

直轄農地地すべり対策における概成判断及び斜面管理の事例と課題

紺野道昭*

*施設工学研究領域地域防災ユニット

要 旨

地すべり対策事業については、(1) 区域指定、(2) 基本計画策定、(3) 対策工事实施、(4) 概成（工事完了）、(5) 概成後の斜面権利の各段階のうち後半の(4)、(5)については明確な指針がなく個々の現場に判断が任されているのが実情である。本報では高知三波川帯地区を事例として、(4)と(5)における課題として以下の4点を取り上げ、対応の現状と今後の展望を示す。

第1に、地すべりブロックの把握が挙げられる。地すべりブロックは、地すべり対策における全ての段階において管理上の単位として扱われるため、正確な把握が求められる。調査方法は地形判読を主とするが、GPS、航空レーザ測量、干渉合成開口レーダー等の併用も考えられ、今後の精度向上や簡素化についても期待される。第2に、対策工施工後の地下水位の予測・評価が挙げられる。個別の現場で試行錯誤によっているのが現状であるため、水質分析等を用いた地下水流動機構の把握も含め、解析手法の適用性についてある程度の体系化が必要と考えられる。第3に、概成判断の基準が挙げられる。これらは個々の現場において経験等により個別に検討されることが多い。今後は、降雨量・地下水位・地すべり変位量相互の関係を定量的に把握することにより斜面が持つリスクを定量的に管理する手法についても検討すべきと考えられる。第4に、概成後の斜面管理が挙げられる。対策工実施中に行われている地中変位を中心とした観測を全ての地すべり防止区域のブロックで常時行うのは、費用面等からも現実的に困難であるため、優先順位の設定、比較的簡易な観測方法の利用とともに、地すべり対策施設に着目した斜面管理も考えらえる。加えて、今後は個々の観測データ整理、個々の対策施設の機能点検にとどまらず、観測値と複数の対策工が組み合わせられた斜面全体のリスク評価方法についても手法の確立に向けた検討が必要と考えられる。

キーワード：安全率、概成、高知三波川帯

1. はじめに

昭和33年に地すべり等防止法が制定されて以降、地すべりが発生した場合及び発生するおそれがある場合は、以下のような流れで対策が行われてきた。

- (1) 地すべり防止区域指定
- (2) 基本計画の策定
- (3) 対策工事实施
- (4) 概成（工事完了）
- (5) 概成後の斜面管理

これらのうち(1)は国（農林水産省農村振興局及び林野庁並びに国土交通省）が行い、(2)から(5)は都道府県が行うこととなっている。(3)についても通常は都道府県が国の補助を得て行うが、地すべりが大規模で高度な技術や機械力を要する場合等は、国が代行できることになっている。

また、これらのうち農村振興局所管地すべりについては(1)から(3)までの考え方、事例、手続きの方法等については、農地地すべり研究会（1997）や農林水産省（2004）等により示されており、体系化が進んでいるところである。

その一方で、(4)の概成に向けての検討は、(3)の対

策工事の評価を踏まえて個別に行うことが多く、特に対策後も目標安全率を満たさない場合や地すべり変位が残存していた場合は、判断に苦慮する場合もある。また、通常は概成後も通常は地すべり防止区域として管理を継続し、再び地すべりが発生した場合等は再度対策工事ができるようになっている。しかし、対策工事を終えた地区も含めると農村振興局所管地すべり防止区域は全国で2,000地区弱にのぼり（農林水産省、2016）、対策事業とともに(5)の概成後の斜面管理を行う必要があり現場の負担は増大している。

本報は、農村振興局所管の地すべり対策の中から、特に(4)の概成判断と(5)の概成後の斜面管理について、地すべり対策工事が国直轄で行われた高知三波川帯地区（中国四国農政局高知三波川帯農地保全事業所、2012）を例に挙げながら、現状と今後の課題について整理するものである。

(4)の概成判断について、高知三波川帯地区では安定解析による「目標安全率」と、変位量による「概成基準」により行われた。なお、これらには本地区の独自基準も設定された。

これらのうち目標安全率は、安定解析により安全側の条件で現況安全率を求め、不足する安全率を得るために

必要な工種・数量を保全対象に応じて設定するものであるが、本地区に限らず最近では、対策工実施後の状態（地形、追加抑止力、地下水位等）を入力して再度安定解析を行い、目標安全率の達成度を評価する事例が増えてきている。しかしながら、当初計画していた目標安全率を達成できず、概成判断に苦慮する場合もある。

また、変位量による概成基準は、一般的には「地すべり変位が停止していること」とされているが、対策工実施後も若干の変位量が残存し、完全に停止させることが難しい場合もあり、そういった場合の概成判断の方法についても、個別地区の課題となっている。

(5)の概成後の地すべり斜面管理については、法令・通知等で観測方法や数量が具体的に指示されていることはなく、一般的には、対策工実施により地すべりが停止することを前提に、概成または個々の対策工の完成と同時に観測を終了することが多い。少ない事例ではあるものの、高知三波川地区においては国営事業の事後評価の参考とすることを目的として、概成後も一部の観測が継続されている。

以下、本報では第2章において(4)の概成判断のうちの「目標安全率」、第3章で「概成基準」、第4章で左記を踏まえた「概成判断の実際」について、第5章で(5)の「概成後の地すべり斜面管理」について述べる。

2. 目標安全率

2.1 安定解析の方法

本報で紹介する高知三波川帯地区の地すべり防止区域は、いずれも高知県大豊町に位置する中村大王上区域（1961年指定、29.63ha）、桃原区域（1961年指定、96.07ha）、西桃原区域（1978年指定、34.70ha）である。なお、桃原区域と西桃原区域は隣接しており、本報では両区域をまとめて以後「桃原・西桃原区域」と記載する。

