

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 (3)

Some Problems and Measures appeared during the Construction of the Real-time Hazard System for Slope Disasters at a Heavy Rainfall (3)

沖 村 孝 鳥 居 宣 之 中 川 渉 原 口 勝 則
Takashi Okimura Nobuyuki Torii Wataru Nakagawa Katsunori Haraguchi

1. はじめに

2012年6月8日に関西地方で梅雨入りした今年の梅雨前線は、通常の東西に大きく伸びる前線の分布とは少し異なり、九州付近では北に分布し、中国地方や近畿地方では南に分布しながら、全体として北上や南下を繰り返していた。通常、梅雨前線は太平洋高気圧に押し上げられて北上するが、気象庁によると今年は太平洋高気圧の張り出しが弱く、北上できず、長期間に渡り九州北部付近で停滞することになった。しかも、7月上旬では、偏西風帯は中国の揚子江下流付近から日本の対馬海峡を経て北日本に向かって大きく蛇行していた。この蛇行する偏西風帯に沿って日本列島にオホーツク海高気圧から寒気が入り込む一方、南側の太平高気圧の縁をたどるように暖かく湿った空気が九州北部に流入してきた。これらがぶつかり合うことで空気は上昇し、積乱雲が発達し、大雨に見舞われやすい状況になった。7月11日深夜から12日の朝にかけて、集中豪雨が出現し、熊本県阿蘇市で14日までに816.5mm、大分県竹田市では402.0mmを記録する集中豪雨となり、気象庁はこれら一連の豪雨を「九州北部豪雨」と命名した。これらの都市における7月降水量の平均値は、それぞれ570.1mm、327.7mmといわれているため、今回の豪雨は月平均値を約3日間で越える集中豪雨であったことがわかる。時間雨量も、阿蘇市阿蘇乙姫では観測史上最高の108mmを記録するなど、激しい降雨であった。この豪雨により、土石流83件、地すべり1件、がけ崩れ45件の計129件が発生した(7月17日5時現在)¹⁾。これによる被災は、死者22名、行方不明者1名、負傷者7名、家屋の全壊11戸、半壊2戸、一部損壊17戸に達している。この降雨の特徴は、短時間に大きな降雨強度で集中的に降雨に見舞われたことであり、このため土石流が多発したことであった。また、福岡、佐賀、熊本、大分の4県で約23万人に避難指示、少なくとも13万人に避難勧告が出された²⁾。

このように今年に限らず、近年では、観測史上最大の降雨量や降雨強度が報告されることが多い。従来、土砂災害の発生時刻に関する危険度指標は、過去の被災経験から総降雨量あるいは土壌雨量指数や降雨強度のパラメータが用いられ、これら過去に観測された値とその時の崩壊発生の有無から、崩壊発生の危険度が経験的に求められ、土砂災害警戒区域に対する土砂災害危険情報として使われている。しかし、上述したように過去に経験したことのない大きな降雨量に対しては、経験的に求められた空間情報である土砂災害警戒区域や時間情報である土砂災害危険情報等の危険度判別基準が、果たして効果的に活用できるか否かという疑問が生じる。すなわち、過去に崩壊記録のなかった斜面に崩壊が発生したり、総降雨量よりも大きな降雨強度の出現時刻に崩壊が発生する可能性がある。これを解消するためには経験的なデータから危険度を判断するのではなく、降雨を入力した力学的な斜面安定解析から安全率を求め、この安全率から危険度を判定することが必要になる。

筆者の一人は、かつて表土層崩壊を対象として地形を10m格子間隔で数値モデル化し、格子点（もしくはセルの中心点）に表土層厚を設定し、降雨を入力し、飽和横流れ浸透解析によりセルの地下水位を計算し、無限長斜面安定解析式を用いて、各セルで、時間ごとに安全率を計算する手法を提案した³⁾。しかし、当時は数値地形モデルを求める手法は縮尺1/2,500以上の大縮尺地形図から格子点の標高を直接読み取る手法で、かつ降雨量は測点が少なく近隣の観測所のデータを活用するしかなかった。このため詳細な解析を目的にしているにもかかわらず、入力データはそれを満足する精度ではなかった。しかし、近年、技術の開発により高精度の地形データや降雨データを入手できる状況になってき

たこともあり、かつて提案したモデルを用いてリアルタイムでハザード情報を計算できるようになってきた。

このような環境条件下で、兵庫県のご協力を得て平成 19 年度より 3 ヶ年で「六甲山系土砂災害危険度予測システム」プロジェクトでかつて提案したモデルを実用化する機会に恵まれた⁴⁵⁾。このモデルの構築、実用化に際して新たに出現した問題点などは、すでに前々報⁶⁾で詳しく紹介した。このプロトタイプモデルが、平成 22 年度兵庫県により試験運用に供された。この試験運用から新たに判明した課題は前報⁷⁾で詳しく説明した。本報では、平成 23 年度の試験運用中に生じた課題とそれを克服した手法を紹介する。

2. 前々報⁶⁾における内容

前々報⁶⁾では、モデルの概要説明を行った後、システム化に際して生じた課題について説明し、その対策手法の紹介を行った。その内容の主なものは、次のとおりであった。

- 1) 地形のスーミング化
- 2) 地形分類と表土層厚
- 3) 人工改変地の扱い
- 4) 地盤条件の設定
- 5) 推定表土層厚の再検討
- 6) 植生条件の考察
- 7) 異なる地質条件への対応
- 8) 微地形条件（水面、沖積地等）への対応
- 9) 用いる雨量データの検討
- 10) 演算処理高速化の検討
- 11) アウトプットデータの表示方法の検討
- 12) 土砂災害警戒区域（急傾斜）への反映方法の検討
- 13) 土石流土砂災害警戒区域（土石流）への反映方法の検討

これらについては前々報⁶⁾で詳しく説明しているため、ここでは省略する。詳しくは、前々報⁶⁾を参照されたい。

3. 前報⁷⁾における内容

前報⁷⁾においては、平成 22 年度の試験運用中に出現した様々な課題を、個別に検討した。それらは以下の諸課題で、これらに関する対策の概要を述べた。

- 1) 昭和 42 年崩壊地の表土層の推定
- 2) 谷壁斜面に存在する浅い谷（0 次谷）の表土層厚の推定
- 3) 谷壁斜面と谷底斜面境界部での表土層厚の不連続対策
- 4) 小起伏斜面における表土層厚の推定
- 5) シミュレーション降雨による異常セル推定表土層厚の補正
- 6) 土砂災害警戒情報解除のためのタイミング情報対策

これらについては前報⁷⁾で詳しく説明しているため、ここでは省略する。詳しくは、前報⁷⁾を参照されたい。

4. 平成 23 年度試験運用中に新たに判明した課題と対策

平成 22 年度の試験運用では比較的小規模な降雨での検証となったが、平成 23 年度は連続雨量 200mm を超える台風 12 号および台風 15 号を経験したことで、大雨を対象とした検証を実施し、課題の抽出および対策を施した。

また、様々な降雨パターンに対する精度向上のための知見を得られるよう、シミュレーション降雨による検証も合わせて実施した。

4.1 平成23年度の降雨と土砂災害の発生状況

六甲山系地域においては、平成23年9月に台風が2回(12号、15号)襲来した。

台風12号は総雨量208mm(最大時間雨量18.5mm、最大24時間雨量160mm)、台風15号は総雨量198.5mm(最大時間雨量31.5mm、最大24時間雨量167.5mm)を記録し、24時間雨量で150mmを超える降雨は、2000年以来11年ぶりであった⁸⁾。

この2回の台風による土砂災害の発生は兵庫県土木部で7件(表4.1.1)、兵庫県治山部局で2件(表4.1.2)の情報があり、いずれも人工斜面における排水不良等の人為的要因が関与した小規模な崩壊や地すべりであり、本システムで対象とする自然斜面における表層崩壊や土石流の事例は記録上確認されなかった。

ただし、被害に至らない山中での表層崩壊の発生の可能性は否めないため、後述する現地調査に基づいた検証を行うこととした。

なお、土砂災害警戒情報は、台風12号、台風15号の両降雨で神戸市と宝塚市で発表されていた。

表4.1.1 平成23年度における土砂災害発生一覧表(土木部局災害報告)

災害	災害発生日時	箇所名	発生場所	概要	被害状況	対応方針	備考
台風12号	9月4日 13:00に報告	小山町	神戸市 兵庫区 小山町 熊野町 5丁目	急傾斜地崩壊危険区域外にて、幅10m高さ5mにわたって崩壊。	人的被害なし。 隣接する急傾斜地崩壊対策工には被害なし。	急傾斜地の危険区域外であり、夢野中学校の敷地内であることから、市によって対策を実施する。	
	9月3日 20:30頃		神戸市 長田区 西丸山町	集合住宅南側の法面(住宅の土台の一部)が高さ2m、幅5mにわたって崩壊。 9月5日(月)読売新聞、産経新聞、神戸新聞	人的被害なし。 隣接する民家の窓ガラスを割って、土砂が一部流入。	人工崖のため、砂防では対応できない。	
台風15号	9月20日	里山	神戸市 兵庫区 里山町 1-18	石井川に面した家屋の基礎が洗掘崩壊(?)したと住民より通報あり。 六甲砂防管理の下流えん堤の堆砂敷	下流に鴨えん堤があり、石井川は砂防指定(6条)されている(直轄)。 斜面は危険箇所Ⅱ-18里山 被害は確認できない。	神戸土木・消防・現地確認 消防・神戸市・六甲砂防：連絡済み	
	9月20日	西舞子	神戸市 垂水区 西舞子 6丁目	土砂が家屋に到達、住民避難済み 斜面はマンション建設時の開発区域内であり、一部斜面工事も行っており人工がけの可能性が高い。	調査中 イエロー指定済みで区域番号101060155	開発区域内の人工がけであり、土地所有者間において対応調整中。又、県は人工がけでは原則対策工事は実施しない。	参考 (対象範囲外)
	9月20日	鈴蘭台	神戸市 北区 鈴蘭台 西町4丁目	神鉄で斜面崩壊し、軌道に堆積。	神鉄不通。	神鉄で土砂撤去。	
	9月20～21日	伊川谷中学校	神戸市 西区 伊川谷町 上脇	市立伊川谷中学校裏山で高さ3m、幅5mの崩壊があった。	小規模な崩壊。 校舎等への被害もなし。	イエロー指定先送り箇所。 市有地(教育委員会)のために市にて対応予定。	参考 (対象範囲外)
	9月22日	東久保	西宮市 塩瀬町 名塩	田んぼに幅12m×長さ25m、落差40cmの地すべり発生。被害想定区域内に国道176号あり。	調査中		参考 (対象範囲外)

表4.1.2 平成23年度における土砂災害発生一覧表(治山部局災害報告)

災害	区分	市町村名	大字	地区名等	被害内容ほか	備考
台風12号	9月2～4日	西宮市	塩瀬町名塩	南山	既設谷止工下流部洗掘により、農地へ土砂流出 荒廃溪流はH23県単防災で対応予定	参考 (対象範囲外)
台風15号	9月16日～	神戸市	須磨区西須磨	鉄拐	山腹崩壊、遊歩道下の治山施工地(H8orH10に厚層基材吹付)、保安林、応急対策は市実施、保全対象遠い	

