

道路のり面・斜面に対する予防保全へのアプローチ (地盤データベースの効率的な運用から監視体制の確立へ)

○下野 宗彦¹・中田 幸男²・清水 則一³

¹ 西日本高速道路エンジニアリング中国(株)調査設計部 (〒733-0037 広島県広島市西区西観音町2-1)

E-mail: m-shitano@w-e-chugoku.co.jp

² 山口大学 大学院理工学研究科教授 工博 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1)

E-mail: nakata@yamaguchi-u.ac.jp

³ 山口大学 大学院理工学研究科教授 工博 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1)

E-mail: nshimizu@yamaguchi-u.ac.jp

自然災害による死者・行方不明者は、戦後～昭和40年代にかけて大幅に減少したが、「阪神淡路大震災及び東日本大震災」を除くと、その後は微小な増減を繰り返し、未だ災害発生の根絶には至っていない。

昨今では、道路斜面の維持管理も重要視され、比較的丁寧な点検が実施されてきているが、H8道路防災総点検のデータを分析すると、道路斜面災害発生箇所³⁾の63%は、対策不要なし点検対象外の箇所³⁾で発生している。これは、点検の評価判定に対し、「地域性に応じた地形・地質の素因特徴の反映が不足していること」、「評価は全国一律で、地域性が考慮されていないこと」、「過去の災害履歴が点検の評価にフィードバックされていないこと」等が原因であると推察される。

従って、降雨に伴う斜面災害の発生素因である「中国地方における地質等の特異性」を把握し、「高速道路の災害履歴と表層地質区分の関連性評価」、「当該地域の地質特異性に着目した抽出結果に基づく監視」及び「点検と調査への効率的な対応」等について、NEXCO中国支社の事例を踏まえて紹介する。

Key Words : road slope, maintenance, geology, casualty history, surface layer, detecting critical slopes

1. はじめに

我が国は、明治以降欧州を範とした施策(治水三法等)を展開し、戦後は、大災害のフォローアップである具体の法律の下で、防災・減災に関わる施策が推進されてきた結果、自然災害による死者・行方不明者は、戦後から昭和40年代にかけて大幅に減少した¹⁾。昨今では、安全安心な国土保全を目指す施策が進められるとともに、道路斜面の保安全管理が重要視され、比較的丁寧な点検が実施されてきているが大規模震災を除くと微小な増減を繰り返し、未だ災害発生の根絶には至っていない²⁾。

安全安心なインフラ管理には、従前の事後保全から予防保全への転換が不可欠であるが、のり面・斜面の予防保全では、大きなウエイトを占める「不確実な素因と誘因」から、その手法には工夫が必要である。

本論は、のり面・斜面の保安全管理の現状と課題、中国地方の地形・地質概要、土砂災害の傾向から、予防保全に対する具体的な提言をするものである。

尚、土砂災害は、一般的に「土石流・地すべり・崖崩れ」に大分され、いずれも自然斜面を対象とする。切土及び盛土のり面は、災害の発生防止を目的として設計・施工された人工斜面であるため、その災害はこれらと区分される。従って、本論文中の「土砂(災害)」は、自然斜面における土石流・地すべり・崖崩れを対象とし、切土及び盛土のり面の崩壊を含むものは、「斜面(災害)」と定義した。

2. のり面・斜面に対する保安全管理の現状と課題

我が国におけるのり面・斜面(以降 斜面という)の維持

管理は、基本的に道路管理者である国・地公体や道路会社が行っており、予防保全の概念を取込んで一般的に表-1に示すような点検で実施されている。

表-1 点検種別とその概要

点検種別	概要
初期点検	構造物の完成後の初期状況を把握するために、近接目視及び打音により行う点検。
日常点検	道路全般の異常、損傷などを早期に発見するために、主に車上目視により日常的に行う点検。
定期点検	管理区間内構造物の状況を定期的に把握するとともに、点検計画立案に資するために、主に遠望目視により行う点検。
臨時点検	地震や異常気象時等に、必要に応じて行う点検。
防災点検	国交省主導の下、豪雨・豪雪等による災害を防止するため、道路斜面の安定性等について行う詳細な点検。点検後の対応策等を記した「防災カルテ」の作成や点検結果のデータベース化等を行っている。
詳細点検	構造物の損傷状況を詳細に把握するために、近接目視及び打音により行う点検であり、補修計画などの立案も行う。

