

【建設工学研究所論文報告集第 59 号〔報告〕2017 年 11 月】

表層崩壊リアルタイムハザードシステム構築について

-朝来市域のモデル構築（その 2）-

The Construction of Real-time Slope Failure Prediction Model in Asago city

(2nd Report)

鏡原 聖史 沖村 孝 鳥居 宣之 中川 渉
Satoshi Kagamihara Takashi Okimura Nobuyuki Torii Wataru Nakagawa
原口 勝則 根本 信行 植田 允教
Katsunori Haraguchi Nobuyuki Nemoto Mitsunori Ueda

1. はじめに

著者らは、気象庁による観測雨量ならびに予測雨量を入力し、リアルタイムで表層崩壊の危険度を評価するシステムの構築・運用を兵庫県と共同で進めている。システムの構築に際して生じた課題と対策はこれまで数多く報告^{1)~3)}されている。また、著者らは、朝来市域において表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築手順³⁾に従ってモデルを構築して、朝来市域で多くの土砂災害が発生した平成 21 年台風 9 号時をシミュレーションし、土砂災害発生箇所の捕捉率 84.8%、空振率 5.6%の結果を得た（捕捉率、空振率については、後述表-1 参照）。暫定的であるものの捕捉率が高いモデルを構築することができた。一方で空振が多い状況となったことを報告³⁾した。本報告は、前報に引き続き第 2 報として空振りを解消するために行ったモデルの改良点について述べ、修正したモデルにおける検証の結果について報告する。

2. モデル改良点

2. 1 谷底斜面と谷壁斜面境界部の層厚ならびに透水性の検討

2. 1. 1 前報モデルにおける課題

前報のモデルでは、図-1 に示すように谷底斜面に隣接する谷壁斜面において、崩壊判定が連続しており、空振りが多くなっていることがわかった。この原因を把握するために、図-1 に示す黄色四角囲みのセル（10m×10m の大きさの斜面を代表する計算箇所）における流入量（降雨と隣接するセルからの地下水流入）と流出量（隣接するセルへの地下水流出）ならびにセル内の地下水位の変化を時系列で示した（図-2 参照）。図-2 に示すように、降雨開始後、徐々に流入量が流出量を上回り地下水位が増加している様子がわかる。最大時間雨量観測時以降、地下水位が一定を示し、このセルが満水状態であることを表している。さらに降雨終了後、周辺からの流入量が低下し、流出量を下回ると地下水水位が低下している状況が確認できる。

以上のことから、集水の大きい最下流部では流入量が流出量より多く、地下水位が高い状態が長時間続くことが確認された。この現象は、朝来市域の斜面が急峻で、V 字谷を呈している地形的特徴によるところが大きいと考えられる。このような現象が現地で発生しているのか、現地状況を確認し、改良方法について検討することとした。

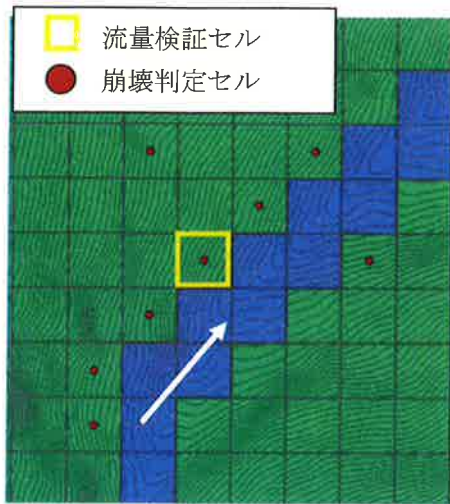


図-1 崩壊判定箇所(空振り)

