

◆ 特集 土砂災害を防ぐ ◆

傾斜計と伸縮計を用いた岩盤斜面挙動計測

小林 豊* 小嶋伸一** 門間敬一***

1. はじめに

岩盤斜面の安定性評価、特に防災管理上の危険予知・予測手法検討のために、その挙動計測技術の確立は必要不可欠である。しかし、一般に岩盤斜面の挙動は微弱であり、地すべり等に比べ、挙動計測事例が極端に少ない。このため、実岩盤斜面への計器計測の適用に関する技術的な検討が進んでいないのが現状である。

平成 8 年 2 月の北海道豊浜トンネル坑口部で発生した岩盤崩壊事故後に土木学会に組織された大規模岩盤崩壊に関する技術検討委員会報告書¹⁾では、過去の岩盤斜面挙動計測事例の収集が行われており、事例数は国内で 8 箇所(14 文献)である。事例の大半は岩盤地すべりであり、設置している計測器は地盤伸縮計が多い。一方報告書でとりまとめた過去の岩盤崩壊事例は国内だけでも 69 箇所に達し、岩盤斜面挙動の計測事例は崩壊数に比べ絶対的に少ないので現状である。また、崩壊形態としては岩盤すべり形態が約 70% に達している。委員会では大規模岩盤崩壊の発生機構と予知・予測に関する調査研究の推進を提言の 1 つとしており、岩盤斜面の計器によるモニタリングを実施し、データの蓄積と分析を行い、岩盤斜面の挙動を的確に把握する機器やシステムの開発をする必



図-1 計測箇所位置図

Behavior Measurement on a Rock Slope Using Inclinometer and Extensometer

要性を示している。

急傾斜地崩壊研究室では、平成 7 年 10 月より、新潟県東蒲原郡三川村谷花地区の新第三紀流紋岩貫入岩体から構成される急峻な岩盤斜面において岩盤斜面挙動計測を実施してきた。本文では、当地における計測結果を示し、岩盤斜面挙動把握への計器計測の適用性について検討を行う。

2. 計測地の概要

計測地は、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)。当地は津川盆地西縁の開析谷を形成し、新第三紀流紋岩の貫入岩体が分布することによる急峻な地形を示す²⁾。計測地は、この急崖の中腹部に位置する。計測対象岩盤斜面は、幅約 15m、奥行き約 5m、高さ約 12m の岩盤斜面であり、岩体形状の詳細把握と地質構造に関する詳細な調査を実施している。岩盤斜面スケッチ図を図-2 に示す。岩盤斜面には、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

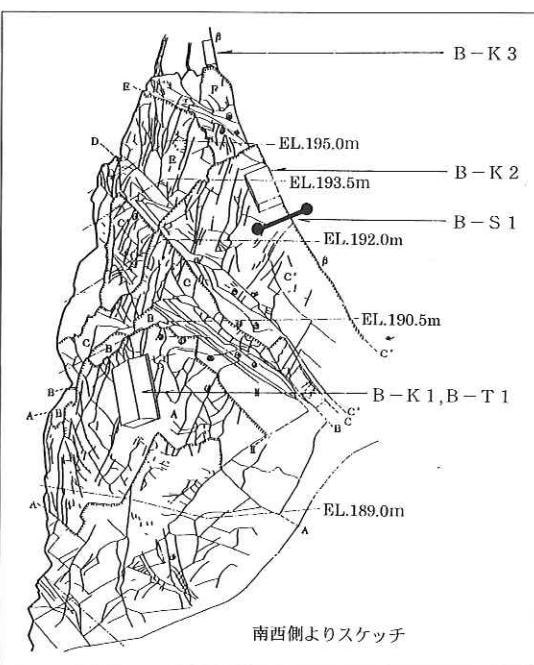


図-2 B 岩体スケッチ図

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、1本の線構造と、3つの面構造から構成されている。これらは、地質的な初生構造であると判断される。線構造として、流紋岩貫入岩体貫入時の流理構造が認められる。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。

割れ目面構造(走向と傾斜)214サンプルをシュミットネット図(図-3)に投影すると、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。

