

GPS測位による地すべり対策事業概成後の安定性確認

黒田清一郎*・奥山武彦*・中里裕臣**・有吉 充*

目 次			
緒 言	239	GPS測位による概成後の安全確認手法の提案	240
調査概要	239	結 言	243
1 調査地区概要	239	参考文献	243
2 計測方法	240	Summary	244
GPS測位結果	240		

緒 言

GPS測位による地すべりの変状調査は、比較的安価な1周波受信器によるシステムや、簡便なRTK-GPS等の普及により一般的なものとなってきた。土地改良事業計画設計基準でも重要な地表面変位観測手法の一つとして挙げられており（農林水産省監修，2004），農地地すべりにおいても適用されてきた（中里ら，2002）。しかしGPS測位を地すべりに適用した事例の多くは、主に地すべりの移動量監視の方法として利用したものが多く（例えば清水ら，2000・福岡ら，2001），対策工施工後あるいは事業概成後の安全監視のために適用した事例は少ない。

GPS干渉測位は安価な1周波受信器を利用した場合でも公称誤差が $\pm(5\sim 10\text{mm} + 1\sim 2\text{ppm} \times \text{基線長})$ とされており、基線長が5km程度よりも短ければ、誤差は1～2cm以下に収まる。この誤差は対策後の効果判定や安全確認に適用した場合についても許容される範囲にあるものと考えられる。

本報文では、対策工施工後から事業概成までの期間に、対策工の効果判定と安全確認を目的として、地すべり対策事業実施地区でGPS測位を実施した事例に基づき、対策事業概成後のGPS測位による地すべり地の安全確認のための1手法の提案を行う。

なお本研究で行った調査は長野西部農地保全事業所からの受託研究「事業概成に向けたGPS地すべり観測システム検討委託事業」の中で実施した。調査にあたっては長野西部農地保全事業所調査課の加藤俊典調査課長、橋爪康寿試験係長、岸智元調査課長、沼尾一徳元係長を

はじめとする同事業所の方々に、多くの御協力を賜りました。記して感謝いたします。

調査概要

1 調査地区概要

調査地は関東農政局長野西部農地保全事業所所管の塩本区域内の大規模地すべりブロックを対象とした。長野西部地区は犀川中流域右岸の山地・丘陵地に広がる農業地域に位置しており、今回対象とした塩本ブロックは信州新町に属する。同地区内の主な農地は水田であり、「塩本」の棚田として「日本の棚田百選」にも選出されている棚田地帯である。

塩本区域には多数の地すべり地形がみられ、近年においても断続的に地すべりが発生している。地質は第三紀



Fig.1 調査地区概要（1/25,000地形図「稲荷山」より）
Survey Area

*造構部土木地質研究室

**造構部広域防災研究室

平成17年3月7日受理

キーワード：GPS，地すべり，地すべり対策工

の泥岩、砂岩、および第四紀の土石流堆積物により構成される。

Fig. 1 に対象とした塩本区域の地すべりブロックを示した。図中の塩本Aブロックは長さ360m、幅250mの大規模な地すべりブロックである。Bブロックはさらにそれを取り囲むように想定された大規模ブロックである。同区域の中心的な対策工はAブロックを対象とした排水トンネル工である。同トンネルは1999年度に着工し2000年度に完成した。

同排水トンネルの効果の評価と塩本区域の大規模地すべりブロックでの斜面の安全性評価のための変状観測の手法が必要とされた。しかし同区域は大規模ブロックであり水田だけではなく林地も含まれるために、移動杭観測等では視通が確保できない。そこでその変状観測の手法としてGPS測位を導入することとなった。

