

博士論文

高速道路に対する溪流危険度評価と現地詳細調査に基づく計画流出土砂量に関する研究

(A Study on Risk Assessment of Mountain Stream for Expressways and Designed Sediment Discharge based on Detailed Field Survey)

2019年3月

村上 豊和

Toyokazu MURAKAMI

山口大学大学院理工学研究科

要 旨

近年、梅雨前線の活発な活動や急激な積乱雲の発達などにより局地的集中豪雨の発生件数も、年々増加傾向をたどっている。これにより引き起こる土砂災害件数は、土石流災害を含め全国的に増加傾向にある。平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨、平成 26 年 8 月豪雨、平成 29 年 7 月九州北部豪雨では、多くの土石流が発生した。

このように気象条件が変化するなか、我が国の高速道路は、土石流が発生する可能性のある溪流を横過する箇所が多く存在し、その延長は今後も伸びていく。

土石流は、のり面や斜面の崩壊に比べ流出する土砂量がはるかに多く、ひと度土石流が発生すると長期間の通行止めや復旧作業の長期化など高速道路の機能を著しく阻害することはいうまでもなく、周辺地域の生活、経済等に及ぼす社会的影響も大きく、人的災害につながる可能性もある。平成 21 年 7 月 21 日、梅雨前線活動の活発に伴う集中豪雨により、山口県西部を中心に住宅などの浸水や道路への土石流の流れ込みによる土砂災害が多数発生した。この中には、高速道路に影響を及ぼしたものもあり、土石流等の土砂流入災害に対して高速道路の安全性の確保が課題となっている。このような高速道路に影響を及ぼすと考えられる溪流に対して十分な対策を講じることが必要であるが、その数量は膨大であることから、効率的かつ効果的な調査であり、また、危険な溪流についてはより詳細な現地調査の必要性がある。そのため、危険溪流を事前にある程度絞り込むための評価手法が必要となる。以上のことから、本研究では、現地調査を効率的に進めるため、既往の資料調査に基づいて、高速道路への影響度と溪流危険度を評価し、現地調査の優先度付けを行う資料調査に基づく溪流危険度評価を検討した。本研究では、高速道路と溪流の横過形式や土砂の移動形態による被災のし易さや我が国は、急峻な地形と脆弱な地質という素因を有していることから地形、地質による土石流の発生し易さに着目し検討した。この資料調査に基づく溪流危険度評価を西日本高速道路(株)中国支社管内の約 1,000 km の高速道路沿線の溪流に対して実施した結果、4,037 溪流を 5 つのカテゴリー区分に分類し、現地詳細調査を行う 1,186 溪流を優先度の高い溪流として抽出した。

また、資料調査に基づく溪流危険度評価の妥当性を確認するため、5 つのカテゴリー区分後、西日本高速道路(株)中国支社管内における過去の土石流災害発生箇所との関連性について整理した。過去の災害履歴については、資料調査に基づく溪流危険度評価において、地質特性による溪流評価の検討時に用いた災害履歴の時期に合わせて、昭和 61 年～平成 21 年の災害までの約 25 年間の災害記録より、「自然斜面・土石流災害」に該当する 13 溪流について、関連性を確認した。その結果、資料調査に基づく溪流危険度評価において、最も危険なカテゴリーに位置づけたカテゴリー区分①に該当する溪流が 1 災害、次に危険としたカテゴリー区分②に該当する溪流が 12 災害となり、上位カテゴリー区分①②に過去に災害が発生した溪流全てが該当する結果となった。よって、カテゴリー区分①②に該当する 1,186 溪流については、局地的集中豪雨など異常降雨の際には、土石流災害の発生の可能性があり、高速道路へ影響を与える可能性がある溪流と考えられ、このことから、

資料調査に基づく溪流危険度評価において、「高速道路横過条件，土砂移動形態，地質特性，溪流特性」の4素因について類型を行い，各ランクの組み合わせで5段階の危険度に分類することで，今後の現地詳細調査の優先度付けが行えることを示した。

また，溪流危険度評価を行うにあたり，基本的な事項となる計画流出土砂量の算定において，溪流内の侵食深さと侵食幅の想定は特に重要となる。資料調査段階では，現地詳細調査を行っていないため，各県の砂防課等から収集した土砂災害防止に関する基礎調査（区域調書）及び土石流危険溪流及び土石流危険区域調査要領（案）に基づいて作成された土石流危険溪流カルテから各県毎，谷次毎の侵食深さと侵食幅を算出し資料調査に基づき溪流危険度評価に用いた。

本研究では，資料調査に基づく溪流危険度評価により抽出した溪流に対して，現地詳細調査を行った結果から，県別および地質別の侵食特性について把握し，今後の土石流の危険溪流調査に活用できる溪流の侵食深さと侵食幅の侵食想定基準値を検討した。検討の結果，資料調査で算出した計画流出土砂量に対し，提案した侵食想定基準値を用いた計画流出土砂量の方が，実際の現地詳細調査結果による計画流出土砂量に近い値を示す結果となった。また，その傾向は，県別より地質別の方がより強くなることが確認されたことから，本研究では，地質別による侵食想定基準値を提案するものである。

あわせて，現地詳細調査後の危険度評価は，国道等で一般的に実施されている道路防災総点検「安定度調査表（土石流）」と併せて，高速道路への影響度が判断できる評価手法を提案した。この手法は，土石流発生時に土砂等が高速道路へ達し影響を与える際，想定される事象から評価項目を整理しフロー形式で評価することで，高速道路への影響が高いか低いかについて判断できるものである。

この現地調査に基づく高速道路への影響評価の結果，高速道路への影響が高いと判断した溪流が現地詳細調査を実施した1,106溪流のうち780溪流となり，約70%まで高速道路へ影響を与える可能性の高い溪流を絞り込むことが出来た。

本論文は，5つの章で構成されている。第1章は，本研究の背景を述べるとともに，高速道路に対する溪流危険度評価の必要性や危険度判定手法の現状と課題を示し，本研究の目的と意義を明確にした。第2章は，溪流危険度評価項目の抽出と評価基準検討を主とした『資料調査に基づく溪流危険度評価』について，第3章は，前章の資料調査後に実施した現地詳細調査での『現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価』について，第4章が，現地詳細調査による侵食深や侵食幅の調査から，侵食特性を統計分析し，地質別の侵食想定基準値を算定した『現地調査に基づく計画流出土砂量の算定』となっている。最後に，第5章では，本研究を取りまとめると共に，今後の展望と課題について述べている。

目 次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景と課題	1
1.2 既往の事例と研究	1
1.2.1 土石流危険度判定手法	1
1.2.2 道路防災総点検の安定度調査表（土石流）	2
1.2.3 法規制区域に準じる区域に関する調査	6
1.2.4 流出土砂量の算出に用いる溪床堆積厚さの調査	6
1.3 本研究の目的と構成	8
第1章の参考文献	14
第2章 資料調査に基づく溪流危険度評価	16
2.1 はじめに	16
2.2 溪流危険度評価に関連する既往資料の整理	16
2.2.1 既往資料の収集、整理および対象溪流の把握	16
2.2.2 溪流の抽出方法	17
2.2.3 対象溪流の基本データの整理	19
2.2.4 計画流出土砂量の想定方法	20
2.2.5 高速道路横過形式の抽出・整理方法	22
2.3 溪流危険度評価項目の抽出と評価基準	25
2.3.1 高速道路の横過条件による区分	25
2.3.2 土砂移動形態による区分	26
2.3.3 地質特性による区分	28
2.3.4 溪流特性による区分	33
2.3.5 溪流危険度評価とカテゴリー区分	34
2.4 溪流危険度評価と過去の土石流災害との関連性	39
2.4.1 過去の土石流災害の地形的特徴等の分析	39
2.4.2 過去の土石流災害との比較による妥当性検証	44
2.5 まとめ	48
第2章の参考文献	50

第3章 現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価	51
3.1 はじめに	51
3.2 現地詳細調査の方法	52
3.3 現地詳細調査結果	54
3.3.1 現地詳細調査結果の整理および評価	54
3.3.2 高速道路横過条件の確認	55
3.3.3 カルバートボックスの評価	55
3.3.4 既往対策施設の把握および効果量の算出	61
3.3.5 保全対象の確認	63
3.4 現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価	64
3.4.1 高速道路への影響評価	64
3.4.2 高速道路への影響評価に対する更なる提言	67
3.5 現地詳細調査から資料調査への反映	70
3.6 高速道路への影響を与える溪流の対策	71
3.7 まとめ	72
第3章の参考文献	73
第4章 現地詳細調査に基づく計画流出土砂量の算出	74
4.1 はじめに	74
4.2 計画流出土砂量の算出方法	76
4.2.1 資料調査	76
4.2.2 現地詳細調査	81
4.3 現地詳細調査における侵食深と侵食幅の評価	85
4.3.1 移動可能土砂量の統計分析	85
4.3.2 移動可能土砂量と溪流諸元との相関関係	86
4.3.3 侵食特性の評価	88
4.3.4 地質別想定基準値の提案と実用性評価	93
4.3.5 県別想定基準値の整理	97
4.4 まとめ	100
第4章の参考文献	102
第5章 結論	103
5.1 本研究のまとめ	103

5.2 今後の課題と展望	108
第5章の参考文献	109

第 1 章

第1章 序論

1.1 本研究の背景と課題

近年、梅雨前線の活発な活動や急激な積乱雲の発達などにより局地的集中豪雨の発生件数も、年々増加傾向をたどっており、局地的集中豪雨から引き起こる土砂災害件数も、土石流災害を含め全国的に増加傾向¹⁾にある。

このように気象条件が変化するなか、我が国の高速道路には、土石流が発生する可能性のある溪流を横過する箇所が多く存在し、その延長は今後も伸びていく。土石流は、のり面や斜面の崩壊に比べ流出する土砂量ははるかに多く、ひと度土石流が発生すると長期間の通行止めなど高速道路の機能を著しく阻害する。近年では、平成21年7月21日、梅雨前線活動の活発に伴う集中豪雨により、山口県西部を中心に住宅などの浸水や道路への土石流の流れ込みによる土砂災害が多数発生した²⁾³⁾。この中には、高速道路に影響を及ぼしたものもあり、土石流等の土砂流入災害に対して高速道路の安全性の確保が課題となっている。このような高速道路に影響を及ぼすと考えられる溪流に対して十分な対策を講じることが必要であるが、その数は膨大であることから、効率的な調査であり、また、危険な溪流についてはより詳細な現地調査の必要性がある。そのため、膨大な数の溪流の中から、危険度を同一の基準で、既存資料を活用し、危険溪流を事前にある程度絞り込むための評価手法が必要となる。以上のことから、本研究では、既往資料を活用した資料調査に基づく土石流危険溪流の評価手法の検討を行うものである。

また、土石流の危険度評価を行うにあたり、基本的事項である計画流出土砂量の算出において、溪流内の侵食深さと侵食幅の想定は重要となる。本研究では、資料調査段階では、現地詳細調査を行わないため、各関係機関から収集した資料に記載のある侵食深さや侵食幅を参考にしたが、資料調査に基づく溪流危険度評価により抽出された溪流に対して、実際に現地詳細調査をおこなったため、その結果を用いて、地質別と中国地方の県別の侵食深さと侵食幅の谷次毎の侵食想定基準値を検討した。その結果、資料調査で算出した計画流出土砂量に対し、検討した侵食想定基準値を用いた計画流出土砂量の方が、実際の現地詳細調査結果による計画流出土砂量に近い値を示す結果となった。また、その傾向は、県別より地質別の方がより強くなることが確認されたことから、地質別による侵食想定基準値を提案するものである。

1.2 既往の事例と研究

1.2.1 土石流危険度判定手法

土石流とは、山間の溪流において、土砂・巨礫・流木が、地表水または地下水によって流動化し流下する現象をいい、通常強大なエネルギーと破壊力を持つ。これまで、土石流の発生する危険性のある溪流に対する評価については、多くの研究が行われてきている^{4)~10)}。それらは、土砂災害の発生の有無を説明できる条件を、素因および誘因から

示そうとするもので、統計的な手法を取り入れることにより、できるだけ条数の数を絞り込む工夫がなされているものである。

また、片岡ら¹¹⁾は、地質別の土石流の発生率について、砂防便覧(1979, 1983, 1987)による土石流発生件数を用いて地質を7区分しての、全国的な集計が整理されている。これによれば、岩石の分布面積当たりの災害発生率は変成岩類が最も高く、次に花崗岩類、その他変成岩類が続く。しかし、これらは全国的な岩石の分布面積当たりの発生率のため、広域的な分析には適していると判断されているが、特定の地域で使用する場合は、岩石面積や災害発生件数の見直しが必要となる。一方で、砂防施設整備事業の優先度を検討する等のために、土砂災害に対する危険箇所の評価も行われている¹²⁾⁻¹⁴⁾。しかし、本研究で対象とするような広域にわたる溪流を対象とするものは無く、高速道路への被災を考慮した検討は極めて少ない。更に、危険な溪流については詳細な踏査を行うことを前提にしており、危険溪流を抽出するために行われた例はない。

1.2.2 道路防災総点検の安定度調査表(土石流)

のり面・斜面崩壊、土石流等による道路災害を防止するには、現状ののり面や斜面等について安定度を判定し、必要に応じて適切な防災対策を実施する必要がある。土石流に関する安定度調査の手法として、昭和43年の飛騨川バス転落事故を契機として、図-1.1に示す安定度調査表¹⁵⁾を用いて、国土交通省や西日本高速道路㈱などの高速道路会社で実施されている道路防災総点検の安定度評価がある。

その評価の流れを図-1.2に示す。「溪流斜面の特性に着目した要因に関する評点に対策工に関する評点を加点および道路構造に関する評点を減点し合計した評点」と「被災履歴に関する評点」を比較して大きい方を安定度の評点にする。

総合評価は、①災害要因、②対策工の効果、③道路構造、④被災履歴、⑤周辺の状況を参考にしつつ災害の規模や影響を総合的に勘案して検討を行い、対策方針を、要対策、カルテ対応、対策不要の3段階から対策方針を選定し、対策を講じる必要があるのか、監視を継続して必要があるのかを明確に示したものとなっている。

災害要因に関しては、「発生流域面積溪床勾配15°以上の流域面積」「最急溪床勾配」「斜面の特性(斜面勾配が30°以上の斜面の面積)」「草地の占める面積」「斜面の特性(不安定な土砂を伴う土工事の有無)」「新しい亀裂、滑落崖の有無」「比較的規模の大きい崩壊履歴」により評価される。

道路構造に関しては、横過形式が橋梁もしくはカルバートの場合は、現地で測定した流路幅、桁下高さに応じて点数を求める。既往の土石流災害事例では、流出土砂や流木によるカルバートボックス等の閉塞した事例が少なくないことから、道路構造物の点数を求めるときは、既往の土石流での閉塞事例や溪流内の流木の長さ、溪流と横過部との交差状況等を考慮して、総合的に判断するものとされている。

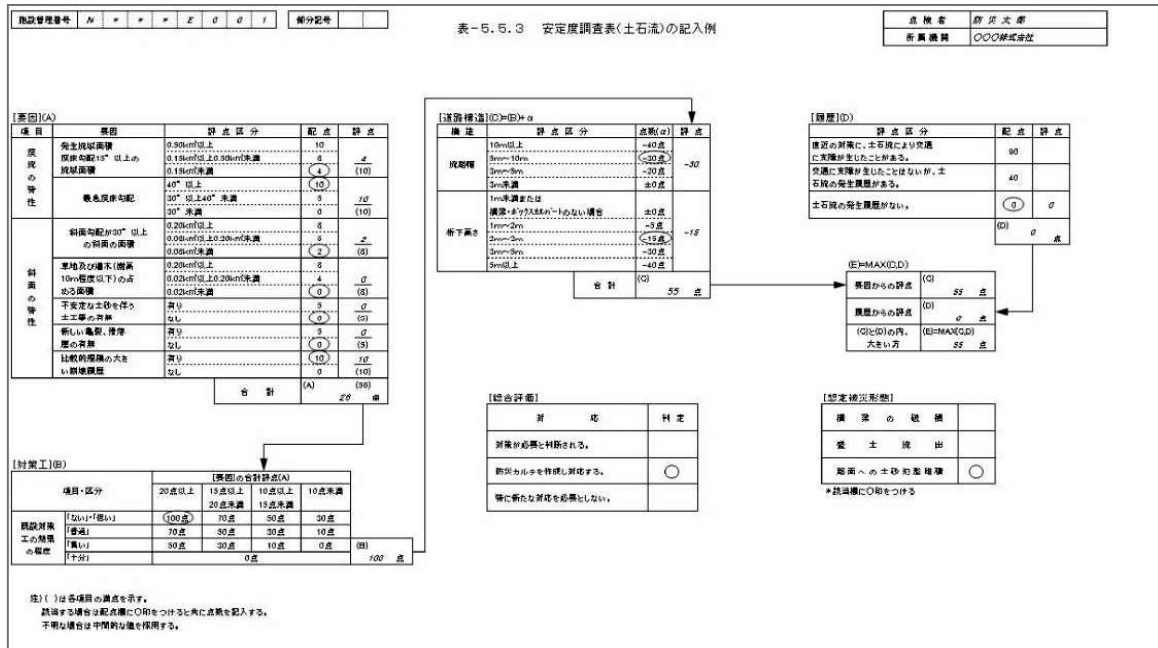


図-1.1 安定度調査表

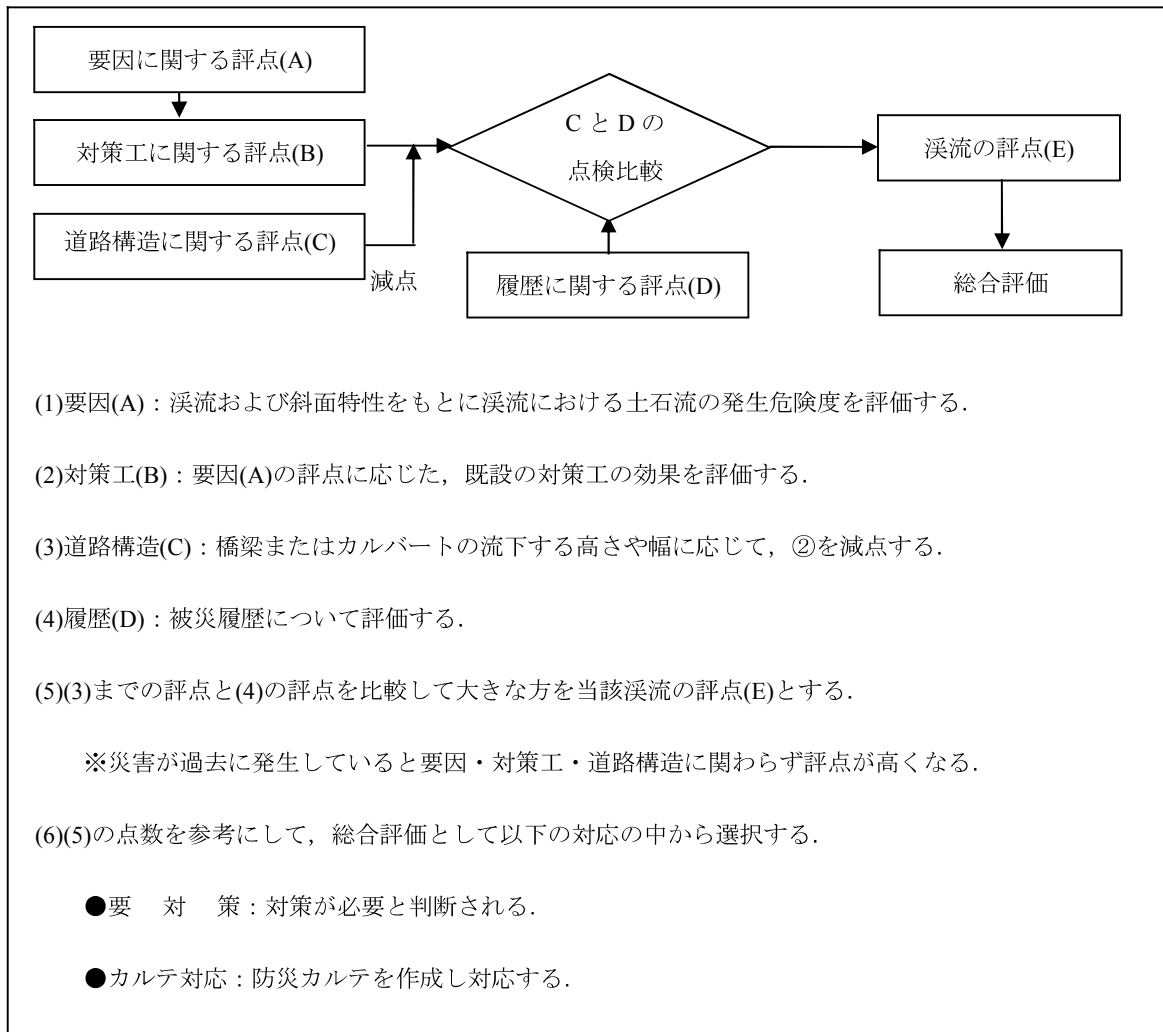


図-1.2 安定度調査表の評価フロー

高速道路での道路防災総点検（土石流）の実施状況として、西日本高速道路㈱中国支社管内で平成8年度に実施した道路防災総点検（以下、H8 防災総点検と称する）実施状況を整理した。図-1.3 に示すとおり点検対象となった123箇所のうち、要対策は4箇所、カルテ対応が1箇所あるが、残りの118箇所は対策不要の評価である。この118箇所の溪流横過構造を確認した結果、切土、切土（トンネル坑口）、平坦に区分される箇所が約47%と約半数を占める。また、H8 防災総点検で「対策不要」の箇所において、高速道路には影響を与えてはいないが（側道で停止）、点検後に土石流災害が発生していることがわかった（図-1.4）。また、土石流災害発生箇所と安定度調査表による要因の点数の関係性を分析するため、土石流災害発生箇所の安定度調査表による点数付けを行った。その結果、表-1.1 に示すとおり70点が7箇所(54%)を占めるが、残りの6箇所は50点以下であった。

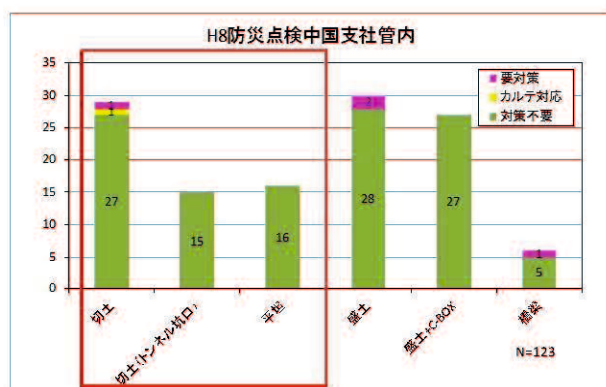


図-1.3 H8 防災総点検結果



図-1.4 土石流発生状況
(中国自動車道【平成11年】)

表-1.1 土砂災害一覧表

NO	災害箇所	KP () 内は、発生年月日	安定度調査表の要因点数
1	山陽道 西条 IC～吉和 IC	260.3KP (H5.7.28)	10
2	山陽道 西条 IC～吉和 IC	261.5KP (H5.7.28)	50
3	山陽道 防府西 IC～山口南 IC	411.1KP (H5.8.2)	50
4	米子道 蒜山 IC～江府 IC	37.7KP (H5.9.4)	50
5	米子道 久世 IC～湯原 IC	14.8KP (H9.8.5)	70
6	中国道 六日市 IC～鹿野 I	412.2KP (H11.9.24)	50
7	中国道 六日市 IC～鹿野 IC	412.4KP (H11.9.24)	70
8	中国道 六日市 IC～鹿野 IC	412.5KP (H11.9.24)	50
9	中国道 六日市 IC～鹿野 IC	412.5KP (H11.9.24)	70
10	中国道 六日市 IC～鹿野 IC	412.6KP (H11.9.24)	70
11	中国道 六日市 IC～鹿野 IC	412.7KP (H11.9.24)	70
12	中国道 徳地 IC～山口 IC	467.1KP (H21.7.21)	70
13	中国道 徳地 IC～山口 IC	467.4KP (H21.7.21)	70

安定度調査表による高速道路への危険度評価の課題を以下に示す。

- ・道路防災総点検と本研究による調査方法の関係を表-1.2に示す。
- ・道路構造による評価は、橋梁又はカルバートを流下するかどうかの評価のみのため、安定度調査表のみでは、盛土区間も含めた高速道路への影響度が評価できない。
- ・土石流の危険度評価において重要と考える地質に関する評価項目がない。
- ・総合評価は、点検結果による数値的指標を踏まえて客観的に評点を行う仕組みではあるが、最終的に総合評価区分を判断する基準は、各道路管理者や点検実施者の主観により定性的に判断し決定される仕組みである。そのため、各道路管理者等により、総合評価が必ずしも一致しない可能性がある。
- ・直轄国道の災害事例（H9~H16年）では、道路防災総点検で、「要対策」、「カルテ対応」と評価されていた場合が多い傾向が報告はされているが、対策不要や点検対象外の箇所が無いわけではない¹⁶⁾。

表-1.2 道路防災総点検と本研究による調査方法の関係

項目	道路防災点検（土石流）	本研究による危険度評価
調査対象 溪流	<ul style="list-style-type: none"> ○点検対象区間の選定 （要対策箇所の対策未了箇所や災害発生箇所を含む一連の区間を抽出する） ○安定度調査箇所の選定 （点検対象区間において、地域特性の把握、災害要因の判読を行い、候補箇所を抽出する） ○溪流の抽出条件 以下の条件をすべて満たす溪流 <ul style="list-style-type: none"> ・流域面積 1ha（0.01km²）以上 ・溪流の最急溪床勾配 10° 以上 	以下の両方の条件を満たす溪流 <ul style="list-style-type: none"> ・縮尺 1/5000 図にて谷地形および集水地形を呈する斜面 ・流域面積が 1ha（0.01km²）以上の谷および山麓（0次谷）
現地調査 の範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・資料調査において顕著な発生源が判読され、道路へ到達する可能性のある場合は、発生源の状況を確認する。ただし、判読された発生源への接近が困難な場合は資料調査の結果をもとに安定度調査表を作成する。 ・顕著な発生源が判読できない場合は、溪流河床の踏査は可能な範囲で行い、土石の堆積状況や堆積物再移動の形跡等を観察する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現地詳細調査の範囲は、高速道路横過地点から流域界までの範囲を基本 ・地形判読において土石流に関して留意すべき地形（崩壊跡地等）が確認された場合は現地状況を確認
資料調査 項目	<ul style="list-style-type: none"> ・既往資料収集 ・地形判読（災害要因の判読） ・溪流諸元（要因に関する項目） 	<ul style="list-style-type: none"> ・既往資料収集 ・法規制等に関する調査 ・地形判読（災害要因の判読） ・溪流諸元に関する調査 ・土石流諸元に関する調査
現地詳細 調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・安定度調査 要因（溪流特性、斜面特性） 既設対策工の効果道路横過部の構造 土石流の履歴の有無 	<ul style="list-style-type: none"> ・土砂量調査 ・流量調査 ・保全対象調査 ・既存対策施設調査 ・安定度調査（道路防災点検と同じ）
調査成果	<ul style="list-style-type: none"> (1)箇所別記録表 点検箇所の基本情報、点検箇所の概要、点検結果の要点を記載。 (2)安定度調査表 要因や既設対策工の効果、道路横過部の構造、土石流の履歴等をもとに評価を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> (1)溪流調査様式 A~H 現地調査の結果を調査の様式に基づいて整理した上で、高速道路への影響度を評価 (2)安定度調査表 道路防災点検と同一の様式を採用
評価	安定度調査結果をもとに、対応方針を以下の3段階で評価。	現地調査による高速道路への影響評価により、以下のいずれかに評価。

	(1)要対策 (2)カルテ対応 (3)対策不要	(1)高速道路に影響をおよぼす可能性が「高い」 溪流 (2)高速道路に影響をおよぼす可能性が「低い」 溪流 このうち、(1)に該当する溪流から優先的に対策方針を検討
--	-------------------------------	--

1.2.3 法規制区域に準じる区域に関する調査

法規制に準じる区域として、「土石流危険溪流」が挙げられる。「土石流危険溪流」とは、「土石流危険溪流および土石流危険区域調査要領（案）平成11年4月建設省砂防部砂防課」により、都道府県で調査された危険溪流であり、主として人命、人家の保全を目的として抽出されたものである。抽出された土石流危険溪流は、保全対象により、「土石流危険溪流Ⅰ」「土石流危険溪流Ⅱ」「土石流危険溪流に準じる溪流」に分類されている、これらの分類は、将来どのような対策を実施するかに基づいて、保全対象の種類と数により3つに区分されている。このうち土石流危険溪流Ⅰ、土石流危険溪流Ⅱについては、調査結果を土石流危険カルテとして取りまとめられている。なお、保全対象は土石流危険区域内にある保全人口、保全人家、保全田畑、公共施設等と定義されており、高速道路は含まれていない。

① 土石流危険溪流Ⅰ

保全人家5戸以上、または、保全人家5戸未満であっても、官公署、学校、病院、駅、発電所等のある場所に流入する溪流

② 土石流危険溪流Ⅱ

保全人家戸数が、1戸以上5戸未満の場合に流入する溪流

③ 土石流危険溪流に準じる溪流

現在、保全人家戸数0戸であるが、今後住宅等の新築の可能性があると考えられるくいきに流入する溪流

1.2.4 流出土砂量の算出に用いる溪床堆積厚さの調査

流出土砂量の調査は、土石流危険溪流調査の中で最も重要な項目といえる。しかし、土石流の危険溪流調査において、事前に十分な現地調査を行われていないのが実情である。荒木ら¹⁷⁾は、山腹崩壊型の土石流の発生に重要な地形要因は、溪床堆積厚さと溪床危険度評価、さらに降雨集中度評価の3要因であること、溪床堆積厚さの調査を行えば、溪流の崩壊規模の予測精度を高めることができることを指摘している。また、荒木ら¹⁸⁾は、土石流危険溪流における豪雨による土砂崩壊の「発生」「非発生」を判別するシステムを構築する中で、二次谷以上の流域の溪流調査がほとんど行われていないことや、現地調査を必要とする要因は、溪流幅(要因 GF)、溪床堆積厚さ(要因 GG)、溪床堆積厚評価(要因 GP)であることを指摘している。また、土田ら¹⁹⁾は、2014年8月20日に発生した広島土砂災害での調査結果から、想定土砂発生量はすべて溪流内の侵食可能土砂量から決まり、実際には、想定土砂発生量の1倍から4倍の土砂が発生したことを指摘している。加えて、土砂発生量の推定に用いられてきた侵食幅の参考値と、実際の値との相違について原因を調

べ数値の見直しを検討する必要があることを指摘している。

一方で、流出土砂量を現地調査した報告例がいくつかある^{20)~22)}。さらに、侵食深や侵食幅について、詳細に報告した例もある^{23) 24)}。しかしながら、広域にわたった調査などの例はなく、地質などと関連付けて、その統計値を提示した前例はない。


また、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説書²⁵⁾には、表-1.3に示すとおり、平均侵食深の調査の一例が示されているが、その例は、20箇所程度である。また、谷次数毎の区分もなく、溪流内全体の平均侵食深を示したものであり、平均侵食幅については参考例としても示されていない。

表-1.3 平均侵食深の調査の一例²⁵⁾

発生年	月	日	都道府県名	市町村名	溪流名	平均侵食深(m)
2000	1	1	山梨県	西八代郡下部町	下部川	2.0
2001	8	21	東京都	三宅村	岡堀沢	2.0
2001	8	21	東京都	三宅村	川田沢支川	3.0
2001	9	6	鹿児島県	西之表市	軍場第1	1.5
2001	10	16	大分県	南海部郡蒲江町	土後川	0.6
2001	10	16	大分県	南海部郡蒲江町	尾浦川第2	1.0
2001	10	16	宮崎県	日南市	北川内川	2.0
2002	1	1	新潟県	佐渡郡相川町	茶の助沢	1.0
2002	7	10	岐阜県	郡上郡八幡町	枅形谷	0.5
2002	7	11	栃木県	安蘇郡田沼町	上清水沢	1.0
2002	9	2	高知県	吾川郡伊野町	是友大谷川	0.5
2003	6	21	宮崎県	北諸県郡三股町	仮屋谷川	1.0
2003	7	20	熊本県	水俣市	園郷川	1.2
2003	7	20	熊本県	水俣市	新屋敷	2.0
2004	7	18	福井県	鯖江市	滝谷川	0.7
2004	7	18	福井県	鯖江市	間谷川	2.0
2004	8	17	香川県	三豊郡	落合上川	1.5
2004	8	18	愛媛県	新居浜市	三坑川	2.0
2004	10	20	香川県	さぬき市	通谷川	2.0
2004	10	21	長野県	北安曇郡	滝の沢	1.0

1.3 本研究の目的と構成

我々の使命として、まず第1に人的被害を防がなければならない。また、高速道路を利用される利用者の安全安心が第1と考える。これは、国土強靱化基本計画の基本目標（理念）でもある「①人命の保護、②国家・社会の重要な機能が致命的な障害を受けずに維持される、③国民の財産及び公共施設に係る被害の最小化、④迅速な復旧復興」にも繋がるものである。これらに対応するためにも、高速道路を含む道路構造物に対し影響を及ぼすと考えられる溪流に対して今後十分な対策を講じることが必要であるが、その数は膨大であることから、危険溪流を事前にある程度絞り込むための評価手法が必要となる。よって、本研究では、資料調査に基づく溪流危険度評価と現地調査に基づく高速道路への影響度評価を提案することを目的とする。

なお、本研究における危険度評価とは、「高速道路横過部における危険性（影響度）を評価し、高速道路に影響を与える可能性の高い溪流を選定する評価手法」とする。評価は、-1.5に示すとおり、資料調査に基づく危険度評価、現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価の順で実施し、対策優先度の高い溪流を選定する。

また、本研究で提案した資料調査に基づく危険度評価の妥当性の検証や評価に用いる計画流出土砂量について、現地詳細調査結果に基づく侵食深と侵食幅の想定基準値の提案を行うことで、今後同様の資料調査に基づく溪流危険度評価の精度向上を図る。

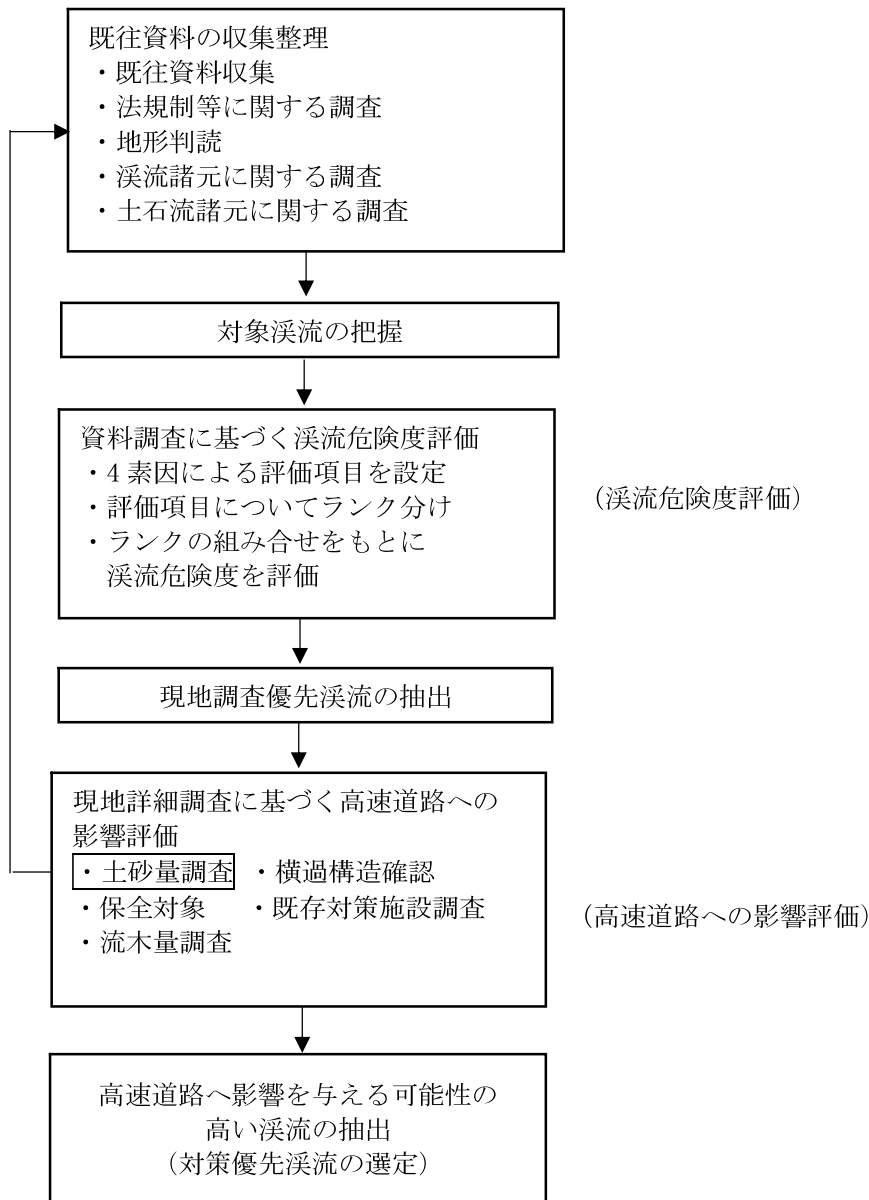


図-1.5 高速道路に対する溪流危険度評価フロー

第1章 序論

中国地方における高速道路の整備は、山岳地を通過する区間が多いため、溪流を横過するケースが多くなっている。このため、高速道路の管理段階における区域外からの土砂流入災害に対する現状と課題を示し、危険な溪流を判定する手法や溪流現地調査手法の過去の事例と研究について述べ、本研究の目的と意義を明確にする。

