

第6章. 結 論

6-1. 本研究のまとめ

本研究では、日常的に発生していると考えられる落石災害について発生源の特定と、落石発生の要因について再検証した。

第1章では、我が国で行われている落石対策調査の現状と問題点について再検討した。現在実施されている落石災害の調査については、発生箇所において災害発生後に現地調査から発生原因を追及し、その後の落石予測を行って対策を講じる対処療法的であるいえる。ただし、そのような対応は土木施設利用者の安全を守るという観点から問題があるため、国などの施設管理者は種々の落石調査を実施し予防対策を講じるように努めている。しかしながら、それらの落石調査を実施した後に、落石災害は道路などの通行規制を必要とするような災害でも年平均 1,000 箇所以上発生しているのが現状である。このような現状をまとめると、以下ようになる。

- (1) 落石災害が突発的に発生する災害として認識されている理由としては、多くの発生要因が複雑に関係しているほか、いくつかの誘因が重なって発生し危険性を把握しにくいためである。
- (2) 近接する地域で発生した落石災害の原因が、別の箇所における主因であるとは言い切れないことが多い。このことから、異なった箇所における落石発生原因が、広範囲の地域の本質的原因とはならないのが現状である。
- (3) 本研究では、落石発生要因について地域特性なども踏まえた要因について研究することで、新たな調査手法を検討し、より正確な落石調査を実施できるようにすることを目的としている。

第2章では、研究対象とした岐阜県の中部山岳地帯に位置する山地内での落石被害の現状と対応について再確認した。また、落石災害対策の手法として落石シミュレーション技術の研究経緯や特徴についてまとめた。次に、落石調査で利用される各種地形図についてまとめた。それらの結果は以下のようにまとめることができる。

- (1) 道路構造物では、落石災害の対応として落石危険箇所の抽出や追跡調査が全国的に実施されている。この落石調査は、「道路防災点検」として全国一律に実施されているが、国内の山地を網羅するような調査手法を採用せざるを得ないため、山地特性・地質特性・環境特性などの地域差が生じ、落石危険箇所の抽出漏れや判定ミスが生じている。このような状況から落石対策では、被災箇所を中心に現地に応じた調査・対策を講じることとなる。
- (2) 落石被災箇所における対策検討には、種々の落石シミュレーションが採用されるようになった。落石シミュレーションには大きく「質点系」・「非質点系」に区分されるが、それぞれ優劣が有り、現地状況などに応じて採用されている状況にある。ただし、現在利用されている落石シミュレーションは、被災箇所において多用されており、落石経路・斜面特性などが把握されている状況下で採用されている。このことは、落石予防対策で解析諸条件を正確に把握する調査が実施されにくい現状であるため、落石シミュレーションによるにも限界があることを意味している。

- (3) 落石調査・対策を検討する場合、詳細な地形図を作成する必要がある。そこで、落石調査に関しては、広域な詳細地形図を必要とするため、地図精度の向上が著しい航空レーザー測量成果の3次元精密地図データの利用を提案した。3次元精密地図データでは、2mメッシュDEMと、国土地理院が提供する10mメッシュDEMの解析精度を検討し、落石調査に利用できる地図データとして2mメッシュデータ程度が有効であることを示した。

第3章では、落石対策の一環として、落石危険個所の抽出法や新たな落石要因を検討し、今後の落石調査の精度向上に役立つ研究を行った。これらの成果についてまとめると以下のようなようになる。

- (1) 本研究では、山地斜面内の落石発生源となる岩盤露頭に着目して危険性を検討することとした。これは、落石災害が年間2,000件以上の瑕疵責任を伴う災害が発生していると言われるような日常的な災害であるため、確実に落石危険箇所を抽出する必要がある。このことから、近年精度向上が著しい航空レーザー測量による精密地図データを用いて、「落石発生源」となりうる斜面内露岩の特定手法について検討を行った。予防的な落石対策を講じるためには、事前に落石の危険箇所をより正確に特定する必要がある。対象となる山地内に落石発生源となるような露岩部位置を特定できれば、落石調査・日常的な点検作業においても落石現象の事前現象などを把握でき、予防対策の計画・実施がより確実にできるようになる。本研究では、対象となった地域の既存落石危険箇所と被災箇所について、地形解析による斜面内露岩部（傾斜角50°以上）分布との比較を行った結果、高い整合性が認められた。
- (2) 落石災害は、山地が河谷の侵食によって形成され、同時に山地斜面内には落石発生源となる露岩部が形成されることとなる。この原因として、山地の侵食と斜面内露岩分布とに何らかの関係が予想されるため、「山地侵食量」と落石の関係を検討した。結果として、検討地域では山地侵食量（600m以上）と落石危険箇所位置・被災箇所位置の関係があることが判明した。よって、山地侵食量は、複数の落石因子が影響している落石要因として有用であることが得られた。
- (3) 山地を侵食しつつある低次谷の分布密度は、山地の脆弱さを示しておりこの谷分布を「谷分布率」として地形解析した。この谷分布率が一定値以上（検討地域では、2.5本/km²以上）の地域では、道路防災点検での危険箇所数とその後の被災箇所数の増加区域とかなりの精度で関係があることが判明した。本研究で検討した落石要因は、道路防災点検では検討されていない要因であるが、今後の落石調査に活用できると考えられた。

