

## トータルステーション測量による徳島県西井川地すべりの挙動解析

森 格\*・笠井 康佑\*・井上 新平\*\*・海堀 正博\*

\*広島大学総合科学部

\*\*広島大学大学院生物圏科学研究科

### Analysis of the Landslide Behavior with the Total Station Survey in Nishi-Ikawa, Tokushima Prefecture, Japan

Tadashi MORI\*, Kousuke KASAI\*, Shinpei INOUE\*\*, Masahiro KAIBORI\*

*\*Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University*

*\*\*Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University*

**Abstract:** Total station surveying has been done to find out spatially the landslide behavior at the Nishi-Ikawa landslide area in the Tokushima Prefecture. Firstly, errors which were able to enter this surveying have been checked and evaluated in order to grasp correctly the landslide behavior by this surveying method, if human errors could be kept minimum. However, the authors found that the surveying result involved errors even in the each careful set up of the instrument and that obtained 3-dimensional coordinates could be not directly utilized to analyze the landslide behavior. Also, the surveying could be made only in the season from the late autumn to early spring due to the vegetation obstruction. However, it was clarified that the change of the distance between the instrument site and each observed point and the change of the distance among the instrument sites in each surveying could be used to grasp the landslide behavior. From the analytical consideration of the surveying data, the following things were clearly pointed out:

- (1) There was a compressive tendency on the total area of the Nishi-Ikawa landslide slope.
- (2) The landslide area consisted of five blocks.
- (3) The uppermost block moved downwards onto the lower block, and the three middle blocks seemed to be pushed to the outer sides.
- (4) The road construction with the cutting and filling in 1999 seemed to be not effective to the recent landslide behavior.
- (5) The landslide behavior around the foot part of the lowest slope could not be prevented by the countermeasure with the existing retaining wall only.

**キーワード:** 座標測量、地すべり、測量精度、トータルステーション、面的挙動

**Keywords:** Coordinate surveying, Landslide, Spatial behavior, Surveying accuracy, Total station

## 1. はじめに

国際的には「landslide」という用語は「fall (落下現象)」「topple (転倒現象)」「slide (滑動現象)」「lateral spread (横方向の拡大現象)」「flow (流動現象)」およびこれらの複合的な現象である「complex」のおよそすべての土砂移動現象を含むものとして解釈される傾向がある (たとえば、Varnes, 1978; Cruden and Varnes, 1996; Cornforth, 2005)。しかし、日本においては発生場の抽出や対策手法をより合理的に行うために、一般には「地すべり」を粘土質のすべり面をもった「滑動現象」で、「崩壊」とは区別される土砂移動の一形態として扱われる場合が多い (たとえば、渡, 1971; 駒村, 1992)。本論文で扱う「地すべり」も狭義の意味に使うものとする。

一般に、地すべりの上部においては沈下・陥没傾向が、下部においては隆起・押出しが現れ、その結果として、地すべり土塊の地表面形は傾斜が緩くなる。地すべり土塊とその外部の境界部において、上部では引張亀裂が、下部では圧縮亀裂が、また、側面ではせん断亀裂が見られることも容易に理解できる。これら地表部に現れる変化を的確にとらえることにより、地すべり挙動を大きな災害に至らせない取組みが早くからなされてきた。代表的な計測手法としては、伸縮計・傾斜計・ボーリング孔内傾斜計・せん断変位計等を地すべり地に張りめぐらせて地すべり挙動を監視する方法である。また、近年では、経費が高額であったり精度上の問題もあるが、人工衛星を使ったGPS測量 (たとえば、佐々, 1995)、航空機搭載型あるいは地上設置型レーザスキャナを用いた測量 (たとえば、関口ら, 2003)、高解像度人工衛星画像によるモニタリング (たとえば、清水ら, 2003) なども行われている。地すべり挙動が大きな災害に至る危険性がある場合には、これらを含むより多くのセンサーが大きな地すべり挙動の疑いのある場所に適用され、継続的に計測・監視がなされる。しかし、通常はせいぜい数本の伸縮計が設置されるだけの現場も多い。伸縮計は2本の杭の間にインバー線を張って、杭間の距離の変化を計測するものである。その区間の変状が鍵であるような引張亀裂をはさんで設置された伸縮計には、最終的な地すべり土塊の滑落挙動が非常にきれいに捉えられるのだが、地すべり土塊のどの亀裂が重要な境界部となるものなのかを早い段階で見出すことは困難である。重要な地すべりであれば多数の伸縮計を設置することができるが、通常は経費の制限もあり簡単には増設できない。

伸縮計の計測を補うものとしては、トータルステーション測量による地点間の挙動をもとに地表の変化を面的に捉える方法が考えられる。トータルステーションは光波を使った測距・測角機器である。地表の測点間をトータルステーションにより三次元測量することによって、地すべり挙動の特徴である陥没や引張、押出しや圧縮などが測量の結果にうまく捉えられれば、地すべりの範囲や活動性を知れる可能性がある。

そこで、徳島県三好郡井川町にある西井川地すべりエリアにおいて1999年以降くり返し行っているトータルステーション測量データをもとに、地すべり挙動を解析することにした。

## 2. 西井川地すべり地について

西井川地すべり地は徳島県の西部、三好郡池田町と井川町の境界部にあり、中央構造線に沿って東向きに流れる吉野川の右岸側の北西方向斜面に位置する。地質は三波川帯に属し、灰色の泥質片岩が主であるが、白色の珪質片岩や緑色片岩なども見られる。地表部にはこれらが風化し酸化して形成されたと思われる赤茶色の粘性をもった土層も分布している。土層の下部に現れる岩は地すべり挙動の影響もあるからであろうが比較的風化が進んでいてハンマーで容易に壊すことができるほどのものが

多い。

地すべりの大きさは、幅が約100m、長さが約200m、平均傾斜が約19°である。地すべり地の植生は、中央部から下部にかけての比較的傾斜の緩いところは落葉広葉樹林、上部の傾斜が急になるところは人工のスギ林となっている。測量を行っている地すべり地は地形図から見ると比較的小さな流域のなかに存在している。この小流域の最高標高は436m、幅は約250m、長さは約700mである。しかし、背後には標高822.6mの五ノ丸山など700~800m前後の山々が連なり、付近一帯が地すべり挙動を示している地帯であることから、流域境界が明瞭に固定されたものとは考えにくい。すなわち、現在の地表地形から得られる集水範囲や流域の概念は必ずしも長期間にわたってはあてはめられないように思われる。

この地すべり地においては京都大学防災研究所により早くから種々の計測がなされてきた（末峯，1999；新井場・末峯，2000）。特に、地表面の形状変化を捉える目的で、伸縮計や傾斜計が数列、各測線上に3~数本が連続して設置され観測されている。伸縮計は計器の張られた2点間の伸縮の情報を非常に精密に捉えてくれるが、面的に地すべり地に現れる挙動を見るには地表面上にいくつもの伸縮計を張りめぐらせることが必要になる。また、2点間をインバー線をつないで計測しているので、動物の行動や植生の成長過程でインバー線に地すべり挙動とは無関係の衝撃が入ってしまうこともあり、維持管理の作業はかなりたいへんなものとなる。