本地区における安定解析の方法は、農林水産省（2004）に示される標準スライス法（簡便法）が用いられた。この方法では、地すべりブロックの中央に設置した上下流方向の測線と地下のすべり面からなる2次元断面を複数のスライスに分けた上で、次に示す式（1）により抵抗力とすべり力の比、すなわち安全率 F_s を求める。

$$F_s = \frac{\sum \{c' \cdot l + (N - U) \tan \phi'\}}{\sum T} = \frac{\sum \{c' \cdot l + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot l) \tan \phi'\}}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (1)$$

ここで、 c' : すべり面の粘着力 (kN/m^2)、 l : すべり面の長さ (m)、 N : すべり面上に働くスライス重量のすべり面に垂直な分力 (式) (kN/m)、 U : すべり面上での間隙水圧に起因する力 $U=u \cdot l$ (kN/m)、 ϕ' : すべり面の土の内部摩擦角 ($^\circ$) (有効応力表示)、 T : すべり面上に働くスライス重量の接線分力 $T=W \cdot \sin \alpha$ (kN/m)、 W : スライス

重量 (kN/m)、 u : スライスのすべり面上に働く間隙水圧 (kN/m^2)、 α : すべり面が水平方向に対してなす角 ($^\circ$) である。

ただし、高知三波川帯地区の場合は、幅が概ね 200m 以上の地すべりブロックについては2本～3本の測線を設置し、それぞれの受け持ち幅により重みを与えて計算する疑似三次元解析が実施された。

標準スライス法は、補助事業も含めて大部分の農地地すべり対策で用いられている解析方法であり、今後も多くの現場で用いられると考えられる。その一方で、特に大規模地すべりにおいては、より詳しく安全率を計算するために、一部の後発地区においては2次元測線上だけでなく地すべりブロックの3次元的な広がりも考慮した Hovland 法等も用いられていくこともあるものと考えられる。

2.2 地すべりブロックの把握

本報で取り扱う高知三波川帯地区は、高知県大豊町に位置する地すべり防止区域中村大王上区域（1961年指定 29.63ha）と、桃原区域（1961年指定 96.07ha）西桃原区域（1978年指定 34.70ha）からなる。

高知三波川帯地区における地すべり防止区域及び大規模地すべりブロックの範囲を、中村大王上区域について Fig. 1 に、桃原・西桃原区域について Fig. 2 に示す。図の外側の細い線は地すべり防止区域の範囲、内側の太い実線、点線等は地すべりブロックの範囲と、そのように推定されていた年度を示している。

中村大王上区域では工事初期の大規模ブロックの形状が工事完了まで保持されているのに対して、桃原・西桃原区域においては大規模ブロックの把握に時間を要している。

桃原区域においても、Aブロックは工事当初の1999年

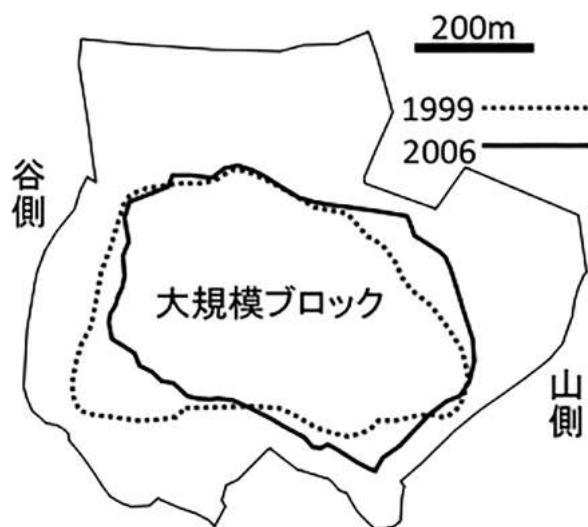


Fig. 1 地すべり防止区域及び大規模地すべりブロックの範囲 (中村大王上区域)
Landslide area and large landslide blocks (Nakamura Daioukai)

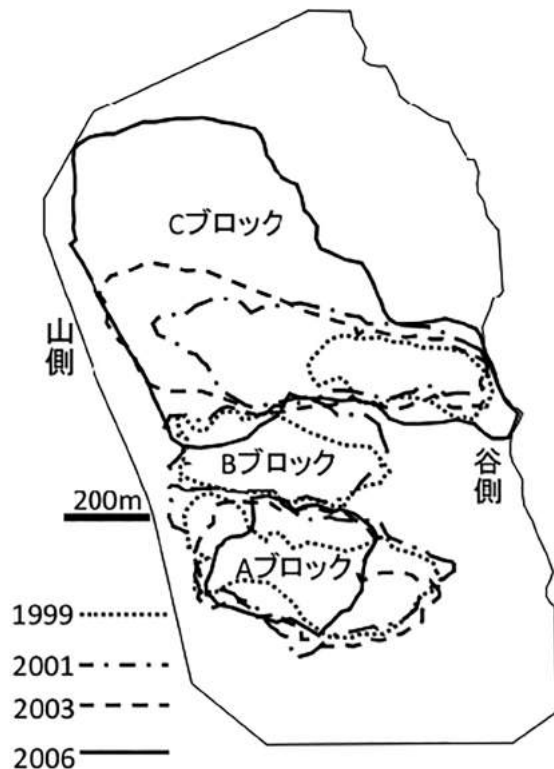


Fig. 2 地すべり防止区域及び大規模地すべりブロックの範囲
(桃原・西桃原区域)
Landslide area and large landslide blocks
(Momohara-Nishimomohara)

度からその形状は大きく変わっていない。一方、Bブロックは2003年度までの調査により大規模ブロックではなく小規模ブロックの集合体とされた。また、Cブロックでは2001年度まで、2003年度までと調査が進められるに従って、地すべりブロックが当初想定より広いことが明らかになり、2006年度までの調査で工事完了年度（2011年度）の範囲とほぼ同じとされた。

