

落石運動シミュレーション手法に関する一考察

金沢大学工学部 正 榎谷 浩
クレストエンジニアリング 中川真由子

1. まえがき

落石防護対策において落石発生の危険度と設計対象とする落石条件は基本的に重要な問題である。具体的に落石の寸法、形状、発生位置が定めれば、落石の落下経路、到達位置、衝突速度の推定が必要とされる。落石対策便覧によれば斜面の等価摩擦係数と斜面勾配により衝突速度は算出できる。しかしながら、実際の斜面は複雑で一様ではなく、個々に性状、凹凸が異なるため、複雑な斜面条件を考慮できる各種の数値シミュレーション手法の開発が望まれている。ここでは、各種提案されている落石運動シミュレーション手法について概説し、今後の動向について報告する。

2. シミュレーション手法の歴史

最初に落石シミュレーションを用いたのは米国の Ritchie である。彼は、落石防止溝の設計法を見直すために実施した現場実験を観察し、落石の運動形態を図-1 に示すように回転運動(Roll)、跳躍運動(Bounce)、落下運動(Fall)と便宜上分類し斜面勾配と関係づけている。これは落石対策便覧(1983)をはじめ各国の落石関係のレポートやガイドブックで紹介され、その後のシミュレーション手法発達の原点といえる。日本では、1970年代初頭に福岡が落石の痕跡からの運動軌跡再現と衝突時のエネルギー損失の算定を行っている。

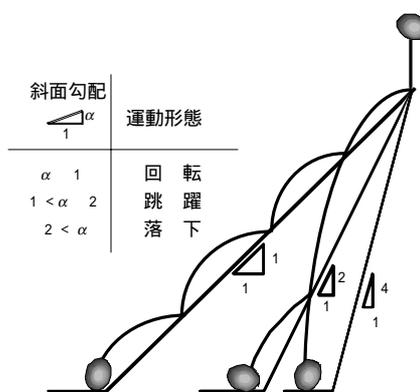


図 1 斜面勾配と運動形態 (Ritchie)

日本では1968年に犠牲者104名を出した未曾有の土砂災害である飛騨川バス転落事故が発生し、これを契機に、安全性の向上

が強く要望され防護施設の整備が進められた。このころより日本で落石予測手法開発が開始された。落石の最大跳躍高、落下速度、運動エネルギーについての実験結果が落石対策の手引き、落石対策便覧で紹介されている。1985年前後には吉田らや右城らにより実斜面への適用を目指して開発されたプログラムが報告されている。図-2に、落石の運動の取り扱い方法を2次元問題として示す。左は質点の力学の基本であり、大きさの無い質量を持った点として取り扱う最も単純なものであり落石の回転は無視される。右に行くに従い拡張された取り扱いになり、質点形状を考慮する場合、落石に作用する力の作用位置の影響により、回転変化は無視したものより大きい

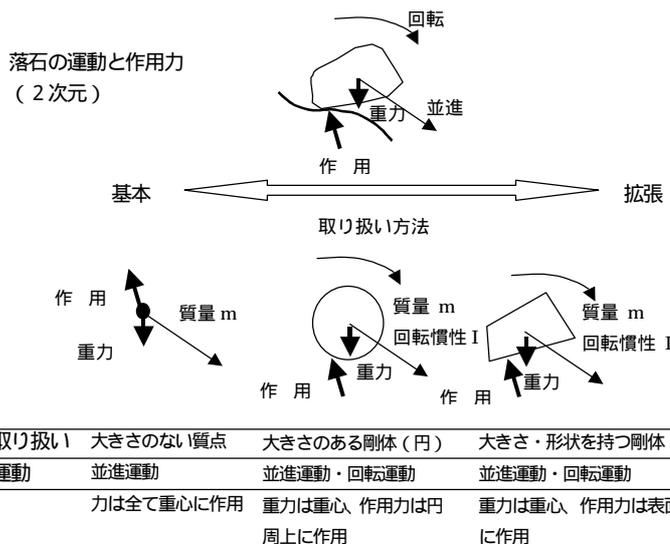


図-2 落石の取り扱い方法

キーワード 落石、シミュレーション、防護工、衝突、危険度、立木

連絡先 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20・TEL076-234-4603・FAX076-234-4630)

といえる。

諸外国においても 1980 年代後半には 2 次元質点系シミュレーション手法が相次いで開発され提案されている。Piteau は落石の並進速度のみならず回転速度がシミュレーション結果で重要であるとし、跳躍モードとところがりモードで表現する手法を示している。Descoedres et al. は落石を完全剛体である楕円体あるいは多角形とする手法を示し、現場実験結果と比較を行っている。Bozzolo (1986 and 1988) は落石を楕円体と表現する手法を示している。Paronuzzi (1989) は反発係数などを確率的に取り扱う手法を示している。Pfeiffer や Stevens により落石形状は直接考慮せず斜面の凹凸度(ラフネス)や反発係数などを確率変数として取り扱う手法を開発している。