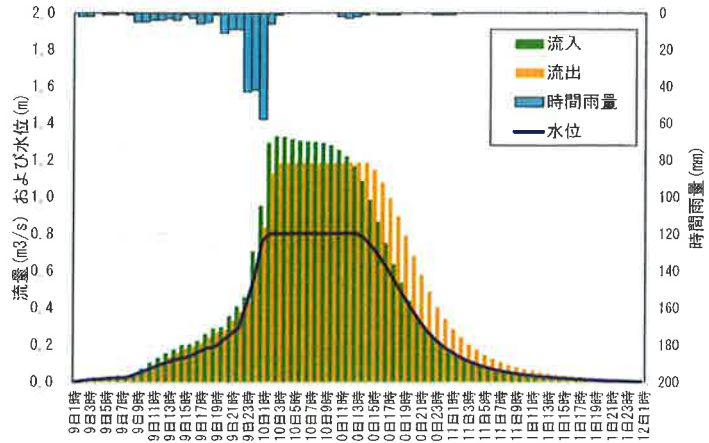


図-2 流入量と流出量ならびに地下水水位の変化

2. 1. 2 現地調査

先に述べたように現地の状況を確認するために、現地調査を実施した。現地調査箇所は、前報のモデルで谷底斜面に隣接する谷壁斜面で崩壊判定(空振り)が多く発生している地質毎の溪流を抽出した(図-3参照)。

現地調査は、現地の状況を目視で確認するとともに谷底斜面と谷壁斜面の境界部における層厚を確認するために、簡易動的コーン貫入試験を実施した。

現地調査の結果、谷底斜面と谷壁斜面の境界付近の谷壁斜面では、図-4に示すように転石やレキが多く含まれ、透水性が高い崖錐堆積物が分布していることが確認できた。また、簡易動的コーン貫入試験から得られた層厚は、モデル上で設定されている層厚と大きな差は認められなかった。

以上のことから、層厚モデルの修正をおこなうのではなく、谷底斜面及び谷底斜面境界部にある地盤材料の違い、特に透水係数の違いに着目して、空振り箇所の低減を行う方針とした。

2. 1. 3 モデルの改良

現地調査の結果、谷底斜面と谷壁斜面の境界付近の谷壁斜面では、地質に関係なく崖錐が堆積していることが確認できた。このことから、谷底斜面と谷底斜面に接する谷壁斜面は、谷壁斜面の地盤材料より粒径が粗く、透水性が高い場所であると言える。この調査結果から空振り判定を解消するために解析モデルの谷底斜面及び谷底斜面境界部に当たる谷壁斜面セルを対象に、透水係数を大きくする調整を行った。

