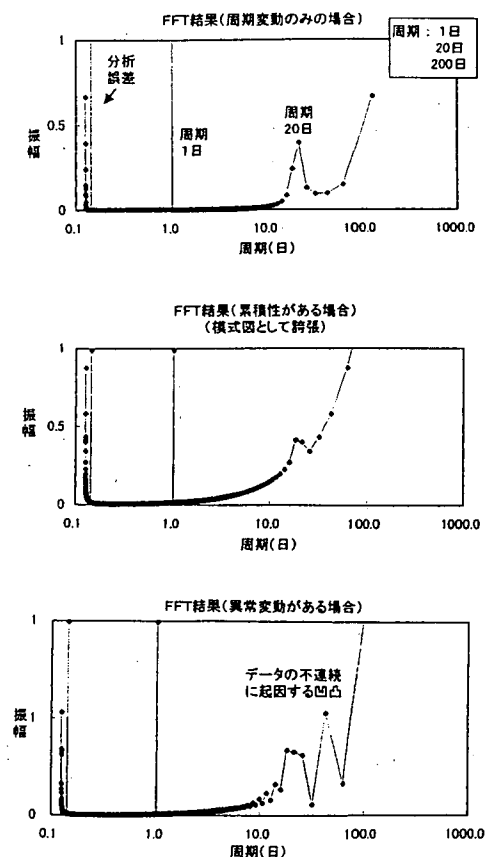


図-2.31 模擬データのFFT分析結果

模擬データの周波数分析結果を図－2.31に示す。結果より、FFTの表現特性が以下のように分かる。

- ①1日、20日、200日の各周期が表現されるが、周期が長くなるほど分解能が低下してピークが幅を持ち、その分ピークの高さも低くなる。
- ②観測期間より長い周期（200日）の成分はピークが表現されない。ただし、幅を持つピークとなり、その裾の一部が現れている。
- ③大きな累積性のデータは直線成分が乗っていることになり、非常に長周期の波が存在するのと同じ結果となる。よって、周期－振幅図では右肩上がりとなる。
- ④データの飛びがある場合には、長周期方向に解が振動する誤差が生じた。
- ⑤検出限界最小周期（観測間隔の倍）よりも短い周期には、その他の分析誤差（例えば初期値と最終地の不一致など）が現れる。

以上の模擬データ周波数分析の特徴をふまえた上で、本計測データの分析を行った。周波数分析では連続したデータが必要であるが、本計測では、計測器の増設・メンテナンスなどの欠測により1年以上の連続したデータは得られていない。このため、年周期変動を把握することはできなかった。周波数分析に用いたデータは表－2.7のとおりである。

表－2.7 FFT解析仕様データ一覧表

期間	データ数	適用センサー
1995/10/23 18:00～1996/04/11 08:00	2,048	A-T1, A-K1, B-T1, B-K1
1996/12/04 16:00～1997/11/10 22:00	4,096	A-S1, A-S2, A-S3, B-S2
1997/12/17 16:00～1997/06/06 06:00	2,048	B-K2, B-K3

これらのデータに対してFFT分析を行った。各々の結果についてスペクトル図に整理した（図－2.32～2.45）。以下にその結果について述べる。

①温度計

1日周期の成分、1年周期成分が確認できる。ただし、1年周期成分が卓越している。これは、気温の日較差が数～25℃程度であるのに対して、年較差が30℃以上あることに対応しているものと判断される。A-T1では8日周期成分が識別される。この原因については不明であるが、例えば雲天・降雨等の気象変化の周期性を反映している可能性がある。

②地盤傾斜計

いずれの地盤傾斜計も1日周期と1年周期と思われる成分が存在している。潮汐によると思われる周波数成分はいずれの傾斜計においても検出されていない。計器ごとの分析結果の特徴は以下のとおりである。

A-K1：X方向は、8日周期の成分が識別され、計器温度と対応している。このことから、計

器温度との相関が強いことが伺われる。Y方向は1日周期や8日周期成分に比較して長周期成分が卓越している。経時グラフでは1996年初頭にデータの不連続が認められる。この影響により、長周期のジグザグ成分が生じている可能性が高い。

B-K1：X方向では1日、1年、8日周期の成分が卓越するが、15日～100日程度の長周期のノイズ的な成分が認められる。Y方向では毎年初冬と春期に比較的大きな変動があり、再現性のある疑似年周期的な変動を示している。この影響で長周期成分が非常に卓越した結果を得ている。なお、Y方向の1日周期成分の大きさは他の地盤傾斜計のそれと同程度である。

B-K2：X方向は1日と1年周期と思われる成分が卓越し、他の成分は小さい。Y方向はデータの飛びによるものと思われる長周期でのスペクトルのジグザグが認められ、何らかのデータの不連続があった可能性が示唆される。

B-K3：X方向、Y方向とも1日、1年周期と思われる成分が卓越するほか、長周期にノイズ状のスペクトルのジグザグが認められ、小規模のデータの飛びがあったことを示唆する。

③地盤伸縮計

すべての地盤伸縮計が同じ傾向を示す。スペクトル図では長周期に向かってスペクトルがジグザグに増加していく傾向が認められる。この傾向はB-S2、A-S2、A-S3で強い。これは、地盤伸縮計の観測結果に階段状の飛びが非常に多いことによる影響と判断される。

以上述べてきた周波数分析の特性把握と本計測結果の解析事例から周波数分析に関して以下のような知見を得た。

- ①周期性についての定性的な把握は基本的に経時グラフで可能である。
- ②周期性について定量的に各成分の大きさを比較したい場合にはFFTを用いた周波数分析が有効である。
- ③計測データに飛びが存在するとノイズ成分が現れやすい。
- ④地盤傾斜計の計測データの分析にFFTは有効であるが、地盤伸縮計の計測データには階段状のデータの飛びが存在するために、長周期側のスペクトルがジグザグになったノイズ成分が卓越し、日周期成分等の分析には不向きである。

A-T1 (2048)

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

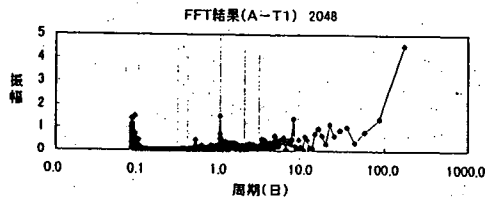
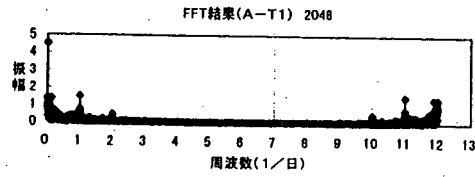


図-2.32 FFT分析結果 (A-T1)

A-K1X

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

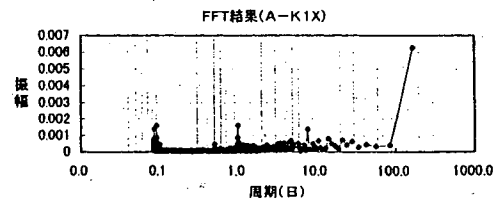
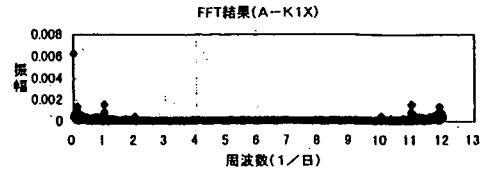


図-2.33 FFT分析結果 (A-K1X)

A-K1Y

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

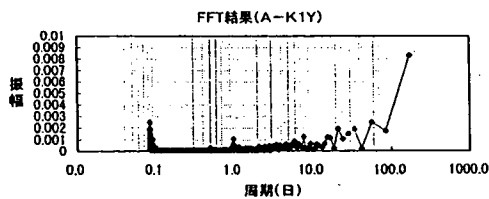
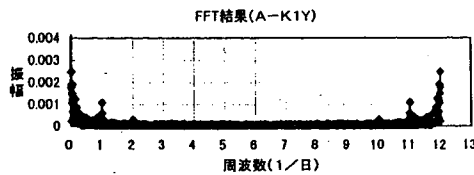


図-2.34 FFT分析結果 (A-K1Y)

A-S1

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

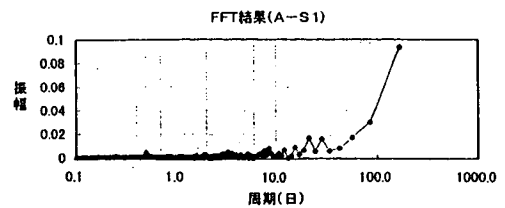
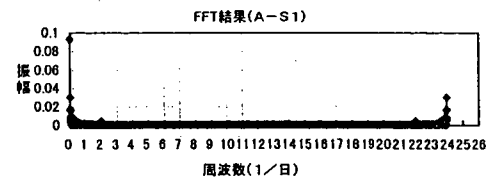


図-2.35 FFT分析結果 (A-S1)

A-S2

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

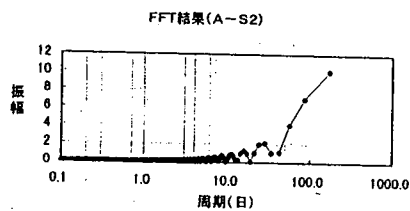
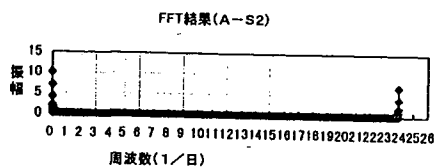


図-2.36 FFT分析結果(A-S2)

A-S3

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

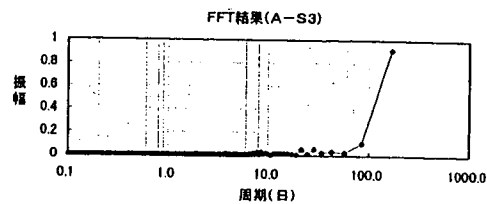
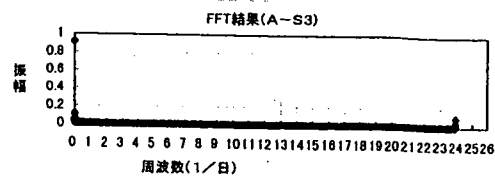


図-2.37 FFT分析結果(A-S3)

B-T1

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

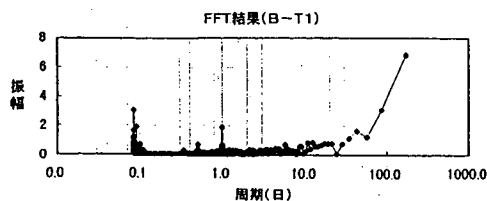
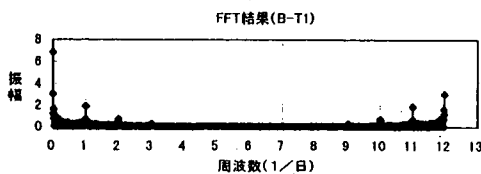


図-2.38 FFT分析結果(B-T1)

B-K1X

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

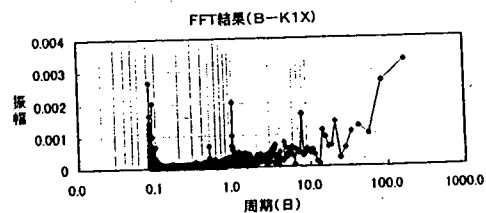
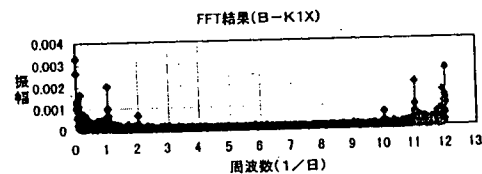


図-2.39 FFT分析結果(B-K1X)

B-K1Y

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

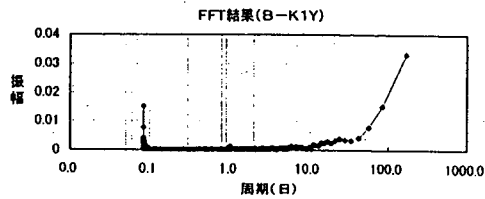
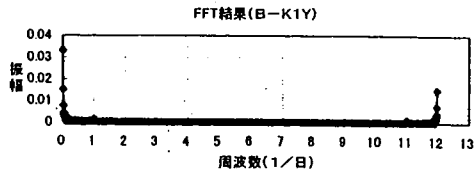


図-2.40 FFT分析結果(B-K1Y)

B-K2X

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

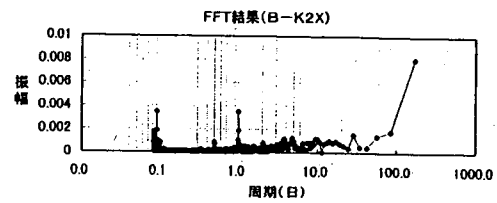
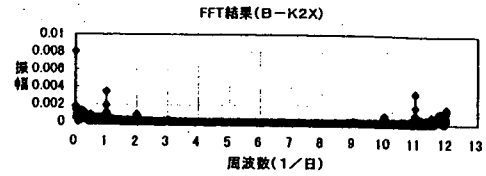


図-2.41 FFT分析結果(B-K2X)

B-K2Y

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

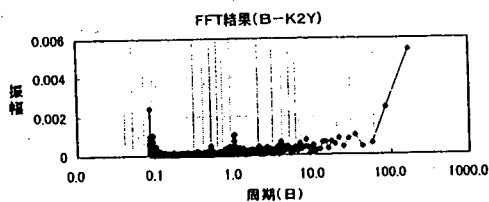
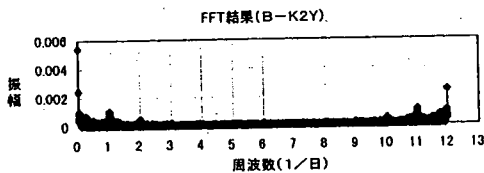


図-2.42 FFT分析結果(B-K2Y)

B-K3X

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($=1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $=1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

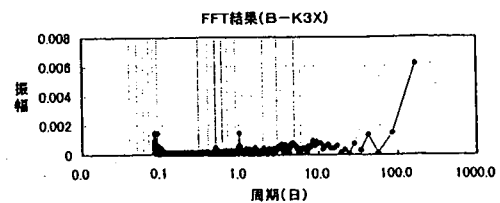
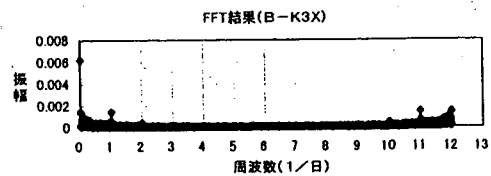


図-2.43 FFT分析結果(B-K3X)

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($= 1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $= 1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

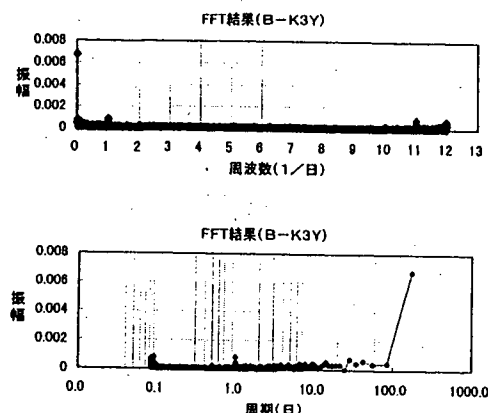


図-2.44 FFT分析結果 (B-K3Y)

サンプリング間隔: $\Delta T = 0.08333$ (day) (=2hour)
 サンプリング個数: $N = 2048$ (個)
 測定時間長: $T = 170.6667$ (day)
 基本振動数: $f_1 = 0.00586$ (1/day) ($= 1/T$)
 Nyquist振動数: $f_{N/2} = 6.00000$ (1/day)
 Nyquist周期: $T_{N/2} = 0.16667$ (day) (=4hour, $= 1/f_{N/2}$)
 (検出限界最小周期)

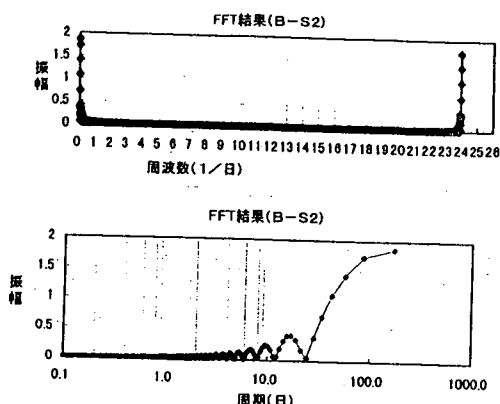


図-2.45 FFT分析結果 (B-S2)

2. 4 計器計測結果のまとめと分析

2. 4. 1 計器計測結果のまとめ

当岩盤斜面における計測結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 計測データは、1日周期の変動を繰り返している。岩盤斜面の累積挙動を捉える上での計器の計測精度はこの変動幅（たとえば傾斜計で $0.01 \sim 0.02^\circ$ ）に大きく影響される。
- (2) 計測データの1日周期変動は温度の影響を強く反映している。その影響の主要因として、岩盤の熱膨張と計測機器の温度特性があげられるが、これらの分離は困難である。
- (3) 岩盤内温度計の温度差と計測データ、計器温度データと計測データの相関性は後者の方が高い。
- (4) 計測データと計器温度データの単純相関より温度補正を行うことで、一日周期の変動幅を抑制することができる。
- (5) FFTによる解析は、各周期の振幅の大きさを定量的に比較したいときに有効である。
- (6) 本計測では、岩盤斜面挙動を明瞭に示すデータが得られなかった。