地すべりブロックの範囲は、安定解析と、それを元にした対策工配置計画や目標安全率達成状況評価の範囲そのものであり、正確に把握することが重要である。

一般的に地すべり対策においては、地形判読や地表踏査（地表の変状や崩積土の分布等）により地すべりブロックの範囲（平面形状と深さ）を想定し測線を設定した後に、調査ボーリングを掘削しパイプ歪み計や孔内傾斜計等により地中変位量を観測し確認している。このため、最初に想定する地すべりブロックの範囲が実際の変動範囲と異なっていた場合、地すべりブロックの把握のための調査に時間を要する場合がある。これを防ぐためには、正確な地形判読が求められることは言うまでもないが、現実的には技術者判断の余地が多い作業である。特に工事初期で情報が少ない中で、また、大規模・中小規模の複数の地すべり地形が複合的に存在している場合等に、地すべりブロック範囲の想定が極めて難しいこともある。できるだけ早い段階で、変位量観測値等の、地すべりブロック範囲の裏付けとなるデータの収集ができることが

望ましい。

地すべり対策の初期段階で地すべりブロックを把握するのに役立つと考えられる観測方法には、GPSによる観測、航空レーザ測量、干渉合成開口レーダーが挙げられる。

これらのうちGPSによる観測は農林水産省（2004）により地すべり移動量調査の1つとして位置づけられている。実際に、有澤ら（1998）は新潟県釜塚・段子刺地区の大規模地すべり地内で16点の測点（移動点）で年数回の観測を行い2～4cm/年程度の地すべり変位を捉えている。GPSにより連続観測を行い統計処理すれば1mm程度以上の突発変位または変位速度が0.1mm/日以上の変位を検出できる可能性が示されている（松田ら、2002）。中里ら（2007）は高知三波川帯地区で1cm/年程度の変位を捉えることができていた。さらに最近では、中里ら（2009）により、山形県七五三掛地区で春先の雪解けにより発生した地すべりブロック及び周辺に3箇所のGPS連続観測施設を当該年の4月中に設置して観測開始し、地すべりの挙動を捉えている。これらのように、GPSによる複数の定点での定期または連続した変位量の取得は、地形だけで捉えにくい場合であっても現時点で変位している地すべりブロックの範囲を推定する手段の1つとして有効であると考えられる。加えて、地すべり発生時や地すべり変位が疑われる場合の速やかな観測態勢構築の手段として優れていると考えられる。

航空レーザ測量は、樹木や地物の影響を除去し地表面の情報を得る技術開発が進められており、地すべり地形判読の補助的手段として有用であるだけでなく、同一地点において複数回の測量を行えば、地すべり変位量と変位している範囲を捉えることができる可能性がある。例えば、向山（2010）は2時期の航空レーザ測量の画像を解析し、解像度数10cmのオーダーで地震前後の地形変化量を捉えている。また、下河ら（2013）は、台風前後の航空レーザ測量画像を解析し、斜面崩壊発生箇所の抽出を行っている。これらの事例は、高知三波川帯地区で見られている数mm/年よりもやや大きい変位量を扱っているものの、今後の測量精度向上、樹木等の地すべり以外の地形変化の影響除去手法の開発、画像解析手法の発達、測量期間を長く取る等の応用手段等により、慢性的に微少な変動を続ける大規模地すべりにおいても利用可能になると期待される。

干渉合成開口レーダー（SAR）については、地すべり地で解析が行われた事例がある。鈴木ら（2010）は、先に述べた2009年に山形県七五三掛地区で発生した地すべりについてSAR干渉解析を行い、さらに佐藤ら（2012）により解析が進められた結果、被害が発生した地すべりブロックに隣接する大規模地すべりブロック（地表の変状は少ない）の範囲においても経年的な変位の傾向を捉え、中里ら（2009）によるGPS観測と同様の傾向を示していた。大規模地すべりの変位の範囲を概ね把握する手法として、今後に期待が持てると考えられる。なお、こ

これらの解析に用いたデータを取得した人工衛星「だいち」は2011年に運用を停止したが、現在は後継の「だいち2号」が運用されており、2014年11月からデータ配布が開始された(株式会社パスコ・一般財団法人リモートセンシング技術センター, 2014)。

2.3 地下水位の設定

地下水位は、2.1に示す式(1)の間隙水圧(u)のパラメータを決定するための参考とされる。実際の解析には便法としてボーリング孔(オープンピエゾメータ)や埋設型間隙水圧計の観測値をそのまま用いることが多いが、解析上の u は「すべり面」の間隙水圧であることに常に留意している必要がある。

現況地下水位は、原則として降雨観測期間の最高水位を用いるが、観測が短期間の場合には、豪雨時の異常水位を勘案して決めるとされている(農林水産省, 2004)。

高知三波川帯地区における工事実施期間中の最大日降雨は2004年8月1日で、中村大王地区で533mm、桃原地区で356mmであった。その後は毎年少雨傾向が続いていたが、工事完了年度の2011年度とその前年度に、2004年8月1日と同等な降雨量が観測されたため、これらの降雨により上昇した実測地下水位を豊水期の水位として安定解析が行われた。しかし、2009年度までは渇水年が続いていたため、対策後地下水位から実効雨量法によりモデルを作成し、2004年8月1日豪雨時に対策工がある場合の地下水位を推定して解析が行われていた。

高知三波川帯地区においては、大部分の対策工が完了した後の工事実施期間中に豪雨がかったため、豪雨時の実測地下水位を用いた安定解析により対策効果を評価することができたが、対策工実施後に豪雨が観測できない場合、対策工実施後の斜面に豪雨がかった場合の地下水位を推定して安定解析を行う必要が生じる。

