

土砂災害特別警戒区域(急傾斜地)における対策優先度の検討と

リアルタイムハザードシステムの活用

Study on Priority of Countermeasures in Special Landslide Disaster Precaution Areas (Steep Slope Areas) and the Utilization of the Real-time Hazard System for Slope Disasters at a Heavy Rainfall

沖 村 孝
Takashi Okimura
池 原 浩 平
Kouhei Ikehara

窪 田 安 打
Yasu'uchi Kubota
四 方 達 也
Tatsuya Shikata

葛 巻 怜 香
Reika Kuzumaki

1. はじめに

兵庫県砂防課、神戸市、建設工学研究所により開発・整備されたリアルタイムハザードシステムは市町を単位として、山腹や崖地からの土砂崩壊の危険度予測を行い、避難に結び付けるものである。これに対して、本論の修正モデルは、山麓に展開している土砂災害警戒区域の斜面の土砂崩壊の危険度から対策工事の優先度を求めるものである。よって、対象とする斜面のスケールが異なることから、入力パラメータの精度が異なり、修正モデルはより詳細な精度が要求されることとなる。

本論は、土砂災害防止法の対象とする土砂災害（急傾斜地の崩壊、土石流、地滑り）のうち、急傾斜地の崩壊に対するハード対策の優先度検討に関して報告する。土砂災害防止法は、急傾斜地の崩壊について、傾斜度が 30 度以上かつ高さ 5 m 以上である土地が崩壊する自然現象として定義しているが、この急傾斜地の崩壊に由来する土砂災害特別警戒区域では、斜面において表層崩壊等が発生した場合の十分な対策施設等が無い場合、斜面に近接する人家等に著しい損壊が生じて住民の生命に著しい危害がおよぶ場所に相当する。このため、土地を管理する市町や土地所有者は、同区域の斜面や法面に対して崩壊防止のための必要な対策を進めるとともに、対策済みの箇所では県の審査により土砂災害特別警戒区域の解除が行われている。しかし、多数の土砂災害特別警戒区域のハード対策を進めるには相当な期間と費用が必要となるため、全区域を対象することは現状では困難である。特に、神戸市内の土砂災害特別警戒区域は、令和 5 年 8 月 4 日時点において 966 か所存在しており（兵庫県 HP）、兵庫県内で最も多い自治体となっている。毎年の豪雨等の気象災害や地震により、土砂災害特別警戒区域の崩壊の危険性は継続しており、ハード対策が待たれる箇所は多い。故に避難情報の提供による住民避難が重要となる。限られた予算の中でハード対策を進める上では、より危険な箇所を優先的に対策する合理的な計画が必要となる。しかし、これまでの急傾斜地の崩壊対策に対する優先度の検討については、対策に関する各項目を点数化する方法や各種分析法¹⁾を用いた取り組みなどは行われているが、検討過程が複雑化する点や、現地の斜面の危険性を十分反映できない等の課題点も挙げられるなど、各地で模索が続いている状況である。この状況を踏まえて、本論では、神戸市建設局が所管する土地（公園・緑地、市有林）において、土砂災害特別警戒区域（急傾斜地の崩壊）が指定されている箇所のうち、人家等に影響のある箇所（54 箇所）を対象に、対策優先度の検討を行った。本論ではその結果を報告する。この検討では、必要な詳細な現地調査を実施したうえで対策優先度の検討を行うとともに、新たな取り組みとしてリアルタイムハザードシステムを活用した対策優先度の検討を示したので合わせて報告する。

2. 対策優先度を検討する上での課題と対応方針

2. 1 課題

土砂災害特別警戒区域（急傾斜地の崩壊）（以下、区域と称する）における優先度の検討においては、保全対象の重要度と被災する可能性（災害発生確率）の2つを考慮して検討する必要がある。

このうち、保全対象の重要度は、保全対象の種類および戸数等により示されると考えられるが、これらは兵庫県の基礎調査による調書に整理されている。しかし、調書作成時は空家を考慮されていない点や、調書作成後に家屋の撤去による保全対象数の変化が生じている可能性があるため、現状を把握する必要がある。

一方、被災する可能性（災害発生確率）は対象斜面・法面の安定性により示されると考えられる。この安定性については、神戸市の多様な地形地質を基盤とした急傾斜地における安定性を定められた基準で評価する必要がある。例えば、表六甲地域では風化の激しい花崗岩を地盤とした急斜面に、密集した保全対象が近接する条件であるのに対して、裏六甲地域では、神戸層群の粘性土を主体とした軟質な地盤であり、地すべり性の変状も示すことがあるなど、地域によって急傾斜地の危険リスクは大きく異なる。更に、土砂災害が生じるような降雨時における安定性を評価することは、斜面の安定性を考えるうえで重要であるが、現状では現地調査時の斜面状態を目視での観察による項目に基づいた評価のみであるため、目視以外の調査手法が必要である。

2. 2 対応方針

本論は対策優先度の検討を目的としているが、具体的には図 2.1 に示すように、神戸市による検討方針に加えて、新たに建設工学研究所による研究として実施した。また、各検討の結果を表 2.1 に示す一覧表に取りまとめた。

（1）保全対象に対する検討

筆者らは、現時点での保全対象の種類や戸数を把握するため、現地調査により区域範囲内の保全対象を把握することとした。基礎調査の内容を踏まえながら、人家等の種別を現地確認することとした。また、空家の有無についても合わせて整理することとした。以上の調査結果を兵庫県の調書と比較整理することとした。また、対象斜面が複数の所有者に跨る場合は、今後対策工を実施する上で調整が必要となるため、対象斜面の土地所有について、所有者リスト、位置関係等も整理することとした。

（2）斜面の安定性に対する検討

対象斜面・法面の安定性については、地域の地形地質特性を考慮しつつ、各箇所の斜面の安定性を一定の基準で評価する必要がある。このため、まず既存資料を収集・整理のうえ、調査地の特性（地形地質的な地盤リスク、土地利用、および地形改変の履歴等）を整理することとした。更に、対象斜面及び土砂災害特別警戒区域の範囲について、目視調査を基本とし斜面状況、既存施設、保全対象等を調査した。また、対象となる斜面について、「道路防災点検要領（H18）」²⁾に基づき、安定度調査を実施して箇所ごとの評価を行うこととした。

また、表六甲地域は、急傾斜地の崩壊において主要な土砂災害として表層崩壊が挙げられるが、この斜面の安定性の重要な要素として表土層深が挙げられる。沖村ら³⁾が示すように、無限長斜面の安定性には表土層深が関係しており、同じ斜面勾配においても層厚がより厚い場合は、安定性が低くなり崩壊が発生しやすい条件となる。しかし、この表土層深は目視では把握できないため、簡易動的コーン貫入試験により、現地の表土層深を把握することとした。

更に、土砂災害が生じるような降雨時における安定性を評価することを目的として開発・整備されたリアルタイムハザードマップシステムを利用することとした。同システムは、詳細な地形データをもとに、斜面全体を 10m メッシュで計算をして、降雨時の斜面の地盤物性、強度定数、表土層深、地下水位を再現することで、安定性を客観的に評価するものである³⁾。このシステムに神戸市内で過去に広域的な豪雨災害が生じた際の降雨を再現することで、検討対象の土砂災害特別警戒区域の安定性を試算した。この際、後述するように、本調査の現地調査により得られた、地質構成、地盤定数、表土層深を既整備のシステムに入力・更新することで、より精度を高めた安定性の評価を行うこととした。

以上の検討結果にもとづいて、警戒区域対策の優先度検討（総合評価）の整理を行うこととした。優先度については、保全対象、地形特性（安全度評価）、地域特性等を踏まえ総合的に評価した。

