

3次元個別要素法による落石の運動解析

鳥取大学 正員 西村 強 木山英郎

鳥取大学 精山誉志 倉橋正樹

サンイン技術コンサルタント 正員 谷口洋二

1. はじめに

山地が多いわが国においては、落石は防災上重要な問題である。落石被害軽減のためには、発生 の 素 因 ・ 誘 因 を 把 握 す る こ と が 重 要 で あ る が、発 生 時 の 運 動 形 態 を 予 測 し て お く こ と も、そ の 助 け と な る べ し。落 石 の 運 動 は、そ の 形 状、地 形 や そ の 地 表 面 の 特 性 に 大 き く 依 存 す る と 考 え ら れ る。2000 年 10 月 に 発 生 し た 鳥 取 県 西 部 地 震 に お い て も、落 石 が 発 生 し、そ の 被 害 状 況 が 報 告 さ れ て い る。本 報 告 で は、4 地 点 に つ い て 落 石 の 体 積 や 到 達 距 離 な ど の デー タ を 示 し た の ち、あ る 1 斜 面 を 用 い、3 次 元 個 別 要 素 解 析（DEM）に よ っ て、落 石 運 動 の 解 析 を 試 み た。

2. 鳥取県西部地震における落石

こ こ に 掲 載 す る 資 料 は、4 つ の 地 点 の も の で あ る。そ れ ら 斜 面 の 幾 何 学 的 特 徴 を 示 す と、表 1 の よ う に な る。こ の う ち、斜 面 長 の 最 も 長 い A 地 点 に つ い て 発 生 し た 落 石 の 体 積 分 布 と 到 達 距 離 を 示 す と、図 1、図 2 の よ う に な る。体 積 で 見 れ ば、 $V=1\text{m}^3$ 、到 達 距 離 で 見 れ ば、90~115m 程 度 が 多 く な っ て い る。図 3 お よ び 図 4 は 4 地 点 の 結 果 を ま と め た も の で あ る。各 地 点 で 斜 面 長 が 異 な る の で、図 4 で は、各 地 点 に お い て の 最 大 到 達 距 離 で 相 対 化 し た 値 を 用 い て 比 較 し て い る。図 3 を 見 れ ば、 1m^3 程 度 の 体

