

## GIS を活用した斜面崩壊要因分析図による砂防施設配置計画の検証

協和設計(株) 西岡 孝尚

南部 啓太

○阿部 達也

### 論文要旨

砂防堰堤の配置は、一般的に計画基準点の位置や地形特性および保全対象を含む土地利用状況を踏まえ、溪流調査や地形地質調査による現地の確認を経て、計画されるものである。しかしながら、広域を対象とする砂防堰堤の配置計画では、現地踏査で得られる細部条件以外にその流域がもつ、地形・地質・植生等の特性を大きく捉え、施設配置を検討することが重要である。そこで本稿では、これら従来からの手法による施設配置の検討に加え、GISを活用した数値地図から算出される地形量や地質・植生・地すべり地形・崩壊発生実績などの数値データによる客観的な情報を用い、崩壊発生実績のカバー率、的中率、的中率比を算出して、各種要因の相関性を評価し、危険度レベルを明示した要因分析図を作成して、危険度の高い溪流へ砂防施設を配置した。要因分析図を作成することで、危険度に応じた整備優先度を決定し、整備効果の早期発現が可能で、効果的かつ効率的な施設配置が実現できた。

キーワード：GIS、砂防施設配置計画、要因分析図

### まえがき

砂防堰堤等施設は、流域内の土石流危険溪流における土砂災害の防止や、流域が合流する下流の一級水系に沿った市街地の洪水氾濫防止を目的とするものである。砂防堰堤の配置計画は、一般的に計画基準点の位置や地形特性及び保全対象を含む土地利用状況を踏まえ、溪流調査や地形地質調査による現地の確認を経て、計画するものである。また、既往崩壊の拡大や崩壊面に分布する不安定化した残土の流出、河床部に堆積する不安定土砂の流出などに加え、未崩壊箇所における新規の斜面崩壊の可能性も踏まえて施設配置を決定する必要がある。

本稿は、平成23年度台風12号豪雨により213箇所の斜面崩壊が発生した流域を抽出し、従来からの手法による施設配置の検討に加え、数値地図から算出される地形量や地質・植生・地質構造・崩壊発生実績などの数値データによる客観的な情報を用い、それらを要因とする要因分析図を作成して、配置計画の妥当性を検証している。以下にその概要を報告する。

### 1. 検討流域での斜面崩壊の特徴

図-1に示す検討流域は、流域面積は $A=45.8\text{km}^2$ で、平成23年台風12号での1日最大雨量708mm、総雨量1,451mmに及ぶ大規模豪雨により、崩壊箇所213箇所、最大崩壊面積 $3,475\text{m}^2$ に至る斜面崩壊が発生し、土砂や流木の流出等により家屋や道路等に甚大な被害を与えた。

図-2に崩壊諸元を示す。1箇所の崩壊面積が $1,000\text{m}^2$ 以上である場合、その崩壊土砂が流動化し土石流となって下流に被害を及ぼす可能性が高くなる<sup>1)</sup>。 $1,000\text{m}^2$ 以上の崩壊発生は54箇所、崩壊全体に対し25%である。全体的には、 $500\text{m}^2$ 以下の崩壊面積が87箇所、割合が41%と高く、次いで $500\sim 1,000\text{m}^2$ が72箇所、割合が34%となっている。土石流化する危険性の高い崩壊規模が多数発生しており、溪流の直下には住宅地や主要アクセス道路が分布するため、崩壊土砂が下流域に流出し、溪岸侵食や溪床部の不安定土砂を含めて大規模な土砂流出被害が及ぶ結果となり、対策が急務な溪流特性を有していることが確認できる。