※NEXCO道路構造物点検要領(案)に加筆修正

平成8年度の全国一斉道路防災総点検以降、点検と防災対策の進捗は、大きく進展していった。

しかし、図-1に示すように、「危険」と評価された斜面より「危険性なし」あるいは「スクリーニングで問題ないため点検対象外」と判断された斜面の方が良く崩れるという結果になっている³⁾。

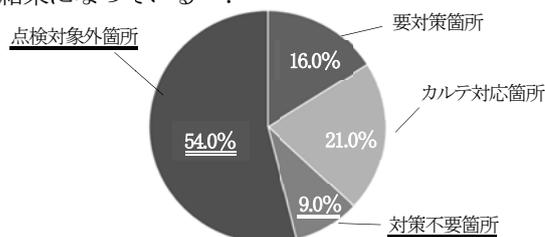


図-1 H8道路防災総点検結果と災害発生割合³⁾

「危険性なし」あるいは「スクリーニングで問題ないため点検対象外」と判断された斜面は、当然であるが点検時点で明確な挙動を示していないため、点検結果に基づく詳細な調査設計や補修補強工事の検討を直ちに実施する事は、現実的に不可能である。従って、斜面の予防保全を遂行する上で一番大きな問題は、「現時点で明確な挙動を示していない斜面に対し、いかに効率的確なリスクヘッジを行うか」ということになる。

のり面・斜面の保全管理が、橋梁やトンネル、舗装等他の構造物と大きく異なるのは、主に自然が対象であることが挙げられる。斜面は、材料の不均一性や地域的な地質特性等の素因の違いが顕著であり、画一的な維持管理が難しいということに集約される。

従って、斜面に関する予防保全には、これら素因の違いを把握することが最優先されるものであり、この課題と解決策をまとめると、下記のとおりである。

課題；現時点で明確な挙動を示していない斜面に対する効率的で的確なリスクヘッジ

解決策①；中国地方の地形・地質と土砂災害傾向把握

解決策②；斜面に対する基礎資料の整備

解決策③；災害履歴の整理と危険対象斜面の抽出

解決策④；管理手法の効率化

3. 中国地方における地形・地質概要と土砂災害の傾向・・・解決策①

(1) 中国地方の地形・地質概要

中国地方は、表-2に示すように総面積に対する山地・丘陵地の占める比率が88.4%となっており、全国平均(72.7%)と比べ15.7%も高い比率になっている。これは全国一位で、斜面が非常に多いという事に繋がる。

表-2 中国地方の地形別面積と比率

都道府県	地形別面積(上段;km ² , 下段;比率)					Σ
	山地	丘陵地	台地	低地	内水域等	
鳥取県	3,057 87.2%)	3 0.1%)	10 0.3%)	411 11.7%)	24 0.7%)	3,505 100%)
島根県	4,845 72.2%)	1,182 17.6%)	7 0.1%)	495 7.4%)	183 2.7%)	6,712 100%)
岡山県	4,896 69.2%)	976 13.8%)	45 0.6%)	1,141 16.1%)	22 0.3%)	7,080 100%)
広島県	6,754 79.8%)	1,082 12.8%)	45 0.5%)	559 6.6%)	26 0.3%)	8,466 100%)
山口県	4,062 66.6%)	1,315 21.6%)	104 1.7%)	461 7.6%)	160 2.6%)	6,102 100%)
中国地方	23,614 74.1%)	4,558 14.3%)	211 0.7%)	3,067 9.6%)	415 1.3%)	31,865 100%)
全国	230,330 61.0%)	44,333 11.7%)	41,471 11.0%)	51,964 13.8%)	9,232 2.4%)	377,330 100%)

(総務省統計局資料「S57 国土数値情報作成調査」⁵⁾ から作成)

中国地方の地質は多種多様で、三郡変成岩・古生層・中生層・白亜紀から古第三紀の火成岩と深成岩・新第三紀層・第四紀層などが点在しており、特に、白亜紀～古第三紀の花崗岩類が広く分布する⁶⁾。

