

市街地の土砂災害警戒区域（急傾斜地の崩壊）の精度向上に関する検討

Accuracy Improvement of Sediment Disaster Alert Areas
(the Collapse of the Steep Slopes) in an Urban Area

沖村 孝
Takashi Okimura

鳥居 宣之
Nobuyuki Torii

笠原 拓造
Takuzo Kasahara

小泉 和也
Kazuya Koizumi

青木 龍一郎
Ryuichiro Aoki

伊藤 正美
Masami Ito

1. はじめに

神戸市域では、多くの土砂災害警戒区域（急傾斜地の崩壊）が市街地内で指定されている。箇所別土砂災害危険度予測システム（以下、本システム）は自然斜面を解析対象としており、市街地内で特徴的な斜面の上部と下部を人工改変地に挟まれている小規模な斜面（例えば、図-1.1）については、10mDEMで地形が再現できないこと、自然斜面と異なる水の流れをすること等から、人工改変地や平地区分として解析対象外としてきた。そのため、本システムでは市街地内に指定されている警戒区域内の小規模斜面を対象外としていたため、警戒区域内における危険度判定ができないことが課題となっていた。

このような背景から、市街地の警戒区域における危険度判定の適正化を図ることを目的として、小規模斜面を表現可能なメッシュサイズである 5m メッシュの DEM を使用した危険度判定方法を、神戸市域の市街地を対象に検討した。本報文では、神戸市域での検討事例を踏まえ、本システムに 5m メッシュの DEM を使用した危険度判定方法を実装した結果について報告する。

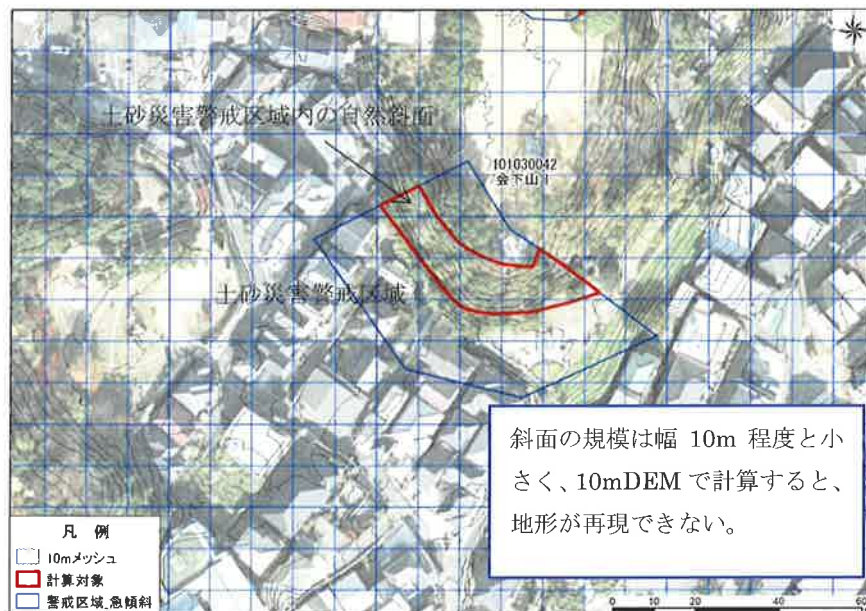


図 - 1. 1 自然斜面の残る土砂災害警戒区域の例

2. 5mDEM 作成とシステムへの組み込み

2. 1 5mDEM の導入方針

5mDEM の導入にあたっては、リアルタイム性を重視し、5mDEM を用いることで増大する計算負荷を軽減し処理時間を抑える観点から以下の方針を設けた。

(1)5m メッシュの細分化は対象とする市街地の土砂災害警戒区域のみ行う

5m メッシュに細分することで本システムの 10m メッシュと比較して 4 倍のデータ量となるため、従来の 10m メッシュでは再現できない小規模な自然斜面を含む土砂災害警戒区域のみを対象に、土砂災害警戒区域の範囲に限定して計算メッシュの細分化を行う。

(2)5m メッシュの細分化は斜面安定計算のみに適用する

本システムにおける危険度判定は、入力降雨から逐次計算により表土層内の地下水位を算定し、その地下水位における斜面安定解結果に基づき行われる。このうち、5m メッシュの細分化は斜面安定解析のみに適用し、地下水位は 10m メッシュの計算結果を用いる。

(3)5m メッシュの危険度判定はサブルーチンとして現行システムへ組み込む

本システムの 10m メッシュの危険度判定（メインルーチン）は変更せず、対象とする土砂災害警戒区域毎に 5m メッシュで危険度判定を行う独立したサブルーチンを作成し、メインルーチンから分岐させて処理を行う。これは、今後の土砂災害警戒区域の増減及び区域の形状変更への対応や、5mDEM の導入は現段階では試行的な取り組みであり、解析方法や判定方法等の改良に伴うシステム変更作業の軽減を考慮したものである。なお、(2)で 10m メッシュの地下水位の計算結果を用いる理由も、5m メッシュで地下水位を新たに計算した場合、対象となる土砂災害警戒区域の数が多いとサブルーチンを実行する計算時間の増長が予想されるためである。

2. 2 5mDEM の作成

5mDEM の作成は、図-2. 1 のように本システムの 10m メッシュ内に 4 つの 5m メッシュが含まれるように 5mDEM の座標点（◆）を配置し、標高はレーザー測量成果の 1mDEM の 4 つの点（●）から求めた。なお、5mDEM は、先述したように対象となる市街地の土砂災害警戒区域の範囲のみ作成した。

