

落石の線路への影響度の簡易判定図

西日本旅客鉄道(株) 深田 隆弘
○神戸大学大学院 谷口 達彦
神戸大学大学院 澁谷 啓

1. はじめに

落石の線路への影響評価は、現場技術者の経験的判断に委ねられていることが多い。本検討では、落石シミュレーションから算出できる到達確率を基に、簡便な影響評価の方法を提案する。具体的には、影響度に及ぼす要因として比高、斜面勾配、落石径、斜面途中の急崖の数とその位置などに着目し、パラメトリックな解析的検討によって判明した主要因と設定した評価区分に応じた判定図を作成する。

2. 落石シミュレーションによる線路への到達確率

鉄道沿線斜面から落石注意箇所を抽出し、検査記録や斜面カルテ、DEM データなどの既存情報を活用して、個別の落石懸案事象について、その落石規模や経路推定、さらにはシミュレーションによる影響評価を行っている¹⁾²⁾。

多くのシミュレーションを行う過程で、転石や斜面の条件によって計算結果の類型化の可能性が見えてきた。そこでまず等斉斜面に対し、以下に示す基本条件の下で実施したシミュレーション結果について整理する。なお(1)比高、(2)斜面勾配、(3)落石径のケースについては過去の落石事例113件の分析から決定するとともに、(4)(5)の斜面に関するパラメータは落石対策の実務において多用されている標準値³⁾⁴⁾を参考にしている。

- (1) 比高：30～70 m の 5 ケース
- (2) 斜面勾配：40～50 度の 5 ケース
- (3) 落石径：1.0、1.5、2.0、3.0 m の 4 ケース
- (4) 斜面パラメータ：崖錐の場合、【 】は標準偏差
すべり摩擦係数 0.48 【0.06】
法線方向速度比 0.275 【0.28】
接線方向速度比 0.78 【0.25】
飛び出し限界速度 8.50 【2.50】

- (5) 等価摩擦係数：0.35 (崖錐)

上記基本条件でのシミュレーション結果を、落石径ごとに、比高と到達確率の関係として図-1 に示す。図中の折れ線は、凡例に示す斜面勾配の違いによるもので、比高による顕著な差は見られず、線路への到達確率は落石径と斜面勾配が支配的であることが分かる。これは斜面が長大となって落下高さが40mを超えるような場合では、跳躍運動の介在のため、斜面への衝突時に減速されて終端速度となる⁴⁾ことから、到達確率が一定値になると考えられる。

3. 影響度の簡易判定図

ここで図-1 の到達確率5% (緑点線) と15% (赤点線) に着目すると、シミュレーション結果を落石径と斜面勾配

によって分類することができる。すなわちこれらの値を線路への影響度のしきい値と考え、線路への影響評価を「影響度Ⅰ (大いにある)：到達確率15%以上」、「影響度Ⅱ (ある)：同5%以上15%未満」、「影響度Ⅲ (ほとんどない)：同5%未満」、の3つに区分する(表-1)。この影響評価の区分の基本となるしきい値については、今回の検討で得られた図-1 のシミュレーション結果をうまく分類できることに加え、過去の落石事例のシミュレーション結果も参考に決定している。

この評価区分に従うと、図-1 のシミュレーション結果は、横軸および縦軸の落石径(ϕ)と、反時計回りを正方向とする斜面勾配(θ)のラインで区切られる領域によって線路への影響度を表した簡易判定図(図-2)にまとめることができる。図中のⅠ、Ⅱ、Ⅲは、表-1 に基づく線路への影響度である。

4. 急崖がある場合の簡易判定図

次にシミュレーションの条件に、斜面途中の急崖の存在を加える。比高の影響は小さいため50mの1ケースのみと

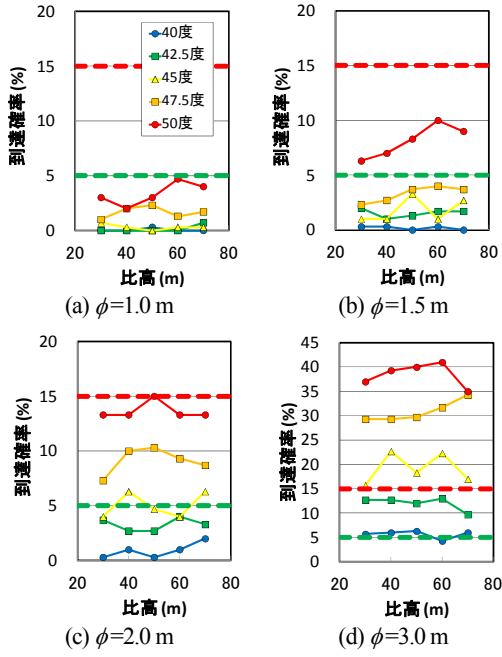


図-1 落石シミュレーションによる線路への到達確率

表-1 線路への影響評価の区分

線路への影響度	落石シミュレーションによる線路への到達確率
Ⅰ：(大いにある)	15%以上
Ⅱ：(ある)	5%以上、15%未満
Ⅲ：(ほとんどない)	5%未満

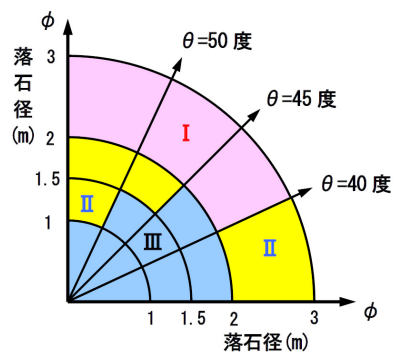


図-2 線路への影響評価の簡易判定図 (基本図)