中国地方の主な地質の分布状況は、面積比率で表すと図-3のとおりである。

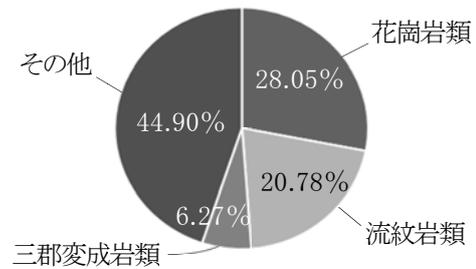


図-3 中国地方全域の地質分布

花崗岩類は、一般的に全国各地に広く分布し、我が国の国土面積の13%強を占めている⁷⁾とされている。しかし、中国地方全体では、水域を除く全面積中のおよそ30%弱が、広島県においては40%弱が花崗岩類で覆われており、これら花崗岩類が広く分布していることが中国地方の地質分布の大きな特徴として挙げられる⁴⁾。

以下分布面積は、流紋岩類及び三郡変成岩類へと続く。

(2) 中国地方の降雨傾向

中国地方の気候は、山陰側の日本海気候と山陽側の瀬戸内海気候の2つに区分され、山陽側の降雨は春から夏が多く山陰側の降雨は秋から冬が多くなっている⁴⁾。

中国地方の高速道路沿線における降雨形態(S57年からH23年の30年間)を、下記のとおり取りまとめた。

- ・アメダス：40地点(1982年)～41地点(2011年)
- ・道路観測：2地点(1994年)～126地点(2011年)
- ∴1994年以前のデータは欠落している

S57年(1982)～H23年(2011)の30年間累計雨量地点平均は、図-4のとおりである。

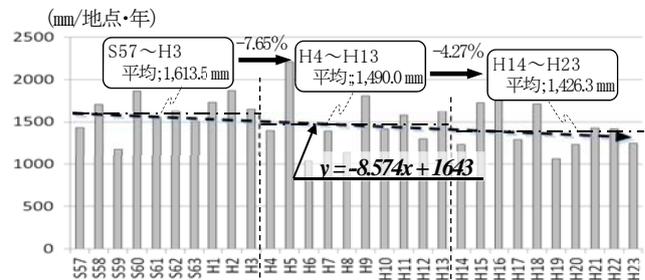


図-4 中国地方の年間累計雨量地点平均

中国地方の年間雨量地点平均は、若干の減少傾向にあるが、その傾きは小さくほぼ平均して1,500mm前後を推移している。次に、局地的集中豪雨の傾向を表す指標として時間30mm以上の降雨が1観測地点あたり年間何時間発生したかを年毎に示したものを図-5に示す。

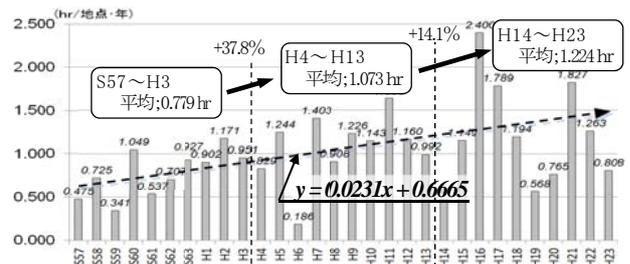


図-5 時間雨量30mm以上の年間発生頻度(hr/観測局)

中国地方の局地的集中豪雨は、気象庁が発表している全国傾向と同様にその増加が著しいものである。年間累計降雨量は、それほど大きな変化が認められないが、局地的集中豪雨は年々増加する傾向にある。

(3) 中国地方の土砂災害の実態

中国地方の土砂災害(土石流・地すべり・崖崩れ)発生件数は、第2章と同様に局地的集中豪雨の発現が顕著である平成14年～平成23年までの10年間でまとめると、図-6のようになる。

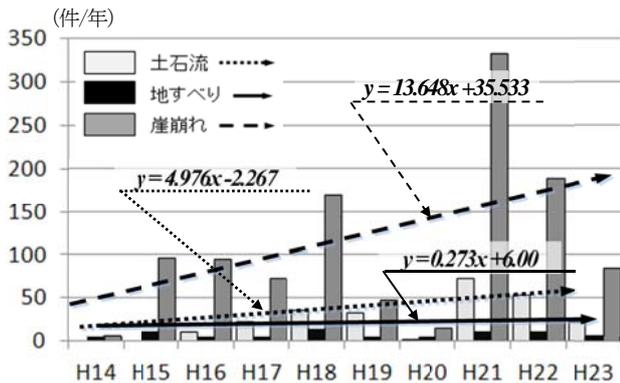


図-6 H14～H23 中国地方土砂災害発生件数 (H20版砂防便覧⁸⁾及び国交省土砂災害情報⁹⁾から作成)