2. 4. 2 計器計測値に関する分析

谷花地区で、明らかな岩盤挙動と思われる観測結果は、B-K1傾斜計Y軸の異常変動であり、その大きさはおよそ 0.1° である。一方、谷花地区における1日あたりの傾斜計の日常変動の大きさは、平均 0.008° であり、異常変動と日常変動とは十分に判別できている。すなわち、観測岩盤においては、設置した傾斜計は異常変動を把握するためには十分な精密さをもっており、かつ測定範囲（ $\pm 5^\circ$ ）も充分であると考えられる。

しかし、B-K1では、大きさ 0.01° 程度の大きさで累積性の疑いが現れている。この変位量は、分解

能 0.0025° の4メモリ分にしかないことを考慮すると、もう少し高分解能の計器のほうが望ましいといえる。

また、日常変動に注目した場合、1日あたりの変動の大きさは平均 0.008° であるが、傾斜計の分解能は 0.0025° であり、平均3メモリ程度しか記録されない。よって、この日常変動に着目する場合にも、この傾斜計ではやや精密さにかけてと思われる。

ただし、日常変動には計器の温度特性も大きな影響を与えており、より高分解能の計器を用いた場合、分解能の小ささに比例して日常変動も小さくなり、結局数メモリ程度の変動幅となることも考えられる。また、分解能の増加に伴い一般に測定範囲も小さくなることにも注意が必要である。

2. 4. 3 岩盤斜面の挙動分析手法の検討

岩盤斜面の動態計測結果について、谷花地区での計測結果に基づきその分析手法を検討する。計測データには、有意な成分である岩盤挙動の他に、ノイズやシステムの温度特性などの余分な成分が含まれる。これらが含まれたデータをどのように分析すべきか、検討を行った。まずは計測値に含まれる成分について考察を加え、そのうえで、データ分析のフローを検討する。

1) 計測値に含まれる成分

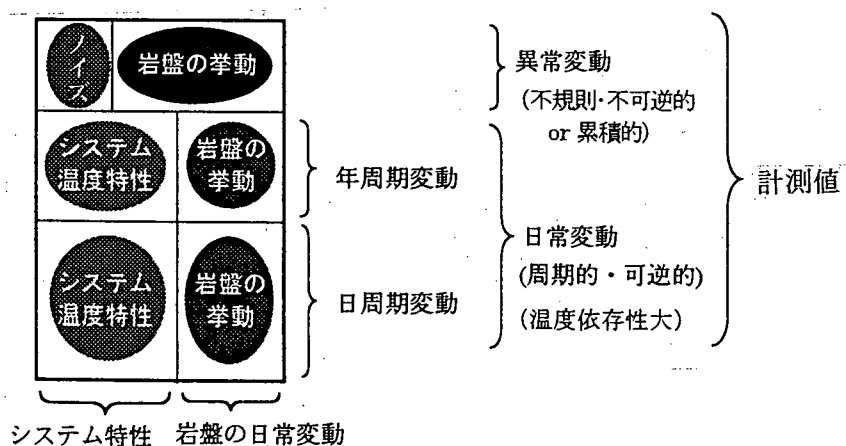


図-2.46 計測値に含まれる主な成分

計測値には、図-2.46に示すような種々の成分が含まれている。谷花地区の計測結果では、温度に依存する周期的な動きを示す計器が多く、温度の影響が強くでている。また、一部計器では、不規則な異常変動や累積傾向も認められている。

2) 計測データ分析のフロー

計測データには、上記のように各種の成分が含まれているが、分析にあたっては、岩盤の挙動を適切に評価することが求められる。

通常の経時変化図上で、異常変動が明らかに認められる場合は、岩盤が異常変動しており、その大きさが日常変動と比して充分大きいということになり、岩盤が不安定化していることになる。一方、

経時変化図で異常変動が認められない場合には、岩盤の異常変動が存在しないか、存在しても、その大きさが日常変動のレベルに比べて小さいといえる。一般に、このような場合には、岩盤の安定度は高いものと考えられる。ただし、計測値に対する温度変化の影響は大きく、日常変動の幅が大きい場合には、岩盤の不安定な状況を表す累積傾向などが判別できない場合もあるので、このような場合には、温度補正等の処理により、温度依存部分である日常変動を除去する必要がある。この場合、システムの温度特性の除去と同時に、岩盤の日常変動まで除去してしまうことになるため、注意が必要である。

谷花地区B斜面では、傾斜計データで0.1度程度の大きさの異常変動がある一方で、日常変動の大きさは異常変動の1/10程度であり、両者の判別は明瞭であった。このことから現在のところは、観測事例が少ないので推測の域を出ないが、一般に、崩壊に結びつくような異常変動がある場合、その結果は日常変動と比較して大きく、日常変動とは判別の可能性が十分あると考えられる。これらのことを踏まえ、データ分析の流れを図-2.47のようにまとめた。

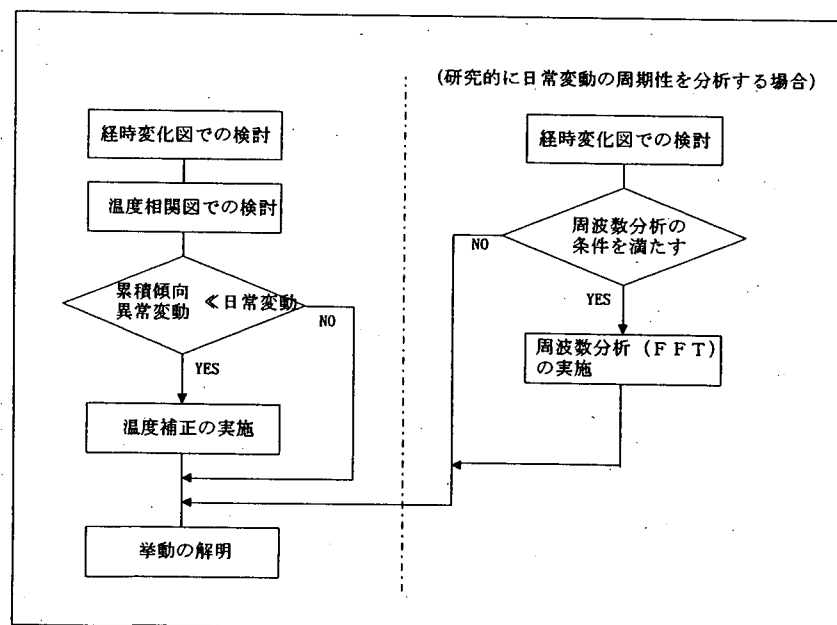


図-2.47 観測結果の分析フロー

すなわち、分析は、基本的には、生データで行う。このとき、特徴を捉えやすい見方として、経時変化図と温度相関図を用いて検討する。その結果、日常変動に比べて小さな累積傾向や異常変動の存在が疑われ、日常変動が障害となって、その微小な変動が不明確な場合には、温度補正を実施し、日常変動を極力除去する。これらの結果より、観測結果における累積性、異常変動などに注目して、岩盤の挙動を評価する。

なお、研究的に周波数分析を行い、日常変動の卓越周波数を評価することもできるが、これは周期的な挙動である日常変動の推定にのみ適用可能であり、異常変動や累積性については抽出不可能であ

ることに留意する。

3) 経時変化図・温度相関図の作成

観測結果を分析するには、もっとも基本的な図が経時変化図と温度相関図である。

経時変化図は、図-2.48および2.49の例に示すように、日周期や年周期の日常変動パターン、異常変動や累積性などの特徴を捉えやすい。

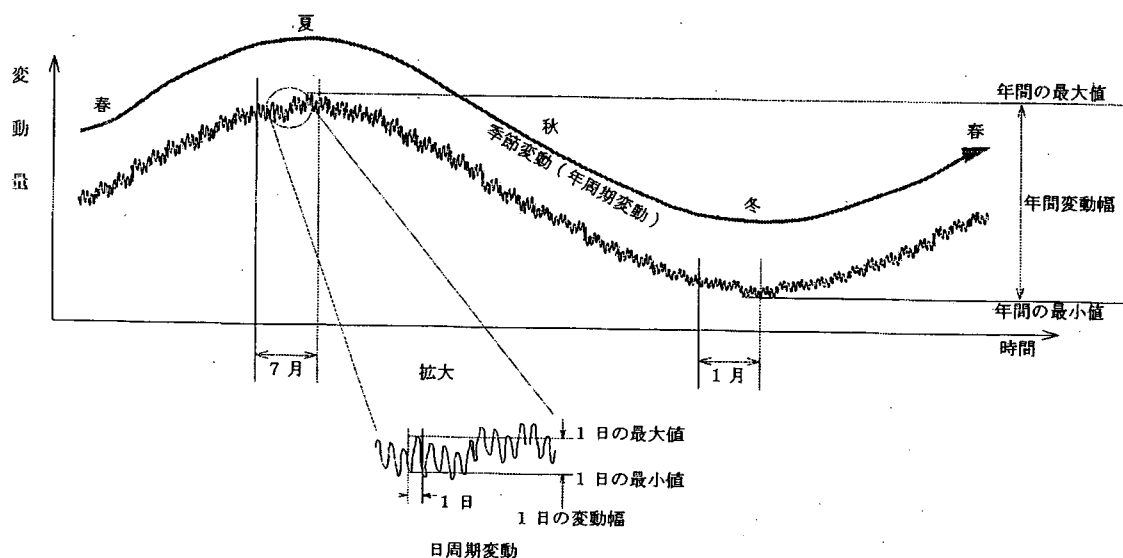


図-2.48 岩盤の日周期変動・年周期変動の模式図

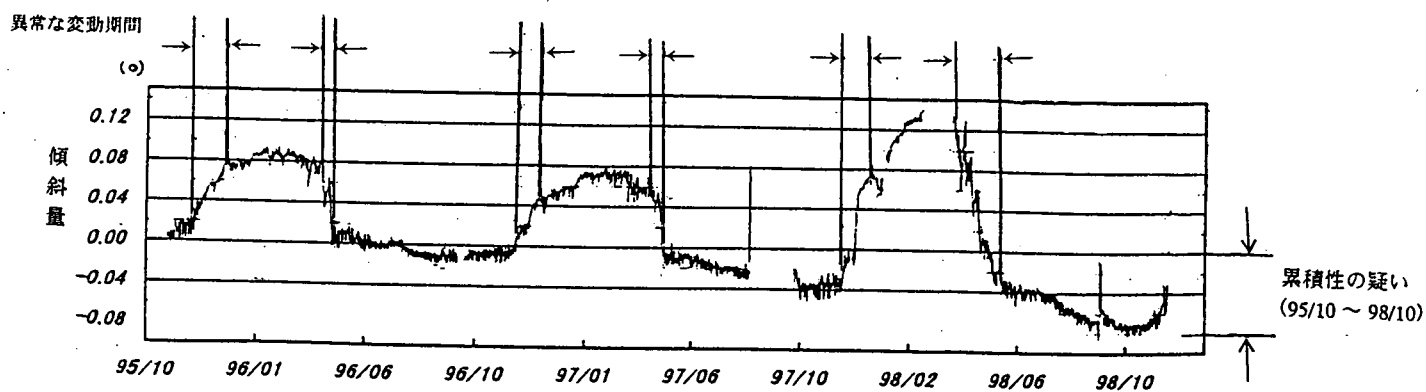
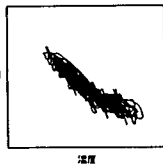
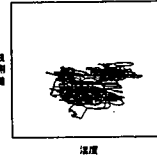


図-2.49 B-K1傾斜計の異常変動と累積性の変動

温度相関図は、表－2.8に示すように、日常変動が大きい場合でも、岩盤の挙動を理解し易く、
経時変化図の補助として有益である。

表－2.8 観測結果の検討に適する資料

観測結果の特徴		温度特性が 卓越	岩盤の非周 期的挙動が 卓越	不明瞭・そ の他
観測値－温度相関図 の模式例				
検討に 適する 資料	生データの経 時変化図	○	○	○
	観測値－温 度相関図	○	○	
	温度補正結 果	○		

3 割れ目調査

3.1 割れ目解析

検討箇所は、B斜面である。当該斜面の形状及び概査結果については1.2項を参照されたい。当該岩盤斜面の割れ目解析は1/10スケールによる壁面スケッチと岩盤表面からの簡易ボーリングおよびボアホールカメラ観察結果により実施した。

3.1.1 岩盤の基本物性

現地で測定した簡易弾性波探査によるP波速度（1m区間）は、0.9～3.5km/secの値を示す（図-3.1、表-3.1）。また、ロックシュミットハンマーの反発度は30～50（平均値41）である（表-3.2）。室内岩石試験結果は1.2項で示したとおりであり、一軸圧縮強度は100Mpa以上であり、岩種としては硬質岩に分類される（表-3.3参照）。圧裂引張強度は一軸圧縮強度の1/10～1/17の値となっている。簡易弾性波探査では表層のゆるみがやや反映されているものの、3.5km/secの値が得られていること、またロックシュミットハンマーの反発度が30～50の値を示すことから、表層をのぞいた岩盤等級区分はCH級に属するものと考えられる（図-3.2）。

表-3.1 簡易弾性波探査による1m区間毎の速度

測定点番号	区間速度 (km/sec)
A-4.00m	1.8
A-3.00m	3.5
A-2.00m	3.0
A-1.00m	2.7
A±0.00m	2.0
A+1.00m	1.7
A+2.00m	1.4
A+3.00m	0.9
A+4.00m	1.0
A+5.00m	-
A+6.00m	1.5
A+7.00m	1.4
A+8.00m	-
A+9.00m	1.0
A+10.00m	-
A+11.00m	-
A+12.00m	-

表-3.2 ロックシュミットハンマー試験結果一覧表

測定番号	測定結果 (反発度: R)			平均値からの 標準偏差係数 $\times 10^2 (Q_{st}/\sigma)$	平均値からの 一軸圧縮強度 (Q_{st}/σ)
	最大値	最小値	平均値		
A-4.0m	57	31	44	144	565
A-3.0m	66	37	50	228	864
A-2.0m	66	29	47	182	700
A-1.0m	49	29	39	98.6	397
A 0.0m	52	27	42	124	491
A+1.0m	59	21	42	124	491
A+2.0m	51	31	38	91.4	370
A+3.0m	59	25	45	156	607
A+4.0m	60	25	41	115	457
A+5.0m	52	31	43	134	527
A+6.0m	49	34	42	124	491
A+7.0m	53	22	39	98.7	397
A+8.0m	57	21	38	91.4	370
A+9.0m	63	30	41	115	457
A+10.0m	53	25	39	98.7	397
A+11.0m	57	20	30	49.7	210
A+12.0m	56	27	44	144	565

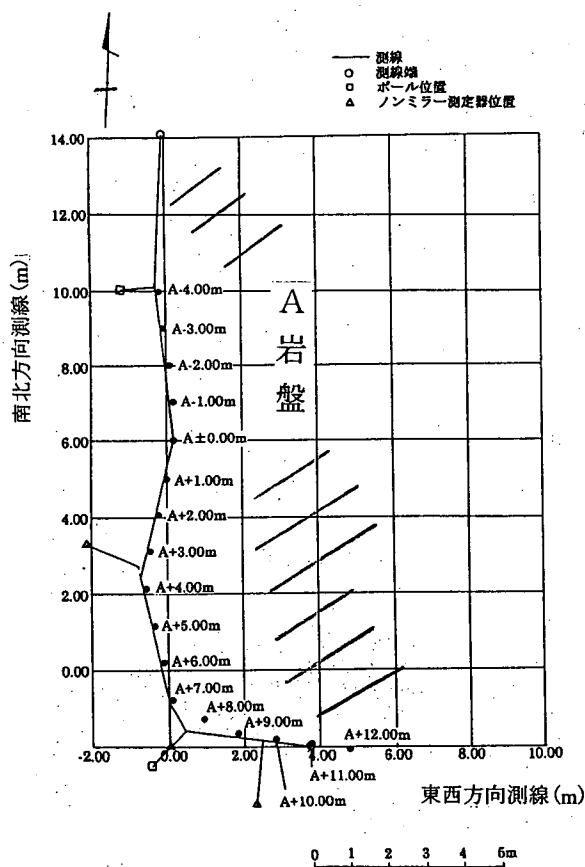
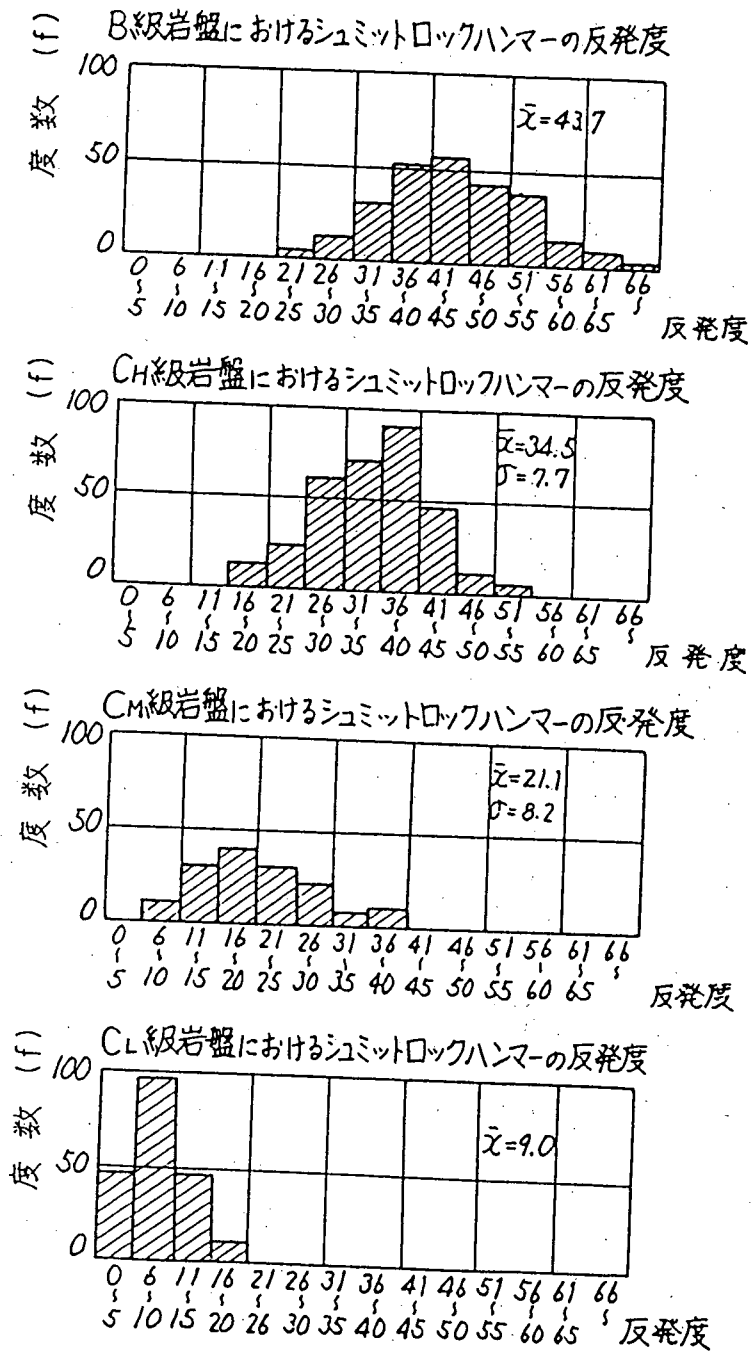