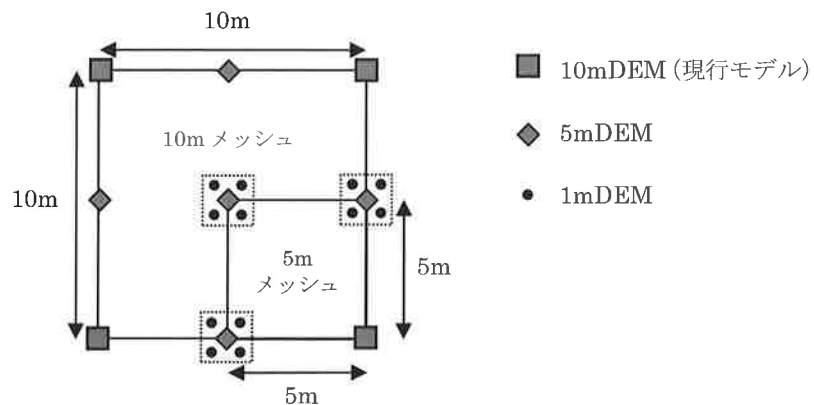


図 - 2. 1 5mDEM 作成イメージ

2. 3 5mメッシュ危険度判定の現行システムへの組み込み

5mメッシュの危険度判定は、対象とする土砂災害警戒区域のみで実施するものとし、図-2. 2に示すようにサブルーチンを作成し、本システムに組み込んだ。

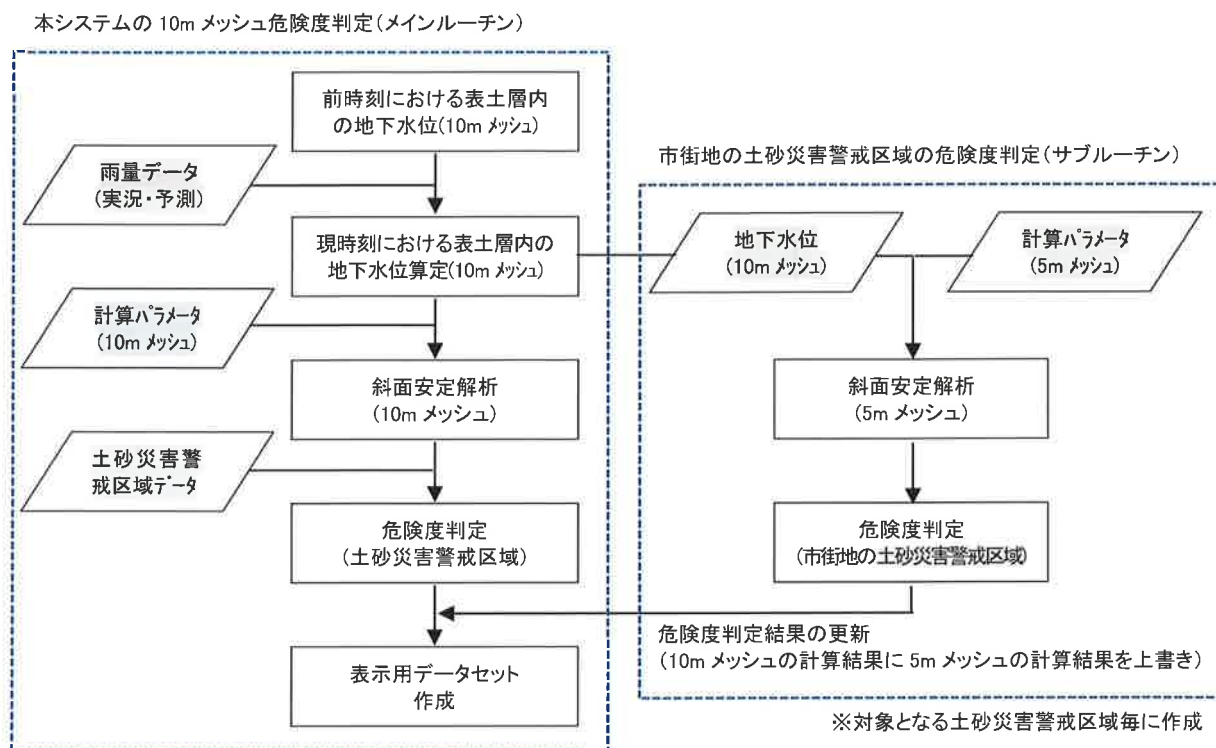


図 - 2. 2 5m メッシュ危険度判定を組み込んだ計算処理フロー

5m メッシュの安定解析を行う際の表土層内の地下水位は、図-2. 3 の要領で 10m メッシュの地下水位を 5m メッシュに割り当てる。

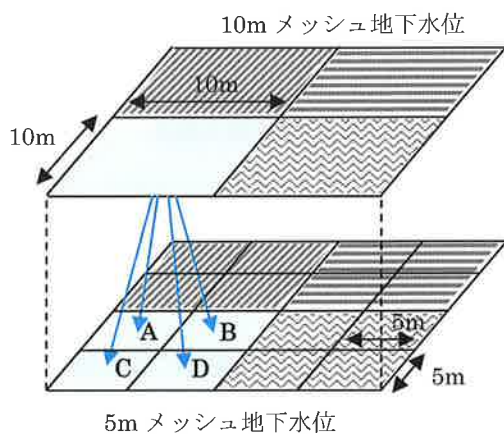


図 - 2. 3 10m メッシュ計算水位の 5m メッシュへの割り付け方法

なお、現行の 10m メッシュの斜面安定解析では、計算水位が表土層厚以上（満水）となった場合、地下水位を表土層厚と同値として計算している。今回、10m メッシュの地下水位を図-2. 3 のように A~D の 4 つの 5m メッシュに割り当てる場合の処理方法を図-2. 4 のように設定した。

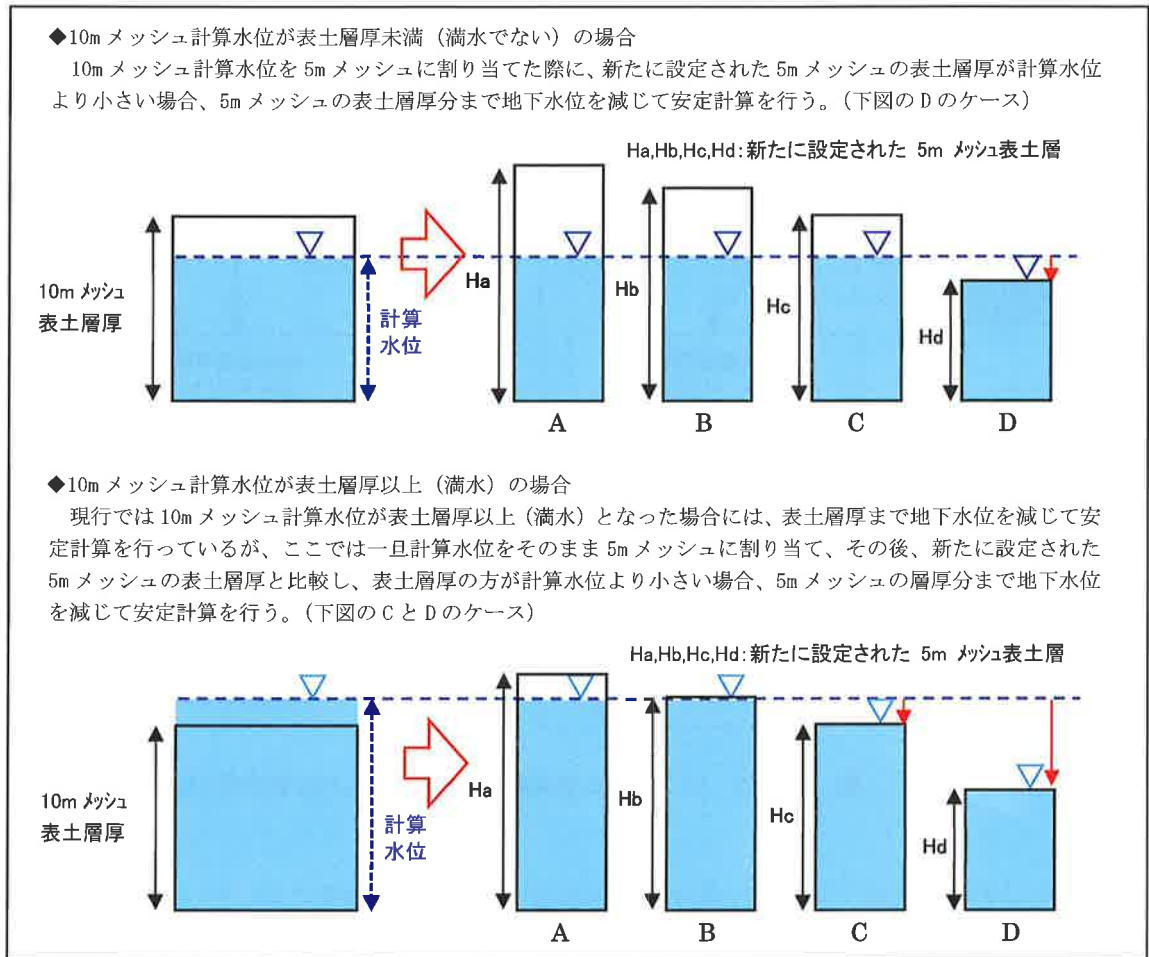


図 - 2. 4 10mメッシュ計算水位が表土層厚以上（満水）となる場合の処理方法

2. 4 市街地内の土砂災害警戒区域（急傾斜）の自然斜面の抽出

対象となる警戒区域内の小規模斜面は、10mメッシュのシステム構築時に行う自動微地形区分やバウンダリ（山地・平地）設定での自動抽出は困難であるため、目視にて判読した。目視による抽出には、DMデータ、1mコンタ、オルソ画像を用いた。住宅地など保全対象が全て急傾斜地崩壊危険区域にカバーされている土砂災害警戒区域については、対策工が施工されているものと考え、抽出の対象外とした。

抽出の結果、294箇所の警戒区域（神戸市域全体の土砂災害警戒区域（急傾斜の崩壊）数の17%あまり）が5mメッシュのDEMを使用した危険度判定の対象となった。

3. 5mDEMと10mDEMの比較

3.1 地形の再現性の比較

作成した5mメッシュと従来の10mメッシュモデルの傾斜角を比較した(図-3.1)。全体での比較を見ると、傾斜角は10mメッシュの方が5mメッシュに比べて、最小レンジや最大レンジといった極値をとるメッシュの割合が低くなっており、10mメッシュの方が全体的に最頻度(30~35°)周辺にシフトしている傾向が見られる。

