

落石の実態と落石対策施設計画への活用

株式会社テイコク ○伊藤匠司
株式会社テイコク 笠原健司

1. はじめに

落石対策施設の計画において、被災履歴や実験に基づく経験的手法が用いられている。また、近年は数値シミュレーションも多用され、より効果的な対策施設の計画が行われるようになってきた。しかし、対策施設が設置されているにも関わらず落石被害を生ずる場合があり、十分に機能していない対策施設が存在することも想定される。

本稿では、落石の実態について把握するため、地方公共団体の管理する複数の山岳路線における落石履歴を整理・分析する。そしてこれにより得られた考察から、より効果的な落石対策施設の計画を行う上で留意すべき事項についてとりまとめる。

2. 落石履歴の分析

平成15年度～平成30年度の16年間における、地方公共団体の管理する複数の山岳路線における落石記録を362件収集した。ここで落石とは、物的・人的被害の有無に関わらず、落下してきた岩塊が道路面に到達したものを総称する。

図-1に落石発生件数の経年変化を示す。これによれば、落石件数はH23年以降減少傾向にあり、特に落石防護工未設置箇所においてその傾向が顕著である。これは、落石防護工の整備が進んだことによる防護工未設置箇所数自体の減少が、要因であると考えられる。これに対して、落石防護工設置箇所での落石は、毎年十数箇所程度と変化がみられない。落石防護工設置箇所数の増加に対し落石発生件数は増加しておらず、防護工の効果は大いにあるといえるが、一方で落石に対して十分に機能していない落石防護工が存在していることも想定される。

落石防護工が十分に機能せず落石する要因として、大きく以下の3つに分類できる。

- ①高さ不足（落石防護工を飛び越える）
- ②耐力不足（落石防護工を突き抜ける）
- ③その他（落石防護工をすり抜ける、はみ出す、経年劣化による機能低下他）

落石防護工設置箇所における落石防護工の機能不足による落石の内訳を、図-2に示す。これによれば、高さ不足に起因する落石が約35%、耐力不足に起因する落石が約26%、その他要因に起因する落石が39%となっている。

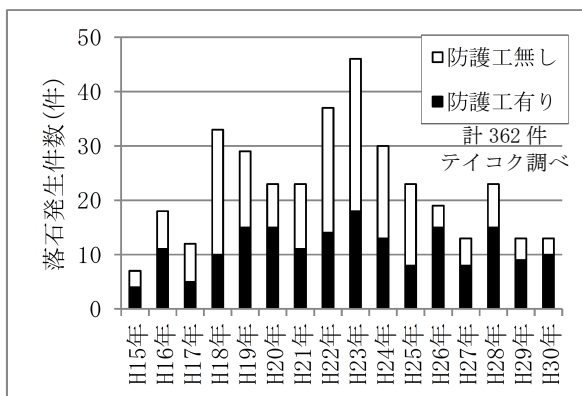


図-1 落石防護工の有無による落石件数

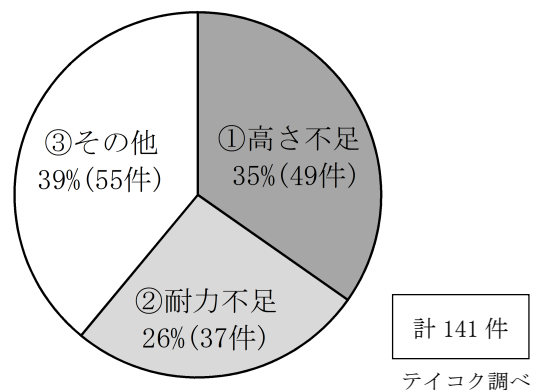


図-2 落石防護工が十分に機能せず発生した落石の内訳

3. 落石径毎の落石発生頻度

図-3は、図-2に示される落石について、発生頻度を落石径毎に示したものである。ここで落石径とは、発生源における岩塊径ではなく、道路に到達し、停止した時の落石の直径を指す。これによれば、落石径 0.2～1.2m の発生が多く、全体の 73%程度に及ぶ。