また、この地すべり地の脚部には工場および山側に駐車場があり、その造成の際、地すべり土塊の脚部を一部切土した形となっている。したがって、安定化を図るために脚部に井桁よう壁が設置されている。しかし、井桁よう壁には明らかに骨組に変化が見られることから、よう壁が作られた後にも地すべり脚部には局所的に押出しや沈下のあったことがわかる。これらの変化が現在も継続しているとすれば、その大きさはどのくらいであるのか、また、どのような場合に変化が生じているのかを知ることが非常に重要である。

### 3. 用いた器械と測量方法

筆者らが使用したトータルステーション（ソキア製SET3100S）は、測角精度が3"、測距精度は $\pm(2+2\text{ppm}\times D)\text{mm}$ である。観測地における測点間距離Dを70m以下としたことによって、上記の測角・測距精度から直接測量している測点間については十分に高い精度で座標測量が可能であるといえる。

なお、トータルステーション測量における人為誤差の要因には下記にあげるものがある。

- (a) 器械の据え替えにともなう誤差
- (b) 視準高（反射プリズム高）による誤差
- (c) 反射プリズムを正対させなかったときの誤差
- (d) 座標算出にともなう四捨五入による誤差

まず(a)については整準・求心がずれることにより座標がずれる可能性があり、また器械高をコンベックスで手観測し入力しているため精度良い測量には限界がある。(b)は反射プリズムの設置位置が高ければ高いほど、円形気泡管の感度にも限りがあるため誤差が大きく生じてしまう。(c)は反射プリズムを正対させなかったことにより視準する十字線が測点からずれてしまうことにより生じる誤差である。(b)、(c)はともに測点上の誤差であるため1mm以上のオーダーで直接座標に影響を与えてしまう（海堀，2000）。(d)については座標値を四捨五入することにより1mm単位で表示しているため、常に測定値が0.5mm以下の誤差を含んでしまう。これらの誤差が蓄積されてトラバースにおける閉合差とし

て現れるものと考えられる。

(d)を除く(a)(b)(c)の誤差の要因については、くり返し測量を行った経験から次のようにすることで十分に1mm精度の測量ができることを確認した。すなわち、(a)については、器械設定時にX軸方向、Y軸方向とも水平からのずれを10"程度以下に調整すること、器械高を後視点で確認しつつ設定し直すこと。(b)については、できる限り測点に近い低い位置で、かつ間違いの少ない0.100m高さで反射プリズムをつけることを標準とすること。(c)については、観測者の指示のもと、水平方向、上下方向ともほとんど完全に正対させること。ただし、(d)については四捨五入による切り上げ、切り下げのためどうしても1mm前後の変動が起こりえた。

測量にあたり、図1に示すように合計64箇所の測点を設けた。このうち13箇所は器械点であり、それ以外は反射プリズムだけを設置する測点である。測量時期は枝葉の影響の少ない11月中旬～12月上旬(秋期)と2月下旬～3月下旬(春期)の2時期とした。

図1にもあるように、器械点のうち測点K0を固定座標(0.000, 0.000, 175.000)とし、もう一つの測点0との間でX軸、Y軸、Z軸の設定を行うことにした。座標軸を器械に認識させた後はそれぞれの測点へ順に反射プリズムを設置し、誤差が入らぬよう注意しつつ座標測量を行った。また、測量データの解析精度をより向上させるため、直接視準した測点間の水平距離の生値(0.1mm単位で、入力値の影響を受けない)をデータシートに転記し、その後自動的に四捨五入されたメモリー上の座標値(1mm単位)の検討に用いることを心がけた。なお、測定は精密測定5回の平均値が座標値として出力されるように設定した。

この方針で、全ての測点について座標測量を行った。

## 4. トータルステーション測量の結果と地すべり挙動の考察

### 4.1 結果の考察にあたっての方針

トータルステーション測量の結果は1999年11月から2004年12月までのものがあるが、それぞれの測量時においてトラバースの閉合差が異なるため、単純にXYZ座標を比較することは難しい。そのため斜距離と鉛直角のみにより算出されるため一回の測量精度が一様とみなせる、直接視準した測点間の水平距離をXY座標から算出し変動を分析する。また各器械点間の関係はトラバース調整した座標値から斜距離を算出し変動を分析する。なお、トラバース調整はトータルステーション測量において測角と測距の精度が非常に良いため、閉合差を各測線の長さに比例して分配するコンパス法則を用いる。

直接視準した測点間の水平距離と器械点間斜距離を用いるとき、経年変化とともに最も挙動が顕著であり測量方法の安定していた2004年を参考に挙動を比較することにした。

### 4.2 直接視準した測点間の水平距離の変化からの解析

上記のようにトータルステーション測量ではXYZ座標を使用できるメリットがあるが、トータルステーションそのものが座標値を四捨五入するため1mm前後の精度しか得られない。また実際の測量においても偶然誤差によりXYZ座標が1～2mmの変動をきたすことから、XY座標から算出される直接視準した測点間の水平距離が3mm以上変動した場合、誤差ではなく地すべり挙動として考えることにする。

全期間にわたって概ね一様な伸縮傾向の挙動が認められた(図2-1、図2-2)。特に挙動の顕著だった2004年2月から12月の期間にかけて、夏季を挟む測量のデータを利用した(表1)。また、その結果を図3に示す。