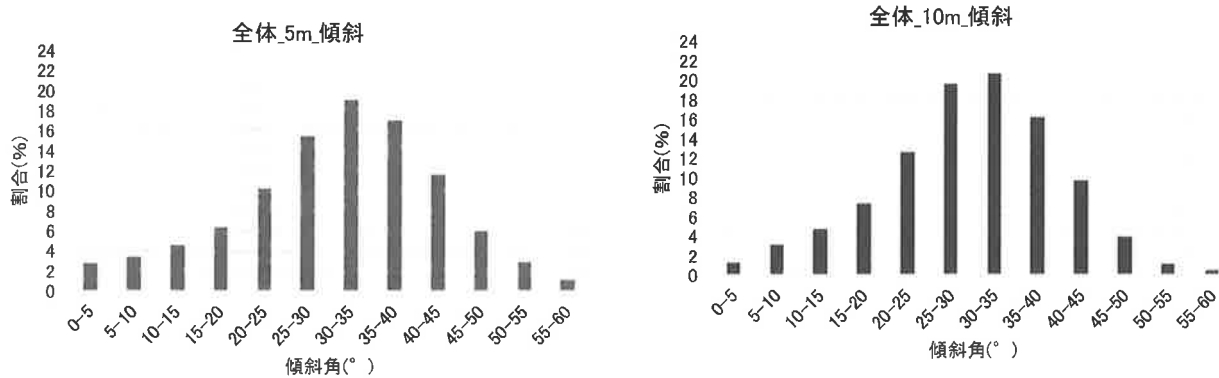


図-3.1 5mメッシュと10mメッシュの傾斜角の頻度分布の比較

傾斜角に引き続き、作成した5mメッシュと従来の10mメッシュモデルの層厚を比較した(図-3.2)。層厚式は従来の10mメッシュモデルの設定条件と同一とした。層厚では、5mメッシュの方が、層厚0.6~0.8mの割合がやや高くなった。これはこの範囲に相当する傾斜角が40~55°のレンジにあり、10mメッシュよりも5mメッシュの方がこの範囲に相当する傾斜角の割合がやや多いためである。

全体的に見ると、5mメッシュと10mメッシュに大きな違いはなかった。これは、傾斜角では違いが確認されたものの、傾斜角から層厚を求める際に層厚に違いをもたらすほどの大きな差ではなかったためと思われる。また、細分化によって傾斜が大きくなるメッシュと小さくなるメッシュの両方が生じて、相殺していることも原因の1つと考えられる。

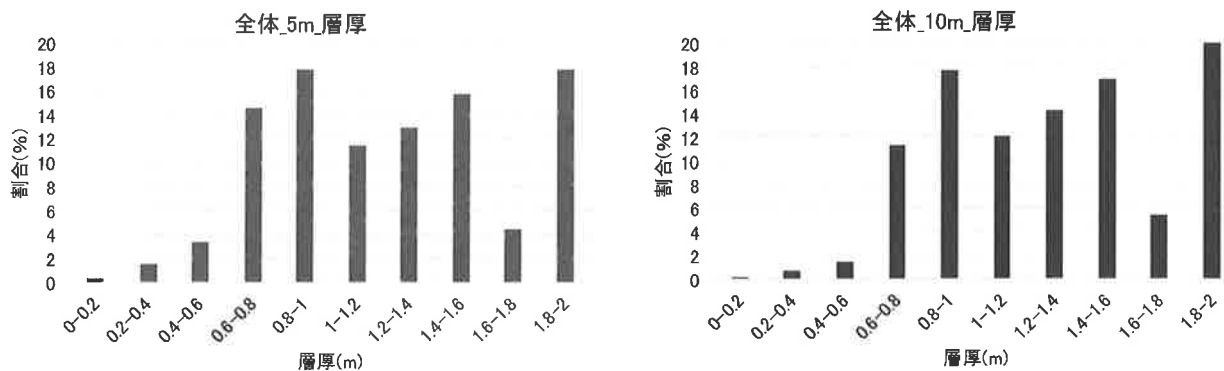


図-3.2 5mメッシュと10mメッシュの傾斜角の頻度分布の比較

3.2 判定状況の比較

次に5mメッシュと10mメッシュでの判定状況を確認するため、5mメッシュと10mメッシュモデルについて実績雨量を用いて解析を実施し、判定状況の比較を行った。また、10mメッシュモデルについては、自然斜面の設定あり(今回の検討によって、小規模な自然斜面を判読し設定したモデル)に加えて、自然斜面の設定なし(本システムの当初の設定である人工改変地の設定を行ったモデル)の判定状況を確認した。

入力降雨は、神戸市域のシステム構築時にモデル精度検証降雨として適用した平成26年8月豪雨とした。本報の対象警戒区域内では当イベントでの崩壊の発生は確認されていないため、崩壊非発生降雨として設定し、本降雨によって崩壊判定が出た場合は空振り判定となる。

神戸市域のシステム構築時のモデル精度検証降雨として、昭和42年7月豪雨も適用されている。本報の対象警戒区域内では、当イベントによる崩壊の発生は確認されているが、その後の地形改変により現況のDEMには発生当時の地形が再現できていない。よって本報では、災害実績による判定状況の確認は実施できないため、近年の豪雨として平成26年8月豪雨を入力豪雨として採用することとした。

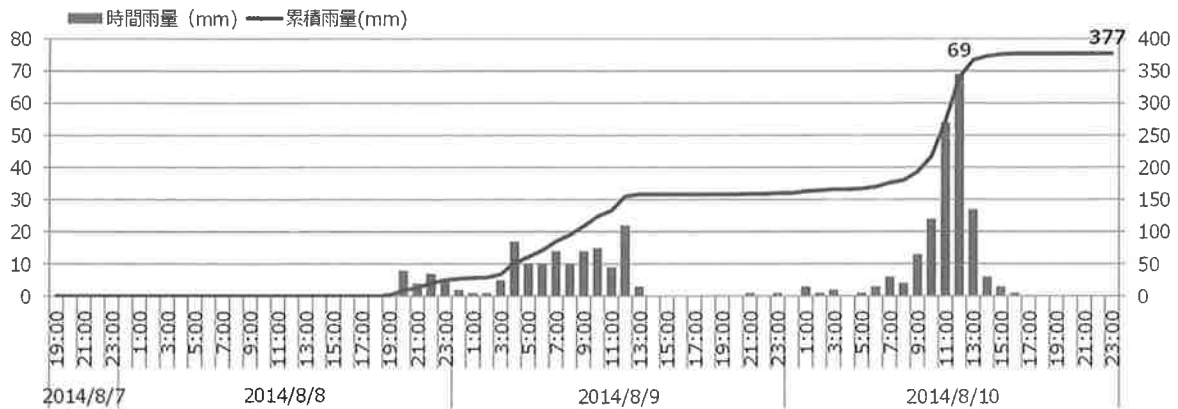


図-3.3 対象となる警戒区域周辺の入力降雨（1kmメッシュ解析雨量）

5mメッシュと10mメッシュモデルについて解析を実施した結果を表-3.1に示す。

自然斜面の設定によって、5mメッシュでは443メッシュ、10mメッシュでは54メッシュが1軸による判定が出るようになった。5mメッシュでは10mメッシュと比較して、判定メッシュ数が8倍程度に増加している。また判定メッシュを含む警戒区域は、5mメッシュでは92区域、10mメッシュでは31区域となっており、5mメッシュでは3倍程度増加している。

入力降雨である平成26年8月豪雨では、対象地内で崩壊は発生していないため、判定メッシュはすべて空振りの扱いとなる。空振り率を算出すると、5mメッシュで0.9%（メッシュ単位）、31.3%（警戒区域単位）、10mメッシュで0.4%（メッシュ単位）、10.5%（警戒区域単位）となり、5mメッシュの方が10mより空振りの増加が顕著である。

