兵庫県箇所別土砂災害危険度予測システムの活用に向けた取り組み
－地盤定数（c, φ）・透水係数の適正化による精度向上方法について－

（一財）建設工学研究所：○沖村 孝，中川 渉，鏡原聖史，笠原拓造
神戸市立工業高等専門学校：鳥居宣之
兵庫県土木部砂防課（現 土木部河川整備課）：八尾昌彦

1. はじめに

兵庫県では，豪雨による土砂災害に対する警戒避難活動に資するため，土砂災害警戒区域毎に危険度を判定する箇所別土砂災害危険度予測システム [1]の導入に取り組んでいる。

このシステムは，土砂災害警戒区域単位の危険度とあわせて，モデル構築範囲の山地斜面の 10m×10m 単位（以下セルと呼ぶ）の危険度を表示している。近年の降雨で，このセルにおいて，少ない降水量で空振り判定（システムで崩壊を予測したのに実際には崩壊が発生しなかった）が生じていることが確認された。これらの空振り判定は，システムの画面上で目立つことや雨のたびに同じセルで判定される等，システムの信頼性低下につながり，今後のシステムの普及促進への影響が懸念された。本報告は，兵庫県で運用中のシステムについて，少ない降水量で生じる空振り判定の要因を分析とそれに対して対応した結果を報告する。

2. 少ない降雨量で生じる空振りの要因

令和 3 年 8 月豪雨は，11 日～15 日に県中部の宍粟市～丹波市にかけて累加雨量が 300mm を超える降雨となった。また，17 日～19 日に県中南部において最大 1 時間雨量 10～20mm のピークが複数回で発生した長雨型となった。ここでは，丹波市における降雨状況と 10m セルの判定数を図 1 に示す。8 月 11 日から降雨が始まり，8 月 15 日までに累加雨量は 237.5mm に達した。この間，最大時間雨量は 8 月 11 日 21 時の 23mm であった。判定セルは 8 月 13 日 13 時～20 時半，8 月 14 日 4 時～12 時半の間に発生しており，ピークは 8 月 14 日 10 時半の 440 セル（解析対象 3,727,779 セル）であった。この判定セル数がピークに達した時点では大雨警報が出されている状況であった。なお，この降雨に対して土砂災害警戒情報は発報されておらず，災害の発生は無かったため，判定セルは全て空振りであった。以上のような少雨時の空振りの判定（安全率と安全率の変化量の二軸の閾値による判定 [2]）は，他市町でも同様に認められたことから，各市町のモデルに共通の課題であると考えられた。なお，これ以降の本報告で用いる「判定」は，10m セル単位の崩壊予測（安全率による一軸の判定）として示す。

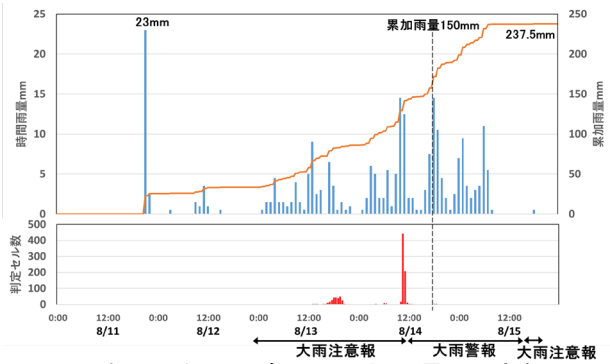

図 1 令和 3 年 8 月豪雨の累加雨量と判定数（10m セル）（丹波市）

上記の降雨に対して累加雨量が 150mm に達するまでに判定されたセル数は，整備済みの 11 市町のうち，新温泉町，香美町，丹波市，朝来市，養父市が多く，豊岡市，丹波篠山市がやや多く，神戸市，西宮・宝塚市，上郡町，三田市は少ない。これは日本海側と瀬戸内海側における判定数違いは，主に日本海側の粘性土主体の地質と，瀬戸内海側の砂質土主体の地質の違いによるものと推定される。

また，図 2 に示すように，空振りセルは，主に水系沿いやその上流の谷頭部付近に位置しており，既往報告 [3]と同様であった。空振り判定の要因として，10mDEM による水系の位置や長さが現地地形を適切に反映できていないこと，谷沿いの透水係数の設定が現地の地盤状況に対応していないことが空振り要因として整理される。