第2章 資料調査に基づく溪流危険度評価

昨今の集中豪雨の頻発から、土石流等の土砂流入災害に対する高速道路の安全性の確保が課題となっている。特に、高速道路区域外の危険溪流からの安全性の確保は、この課題解決に対し重点的に行われる必要がある。そこで、現地詳細調査を効率的に進めるため、既往の調査資料に基づいて、高速道路への影響度を評価し現地調査の優先度付けを行う資料調査に基づく溪流危険度評価を検討した。本研究では、高速道路と溪流の交差形状による被災のし易さや地形や地質による土石流の発生し易さに着目し検討した。この資料調査に基づく溪流危険度評価を西日本高速道路(株)中国支社管内の約 1,000km の高速道路沿線の溪流に対し実施し、4,037 溪流を 5 つのカテゴリー区分に分類することができた(図-1.6)。

提案する資料調査に基づく溪流危険度評価の妥当性を確認するため、カテゴリー区分後、西日本高速道路(株)中国支社管内における過去の「自然斜面・土石流災害」の発生箇所と今回の資料調査に基づく溪流危険度評価との関連性について整理した。過去の災害履歴については、地質特性による溪流評価に用いた災害履歴の時期に合わせて、昭和 61 年～平成 21 年の災害までの約 25 年間の災害記録より、「自然斜面・土石流災害」に該当するものを抽出し、溪流以外の斜面及び発生場所の特定できなかった箇所を除く 13 溪流について、比較を行った。比較の結果、最も危険なカテゴリー①に該当する溪流が 1 災害、次に危険としたカテゴリー②に該当する溪流が 12 災害となり、カテゴリー②以上に全てが該当する結果となった。よって、カテゴリー②以上に該当する 1,186 溪流については、局地的大雨や集中豪雨での異常降雨の際には、土石流災害の発生の可能性があり、高速道路へ影響を与える可能性がある溪流と考えられ、このことから、資料調査に基づく溪流危険度評価に用いた条件及び特性は、今後の現地詳細調査箇所の優先度付けを行うことに対して、妥当であることを示した。

第3章 現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価

資料調査に基づく溪流危険度評価により現地詳細調査箇所の優先度付けを行ったが、土石流及び土砂流出に対する重要な要素として、溪流内に存在する不安定堆積物の有無が挙げられる。資料調査に基づく溪流危険度評価では、各県の砂防課等から収集した土砂災害防止に関する基礎調査(区域調書)及び土石流危険溪流及び土石流危険区域調査要領(案)の基づいて作成された土石流危険溪流カルテから各県毎、谷次毎の侵食幅と

侵食深さを算出したため、実際の侵食幅と侵食深さとの階差を把握する必要がある。これら計画流出土砂量の把握や高速道路の影響の確認の為、現地詳細調査を実施した。

また、現地詳細調査における高速道路への影響評価は、道路防災総点検「安定度調査表（土石流）」による判定のみでは、高速道路への影響度が判断できない。そのため、土石流発生時に土砂等が高速道路へ達し影響を与える際、想定される事象から評価項目を整理し、高速道路への影響評価手法の取りまとめを行った。

この高速道路への影響評価を適用した結果、高速道路への影響が高いと判断した溪流が現地詳細調査を行った全 1,106 溪流のうち 780 溪流（71%）、高速道路への影響が低いと判断した溪流が 326 溪流（29%）となり、約 70%まで高速道路へ影響を与える可能性の高い溪流を絞り込むことが出来た。

780 溪流まで絞り込むことはできたが、今後の対策工等の優先度付けを考えた場合、更なる効率的且つ効果的な高速道路管理を目指す必要があることから、高速道路への影響評価も加えた 3 段階のフロー形式の更なる影響評価について提言した。

この結果、高速道路へ影響を与える可能性の高い 780 溪流から、さらに影響度の高い溪流として 622 溪流（全体の約 56%）まで絞り込めた。これにより、高速道路を含む道路構造物に対して、今後の効率的な現地詳細調査や対策工の優先度付けを行う上で、本研究による高速道路への影響評価を実施することで、高速道路への影響を与える可能性が高い溪流を評価することが出来ることを示した。

第 4 章 現地詳細調査に基づく計画流出土砂量の算出

資料調査に基づく溪流危険度評価に用いた溪流内不安定土砂の堆積深さと堆積幅を評価するため、資料調査と現地詳細調査で算出した計画流出土砂量の差を、「計画流出土砂量の階差」として算出し整理を行い、資料調査の妥当性と現地詳細調査の必要性について確認を行った。

また、実際に現地詳細調査を行った結果を用いて、中国地方の地質別と県別の侵食深さと侵食幅の谷次数毎の侵食想定基準値を検討した。資料調査で算出した計画流出土砂量と、検討した侵食想定基準値を用いた計画流出土砂量を比較し、実際の現地詳細調査結果による計画流出土砂量にどちらが近い値を示すか検証をした。また、地質別想定基準値および県別想定基準値により計画流出土砂量を算出した場合、どちらがより現場の値に近くなるか検証を行い、計画流出土砂量の算出には、地質別想定基準値を用いることでより精度の高い溪流危険度評価および高速道路への影響評価ができることを示した。

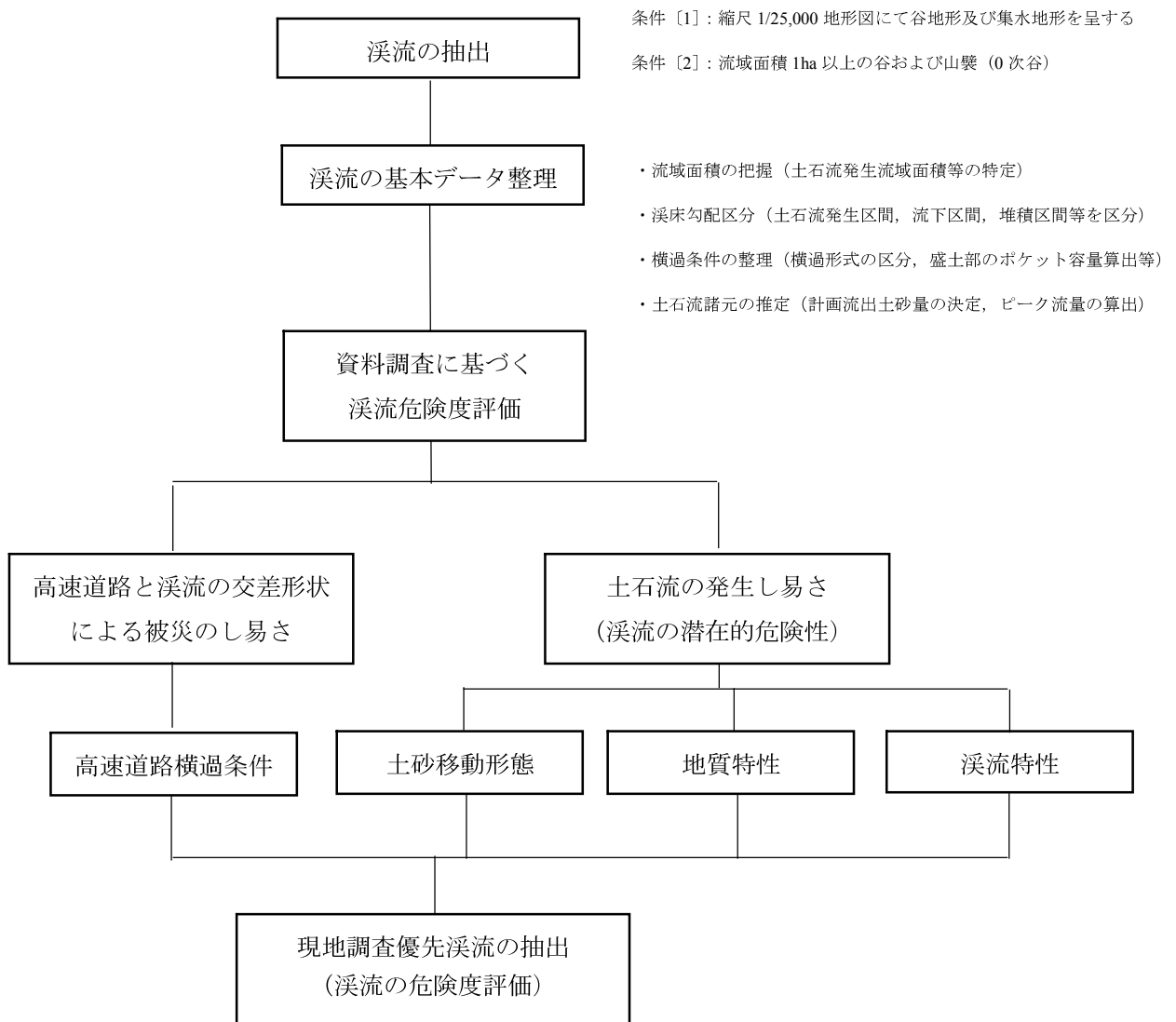


図-1.6 資料調査に基づく溪流危険度評価フロー

第5章 結論

本研究を取り纏めるとともに、今後の課題と展望を述べ、本論文のまとめとする。

図-1.7 に本論文の構成を示す。

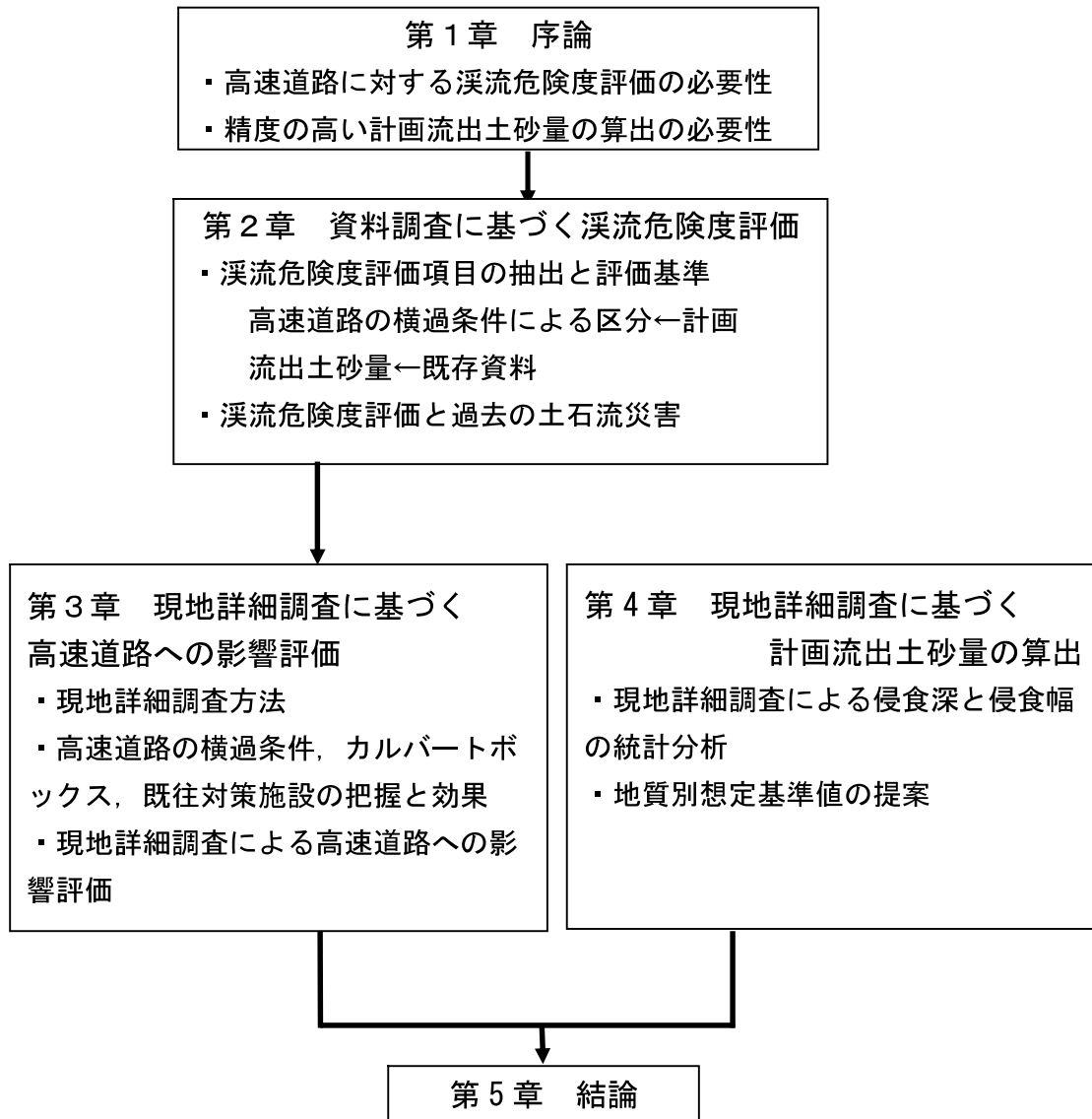


図-1.7 本論文の構成

第1章 参考文献

- 1)内閣府：平成28年度版防災白書
- 2)古川浩平，杉原成満，海堀正博，久保田哲也，地頭菌隆，権田豊，林真一郎，池田暁彦，荒木義則，柏原佳明：2009年7月21日山口県防府市での土砂災害緊急調査報告，砂防学会誌，Vol.62, No.3, pp.62-73, 2009.
- 3)鈴木素之：2009年7月21日豪雨による山口県防府地区での斜面災害，地盤工学会誌 Vol.57, No.12, pp.39-42, 2009.
- 4)伊達裕樹，加納誠二，吉富健一，中井真司，竹内次郎：広島県の災害データの解析による土石流・がけ崩れの特徴，地盤と建設，Vol.28, No.1, pp.79-86, 2011.
- 5)海堀正博：近年の豪雨による土砂災害発生の実態から見た中国地方における危険度，地盤と建設，Vol.28, No.1, pp.7-14, 2011.
- 6)澤田尚，大石博之，杉原成満，古川浩平，荒木義則：既存の調査データを用いた H21.7 山口県防府土砂災害における土石流発生・非発生ルール抽出，砂防学会誌，Vol.64, No.1, pp.17-24, 2011.
- 7)篠崎嗣浩，芦田悠輔，PARK Dong Jun, YOON Min, YUN Yeboon, 大石博之，古川浩平：ロジスティック回帰モデルを用いた災害発生危険度の活用に関する研究，砂防学会誌，Vol.63, No.1, pp.14-21, 2010.
- 8)篠崎嗣浩，森田真人，大石博之，古川浩平：SVM とラフ集合を用いた土石流の発生・非発生ルールの作成方法に関する研究，土木学会論文集 F, Vol.65, No.4, pp.448-460, 2009.
- 9)内田太郎，田村圭司，盛伸行：表層崩壊に起因する簡易な土石流発生危険度調査・評価手法，土木技術資料，Vol.50, No.9, pp.20-25, 2008.
- 10)大石博之，竹本大昭，榊原弘之，古川浩平，八木俊夫，荒木義則，浦真：統計手法を利用した1999年6月29日広島県西部における土砂災害発生状況と降雨・地形要因の関連についての考察，砂防学会誌，Vol.58, No.6, pp.3-10, 2006.
- 11)片岡順：土石流の発生及び規模の予測に関する研究，文部省科学重点領域研究「自然災害の予測と防災力」研究成果，pp54, 1990.
- 12)福田友久，大石博之，井上亘，西尾陽介，古川浩平：包絡分析法による土砂災害危険箇所評価に基づく砂防施設整備事業の優先順位検討，砂防学会誌，Vol.61, No.1, pp.11-20, 2008.
- 13)大石博之，杉原成満，光永臣秀，古川浩平：DEA（包絡分析法）を用いた土砂災害危険箇所の順位設定，第9回設計工学に関するシンポジウム講演論文集，pp.49-54, 2005.
- 14)三木洋一，万膳英彦：高速道路における土石流対策，基礎工，Vol.32, No.9, pp.56-61, 2004.
- 15)財団法人道路保全技術センター：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等），2007.
- 16)財団法人道路保全技術センター：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）（増補版），2014.

- 17) 荒木義則, 鈴木真次, 石川芳治, 水山高久, 古川浩平, 土石流危険渓流における崩壊規模の評価に関する研究, 土木学会論文集, No. 522/VI-28, pp.133-142, 1995.
- 18) 荒木 義則, 古川 浩平, 松永 悟, 小笠原 貴人, 石川 芳治, 水山 高久, 土石流危険渓流における地形特性を考慮した土砂崩壊の発生限界線の設定に関する研究, 土木学会論文集, No. 574/VI-36, pp.33-47, 1997.
- 19) 土田孝, 森脇武夫, 熊本直樹, 一井康二, 加納誠二, 中井真司, 2014年広島豪雨災害において土石流が発生した渓流の状況と被害に関する調査, 地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.1, pp. 33-52, 2016.
- 20) 水山 高久, 恩田 裕一, 加藤 祐子, 田井中 治, 岡本 正男: 流出特性による土石流発生危険度の判定調査, 砂防学会誌, Vol. 54, No. 5, pp 46-49, 2002.
- 21) 田村 圭司, 内田 太郎, 森東 哲郎, 日野 健, 小菅 尉多, 木下 篤彦: 六甲山系における水文・流砂観測 砂防学会誌, Vol. 66, No. 6, pp. 82-86, 2014.
- 22) 高岡広樹, 原田守啓, 大石哲也, 萱場祐一: 土砂災害防止法に基づく基礎調査の結果を用いた流出土砂量の評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No. 4, p. I_967-I_972, 2015.
- 23) 棚橋 由彦, 後藤 恵之輔, 杉山 和一: 土石流の事例解析と発生予測法の一試案, 砂防学会誌, Vol. 41, No. 5, pp 3-13, 1989.
- 24) 海堀 正博, 栃木 省二: 土砂災害防止に対する砂防施設の効果に関する研究, 砂防学会誌, Vol. 43, No. 6, pp 26-32, 1991
- 25) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 及び同解説書, 2016.

第 2 章

第2章 資料調査に基づく溪流危険度評価

2.1 はじめに

各県等から収集した膨大な資料と、過去、西日本高速道路㈱（以下、「NEXCO」という）中国支社で作成した GIS ベースマップと地質データベース、国土地理院から入手した 10mDEM、河川砂防技術基準（計画編）¹⁾（以下、砂防基準と称する）、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説書²⁾（以下、砂防指針と称する）、西日本高速道路㈱の土石流対策の手引き³⁾（以下、NEXCO 基準と称する）等を参考に、西日本高速道路㈱中国支社が管理する高速道路沿いの溪流について、高速道路（保全対象）の横過形式・溪流内の勾配・面積及び過去の地質別の災害履歴等を組み合わせて評価する新たな評価手法で溪流評価を行った。

2.2 溪流危険度評価に関連する既往資料の整理

2.2.1 既往資料の収集、整理および対象溪流の把握

図-2.1 の高速道路の沿線に存在する溪流について把握するため、NEXCO 中国支社内部の既往調査資料と中国地方各県及び兵庫県の砂防関係部署から高速道路沿線に係る地形図（1/5000 森林基本図や 1/25000 地形図等）を収集した。また、土砂災害防止対策の推進に関する法律（以下、土砂災害防止法と称する）に基づく基礎調査資料⁴⁾⁵⁾や土砂災害警戒区域の指定状況等を収集し、地理情報システム（以下、GIS と称する）のデータとして整理した。その後、GIS のデータを活用し、谷地形を抽出して、高速道路沿線の溪流数の把握を行った。その流れを図-2.2 に示す。その結果、約 1,000km の高速道路沿線にある溪流は、4,037 溪流であった。

その内、土砂災害警戒区域に該当する箇所は、173 箇所となっており、全体の 4% 程度しか指定されていないことが判明した。



図-2.1 中国地方の高速道路網

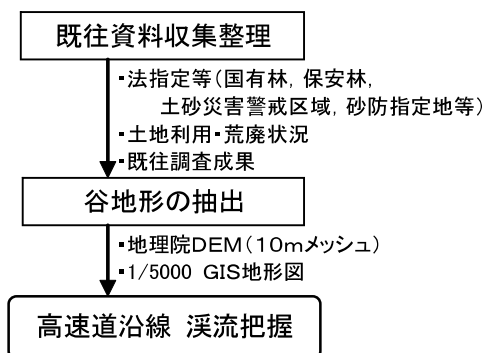


図-2.2 溪流把握の流れ

2.2.2 溪流の抽出方法

a) 対象溪流の抽出

溪流の抽出には、GIS のデータ（縮尺：1/5000 地形図【ベースは森林基本図】）を用いた。また、高速道路部は管理用平面図（縮尺：1/1000）を用い、さらに森林基本図未整備範囲は国土地理院地形図（縮尺：1/25000）を用いた。谷地形の地図上での判断は、**図-2.3** に示すように、原則として 1/5000 図において、谷幅を a 、奥行きを b として、 $a < b$ となる場合を、谷地形を成す溪流とした。

抽出条件としては、条件[1]として縮尺 1/5000 図にて谷地形及び集水地形を呈する斜面、条件[2]として流域面積 1ha 以上の谷及び山壁（0 次谷）と、両方の条件を満たすものを溪流として抽出した。この条件[2]で 1ha 以上としたのは、国道などで一般的に行われる道路防災総点検で、流域面積 1ha 以上で、かつ上流の最急溪床勾配 10° 以上である溪流を調査対象としていることからである。

また、本研究においては、 $a > b$ の場合でも、集水地形を呈する場合は、山壁（0 次谷）として調査対象溪流として抽出した。その結果、約 1,000km の NEXCO 中国支社管内の高速道路沿線にある溪流は、4,037 溪流であった。

なお、抽出した溪流は、収集した法規制等の情報との関係性が分かるよう、対象溪流位置図として整備を行った。整備した溪流位置図の代表例を**図-2.4** に示す。

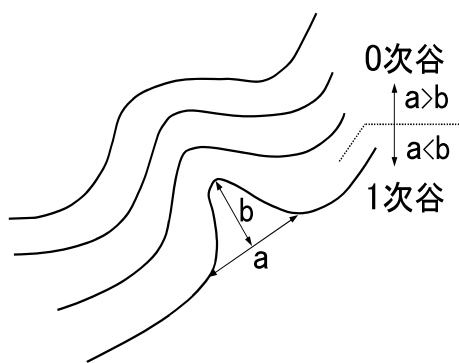


図-2.3 谷次の地形

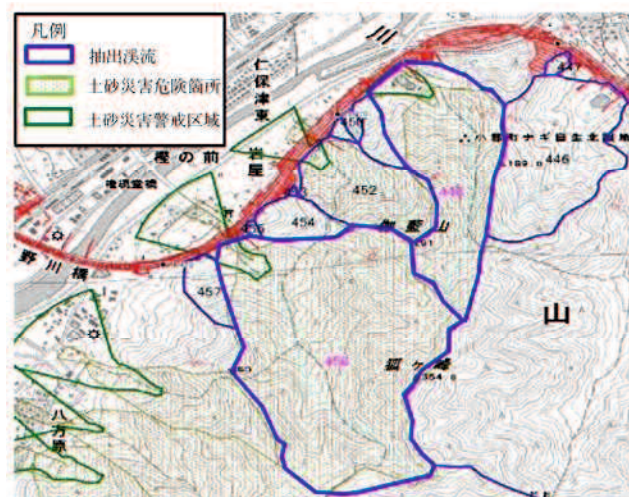


図-2.4 整備した対象溪流位置図

※山口県森林基本図に高速道路平面図を追記して掲載

b) 計画規模と計画基準点

計画の対象とする土石流の規模は、原則として、100年超過確率の降雨量によって発生する土石流を算出し、これを土石流対策施設の計画規模とした。計画基準点は、高速道路が溪流を横過する地点の直上流部に設けるものとし、想定される土石流の流下方向を現地の状況から判断したうえで、想定される土石流の流下方向と高速道路横過部との交点に設定した。

c) 谷次数

谷次数は、1/5000図を背景に全支渓を対象にホートン・ストレーラーの手法により谷次数区分を実施した。例を図-2.5に示す。ホートン・ストレーラーの手法とは、谷地形の最上流部から最初の合流点までを1次谷、1次谷と1次谷が合流すると2次谷、2次谷と2次谷が合流すると3次谷となるように谷の次数を増加させる手法である。但し、高次谷に低次谷が合流しても谷次数は変わらない(2次谷に1次谷が合流した場合は、下流は2次谷のままとなる)。また、0次谷は等高線の丸みが無くなる地点までとするものである。

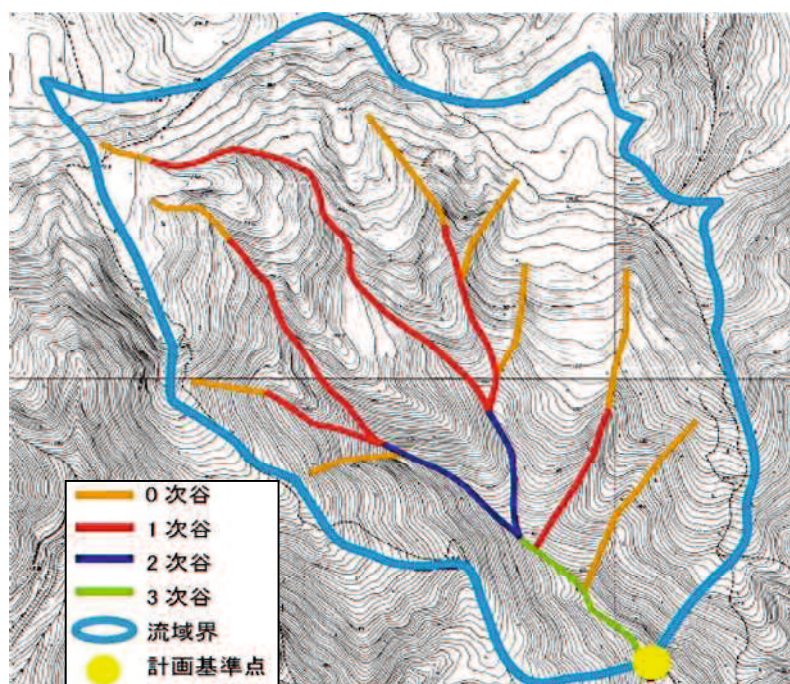


図-2.5 谷次数の区分例

2.2.3 対象溪流の基本データの整理

対象溪流の定量的評価を行うため、この 4,037 溪流を対象に溪流の基本諸元として、流域面積 (km²)、溪流長 (m)、最急溪床勾配 (°)、高速道路横過地点における溪床勾配 (°)、発生流域面積 (km²) を整理した。作業には、数値標高データ (以下、10mDEM と称する) 及び 1/5000 地形図を用い、計測については、GIS のデータで行った。主な基本データは表-2.1 のとおりである。

表-2.1 主な基本データ

項目	内容
流域面積 (ha)	抽出した対象溪流の流域界 GIS のデータから流域面積を取得した。
溪流長 (m)	抽出した対象溪流の全支流のうち最長流路を抽出し、その溪流長を GIS のデータから取得した。
最急溪床勾配 (°)	10mDEM の標高データから、対象溪流内の最急溪床勾配を計測・取得した。
高速道路横過地点における溪床勾配 (°)	10mDEM の標高データから、土石流の流下経路の高速道路との横過地点から上流 200m の勾配を計測した。
発生流域面積 (ha)	発生流域面積を計測するにあたり、溪床勾配を 10mDEM の標高データから取得し、溪床勾配 10°以上、15°以上の面積を GIS のデータとして作成し、そのデータから面積計測を行った。具体的には下記の手順によるものとし、取得状況を図-2.6 に示す。

- (手順 1) 10mDEM より作成した三次元地形モデルを用いて 10m コンターの等高線を作成する。
- (手順 2) 溪流線ラインを手順 1 で作成した等高線で分割する。
- (手順 3) 分割した溪流線の長さ L (m) 及び溪流線の上流端と下流端の標高差 H (m) を取得し、 $\tan\Theta = H/L$ で、溪床勾配 Θ を求める。
- (手順 4) 溪床勾配 15°以上の溪流線を緑色に、10°~15°を桃色に着色し、それぞれの線の下流部端より流域界を作成する。
- (手順 5) 手順 4 で作成した流域界の面積を計測する。

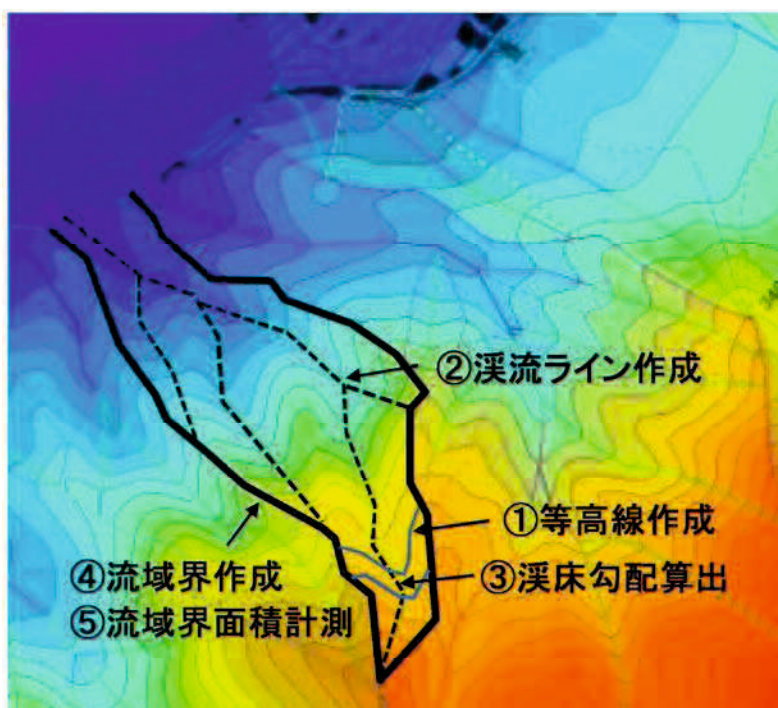


図-2.6 発生流域面積の取得状況

※国土地理院の基盤地図数値標高モデルに高速道路平面図を追記して掲載

2.2.4 計画流出土砂量の想定方法

計画流出土砂量は、砂防基準⁴⁾に準拠するものとし、計画流出土砂量は、主流路内（土砂量が最大になる流路で支流を含めない）の移動可能土砂量と計画規模の土石流によって運搬できる土砂量とを比較し、小さい方の値とした。

計画流出土砂量の算出のための諸条件は、本研究では、現地調査は行わず、既往資料による机上評価を行うため、土砂災害防止法に基づく基礎調査資料⁴⁾（以下、区域調書と称する）や各県より収集した土石流危険溪流カルテ⁵⁾（以下、カルテと称する）の値を用いることとした。

計画流出土砂量は、区域調書やカルテから谷次数毎の侵食幅と侵食深さを抽出し、その結果から、各県ごとに谷次数毎の侵食幅と侵食深さの平均値を算出した。カルテは、収集した資料のうち、高速道路沿線の溪流と重複する箇所のみを絞込み、それらの値を用いることとした。

また、計画流出土砂量を算出するにあたり、砂防基準とNEXCO基準では図-2.7のとおり算定方法に相違がある。砂防基準の場合、溪流内の全支流に存在する不安定土砂量を算定するが、NEXCO基準の場合、溪流流域内の主流路上に存在する不安定土砂量のみを算定することとなっている。NEXCO基準は、過去（手引きの制定された

H15以前)の災害で発生した流出土砂量(実績値)が、ほぼ、主流路から流出する土砂量(想定値)と同じであったことから、主流路のみを対象にしているものである。

しかし、昨今の局地的大雨や集中豪雨に起因する土石流災害は、主流路以外からの支流からの土砂流出が見られ、**図-2.8**に示すとおり平成21年7月21日の中国自動車道山口インターチェンジでの災害や同じく山口西部で発生した土石流災害箇所においても、同じ傾向であった。従って、本研究(評価)での、計画流出土砂量については、安全性を鑑み、砂防基準での計画流出土砂量を用いて行うこととした。

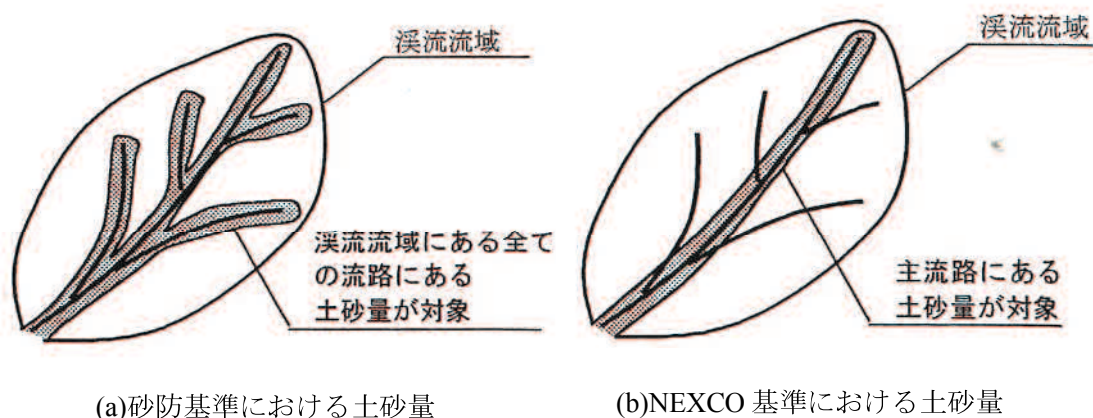


図-2.7 計画流出土砂量の算出概念図



図-2.8 H21.7.21 山口インターチェンジ付近の災害状況

2.2.5 高速道路横過形式の抽出・整理方法

土石流災害が発生した場合に、その流出土砂が高速道路へ与える影響度を把握するため、溪流の主流路と高速道路が交差する地点の道路横断構造（以下、横過形式と称する）の抽出・整理を行った。抽出には、高速道路の管理用図面（1/1000）を用い、表-2.2に示す①切土、②盛土、③橋梁、④カルバートの4つの横過形式に整理し、橋梁及びカルバートは、流下能力の算出を行って、高速道路への影響度を評価した。

表-2.2 横過形式の区分

横過形式	高速道路への影響度評価
切土	<ul style="list-style-type: none"> 切土の場合、流出した土砂が高速道路を直撃するため、影響度が極めて大きいと評価する。 溪床面と路面の比高差がない場合は、横過形式の区分を平坦する。この場合も、切土と同様に流出土砂が高速道路を直撃するため、影響度が極めて大きいと評価する。
盛土	<ul style="list-style-type: none"> 盛土ポケット容量を算出し、計画流出土砂量と盛土ポケット容量を比較し、影響度を評価する。
盛土+カルバートボックス	上記の盛土に加え、カルバートボックスが溪流出口に位置し、導流工等により確実に接続されている場合は、土石流ピーク流量と流下能力を比較し、影響度を評価する。
橋梁	流下能力を算出し、土石流のピーク流量と流下能力を比較し、影響度を評価する。

横過形式が、盛土構造の場合、図-2.9のとおり、高速道路本線盛土の上流側に土砂の堆積（捕捉）が可能な空間が存在する。この空間を盛土ポケットとみなし、盛土ポケット容量の算出を行った。なお、盛土ポケット容量は、以下の式-2.1により算出した。

ポケット容量 V (m^3)

$$= \text{区間幅} W \text{ (m)} \times \text{盛土高} H \text{ (m)} \times \text{ポケット長} L \text{ (m)} \times \text{断面形状係数} \alpha \quad (2.1)$$

ここで、各諸元は、以下のとおり求めている。

- a) 区間幅 W (m) : 流出した土砂が溜まると想定される高速道路横過部の縦断方向の長さを1/5000の地形図から読み取った。
- b) 高さ H (m) : 高速道路の横断図より盛土のり尻と路肩との比高差を読み取った。
- c) ポケット長 L (m) : 高速道路の路肩の高さと溪流（流域）が同じ高さになるまでの距離を算出した。
- d) 断面形状係数 α : 高速道路の横過部の形状は各々異なるため、断面形状を図-2.10の3パターンに区分し係数を与えた。各パターンの α の値は、パターン①を1、パターン②を1/2、パターン③を1/3とした。

