

図-2 北海道における道路斜面災害の履歴分布(1981年度～2011年度)⁹⁾

に示す。

(2) 分析方法

収集した道路斜面災害事例について、『崩壊履歴調査』の書式に整理した。崩壊履歴調査とは、今後の道路斜面防災の向上に有効な知見を分析するために必要な、災害発生原因等の詳細な情報を抽出し整理するための書式で、災害発生箇所の概要、災害種、災害の発生時期や規模、災害発生箇所の地形・地質、災害発生誘因等を記入する。

本稿では、道路斜面災害発生箇所の斜面特性として、災害発生斜面で確認された地形や地質構造、災害発生斜面の斜面勾配や発生高について分析を行った。災害種は便宜的に表-1のように定義・分類し、収集事例数が多い落石(194事例)、崩壊(178事例)、岩盤崩壊(52事例)を取り上げて行った。

表-1 災害種区分の定義と各災害の収集事例数

落石	岩石が高速で落下する現象のうち、最大岩塊規模が約2m ³ 未満かつ個数で数えられる規模のもの(194事例)
崩壊	土砂、岩石の強風化部及び数えられない規模の礫状物質が落下する現象(178事例)
岩盤崩壊	岩石が落下する現象のうち、最大岩塊規模が約2m ³ を超えるもの、または個数では数えられない規模のもの(52事例)
地すべり	地盤の一部が緩慢に動く現象のうち、すべり面の主体となる部分が自然地山の内部に位置するもの(22事例)
土石流	土砂や岩石を含んだ水塊が非常に高速で流れ下る現象(50事例)

3. 分析結果と考察

(1) 災害発生斜面における地形的特徴

災害発生斜面で確認された地形的特徴を災害種ごとに整理した。1 事例当たり該当する地形が複数ある場合は複数選択している。

図-3 に落石発生斜面で確認された地形を抽出し整理した。図中各棒線の左側が転石(抜け落ち)型落石、右側が浮石(剥離)型落石の事例数を示し、合算して全体の事例数を示した。転石型落石は、明瞭な遷急線(41 件)や集水型斜面(32 件)といった浸食性の地形(41+32=73 件)が最も多く、次に崖錐地形(26 件)や崩壊跡地(17 件)といった崩壊性の地形(26+17=43 件)が続き、尾根先端部(7 件)やオーバーハング(3 件)や突出露岩部(3 件)といった突状地形(7+3+3=13 件)がこれに続いた。浮石型落石は、明瞭な遷急線(20 件)や集水型斜面(22 件)といった浸食性の地形(20+22=42 件)が最も多く、次に尾根先端部(9 件)やオーバーハング(10 件)や突出露岩部(9 件)といった突状地形(9+10+9=28 件)が多く、崖錐地形(11 件)や崩壊跡地(12 件)といった崩壊性の地形(11+12=23 件)がこれに続き、転石型落石と傾向がやや異なり崩壊性の地形より突状地形の方が多く確認された。突状地形に着目すると、浸食性や崩壊性の地形箇所と異なり、転石型落石より浮石型落石の方が多く確認された。このことから、突状地形箇所では転石型落石より浮石型落石の方が発生しやすい傾向にあると考えられる。

図-4 に崩壊発生斜面で確認された地形を抽出し整理した。明瞭な遷急線(63 件、30.9%)、集水型斜面(56 件、27.5%)、崖錐地形(37 件、18.1%)、崩壊跡地(16 件、7.8%)、尾根先端部(13 件、6.4%)、オーバーハング(11 件、5.4%)の順で多く確認され、明瞭な遷急線や集水型斜面といった浸食性の地形(63+56=119 件)が最も多く、崖錐地形や崩壊跡地といった崩壊性の地形(37+16=53 件)、尾根先端部やオーバーハングといった突状地形(13+11=24 件)がこれに続き、転石型落石と同様の傾向を示した。

図-5 に岩盤崩壊発生斜面で確認された地形を抽出し整理した。オーバーハング(23 件、21.7%)や尾根先端部(21 件、19.8%)や突出露岩部(8 件、7.5%)といった突状地形(23+21+8=52 件)が多く確認され、明瞭な遷急線(22 件、20.8%)や集水型斜面(10 件、9.4%)といった浸食性の地形(22+10=32 件)、崖錐地形(10 件、9.4%)や崩壊跡地(8 件、7.5%)といった崩壊性の地形(10+8=18 件)がこれに続く。落石や崩壊と傾向が異なり、突状地形が最も多く確認された。