4.2 H23 降雨による判定結果の検証と課題の抽出

(1) 台風 12 号および台風 15 号における現地検証と課題の抽出

災害報告によって本システムで対象とする表層崩壊等の事例が確認されなかったため、サンプル的な現地調査を実施することで、システムによる判定結果と表層崩壊等の発生状況との対応について検証し、課題の抽出を行なった。

① 現地調査箇所の設定

現地調査箇所は、台風 12 号および台風 15 号における降雨時に、本システムで警戒（赤）判定が集中した箇所を主に設定し、安全率の演算結果が著しく低い箇所を加えて合計 20 箇所選定した（図 4.2.1、図 4.2.2）。

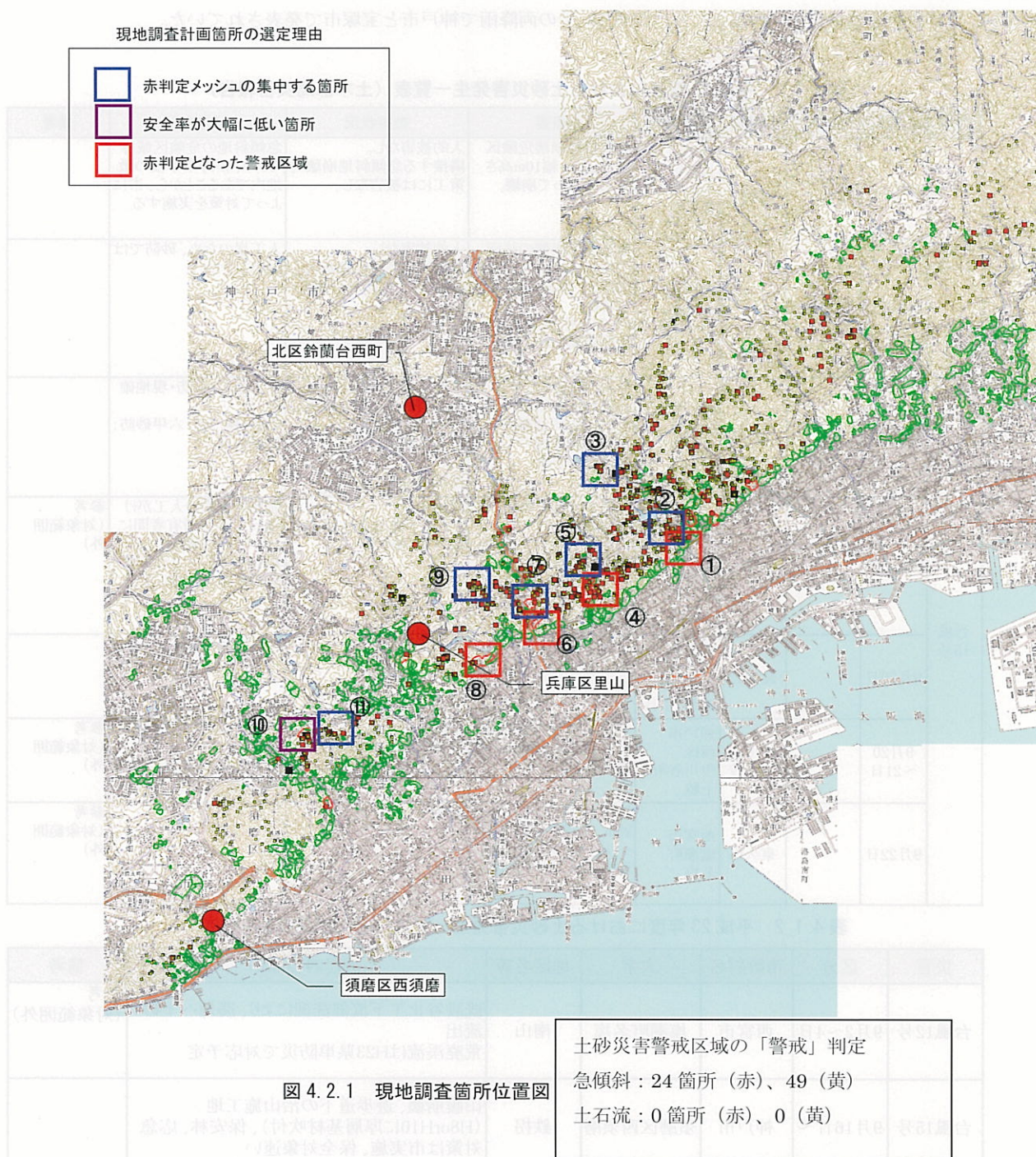


図 4.2.1 現地調査箇所位置図

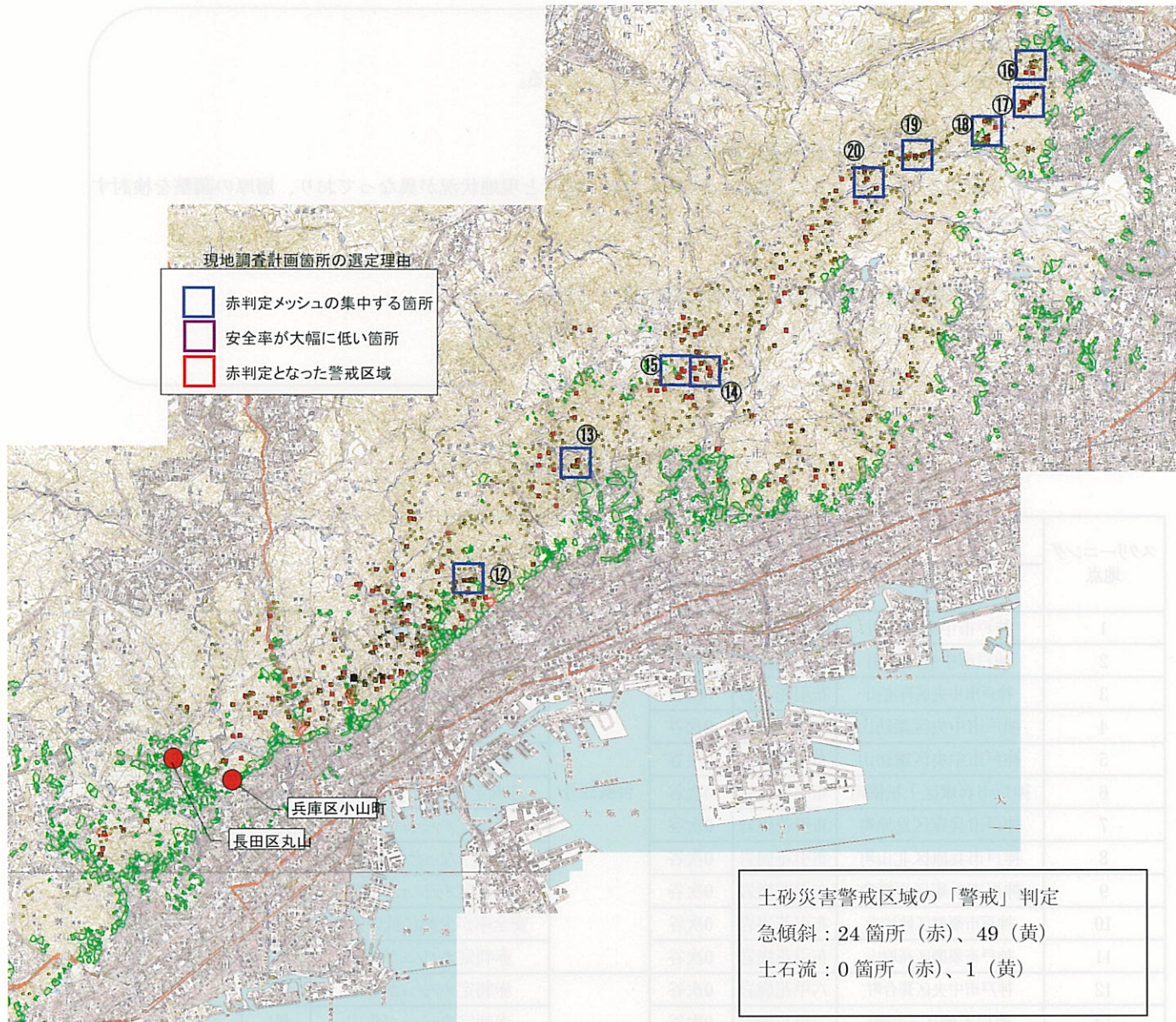


図 4.2.2 現地調査箇所位置図（台風 15 号関連）

② 現地調査結果および課題の抽出

20 箇所について現地調査を行なった結果を表 4.2.1 に示す。

システム判定状況との現地状況との対応を整理することで、以下のとおり課題を抽出した。

●崩壊の予測が適中・・・2 箇所

⇒崩壊の発生とシステムの判定結果は概ね良好に対応している。

●現地の表土層厚と表土層モデルとの相違による空振・・・15 箇所

⇒0 次谷や露岩が見られるような急斜面でモデルの表土層厚と現地状況が異なっており、層厚の調整を検討する。(課題1)

●写真判読による把握困難な斜面对策工の存在による空振・・・3 箇所

⇒対策工の範囲を人工斜面のバウンダリに修正することで対応する。

表 4.2.1 現地調査結果

スクリーニング 地点	地形地質			システム 判定状況		現地確認	
	場所	地質	地形			崩壊	状況
1	神戸市中央区布引	布引花崗岩	0次谷	台風12号	赤判定となった警戒区域	無し	表土層厚は薄い傾向
2	神戸市中央区布引	布引花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	表土層厚は薄い傾向
3	神戸市中央区再度山	布引花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	沢水無し
4	神戸市中央区諏訪山	布引花崗岩	0次谷		赤判定となった警戒区域	—	斜面对策済
5	神戸市中央区諏訪山	布引花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	表土層厚は薄い傾向
6	神戸市兵庫区上祇園町	布引花崗岩	0次谷		赤判定となった警戒区域	無し	表土層厚は薄い傾向
7	神戸市兵庫区鳥原町	布引花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	表土層厚は薄い傾向
8	神戸市兵庫区北山町	布引花崗岩	0次谷		赤判定となった警戒区域	—	斜面对策済
9	神戸市兵庫区平野町	布引花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	表土層厚は薄い傾向
10	神戸市須磨区妙法寺	布引花崗岩	0次谷		安全率が大幅に低い箇所	—	斜面对策済
11	神戸市須磨区高取山	布引花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	表土層厚は薄い傾向
12	神戸市中央区葺合町	六甲花崗岩	0次谷	台風15号	赤判定メッシュが集中	無し	沢水無し
13	神戸市灘区六甲町	六甲花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	土砂流出無し
14	神戸市灘区六甲町	六甲花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	有り	2箇所で新しい崩壊
15	神戸市灘区六甲町	六甲花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	有り	1箇所で新しい崩壊
16	宝塚市伊子志	六甲花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	沢水無し
17	宝塚市武庫山	六甲花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	表土層厚は薄い傾向
18	宝塚市譲葉山	六甲花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	土砂流出無し
19	西宮市山口町	六甲花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	表土層厚は薄い傾向
20	西宮市山口町	六甲花崗岩	0次谷		赤判定メッシュが集中	無し	沢水無し