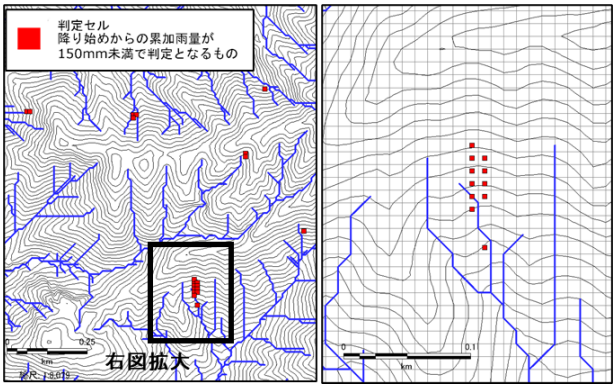

図 2 少雨で生じる空振りセルの分布状況

3. 1 次検討（地盤定数（c，φ）の見直し）

空振り判定の多かった日本海側の粘性土主体の地質について，現地調査により，表土層の特徴を整理したうえで，捕捉セル（システムで崩壊を予測して実際に崩壊が発生した）数を維持しつつ，空振りセル数を減少する組み合わせを検討した。その結果，図 3 に示すように，粘性土からなる表土層が分布する新第三紀中新世堆積岩（北但層群），第三紀鮮新世～第四紀火山（照来層群他），および中・古生代堆積岩（丹波帯）は，高い粘着力 c を設定し，これに対応した内部摩擦角 φ に見直された。見直し後の内部摩擦角 φ は兵庫県砂防課の土砂災害防止法基礎調査マニュアル（案）に掲載されている急傾斜地の崩壊に伴う堆積時の土石等の内部摩擦角に近い値となった。瀬戸内海側に対して，日本海側の表土層は相対的に粘着力 c が大きく，内部摩擦角 φ が小さい側にプロットされた。更に中間地域の表土層は砂質土及び粘性土の両側に分散する傾向を示した。

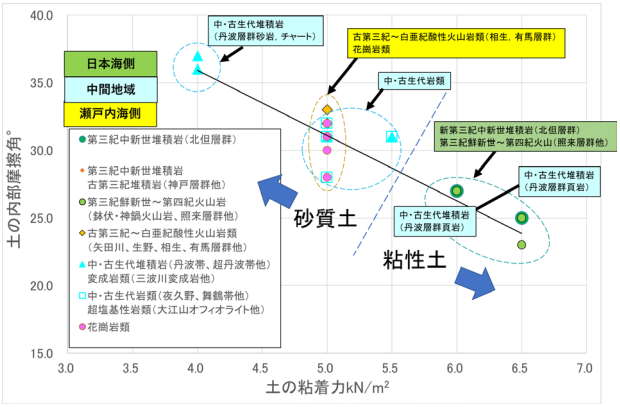

図 3　見直し後の地盤定数（c，φ）の関係図

4. 2 次検討（水系沿いの透水性の検討）

少雨における空振りセルは，図 2 から明らかなように水系沿いに集中して分布するため，水系の位置や透水係数を見直した。検討に用いる少雨は，最近の兵庫県内の広い雨域による災害非発生降雨（令和 3 年 8 月）について累加雨量 150mm までの降雨を用いて，空振りセルを減少させることを目標とした。表 1 及び図 4 に示す水系をモデルに設定した。

表 1　水系のモデル設定

モデル設定	集水面積	田村[4]の微地形区分の位置，「新定義」
10mDEMによる渓流	2000-4000㎡	下部谷壁斜面内の非恒常的水路 「下部谷壁水路」
1mDEMによる水系網	1000㎡	谷頭凹地内の非恒常的水路 「上部谷壁水路」
渓流側壁斜面	10mDEMによる渓流と接する谷壁斜面側の1セル範囲	– –

