

Ⅲ-34 DEMによる落石数値シミュレーションに関する一考察

徳島大学 非会員 ○山城公人

徳島大学 正会員 蔣 景彩

(株) 基礎建設コンサルタント 正会員 能野一美

徳島大学 正会員 山上拓男

1 はじめに

筆者らは、かねてより個別要素法 (DEM) を用いた落石運動のシミュレーションに関する研究に取り組んできた。そして、ある任意の斜面に対して、落石の大きさおよびその落下経路が与えられれば、落石数値シミュレーションに要する DEM パラメータを効率よく同定できる方法を確認している^{1)~4)}。そこで、本研究では“我々が提案している同定法により求められた DEM パラメータ値、すなわち、ある一つの石をターゲットとして同定されたパラメータが、落石の大きさや重量が異なる石に対してどこまで対応できるのか?” について検討を行った。

2 落石運動解析に要する個別要素法パラメータの同定

落石運動を支配する DEM パラメータは、図-1 に示すように、落石要素と斜面間の垂直方向バネ定数 K_n 、せん断方向バネ定数 K_s 、垂直方向減衰定数 η_n 、せん断方向減衰定数 η_s 、及び摩擦係数 μ となる。著者らが提案している DEM パラメータの同定法の詳細については、参考文献 1)~4) を参照されたい。本研究の目的には、同じ斜面で得られた大きさや重量が異なる落石の実測データがあれば好都合である。そこで文献などを調べた結果、広島で実施された現場落石実験データ⁵⁾ が本研究に適することが判明した。この実験では様々な重さ (20kg~4000kg) の落石供試体がいわれているが、実験結果 (落下高さ-跳躍量、落下高さ-速度関係など) は 40kg 以下、40~60kg、60kg 以上という三つのグループに分けて整理されている⁵⁾。そこで、(三つのグループの中央にあたる) 重量 50kg の落石を用いて DEM パラメータを同定すると共に、得られるパラメータにより 40kg 以下および 60kg 以上の供試体の落石運動をシミュレーションし、実測結果との比較検討を行った。

DEM パラメータの同定に先立ち、落石の落下経路を明らかにする必要がある。文献 5) には落石の落下経路が示されていないため、ここでは落下高さ-跳躍量関係から落石の軌跡を推定することとした。まず落下高さ-跳躍量関係の実測データ (40~60kg) から、跳躍量 (図-2 参照) を推定し、落石の通過地点を斜面上に◇でプロットした (図-3)。図中のデータは 40~60kg 複数の石の通過地点を表しているが、どの石がどの地点を通過したのかは分からない。そこで、これらのデータの分布の平均的な値として 50kg の落石経路の観測値を定め、それらを図中に×印 (11 個) で示した。跳躍量の小さい斜面上部と跳躍量の大きい斜面中部~下部で DEM パラメータに関して非均質であるとみなしてパラメータの同定を行った。得られた結果を表-1 に示している。ただし摩擦係数については、解析結果にあまり大きな影響を及ぼさない等の理由^{1)~4)} から、その値を既知量としている。

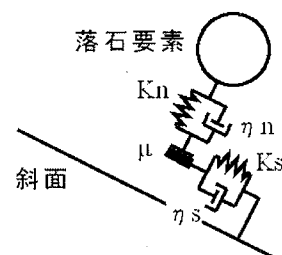


図-1 DEM 接触モデル

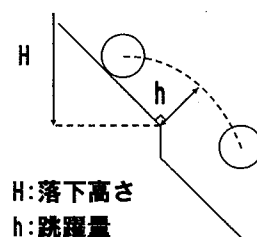


図-2 跳躍量の定義

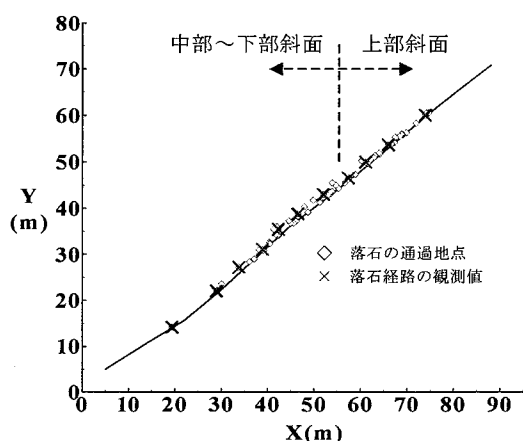


図-3 広島落石実験結果より推定した落石の通過地点と落石経路の観測値

表-1 逆解析結果

	非均質仮定	
	上部	中腹~下部
K_n (N/m)	3.82E+06	3.91E+06
K_s (N/m)	1.41E+05	1.44E+05
η_n (N・sec /m)	1.67E+04	1.55E+04
η_s (N・sec /m)	6.11E+03	6.15E+03
μ 注 1)	0.2	0.2
Δt (sec)	1.0E-05	1.0E-05