表-3.1 地質別の崩壊判定（SF<1）割合（対象土砂災害警戒区域内）

モデル	5mメッシュモデル(自然斜面の設定あり)	10mメッシュモデル(自然斜面の設定あり)	10mメッシュモデル(自然斜面の設定なし)
	メッシュサイズ	5m	10m
土砂災害警戒区域内の自然斜面の設定	あり	あり	なし
判定数(メッシュ)	443	54	0
判定数(警戒区域)	92	31	0
空振り率(% ,メッシュ)	0.9	0.4	0
空振り率(% ,警戒区域)	31.3	10.5	0

4. 現地調査

4. 1 現地調査箇所の抽出

前章の解析結果より、5mメッシュでは10mメッシュと比較し、判定メッシュ数が多くなる傾向がみられたため、少雨において判定メッシュ数が多い土砂災害警戒区域を対象として、現地調査を実施することとした。崩壊メッシュ数の他、地質や現地状況を考慮し、抽出した現地調査対象の警戒区域を表-4.1に示す。

表-4.1 土砂災害警戒区域別の崩壊判定(SF<1)メッシュ数

No.	土砂災害警戒区域(急傾斜の崩壊)の名称	所在地	コード番号	初期計算における崩壊判定メッシュ数	分布している地質
1	六甲台(6)I	神戸市灘区六甲台町	101020039	26	領家新期花崗岩類
2	鴨子ヶ原(2)(1)I	神戸市東灘区鴨子ヶ原1丁目	101010060	24	大阪層群
3	潮見台(3)I	神戸市須磨区潮見台5丁目	101050105	21	山陽帯花崗岩類, 沖積層
4	鶴甲(7)I	神戸市灘区鶴甲1丁目	101020025	13	大阪層群
5	禅昌寺(3)I	神戸市須磨区禅昌寺町1丁目	101050042	11	山陽帯花崗岩類
6	有馬(5)	神戸市北区有馬町	101070573	6	沖積層
7	萩乃(1)	神戸市長田区萩乃町1丁目	101040039	5	神戸層群
8	北畑(3)I	神戸市東灘区本山町北畑	101010015	4	丹波層群
9	西山(1)	神戸市長田区西山町4丁目	101040097	4	神戸層群

4. 2 現地調査の実施

現地調査では、崩壊が判定された5mメッシュ箇所において現地状況を確認するとともに、簡易貫入試験を行い、崩壊(想定)土層の深さとそのNd値を確認した。表土層深度は、「平成15年度 兵庫県基礎調査マニュアル等作成業務 報告書」¹⁾では、崩壊が考えられる表土層深度を簡易貫入試験による $Nd \leq 12$ 、標準貫入試験による $N \leq 5$ の範囲として検討されているため、本報においても原則として地表より $Nd \leq 12$ の範囲を表土層深度として取り扱った。調査結果の概要を表-4.2に示す。

表 4-2 現地調査結果一覧

箇所名	地質	樹生	湧水・深水源		崩壊部・変状		対策工の状況		崩壊部変状結果			斜面の変状状況
			○:有 ×:無	状況	○:有 ×:無	状況	地点番号	地形条件	表土層深層 (m)	平均的な 斜面勾配(°)		
六甲台(6)I	礫石帯新成花崗岩類	広葉樹 竹(川沿い)	○	湧水・深水源が認められる。 湧水・深水源が認められる。	×	自然斜面に崩壊は認められないが、 切土面に小規模な崩壊がある。	○	凹状地形や斜面崩壊部に70%概 み・石積構造を設ける。	K-1 斜面崩壊部 K-2 凹状斜面 K-3 斜面崩壊部 K-4 凹状斜面	0.9 0.7 0.8 2.0	30 30 30 40	崩壊判定セールの周辺は対策が実施されており、 崩壊斜面は安定している。
徳昌寺(2)I	山陽帯花崗岩類	広葉樹 竹(川沿い)	○	上部斜面の一部に深水源が認められる。	×	崩壊部や変状は認められない。	○	緩急傾斜30°以上の斜面に対して、70%の深み構造・吹付・ワイヤネット・アーク付法等を設ける。	K-1 K-2 K-3	4.4 4.2 0.9	0~5 0~5 30	緩急傾斜30°以上の斜面には凹凸がみられるが、このような斜面に対しては対策が実施されており、崩壊斜面は安定している。
北畑(3)I	丹波層群	広葉樹	×	湧水・深水源は認められない。	○	斜面勾配が概ね50°以上の箇所では小規模な崩壊部崩壊部で認められる。	○	斜面崩壊部に70%の深み構造・吹付・ワイヤネット・アーク付法等を設ける。	K-1 K-2 K-3	2.8 1.0 0.7	35 50 40	傾斜50°未満の斜面においては崩壊部や変状は認められない。不安定部に対する掘削盛土および70%の深み構造により崩壊斜面は安定している。
鴨子ヶ原(2)(水)I	大阪層群	竹	×	湧水・深水源は認められない。	×	崩壊部や変状は認められない。	○	斜面崩壊部に石積み構造を設ける。	K-1	1.8	20~25	浸透層のため掘削工事中であり、斜面の大半が覆われている。残存する斜面は崩壊部の一部であるが、周囲に変状等は認められないため、斜面は安定しているものと考えられる。
瀬原(3)I	沖積層・扇丘堆積物	広葉樹 竹(川沿い)	×	湧水・深水源は認められない。	×	崩壊部や変状は認められない。	○	コンクリート構造・吹付法・PC法 構造を設ける。 川は三面張り。	K-1 K-2 K-3 K-4	1.2 2.0 3.4 3.0	30 0~5 0~5 20	崩壊判定セールの周辺は斜面崩壊部の崩壊部および川沿いの平坦地であり、いずれもコンクリート構造が設けられ、安定している。
香雪(5)	沖積層・扇丘堆積物	竹 紅葉樹 竹(凹状斜面下部)	○	斜面基盤部より湧水しており、湧水に湧水されている。	○	幅20m、長さ10m、深さ1m程度の崩壊部が有り、窪地となっている。	×	一部重式構造とシート・コンクリートが設けられているが、基礎部分は不足している。	K-1 K-2 K-3	1.1 0.8 0.3	30 10 40	崩壊部以外の斜面は崩壊はみられず安定しているが、基礎部分は基土層がシート・ハンパングしており、不安定な状況である。当該部分は斜面により定期的に変状を繰り返している。
藤甲(7)I	大阪層群	広葉樹	○	上部窪地からの深水源が認められる。	×	一部斜面に凹凸がみられるが、崩壊部や変状は認められない。	×	対策工はみられない。	K-1 K-2 K-3 K-4	1.4 1.1 1.3 1.2	35 30 20 30	一部深水源がみられるが、崩壊部や変状は認められないため、斜面は概ね安定しているものと考えられる。
磯乃(1)	神戸層群	広葉樹	×	湧水・深水源は認められない。	○	崩壊部や変状は認められない。	○	斜面上部、中央部および崩壊部に70%の深み構造を設ける。	K-1	0.8	40	斜面に崩壊部や変状は認められない。深水源や湧水もみられず、一部窪地による湧水もみられているため、斜面は安定しているものと考えられる。
西山(1)	神戸層群	広葉樹 楠(法面部)	○	斜面の一部に古い侵蝕部が認められる。	○	法面部に崩壊部がみられる。法面部斜面は凹凸している。	○	斜面崩壊部および崩壊部に70%の深み構造を設ける。 凹凸部には対策工は行われていない。	K-1 K-2 K-3 K-4	1.3 1.9 1.3 1.1	35~40 35 35 40	法面部には崩壊部が認められ、その他の範囲にも凹凸がみられることから、70%の深み構造に変状が認められないことから現状は安定しているものと考えられる。未調査斜面は安定しているものと考えられるが、崖地は厚い防衛層が敷設されているため、残石が発生しやすいものと考えられる。

4. 2. 1 斜面勾配

図-4. 1に現地計測された斜面勾配と5mメッシュのモデルで設定されている傾斜角を示す。現地調査結果より、斜面勾配については擁壁や道路等の構造物が設置されている箇所を除くと、概ね設定条件と一致していることから、5mメッシュの傾斜の設定は妥当なものと考えられる。