また、高さ不足に起因した落石発生頻度を追記したものを図-4に、同様に耐力不足に起因した落石発生頻度を追記したものを図-5に提示する。

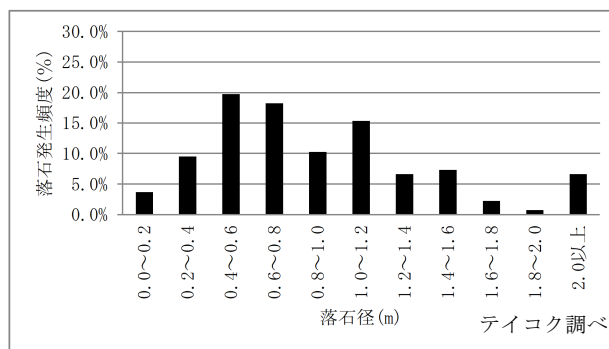


図-3 落石径毎の落石発生頻度

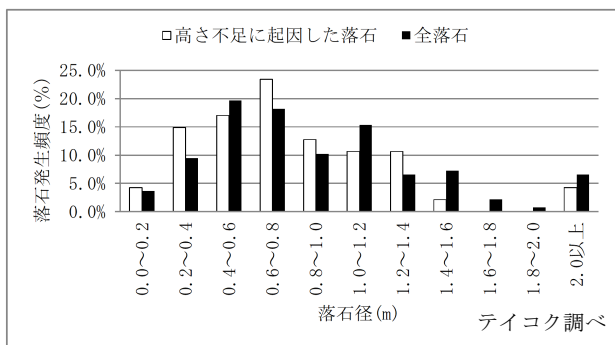


図-4 落石径毎の落石発生頻度(高さ不足に起因する)

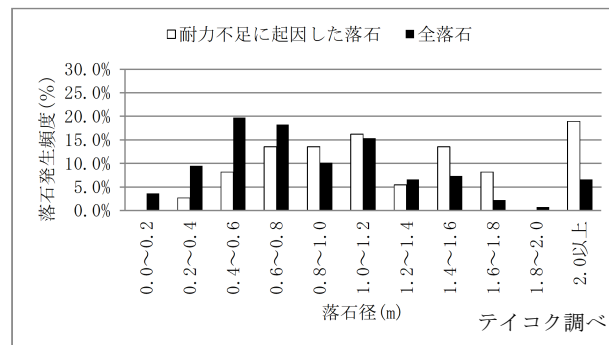


図-5 落石径毎の落石発生頻度(耐力不足に起因する)

図-4によれば、全落石の場合、落石径 0.2～1.2m で 73%程度の発生頻度を示すのに対し、落石防護工の高さ不足に起因した落石の場合は、同区間で 79%程度の発生頻度に達することが確認された。特に落石径 0.4～0.6m を除く 1.0m 未満に限定すれば、高さ不足に起因した落石の方が、全落石と比べ発生頻度が高くなっている。この傾向から、落石径 1.0m 未満の転石は跳躍高が高く、高さ不足に起因した落石を生じやすいものと考えられる。

また図-5によれば、全落石の場合、落石径 0.2～1.2m で 73%程度の発生頻度を示すのに対し、落石防護工の耐力不足に起因した落石の場合は、同区間で 54%程度の発生頻度に留まることが確認された。ここで落石径 1.8～2.0m を除く 1.4m 以上に限定すれば、耐力不足に起因した落石の方が、全落石と比べ発生頻度が高くなっている。この傾向から、落石径 1.4m 以上の転石は落石防護工の耐力を超える落石エネルギーを有することが多く、耐力不足に起因した落石を生じやすいものと考えられる。

4. 発生源比高毎の落石発生頻度

図-6は、図-2に示される落石について、発生頻度を発生源の道路面からの比高毎に示したものである。これによれば、発生源比高 60m 未満での発生が多く、全体の 77%程度に及ぶ。