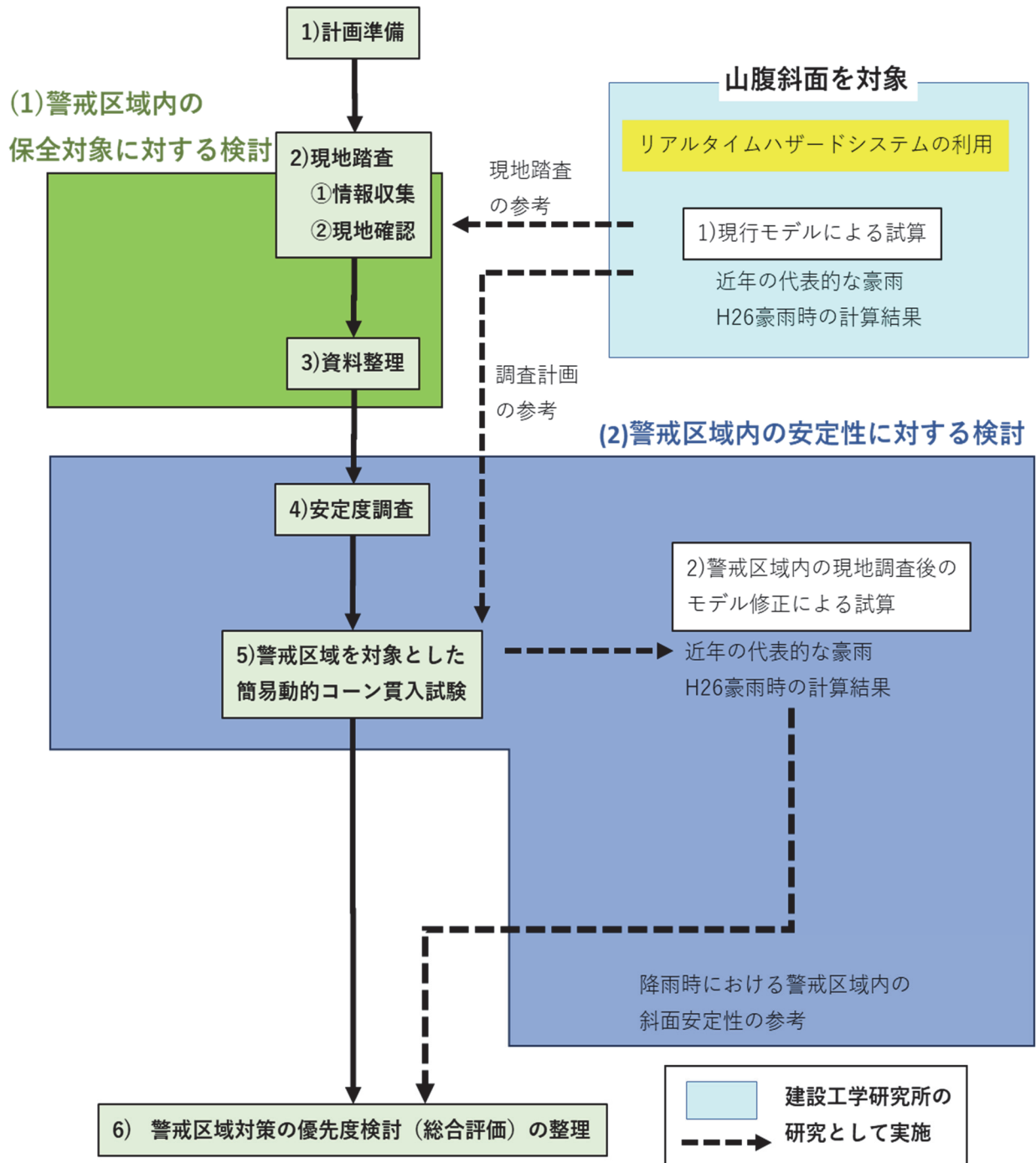


図 2.1 検討フロー図

表 2.1 検討項目表（赤枠内は、人工的な改変の影響を考慮して追加した項目）

(1)警戒区域内の保全対象の範囲に対する検討											(2)警戒区域内の斜面の安定性に対する検討										
人家の有無	建物合計	戸建て			共同住宅		公共的建物		要配慮者利用施設		公共施設及び要配慮者援護施設	現地踏査			安定度調査		簡易動的コーン貫入試験				
		木造	空家・左記のうち 左記のうち 空家・廃屋	非木造	木造	非木造	木造	非木造	木造	非木造		その他	斜面区分	被災リスク要因	被災履歴	対策施設の有無	道路防災点検要領(H18)の様式による評価	道からの水の流入	切取り斜面	表層崩壊のリスクがある保全対象物	保全対象裏の待受け対策の有無

3. 保全対象に対する検討

検討対象の土砂災害特別警戒区域に含まれる保全対象の種類や戸数を把握することを目的として、現地調査を行った。兵庫県による基礎調査の調書に記された、調査当時の保全対象の種類や戸数の資料をベースとして、現時点の変化を確認して整理する手順とした。対象区域内の保全対象の人家等種別（公共施設、要配慮者施設、人家等）を区別し、保全対象の重要度を区分した。また、対象区域のうち、空家が増加して住民がほとんど生活していない区域も見られる。このような箇所は、対策優先度を検討する際の一つの評価基準となりうることから、人家等に応じた戸数のほか、空家を除いた人家等の戸数をカウントした。空家の有無については、現地調査による外観上の判断により整理した。

4. 斜面の安定性に対する検討

4. 1 安定度調査表を用いた斜面の安定性評価

対象斜面・法面の安定性については、既存資料(過去の災害記録、地形図、地質図、砂防関係指定地位置図等)を収集・整理のうえ、地域特性の把握および災害要因の判読を行うことで、表 2.1 に示す一覧表に調査地の特性を整理した。また、対象となる斜面について、一定基準で安定性を評価するために、「道路防災点検要領 (H18)」²⁾による安定度調査を実施した。調査にあたっては、図 4.1 に示す箇所別記録表(様式2)、および図 4.2 に示す安定度調査表(様式7)を作成し、箇所ごとの評価を行うこととしたが、道路防災点検要領 (H18) ²⁾の様式は道路法面や隣接する斜面を対象としているため、人家裏斜面の調査に対応した文言や体裁について、一部見直した様式を使用した。また、対策優先度を検討する斜面は人工的な改変が加えられていることが多く、以下の2項目についても経験的に影響を及ぼす可能性があると考えられた。このため、図 4.2 に示す安定度調査表(様式7)による評価点の他、表 2.1 に示す一覧表に赤枠で示した2項目を新規に追加整理した。

・「道からの水の流入」

斜面や法面周辺の道路の表流水や宅地関係の用排水が、土砂災害特別警戒区域にかかる斜面に流入する可能性のある箇所。過去の災害事例から、このような箇所では、豪雨時に斜面・法面崩壊が発生していることが知られている⁶⁾。

・「切取り斜面」

民家裏の斜面を宅地確保等の目的で、安定勾配ではない形状で切土されている箇所が、豪雨時に不安定化して崩壊するケースが、過去の災害事例から知られている⁷⁾。

図 4.2 道路防災点検要領 (H18)²⁾ の安定度調査表 (様式 7) の一部を改変 (赤枠内の赤文字を改変)

[illegible]

4. 2 表土層深の調査による斜面の安定性評価

斜面の表土層深を調査する方法として、簡易動的コーン貫入試験（地盤工学会 JSG1433-2012）により、現地の表土層深を把握した。当試験方法は、斜面地上の表層崩壊が生じるような不安定な表土層の層厚を計測することを目的としている。機材は小型・軽量であるため、急斜面地において人力による運搬・計測が可能であり、最大深度 5m 程度までの地盤のしまり具合を計測するものである。

検討箇所数が多いため、図 4.3 に示すフローに従って、試験実施箇所を選定した。まず、土砂災害特別警戒区域が保全対象に掛かる箇所であり、かつ、斜面リスクとして表層崩壊の可能性が挙げられる箇所は、被災リスクが高いと判断されるため、試験箇所の候補として挙げた。このうち、既往の調書が整理された後に、待受け対策や法面保護工等の斜面对策が施工されている場合は、表層崩壊による被災の可能性が低いため、候補から除外した。また、斜面下端に擁壁が設置されている場合において、擁壁を含めて斜面高さが 5 m 程度、または斜面勾配が 30° 程度の地区は自然斜面や法面は崩壊規模が小規模であるため、優先度が低いと判断し候補から除外した。また、斜面勾配が大きく、安全な作業ができない箇所は候補から除外した。以上のフローにより、試験箇所を絞り込んだ。