中国地方は、土石流・地すべり・崖崩れ共に増加している。次に、H20版砂防便覧及び国交省土砂災害情報から作成した全国データを8地方に区分し、中国地方の土砂災害発生形態を比較したものを、図-7～10に示す。

なお、比較は、式(1a)のように発生件数(N)を各地方面積(A)で除したものを発生指数(α)として算出した。

$$\alpha = N / A (\text{km}^2) * 1,000 \dots (1a)$$

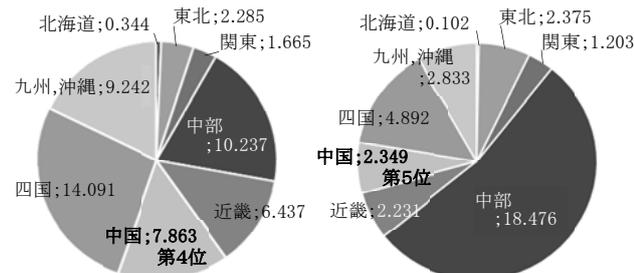


図-7 H14～H23 地方別 土石流発生指数

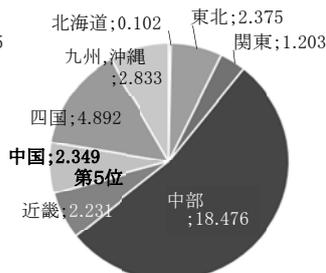


図-8 H14～H23 地方別 地すべり発生指数

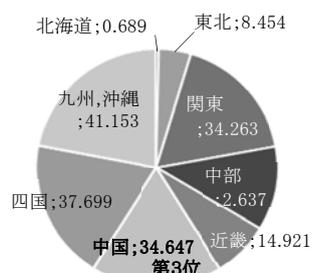


図-9 H14～H23 地方別 崖崩れ発生指数

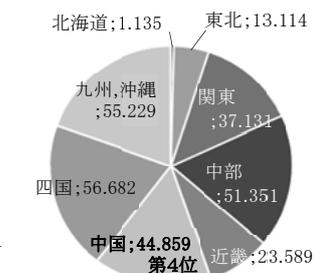


図-10 H14～H23 地方別 土砂災害発生指数

局地的集中豪雨の発現が顕著である平成14年～平成23年までの10年間の災害発生形態を地方別にみると中国地方の発生指数は、土石流；4位、地すべり；5位、崖崩れ；3位、土砂災害全体では4位となっている。

中国地方は、図-6のように、発生件数自体は全て増加しているものの、図-7～10に示すとおり他の地方に比べ、際立って災害発生指数 α が高いとはいえない。

図-11は、各県が国土交通省の要領に基づいて調査し指定された土砂災害危険箇所¹⁰⁾を、8地方区分で比較したものである。これは、土砂災害防止を目的とした行為制限と防災施設整備を行うためのハード対策を推し進めるために設けた指定危険箇所である。比較は、式(1b)のように土砂災害危険箇所数(N')を各地方面積(A)で除したものを危険箇所指数(α')として算出した。

$$\alpha' = N' / A (\text{km}^2) * 1,000 \dots (1b)$$

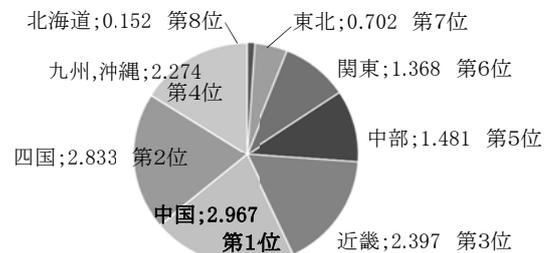


図-11 地方別 土砂災害危険箇所指数 α'

中国地方は、図-10の地方別土砂災害発生指数 α に示されるように、全国第4位ではあるが、図-11のように土砂災害危険箇所指数 α' は、第1位となっている。

中国地方は、災害発生履歴(発生件数)に比べて潜在的な危険素因を有す斜面が非常に多く、地形・地質的観点から見ても昨今の局地的集中豪雨の増加現象を鑑みると、土砂災害の発生に対する予防保全に対しては、楽観できない状況にあるといえる。