また、高さ不足に起因した落石発生頻度を追記したものを図-7に、同様に耐力不足に起因した落石発生頻度を追記したものを図-8に提示する。

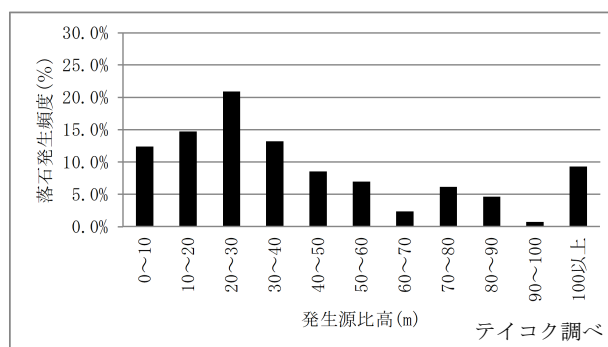


図-6 発生源比高毎の落石発生頻度

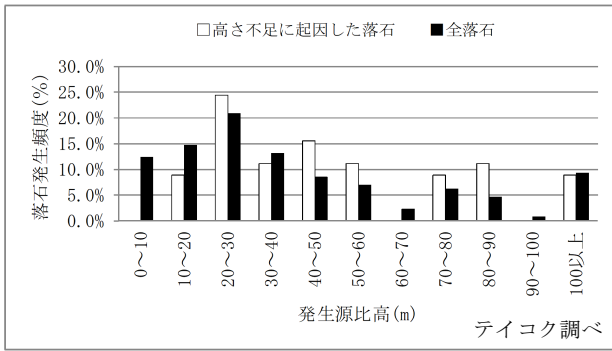


図-7 発生源比高毎の落石発生頻度(高さ不足に起因する)

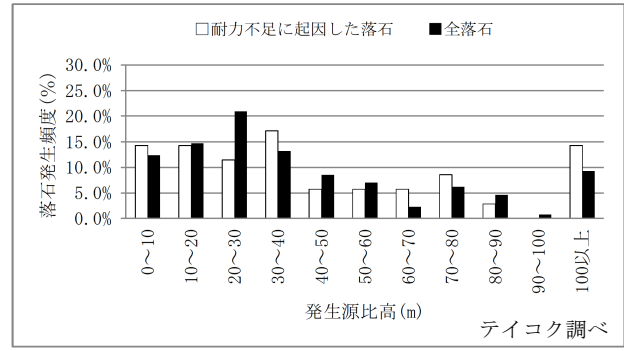


図-8 発生源比高毎の落石発生頻度(耐力不足に起因する)

図-7によれば、全落石の場合、発生源比高 60m 未満で 77%程度の発生頻度を示すのに対し、落石防護工の高さ不足に起因した落石の場合は、同区間で 71%程度の発生頻度に留まることが確認された。しかし発生源比高 40m 以上に着目すれば、高さ不足に起因した落石の方が、全落石と比べ発生頻度が高くなる傾向にある。この傾向から、発生源比高 40m 以上より落下した転石は跳躍高が高く、高さ不足に起因した落石を生じやすいものと考えられる。

また図-8によれば、全落石の場合、発生源比高 60m 未満で 77%程度の発生頻度を示すのに対し、落石防護工の耐力不足に起因した落石の場合は、同区間で 69%程度の発生頻度に留まることが確認された。ここで発生源比高 60m 以上に着目すれば、耐力不足に起因した落石の方が、全落石と比べ発生頻度が高くなる傾向にある。この傾向から、発生源比高 60m 以上より落下した転石は落石防護工の許容範囲を超える落石エネルギーを有することが多く、耐力不足に起因した落石を生じやすいものと考えられる。

なお概念論となるが、落石径が小さく発生源比高が高い転石は跳躍高が高く、高さ不足に起因した落石が生じやすいことが想定される。また落石径が大きく発生源比高が高い転石はエネルギーが大きく、耐力不足に起因した落石が生じやすいことが想定される。

ここで落石径については、概念とおりの結果が得られたが、発生源比高については、概ね概念とおりではあるものの、落石径よりは傾向が不明瞭であった。その原因として、発生源比高の精度不良やデータ不足といったことが挙げられるが、比高が高くなるほど表層地質・微地形・植生といった斜面状況の影響を受け、画一的な評価が困難となることも考えられる。今後は斜面状況を加味し、多面的な評価を行っていく必要がある。

5. 落石発生事例

前記の落石発生頻度の整理・分析結果からは、直径 1.0m 未満、あるいは道路からの比高 40m 以上に該当する転石は高さ不足に起因する落石を生じやすい傾向にあり、直径 1.4m 以上、あるいは道路からの比高 60m 以上に該当する転石は耐力不足に起因する落石を生じやすい傾向にあると言える。

この傾向に合致した落石事例を以下に示す。

(1) 落石防護工の高さ不足により落石した事例

落石は落石径 0.1~0.3m の岩塊 6 個であり、図-9 のように道路からの比高 45m の山地斜面から抜け落ち、道路の山側車線に落下、転動した後に停止した。

斜面下部には高さ 2m の落石防護柵に加え、その上部に高さ 2m の仮設落石防護柵が設置されている。落石は、道路からの比高 13m 付近の岩盤を跳躍台として、落石防護柵を飛び越え道路上に落下した。