図-3.1 簡易弾性波探査、ロックシュミットハンマー試験実施（平面）位置図

表-3.3 広がりを持った岩盤面についての岩盤等級区分基準 (菊池他, 1984)

岩盤等級	硬質岩			中硬質岩			軟質岩		
	一応の目安としては新鮮な岩石のテストピースの乾燥一軸圧縮強度が 800 kg/cm ² 以上のものである。岩石ハンマーによる打撃では一般に金属音を発する。			一応の目安としては新鮮な岩石のテストピースの乾燥一軸圧縮強度が 800 kg/cm ² ~ 200 kg/cm ² の範囲にあるものである。岩石ハンマーによる打撃ではかなりしまった音を発生するが一般には金属音を発しない。この範囲にあるもののうち、軟質側のもは岩石ハンマーの尖頭部による打撃で岩石の表面にわずかにくぼみを生ずる場合もある。			一応の目安としては新鮮な岩石のテストピースの乾燥一軸圧縮強度が 200 kg/cm ² 以下のものである。岩石ハンマーによる打撃ではよい弛緩した音を発し、時には破壊する場合もある。岩石ハンマーの尖頭部による打撃では岩石の表面に容易にくぼみが生ずる。		
A	岩質はきわめて新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子はまったく風化変質しておらず、また節理はほとんど分布していない。岩盤としてはきわめて堅牢、固密である。								
B	岩質は新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は、ほとんど風化変質していない。また節理の分布は疎らであり、密着している。岩盤としては堅牢、固密である。			岩質は新鮮であり、構成粒子は二次的な風化変質をまったく受けていない。また節理等の割目はほとんど分布していない。岩盤としては堅固である。この場合軟質岩に近いものについては、上記のような性状であっても、すでにこのクラスに属さずC上級に属するものがある。					
C	C _上 岩質はおおむね新鮮、堅硬であるが、火成岩では造岩鉱物中、長石類および雲母、角閃石などの有色鉱物がわずかに風化変質している場合もあり、また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する長石類、および有色鉱物がわずかに風化変質している場合もある。 節理はかなり分布しており、また節理面は風化変質を受けて変色汚染されている場合が多く、時には風化物質がうすく付着していることもあるが、一般にはおおむね密着している。岩盤としては堅固である。			岩質は新鮮であり、構成粒子は二次的な風化変質を受けていない。また節理の分布は疎らで密着している。岩盤としてはおおむね堅固である。ただしこの場合、硬質岩に近いものについてはこのような性状でもB級に属するものがある。			このクラスの対象となる岩石は、中硬質岩に近いもの(新鮮な岩石の乾燥一軸圧縮強度が150 kg/cm ² 程度以上)である。 岩質は新鮮で、構成粒子は風化変質をまったく受けておらず、また節理はほとんど分布していない。		
	C _中 岩質は一般にやや風化変質している。このうち火成岩では石英を除き、長石類および有色鉱物は風化を受け、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物が風化変質し、火成岩の場合と同様、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。 節理は開口し、しばしば粘土あるいは風化物質を挟在している。このクラスの岩石中には細かな毛髪状割目が多数に胚胎していることが多いので岩石ハンマーで強打すれば、この毛髪状割目を分離面として崩壊することがしばしばある。 このほか岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が著しく、クラッキーな状態を示すものもこのクラスに含まれている。			構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物がやや風化変質しているものが多い。風化程度としてはあまり進んでいないが、原岩が中硬質の岩石であるので、絶対的な硬さとしてはやや軟質な感じを受ける。節理はかなり分布しており、やや開口していることが多く、節理は風化変質を受けて変色汚染されており、しばしば粘土の薄層、風化物質を挟在している。 このクラスの岩盤は毛髪状割目がある程度存在するので、岩石ハンマーによる打撃ではこの毛髪状割目を分離面として、しばしば崩壊する。			岩質は新鮮であり、構成粒子も二次的な風化変質を受けていない。また、節理はほとんど分布していないか、あるいは分布していても疎らでありしかも密着している。岩盤としては風化をほとんど受けていないが、原岩が軟質な岩石であるので、絶対的な硬さとしては、軟質な感じを受ける。この場合、乾燥一軸圧縮強度が60~70 kg/cm ² 程度以下のものではすでにこのクラスに属さずC下級に属する。		
	C _下 火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受けているために、岩石全体としても一般に褐色あるいは赤褐色を呈する。 節理は開口し粘土および風化物質の挟在が著しい。このクラスの岩石では細かな毛髪状割目の分布が著しくさらにこの割目に沿って風化も進んでいるので、岩石ハンマーによる軽打によって容易に崩壊あるいは陥没する。このほか、岩質は新鮮であっても開口節理の分布が著しく、石積状の産状を示すものもこのクラスに含まれる。			構成粒子は風化変質し、固結程度はかなり低くなっている。原石が中硬質の岩石であるので、絶対的な硬さとしては、かなり軟質な感じを受ける。節理はかなり分布している。節理は開口し、また風化物質、粘土層を著しく挟在している。 このクラスの岩盤では毛髪状割目に沿って、かなり風化が進んでいるので、岩石ハンマーによる軽打撃によっても容易に崩壊する。			構成粒子はやや風化変質を受け、固結程度は著しく低下している。岩盤としての絶対的な硬さとしては、きわめて軟質な感じを受ける。岩石ハンマーの尖頭部で打撃すると、しばしば尖頭部は岩盤に突きささる。		
D	火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受け、しばしば砂状および粘土状を呈する部分が見られる。このクラスの岩盤では節理の分布はむしろ不明瞭である。			構成粒子は風化変質が著しく進み固結程度は著しく低下し、しばしば砂状および粘土状を呈している。 このクラスのものは、割目の分布はむしろ不明瞭である。			構成粒子の固結程度はきわめて低くなり、大部分砂状あるいは泥土状を呈している。		
該当岩石	(1) 深成岩、半深成岩および火山岩等の火成岩類がこれに該当する。 (2) 中生代以前の砂岩、礫岩、チャート、石灰岩および輝緑凝灰岩等の堆積岩および火山砕屑岩がこれに該当する。ただし粘板岩、頁岩は原則的には除外する。 (3) 変成岩のうち、比較的塊状の片麻岩は、これに該当する。ただし結晶片岩類は除外する。その他、新第三紀の堆積岩および火山砕屑岩にもこれに該当するものもある。			新第三紀中新世以前の第三紀の堆積岩(泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩)および火山砕屑岩(凝灰岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩および溶結凝灰岩)の大部分がこれに該当する。 ただし第四紀の溶結凝灰岩にはこれに該当するものもある。			新第三紀鮮新世以降の堆積岩(泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩)および火山砕屑岩(凝灰岩、凝灰角礫岩および火山角礫岩)の大部分がこれに該当する。 ただし第四紀の火山砕屑岩には、これに該当するものもある。		
摘要	田中式岩盤等級に対応する*。								

* 田中式岩盤等級とは電研式岩盤分類に相当。



菊池ほか(1984) ダム基礎岩盤の耐荷性に
関する地質工学的総合評価
(応用地質 特別号) による

図-3.2 塊状岩盤における岩盤等級とロックシュミットハンマー反発度との関係 (菊池他, 1984)

3. 1. 2 主要開口割れ目と岩体のブロック区分

岩体に認められる主要な開口割れ目によって、崩壊範囲を規制するブロックの抽出を行った。主要な開口割れ目は表-3.4のとおりまとめられる。

表-3.4 主要開口割れ目一覧表

割れ目番号	方向(代表的なもの)	特徴
A	N61W63N	西面、南面に追跡できる。南面に対して高角度の受け盤となり、岩体で最も道路側に位置するオーバーハングした面を形成する。岩盤傾斜計設置面
B	N67W60N	南面～東面に追跡できる。南面に対して高角度の受け盤となる。オーバーハング面は明瞭でない。
C	N68W62N	西面～東面に追跡できる。南面に対して高角度の受け盤となる。割れ目Aに次いでオーバーハング面を形成する。
C'	N81W70N	割れ目Cに近接しており、南面～東面に追跡できる。西面には連続せず、南面西側で止まっている。南面に対して高角度の受け盤となる。岩体上部ではオーバーハング面を形成する。
D	67W70N	西面～南面の一部に追跡できる。南面に対して高角度の受け盤となる。岩体上部で小規模なオーバーハング面を形成する。
E	N79W60N	南面～東面に追跡できる。南面に対して高角度の受け盤となる。岩体上部で明瞭なオーバーハング面を形成する。
F	測定不能	南面～東面に追跡できる。南面に対して高角度の受け盤となる。岩体上部で明瞭なオーバーハング面を形成する
I	N11E49E	西面で追跡できる。西面に対して高角度の受け盤となっており、一部の岩体がこの割れ目から崩落した痕跡が残されている。
II	N28E44E	東面で追跡できる。割れ目C'で止まっている。東面に対して高角度の流れ盤となっており、一部の岩体がこの割れ目から崩落した痕跡が残されている。
III	N33E60E	西面上部に認められる割れ目群を総称して示す。西面に対して高角度の受け盤となっており、一部の岩体がこの割れ目から崩落した痕跡が残されている。
α	N9W70W	対象岩体と東側のA岩体を境する割れ目。
β	N27W80E	対象岩体と東側のA岩体を境する割れ目。割れ目開口幅は最大2cmに及ぶ。

A, B, C, C', D, E, FはN50～70° Wの走向で、北に60～70° 傾斜し、岩体南西面に対して高角度の受け盤となる割れ目で、オーバーハング面として観察される。

I, II, IIIはN18～40° Eの走向で、東へ44～60° 傾斜している。このうちIIIは斜面上部に位置することもあって、単一の割れ目としての連続性は未確認で、同方向の数本の割れ目群として認識できる。西面に対して受け盤、東面に対して流れ盤となっており、一部の岩盤がこれらの割れ目から崩落した痕跡が残されている。

α および β はB斜面と東側岩塔を境する割れ目となっている。

これらの割れ目の平面的分布を岩盤形状とともに図-3.3に示す。また、開口割れ目によるブロック区分は図-3.3に示すとおりであり、割れ目Aより下部の①ブロック、割れ目AとCで囲まれる②ブロックが認識できる。

岩盤斜面下部で実施した壁面観察結果では割れ目 A, B, C は南西面西側で大きく湾曲し、C' 面もこの湾曲面で止まっていることが判明した（図-3.4）。湾曲部には後述する 2 タイプの割れ目が密集しており、この割れ目が割れ目 A, B, C を変形させているものと考えられる。