4. 斜面に対する基礎資料の整備・・・解決策②

斜面の崩壊素因は、材料の不均一性や地域的な地質特性等が大きなウェイトを占めている。これらを把握するためには、過去の調査資料(報告書)を整理することから始まる。これら調査データは、いくら古いものであっても地質情報としての価値は変わらず、むしろ現在では得ることのできない貴重な情報である。

NEXCOでは、高速道路の調査から設計にかけて、複数段階(予備・概略、第1・2次土質調査、構造物基礎調査等)の調査を実施する。その後、施工時の変状箇所に対する追加調査、供用開始後の変状箇所に対する調査が行われており、H23年度末時点でおおよそ1,200件分の報告書が残存している。

過去の調査資料から整理する内容は、「表層地質データの集約、地質特性、地形地質概要図の整備」である。

災害履歴を色々な角度から分析することが可能である。

図-14は、災害履歴を分析した結果の一つである。中国地方の高速道路における切土のり面と自然斜面の災害履歴（S57～H23：30年間分）を、集約整理した43の地質区分毎に発生傾向として取りまとめたものである。

各地質に対する100km²あたりの災害発生指数 β を式(1)により算出している。

$$\beta; \text{災害発生指数(土工100km}^2\text{あたりの発生頻度)}$$

$$\beta = \text{被災箇所数} / \text{分布面積(km}^2\text{)} * 100 \dots (1)$$

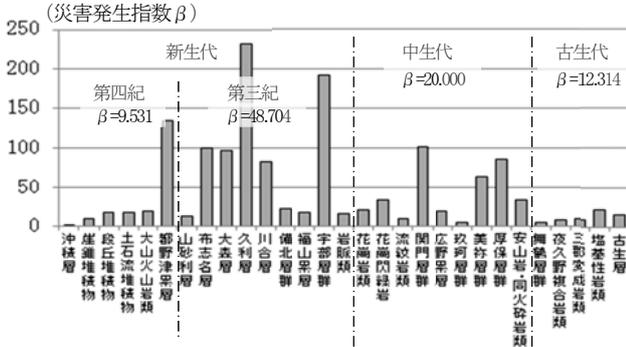


図-14 中国地方の高速道路地質別災害発生指数 β

図-15は、地質別災害件数と箇所あたり平均被災規模を示している。

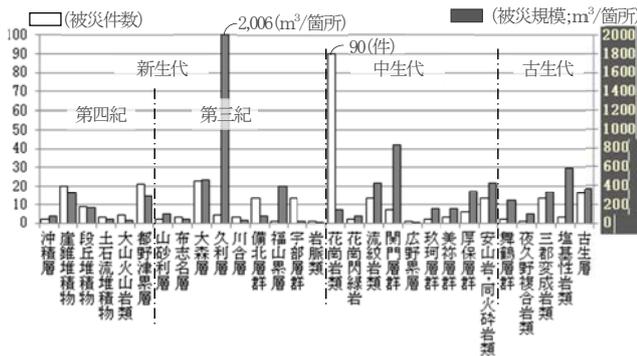


図-15 中国地方の高速道路地質別災害件数と被災規模

災害発生指数 β の上位は、新生代新第三期から第四紀にかけての堆積岩層に集中している。一方、災害発生数と箇所あたり平均被災規模に着目すると、中生代花崗岩が突出しているが、被災規模は、他の地質に比べ比較的小さい。斜面災害1箇所あたりの被災規模は、新生代第三紀層が圧倒的に大きい⁴⁾。

このように、中国地方の斜面災害は、地質によって発生傾向が大きく異なっていることが明らかである。

図-1に示した点検結果と災害発生箇所が乖離している原因は、スクリーニング手法や点検の評価判定に対し「地域性に応じた地形・地質の素因特徴の反映が不足していること」、「評価が全国一律で、地域性が考慮されていないこと」、「過去の災害履歴が点検の評価にフィードバックされていないこと」等であると推察した。当該斜面に内在する危険素因を出来る限り把握することが必要であると考えられる。