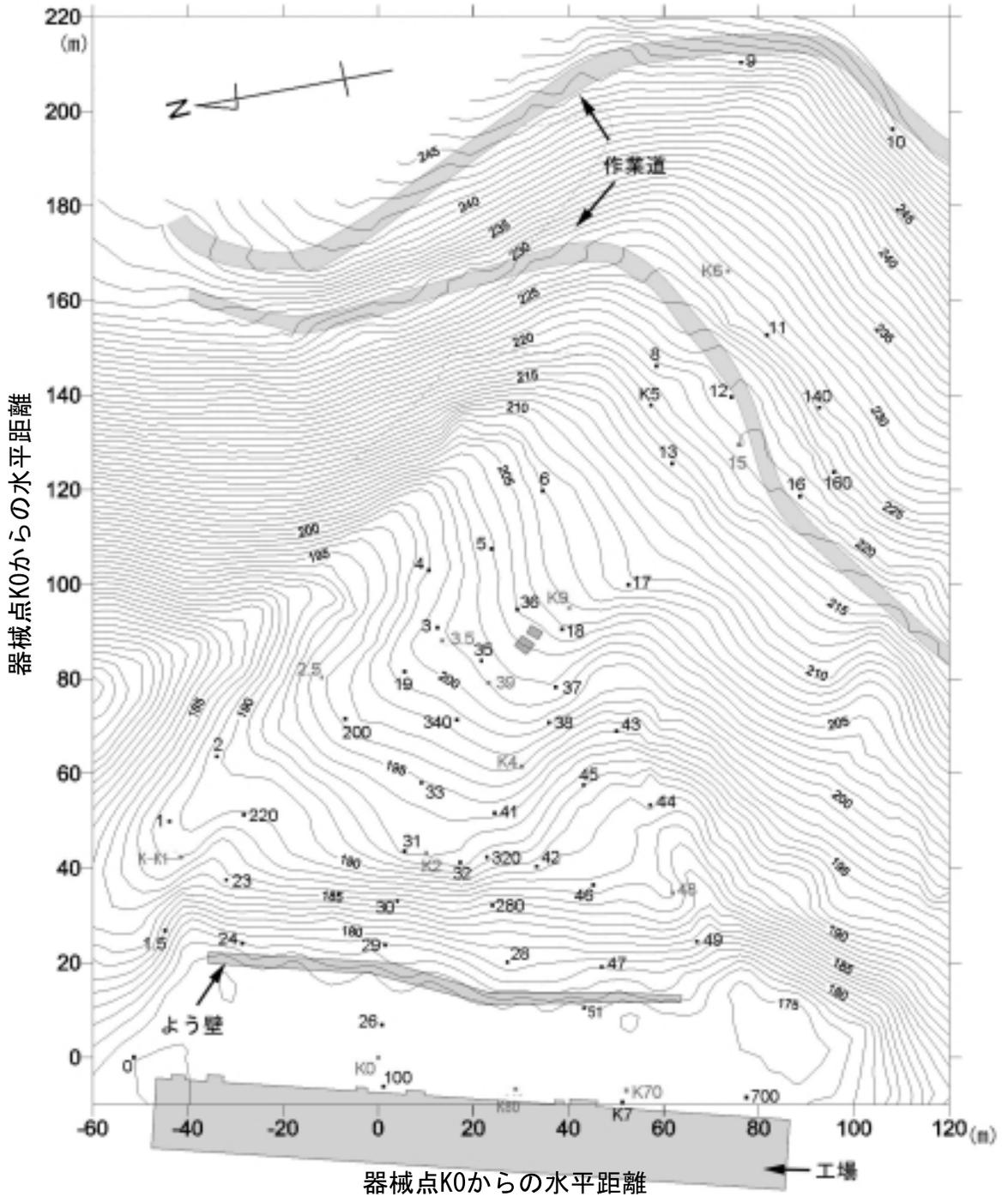


図1 西井川地すべり地周辺の地形図  
 Fig. 1 Topographical map of the Nishi-Ikawa landslide area

表1 器械点ごとの各視準点までの水平距離の変化（2004年2月－12月）  
 Table 1 Change of the horizontal distance between the Total Station and every observed point at each instrument site (from Feb. to Dec., 2004)

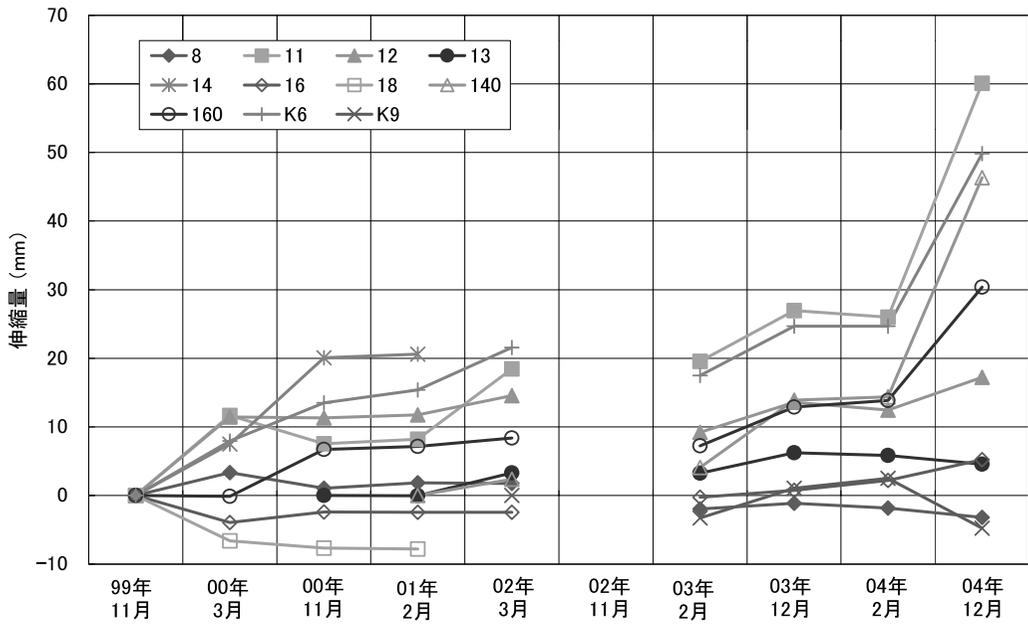
器械点	視準点	区間水平距離 (m)		差 (mm)
		2004年2月	2004年12月	
15	8	24.0233	24.0220	-1
15	11	23.9869	24.0211	34
15	12	10.2343	10.2391	5
15	13	14.5234	14.5222	-1
15	16	16.8489	16.8519	3
15	140	18.7024	18.7343	32
15	160	20.8336	20.8501	17
15	K6	36.7831	36.8083	25
15	K9	49.6179	49.6106	-7
3.5	2.5	26.5373	26.5319	-5
3.5	3	2.9121	2.9121	0
3.5	4	15.1173	15.1278	11
3.5	5	21.9648	21.9491	-16
3.5	6	37.9633	37.9429	-20
3.5	19	10.3305	10.3326	2
3.5	36	17.0851	17.0722	-13
3.5	39	13.2057	13.2216	16
K0	0	51.3807	51.3800	-1
K0	1.5	52.1639	52.1594	-4
K0	24	37.3544	37.3405	-14
K0	26	6.9092	6.9076	-2
K0	28	33.7815	33.7602	-21
K0	29	23.7308	23.7109	-20
K0	K70	52.6036	52.6057	2
K0	K80	29.2641	29.2673	3
K0	KK1	59.0022	59.0045	2
48	42	29.1228	29.1408	18
48	43	36.2302	36.2137	-16
48	46	16.8307	16.8405	10
48	49	11.4639	11.4599	-4
48	K4	41.4821	41.4999	18
48	K70	42.9453	42.9221	-23

(a) 器械点15から各視準点までの区間における水平距離について

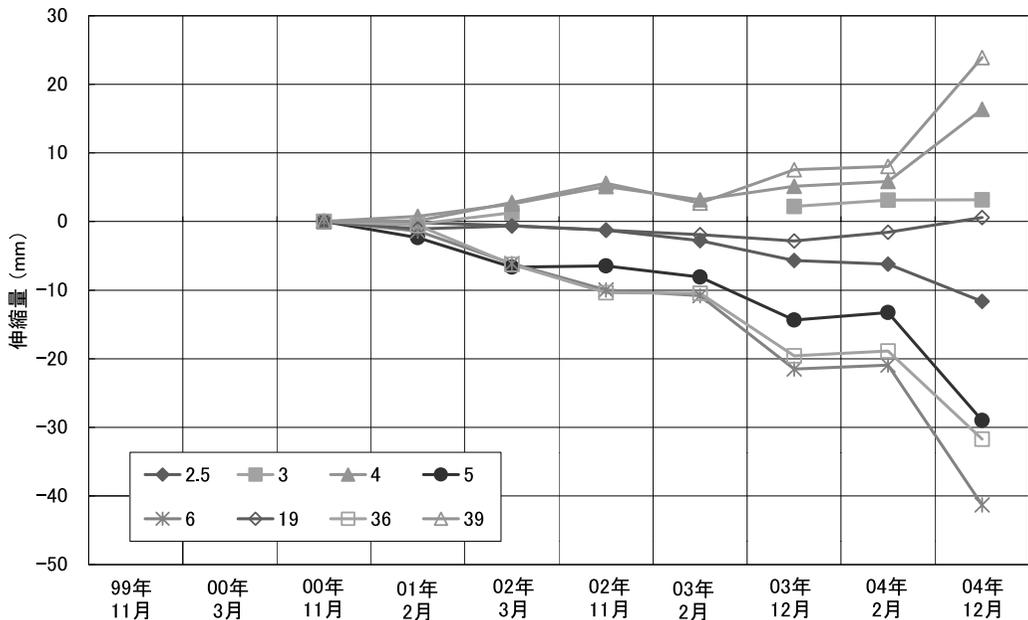
測点11、140、K6、160、12、16との間は時間経過とともに伸びの傾向がある。特に2004年には測点11で34mm、測点140で32mm、測点K6で25mm、測点160で17mm、測点12で5mm、測点16で3mm伸びている。よって、測点11、140で大きく伸び、測点12、16で小さく伸びていることから器械点15は測点11、140から離れるように斜面下向きに動いていると判断される（図2-1(a)）。