第4章では、一般的な落石誘因である「降雨」、「地震」以外にも「風」を誘因とした落石発生があることは知られている。しかしながら、風を要因とするメカニズムは判明していないのが現状である。このため、一般的な落石要因と風による落石とを比較して研究を行った。その結果をまとめると、以下のようなようになる。

- (1) 本研究では、岐阜県で発生した落石被害個所の中で落石要因が確認されている114個所の中で54個所（約47.4%）が降雨・浸透水が原因となっていることが分かった。このことは、他の要因で落石災害が発生したことを意味しており、中でも落石対策便覧にも示されている「風」について研究することの意味を検討した。

- (2) 風は、樹木を介して風が地盤を振動させるのではないかとの過程をとり、土砂地盤と岩盤部の2種地盤において風・樹木・地盤について風速・振動計測を行った。その結果、樹木根の根張りなどの影響で樹木振動方向と地盤振動方向が一致していないことが判明したことから、風と樹木による振動がおおよそ2mの範囲で地盤に伝播することは証明できた。
- (3) 風による地盤振動計測については、土砂地盤では樹根分布域内で振動減衰が生じ振動方向もやや大きな分散が認められた。同様に計測した岩盤部では、岩盤亀裂方向の差で振動減衰状況・振動方向に、土砂地盤とは異なった差が生じることが判明した。

第5章では、本研究で新たに研究した落石要因の活用について検討した。本研究で求めた新たな落石要因としては、「斜面内岩盤露頭解析」・「山地侵食量」があり、それらの要因と既存の落石危険箇所位置の整合性から、実際に落石調査に活用を提案した結果、落石危険箇所抽出作業に役立つことが調査専門技術者からの質問で明らかとなった。また、地形解析に用いた詳細地形図を用いた落石シミュレーションの活用も、比較的広域にわたる被災個所の総合的対策工法検討に役立つことを明らかにした。

6-2. 今後の課題と展望

本研究では、身近な災害ともいえる落石災害について対策が要望されているのであるが、防災点検などで抽出した落石危険個所以外の個所からの落石が数多く見られる現状を改善する目的で、発生源特定や落石危険箇所の判定手法について検討し新しい落石要因・調査方法などについて検討した。その結果、「落石発生源の特定手法」・「山地侵食量」・「谷分布率」の調査手法・落石要因について研究を進め、ある程度の成果があがった。ただし、落石災害は山地の地形・地質や環境条件などによって被災状況が変化する災害であるため、本研究のように机上で落石調査の精度向上について研究した結果を実際の落石調査に活用するために以下のような課題の解決が必用と考えられる。

- (1) 近年、航空レーザー測量の精度向上が進んでおり1mDEM程度のデータ収集が可能となりその成果である詳細地形データを用いて、斜面内岩盤露頭を市販のGISソフトを用いて地形解析により求めることができた。よって、それらの地形データを用いてより多くの地域で詳細な地形解析を行い、現地での検証を行って落石危険性把握の精度向上を図ることが望まれる。
- (2) 本研究では、開析の進んだ河谷に沿った道路に面する山地斜面について、地形的特性から接峰面の規模を決定した。この結果、侵食量はかなり大きなものであったが、中部山岳地帯のような高山地帯以外の中低山地での接峰面図の作成基準を決定しておくことが実務に利用するために必要である。今後は、種々の山地特性を示す山地で本研究と同様な作業を繰り返し、地形解析の規則を決定することが望まれる。
- (3) 本研究では、山地の脆弱さが落石につながると考え、低次谷による河谷侵食分布を谷分布率として求めた。低次谷の地形学的条件は、地質・地殻変動によって変化しないが、落石の危険性判定の条件としては山地特性などを考慮する必要がある。よって、高～低山の範囲で基盤岩の地質も異なるいくつかの区域で検討を行い、作業規定などを作成するとともに既存の落石危険箇所との関係を追求することが望ま

しい。

- (4) 本研究では、落石発生因子としての風と樹木からの地盤震動を計測した。この結果、樹木振動が地盤に伝播し、地盤振動が発生していることが判明した。地盤振動の減衰傾向や振動拡散特性などについて、より多くの計測データを収集解析することで、さらなる落石誘因として予防対策に導くことが可能と考えられる。

本研究は、既存の落石危険箇所での危険箇所抽出漏れなど有り落石被害が多発している問題が生じているため、より精度良く落石危険箇所の特定や危険性の把握を目的として開始した。この落石災害は、一般的に大径の岩塊が落下し人的・交通障害が発生すると社会的に問題となるが、実際は小径の落石でも人名に関わる災害であり落石危険箇所の抽出漏れは大きな社会的問題である。予防的落石調査の精度向上は急務であるが、落石災害が生じる山地は、我が国全体から見ると種々の地質と地形や環境要因などが複雑に影響し合い、単純なモデルを作成して評価できるものではないため、既存の研究が進んでいない。このことから、本研究のように地質地形的特徴を精査し、同じような地域で区分しつつ研究を進め多くの地域における特徴的な指標を作成できれば、今後の落石災害の予防対策計画などに資すると考えられるため継続して研究していくことが望ましい。