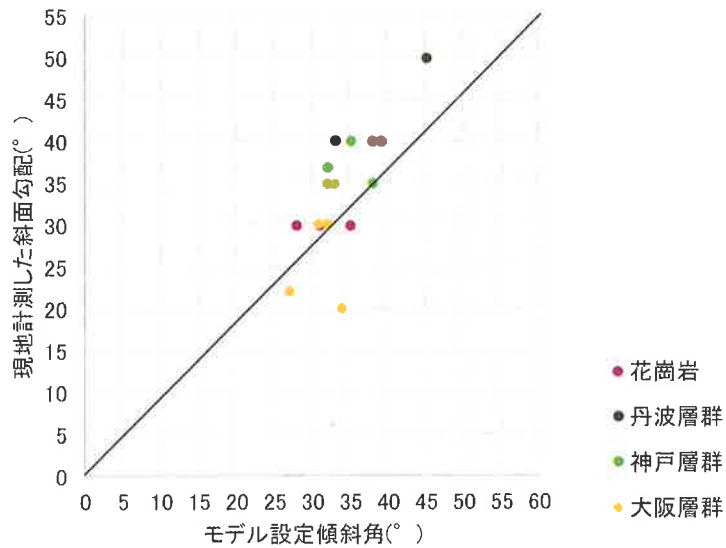


図-4. 1 簡易貫入試験による層厚とモデル設定値との比較

4. 2. 2 表土層厚

図-4. 2に簡易貫入試験において確認した表土層厚と既存の層厚式によって導かれた表土層厚を示す。現地状況から局所的に分布している現河床堆積物や腹付盛土、埋土等自然斜面と異なる場合は、対象データから除外した。

いずれの地質においても、確認した層厚と層厚式により導かれた層厚は概ね一致していることから、5mメッシュにおける設定は、現状において、概ね妥当なものと考えられる。

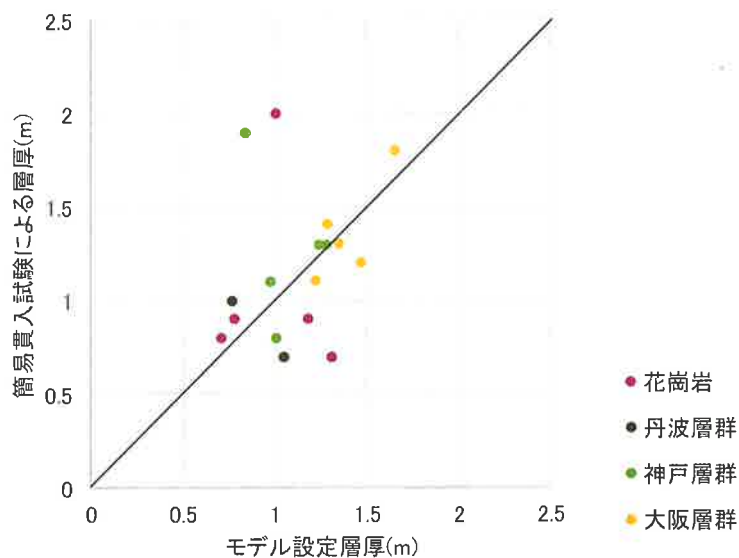


図-4. 2 簡易貫入試験による層厚とモデル設定値との比較

4. 2. 3 強度定数（有効粘着力）

簡易貫入試験結果に基づいて、地質毎に表土層のNd値とN値の状況を整理した。Nd値とN値との関係については、 $Nd = (1 \sim 3)N$ 等の関係が知られているが、「平成15年度 兵庫県基礎調査マニュアル等作成業務 報告書」¹⁾では、崩壊が考えられる表土層深度を簡易貫入試験による $Nd \leq 12$ 、標準貫入試験による $N \leq 5$ の範囲として検討されているため、本業務においてはNd値が12の場合にN値は5 ($Nd = 2.4N$)としてN値を換算した。

花崗岩、最も頻度の高いNd値は3となっている（図-4.3）。Nd値の大半は8以下であるが、9以上も散見され、最大で27となっている。平均は5である。換算N値では最も頻度の高いN値は1となっており、大半は0~5の間にばらついている。平均は2である。丹波層群のNd値は1~10、平均は6となっている（図-4.4）。最も頻度の高いNd値も6である。換算N値では0~4、平均は2となる。最も頻度の高いN値は平均と異なり、3となっている。神戸層群のNd値は1~15、平均は6となっている（図-4.5）。最も頻度の高いNd値は6と7である。換算N値では0~6、平均は3であり、最も頻度の高いN値も3となっている。大阪層群のNd値は1~57、平均は5となっている（図-4.6）。最も頻度の高いNd値は2~4である。換算N値では0~24、平均は2となるが、最も頻度の高いN値は平均よりも小さく、1となっている。