実効雨量による地下水位の推定は、地すべり地も含めて一般的に広く行われている水文解析手法である。高知三波川帯地区を例とした事例には、海野ら(2008)による解析が挙げられ、これによると、先行降雨の有無によって実効雨量と地下水位の関係が異なることが指摘されている。また、紺野ら(2015)は山形県下の豪雪地帯地すべり地でタンクモデル、実効雨量等による地下水位の再現を試みたが、実効雨量の再現性はタンクモデルよりも劣るものとなった。これらの例に示されるように、地すべり地の降水量・パターンと地下水位の関係は、実効雨量等の単純な方法では良好な相関係数をもって推定できないことも多く、特に大規模地すべりにおいては、地下水の側方流動等も考慮した有限要素法や有限差分法を用いた2次元・3次元の浸透流解析が必要となる場合も生じるものと考えられる。

ただし、側方流動等を考慮した浸透流解析を行う際には、地すべりに影響を与えている地下水の流動範囲の推定や解析モデルの正しさの説明に苦慮することが考え

られる。このため、酸素・水素安定同位体比(土原ら, 2014a)や六フッ化硫黄(土原ら, 2014b)の分析等の調査を行い、地下水流動の範囲や速度を把握しておくことも重要と考えられる。

2.4 目標安全率の設定

高知三波川帯地区では、大規模ブロックの保全対象が河川であるほか、地区全体が集落となっており大部分のブロックに人家があるため、工事当初から目標安全率は原則として1.20に設定されていた。

しかし、工事が進められる中で、特に大規模ブロックにおいては、あくまでも安全率1.20を目標としつつも、それに最大限近づける対策を行うという考え方で目標安全率設定の再検討が進められ、2007年度までに以下のような「地区目標安全率(本報で用いる仮称)」として整理された。なお、渇水期及び豊水期両方の目標を達成するのが本工事の目標であった。

渇水期

条件1: 渇水期安全率 ≥ 1.20 で目標達成

条件2: 仮に対策前から地下水位を5m下げても安全率が1.20を下回る

条件3: 仮に地下水位をすべり面以下まで下げても安全率が1.20を下回る

条件4: 条件2または条件3を満たす場合は、渇水期安全率が対策前より5%向上すれば目標達成豊水期

条件5: 豊水期安全率 ≥ 1.00

3. 概成基準の設定

地すべり対策工事は一般的には地すべりの停止をもって概成と判断する。しかし、高知三波川帯地区では、地すべりが完全に停止しない場合や、追加対策工の実施が現実的に困難な場合が生じるおそれがあった。このため、2006年度から概成に向けた概成基準についての検討を開始し、穏やかな変位を許容しつつ、「豪雨時の急激な変位がなくなった状態を確認した上で概成とする」考え方に基づき、藤原(1994)により継続観測が必要と提案されている変動レベルCより小さいことを目安とし、以下の変位量が原則的な「地区概成基準(本報で用いる仮称)」が設定された。

年間変位量: 6mm 未満

月間変位量: 2mm 未満(2ヶ月連続しなければ可)

なお、藤原(1994)の提案は地表伸縮計による観測値を想定しているが、本地区では孔内傾斜計で観測される地中変位量により概成判断が行われた。

4. 概成判断の実際

第2章～3章で述べた地区目標安全率及び地区概成基準について、高知三波川帯地区での最終年度の達成状況を **Table 1** に示す。

検討が行われた2地区合わせて28の地すべりブロックのうち、地区目標安全率、地区概成基準ともに達成していたのは14ブロックであった。これに対して、地区概成基準は達成していたものの地区目標安全率未達成ブロックが10ブロック、地区目標安全率、地区概成基準ともに未達成となったブロックが4ブロックとなった。また、桃原・西桃原区域の大規模ブロック A-No.1, A-No.3, C-No.1 は、いずれも本地区で独自に設定された目標である条件4（対策後に対策前より5%向上）により目標安全率を達成したと判断されている。

高知三波川帯地区では、概成に向けて「目標安全率、概成基準の変位量については一律の基準を設定するのではなく、地すべりの規模や地域の実情等に応じて柔軟な概成判断をしても良いのではないか。」といった議論もなされ、工事完了年度である2011年度の最終的な概成判断においては、以下のような考え方が採られた。

Table 1 地区目標安全率及び地区概成基準達成状況
Achievement of safety functions and movement decreasing rules

○：達成 ×：未達成

地区	ブロック	地区目標安全率				地区 概成基準	備考
		条件			判断		
		1	4	5			
中村大王上	No. 1	○			○	○	大規模ブロック
	No. 2	○		×	×	○	
	No. 3	○		×	×	×	条件付概成
	No. 4	○		○	○	○	
	No. 5	○		○	○	○	
	No. 6	○		○	○	○	
	No. 7	○		×	×	×	条件付概成
	No. 8	○		○	○	○	
桃原・西桃原	A-No. 1	×	○	○	○	○	大規模ブロック
	A-No. 2	○		○	○	○	大規模ブロック
	A-No. 3	×	○	○	○	○	大規模ブロック
	A-No. 4	×	○	○	○	○	
	A-No. 5	×	×	×	×	○	
	A-No. 6	×	×	○	×	○	
	A-No. 7	×	○	×	×	○	
	A-No. 8	○		×	×	○	
	B-No. 1	○		○	○	○	
	B-No. 2	×	※	○	×	○	※条件②③を満たさない
	B-No. 3	×	※	○	×	○	※条件②③を満たさない
	C-No. 1	×	○	○	○	○	大規模ブロック
	C-No. 2	×	×	○	×	×	大規模ブロック 条件付概成
	C-No. 3	×	※	○	×	○	※条件②③を満たさない
	C-No. 4	×	※	○	×	○	※条件②③を満たさない
	C-No. 5	×	○	○	○	○	
	O-No. 1	○		○	○	○	
	O-No. 2	×	×	○	×	×	条件付概成
O-No. 3	○		○	○	○		
O-No. 4	×	×	○	×	○		