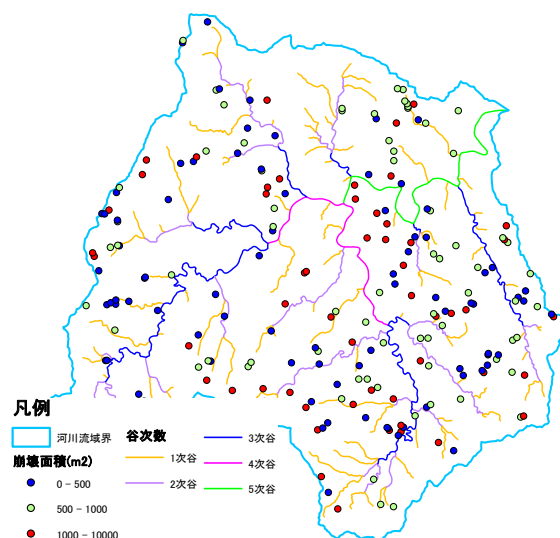


図-1 平成23年台風12号豪雨の崩壊箇所分布図

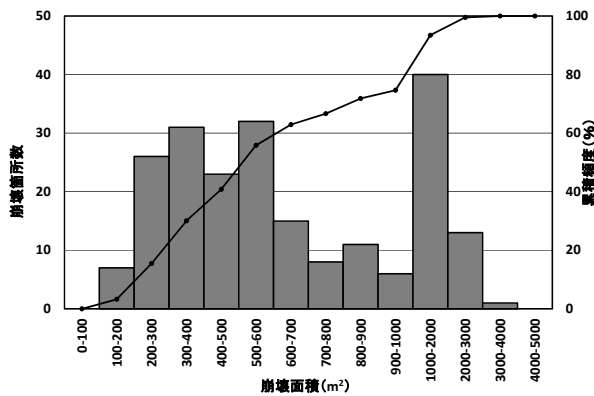


図-2 崩壊面積と箇所数、累積頻度の関係

## 2. 検討の手法

### (1) 要因分析図の作成

要因分析図は、「表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価(案)」<sup>2)</sup>「深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)」<sup>3)</sup>を参考にして崩壊と表-1に示す各要因との相関性により、作成した。集水面積と斜面勾配はLP 測量データ、微地形は「防災科学技術研究所：地すべり分布データベース」、地質特性は「産業技術総合研究所：シームレス地質図」、植生は「環境省生物多样性センター：植生図地理情報システムデータ」を用いた。平成23年台風12号豪雨による災害発生実績をもとに斜面傾斜度と集水面積との関係から危険度が高い「地形量」を算出する。同様の方法で、「微地形」との関係、「地形特性」との関係、さらに「植生」との関係を算出し、これらそれぞれにおいて、崩壊発生実績と斜面傾斜度との関係をカバー率、的中率、的中率比として算出し、「大」～「小」に危険度を区分する。

GISを用いて対象流域全体を50mメッシュデータに区分したそれぞれの範囲を各要因の危険度で代表させ、得られる図が要因分析図である。

表-1 検討に用いた要因と要素

要因	要素
崩壊発生実績	H23 台風12号による崩壊箇所
地質構造及び微地形要素	地すべり地形分布
地形量	斜面傾斜、集水面積、崩壊面積率
地質特性	斜面傾斜、堆積岩・火成岩・地質境界
植生	斜面傾斜、広葉樹・針葉樹・その他

### (2) 崩壊発生実績との相関性

平成23年台風12号豪雨による崩壊発生箇所は、崩壊面が不安定化していることが多く、今後の豪雨により崩壊の拡大が生じる可能性が高い。また、崩壊地周辺も崩壊の影響により地盤が緩んでいる可能性があり、崩壊する危険性が高くなっていると考えられることから、危険度を「大」「小」で区分した。

### (3) 微地形との相関性

滑落崖等の地すべり地形要素と崩壊発生実績との相関性は、総崩壊メッシュ数562箇所に対して、1箇所のみであり、相関性は認められなかった。地すべりと表層崩壊との崩壊形態の違いが統計結果に表れたものと考えられる。

### (4) 地形量との相関性

斜面傾斜度と集水面積及び崩壊面積率の関係から、崩壊面積率が検討対象地域全体の平均値の概ね2倍以上となる斜面傾斜度と集水面積の組み合わせを危険度「大」とし、1～2倍を「中」、それ以外を「小」とする。検討した結果、斜面傾斜度が40°以上で、集水面積が0.1km<sup>2</sup>以上の危険性が最も高く、斜面傾斜度25～30°以上で危険度が増加する傾向がみられた。斜面傾斜度が20°程度でも集水面積が0.02km<sup>2</sup>以上から危険度が高くなる傾向が見られたが、これらの傾向は土石流発生区間の勾配と概ね一致する。