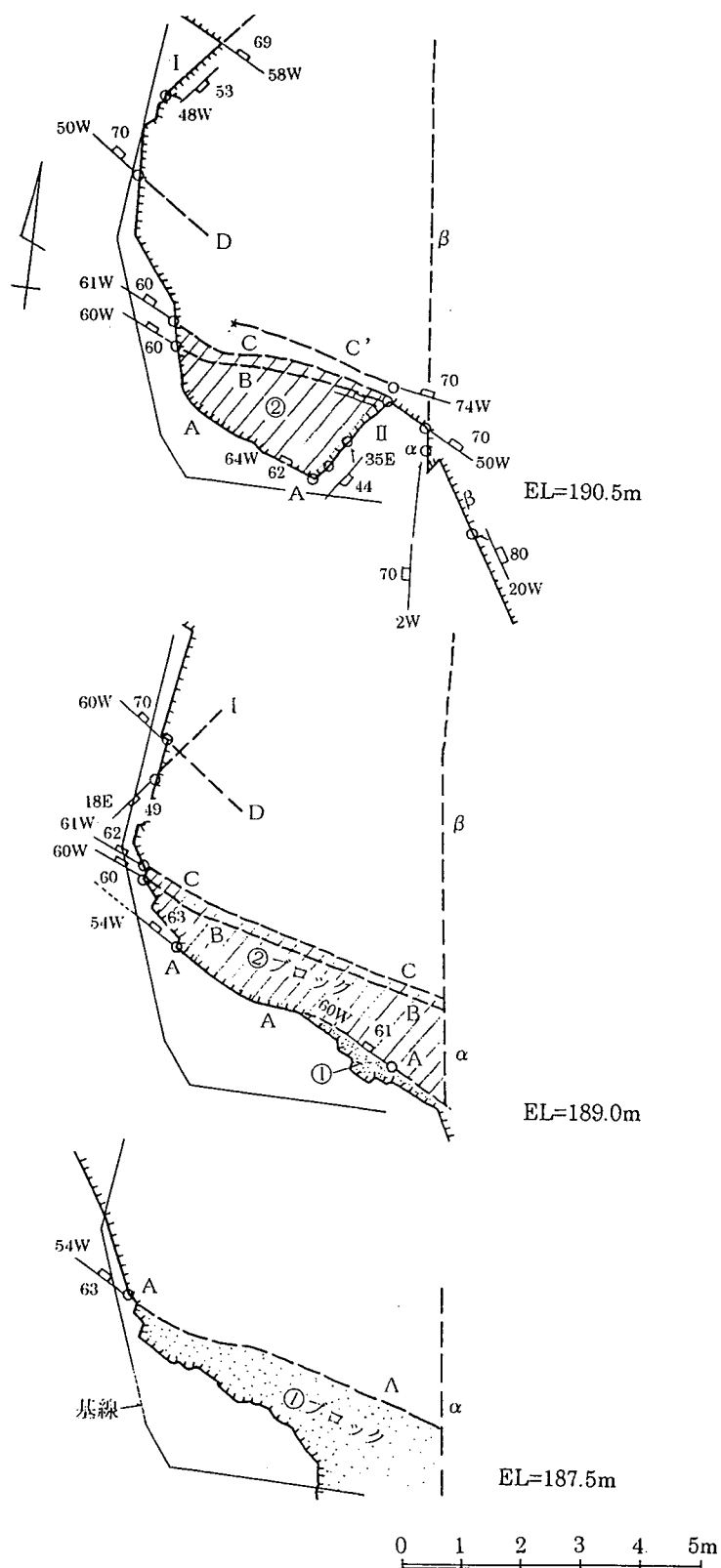


図-3.3 岩盤斜面の水平断面図における岩盤ブロック区分

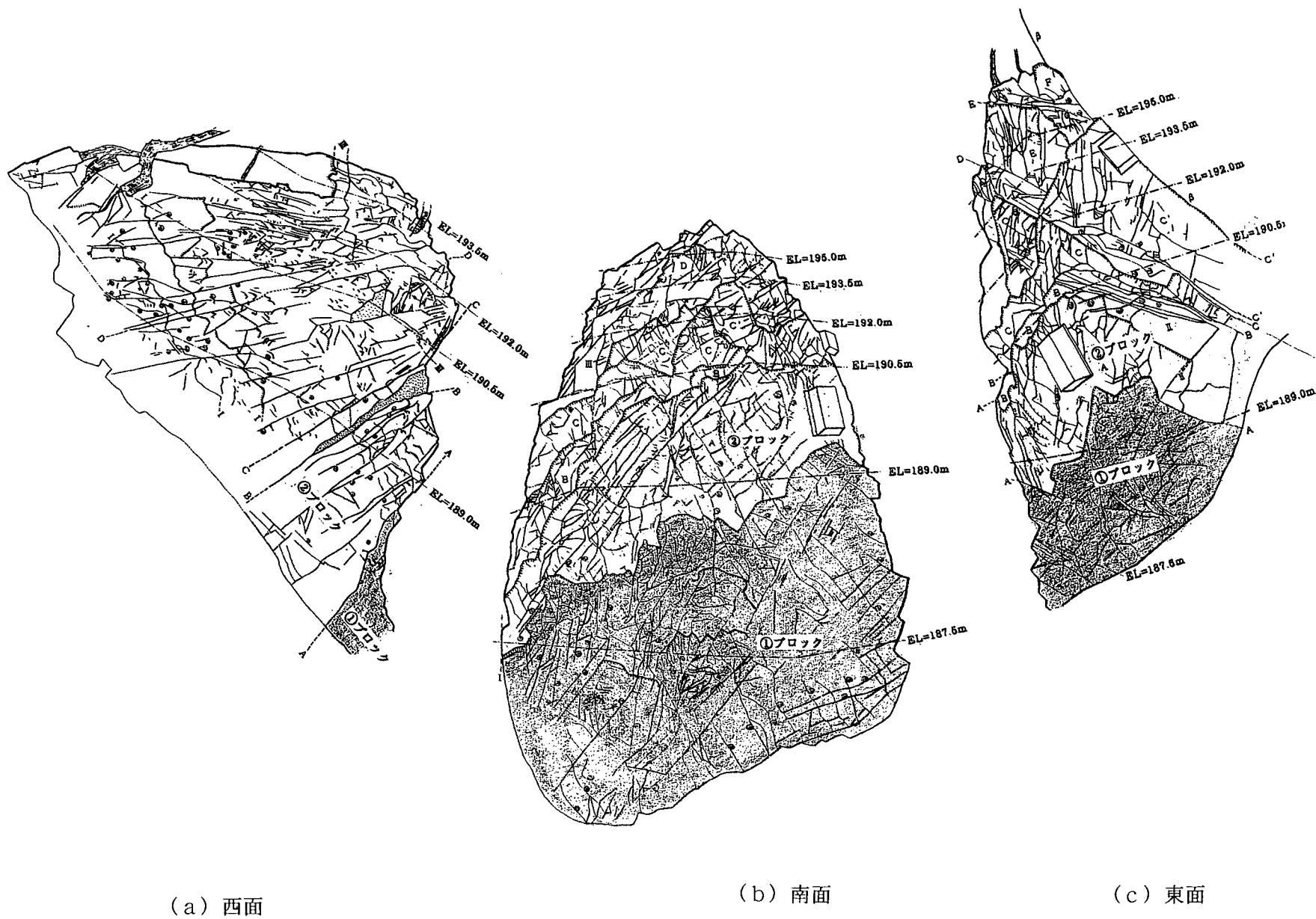


図-3. 4 岩盤斜面スケッチ図における岩盤ブロック区分図

3. 1. 3 割れ目の方向性と割れ目系の区分

割れ目の測定は2度実施している。1回目は岩盤斜面の形状把握と岩体全体の概査時に実施したものであり、岩盤斜面全体の主要な割れ目について測定している。2回目は岩盤斜面南西面下部において1/10スケールでの壁面スケッチを行った範囲において識別しうる割れ目の測定を実施している。

対象岩盤斜面全体で測定した1回目の結果は、比較的連続性の認められる割れ目の方向をとらえている。測定結果をステレオネットに投影した結果を図-3.5に示す。測定割れ目総数は213個である。この結果から、主要な割れ目は3方向に明瞭な集中が認められ、以下に示す3タイプに分類される。

1タイプ：N47°W～EW走向で、50～80°NE傾斜を示す。集中点の走向・傾斜はN70°W・60°Nである。

2タイプ：N11°E～N68°E走向で、50～80°SE傾斜を示す。集中点の走向・傾斜はN38°E・63°Eである。

3タイプ：N18°E～N58°E走向で、45～70°NW傾斜を示す。集中点の走向・傾斜はN30°E・55°Wである。

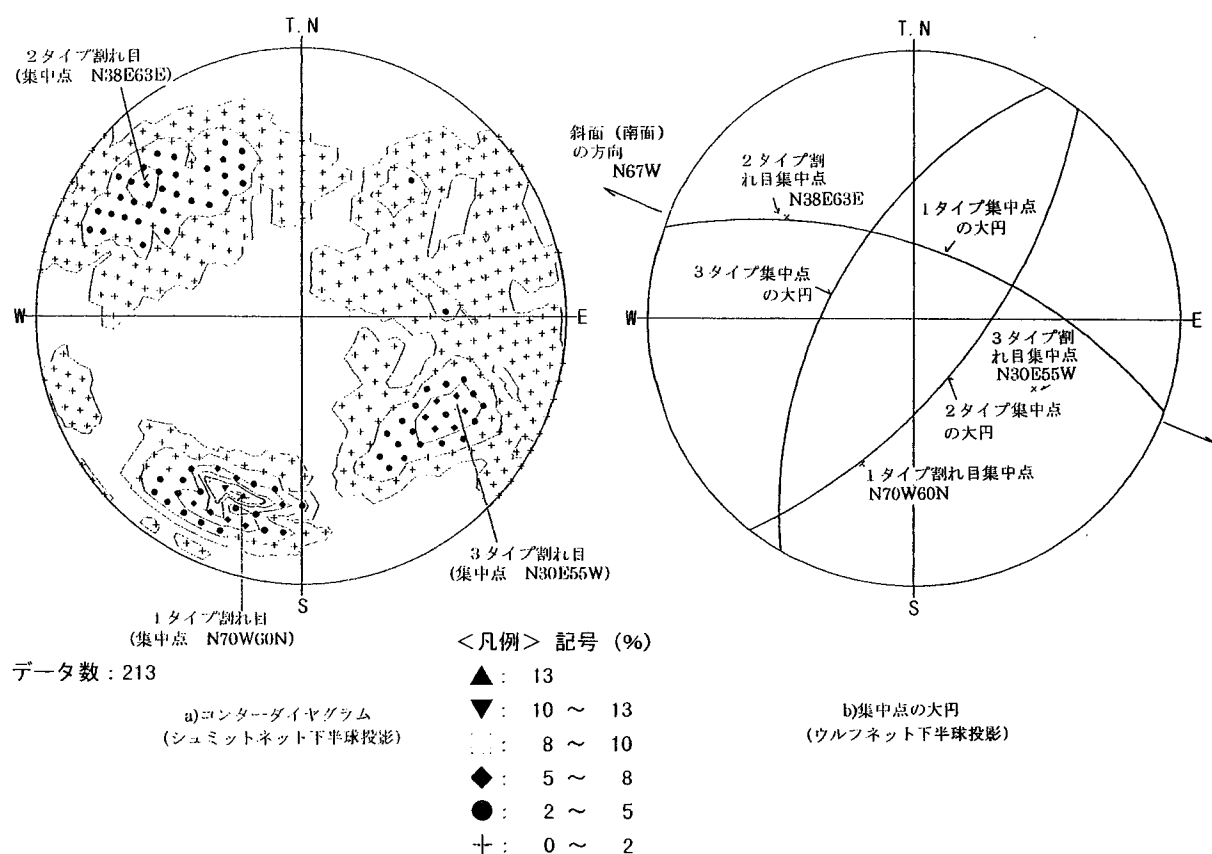


図-3.5 計測岩体全体概査時データでの割れ目の方向性

2回目の測定である岩盤斜面南西面下部の割れ目測定結果をステレオネットに投影したものを図-3.6に示す。データ総数は464個である。1回目の測定結果と同様に1～3タイプの割れ目の方向が

集中する傾向が認められる。一方、これとは別に、新たに4点の集中点が認められる。その集中点の走向・傾斜は $N17^{\circ}E \cdot 61^{\circ}W$, $N18^{\circ}W \cdot 59^{\circ}W$, $N47^{\circ}W \cdot 62^{\circ}S$, $N63^{\circ}W \cdot 37^{\circ}S$ の4方向であり、いずれも中～低角度を示す。このうち後者の3点は岩盤斜面南西面に対して流れ盤となる割れ目である。このような割れ目は崩壊機構の検討に重要なパラメータとなると考えられることから、以下のとおり4タイプの割れ目と称することとする。

4タイプ： $N10 \sim 63^{\circ}W$ 走向で、 $35 \sim 60^{\circ}SW$ 傾斜を示す。3方向に集中が認められ、集中点の走向・傾斜は、 $N18^{\circ}W \cdot 59^{\circ}W$, $N47^{\circ}W \cdot 62^{\circ}S$, $N63^{\circ}W \cdot 37^{\circ}S$ である。

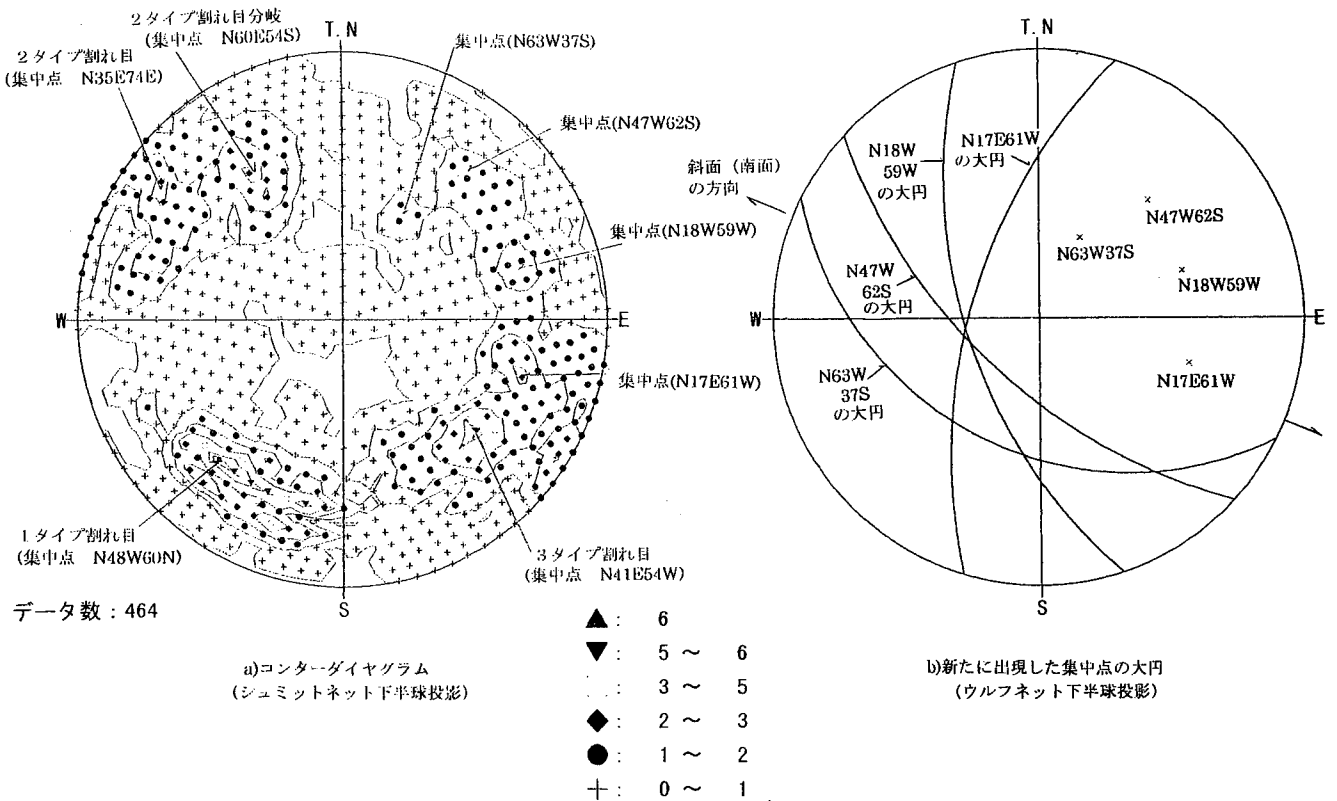


図-3.6 岩盤斜面南西面下部における詳細スケッチ時データによる割れ目の方向性

3. 1. 4 割れ目系の特徴とその成因

割れ目の方向性から分類した1～4タイプの割れ目について、壁面スケッチ、簡易ボーリング、ボアホールカメラ観察等によって得られた特徴について整理し、その成因について検討する。

壁面スケッチ図の縮小図を図-3.7に、簡易ボーリングおよびボアホールカメラ観察結果を図-3.8～3.10および表-3.5～3.7に示す。なお、解析断面は、簡易ボーリング孔がほぼ並ぶA測線（グリット：H7に相当）、 $N35^{\circ}E$ 方向である。