透水係数は、Creagerによる粒径(D₂₀)と透水係数の関係¹⁰⁾(図-5)を参照して設定するこ

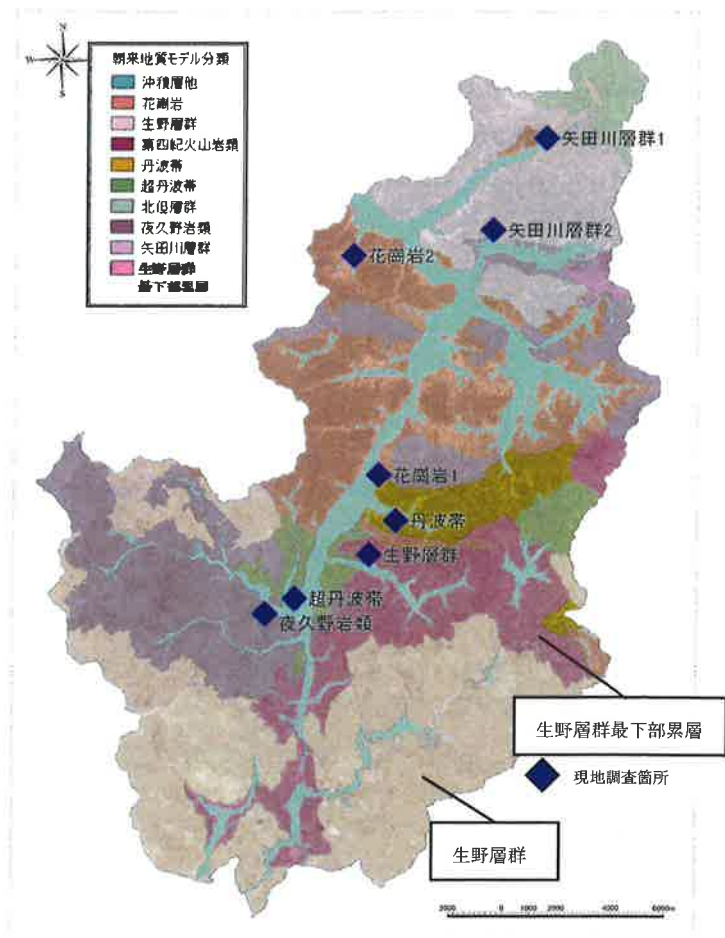


図-3 現地調査箇所

ととした。前報のモデルの透水係数設定値は、既往のモデルと同様に一律 0.056cm/s を採用していた。これは図-5 (左) において、中粒砂程度である。朝来市域における現地調査では、谷底斜面ならびに谷底斜面に隣接する谷壁斜面には中粒砂より粗い礫混じりの砂で構成された崖錐堆積物が分布しており、通常の谷壁斜面より透水性が高いと考えられる。そのため、透水係数は粗粒砂の中間値である 0.215cm/s を用いて、既往災害の再現計算を実行し、空振りの解消となるか試算した。試算の結果、空振り解消となる一方で捕捉率が大きく低下した。これは谷底斜面と谷底斜面に隣接する谷壁斜面の透水係数が谷壁斜面の透水係数の 3 倍以上と大きいため、谷底斜面に隣接する谷壁斜面の地下水位が上昇せず崩壊判定が減少したためである。この結果から、一律で谷底斜面と谷底斜面と隣接する谷壁斜面セルの透水性を大きくすると捕捉率が大きく低下することから、捕捉率を保ちながら、空振りが減少するような透水係数の設定を試行錯誤的に検討した。具体的には、谷底斜面と隣接する谷壁斜面のセルの透水係数を 0.110cm/s、雨水が流下しやすい水系網沿いは 0.075cm/s、その他の斜面は 0.056cm/s (これまでの山地の透水係数) とした。図-5 に透水係数の設定模式図を示している。また、この修正したモデルにおける流入量と流出量ならびに地下水位の変化を図-6 に示す。図-6 は図-2 と同じ場所の結果である。図-6 に示すようにセルからの流出量が流入量より大きいため、時間雨量が大きい時刻においても、図-2 よりも地下水位が低く、さらに地下水位が高い時間も短くなっている。