2 計測方法

塩本区域における基準点、観測点の位置をFig. 1 に示した。また各点の概況をTable 1 に示した。

塩本Aブロックの主測線上に近い3つの集水井の周辺のコンクリートブロック上に測点を設けた(SA1,2,3)。測点には4×4cmのアルミニウム製プレートを用いて接着し、剥離を防ぐために対角線上に2点ボルトで固定した。またブロック頭部、主測線に近い観測点SA4については公共施設である防火水槽のコンクリート天端上に、上記の集水井の3点と同様にプレートを貼付して設置した。Bブロックの安定性確認のためにSB1の位置に測点を選定し、舗装道路上に鉋を設置し観測を行った。Bブロック内で同SB1地点から約10m離れた地点に2003年度に集水井が施工されたので、2004年度以降はその集水井脇に測点を移し、コンクリートブロック上にプレートを設置し、それをSB1とした。A、Bブロック範囲外にあり、他の地すべりブロックの範囲外にある点に観測点(SO2)を設けた。この点は想定した地すべりブロックから外れており、不動地盤中にあるものと考えられる。また他の全ての観測点に比べ最も基準点から離れた位置にある。GPS測位の測定精度は基準点 - 観測点間の基線長に依存し低下する

成分もあることから、観測条件が悪くかつ不動の点として位置づけ、測定値の信頼性の確認、検証に利用するために設置した。

基準点については、天空が開けていること、地すべりブロック外の不動土塊中にあること、アプローチしやすいこと等の観点から、図のSO1に示した位置にある鉄筋コンクリート製の建造物の屋上に設置した。

以上の観測点において短縮スタティック測位も可能な1周波用のGPS受信器(古野電気社製スペースウォッチャーおよびTrimble社製4600Ls)を用いて干渉測位を行った。測位時間は2000年の第1回の観測では2-3時間の測位、それ以降は測量精度の向上を図るためなるべく長時間の観測を行い、夕方17時から翌朝9時までの16時間以上の測量を行った。

本報で検討する地区は移動量観測が主たる目的ではなく、地すべり対策事業概成後に対策事業の効果によって地すべり活動が停止していることを検証し安全性を確認することが目的である。そのためGPSによる地すべり観測手法としては、連続観測を行う方法も考えられるが、ここでは地表に標点を設け、定期的に巡回観測する手法を採用した。

各点において排水トンネルが完成した2000年から2004年までの6月あるいは7月および11月の2時期を中心に、年2-3回の測位を行った。基線解析については、GPS受信器で取得したバイナリデータを全てRINEX形式のデータに変換したのち、Trimble社のGeomatic Officeを用いて解析した。

測位結果

各観測点における測位結果をFig. 2に示した。図には全測定回における測定点の平均値の座標を中心とし、それに対する各回の測定値の水平方向の偏差を図示した。

1周波受信器の干渉測位によるGPS測位の水平方向の公称誤差としては一般に次の式が用いられている。

$$\text{水平方向誤差} = \pm (5\text{mm} + \text{基線長} \times 1\text{ppm}) \quad (1)$$

これを誤差の指標として円として図中に表記した。また各回の観測結果より求めた標準偏差についても円にして

Table 1 観測点概要
Profiles of the observation points

区域	観測点	観測点設置場所	設置方法	効果判定対象の地すべり対策工	観測年度	
塩本区域	SO1	基準点	3階建ビル屋上	プレート	2000-	
	SA1	観測点	集水井周辺コンクリート	プレート+ネジ止め	排水トンネル工	2000-
	SA2	観測点	集水井周辺コンクリート	プレート+ネジ止め	排水トンネル工	2000-
	SA3	観測点	集水井周辺コンクリート	プレート+ネジ止め	排水トンネル工	2000-
	SA4	観測点	防火水槽コンクリート	プレート+ネジ止め	排水トンネル工	2001-
	SB1	観測点	舗装道路	鉋	排水トンネル工	2001-2003
			集水井周辺コンクリート	プレート+ネジ止め	(排水トンネル工・集水井等)	2004-
	SO2	観測点	道路脇(土)	木杭	地すべりブロック外、精度検証用の参考点	2000-