(b) 器械点3.5から各視準点までの区間における水平距離について

測点6、5、36とは時間経過とともに縮む傾向があり、特に2004年には測点6で20mm、測点5で16mm、測点36で13mm縮んでいる。また測点39、4とは時間とともに伸びる傾向があり、特に2004年には測点39で16mm、測点4で11mm伸びている。よって、測点6、5、36は一体となって器械点3.5に近づく



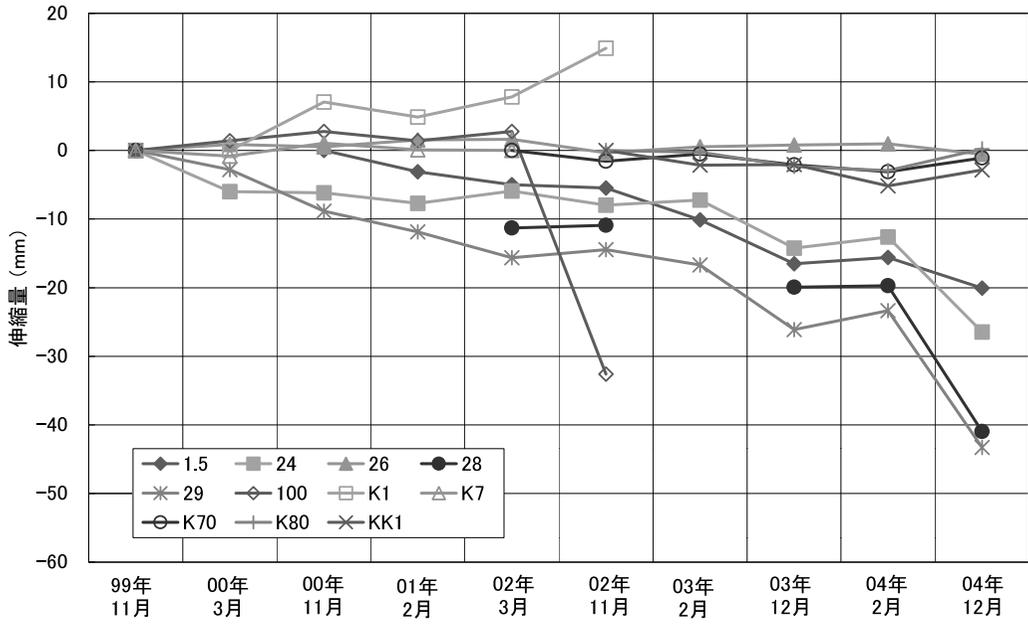
(a) 器械点15から  
From the instrument site No. 15



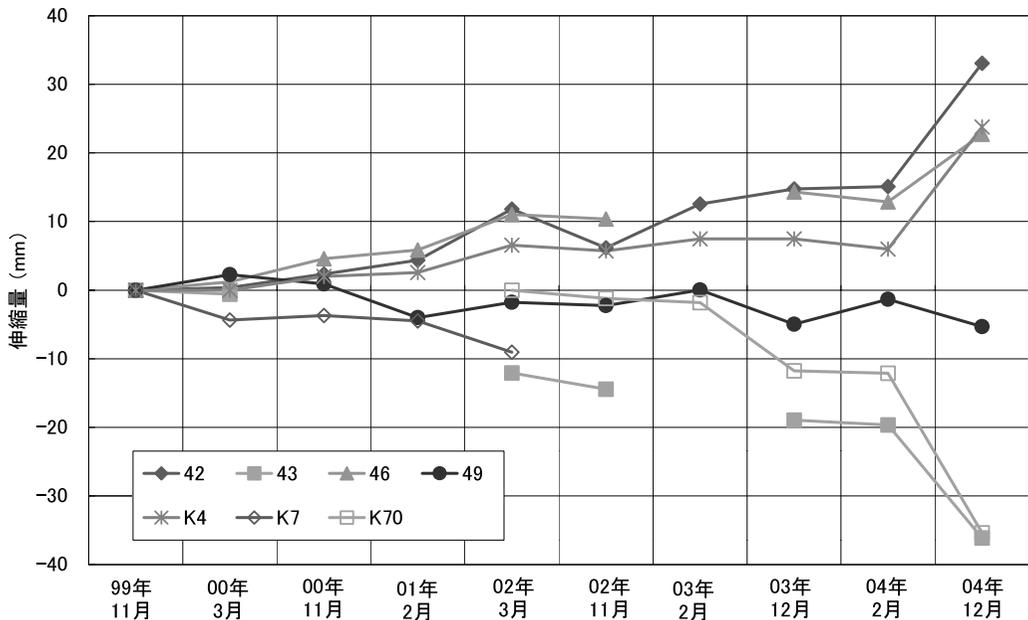
(b) 器械点3.5から  
From the instrument site No. 3.5

図 2 - 1 器械点ごとの各視準点までの水平距離の変化

Fig. 2-1 Change of the horizontal distance between the Total station and every observed point at each instrument site



(c) 器械点K0から  
From the instrument site No. K0



(d) 器械点48から  
From the instrument site No. 48

図 2 - 2 器械点ごとの各視準点までの水平距離の変化

Fig. 2-2 Change of the horizontal distance between the Total station and every observed point at each instrument site

