

第 1 章 序 論

1-1. 研究背景

斜面災害は、国土の 7 割以上を山地が占める我が国において、日常的な災害であるといえる。実際、国土交通省白書（平成 24 年度版）によれば、平成 14～24 年の間に発生した多大な被害を与えた斜面災害は、年平均で約 1,000 件以上¹⁾となっている。このような斜面災害としては、「地すべり」・「土石流」・「斜面崩壊（崖崩れ）」・「落石」などが主要な災害といえる。斜面災害は、山地斜面から土塊・岩塊が移動する現象であり、山間部であればどこでも発生する危険性を秘めている。ここで、一般的な話題に挙がる斜面災害としては、「地すべり」・「斜面崩壊」・「土石流」がある。これらの災害は、人々が日常的に活動する「生活の場」で発生した災害であり、多くの人命に関わる災害として認識されている。人間の活動には、「生産活動の場」や「居住の場」など位置が固定化される「生活の場」（位置不動）と、物資・人や情報等が移動する「移動の場」が必要である。特に、近年の異常気象などから広域災害が多発しており、「生活の場」における斜面災害対策として種々の対応がなされ、相応の効果が得られている。「移動の場」における斜面災害対策は、1968 年の飛騨川バス転落事故を契機に、道路・鉄道における線構造物について防災点検などを実施することで危険箇所の抽出などが進められている²⁾。

我が国における落石災害は、主として「移動の場」である道路・鉄道で発生している。道路・鉄道は、日本の地形・地理的条件から山間部谷底付近に構築されていることが多く、特に施設延長から言えば道路総延長 1,272,000Km、鉄道総延長 28,000Km であり、施設が敷設されている諸条件などを考慮するならば、道路が鉄道の数倍以上の割合で落石の危険性があるといえる。このように道路は、山間部での施設延長が長く落石災害の危険性が高いが、道路における落石災害の現状については詳細が不明であるといえる。このため、国土交通省を始めとする各機関では、道路防災点検などで実情調査を実施し、落石被害履歴状況、斜面特性などから落石災害の危険箇所の把握に努めている。しかしながら、道路における落石災害は後を絶たず、交通障害等が発生し被災記録に残るものを集計しても年間 2,000 箇所程度あると言われている。これらの落石災害については、落石現象自体が局所的な災害であるため、直接的被害総額から見るとそれほど高額とはならない。しかしながら、発生数と通行障害による迂回損失等の間接的損失（救急活動の遅延など間接的な人的・物的損失を含む）を考慮するならば、かなりのリスクを有する災害と考えるべき災害といえる。

斜面災害においては、「地すべり」・「斜面崩壊」・「土石流」などの災害について「生活の場」付近における危険箇所の抽出が「土砂災害防止法」などにより進められ、着実に直接・間接的対策が行われつつある。それら「生活の場」の落石においては、「斜面崩壊（崖崩れ）」と対となって急傾斜事業として対応されている。しかし、「移動の場」における落石対策は、落石災害の突発性（誘因の多様性）や発生源が予測困難（斜面全体への確認が困難）や対象区間の延長が長い割に直接的な受益者が少ない（費用対効果）などの理由で、対応が遅れているのが現状である。

落石災害に関する調査としては、全国一様に行われている「道路防災総点検」がある。この調査は、専門技術者が一定の地形条件（表 1-1 参照）を示す斜面（切土のり面を含む）

について、予め選定された要因ごとに評価を加え危険性を判定する手法を採用している。

表 1-1. 道路防災点検に用いる評点表²⁾

道路防災点検 点検評価表
[要因] (Ai)