(2) 台風 12 号および台風 15 号における面的・時系列的な検証と課題の抽出

最大時間雨量分布や総雨量分布とシステムによる判定結果を重ね合わせ、図 4.2.3 および図 4.2.4 を作成した。

また、時系列的な判定状況の変化を図 4.2.5 に示した。

① 雨量分布と判定結果

図 4.2.3 および図 4.2.4 をみると、台風 12 号と 15 号で最大時間雨量および総雨量ともにその分布の中心域が異なっている。すなわち、台風 12 号では西宮市付近が、台風 15 号では須磨区付近が降雨の中心域となっている。

システムの判定結果との対応をみると、雨量の中心域に関わらず対象地域の西側で急傾斜崩壊危険箇所における警戒（赤）判定が多く出現する傾向がみられ、地質区分ごとの表土層厚や物性値の違いの影響と考えられた。

一方、雨量の集中域に着目すると、西宮付近で総雨量 400mm を超えるメッシュがあるにも関わらず警戒（赤）判定となる急傾斜地崩壊危険箇所が無い。実際には災害が発生していないので適中といえるが、人家裏の急傾斜地の形状が DEM に表現されにくいことなどの課題もあるため不安が残る。

このため、表土層に雨水が満水となった状態でのシミュレーションを実施し、問題箇所の有無や対策について検討する。（課題2）

② 判定結果の時系列変化

図 4.2.5 をみると、降雨が小康状態となり 24 時間程度経過しても警戒（赤）判定となっている箇所がわずかに見られる状況であった。

警戒（赤）判定が長引く課題については前報 7)における対策で大幅に改善しているが、特定のメッシュにおける微調整の必要性が伺えるため、前報 7)と同様にシミュレーション降雨による問題箇所の検出を再度実施し、その補正について検討する。（課題3）

2011年8/30 0:00～9/7 13:00 台風12号(最大時間雨量mm/hr)



2011年9/19 0:00～9/22 23:00 台風15号(最大時間雨量mm/hr)

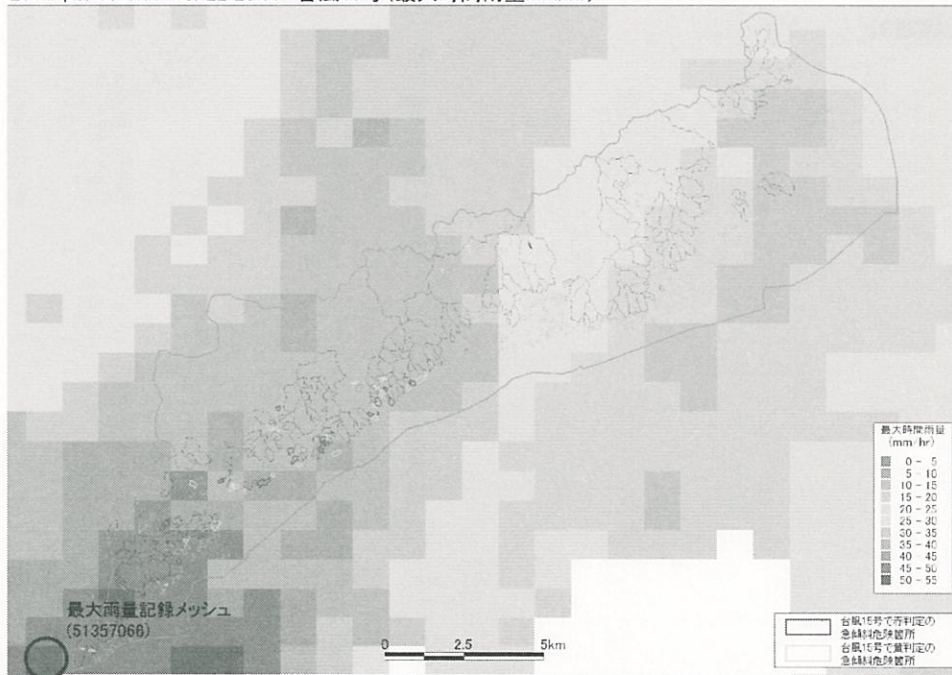
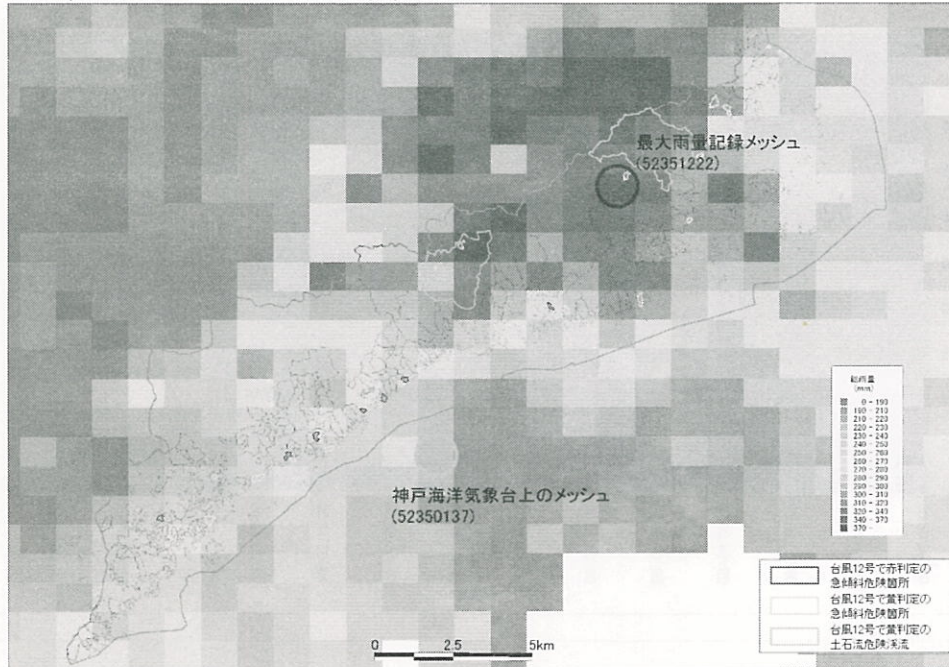


図 4.2.3 最大時間雨量分布とシステム判定結果

2011年8/30 0:00~9/7 13:00 台風12号(総雨量mm)



2011年9/19 0:00~9/22 23:00 台風15号(総雨量mm)

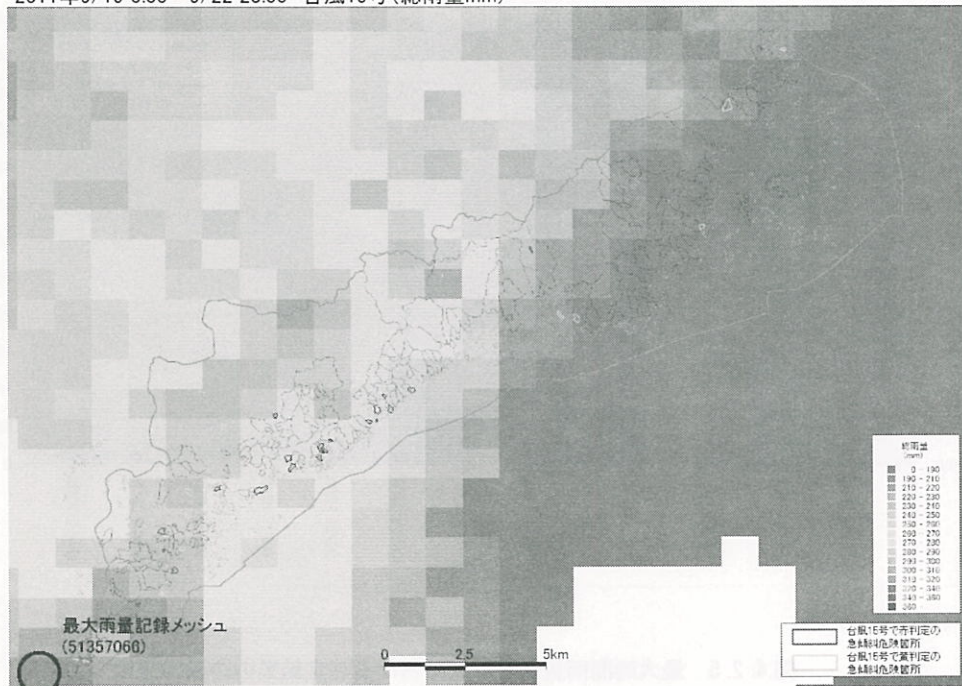


図 4.2.4 総雨量分布とシステム判定結果

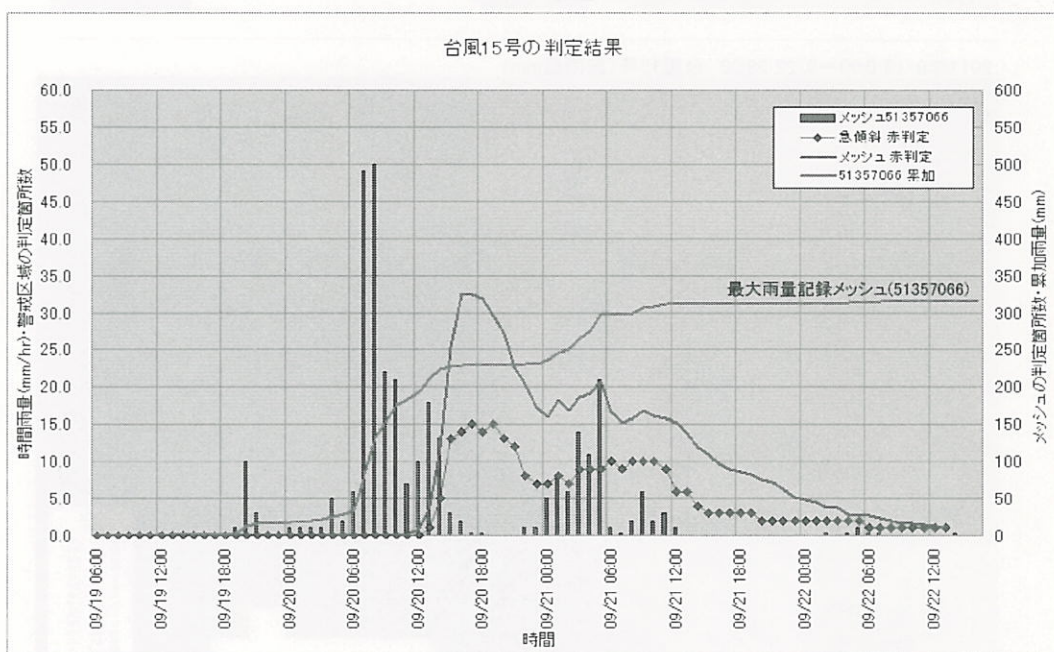
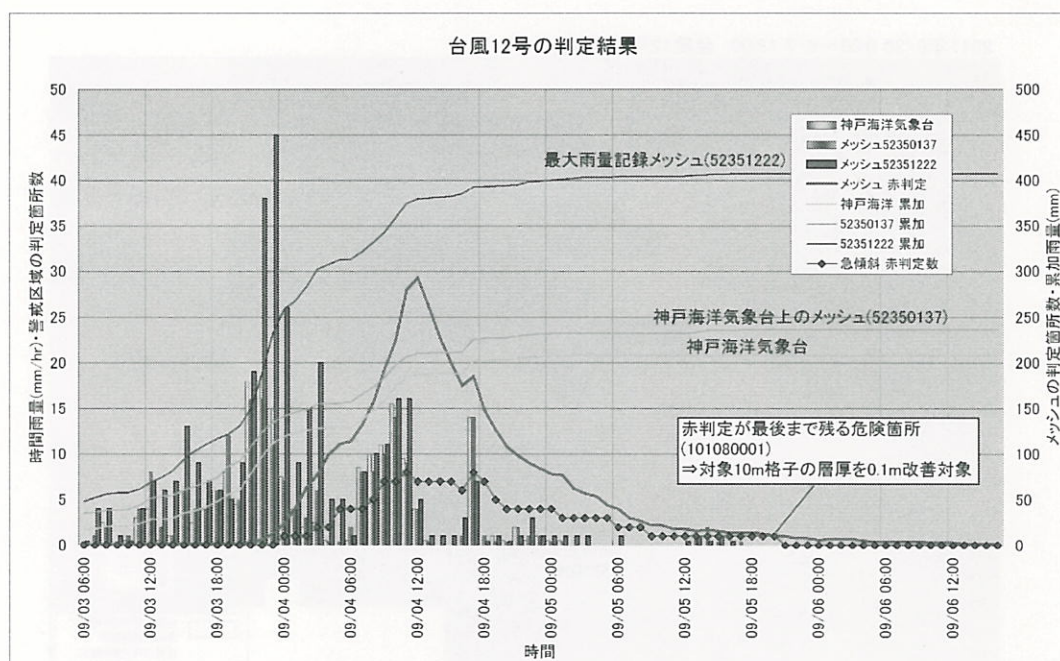