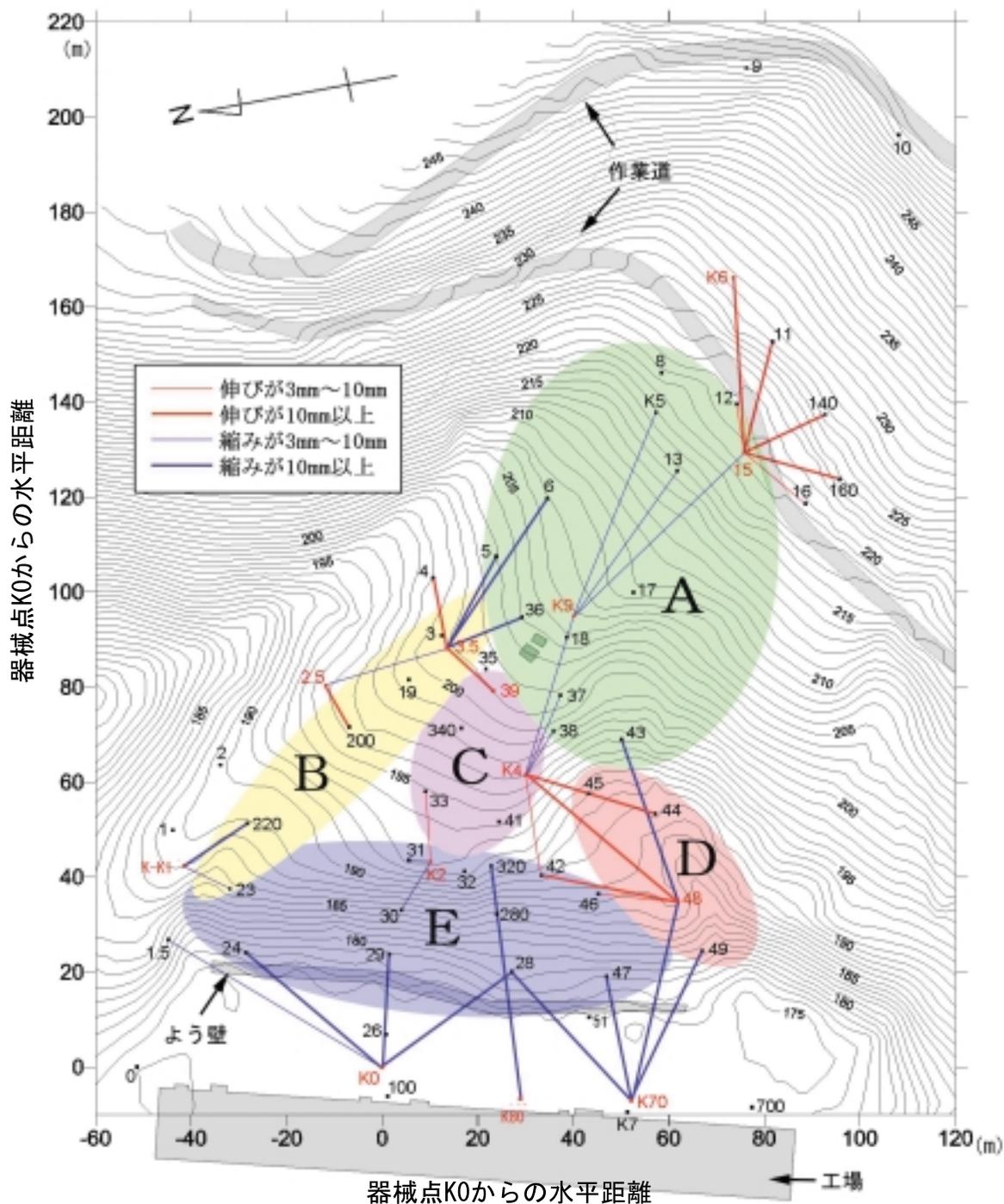


図3 器械点ごとの測点間の伸び縮み (2004年2月-12月)

Fig. 3 Extension-contraction tendency between the Total Station and every observed point at each instrument site (from Feb. to Dec., 2004)

ように斜面下向きに動いている。一方、器械点3.5は測点39、4から離れるように6、5、36より小さな動きとして斜面下向きに動いている可能性がある（図2-1(b)）。

(c) **器械点K0**から各視準点までの区間における水平距離について

測点28、29、24、1.5とは時間経過とともに縮む傾向があり、特に2004年には測点28で21mm、測点29で20mm、測点24で14mm、測点1.5で4mm縮んでいる。このうち測点28、29、24との間は縮みの傾向が似るが測点1.5との間はやや異なるため、測点1.5のみ別の要因で動いていることが推測される。なお測点1.5は崩壊の進みつつある急傾斜地にあるため、それが原因ではないかと考えられる。また、測点KK1との間の距離についても変動がないため、器械点K0に対して測点KK1は相対的な動きがないと考えられる（図2-2(c)）。

(d) **器械点48**から各視準点までの区間における水平距離について

測点42、K4、46とは時間経過とともに伸びの傾向があり、特に2004年には測点42、K4との間で18mm、測点46との間で10mm伸びている。測点K70、43とは時間経過とともに縮む傾向があり、特に2004年には測点K70との間で23mm、測点43との間で16mm縮んでいる。ここで測点49との間は経年的に変動が見られないため、器械点48と49は一体となって測点42、K4、46から離れ、かつ測点K70に近づく向き、したがって斜面下向き（谷筋の方向）に動いていると考えられる。しかも測点43との間も近づいているため、測点43を含む土塊が器械点48を含む土塊より大きく動いたことやその方向も斜面の下向きであると考えられる（図2-2(d)）。

その他の器械点から各視準点までの区間についても同様の検討を行った結果、図3のようにA～Eの5つのブロックに分けることが妥当であると考えられた。

#### 4.3 器械点間の斜距離の変化からの解析

前節では各器械点から直接視準された測点までの区間の水平距離の変化によって、地すべり挙動が小ブロックの動きとして区別できることを示した。しかし、地すべり地全体としての動きを見るには、直接視準していない測点同士の距離の比較検討も必要である。本地すべり地で実施したトータルステーション測量においては、器械点の座標測量をより精密に行えていることから、直接視準できない器械点間の斜距離の比較検討をすることにより、地すべり地全体の挙動を把握できるものと思われる。器械点間の斜距離を用いる際は、器械の据え替えによる誤差や四捨五入による誤差の蓄積を考えなければならない。本測量においてはトラバースの閉合差が10mm以内に概ね収まっているため、XYZ座標から算出される器械点間の斜距離が10mm以上変動した場合、誤差ではなく顕著な地すべり挙動と考えることにする。

すべての器械点についてそれぞれの間の斜距離を計算し、測量時期ごとの変化を調べた。挙動について概ね傾向が認められたため、特に挙動の顕著だった2004年2月から12月にかけて、夏季を挟む測量のデータを利用した（表2）。それらの器械点のうち4つを起点とした斜距離の変化については、以下のような傾向が認められた。（図4-1、図4-2）

(a) **器械点3.5**から他の器械点までの区間における斜距離について

器械点39、K4、K6との間は伸びの傾向があり、特に2004年には器械点39との間で16mm、器械点K4との間で15mm、器械点K6との間で6mm伸びている。一方、器械点15、K9、2.5との間は縮む傾向があり、特に2004年には器械点15との間で33mm、器械点K9との間で18mm、器械点2.5との間で7mm縮んでいる。以上のことから、前節で提示したAブロック上部の境界は器械点K6と器械点15の間にあることは確実で、器械点3.5と近い位置にある器械点K9よりも、遠方に位置する器械点15の方が速い速度で接近してきていること、また、器械点39とK4とは一体となって器械点3.5に対して遠ざかる動きをし

表2 器械点間の斜距離の変化(2004年2月-12月)  
Table 2 Change of the distance among the instrument sites  
(from Feb. to Dec., 2004)

器械点	器械点	斜距離 (m)		差 (mm)
		2004年2月	2004年12月	
3.5	2.5	26.4441	26.4373	-7
3.5	15	74.8552	74.8221	-33
3.5	39	13.2109	13.2266	16
3.5	K4	31.3849	31.4003	15
3.5	K6	98.6453	98.6516	6
3.5	K9	27.5477	27.5299	-18
K2	2.5	43.1087	43.1300	21
K2	3.5	45.0815	45.1005	19
K2	15	108.4728	108.4595	-13
K2	39	38.3164	38.3175	1
K2	48	52.4198	52.4396	20
K2	K4	27.1485	27.1500	1
K2	K6	138.4722	138.4982	26
K2	K9	59.8780	59.8690	-9
48	2.5	86.7442	86.7728	29
48	3.5	72.1456	72.1748	29
48	15	95.8862	95.8891	3
48	39	59.0257	59.0378	12
48	K4	41.5986	41.6152	17
48	K6	132.1019	132.1355	34
48	K9	64.1975	64.2080	11
K0	2.5	81.2654	81.2735	8
K0	3.5	89.2768	89.2753	-2
K0	15	150.1513	150.1214	-30
K0	39	82.6362	82.6165	-20
K0	48	71.1141	71.1142	0
K0	K2	44.6083	44.5877	-21
K0	K4	68.6221	68.6031	-19
K0	K6	181.8901	181.8967	7
K0	K9	103.2298	103.2014	-28
K0	KK1	59.1079	59.1121	4