表-2 斜面傾斜度と地形量との関係

	集水面積(log <sub>10</sub> As)								
	3.40	3.70	3.88~4.00	4.10~4.40	4.44~4.70	4.72~5.10	5.11~5.40	5.40~5.70	5.70~
斜面傾斜度(度)	~10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10~15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	15~20	0.000	0.000	1.316	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	20~25	0.518	1.724	2.381	1.923	5.405	2.247	3.571	0.000
	25~30	1.885	1.700	2.924	2.339	7.000	3.209	3.000	0.000
	30~35	2.374	2.581	4.259	4.554	4.878	3.759	4.918	0.000
	35~40	2.666	3.176	4.421	4.094	2.985	1.899	3.817	0.000
	40~	2.843	4.098	4.568	4.471	3.481	3.817	5.785	0.000

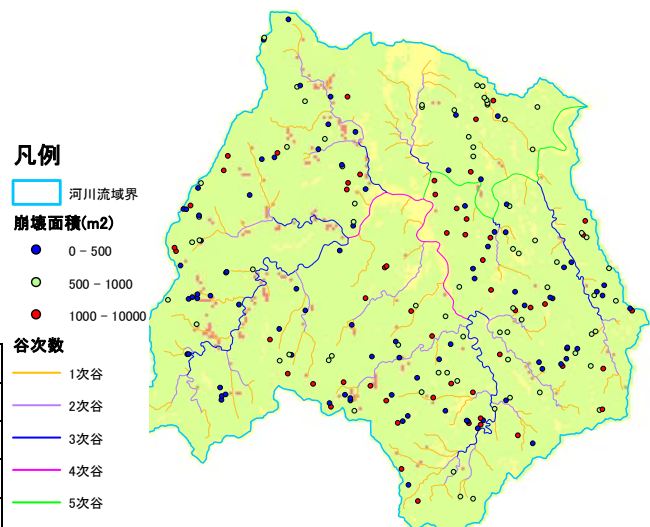


図-3 地形量による崩壊危険度マップ

### (5) 地質特性との相関性

検討流域の大部分が花崗斑岩を主岩体とする火成岩類が分布しており、その他砂岩、泥岩などから構成される堆積岩が分布し、これらの地質境界とあわせて3種類に区分できる。崩壊発生実績と地形図を重ね合わせて、それぞれの地質との相関性を検討し、危険度を評価した。結果、地質境界で最もの中率が高く、次いで火成岩類と

なる。火成岩類での崩壊メッシュ数が総崩壊メッシュ数562箇所に対し465箇所と約83%と占めており、崩壊は火成岩類で多く発生していることが確認できる。また、検討流域では火成岩類が大部分分布していることから、カバー率が高くなったと考えられる。

表-3 斜面傾斜度と地質特性との関係

地質境界						
傾斜度	① 表層崩壊 メッシュ数	② 地質境界 表層崩壊 メッシュ数	③ 地質境界 メッシュ数	②/① カバー率	②/③ 的中率	的中率比
~10	0	0	101	0.00	0.00	0.00
10~15	0	0	120	0.00	0.00	0.00
15~20	1	0	159	0.00	0.00	0.00
20~25	22	0	211	0.00	0.00	0.00
25~30	63	2	307	0.03	0.01	0.22
30~35	130	18	489	0.14	0.04	1.23
35~40	161	29	795	0.18	0.04	1.22
40~	185	46	773	0.25	0.06	1.99

火成岩類						
傾斜度	① 表層崩壊 メッシュ数	② 火成岩類 表層崩壊 メッシュ数	③ 火成岩類 メッシュ数	②/① カバー率	②/③ 的中率	的中率比
~10	0	0	54	0.00	0.00	0.00
10~15	0	0	113	0.00	0.00	0.00
15~20	1	1	316	1.00	0.00	0.11
20~25	22	22	873	1.00	0.03	0.84
25~30	63	60	1,953	0.95	0.03	1.03
30~35	130	111	3,214	0.85	0.03	1.15
35~40	161	132	4,161	0.82	0.03	1.06
40~	185	139	4,212	0.75	0.03	1.10

堆積岩類						
傾斜度	① 表層崩壊 メッシュ数	② 堆積岩類 表層崩壊 メッシュ数	③ 堆積岩類 メッシュ数	②/① カバー率	②/③ 的中率	的中率比
~10	0	0	124	0.00	0.00	0.00
10~15	0	0	96	0.00	0.00	0.00
15~20	1	0	90	0.00	0.00	0.00
20~25	22	0	108	0.00	0.00	0.00
25~30	63	1	189	0.02	0.01	0.18
30~35	130	1	209	0.01	0.00	0.16
35~40	161	0	108	0.00	0.00	0.00
40~	185	0	11	0.00	0.00	0.00