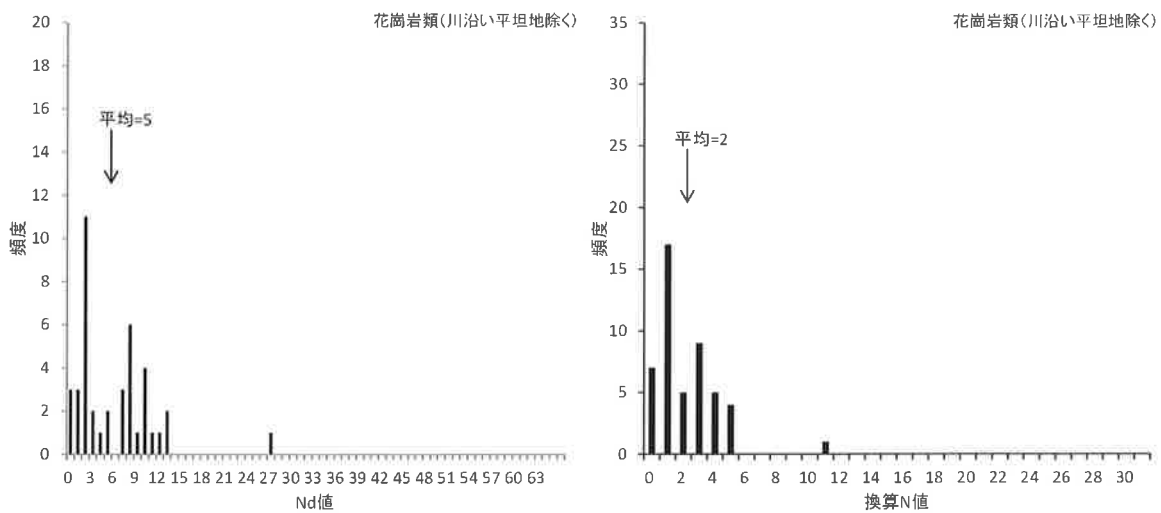


図 - 4. 3 花崗岩類表土層（川沿いの低地部試験結果を除く）のNd値と換算N値

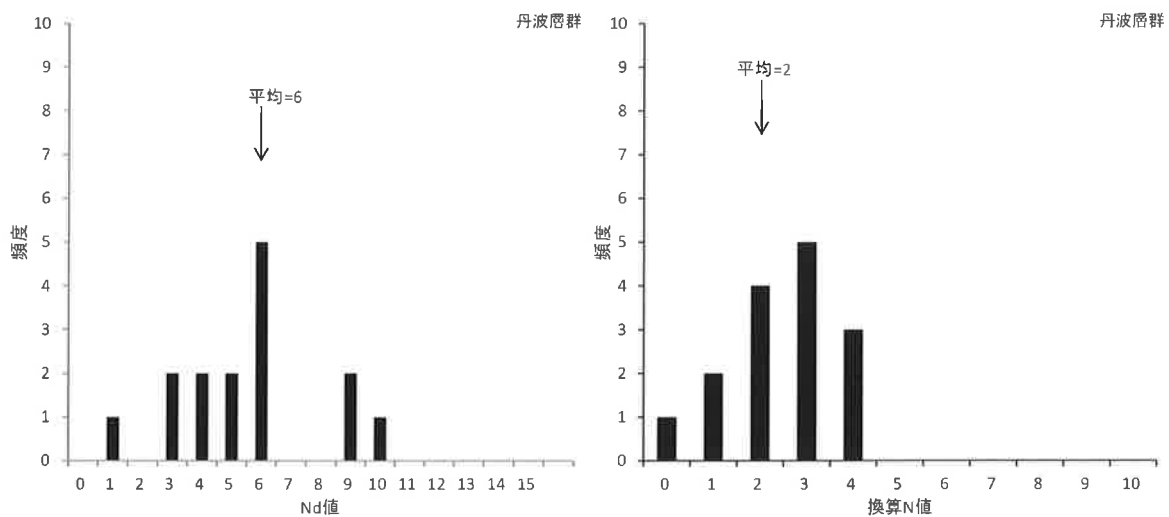


図 - 4. 4 丹波層群表土層のNd値と換算N値

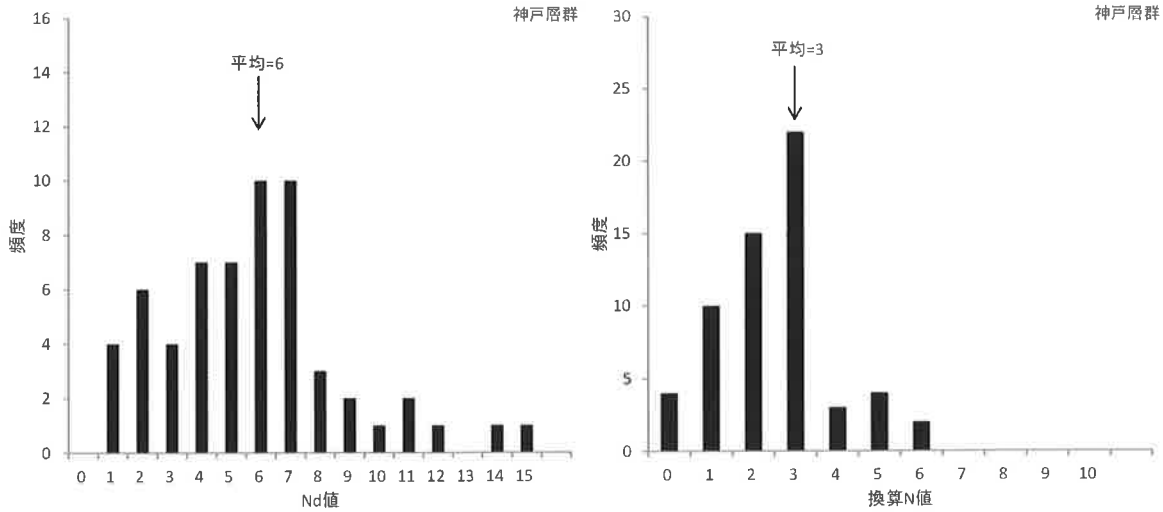


図 - 4. 5 神戸層群表土層のNd値と換算N値

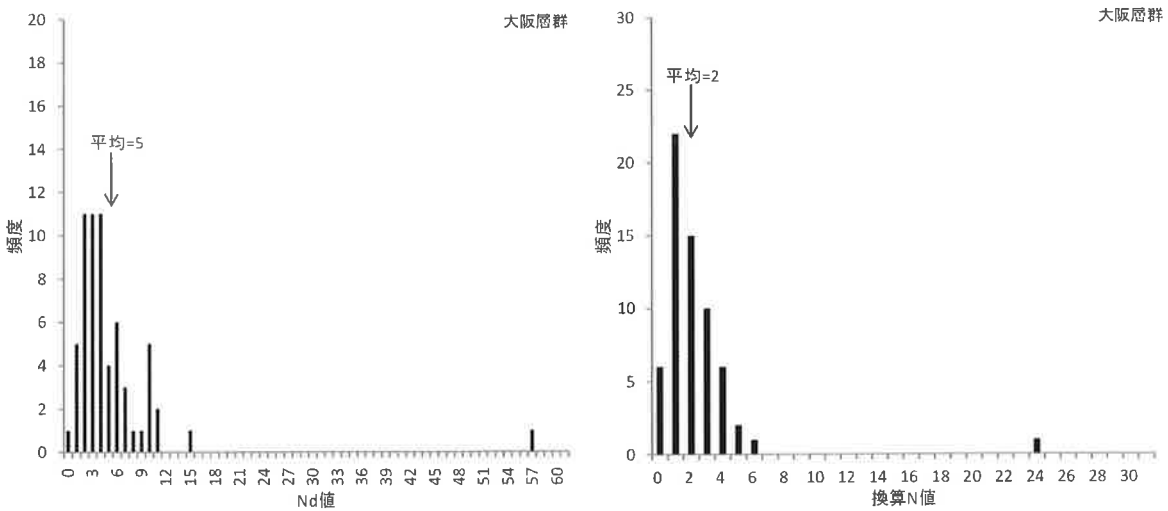


図 - 4. 6 大阪層群表土層のNd値と換算N値

次に換算N値から強度定数を求めた。表-4. 3に既往の研究事例²⁾からまとめられた風化岩盤に関する換算N値と粘着力、せん断抵抗角(内部摩擦角)の関係を、表-4. 4に簡易貫入試験結果から得られた各地質表層土の平均(換算)N値から表-4. 3の関係に基づいて算出した強度定数を示す。

表 - 4. 3 換算N値による場合の測定例²⁾ 但し $N \leq 300$

		砂岩・礫岩 深成岩類	安山岩	泥岩・凝灰岩 凝灰角礫岩	備考
粘着力 (kN/m^2)	換算N値と 平均値の関係	$15.2N^{0.327}$	$25.3N^{0.334}$	$16.2N^{0.806}$	
	標準偏差	0.218	0.384	0.464	・Log軸上の値
せん断 抵抗角 (度)	換算N値と 平均値の関係	$5.10\text{Log}N$ +29.3	$6.82\text{Log}N$ +21.5	$0.888\text{Log}N$ +19.3	Logの底は10
	標準偏差	4.4	7.85	9.78	

表 4.4 簡易貫入試験結果と上表の関係により算出した定数

地質	換算N値 (平均)	粘着力c (kN/m ²)		せん断抵抗角φ (度)	
		換算N値より算定	本システムの設定値	換算N値より算定	本システムの設定値
花崗岩類	2	19.07	5	30.84	31
丹波層群	2	19.07	5	30.84	31
大阪層群	2	19.07	5	30.84	30
神戸層群	3	21.77	5	31.73	30

※砂岩・礫岩・深成岩類の関係より算出。沖積層・段丘堆積物は風化岩ではないため適用せず。

表より算出した粘着力と内部摩擦角は、平均N値が2である花崗岩、丹波層群および大阪層群では各層ともにそれぞれ19.07kN/m²、30.84°，一方平均N値が3となっている神戸層群においては、それぞれ21.77kN/m²、31.73°となる。算出した値と本システムの設定値を比較すると、内部摩擦角はほぼ同一の値となる一方、粘着力では、現状の試験データにおいてはいずれも（沖積層・段丘堆積物を除く）約20kN/m²となり、現行の設定値5kN/m²よりも大きくなる。

ここで、軟弱な砂質土を対象とした既往の研究事例による検討事例として、表4.5に砂質土からなる軟弱地盤における試験例³⁾を、図4.7にこれらからまとめたN値と粘着力との関係を示す。なお表4.5に示されている強度定数は排水条件による三軸圧縮試験結果である。

対象とした試料は、風化土砂ではなくいずれも埋土や堆積土層であるが、粘着力はN値にかかわらず概ね5~20kN/m²となっている。

本報で対象としている土層は斜面の表層土であるが、これらは岩盤の風化に由来するものであり、一般に表4.5等で示した土層よりも細粒分は多く含まれていることを考慮すると、粘着力については現行の設定値よりも大きくすることができるものと考えられる。