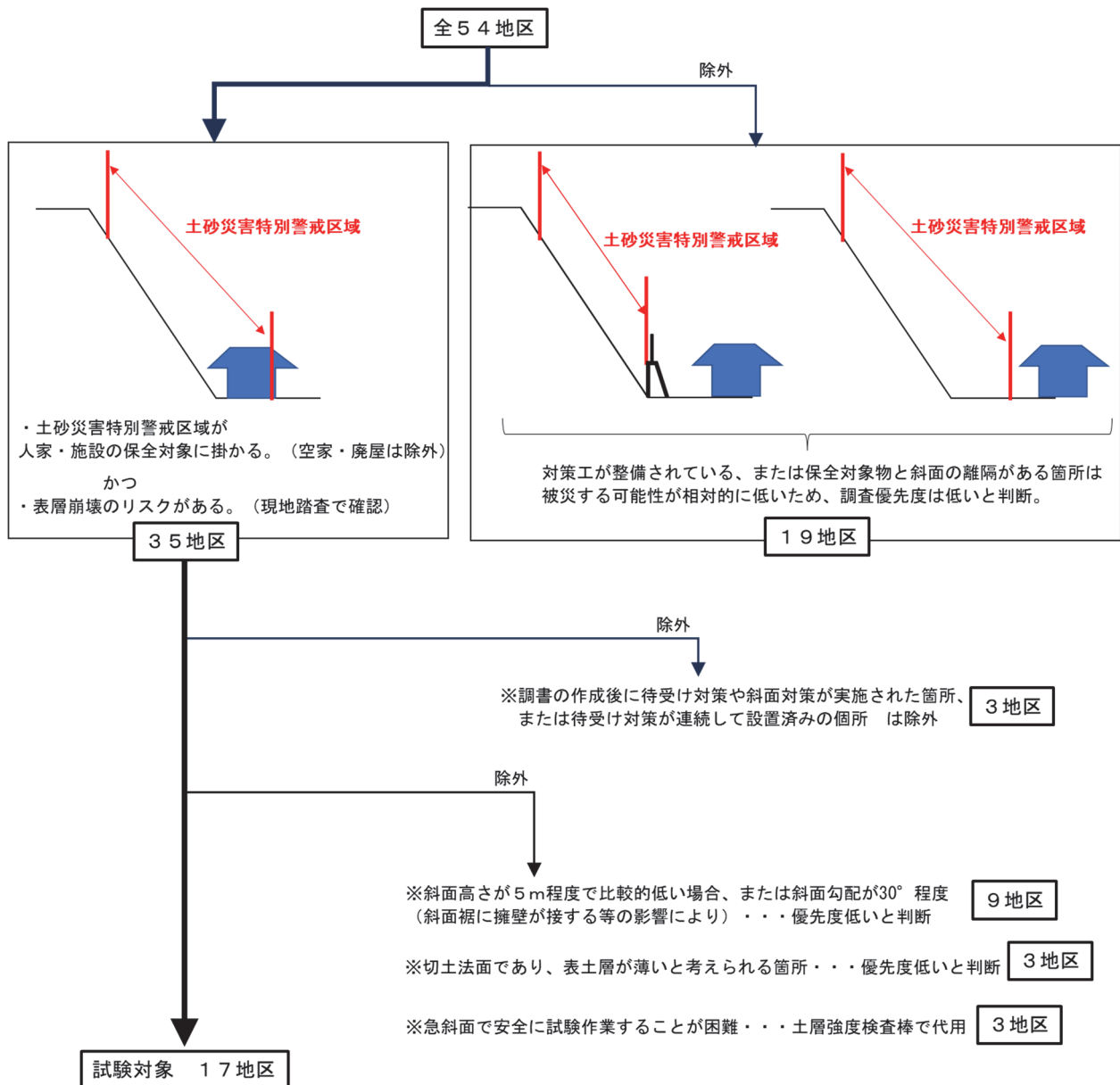


図 4.3 簡易動的コーン貫入試験の対象箇所の選定フロー

調査結果の一例として、土砂災害特別警戒区域 No. 3 の検討結果を以下に示す。図 4.4 に示すように、高さ 30m 程度、斜面勾配 40° 程度の斜面に土砂災害特別警戒区域が設定されており、斜面下の区域内に保全対象施設が位置する。この調査箇所の地質は中生代の深成岩である六甲花崗岩からなり、地山は風化によるマサ化が進んでいる。調査地の斜面はマサ化により表土層が厚く土砂でおおわれている。写真 4.1 に示すように、A 斜面では、斜面上部には高さ 2m 程度の古い滑落崖が分布する。また、斜面中腹にも、数段の古い段差地形が分布する。このことから、調査地の斜面は過去に表層崩壊が生じて、表土層が斜面下方へ移動したものと推定される。斜面下端の高さ 2~4m のブロック積み擁壁には目立った変状が見られないことから、表層崩壊は古い時期に発生したものであり、現状は明瞭な変位はないとみられる。また、B 斜面では同様に花崗岩がマサ化した表土層でおおわれているが、小規模な段差地形が分布する程度である。図 4.4 に示す表層崩壊リスクは、前述の図 4.1 および図 4.2 に示した No.3 の安定度調査結果に基づいたものである。調査の結果、現地の微地形や地質状況、変状履歴などを踏まえて、表層崩壊のリスクが高いと判断している。

調査測線を、斜面下に位置する保全対象に対して、等高線に直交となる最大断面を A,B 斜面ともに設定した。この測線上の 2 箇所で簡易動的コーン貫入試験を実施した結果のうち、A 斜面について図 4.5 に縦断面図、図 4.6 に試験結果を示す。表層崩壊が生じる深さは、沖村他⁵⁾の研究⁵⁾は、Nd 値 12 付近よりも強度が低い土層が表層崩壊しやすいとされているため、Nd 値 12 程度となる深度を基準とし、計測値の変化も考慮しながら不安定層の最深面を設定した。その結果、A 斜面の表土層深は斜面上部では 2.0m、斜面下部では 1.5m が得られた。表土層は斜面地形に沿って分布することを把握した。