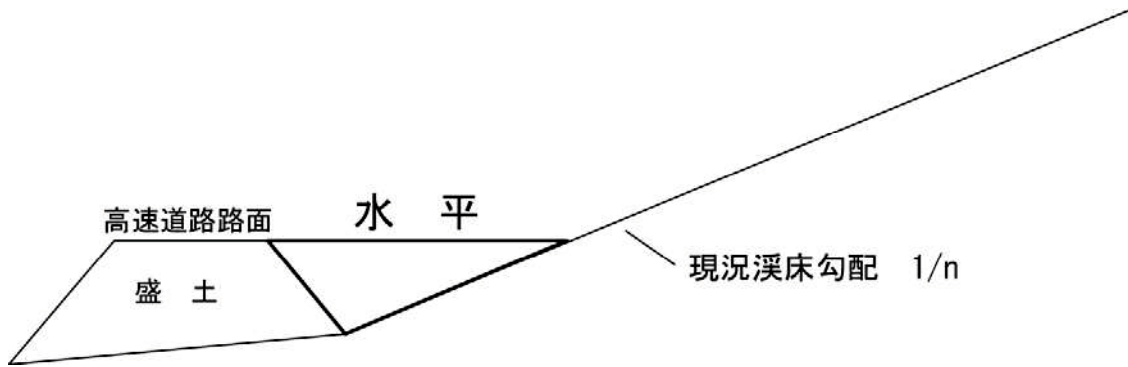


図-2.9 盛土ポケットのイメージ

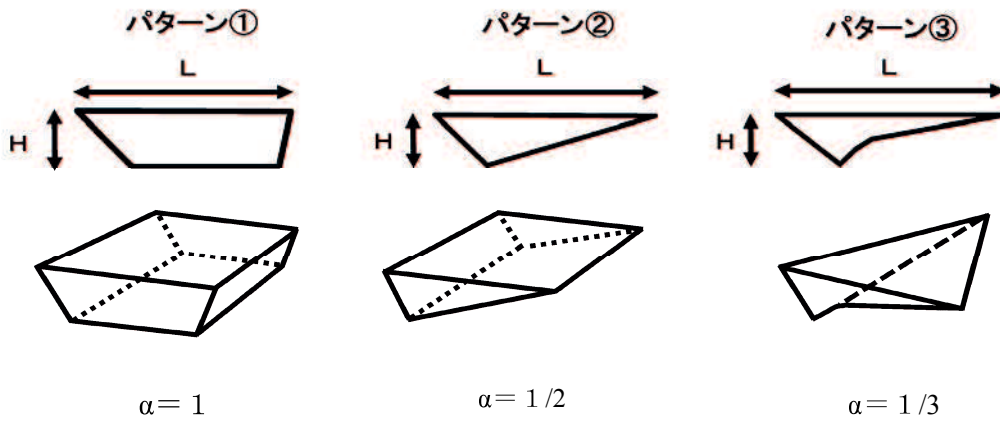


図-2.10 断面形状係数

流下能力は、マニング式による流下能力の算出を行った。この際、流下能力の算出は、東・中・西日本高速道路株の設計要領第一集土工保全編⁶⁾に準じ、満流流量に対して8割の流量を算出することとした。図-2.11、図-2-12に橋梁およびカルバートボックスの流下能力の確認方法を示す。

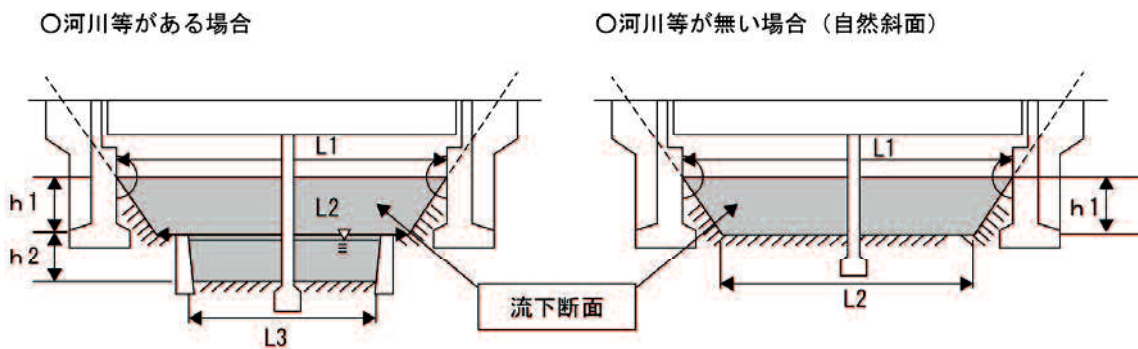
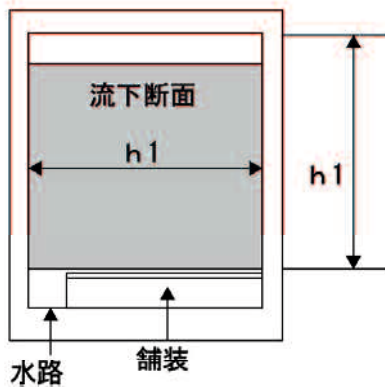


図-2.11 橋梁の流下能力の確認

①比較的小規模な水路
最大粒径が水路を通過しない（単断面形状）

▽道路面



②比較的規模の大きな水路（河川等）
最大粒径が水路を通過しない（複断面形状）

▽道路面

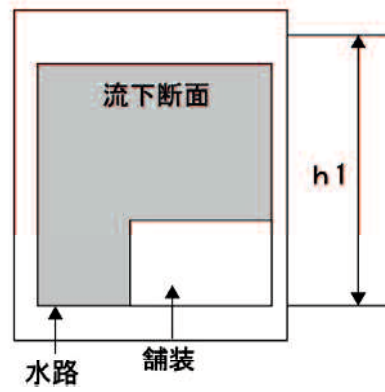


図-2.12 カルバートボックスの流下能力の確認

2.3 溪流危険度評価項目の抽出と評価基準

各県等から収集した膨大な資料と、過去、NEXCO中国支社で作成したGISベースマップと地質データベース、国土地理院から入手した10mDEM、砂防基準¹⁾、砂防指針²⁾、NEXCO基準³⁾等を参考に、NEXCOが管理する高速道路沿いの溪流について、高速道路（保全対象）の横過形式・溪流内の勾配・面積及び過去の地質別の災害履歴等を組み合わせて評価する新たな評価手法で溪流危険度評価を行った。土石流は、溪流の地形や地質の条件により発生頻度が異なると考えられる。また、高速道路と溪流の横過形式や高速道路の横過地点の溪床勾配によって被災のしやすさが変わってくる。そこで、本研究で対象とした中国地方の高速道路沿いの溪流に関する「溪流評価項目」と「評価基準」は、図-2.13の流れ図に準じ、溪流の特性（地形や地質等）と高速道路の構造諸元（横過形式等）に応じて、下記のとおり行った。各々の評価による結果は、表-2.3～2.4及び表-2.8に示す。

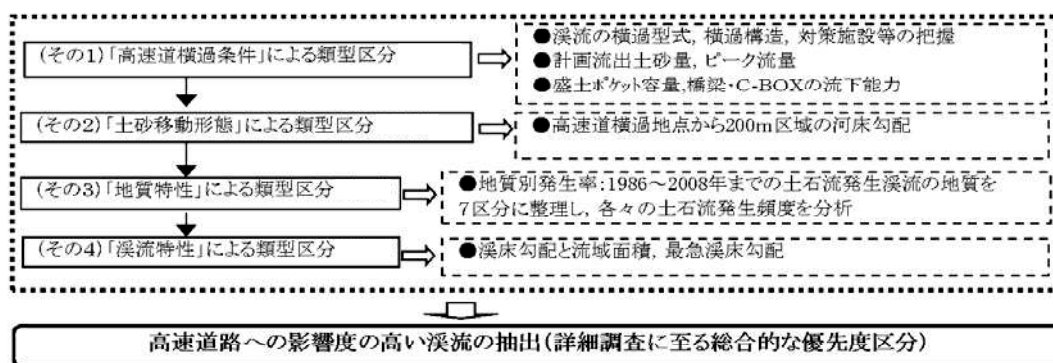


図-2.13 資料調査に基づく溪流危険度評価の流れ

2.3.1 高速道路横過条件による区分

図-2.14は、横過条件による評価のイメージ（盛土）を図示したものである。横過形式によって、捕捉あるいは流下タイプと氾濫タイプの条件を設定する。評価は、土石流発生時に、流出土砂が高速道路上に氾濫、堆積すると想定される場合、高速道路への影響度が大きく、反対に下流側へ流下もしくは、上流側で捕捉するのであれば影響度は小さいという観点で行った。

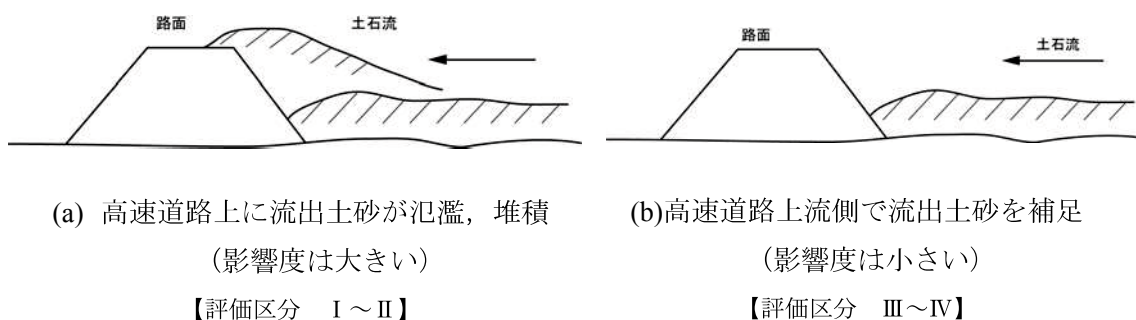


図-2.14 溪流評価（その1）の評価イメージ（盛土）

その上で、溪流と高速道路交差箇所における、「計画流出土砂量とポケット容量」、
「計画規模から算出される土石流のピーク流量と流下能力」とをそれぞれ比較を行い、
表-2.3 のとおり区分分けを行った。これにより、切土部で直撃を受ける溪流を含む
1,322 溪流を最も危険度の高い「特に影響が大きい」溪流と評価した。

表-2.3 評価項目と評価基準【溪流評価（その1）】（単位：溪流）

影響度	評価	区分	内訳
特に影響が大きい	ポケット容量が計画流出土砂量の50%以下あるいはピーク流量に対して流下能力が50%以下 ※横過形式が切土の場合を含む	I	1,322
影響が大きい	ポケット容量が計画流出土砂量の50%～100%あるいはピーク流量に対して流下能力が50%～100%	II	234
影響がある	ポケット容量が計画流出土砂量の100%～200%あるいはピーク流量に対して流下能力が100%～200%	III	298
ほとんどない	ポケット容量が計画流出土砂量の200%以上あるいはピーク流量に対して流下能力が200%以上	IV	1,371

2.3.2 土砂移動形態による区分

溪流の高速道路横過地点における溪床勾配（横過地点の上流側200mの平均勾配）は、図-2.15の算出方法に基づき算出し、表-2.4のとおり区分分けを行った。土石流発生時における土砂移動の形態は、溪床勾配により異なっており、砂防指針²⁾では、図-2.16に示すように溪床勾配をもとに溪流の区間を発生区間（溪床勾配15°以上）、流下区間（溪床勾配10°以上20°未満）、堆積区間（2°以上15°未満）、掃流区間（2°未満）にそれぞれ設定している。そこで、土石流が高速道路に到達するかどうかの指標

として，高速道路横過地点から上流側200m区間の平均溪床勾配を用いて，土砂移動形態による影響度区分を行うものとした．この結果，高速道路横過地点が発生区間及び流下区間に該当する2,413溪流を「特に影響が大きい」溪流と評価した．

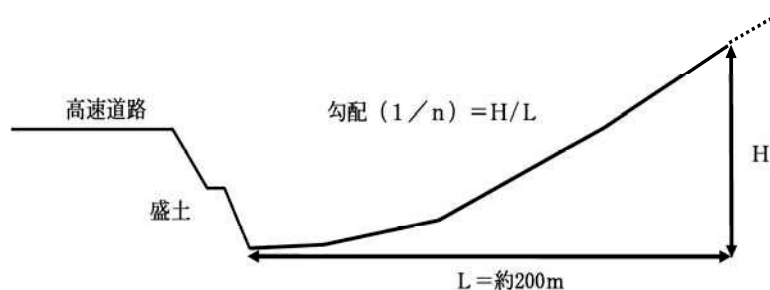


図-2.15 高速道路横過地点における溪床勾配取得例(盛土)

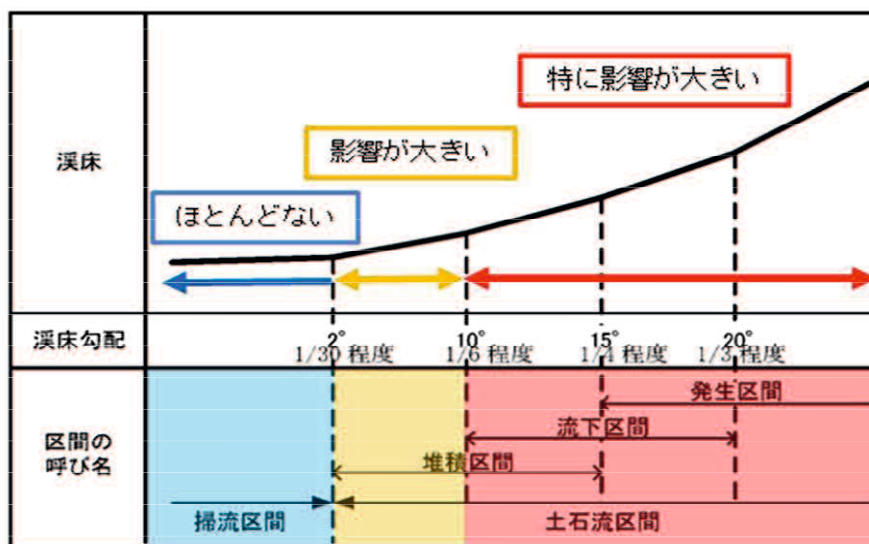


図-2.16 土砂移動形態の溪床勾配による目安 ²⁾に加筆

表-2.4 評価項目と評価基準【溪流評価（その2）】（単位：溪流）

影響度	高速道路横過地点の状況		区分	内訳
	土砂移動形態	横過地点における溪床勾配		
特に影響が大きい	発生区間	15°以上	I	2,413
	流下区間	10°以上15°未満		
影響が大きい	堆積区間	2°以上10°未満	II	1,463
ほとんどない	掃流区間	2°未満	III	161

2.3.3 地質特性による区分

既往文献⁷⁾及びNEXCO中国支社管内の災害発生状況にあわせて表-2.5のとおり4ランクに区分することとした。中国地方でも、NEXCO中国支社管内においても、ともに発生率の高い花崗岩類を最も危険な評価とし、同様に、ともに発生率の低い第四紀層を最も安全な評価とした。その他の地質の区分2と1の閾値については、NEXCO中国支社管内の土石流発生履歴の有無で判定した。この結果、1,728溪流を「特に影響が大きい」溪流と評価した。なお、地質特性による評価区分のプロセスについては、STEP1～3の過程を経て検討した。

表-2.5 評価項目と評価基準 【溪流評価（その3）】

影響区分	評価	対象地質	区分	区分内訳 (溪流数)	片岡ら 手法	中国支社 災害履歴
特に影響が大きい	発生率の高い地質	花崗岩類・土石流堆積物	3	1,728	最上位	最上位
影響が大きい	発生率の比較的高い地質	大山火山岩類・川合層・花崗閃緑岩・流紋岩類・関門層群・玖珂層群・安山岩類・同質火砕岩類・舞鶴層群・三郡変成岩類・古生層	2	1,691	2位～5位	有
影響がある	発生率の比較的低い地質	大山-青野火山岩類・三平山安山岩類・山砂利層・布志名層・大森層・久利層・備北層・福山層・宇部層群・岩脈類・周南層群・石英閃緑岩・下関亜層群・領家変成岩類・酸性凝灰岩類・豊浦層群・広野層群・美祢層群・厚保層群・夜久野複合岩類・塩基性岩類	1	615	2位～5位	無
ほとんどない	発生率の低い地質	沖積層・崖錐堆積物・段丘堆積物・西条層・都野津累層・砂丘堆積物・扇状地堆積物・ため池・貯水池・人口造成地	0	3	6位～7位	無

STEP1：近年の土石流発生事例と地質との関係

地質別の土石流の発生率について、片岡ら⁷⁾の手法により、砂防便覧による土石流発生件数を用いて全国的な地質分布面積当たりの土石流発生比が整理されている。

片岡ら⁷⁾の地質区分は砂防便覧(1979, 1983, 1987)より過去 15 年分の土石流による被害溪流の地質を整理したものからなる。

これを、今回災害の発生した平成21年以前のデータで見直すため、平成20年度版「砂防便覧」(社)全国治水砂防協会の「最近の土石流による被害」より、片岡ら⁷⁾の手法と同じ手法で、1986年から2006年までの土石流発生溪流数について、地質グループ(7区分)毎に抜粋・整理し、地質グループ毎の土石流発生頻度を分析し、各々の土石流災害頻度を整理した。分析結果は、表-2.6に示すとおりである。

STEP2：全国データから中国地方データに更新

STEP 1 で片岡ら⁷⁾の手法を用いて近年の発生比のデータに更新した結果(表-2.6)、更新前のデータと比較して極端な差はみられないが、変成岩の発生頻度が 1/3、花崗岩の発生頻度が 2/3 と減り、火山岩類の発生頻度が 1.5 倍となった。但し、片岡ら⁷⁾の手法により、評価した発生比のデータは、全国の土石流発生件数を示したものであるため、次に、中国地方における土石流発生件数に絞り込み算出した。全国の土石流発生件数を中国地方で発生した土石流に絞り込み、面積比率も、NEXCO 中国支社管内高速道路沿線の地質面積比率に変更し、各々の土石流発生率を推定し表-2.7 のとおり整理した。なお、表-2.7 に記載の中国支社管内の地質区分については表-2.8 に示す。

STEP3：NEXCO中国支社管内の災害履歴を整理

STEP2 で整理・算出した「中国地方での発生率」に加え、NEXCO 中国支社管内の災害が発生した地質を整理し評価に加えた。その結果、溪流評価(その3)「地質特性」による区分については、4 ランクとし、表-2.5 のとおりとなった。なお、この溪流評価(その3)を、中国地方以外的高速道路等に適用する場合は、各地域の地質分布状況や地質と災害発生率の関係を調査し、適用する地域の地質特性に適した区分を検討する必要がある。

表-2.6 地質別の土石流発生率について
 (片岡らの手法により 1986～2006 年の事例で整理したもの)

地質 (砂防便覧)		土石流発生 件数		岩石の 種類	岩石の 分布面 積比率 M	地質分布面 積あたり土 石流発生比		中国支社管 内地質区分 (表-2.8参 照)
		件 数	比率 N			N/M	順 位	
1	花崗岩	43	61.4%	花崗岩類	24.4%	2.52	1	21.22.25
2	その他深 成岩	0	0.0%	塩基性およ び超塩基性 貫入岩類	1.4%	0.00	6	20.37.39
3	火山噴出 岩	13	18.6%	火山岩類	12.5%	1.49	2	7.8.10.14.15. 23.24. 27.29. 35
4	変成岩	3	4.3%	広域変成岩 類	7.2%	0.60	5	28.38
5	古生層・ 中生層	4	5.7%	古生代・中 生代の堆積 岩類	6.9%	0.83	4	26.30.31.32. 33.34.36.40
6	第三紀層	7	10.0%	第三紀堆積 岩類	10.3%	0.97	3	9.11.12.13.1 6.17.18.19
7	第四紀層	0	0.0%	第四紀堆積 岩類	37.3%	0.00	6	1.2.3.4.5.6
合計		70	100.0 %		100.0 %	6.4		

表-2.7 地質別の土石流発生率について（中国地方データに絞り込み整理したもの）

地質 (砂防便覧)		土石流発生 件数		岩石の 種類	岩石の分布面 積比率 M	地質分布面積あ たり土石流発生 比	
		件数	比率 N			N/M	順位
1	花崗岩	138	18.8%	花崗岩類	10.4%	1.80	2
2	その他 深成岩	9	1.2%	塩基性お よび超塩 基性貫入 岩類	0.5%	2.46	1
3	火山 噴出岩	227	31.0%	火山岩類	28.1%	1.10	5
4	変成岩	36	4.9%	広域変成 岩類	3.8%	1.28	4
5	古生層・ 中生層	121	16.5%	古生代・ 中生代の 堆積岩類	21.4%	0.77	6
6	第三紀層	159	21.7%	第三紀堆 積岩類	14.4%	1.51	3
7	第四紀層	43	5.69%	第四紀堆 積岩類	21.4%	0.27	7
合計		733	100.0%		100.0%	9.20	

表-2.8 高速道路沿いの地質分類表（中国地方）

No	記号	地質区分名	No	記号	地質区分名
1	B	盛土	21	Gr	花崗岩類
2	al	沖積層	22	Gd	花崗閃緑岩
3	dt	崖錐堆積物	23	Rt	流紋岩類
4	tr	段丘堆積物	24	Sl	周南層群
5	df	土石流堆積物	25	Qd	石英閃緑岩
6	Sg	西条層	26	Ka	関門層群
7	Py	大山火山岩類	27	Sm	下関亜層群（関門層群）
8	Ab	大山-青野火山岩類	28	Rp	領家変成岩類
9	Ts	都野津累層	29	Rt	酸性凝灰岩類
10	An	三平山安山岩	30	Tu	豊浦層群
11	Yg	山砂利層	31	Hi	広野累層
12	Fm	布志名層	32	Ku	玖珂層群
13	Os	大森層(1)	33	Mn	美祢層群
14	Ad	大森層(2)	34	At	厚保層群
15	Rt	久利層	35	Ad	安山岩類・同質火砕岩類
16	Kw	川合層	36	Ma	舞鶴層群
17	Bi	備北層群	37	Ya	夜久野複合岩類
18	Fu	福山累層	38	Sp	三郡変成岩類
19	Us	宇部層群	39	Up	塩基性岩類
20	Dk	岩脈類	40	Pc	古生層

2.3.4 溪流特性による区分

溪流の「溪床勾配・発生流域面積」と「最急溪床勾配」を組み合わせ、表-2.9, 2.10のとおり評価した。この結果、1,112溪流を「特に影響が大きい」溪流と評価した。なお、各項目の判定区分は、道路防災総点検の安定度調査表¹⁾を参考とした。これは、土石流の発生要因に関わる地形の評価指標として、安定度調査表に「溪流の特性」で評価する項目があるためである。このうち、「斜面の特性」については、不安定な土砂を伴う土工事の有無や新しい亀裂・滑落など現地調査を必要とする評価区分が多く存在するため、本評価については、「溪流の特性」のみを評価指標に用いることとした。なお、発生流域面積を5haで区分したのは、面積が大きいほど流出してくる土砂量も多くなるという観点から5ha以上の危険ランクを上げたものである。

表-2.9 溪流特性の評価区分項目

要因	評価区分	区分
発生流域面積 (溪床勾配と流域面積)	溪床勾配15°以上の面積（発生流域面積）が5ha以上	A1
	溪床勾配15°以上の面積（発生流域面積）が5ha未満	A2
	溪床勾配が10°以上15°未満，発生流域面積=0ha	B
	溪床勾配が10°未満，発生流域面積=0ha	C
最急溪床勾配 (A1・A2を対象)	40°以上	2
	30°以上40°未満	1
	15°以上30°未満	0

※上記の組合せ



表-2.10 評価項目と評価基準 【溪流評価（その4）】

区分	影響区分	評価区分	評価	内訳 (溪流)
A	特に影響が大きい	非常に危険な溪流	A1-2・A1-1・A2-2	1,112
B	影響が大きい	危険な溪流	A1-0・A2-1・A2-0	1,573
C	ほとんどない	危険性の少ない溪流	B・C	540

資料調査における溪流危険度評価手法において、4段階の評価項目のうち、「その2（土砂移動形態の溪床勾配）」と「その4（溪流特性の最急溪床勾配）」では、溪床勾配を用いた評価を行っている。「その2（土砂移動形態の溪床勾配）」と「その4（溪流特性の最急溪床勾配）」で用いているそれぞれの溪床勾配は、別ものであるが、勾配に着目したものである。そのことから、それぞれの関係性（相関）について整理を行った。

図-2.17に、「その2（土砂移動形態の溪流床勾配）」と「その4（溪流特性の最急溪床勾配）」の関係性を示すが、相関は確認されなかった。評価項目の「その2（土砂移動形態の溪流床勾配）」は、高速道路横過地点から上流200m区間の平均溪床勾配を示しており、高速道路への到達具合や高速道路への影響度を評価している。それに対し、「その4（溪流特性の最急溪床勾配）」は、溪流内の最も急な勾配を示しており、土石流の発生し易さを評価しているため、同じ勾配でも別の評価となっていることが確認できた。

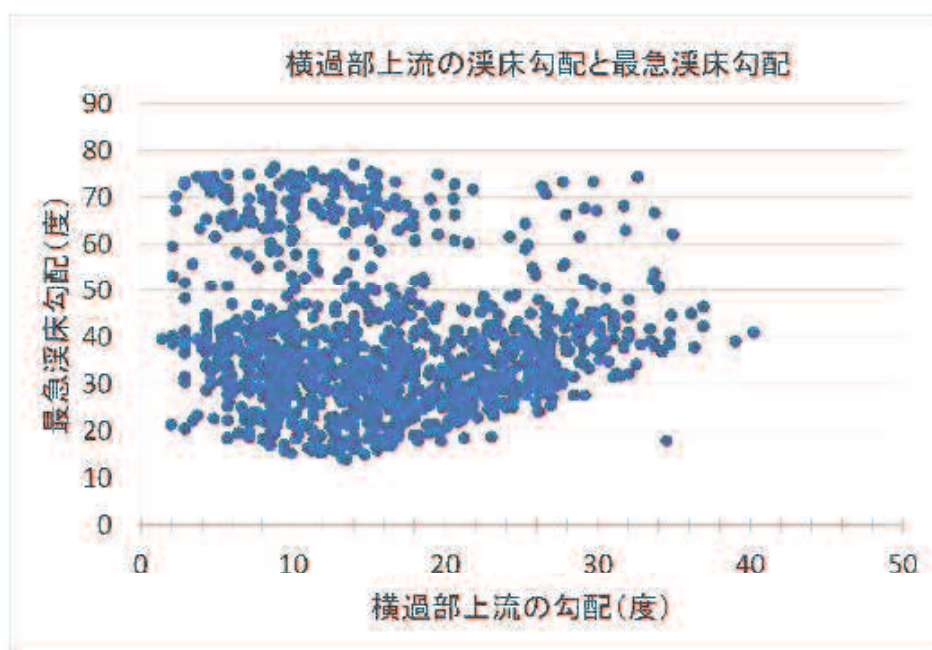


図-2.17 評価項目その2（土砂移動形態の溪床勾配）と評価項目その4（溪流特性の最急溪床勾配）の関係

2.3.5 溪流危険度評価とカテゴリー区分

溪流評価（その1）～（その4）による区分に対し、表-2.11、2.12の各ランクの組合せ（パターン）を作成した後、表-2.13・2.14に示すカテゴリー区分（5区分）の観点で整理を行った。また、資料調査に基づく溪流危険度評価のフローを図-2.18に示す。

表-2.11 各評価区分の組み合わせパターン図 (1/2)

パターン 区分	一次評価				組み合わせ 評価	カテゴリー 区分
	一次評価(その1) 横過条件	一次評価(その2) 横過勾配	一次評価(その3) 地質条件	一次評価(その4) 溪流特性		
1	I	I	3	A	I I 3A	①
2	I	I	3	B	I I 3B	
3	I	I	2	A	I I 2A	
4	I	I	2	B	I I 2B	
5	I	II	3	A	I II 3A	
6	I	II	3	B	I II 3B	
7	I	II	2	A	I II 2A	
8	I	II	2	B	I II 2B	
9	II	I	3	A	II I 3A	
10	II	I	3	B	II I 3B	
11	II	I	2	A	II I 2A	
12	II	I	2	B	II I 2B	
13	II	II	3	A	II II 3A	
14	II	II	3	B	II II 3B	
15	II	II	2	A	II II 2A	
16	II	II	2	B	II II 2B	
17	I	I	3	C	I I 3C	
18	I	I	2	C	I I 2C	
19	I	I	1	A	I I 1A	
20	I	I	1	B	I I 1B	
21	I	I	1	C	I I 1C	
22	I	I	0	A	I I 0A	
23	I	I	0	B	I I 0B	
24	I	I	0	C	I I 0C	
25	I	II	3	C	I II 3C	
26	I	II	2	C	I II 2C	
27	I	II	1	A	I II 1A	
28	I	II	1	B	I II 1B	
29	I	II	1	C	I II 1C	
30	I	II	0	A	I II 0A	
31	I	II	0	B	I II 0B	
32	I	II	0	C	I II 0C	
33	II	I	3	C	II I 3C	
34	II	I	2	C	II I 2C	
35	II	I	1	A	II I 1A	
36	II	I	1	B	II I 1B	
37	II	I	1	C	II I 1C	
38	II	I	0	A	II I 0A	
39	II	I	0	B	II I 0B	
40	II	I	0	C	II I 0C	
41	II	II	3	C	II II 3C	
42	II	II	2	C	II II 2C	
43	II	II	1	A	II II 1A	
44	II	II	1	B	II II 1B	
45	II	II	1	C	II II 1C	
46	II	II	0	A	II II 0A	
47	II	II	0	B	II II 0B	
48	II	II	0	C	II II 0C	
49	I	III	3	A	I III 3A	
50	I	III	3	B	I III 3B	
51	I	III	3	C	I III 3C	
52	I	III	2	A	I III 2A	
53	I	III	2	B	I III 2B	
54	I	III	2	C	I III 2C	
55	I	III	1	A	I III 1A	
56	I	III	1	B	I III 1B	
57	I	III	1	C	I III 1C	
58	I	III	0	A	I III 0A	
59	I	III	0	B	I III 0B	
60	I	III	0	C	I III 0C	
61	II	III	3	A	II III 3A	
62	II	III	3	B	II III 3B	
63	II	III	3	C	II III 3C	
64	II	III	2	A	II III 2A	
65	II	III	2	B	II III 2B	
66	II	III	2	C	II III 2C	
67	II	III	1	A	II III 1A	
68	II	III	1	B	II III 1B	
69	II	III	1	C	II III 1C	
70	II	III	0	A	II III 0A	
71	II	III	0	B	II III 0B	
72	II	III	0	C	II III 0C	

表-2.12 各評価区分の組み合わせパターン図 (2/2)

パターン 区分	一次評価				組み合わせ 評価	カテゴリー 区分
	一次評価(その1) 横過条件	一次評価(その2) 横過勾配	一次評価(その3) 地質条件	一次評価(その4) 溪流特性		
73	Ⅲ	I	3	A	Ⅲ I 3A	⑤
74	Ⅲ	I	3	B	Ⅲ I 3B	
75	Ⅲ	I	3	C	Ⅲ I 3C	
76	Ⅲ	I	2	A	Ⅲ I 2A	
77	Ⅲ	I	2	B	Ⅲ I 2B	
78	Ⅲ	I	2	C	Ⅲ I 2C	
79	Ⅲ	I	1	A	Ⅲ I 1A	
80	Ⅲ	I	1	B	Ⅲ I 1B	
81	Ⅲ	I	1	C	Ⅲ I 1C	
82	Ⅲ	I	0	A	Ⅲ I 0A	
83	Ⅲ	I	0	B	Ⅲ I 0B	
84	Ⅲ	I	0	C	Ⅲ I 0C	
85	Ⅲ	Ⅱ	3	A	Ⅲ Ⅱ 3A	
86	Ⅲ	Ⅱ	3	B	Ⅲ Ⅱ 3B	
87	Ⅲ	Ⅱ	3	C	Ⅲ Ⅱ 3C	
88	Ⅲ	Ⅱ	2	A	Ⅲ Ⅱ 2A	
89	Ⅲ	Ⅱ	2	B	Ⅲ Ⅱ 2B	
90	Ⅲ	Ⅱ	2	C	Ⅲ Ⅱ 2C	
91	Ⅲ	Ⅱ	1	A	Ⅲ Ⅱ 1A	
92	Ⅲ	Ⅱ	1	B	Ⅲ Ⅱ 1B	
93	Ⅲ	Ⅱ	1	C	Ⅲ Ⅱ 1C	
94	Ⅲ	Ⅱ	0	A	Ⅲ Ⅱ 0A	
95	Ⅲ	Ⅱ	0	B	Ⅲ Ⅱ 0B	
96	Ⅲ	Ⅱ	0	C	Ⅲ Ⅱ 0C	
97	Ⅲ	Ⅲ	3	A	Ⅲ Ⅲ 3A	
98	Ⅲ	Ⅲ	3	B	Ⅲ Ⅲ 3B	
99	Ⅲ	Ⅲ	3	C	Ⅲ Ⅲ 3C	
100	Ⅲ	Ⅲ	2	A	Ⅲ Ⅲ 2A	
101	Ⅲ	Ⅲ	2	B	Ⅲ Ⅲ 2B	
102	Ⅲ	Ⅲ	2	C	Ⅲ Ⅲ 2C	
103	Ⅲ	Ⅲ	1	A	Ⅲ Ⅲ 1A	
104	Ⅲ	Ⅲ	1	B	Ⅲ Ⅲ 1B	
105	Ⅲ	Ⅲ	1	C	Ⅲ Ⅲ 1C	
106	Ⅲ	Ⅲ	0	A	Ⅲ Ⅲ 0A	
107	Ⅲ	Ⅲ	0	B	Ⅲ Ⅲ 0B	
108	Ⅲ	Ⅲ	0	C	Ⅲ Ⅲ 0C	
109	Ⅳ	I	3	A	Ⅳ I 3A	
110	Ⅳ	I	3	B	Ⅳ I 3B	
111	Ⅳ	I	3	C	Ⅳ I 3C	
112	Ⅳ	I	2	A	Ⅳ I 2A	
113	Ⅳ	I	2	B	Ⅳ I 2B	
114	Ⅳ	I	2	C	Ⅳ I 2C	
115	Ⅳ	I	1	A	Ⅳ I 1A	
116	Ⅳ	I	1	B	Ⅳ I 1B	
117	Ⅳ	I	1	C	Ⅳ I 1C	
118	Ⅳ	I	0	A	Ⅳ I 0A	
119	Ⅳ	I	0	B	Ⅳ I 0B	
120	Ⅳ	I	0	C	Ⅳ I 0C	
121	Ⅳ	Ⅱ	3	A	Ⅳ Ⅱ 3A	
122	Ⅳ	Ⅱ	3	B	Ⅳ Ⅱ 3B	
123	Ⅳ	Ⅱ	3	C	Ⅳ Ⅱ 3C	
124	Ⅳ	Ⅱ	2	A	Ⅳ Ⅱ 2A	
125	Ⅳ	Ⅱ	2	B	Ⅳ Ⅱ 2B	
126	Ⅳ	Ⅱ	2	C	Ⅳ Ⅱ 2C	
127	Ⅳ	Ⅱ	1	A	Ⅳ Ⅱ 1A	
128	Ⅳ	Ⅱ	1	B	Ⅳ Ⅱ 1B	
129	Ⅳ	Ⅱ	1	C	Ⅳ Ⅱ 1C	
130	Ⅳ	Ⅱ	0	A	Ⅳ Ⅱ 0A	
131	Ⅳ	Ⅱ	0	B	Ⅳ Ⅱ 0B	
132	Ⅳ	Ⅱ	0	C	Ⅳ Ⅱ 0C	
133	Ⅳ	Ⅲ	3	A	Ⅳ Ⅲ 3A	
134	Ⅳ	Ⅲ	3	B	Ⅳ Ⅲ 3B	
135	Ⅳ	Ⅲ	3	C	Ⅳ Ⅲ 3C	
136	Ⅳ	Ⅲ	2	A	Ⅳ Ⅲ 2A	
137	Ⅳ	Ⅲ	2	B	Ⅳ Ⅲ 2B	
138	Ⅳ	Ⅲ	2	C	Ⅳ Ⅲ 2C	
139	Ⅳ	Ⅲ	1	A	Ⅳ Ⅲ 1A	
140	Ⅳ	Ⅲ	1	B	Ⅳ Ⅲ 1B	
141	Ⅳ	Ⅲ	1	C	Ⅳ Ⅲ 1C	
142	Ⅳ	Ⅲ	0	A	Ⅳ Ⅲ 0A	
143	Ⅳ	Ⅲ	0	B	Ⅳ Ⅲ 0B	
144	Ⅳ	Ⅲ	0	C	Ⅳ Ⅲ 0C	