表 4.5 砂質土層の物理特性、N値とc・φ³⁾

No.	土質	ρ_s (g/cm ³)	F_c (%)	ρ_d (g/cm ³)	e	D_r (%)	N値	ϕ_d (°)	c (kN/m ²)
1	埋土	2.73	1.9	1.4	1.0	34	9.0	36.0	16.0
2	沖積層	2.67	3.3	1.3	1.0	57	17.0	38.2	29.6
3	洪積層	2.64	4.9	1.3	1.0	81	10.0	32.7	0.0
4	沖積層	2.67	6.0	1.5	0.8	74	18.0	43.4	4.3
5	沖積層	2.64	8.7	1.4	0.9	81	15.0	37.8	7.7
6	洪積層	2.72	14.6	1.5	0.9	79	10.0	35.1	19.2
7	埋立シラス	2.47	7.3	1.1	1.2	72	5.7	39.0	19.6
8	埋立シラス	2.65	3.4	1.4	0.9	59	5.4	31.0	24.5
9	埋立シラス	2.59	1.9	1.4	0.9	59	6.4	35.0	4.9
10	埋立シラス	2.43	6.6	0.9	1.6	70	11.0	40.4	14.7
11	沖積シラス	2.48	14.5	0.8	2.0	81	4.5	28.0	39.2
12	沖積シラス	2.42	19.8	0.9	1.7	78	4.0	30.0	29.4

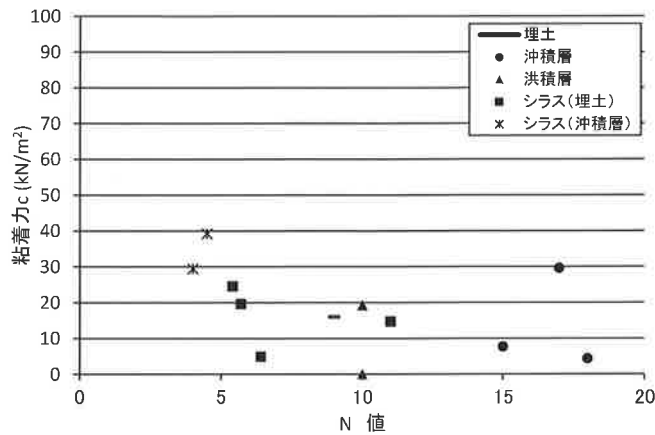


図 - 4. 7 表-4. 5に基づく N 値と粘着力の関係

5. モデル改良

5.1 物性値の改良

前章での入力物性値の検討から、粘着力 c については、現行の設定値よりも高くすることが可能であることが示唆された。そこで、粘着力 c を標準値より高く設定することで、空振り判定がどの程度解消されるのかを検討するため、安全率の試算を行った。

平成 26 年降雨によって判定（1 軸による $F_s < 1$ ）が出た警戒区域内の 5m メッシュを試算対象として、以下のケースで実施した。

粘着力 c が①標準値、②標準値+1kN/m²、③標準値+2kN/m²、④標準値+3kN/m²、の 4 ケースで試算した。試算結果を図 - 5. 1 ~ 図 - 5. 3 に示す。丹波層群や花崗岩では、粘着力 c を現行の標準値より 1 kN/m² 引き上げることで、判定（1 軸）が全て解消される。

また他の地質よりも若干層厚が厚い設定である大阪層群や神戸層群では、全体的に安全率が低いものの、粘着力 c を 1 kN/m² 上げることで空振り判定の 7 割が解消され、3kN/m² 上げると空振り判定が全て解消される。

以上より、試算した粘着力 c の範囲は、前章で検討した粘着力 c の範囲内の値であり、調査結果から考えられる粘着力 c の範囲内で設定を変更することで、空振り判定が解消される結果となった。

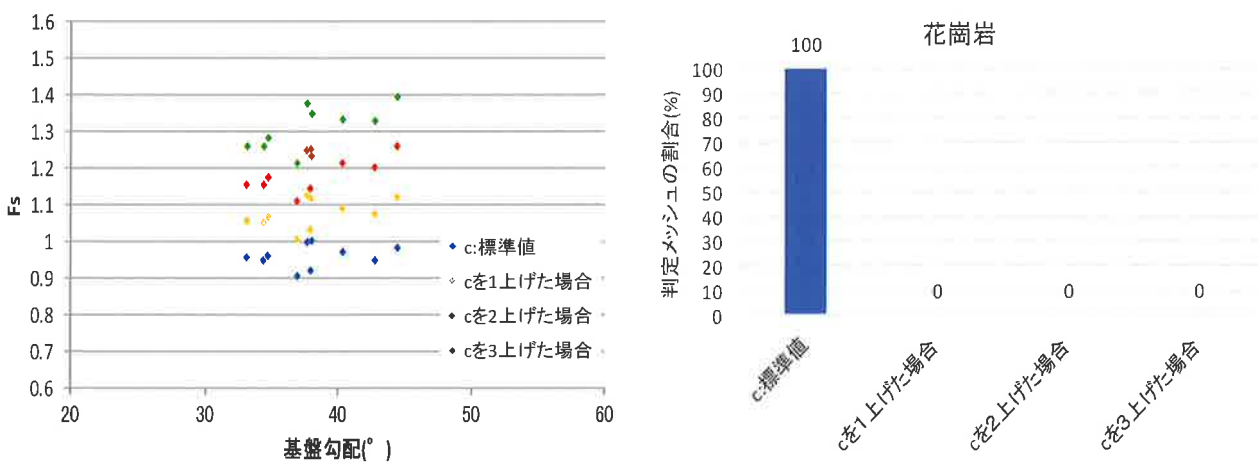


図 - 5. 1 花崗岩における 5mDEM 警戒区域内の判定（1 軸）メッシュの F_s 逆算値（左）と割合（右）

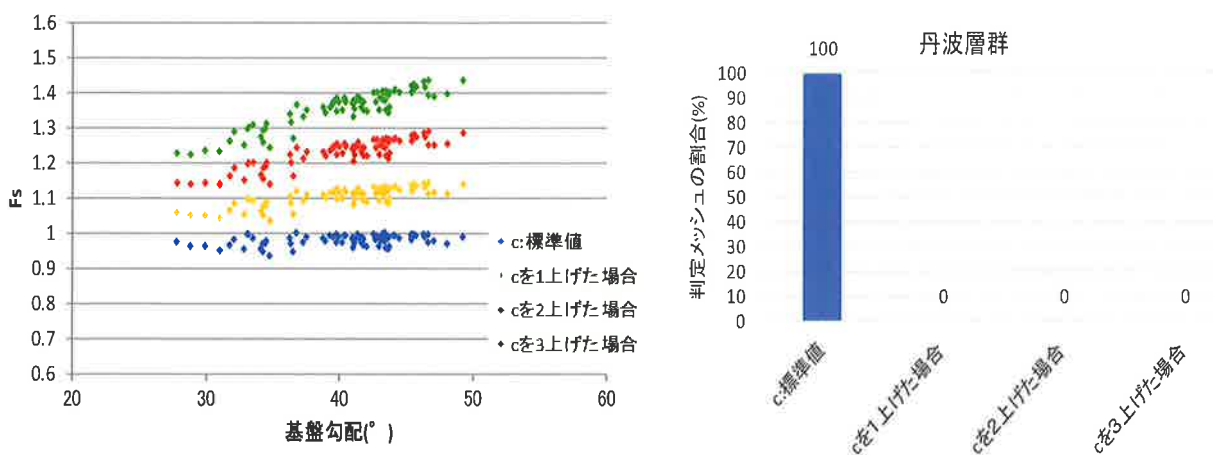


図 - 5. 2 丹波層群における 5mDEM 警戒区域内の判定 (1 軸) メッシュの Fs 逆算値 (左) と割合 (右)