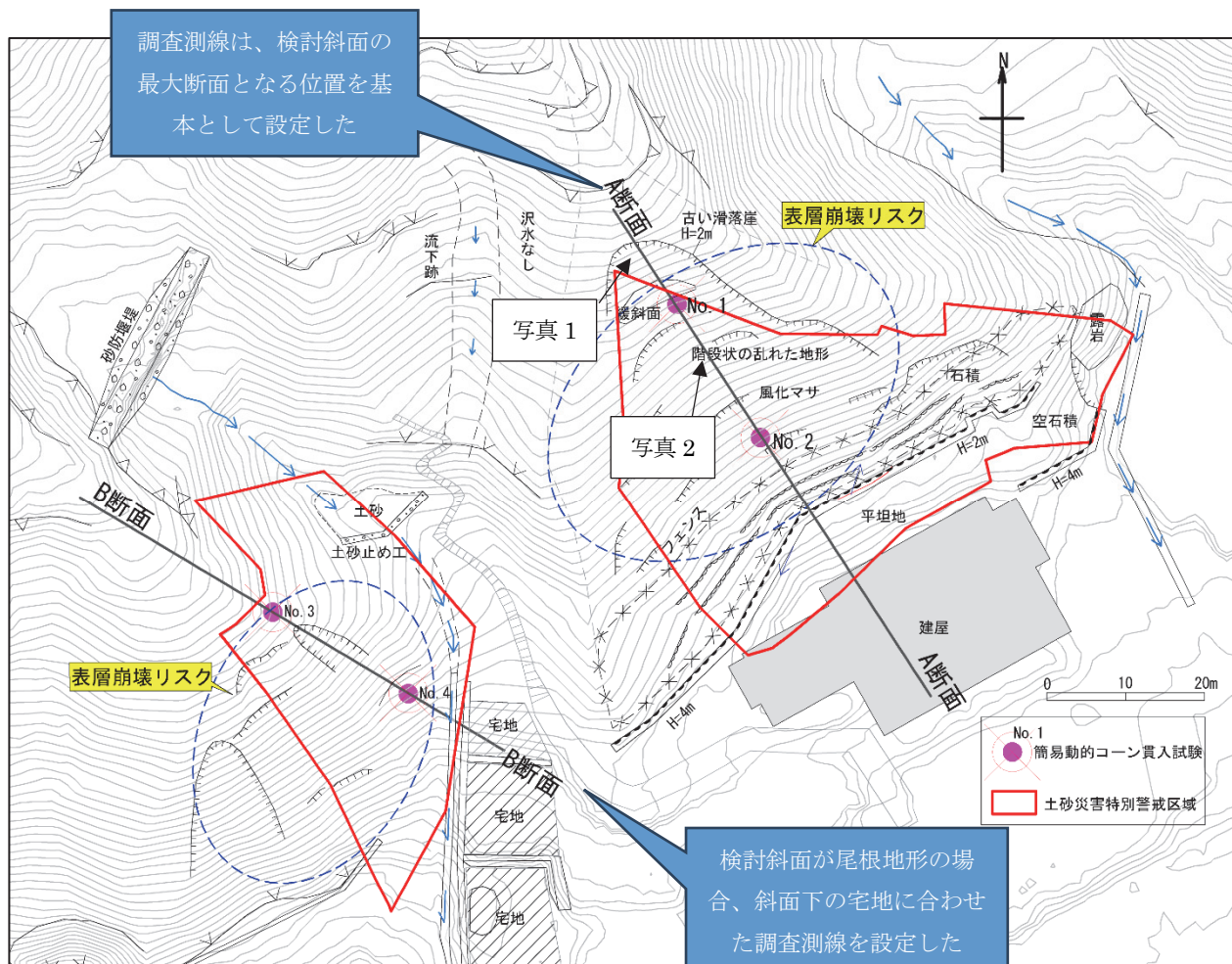


図 4.4 現地調査平面図（等高線は兵庫県公開の 1mDEM データより作図、等高線間隔は 1m）



写真1 斜面上部の滑落崖の状況。
高さ2 m程度で、崖地形はやや浸食を受けており、古い滑落崖と考えられる。



写真2 斜面中腹の状況。
高さ1.5m程度の古い崖が複数分布することが確認される。斜面内の表層は過去に表層崩壊を生じており、不安定な状況であると考えられる。

写真 4.1 斜面内の状況（写真位置は図 4.4 に示す）

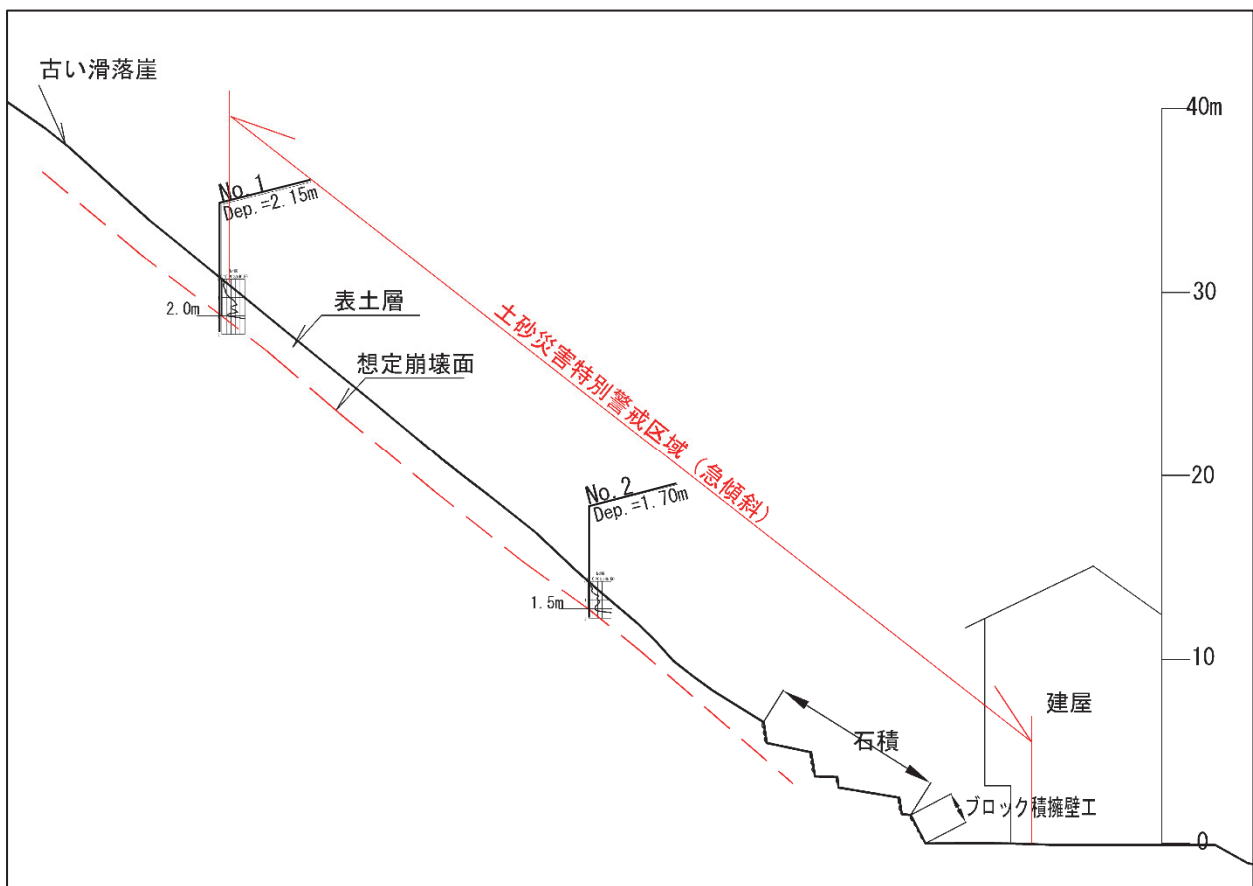


図 4.5 表土層の断面図（A断面、断面位置は図 4.4 に示す）

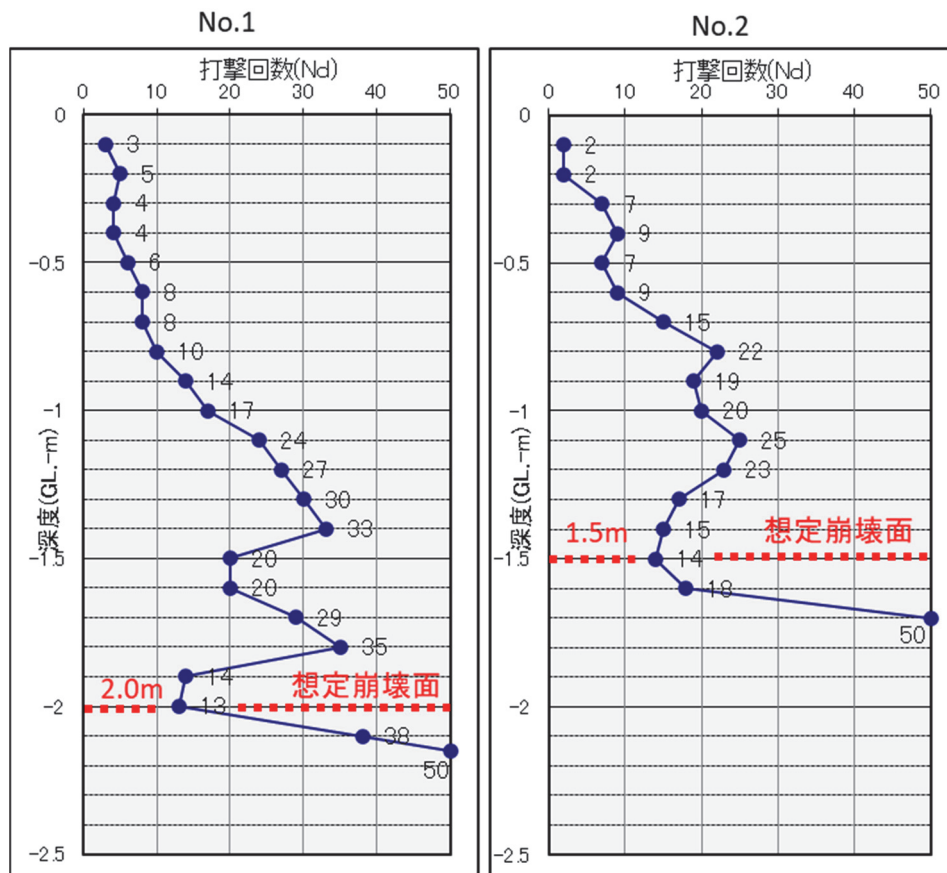


図 4.6 簡易動的コーン貫入試験結果と想定崩壊面（A 断面）

以上の試験事例と同様に、他地区の試験を実施した結果を斜面勾配-表土層深の関係を示すものとして図 4.7 に整理した。また、兵庫県基礎調査マニュアルにて整理されている関係式⁴⁾、およびリアルタイムハザードシステムの関係式（谷壁・頂部・谷底斜面）⁸⁾をあわせて示す。この関係式は地盤の地質の違いによって、風化程度が異なるため、地質ごとに設定されている。試験結果と既往の関係式を比較すると、神戸層群を除いて、リアルタイムハザードシステムの関係式よりも本論の試験値はやや表土層深が厚い傾向がある。これは、4.2 章において示したように、現地踏査により風化層が厚いと推定されるような表層崩壊のリスクがある箇所を試験位置として選んでいるため、一般的な山腹斜面よりも相対的に表土層深が厚い傾向となったと考えられる。その中でも、特に花崗岩および有馬層群における一部の試験値は、リアルタイムハザードシステムの関係式に比べて極端に表土層深が厚い区域が数か所分布している。これら区域に共通する地形地質的特徴として、斜面裾付近に文献で示されるような大規模な断層が分布する箇所であったり、斜面に崩壊や斜面変状などによる地形の乱れが分布することが挙げられる。これらの特徴は、断層運動で破砕されて軟化した基盤岩が風化しやすいことや、過去に崩壊が生じて移動土砂が厚く堆積する等が原因となって、表土層深が特に厚い斜面を形成するに至った可能性が考えられる。この特徴は既往試験データの一部にも表土層深が厚い箇所が分布することから、同様の原因によるものの可能性がある。

以上から、現地試験による表土層深を調査した結果、リアルタイムハザードシステムの関係式に示される一般的な山腹斜面の表土層深よりも、調査対象の区域に層厚が厚い傾向が一部に認められるため、斜面の安定性が相対的に低い可能性が想定される。

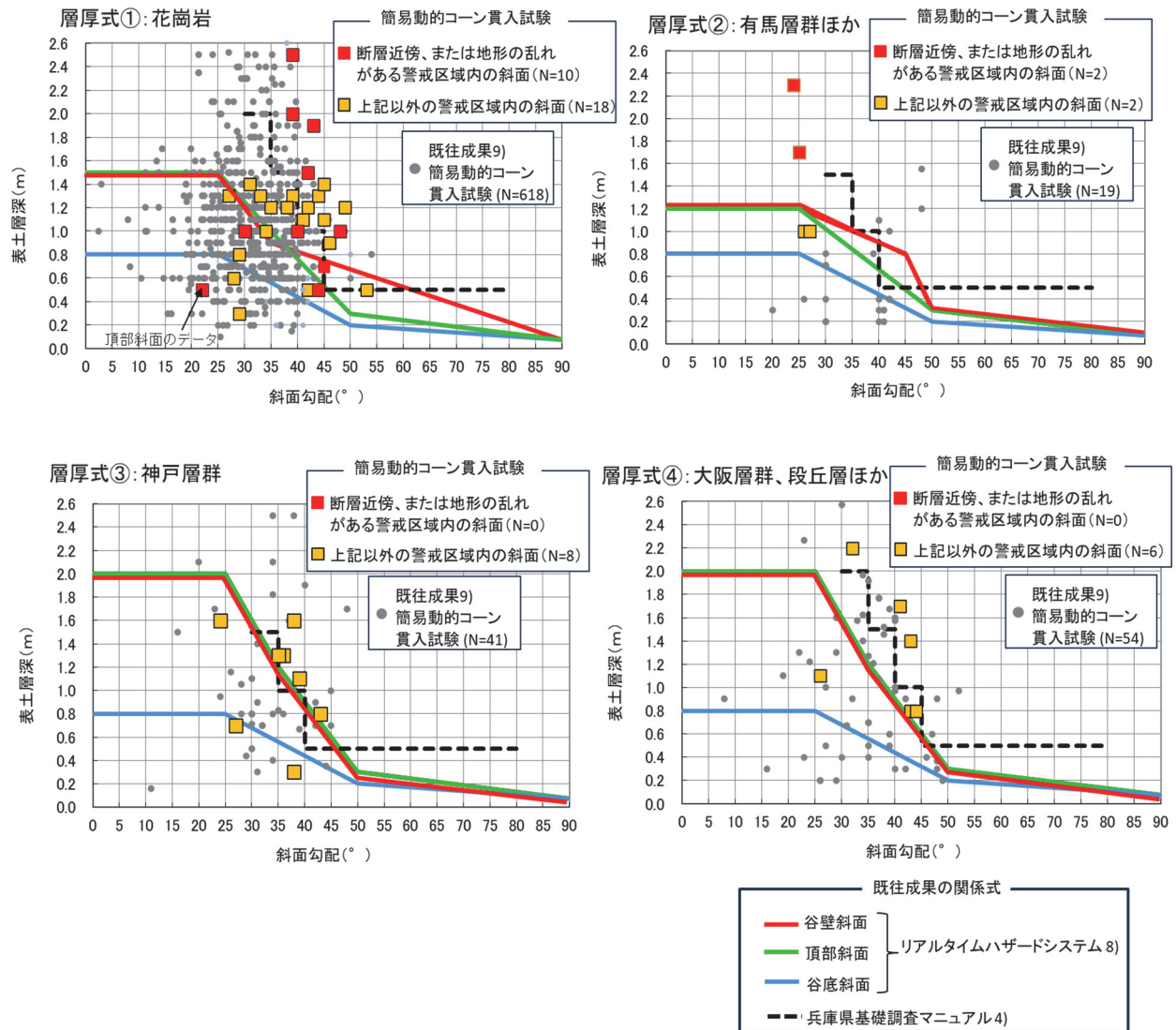


図 4.7 斜面勾配と表土層深の関係式と試験値の関係

4. 3 リアルタイムハザードシステムを利用した斜面の安定性評価

リアルタイムハザードマップシステム（以下、システム）を利用して、豪雨時における斜面の安定性を再現計算し、降雨時において安全率が大きく低下する危険な斜面を抽出することで、対策優先度の検討の参考とした。