図 4.2.5 最大時間雨量メッシュにおける判定結果の時系列変化

4.3 課題への対策

前項で抽出した課題を再記すると以下のとおりである。各課題に対する検討結果について以下に述べる。

- 課題1 0次谷および急傾斜地における層厚の調整
- 課題2 表土層満水時の判定における不具合対策
- 課題3 シミュレーション降雨による局所的な不具合対策

(1) 0次谷および急傾斜地における層厚の調整

① 0次谷における層厚の調整

現地調査の結果、空振りが集中する0次谷は平成22年度モデルの0次谷層厚式に比べて、実際の層厚が薄いことにより空振りが多発しているものと考えられた。

このため、0次谷における空振りメッシュを抽出し、台風12号・15号の降雨で安全率が1を切るときの層厚の上限値を逆算的に求めて調整方法を検討することとした(図4.3.1)。

図4.3.1には、表土層厚のモデル式(図中の中央)をもとに、水系網にかかる0次谷メッシュに10cmの減厚を施す場合のライン(図中の下)を図示している。

同図より、空振りとなったメッシュが安全率1を下回らない層厚とするためには、0次谷における減厚を現状のマイナス10cmから、マイナス15cmに変更することで概ね問題を解消できることがわかる。このため、0次谷の減厚値をマイナス15cmに変更する。

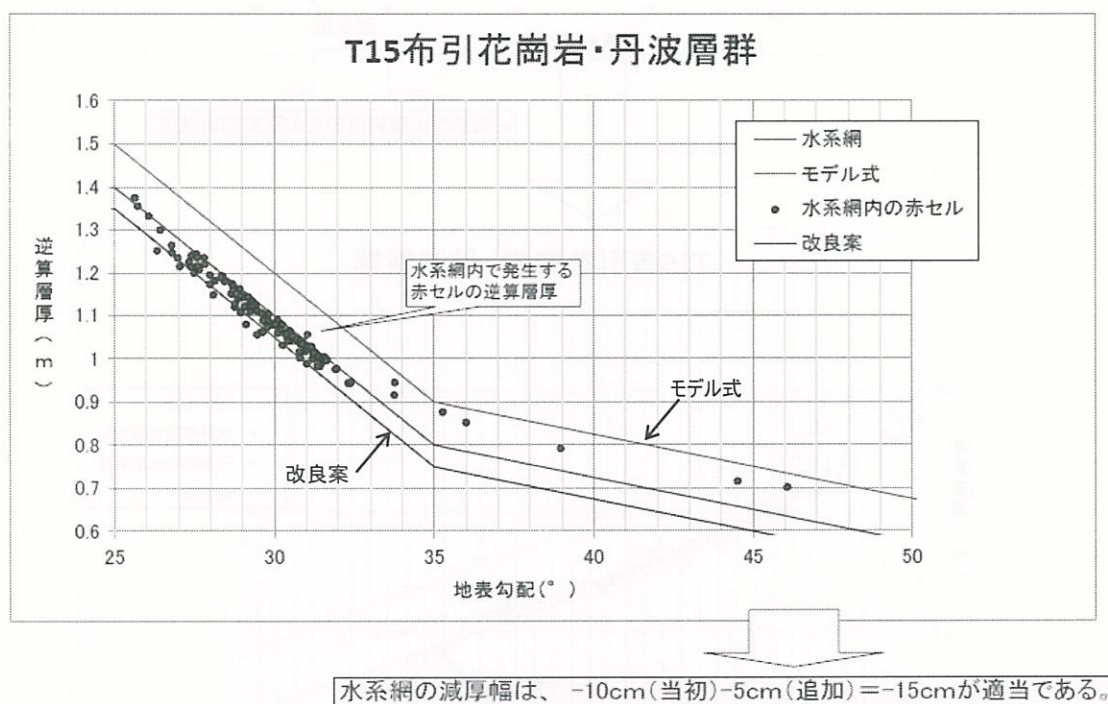


図4.3.1 0次谷斜面において空振りとなったメッシュの逆算層厚分布を用いた水系網上の減厚補正値の検討

② 急傾斜地における層厚の調整

現地調査の結果、空振りが集中する急勾配斜面では平成22年度モデルの層厚式に比べて、実際の層厚が薄いことにより空振りが多発しているものと考えられた。

このため、急傾斜地における空振りメッシュを抽出し、台風12号・15号の降雨で安全率が1を切るときの層厚の上限値を逆算的に求めて調整方法を検討することとした(図4.3.2)。ただし、ここでの検討結果を全域に適用するには必ずしも適切でない場合も想定されるため、特に配慮が必要な土砂災害警戒区域(急傾斜地)の判定には影響を与えない範囲(勾配40度以上)で層厚のモデル式を改良することとした(図4.3.3、表4.3.1)。

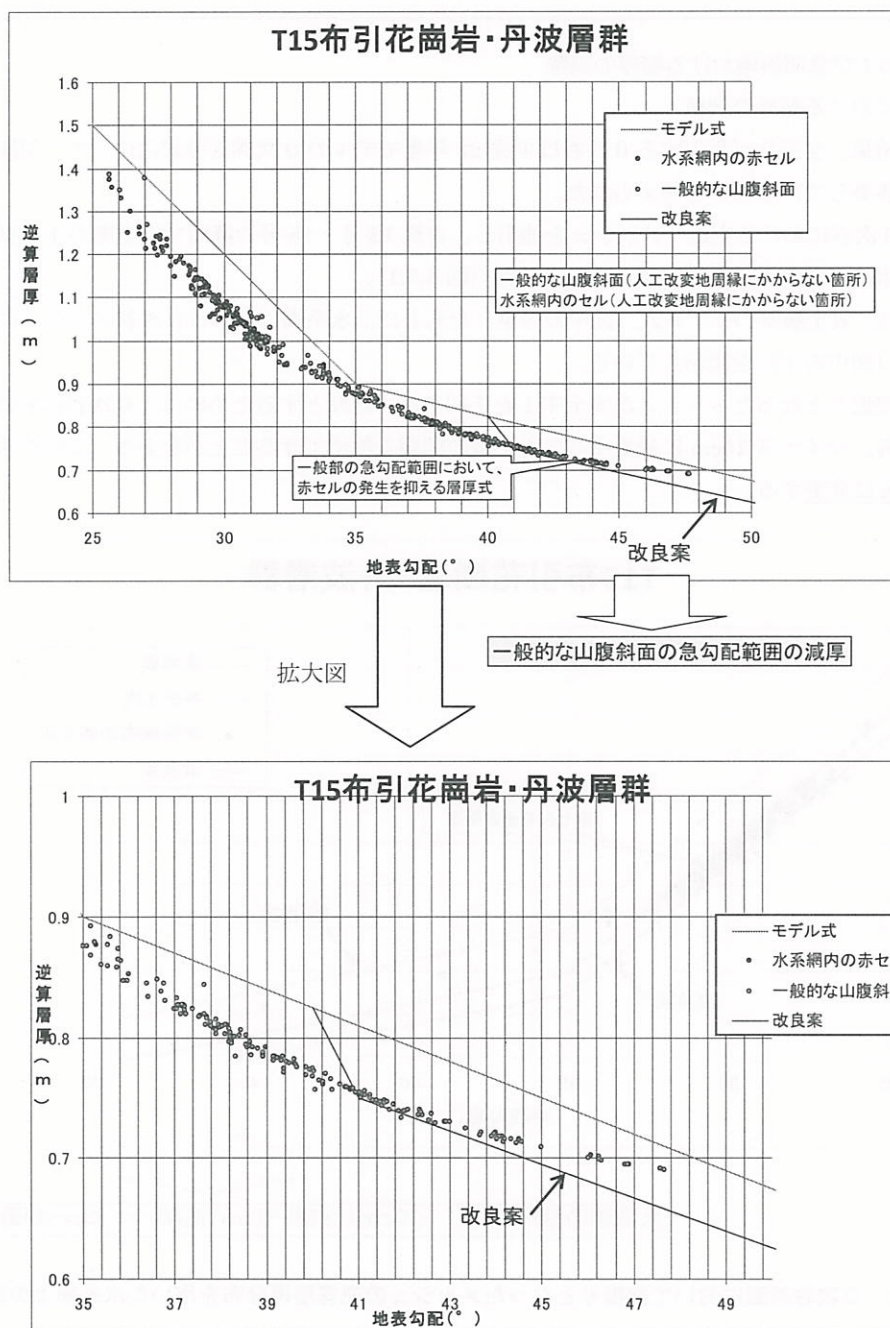


図 4.3.2 急傾斜地における空振りメッシュの逆算層厚分布を用いたモデル式の調整

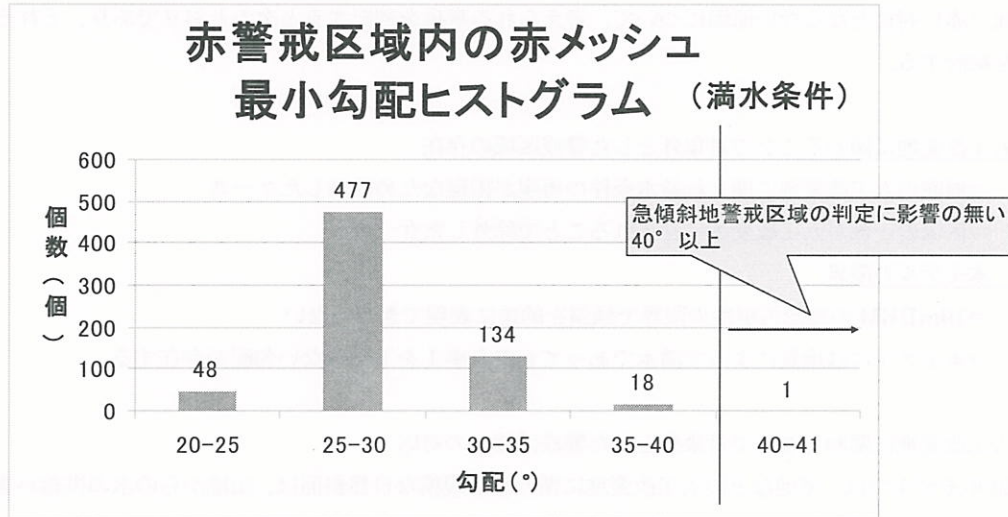


図 4.3.3 土砂災害警戒区域（急傾斜地）の判定に影響を与えない勾配レンジ

表 4.3.1 層厚モデル式の改良結果

当初 谷壁斜面	変更 谷壁斜面
0-25° H=1.5m	0-25° H=1.5m
25-35° H=-0.06 φ +3.00	25-35° H=-0.06 φ +3.00
35° - H=-0.015 φ +1.425	35-40 H=-0.015 φ +1.425
	40-41 H=-0.075 φ +3.825
	41- H=-0.01377551 φ +1.31479591