*SB1は2003年集水井設置後に集水井周辺コンクリートに観測点を移動した

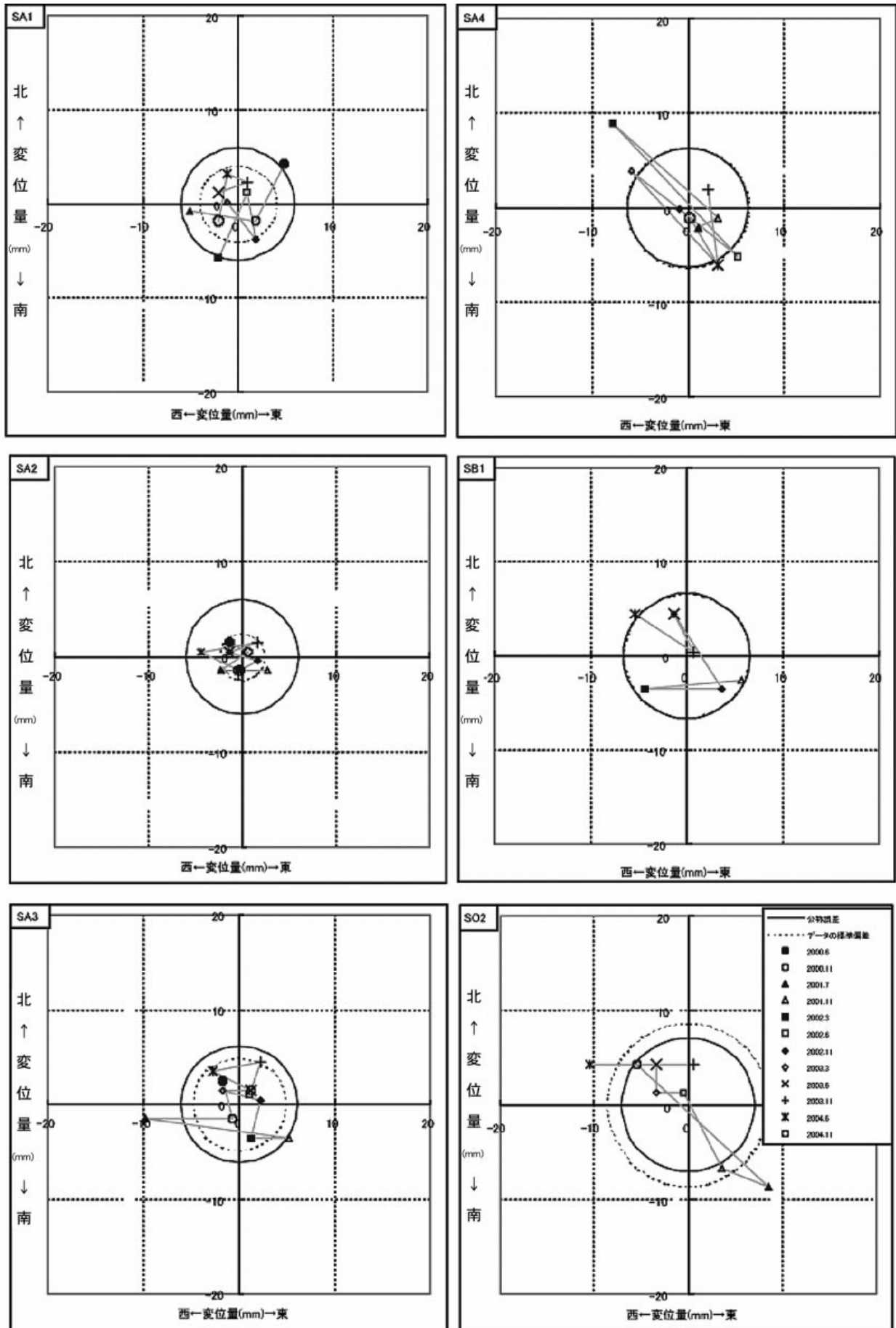


Fig.2 GPS測位結果
Survey results by GPS measurements

Table 2 各観測点の状況とGPS測位結果の水平方向の精度について
Profiles of the observation points and the accuracy of the GPS measurements in horizontal section