以上の結果から、転石型落石や崩壊は、明瞭な遷急線や集水型斜面といった浸食性の地形、崖錐地形や崩壊跡地といった崩壊性の地形のように地山が不安定な地形からの発生が多く、浮石型落石はこれに加え尾根先端部やオーバーハング等の突状地形からの発生も多い。岩盤崩

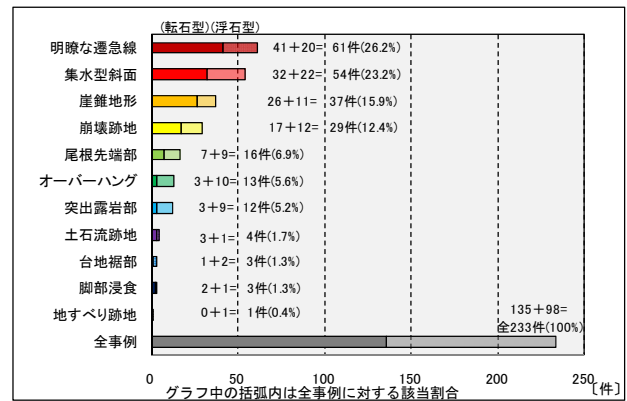


図-3 落石発生斜面で確認された地形

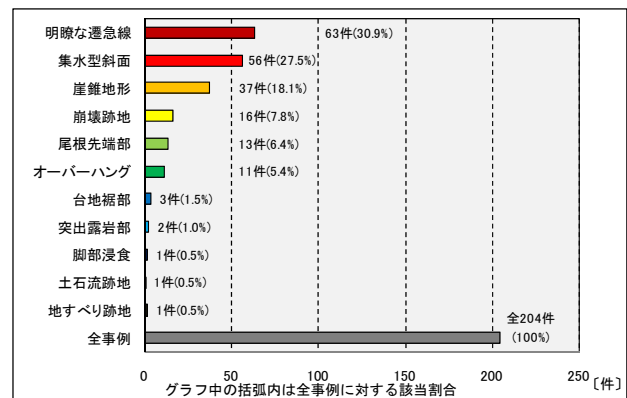


図-4 崩壊発生斜面で確認された地形

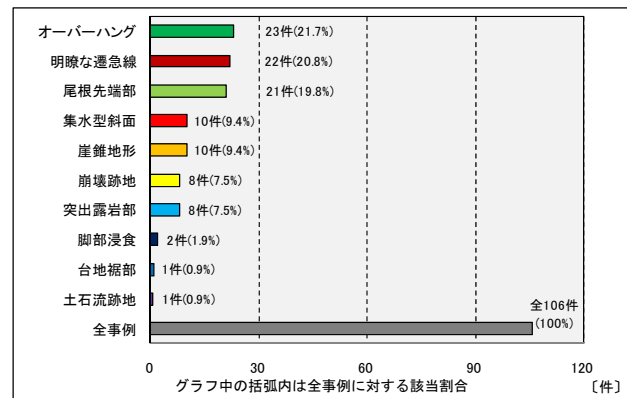


図-5 岩盤崩壊発生斜面で確認された地形

壊は突状地形からの発生が多い傾向にあり、災害種により、災害発生箇所でも多く確認される地形に違いがあることがわかった。道路防災上、このような地形が確認される箇所に着目することが重要であると考えられる。

(2) 災害発生斜面で確認された地質構造

次に災害発生斜面で確認された地質構造を抽出し整理した。なお、1 事例当たり該当する地質構造が複数ある場合は複数選択している。その結果、風化、節理、流れ盤、層理面、変質、断層、弱線、受け盤、スレーキング、劈開・片理といった様々な地質構造が確認された。

これらの地質構造は大局的に、風化、変質、スレーキングといった軟質化構造と節理、流れ盤、層理面、断層、弱線、受け盤、劈開・片理といった不連続構造に大別される。

災害種ごとにみると、図-6 より落石発生箇所では、風化(51件、42.9%)と節理(44件、37.0%)が突出して多く確認された。また、大局的な区分では軟質化構造(51+5+3=59件)と不連続構造(44+8+4+2+1+1=60件)がほぼ半々の割合で確認された。

図-7 より崩壊発生箇所では、風化(49件、46.7%)が突出して多く、2件中1件程度の割合で確認された。また、大局的な区分では、風化を代表とする軟質化構造が58件(49+6+3、55.2%)、不連続構造が47件(18+9+9+4+4+3、44.8%)となっており、軟質化構造が不連続構造をやや上回った。