(2) 表土層満水時の判定における不具合対策

表土層が全てのメッシュで満水の条件で安全率の計算を行なった結果を図 4.3.4 に示した。

同図をもとに、警戒（赤）判定となった警戒区域（急傾斜地）の数を集計すると、警戒（赤）判定にならない警戒区域（急傾斜地）は（423 箇所／926 箇所）となり、半数近くが警戒（赤）判定にならないことがわかった。

警戒（赤）判定とならない原因について、考えられる事項を列記すると次のとおりであり、それぞれについて以下で対応を検討する。

・人工改変地に関わることで対象外とした警戒区域の存在

⇒周囲が人工改変地に囲まれ給水条件の再現が困難なため除外したケース

⇒区域の一部が人工改変地に含まれることで除外したケース

・本モデルの限界

⇒10mDEM の地形再現性の限界で傾斜を的確に表現できていない

⇒本モデルには地質によって満水であっても安全率 1 を下回らない勾配が存在する

① 人工改変地に関わることで対象外とした警戒区域への対応

H22 年モデルでは、宅地などの人工改変地に関わる小規模な自然斜面は、山地からの水の供給が遮断されるなどの理由から、崩壊予測の対象としていなかった。

しかし、より安全な対策をとるためには、危険側に予測を行うことが適当であるため、空中写真により人工改変地のバウンダリ内に位置する自然斜面を抽出し、警戒（赤）判定にならなかった土砂災害警戒区域（急傾斜地）が満水の条件でどのような結果となるか検討することとした。

検討は、以下の a～c の該当メッシュについて、自然斜面と表層土の形成過程の違いを考慮して、通常よりも表土層を厚く（プラス 10cm）設定したケースを比較検討し、その結果を表 4.3.2 にとりまとめた。

a. 警戒区域内の自然斜面の占有率が 60%未満となる区域内の谷壁斜面メッシュ

b. 警戒区域内に 1 メッシュでも人工改変地が重なる警戒区域内の谷壁斜面メッシュ

c. 人工改変地と隣接する谷壁斜面メッシュ

表 4.3.2 改良方法の比較検討

警戒区域 (全 926 箇所)の判定	地形の特徴	現状	a	b	c
警戒（赤）	-	503	638	682	677
未判定	地表勾配 30° 未満の自然斜面	266	209	192	196
	地表勾配 30° 以上	114	36	9	10
	人工改変地のみ	43	43	43	43

表 4.3.2 のをみると、a～c のいずれの場合も現状よりも警戒（赤）判定となる箇所数が増加し、一定の改良の効果が確認された。

しかしながら、他地域への展開を考えた場合、a・b に関しては汎用性が難しく、c に関しては地形学的な根拠が薄いため、これらの箇所の層厚改良案は不採用とすることとした。

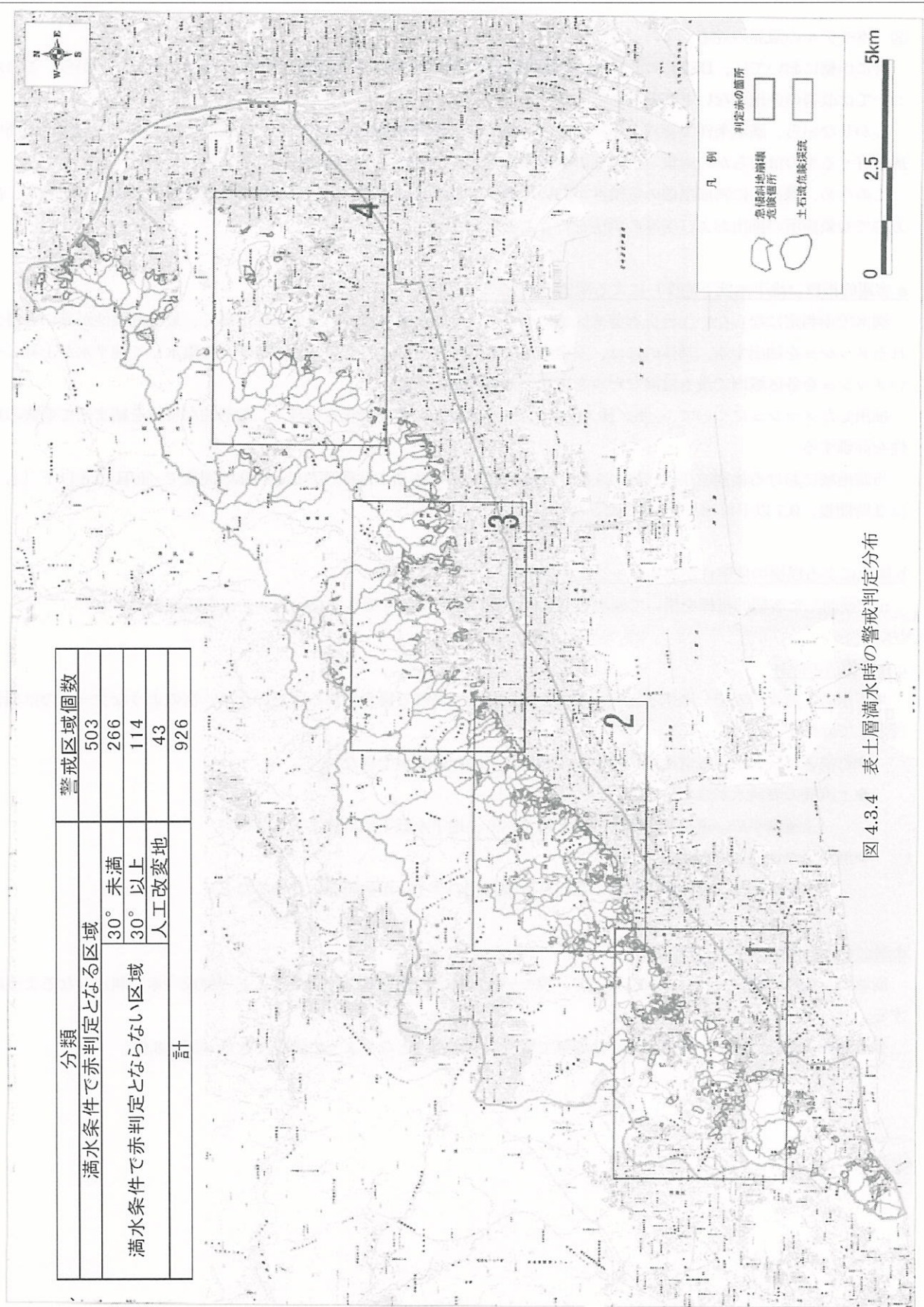


図 4.3.4 表土層満水時の警戒判定分布

② 本モデルの限界の対応

特に山裾においては、DEMにより細かい傾斜区分ができないというDEMの性質上限界であることから、この点については改善の余地がないと判断した。

しかしながら、満水条件で警戒（赤）判定にならない土砂災害警戒区域のうち、区域内に斜面崩壊の危険性が高い地形を有するものは何らかの対策（危険性の割り増しなど）が必要と考えられる。

このため、潜在的に斜面崩壊の危険性が高い地形は、集水地形で高い地下水が維持される傾向があるものと考え、次の方法で対象箇所抽出および層厚の調整を行うこととした。

a.客観的指標（地下水低下速度）による閾値の検討

満水で赤判定にならない土砂災害警戒区域について、その区域内において集水性が高く、最も危険性が高いと考えられるメッシュを抽出する。具体的には、安全率が最も低いメッシュのうち、地形条件から集水して地下水が上昇しやすいメッシュを各区域内で最も危険なセルを1ないし複数抽出する。

抽出したメッシュについて、 $\Delta h/H$ （＝地下水位／層厚）の時間変化を整理し、地形的な特徴を踏まえて崩壊の危険性を評価する。

当該地域における検討結果は、図4.3.5のとおりであり、「崩壊の危険性が低い＝2時間後で $\Delta h/H=0.8$ 以下（もしくは3時間後、0.7以下）」が一つの目安となる。

b.閾値による崩壊の危険性が高いメッシュの抽出

a.で検討した客観的指標を用いて崩壊の危険性の高いメッシュとそうでないメッシュを区分する。

c.異常箇所の除外

地下水低下速度のみで分別すると、一部で、異常な箇所が残る場合がある。このため、次のようなケースでは異常箇所として除外する。

◆対象メッシュが人工改変地に掛かっており、正確な計算ができない。

◆上流側の表流水がまわらない。

（上流側が広い道路等で明確に絶たれており、地下水低下は試算よりも早い）

◆無関係な地形に位置する

（メッシュ位置が対象の斜面でない。区域設定のラインが他斜面に交わるなど）

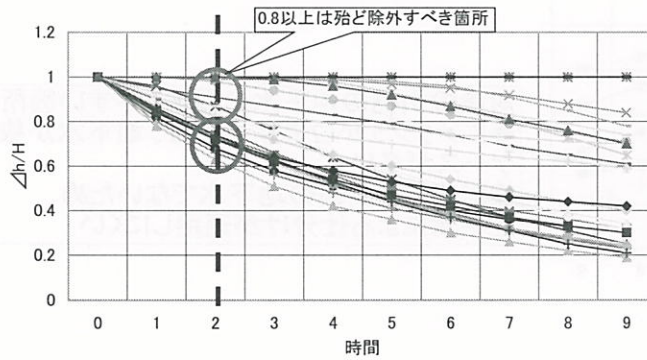
d.選別された危険メッシュの増厚

崩壊の可能性が高いメッシュ数について、現モデル式による層厚量を検討することで警戒（赤）判定となるよう調整する。

当該地域においては、プラス10cmの増厚で警戒（赤）判定となるように調整できた（図4.3.6）。

崩壊ににくいと考えられるタイプ

タイプA(保全対象が上)