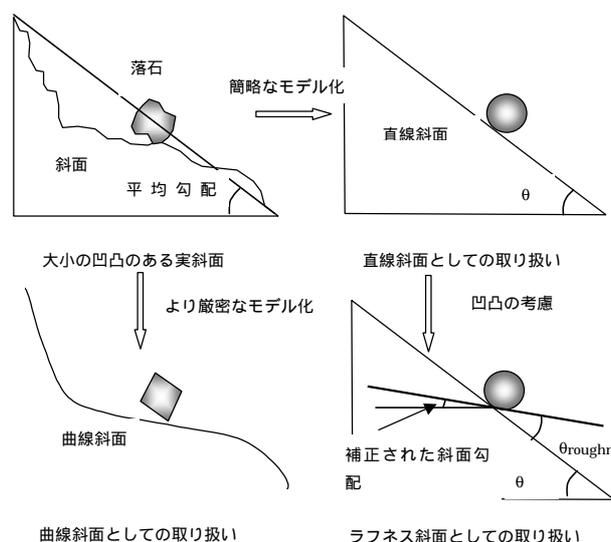


図-3 斜面の取り扱い

図-3 は斜面との落石衝突時の各種の幾何学的取り扱いについて示したものである。運動には斜面の凹凸のみならず落石の大きさとその形状が影響する。落石の代表寸法を基準として斜面の凹凸の大きさを相対的に表現する凹凸角度として考慮される場合もある。

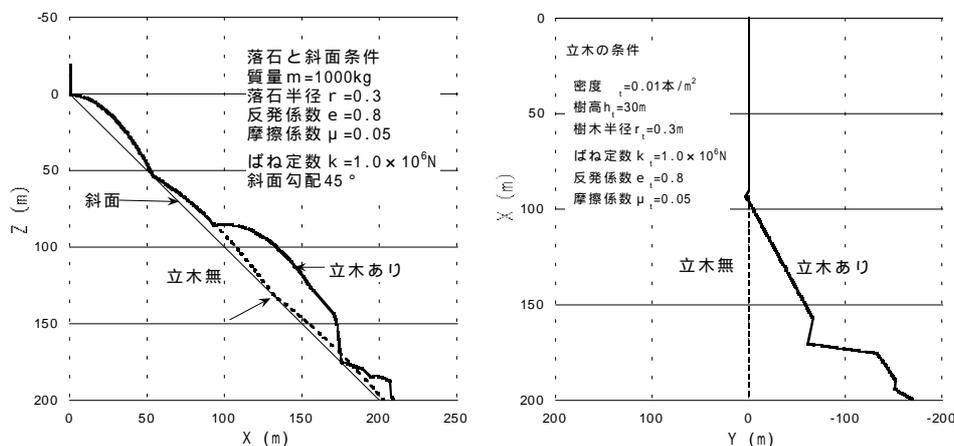


図-4 斜面に立木がある場合の落石シミュレーションの一例

3. 最近の動向

1989 年には福井県越前

海岸で岩盤崩落によるロックシェットの破壊事故が発生し、再現するために個別要素法 (DEM) を用いた検討が行われた。その後、不連続変形法 (DDA) と呼ばれる解析手法の適用も行われるようになった。個別要素法と不連続変形法は、基本的に落石と斜面全体を解析対象とする手法であり、落石形状をはじめ比較的多くのパラメータ情報が必要とされる。最近では著者らにより 3 次元運動を取り扱う手法の開発も行われている。このような結果は、「ロックシェットの耐衝撃設計」で確率を考慮した限界状態設計法における落石荷重として紹介されている。その後、地盤の塑性変形を落石衝突時に考慮するもの、立木の影響を考慮する研究も見られるようになってきた。図-4 は著者らが行った立木のある斜面のシミュレーション結果の一例を示したものである。複雑な条件をいかに合理的に取り組むかが今後望まれる点である。

4. まとめ

落石発生の危険度と設計対象とする落石条件を考える上で有効と考えられる落石シミュレーション手法について概説し、立木を考慮した著者の解析事例を示した。情報技術の発達は著しく、今後比較的容易に現場斜面情報のシミュレーションへの利用が期待できる。解析に用いるパラメータの基礎情報が十分得られているとはいえないのが現状であるため、今後各種条件に適合したパラメータの設定法の確立が望まれる。最後に、落石シミュレーション手法検討 WG の皆様には、貴重な御助言をいただきました。ここに厚く謝意を表します。