注：桃原・西桃原地区のブロック No の前の A～C の文字は、工事当初から想定されていた大規模ブロック名、O は当該ブロックの外にあるブロックである。

(1) 地区目標安全率が未達成

変位が地区概成基準（6mm/年、2mm/月）未満で変位量の拡大傾向がないことを前提として、次の1)～5)等のことが単独あるいは複合的にあり、やむを得ず地区目標安全率を達成させることができない場合は「概成」とする。

- 1) 水抜きボーリング等からの排水があつて対策工の効果があると認められても、すべり面周辺地盤の水理地質構造の複雑さに起因し、すべり面に働く間隙水圧をデータとして取れない。
- 2) 生活・営農用水として利用する必要があるため、地区目標安全率に達するまで地下水位を下げるができない。
- 3) 現実的に可能な対策工が実施済み、または、地下水位が元々低いブロック、地下水面の勾配が急なブロックで、追加対策を実施しても安全率の上昇が見込めない。
- 4) ブロック内に保全施設（道路、家屋など）がなく追加対策の必要性が低い。
- 5) その他地域の事情により追加対策が難しい。

(2) 地区概成基準が未達成

年間変位 6～24mm の変動レベル C（谷口ら、1999）であり、変位量の拡大傾向がないことを前提として、次の1)～3)等のことが単独あるいは複合的にあり、やむを得ず地区概成基準（変位 6mm/年、2mm/月未満）を達成できない場合は、概成後も観測を継続する「条件付き概成」とする。

- 1) 考えられる必要な対策が実施済み。
- 2) ブロック内に保全施設（道路、家屋など）がない。
- 3) その他地域の事情により追加対策が難しい。

上記のような検討の結果、概ね概成は可能と判断され工事全体は完了することとされた。ただし、**Table 2** に示す中村大王上区域 No.3, No.7, 桃原・西桃原区域 C-No.2, O-No.2 ブロックについては条件付き概成とし、概成後も観測を継続することとされた。

高知三波川帯地区に限らず、地すべり対策においては、対策工事により目標安全率に達し地すべり変位も完全に停止するのが理想であるが、現場においては地下水位低下量が当初想定よりも少なかったり、変位が残存する場合があります。その後の対策の進め方について判断を迫られる場合も多い。例えば、広島県下の農村振興局所管直轄工事神石高原地区では、月間変位量 0.5mm の概成基準を設け、地表面の変状（被害）や変位の累積傾向と合わせて概成判断を行い、一部の地すべりブロックにおいては概成後も観測を継続することとされた（田中ら、2006）。また、新潟県下の国土交通省所管直轄工事赤崎地区では、年間変位量 10mm 以下を地すべり防止工事完了の判定基準としている（北陸地方整備局、2011）。学会や Web 等に公表されていないものも含めて、個別地区の特徴を踏まえた考え方により概成判断を行うことが多いのが現状である。

地すべりブロックは個別地区ごとに規模や保全対象等が異なるため、概成判断の統一的な基準を整備するのは難しいと考えられる。しかし、対策後も想定より地下水位が高いことや変位量が残存していることを許容して概成した地すべりブロックについては、これまでの経験則による危険度評価に加えて、地すべり変位量と地下水位の関係を整理して、その斜面が持っている地すべり発生の数値的なリスクを把握し、概成後に引き継ぐ必要があると考えられる。例えば、土江ら(2006)は高知県下の農村振興局所管高瀬地区で地すべり変位量を地下水位指数回帰式で再現し、また、本報2.3章で述べたように海野ら(2008)は高知三波川帯地区で降雨量と地下水位の関係を実効雨量で再現している。計算の手法については当面は個別地区で検討しなければならないと思うものの、このような既存の知見も生かしながら降雨量・地下水位・地すべり変位量相互の関係を定量的に把握し、わかりやすくとりまとめることが重要であると考えられる。このことにより、地すべり変位量が概成判断時に許容した範囲なのか、それを超えた新たな滑動の兆候なのかの見極めが可能となり、将来的には、超過確率降雨や気候変動をも考慮した斜面のリスク管理についても検討がなされることが考えられる。

5. 概成後の地すべり斜面管理

5.1 観測計画

高知三波川帯地区では、概成より概ね5年を経過した後に行われる評価時点において地すべり対策工事の効果の発現状況を可能な限り定量的に評価するため、完了後も継続的な観測を行うこととされた。

観測地点は、最終年度の2011年度時点で実施していた孔内傾斜計による移動量観測83箇所、自記地下水位計等による地下水位観測152箇所全てではなく、以下の観点から概成後の観測を行う箇所が絞り込まれた。

(1) 観測対象ブロック

- 1) 大規模地すべり対策の対象ブロック
- 2) 排水トンネルの効果を期待した地すべりブロック
- 3) 継続観測を実施することを条件に概成とした地すべりブロック
- 4) 地すべり対策施設の機能評価

(2) 変位量観測の位置

- 1) 主測線またはブロックを代表する位置である。
- 2) 表層地すべりは除外する。
- 3) 座屈、変形していない孔とする。

(3) 地下水位観測の位置

- 1) 主測線またはブロックを代表する位置である。
- 2) 排水トンネル等の効果が認められるもの。
- 3) 降雨応答の認められる孔とする。

このような観点から絞り込まれた観測計画を **Table 2** に示す。

Table 2 概成後観測計画
Observation plan after the working project

地区	ブロック	観測項目・数量			備考
		地中変位量	地下水位	その他	
中村大王上	No. 1	1	2	トンネル排水量 トンネル内変状	大規模ブロック
	No. 3	1	1		条件付概成
	No. 7	2	2	荷重計	条件付概成
桃原・西桃園	A-No. 1	1	1		大規模ブロック
	A-No. 2				
	A-No. 3	1	1		大規模ブロック
	C-No. 1	1	4	トンネル排水量 トンネル内変状	大規模ブロック
	C-No. 2	2	1		大規模ブロック 条件付概成
	O-No. 2	1	1		条件付概成