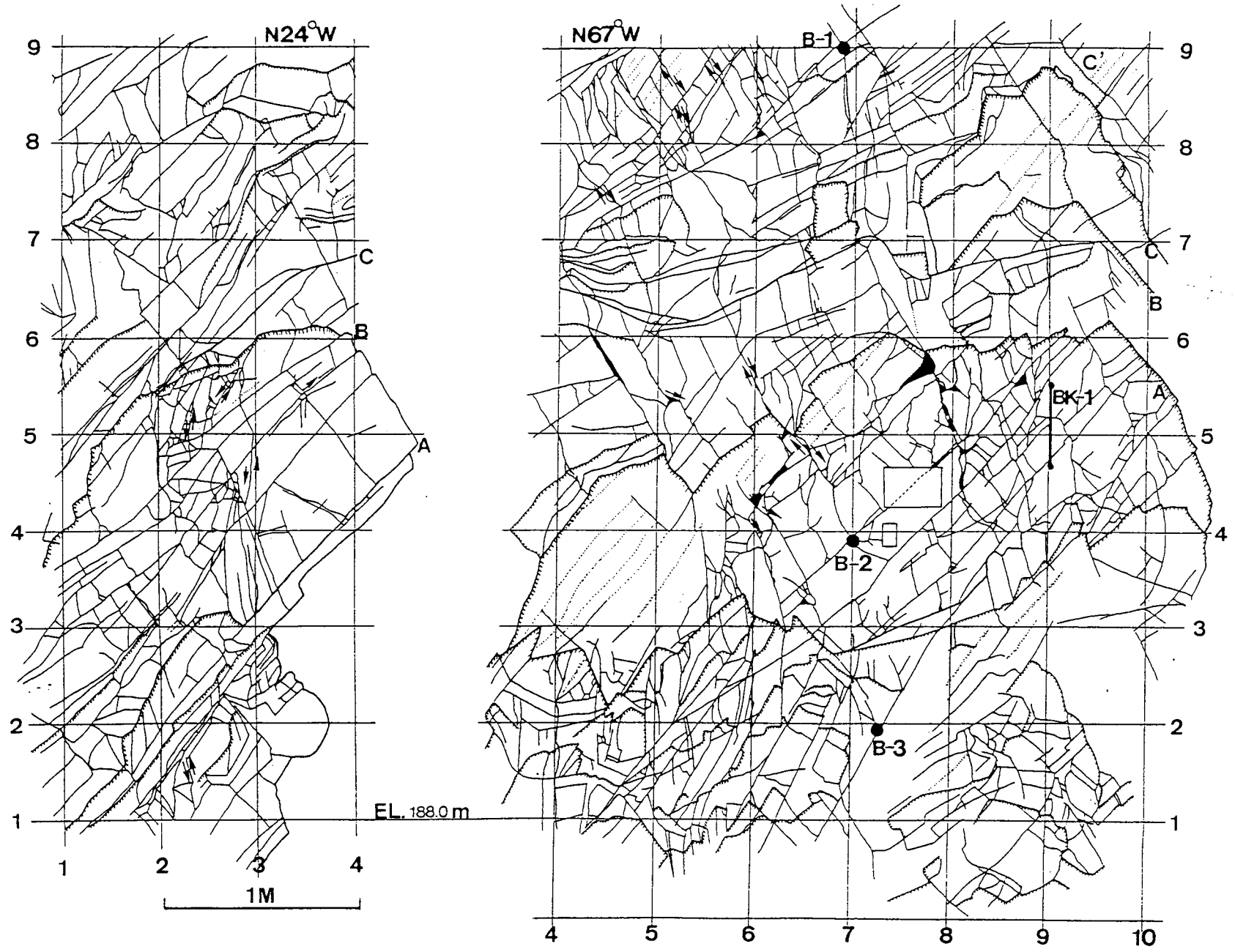


図-3.7 対象岩盤斜面南西面下部の壁面スケッチ図

A Line

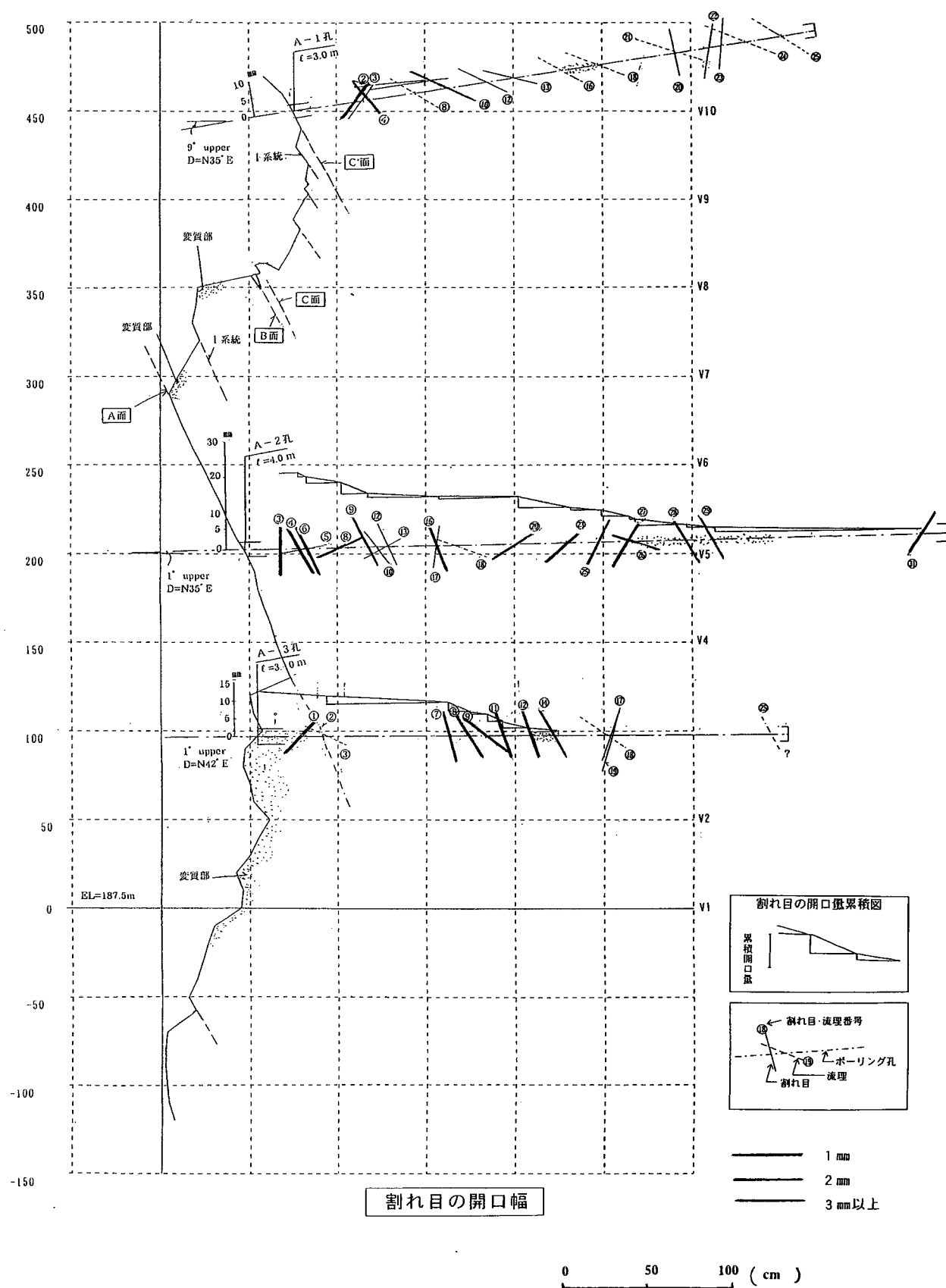


図-3.8 解析断面図における割れ目の分布図（割れ目の開口幅区分図）

A Line

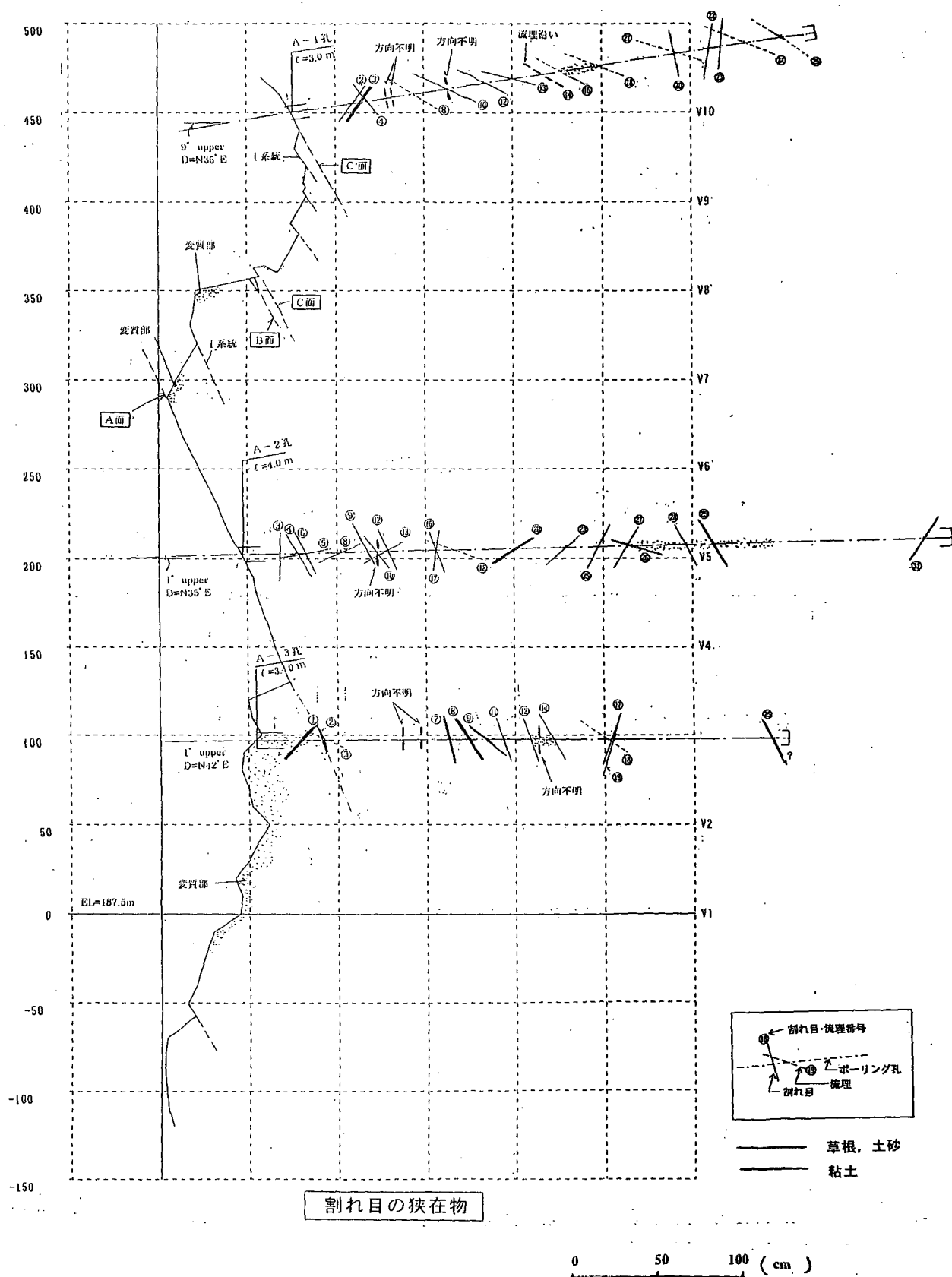


図-3.9 解析断面図における割れ目の分布図 (割れ目の挟在物区分図)

A Line

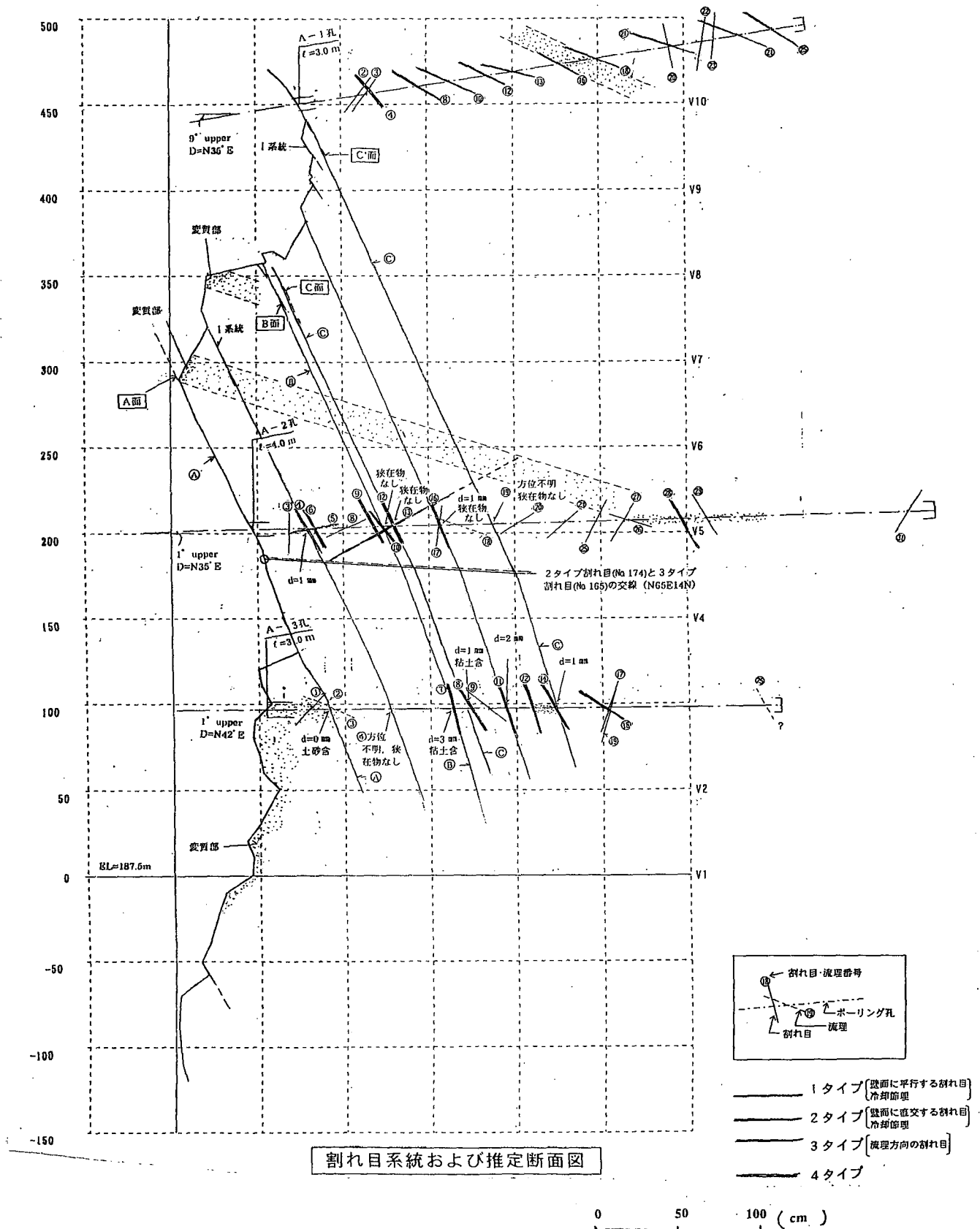


図-3.10 解析断面図における割れ目の分布図 (割れ目系統区分図)

表-3.5 コア観察およびボアホールカメラ観察による割れ目の性質一覧表 (A-1孔)

割れ目No.	ボアホールカメラ			ボーリングコア			割れ目系統
	深度(m)	走向・傾斜	開口幅(mm)	挟在物	かみあわせ	その他	
①	0.50	—	—	草根	—		
②	0.25	NS63W	2	—	—		
③	0.30	NS68W	1	草根, 土砂	良		
④	0.30	N82W55N	1	—	不良		1
⑤	0.45	不明瞭	—	草根, 土砂	不良		
⑥	0.50	不明瞭	—	草根	不良		
⑦	0.55	不明瞭	—	—	不良		
⑧	0.62	N59E58N	密着	—	—	流理	3
⑨	0.80	不明瞭	—	—	不良		
⑩	0.80	N58E50N	4	—	—	流理に沿う	3
⑪	1.00	—	2	草根, 土砂(多量)	不良		
⑫	1.00	N64E45N	—	—	—		3
⑬	1.15	N43E61W	—	—	—	流理に沿う	3
⑭	1.28	—	密着	土砂多量	不良	流理に沿う	3
⑮	—	不明	—	—	良		
⑯	1.45	N69E46N	密着	—	—	流理	3
⑰	1.45	不明瞭	—	—	良		
⑱	1.68	N55E49N	密着	—	良	流理に沿う	3
⑲	—	不明	—	—	良		
⑳	—	不明	—	—	良	N82W80N	1
㉑	2.12	N60E37N	密着	—	—	流理	3
㉒	2.28	—	—	—	良	N29W82W	
㉓	2.35	—	—	—	—	N8E88W	
㉔	2.50	N73E34N	密着	—	—	流理	3
㉕	2.73	N88E38N	密着	—	—	流理	3

表-3.6 コア観察およびボアホールカメラ観察による割れ目の性質一覧表 (A-2孔)

割れ目No.	ボアホールカメラ			ボーリングコア			割れ目系統
	深度(m)	走向・傾斜	開口幅(mm)	挟在物	かみあわせ	その他	
①	—	不明	—	—	中		
②	—	不明	—	—	中		
③	0.20	N15W90	1	—	良		
④	0.30	N60W59N	1	—	—		1
⑤	0.35	N74W13S	—	—	不良		4
⑥	0.55	N72W65N	2	—	不良		1
⑦	—	不明瞭	—	—	不良		
⑧	0.60	N16E53W	3	—	良		
⑨	0.70	N77W64N	1	—	不良		1
⑩	0.76	N75W54N	—	—	良		1
⑪	—	不明	—	草根, 土砂	良		
⑫	0.82	N60W64N	—	—	良		1
⑬	0.80	N61E48S	—	—	良		
⑭	0.90	不明瞭	—	—	良		
⑮	1.00	—	—	—	良		
⑯	1.10	N65W68N	1	—	不良		1
⑰	1.10	N20W83W	—	—	不良		
⑱	1.20	N61E39N	密着	—	—		
⑲	1.32	—	—	—	不良		
㉑	1.55	N10W42W	3	草根, 粘土	不良		4
㉒	—	不明	—	—	良	面新鮮	
㉓	1.75	—	—	—	良		
㉔	1.83	N53E70S	1	—	良		
㉕	—	不明	—	—	良		
㉖	2.02	N74E72S	2	—	良		
㉗	2.20	N47E53N	2	土砂	不良		
㉘	2.15	N74E69S	1	—	—		
㉙	2.50	N55W60N	1	—	不良		1
㉚	2.65	N4E73E	2	粘土	不良		
㉛	—	不明	1	—	不良	面新鮮	
㉜	3.85	N84W62S	1	—	不良	面新鮮	
㉝	—	未検出	—	—	良		
㉞	—	未検出	—	粘土	不良		
㉟	—	未検出	—	草根	良		

表-3.7 コア観察およびボアホールカメラ観察による割れ目の性質一覧表 (A-3孔)

割れ目No.	ボアホールカメラ			ボーリングコア			割れ目系統
	深度(m)	走向・傾斜	開口幅(mm)	挟在物	かみあわせ	その他	
①	0.15	N26E79W	3	草根	不良		
②	0.45	—	—	土砂	中		
③	0.60	N66E48N	密着	—	—	流理	3
④	0.65	—	—	—	良		
⑤	0.75	不明瞭	—	粘土	不良		
⑥	0.85	不明瞭	—	粘土	中		
⑦	1.00	N51W76N	3	粘土	不良		1
⑧	1.12	N63W58N	1	粘土	不良		1
⑨	1.23	N22W42W	2	粘土	中		4
⑩	1.25	—	—	土砂	不良		
⑪	1.35	N58W73N	2	—	不良		1
⑫	1.53	N52W72N	1	—	不良		1
⑬	—	不明	—	土砂	良		
⑭	1.58	N51W62N	1	—	—		1
⑮	—	不明	—	—	不良		
⑯	1.70	不明瞭	—	—	良		
⑰	1.90	不明瞭	—	—	良	N57W70S	
⑱	1.90	N71E55N	一部密着	—	良		
⑲	1.92	不明瞭	—	—	—	N32W74W	
⑳	2.30	不明瞭	—	—	不良		
㉑	2.40	—	密着	—	—	流理	3
㉒	2.48	不明瞭	—	—	良		
㉓	—	不明	—	—	良	流理沿い	3
㉔		未検出		—	—		
㉕		未検出		土砂	不良		

1) 割れ目系の特徴

各割れ目系の特徴は以下のとおりにまとめられる。

① 1タイプ

方向性：N47° W～E W走向で、50～80° NE傾斜を示す。集中点の走向・傾斜はN70° W・60° Nである。

特徴：岩盤斜面南西面に対して高角度の受け盤を形成し、トップリング崩壊機構を彷彿させる割れ目である。主要開口割れ目のうち、A, B, C, C', D, EおよびFがこのタイプに含まれる。A, B, C面は岩盤斜面南西面の西側で大きく湾曲しており、またC'面もこの湾曲で止まっている（図-3.11）。湾曲部には後述する2タイプの割れ目が密集しており、2タイプの割れ目が1タイプの割れ目を変形させているものと考えられる。簡易ボーリングによるA-1およびA-3孔では、深度1.5m程度まで開口し、流入土砂や粘土を挟在している。

② 2タイプ

方向性：N11° E～N68° E走向で、50～80° SE傾斜を示す。集中点の走向・傾斜はN38° E・63° Eである。ただし、岩盤斜面南西面下部の詳細壁面スケッチ部では集中点が2つに分かれる傾向にある。この2点の走向・傾斜は、N35° E・74° EおよびN60° E・54° Sである。

特徴：主要開口割れ目のうち、I, IIおよびIIIがこのタイプに含まれる。一般に割れ目IIIのように割れ目集中帯が形成される場合も認められる。一般に2タイプの割れ目は雁行状に発達しており、湾曲したり回転を伴ったりする状況が明瞭で、1タイプの割れ目に正断層的なセンスの変形を生じさせている（図-3.12）。また、一般に開口幅も大きい傾向がある。さらに割れ目の延長は開口した3タイプの割れ目で止まっている場合が多い。簡易ボーリングによるA-2孔の深度4m付近にまで分布し、その周辺では開口割れ目が多くなっている。