項目	要因	のり面			自然斜面						
		評点区分	配点	評点	評点区分	配点	評点				
地形	地形 崩壊性要因 を持つ地形	G1: 崖錐地形	G1に該当する	3	0 — (6)	G2の内 複数地形該当	3	0 — (6)			
		G2: 崩壊跡地 遷急線明瞭				G2の内 1地形該当	2				
		G3: 台地の裾部、脚端侵食、 オーバーハング、集水型地形、 土石流跡地など	G1に該当せず	0		G2には該当なし	0				
		G4: 尾根先端など凸型地形、オーバーハング	G2、3の内複数地形該当	3		G1、3の内複数地形該当	3				
			G2、3の内 1地形該当	2		G1、3の内 1地形該当	2				
			G2、3には該当なし	0		G1、3には該当なし	0				
			G4に該当する	(6)		G4に該当する	(6)				
		土地・地質・構造	崩壊性の土地	侵食に弱い土質		顕著	8		0 — (8)	顕著	2
水を含むと強度低下しやすい土質	やや顕著			4	やや顕著	1					
その他	該当せず			0	該当せず	0					
崩壊性の岩質	割れ目や弱層の密度が高い		顕著	12	0 — (12)	顕著	8	0 — (8)			
	侵食に弱い軟岩		やや顕著	6		やや顕著	4				
	風化が早い岩質、その他		該当せず	0		該当せず	0				
崩壊性の構造	流れ盤(層理面、弱線)		該当する	8	0 — (14)	該当する	2	0 — (6)			
			該当せず	0		該当せず	0				
	不透水性基盤上の土砂 上部が硬質/脚部が脆弱な岩 その他		顕著	6		顕著	4				
			やや顕著	4		やや顕著	3				
表層の状況	表土及び浮石・転石の状況		不安定	12	0 — (12)	不安定	24	0 — (24)			
			やや不安定	6		やや不安定	12				
		安定	0	安定		0					
	浮石・転石が不安定～やや不安定	該当する	(12)	該当する	(12)						
		湧水状況	湧水あり	8	0 — (8)	湧水あり	4	0 — (4)			
			しみ出す程度	4		しみ出す程度	2				
	なし		0	なし		0					
	表面の被服状況	裸地～植生主体	5	0 — (5)	裸地～植生主体	16	0 — (16)				
		複合(植生・構造物)	3		複合(裸地・草本・木本)	10					
		構造物主体	1		構造物主体	6					
形状	勾配(i)、高さ	土砂	H>30m	18	0 — (18)	高さ	H≥50m	10	0 — (10)		
			H≤30、i>標準	15			30≤H<50m	8			
			I≤標準、15≤H<30	10			15≤H<30m	6			
			I≤標準、15<H	5			H<15m	4			
		岩	H>50m	18		0 — (18)	勾配	I≥70°		10	0 — (10)
			30≤H<50m	16				45° ≤ i < 70°		10	
			15≤H<30m	12				I<45°		5	
			H<15m	10							
変状	当該のり面斜面の変状 (肌落ち・小落石・ ガリ侵食・洗掘・バケツ孔・陥没・はらみ出し・ 根曲がり・倒木・亀裂・開口亀裂・その他策工変状)	複数該当・明瞭なものあり	12	0 — (12)	複数該当・明瞭なものあり	10	0 — (10)				
		あり・不明瞭なもの	8		あり・不明瞭なもの	5					
		なし	0		なし	2					
	隣接するのり面・斜面の変状 (落石・崩壊・亀裂・はらみ出し・その他変状)	複数該当・明瞭なものあり	5		0 — (5)	複数該当・明瞭なものあり		4	0 — (4)		
		あり・不明瞭なもの	3			あり・不明瞭なもの		2			
		なし	0			なし		0			
合計		のり面 点 (A1)			自然斜面 点 (A2)						

注) 〇は各項目の選点を示す。
該当する場合は配点欄に〇印を付けると共に点数を記入する。
不明な場合は中間的な値を使用する。

また、調査の際には、過去の被災履歴なども参考にするように定められている。しかしながら、上述したように落石災害については、重大な被災事例のみが記録されていることが多く、軽微な被災に関しては伝聞程度の記録しかないのが現状である。よって、人的・物的被害が生じる落石災害が生じた既存箇所のみが危険性を認められ優先されるため、結果

的に落石対策が後手になるような悪循環が生じている。このため、国道・県道など社会生活に必要とされる主要な道路に関しては、落石の危険性を事前に把握できるような手法の確立が要望されている。