図-8 より岩盤崩壊発生箇所では、節理(40件、34.2%)が最も多く、大局的な区分でも節理や流れ盤といった不連続構造87件(40+15+9+7+6+5+5、74.4%)が軟質化構造30件(18+10+2、25.6%)を大きく上回った。

以上の結果から、災害種により災害発生斜面で多く確認された地質構造が異なることがわかった。落石発生箇所では風化や節理といった地質構造が多く、具体的には転石型落石は、段丘堆積物で覆われているなど表層部が未固結な斜面において、風化に伴う表層の固結度の低下により転石が抜け落ちる事例が多い。浮石型落石は、節理が発達するなど亀裂質な露岩を呈する斜面において、風化に伴う亀裂の発達により斜面表層部の浮石が剥離する事例が多い。崩壊発生箇所では風化が突出して多く、風化の進行により表層部が脆弱化し緩んだ斜面から発生する事例が多い。岩盤崩壊発生箇所では節理や流れ盤といった不連続構造が多く確認され、斜面内に内在した亀裂が伸展し、分離面ができ崩壊に至る事例が多い。これらの地質構造が確認される箇所には特に留意が必要である。

(3) 災害発生斜面の斜面勾配

災害種毎に災害発生斜面の斜面勾配を整理した。図-9

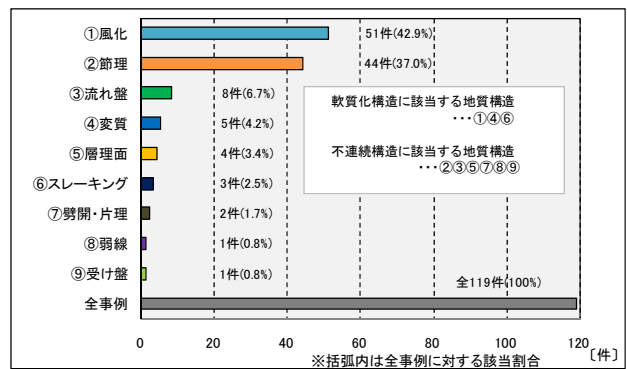


図-6 落石発生斜面で確認された地質構造

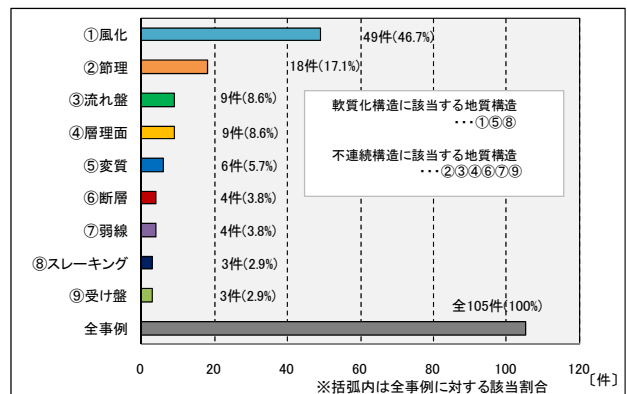


図-7 崩壊発生斜面で確認された地質構造

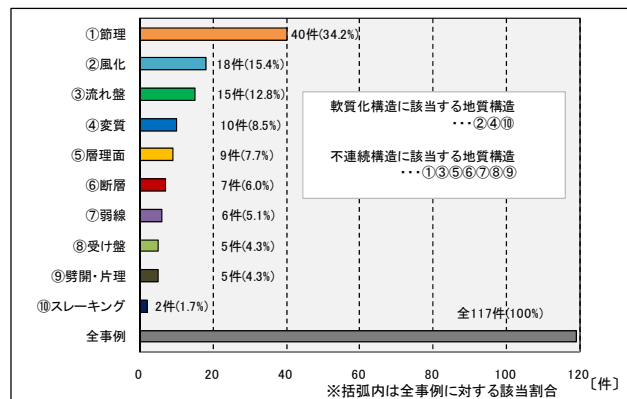


図-8 岩盤崩壊発生斜面で確認された地質構造

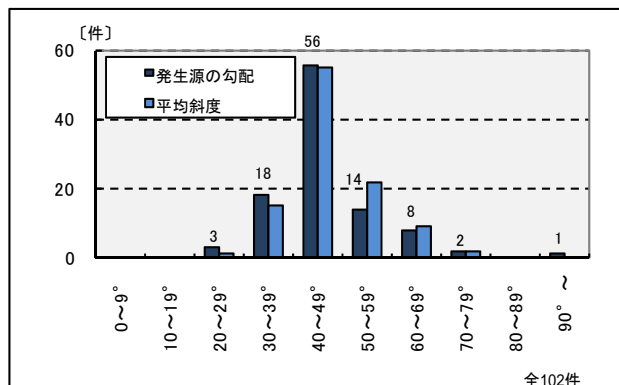


