

不連続変形法 (D D A) による植生斜面の落石解析事例

keyword : 落石, 不連続変形法, 粘性

サンコーコンサルタント(株)
同
同
京都大学大学院

正会員 萩原 育夫
正会員 佐々木 猛
正会員 佐々木 勝司
正会員 大西 有三

1. はじめに

落石対策の検討では落下時の挙動(経路・速度等)を評価することが重要である。最近では落石の挙動を定量的に予測・評価することを目的として、数値解析手法の開発・導入が進められているが、斜面状況に合致した適切なモデルを構築することが大きな課題となっている¹⁾。本報告では植生に覆われた斜面における落石事例を対象として、不連続変形法(DDA)によって落石の挙動を解析する際の、植生による落下エネルギー低減の扱いについて検討した結果を報告する。解析にはShiが開発した2次元解析コードに²⁾³⁾、剛体運動の速度減衰に関する改良(粘性抵抗モデル)を加えたものを使用した⁴⁾⁵⁾。不連続変形法の基礎方程式を以下に示す。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F, \quad C = \mu M$$

ここに M: 質量マトリックス, C: 粘性マトリックス, K: 剛性マトリックス, F: 外力マトリックス
μ: 粘性係数, u: 変位マトリックス

本検討では、上式で表される粘性の概念を斜面上の植生や樹木による抵抗と対応付けて解析した。

2. 解析事例

(1) 斜面状況

植生斜面で発生した落石事例の概要を図-1に示す。落石は1.20m × 0.95m × 0.80m程度の岩塊(転石)の抜け落ちによるもので、比高=約60m、平均傾斜=約38度の斜面中を、立木(胸高径=15~25cmの杉)に接触しながら落下し、斜面末端部の家屋に衝突して停止したものである。落石の経路は、立木の擦痕(10箇所)や地表の窪み(12箇所)によって追跡された。立木の擦痕は地表から1~2m程度の高さであり、地表の窪みは深さ20~30cm程度であった。落石経路上における落石と立木との接触回数は1回/10m程度(平均)である。

落石は硬質な花崗岩の岩塊で、落下経路沿いの斜面は軟質な表層土砂で覆われ岩盤の露出は認められなかった。斜面上の植生は杉の植林(間隔=1.8m程度、一部間伐)の他、草本類や幹径=1~2cmの雑木が疎らに認められる程度であった。

(2) 落下速度

斜面末端部での跳躍位置(地表の窪み)と跳躍量(0.5~1.5m、想定値)から、質点に関する運動方程式を用いて落石の運動方向・速度並びに運動エネルギーを試算した。着地点での試算結果は速度=10.9~15.4m/s、運動エネルギー=140~280kJ・mとなり、既存資料の落石実験結果の下限程度以下となった(図-2参照)。また試算結果は、落石対策便覧⁶⁾で示されている等価摩擦係数による落石速度推定値=25m/s(等価摩擦係数=0.35、比高=60m)の1/2程度となった。既存の落石実験や落石便覧評価式は、いずれも立木の無い斜面の落石データをもとにしており、本事例においては、落石と立木の接触によって落石の落下エネルギーが低減されたものと捉えることができる⁷⁾。

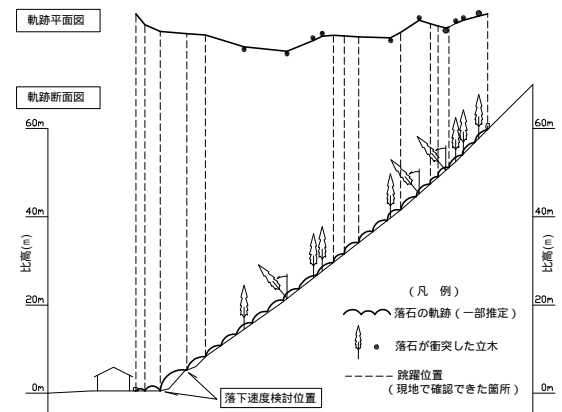


図-1 落石事例の概要

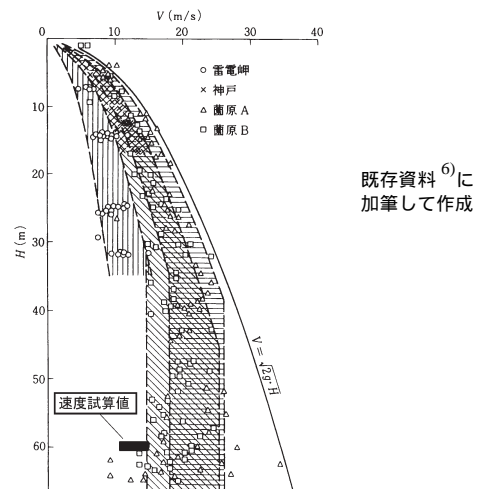


図-2 落石事例の落下速度試算結果

A Case Study of Rockfall in Natural slopes, Using Discontinuous Deformation Analysis(DDA).

Ikuo Hagiwara, Takeshi Sasaki, Katsuji Sasaki Suncoh Consultants Co.