③ 3タイプ

方向性：N18° E～N58° E走向で、45～70° NW傾斜を示す。集中点の走向・傾斜はN30° E・55° Wである。

特徴：壁面の観察では流理構造に沿った方向で割れ目が生じている。密着している箇所が多く、簡易ボーリング調査でもA-1孔の深度1m付近をのぞいて密着している場合が多い。

④ 4タイプ

方向性：N10～63° W走向で、35～60° SW傾斜を示す。3方向に集中が認められ、集中点の走向・傾斜は、N18° W・59° W, N47° W・62° S, N63° W・37° Sである。

特徴：岩盤斜面南西面に対して流れ盤となる割れ目で、連続性に乏しい（一般に10～50cm）。ただし、②ブロック東側の標高190.5～191.0m付近には1m程度の連続性を持つものが認められる（図-3.13）。図-3.14および3.15に壁面スケッチ範囲での4タイプ割れ目の分布状況を示す。4タイプの割れ目は主として破壊面に認められる他、B-K1設置岩盤周辺およびC'面上にも分布することが注目される。また、簡易ボーリングによるA-2孔の深度0.35mにこのタイプのものが存在する（図-3.10）。

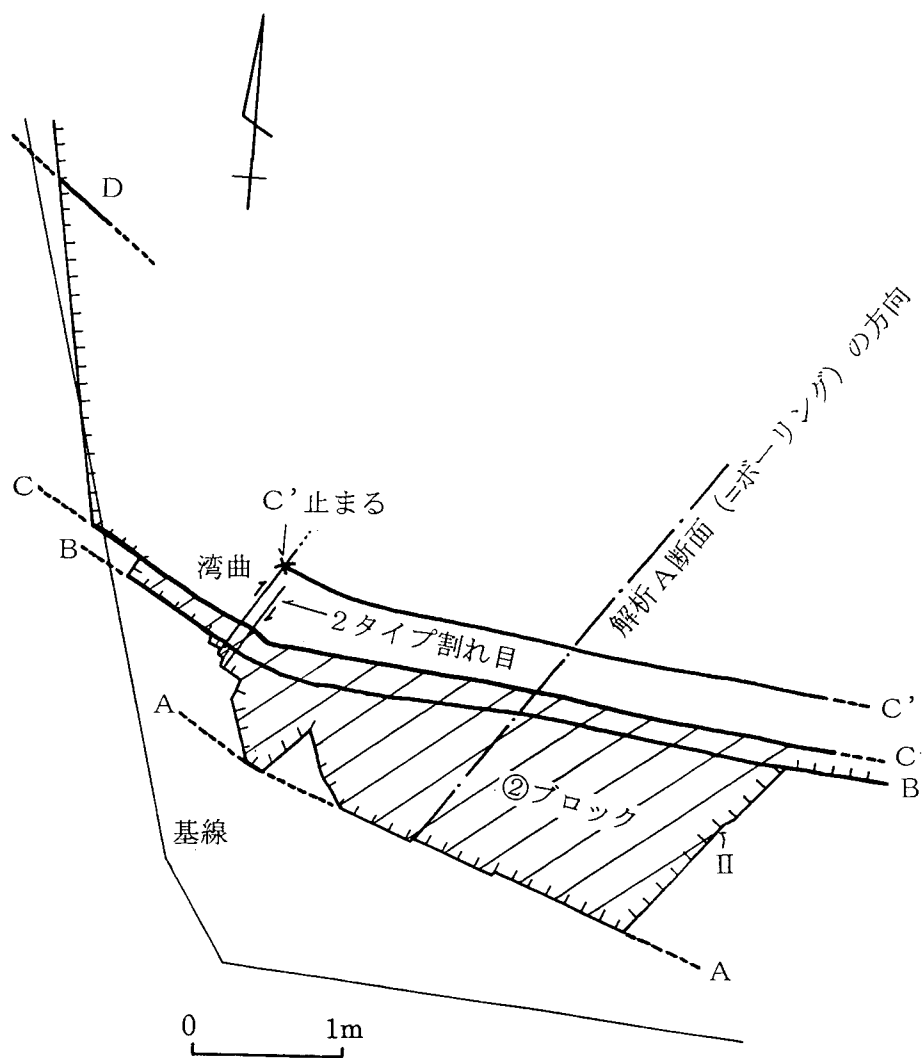


図-3.1.1 ②ブロックの標高190mにおける開口割れ目分布図

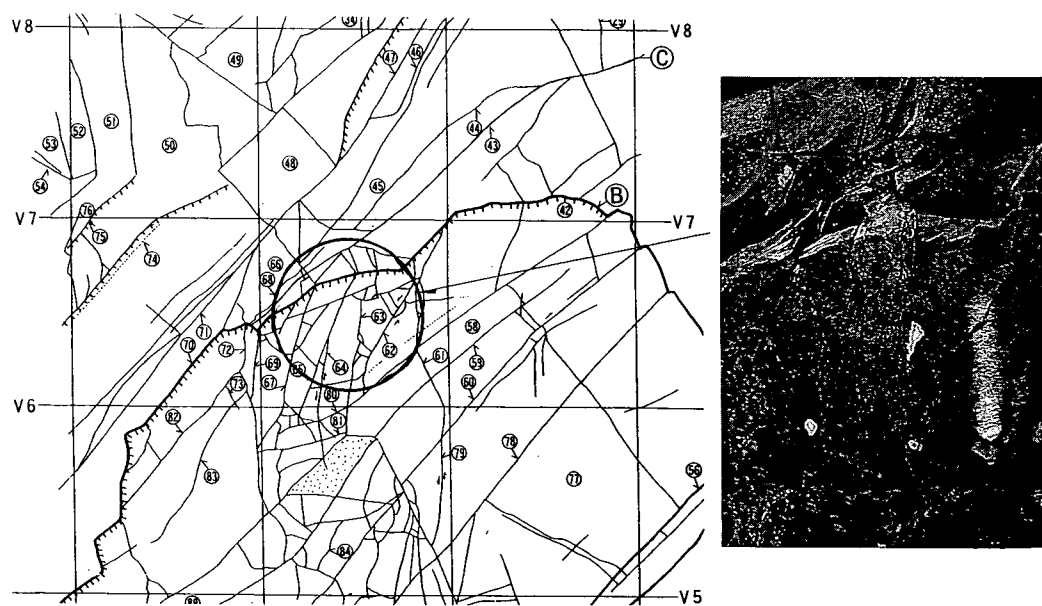


図-3.1.2 2タイプ割れ目に見られる変形様式

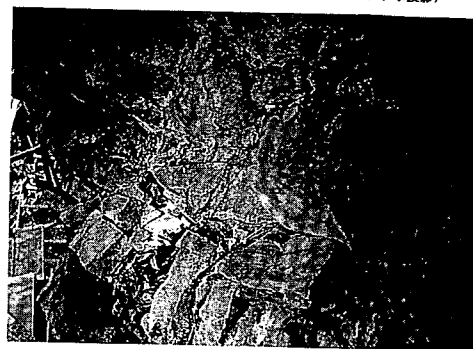
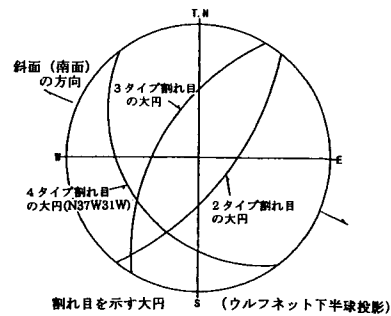
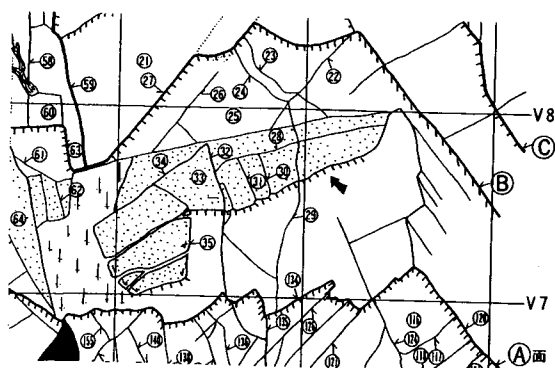


図-3.13 4タイプ割れ目の状況

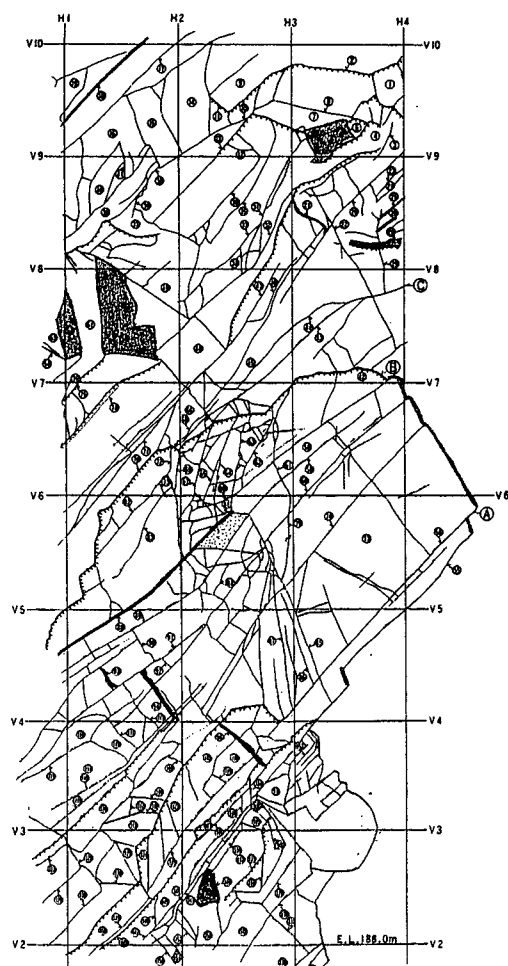
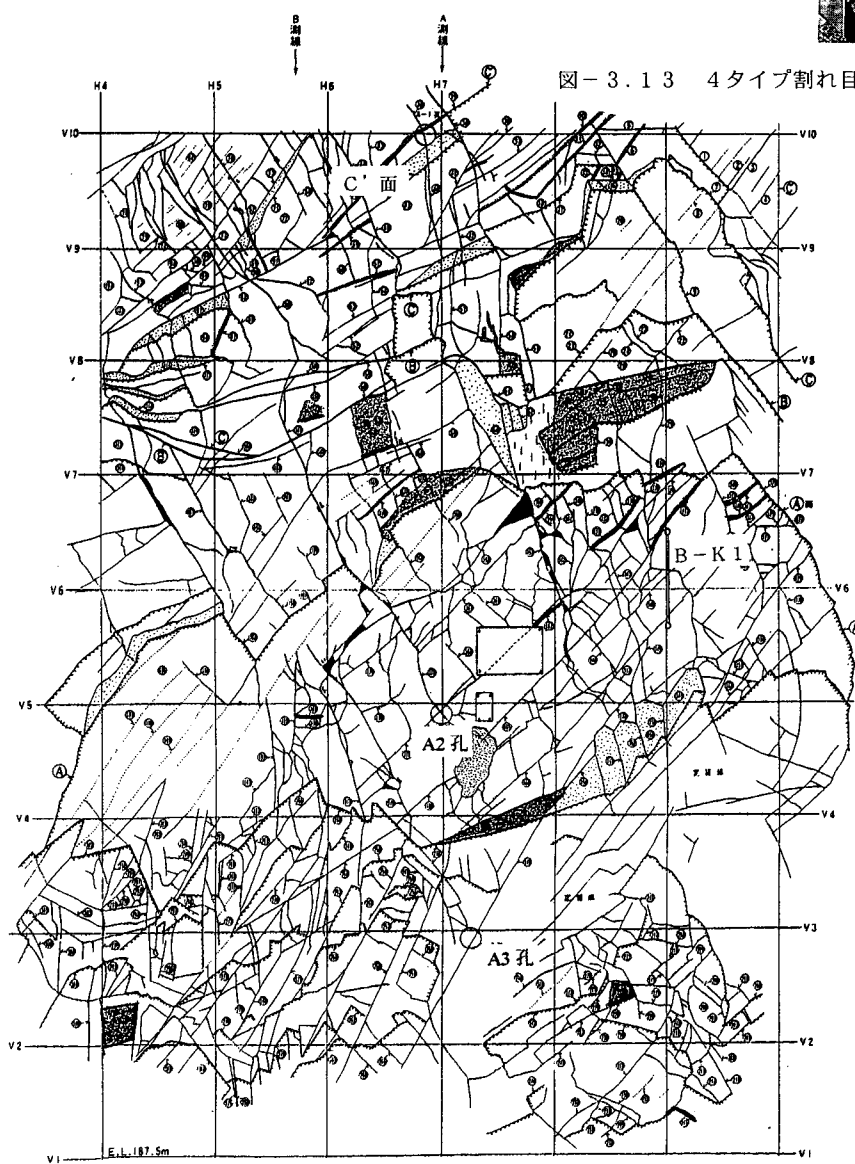


図-3.14 壁面スケッチ図における4タイプ割れ目(着色部分)の分布図(南面)

図-3.15 壁面スケッチ図における4タイプ割れ目(着色部分)の分布図(西面)

2) 割れ目の成因

1タイプ、2タイプおよび3タイプの割れ目は、互いにほぼ直交して発達している。1タイプと2タイプの割れ目は規則的に発達していることから、図-3.16に示すように流紋岩冷却時の初生的な節理と考えられる。また、ステレオネット図上で、両タイプの割れ目集中点を結ぶ大円上に他の集中点が認められないことから、冷却節理による柱状ブロックはほぼ四角形を呈しているものと見られる。また、3タイプの割れ目はほぼ流理の方向に発達しており、深部で密着していることから表層部で流理から分離した割れ目と考えられる。流理面の分離には応力集中や解放が考えられる。この流理構造とこれに直交する2方向に発達する冷却節理系は、一般的な貫入岩体の表面に認められる初生的な節理発達モデル（図-3.17）によく一致する。

2タイプの割れ目は1タイプの割れ目を変形させていることや雁行状に分布し回転や湾曲を伴うことから、冷却後の構造運動の影響を受けて移動しているものと考えられる。簡易ボーリングによるA-2孔で深くまで開口割れ目が発達するのは、2タイプ沿いに割れ目の変形が進行していることを示すものと考えられる。

4タイプの割れ目は連続性に乏しく、不規則なこと、主に破壊面に分布すること、岩盤斜面南西面に対して低～中角度の流れ盤となっていることから、岩体がトップリングする際の引張り応力によって形成された可能性がある。

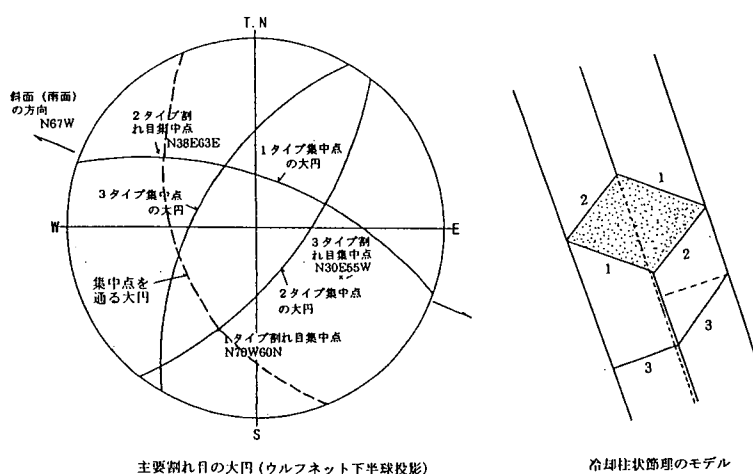


図-3.16 冷却柱状節理のモデル図

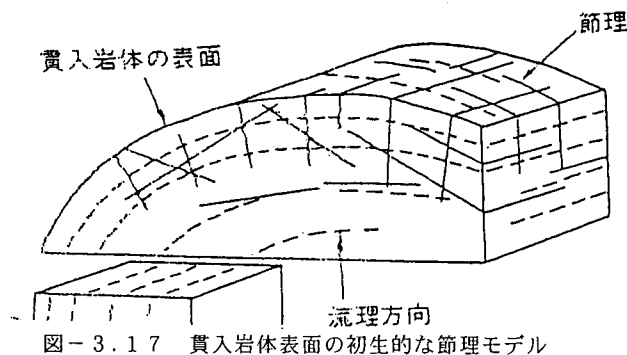


図-3.17 貫入岩体表面の初生的な節理モデル

3. 1. 5 割れ目の頻度

対象岩盤斜面南西壁面下部で測定した割れ目について、25×25cm毎のグリッド内の割れ目本数を計量し、割れ目頻度を検討した。全割れ目の頻度を図-3.18および図-3.19に示す。図-3.18における割れ目頻度の大きい部分は、3タイプの割れ目の方向(図の右上から左下)に配列している。

開口した割れ目の分布状況を図-3.20に、開口した割れ目の頻度分布を図-3.21に示す。開口した割れ目の頻度が大きい部分は2タイプの割れ目の方向(図の左上から右下)に配列している。

次に、グリッド間隔をより密にし、割れ目頻度の計量手法についても異なる方法で検討を行う。壁面スケッチ図を縦横10cm格子で覆い、1つの格子を囲む4辺(10cm×4辺=40cm)と交差する割れ目の数を計量した。割れ目が連続的であつ直線であれば、格子内の割れ目本数と計量値は1:2の関係にあることになる。しかし、一般に割れ目は湾曲したり、途中で消えることがあるために、計量値には奇数が含まれることになる。検討は、25cmグリッドで計量したのと同じ壁面スケッチ図を用いて、A面についてのみ行った。図-3.22に示すように、割れ目頻度が大きい部分は、2タイプおよび3タイプの割れ目の方向に配列している様子が分かる。また、2タイプおよび3タイプの割れ目に挟まれたくさび域で割れ目頻度が大きくなっている状況も読みとることができる。