表 1 斜面特徴

地点	斜面長(m)	高低差(m)	平均勾配
A	150	105	44°
B	68	46	42°
C	60	45	49°
D	100	85	58°

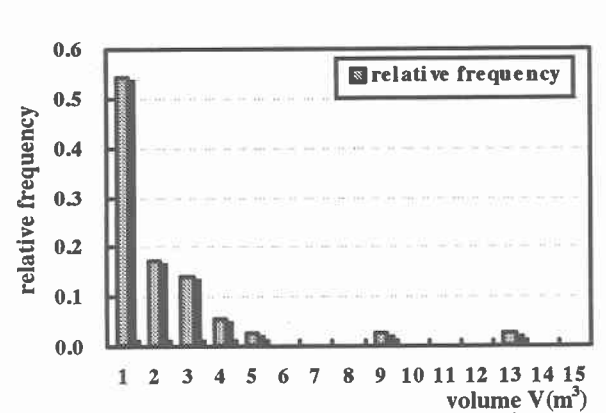


図 1 落石体積の分布（A 地点）

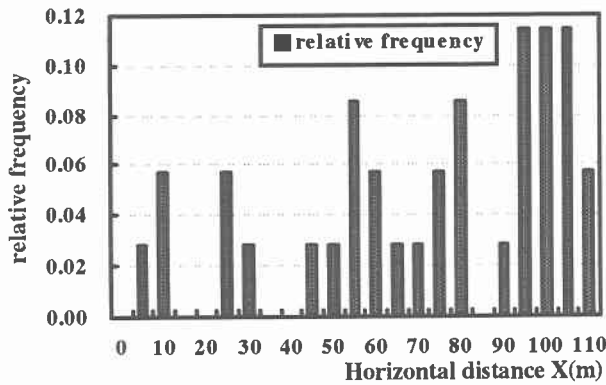


図 2 水平到達距離の分布（A 地点）

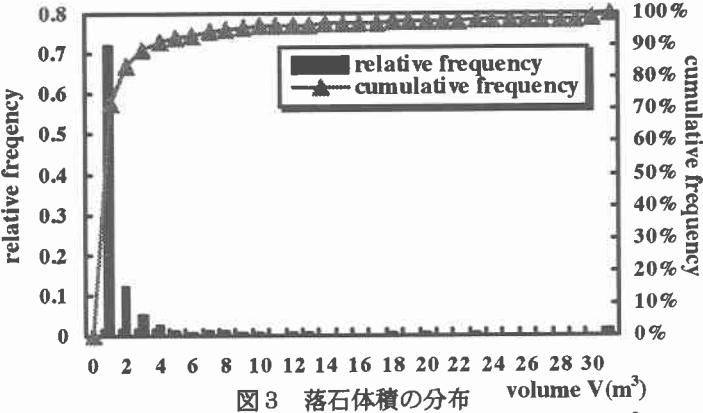


図 3 落石体積の分布

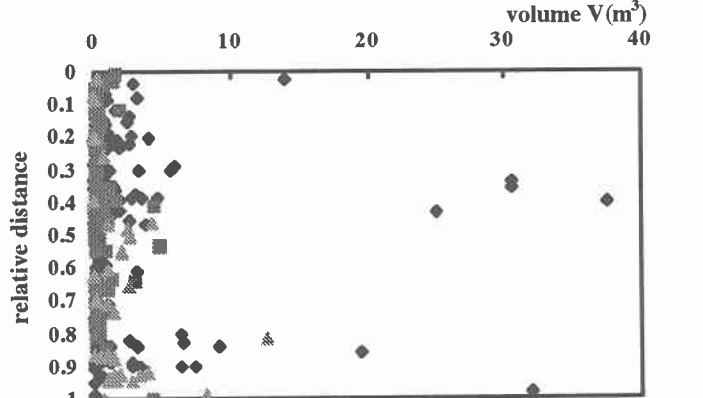


図 4 体積と相対距離の関係

積を有する例が多くなっていることがわかる。

3. 3次元個別要素法による解析例

2. にまとめた資料より D 地点の斜面を選び、3次元個別要素解析を試みた。用いたプログラムは、独自に開発したものであるが、接触剛性係数 K 、 η や表面摩擦角 ϕ が空間的に分布するものであり、正規分布あるいは対数正規分布に従う確率変量として取り扱うという仮定を表現できるものである。解析モデルを図5に示す。落石要素は簡単のため、一辺が1mの立方体とした。要素は解析初期($t=0$)において、 $Z=85\text{m}$ の位置に初期速度0で地表面に1頂点が接触する状態にした。要素は重力作用によって運動を開始する。また、要素重心の軌跡を求めるとともに、傾斜地形から水平面に至る地点(後出図8 A-A')に照査断面を設けて、運動エネルギーや跳躍高さを出力させた。本例では、接触地盤要素を5つの小領域に分割し、その領域ごとに剛性係数 K 、粘性係数比 $\bar{\eta}/\eta_0$ (ここに、 η_0 は、運動方程式に無振動の解を与える臨界値である)を与えている(表2)。本例では、 $\bar{\eta}/\eta_0$ に変動係数 $v(\eta)=0.2$ を与えている。さらに、表面摩擦角 $\phi=40^\circ$ 、時間増分 $\Delta t=10^{-4}\text{sec}$ とした。

5. 解析結果

解析結果を図6~図8に示す。これらは500回の試行をまとめたものである。本例では、全試行において落石要素は水平面に到達し、A-A'断面通過時の跳躍高および運動エネルギーは図6、図7のような分布となった。図8は要素重心の軌跡を示したものである。図は水平面内での要素運動であり、様々な軌道を描いている。最後に貴重な資料の提供を頂いた鳥取県米子地方農林振興局ならびに県土整備局に謝意を表します。

参考文献：倉橋正樹他，3次元個別要素法を用いた落石運動解析，第37回地盤工学研究発表会（大阪）2002（投稿中）

表2 解析に関する定数

	K (kN/m)	$\bar{\eta}/\eta_0$
Zone_1	200.0	0.5
Zone_2	150.0	0.6
Zone_3	100.0	0.7
Zone_4	25.0	0.8
Zone_5	12.5	1.0