Yuzo Ohnishi Kyoto University

(3) DDAによる解析

解析モデルを解析結果例とともに図-3に示す。解析モデルは落石と斜面の2ブロックとし、各物性値は現地状況及び既存文献資料⁸⁾をもとに設定した。立木との接触による落下エネルギーの低減は粘性抵抗によって考慮するものとし、粘性係数を0.00~0.20で変化させて解析し、解析結果の落石エネルギーを落石事例と比較した。なお、落石の姿勢の解析結果への影響を考慮して¹⁾⁹⁾、初期状態における落石の姿勢を変化(36度ずつ回転)させて解析を行った(1つの粘性係数に対して10ケース)。解析結果を図-4に示す。解析では粘性係数を0.10程度とすることにより、落石事例で想定した落石エネルギーと同程度の解析結果を得ることができた。

また、植生状況や地質状況が同様で地形断面形状の異なる斜面での解析事例を図-5に示す。当該箇所では過去の落石とみられる転石が比高=40mから斜面下方側約50mの範囲内に認められた。解析は、粘性係数を0.10として落石の姿勢を10通り変化させて実施し、図-5には落石の軌跡と停止位置を解析結果として図示した。解析結果による落石の停止位置は現地での転石の分布状況に概ね一致し、過去の落石を再現しているものと捉えられた。

3. 考察

樹木等をブロックモデルとして落石の衝突を直接的に解析することも可能と考えられるが、これには詳細なモデル検討が必要であり、複雑で多様性に富む自然斜面の落石問題への適用には困難を要すると思われる。本報告の事例解析は、立木との衝突による落石エネルギーの低減を剛体運動の粘性抵抗によって評価し、落石の姿勢によるバラツキを加味して落石挙動をシミュレートしたものであり、今回の方法によって実際の落石挙動を再現できることが確認された。今後は、落石データの収集等を行って樹幹密度と粘性抵抗との対応関係等を検討するとともに、落石問題におけるDDAの解析精度や適用性の向上をはかりたいと考える。

参考文献

- 1)日本道路協会：落石対策便覧に関する参考資料，pp.422,2002
- 2)G.H.Shi,R.E.Goodman：Discontinuous Deformation Analysis，25th U.S.Symposium on Rock Mechanics,pp.269-277,1984
- 3)G.H.Shi,R.E.Goodman：Two Dimensional Discontinuous Deformation Analysis，Int. J. Anal. Methods Geomech.，Vol.9,pp.541-556,1985
- 4)不連続性岩盤研究会：DDA version6.021-マニュアル，2002
- 5)佐々木猛他：不連続変形法(DDA)による斜面崩壊と落石パターンの検討，計算工学会講演会論文集，vol.8，2003
- 6)日本道路協会：落石対策便覧，丸善，2000
- 7)右城猛他：高知県における落石災害と落石の運動特性，土木学会論文集，Vol.37，No.581，pp.39-48，1997
- 8)日本道路公団：設計要領第一集，道路厚生会，2000
- 9)萩原育夫他：DDAによる落石解析事例，日本応用地質学会平成12年度研究発表会論文集，pp.253-256，2000

(物性モデル)

設定項目	落石	表層土砂
単位体積重量(kN/m ³)	2.6	1.8
ヤング率(kN/m ²)	200,000	200
ポアソン比	0.3	0.5
内部摩擦角(度)	40	35
粘着力(kN/m ²)	0	0
速度エネルギー比	0.12	
粘性係数	0.05~0.20で変化	

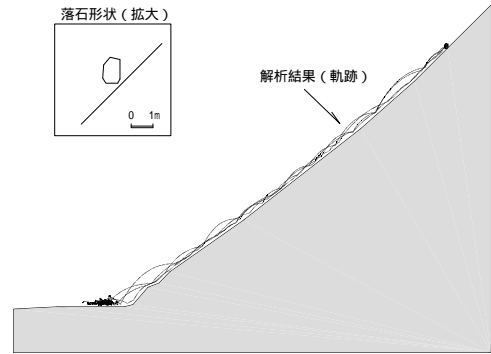


図-3 解析モデルと解析結果

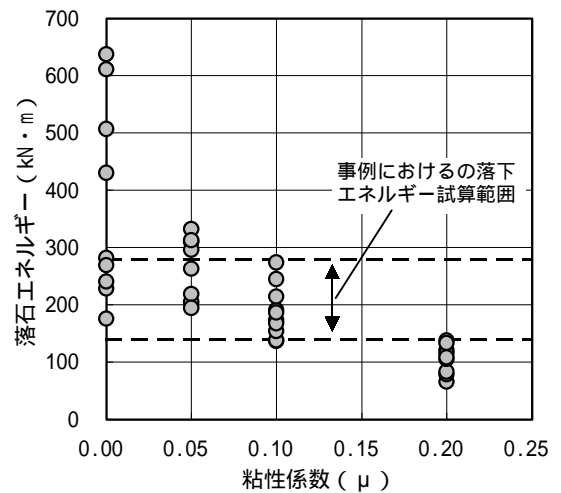


図-4 粘性係数と解析結果

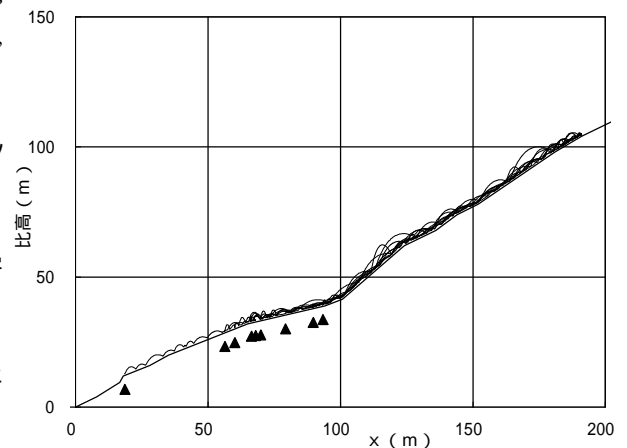


図-5 植生条件等が同様な斜面における解析結果
(△：落石停止位置)