原則として、観測対象ブロックに地中変位量観測、地下水位観測1箇所以上とされた。これらの他に、排水トンネル工を施工したブロックにおいては、トンネル内の変状の目視確認及び湧水量観測を行うこととされた。また、中村大王上区域 No.7 ブロックでは、地すべりが完全に停止しなかったため、対策施設保全の観点から、施工したアンカー工の1本に荷重計(ロードセル)が設置された。

5.2 観測状況

観測計画にあった地中変位量の2015年度2月までの観測状況(中国四国農政局資料による)を **Table 3** に示す。

Table 3 2014年度の地中変位量観測状況
Conditions of underground movement in 2014

地区	ブロック	観測状況	備考
中村大王上	No. 1	挿入型：観測可	大規模ブロック
	No. 3	挿入型：観測可	条件付概成
	No. 7	挿入型：2014年2月挿入不能 挿入型：2014年2月挿入不能	条件付概成
桃原・西桃園	A-No. 1	挿入型：2014年8月で観測取りやめ	大規模ブロック
	A-No. 2		
	A-No. 3	挿入型：観測可	大規模ブロック
	C-No. 1	埋設型：2014年8月に断線確認	大規模ブロック
	C-No. 2	埋設型：2014年8月に断線確認	大規模ブロック
	O-No. 2	埋設型：観測可だが、座屈による異常値の疑い	条件付概成
		挿入型：観測可	条件付概成

以上のように、当初10基あった孔内傾斜計のうち、2014年度時点で観測できていたのは挿入型の4基であった。中村大王上区域 No.7 に設置していた2基は2014年2月に孔内傾斜計が挿入不能となり、桃原・西桃園区域 A-No.1, No.2 ブロックでは地すべり性の変位が観測されていないと評価されたため、観測を取りやめられた。また、桃原・西桃園区域 C ブロックに設置した埋設型の孔内傾斜計は、うち2本で2014年8月に断線が確認され、もう1本については、従前から孔内での引っ掛かりが発生しており、変位が地すべりか座屈の影響か不明な状態と評価された。

概成後観測対象ブロックの変位量を **Table 4** に示す。

Table 4 年間地中変位量
Underground movement every year

C	ブロック	年度			備考
		2011～2012 (年平均)	2013	2014	
中村大王上	No. 1	0.43	0.44	0.57	大規模ブロック
	No. 3	5.78	2.93	6.36	条件付概成
	No. 7	4.69	5.07	不明	条件付概成
		3.21	2.45	不明	
桃原・西桃原	A-No. 1	不明	不明	不明	大規模ブロック
	A-No. 2	不明	不明	不明	大規模ブロック
	A-No. 3	0.54	0.63	0.59	大規模ブロック
	C-No. 1	不明	不明	不明	大規模ブロック
	C-No. 2	不明	不明	不明	大規模ブロック 条件付概成
	O-No. 2	4.05	5.34	11.70	条件付概成

変位量を観測できている大規模ブロックである中村大王上 No.1, 桃原・西桃原 A-No.3 については、変位量が増加する傾向は見られなかった。また、条件付概成とした中村大王上 No.3 については、毎年概成基準（年間 6mm）程度であった。桃原・西桃原地区 O-No.2 では 2013 年度まで概成基準程度の変位量であったが、2014 年度は 11.70mm と、やや大きい値を示したが、概成時に決定した条件付概成基準の年間変位 6～24mm の変動レベル C（藤原，1994）の範囲内であった。また、桃原・西桃原区域 A-No.1, A-No.2, C-No.1, C-No.2 ブロックでは、観測の可否にかかわらず概成後観測当初から地すべり性変位が観測できていないと評価されており、変位量は不明である。

その他、地下水位の急激な上昇、トンネル内の大きな変位もなく、荷重計の値も設計アンカー力の範囲内にあった。

高知三波川帯地区においては若干の変位量が残存したことに加えて国営事業の再評価に利用する目的も含め、概成後も一部の観測孔で観測を継続した。しかし、概成後の地すべり変位量等継続観測は一般的には想定されていない。また、農村振興局所管地すべり防止区域は全国で約 2 千地区、高知県だけでも 55 地区あり、高知三波川帯地区で用いたような孔内傾斜計や自記地下水位計を設置・維持しての観測を全ての地区で行うのは費用面や人員の面で現実的ではないと考えられる。

多数の地すべり斜面を管理する上で、注意すべき変位や変位量、また、それらを現実的に把握できる手法の開発が必要と考えられる。今後に期待できる観測方法に、2.1 章で挙げた GPS による観測、航空レーザ測量、干渉合成開口レーダーが挙げられる。また、紺野・伊藤（2008）は写真測量による管理を検討している。これらの手法は現状においては、受信機の設置、測量業務の発注、人工衛星データ購入等が必要なこともあり、工事実施中の地区以外でも広く用いられているとまでは言えず、減に発生している災害の状況把握が主となっている。しかし、今後実績が増えるとともに手法の簡素化、データや測定

機器の普及状況によっては、今後の地すべりのスクリーニング・モニタリング技術として有効と考えられる。また、現時点で具体的な地区を挙げるには至らないものの、4 章後半で述べたように、降水量・地下水位・地すべり変位量の 3 つが把握できている地区であれば、地すべりモニタリングや気象データから、当該斜面が持っているリスクやその変化を予測することができると考えられる。