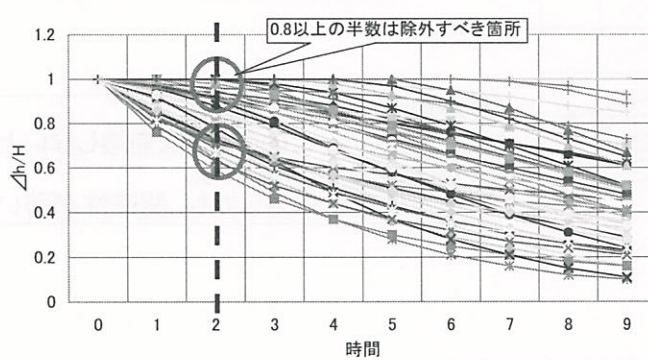


■地下水変化と関連性あり

2時間後で $\Delta h/H=0.8$ 以下が多い。地下水低下速度が速い。
 0.8以上のものは以下の場合が殆どであり、例外的なケースに属する。
 ・道路・宅地により斜面が縁切れられて、水が回らない斜面であるが、地下水回るとして計算されている
 ・メッシュが谷底にかかり、水がぬけていない。

崩壊ににくいと考えられるタイプ

タイプB(尾根地形等)



■地下水変化と関連性あり

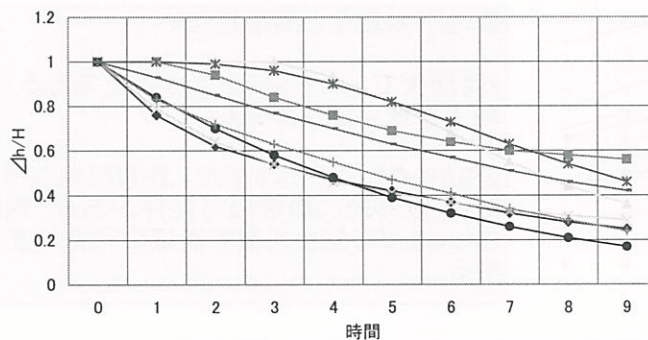
2時間後で $\Delta h/H=0.8$ 以下、と0.9-1.0に分かれる。

0.9-1.0の地形的特長は、
 ・尾根地形であるが高さ20m以上の尾根であり、地下水が裾部に集まる
 ・尾根地形であるが、斜面の付け根にメッシュが位置しており、地下水が抜けにくい。

その他、以下は除外できる例外と判断。

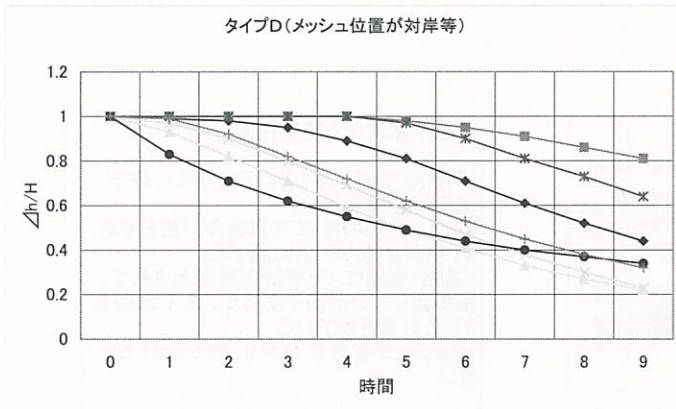
・道路・宅地により斜面が縁切れられて、水が回らない斜面であるが、地下水回るとして計算されている
 ・メッシュが谷底にかかり、水がぬけていない。

タイプC(人工改変地に掛かる)

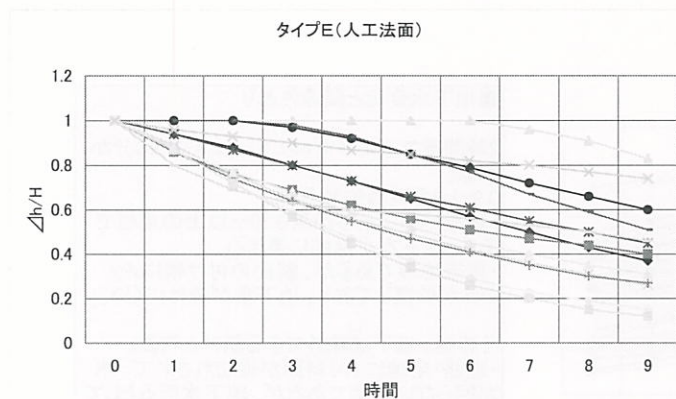


人工改変地にメッシュがかかる箇所では正確な計算が出来ないため、除外してよいと判断する。
 地下水位変化に対しても、関連性が薄い。

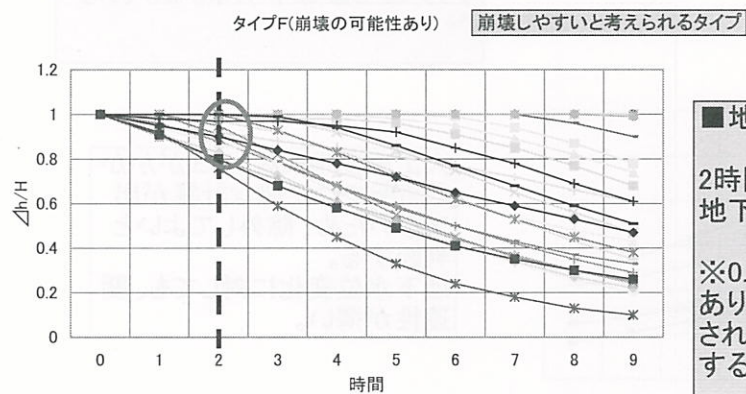
図 4.3.5 (1) 客観的指標(地下水低下速度)による崩壊の危険性の評価検討(1)



対岸の山裾の地下水の溜まりやすい箇所等にメッシュが位置する場合、地下水が抜けにくいケースが多い。
検討すべき斜面の地下水でないため、地下水による仕分けが適用しにくい



表層崩壊しない箇所である。
まずはじめに、このタイプは崩壊しないとして、除外してよいと判断する。
地下水位変化に対しても、関連性が薄い。



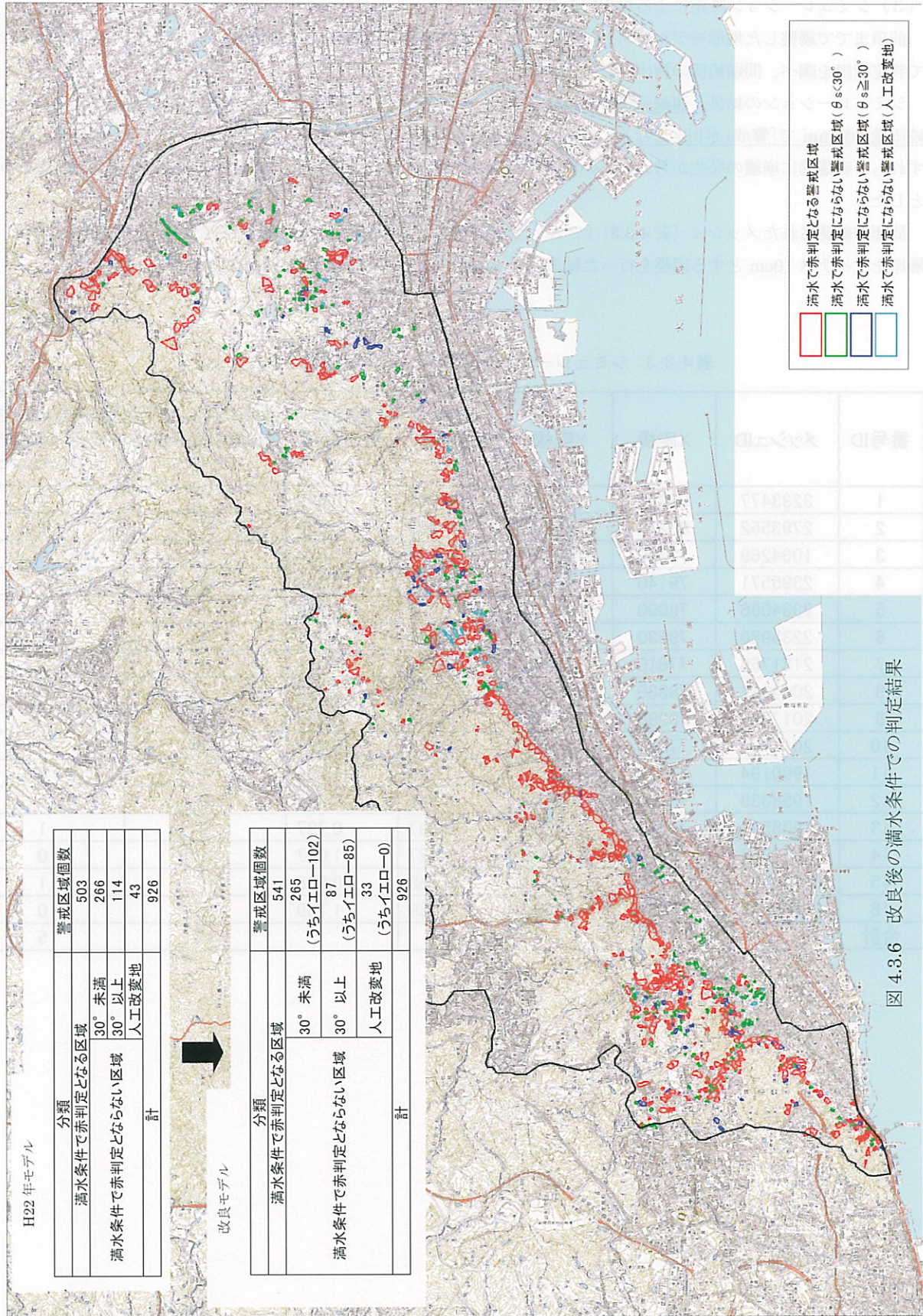
■地下水変化と関連性強い

2時間後で $\Delta h/H=0.8$ 以上が殆どである。
地下水低下速度が遅い。

※0.76-0.80以下は3箇所。急勾配地形等であり、地形的に崩壊の可能性があると判断されるため、安全を見て崩壊の可能性ありとする。

A	保全対象が斜面の上に位置している。影響なし
B	尾根地形など、水が集まりにくい地形。30°以下が殆ど、谷壁が少ない等、崩れにくい
C	人工改変地に掛かっており、正確な計算できない。
D	メッシュ位置が、対岸等の影響の無い箇所。
E	人工法面が殆どで、崩壊しない。
F	崩壊の可能性有り。

図 4.3.5 (2) 客観的指標（地下水低下速度）による崩壊の危険性の評価検討（2）



(3) シミュレーション降雨による局所的な不具合対策

前項までで調整した地形モデルをもとに、前報 7 と同様に連続雨量 100mm、200mm のシミュレーション降雨を与えて判定状況を調べ、問題箇所の検出と層厚調整を行った。

シミュレーションの結果、連続雨量 100mm で警戒（赤）判定となるメッシュが 13 メッシュ確認された。また、連続雨量 200mm で「警戒」赤判定となり、降雨終了後 24 時間以上判定が継続するメッシュが 5 メッシュ確認された。いずれも、客観的に崩壊の発生が考えにくい状況での警戒（赤）判定であるため、前報 7 と同様に層厚の調整を行うこととした。