既存の落石箇所における危険度把握、対策工検討などに関する研究はこれまでにされているが、危険性が確認できない区域における落石危険箇所を抽出し、その危険度を想定できる手法の研究についてはこれまでに少なく、本研究のきっかけとなった。

1-2. 研究目的

我が国における道路・鉄道の落石災害は、直接的な人的損失だけではなく、被災箇所が山間部であることが多く迂回路が少ないなどの条件が考慮されるので、通行障害等による経済的損失も踏まえるとかなりの損失が生じる災害であると考えられる。また、落石災害は、事前の兆候がなく突発的に発生するほか、発生源が特定しにくい災害であることも知られており予防対策が困難な災害である。このような状況から落石災害への予防、減災・防災対策等を講じるにあたり、落石発生危険箇所を特定したうえで、災害の危険性を把握できるようにすることは重要な課題であると考えられる。

落石被害を受ける保全対象としては、道路・鉄道などの線構造物が大半であり、被災箇所に比較して被災箇所を含む区間（路線長）が長大であるため、被災箇所ごとの統計的処理を行うと人命に関わるような被災確率は低くなり、個々に落石対策検討を行うと費用対効果が小さくなる。これより、対象となる地域で全ての想定される危険箇所について詳細調査・危険性判定・危険度把握を実施することは、緊急性・重要性・経済性などの観点から合理的ではなく、十分な落石危険性調査を実施できていない。表 1-2 は、岐阜県北部の山間地域における 5 年間の落石被災箇所について、危険箇所（平成 8 年度道路防災総点検から抽出した箇所）と、危険性のない箇所のどちらが被災したかを比較したものである。

表 1-2. 岐阜県北部山地における落石発生数と危険箇所種別比較表^{3) 4)}

地域名	総合評価	調査斜面数 Ni		小計	対象斜面 事故数 NiF	平均 危険度 =NiF/Ni	NiF' = NiF × (Ni落石又は岩石 /Ni)		対象外 事故数 Nof	全事 故数
		落石・ 崩壊	岩石 崩壊				落石・ 崩壊	岩石 崩壊		
下呂	要対策	186	51	237	5	0.021	3.92	1.08	7	24
	カルテ対応	399	68	467	12	0.026	10.25	1.75		
	対策不要	204	10	214	0	0.000	0.00	0.00		
小計		789	129	918	17		14.18	2.82		
高山	要対策	275	109	384	7	0.018	5.01	1.99	17	31
	カルテ対応	517	380	897	7	0.008	4.03	2.97		
	対策不要	133	36	169	0	0.000	0.00	0.00		
小計		925	525	1450	14		9.05	4.95		
古川	要対策	277	35	312	11	0.035	9.77	1.23	16	35
	カルテ対応	126	20	146	5	0.034	4.32	0.68		
	対策不要	186	11	197	3	0.015	2.83	0.17		
小計		589	66	655	19		16.91	2.09		
総計		2303	720	3023	50		40.14	9.86	40	90

表 1-2 から、5 年間の岐阜県北部山地地域で発生した落石事故は、道路防災総点検により「落石危険箇所と判定された区間（要対策・加修対応）」で 50 箇所、（対策不要箇所での被災 3 箇所を含む）、「落石の危険性が低い箇所（対策不要）と点検対象外と判定された区間」で 40 箇所となっている。この結果は、当地域の平成 8 年度道路防災総点検で抽出した落石危険箇所以外にも相当の未確認危険箇所が存在し、岐阜県管理道路における全ての危険箇所を把握することが、当時の状況では困難であったことを意味している。この現状は、専門技術を有する点検技術者が危険箇所の抽出を試みたとしても、広大な山地斜面を網羅するような調査・判定は、不可能に近いことを意味している。この原因としては、斜面内に存在する落石発生源が既存の地形図等に示されるような大規模な岩壁であれば良いが、現実的には数 m³ 程度の小規模な岩盤露頭が多く存在しており、高標高部が広がる中部山岳地帯などではそれらを探し出すことは事実上困難と考えられる。