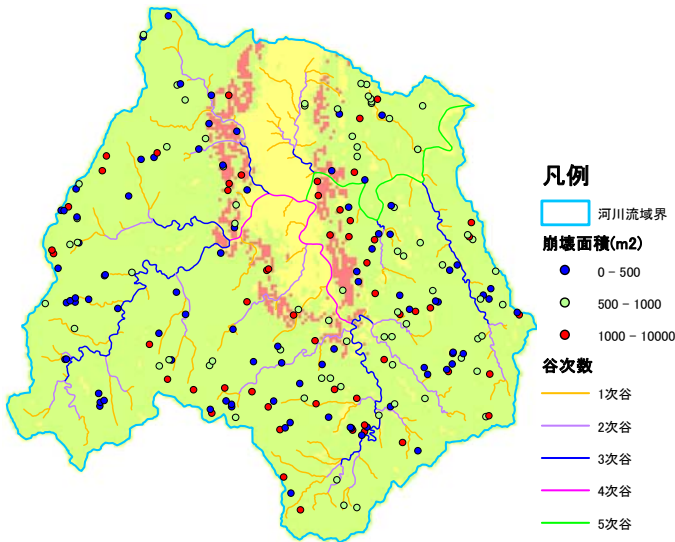


図-4 地質特性による崩壊危険度マップ

(6) 植生との相関性

検討流域は、主にスギの植林(針葉樹)が分布しており、その他広葉樹も認められる。植生について崩壊発生実績との相関を検討した結果、広葉樹の相関性が針葉樹に比べてやや高い傾向がみられた。針葉樹は手入れがされていることや、コドラート調査で確認した幹材積(m³/100m²)が広葉樹の約2倍程度の密な状態であり、植生根系の抵抗効果が発揮された可能性が考えられる。<sup>4)</sup>

表-4 コドラート調査結果

	針葉樹幹材積 (m³/100m²)	広葉樹幹材積 (m³/100m²)
平均	9.72	6.47

表-5 斜面傾斜度と植生との関係

広葉樹						
傾斜度	表層崩壊 メッシュ数	広葉樹 表層崩壊 メッシュ数	広葉樹 メッシュ数	カバー率	的中率	的中率比
~10	0	0	26	0.00	0.00	0.00
10~15	0	0	62	0.00	0.00	0.00
15~20	1	0	140	0.00	0.00	0.00
20~25	22	7	336	0.32	0.02	0.70
25~30	63	19	770	0.30	0.02	0.82
30~35	130	42	1,178	0.32	0.04	1.19
35~40	161	63	1,354	0.39	0.05	1.56
40~	185	61	1,109	0.33	0.06	1.84

針葉樹						
傾斜度	表層崩壊 メッシュ数	針葉樹 表層崩壊 メッシュ数	針葉樹 メッシュ数	カバー率	的中率	的中率比
~10	0	0	183	0.00	0.00	0.00
10~15	0	0	210	0.00	0.00	0.00
15~20	1	1	382	1.00	0.00	0.09
20~25	22	15	821	0.68	0.02	0.61
25~30	63	44	1,643	0.70	0.03	0.90
30~35	130	87	2,719	0.67	0.03	1.07
35~40	161	98	3,689	0.61	0.03	0.89
40~	185	123	3,868	0.66	0.03	1.06