区域	観測点	天空の障害物	基線長* (m)	公称誤差 ± (5mm+ 基線長×1ppm)	全測定結果	
					標準偏差 (mm)	最大偏差 (mm)
塩本区域						
	SA1	樹木等	966.248	± 6.0	4.1	6.4
	SA2	全く無し	1043.368	± 6.0	2.4	4.4
	SA3	全く無し	1137.897	± 6.1	4.9	9.9
	SA4	樹木等	1256.589	± 6.3	6.4	11.9
	SB1	樹木等	1588.105	± 6.6	6.6	10.8
	SO2	樹木等	2092.045	± 7.1	8.6 (7.6)	12.2 (9.7)**

*全測定回の平均値

**フロート解を除いた値(2001年7月および2002年6月の2回)

図示した。またこれらの数値をTable 2にまとめた。なおSO2については林地の中にあり天空の視界状況が悪く2001年7月と2002年6月の解はフロート解となった。

Fig.1, Table 2よりどの観測点においても、標準偏差は公称誤差である±(5mm+基線長×1ppm)とほぼ同じか下回っていることがわかる。また最大の変動量を示す最大偏差については、上記の公称誤差の2倍程度に収まっている。また変位の傾向については、斜面の移動方向はFig.1より西北西方向にあるが、どの点もその方向に累積変位は見られない。

以上の結果から同地区では対策工概成後は地すべり性、累積性の変位は見られず、有意な変位を確認することはできなかった。よって、同斜面は安定を保っていることを確認することができた。

GPS測位による概成後の安全監視手法の提案

ここでは上記結果を元に、対象区域における地すべり対策事業概成後の斜面安全性の確認にGPS測位を適用する事を考える。

上記の塩本区域での観測結果では、観測値の水平方向の偏差は最大でも15mmに収まり、多くの場合10mm前後に収まった。また標準偏差は10mm以内に収まった。この測定値の精度、信頼性は、農地地すべりの安全確認として十分利用できるレベルにあると考える。そこでGPS測位を次のような形で事業概成後の安全確認に使用することを提案したい(Fig.3)。

まず対策工事完了から全事業概成までの間に、対策工事の効果が判定できる場所に測位点を設ける。このとき本報告の事例で示したように集水井等の地すべり防止施設を利用することは有効である。特に集水井は

1. 堅牢な坑口保護コンクリートに設置できるので表層のみの崩壊等の影響を受ける事なく、地すべり全体の挙動を反映することが期待される。
2. 施設用地は買収されるので標点設置および観測の自由度が良く、確実な標点管理が可能。

3. 地すべりブロックの中心線上に設置される場合が多く、地すべりブロックの挙動を代表する点として適している。
 4. 集水井上方には遮蔽物がないので、周囲から覆いかぶさるような樹木等がなければ、一般的に天空が開けている場合が多い。
- 等の特長を有する。よって集水井についてはこれを積極的に観測点として利用すべきである。

次に、事業概成までの一定期間で観測を継続し累積的な変位があれば警告を発し、追加対策の必要性があるかどうかを検討する。またその観測の中で各観測点での計測値の変動性や測位精度を検討し、各点における管理基準を決定する。上記の例ではSA2等は測定値の変動が最