問題の確認されたメッシュ（表 4.3.3）について、地形分類や地質、周囲の層厚との整合性について確認した後、表土層厚をマイナス 10cm とする調整を行った結果、全ての問題メッシュが解消された（図 4.3.7～4.3.8）。

表 4.3.3 シミュレーション降雨により問題の確認されたメッシュ

番号ID	メッシュID	X座標	Y座標	当初 表土層厚 (m)	調整後 表土層厚 (m)	連続100mmで「警戒」赤判定となるメッシュ	連続200mmで「警戒」赤判定が長引くメッシュ
1	3233477	83240	-137990	0.792	0.692	1	1
2	2793552	80230	-139780	0.759	0.659	1	0
3	1034269	72360	-146940	1.124	1.024	1	0
4	2395571	79140	-141400	0.789	0.689	0	1
5	2334066	78090	-141650	1.126	0.976	1	0
6	2235980	79630	-142050	0.801	0.701	1	0
7	2181766	77810	-142270	1.178	1.078	1	0
8	2044332	78830	-142830	1.094	0.994	1	0
9	2017262	78290	-142940	1.088	0.988	1	0
10	2014759	77820	-142950	0.892	0.792	1	0
11	1990194	77770	-143050	1.124	1.024	1	0
12	1958335	78460	-143180	0.889	0.789	0	1
13	1938543	77020	-143260	0.897	0.797	0	1
14	1854958	76210	-143600	1.127	1.027	1	0
15	1835367	76780	-143680	0.768	0.668	1	1
16	1766499	75780	-143960	1.269	1.169	1	0
合計						13	5

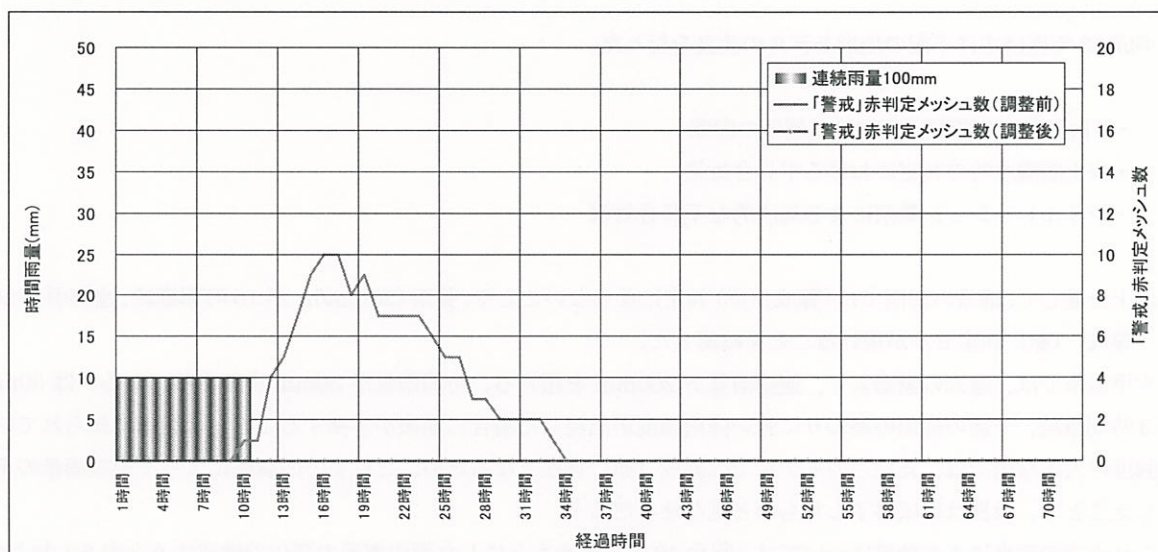


図 4.3.7 連続雨量 100mm における「警戒」(赤) 判定メッシュの状況 (調整前後比較)

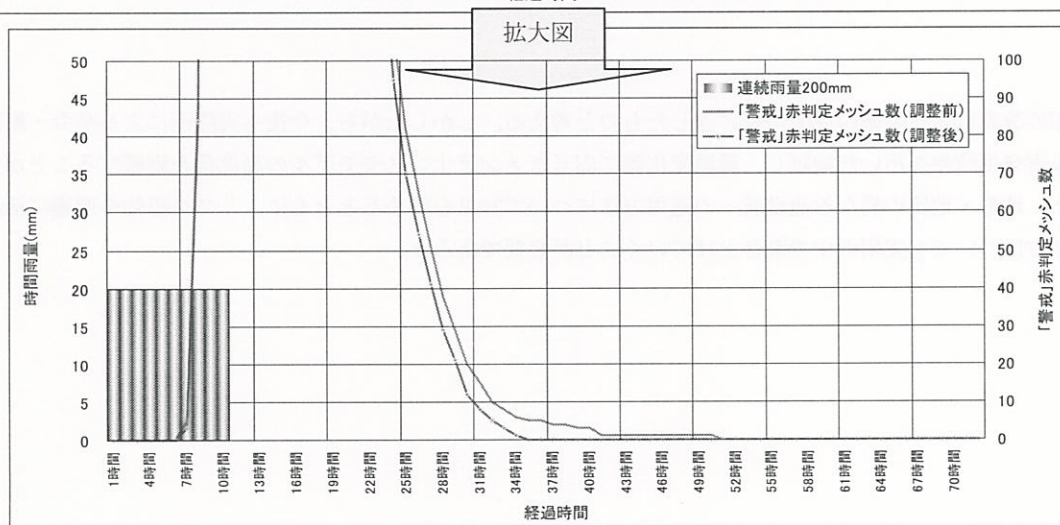
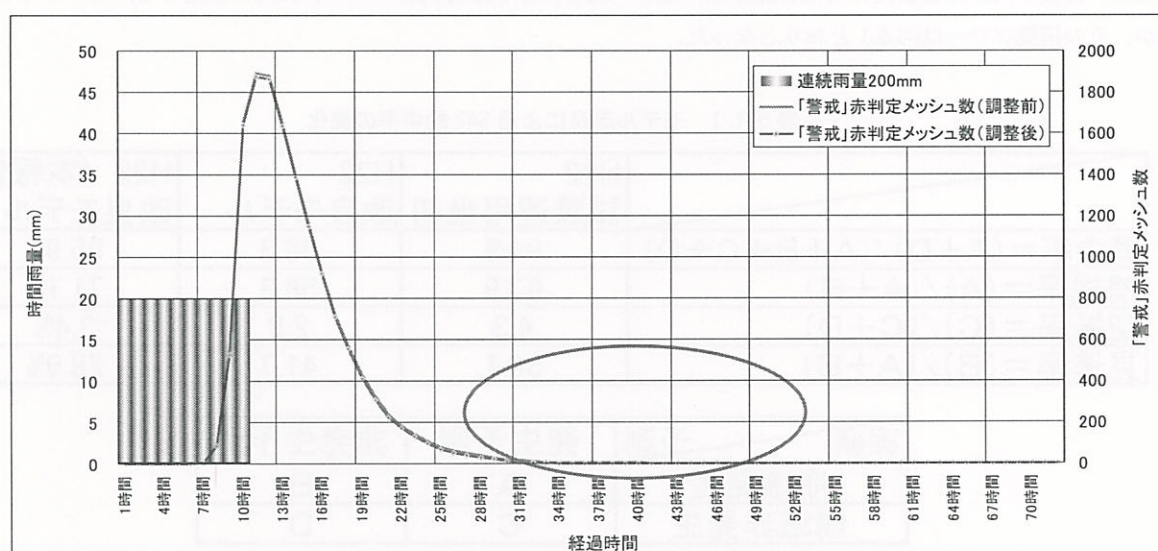


図 4.3.8 連続雨量 200mm における「警戒」(赤) 判定メッシュの状況 (調整前後比較)

5. まとめと今後の課題

平成 23 年度は主に下記の地形モデルの改良を行った。

- ・ 0 次谷および急傾斜地における層厚の調整
- ・ 表土層満水時の判定における不具合対策
- ・ シミュレーション降雨による局所的な不具合対策

以上を通して、通常の弱雨では「警戒」(赤) 判定にならないことや、強雨 (20mm/hr が 10 時間継続、連続雨量 200mm) で「警戒」(赤) 判定セルが現れることを確認した。

六甲山系では、過去の豪雨より、連続雨量が 200mm を超える、時間雨量が 50mm を超える、あるいは 30mm 以上が 3 時間継続、一連の降雨の終わりに強い降雨強度が出現した場合に崩壊が多発することが経験的に知られている。降雨強度の大きな雨では、元来このモデルでは警戒 (赤) 判定となるため、これまでの調整によって連続雨量の条件を満たしたことで、改良はほぼ終了したものと見なせるだろう。

これまでの改良による効果については、昭和 42 年災害をもとにした適中率等の変化で確認すると表 5.1 および図 5.1 のとおりである。高い適中率を維持した状態で、課題であった捕捉率が改善され概ね良好な結果と評価できよう。