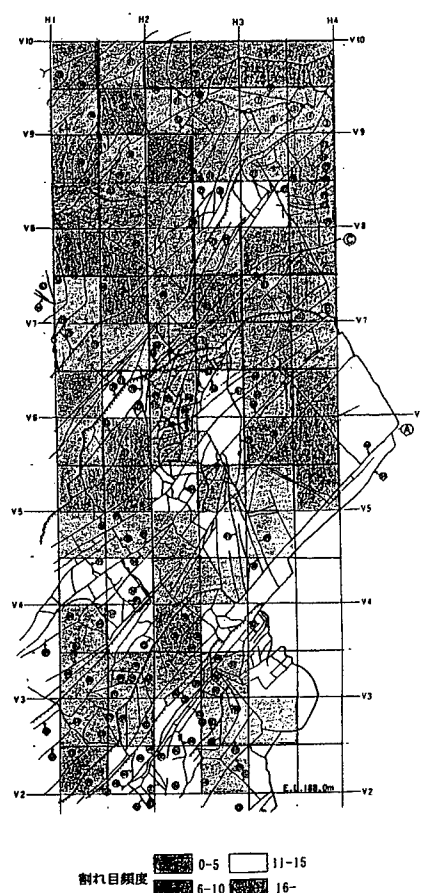
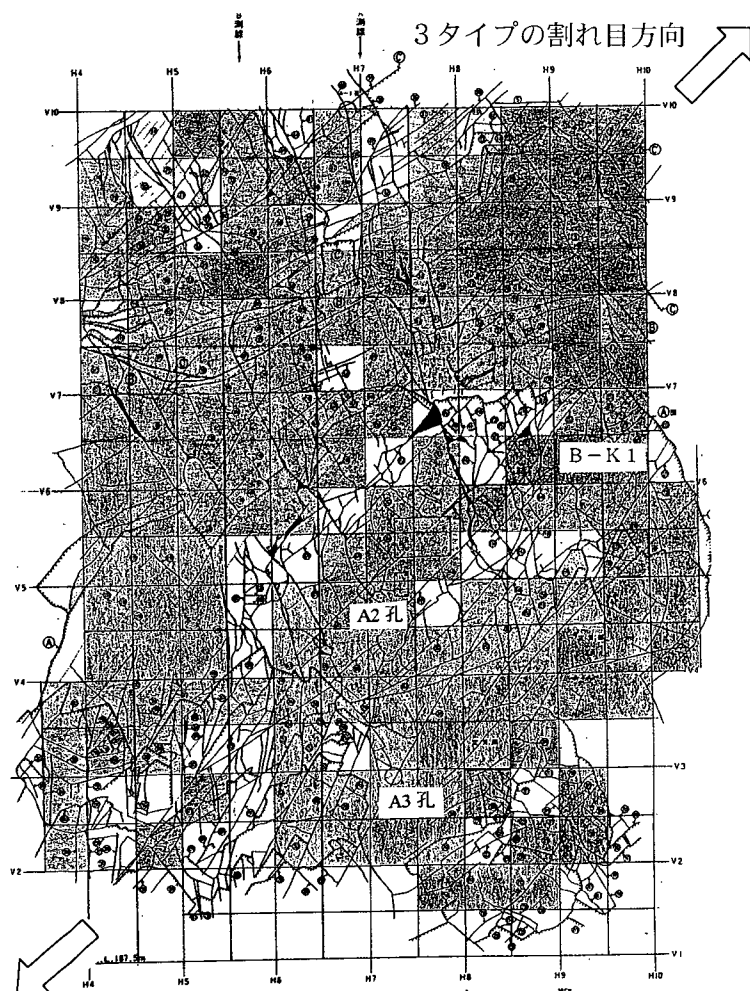


図-3.18 壁面スケッチ図における割れ目の頻度分布(南面) 図-3.19 壁面スケッチ図における割れ目の頻度分布(西面)

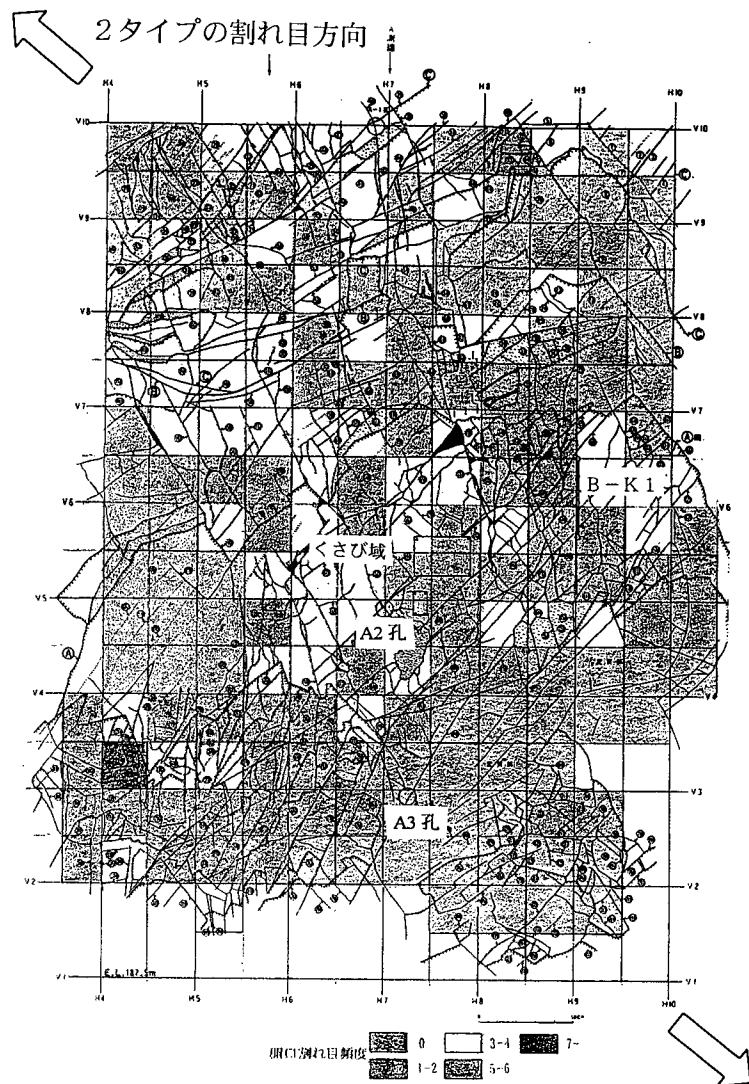
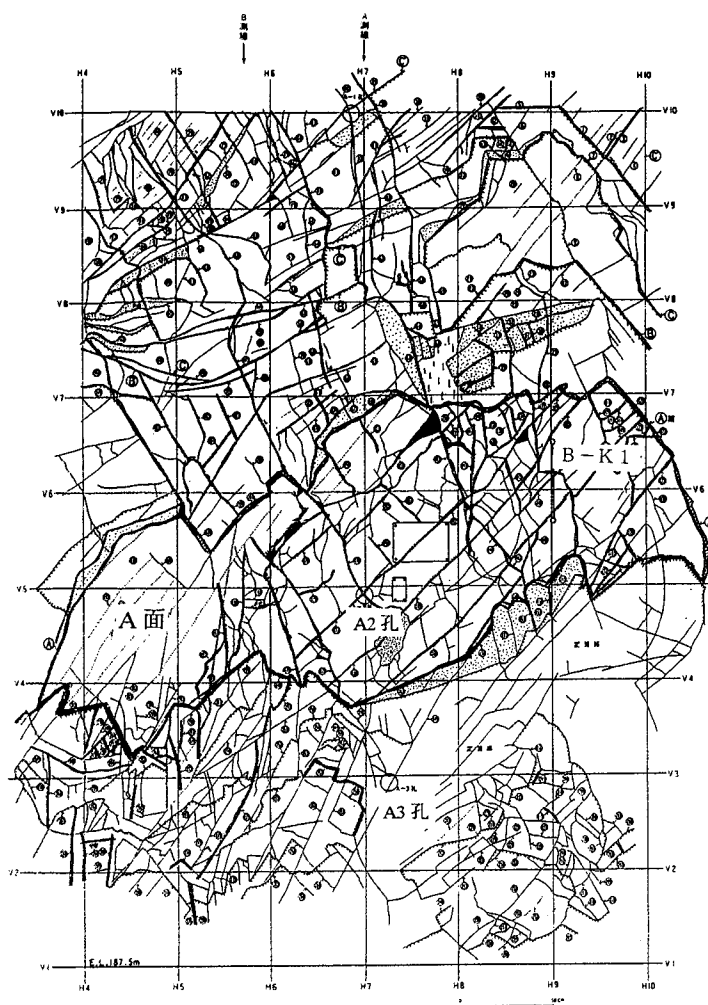


図-3.20 壁面スッチ図における開口割れ目（2mm以上）の分布 図-3.21 壁面スッチ図における開口割れ目（2mm以上）の頻度

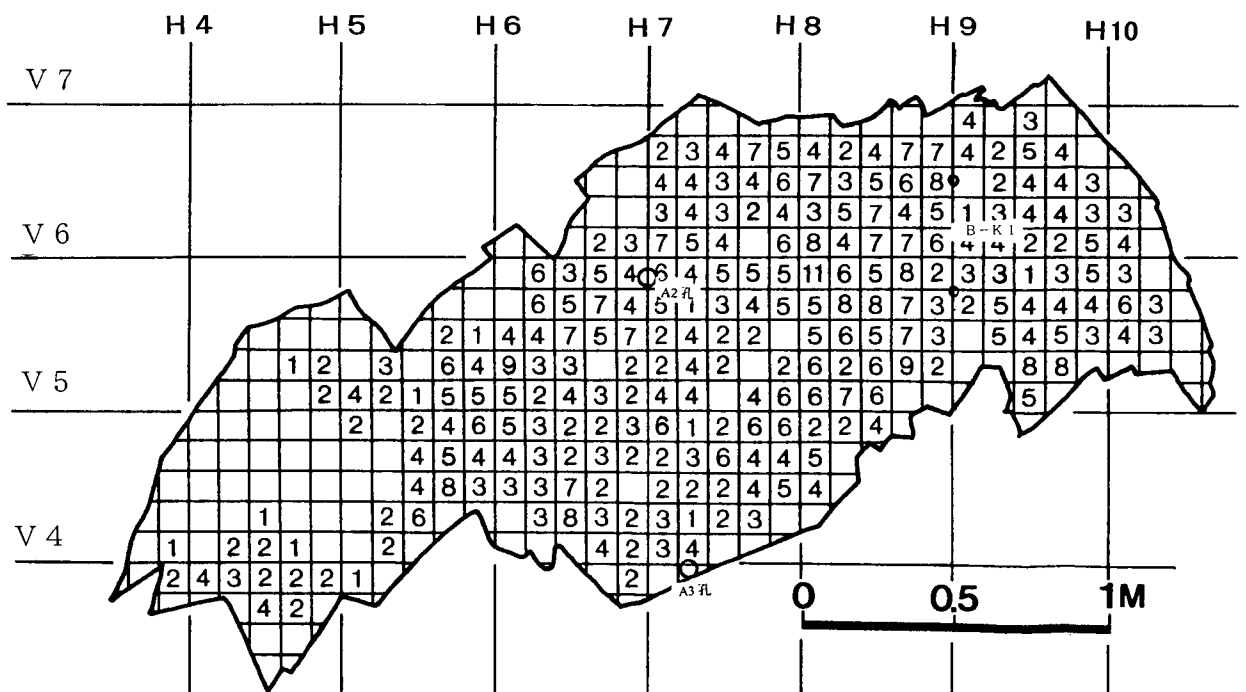


図-3.22 壁面スッチ図，A面における割れ目頻度図（10cm格子：計量法は本文参照）

以上の結果から、割れ目数は3タイプの割れ目に沿った方向に多いものの、開口割れ目数は2タイプの割れ目に沿った方向に多い。このことから、2タイプの割れ目に沿って開口が進んでいることが伺われる。また、A面壁面において、割れ目頻度は2タイプおよび3タイプの割れ目に規制されており、両者に挟まれたくさび域において割れ目の頻度が大きくなっている。

3. 1. 6 崩壊機構の推定

1) 崩壊形態

以上、当該斜面における割れ目詳細解析の結果、対象岩盤斜面南西面で生じる可能性のある崩壊形態はトップリング崩壊と考える。その理由は以下のとおりである。

- ①塊状硬質岩盤から構成され、円弧すべりの可能性がない。
- ②連続性のある割れ目は3方向（1～3タイプ）で、これらの割れ目を利用した崩壊が生じる可能性が高い。
- ③開口している深度は割れ目タイプにより異なり、1タイプおよび3タイプは深度1.5m以浅と浅く、2タイプは4mと深い。
- ④したがって、深度1.5m以深では1タイプと3タイプの割れ目を利用したくさび崩壊の可能性はない。
- ⑤対象岩盤斜面南西壁面に対して流れ盤となる連続性のある（1m以上）割れ目は存在せず、大規模な平面すべりの可能性はない。
- ⑥トップリング崩壊でも、軟質岩の板状岩盤が重力によって全体的に斜面下方にゆっくりと移動するたわみ性トップリングではない。

2) 解析A断面による崩壊機構の検討

簡易ボーリングおよびボアホールカメラ観察結果をもとに推定した解析A測線の断面図を図-3.23に示す。

[崩壊単位となるブロックの推定]

開口割れ目C'を斜面下方に延長すると、簡易ボーリングによるA-2孔、A-3孔とも、ほぼその延長線上に開口割れ目が分布し、これらの開口割れ目がC'に連続するものと考えられる。また、これらの割れ目以浅では1タイプの割れ目は多くが開口しており、B、Cなどの開口割れ目も同様に連続しているものと考えられる。したがって、開口割れ目C'で区画される範囲（厚さ約1.3m）が崩壊単位をなす柱状岩塊の幅と考える。

次に1タイプの開口割れ目の角度を見ると、斜面上部（A-2孔より上部）では約65° 斜面下部（A-3孔付近）では70～72° となっており、斜面上部で傾斜角が緩くなる傾向が認められる。すなわち、この岩塊が撓んでいることを示している。

A Line

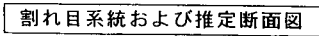


図-3.23 解析断面図における岩盤斜面挙動機構図

2タイプの割れ目は深部まで開口し、ブロック境界を形成しやすいと判断される。また、2タイプと3タイプの割れ目の交差線は平面的にくさび状の形態を呈し、2タイプの割れ目付近には湾曲した連続性に乏しい割れ目が多数発達し、岩体の荷重が作用することによる応力集中が生じやすい環境にある。よって、柱状岩塊のA-2孔付近での屈曲は、図-3.24に示す2タイプの割れ目と3タイプの割れ目の交差線付近と考えられる。

したがって、解析断面図上での崩壊单元として推定できる岩盤ブロックは、背面を1タイプのC'割れ目、両側面を2タイプおよび3タイプの割れ目で境されたブロック（図-3.24の斜線で示した範囲）と考えられる。

〔岩盤ブロックの安定性〕

崩壊单元とした岩盤ブロックは解析断面図や図-3.25のステレオネット図に示すとおり、2タイプおよび3タイプの割れ目の交差線が対象岩盤斜面の南西壁面に対して受け盤となり、くさび崩壊危険領域を $\phi=50^\circ$ とすると、崩壊危険範囲に属さず、常時にくさび崩壊を生じる可能性は極めて小さい。

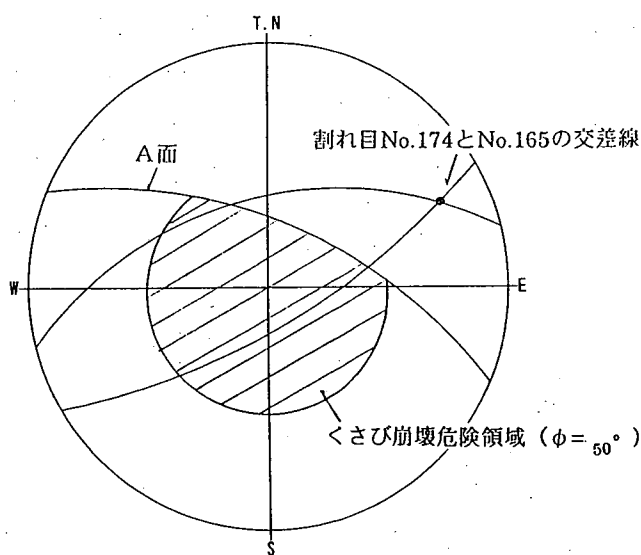


図-3.25 ウルフネット（下半球投影）図におけるくさび崩壊の検討

〔崩壊機構の推定〕

以上の検討から、実際に対象岩盤斜面が崩壊するためには、4タイプ（不規則で連続性に乏しく、斜面に対して流れ盤となる）の割れ目の発生が必要と考えられる。4タイプの割れ目は過去における斜面の崩壊面と思われる箇所の観察で見いだされているが、流理構造と斜交していることから、初生的に形成された弱層とは考えにくい。このタイプの割れ目の特徴は岩塊屈曲部のA-2孔で認められること、図-3.23に示したように、破壊面におけるこのタイプの割れ目（面）が全体として円弧状を呈することである。4タイプの割れ目の成因は、岩塊が屈曲する際の引張り応力によって形成された可能性が考えられる。また、破壊面の全体的な角度が 60° 前後と一般的な岩盤の引張り応力領域