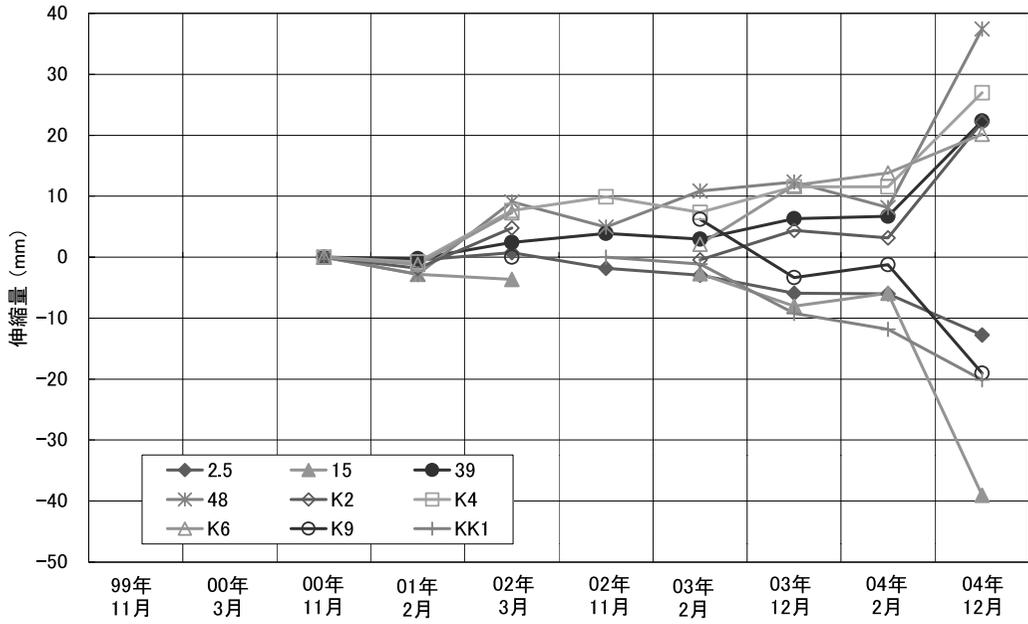
ていること、さらに器械点3.5と2.5との間はわずかながら近づく動きをしていることなどがわかる(図4-1(a))。

(b) 器械点K2から他の器械点までの区間における斜距離について

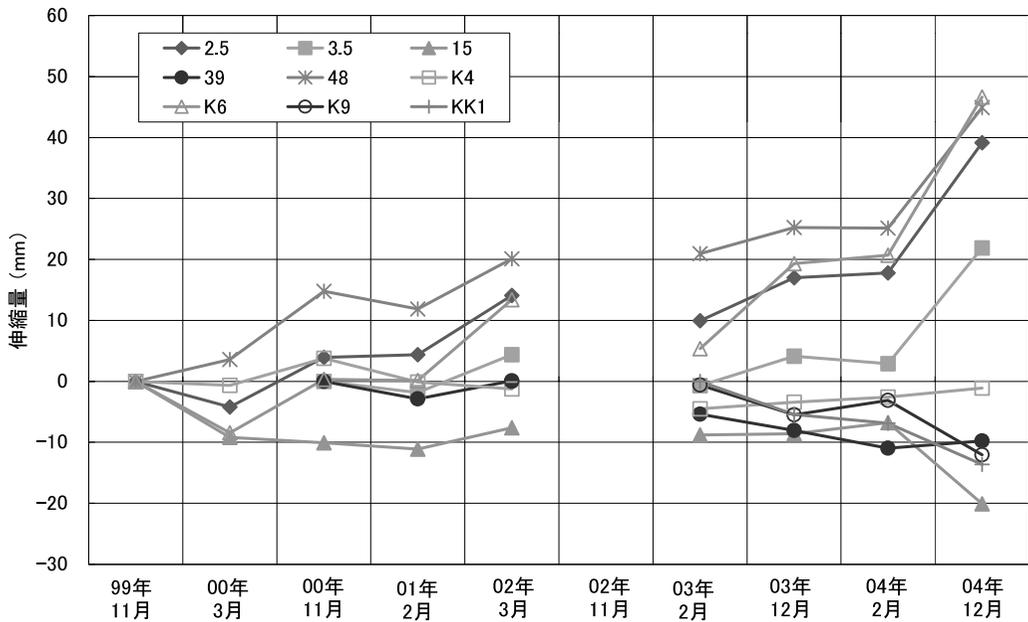
器械点K6、2.5、48、3.5とは時間経過とともに伸びの傾向があり、特に2004年には器械点K6との間で26mm、器械点2.5との間で21mm、器械点48との間で20mm、器械点3.5との間で19mm伸びている。逆に、器械点15、K9との間はやや縮む傾向が出ている。特に、2004年には器械点15との間で13mm、器械点K9との間で9mmの縮みが見られる。一方、器械点K4や39の間では顕著な変動が見られない(図4-1(b))。

