

鉄道沿線における落石ハザードマップの試作

西日本旅客鉄道株式会社 ○深田 隆弘, 森 泰樹
アジア航測株式会社 棚野 博, 藤田 浩司

1. はじめに

落石注意箇所の把握を目的とする基本図として、10m・DEM（数値標高モデル）を活用し、流域や傾斜の区分などの地形情報、過去の落石災害履歴、斜面防災点検の情報などを重ね合わせて「落石注意マップ」を作成した¹⁾。

これにより広大な鉄道沿線の斜面から落石注意箇所を効率的、効果的に抽出することが可能となった。

この落石注意マップをさらに充実させ、落石のリスクをより明確にした「落石ハザードマップ」を試作する。そのために、落石シミュレーションによって線路への到達確率を算定し、線路への影響度を定量的に評価する。

2. 5m-DEMの活用

落石注意マップでは、地形データとして全国無償で入手できることから10m-DEMの活用を図った。今回は同エリアの5m-DEMを取得することができたので、その使用にあたりまずは5mと10mのDEMの精度比較を行った。

表-1に示したとおり、公表²⁾されている高さ、ならびにそれから算定される傾斜角度ともに5m-DEMの精度が高くなっている。

表-1 5mと10mのDEMの精度比較²⁾

	5m-DEM	10m-DEM	記事
有効数字に伴う高さの精度	10cm(2.3度)	1m(11.3度)	高さの精度は公表
TIN補正に伴う高さの精度	30cm(6.8度)	—	
実測との照合による精度	(4.5度)	(10度)	

※()内は高さの精度から算定した傾斜角度の精度

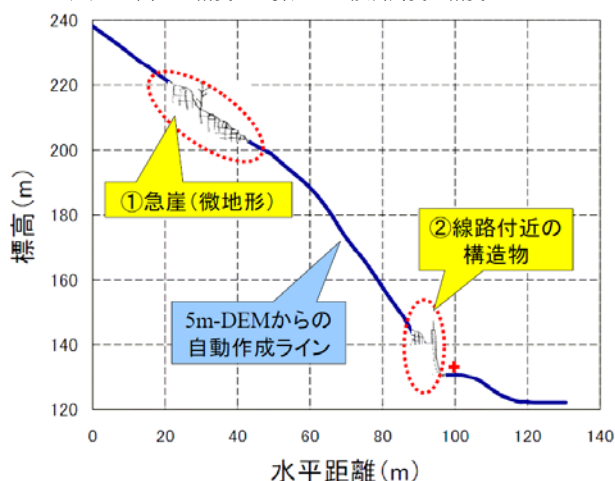


図-1 5m-DEMから自動作成した断面図

また図-1に5m-DEMから自動作成した斜面の断面図を示す。①急崖などの微地形や②線路付近の構造物については若干の修正が必要となるものの、5m-DEMを活用して鉄道沿線の斜面を精度よく描画できることが分かる。

3. 線路への影響評価の定量化

落石のリスクを明確にするためには、落石が線路まで到達するかどうかの影響度を定量的に判定する必要がある。しかしながらこのような判定は、専門技術者や検査担当者が経験に基づき定性的に判断していることが多い。本研究では、この影響度を落石シミュレーション手法（質点系解析）によって線路への到達確率として定量化することとした。そのために落石に関する詳細なデータが得られている2つの事例を基に、落石シミュレーションを利用することに対する検証を行う。

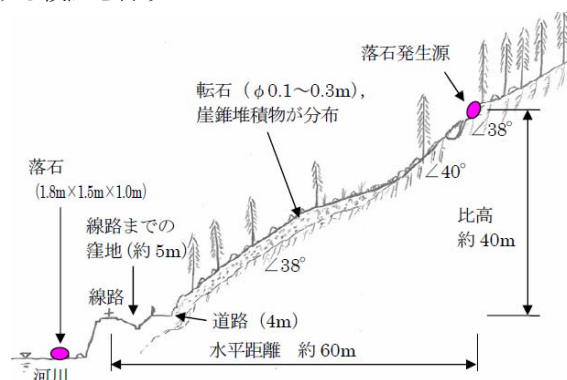


図-2 落石事例1の概要

落石事例1は、図-2に示すとおり線路からの水平距離約60m、比高約40m、傾斜勾配約38度の発生源から、約1.8m×1.5m×1.0mの転石が落下した事例である。地質は風化が進行した閃緑岩で構成され、斜面下方に崖堆積物が分布する。落石の経路は、直接線路方向に落下したのではなく、一旦最急勾配方向に落下し、沢部を通過、道路面で大きく跳躍し、線路までの窪地を越えて線路反対側の河川にまで到達したことが判明している。

落石事例2は、線路からの水平距離約100m、比高約95m、傾斜勾配約40度の発生源から、最大約1.1m×0.8m×0.6mの転石が落下した事例である。斜面は流紋岩を基盤とし、斜面下方に傾斜の変化点が複数存在している。落石の経路は、遷急線と露出岩の急崖の2箇所で大々跳躍し、途中の立木柵2つを倒壊させた。その後、線路際の落石止め柵をかすめるように越えて、レール面でさらに大きく跳躍し道路にまで達した。

落石シミュレーションでは、参考文献^{3) 4)}から表-2のパラメータを採用している。このうち等価摩擦係数は、これまで0.05~0.35を用いることが多かったが、落差が大きい斜面の場合に落石速度を過大に評価することを回避するため落差が15mまでは0.20、15m以上では0.40で速度を包含できるという結果⁵⁾を適用した。