表-2.13 カテゴリー区分表

カテゴリー区分	高速道路横過条件	溪床勾配条件	地質特性	溪流特性	高速道路への影響度
カテゴリー①	I	I	3	A	高い  低い
カテゴリー②	I	I	3	B	
	I	I	2	A, B	
	I	II	3, 2	A, B	
	II	I, II	3, 2	A, B	
カテゴリー③	I, II	I, II	3, 2, 1, 0	C	
	I, II	I, II	1, 0	A, B	
カテゴリー④	I, II	III	1, 0	A, B	
カテゴリー⑤	III	I, II, III	3, 2, 1, 0	A, B, C	
	IV	I, II, III	3, 2, 1, 1	A, B, C	

表-2.14 カテゴリー区分結果

カテゴリー区分	観点	溪流数(率)	
カテゴリー①	溪流評価の全ての項目において最上位ランクの評価	84	(2%)
カテゴリー②	溪流評価の全ての項目において、影響区分が「影響が大きい」以上の評価項目(カテゴリー①を除く)	1, 102	(27%)
カテゴリー③	溪流評価(その1, その2)において、影響区分が「影響が大きい」以上で、溪流評価(その3, その4)で「影響がある」以下	336	(8%)
カテゴリー④	溪流評価(その2)において、ランクIIIの評価	34	(1%)
カテゴリー⑤	溪流評価(その1)において、ランクIII, IVの評価	1, 669	(42%)
斜面	1ha未満, もしくは1ha以上且つ200m未満の溪流	812	(20%)
		4, 037	(100%)

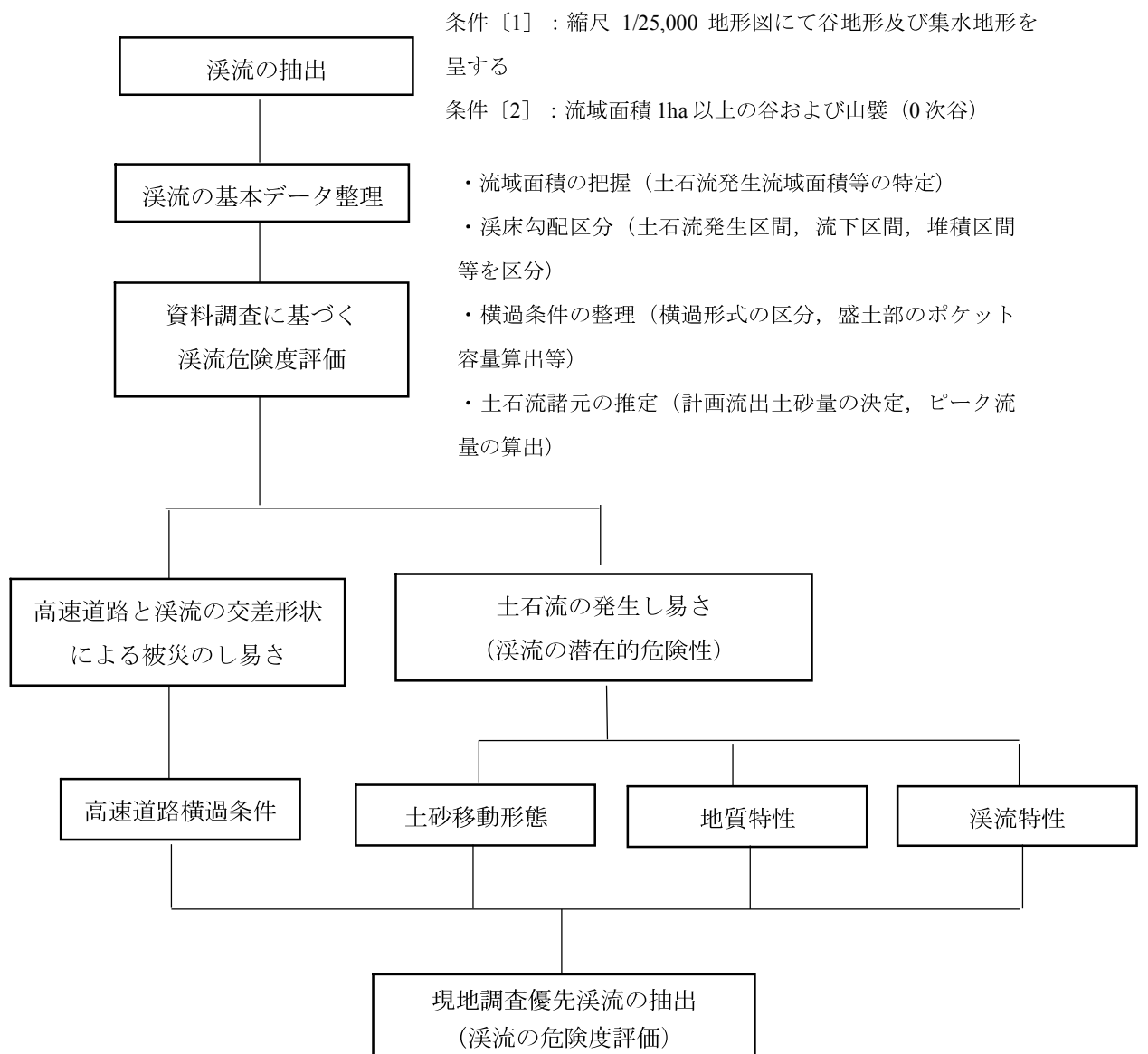


図-2.18 資料調査に基づく渓流危険度評価フロー

2.4 溪流危険度評価項目と過去の土石流災害との関連性

提案する資料調査に基づく溪流危険度評価の妥当性を確認するため、カテゴリ一区分後、NEXCO 中国支社管内における過去の「自然斜面・土石流災害」の発生箇所と今回の溪流調査判定結果との関連性について整理した。

高速道路において、土石流災害により被災した事例は過去にも多くあり、高速道路における土石流災害事例の特徴についても数多く報告されている。星野¹⁰⁾は、土石流に混入していた大量の流木がカルバートの閉塞を引き起こしたり、災害復旧の障害になったりするケースが多く、流木によるカルバートの閉塞については、盛土区間に多く見られることを報告している。同様に、三木ら¹⁰⁾は、切土区間において、斜面上方から本線へ流入する事例が多いことや土砂のみではなく、流木を伴うケースが多いこと、また、溪床勾配が、15°以上の急勾配溪流が約 6 割を占めるという特徴について報告している。併せて、流出土砂量（計画流出土砂量）を算定する際、砂防基準の場合、溪流内の全支流（主流路＋支流路）に存在する不安定土砂量を算定するが、高速道路における過去の災害で流出してきた土砂量（実績値）が、ほぼ、溪流内の主流路から流出する土砂量（想定値）と同じであったことを報告しており、この考え方に基づき、NEXCO 基準では、流出土砂量の算定の際には、溪流流域内の主流路上に存在する不安定土砂量のみを算定することとなっている。

2.4.1 過去の土石流災害の地形的特徴等の分析

土石流災害事例は、表-2.15 に示すとおり、中国地方の高速道路沿線の溪流で土石流が発生し、高速道路へ影響を与えた事例について、過去の災害報告書や論文から 13 事例を収集した。なお、この災害事例は高速道路が影響を受けた事例のみである。NEXCO 西日本中国支社管内での災害事例から情報収集しており、高速道路まで影響が及んでいない土石流災害は含まれていない。

表-2.15 土砂災害一覽表

NO	災害箇所 上段：路線 名 下段：IC 間	KP () 内 発生年月 日	道路 構造	地質 区分	上段： 連続雨 量 下段： 時間最 大	最急 溪床 勾配 (°)	横過 地点 勾配 (°)	溪流 流域 面積 (ha)	溪流 長 (m)
1	山陽道 西条～吉和	260.3KP (H5.7.28)	TN 坑 口	花崗 岩類	285mm 35mm	17.8	15.9	4.82	604
2	山陽道 西条～吉和	261.5KP (H5.7.28)	TN 坑 口	花崗 岩類	271.5m m 25mm	39.3	35.8	1.08	158
3	山陽道 防府西～山 口南	411.1KP (H5.8.2)	TN 坑 口	花崗 岩類	199mm 55mm	16.0	16.2	6.87	713
4	米子道 蒜山～江 府	37.7KP (H5.9.4)	TN 坑 口	安山 岩 類・ 同質 火砕 岩類	不明	31.5	10.0	7.78	898
5	米子道 久世～湯原	14.8KP (H9.8.5)	切土	花崗 岩類	103.5m m 25mm	44.2	21.6	2.33	268
6	中国道 六日市～鹿 野	412.2KP (H11.9.24)	切土	流紋 岩類	178mm 95mm	35.2	25.1	3.16	309
7	中国道 六日市～鹿 野	412.4KP (H11.9.24)	切土	流紋 岩類	178mm 95mm	42.8	24.2	4.03	464
8	中国道 六日市～鹿 野	412.5KP (H11.9.24)	切土	流紋 岩類	178mm 95mm	36.5	27.3	2.27	339
9	中国道 六日市～鹿 野	412.5KP (H11.9.24)	切土	流紋 岩類	178mm 95mm	41.3	26.6	2.59	350
10	中国道 六日市～鹿 野	412.6KP (H11.9.24)	切土	流紋 岩類	178mm 95mm	42.3	35.5	1.52	269
11	中国道 六日市～鹿 野	412.7KP (H11.9.24)	切土	流紋 岩類	178mm 95mm	40.5	26.2	9.66	1164
12	中国道 徳地～山口	467.1KP (H21.7.2 1)	切土	花崗 岩類	269mm 89mm	39.3	4.3	22.15	3020
13	中国道 徳地～山口	467.4KP (H21.7.2 1)	盛土	花崗 岩類	269, 89	38.2	2.9	43.76	3877

(1)高速道路を通過する地点の地形の分析

事例より，高速道路における土砂災害は，**図-2.19**のように，溪流出口が道路よりも高い位置にある場合に被災事例が多く，**図-2.20**に示すとおり，切土が 8 事例(62%)，トンネル坑口が 4 事例(31%)を占め，盛土については，1 事例のみであった．高速道路は，山間部を通過していることが多いため，トンネル坑口や切土部にある溪流において土石流が発生した場合，高速道路に直接土砂が流れ込む事例が多い．なお，これらは，三木ら¹¹⁾と，同様の傾向を示している．

但し，盛土区間でも発生しているため，切土やトンネル坑口区間だけ対策を実施するというのは，道路管理の観点からは危険であることも分かる．



図-2.19 溪流出口が高速道路より高い被災事例

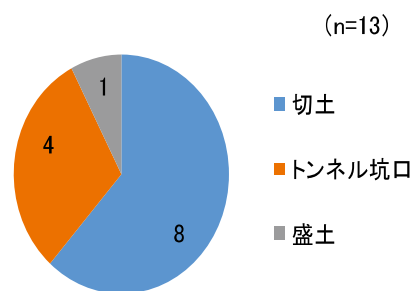


図-2.20 地形別災害発生件数

(2)地質に関する分析

地質に関する分析について，**図-2.21**に地質別の発生件数を示す．中国地方の高速道路通過地点の地質には，40の地質が存在するが，花崗岩類が6事例(46%)，流紋岩類6事例(46%)と2つの地質に集中して発生している傾向があることが分かった．特に中国地方の高速道路は，地質の分布をみても花崗岩が全体に占める割合が高く，土石流災害に限らず，切土のり面の災害も高速道路では多く発生しているため，注意が必要な地質であり，平成21年7月の山口での土石流災害も**図-2.22**のように花崗岩の地域で発生している．

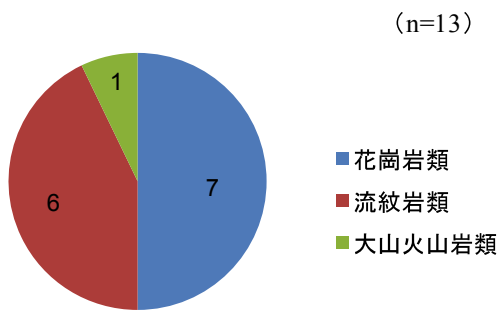


図-2.21 地質別災害発生件数

図-2.22 山口 IC で発生した土石流災害の状況

(3)勾配に関する分析

勾配に関する分析として、溪流内の最急溪床勾配と高速道路と溪流が交差する地点の勾配に着目して分析を行った。これは、三木ら¹¹⁾の報告によると溪床勾配が、 15° 以上の急勾配溪流になると災害が発生する傾向があるとのことから分析したものである。図-2.23より、 15° 未満では発生しておらず、 $35^\circ\sim 40^\circ$ 未満が5事例(38%)、 40° 以上が同じく5事例(38%)であり、高速道路における土砂災害は、最急溪床勾配が、 35° を超えるような急な勾配に多いことが分かる。続いて、高速道路と溪流が交差する地点の勾配に着目して分析を行った。これは、砂防基準⁴⁾では、図-2.24に示すように溪床勾配をもとに溪流の区間を発生区間(溪床勾配 15° 以上)、流下区間(溪床勾配 10° 以上 20° 未満)、堆積区間(2° 以上 15° 未満)、掃流区間(2° 未満)にそれぞれ目安が示されているため、分析をおこなうこととした。図-2.25より、 2° 未満では発生しておらず、発生区間および流下区間の 10° 以上に9事例(70%)があり、高速道路における土砂災害は、高速道路と溪流が交差する地点の勾配が、 10° を超えるような急な勾配に多いことが分かる。

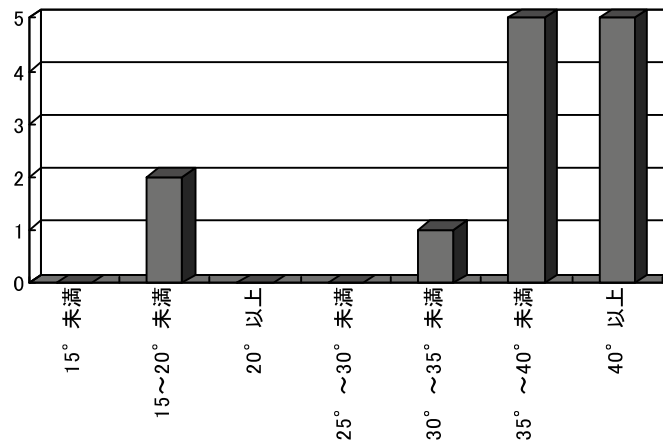


図-2.23 最急溪床勾配別災害発生件数

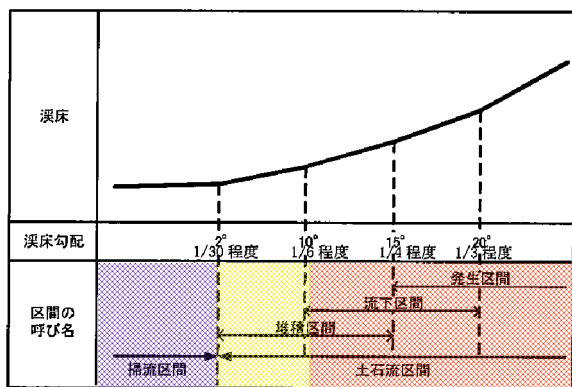


図-2.24 土砂移動形態の溪床勾配による目安

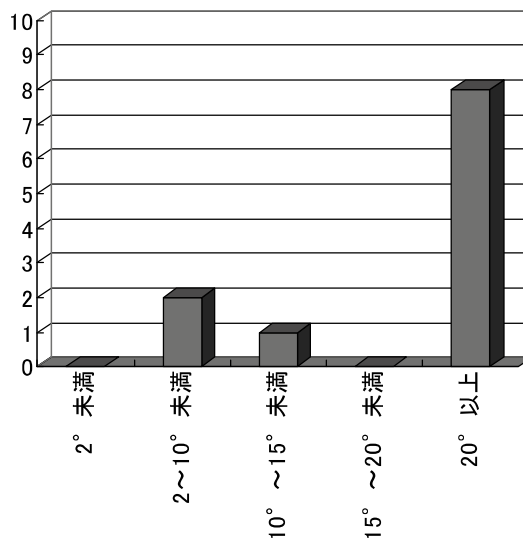


図-2.25 高速道路横過地点の勾配別災害発生件数

(4)発生流域面積と溪流長に関する分析

発生流域面積と溪流長の分析を行った。発生流域面積（溪床勾配 15°以上の流域面積）については、面積が大きいほど流出してくる土砂量が多いことが想定され、高速道路への影響も大きいのではないかと考え分析した。その結果、図-2.26 に示すとおり、0.15k m²未満に 11 事例(85%)、0.15 k m²以上 0.50 k m²未満に 2 事例(15%)であり、発生流域面積の比較的小さい溪流においても災害が発生していることが分かった。また、図-2.27 に発生流域面積と溪流長の関係を示す。溪流長が 1.0km 以下で多くの災害が発生しているが、発生流域面積との関係性はあまり見られなかった。

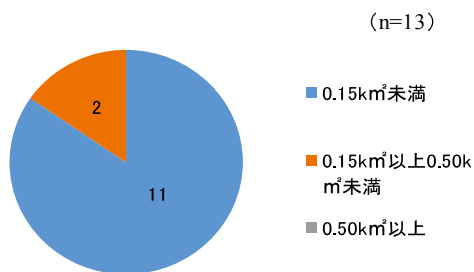


図-2.26 発生流域面積別災害発生件数

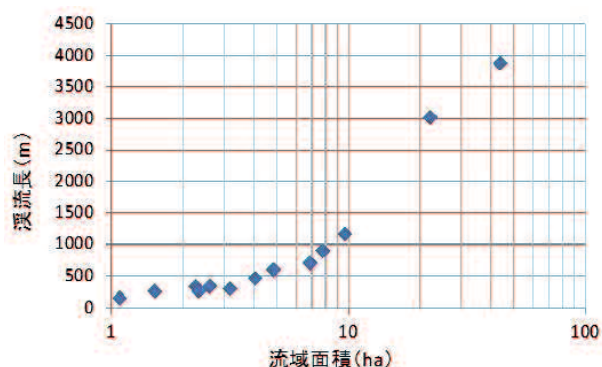


図-2.27 溪流長と発生流域面積の関係

(5)過去の土石流災害の地形的特徴等の分析のまとめ

高速道路における土石流災害事例を分析した結果、土石流災害の傾向は、以下のとおりであった。

- ①トンネル坑口部や切土部など、溪流出口が道路の標高よりも高い位置にある場合に生じやすい。
- ②地質が、花崗岩類及び流紋岩類の溪流は発生しやすい。
- ③最急溪床勾配が、 35° を超えるような急な勾配を有する溪流で発生しやすい。
- ④高速道路と交差する地点の溪床勾配が、 10° 以上 20° 未満の流下区間および 15° 以上の発生区間に該当する場合に発生しやすい。
- ⑤発生流域面積は、 0.15k m^2 未満の溪流で多く発生しているが、 0.22k m^2 や 0.44k m^2 など面積の大きな溪流でも発生している。

2.4.2 過去の土石流災害との比較による妥当性検証

資料調査に基づく溪流危険度評価によるカテゴリー区分後、NEXCO中国支社管内における過去の「自然斜面・土石流災害」の発生箇所と本研究の危険度評価結果との関連性について整理した。過去の災害履歴については、溪流評価（その3）地質特性に用いた災害履歴の時期に合わせて、昭和61年～平成21年の災害までの約25年間の災害記録より、「自然斜面・土石流災害」に該当するものを抽出し、溪流以外の斜面及び発生場所の特定できなかった箇所を除く13溪流について、比較を行った。なお、この災害履歴は高速道路が影響を受けた事例のみである。

比較の結果、表-2.16に示すとおり、カテゴリー①に該当する溪流が1災害、カテゴリー②に該当する溪流が12災害であった。今回、既往災害箇所について、資料調査に基づく溪流危険度評価を行ったが、カテゴリー②以上に全てが該当する結果となった。よって、カテゴリー②以上に該当する溪流については、局地的大雨や集中豪雨での異常降雨の際には、土石流災害の発生の可能性があり、高速道路へ影響を与える可能性がある溪流と考えられ、詳細現地調査の優先度の高い溪流とした。

このことから、資料調査に基づく溪流危険度評価に用いた条件及び特性は、現地詳細調査箇所の抽出及び優先度を把握することに対して、妥当であったことが確認できた。なお、比較を行った災害の代表例を図-2.28、2-29及び表-2.17、2-18に示す。

表-2.16 カテゴリー区分と災害履歴

カテゴリー区分	観点	溪流数(率)		災害履歴
①	溪流評価の全ての項目において最上位ランクの評価	84	(2%)	1
②	溪流評価の全ての項目において、影響区分が「影響が大きい」以上の評価項目(カテゴリ①を除く)	1, 102	(27%)	12
③	溪流評価(その1, その2)において、影響区分が「影響が大きい」以上で、机上評価(その3, その4)で「影響がある」以下	336	(8%)	0
④	溪流評価(その2)において、ランク□の評価	34	(1%)	0
⑤	溪流評価(その1)において、ランク□, □の評価	1, 669	(42%)	0
斜面	1ha未満, もしくは1ha以上且つ200m未満の溪流	812	(20%)	—
		4, 037	(100%)	

表-2.17 既往災害箇所と資料調査に基づく溪流危険度評価の 카테고리区分 (例 1)

路線名	山陽自動車道(防府西 IC~山口南 IC)		
発生日	1993/8/2	被災土量	2,000 m ³
カテゴリー区分	②		
評価(その 1)	切土	評価(その 2)	発生区間 16.2°
評価(その 3)	花崗岩	評価(その 4)	発生流域面積:3.15ha 最急溪床勾配:16.0°

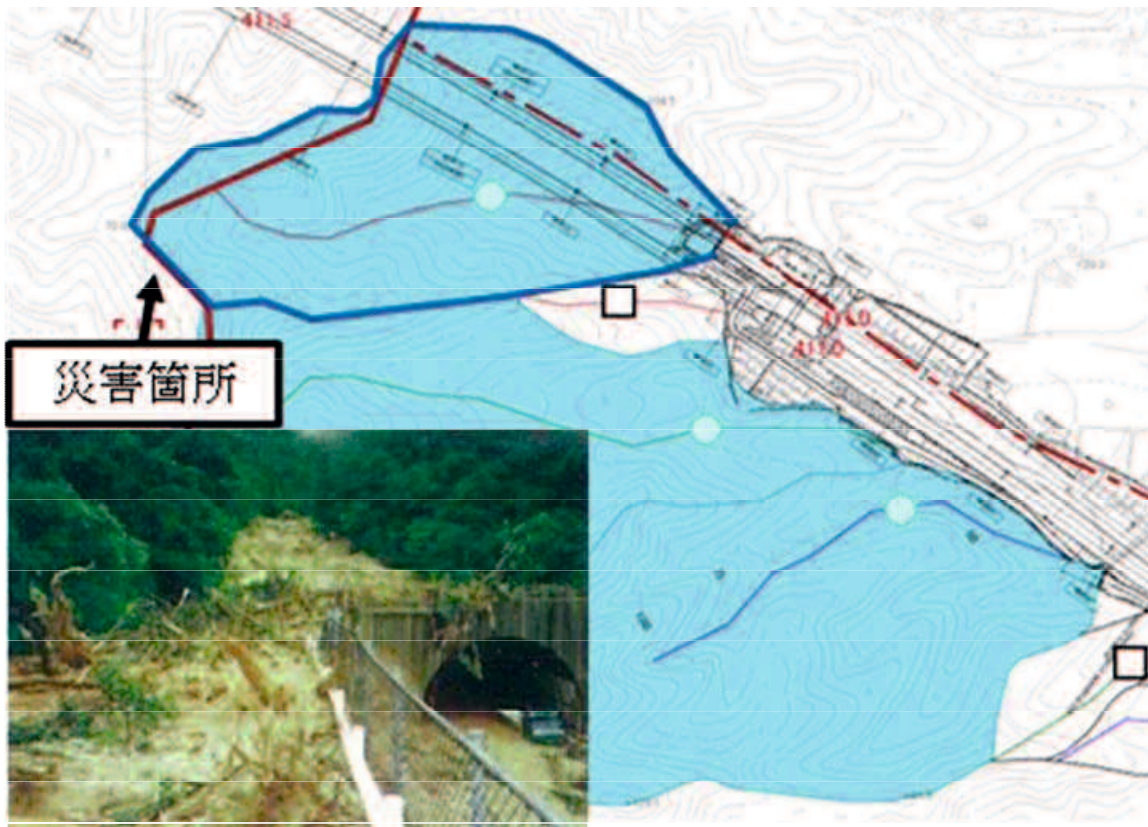


図-2.28 既往災害箇所と資料調査に基づく溪流危険度評価の 카테고리区分 (例 1)

表-2.18 既往災害箇所と資料調査に基づく溪流危険度評価の 카테고리区分 (例2)

路線名	中国自動車道(徳地 IC~山口 IC)		
発生日	2009/7/21	被災土量	1,200 m ³
カテゴリー区分	②		
評価 (その1)	切土	評価 (その2)	堆積区間 6.9°
評価 (その3)	花崗岩	評価 (その4)	発生流域面積:13.79ha 最急溪床勾配:39.3°

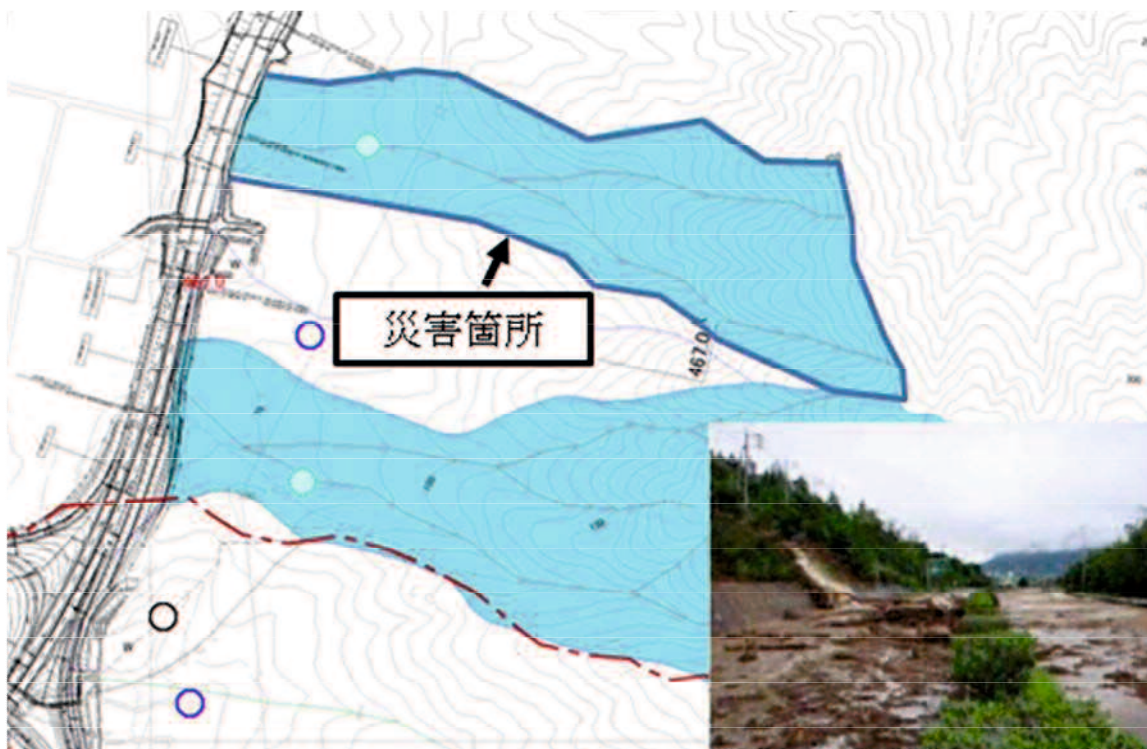


図-2.29 既往災害箇所と資料調査に基づく溪流危険度評価の 카테고리区分 (例2)

2.5 まとめ

本章では、現地詳細調査の優先度を設定することが可能な、資料調査に基づく溪流危険度評価を検討した。この溪流危険度評価は、砂防指針²⁾に基づいて構築され、資料調査は、高速道路と溪流の交差形状による被災のし易さや地形や地質による土石流の発生し易さに着目し検討した結果、高速道路の横過形式や高速道路付近の土砂移動形態、地質区分、溪流特性により類型区分されるものである。この検討結果から得られた結論は、次のとおりである。

- 1) NEXCO 中国支社が管理する約 1,000km の高速道路沿線にある 4,037 溪流に対して、現地調査を効率的に進めるため、既往の調査資料に基づいて、高速道路への影響度を評価し現地調査の優先度付けを行う資料調査手法を検討した。土石流は、溪流の地形や地質の条件により発生頻度が異なると考えられる。また、高速道路と溪流の横過形式や高速道路の横過地点の溪床勾配によって被災のしやすさが変わってくる。このことから、資料調査は、「地形や地質による土石流の発生し易さ」や「高速道路と溪流の交差形状による被災のし易さ」に着目し検討した。
- 2) 評価項目は、「その 1：高速道路と溪流の交差条件」「その 2：土砂移動形態」「その 3：地質特性」「その 4：溪床勾配と発生流域面積」の 4 つの素因による評価とした。各評価の組合せにより、5 段階の危険度に分類することが可能となった。
- 3) 資料調査に基づく危険溪流評価に基づく評価により、カテゴリー①～⑤に分類し、過去の災害履歴との関連性について整理した結果、NEXCO 中国支社管内の災害記録資料より、溪流の場所が照合できた 13 溪流については、全て上位カテゴリーの①②に該当する結果となった。
このことから、提案した資料調査に基づく溪流危険度評価は、中国地方の高速道路沿線の溪流を対象とした現地詳細調査箇所の優先度設定において、一定の妥当性があることが示された。
- 4) よって、カテゴリー①②に該当する溪流については、局地的大雨や集中豪雨での異常降雨の際には、土石流災害の可能性があり、高速道路へ影響を与える可能性がある溪流と考えられ、現地調査を行う必要のある溪流とした。この評価手法を 4,037 溪流に対して実施した結果、カテゴリー①②に分類された 1,186 溪流を現地調査を行う必要のある溪流として抽出した。
- 5) 表-2.19 に、資料調査に基づく危険溪流評価項目の関係性を評価の観点から整理した。本研究では、資料調査における溪流危険度評価手法の「その 1」から「その

4) の、評価の重みは同じとした。現段階では、いずれかの評価が危険度評価に与える影響が大きいのかまでは整理できなかったことから、評価は一律にしている。重み付けに関しては、今後の課題と考えている。

表-2.19 資料調査における危険度評価項目

評価項目	観点	ランク分け	現地調査優先溪流の抽出
(その1) 高速道路横過条件	土石流発生時に、流出土砂が高速道路上に氾濫、堆積すると想定される場合、高速道路への影響度が大きい。	4 ランク	各評価項目でランクの高い組合せのものほど危険度が高い溪流として、現地調査を優先的に実施
(その2) 溪床勾配条件	高速道路横過部の溪床勾配がより急なほど高速道路への影響度が大きい。	3 ランク	
(その3) 地質特性	土石流の発生頻度の高い地質ほど高速道路への影響度が大きい	4 ランク	
(その4) 溪流特性（最急溪床勾配，発生流域面積）	土石流が発生しやすい素因（特性）を有するほうが高速道路への影響度が大きい	3 ランク	

第2章の参考文献

- 1) 国土交通省河川局：河川砂防技術基準（計画編），2004.
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説書，平成15年11月.
- 3) 西日本高速道路㈱：土石流対策の手引き，2003.
- 4) 建設省河川局砂防部砂防課：土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領（案），1999.
- 5) 建設省河川局砂防部砂防課：土石流危険渓流カルテ作成要領（案），1999.
- 6) 西日本高速道路㈱：設計要領第一集土工保全編，2017.
- 7) 片岡順：土石流の発生及び規模の予測に関する研究，文部省科学重点領域研究「自然災害の予測と防災力」研究成果，pp54，1990.
- 8) 財団法人道路保全技術センター：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等），2007.
- 9) 星野和彦，高速道路における土石流災害対策，基礎工，Vol.35,No.11,pp30-33,2007
- 10) 三木洋一，万膳英彦，高速道路における土石流対策，基礎工，Vol.32,No.9,pp56-61,2004

第 3 章

第3章 現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価

3.1 はじめに

中国地方の高速道路沿線には 4,037 溪流があり，全溪流に対して資料調査に基づく溪流危険度評価を行った．その結果，危険度が高く，現地詳細調査が必要と判断した 1,186 溪流の現地詳細調査を 4 年間に渡り実施した結果について述べる．ここで，資料調査に基づく溪流危険度評価で危険度が高く，現地詳細調査が必要と判断した 1,186 溪流に対し，実際に現地詳細調査を行った溪流数が 1,106 溪流と 80 溪流少なくなったのは，現地詳細調査を行う前段に実施した谷出口の事前踏査において，谷出口から高速道路横過地点までの地形を確認した結果，明らかに高速道路への影響がない溪流や明瞭な谷地形を有していない溪流については，現地詳細調査の対象外としたためである．**図-3.1** に横過部上流勾配が緩く，溪流内の土砂が高速道路まで到達する可能性は低いと判断した溪流について示す．また，**図-3.2** に，明瞭な谷地形（集水地形）をしていない場合の溪流について示す．このように明瞭な谷地形をしていない場合，該当する土砂移動現象は土石流というよりも崖崩れに分類すると考えられることから，今回の現地詳細調査では対象外と判断した．



図-3.1 高速道路まで土砂が到達する可能性の低い場合



図-3.2 明瞭な谷地形を有しない場合

3.2 現地詳細調査の方法

資料調査同様に現地詳細調査においても、各種諸元の考え方や算出方法については、砂防基本計画策定指針¹⁾や砂防基準²⁾および西日本高速道路㈱の土石流対策の手引き³⁾(以下、NEXCO基準と称する)によるものとした。現地詳細調査の主な調査事項は、「流出土砂量・土石流諸元の精度向上のための溪流断面調査」「流出流木諸元の確認」「既往対策施設の把握及び効果量の算出」「保全対象の把握(高速道路上下流の人家等)」「高速道路横通過地点の確認」とした。現地詳細調査で確認した主な調査項目は表-3.1、図-3.3のとおりである。

表-3.1 現地詳細調査の主な調査項目

(1)計画流出土砂量調査	
(1)-1 計画流出土砂量・土石流諸元の精度向上	
溪床断面調査	土石流発生時に想定される侵食深および侵食幅を確認
(1)-2 谷次数ごとの単位土砂量の確認	
礫径調査	最大粒径および平均粒径の確認
(1)-3 溪流の荒廃状況等に係わる情報	
	新しい亀裂・滑落崖の有無の確認
	比較的規模が大きい崩壊履歴の有無の確認
(2)既存施設調査	
既存施設調査	対策施設の種類、位置、諸元等の確認
(3)高速道路横過状況の確認・横過形式の確認	
	盛土ポケット容量の算定
	流下能力・余裕高・余裕比の算定
(4)流出流木諸元	
流木サンプリング調査	計画流出流木量の算出
(5)保全対象の確認・土石流氾濫区域の設定	
保全対象の確認	公共的建物、災害時要援護者関連施設等の確認



(1) 計画流出土砂量調査・礫径調査



(2) 既存施設調査



(3) 高速道路横過状況の確認
・横過形式の確認



(4) 流出流木諸元



(5) 保全対象の確認・土石流氾濫
区域の設定

図-3.3 現地詳細調査の主な調査項目

3.3 現地詳細調査結果

3.3.1 現地詳細調査結果の整理および評価

資料調査および現地詳細調査の両調査結果の差の把握および現地詳細調査にて新たに見えてくる情報を明確にし、資料調査に基づく溪流危険度評価の妥当性確認や現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価に必要な項目について表-3.2の項目で、整理・評価した。また、調査結果は、溪流調書A～Dは、NEXCO基準、安定度調査表は、道路防災総点検の安定度調査表を参考とし、その他の調書は本研究の独自調書として、表-3.3の溪流調書として取りまとめた。

表-3.2 現地詳細調査結果の整理・評価項目

NO	整理・評価項目	資料調査	現地詳細調査
1	対象溪流抽出	既存図面を用いて抽出	谷地形及び流路・谷出口を確認
2	高速道路横過条件の確認	既存図(1/5000や1/1000)を用いて横過条件の確認およびポケット容量・流下能力を算出	実際の横過条件を確認し、カルバート等の閉塞条件を確認
3	流出土砂量・土石流諸元の精度向上	各県より収集した土砂災害危険箇所カルテの値から算出	溪流毎の不安定土砂量を把握
4	流出流木諸元	評価していない	流出流木諸元・最大礫径等を等を確認し、カルバートボックスや高架下の閉塞状況を確認
5	対策施設の効果	各県より収集した土石流災害危険箇所カルテに記載のある施設及びNEXCO管理用図面で確認できる施設について有無を整理	既往砂防施設、治山施設等を確認し、効果量を評価
6	保全対象の確認	調査していない	保全人家戸数等を確認