(c) 器械点48から他の器械点までの区間における斜距離について

器械点K6、3.5、2.5、K4とは時間経過とともに伸びの傾向が見られ、特に2004年には器械点K6と

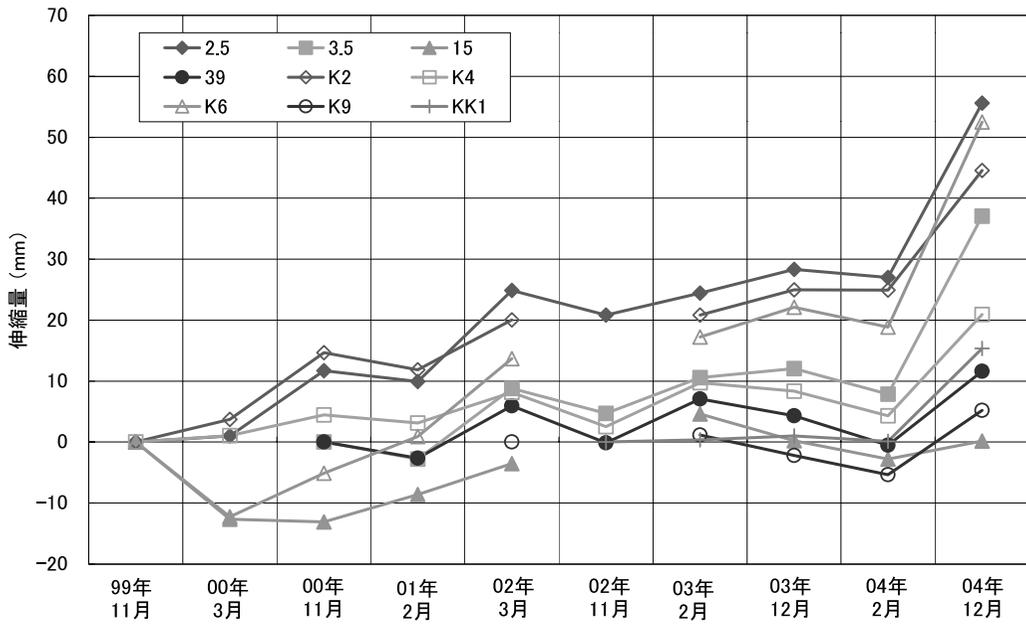


(a) 器械点3.5から  
From the instrument site No. 3.5

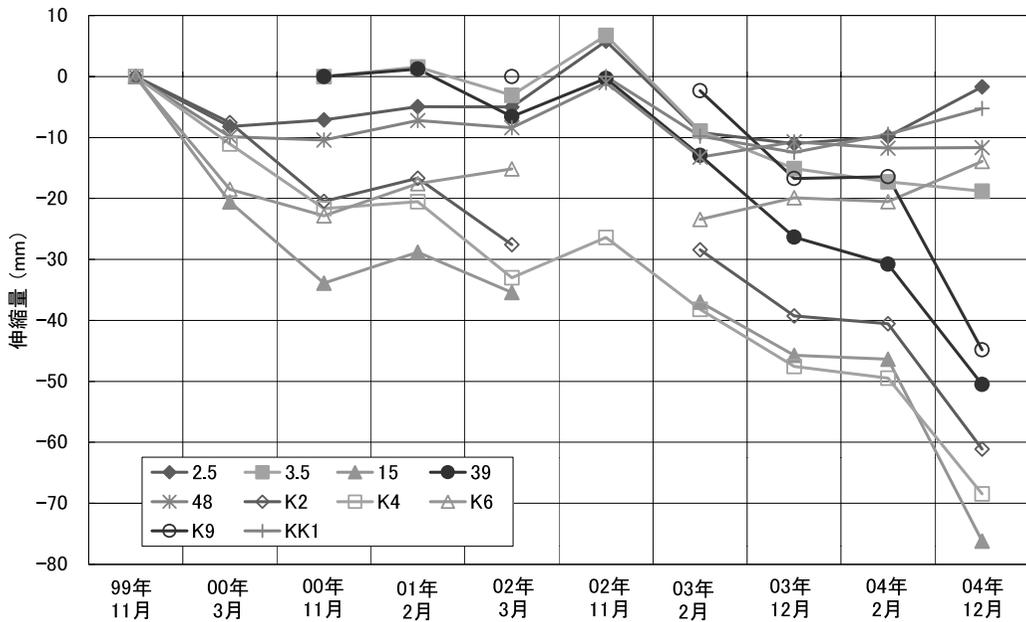


(b) 器械点K2から  
From the instrument site No. K2

図 4 - 1 器械点間の斜距離の変化  
Fig. 4-1 Change of the distance among the instrument sites



(c) 器械点48から  
From the instrument site No. 48



(d) 器械点K0から  
From the instrument site No. K0

図 4 - 2 器械点間の斜距離の変化  
Fig. 4-2 Change of the distance among the instrument sites

の間で34mm、器械点3.5および2.5との間で29mm、器械点K4との間で17mm伸びている。また、2004年以前には顕著に変動していなかったその他の器械点との間も比較的明瞭に伸びが出ていることから、器械点48付近が斜面下向き（谷筋の方向）に移動したものと考えられる（図4-2(c)）。

(d) 器械点K0から他の器械点までの区間における斜距離について

器械点15、K9、K2、39、K4との間に時間経過とともに縮む傾向が見られ、特に2004年には器械点15で30mm、器械点K9で28mm、器械点K2で21mm、器械点39で20mm、器械点K4で19mm縮んでいる。器械点K2との間は比較的近い位置関係にあるが、その縮み傾向は比較的大きい。これに対し、器械点15、K9、39、K4との間の変動量は、距離に応じて変動量が変化する傾向となっており、地すべり地全体に圧縮の傾向が出ているものと考えられる。一方、器械点2.5、KK1、K6との間は2004年にだけは若干の伸びの傾向が見えるが明瞭ではない。このことから、地すべりの全体的な動きのほとんどは、器械点K0に対して器械点2.5、KK1、K6の各点が相対的にその距離を変化させない形で起きていることが考えられる。なお、器械点48との間は明瞭な変化はほとんど見られないといえるが、前述したように器械点48付近の土塊が谷筋の方向に動いていると考えられるものの、この方向が器械点K0との関係で見ればちょうどこれら二つの器械点間の距離を半径とする円周上にあたることから、結果的に明瞭な変化としてとらえられていないだけであると思われる（図4-2(d)）。

#### 4.4 地すべり挙動の解析

以上述べてきた直接視準した測点間の関係および器械点間の関係をあわせて地すべり挙動を解釈すると、先に示した小ブロックの移動方向が図5のように推測できる。

すなわち、Aブロックにおいては上部境界部付近には引張が、下部のBブロックとの境界付近には圧縮が明瞭に現れていること、および、地すべりブロックの外部であると考えられる器械点KK1やK0およびK70などからの斜距離の縮み量の違いなどから、少なくともAブロックの主な移動方向がBブロックに向かう方向であると考えられる。このことは地形図上に見られる等高線の間隔が広がる方向とも矛盾しない。一方で、Aブロックの下部、Dブロックとの境界付近における圧縮傾向から、少なくとも測点43付近の土塊については地形図上にも現れている谷筋の方向に移動していることがわかる。すなわち、Aブロックの土塊はブロック内部で2方向に分かれていく傾向を有する。

同様に、地すべり土塊の移動が顕著なブロックとしてEブロックがあげられる。このブロックは急傾斜部に位置し、特に、斜面の脚部において土塊が斜面の前方に押し出されるような挙動が明らかになった。また、斜面肩の位置もしいに斜面下方向に沈み込む傾向も明らかである。

一方、DブロックとBブロックが地形図上に描かれたそれぞれ別の谷地形の方向に移動していく傾向が明らかになった。特に、Dブロックの動きは顕著である。また、それらには含まれたCブロックが一体となってAブロックからEブロックに続く方向でわずかに移動する傾向が見える。

移動量の比較から、地すべり斜面全体に縮み傾向が現れているが、上部のAブロックの動きが顕著で、その押し出しがEブロックにつながっていると見ることができる。また、その間に位置するCブロックは大きな地すべり挙動の中間部にあたるブロックであると考えられる。また、BブロックとDブロックはAブロックからEブロックへの押し出しの結果として、外側に向かう動きが形成されたものと考えられる。

地すべり挙動を引き起こす素因については地すべり粘土を形成しやすい地質であったことが最も重要なものとしてあげられるが、地すべり挙動を活発化させる誘因は、多くの台風がこの地方に大雨をもたらせていた2004年の測量結果でも明らかであるように、雨量とそれによる地下水水位または水圧の上昇であるといえる。地すべり地内で工場や駐車場のスペースを確保する際の切土、あるいは、上部