（1）計算条件

既往成果では、神戸市全域では 10m メッシュの解析モデルを整備している¹⁰⁾が、特に土砂災害警戒区域の急傾斜地においては、小規模な斜面や人工改変地が含まれており、10m メッシュモデルでは十分反映できないため、地形変化の大きい範囲は、5m メッシュを整備している。沖村他¹¹⁾は、5m メッシュモデルは過去の災害の再現性が良いことも確認されていることから、一律 10m メッシュではなく地形変化の大きい箇所は 5m メッシュを使用して計算している。

（２）現行モデルによる試算

神戸市域において斜面災害が発生した最近の降雨は、平成 26 年 8 月豪雨（短期的に大きな降雨強度が出現する強雨型）、および平成 30 年 7 月豪雨（弱雨が長時間の長雨型）が挙げられる。本検討では、これらの実降雨を再現計算した結果、平成 26 年 8 月豪雨の安全率が 1 を下回るメッシュ（以下、判定）数が 20 セルであり、平成 30 年 7 月豪雨の 1 セルに比べて相対的に多かった。本検討では、対策の優先度を考えるため、危険箇所をもれなく抽出することが適切であると考え、平成 26 年 8 月豪雨の降雨を用いて検討を行うこととした。

平成 26 年 8 月の降雨状況を図 4.8～4.10 に示す。当時の雨域は、六甲山の東側にて総雨量 600mm 以上の豪雨となり、神戸市全体でも総雨量 250mm 以上を経験した。この豪雨の影響で、六甲山頂を中心に斜面崩壊が集中して発生した。なお、この判定結果は、上述した土砂災害特別警戒区域内で実施した簡易動的コーン貫入試験の位置を計画する際に、安全率は相対的に低い斜面の範囲としての有効な情報として参考とした。

（３）現地調査後の修正モデルによる試算

上述した現地調査により得られた地質および表土層深データにより、モデルの設定条件を修正した。

- ・現行モデルで設定している地質と異なる場合は、地質に対応した地盤定数を修正する。（地質の修正）
- ・簡易動的コーン貫入試験により得られた表土層深をメッシュに反映させる。（表土層深の修正）

この修正モデルを用いて、平成 26 年 8 月豪雨（強雨型）を試算し、区域内の最小安全率により、降雨時の土砂災害特別警戒区域の安定性を整理した。

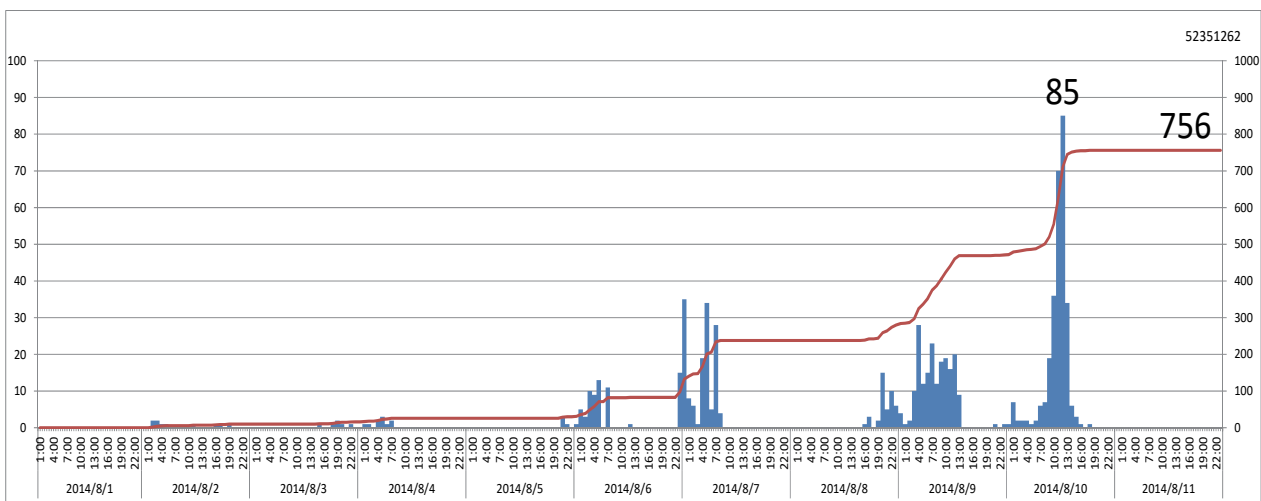


図 4.8 平成 26 年 8 月豪雨のハイエトグラフ（神戸市；総降水量が最大値のメッシュにおける解析雨量）

（４）モデル修正と試算例

検討箇所の一例として、土砂災害特別警戒区域 No. 3 のモデル修正と試算結果を図 4.11 に示す。4.2 章で示したように、区域の斜面に対して最大高さの調査測線を設定し、この測線沿いに簡易動的コーン貫入試験を実施して不安定層の分布を詳細調査している。これに対して、モデルは 10m 格子の各セルにおいて、勾配、地盤定数や表土層深などの地盤条件が設定しているが、調査測線の横断と各セルの関係は、図 4.11 に示すように複数のセルが横断と交差する関係にある。このため、各セルの表土層深は、この横断との交線から得られる表土層深のセルごとの平均を求めた。また、横断図と交差するセルのみだけでなく、4.2 章で示した設定と同行に、調査測線と一連の斜面と判断できる範囲を抽出して（図中の緑破線）、これに対応するセルを区分する（黒太線）。そのうえで、横断図上で交差する表土層深を修正したセルに平行するセルを合わせて修正した。

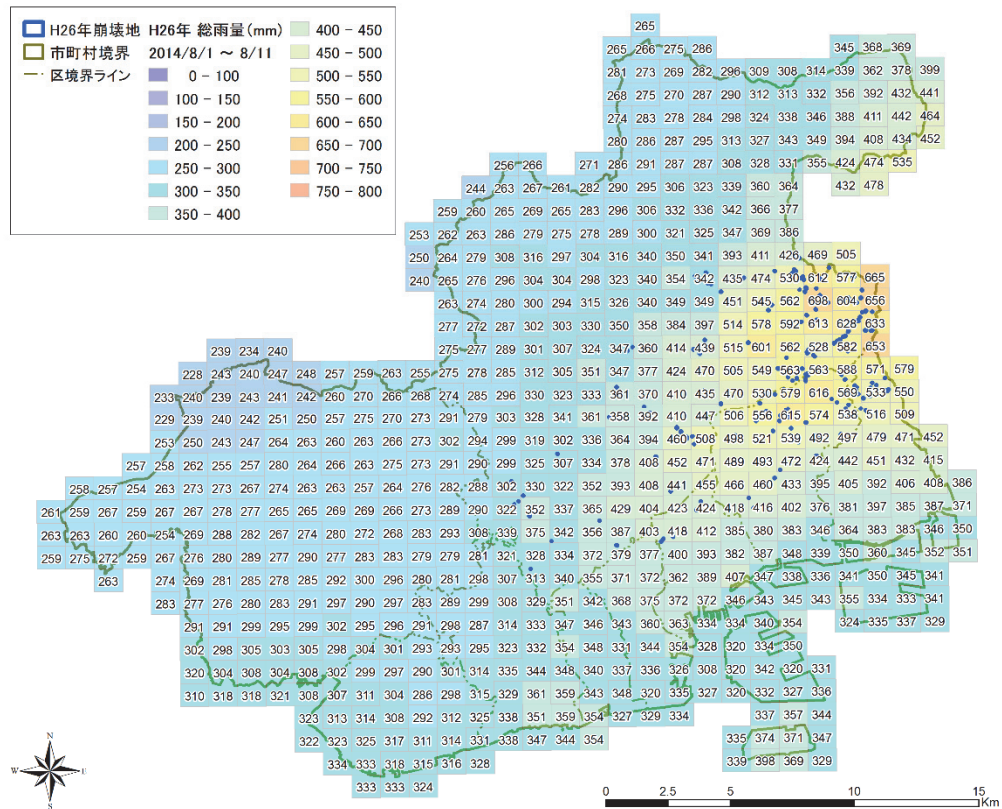


図 4.9 平成 26 年 8 月豪雨の降雨状況(総降雨量)

