

1.はじめに

落石運動を解析する方法としては、従来の経験式に基づいた方法に加え、落石を円、球あるいは多角形としてモデル化する数値解析手法が開発されている。いずれの手法においても斜面とのすべり摩擦や衝突時の破壊に起因するエネルギーロスを考慮することにより、落石速度や跳躍量が制限される計算となっている。しかし、落石が直径数10cm以上の立木からなる林を通過する時の衝突をモデル化した解析は試されていない。本研究では、立木の影響を反映させる一つの方法として、DEMを用いて立木及び落石を円要素で表した平面解析を行ない、立木による速度の低減効果を求めた。次にその低減効果を縦断面方向のDEMによる2次元解析に反映させた。その結果、立木の影響を反映する手法としての可能性が示されたのでここに報告する。

2.解析手順と方法

本解析では、立木をモデル化した平面解析により、縦断面解析で用いる速度抵抗係数を求めた。次に縦断面解析を行い跳躍し易い場所や速度の早くなる箇所を分析するものである(図1)。

(1) DEMによる平面解析

立木のある斜面の落石実験を解析した既往の例によれば、落石が立木と衝突した場合に生ずる力の低減は、速度に比例すると考えられ、落石速度と距離を推定する方法として式(1)及び(2)が提案されている¹⁾。本解析では、立木を円形の剛体としてモデル化し、平面解析領域内に立木を定められた直径と間隔の範囲でランダムに配置させ、落石に初速度を与えて立木の領域を通過させる。平面解析では平面上の落石が $V = \alpha\sqrt{2gH}$ の速度を持つように一定の加速度を与えた。ここで α は速度残存係数である。この解析で得られる立木の領域の通過後の速度（終端速度）と、立木と衝突しない場合の終端速度から式(1)及び(2)を用いて速度に比例する抵抗係数 C_k を算出した。

$$V = \frac{\alpha}{C_k} + \left(V_0 - \frac{\alpha}{C_k} \right) e^{-\mu t} \quad \text{式(1)}$$

$$S = \frac{\alpha}{C_k} t + \frac{1}{C_k} \left(V_0 - \frac{\alpha}{C_k} \right) \left(1 - e^{-\mu t} \right) \quad \text{式(2)}$$

$$\alpha = g(\sin \theta - \mu \cos \theta)$$

V:斜面に沿うt秒後のすべり速度
θ:斜面の傾斜角度
V₀:初速度
μ:摩擦係数
S:t秒間に斜面にそってすべる距離
α:斜面方向の加速度

(2) DEMによる縦断解析

落石の開始地点から多角形の落石を発生させ、立木の区間を通過する落石に対し、平面解析で求めた抵抗係数を用いて速度に比例する抵抗力を与え、立木の影響を考慮する。抵抗係数以外のパラメータは、落石の跳躍高さや現地調査で得られた擦痕高さや落石経路等を基に調整する。解析された軌跡より落石防護壁設置地点の標高での速度、跳躍高さを算出し、防止壁設置付近の落石の速度、跳躍高さ、および軌跡を分析する。