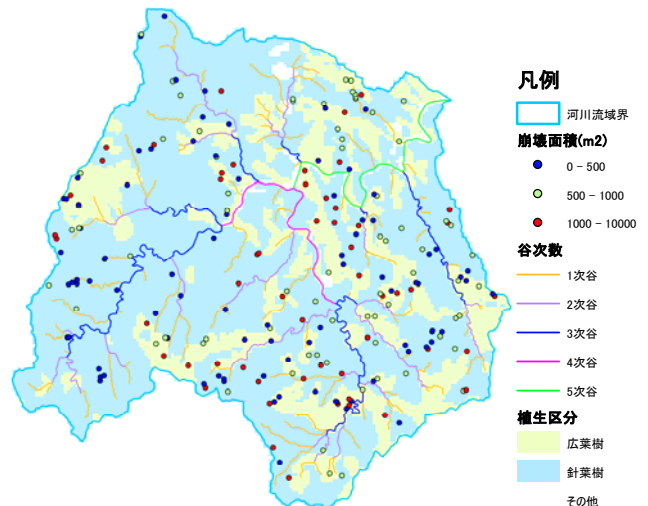


図-5 植生による崩壊危険度マップ

3. 斜面崩壊の危険度判定

崩壊発生実績、微地形、地形量、地質特性、植生の5つの要因を分析した図をもとに、それぞれの要因の重なりから、土砂災害に結びつく斜面崩壊の危険度を判定する。

危険度は要因の重なりに応じ、それぞれレベル0からレベル5に区分する。すなわち、50mメッシュのそれぞれで、要因の重なりから表-6に示すように危険度を区分した。

表-6 危険度判定レベル

危険度判定	要因分析の重なり具合
レベル0	すべて「小」
レベル1	「中」あり
レベル2	「中」が2つ
レベル3	「中」が3つ
レベル4	「大」が1つ
レベル5	「大」が2つ以上

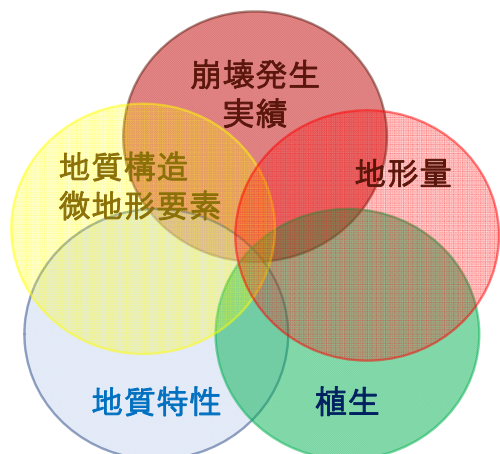


図-6 危険度判定の重なりの様式図

#### 4. 要因分析図による砂防施設の配置計画の検証

##### (1) 流域の特性と砂防施設の配置

対象流域はほぼ全域が急峻な山岳地である。一方で流域中央からやや下流の北側にかけて2つの支流が合流し、流域内で唯一の低平地や段丘、ないし緩斜面地を形成している。この地域は地質境界付近に相当し、地質特性の違いがその地形を反映している。一般的に主流路に向かって溪流は発達するが、同様に対象溪流では本川河道へ向かい支流や溪流が発達している。結果、集落や公共施設が立地し、保全対象が集まるため溪流の多くが土石流危険溪流に指定されている。

このように地形特性や保全対象の立地から、流域中央及びその北部にかけてのエリアとその周辺地が砂防施設の設置位置に選定される。

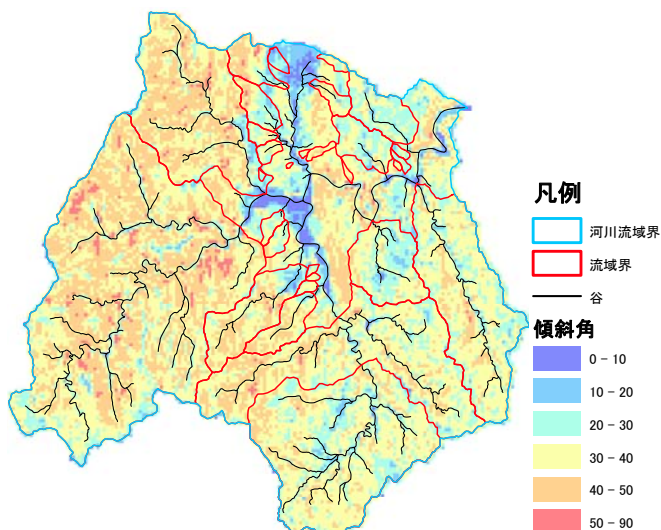


図-7 対象流域の斜面傾斜区分図

##### (2) 危険度判定図と砂防施設計画の関係

図-8 に示す危険度判定図では、レベル4、5が上述のエリアに区分される。対象溪流の大部分はレベル3で河道とその周辺はレベル0に区分される。レベル1、2はレベル0とレベル4、5の間に分布し、特徴的なエリア

となっている。

対象流域ではこの特徴的なエリアとその周辺地に砂防堰堤等施設の配置を立案している。危険度判定図と砂防施設の重なりは、判定レベルが変化する箇所や判定レベルが高いエリア、あるいはその下流に施設が配置され、これらのエリアが効果的・効率的な施設の配置位置となっている。