岩盤斜面を構成する岩石の室内岩石試験結果を表-1に示す。構成岩石は高一軸圧縮強度と高圧

裂引張強度を持つ。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く、岩盤斜面の挙動は岩体に存在する不連続面としての割れ目を介して生じるものと判断される。そこで、岩体の割れ目調査結果から研究対象岩体の挙動機構について検討することにする。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-4)。岩盤斜面南西壁面には、N50~70°W走向で、北に60~70°傾斜するオーバーハング面が明瞭に観察される。このことから、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。

3. 動態観測システムの構成と計測結果

3.1 動態観測システムの構成

岩盤斜面動態観測システムは、地盤傾斜計、地盤伸縮計、温度計から構成される。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。観測計器(表-2)は、地すべりや構造物変位計として一般に用いられているものであり、岩盤斜面用に新たに開発したものではない。温度計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。温度計B-T1は地盤傾斜計B-K1設置場所の温度を計測しており、これをもって、岩盤斜面の計器温度を代表させている。よって、本研究では気温の測定は行ってい

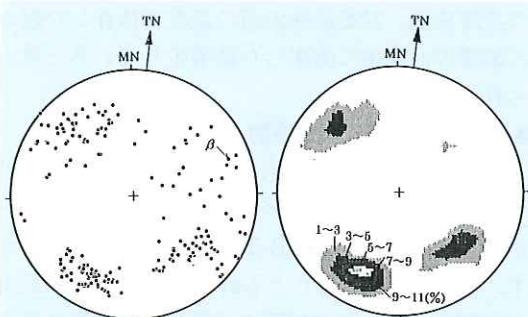


表-1 室内岩石試験結果

試料番号		1	2
見掛け比重(自然)	g/cm ³	2.39	2.40
見掛け比重(乾燥)	g/cm ³	2.37	2.68
見掛け比重(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	ρt g/cm ³	2.376	2.381
一軸圧縮強度	qu MPa	147	170
静ポアソン比	νs	0.239	0.254
静弾性係数	Es MPa	5,230	4,710
圧裂引張強度	σt MPa	1.39	0.91
超音波速度(自然・P波)	Vp m/s	4,340	4,360
超音波速度(自然・S波)	Vs m/s	2,280	2,280
動ボアソン比	νd	0.310	0.300
動せん断弾性係数	Gd MPa	1,240	1,240
動弾性係数	Ed MPa	3,240	3,210

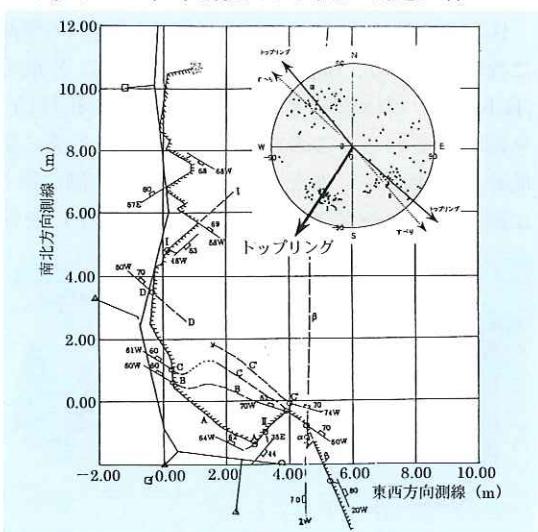


図-4 岩盤斜面挙動機構スライス図

表-2 設置計器一覧表

計測機種	仕様
地盤傾斜計	測定範囲: -5~5°(1成分型) 出力: $4,000 \times 10^{-6}$ ひずみ 非直線性: ±1%RO
地盤伸縮計	測定範囲: 200mm/回転(エンドレス) 出力: 1,000~5,000Hz 電気的分解能: 5μm/Hz 直線性: ±0.8%FS
温度計	測定範囲: -30~70°C 出力: 100×10^{-6} ひずみ 測定誤差: ±0.3°C
データ収録装置	入力チャンネル: 4ch、12ch 測定間隔: 3min~10day メモリ容量: 64kB