もう 1 つの斜面管理の方法として、地方行政や住民らによる監視や保全が挙げられ、地すべり監視員制度等の行政から支援を受けた住民による活動も含まれる。斜面全体の地すべり災害の予防・軽減に関しては、農林水産省農村振興局農村環境課（2008）により、地名、過去の災害記録、地形・植生などの地すべり地の特徴の見方や地すべり発生の前兆現象の把握等について地域住民向けの冊子が公表されている。また、概成後の地すべり防止区域内に設置されている対策施設の機能保全の方法については、農林水産省農村振興局農村環境課（2013）、農林水産省農村振興局農村環境課（2015）により主な工種（水抜きボーリング孔、集水井工、承水路工、アンカー工）を対象に公表されている。これらには、コンサルティングを含む専門的な機能診断の方法とともに、地方行政（依頼等を受けた地域住民を含む）が行うべき日常管理も提案されている。このような地すべり対策施設の機能や変位を監視することは、地すべり斜面全体の変位把握にも役立つと考えられる。

今後の地すべり斜面の管理を行っていくためには、できるだけ簡易かつ十分な地すべり観測方法の確立すること、概成後であっても地すべり対策施設の管理を進めていくことが重要と考えられる。加えて、今後は個々の観測データ整理、対策施設の機能点検にとどまらず、観測値と複数の対策工が組み合わされた斜面全体のリスク評価方法についても手法の確立に向けた検討が必要と考えられる。

6. 今後に向けて

本報は、高知三波川帯地区を例に、工事実施中の概成判断、概成後の斜面管理に着目して、これまでの実績をとりまとめるとともに今後の課題について整理したものである。第 5 章までに述べた主な課題について以下にまとめる。

6.1 地すべりブロックの把握（2.2 章）

地すべり対策における全ての段階において、斜面管理は地すべりブロックを単位として行われる。具体的には、地形判読により地すべりブロックの範囲を想定した上で、測線を設定し調査ボーリング、地中変位量観測等を行うことになる。このため、地すべりブロックが最初の想定と異なる場合、調査に時間を要することがある。

一義的には正確な地形判読が最も重要であることは言

うまでもないが、技術者判断の余地があり、特に大規模・中小規模の複合的な地すべりの場合、対策対象ブロックの見極めが難しい面がある。このため、地すべり対策の初期段階で地すべりブロックの把握に利用できる観測方法として、GPSによる観測、航空レーザ測量、干渉合成開口レーダーが挙げられ、今後の手法の精度向上や簡素化等についても期待される。

6.2 地下水位の設定 (2.3章)

対策工事施工後に豪雨があった場合は、対策効果を直接確認することができるが、そうでない場合は、対策工がある状態での豪雨時の地下水位を予測し、対策工の効果を評価する必要がある。手法としては、実効雨量、タンクモデル等の概念モデルに加えて、2次元・3次元の浸透流解析等の方法があるが、個別の現場で試行錯誤によっているのが現状である。技術的に難しい面もあると思われるものの、解析手法の適用性についてある程度の体系化が必要と考えられる。また、地下水水質等の実測により、地下水流動機構を把握しておくことも重要と考えられる。最近行われている手法として、酸素・水素安定同位体比や六フッ化硫黄の分析等が挙げられる。

6.3 概成判断 (2.4章, 3章, 4章)

地すべり対策においては、当初定めた目標安全率に至らない場合や、対策工施工後にも若干の変位が残る場合がある。このような場合、個々の現場において個別に概成基準が検討されることが多いが、その根拠は経験則や観測・監視等の結果を基に便宜的に決定されているものであるため、あくまでも当面の管理基準として扱うべきものが多い。今後、降雨量・地下水位・地すべり変位量相互の関係を定量的に把握することにより、概成判断を行う、或いは概成後であっても、斜面が持つリスクを定量的に管理する手法についても検討すべきと考えられる。

6.4 概成後の地すべり観測 (5章)

地すべり対策においては、概成後も防止区域内で本来は変位量を把握すべきではあるが、対策工事実施中に行われている地中変位を中心とした観測を全ての地すべり防止区域で常時行うのは、費用面等からも現実的に困難である。優先順位の検討が必要となる。

観測方法については、5.1に挙げた比較的簡易な方法が考えられる。また、地すべり対策施設に着目した斜面管理も考えられる。加えて、今後は個々の観測データの評価、個々の対策施設の機能点検にとどまらず、観測値と複数の対策工が組み合わされた斜面全体のリスク評価方法についても手法の確立に向けた検討が必要と考えられる。