(図-3.26)に相当するが、この点についてはあくまで推論に過ぎない。今回の検討結果から最も合理的な対象岩盤斜面の崩壊機構モデルを作成すると、図-3.27のように整理される。

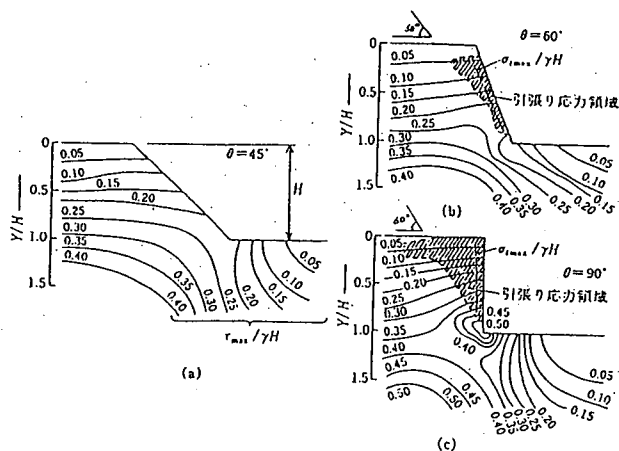


図-3.26 自由斜面の勾配の相違による斜面内応力分布の変化 (川本・林, 1978)

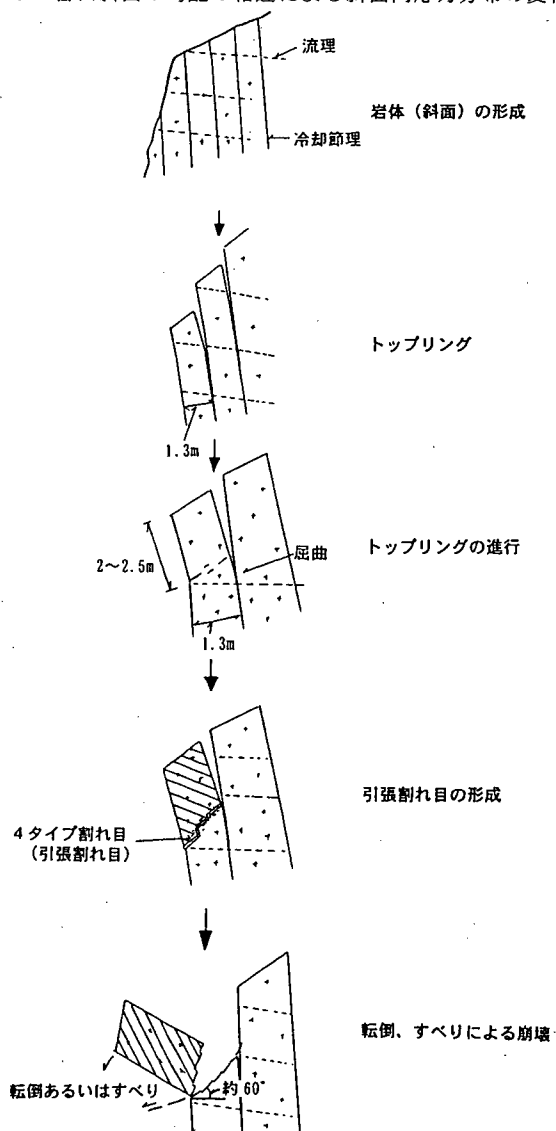


図-3.27 推定される対象岩盤斜面の崩壊機構図

3. 2 岩盤斜面における割れ目解析結果のまとめ

谷花地区岩盤斜面において挙動計測を行っている岩盤斜面の割れ目解析を行った結果、以下に示すことが分かった。

- (1) 岩盤斜面を構成する岩盤は、硬質岩に分類され、地山弾性波探査やロックシュミットハンマー試験結果から、表層部を除いた岩盤等級区分はCH級に属する。
- (2) 岩盤斜面南西面に認められるオーバーハング面を形成する開口割れ目の追跡によって、岩盤斜面挙動を規制する岩盤ブロックを①と②に区分した。
- (3) 岩盤斜面の割れ目の成因について、構成地質状況、割れ目形態の観察、方向性から検討した。
研究対象岩盤斜面における割れ目系は4タイプに分類することができる。1および2タイプの割れ目は流紋岩溶岩冷却時の収縮過程で形成された初生節理である。2タイプの割れ目はその形状や、1タイプの割れ目を変形させていることから、構造運動の影響を受けている可能性がある。3タイプの割れ目は初生構造である流紋岩の流理構造である流理面が、地表付近の応力集中もしくは解放による開口により形成された後生的な割れ目である。4タイプの割れ目は、不規則かつ連続性に乏しい割れ目であり、岩盤斜面南西面に対して流れ目をなす。このタイプの割れ目の成因は、岩塊のトップリングにともなう引張り割れ目と考えるのが妥当であり、後生的な割れ目である。
- (4) 岩盤斜面南西側壁面において詳細スケッチ(1/10)を実施した範囲で割れ目の頻度を検討すると、密着割れ目を含めた割れ目総数は3タイプの割れ目の方向に、開口割れ目の数は2タイプの割れ目の方向に卓越している。
- (5) 簡易ボーリングおよびボアホールカメラ観察結果より、1タイプと3タイプの割れ目の開口している深度は概ね1.5mと判断される。一方、2タイプの割れ目は深度4m以上まで、開口していることが分かった。また、1タイプの割れ目における傾斜角度の検討から、岩体は特定の位置で屈曲している。
- (6) ②ブロックについて崩壊单元となるブロックの抽出を行った。崩壊单元となる岩体の厚さは約1.3mであり、岩体の屈曲位置は2タイプと3タイプの開口割れ目の交差線付近と判断した。この開口割れ目で規制された岩塊についてくさび崩壊の可能性を検討すると、斜面形状との関係から、その可能性は極めて低いものと判断される。
- (7) 実際の崩壊には、連続性に乏しく、不規則に発達し、かつ岩盤斜面南西面に対して流れ盤を成す、4タイプの割れ目が連続して岩塊がトップリング、もしくはすべりにより崩壊するものと考えられる。
- (8) 現状では、検討した岩盤斜面壁面には、4タイプの割れ目が連続的に観察される箇所は、すでに崩壊した痕跡として認められるテラス状の壁面以外にない。このことは、現在は比較的安定した状態に本岩盤斜面があることを示している可能性がある。
- (9) 岩盤斜面の安定性は、連続性のある1タイプから3タイプの割れ目系の方向性から見て、くさび崩壊の危険性が小さいこと、岩塊のトップリングに関連するとみられる引張り割れ目である4

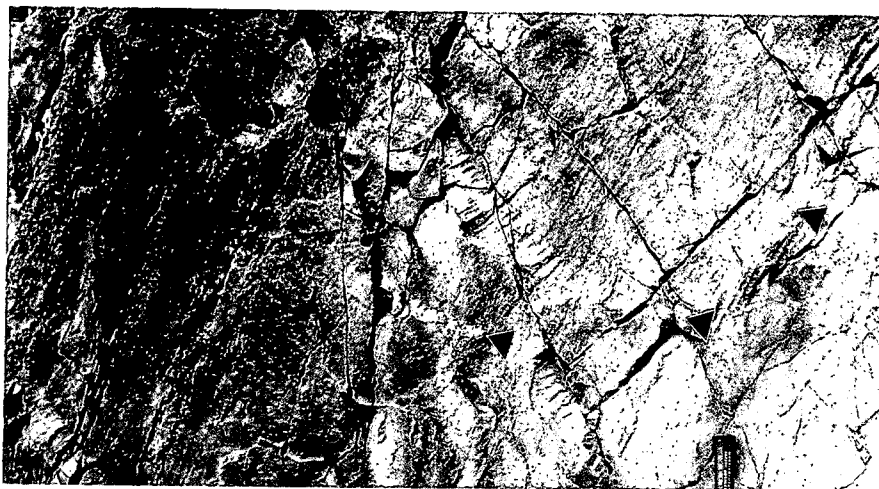
タイプの割れ目は、連続性に乏しく、不規則かつ分布量が小さいことから、地質学的な時間軸の中での岩盤斜面挙動は考えられても、現在の挙動量は非常にミクロ的であり、比較的安定した状態と判断するのが妥当である。

- (10) 岩盤斜面が不安定もしくは崩壊に至るための条件は、後生的な岩塊のトップリングに伴う引張り割れ目である4タイプの割れ目が連続性を持つことである。当岩盤斜面の不安定化には、岩片自体の強度は一軸圧縮強度で100Mpa以上を示すいわゆる硬質岩であることから、地震等の外的要因の作用が必要であろう。
- (11) 岩盤斜面の監視における着目点は、(10)で述べた4タイプ割れ目の状況の変化を定期的にチェックすることである。また、例えばA斜面の2タイプと3タイプの割れ目交差部には、岩片が弾けて抜けている箇所が存在する。このような部分には、圧縮性の応力が作用していると判断できる。よって、抜け落ちの状態のチェックが一つの手段であると考ええる。対象斜面においては、地震や豪雨後、あるいは融雪後等に、上記項目について現地チェックを行うことで、岩盤斜面の状態をチェックできる可能性があると考えている。

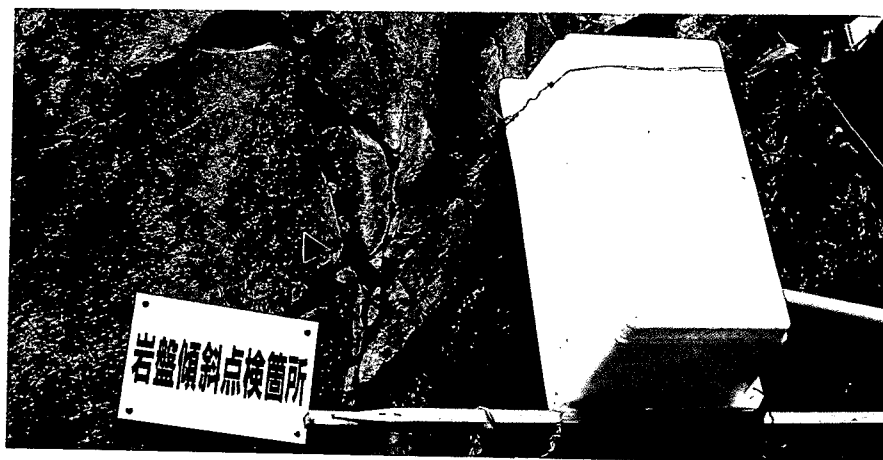
以上より、検討対象とした岩盤斜面の挙動機構および仮に今後崩壊する場合の機構について地質学的側面からの知見は得られたと考えている。しかし、岩盤斜面の挙動機構および崩壊機構には、降雨、降雪、着氷、地震、風の影響等の外因も大きく関与しているとする報告が、岩盤崩壊事故後の検討委員会報告などで示されている。また、岩盤斜面挙動のモデル化には岩盤力学的アプローチが必要不可欠である。また、検討した岩盤斜面の南西側壁面であるA斜面には、お椀型の破断面（写真－3.1）や、2タイプと3タイプの開口割れ目で囲まれたくさび部分に岩片が弾けて抜けている箇所（写真－3.2）が多く認められる。前者は過去に存在したA斜面前方の岩盤ブロックの崩壊に伴う破断面を示すものであると考えている。現状で当岩盤が崩壊する可能性は低いと考えられるが、非常に長い時間軸の中では、着実に微小な変形が進行していることを示すものである。

本調査地では、実際の岩盤斜面を至近距離で観察できるという好条件があり、岩盤斜面の壁面を1/10という高精度で観察、スケッチを実施できた。この作業で、1/10スケールで壁面の割れ目をスケッチし詳細な亀裂分布図を作成することができたが、より重要なのはその精度で割れ目を十分に観察することでその成因を考察することができたということである。

このような精度の高い観察に基づき地質学的な岩盤斜面のモデル化や機構解析を行うことは、岩盤斜面の安定性評価の一手法として有効と考えられる。



写真－3.1 A面に認められる三日月状の破断面の状況



写真－3.2 A面における2タイプと3タイプ開口割れ目に挟まれた箇所で見られる岩片の抜けた後の状況

4 まとめ

谷花地区における計測及び解析の成果をとりまとめると以下のとおりである。

〈計器計測〉

- ①岩盤斜面挙動計測データには明瞭な、1日周期が認められている。従って実際の挙動を捉える上で計器計測精度はこの変動幅（当地区の傾斜計で $0.01 \sim 0.02^\circ$ ）を考慮する必要がある。
- ②当地区の計測データの周期変動は温度依存特性が強い傾向がみられた。
- ③当地区の計測計器の温度補正後のデータにおいて、岩盤の熱膨張収縮を示すような温度データとの相関は見いだせなかった。
- ④計測データのFFT分析によって、日周期や月周期といった変動の周波数特性を知ることができる。しかし、実際の計測にあたっては、メンテナンス等による欠測が起こることが考えられることから、岩盤斜面監視手法としての実用性に問題が残る。
- ⑤本研究による計測データから判断すると、計測生データの経時グラフ及び計測データと温度データの相関図を用いて、当地区の岩盤斜面挙動を評価できる可能性があると考えられる。

〈割れ目解析〉

- ⑥岩盤斜面の割れ目状態を詳細解析することにより、対象岩盤斜面の挙動や崩壊機構が推定された。岩盤斜面は、マスとしてとらえると、あたかも弾性的な変形様式をとるように見える（例えば岩盤クリープ性の挙動）が、一般に岩盤斜面を構成する岩片自体は、脆性的な物理特性を有している。よって、岩盤斜面の変形には、割れ目が重要な役割を果たしていると言える。
- ⑦当地区の岩盤斜面を構成している割れ目をその方向性からタイプ分類し、その成因について明らかにした。すなわち、岩盤斜面形成時の初生的なものなのか、構造運動、あるいは地表付近での重力や応力集中や解放による後生的なものなのかについて検討を行った。その結果、岩盤斜面の変動範囲を規制する割れ目系の抽出を行い、崩壊單元（崩壊するであろう範囲）を特定した。
- ⑧研究対象とした当地区の岩盤斜面が崩壊するためには、4タイプと分類された岩盤斜面南西壁面に対して流れ目をなす割れ目系の存在が必要不可欠である。現状では、このタイプの割れ目は、過去の崩壊面と考えられる箇所認められる他は、壁面においては連続性に乏しく、その分布も少ない。よって、現状における対象岩盤斜面の安定性は確保されている可能性が高い。
- ⑨4タイプ割れ目の状況の変化を定期的にチェックすることは、当該岩盤斜面の挙動を監視する上では有効であると考ええる。また、例えばA斜面の2タイプと3タイプの割れ目交差部には、岩片が弾けて抜けている箇所が存在することから、このような部分には、圧縮性の応力が作用していると判断される。よって、抜け落ちの状態についてもチェックすることが有効であると考ええる。
- ⑩本研究の対象岩盤斜面は、B斜面で幅約15m、奥行き約5m、高さ約12mであり、計器が斜面に設置可能で、かつ壁面観察が可能な条件が整っている箇所である。したがって、高さ100mを越えるような大規模岩盤斜面に対する調査観測にはそのまま適用することはできないが、岩盤斜面の挙動や崩壊に至る計測データの蓄積や岩盤割れ目の解析による機構解析の手法自体は今後の岩盤斜面の挙動調査にも有効であると考ええる。

また、対象とした岩盤斜面(B斜面)は、計器計測データと割れ目解析の結果、比較的安定した状態であると判断される。よって今回の調査では、岩盤斜面の変動を明瞭に示すデータや崩壊に至るまでの変動の経緯、岩盤斜面壁面に観察される割れ目の進展様式等については検討が出来なかった。このことから、今後は同様の手法による各地の岩盤斜面の調査事例を増やすことが重要であると考えられる。

おわりに

研究対象としている谷花地区岩盤斜面は、岩盤斜面の挙動について計器計測しているが、このように岩盤斜面の挙動がモニタリングされている岩盤斜面において詳細な地質構造解析を行った事例はない。このことから、今回、貴重なデータが得られたと考える。

本研究を行うにあたり、建設省北陸地方建設局新潟国道工事事務所の方々には、現地調査に際して様々なご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 豊浜トンネル崩落事故調査委員会：豊浜トンネル崩落事故調査報告書，1997
- 2) 社団法人土木学会：大規模岩盤崩壊に関する技術検討委員会報告書，1997
- 3) 建設省道路局監修：道路防災点検要領，（財）道路保全技術センター，pp.46-63.1996
- 4) 門間敬一，小嶋伸一，小林豊，山口正和：新潟県三川村谷花地区における岩盤斜面動態観測，砂防学会研究発表会概要集 pp.61-62，1998
- 5) 金属鉱業事業団：広域調査報告書「蒲原地区」，1979
- 6) 社団法人土木学会：岩盤斜面の安定解析と計測 pp. 345，1994
- 7) Varnes, D.J: Slope movement types and processes, Landslides: Analysis and control (Robert, L.S., Raymond, K., ed.), T. R. B., Special Rept., No.176 pp. 11-33.1978.
- 8) 日野幹生：スペクトル解析，朝倉書店. p.300，1977
- 9) 一般国道305号岩石崩落災害調査委員会：一般国道305号岩石崩落災害調査報告書，1990
- 10) 第二白糸トンネル崩落事故調査委員会：第二白糸トンネル崩落事故調査委員会報告書，1998