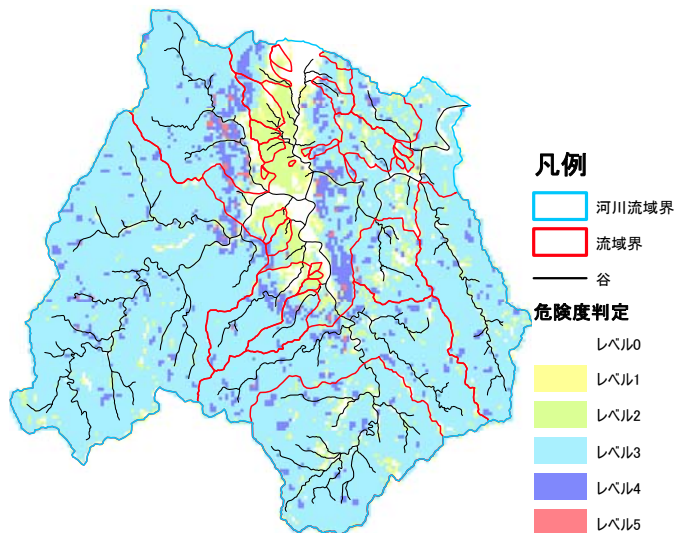


図-8 要因分析図に基づく斜面の危険度判定

##### (3) 占有率と砂防施設の計画位置の関係

表-7 は各砂防施設の対象流域における危険度判定レベルのメッシュ分布を占有率で示したのものである。本表では、レベル4占有率10%以上のもの、レベル3占有率70%以上のもの、レベル2占有率80%以上のものを着色している。高次の判定レベル占有率が高い対象施設がより効果的な施設と考えられる。

実際、これらの施設の対象溪流では、1) 台風豪雨に伴う荒廃が顕著である、2) 規模の大きな崩壊履歴がある、3) 広範囲に厚い土石流堆積物が分布する、4) 比較的多くの土砂流出が認められるなどの特徴を有していることがわかった。

表-7 各砂防施設の危険度レベル占有率

レベル5	占有率				
	レベル4	レベル3	レベル2	レベル1	レベル0
1%	8%	71%	10%	4%	7%
0%	7%	69%	13%	5%	6%
0%	12%	85%	4%	0%	0%
0%	3%	60%	20%	7%	10%
0%	0%	56%	22%	17%	6%
0%	5%	67%	13%	9%	7%
0%	0%	86%	7%	7%	0%
1%	12%	78%	5%	2%	2%
0%	4%	84%	5%	3%	4%
0%	19%	77%	2%	2%	0%
0%	0%	64%	29%	7%	0%
0%	0%	0%	93%	2%	5%
0%	6%	66%	17%	2%	9%
1%	11%	67%	5%	6%	10%
0%	17%	22%	34%	14%	13%
0%	0%	0%	82%	6%	12%
0%	0%	0%	80%	20%	0%
0%	19%	50%	10%	6%	15%
0%	4%	29%	46%	17%	4%
2%	12%	75%	4%	2%	4%
0%	5%	89%	2%	1%	2%
0%	6%	84%	5%	2%	3%

## あ と が き

対象溪流では、地形量(集水面積・斜面傾斜度)や地質特性で明瞭な相関性が認められた。また、危険度レベルを評価した要因分析図を作成することで、危険度に応じた砂防施設の整備優先度を決定し、整備効果の早期発現が可能で、効果的かつ効率的な施設配置が実現できた。

広域を対象とする砂防堰堤の配置計画では、現地調査で得られる細部条件以外に、その流域がもつ、地形・地質・植生などの特性を大きく捉えた施設配置の検討が重要であり、それら进行评估する場合において、数値データによる客観的な情報が有効である。今後はさらに従来の計画手法ではとらえきれなかったものの、施設配置に効果的・効率的、あるいは巨視的に有効な要因を抽出し、それらを反映させる方法や手法への取り組みを継続していく予定である。

本論文で対象とした業務の実施にあたり、貴重な資料の提供及び数々のアドバイスを頂いた国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所担当職員の方々、及び社内の関係者各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 建設省:土石流危険溪流および土石流危険区域調査要領(案)
- 2) 土木研究所資料第 4129 号
- 3) 土木研究所資料第 4115 号
- 4) 小山内・他:森林の崩壊抑制効果を反映した生産土砂量の推定に向けた一考察,砂防学会誌, Vol. 63, No. 5. p. 22-32.