謝辞：5章で取り扱った概成後の地すべり観測データは、中国四国農政局から提供を受けたものである。本報執筆へのご協力について、深く感謝します。

引用文献

- 有澤英樹・小林郁雄・大石哲 (1998)：巨大地すべりにおけるGPS測量の効果と課題，第37回地すべり学会研究発表講演集，289-292.
- 中国四国農政局高知三波川帯農地保全事業所 (2012)：高知三波川帯地区技術誌，500p.
- 北陸地方整備局 (2011)：地すべり対策事業の事後評価資料（阿賀野川水系赤崎地区地すべり対策事業），http://www.hrr.mlit.go.jp/johokokai/hyouka/hyouka01/h23/h23_5/5.pdf（閲覧日：2015年10月29日）
- 藤原明敏 (1994)：地すべり調査と解析，理工図書，222p.
- 紺野昭浩・伊藤裕 (2008)：地すべり防止区域における観測管理体制の簡素化，農業農村工学会誌，76(12)，1114-1115，a3.
- 紺野道昭・森一司・藤原賢・大塚文哉・日野友則 (2015)：タンクモデル法，実効雨量法，重回帰分析法を用いた山形県下の豪雪地帯地すべり地における地下水位再現解析，第54回日本地すべり学会研究発表会講演集，157-158.
- 松田浩朗・安立寛・西村好恵・清水則一 (2002)：GPSによる斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位挙動予測手法の実用性の検証，土木学会論文集，715，333-343.
- 向山栄 (2010)：航空レーザ計測による地形の高精度判読，地盤工学会誌，58(8)，6-9.
- 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)，47-53.
- 中里裕臣・井上敬資・阿部栄一・高木圭介・増成友宏・武地美明 (2008)：GPSによる地すべり移動量観測における留意点，日本地すべり学会誌，44(6)，393-399.
- 中里裕臣・木下勝義・井上敬資・奥山 武彦・須貝俊彦・八木浩司 (2009)：2009年2月25日以降の山形県鶴岡市七五三掛地すべりの再活動と移動状況の特徴（速報），地学雑誌，118(3)，587-594.
- 農地地すべり研究会 (1997)：農地すべり対策事業便覧1997年版，第2版，農業農村整備情報総合センター，655p.
- 農林水産省 (2004)：土地改良事業計画設計基準「農地地すべり防止対策」基準書・技術書，372p.
- 農林水産省 (2016)：農村振興局所管地すべり防止区域 集計表（平成28年6月20日現在），http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/pdf/areas_shitei_noushin_160620.pdf（閲覧日：2016年12月8日）
- 農林水産省農村振興局農村環境課 (2008)：地すべり災害を予防・保全するための活動の手引き—住民の皆さんができる地すべり対策—，http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/t_zisuberi/pdf/yobou_tebiki.pdf（閲覧日：2016年9月6日）
- 農林水産省農村振興局農村環境課 (2013)：地すべり防止施設の機能保全の手引き—抑制工編—，http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/t_zisuberi/pdf/tebiki_all.pdf（閲覧日：2015年11月4日）
- 農林水産省農村振興局農村環境課 (2015)：地すべり防止施設の機能保全の手引き—アンカー工編—，<http://www.maff.go.jp/j/>

- nousin/noukan/tyotei/t_zisuberi/pdf/tebiki_2all.pdf (閲覧日：2015年11月4日)
- パスコ・一般財団法人リモートセンシング技術センター (2014)：陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2) データ等の配布開始について, http://alos-2-restec.jp/_public/alos-2_pr_20141125.pdf(閲覧日：2015年11月4日)
- 佐藤浩・岡谷隆基・小荒井衛・鈴木啓・飛田幹男・矢来博司・関口辰夫 (2012)：SAR 干渉画像を用いた地すべり地表変動の検出について - 山形県月山周辺を事例にして -, 日本地すべり学会誌, **49** (2), 61-67.
- 下河敏彦・稲垣秀輝・千田良道・松田匡司・鈴木浩二 (2013)：航空レーザ測定の DSM で抽出された地すべり危険斜面の現地検証, 日本地すべり学会誌, **50** (4), 176-182.
- 鈴木啓・雨貝知美・森下遊・佐藤浩・小荒井衛・関口辰夫 (2010)：山形県月山周辺における SAR 干渉画像を用いた地すべりの検出, 国土地理院時報, **120**, 1-7.
- 田中研一・馬屋原亨・福留正昭・永田聡 (2006)：地すべり対策事業地区の概成評価方法について, 農業土木学会誌, **74** (1), 27-30, a3.
- 土江博・河相泰信 (2006)：高瀬地区の観測システムについて, 第 61 回農土木学会中国四国支部講演会講演要旨集, 139-141.
- 土原健雄・奥山武彦・吉本周平・白旗克志・石田聡 (2014a)：水素・酸素安定同位体比の高度効果からみた地すべり地の地下水涵養源の検討, 平成 26 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 630-631.
- 土原健雄・奥山武彦・吉本周平・白旗克志・石田聡 (2014b)：六フッ化硫黄を指標とした山形県七五三掛地すべり地における地下水の年代推定, 農業農村工学会論文集, **82** (6), 413-422.
- 海野寿康・中里裕臣・井上敬資・高木圭介 (2008)：破碎帯地すべり地区における地下水位計測と実効雨量に基づく地下水位の降雨応答特性, 日本地すべり学会誌, **45** (3), 219-226.

受理年月日 平成 27 年 11 月 9 日

Challenges of Landslide Prevention Work Completion Methods and the Management after a Project Under Direct Control

KONNO Michiaki*

*Disaster Prevention Unit, Division of Facilities and Geotechnical Engineering

Abstract

Landslide prevention projects are used at five stages: (1) designation of landslide prevention areas, (2) formulation of master plans, (3) construction of landslide prevention works, (4) completion of projects, and (5) post-project management. However, (4) and (5) have no universal standards. Local rules are used for individual areas. For these stages of (4) and (5), this paper presents four points as difficulties for the Kochi Sanbagawa belt area. Its current state and expected outcomes were assessed.

First, landslide blocks were identified. Correct evaluation and identification are necessary for a landslide block to be processed as a unit during management. Topographical analysis is the main method used today. However, results from GPS, aerial laser measurements, SAR interferometry, and other methods are also considered. Furthermore, more accurate and simplified investigation methods are anticipated. Second, evaluation and prediction of groundwater conditions must be done after building construction. Systematization of a certain degree is necessary for application of an analytical method, including the identification of subterranean stream networks using water quality analyses. Current methods rely on trial and error at individual sites. Third, judgment of a standard of the completion (Gaisei) is necessary. Such standards are often produced separately at different sites based on an empirical rule, but many contents must be handled as present criteria of control. The techniques to manage slope risk by assessing rainfall and groundwater effects on the amount of displacement of a landslide must also be considered. Fourth, slope management must be done after project completion. Different ideas must be examined in order of priority, with slope management emphasizing landslide measurement facilities and simple observation methods. Realistically, it is costly to maintain observations of ground displacement throughout a landslide prevention area during implementation of countermeasure work. Future methods are expected to provide continuous observations and function indicators at each measurement facility. Moreover, a risk evaluation method must be developed for a whole slope with multiple measurement devices and observation methods.

Key words: *Safety factor, Standard of the completion (Gaisei), Kochi Sanbagawa*