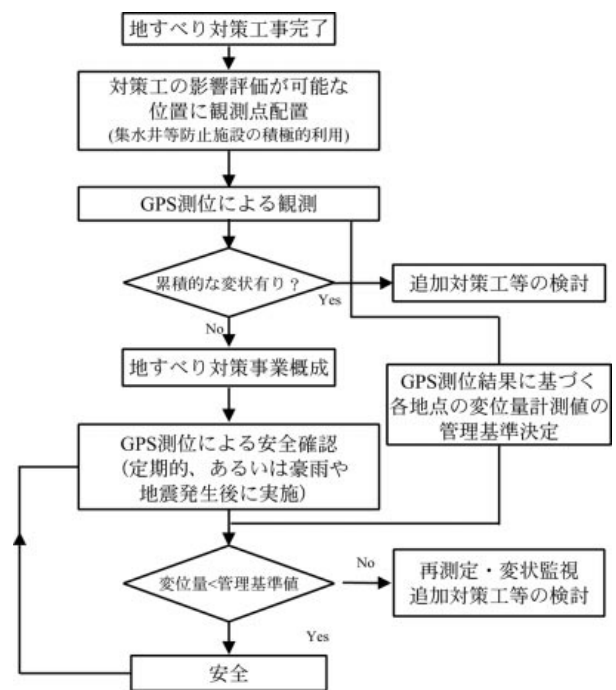


Fig.3 GPS測位による概成後の安全監視手法の1提案
A Proposal for the safety monitoring by GPS

大偏差でも4.4mmと少ないので、例えば変位量5mmや10mmを管理基準とすることができる。一方、周囲の樹木の影響で天空率が悪いSA4等は15mmあるいは20mm程度以上を管理基準とすることになる。それら管理基準を上回った変位が計測された際に要注意の状態と判断する。そして再測定等を行った上でその変位が再び確認できれば、変位観測や追加対策等を検討する。逆に管理基準を満たしていれば安全と見なす。

事業概成後の測位は各地点の対象とする施設の重要性により定期的を実施する。あるいは豪雨や地震が発生した後等に点検調査として実施する。

このように事業概成後あるいは事業実施中やその前にGPS測位点を設置しておき、その点の座標とその点の観測精度を記録として残しておけば、今後の未曾有の豪雨や地震によって被災した際に、変位状況の計測や安全確認等に有効に利用することができるものと考えられる。

結 言

地すべり対策工事の完了から事業概成後の安全確認に向けてGPS測位の適用性の検討を行った。

対策工施工後の5年間のGPS測位による水平方向の

変位は全ての点でGPS測位の公称誤差と同程度かそれを下回り、地すべりの活動はないと考えられた。その測定回毎の偏差は最大でも10-15mmで地すべりの安全確認には十分な精度を有すると考えられた。

また事業実施期間中に集水井等の地すべり対策施設を積極的に利用し標点を設置しておけば、事業概成後の定期的な安全確認に役立つだけでなく、甚大な豪雨災害や地震災害が生じた時に、その影響評価や安全性評価に有効に適用できると考えられる。

参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局計画部資源課監修(2004)：土地改良事業計画設計基準 計画「農地地すべり防止対策」基準書・技術書, pp.147-148
- 2) 中里裕臣(2002)：農業土木におけるGPS利用技術(その4) - GPSを用いた地すべり調査, 農業土木学会誌, 70(1), pp.47-53
- 3) 清水則一・安立寛・荒井正・会津隆士(2000)：地すべり監視におけるGPS変位モニタリングシステムの適用, 土と基礎, 48(2), pp.25-27
- 4) 福岡浩(2001)：GPS等を用いた地すべり地の移動観測(その3), 地すべり技術, 28(1), pp.14-21

Application of GPS survey to monitoring for the safety in the landslides

KURODA Seiichiro, OKUYAMA Takehiko, NAKAZATO Hiroomi, ARIYOSHI Mitsuru

Summary

GPS survey was conducted in order to check the safety of the landslide area. We measured observation points about ten times from 2000 to 2004 by the rapid static GPS survey. Differences in the position by GPS survey were small and ranged in about 5mm-15mm and the standard deviations were less than 10mm. The accuracy of the rapid static GPS survey is applicable enough to evaluate the safety of the landslide. We propose the GPS monitoring system to check the safety in the landslide area where the landslide mitigation works was already applied using GPS interferometry. The facilities of the landslide prevention works, especially drainage wells, are usefull as the points of GPS survey. The network of GPS points is also applicable for the survey after huge disasters like the earthquake or heavy rainfall.

Keywords : GPS, landslide, landslide control measures