山地が 7 割程度を占める我が国で、全ての落石現象を防止することは経済性・立地条件・社会条件等から不可能であるため、落石災害被害の低減には第一に落石危険性を有する危険箇所を特定することが重要と考えられる。現在、一般的に落石対策を行っている場合としては、落石災害を被った被災箇所について落石発生源・斜面特性を把握する調査を行い、予想される落石規模について検討・計画を遂行する手法を採用していることが多い。例えば、落石災害によって特定できた落石発生源と保全対象までの情報をとりまとめ、「落石経路の特定」に関する研究成果である質点系、非質点系の落石シミュレーション解析手法⁵⁾などを用いて、被害を再現するとともに今後の被害予測を把握して、現地に適した対策工法を採用している。

落石災害は、突発的で日常的な災害であることは周知な事実であり、落石対策を適切に講じる必要がある。このような状況下において、2011 年の東日本大震災以降、我が国における国民意識として図 1-1 に示すように社会資本への「安心・安全を確保する機能」を求める要望が突出している⁶⁾。

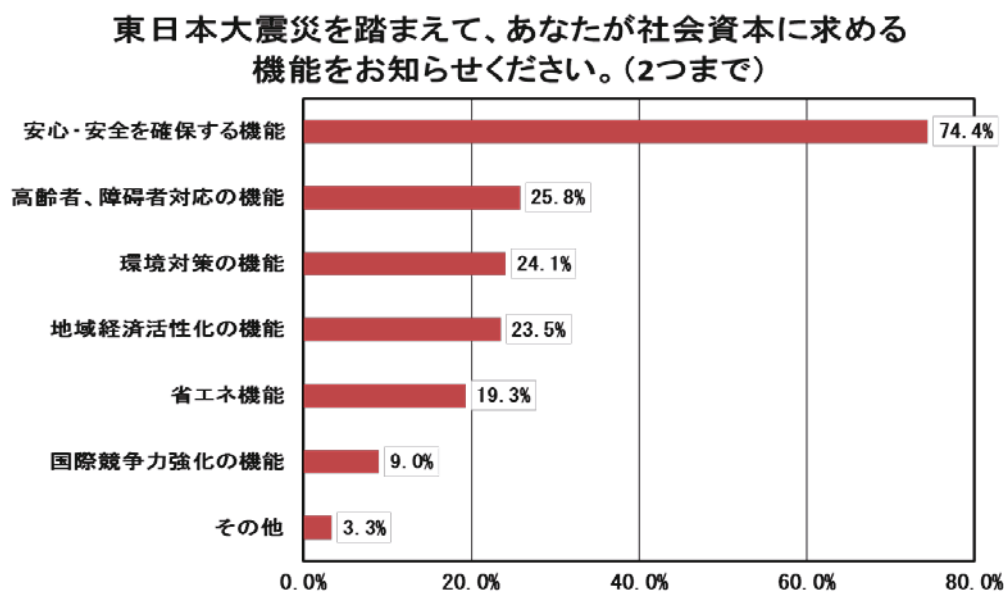


図 1-1 国民意識として社会資本に求める機能⁵⁾

国土交通省白書 2012 版より

図 1-1 より国民意識としては、落石災害について道路・鉄道・その他の施設の社会資本に対して、安心な落石被害防止施設の構築が要望されているといえる。この場合の安心・安全は、国民が利用する道路・鉄道などの線構造物について、路線全体に渡る安全性向上と考えられる。道路などの線構造物では、所々で堅固な落石対策工が構築されていてもそれら構造物間で落石災害が生じれば、線構造物の路線全体の機能が一時的に失われる。このため効果的な落石対策を検討する場合、広域な地震災害など特殊な被災環境以外を除き、路線全体の安全性を考慮に入れた落石対策を講じる必要がある。このためには、対象となる路線全体に渡る斜面の危険性を把握することが最も重要と考えられる。現在、一般的に行われている落石対策調査についてまとめると、図 1-2 のようになる。現状での未調査箇所における落石被害の発生を考慮すると、図 1-2 で問題となるのが、現地調査の実施である。多種多様な地形・地質を示す我が国において、統一した「落石発生源調査」・「落下岩塊調査」の判定基準を設けることは困難であり、現状として調査・判定ができる数少ない調査専門技術者が現地調査を行い、落石対策に必要な情報を収集している。このような状況であるため、全国の広大な斜面から、全ての落石発生源を抽出・判定することは不可能といえる。