図-9 転石型落石発生源の勾配と発生斜面全体の平均斜度

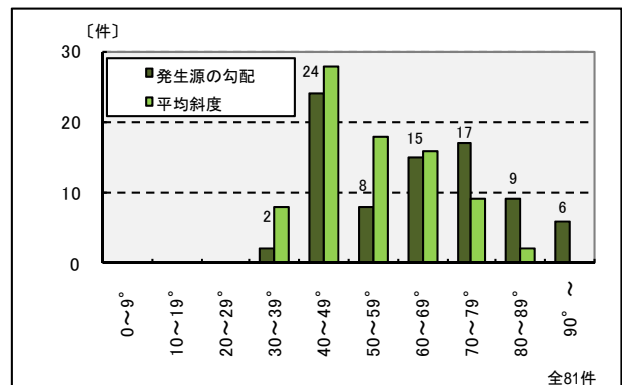


図-10 浮石型落石発生源の勾配と発生斜面全体の平均斜度

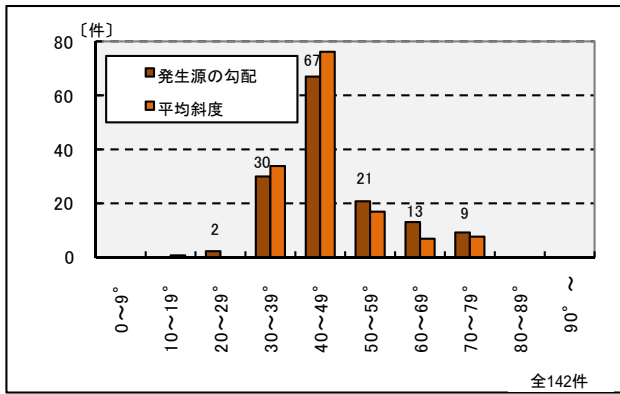


図-11 崩壊発生源の勾配と発生斜面全体の平均斜度

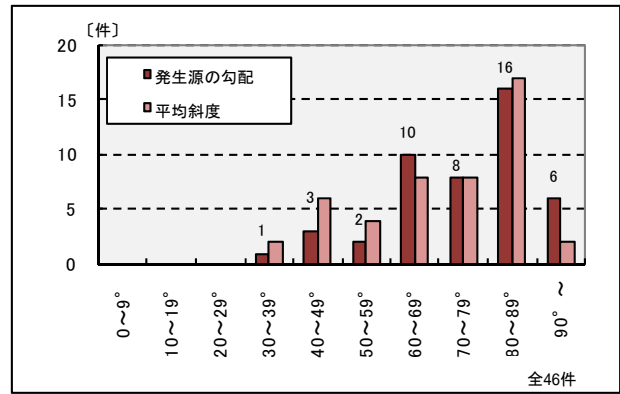


図-12 岩盤崩壊発生源の勾配と発生斜面全体の平均斜度

～12の各図中、左側の棒線が発生源の斜面勾配を示し右側の棒線が発生源を含む斜面全体の平均斜度を示している。

図-9～10に落石発生箇所の斜面勾配を示す。落石は発生形態により傾向が異なるため、転石(抜け落ち)型(図-9)と浮石(剥離)型(図-10)に分けて整理した。転石型落石の発生源の斜面勾配は、40°以上50°未満からの発生が突出して多く、2件中1件(56/102件=54.9%)程度はこの勾配箇所から発生している。また、斜面全体の平均斜度付近で発生する事例が多い。浮石型落石は、転石型落石と同じように40°以上50°未満の斜面勾配箇所から発生する事例が最も多いが(24/81件=29.6%)、60°以上の斜面勾配箇所でも発生が多い(15+17+9+6/81件=58.0%)。

図-11に崩壊発生箇所の斜面勾配を示す。発生源の斜面勾配は、20°以上80°未満の範囲で幅広く確認され、40°以上50°未満箇所が発生した事例が突出して多い(67/142件=47.2%)。また、斜面全体の平均斜度付近で発生する事例が多く、転石型落石と類似した傾向を示す。