ない。計測間隔は、計測開始当初の約2ヶ月間は30分間隔、その後は2時間間隔としている。

3.2 計測結果

各計測器データの計測結果について述べる。

(1) 地盤傾斜計

B-K1~3の3基を設置している。各計器とも1日周期の変動を繰り返している。B-K1Yは、冬季にプラス側に約0.1°傾動する変動を過去3年間繰り返している。

(2) 地盤伸縮計

B-S1を設置している。累積傾向のある変位は記録されていない。

(3) 温度計

10~15°C前後の日周期変動と、-5°C前後~40°C弱の年周期変動を記録している。

4. 計測結果の解釈

B-K1は図-5に示すように、N44°W走向の壁面に設置しており、壁面にほぼ平行な方向にX成分(B-K1X)、ほぼ直行する方向のY成分(B-K1Y)を測定している。このうちB-K1Yは、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

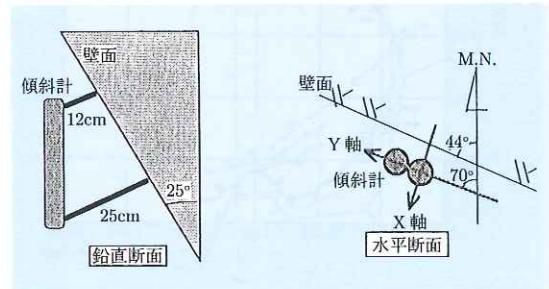


図-5 地盤傾斜計 B-K1 設置状況

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変動を示す。変動幅は約0.1°である。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ている。B-K1を基準に、計測データの解釈を試みる。

4.1 岩盤斜面挙動の計器計測精度

観測データは振幅約0.01~0.02°、周期1日の固有変動を繰り返している。地盤傾斜計自体の分解能は0.0025°である。しかし、岩盤斜面の有意な挙動と見なすデータはこの1日周期の変動幅を超えるものでなければ検出されないことになる。このことは、現地計測における測定分解能は、この1日周期の変動幅であり、計器自体の精度から1オーダー低下することを示す。

温度データと比較すると、地盤傾斜計データの変動パターンは形状が近似し、計測機器の温度特性が現れている可能性が高い。さらに1日周期のデータの変動要因は、計測機器自体の温度特性の他に計測器設置のジグの温度特性、ジグと岩盤との設置状況、岩盤斜面表面の温度に依存した緩みの影響等が複雑に関連した結果生じていると考えられる。

4.2 温度補正による検討

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、1309データ)を用いたB-K1とB-T1の相関図を図-6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。この相関を計器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-7に示す。補正後の経時グラフによると、計器の温度特性によると考えられる1日周期変動幅が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周期のノイズが認められる。これは、傾斜計と温度計の分解能に対する計測データの1日