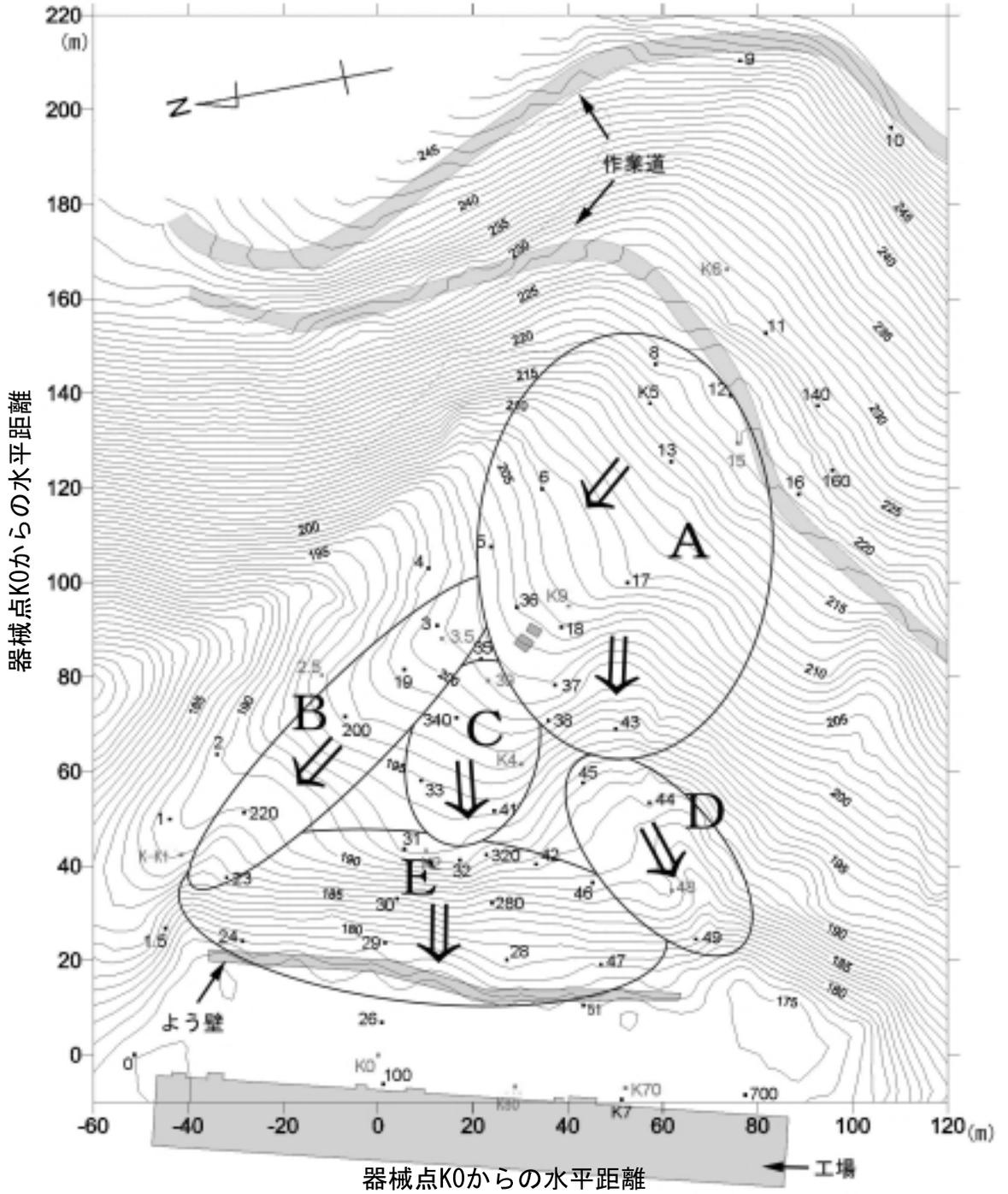


図5 測量結果から推定された地すべりの挙動  
 Fig. 5 Landslide behavior assumed by the surveyed data

の作業道開設の際の切土・盛土などの影響も地すべり挙動に及ぶことは明らかであるが、今回の測量結果の解析からは、作業道の位置よりも下側での動きのみが顕著に見られただけであることから、少なくとも、1999年秋に完了した作業道の開設は地すべり挙動の活発化には大きな影響を及ぼしていないといえる。一方で、よう壁が作られているにもかかわらず、工場前の斜面脚部における押出しの動きは今後とも継続することと思われる。

## 5. 結 論

西井川地すべり地においてトータルステーション測量を継続的に行い、地すべり挙動を解析した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) トータルステーション測量は実施の時期が枝葉の少ない季節に限られるものの、器械誤差や人為誤差についても検討した結果、地すべり地内の地表面変動を面的に把握するのに十分使用可能な手法である。
- (2) トータルステーション測量の技量にも依存するが、座標値に入る誤差の累積により、座標測量結果が地すべり挙動の解析には適さなくなる場合がある。しかし、その場合でも、直接視準した区間の距離の解析、および、器械点間の距離の解析により、地すべり挙動を面的にとらえることは可能である。
- (3) 西井川地すべりの挙動について以下のことが明らかになった。
  - (3-1) 西井川地すべり地は地すべり斜面全体が圧縮されるような傾向がある。
  - (3-2) 地すべり挙動は5つの小ブロックの動きに細分することができる。
  - (3-3) 上部のブロックから下部のブロックにかけて圧縮力が加わって、中間部のブロックが外側に押し出されるような動きをしていると見ることができる。
  - (3-4) 1999年の作業道の開設は地すべり挙動の活発化には大きな影響を及ぼしていない。
  - (3-5) 斜面脚部のよう壁だけでは地すべり挙動による押出しの動きは今後とも抑えきれず継続すると考えられる。

## 謝 辞

西井川地すべり地で調査研究を行うにあたり、京都大学防災研究所の末峯章先生には地元の所有者・住民との間の調整役、さらに、測量の実施にあたっての有益な助言をいただきました。心より感謝いたします。また、本論文で使用したトータルステーション測量データは広島大学総合科学部砂防学研究室所属の先輩方によるものが含まれています。ここに記して感謝の意を表します。

## 引用文献

- 新井場公德・末峯 章 (2000) : すべり面の形状と土塊内応力について、地すべりと斜面崩壊に関するシンポジウム論文集、93-102。
- 海堀正博 (2000) : トータルステーションを使った地すべり地表面形状の調査、京都大学防災研究所一般共同研究報告11G-11「地すべりの移動機構と移動土塊の変形についての研究」(研究代表者: 新井場公德)、33-48。
- 駒村富士弥 (1992) : 地すべり、第3章、斜面の土砂移動現象、砂防学講座、山海堂、193-357。

- 佐々恭二 (1995) : GPS (人工衛星測量) を用いた危険斜面の判定と監視、平成6年度科学研究費補助金 (一般研究(A)) 研究成果報告書、99p.
- 清水孝一・岩男忠明・福嶋 彩・寺田秀樹・山越隆雄・仲野公章 (2003) : 人工衛星による流域土砂環境の把握、平成15年度砂防学会研究発表会概要集、24-25.
- 末峯 章 (1999) : 四国の地すべりの移動挙動、地盤工学会四国支部40周年記念論文集、85-100.
- 関口辰夫・佐藤 浩・市川清次・小白井亮一・中筋章人・高 泰明 (2003) : 航空レーザスキャナを利用した斜面微地形の分類、平成15年度砂防学会研究発表会概要集、406-407.
- 渡 正亮 (1971) : 地すべりの型と対策、地すべり、8(1)、1-6.
- Cornforth, D. H. (2005): Landslides. Ch. 1, Landslides in Practice: Investigation, Analysis, and Remedial/ Preventive Options in Soils, Wiley, 3-7.
- Cruden, D. M. and Varnes, D. J. (1996): Landslide Types and Processes. Ch. 3, Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, 36-75.
- Varnes, D. J. (1978): Slope Movement Types and Processes. Ch. 2, Landslides: Analysis and Control, Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 11-33.