図-12に岩盤崩壊発生箇所の斜面勾配を示す。60°以上の勾配箇所を発生源とする事例が圧倒的に多く(10+8+16+6/46件=87.0%)、落石や崩壊と比較して急勾配箇所を発生源とする事例が多い。

以上の結果から、落石と崩壊は40°以上50°未満の斜面勾配から発生する事例が多く、また、斜面全体の平均斜度付近から発生する事例が多い。このことから、落石や崩壊の発生には、斜面勾配が深く関与していることが考えられる。また、岩盤崩壊や浮石型落石は、60°以上の斜面勾配箇所からの発生事例が多い。斜面勾配が60°以上になると岩盤の自重により斜面内部に引張応力が働き、応力集中部では亀裂が生じやすい状況になる⁹⁾。災害発生箇所ではこの影響を強く受けていることが考えられる。

(4) 斜面災害発生源の高さ

道路斜面災害の発生源の高さと崩壊物の道路への到達度の関係を整理した。

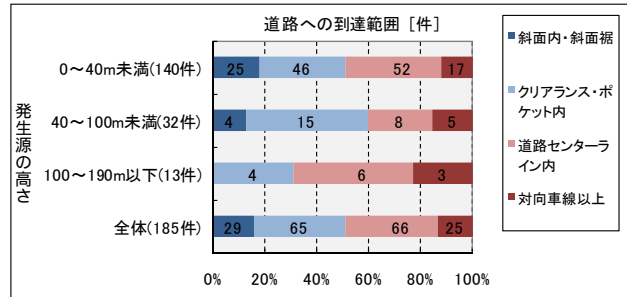


図-13 落石発生源の高さと道路への到達度

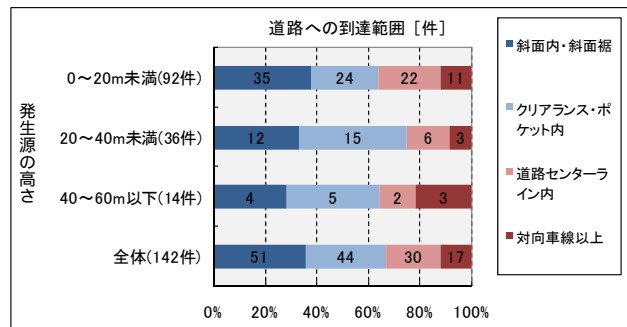


図-14 崩壊発生源の高さと道路への到達度

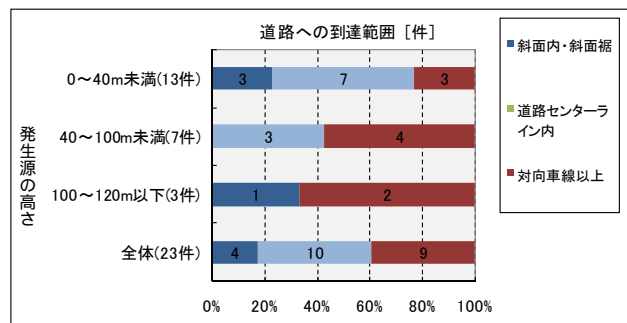


図-15 岩盤崩壊発生源の高さと道路への到達度

図-13に落石の整理結果を示す。落石は比高100m以上の高所から発生する事例が確認されるものの、全体的には全事例の約8割(140/185件=75.7%)が比高40m以下の比較的low所から発生している。落石の発生源の高さと道路への到達範囲の関係をみると、発生源の高さが40m未

満では、車道(道路センターライン内及び対向車線以上)へ到達した割合が5割(52+17/140件=49.3%)程度となっており、発生源の高さが40m以上100m未満になると車道へ到達した割合が4割(8+5/32件=40.6%)程度に低下する。しかし、発生源の高さが100m以上になると約7割(6+3/13件=69.2%)の事例が車道へ到達しており、発生源の高さと道路到達範囲に顕著な相関は確認されなかった。落石の道路への到達範囲は、斜面表層の植生状態、微地形、クリアランスの有無などが総合的に影響していると考えられる。

図-14に崩壊の整理結果を示す。崩壊の発生源の高さは最高でも60mとなっており、落石と比較し全体的に発生源の高さが低い。また、落石は全事例の5割(66+25/185件=49.2%)程度が車道へ到達しているのに対し、崩壊は3割程度(30+17/142件=33.1%)に留まる。これは落石の主な運動形態が回転のため、崩壊物の移動範囲が広がる場合があるのに対し、崩壊の主な運動形態が滑動のため、移動範囲が比較的狭いためと考えられる。