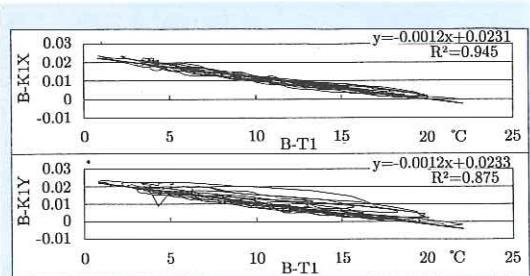


図-6 B-K1 と B-T1 相関図

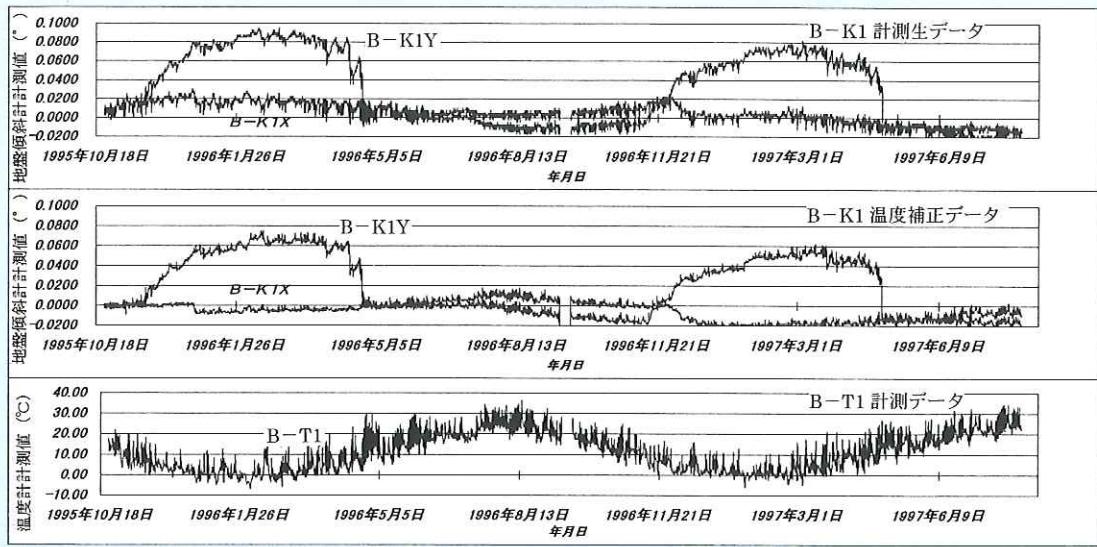


図-7 B-K1 計測正データ及び温度補正データ経時グラフ

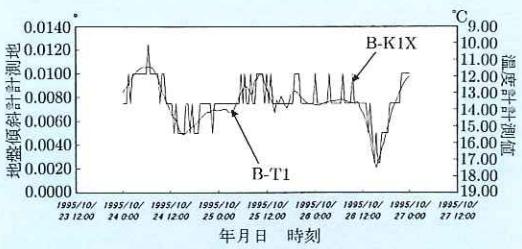


図-8 B-K1X と B-T1 のデータ拡大図

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-8 に示すように 1995 年 10 月 24~26 日の 3 日間の B-T1、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、温度補正データにノイズが残るものと考えられる。温度補正後の変動幅は地盤傾斜計の分解能の 2 倍 (分解能=0.0025°) 程度である。

4.3 計測データー計器温度相関図による検討

観測結果から、B-K1Y には、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-9)。1 日周期のはば同勾配のループは、計測機器自体の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

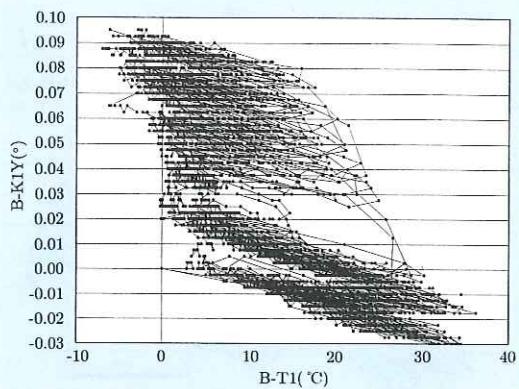


図-9 B-K1Y と B-T1 の相関図

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。この方法により、岩盤斜面挙動の有無を判定することが可能であり、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。

5. 計測結果から見た岩盤斜面の安定性

計測結果から、B-K1Y は冬季にプラス側に約 0.1° の傾動を観測しているが、春期にもとの値に戻っていること、これまでの 3 年間同じ挙動を示していることから、一種の年周期変動と考えている。図-10 に B-K1 設置岩盤壁面の詳細スケッチを示す。壁面スケッチは 1/10 の精度で実施している。B-K1 設置地点の岩盤壁面には、斜面に向かって左方 (NW 方向) 傾斜と右方 (SE 方向) 傾斜の割