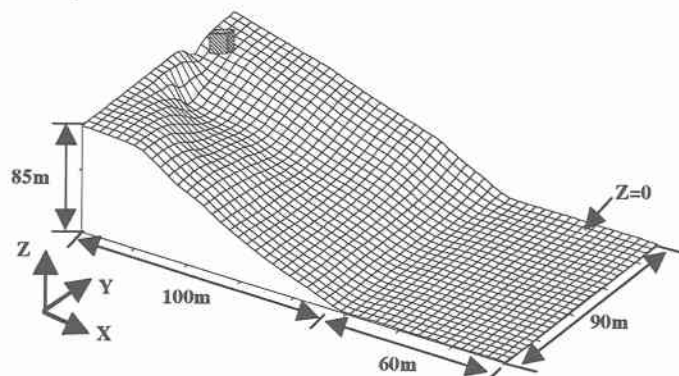


図5 解析モデル図

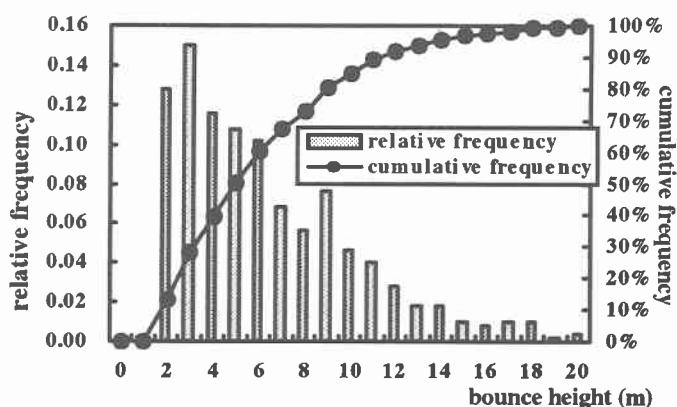


図6 A-A'断面における跳躍高の分布

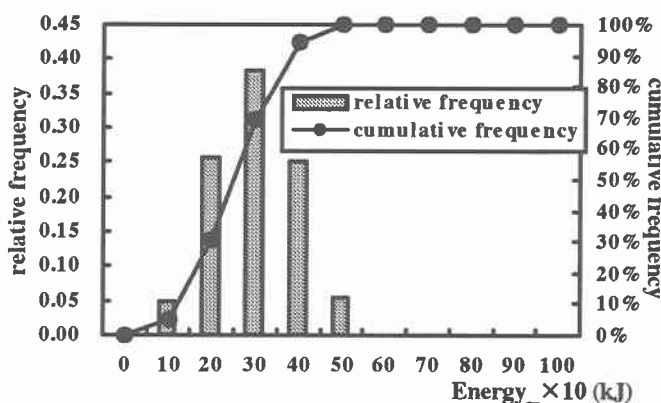


図7 A-A'断面における運動エネルギーの分布

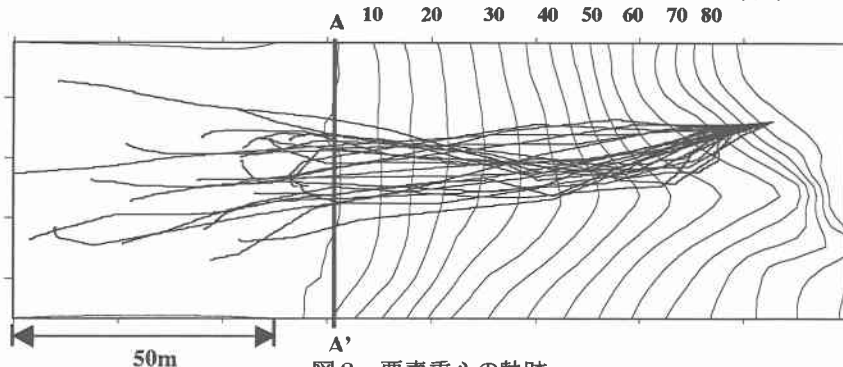


図8 要素重心の軌跡