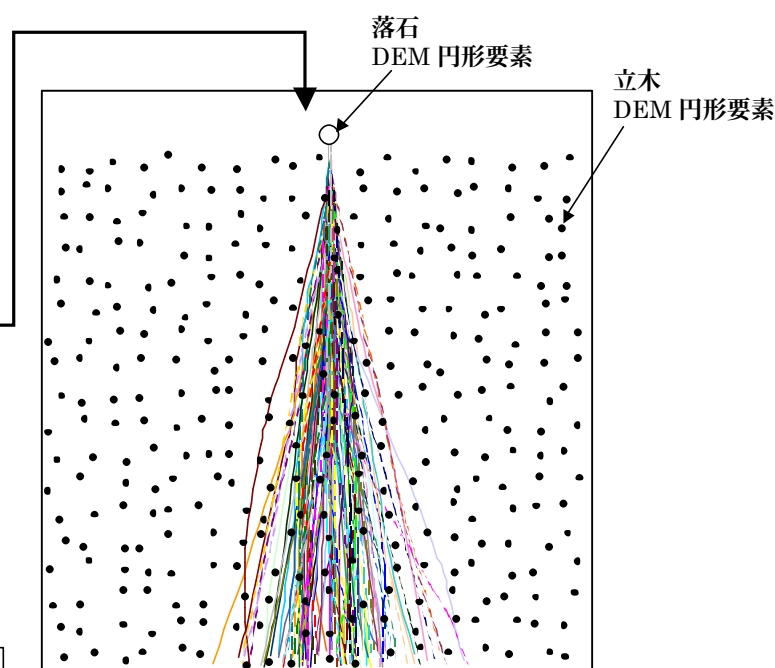
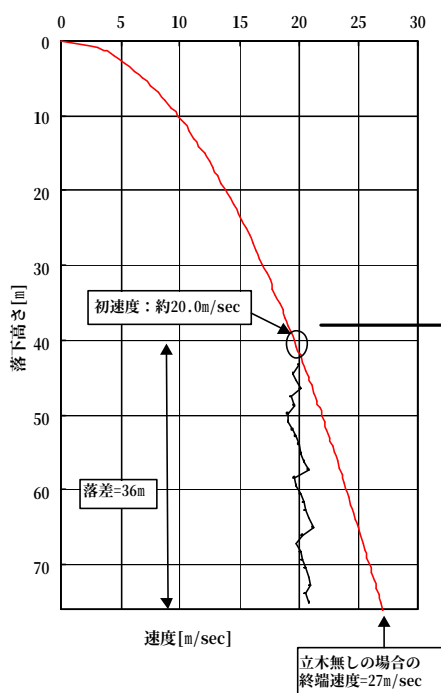
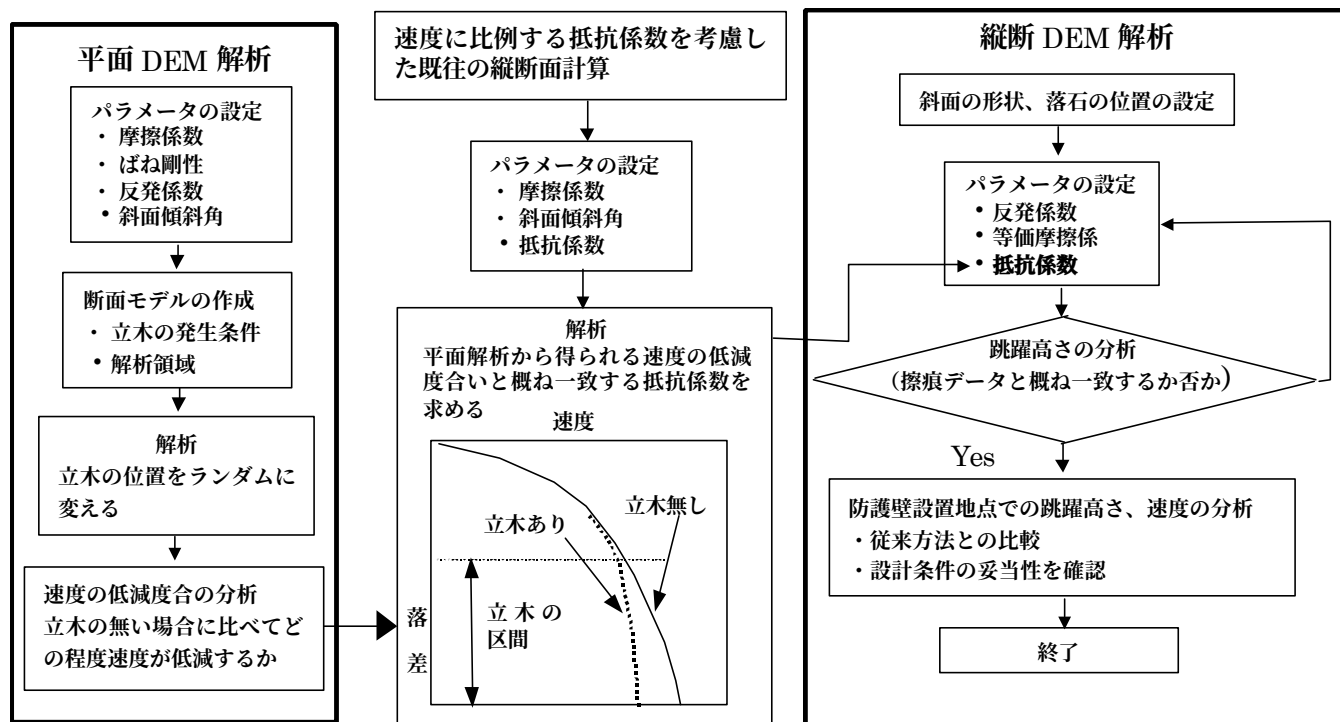
3.計算例及び今後の課題

平面解析領域内の立木の密度のデータを用いて、立木の配置を確率的に100パターン設定し、落下開始点から落石が平面解析領域内に入った時点の速度を、平面解析での初速度として与え、立木の影響による速度の低減効果を算出した(図2に立木の配置の一例と全軌跡、図3に速度の低減例を示す)。その結果、立木が無い場合との終端速度の比から、落石の立木への衝突による速度は、平均で2～3割程度減少することが分かった為、(1)、(2)式より、速度に比例した抵抗係数を算出し、縦断解析に速度に比例する抵抗力として、立木の影響を反映させた。

キーワード：落石、個別要素法、DEM、数値解析

日本工営株式会社中央研究所（茨城県稲敷郡茎崎町稲荷原 2304、TEL 0298-71-2032、FAX 0298-71-2022）

以上の方法を用いることにより、実際の立木の密度を反映した速度低減効果が加味されるので、落石の速度が過大にならず、対策工費の削減にも役立てうるものと考えられる。しかしながら、平面解析については確率論的に妥当な計算回数の設定方法や実現現象との比較による信頼性の確認が今後必要である。



参考文献

1) 吉田博、右城猛、梶谷浩、藤井智弘：斜面性状を考慮した落石復興の衝撃荷重の評価、構造工学論文集、Vol.37A, pp.128-141, 1991.