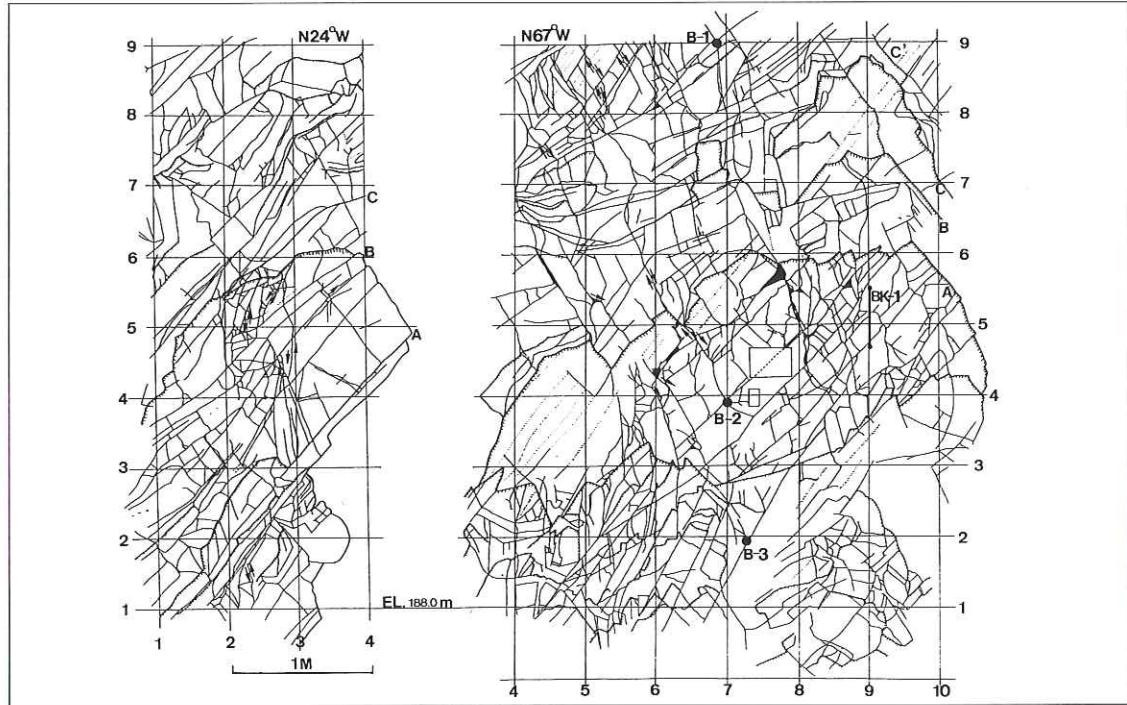


図-10 B-K1 設置壁面スケッチ図

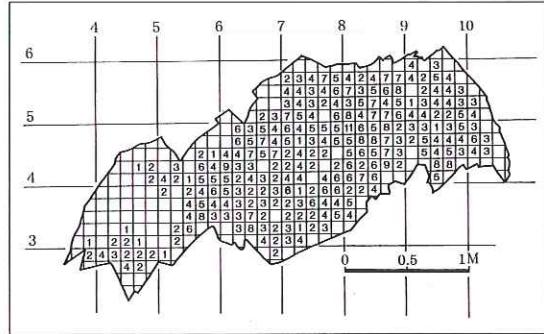


図-11 B-K1 設置壁面割れ目密度図

れ目が卓越している。B-K1 は壁面上部に設置しており、その周辺の割れ目は 1~2mm 程度の開口を示している。B-K1 設置壁面の割れ目密度について検討する。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。割れ目が連続的かつ直線であれば、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。壁面の割れ目分布は均一でなく、壁面右側に集中的に分布することが分かる。B-K1 は、この壁面の割れ目が多い部分に設置してあり、また壁面上部に位置する。観測地は降雪地帯であり、冬季に