表-3.3 現地詳細調査結果の整理・評価項目

番号	溪流調書	主な記載内容
①	溪流調書 様式 A	位置図(溪流全域図)、路線図(横過部の構造)
②	溪流調書 様式 B	高速道路および溪流諸元、土石流諸元、対策施設諸元、横過構造諸元
③	溪流調書 様式 C	現地の状況及び対応方針
④	溪流調書 様式 D	現地写真及びコメント
⑤	溪流調書 様式 E	保全対象等の状況
⑥	溪流調書 様式 F (別添資料 様式 F)	土砂量調査結果 (土砂量調査断面およびスケッチ)
⑦	溪流調書 様式 G	流木量調査結果
⑧	溪流調書 様式 H	高速道路への影響評価
⑨	調査結果一覧表	現地調査結果の一覧
⑩	安定度調査表(土石流)	溪流の危険度評価

3.3.2 高速道路横過条件の確認

資料調査では、1/5000 図および 1/1000 図より、流路・谷出口および高速道路横過部の確認を行い横過条件を把握した（図-3.4）。

現地詳細調査では、資料調査結果を基に実際の横過条件を確認し、高速道路への影響評価を行った。中でも、カルバートボックスの評価については資料調査から大きく評価を改めた。



図-3.4 現地詳細調査による高速道路横過条件の確認

3.3.3 カルバートボックスの評価

(1)資料調査でのカルバートボックスの考え方

資料調査では、高速道路の溪流部の横過形式を表-3.4 のように区分し、横過構造が盛土の場合は、盛土のポケット容量を算出し、横過構造が橋梁もしくは、カルバートボックスの場合は流下能力を算出したうえで、盛土のポケット容量と計画流出土砂量、土石流のピーク流量と流下能力をそれぞれ比較し、資料調査に基づく溪流危険度評価（その1）「高速道路横過条件による類型区分」を行った。資料調査でのカルバ

ートボックスの横過形式については、土石流の流路位置及び地形状況から判断することとした。その例を次に示す。図-3.5のようにカルバートボックス上流に流路工が設置されていたり、図-3.6のように沢地形のため確実にカルバートボックスに流入する状況の場合のみ、横過形式をカルバートボックスと区分し、土石流を流すことができるかどうか流下能力との比較を行うこととした。反対に、図-3.7のように流域内にカルバートボックスが存在するが、流路位置及び地形的に土石流がカルバートボックスへ直接流入しない状況（流路とカルバートボックスに距離がある）についてはカルバートボックスとして区分せず、横過形式を盛土とした。なお、資料調査では、全4,037溪流のうち97溪流をカルバートボックスと区分した。カルバートボックスが溪流出口に位置し、導流工等により確実に接続されている場合は、土石流ピーク流量と流下能力を比較し、影響度を評価することとした（流下能力がない場合は盛土ポケット容量で評価する）。資料調査で、カルバートボックスと判断された97溪流のうち、カテゴリーⅠ・Ⅱに区分されるものが29溪流あり、そのうち、現地詳細調査の対象になるのが21溪流となった。流木や礫の流入による閉塞については、資料調査による危険度評価は困難である。そのため、資料調査では評価の対象外とし、現地詳細調査での対応を図ることとしていた。

表-3.4 横過形式の区分

横過形式	高速道路への影響度評価
切土	<ul style="list-style-type: none"> ・切土の場合、流出した土砂が高速道路を直撃するため、影響度が極めて大きいと評価する。 ・溪床面と路面の比高差がない場合は、横過形式の区分を平坦する。この場合も、切土と同様に流出土砂が高速道路を直撃するため、影響度が極めて大きいと評価する。
盛土	<ul style="list-style-type: none"> ・盛土ポケット容量を算出し、計画流出土砂量と盛土ポケット容量を比較し、影響度を評価する。
盛土+カルバートボックス	上記の盛土に加え、カルバートボックスが溪流出口に位置し、導流工等により確実に接続されている場合は、土石流ピーク流量と流下能力を比較し、影響度を評価する。
橋梁	流下能力を算出し、土石流のピーク流量と流下能力を比較し、影響度を評価する。

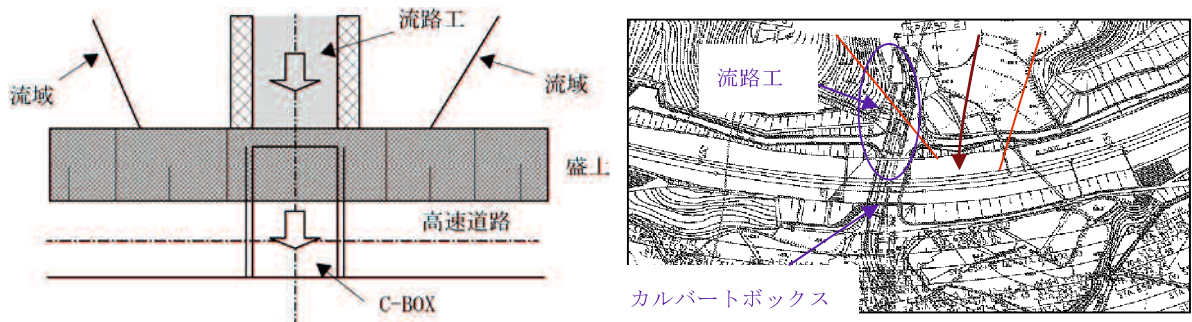


図-3.5 多段落差工や流路工により沢がカルバートボックスに直接流入する場合

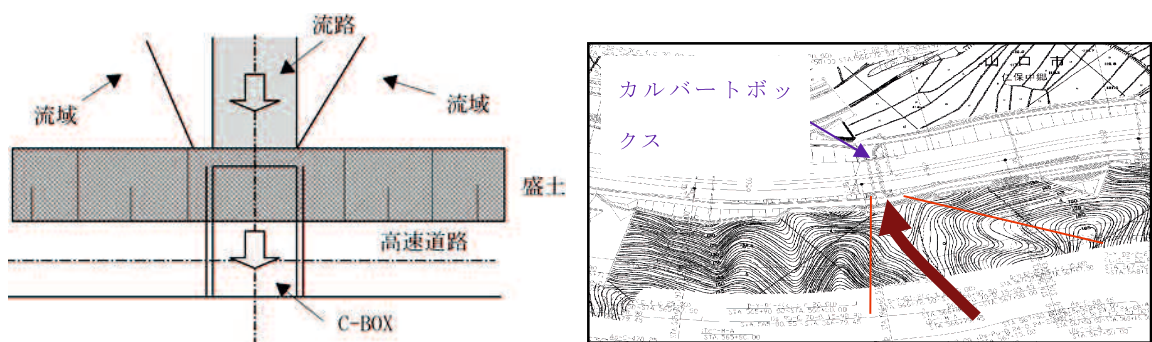


図-3.6 沢がカルバートボックスに流入する場合

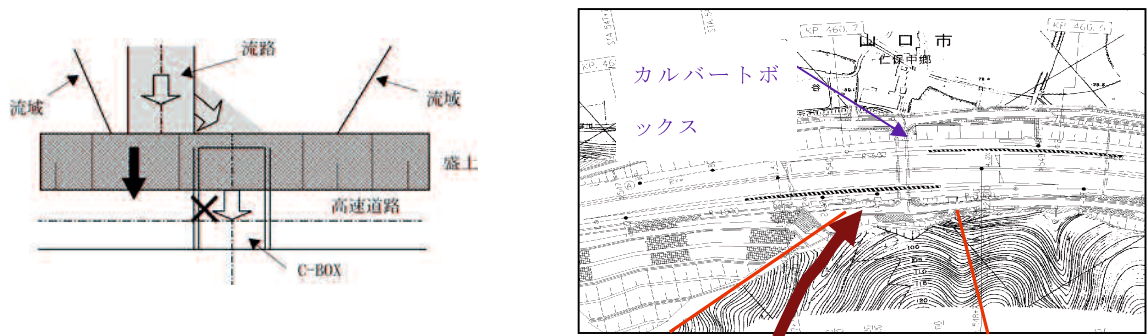


図-3.7 流域内にカルバートボックスがあるが、流路に距離がある場合

(2) 現地調査でのカルバートボックスの考え方

資料調査では、勾配で谷出口をカルバートボックスが直線上に位置する等、流下してきた土石流が確実にカルバートボックスに流れ込む構造の箇所は、横過条件をカルバートボックスとして流下能力を評価したが、それ以外の箇所では、カルバートボッ

クスとは評価せず横過条件を盛土として整理していた。

現地詳細調査では、谷出口とカルバートボックスの位置関係を確認し、谷出口とは直線ではなくとも、側道の勾配などからカルバートボックスに明らかに流下能力を評価できると判断した溪流については、横過条件を盛土からカルバートボックスに変更した。

現地詳細調査後、資料調査から横過条件を変更した 252 溪流のうち 77 溪流については、カルバートボックスの流下能力を評価することにより高速道路路面への影響がなくなることが分かった。現地詳細調査においてカルバートボックスと谷出口の位置を把握し流下能力を適切に評価することで、高速道路への影響評価結果が大きく異なってくるため、現地詳細調査におけるカルバートボックスの評価は、重要な要素であるといえる。また、資料調査では横過条件について、既往図面の精度で可能な限り判断したが、現地詳細調査時に流路方向が図面が異なる場合もあった。このことから、現地詳細調査の重要性が伺える。

(3)現地詳細調査でのカルバートボックスの評価

溪流内からの流出してきた流木が原因となりカルバートボックスが閉塞してしまうケースも考えられる。実際に、近年、流木によるカルバートボックスの閉塞が高速道路では確認されている。NEXCO 基準にも高速道路の閉塞事象は流木によるものが多いとある。図-3.8 のとおり、平成 21 年 7 月 21 日に発生した中国自動車道山口インターチェンジの土石流災害でもこの事象は見られた。また、図-3.9 に示すとおり、H29.7 九州北部豪雨での大分自動車道杷木 IC 付近の災害でも、カルバートの入口（谷側）で閉塞する閉塞する事象が見られた。この際、カルバートの閉塞具合について確認したが、流木は、カルバートの閉塞は入口側（谷側）で留まっており、カルバート内では閉塞していないことが確認された。

但し、土石流として流れてくる中には、巨礫が混在することは可能性としてあることから、本研究では、現地詳細調査における高速道路への影響評価の際には、流木および礫を対象によるカルバートボックスの閉塞の可能性の有無について表-3.5 および図-3.10 の内容で評価を行った。その結果、横過形式が、盛土+カルバートボックスの溪流は、270 溪流であった。そのうち、カルバートボックス評価①土石流ピーク流量を安全に流しうる溪流は、172 溪流(64%)あった。次に、カルバートボックス評価②土石流等(最大礫径)を安全に流しうる溪流は、260 溪流(96%)であった。なお、カルバートの閉塞の確認については、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）および同解説書。国土交通省国土技術施策総合研究所（平成 19 年 11 月）を準用した。

今回、流木および礫に関して閉塞の確認を行ったが、溪流内の荒廃状況は、評価には考慮していない。現地調査時に「溪流調書 様式 C（現地状況および対応方針）」

に調査者のコメントとして残すこととした。なお、砂防指針では、「倒木、伐採、溪床に堆積している流木で、伐木、溶剤の流出等人為の加わったものは発生流木量には含めないものとする」とされている。このことから、調査対象溪流内の倒木のほとんどが間伐によるもので人為的な倒木が主である場合、倒木を見込まないものとしている。これらも踏まえて、今後の研究で、荒廃状況をどう取り扱うかについては、検討していきたいと考えている。



図-3.8 流木の流出状況（中国道 山口インターチェンジ（平成 21 年 7 月 21 日））



カルバート入口側（谷側）



カルバート出口側

図-3.9 カルバートボックスの閉塞状況（H29.7 九州北部豪雨）

表-3.5 カルバートボックスの評価の内容

① 土石流のピーク流量を安全に流しうるか	
カルバートボックス（および橋梁）の流下能力と土石流ピーク流量の比較	
カルバートボックスの流下能力 \geq 土石流ピーク流量	・ ・ 土石流は安全に流下
カルバートボックスの流下能力 $<$ 土石流ピーク流量	・ ・ カルバートボックスの閉塞
② 土石流等（最大礫径）を安全に流しうるか	
カルバートボックスの幅と最大礫径との比較	
カルバートボックスの幅 $\geq 1.5 \times$ 最大礫径	・ ・ 土石流は安全に流下
カルバートボックスの幅 $< 1.5 \times$ 最大礫径	・ ・ カルバートボックスの閉塞
③ 流木を安全に流しうるか	
カルバートボックスの幅と最大流木長との比較	
カルバートボックスの幅 $\geq 1/2 \times$ 最大流木長	・ ・ 土石流は安全に流下
カルバートボックスの幅 $< 1/2 \times$ 最大流木長	・ ・ カルバートボックスの閉塞

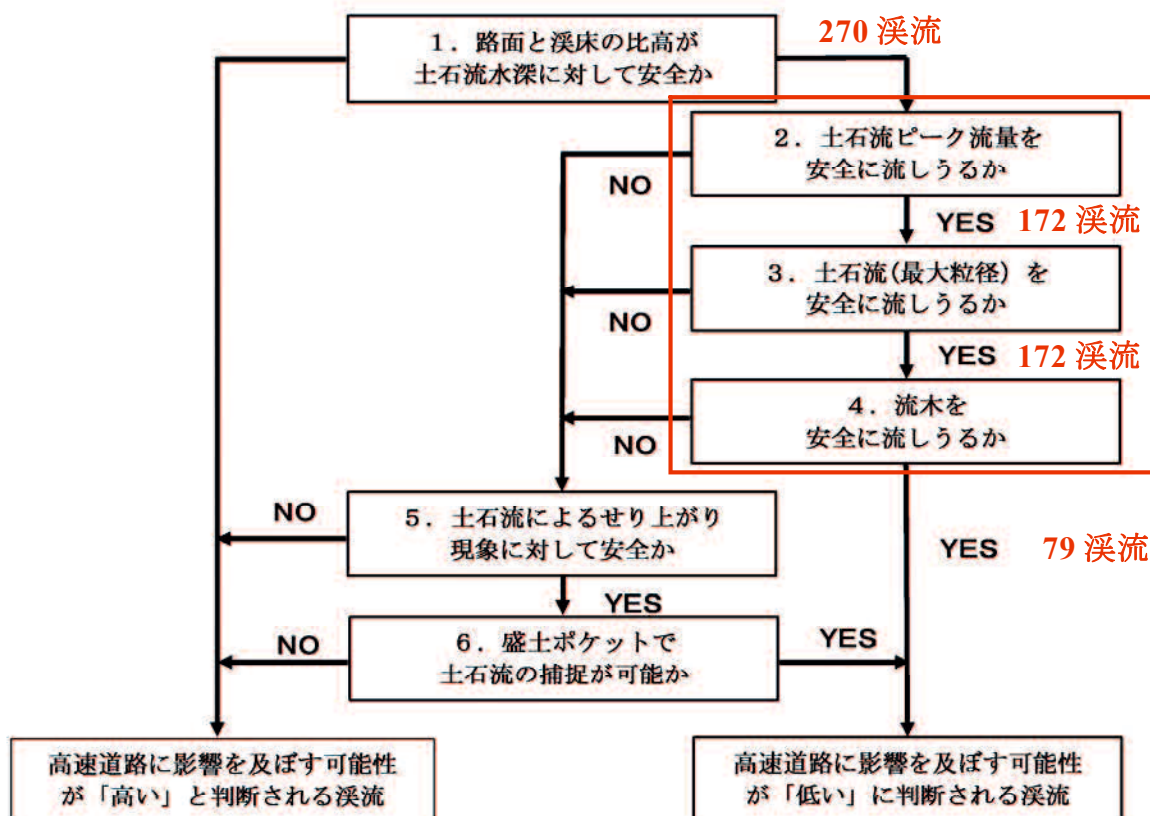


図-3.10 現地詳細調査によるカルバートボックス箇所の高速道路への影響評価
(横過形式が盛土+カルバートボックスの場合)

このように、現地詳細調査によるカルバートボックス箇所の高速道路への影響評価を行うことにより、閉塞等が確認されなければ、**図-3.11**のように高速道路への影響を与えない可能性もある。



図-3.11 カルバートを流下することで高速道路へ影響が及ばなかった事例
(H30.7月豪雨(山陽自動車道))

3.3.4 既往対策施設の把握および効果量の算出

溪流内に既に存在する対策施設（以下、「対策施設」という）の確認を行い、対策施設の効果量を適切に見込み影響評価を行った。

資料調査では、既往資料により対策施設の有無を整理した。その結果、溪流内の対策施設の存在率は5%という低い結果であったが、現地詳細調査の結果、**表-3.6**に示すとおり1,106溪流のうち152溪流で対策施設を確認し、その存在率は14%となった。

また、現地詳細調査で考慮する主な既往対策施設の効果を**表-3.7, 8**に示す。谷止工と床固工（堤高5.0m未満）は、不透過型えん堤構造の場合は、抑制量のみを効果量とし、貯砂量、捕捉量は見込まないものとした。治山ダムについても抑制量のみとした。また、不透過型えん堤の場合においても、除石計画を策定して、貯砂量を確保するとされる施設においては、貯砂量+捕捉量+抑制量として効果量を算出した。

図-3.12に、既往対策施設による流出土砂量の捕捉率を算出し整理した結果を示す。その結果、1,106溪流のうち91%の139溪流が「対策施設の効果が低い」もしくは「無い」に該当し、ほとんどの溪流において対策施設は存在するが、その効果の程度は低いことも分かった。

これは、対策施設のうち、治山ダムが施工されている箇所が多いためである。治山施設は山腹崩壊危険地や侵食による荒廃の兆しのある溪流などにおいて、山地災害の防止や抑止を行うことを目的として施工されているものであり、砂防施設に比べ効果量としては低い。

このように、現地詳細調査では、効果量こそ少なかったものの、新たに対策施設の存在が確認された。対策施設の捕捉率は影響評価の結果を大きく左右するので、現地詳細調査で対策施設の把握を行うことは重要であることを示した。

表-3.6 対策施設による流出土砂量捕捉率

区分	捕捉率	溪流数
無い	0%	6
低い	1%以上 30%未満	133
普通	30%以上 70%未満	10
高い	70%以上 100%未満	0
十分	100%以上	3
合計		152

表-3.7 主な対策施設の効果

項目	効果
貯砂量	上流からの流出土砂および流木を貯留し、流出の抑制を図る
抑制量	砂防施設により、溪岸・溪床の土砂および流木の生産、移動の抑制を図る
捕捉量	上流からの流出土砂および流木を捕捉する

表-3.8 施設効果量

工種	捕捉量		貯砂量		抑制量	
	土砂	流木	土砂	流木	土砂	流木
不透過えん堤	○	○	×	×	○	○
不透過えん堤（管理型）	○	○	○	○	○	○
透過型えん堤	○	○	○	○	○	○
床固工，谷止工	×	×	×	×	○	○
護岸工	×	×	×	×	○	○
山腹工	×	×	×	×	○	○
砂溜工（堆積工）	×	×	○	○	○	○

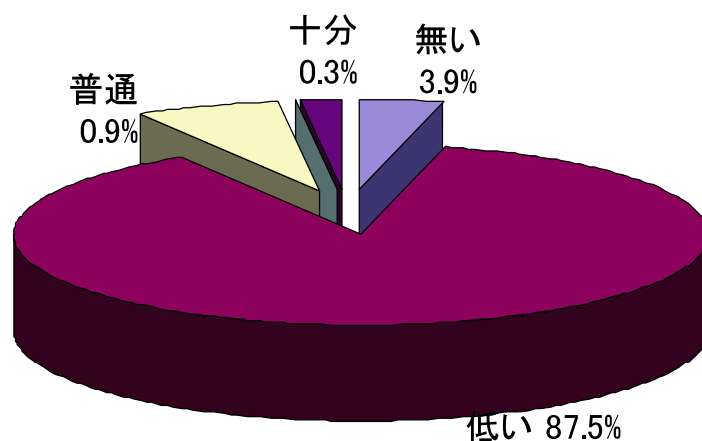


図-3.12 対策施設による流出土砂量捕捉率

3.3.5 保全対象の確認

資料調査時に整理できなかった、高速道路の上下流にある保全対象となる人家や公共施設について、現地詳細調査において、その戸数把握を行い、1,106 溪流のうち、保全人家がある溪流と公共施設がある溪流について、表-3.9 のとおり整理した。

現地詳細調査を実施した 1,106 溪流のうち、保全人家が存在する溪流が 587 溪流（53%）、公共施設が存在する溪流が 98 溪流（9%）であり、全体の保全対象数は、8,205 戸であることが分かった。また、資料調査時に確認した、各県の指定する土石流危険箇所と照らし合わせると、表-3.9 に示すとおり、保全人家が存在する 587 溪流のうち 184 溪流は指定がなされているものの、残る 403 溪流は指定されていないことが分かった。このような溪流については、高速道路への対策を進める際に、関係機関に特に協力を働きかけていく必要があるといえる。このように保全対象の確認および整理は、関係機関による対策工の施工促進に繋がると考えられるため、現地詳細調査にて保全対象の確認を行うことは必要である。

表-3.9 保全対象および土石流危険箇所指定状

保全対象の状況	溪流数	土石流危険箇所の溪流数
保全人家がある	587	184
公共施設がある	98	44

3.4 現地詳細調査を踏まえた高速道路への影響評価

3.4.1 高速道路への影響評価

現地詳細調査における高速道路への影響評価は、一般的に行われている道路防災総点検「安定度調査表（土石流）」による溪流内の安全度を評点し判定する方法に加えて、道路防災総点検「安定度調査表（土石流）」のみでは、高速道路への影響度が判断できないため、「現地調査票様式 H（高速道路への影響評価）」を作成して、高速道路への影響評価を行うこととした。「現地調査票様式 H（高速道路への影響評価）」では、**図-3.13** の被災パターンを考慮し、**図-3.14** に示す判定フローに基づいて高速道路に影響を及ぼす可能性が「高い」溪流と影響を及ぼす可能性が「低い」溪流を判定する。横過条件が切土（平坦）の場合については、直接高速道路に流出土砂が流出するため、一律で高速道路に影響を及ぼす可能性が高い溪流と判断する。横過条件が盛土、盛土+カルバートボックス、橋梁の場合には、**図-3.14** に示す①～⑥の評価項目について判定し、高速道路への影響評価を行った。

なお、この高速道路への影響評価による判断の結果、高速道路への影響が高いと判断した溪流が**表-3.10** に示すとおり 1,106 溪流のうち 780 溪流（71%）、高速道路への影響が低いと判断した溪流が 326 溪流（29%）となった。

横過条件	高速道路に土砂が流出する場合の想定パターン				
	高速道路を直撃	土石流水深が溪床と路面の比高を上回る場合	土石流のせり上がり高が溪床と路面の比高を上回った場合	流出土砂量が盛土ポケット容量を上回った場合	流下部が閉塞し流出土砂が路面まで達した場合
模式図					
切土（平坦）	○	—	—	—	—
盛土	—	○	○	○	—
盛土+カルバートボックス	—	○	○	○	○
橋梁	—	○	○	○	○

図-3.13 高速道路に土砂が流出する場合の想定パターン

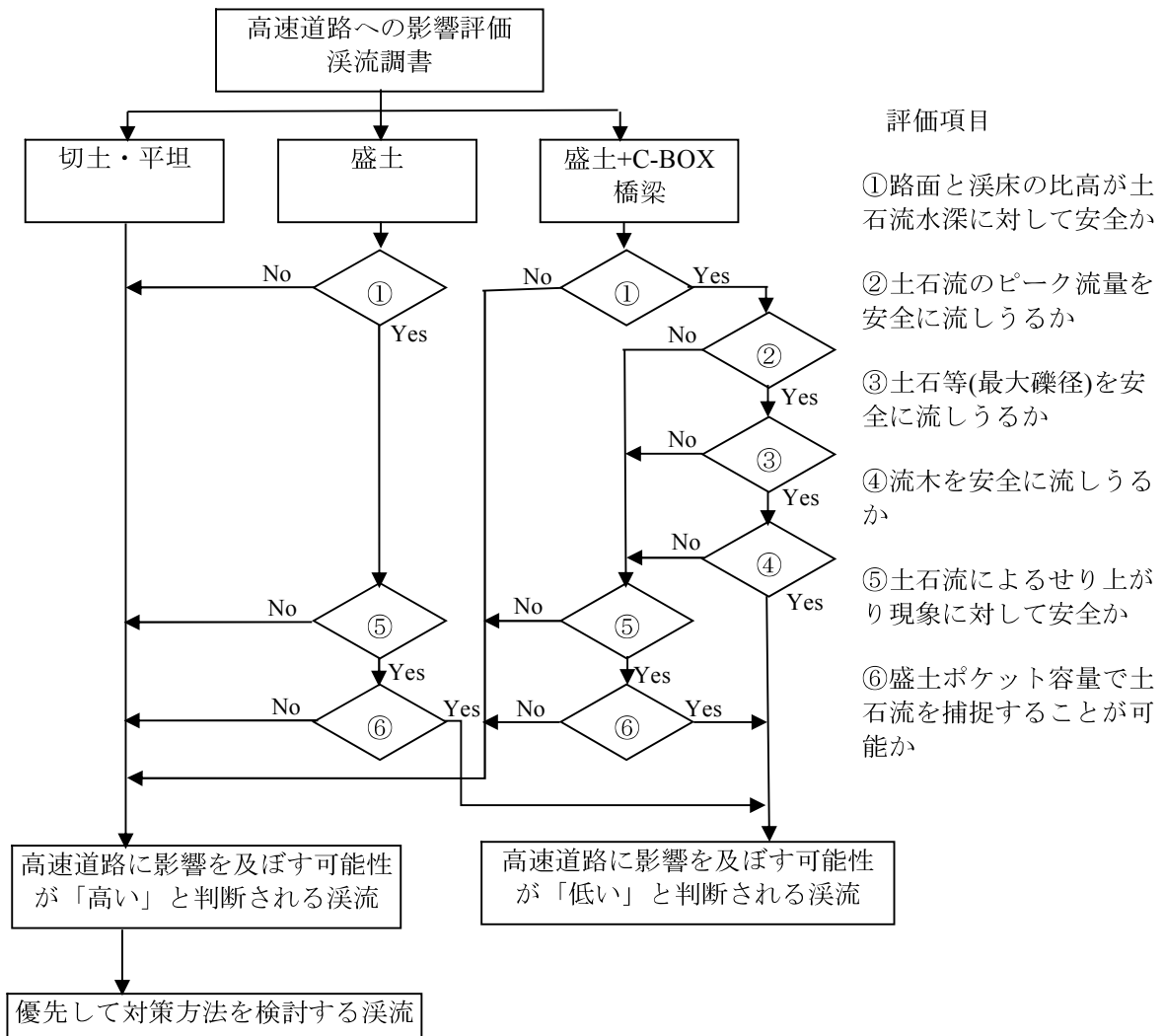


図-3.14 高速道路への影響評価フロー図

評価項目の①～⑥の判定は、以下の方法により行うものとする。

a) ①路面と溪床の比高は土石流水深に対して安全か

路面から溪床までの比高と土石流水深を比較し、以下のように判定する。

路面と溪床の比高 \geq 土石流水深の場合：土石流は安全に流下

路面と溪床の比高 $<$ 土石流水深の場合：高速道路上に土砂が氾濫

b) ②土石流ピーク流量を安全に流しうるか

土石流のピーク流量とカルバートボックスもしくは橋梁の流下能力を比較し、以下のように判定する。

カルバートボックスの流下能力 \geq 土石流ピーク流量の場合：土石流は安全に流下
 カルバートボックスの流下能力 $<$ 土石流ピーク流量の場合：カルバートボックスの閉塞

c) ③土石等（最大礫径）を安全に流しうるか

カルバートボックスの幅と最大礫径を比較し、以下のように判定する。

カルバートボックスの幅 $\geq 1.5 \times$ 最大礫径の場合：土石流は安全に流下
 カルバートボックスの幅 $< 1.5 \times$ 最大礫径の場合：カルバートボックスの閉塞

d) ④流木を安全に流しうるか

カルバートボックスの幅と最大流木長を比較し、以下のように判定する。

カルバートボックスの幅 $\geq 1/2 \times$ 最大流木長の場合：土石流は安全に流下
 カルバートボックスの幅 $< 1/2 \times$ 最大流木長の場合：カルバートボックスの閉塞

e) ⑤せり上がり現象に対して安全か

路面と溪床の比高と土石流によるせり上がり高を比較し、以下のように判定する。

路面と溪床の比高 \geq せり上がり高の場合：土石流は安全に流下
 路面と溪床の比高 $<$ せり上がり高の場合：高速道路上に土砂が氾濫

f) ⑥ポケット容量で土石流を捕捉できるか

盛土ポケット容量と超過量を比較し、以下のように判定する。

盛土ポケット容量 \geq (砂防基準の) 超過量の場合：土石流は安全に流下
 盛土ポケット容量 $<$ (砂防基準の) 超過量の場合：高速道路面上への土砂氾濫

表-3.10 高速道路への影響評価結果

横過形式	全体	影響が高い	影響が低い
切土	600	600	0
盛土	235	97	138
盛土+カルバートボックス	270	83	187
橋梁	1	0	1
全体	1,106	780	326

3.4.2 高速道路への影響評価に対する更なる提言

現地調査票様式 H による高速道路への影響評価により，780 溪流の危険溪流が抽出されたが，更なる効率的且つ効果的な高速道路管理を目指し，表-3.11 および図-3.15 に示す高速道路への影響評価を含めた 3 段階のフロー形式による評価手法について提言する。

まず，前述のとおり，高速道路への影響評価を行い高速道路への影響が高いと判断される溪流を抽出する(780/1,106 溪流)。

次に，現地詳細調査を実施したことにより，資料調査から変更となる諸元については修正を行い，資料調査に基づく溪流危険度評価を再評価する。その結果，カテゴリー区分①（資料調査に基づく溪流危険度評価の 4 項目において全て最上位評価の集まり）及びカテゴリー区分②に区分される溪流を危険と判断する（700/780 溪流）。

最後に，横過区分による評価として土石流の第 1 波（最初の土砂流出）の影響度で評価する。切土や低い盛土は，橋梁や高い盛土に比べると第 1 波による直撃を受ける危険性が高くなる（図-3.16, 17）。このことから，切土及び土石流のせり上がり減少により影響をうける盛土を第 1 波の直撃を受ける危険性の高い横過構造として危険度を上げることとした（622/780 溪流）。これらを適用した場合，現地詳細調査を実施した 1,106 溪流に対し高速道路への影響度の高い溪流として評価される溪流は，全体の 56%の 622 溪流となる。

また，表-3.12 に評価要素として考えられる項目について整理した。これらは，防災対策等の優先度を決定する際の指標になるものと考えられるが，その危険度について区分することが出来なかった為，溪流危険度評価や高速道路への影響評価の目的等に応じて参考に活用することを提言する。

表-3.11 現地詳細調査による高速道路への影響評価フローの評価項目

評価項目	被災時の影響	被災時の影響度 小 ⇒ 大
高速道路への影響評価	高速道路影響評価により「高速道路への影響が高い」と判断されている。	低 ⇒ 高
資料調査に基づく溪流危険度評価（見直し）	資料調査に基づく溪流危険度評価を現地詳細調査結果に見直した結果でも，カテゴリー①②に該当するため、溪流危険度が高い	低 ⇒ 高
横過条件	横過条件が切土(平坦)や盛土のせり上がりにより影響がある場合、被災時の影響が大きい。	盛土 ⇒ 切土 (橋梁) (平坦)

●高速道路沿線の溪流危険度評価フロー

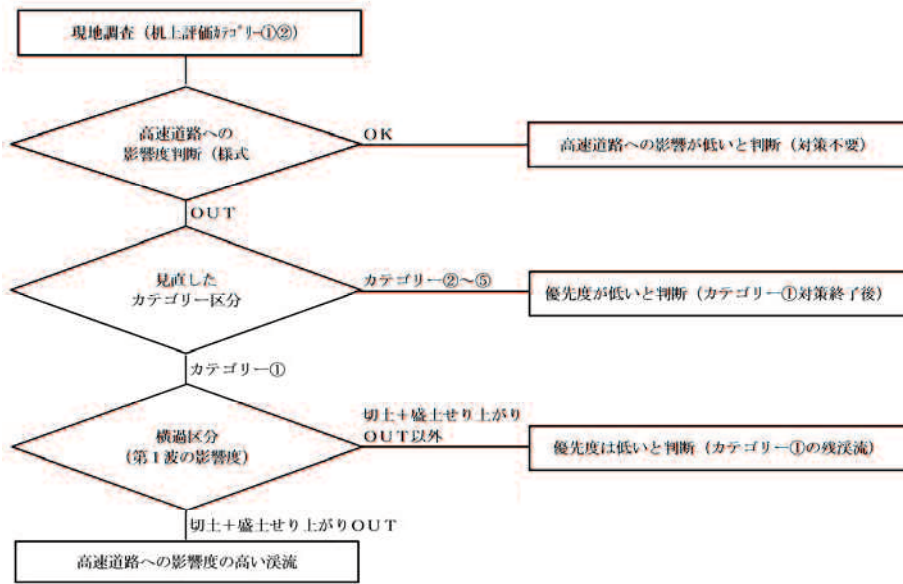


図-3.15 現地詳細調査による高速道路への影響評価フロー



図-3.16 切土のり面での土砂流入災害事例 (H21.7.21 山口インターチェンジ)

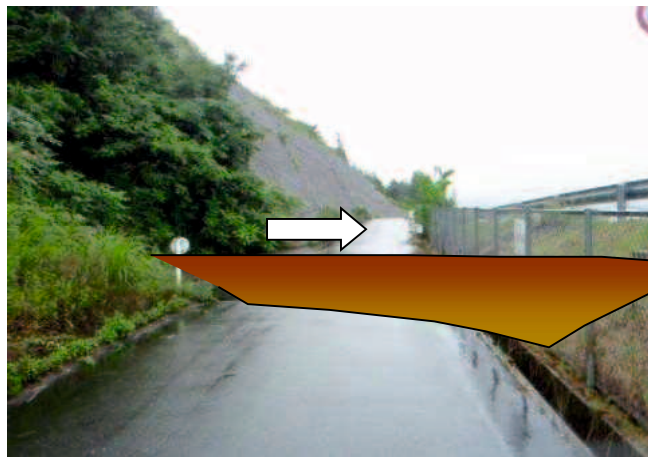


図-3.17 土石流のせり上がり現象に伴う盛土のり面被災イメージ

表 3.12 溪流危険度評価および高速道路への影響評価の更なる評価要素（案）

評価要素	被災時の影響	被災時の影響度 小 ⇒ 大
安定度調査表	評点の高いほど土石流の危険性が高い。	低 ⇒ 高
被災規模	高速道路に流出する土砂量(超過量)が多いほど被災時の影響が大きい。	少 ⇒ 多
保全対象数	保全対象数が多いほど被災時の影響が大きい。	少 ⇒ 多
交通量	対象路線区間の交通量が多いほど被災時の影響が大きい。	少 ⇒ 多
降雨量	対象路線区間の降雨量(最大日雨量、最大連続雨量等)が多い区間ほど災害が発生しやすい。	少 ⇒ 多

3.5 現地詳細調査から資料調査への反映

現地詳細調査を行った結果，資料調査にフィードバックできる内容として，現地詳細調査の評価に用いた土石流ピーク流量，土石流（最大礫径），流木を安全に流せるカルバートボックス幅について整理することとした。

これは，安全に流すことのできるカルバートボックス幅が確認できれば，資料調査段階で，カルバートボックス幅が何m以上あれば高速道路に影響がないという評価ができるのではないかとこの点に着目したものである。検討の結果を，**図-3.18～図-3.20**に示す。土石流ピーク流量を安全に流しうるカルバートボックスは，約8m以上，土石流（最大礫径）を安全に流しうるカルバートボックスは，約4m以上，流木を安全に流しうるカルバートボックスは，約6m以上であることがわかった。以上のことから，幅が8m以上のカルバートボックスに土石流が流れ込むことが，資料調査もしくは現地踏査による谷出口の調査により確認できた場合，現地詳細調査を実施することなく，高速道路に与える影響が低いと判断することができるようになる。これにより，より効率的に高速道路に影響を与える溪流を絞り込むことができるようになった。