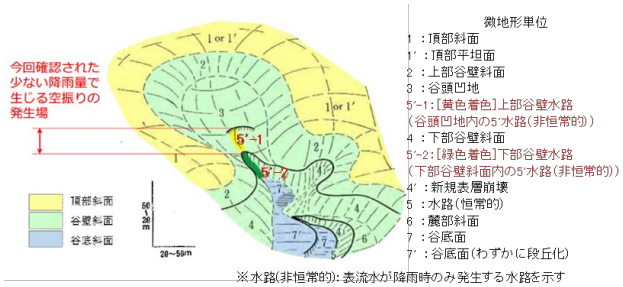

図 4　微地形区分の模式図（田村 [4] に赤字追記）

検討は，まず検証災害において地質毎に透水係数を設定して再現計算を行い，当初の捕捉率を維持しつつ，空振り率を最も低減できる透水係数の最適な値を感度分析により求めた。この最適値の設定において，少雨（累加雨量 150mm 程度）で発生する空振り判定が解消されるかを計算して確認した。また，渓流の長さ・幅は検証災害の崩壊地を適確に捕捉できる設定とした。検討結果は以下の通りである。

・10mDEM による渓流は豊岡市や新温泉町の一部地質を除いて，0.280cm/s（5×0.056）の透水係数が最適値として求められた。

・1mDEM による水系網は，0.112cm/s（2×0.056）～0.056cm/s が求められた。透水係数は，瀬戸内海側が大きく，日本海側・中間地域は小さい傾向がある。

・渓流側壁斜面は，瀬戸内海側の砂質土主体の地質においてのみ，0.112cm/s（2×0.056）～0.084cm/s（1.5×0.056）が求められた。

・渓流の長さは，日本海側は主に集水面積 4000 ㎡，幅 20m が適することが判った。

以上を現地調査で妥当性を確認した。

5. 改良の効果

上記の改良について，各市町の検証災害降雨に対する再現計算の結果，図 5 に示すように捕捉率は 75%程度を維持しつつ，空振り数を大幅低減した。

また，令和 3 年 8 月降雨の累加雨量 150mm までに発生した判定セル数は，図 6 に示すように改良後は，当初モデルに比べて概ね 1 割前後まで減少しており，改良効果を十分確認できた。また，判定セルが発生した土砂災害警戒区域数は改良前に比べて 2 割以下程度に減少しており，改良効果が確認できた。

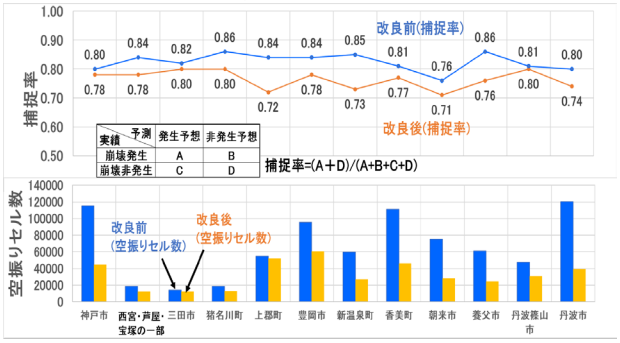

図 5　モデルの改良効果
（検証災害の捕捉率，空振りセル数）

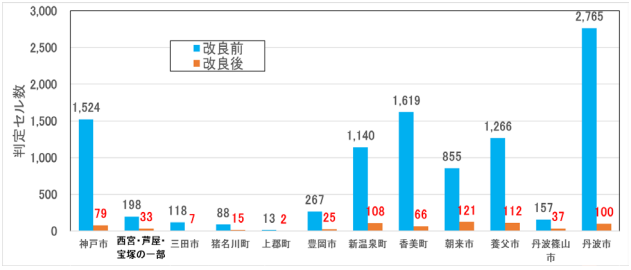

図 6　モデルの改良効果（令和 3 年 8 月累加雨量 150mm までの判定セル数）

6. 空振り判定の減少

少雨で生じる空振り判定への対応として，主に日本海側に分布する地質を起源とする粘性土からなる表土層の地盤定数（c，φ）の設定と水系沿いの透水係数の設定を見直すことにより，検証災害における崩壊の捕捉率を維持しつつ，空振り判定が大幅に改善された。今後は，土砂災害警戒区域内において 5mDEMの地形情報を用いた微地形を利用して更に判定精度を向上させたいと考えている。

7. おわりに

本プロジェクトの推進に関して，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) 沖村 孝他：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），pp. 4-12，2011.

2) 沖村 孝他：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（7），建設工学研究所論文報告集，58，43-58，2016.

3) 沖村 孝他：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（12），建設工学研究所論文報告集，第 63 号，2021.

4) 田村俊和：湿潤温帯丘陵地の地形と土壌，ペドロジスト，31，135-146，1987.