中国地方の高速道路沿線における災害履歴を整理した

結果から、地質によって発生傾向が大きく異なっていることが明らかになった。これら地質に留意しスクリーニングを実施することが必要である。

6. 管理手法の効率化・・・解決策④

(1) 点検の重要度区分

表-3は、斜面のスクリーニング評価に追加する項目とその基準に関する一例である。

表-3 斜面のスクリーニング評価項目と基準例

	10点	8点	6点	4点	2点
評価事象に対する緊急性	現在挙動が疑われる	比較的新しい変状がある	ランクⅠ(要対策箇所)	ランクⅡ(カルテ対応)	その他
被害の影響度	通行車、周辺等への被害の可能性	—	本線変状	側道変状	その他構造物変状
交通量(台/日)	17,000 超え	17,000～8,000	8,000～5,000	5,000～3,000	3,000 未満
	5点	4点	3点	2点	1点
地形構造	地すべり等	ポルネカ沢地形	レベルバンク・レール等	—	—
地質	新生代 第三紀	新生代 第四紀	中生代	古生代	—
60分確率降雨	65mm 超え	60～65	55～65	55～50	50 未満
規制連続雨量	150mm 未満	150～170	170～200	200mm 超え	—

中国地方は、潜在的な危険素因を有す斜面が非常に多く、限られた予算の中でのり面・斜面に対する予防保全を実施するためには、点検結果に応じた健全度評価に加え、少なくとも地質時代に応じた重要度区分を設定して点検と監視の効率化を図ることが必要である。

(2) 計測(動態観測)の効率的な実施

2章で述べたとおり、斜面の予防保全を遂行する上で一番大きな問題は、「現時点で明確な挙動を示していない斜面に対し、いかに効率よく的確なリスクヘッジを行うか」ということである。点検を効率的に丁寧に行っても、明確な変状と挙動が発見されない場合は、その後の検討を行うことが非常に困難である。従って、斜面の予防保全では、点検結果と地質特性等から動態観測を行って監視することが一つの方策として考えられる。

斜面に関する予防保全の動態観測は、いつ何時発生するかわからない地盤挙動の予兆を早期に捉えることが必要であるため、自動観測には下記の条件が必要である。

- ①GPS*を含めた複数種のセンサデータが融合されている仕組みであること(Web画面で全データを表示)
*GPSは±2mm程度の高精度で3次元の計測が可能¹⁴⁾
- ②夜間や悪天候時に関係なく計測可能であること
- ③各センサに対し管理基準値が設定可能であること
- ④インターネットを通じて計測結果を24時間連続配信できるシステムであること
- ⑤センサ及び通信機器の自己診断機能等を有し、データの欠測が予防される仕組みであること

西日本高速道路エンジニアリング中国(株)は、これらを満足させる仕組みとして「統合型地盤監視ネットワークシステム¹⁴⁾」を構築し、予防保全に対する動態観測を行

っている。図-16は、その概念図である。

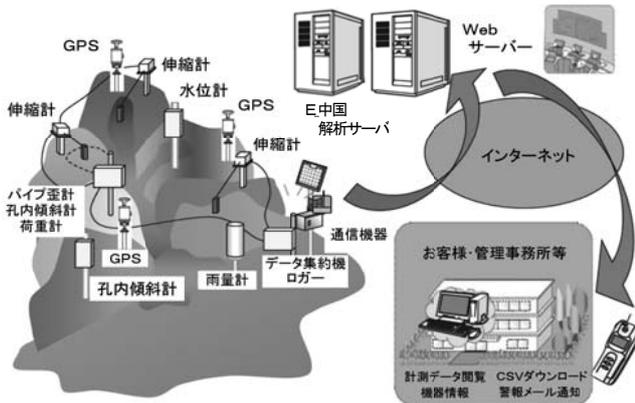


図-16 統合型地盤監視ネットワークシステムの概念図

管理基準値は、「地すべり観測便覧」に示されている値を基本とし、3次クリープ域は、何らかの対策に入っていると考え、「土の破壊クリープ曲線；斉藤上沢式」を参考に、予防保全の観点から2次クリープ領域で管理する事を前提とした。