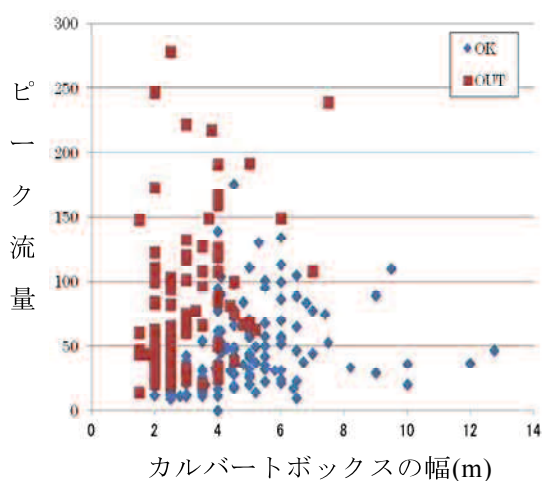


図-3.18 土石流ピーク流量とカルバートボックス幅の整理

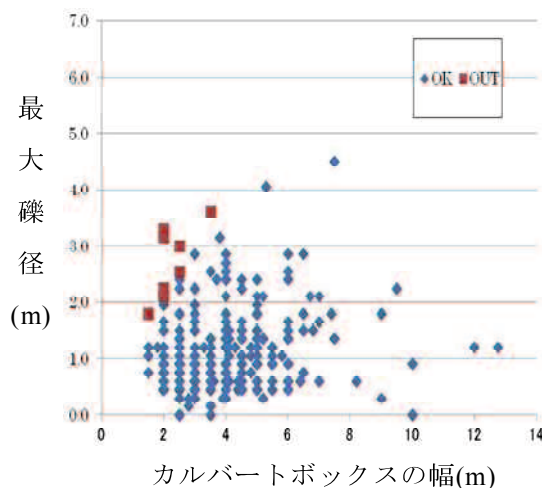


図-3.19 土石等（最大礫径）とカルバートボックス幅の整理

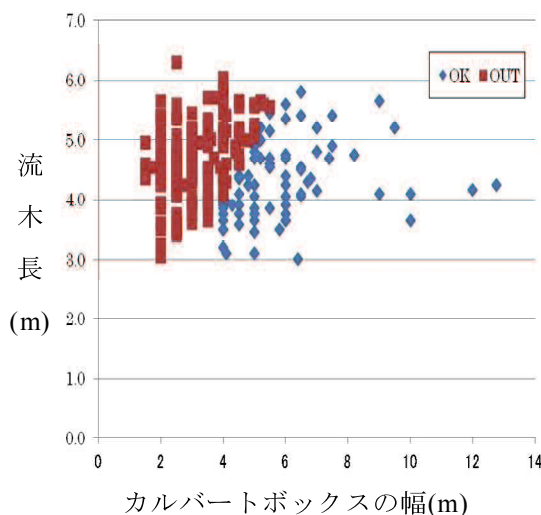


図-3.20 流木とカルバートボックス幅の整理

3.6 高速道路に影響を与える溪流の対策

高速道路への影響度が高いと評価された溪流は、まず関係機関（砂防部局）と協議を想定している。但し、関係機関に速やかに対策工を実施してもらうことは現実的には難しい。そのため、高速道路への影響度が高いと判定された溪流のうち、高速道路側の用地が確保でき、自衛対策が可能な箇所については、**図-3.21**のような土砂流出を一定の範囲に留める「土石流捕捉工（高エネルギー吸収型防護柵）」を想定している。この対策工は、最大で3,000 m³まで対応可能である。今回の研究の成果より、**図-3.22**のとおり、計画流出土砂量（NEXCO 基準）の頻度を整理した結果、計画流出土砂量が3,000 m³以下の溪流が約7割を占めることが分かった。このことから、まずは、この3,000 m³以下の溪流を高速道路側でできる対策工として提案する。また、対策施設の施工に時間を要する場合、土石流を安全に道路下流まで流下させることが難しい場合などは、保全点検や必要に応じてモニタリング（発生検知等）を併用して溪流を監視することを想定している。



図-3.21 土石流捕捉工（高エネルギー吸収型防護柵）

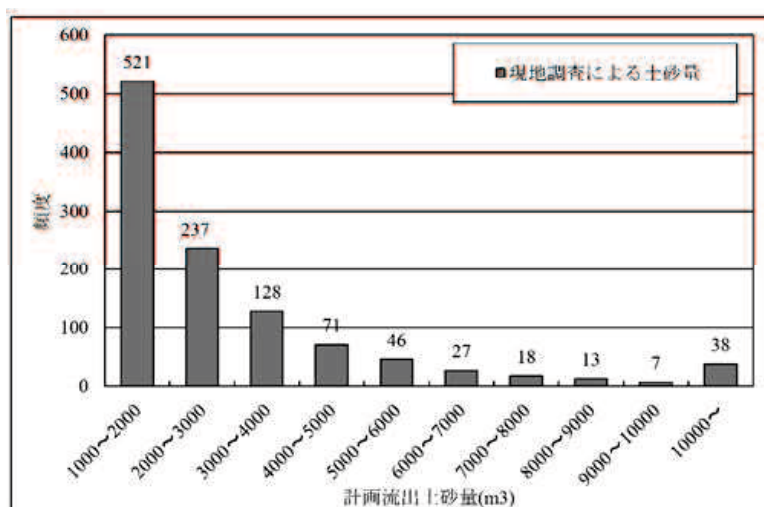


図-3.22 現地詳細調査結果での計画流出土砂量

3.7 まとめ

本章では、資料調査に基づく溪流危険度評価により、現地詳細調査の優先度の高いカテゴリー①②に区分された溪流に対して現地詳細調査を実施した。現地詳細調査結果から、より高速道路への影響度が高い溪流を評価できる現地詳細調査に基づく溪流危険度評価を検討した。この溪流危険度評価は土石流発生時に土砂等が高速道路へ達し影響を与える際、想定される事象から評価項目を整理し、フロー形式で評価するものである。この検討結果から得られた結論は以下のとおりである。

1)資料調査で評価の出来なかった、最大礫径や流木を考慮した土石流を安全に流せるカルバートボックス幅について整理した。これは、安全に流すことのできるカルバートボックス幅を設定することにより、資料調査段階で、高速道路に影響がない溪流の絞り込みを行うために検討したものである。その検討の結果、土石流ピーク流量を安全に流しうるカルバートボックス幅は、約 8m 以上、最大礫径を考慮した土石流を安全に流しうるカルバートボックス幅は約 4m 以上、流木を安全に流しうるカルバートボックス幅は、約 6m 以上であることがわかった。以上のことから、幅 8m 以上のカルバートボックスに土石流が流れ込むことが、資料調査もしくは現地詳細調査前の谷出口の現地踏査段階で確認できた場合、調査を実施することなく、高速道路に与える影響が低いと判断することができるようになる。これにより、より効率的に高速道路に影響を与える溪流を絞り込むことを示した。

2)資料調査に基づく溪流危険度評価により優先度が高いカテゴリー①②に区分された 1,186 溪流のうち、高速道路が溪流を横過する地点を現地事前踏査した結果、明らかに高速道路への影響が無い 80 溪流を除く 1,106 溪流を対象に現地詳細調査を実施した。この溪流に対し、「路面と溪床の比高が土石流に対して安全か」「ピーク流量、土石等（最大礫径）、流木を安全に流せるか」「せり上がり現象に対して安全か」「盛土ポケット容量で補足可能か」を評価項目とした現地詳細調査に基づく溪流危険度評価を適用することで、1,106 溪流ある溪流のうち 780 溪流(71%)を高速道路への影響が高いと溪流として絞り込むことが出来ることを示した。

第3章の参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説書，2016.
- 2) 国土交通省河川局：河川砂防技術基準（計画編），2004.
- 3) 西日本高速道路㈱：土石流対策の手引き，2003.

第 4 章

第4章 現地詳細調査に基づく計画流出土砂量の算出

4.1 はじめに

実際に現地詳細調査を行った結果を用いて、中国地方の地質別と県別の侵食深さと侵食幅の侵食基準値（谷次毎）を検討した。検討した侵食基準値（谷次毎）を用いた計画流出土砂量をそれぞれ現地詳細調査で算出した計画流出土砂量と比較し、その差を、「計画流出土砂量の階差」として算出し、実際の現地詳細調査結果による計画流出土砂量にどちらが近い値を示すか検証をした。計画流出土砂量の想定は、溪流危険度評価および高速道路への影響評価を行う上で重要な要素であり、今後同様の評価を行う際に活用できる谷次数毎の侵食想定基準値を提案するものである。また、資料調査に基づく溪流危険度評価に用いた溪流内不安定土砂の堆積深さと堆積幅を評価するため、資料調査と現地詳細調査で算出した計画流出土砂量の差を、「計画流出土砂量の階差」として算出し、資料調査に基づく溪流危険度評価の妥当性の確認を行った。

なお、地質については、中国地方では、花崗岩類や流紋岩類が多く分布している一方、多岐にわたる特徴もあることから表-4.1 のとおり、11 区分することとした¹⁾。この1,106 溪流の溪流基本諸元についての分析結果を示す。図-4.1 は、流域面積（km²）の分布について示したものである。流域面積は、0.02 km²より大きく0.04km²以下が最も多く対数正規に類似した分布形状を示す。溪流長(m)についても、表-4.2 および図-4.2 に示すとおり、全体も、中国地方で分布の多い花崗岩や流紋岩のような地質毎についても対数正規分布に類似した分布形状を示した。

表-4.1 地質区分

区分	地質分類	データ数
分類 I	シルト岩・砂泥互層・砂岩・礫岩	2
分類 II	安山岩類・同質火砕岩類	68
分類 III	花崗閃緑岩	13
分類 IV	砂岩・頁岩・安山岩類	5
分類 V	砂岩・頁岩・緑色岩・玄武岩	27
分類 VI	砂礫・砂・シルト・粘土	1
分類 VII	細粒花崗岩・粗粒花崗岩	483
分類 VIII	泥質片岩・砂質片岩・珪質片岩	132
分類 IX	粘板岩・砂岩・チャート・石灰岩	108
分類 X	流紋岩・石英安山岩質凝灰岩	245
分類 XI	礫質泥岩・シルト質泥岩・チャート	22
合計		1,106

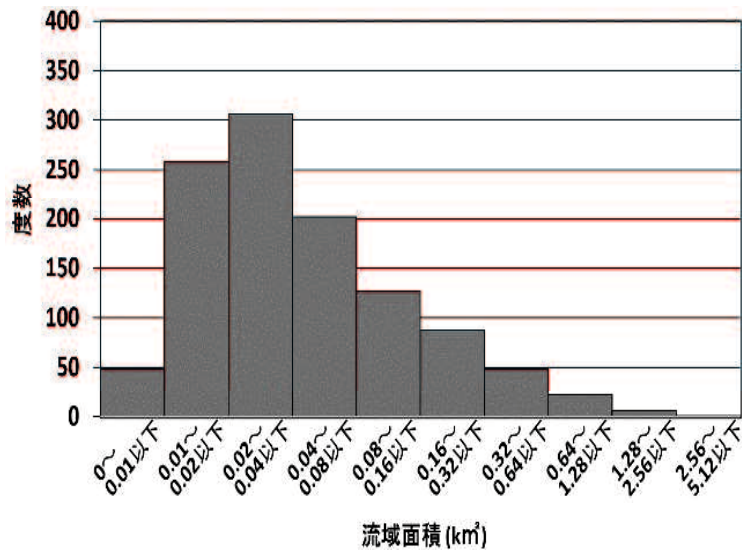


図-4.1 対象とした溪流の流域面積分布

表-4.2 溪流長の分布

項目 (): データ数	溪流長		標準偏差	±σ 範囲	±2σ 範囲
	平均値	中央値		データ数 (): 全数に占める割合	
全体 (1,106)	6.31 (553m)	6.06 (428m)	1.00	790 (71%)	1051 (95%)
花崗岩(483)	6.40 (604m)	6.20 (492m)	1.05	328 (68%)	460 (95%)
流紋岩(245)	6.36 (580m)	6.00 (407m)	1.00	179 (73%)	233 (95%)

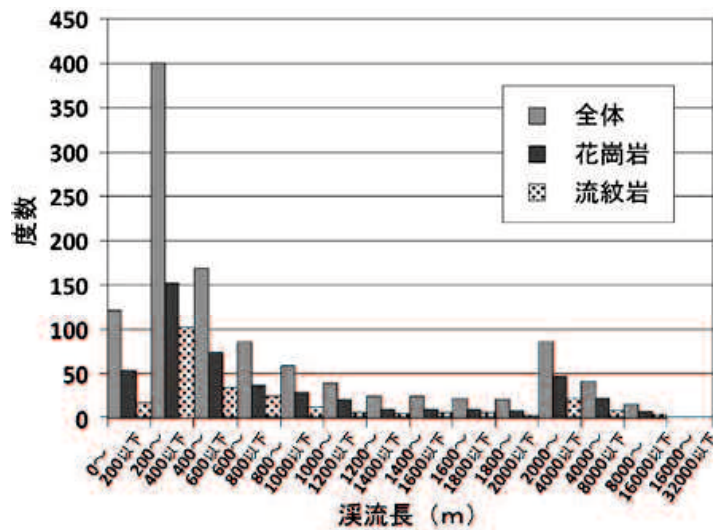


図-4.2 対象とした溪流の溪流長分布

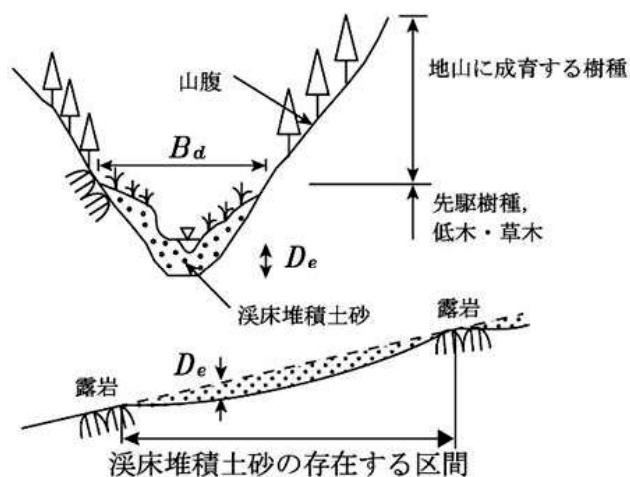
4.2 計画流出土砂量の算出方法

4.2.1 資料調査²⁾

資料調査に基づく溪流危険度評価では、高速道路への影響を評価するため計画流出土砂量を算出する必要がある。しかし、計画流出土砂量を資料調査で算出する際、**図-4.3**に示す侵食幅(B_d)と侵食深(D_e)の算出については、**図-4.4**に示す現地での溪床堆積土砂の侵食幅及び侵食深を調査せずに、推定する必要がある。

そのため、資料調査における計画流出土砂量の算出のための侵食幅、侵食深は、各県の砂防関係部局から収集した土砂災害防止法に基づく基礎調査資料³⁾(以下、区域調書と称する)や土石流危険溪流カルテ⁴⁾(以下、カルテと称する)の値を用いて算出することとした。

算出は、谷次数が大きくなる毎に侵食や移動する土砂量は多くなるとされることから、区域調書やカルテから谷次数毎の侵食幅と侵食深を抽出し、その結果から、**表-4.3**のとおり、谷次毎の侵食幅と侵食深さの平均値を県別に算出し、その値で計画流出土砂量を算出することとした。なお、算出に用いる区域調書やカルテは、収集した資料のうち、本研究の対象とした高速道路路線上に重複する溪流のみに絞り込み、それらの値を用いることとした。



B_d : 侵食幅(土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅(m))

D_e : 侵食深(土石流発生時に侵食が予想される溪床堆積土砂の平均深(m))

図-4.3 侵食幅、侵食深の調査方法

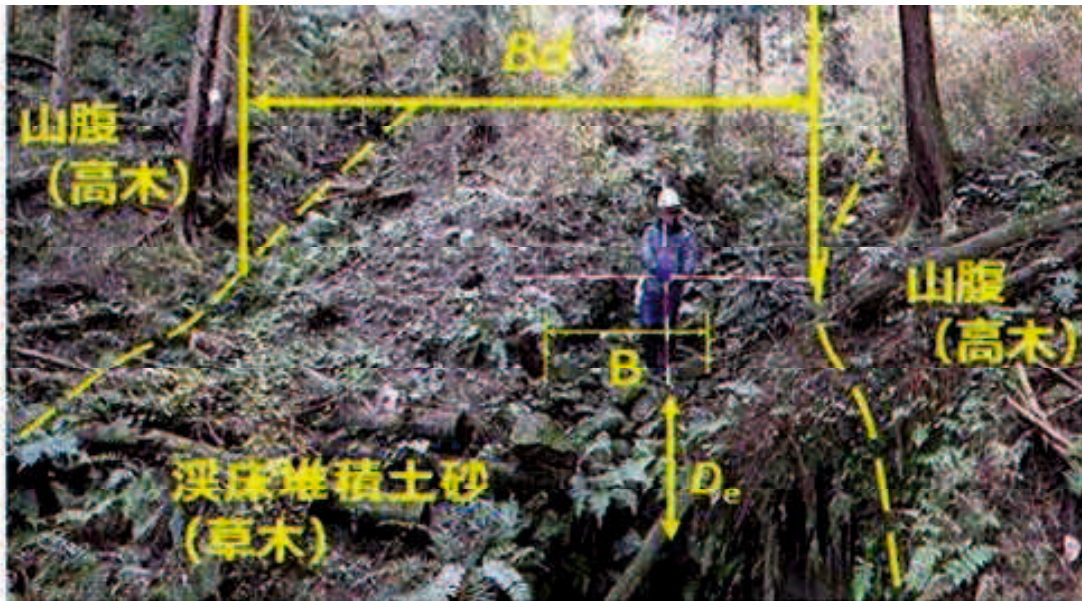


図-4.4 現地での渓床堆積土砂の侵食幅と侵食深の推定状況

表-4.3 資料調査における県別の平均侵食幅および平均侵食深

(単位：m)

県	0次谷		1次谷		2次谷		3次谷		データ数
	Bd	De	Bd	De	Bd	De	Bd	De	
兵庫*	6.8	1.1	6.0	1.1	4.0	0.9	4.0	0.8	—
鳥取*	6.8	1.1	8.0	1.3	13.5	0.8	4.0	0.8	—
島根	6.8	1.1	8.0	1.3	13.5	0.8	4.0	0.8	59
岡山	6.8	1.1	6.0	1.1	4.0	0.9	4.0	0.8	59
広島	4.4	1.1	4.8	1.0	4.6	1.0	5.7	1.2	295
山口	7.0	1.3	6.0	1.3	6.0	1.3	6.0	1.2	123

※関係砂防部局より資料収集の出来なかった兵庫県は、岡山県を準用。鳥取県は、島根県を準用

a) 計画流出土砂量

計画流出土砂量は、河川砂防技術基準（計画編）⁵⁾（以下、砂防基準と称する）において、原則として、式-4.1のとおり、流域内全体の移動可能土砂量（以下、「移動可能土砂量」という）と計画規模の土石流によって運搬できる土砂量（以下、「運搬可能土砂量」という）を比較して小さい方の値を採用することとされている。このことから、本研究における計画流出土砂量の算出方法は、砂防指針に準拠するものとし、計画流出土砂量は、流域内の移動可能土砂量と運搬可能土砂量とを比較し、小さい方の値とした。また、砂防指針⁶⁾において、砂防基準の計画流出土砂量が1,000m³以下の場合には、計画流出土砂量を1,000m³とするとされている。なお、本研究で現地調査

を行った 1,106 溪流では，**図-4.5** に示すとおり， 1,053 溪流が移動可能土砂量の方が小さく，全体の 95%が移動可能土砂量で計画流出土砂量が決まっていることが分かった。

$$V = \min(V_{dy1} \cdot V_{dy2}) \quad (4.1)$$

ここで， V ：流出可能土砂量(m^3)

V_{dy1} ：移動可能土砂量(m^3)

V_{dy2} ：運搬可能土砂量(m^3)

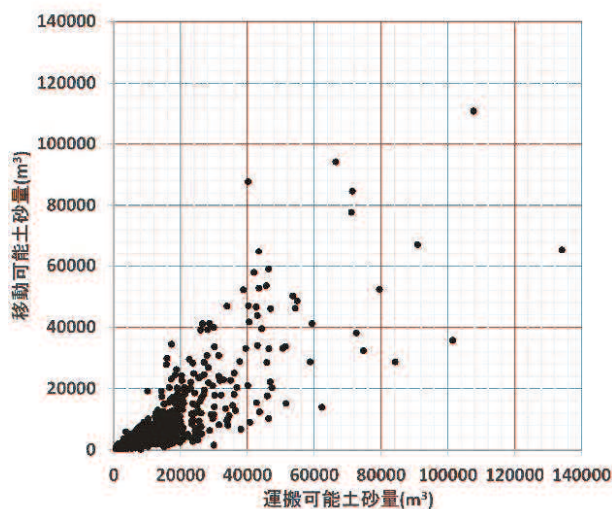


図-4.5 移動可能土砂量と運搬可能土砂量の関係

また，計画流出土砂量を算出するにあたり，砂防基準と西日本高速道路(株)の土石流対策の手引き⁷⁾（以下，NEXCO基準と称する）では**図-4.6**のとおり算出方法に相違がある．砂防基準の場合，溪流内の全支流に存在する不安定土砂量を算出するが，NEXCO基準の場合，溪流流域内の主流路上に存在する不安定土砂量のみを算出することとなっている．NEXCO基準は，過去（手引きの制定されたH15以前）の災害で発生した流出土砂量（実績値）が，ほぼ，主流路から流出する土砂量（想定値）と同じであったことから，主流路のみを対象にしているものである．

しかし，昨今の局地的大雨や集中豪雨に起因する土石流災害は，主流路以外からの支流からの土砂流出が見られ，平成21年7月21日の中国自動車道山口インターチェンジでの災害や同じく山口西部で発生した土石流災害箇所においても，同じ傾向であった（**図-4.7**）．また，本研究の目的のひとつとして，高速道路に影響を与える可能性の高い溪流を把握し関係機関へ協議していくことも想定している．以上のことから，本研究での計画流出土砂量については，安全性および関係機関との今後の協議も鑑み，砂防基準での計画流出土砂量の算出方法を採用した．

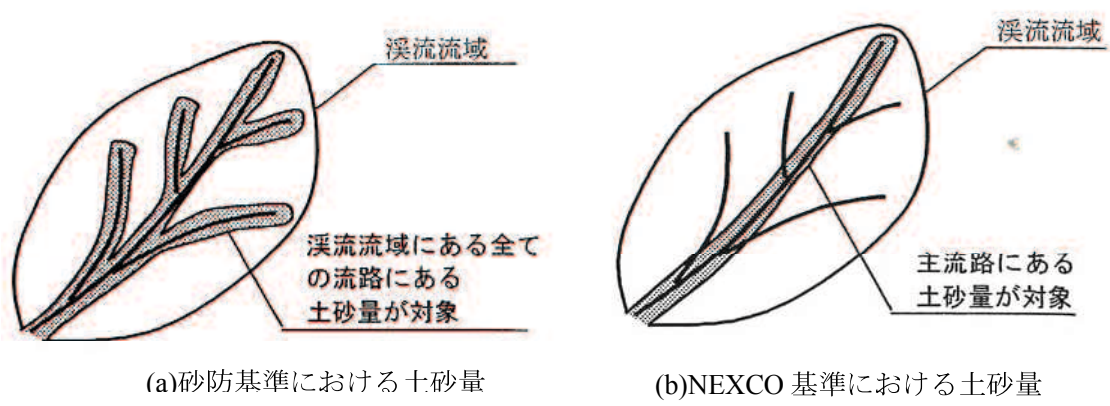


図-4.6 計画流出土砂量の算出概念図

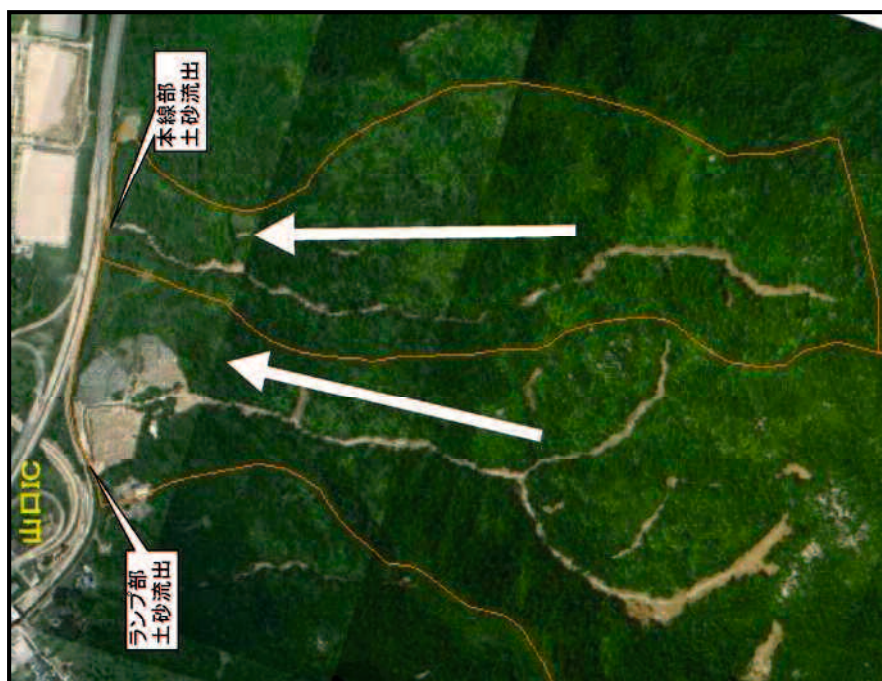


図-4.7 平成 21 年 7 月 21 日の中国自動車道山口インターチェンジでの災害

b) 移動可能土砂量

なお、流域内の移動可能土砂量は、以下の方法で算出するものとし、各流域の計画規模の降雨に対する移動可能土砂量（不安定土砂量）は溪床堆積土砂量と崩壊可能土砂量の和とする。

$$V_{dy1} = V_{dy11} + V_{dy12} \quad (4.2)$$

$$V_{dy11} = \sum A_{dy11} \times L_{dy11} \quad (4.3)$$

$$A_{dy11} = B_d \times D_e \quad (4.4)$$

ここで、

V_{dy1} ：流域内の移動可能土砂量(m^3)

V_{dy11} ：流出土砂量を算出しようとしている地点、計画基準点あるいは補助基準点から1次谷の最上流端までの区間の移動可能溪床堆積土砂量(m^3)

V_{dy12} ：崩壊可能土砂量(m^3)

A_{dy11} ：移動可能溪床堆積土砂の平均断面積(m^2)

L_{dy11} ：流出土砂量を算出しようとしている地点、計画基準点あるいは補助基準点から1次谷の最上流端まで溪流に沿って測った距離(m)

B_d ：侵食幅（土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅）(m)

D_e ：侵食深（土石流発生時に侵食が予想される溪床堆積土砂の平均深さ）(m)

なお、侵食幅 B_d と侵食深 D_e の現地調査方法の概要図は図-4.3 に示したとおりである。崩壊可能土砂量 V_{dy12} を的確に推定することが困難な場合は、0次谷の崩壊を含めた次の式(4.5, 4.6)で土石流に対する移動可能土砂量を推定する。土石流発生直後など現存する移動可能土砂量が少ない場合でも、山腹や溪岸の土砂生産が激しく、近い将来に移動可能土砂量が増加すると予想される場合には、これを推定して加える。

$$V_{dy12} \# \sum A_{dy12} \times L_{dy12} \quad (4.5)$$

$$A_{dy12} = B_d \times D_e \quad (4.6)$$

ここで、

A_{dy12} ：0次谷における移動可能溪床堆積土砂量の平均断面積(m^2)

L_{dy12} ：流出土砂量を算出しようとする地点より上流域の1次谷の最上端から流域の最遠点までの流路谷筋に沿って計った距離(m)で支溪がある場合はその長さも加える。

c) 運搬可能土砂量

運搬可能土砂量は、次の式(4.7)で算定する。計画規模の年超過確率の降雨によって運搬できる土砂量 V_{d2} は、計画規模の降雨量 P_p (mm)に流域面積 A (km^2)を掛けて総水量を求め、これに流動中の土石流濃度(C_d)を乗じて算定する。その際流出補正率 K_{f2} を考慮する。なお、 K_{f2} は、砂防指針では、0.5を上限とし、0.1を下限とされている。

$$V_{d2} = \frac{10^3 \cdot P_p \cdot A}{1 - K_v} \left(\frac{C_d}{C} \right) K_{f2} \quad (4.7)$$

C_d : 流動中の土石流濃度、平衡濃度式で求められる。

P_p : 地域の降雨特性、災害特性を検討して決定する。100年超過確立24時間降雨量(mm)が一般的。

K_v : 空隙率 (0.4程度)

K_{f2} : 流出補正率 (図-4.8) によって流域面積に対して与えられる)。

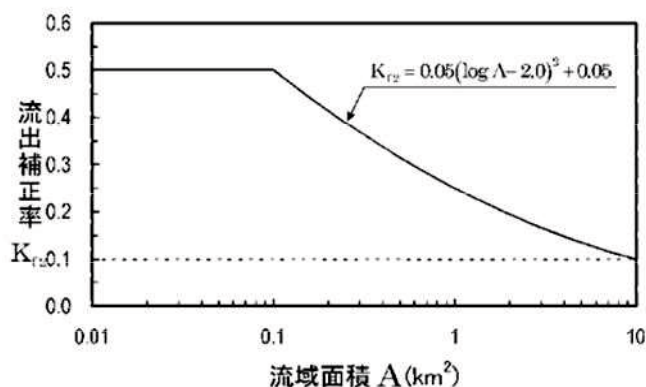


図-4.8 運搬可能土砂量の算定及び流出補正率

4.2.2 現地詳細調査

資料調査では、各県の区域調書やカルテを準用して計画流出土砂量を算出しているため、現地詳細調査において、計画流出土砂量を算出するために、実際に溪流内の溪床断面調査を行った。溪床断面調査では、図-4.3 に示すとおり土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅 B_d 、土石流発生時に侵食が予想される溪床堆積土砂の平均侵食深 D_e を現地にて計測する。図-4.4 に示すとおり、現地調査の際には、溪岸斜面の勾配変化状況や植生状況の相違等を参考にし、侵食幅の計測にはポール測量を用いた。侵食深の計測は、溪流断面だけでなく、上下流方向の溪床の露岩状況を参考にしていた。

このように、現地調査により侵食幅、侵食深を計測するにあたり、対象溪流の分布

域が広範囲に渡り、対象の溪流数も 1,106 溪流と多いことから、調査者ごとの推定値のばらつきが生じる可能性がある。本調査では、このばらつきを防止するため、表-4.4 の指標を用いて調査を行った。これらの指標は、砂防基準や砂防指針に、明確な判断基準はないため、土砂災害防止法の基礎調査の実績のある複数人の技術者へのヒアリングを通じ、経験的知見に基づいて決定した。また、溪床にほとんど基盤が見られない場合、基盤が、V 字谷か平坦な地形であるかの判断が難しくなるが、溪床幅の広さの程度により、堆積物の厚さが異なるという経験的知見を考慮し、溪床幅の程度を指標に取り入れた。合わせて、調査開始当初の、数週間は、関係する調査員で同一溪流を調査し、表-4.4 の指標に基づく溪床の状況を確認した。

溪床断面調査は、谷次数毎に実施するものとし、1 つの次数の区間が長い場合については、200m ピッチ程度で行い、溪流内に 0 次谷が多数存在し、すべての箇所を確認することが困難な場合は、溪流内の 0 次谷の総数の 50%程度を現地確認するものとし、その他の 0 次谷については地形状況をよく考慮した上で、現地確認した 0 次谷の平均断面積を準用することとした。調査結果については、位置図、溪床断面および計画流出土砂量の算出根拠として、様式を作成して取りまとめた(図-4.9)。図-4.10 および表 - 4.5 は、溪床断面調査の一例であり、図-4.10 の青字が谷次区間、黒字が谷次区間内で溪床調査を行った断面を示す。

調査結果については、位置図、溪床断面および移動可能土砂量の算出根拠として、様式を作成して取りまとめた。1,106 溪流を調査した結果、本研究で調査した溪床断面箇所数(侵食深と侵食幅の測定箇所数)は、6,058 断面となった。調査した溪流が 1,053 溪流のため、1 溪流あたり平均で約 6 断面である。谷次数毎の内訳はそれぞれ、0 次谷が 3,470 断面、1 次谷が 1,919 断面、2 次谷が 569 断面、3 次谷が 100 断面である。

表-4.4 溪床堆積土砂の堆積厚さの判断基準の目安

溪床の状況		堆積物の厚さの目安
溪床全体に基盤が露出し堆積物は殆どない		0.1～0.3m 程度
溪床の所々に基盤が露出し堆積物は少ない		0.3～0.5m 程度
溪床にほとんど基盤はみられない	溪床幅 5.0m 程度と狭い (礫径は平均値とする)	礫径は 0.5m 未満で小さい 最大礫程度
	溪床幅 10.0m 程度と広い (礫径は平均値とする)	礫径は 0.5m 以上で大きい 0.5m～2.0m 程度
	溪床幅 5.0m 程度と狭い (礫径は平均値とする)	礫径は 0.5m 未満で小さい 最大礫程度～3.0m 程度
	溪床幅 10.0m 程度と広い (礫径は平均値とする)	礫径は 0.5m 以上で大きい 最大礫程度～3.0m 程度

溪流調査(荒廃状況調査) 様式F(別添資料:溪床断面)(2/4)									
調査年度		調査区		調査年度		調査年度		調査年度	
年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度
断面番号 S0-4		断面番号 S1-1		断面番号 S1-1		断面番号 S1-1		断面番号 S1-1	
林地幅(右岸側)W1=	1.0 m	平均堆積深Da=	1.0 m	林地幅(右岸側)W1=	2.1 m	平均堆積深Da=	1.0 m	林地幅(右岸側)W1=	2.1 m
河床幅W2=	1.4 m	平均河床幅Bd=	5.6 m	河床幅W2=	1.0 m	平均河床幅Bd=	5.7 m	河床幅W2=	1.0 m
林地幅(左岸側)W1=	3.2 m	単位土砂量Ady=	5.60 m ³ /m	林地幅(左岸側)W1=	2.8 m	単位土砂量Ady=	5.70 m ³ /m	林地幅(左岸側)W1=	2.8 m
写真					写真				
スケッチ					スケッチ				

図-4.9 溪床断面調査のとりまとめ様式

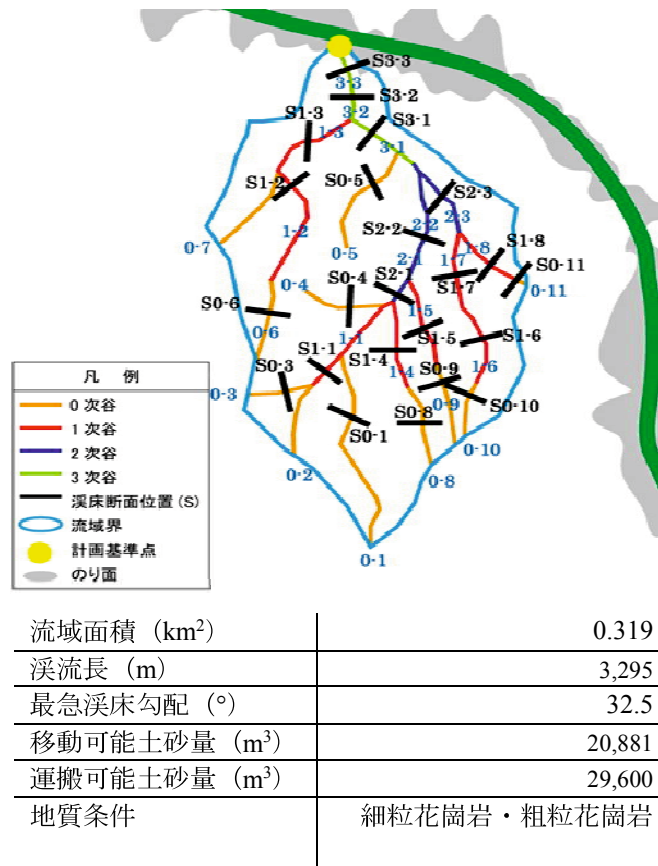


図-4.10 溪床調査結果の一例 (山口県山口市)

表-4.5 溪床断面調査の一例（山口県山口市）

※0 次谷の平均断面を適用

区間	断面 番号	溪流長 (m)	侵食 幅(m)	侵食 深(m)	断面積 (m ²)	土砂量 (m ³)
0-1	S0-1	400	7.8	0.5	3.90	1,560
0-2	-	143	-	-	5.36 [※]	766
0-3	S0-3	114	7.5	0.5	3.75	426
0-4	S0-4	141	8.2	0.5	4.10	575
0-5	S0-5	227	4.9	0.5	2.45	556
0-6	S0-6	167	7.3	0.3	2.19	364
0-7	S0-7	177	-	-	5.36 [※]	949
0-8	S0-8	157	9.4	1.0	9.40	1,476
0-9	S0-9	156	9.7	1.0	9.70	1,513
0-10	S0-10	110	10.0	1.0	10.0	1,100
0-11	S0-11	27	5.5	0.5	2.75	74
1-1	S1-1	217	5.9	0.5	2.95	640
1-2	S1-2	241	8.3	0.5	4.15	1,000
1-3	S1-3	165	6.4	0.5	3.20	528
1-4	S1-4	170	8.3	1.0	8.30	1,411
1-5	S1-5	173	9.6	1.0	9.60	1,661
1-6	S1-6	152	10.3	1.0	10.30	1,566
1-7	S1-7	151	5.8	0.5	2.90	439
1-8	S1-8	128	4.5	0.5	2.25	288
2-1	S2-1	104	7.0	0.5	3.50	364
2-2	S2-2	170	7.8	0.5	3.90	663
2-3	S2-3	147	8.4	1.0	8.40	1,235
3-1	S3-1	148	7.7	1.0	7.70	1,140
3-2	S3-2	92	5.5	0.3	1.65	151
3-3	S3-3	49	8.9	1.0	8.90	436
計						20,881