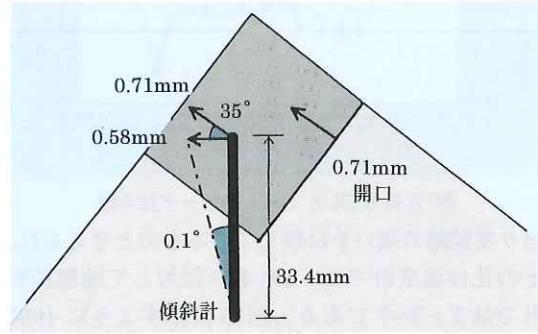


図-12 B-K1 設置箇所周辺割れ目変位の推定

岩盤斜面に着雪する機会が多い。このため、割れ目内に浸透した融雪水等が凍結することによる局所的な挙動である可能性が高い。すなわち、融雪水凍結により、割れ目が解放方向である壁面上方に拡大する事により、B-K1Y の傾動が生じているものと考えている。ここで、B-K1 設置箇所周辺の割れ目を用いて計測した傾動量から、割れ目の開口量を算出する。計測結果によると、冬季の傾動量は 0.1° 程度である。図-12 に示すように B-K1 を設置した 2 本のボルト間隔は 33.4cm であり、このスパンが 0.1° 傾くということは、上のボルト位置が下のボルト位置に比べ左側に 0.58mm 変位していることになる。このとき割れ目自体の変位量は 0.71mm 程度の開口となる。この割れ目は

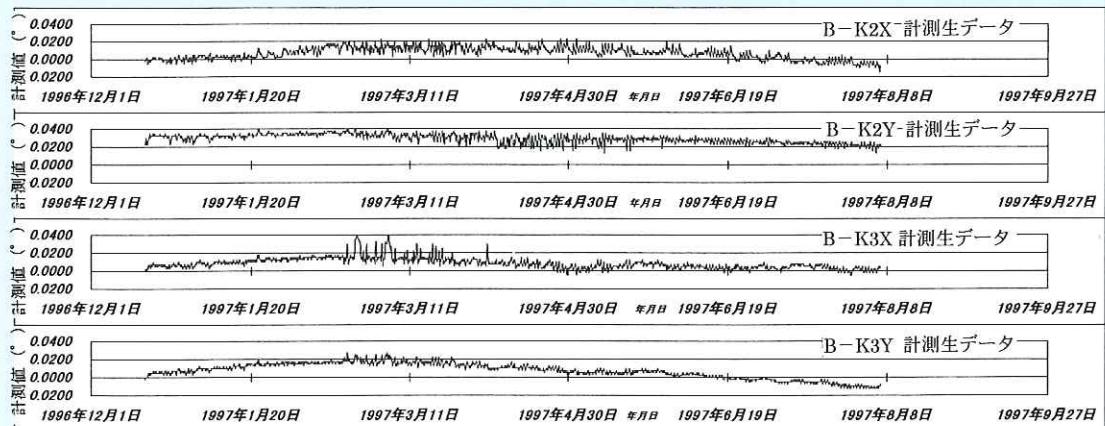


図-13 B-K2、3 経時グラフ

約2mm開口しており、この程度の変位量はあり得ると判断する。B-K2及びB-K3は割れ目が少なく、比較的大きな壁面に設置している。計器データは、日周期変動幅を越えるような顕著な変動を示していない(図-13)。計測結果から見る限り、B-K1周辺の局所的な挙動以外、岩盤斜面の有意な挙動データは認められない。

6. 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、岩盤斜面挙動を捉えるまでの計器計測精度はこの変動幅(傾斜計で0.01~0.02°)に相当する。
- (2) 計測データの1日周期変動は計器自体の温度依存特性を強く反映していると考えられる。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、この変動幅を抑制できる。
- (3) 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) 岩盤斜面監視においては、計測生データ、温度補正データ、計測生データと計器温度データの相関図により、岩盤斜面挙動の有無を検証できる。

(5) 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。今後、岩盤斜面挙動を判定する基準を検討するためには、各地の岩盤斜面における計測データを増やしていく必要がある。

最後に、新潟国道工事事務所の関係各位には計器設置に際し便宜を図っていただき、ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 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,p.109,1997
- 2) 金属鉱業事業団:広域調査報告書「蒲原地域」,1979

小林 豊*



(前) 急傾斜地崩壊研究室
交流研究員
Yutaka KOBAYASHI

小嶋伸一**



建設省土木研究所砂防部
急傾斜地崩壊研究室研究員
Shin-ichi KOJIMA

門間敬一***



同 急傾斜地崩壊研究室長
Keiichi MONMA