(2) 落石防護工の耐力不足により落石した事例

落石は落石径 1.4m 程度の岩塊 1 個と直径 0.2~0.8m 程度の岩塊 4 個からなり、図-10 のように道路からの

比高 70m の山地斜面から抜け落ち、斜面下部に設置されている高さ 1.5m の落石防護柵を突き破り道路の山側車線に落下、谷側車線へと転動した後に停止した。

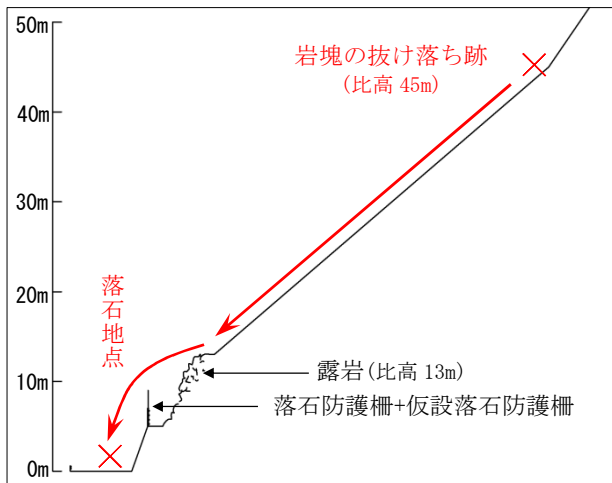


図-9 落石斜面断面図 1

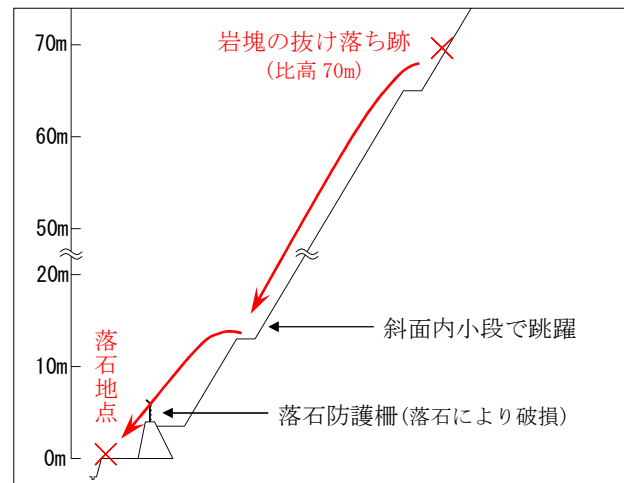


図-10 落石斜面断面図 2

6. 落石対策施設計画への活用

落石履歴を整理・分析し、落石の実態を把握したことで、高さや耐力と言った落石防護工の機能と、落石径・発生源比高と言った落石要因の間に、以下に示す関係があることが分かった。

- ・落石径 1.0m 未満の転石は跳躍高が高く、高さ不足に起因した落石を生じやすい。
- ・落石径 1.4m 以上の転石は落石防護工の許容範囲を超える落石エネルギーを有することが多く、耐力不足に起因した落石を生じやすい。
- ・道路からの比高が 40m 以上に位置する転石が落石となる場合、跳躍高が高く、高さ不足に起因した落石を生じやすい。
- ・道路からの比高が 60m 以上に位置する転石が落石となる場合、落石防護工の許容範囲を超える落石エネルギーを有することが多く、耐力不足に起因した落石を生じやすい。

すなわち、直径 1.0m 未満、あるいは道路からの比高 40m 以上に該当する転石は高さ不足に起因する落石を生じやすい傾向にあり、直径 1.4m 以上、あるいは道路からの比高 60m 以上に該当する転石は耐力不足に起因する落石を生じやすい傾向にあると言える。この傾向に合致した転石に注視し現地調査を行うことで、より効果的な落石対策施設の計画ができる可能性がある。

7. おわりに

本稿より、落石の実態を把握することで、効果的な落石対策施設の計画ができる可能性が示唆された。

しかし本稿は、高さや耐力と言った落石防護工の機能と、落石径・発生源比高と言った落石要因の関係に着目した整理・分析に留まっており、落石の実態を正確に把握するためには、表層地質・微地形・植生といった斜面状況、落石の岩質、運動形態など、多面的な視野で評価する必要がある。また分析にあたっては、対策工の経年劣化の程度について考察する必要もあろう。

今後、多面的な視野での整理・分析を進めていきたいと考える。