4.3 現地詳細調査における侵食深と侵食幅の評価

現地詳細調査における溪流断面調査を行なうなかで、特に中国地方に多い花崗岩では、他の地質に比べると侵食幅が広いのではないかと感じたこと。また、中国地方の地質が多岐にわたることや資料調査を行うなかで災害の発生率が地質別に異なることがわかったことから地質別の違いや特徴について把握するために、本研究では、地質に着目した整理を行った。

4.3.1 移動可能土砂量の統計分析

図-4.11 に、実測した移動可能土砂量の統計分析結果について示す。なお、分析に当たっては、運搬可能土砂量は、計画規模の降雨によって運搬できる量であり、式 4.7 に示すとおり、現地詳細調査の侵食深と侵食幅が考慮される無のではないため、評価の対象外とした。よって、分析・評価の対象は、移動可能土砂量によって、計画流出土砂量が決定した 1,053 溪流を対象とした。ここで、移動可能土砂量の度数分布図は、全体、地質毎のいずれも対数正規分布に近い。全溪流の対数平均は 2816m^3 であり、地質毎でみると、花崗岩の対数平均は 3293m^3 、流紋岩は 2650m^3 であった。

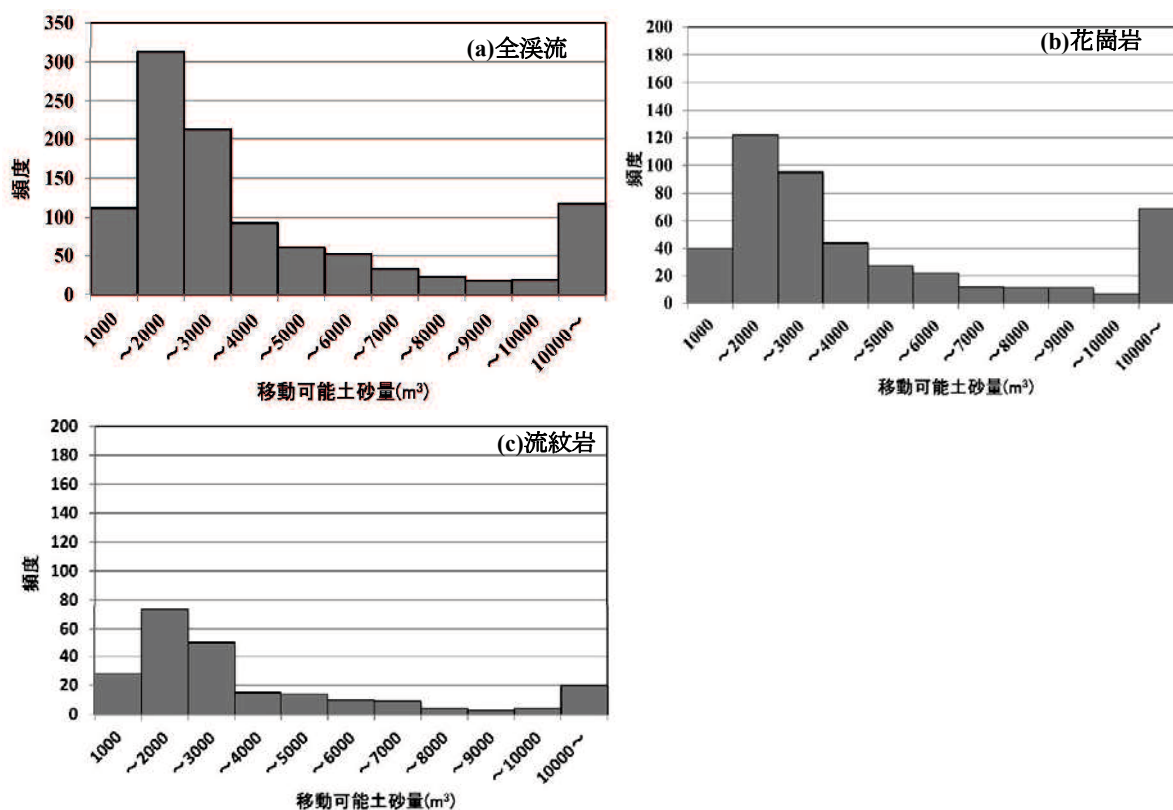


図-4.11 現地調査による移動可能土砂量(m^3)
((a)全溪流対象, (b)花崗岩, (c)流紋岩)

次に、地質別の移動可能土砂量の分析を行った結果、**図-4.12** に示すとおり、移動可能土砂量の平均値は、地質別の値に差が見られた。また、**図-4.13** に示すとおり、花崗岩は、10,000m³ を超える移動可能土砂量が占める割合が他の地質に比べて多く、泥質片岩は、1,000m³ 以下の占める割合が多いことがわかる。これは、後述する花崗岩は溪流長が 5,000m を超えるような溪流が多く存在するためと想定される。このように、地質毎に移動可能土砂量には、特徴があることがわかった。

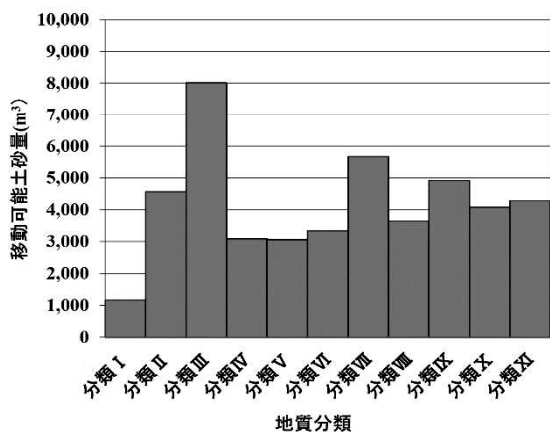


図-4.12 地質別の移動可能土砂量(m³)の平均値

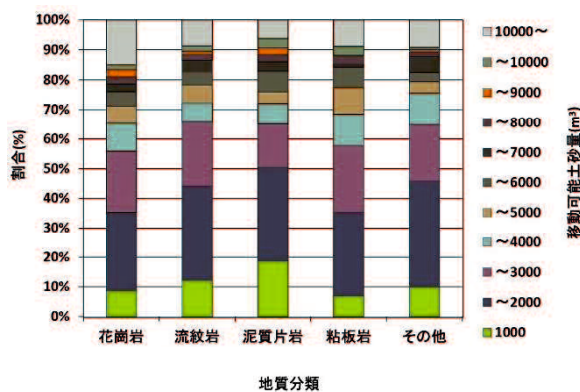


図-4.13 地質別の移動可能土砂量(m³)の割合

4.3.2 移動可能土砂量と溪流諸元との相関関係

移動可能土砂量と溪流諸元との相関関係を分析した結果を、**図-4.14**~**図-4.17** に示す。移動可能土砂量は、溪流の総延長や流域面積と一義的な関係があることが確認されたが、最急溪床勾配との関係性は見られなかった。特に、**図-4.16** に示す溪流長については、移動可能土砂量と高い相関があることが確認された。

また、地質別の傾向を確認する為、最も高い相関を示した溪流長を対象に地質別の移動可能土砂量との相関関係について整理した。地質は、分布の多い花崗岩と流紋岩を対象とした。その結果、いずれの図も、相関係数 0.9 以上の良い相関を示した。地質毎で見ると、相関係数がより高いことがわかる。また、比例係数は全体が 6.6 に対し、花崗岩は 5.7 と低く、流紋岩は 7.1 と高かった。その他の地質では、安山岩で 6.6、片岩で 5.3、粘板岩で 6.0 であった。さらに、花崗岩は、溪流長が 5,000m を超えるような溪流が多いことが分る。

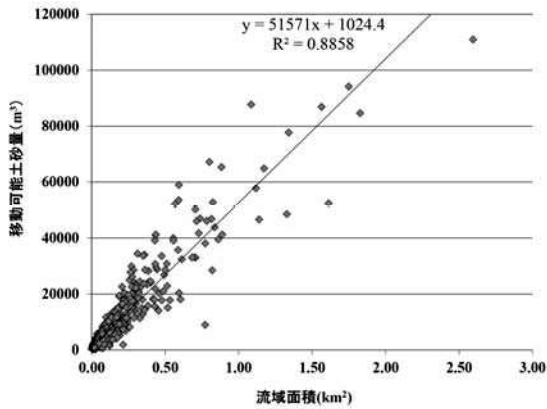


図-4.14 移動可能土砂量と流域面積の関係

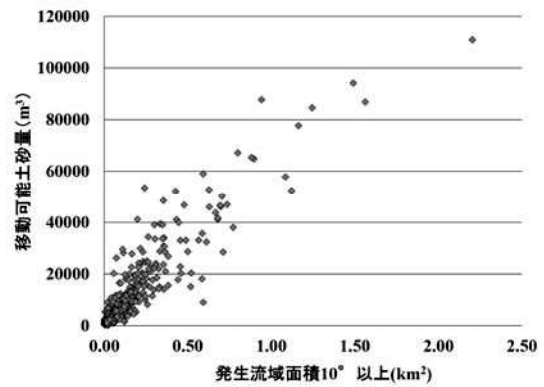


図-4.15 移動可能土砂量と発生流域面積 10°以上の関係

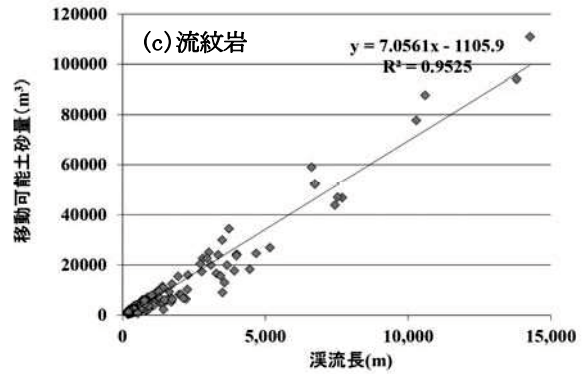
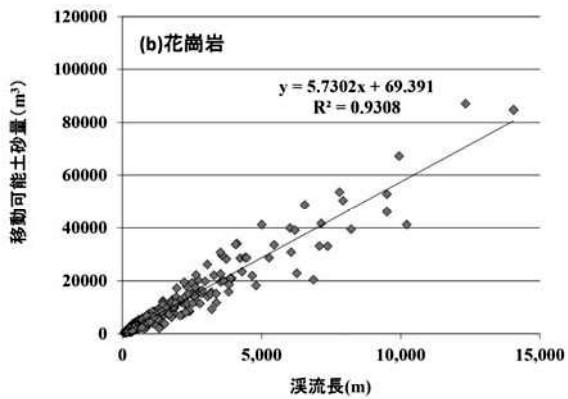
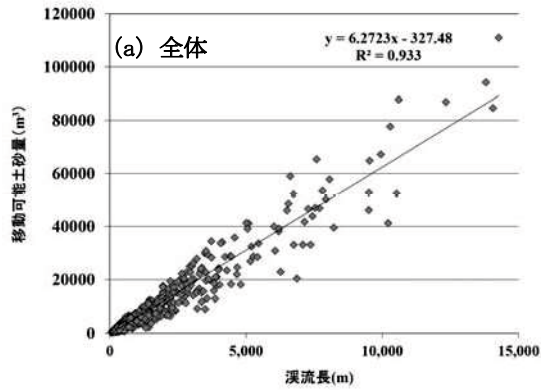


図-4.16 移動可能土砂量と溪流長の関係
(a)全溪流対象, (b)花崗岩, (c)流紋岩)

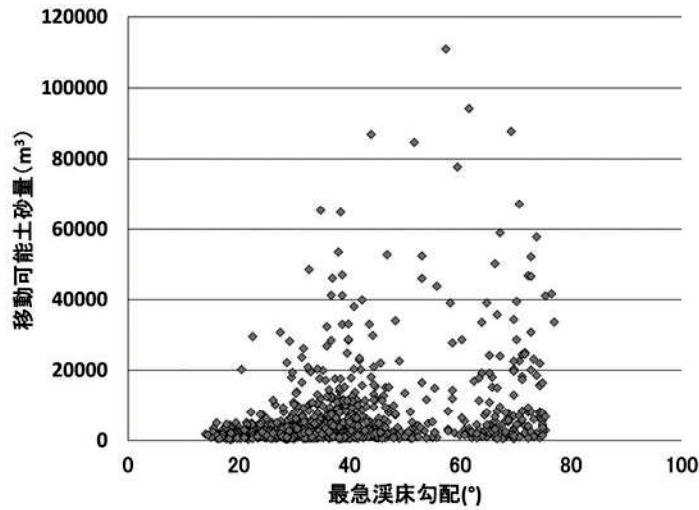


図-4.17 移動可能土砂量と最急溪床勾配の関係

4.3.3 侵食特性の評価

侵食幅と侵食深の関係性について、図-4.18、4.19に整理した。なお、砂防指針では、土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅および溪床堆積土砂の平均深さについて、現地調査及び近傍溪流における土石流時の洗堀状況などを参考に算出するとされている。また、侵食深さの参考値として、過去の土石流災害の事例が20事例ほど示されており、それらは、溪流全体での平均侵食深として示されている。

以上のことから、本研究においても、平均侵食深と平均侵食幅といった平均値で評価を行うこととした。平均侵食幅は、6m~7mの溪流が最も多く、平均侵食深は、1.0~1.3mの溪流が最も多いことがわかった。平均侵食深は、0次谷は、6~7mの範囲が最も多いが、2次谷では7~8mの範囲、3次谷では8~9mの範囲が最も多くなることから、谷次数が大きくなる毎に侵食幅が大きくなり、移動する土砂量は多くなることも確認された。

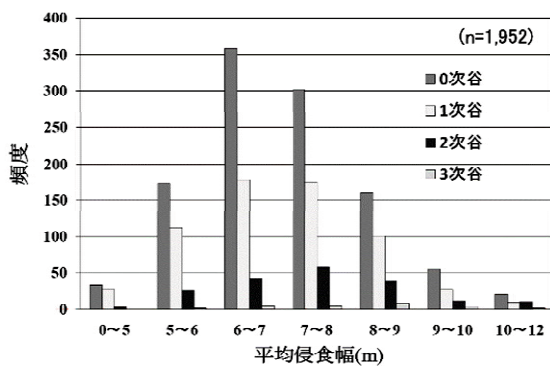


図-4.18 谷次数毎の平均侵食幅の分布

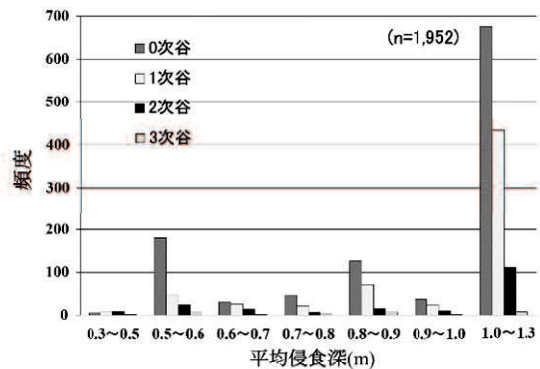


図-4.19 谷次数毎の平均侵食深の分布

次に、地質別の平均侵食幅および平均侵食深を図-4.20、4.21 および表-4.6 に示す。地質別にみると、平均侵食幅は、最小値が 6.6m で最大値が 8.0m。また、平均侵食深は、最小値が 0.8m で最大値が 1.0m であった。このように、地質別で見た場合の値に明確な違いがみられることから、地質別の平均侵食深および平均侵食幅を推定値に用いることは有効と考えられる。

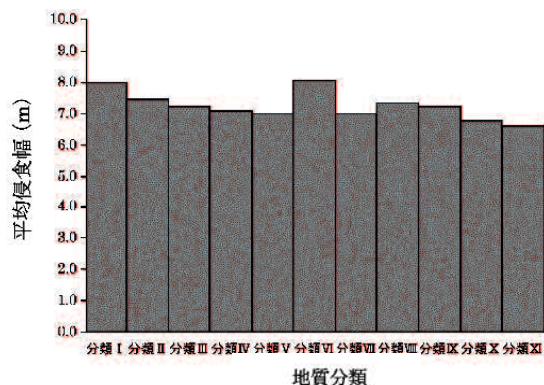


図-4.20 地質別の平均侵食幅

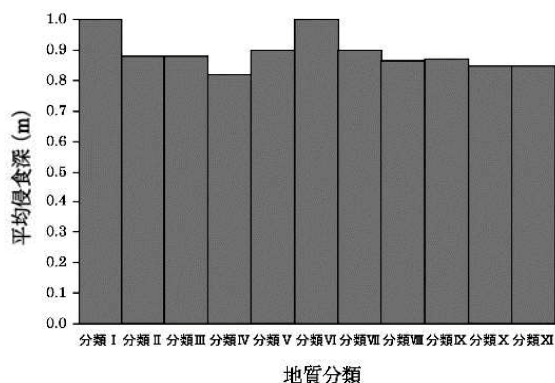


図-4.21 地質別の平均侵食深

表-4.6 現地詳細調査による地質別の平均侵食幅と平均侵食深

区分	地質分類	平均侵食幅 (m)	平均侵食深 (m)	データ数
分類 I	シルト岩・砂泥互層・砂岩・礫岩	8.0	1.0	2
分類 II	安山岩類・同質火砕岩類	7.4	0.9	68
分類 III	花崗閃緑岩	7.2	0.9	13
分類 IV	砂岩・頁岩・安山岩類	7.1	0.8	5
分類 V	砂岩・頁岩・緑色岩・玄武岩	6.9	0.9	27
分類 VI	砂礫・砂・シルト・粘土	8.0	1.0	1
分類 VII	細粒花崗岩・粗粒花崗岩	7.0	0.9	483
分類 VIII	泥質片岩・砂質片岩・珪質片岩	7.3	0.9	132
分類 IX	粘板岩・砂岩・チャート・石灰岩	7.2	0.9	108
分類 X	流紋岩・石英安山岩質凝灰岩	6.8	0.8	245
分類 XI	礫質泥岩・シルト質泥岩・チャート	6.6	0.9	22

分類した地質のうち最も多いのが、花崗岩で対象となる溪流数は、483 溪流である。このうち、**図-4.22** のとおり、1 次谷までのものが 298 溪流、2 次谷までのものが 101 溪流、3 次谷までのものが 19 溪流あった。これは、谷次数毎に平均 3 測点を設けられたことになる。得られた侵食幅の平均値と標準偏差を、**表-4.7** に示す。0 次谷と 1 次谷の平均値の差は小さいものの、2 次谷、3 次谷と増加すると、明確に増加している。侵食幅の標準偏差は、0 次谷、1 次谷、2 次谷と標準偏差が微増し、3 次谷で増加するという傾向を示した。0 次谷についてみると、 $-\sigma \sim +\sigma$ の範囲に 70%、 $-2\sigma \sim +2\sigma$ の範囲に 94%が存在し、おおよそ正規分布に近い。この点、1 次谷、2 次谷も同様であった。

次に、流紋岩で対象となる溪流数は、245 溪流である。このうち、1 次谷までのものが 117 溪流、2 次谷までのものが 37 溪流、3 次谷までのものが 7 溪流あった。得られた侵食幅の平均値と標準偏差を**表-4.7** に示す。花崗岩の場合と同じように 0 次谷と 1 次谷の平均値の差は小さく、2 次谷、3 次谷と増加すると、明確に増加している傾向があり、その傾向は花崗岩より明確であった。侵食幅の標準偏差は、2 次谷の標準偏差が顕著に大きく、3 次谷は明確に小さい標準偏差であった。0 次谷についてみると、 $-\sigma \sim +\sigma$ の範囲に 71%、 $-2\sigma \sim +2\sigma$ の範囲に 94%が存在し、おおよそ正規分布に近い。この点、1 次谷、2 次谷も同様であった。花崗岩類で 0 次谷のみの溪流数は、184 溪流である。対象となる溪流での計測点総数は 408 点であり、平均では 2.2 測点数となる。これは、溪流の総延長の平均が 383m であることと関係している。この対象となる侵食幅の平均は、7.12 であり、前述の 0 次谷全体の平均値よりも若干大きい値となった。標準偏差は 1.3 で、全体の平均値よりも小さくなりばらつきが減る傾向となった(**図-4.23**)。この対象となる侵食幅を総延長、最急溪床勾配の溪流特性との関係をもと、いずれの溪流特性とも明確な依存関係は認められなかった。平均的な傾向を示す近似直線と比べると、総延長では 3000m で侵食幅の増加が 0.5m となった。

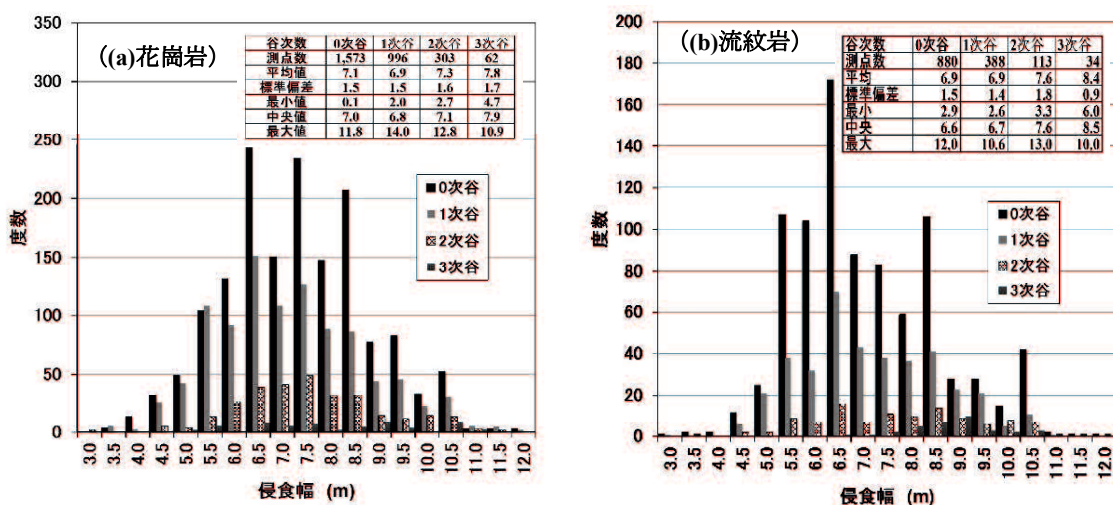


図-4.22 谷次数毎の侵食幅度数分布図 (a)花崗岩, (b)流紋岩

表-4.7 侵食幅の特性

谷次数	花崗岩(データ数:483)		流紋岩(データ数:245)	
	平均値(m)	標準偏差	平均値(m)	標準偏差
0次谷	7.0	1.47	6.85	1.47
1次谷	6.9	1.55	6.91	1.43
2次谷	7.3	1.56	7.56	1.78
3次谷	7.8	1.74	8.41	0.94

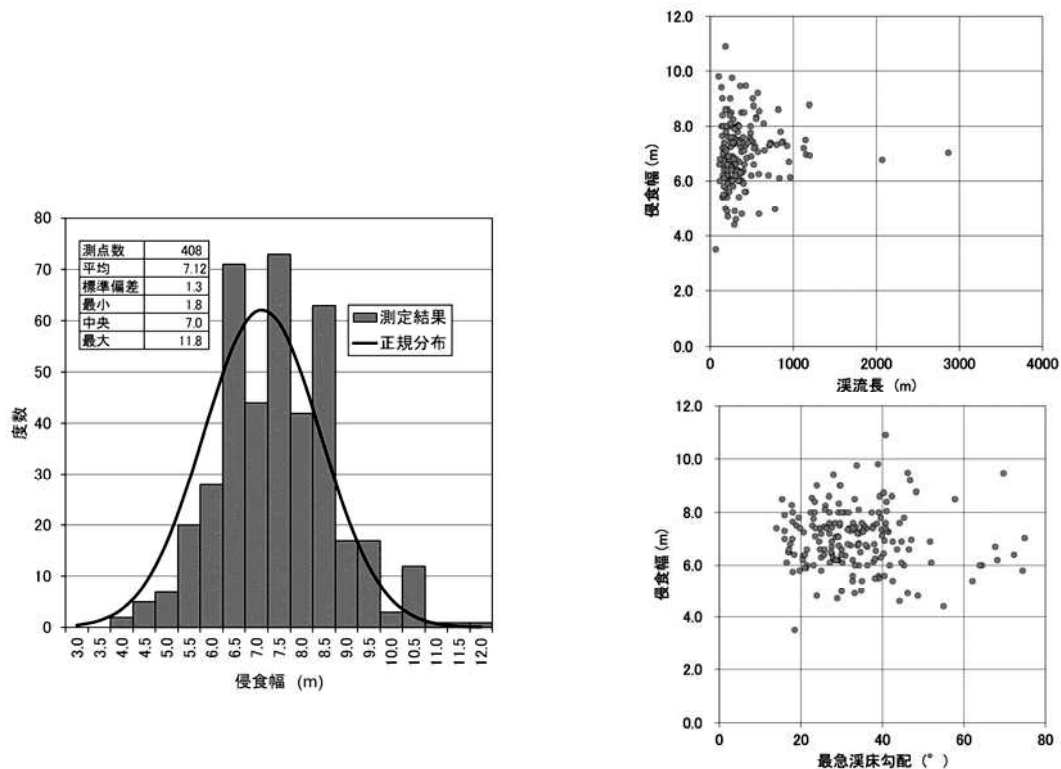


図-4.23 花崗岩類で0次谷のみの溪流に対する侵食幅度数分布および、
溪流特性と溪流幅との関係

溪流数の多い地質分類について、谷次数と侵食幅の平均値の関係を図-4.24 に示した。比較のため、全溪流の平均値も示した。この図から、地質によって、特徴的な谷次数と侵食幅の平均値の関係を示すことが明らかとなった。全体の傾向は、0次谷と1次谷の関係に大きな差がなかった。この傾向は、いずれの地質についても同様の傾向であった。全体の傾向は、1次谷、2次谷、3次谷と谷次数増加とともに、1mほど増加する。この傾向は、花崗岩とほぼ同じ傾向であった。流紋岩の傾向は、平均の傾向よりも、侵食幅の増加が1.5mであった。安山岩系のそれは、侵食幅が大きめで、1次谷から2次谷での侵食幅の増加傾向は、流紋岩とほぼ同じであった。粘板岩類の場合、1次谷から2次谷での侵食幅の増加傾向が、流紋岩や安山岩よりも顕著であった。片岩

の傾向は、上述よりも明確な違いがあり、1次谷から2次谷での侵食幅の増加がわずかで、2次谷から3次谷での侵食幅の減少傾向を示した。

図-4.20 に示す侵食幅の平均値と図-4.16 の比例係数と比べても、単純な対応関係を見出すことができない。図-4.25 に示すように、地質毎でも侵食深が侵食幅に大きくよらないことから、侵食幅に対する谷次数毎の変動が地質によることが依存していると考えられる。つまり、侵食幅の統計値は、地質と谷次数毎に評価するべきであることを示している。

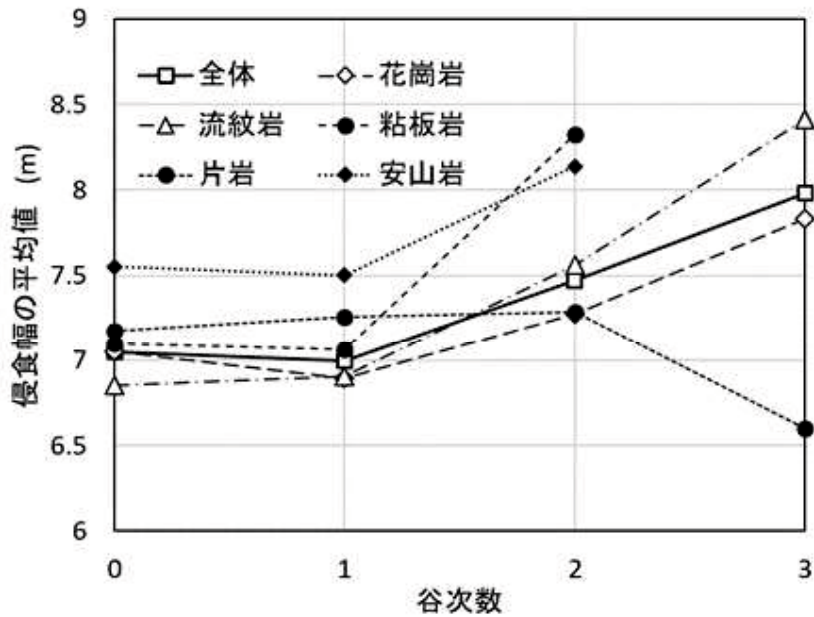


図-4.24 谷次数と侵食幅の平均値の関係

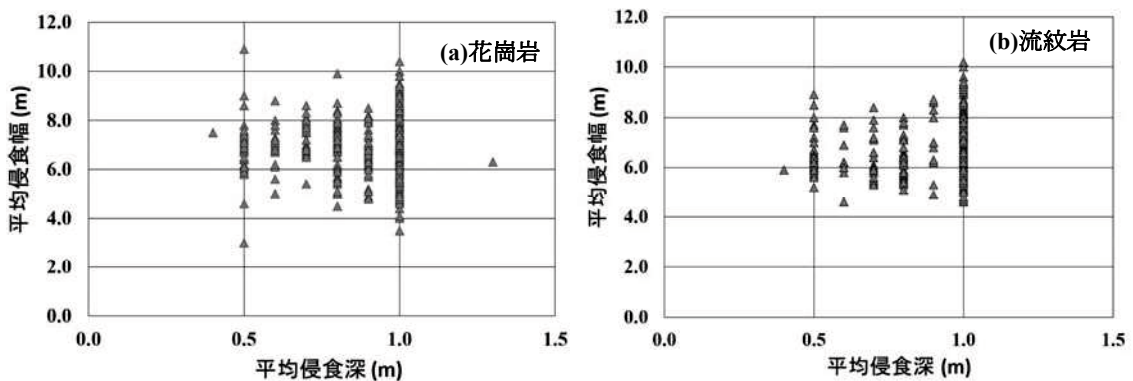


図-4.25 平均侵食深と平均侵食幅の関係 ((a)花崗岩, (b)流紋岩)

4.3.4 地質別想定基準値の提案と実用性の評価

本論文の「4.3.2 侵食特性の評価」に示すとおり、地質別で見た場合の侵食特性に明確な違いがみられることから、地質別の平均侵食深および平均侵食幅を推定値に用いることは有効と考えられる。地質別、谷次数毎に定める侵食幅と侵食深の平均値を想定基準値とみなし、地質別想定基準値として、表-4.8に取り纏めた。

表-4.8 地質別想定基準値 (単位：m)

区分	地質分類	0次谷		1次谷		2次谷		3次谷		データ数
		侵食幅	侵食深	侵食幅	侵食深	侵食幅	侵食深	侵食幅	侵食深	
分類 I	シルト岩・砂泥互層・砂岩・礫岩	7.9	1.0	8.7	1.0	7.7	1.0	-	-	2
分類 II	安山岩類・同質火砕岩類	7.4	0.9	7.3	0.9	8.2	0.8	-	-	68
分類 III	花崗閃緑岩	7.6	0.8	8.0	0.9	8.2	1.0	-	-	13
分類 IV	砂岩・頁岩・安山岩類	7.2	0.8	6.7	0.9	7.5	0.8	-	-	5
分類 V	砂岩・頁岩・緑色岩・玄武岩	6.9	0.8	6.9	1.0	7.9	0.8	-	-	27
分類 VI	砂礫・砂・シルト・粘土	8.0	1.0	-	-	-	-	-	-	1
分類 VII	細粒花崗岩・粗粒花崗岩	7.0	0.9	6.9	0.9	7.3	0.8	7.8	0.7	483
分類 VIII	泥質片岩・砂質片岩・珪質片岩	7.2	0.8	7.2	0.9	7.5	0.8	6.6	0.6	132
分類 IX	粘板岩・砂岩・チャート・石灰岩	7.1	0.9	7.0	0.9	7.8	0.9	-	-	108
分類 X	流紋岩・石英安山岩質凝灰岩	6.7	0.8	6.8	0.9	7.6	0.9	8.4	0.8	245
分類 XI	礫質泥岩・シルト質泥岩・チャート	6.6	0.8	5.8	0.8	6.3	1.0	-	-	22

この地質別想定基準値の実用性の評価を行うため、推定する移動可能土砂量を以下の3つに区分し比較した。

区分[1]：現地調査で得られた侵食特性より算出した移動可能土砂量（以下、現地調査による土砂量と称する）

区分[2]：地質別想定基準値をもとに推定した移動可能土砂量（以下、地質別想定基準値による土砂量と称する）

区分[3]：既存資料から侵食特性を想定し、推定した移動可能土砂量（以下、既存資料想定値による土砂量と称する）

今回の地質別想定基準値を用いるまでは、既存資料想定値を用いて資料調査に基づく溪流危険度評価を行っていた。従来の既存資料想定値は、中国地方の各県の砂防関係部局から収集したに区域調書とカルテを用いて算出した。算出方法は、区域調書やカルテから谷次数毎の侵食幅と侵食深を抽出し、表-4.3のとおり、谷次毎の侵食幅と侵食深さの平均値を県別に算出し、その値を用いて移動可能土砂量を算出した。これを、既存資料想定値による土砂量([3])とする。なお、表-4.3の算出に用いた区域調書やカルテは、収集した資料のうち、高速道路路線上に重複する溪流のみに絞り込み、それら

の値を用いた。なお、ここで県別に算出したのは、土石流計画は、各県ごとに行われていることによる。図-4.26は、現地調査による土砂量([1])と想定基準値による土砂量([2])の関係を示している。想定基準値による土砂量の値は、現地調査による土砂量に比べ、およそ60%から200%の範囲に入り、想定基準値による土砂量の方がやや上回る傾向を示した。実務的な視点、つまり新たに設定された危険溪流に対する移動可能土砂量を推定する場合、得られる結果は、起こりうる土砂量の2.0倍から0.6倍の範囲に入ることを意味する。このように起こりうる範囲を定量的に把握できたことが、工学的に意義があると考えられる。次に、現地調査による土砂量([1])と地質別想定基準値による土砂量([2])の階差(以下、「地質別想定基準値による土砂量の差」という)を式(4.8)で算出した結果を図-4.27に示す。

$$V_{dya} = (V_{dyb} - V_{dyc}) / V_{dyc} \quad (4.8)$$

ここで、

- V_{dya} : 移動可能土砂量の階差
(想定基準値による土砂量の差) (m^3)
- V_{dyb} : 地質別想定基準値による土砂量(m^3)
- V_{dyc} : 現地調査による土砂量(m^3)

また、現地調査による土砂量と既存資料想定値による土砂量の階差(以下、「既存資料想定値による土砂量の差」という)を式(4.9)で算出した結果を図-4.29に示す。

$$V_{dyd} = (V_{dye} - V_{dyc}) / V_{dyc} \quad (4.9)$$

ここで、

- V_{dyd} : 移動可能土砂量の階差
(既存資料想定値による土砂量の差) (m^3)
- V_{dye} : 既存資料想定値による土砂量(m^3)
- V_{dyc} : 現地調査による土砂量(m^3)

算出の結果、図-4.27に示すとおり、地質別想定基準値による土砂量の差が $\pm 10\%$ 以内の溪流は、全体の26%、 $\pm 30\%$ 以内の溪流は、全体の67%を占めた。これに対し、図-4.28に示すとおり、既存資料想定値による土砂量の差が $\pm 10\%$ 以内の溪流は、全体の

19%, $\pm 30\%$ 以内の溪流は、全体の 49%であった。また、現地調査による土砂量に対して、土砂量の差が $\pm 50\%$ を超える溪流は、地質別想定基準値による土砂量が全体の 17%に対し、既往資料想定値による土砂量は 26%であり、約 10%増加した。このことから、従来の方法である県別の資料を用いた既往資料想定値による土砂量に対し、地質別に区分した想定基準値による土砂量のほうが、より現地調査による土砂量に近い値を示すことから、移動可能土砂量の推定には、地質別想定基準値による土砂量が有意であるといえる。

次に、地質別想定基準値を用いて計画流出土砂量を算出した際の計画流出土砂量の分布について図-4.29 に示す。土石流災害は、切土のり面などの斜面災害と比較すると流出してくる土量が多い印象があるが、高速道路は、山岳区間を多く通過しており、その沿線には、切土斜面上の流域の比較的小さな溪流なども存在することから、移動可能流出土砂量は、 $1000\sim 3000\text{m}^3$ 程度が最も多く分布する結果となったと推測される。また、現地調査の結果と比較しても移動流出可能土砂量に大きな階差がないことが確認された。ここで提示した地質別想定基準値は、危険な溪流を抽出する作業（資料調査に基づく溪流危険度評価）や机上でのハード対策の整備計画策定のための優先度付けを行う際など、多くの溪流に対する危険度評価や土石流計画の際の移動可能土砂量の推定に活用できると考える。一方で、本研究で示した統計的評価は、特に中国地方に分布が少ない地質を含め、データの追加と、更なる分析、検証を行う必要がある。