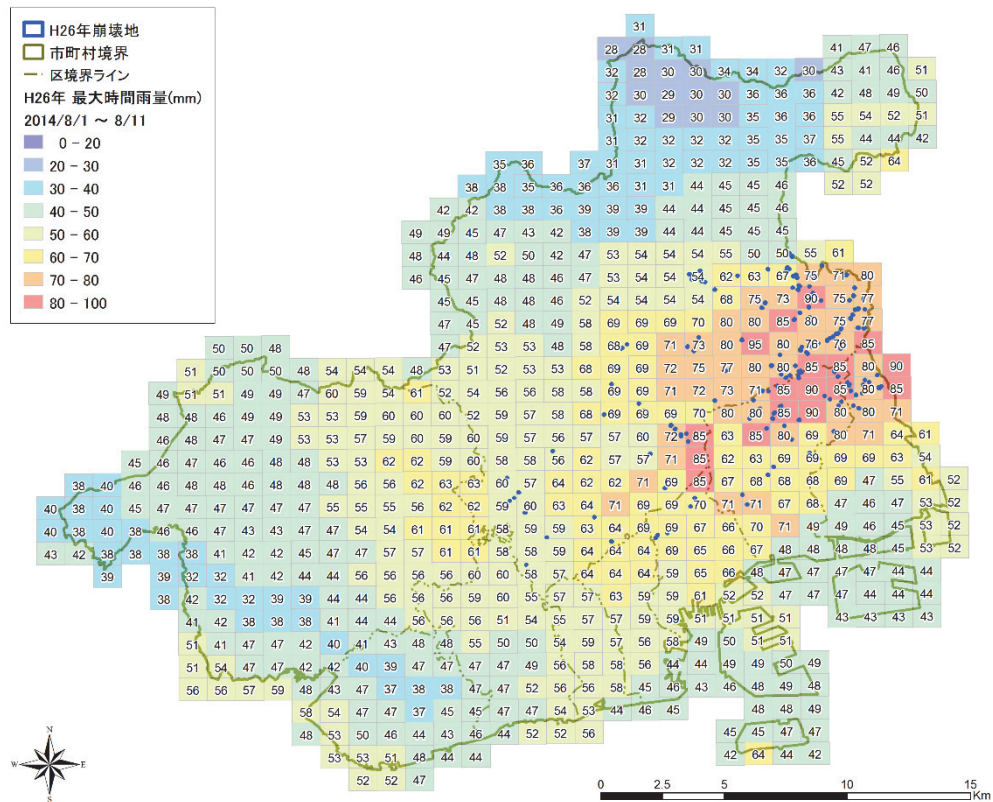


図 4.10 平成 26 年 8 月豪雨の降雨状況(時間雨量)

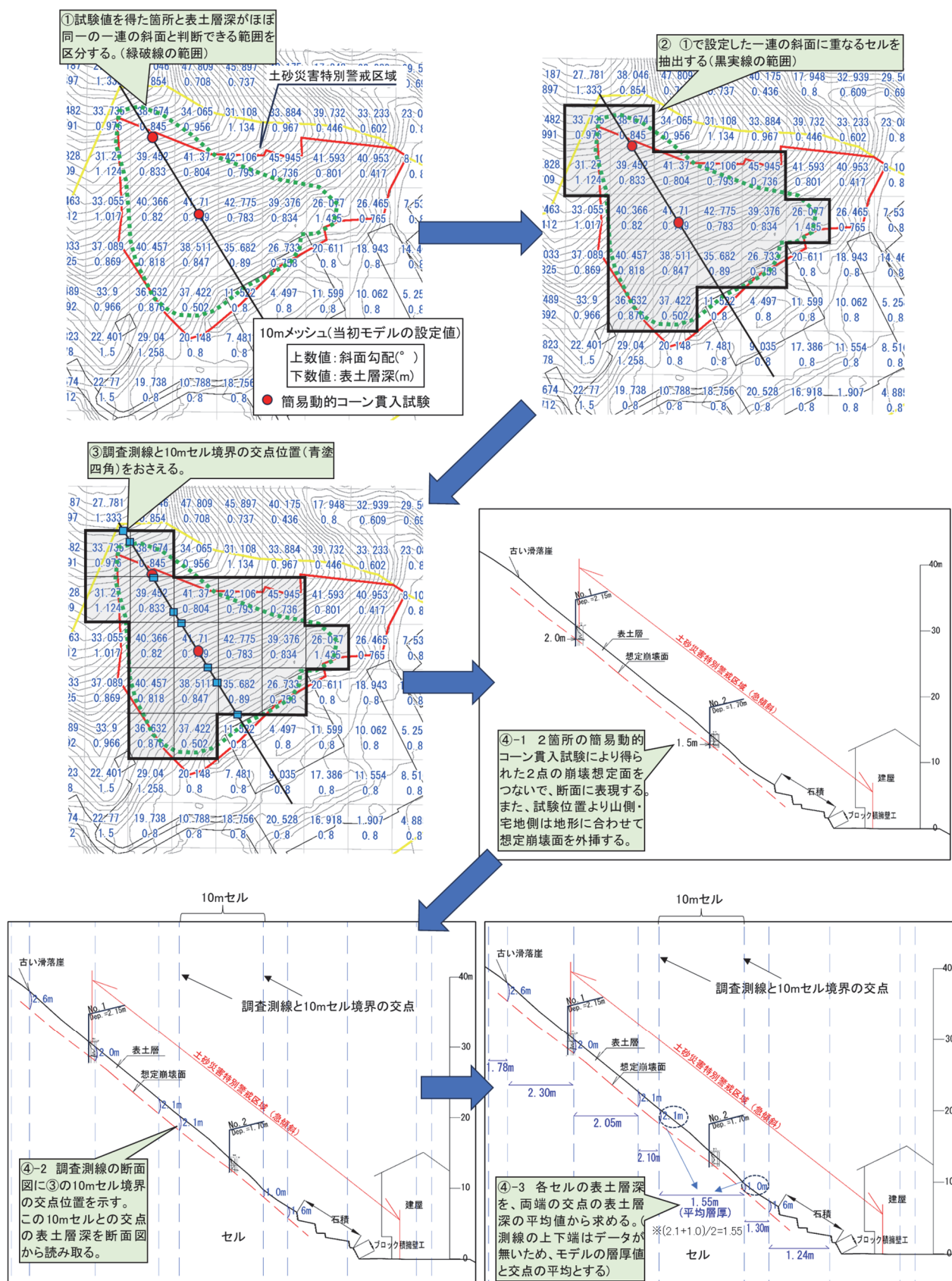


図 4.11 試験結果からモデルを修正する流れ

以上のモデル修正後に、平成 26 年 8 月豪雨の試算を実施した結果を図 4.12 に示す。区域内の斜面における各メッシュの安全率は、修正前は 1.10 以上であったが修正後は全体に低下しており、斜面上部を中心に最小値 0.86 まで低下している。このため、現地調査結果にもとづいて計算した結果、区域内の自然斜面は周辺斜面よりも降雨時により危険度が高まる傾向であることが確認された。主な要因としては、周辺の花崗岩からなる山腹斜面よりも表土層深が厚いことがあげられる。現地踏査の結果では、平成 26 年 8 月豪雨時に斜面崩壊は生じていないものの、斜面には古い滑落崖が分布することや、崩壊した際の土砂が斜面上に堆積する状況から、斜面は崩壊跡地と判断される。現状も不安定な土砂が斜面に残っており、降雨時には不安定化しやすいと推定されるため、本試算で示した安全率は現地状況と相関していると考えられる。

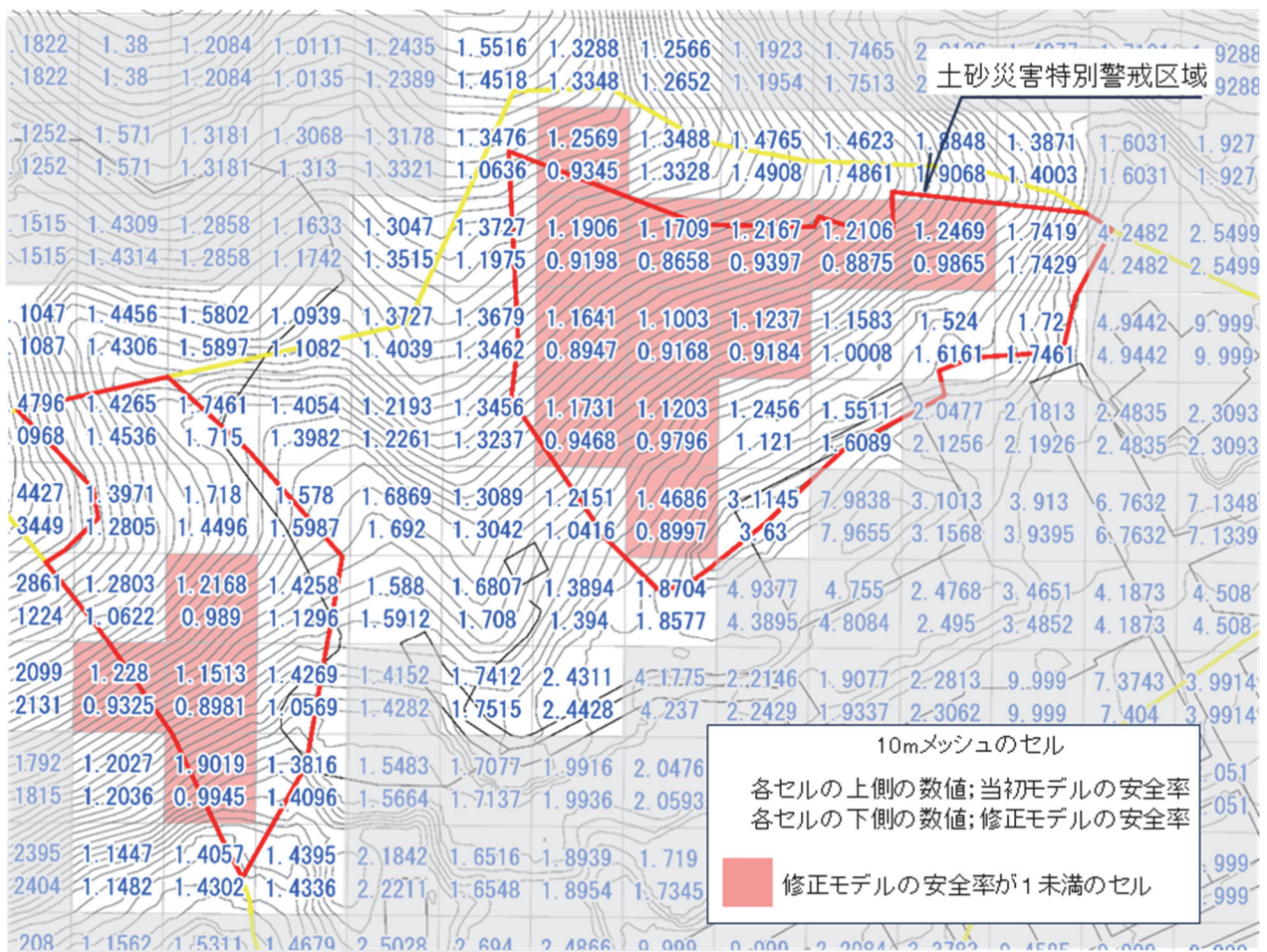


図 4.12 モデル修正前後の再現計算結果図(平成 26 年 8 月豪雨)