落石、ハザードマップ、数値標高モデル、落石シミュレーション

大阪市淀川区西中島5-4-20 電話 06-6305-6958 FAX 06-6305-6958

表-2 落石シミュレーションの斜面パラメータ

斜面パラメータ	入力平均値 [標準偏差]	
	崖錐	岩盤
すべり摩擦係数	0.48 [0.06]	0.69 [0.18]
法線方向速度比	0.275 [0.28]	0.55 [0.28]
接線方向速度比	0.78 [0.25]	0.58 [0.25]
飛び出し限界速度	8.50 [2.50]	4.69 [2.02]
等価摩擦係数	0.20 (落差15m以下)	0.05
	0.40 (落差15m以上)	

表-3 事例の落石シミュレーション結果

	シミュレーション条件	線路への到達確率
事例1	$\phi=1.5\text{m}$, 質量 46.8kN	1.0%
事例2	$\phi=1.5\text{m}$, 質量 46.8kN	5.0%

2つの落石事例のシミュレーション結果を表-3にまとめる。斜面の状況などから経験的に判断して、事例1は線路まで到達する可能性が非常に小さいケースであったと考えている。事実、落石発生前に実施した専門技術者による斜面点検でも線路への影響なしの判定であった。一方事例2は、斜面途中の勾配変更点2箇所で大きく跳躍していることから、到達確率は比較的大きいと考えられるべきであり、5.0%という結果は受け入れることができる。

したがって斜面パラメータに対する基本的な考え方も含め、落石シミュレーションの到達確率による線路への影響度の定量化は、これまでの技術的判断と感覚的に大きくずれるものではないと考えられる。

落石リスクの大きさを線路への影響度とし、これまでの経験的な判断も考慮に加え、表-4に示す判定基準のとおり、「I (大いにある) : 到達確率 15%以上」、「II (ある) : 5%以上 15%未満」、「III (ほとんどない) : 5%未満」の3つのランクに分類した。この影響度の判定基準については、多くの落石事例やシミュレーション結果の分析により、今後より実用的なものとしていく必要がある。

表-4 線路への影響度の判定基準例

線路への影響度	シミュレーションによる到達確率
ランク I (大いにある)	15%以上
ランク II (ある)	5%以上, 15%未満
ランク III (ほとんどない)	5%未満

4. 落石ハザードマップの試作

まず落石注意マップで特定した不安定な岩塊のある斜面を5m-DEMからモデル化し、落石シミュレーションの結果から線路への影響度を判定する。次に流域区分などから想定した線路への到達区間に対して、影響度に応じた表示を行って落石ハザードマップとする。

図-3に示した落石ハザードマップの例では、広範に連続して不安定な岩塊が存在する鉄道沿線の斜面において、これまでの点検では線路への影響がほとんどないと判定していた箇所のうち、落石シミュレーションの到達確率による判定で、線路への影響度をランク I あるいは II と判定する必要がある箇所があることが判明した。

5. まとめ

落石注意マップを発展させ、落石シミュレーションによる線路への影響度を定量的に判定・図示した落石ハザードマップを試作した。これで鉄道沿線における不安定岩塊の存在箇所が一目で分かるとともに、線路への影響度の大きさを把握することができる。斜面管理の担当者が、この落石ハザードマップを日々の点検などに活用することはもちろん、落石発生時の緊急点検や対策の優先順位付けによる線区の安全性向上のための防災投資計画に活用できるように整備していく。なお5m-DEMなどの地形データがなく、斜面のモデル化が困難で落石シミュレーションによれない場合にも線路への影響度を判定できる簡易な方法を今後検討していきたい。そのためにもこれまでの落石事例を活かし、発生源や落石経路などの情報についてきめ細かい分析を積み重ねる必要がある。

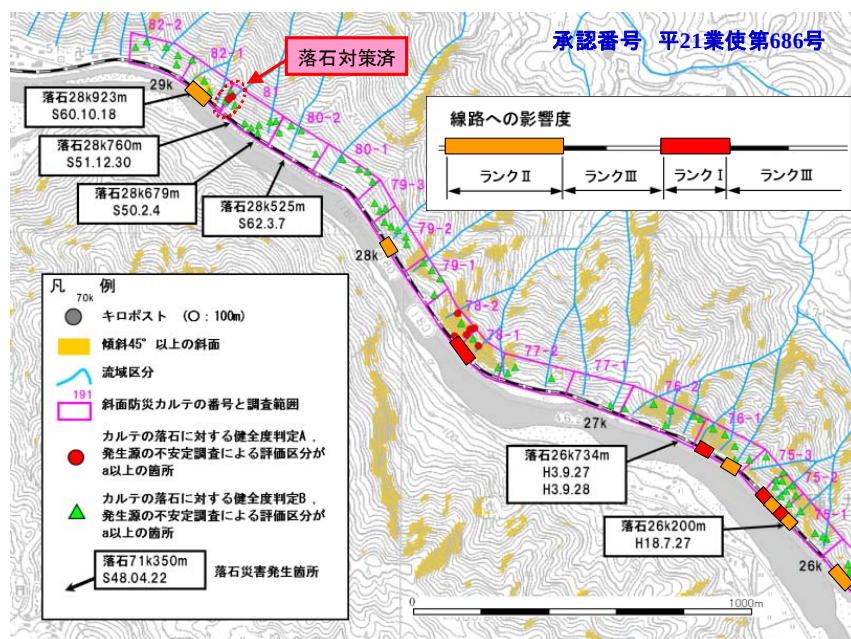


図-3 落石ハザードマップの作成例

謝辞：5m-DEM は国土交通省中国地方整備局河川部から提供いただいた。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 深田, 森, 棚野: 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) 国土地理院ホームページ
- 3) (社)日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.6.
- 4) 勘田益男: 落石対策工設計マニュアル, p.27, 理工図書, 2002.3.
- 5) 地盤災害研究委員会落石対策研究会: 落石対策 Q&A, p.44, 地盤工学会四国支部, 2009.12.