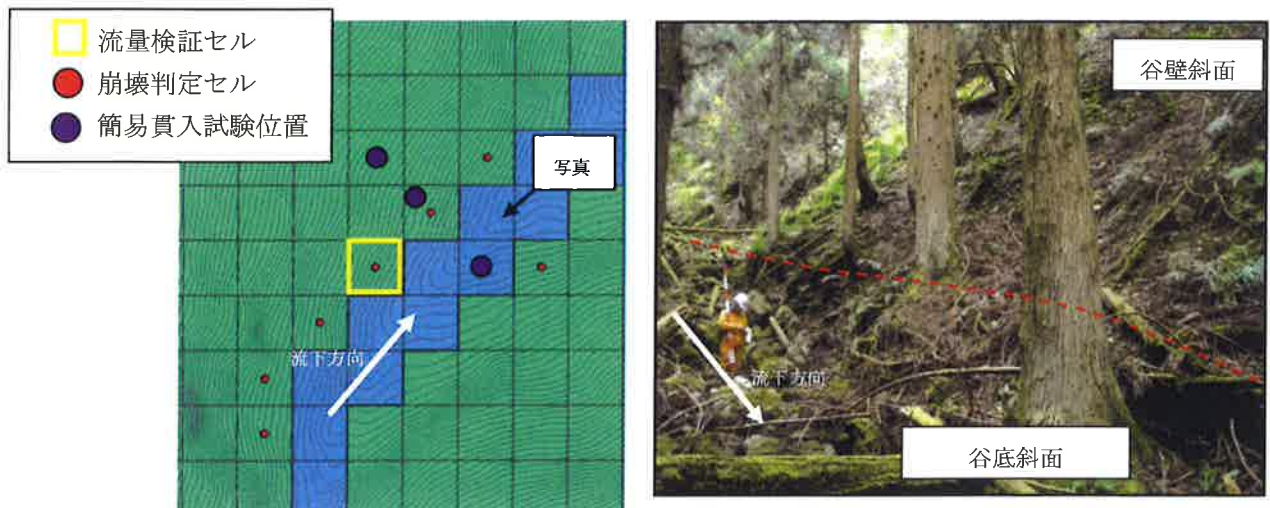


図-4 現地状況

D_{20} (mm)	k (cm/s)	土質分類
0.30	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.35	3.20×10^{-2}	
0.40	4.50×10^{-2}	
0.45	5.80×10^{-2}	
0.50	7.50×10^{-2}	
0.60	1.10×10^{-1}	粗粒砂
0.70	1.60×10^{-1}	
0.80	2.15×10^{-1}	
0.90	2.80×10^{-1}	
1.00	3.60×10^{-1}	細礫
2.0	1.80	

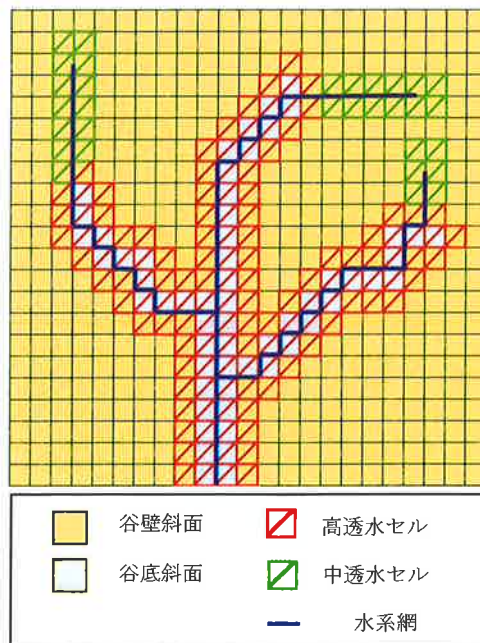


図-5 Creager による粒径(D_{20})と透水係数の関係¹⁰⁾ならびに透水係数調整セルの模式図

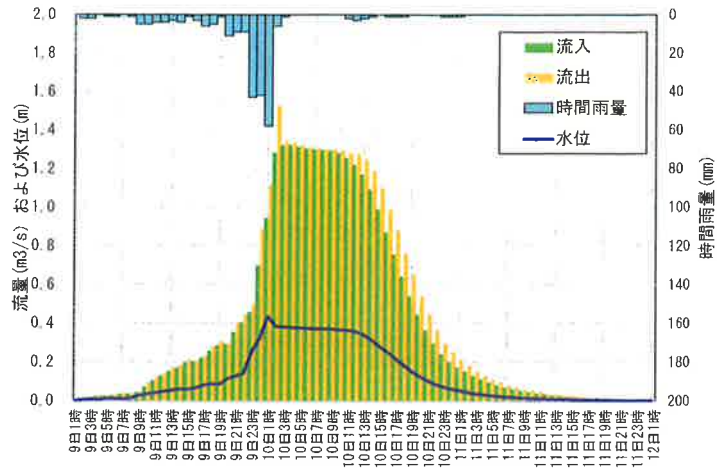


図-6 計算結果

このモデル修正によって、少雨でも地下水水位が満水になりやすかったセルが、崩壊するような降雨時のみセル内に雨水が貯留され、地下水水位が上昇するモデルとなった。この改良は、谷底斜面に隣接する谷壁斜面が少雨で崩壊していない現実と一致することから妥当であると考えている。