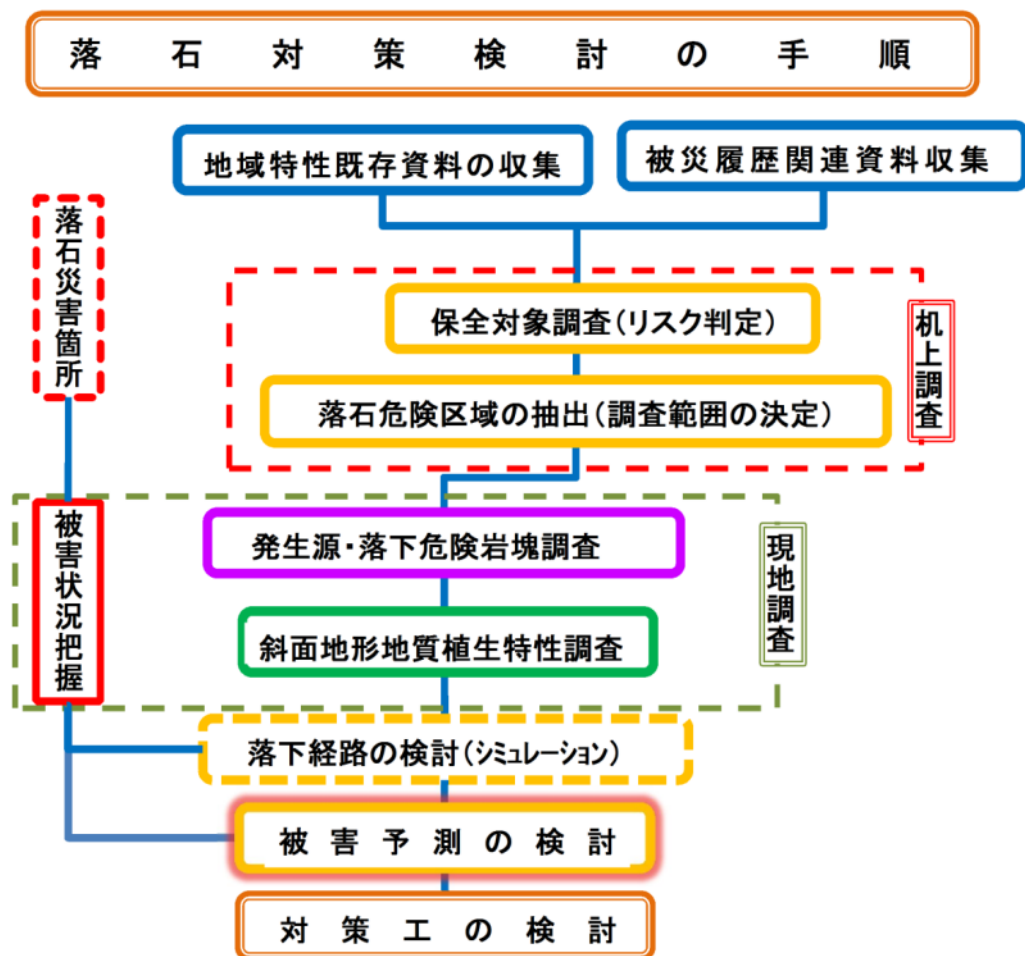


図 1-2. 落石対策検討の手順

そこで、本研究では、線構造物としての道路・鉄道において落石被害の減災・防災対策を検討するに当たり、未確認落石危険箇所の抽出法等について既存調査法の精度向上を図れるような調査手法について提案する。