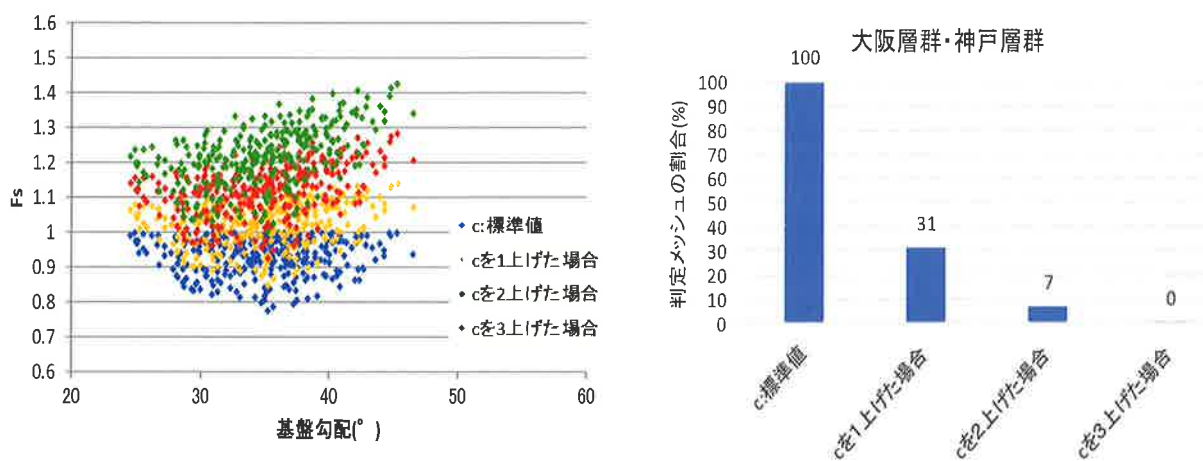


図 - 5. 3 大阪層群・神戸層群における 5mDEM 警戒区域内の判定 (1 軸) メッシュの Fs 逆算値 (左) と割合 (右)

5. 2 モデルへの設定

今までの検討結果より、平成 26 年降雨によって判定 (1 軸による $F_s < 1$) が出た警戒区域内の 5m メッシュを対象として、粘着力 c を 10m メッシュモデルの設定値より引き上げた。引き上げる範囲は、5. 1 章の試算の通り、メッシュ毎に個別に逆算し、算出した。粘着力 c の変更対象となる空振り判定が出ている 5m メッシュ例を図-5. 4 に示す。図をみると、これら空振りのメッシュは斜面下部と道路の境界付近に確認されており、実際の表土層厚より厚い設定となっている可能性がある。調整前の 5m メッシュの安全率の平均値は 0.94 であったが、調整後の安全率の平均値は 1.07 となり、平成 26 年降雨での判定メッシュ数は 0 メッシュとなった。

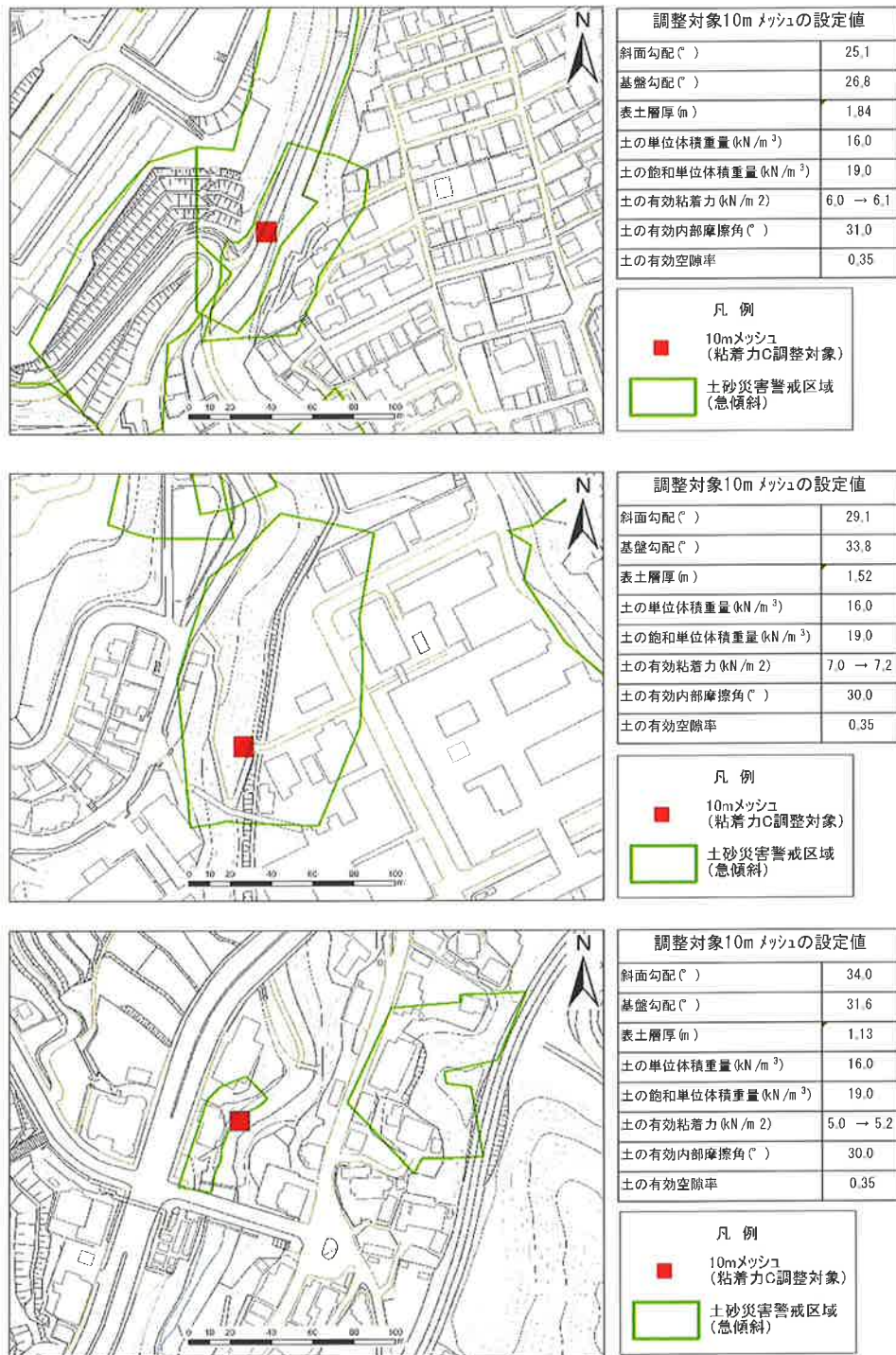


図 - 5. 4 粘着力 c の変更対象となる空振り判定が出ている 5m メッシュ例

6. 終わりに

本報では、神戸市域の市街地に指定されている土砂災害警戒区域を対象に従来の 10mDEM から 5mDEM への細分化を検討した事例について報告した。5mメッシュに細分化することによって、小規模な地形の再現性が高まった一方で、崩壊非発生降雨による空振り判定も増加した。そのため、現地調査を実施し、換算 N 値から粘着力 c を算出したところ、従来のモデル設定値よりも高く設定することが可能であることが判明したため、空振り判定が出ている 5mメッシュについては個別に粘着力 c を算出し、再設定した。今回の検討では、対象とした土砂災害警戒区域内にて崩壊実績がなく、

崩壊実績による検証ができていない。そのため、今後システムの運用にあたって、対象地にて崩壊が発生した場合、システム状況と崩壊状況を比較する必要がある。また、今回の検討では、空振り判定の検証において安全率の絶対値のみをしきい値とする1軸判定で検証しているが、今後は実際の運用で用いている、安全率の絶対値のしきい値に加えて安全率の変化量のしきい値の2軸で判定する方式において検証を合わせて行う必要がある。これら検証については、次年度の課題としたい。

参 考 文 献

- 1) 兵庫県砂防課：土砂災害防止法基礎調査マニュアル(案)，2005
- 2) 東日本・中日本・西日本高速道路会社：設計要領第二集 橋梁建設編，2016
- 3) 社団法人地盤工学会：N値と $c \cdot \phi$ の活用法，1998

著 者

- | | |
|-------|--------------------------|
| 沖村 孝 | 所員，理学博士，地盤工学 |
| 鳥居 宣之 | 神戸工業高等専門学校，博士（工学），地盤工学 |
| 笠原 拓造 | 国際航業株式会社，砂防工学 |
| 小泉 和也 | 国際航業株式会社，砂防工学 |
| 青木龍一郎 | 応用地質株式会社，技術士（建設部門），地質学 |
| 伊藤 正美 | 応用地質株式会社，技術士（建設部門），森林水文学 |