以上の手順により、各地区において同様にモデル修正を行い試算した。その結果、表 4.1 に示すように、修正モデルの試算において、半数程度の区域内に安全率 1 未満の判定が生じた。各地区の合計の判定セル数は、18 から 55 セルへと増加した。特に、No. 3 は判定セル数が 10 以上として試算されることから、面積としても不安定な箇所が多いと評価された。このような判定が試算された原因としては、表土層深が当初設定していた斜面勾配－表土層深の関係式よりも、層厚が厚いことが主な原因として挙げられる。

表 4.1 リアルタイムハザードシステムのモデル修正前後における対象区域内の判定数

No.	地質 見直し	平成26年8月豪雨 区域内の安全率				判定箇所の現地状況
		当初モデル		修正モデル		
		安全率1未満 のセル数	最小安全率	安全率1未満 のセル数	最小安全率	
1		0	1.154	0	1.130	断層が近接する。
3		0	1.100	16	0.866	地形の乱れ有。崩壊跡あり。断層が近接する。
12		0	1.083	0	1.023	
15		0	1.096	2	0.939	層厚の厚い尾根部。断層が近接する。
16		0	1.087	0	1.001	層厚の厚い尾根部。崩壊跡あり。断層が近接する。
32		0	1.174	0	1.174	
33		0	1.096	0	1.096	集水地形。断層が近接する。
36	○	1	0.997	2	0.992	地形の乱れ有。斜面に変状あり。断層が近接する。
37		0	1.115	4	0.962	地形の乱れ有。崩壊跡あり
42	○	0	1.167	0	1.167	断層が近接する。
43		0	1.197	0	1.195	
44		0	1.193	0	1.193	
46		3	0.979	5	0.973	集水地形。地形の乱れ有。崩壊跡あり
47		3	0.988	7	0.915	集水地形。地形の乱れ有。崩壊跡あり
49		2	0.991	5	0.888	集水地形。地形の乱れ有。
50		0	1.151	5	0.890	層厚の厚い尾根部。斜面に変状あり。断層が近接する。
54		1	0.987	1	0.987	集水地形にて判定。断層が近接する。
		18		55		※「断層が近接」：斜面裾から100m範囲内に文献で示される断層が分布する場合

安全率1以上
 安全率1未満

5. 土砂災害特別警戒区域の対策優先度の検討

5. 1 保全対象の重要度と斜面の安定性にもとづいた対策優先度の検討

対策優先度の検討の目的は、神戸市建設局所管地にかかる土砂災害特別警戒区域（急傾斜地の崩壊）指定箇所のうち、人家等に影響のある箇所を対象に必要な対策の優先順位を決めることである。この対策優先度の評価においては、上記で整理した保全対象の重要度と被災する可能性（災害発生確率）の2つが主要な基準になると考えられるため、この組み合わせによって評価した。対策の優先度評価は、以下を条件に検討した。

- 1) 保全対象の重要度・・・土砂災害特別警戒区域に関わる保全対象の戸数、対象施設の重要度
- 2) 被災する可能性・・・安定度調査結果による評点（斜面の安定性、土砂災害特別警戒区域およびその上部斜面の安定性、対策工の有無や崩壊規模も含む）

なお、保全対象は図 5.1 に示すように、

- ①：兵庫県が基礎調査を実施した際の調書に整理された戸数等の情報
 - ②：神戸市建設局所管地の斜面や法面が崩壊することにより影響を受ける保全対象の戸数
 - ③：②に加えて本検討の際に現地調査にて空家および廃屋の戸数を差し引いた戸数、の3通りに整理される。このため、対策優先度の検討においては、この3通りで評価することとした。
- ①兵庫県基礎調査調書による土砂災害特別警戒区域の保全対象数
 - ②神戸市建設局所管地の斜面・法面の崩壊の影響を受ける土砂災害特別警戒区域の保全対象数
 - ③ ②一本検討の現地調査による空家・廃屋を除外した保全対象数

なお、②は本調査時点の人家の分布状況を踏まえたものであるため、①の調書整理以降に新たに人家等が設置された場合は保全対象数が増加する地区もある。

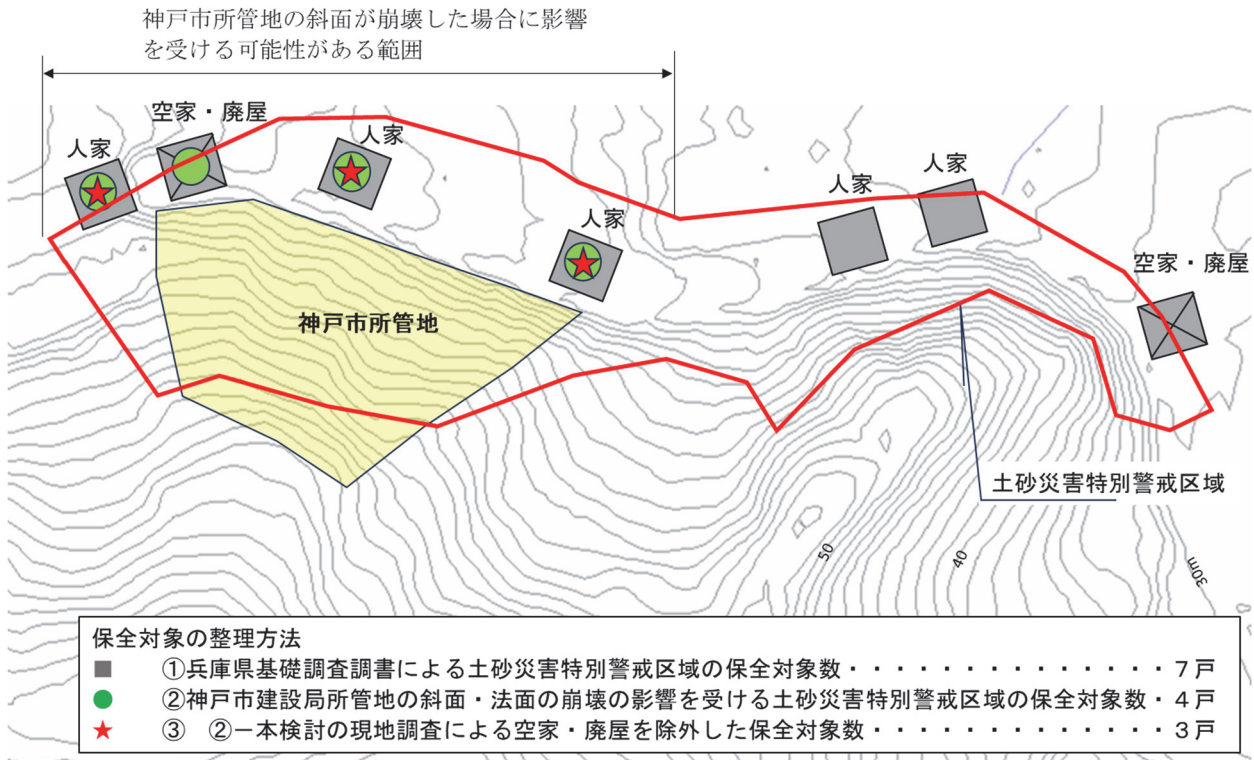


図 5.1 保全対象の整理方法（模式図）

また、保全対象の重要度について、土砂災害警戒特別警戒区域に含まれる施設のうち、要配慮者利用施設、駅鉄道・ロープウェイ駅舎、病院、学校については、重要施設として整理した。また、公民館（避難施設ではない）、店舗、旅館、工場は、人家と同じ重みでカウントした。

以上の保全対象の考え方と、安定度調査結果による評点に基づいた斜面の安定性の2項目により、表 5.1 に示すように対策優先度を評価した。ここでの評価ランクは、対応方針ごとに A～D の4段階に区分した。

表 5.1 対策優先度表（表内の数値は区域数）

①兵庫県基礎調査調書による土砂災害 特別警戒区域の保全対象数		被災する可能性(安定度調査の評点)			
		50点未満	50-59点	60-69点	70点以上
保全対象の 重要度	0戸	2	3	2	2
	1-4戸	13	5	5	7
	5戸以上又は重要施設	6	2	5	2

②神戸市建設局所管地の斜面・法面の 崩壊の影響を受ける土砂災害特別警戒 区域の保全対象数		被災する可能性(安定度調査の評点)			
		50点未満	50-59点	60-69点	70点以上
保全対象の 重要度	0戸	1	2	2	3
	1-4戸	15	5	4	6
	5戸以上又は重要施設	5	3	6	2

③ ②一本検討の現地調査による空家・ 廃屋を除外した保全対象数		被災する可能性(安定度調査の評点)			
		50点未満	50-59点	60-69点	70点以上
保全対象の 重要度	0戸	3	2	2	3
	1-4戸	13	5	6	6
	5戸以上又は重要施設	5	3	4	2