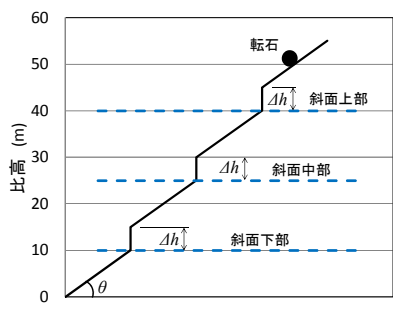


図-3 急崖がある斜面の類型化

し、急崖は高さ $\Delta h=2\sim 5\text{m}$ が斜面途中に 1 または 2 箇所、その位置が斜面の下、中、上部にある場合を考える。

急崖がある場合の落石シミュレーションの計算条件を以下に示す。

- (1) 比高：50m の 1 ケース
- (2) 斜面勾配は 40, 45, 50 度の 3 ケース
- (3) 高さ $\Delta h=2\text{m}$, 3m, 4m, 5m の急崖が、1 または 2 箇所
- (4) 急崖の位置：斜面の下、中、上 (図-3 参照)
- (5) その他は前述の基本条件と同じ

急崖が 1 箇所ある場合の計算結果を表-1 の評価区分に対応させ、落石径、斜面勾配、さらに急崖の高さおよびその位置によって類型化すると、図-4 の(a)~(c)とおりの判定図を 3 つのパターンに分類することができた。また同様に急崖が 2 箇所ある場合には、図-5 の(a)~(d)に示す 4 つのパターンに分類することができる。

これらの図-2、図-4、図-5 に示した簡易判定図によれば、数値地形データが無いなど斜面のモデル化が困難な場合においても、例えばカルテ点検情報など既存の資料からある程度の斜面の類型化を行うことによって落石の線路への影響を簡易に判定することが可能となる。

5. 検証とまとめ

図-6 は、ある落石事例の概要である。日常点検で斜面上部の不安定な転石の存在を把握していたが、落石検知線を設備し、また立木柵や落石止柵等の対策工があるため、線路まで到達することはないと判定していた。

斜面勾配 40 度以上、転石の大きさ直径 1.5m 程度で、高さ 5m の急崖が斜面下部に 1 箇所あることから、図-4(c)の簡易判定図によれば、影響度 II (影響あり、到達確率 5~15%) となる。

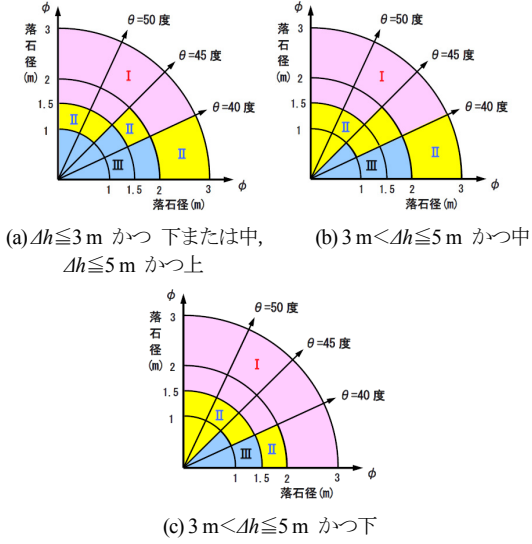


図-4 線路への影響評価の簡易判定図 (急崖が1箇所の場合)

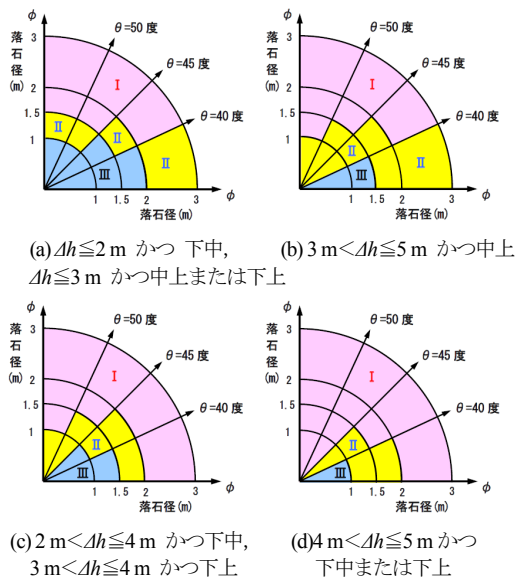


図-5 線路への影響評価の簡易判定図 (急崖が2箇所の場合)

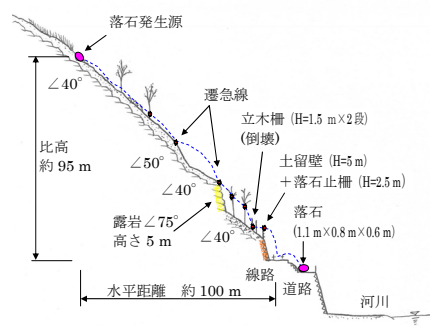


図-6 落石事例

参考文献

- 1) 深田ほか：10m-DEMを活用した鉄道斜面における落石注意箇所抽出の試み，第45回地盤工学研究発表会，2010.8.
- 2) 深田ほか：鉄道沿線における落石ハザードマップの試作，第66回土木学会年次学術講演会，2011.9.
- 3) 勘田益男：落石対策工設計マニュアル，p.27，理工図書，2002.3.
- 4) 日本道路協会：落石対策便覧，p.18，p.355，2000.6.