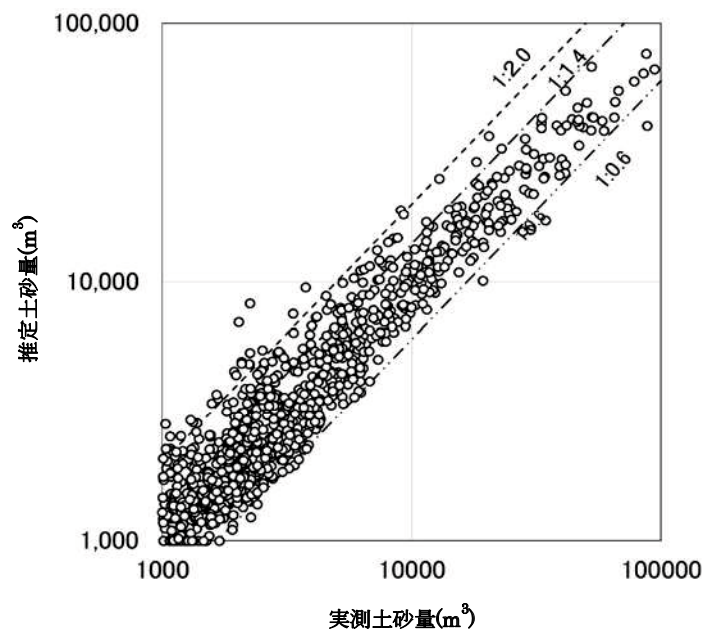


図-4.26 地質別想定基準値による土砂量の精度

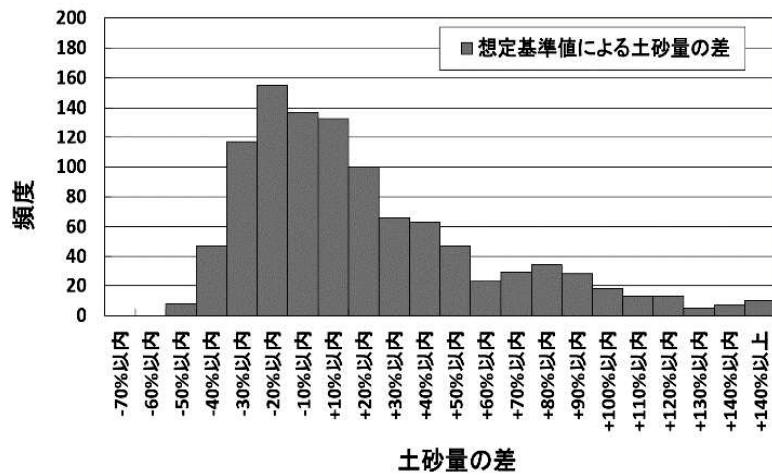


図-4.27 地質別想定基準値による土砂量の差

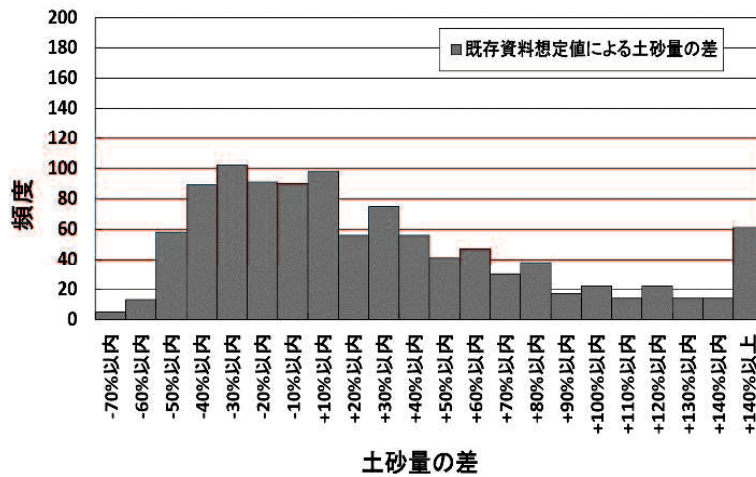


図-4.28 既存資料想定値による土砂量の差

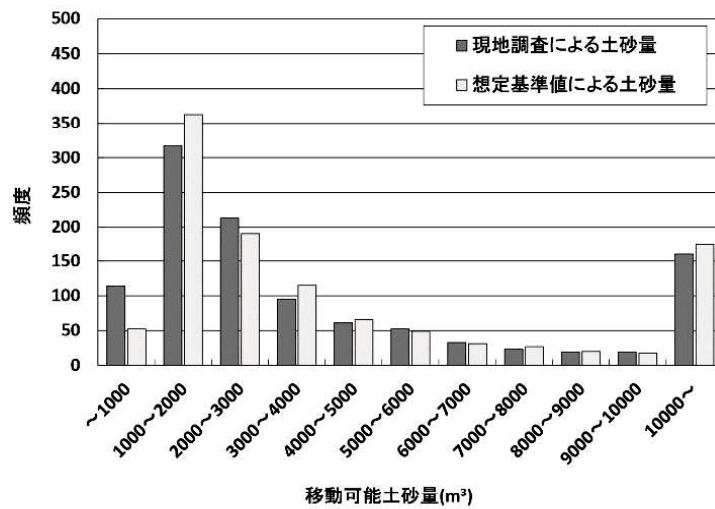


図-4.29 地質別想定基準値を用いて算出した移動可能土砂量と現地調査による移動可能土砂量の比較

4.3.5 県別想定基準値の整理

現地詳細調査の結果から、県別、谷次数毎に定める侵食幅と侵食深の平均値を想定基準値とみなし、県別想定基準値として、表-4.9に取り纏めた。

この県別想定基準値の実用性の評価を行うため、推定する移動可能土砂量を以下の2つに区分し比較した。

区分[1]：現地調査で得られた侵食特性より算出した移動可能土砂量（以下、現地調査による土砂量と称する）

区分[2]：県別想定基準値をもとに推定した移動可能土砂量（以下、県別想定基準値による土砂量と称する）

現地調査による土砂量〔[1]〕と県別想定基準値による土砂量〔[2]〕の階差（以下、「県別想定基準値による土砂量の差」という）を式(4.10)で算出した結果を図-4.30に示す。県別想定基準値による土砂量の差が $\pm 10\%$ 以内の溪流は、全体の12%、 $\pm 30\%$ 以内の溪流は、全体の54%を占めた。これに対し、図-4.28に示すとおり、既存資料想定値による土砂量の差が $\pm 10\%$ 以内の溪流は、全体の19%、 $\pm 30\%$ 以内の溪流は、全体の49%であった。また、現地調査による土砂量に対して、土砂量の差が $\pm 50\%$ を超える溪流は、県別想定基準値による土砂量が全体の11%に対し、既往資料想定値による土砂量は26%であり、約15%増加した。

このことから、従来の方法である県別の資料を用いた既往資料想定値による土砂量に対し、県別に区分した想定基準値による土砂量のほうが、より現地調査による土砂量に近い値を示すことから、移動可能土砂量の推定には、県別想定基準値による土砂量が有意であるといえる。

既存資料想定値の元となったデータ数は限られており、データ量としても不足していたこと、また、各県ごとの侵食深や侵食幅の調査方法が必ずしも同一ではないと推定されることから、今後の県別での値を使用する場合には、本研究で整理した県別想定基準値を用いることとで精度が向上すると考える。

但し、地質別想定基準値と比較すると県別想定基準値より現地詳細調査との土砂量の差は小さいことから、地質別想定基準値の方が、移動可能土砂量の推定には、より有意であることがわかった。

$$V_{dya} = (V_{dyb} - V_{dyc}) / V_{dyc} \quad (4.10)$$

ここで、

V_{dyf} : 移動可能土砂量の階差
 (想定基準値による土砂量の差) (m³)

V_{dyg} : 県別想定基準値による土砂量(m³)

V_{dyc} : 現地調査による土砂量(m³)

表-4.9 県別想定基準値

(単位 : m)

県	0次谷		1次谷		2次谷		3次谷		データ数
	Bd	De	Bd	De	Bd	De	Bd	De	
兵庫	6.5	0.7	6.1	0.9	6.8	0.7	-	-	28
鳥取	7.9	1.0	8.0	0.9	8.4	0.7	-	-	22
島根	7.6	1.0	7.6	1.0	8.0	1.0	8.1	1.0	75
岡山	6.6	0.7	6.8	0.9	7.4	0.9	8.1	0.8	304
広島	7.0	0.9	6.9	0.9	7.2	0.9	7.8	0.7	404
山口	7.2	0.9	7.1	0.9	7.6	0.8	7.8	0.7	273

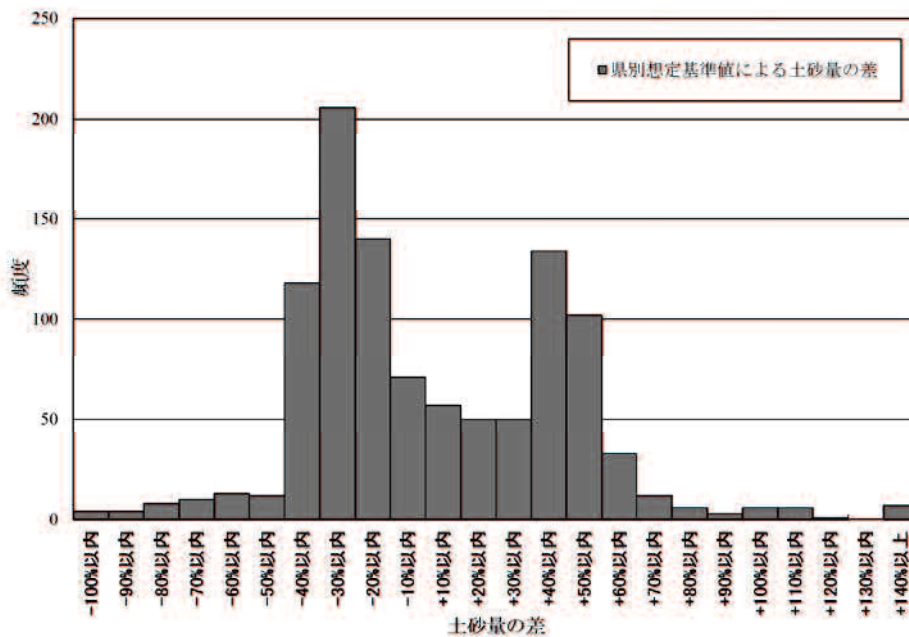


図-4.30 県別想定基準値による土砂量の差

現地詳細調査の結果から得られた県別の侵食深さと侵食幅の関係についても図-4.31~4.35に示す。岡山県、島根県、鳥取県は、侵食深さにばらつきが少ないが、山口県と広島県では、侵食深さに大きなばらつきが見られた。

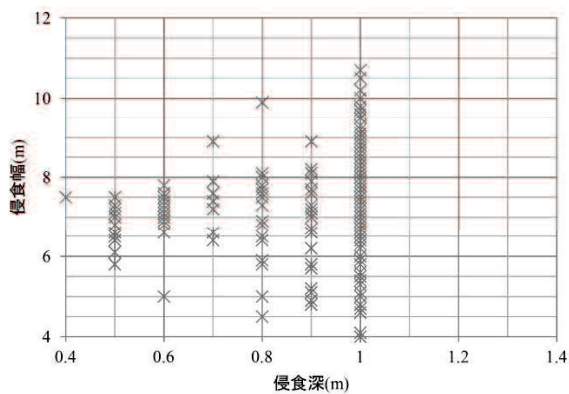


図-4.31 平均侵食深と平均侵食幅の関係
(山口県)

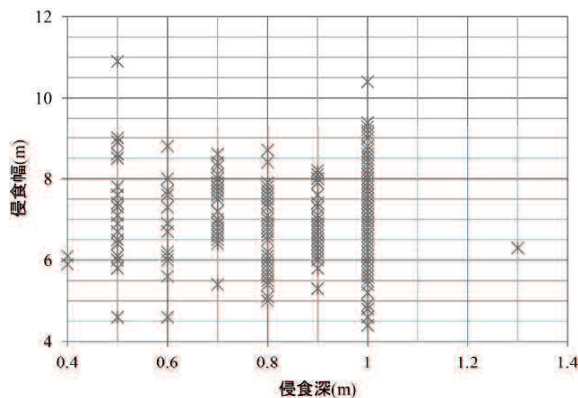


図-4.32 平均侵食深と平均侵食幅の関係
(広島県)

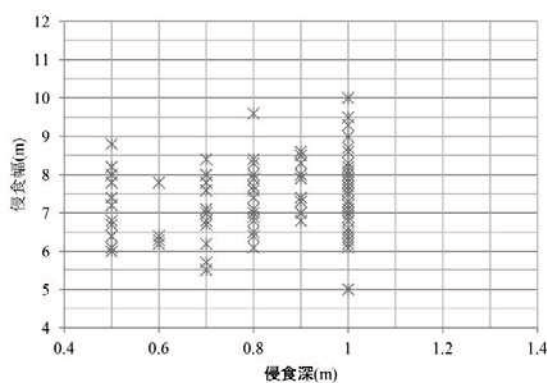


図-4.33 平均侵食深と平均侵食幅の関係
(岡山県)

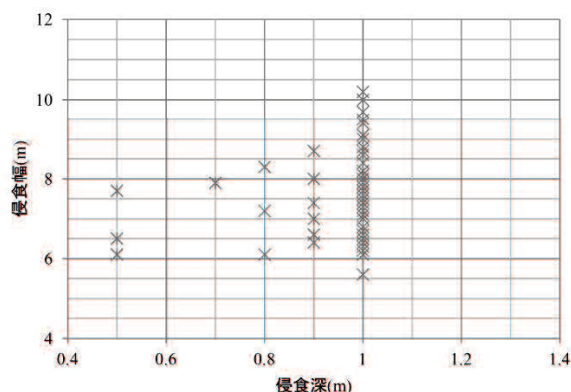


図-4.34 平均侵食深と平均侵食幅の関係
(島根県)

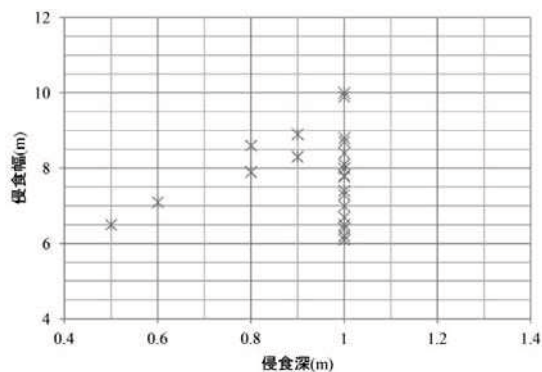


図-4.35 平均侵食深と平均侵食幅の関係
(鳥取県)

4.4 まとめ

本章は、1,106 溪流に対して実施した現地詳細調査結果から、移動可能土砂量や侵食深、侵食幅について統計的評価を行った。計画流出土砂量を算出するための、侵食深および侵食幅について、現地詳細調査結果を地質別にとりまとめることで、今後の計画流出土砂量の推定に用いる平均侵食幅と平均侵食深の推定値を検討したものである。今まで述べてきた各々の分析・整理結果から得られた結論は、次のとおりである。

- 1) 溪流長の分布は、全体も、花崗岩や流紋岩のような地質毎にみても、対数正規分布に近いことがわかった。
- 2) 現地詳細調査により把握した移動可能土砂量の統計分析から、移動可能土砂量の度数分布は、全溪流も、地質毎も対数正規分布に近いことがわかった。また、移動可能土砂量と溪流長には線形的な相関があり、この相関は地質毎ではより高くなった。さらに、この線形関係の傾きは地質毎に異なった。
- 3) 地質毎の侵食幅は、地質毎また、谷次数毎に、およそ正規分布に近いことがわかった。
- 4) 地質毎・谷次数毎に定める侵食幅と侵食深の平均値を想定基準値としてみなして、移動可能土砂量を推定した結果は、およそ 60%から 200%の範囲に入り、想定基準値の方がやや上回る傾向を示した。
- 5) 資料調査では、移動可能土砂量の算出に必要となる溪床幅及び侵食深については不明なため、各県の砂防関係部局から収集した既存資料より谷次毎の県別平均値を算出し、移動可能土砂量の推定に用いた。この推定値と実際の現地での侵食幅と侵食深との階差について検証するため、移動可能土砂量の差を算出した結果、土砂量の差が $\pm 30\%$ の範囲に全体の 51%の溪流が該当しており、資料調査での移動可能土砂量の考え方について、ある程度妥当性は確認できた。一方、土砂量の差が $\pm 50\%$ 範囲外の溪流も全体の 26%ほど確認された。これは、既存資料推定値の元となったデータ数は限られており、データ量が少なかったこと、また、各県ごとの侵食深や侵食幅の調査方法が必ずしも同一ではないと推定されることから、実際の溪床幅及び侵食深との階差が広がったものと考えられる。
- 6) 提案した谷次数毎の地質別想定基準値を用いて算出した移動可能土砂量と実際に現地詳細調査を実施して算出した移動可能土砂量では、土砂量の差が $\pm 30\%$ 範囲の溪

流が全体の 67%を占めることから、資料調査に用いた既存資料推定値に比べると精度が向上することが確認された。また、土砂量の階差が $\pm 50\%$ 範囲外の溪流も 17%程度まで減少した。

- 7) 整理した谷次毎の県別想定基準値を用いて算出した計画流出土砂量と実際に現地詳細調査を実施して算出した計画流出土砂量では、土砂量の階差が $\pm 30\%$ 範囲の溪流が全体の 54%を占めることから、資料調査に用いた県別既存推定値に比べると精度が向上した。また、土砂量の階差が $\pm 50\%$ 範囲外の溪流も全体の 10%程度まで減少した。
- 8) 地質毎・谷次数毎の想定基準値による土砂量は、県別の資料を用いた既往資料想定値による土砂量と比べ、より現地調査による土砂量に近い値を示した。これから、移動可能土砂量の推定には、地質別想定基準値がより有意であることがわかった。

第4章の参考文献

- 1) 下野宗彦, 村上豊和, 中田幸男: 中国地方における高速道路斜面の崩壊と表層地質区分の関連性, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol. , No. 71, No2, 92-107, 2015.
- 2) 村上豊和, 下野宗彦, 中田幸男: 高速道路に影響を与える土石流危険渓流の資料調査に基づく評価手法, 地盤工学会中国支部論文報告集, Vol. 34, No. 1, pp 19-27, 2016.
- 3) 建設省河川局砂防部砂防課: 土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領 (案), 1999.
- 4) 建設省河川局砂防部砂防課: 土石流危険渓流カルテ作成要領 (案), 1999.
- 5) 国土交通省河川局: 河川砂防技術基準 (計画編), 2004.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 及び同解説書, 2016.
- 7) 西日本高速道路(株): 土石流対策の手引き, 2003.

第5章

第5章. 結論

5.1 本研究のまとめ

本研究による高速道路への影響度の高い溪流を抽出する目的は、「通行者の安全安心を第1に考え、まずは高速道路へ影響を与える溪流を把握すること」。それを踏まえ「その影響を与える溪流について、関係機関に対応してもらえるよう協議すること」である。但し、関係機関での対応が難しい場合は、高速道路側での危険溪流対策を行う必要がある。ここで、高速道路側で行う危険溪流対策とは、高速道路及び関連施設に対し、道路区域外で発生した土石流が流入してくる災害を最小限に止めるために行うことを目的とし、その発生の恐れがある溪流に対し、自衛のための対策工を実施するものである。

本研究では、高速道路区域外の危険溪流からの土砂流入災害に対する安全確保を目的とし、既往の調査資料に基づいて、溪流危険度を評価し現地詳細調査の優先度を設定することが可能な「資料調査に基づく溪流危険度評価」を新たに提案し、実調査へ適用した。資料調査では、溪流の地形状況と高速道路の横過条件をもとに溪流危険度を評価し、優先的に現地詳細調査が必要な溪流を抽出した。あわせて、過去の土石流災害との比較による「資料調査に基づく溪流危険度評価」の妥当性を検証した。そして、実調査で得られた評価結果に基づき、現地詳細調査の対象と判断された溪流に対し、現地詳細調査を実施した。現地詳細調査では、土石流発生時に土砂等が高速道路へ達し影響を与える際に想定される事象から評価項目を整理することで、高速道路へ影響を与える可能性の高い溪流を評価できる「現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価」を提案し、その評価結果をもとに対策優先度の高い溪流を選定した。

「資料調査に基づく溪流危険度評価」から「現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価」について、本研究で確立できた手法をフロー形式で図-5.1に示す。まずは、第2章の資料調査で溪流の危険度を評価し、現地調査を行う必要のある溪流を絞り込む（資料調査に基づく溪流危険度評価）（図-5.2）。次に、第3章と第4章で、現地調査を行なうことで、高速道路へ影響を与える可能性が高い溪流を更に絞り込むことができる（現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価）。このことから、資料調査と現地詳細調査は一連の流れで行うことで、高速道路側による対策優先溪流を選定できる手法である。

また、現地詳細調査に基づく計画流出土砂量の算出結果や侵食深や侵食幅の分析から、資料調査で活用が可能な溪流内の侵食深と侵食幅の谷次数ごとの地質別想定基準値を提案した。

以下に、本研究の成果を各章毎に取りまとめる。

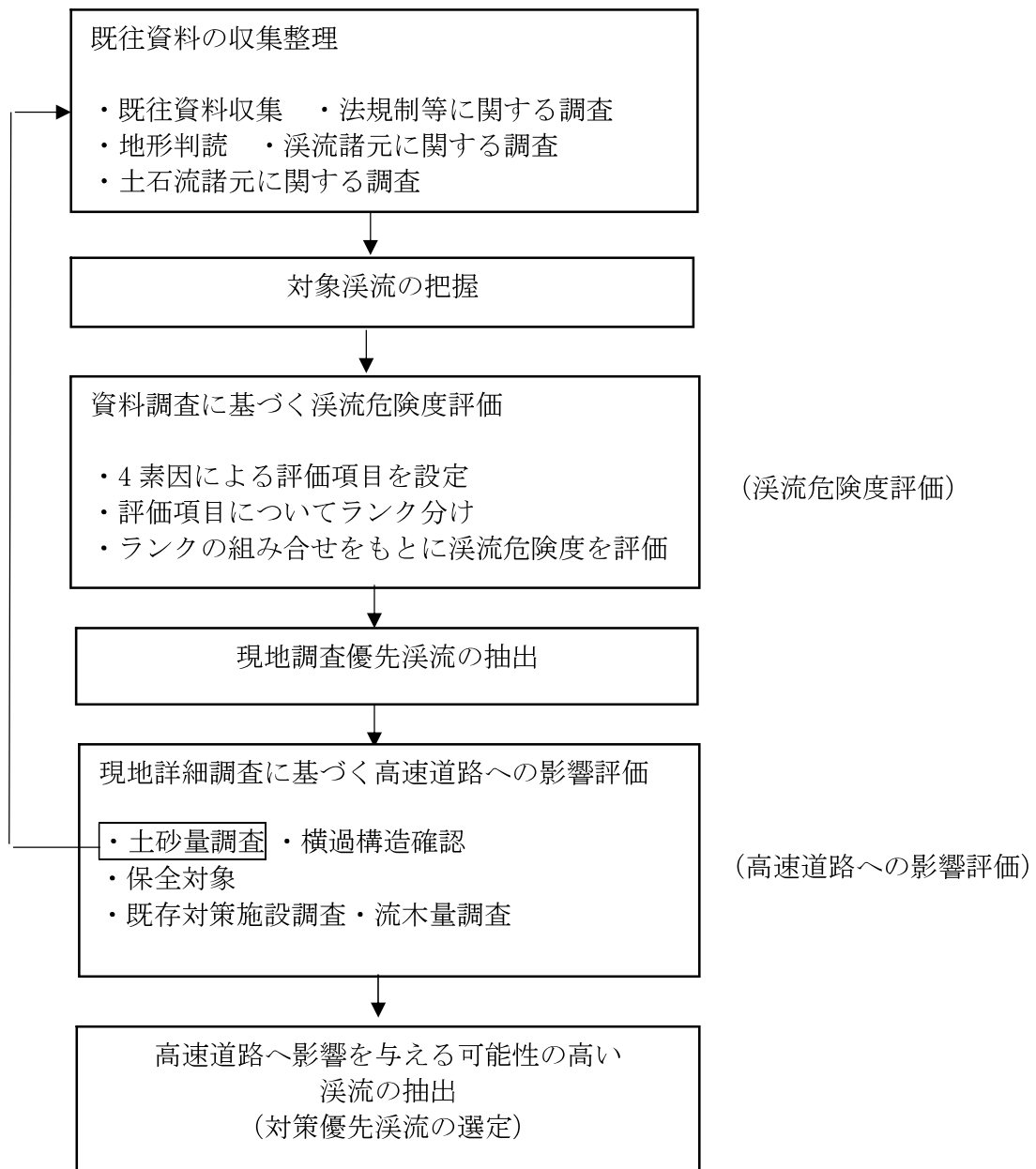


図-5.1 高速道路に対する渓流危険度評価フロー

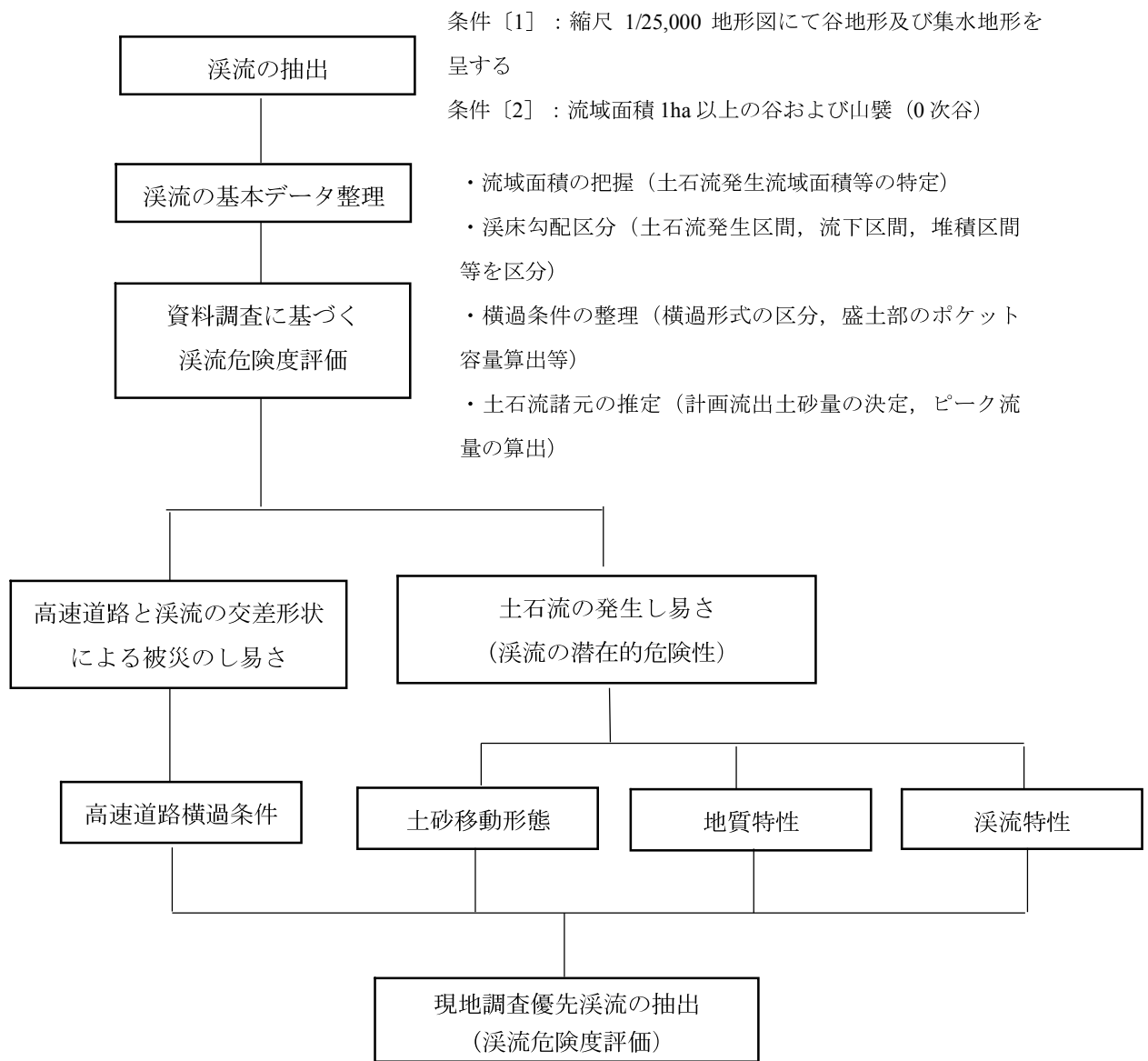


図-5.2 資料調査に基づく渓流危険度評価フロー

「第 1 章序論」では，本研究の背景を述べると共に，関連する既往の研究や技術資料から，危険な渓流を判定する手法や渓流現地調査手法について整理し，本研究の目的と課題および構成を示した。

「第 2 章」では，現地詳細調査の優先度を設定することが可能な，資料調査に基づく渓流危険度評価を検討した。この渓流危険度評価は，砂防指針¹⁾に基づいて構築され，

資料調査は、高速道路と溪流の交差形状による被災のし易さや地形や地質による土石流の発生し易さに着目し検討した結果、高速道路の横過条件や高速道路付近の土砂移動形態、地質区分、溪流特性により類型区分されるものである。この検討結果から得られた結論は、次のとおりである。

- 1) 西日本高速道路㈱中国支社が管理する約 1,000km の高速道路沿線にある 4,037 溪流に対して、現地詳細調査を効率的に進めるため、既往の調査資料に基づいて、現地詳細調査の優先度設定が可能な資料調査に基づく危険溪流評価を検討した。その結果、「(その 1) 高速道路横過条件、(その 2) 土砂移動形態、(その 3) 地質特性、(その 4) 溪流特性」の 4 素因について類型を行い、各ランクの組み合わせで 5 段階(カテゴリー①～⑤)の危険度に分類することが可能となった。この評価手法を 4,037 溪流に対して適用した結果、現地詳細調査を行う 1,186 溪流を抽出することが出来た。
- 2) 資料調査に基づく危険溪流評価に基づく評価結果と、土石流の既往の災害履歴と比較すると、全ての災害が 5 段階の危険度のうち上位 2 段階のカテゴリー区分①②に該当する結果となった。このことから、提案した資料調査に基づく溪流危険度評価は、中国地方の高速道路沿線の溪流を対象とした現地詳細調査箇所の優先度設定において、一定の妥当性があることが示された。

「第 3 章」では、資料調査に基づく溪流危険度評価により、現地詳細調査の優先度の高いカテゴリー①②に区分された溪流に対して現地詳細調査を実施した。現地詳細調査結果から、より高速道路への影響度が高い溪流を評価できる現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価を検討した。この高速道路への影響評価は土石流発生時に土砂等が高速道路へ達し影響を与える際、想定される事象から評価項目を整理し、フロー形式で評価するものである。この検討結果から得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 資料調査に基づく溪流危険度評価により優先度が高いカテゴリー①②に区分された 1,186 溪流のうち、高速道路が溪流を横過する地点を現地事前踏査した結果、明らかに高速道路への影響が無い 80 溪流を除く 1,106 溪流を対象に現地詳細調査を実施した。この溪流に対し、「路面と渓床の比高が土石流に対して安全か」「ピーク流量、土石等(最大礫径)、流木を安全に流せるか」「せり上がり現象に対して安全か」「盛土ポケット容量で補足可能か」を評価項目とした現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価を適用することで、1,106 溪流ある溪流のうち 780 溪流(71%)を高速道路への影響が高いと溪流として絞り込むことが出来ることを示した。

- 2) 資料調査で評価の出来なかった、最大礫径や流木を考慮した土石流を安全に流せるカルバートボックス幅について整理した。これは、安全に流すことのできるカルバートボックス幅を設定することにより、資料調査段階で、高速道路に影響がない溪流の絞り込みを行うために検討したものである。その検討の結果、土石流ピーク流量を安全に流しうるカルバートボックス幅は、約 8m 以上、最大礫径を考慮した土石流を安全に流しうるカルバートボックス幅は約 4m 以上、流木を安全に流しうるカルバートボックス幅は、約 6m 以上であることがわかった。以上のことから、幅 8m 以上のカルバートボックスに土石流が流れ込むことが、資料調査もしくは現地詳細調査前の谷出口の現地踏査段階で確認できた場合、調査を実施することなく、高速道路に与える影響が低いと判断することができるようになる。これにより、より効率的に高速道路に影響を与える溪流を絞り込むことを示した。

「第 4 章」では、計画流出土砂量を算出するための、侵食深および侵食幅について、現地詳細調査結果を地質別や県別にとりまとめることで、今後の計画流出土砂量の推定に用いる谷次別平均侵食幅と平均侵食深の推定値を検討したものである。今まで述べてきた各々の分析・整理結果から得られた結論は、次のとおりである。

- 1) 資料調査では、計画流出土砂量の算出に必要な侵食幅及び侵食深については不明なため、各県の砂防関係部局から収集した既存資料より谷次毎の県別平均値を算出し、既存推定値として、計画流出土砂量の推定に用いた。この既存推定値と実際の現地での侵食幅と侵食深との階差について検証するため、計画流出土砂量の階差を算出した結果、土砂量の階差 $\pm 30\%$ の範囲に全体の 51%の溪流が該当しており、資料調査での計画流出土砂量の考え方について、一定の妥当性は確認できた。
- 2) 提案した谷次毎の県別想定基準値を用いて算出した計画流出土砂量と実際に現地詳細調査を実施して算出した計画流出土砂量では、土砂量の階差が $\pm 30\%$ 範囲の溪流が全体の 54%を占めることから、資料調査に用いた県別の既存推定値に比べると精度が向上した。また、計画流出土砂量の階差が $\pm 50\%$ 範囲外の溪流も全体の 10%程度まで減少した。
- 3) 提案した谷次毎の地質別想定基準値を用いて算出した計画流出土砂量と実際に現地調査を実施して算出した計画流出土砂量では、土砂量の階差が $\pm 30\%$ 範囲の溪流が全体の 64%を占めることから、資料調査に用いた県別の既存推定値に比べると精度が向上することが確認された。また、土砂量の階差が $\pm 50\%$ 範囲外の溪流も 5%程度まで減少した。

- 4) 計画流出土砂量の算出には、地質別想定基準値を用いることでより精度の高い溪流危険度評価および高速道路への影響評価を行うことが可能であることを示した。

5.2 今後の展望と課題

本研究による資料調査に基づく溪流危険度評価と現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価は、西日本高速道路㈱中国支社の管理する高速道路沿いの溪流を対象に検討を行い評価を行ったが、西日本高速道路㈱中国支社以外の関西支社、四国支社、九州支社でもその考え方は活用され、既に現地詳細調査までを終えている。また、本研究にあたって参考文献とした西日本高速道路㈱土石流対策の手引きが、平成29年7月に改訂されたが、本研究による資料調査に基づく溪流危険度評価と現地詳細調査に基づく高速道路への影響評価が新たに追加され、中日本高速道路㈱や東日本高速道路㈱でも高速道路の維持管理段階での溪流危険度評価手法として活用され始めている。

本研究は、道路防災点検や国が定める土石流関係の調査方法の内容を踏襲しており、将来の道路防災総点検において、本研究による調査結果を活用することが出来る。今後は、高速道路のみではなく、溪流に隣接した国道や県道等の道路管理者における同様の現地詳細調査や防災対策時の優先度付けとして活用して頂けるよう更なるデータ構築により評価精度を高め、安全かつ快適な道路空間の確保に寄与していきたい。そのためにも、今後の課題について示す。

本研究における資料調査に基づく溪流危険度評価では、4つの素因による評価を行うことで現地詳細調査の優先度設定ができることを示した。しかし、土石流災害の要因には、素因と誘因があり、本研究は素因と災害事象を基に評価されている。土石流は山腹や谷に堆積する土、砂、礫、岩石が豪雨等の誘因で崩壊し、水と一体となって大きなエネルギーで麓に向かって流れていく現象である。また、地震による振動等によって、その安定性が乱され土砂災害に発生することもある。そのため、誘因である降雨や地震との関連性が危険溪流評価においては、重要な要素といえ、近年、気候変動を要因とした雨の降り方の変化が顕著となり局地的集中豪雨も繰り返し発生している。今後は、資料調査に基づく溪流危険度評価に、土石流を発生させる降雨条件や断層破碎帯などの地震に関する誘因による評価を組み込むことで、素因と誘因の両方を反映した溪流危険度評価を改善し、評価精度の向上を図りたい。

また、計画流出土砂量の算出については、侵食幅と侵食深について谷次数毎の地質別想定基準値の提案を行った。本研究では、中国地方の溪流現地調査結果から県別や地質別想定基準値を算出したが、他の地方でも現地詳細調査は行われており、今後は、地質別想定基準値に新たな調査データを取り込むことで精度の向上や算出できていない地質種別を追加することで、全国を通じて資料調査で活用できるよう改善を進めたい。

第5章の参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説書，平成15年11月．