注 1) μ の値は既知量

3 落石シミュレーション結果

前節で求めた DEM パラメータを用いて、落石モデルの大きさと重量を変化させて落石シミュレーションを行い、広島の実験落石実験の実測結果と比較する。解析に用いた落石モデルを図-4 に示す。いずれも逆解析に用いたもの(図-4(b))を相似的に変化させたモデルである。シミュレーションに際して、いずれの場合も落石の初期状態(開始位置、初速度等)を変えて複数パターンの解析を行っている。解析結果は、実測データと同様、重量 40kg 以下(図-4(a))、40~60kg(図-4(b)-(c))、60kg 以上(図-4(d)-(g))の三つのグループに分けて整理することとした。なお、実験結果と比較するため、順解析で得られた落下高さ-跳躍量関係および落下高さ-速度関係を実測データの図上に重ねて表示した(図-5~図-7)。これらの図から以下のことがわかった。

- ・ 落石重量 40kg 以下では、実験結果と比べて速度、跳躍量が若干小さくなっているが、全体的に実測データと一致している。
- ・ 落石重量 40~60kg では、速度、跳躍量ともに実測データとほとんど一致していると言ってよい。
- ・ 落石重量 60kg 以上では、重さ 200kg までの落石ならば、解析結果は実際の落石挙動をほぼ再現する事ができた。なお、落石モデルの大きさに比例して落下速度が増大する傾向が見られるため、重量 1000t 以上の落石では、解析による跳躍量はおおむね実験結果と一致しているが、落下速度は実測値よりやや速い結果となっている。

4 終わりに

今後は、本研究で実施したような検証を積み重ね、著者らの提案法の汎用性を高めていくつもりである。

謝辞

本研究の遂行に協力して戴いた高尾司氏に、感謝の意を表す。

参考文献: 1)能野一美, 山上拓男, 蔣景彩 (2000): 地すべりと斜面崩壊に関するシンポジウム論文集, pp.145-150. 2)T.Yamagami, J.C.Jiang & K.Yokino (2001): Proc., The 14th Southeast Asian Geotechnical Conference, K.K.S. Ho and K.S. Li, eds., Balkema, Rotterdam, Vol.1, pp.953-958. 3)能野一美, 山上拓男(2002): 土木学会論文集 No.701/III-58, pp.409-420. 4)能野一美, 山上拓男(2002): 平成14年度研究発表会講演論文集, 日本応用地質学会, pp. 375-378. 5)吉田博, 右城猛, 柴田健治, 梶谷浩 (1989): 斜面上の落石の運動形態に関する研究, 道路防災研究会.

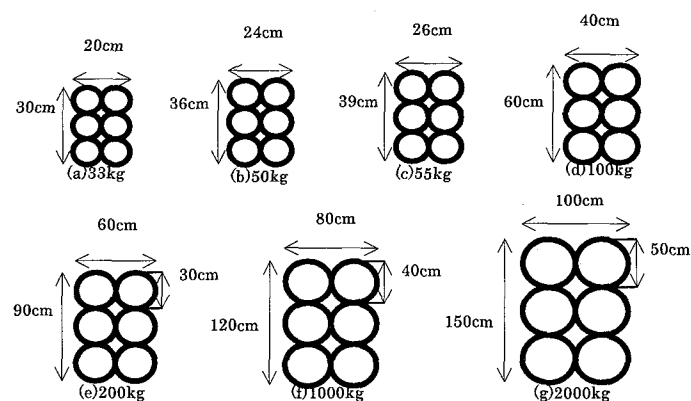


図-4 順解析に用いた落石モデル

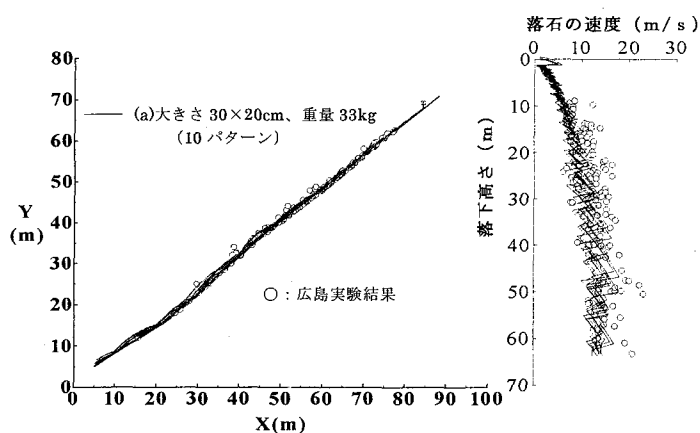


図-5 順解析結果と実測値の比較 (落石重量 40kg 以下)

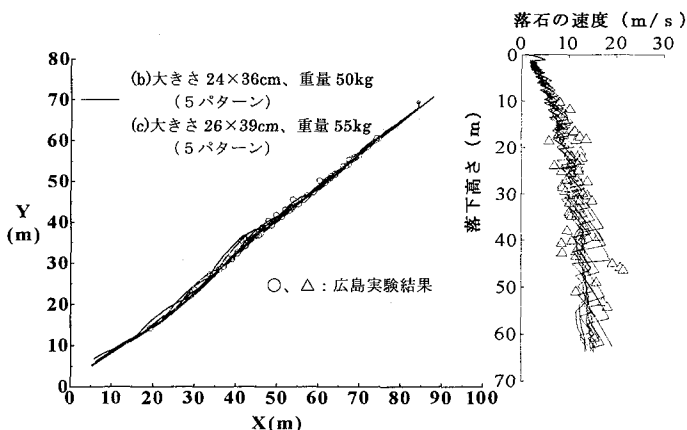


図-6 順解析結果と実測値の比較 (落石重量 40kg~60kg)