- (1) 提案内容の骨子としては、広大な山岳地帯内に分布する小規模な落石発生源を把握できるような手法を求める。
- (2) 山地内で落石発生源が集中するような斜面について検討し、落石発生の新たな危険要因を求める。新たな落石発生要因を求めることで、現状として行われている専門技術者による落石危険箇所の抽出と落石発生源の把握手法の改善を行い、山地内に現在も残留する未確認落石危険箇所を把握・減ずる手法を確立する。

以上のように、対象となる山間地域での未確認落石危険箇所・範囲を把握することで、落石対策の検討等に資することを研究目的とする。

1-3. 論文の構成

本論文は図 1-3 に示すような流れと概要で構成されている。

第 2 章は、落石被害の実情と既往の研究について触れ、現状の課題についてまとめる。本研究では、本州中部の山岳地帯を有する岐阜県周辺における落石災害とその対応についてまとめ、落石危険箇所についての調査手法についての現状と問題点についても触れる。落石危険箇所における落石調査は、「いつ」、「どのようなものが」の観点から判定することが難しいため、落石調査後に未調査部分からの落石が発生しているのが現状である。

既往の研究としては、落石被災箇所について、最近利用されるようになったシミュレーションについてまとめるとともに、利用される落石シミュレーションが落石発生箇所に多く利用され、新規の落石危険箇所にあまり活用されていない問題点についても述べる。また、これらの落石対策手法に利用される地形図として、近年精度向上が著しい詳細地形図データの利用と問題点についても述べる。

第 3 章は、本研究の課題である落石危険箇所の特定と評価に関する研究成果について述べる。一般的に活用されている「防災点検手法」では落石因子の不足が認められ、調査精度に関わることとなるため、個々の落石因子が影響し合った結果としての落石要因について検討する。そのような不足した落石要因については、以下のような要因を提案する。

- ① 地形解析による斜面内の落石発生源の特定手法の研究。
- ② 新たな落石要因である「侵食量」
- ③ 地形解析による「谷分布率」

この「侵食量」、「谷分布率」については、既存の落石危険箇所のデータや落石被災箇所データなどを用いて、その有効性について検討し、その結果について述べる。

第 4 章は、落石発生因子と認識されている樹木の風振動について研究した結果を述べる。風振動は、以前から落石因子として認識されてきたが、振動測定法などが確立しておらず防災点検などにも因子として評価対象になっていない。しかしながら、小径の落石の多くは、降雨や地震などの原因が明確な因子に関係なく災害が発生しているのが現状である。この多くは、風による樹木の振動が原因と考えられている。よって、土砂地盤・薄い表土に覆われた岩盤において地盤振動を計測し、その特徴についてまとめる。

第 5 章は、本研究で得られた「落石発生源位置図」や「山地侵食量図」などを活用し、道路防災点検に活用している事例や方法についてまとめる。これは、本研究の目的でもある落石危険箇所の特定に役立つ目的で提案した結果であり、実施区域では新たな落石危