2. 2 自動化の検討

以上の検討結果を踏まえて、市域全体で透水係数を自動的に設定する方法について検討し、図-7に示すフロー図にしたがって自動調整することとした。図に示すように、モデル構築時に実施する自動微地形区分により谷底斜面が抽出される。抽出された谷底斜面の透水係数を高い透水係数 (0.110cm/s) に設定する。つぎに谷底斜面に隣り合うセルを抽出して、谷底斜面と同様に高い透水係数に設定する (図-5に示す赤斜線セル)。さらに先程抽出した谷底斜面と谷底斜面に隣り合うセル以外で水系網から 10m バッファ内に位置するセルを抽出して、そのセルの透水係数を中位の透水係数 (0.075cm/s) に設定する (図-5に示す緑斜線セル)。それら以外のセルはこれまで設定していた低い透水係数 (0.056cm/s) とする。

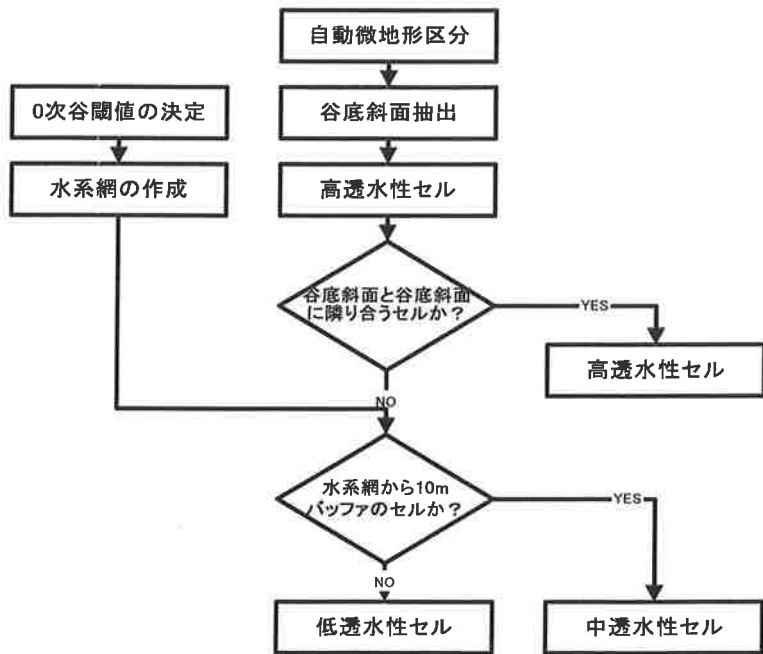


図-7 自動透水係数調整フロー図

3. その他モデル修正事項と改良効果

その他モデルの修正事項として、地質（生野層群）の細分と現地調査結果に基づく傾斜角と層厚式の修正を行った。

地質の細分として、生野層群のうち生野層群最下部累層は図-3に示す範囲に分布している。この生野最下部累層は、火山活動の初期の段階で形成された層でデイサイト質火砕岩や角礫凝灰岩など混在した層である。また、他の生野層群よりも崩壊が多いことから他の生野層群よりも材料強度が小さい地層であると判断して、生野層群と区別して生野層群最下部累層を新たに設定し、せん断強度のうち内部摩擦角を32度から31度に低減させた。

つぎに捕捉率の低い矢田川層群の谷壁斜面を対象に簡易動的コーン貫入試験を実施した。その結果、これまでの層厚式より厚いものも多くあることから、傾斜角が50度で層厚0.4mとなるように層厚式を見直した（図-8参照）。

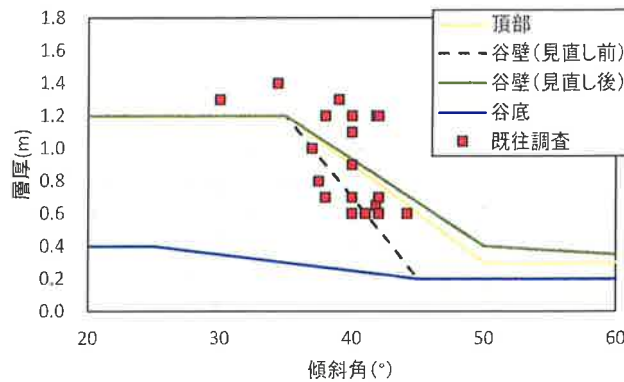


図-8 修正前後の傾斜と土層深さの関係(矢田川層群)