なお、複数年にわたる改良の主たる部分は、地形・地質に応じた表土層モデルを如何に構築するかということに尽きるが、その構築フローは図 5.1 とおりとなった。

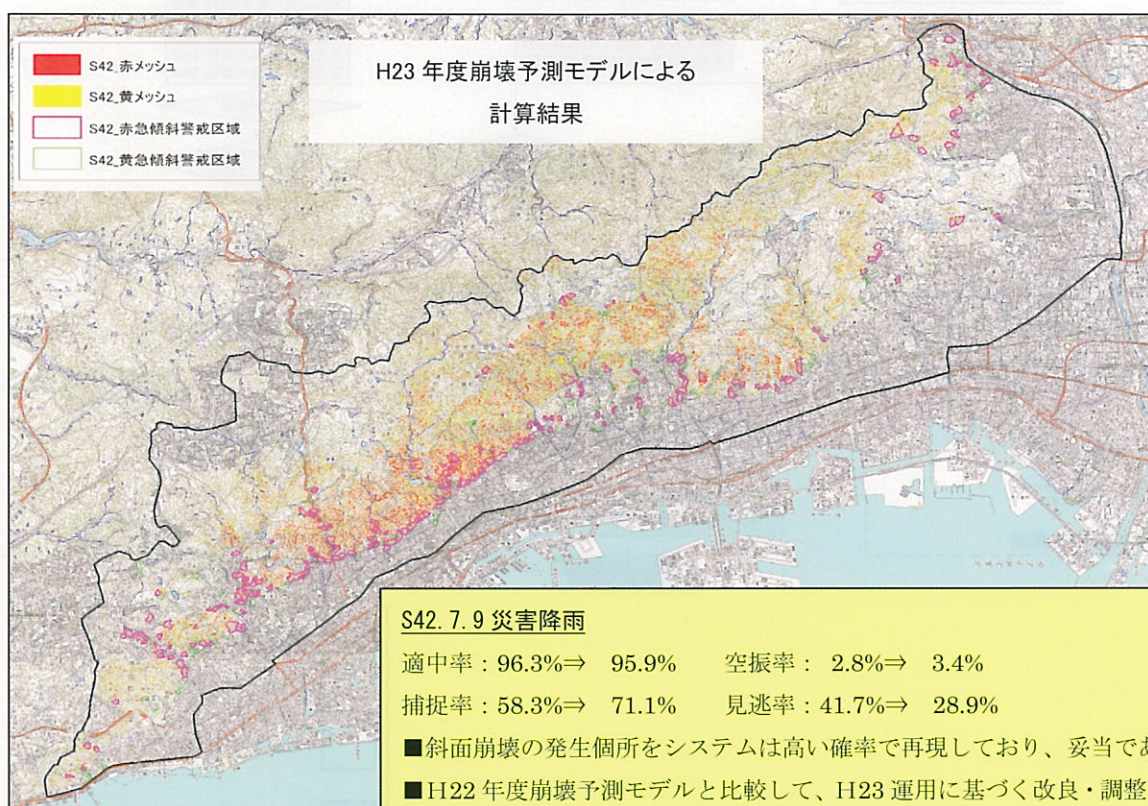
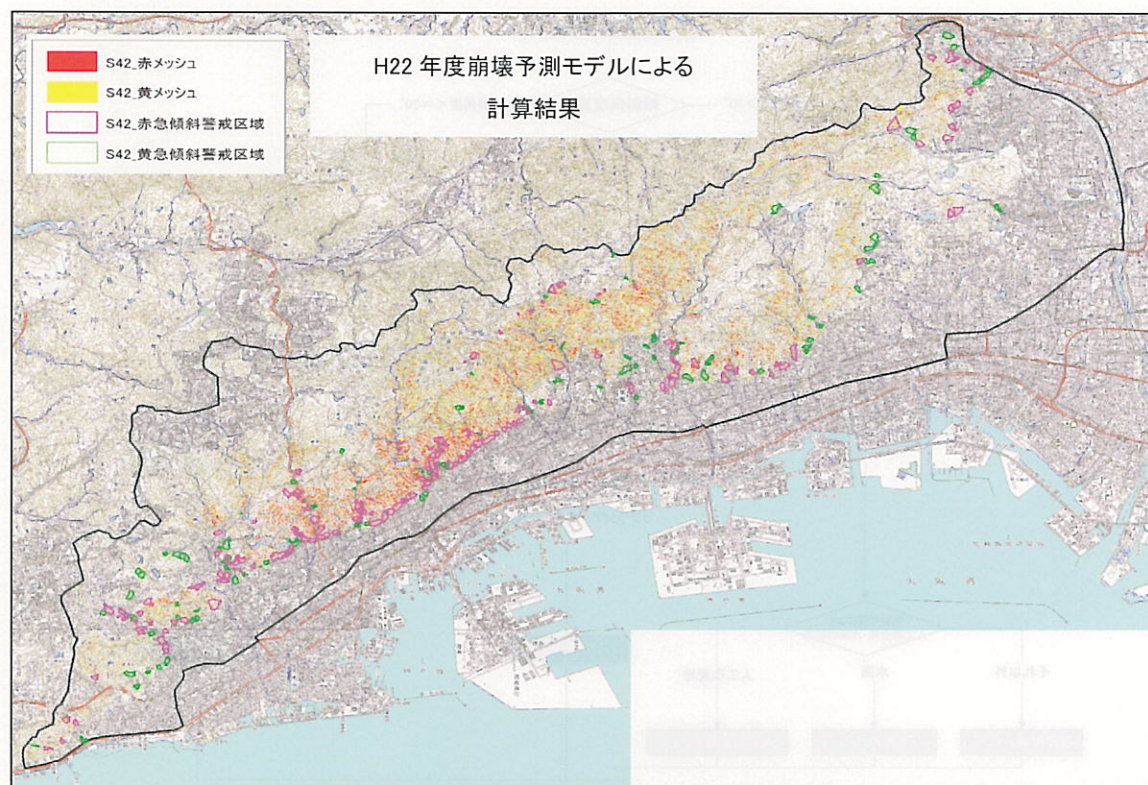
表 5.1.1 モデル改良による S42 的中率の変化

	H22 試験運用当初	H22 改良モデル	H23 (本報告) 改良モデル
適中率 = $(A+D)/(A+B+C+D)$	94.9	96.3	95.9%
捕捉率 = $(A)/(A+B)$	63.9	58.3	71.1%
空振率 = $(C)/(C+D)$	4.3	2.8	3.4%
見逃率 = $(B)/(A+B)$	36.1	41.7	28.9%

実績 \ 予測	発生予測	非発生予測
崩壊発生	A	B
崩壊非発生	C	D

今回の改良によって概ね完成の域に達したものとする。しかしながら、今後も実降雨による発令・解除のタイミングや災害発生情報を用いた検証し、環境変化等に応じたメンテナンスやモデルの高度化を継続することが重要である。

また、地形・地質の異なる他地域への適用方法について知見を深めるとともに、リスク認知や避難に活用される情報のあり方についても実用の中で磨き上げていくことが必要であろう。



S42. 7. 9 災害降雨

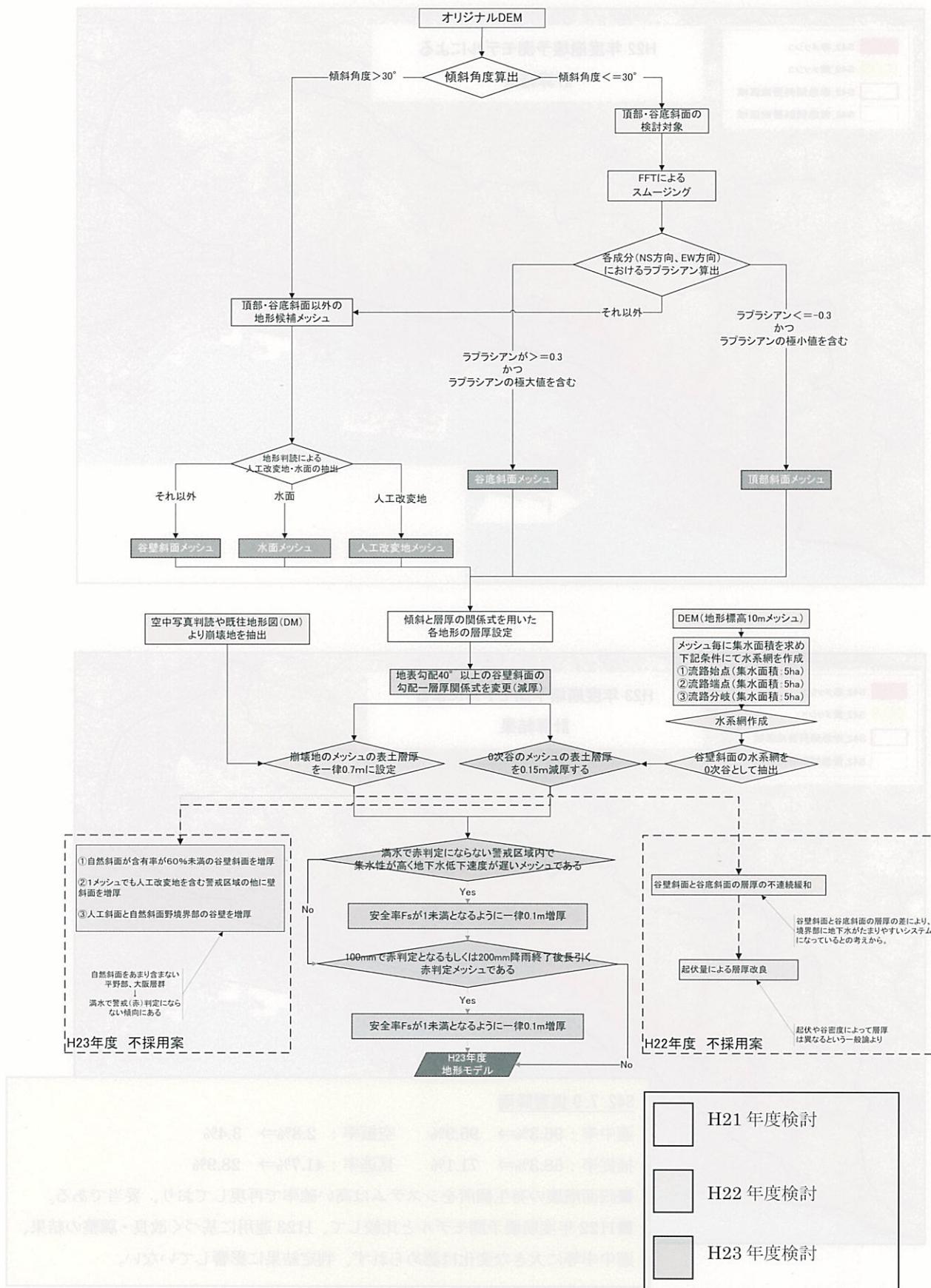
適中率：96.3%⇒ 95.9% 空振率：2.8%⇒ 3.4%

捕捉率：58.3%⇒ 71.1% 見逃率：41.7%⇒ 28.9%

■斜面崩壊の発生個所をシステムは高い確率で再現しており、妥当である。

■H22 年度崩壊予測モデルと比較して、H23 運用に基づく改良・調整の結果、適中率等に大きな変化は認められず、判定結果に影響していない。

図 5.1 改良前後の予測モデルによる昭和 42 年災害への適用



6. おわりに

本プロジェクトの推進に関しては、兵庫県県土整備部砂防課の全面的なご支援を受けた。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。更に本モデルに使用したDEMは国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所より影響を受けた。また、気象庁神戸海洋気象台からは降雨観測データに関して数多くのご助言を得た。あわせて、感謝の意を表します。研究会を通して、地元の神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市の関係職員の皆様からは、活用上のアドバイスを数多くいただくことができた。深く感謝します。

参考文献

- 1) 国土交通省 HP より
- 2) 朝日新聞、平成 24 年 7 月 15 日朝刊より
- 3) 沖村孝・市川龍平：数値地形モデルと潜在崩土層厚による雨水の飽和横流れ浸透流解析、土木学会論文報告集、1985.
- 4) 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.
- 5) Takashi OKIMURA, Nobuyuki TORII, Masatoshi MATSUMOTO, Mitsuhiro NANBU and Katsutoshi HARAGUCHI: Construction of the real-time hazard forecasting system in order to support evacuation from surface slope failure disasters caused by heavy rainfalls, International Symposium on Earthquake Induced Landslides and Disaster Mitigation at the 3rd Anniversary of the Wenchuan Earthquake, Chengdu, China, 2011.
- 6) 沖村孝・鳥居宣之・南部光広・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、建設工学研究所論文報告集、52、119-137、2010.
- 7) 沖村孝・鳥居宣之・南部光広・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 (2)、建設工学研究所論文報告集、53、153-173、2011.
- 8) 神戸海洋気象台 HP より

著 者

沖村 孝	所員 理学博士, 地盤工学
鳥居 宣之	客員研究員 神戸市立工業高等専門学校准教授、博士 (工学), 山地防災工学
中川 渉	客員研究員 応用地質株式会社, 博士 (工学), 地盤工学
原口 勝則	客員研究員 国際航業株式会社, 技術士 (建設部門), 砂防工学