対策優先度の 評価ランク	A	優先的に対策必要
	B	対策必要・定期点検(緊急度 中)
	C	対策必要・定期点検(緊急度 低)
	D	経過観察

5. 2 リアルタイムハザードシステムを利用した対策優先度の検討

上述したように、対策優先度の評価の参考として、リアルタイムハザードマップシステムを利用して、平成 26 年 8 月豪雨時における斜面の安定性を再現計算することで、対象区域における降雨時の相対的に危険な斜面を抽出した。この際、現地調査データによりモデル修正を行い、より現地の地盤条件を反映した計算とした。その結果、区域内に安全率 1 未満セル数が 1 セルでも分布する箇所は、表層崩壊の発生の可能性が高いとして整理した。

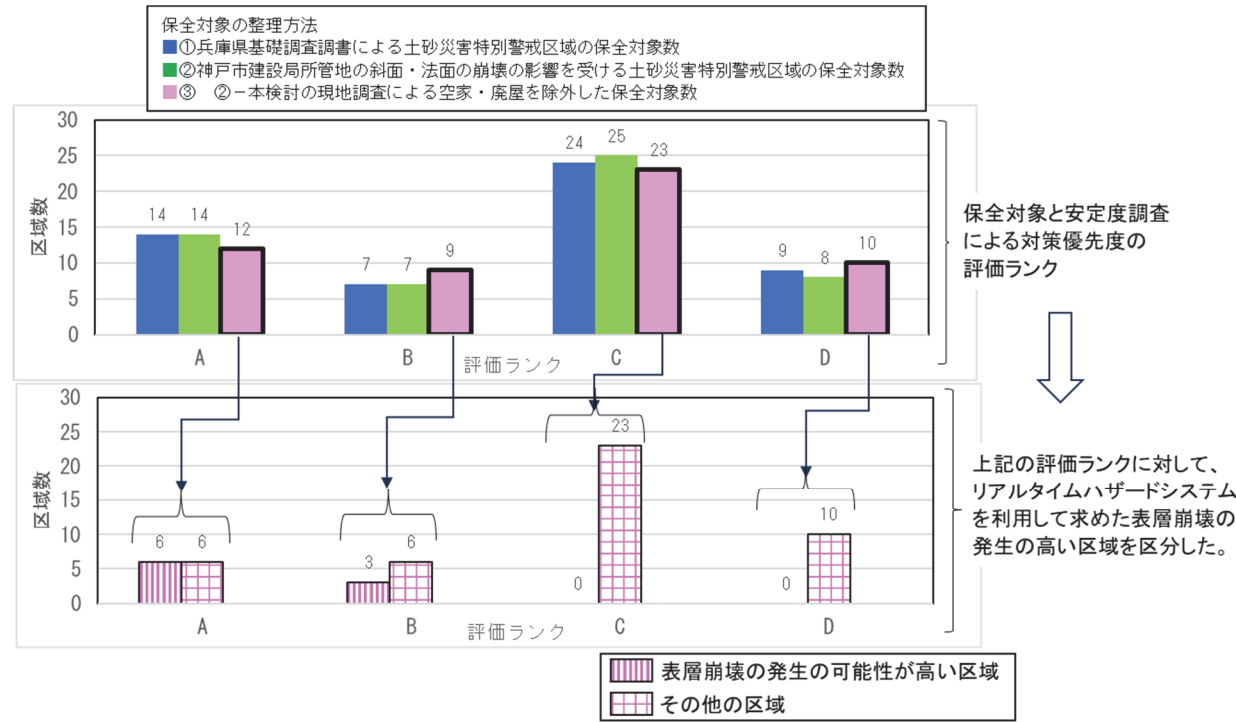
以上の整理を保全対象の整理方法③のケースについて、表 5.2 に示した。また、この整理を図 5.2 にグラフにより示した。保全対象と安定度調査により検討した対策優先度の評価ランク A～D に対して、保全対象の整理方法の違いでは大きな差異は生じないが（図 5.2 の上図）、リアルタイムハザードシステムの結果を利用した場合は、評価ランク A、B について表層崩壊の発生の可能性の違いにより、更に区別することができた（図 5.2 の下図）。これは、降雨に対する斜面の安定性について、客観的な手法により区分したものであり、優先的に対策すべき箇所をより絞り込めることができたことを示している。

表 5.2 対策優先度表（表内の数値は区域数、表層崩壊の可能性が高い区域数／全区域数）

（③の保全対象数に対して、リアルタイムハザードシステムの結果を反映した場合）

③ ②一本検討の現地調査による空家・ 廃屋を除外した保全対象数		被災する可能性(安定度調査の評点)			
		50点未満	50-59点	60-69点	70点以上
保全対象の 重要度	0戸	0/3	0/2	0/2	0/3
	1-4戸	0/13	0/5	3/6	4/6
	5戸以上又は重要施設	0/5	0/3	1/4	1/2

対策優先度の 評価ランク	A	優先的に対策必要
	B	対策必要・定期点検(緊急度 中)
	C	対策必要・定期点検(緊急度 低)
	D	経過観察



6. まとめと今後の課題

本論は、神戸市建設局が所管する土地（公園・緑地、市有林）において、土砂災害特別警戒区域（急傾斜地の崩壊）が指定されている箇所のうち、人家等に影響のある箇所（54箇所）を対象に対策優先度の検討を行ったことを報告した。

1）保全対象の調査を行い、検討対象の土砂災害特別警戒区域における保全対象を把握した。

2）斜面の安定性について、安定度調査表を用いて対象斜面を評価した。また、簡易動的コーン貫入試験により表土層深を計測して、斜面の安定性について検討した。更に、現地調査により得られた地質区分や表土層深を用いて、既整備のリアルタイムハザードシステムのモデルを修正して試算を行い、対象区域の降雨に対する安定性を検討した。

3）対策優先度の評価は、保全対象の重要度と被災する可能性（災害発生確率）の2つの基準の組み合わせによって評価した。保全対象の整理方法は3つの方法を用いて行い、評価ランク A～D により対策優先度の評価を行った。また、リアルタイムハザードシステムによる降雨に対する斜面の安定性を加味することで、評価ランクを更に区分して、優先的に対策すべき箇所をより絞り込むことができた。

土砂災害特別警戒区域内では、斜面が崩壊した場合、対策施設が十分では無いため保全対象が被災する恐れが高い。本検討の調査結果では、リスクの内容、リスクのある範囲、安定性を安定度調査表に整理している。今後は対策優先度の高い箇所を優先に対策することが適切であるが、箇所数が多いため対策までの期間を要する。このため、対策までの期間は、定期点検により斜面状況を確認することで安定性を把握し、極端に不安定化しているものは優先的な対策検討を行うなど、対策の優先度評価を見直していく運用が望ましい。

このため、本検討による対策の優先度評価のうち A～C は、対策が行われる期間までは5年に1回程度目安（災害が発生するような豪雨・地震の後は臨時点検）で定期点検を行う必要があると考えられる。加えて点検時には、点検の着目点を示した斜面点検カルテを作成して、継続して点検できるように整理する必要がある。

7. おわりに

本論で示した検討は、神戸市防災課より建設工学研究所へ発注された「土砂災害特別警戒区域における建設局所管地（公園・緑地、市有地）調査検討業務」において、検討整理した内容に一部追加したものである。この結果にもとづいて、神戸市は土砂災害特別警戒区域の防災対策、および解除を目的とした対策工事を順次進めている。また、神戸市は本検討で整理された安定度調査結果にもとづき、点検カルテを整備して定期的な点検を行う体制の整備を進めている。このような取り組みは、全国的にも少なく、今後の土砂災害特別警戒区域における防災対策の取り組み事例として参考になると考えられる。また、リアルタイムハザードシステムを用いた対策優先度の検討は研究として実施したものであり、今後はハード対策の検討も含めて、更に活用方法を検討していきたい。

本検討に関しては、神戸市防災課の全面的なご支援を受けた。また、リアルタイムハザードシステムは兵庫県土木部砂防課の支援のもと整備したものである。この度、このような機会を与えていただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 海原荘一・荒川雅生・佐藤丈晴・中山弘隆・古川浩平：包絡分析法を用いた客観的な急傾斜地崩壊対策施設整備優先順位設定法、砂防学会誌、57、2、39-47、2004.
- 2) （財）道路保全技術センター：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪）、2007.
- 3) 沖村孝・鳥居宣之・尾崎幸忠・南部光広・原口勝則：豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築、新砂防、63（6）、4-12、2011.
- 4) 兵庫県砂防課：土砂災害防止法基礎調査マニュアル（案）、2005.
- 5) 沖村孝：潜在崩壊土層分布を利用した表層崩壊発生位置に関する研究、新砂防、35-1、pp.9-18、1982.
- 6) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策（4）、建設工学研究所論文報告集、55、91-116、2013.

- 7) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・鏡原聖史・安藤 伸・伊藤正美・根本信行・植田允教・孝子綸図・笠原拓造：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策（10）～平成 30 年 7 月豪雨の検証と課題～、建設工学研究所論文報告集、61、23-66、2019.
- 8) 兵庫県宝塚土木事務所：情報基盤第 3000-0-S01 号 猪名川町域箇所別土砂災害危険度予測システム構築業務 報告書、2022.
- 9) 兵庫県神戸土木事務所：急傾情報第 1001-0-S01 号 六甲山系土砂災害危険度予測システム詳細検討業務 報告書、2009.
- 10) 兵庫県神戸土木事務所：情報基盤第 8020-0-S01 号 神戸市域箇所別土砂災害危険度予測システム検証業務 報告書、2017.
- 11) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・鏡原聖史：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策（8）、建設工学研究所論文報告集、59、29-39、2017.

著 者

沖村 孝	所員、理学博士、地盤工学
窪田 安打	客員研究員、応用地質株式会社、博士（理学）、応用地質学
葛巻 怜香	応用地質株式会社、応用地質学
池原 浩平	神戸市建設局防災課
四方 達也	神戸市建設局防災課