以上の改良を行い、朝来市域で多くの崩壊が発生した平成21年台風9号による降雨で検証解析を実施した。ここで、適中率、捕捉率、空振率、見逃率は、次式と表-1に示すとおりである。

適中率 $(A+D) / (A+B+C+D)$

捕捉率 $A / (A+B)$

空振率 $C / (C+D)$

見逃率 $B / (A+B)$

表-1 実績と予測の事象の関係

実績	予測	
	事象	
	崩壊発生	A
崩壊非発生	C	D

※A、B、C、Dはそれぞれの山地全体のセル個数を示す

それぞれの改良の効果を表-2に示した。谷底斜面及び谷底斜面に隣接する谷壁斜面の透水係数を調整した結果、山地全体の空振率を5.6%から2.8%と大きく低減させることができた。また、生野層群を生野層群と生野層群最下部累層に区分し、生野層群最下部累層のせん断強度を低減させた。その結果、生野層群の捕捉率は79.2%から85%に上昇したものの、生野層群最下部累層の捕捉率は45.7%と低い結果となった。また、矢田川層群の層厚式を修正することで、捕捉率が40%から44.4%と僅かに上昇した。捕捉率の低い生野層群最下部累層ならびに矢田川層群における見逃し箇所はいずれも集水面積が小さく、傾斜の急な箇所であった。一例として矢田川層群の見逃し箇所を図-9に示した。この図左がレーザー測量した1m等高線図で図右が10m格子点標高に基づく1m等高線図とセルの傾斜角を示している。この図に示すように集水面積がおよそ700m²でレーザー測量した1m等高線では崩壊地内でA区間の傾斜は平均40度（縦断計測）である。一方で、A区間と同様の箇所における10mDEMのセルの傾斜は33.6度とゆるくなっている。このことから、集水域の小さい場所であつレーザー測量より10mDEMの傾斜が緩やかに表現される場所では、地下水位が上昇しにくく、傾斜もゆるいため安定計算上、安全率が低くなりやすい。そのため崩壊の捕捉が難しいと言える。今後、地質によっては10mDEMの傾斜が緩やかに表現される場所において10mDEMの傾斜の評価や土層厚の設定などに工夫が必要であると考えられる。

以上、一部捕捉率の低い地質があるもののモデルの改良を行うことで、山地全体の捕捉率が 82.2%と 80%以上を確保し、かつ空振率 2.8%と大きく低減させた朝来市域の地盤モデルを構築した。

表-2 モデル改良効果

改良	区分	改良前				改良後			
		適中率	捕捉率	空振率	見逃率	適中率	捕捉率	空振率	見逃率
谷底と谷底に接する谷壁斜面の透水係数の変化	山地全体	94.4	84.8	5.6	15.2	97.2	82.2	2.8	17.8
地質区分の細分化	生野層群	94.8	79.2	5.2	20.8	98.1	85.0	1.9	15.0
	生野層群最下部累層追加	-	-	-	-	97.7	45.7	2.3	54.3
層厚式の修正	矢田川層群	95.1	40.0	4.9	60.0	96.1	44.4	3.9	55.6