図-17は、動態観測を行った斜面のデータから事前通行止めを行い、第三者被害を食い止めた事例である。

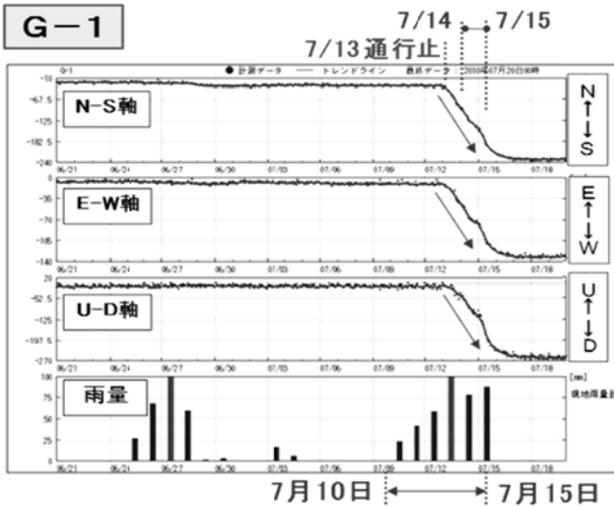


図-17 GPS 観測点 G-1 の計測結果と通行止めの経緯

本現場では、恒久対策に向け迅速な対外協議を行うために、動態観測結果によるすべり面の仮設定と対策工法概略検討結果に基づく地元協議を、詳細調査と併行して実施した。崩壊すべり面の仮設定は、地表面変状である開口クラックと崩壊下段部位置及びGPSの変位ベクトルをx, y, z成分に分解しパイプ歪計の挙動深度と相対的に検討したものである。その結果、地権者との用地交渉が円滑に進むことに繋がり、詳細調査及び設計期間が約2カ月短縮された。なお、仮設定を行ったすべり面は、詳細調査結果のすべり面とほぼ同一であった。

動態観測が第三者被害を食い止め、その観測データの存在が対策工検討に寄与し、予防保全として大いに役立った事例のひとつである。

7. 結論

中国地方の道路斜面における予防保全には、以下に示す留意点と対応が必要であることがわかった。

- ①中国地方の地形・地質と土砂災害傾向
潜在的な危険要因を有す斜面が非常に多く、土砂災害の発生に対する予防保全に対しては、楽観できない。
- ②斜面に対する基礎資料の整備
過去の調査報告書から表層地質データの集約・整理し、縮尺1/5,000レベルで等高線間隔が2m以下の地形地質概要図の整備を行うことが重要。
- ③災害履歴の整理と危険対象斜面の抽出
基礎資料を整備した結果、中国地方の斜面災害は、地質によって発生傾向が違うことが明らかになった。
- ④管理手法の効率化
斜面の予防保全には、動態観測を行って監視することが方策のひとつとして考えられる。

本論の結果が、予防保全を効率的に実施する上でのアプローチの一つとして参考になれば幸いである。

謝辞：本論をまとめるにあたり、山口大学大学院理工学研究科中田研究室、清水研究室の関係諸兄に御協力頂いた。以上、心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省：H17年度国土交通白書
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h17/hakusho/h18/html/H1012110.html>
- 2) 内閣府：H23年度防災白書
<http://www.bousai.go.jp/hakusho/h23/bousai2011/html/zu/zu010.htm>
- 3) (独)土木研究所：防災点検の有効性と災害の提言に向けて、2007
- 4) 下野宗彦, 中田幸男：中国地方における高速道路斜面の崩壊と表層地質区分の関連性
- 5) 総務省統計局：S57年度国土数値情報作成調査
www.stat.go.jp/data/kenKAN/zuhyou/y0108000.xls
- 6) 低引洋隆：中国地方の地形地質、土と基礎、p.38-3
- 7) 土質工学会：風化花崗岩とまき土の工学的性質とその応用（土質基礎工学ライブラリー16）
- 8) (社)全国治水砂防協会：H20年度砂防便覧
- 9) 国土交通省：土砂災害情報
<http://www.sabo.or.jp/saigai/2011saigai.htm>
- 10) 国土交通省砂防部：全国土砂災害危険箇所数
<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link20.htm>
- 11) 鹿野和彦, 星住英夫：地質図に用いる用語、記号、模様、色及び凡例の表示に関する基準とその解説、地質調査所月報、第51巻、第12号、p.657-678
- 12) (独)産総研：日本シームレス地質図
- 13) 西日本高速道路エンジニアリング中国(株)：中国支社管内地質概要図、2006
- 14) 下野宗彦, 岩崎智治, 清水則一：予防保全を目的としたGPS計測監視システムの導入、第28回道路会議、40071