図-15に岩盤崩壊の整理結果を示す。事例数は少ないものの発生源の比高が大きいのほど、車道へ到達する割合が高く崩壊規模が大きくなる傾向がある。また、全事例の約4割(9/23件=39.1%)が対向車線まで到達しており、崩壊に比べ災害到達範囲が広い。

4. まとめ

平成23年度までの北海道における道路斜面災害の収集事例を基に、災害発生箇所を確認された地形等を分析した結果、災害の発生が多い道路斜面の斜面特性が明らかとなった。その結果を表-2にまとめた。

道路斜面災害は地形等斜面特性が類似した箇所で、同形態の災害が繰り返し発生する性質がある。このため、今回の分析により得られた災害の発生が多い地形等に着目することは、より効果的な道路斜面防災を行う上で重要である。今後も継続し斜面災害事例の収集・分析に努め、道路斜面防災の向上に役立てて参りたい。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、北海道開発局の関係各位には資料等を提供していただき、多大なご協力をいただいた。ここに厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1)伊東佳彦、阿南修司、日外勝仁、高橋幸継：北海道における国道沿いの斜面災害履歴の分析結果について、日本応用地質学会平成22年度研究発表会講演論文集、pp279-280、2010.10
- 2)高橋幸継、伊東佳彦、阿南修司：北海道における斜面崩壊等の事例分析結果について、第54回北海道開発技術研究発表会HP、2011.2
- 3)伊東佳彦、阿南修司、高橋幸継、倉橋稔幸、大日向昭彦：北海道における斜面災害履歴と通行規制記録の分析、日本応用地質学会平成23年度研究発表会講演論文集、pp15-16、2011.10
- 4)伊東佳彦、日下部祐基、大日向昭彦、高橋幸継：北海道における斜面災害に起因する通行規制の事例分析結果(その1)、第29回日本道路会議論文集CD、2011.11
- 5)大日向昭彦、伊東佳彦、日下部祐基、高橋幸継：北海道における斜面災害に起因する通行規制の事例分析結果(その2)、第29回日本道路会議論文集CD、2011.11
- 6)大日向昭彦、伊東佳彦、日下部祐基：北海道の斜面災害事例と斜面災害に関わる交通規制の関連分析、第55回北海道開発技術研究発表会HP、2012.2
- 7)大日向昭彦、日下部祐基、伊東佳彦：北海道の国道斜面災害の履歴分析結果について、寒地土木研究所月報No.712、pp24-31、2012.9
- 8)大日向昭彦、日下部祐基、伊東佳彦：斜面災害事例の履歴分析に基づく北海道の道路斜面災害の実態と特徴、日本応用地質学会平成24年度研究発表会講演論文集、pp69-70、2012.11
- 9)社団法人土木学会：大規模岩盤崩壊に関する技術検討委員会報告書、p75、1997.3

表-2 災害種別災害発生斜面の斜面特性

災害種	斜面特性			
	災害発生箇所を確認された地形	災害発生箇所を確認された地質構造	災害発生箇所の斜面勾配	発生源の高さ
落石	・浸食性の地形(明瞭な遷急線や集水型斜面) ・崩壊性の地形(崖錐地形や崩壊跡地) ・浮石型落石は、突状地形(尾根先端部やオーバーハングや突出露岩部)でも多い	・風化(表層部が未固結な斜面において、風化に伴い表層部の固結度が低下することにより、転石型落石の発生が多い) ・節理(節理等の亀裂質な露岩を呈する斜面において、風化に伴う亀裂の伸展により、浮石型落石の発生が多い)	・勾配が40°以上50°未満の斜面が多い ・浮石型落石は、斜面勾配が60°以上の斜面でも多い	・比高40m以下が大半(8割)、しかし、比高190mの高所から発生した事例も確認される
崩壊	・浸食性の地形(明瞭な遷急線や集水型斜面) ・崩壊性の地形(崖錐地形や崩壊跡地)	・風化(風化の進行により表層部が脆弱化し緩んだ斜面)	・勾配が40°以上50°未満の斜面が多い	・すべての事例が比高60m以下から発生
岩盤崩壊	・突状地形(尾根先端部やオーバーハングや突出露岩部)	・節理や流れ盤等の不連続構造(斜面内に亀裂が内在する斜面)	・勾配が60°以上の斜面が多い	・比高10mから120mまで、様々な高さからの発生が確認される