険箇所抽出に寄与している。このような落石調査の精度向上に役立つ研究成果について述べる。

第6章では、本研究で得られた新たな落石要因についてまとめた結論と、今後の落石調査などへの展望について述べる。

【論文構成】

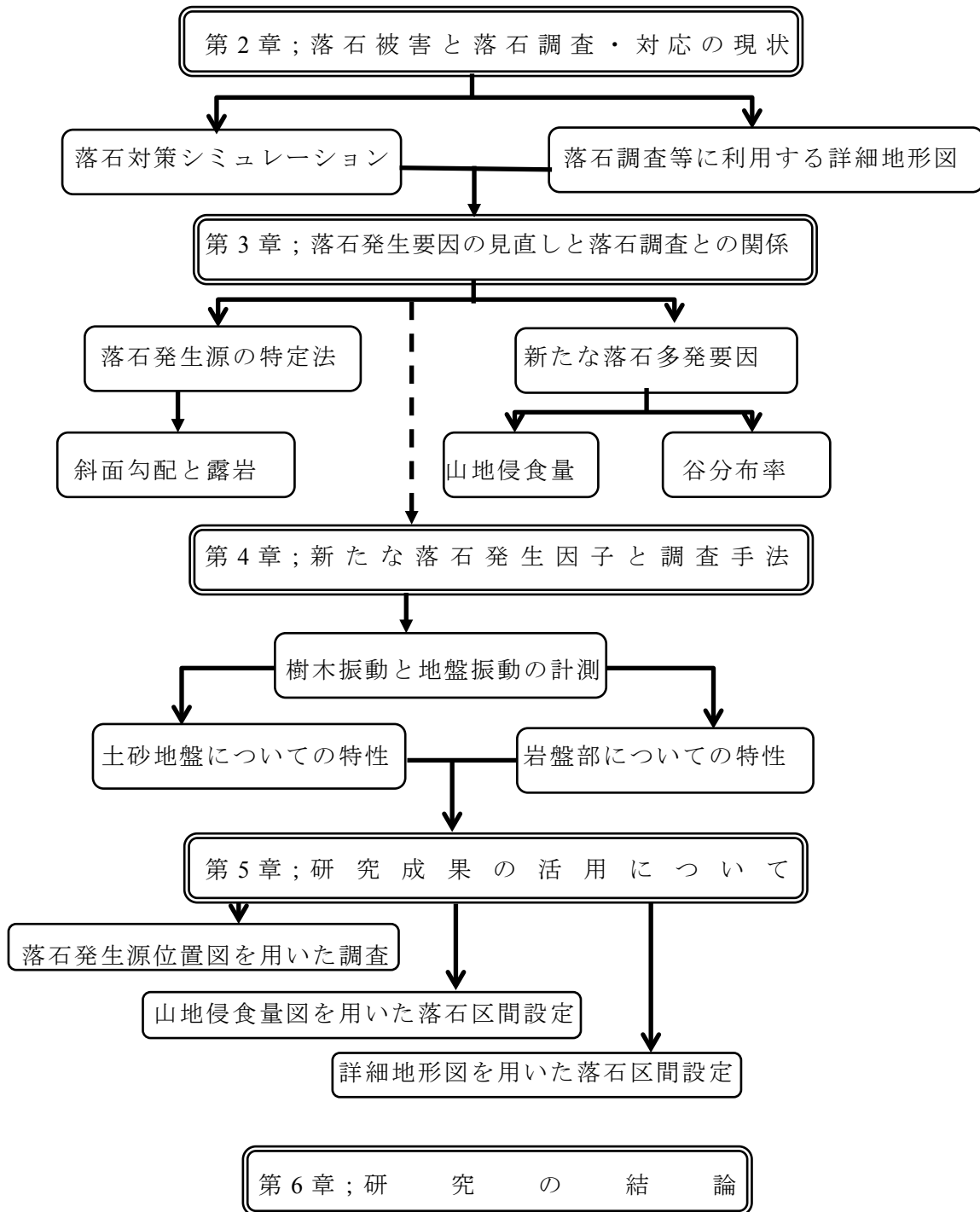


図 1-3. 論文の構成と概要

【参考文献】

- 1) 国土交通省編，平成 21 年度国土交通白書，第 1 部第 7 章第 2 節第 1 項
- 2) (社) 日本道路協会，平成 8 年度道路防災総点検要領，1996
- 3) 浅野憲雄・原隆史・木村健吾，岐阜県における落石リスク対策，地質リスク学会，第 3 回地質リスクマネジメント事例研究発表会，2012
- 4) 高木朗義・本城勇介・倉内文孝・浅野憲雄・原隆史・沢田和秀・森口周二・北浦康嗣・八嶋厚，岐阜県飛騨圏域を対象とした道路斜面のリスクマネジメント，土木学会論文集 F4(建設マネジメント) Vol.68, No2, 2012
- 5) (社) 日本道路協会，「落石対策便覧に関する参考資料」，2002
- 6) 国土交通省，国土交通省白書，第 1 章第 2 節，2012 版