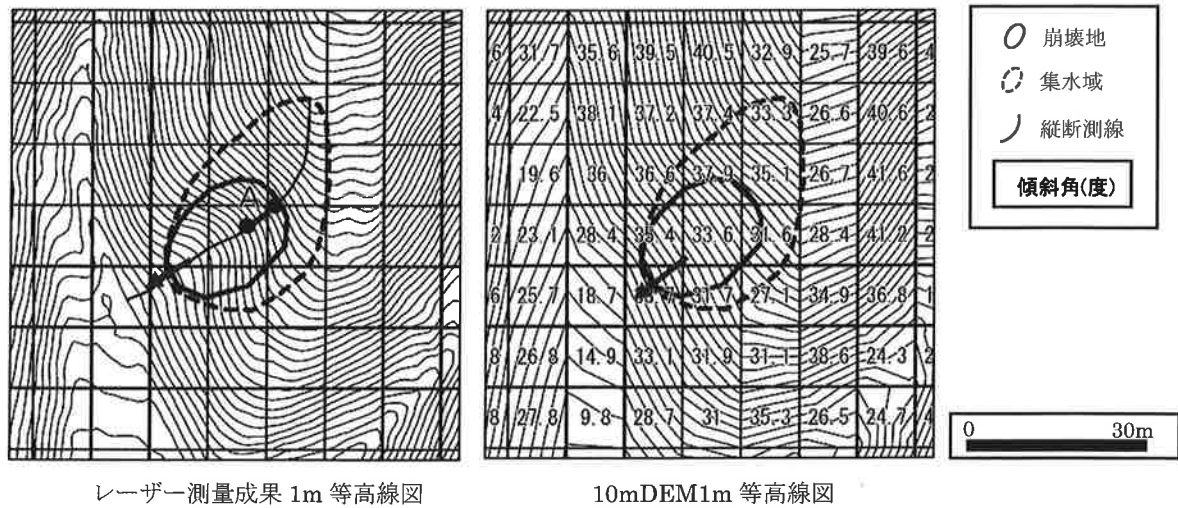


図-9 捕捉できていない崩壊箇所(矢田川層群の例)

4. おわりに

本報告は、斜面が急峻で、V字谷を呈している地形的特徴を有する朝来市において、空振りを低減する方法について検討を行い、自動でモデル化する方法について述べた。現在、朝来市では、本報告内容で改良したモデルを実装してリアルタイムの箇所別危険度予測を行っている。平成 28 年 9 月 18~20 日の降雨時に朝来市で大雨警報が発令された際、本モデルにおいて全 3,343,836 セル中最大 13 セルが崩壊判定(基準値を下回った)となる結果であったが、土砂災害警戒区域内における崩壊判定はなく、また、区域内での土砂崩れなどの情報も無いことから、現地状況と整合する結果を得ている。今後も引き続き、豪雨時における判定と土砂災害発生の関係について検証を行いながら、さらに精度の高いモデルとなるようシステムの維持管理を行う予定である。

【謝辞】

本報告は、兵庫県のご支援を得て実施した業務成果の一部である。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 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，pp.119-137，2010。

- 2) 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，pp.153-173，2011.
- 3) 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(3)，建設工学研究所論文報告集，54，pp.159-183，2012.
- 4) 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，pp.91-116，2013.
- 5) 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(5)，建設工学研究所論文報告集，56，pp.45-66，2014.
- 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(6)，建設工学研究所論文報告集，57，pp.17-36，2015.
- 7) 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(7)，建設工学研究所論文報告集，58，pp.43-57，2016.
- 8) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則：土砂災害のためのリアルタイムハザードシステムの作成手順，建設工学研究所論文報告集，56，pp.67-83，2014.
- 9) 鏡原聖史・沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・根本信行・植田允教：表層崩壊リアルタイムハザードシステム構築について-朝来市域のモデル構築(その1)-，建設工学研究所論文報告集，58，pp.59-72，2016.
- 10) Creager, W. P., Justin, J. D. and Hinds, J.: Chap.16 soil tests and their utilization, in Engineering for dams, Vol. III : Earth, Rock-fill, Steel and Timber Dams, John Wiley and Sons, pp.645-654, 1944.

著 者

鏡原 聖史	客員研究員，株式会社ダイヤコンサルタント，博士（工学），地盤工学
沖村 孝	所員，理学博士，地盤工学
鳥居 宣之	神戸市立工業高等専門学校教授，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
根本 信行	株式会社ダイヤコンサルタント，空間情報学
植田 允教	RAPIDE 合同会社，空間情報学