

斜面を転倒する落石の速度と衝撃力の計測

熊本工業大学 正会員 村田 重之

正会員 渋谷 秀昭・荒牧 憲隆

1. まえがき

落石による衝撃力に関する研究はすでに数多くのものがあるが、その多くは空中を鉛直に落下した場合のもので、斜面を転倒してくる落石の衝撃力に関するものはわずかである。落石防護壁の設計荷重として動的な外力をいかに決定するかについてはまだ不明な点が多く残されているようである。この研究では中型の模型斜面を作製し、落石によって発生する衝撃力を実験的に明らかにして設計に役立つような実験式の確立を目指している。すでにこれまでの研究で落石速度や衝撃力を線形重回帰による多変量解析で推定する式を導きその相関性が非常に高いことも確かめられている¹⁾。今回はこれまでにえられた結果が落石重量をさらに大きくした場合にも適用できるかわ実験的に確かめている。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は文献1)に示しているものと同様である。斜面長6m、側壁幅35cmの斜面を合板で作製している。斜面の勾配は自由に変えられる構造になっている。実験装置では落石の衝撃力を受ける部分が重要な部分で、落石がどこに当たっても衝撃力が正確に測定できるように二重の鋼鉄製の箱を作製した。内側の箱には上下左右の側面に4個のボールベアリングを取り付けてスムーズに移動が出来るようになっている。落石はその鋼鉄製の箱に衝突し、そのときの衝撃力がロードセルに伝わるようになっている。実験に用いた落石には碎石を使用している。碎石の重量は2kgf、2.5kgf および3.0kgfである。落石を3m、4m、5mおよび6mの位置から自然落下させた。斜面勾配は40度および50度である。1ケースについての実験回数はそれぞれ30回である。

3. 実験結果

3.1 落石速度 図1には斜面角が50度の場合の落石速度と落石距離との関係を示している。落石速度は落石距離の増加に比例して増加する傾向を示している。図2には同様に斜面角が50度の場合の落石速度と落石重量との関係をそれぞれ示している。これから落石速度は落石重量には関係なくほぼ一定値を示しており無相関であるといえる。

3.2 衝撃力 図3には斜面角が50度の場合の衝撃力と落石距離を関係との示している。落石速度は落石距離の増加に比例して放物線状に増加する傾向を示している。同様に図4には斜面角が50度の場合の衝撃力と落石重量との関係を示している。これから衝撃力は落石重量に比例して増加する。

3.3 線形重回帰式による推定式 落石速度と衝撃力は斜面角、落石重量および落石距離等に影響されることが予測されるが、これらとの関係を求めるためには線形重回帰を適用することが必要になってくる。以下にそれらを検討する。**(1) 落石速度の推定式** 落石速度(y_1)を従属変数とし、落石重量(x_1)、落石距離(x_2)および斜面角(x_3)独立変数として重回帰分析を行った。その結果落石速度を推定する式として $y_1 = -0.0317 x_1 + 0.690 x_2 + 0.0554 x_3 \cdots (1)$ が得られた。この回帰モデルの決定係数(R_2)は0.9761であり実験値をよく推定していると言える。また、標準回帰係数(β)の大きさを比べることで落石速度を予測することへの各独立変数の貢献度を比較することができる。独立変数に対する標準回帰係数は落石重量が $\beta = -0.0142$ 、落石距離が $\beta = 0.566$ 、斜面角 $\beta = 0.444$ であり、これから落石速度に最も大きな貢献をするのが落石距離でついで斜面角であり、落石重量はほとんど貢献していないことがわかる。すなわち、落石重量は統計的に有意でないことが明らかになった。そこでこれを除いた残りの2変数(斜面角および落石距離)に対して再度重回帰分析を行った。その結果落石速度を推定する式と

して $y_s = 0.567 x_2 + 0.444 x_3 \cdots (2)$ が得られた。この回帰モデルの決定係数 (R_2) は 0.9761 であり実験値をよく推定している。独立変数に対する標準回帰係数は落石距離が $\beta = 0.564$ 、斜面角 $\beta = 0.433$ であり、落石速度に最も大きな貢献をするのが落石距離について斜面角であることがわかる。

(2) 衝撃力の推定式 衝撃力 (y_l) を従属変数とし、斜面角 (x_1)、落石重量 (x_2) および落石距離 (x_3) 独立変数として同様な重回帰分析を行い衝撃力を推定する式として $y_s = 0.797 x_1 + 0.0654 x_2 + 0.00819 x_3 \cdots (3)$ が得られた。この回帰モデルの決定係数は $R_2 = 0.9315$ であり実験値をよく推定している。独立変数に対する標準回帰係数は落石重量が $\beta = 0.225$ 、落石距離が $\beta = 0.338$ 、斜面角 $\beta = 0.413$ であり、衝撃力を予測することへの各独立変数の貢献度は、斜面角が最も大きく、ついで落石距離、さらに落石重量の順であることが明らかになった。また、これらの 3 つの従属変数はすべて統計的に有意である。

4. まとめ

今回の研究から次のようなことが明らかになった。(1) 落石速度に対して最も大きな貢献をするのが落石距離について斜面角であり、落石重量はほとんど貢献しない。したがって、斜面角および落石距離の 2 変数で重回帰分析を行うのが望ましい。その分析の結果、落石速度を推定する式として $y_s = 0.567 x_2 + 0.444 x_3$ が得られた。(2) 衝撃力に対しては最も大きな貢献をするのが斜面角であり、ついで落石距離であり、落石重量の貢献度が最も小さい。

謝辞：本研究の実験では本学 4 年生の榊原直樹君、福元章太郎君および吉森一倫君から多くの協力を得た。また、本研究に対し平成 9 年度文部省科学研究費補助金 一般研究 (c) の補助を受けた。記して謝意を表する。

参考文献 1) 村田重之・渋谷秀昭：斜面を転倒する落石の落石速度と衝撃力、土木学会第 52 回年次学術講演会概要集、PP.434-435、1997。

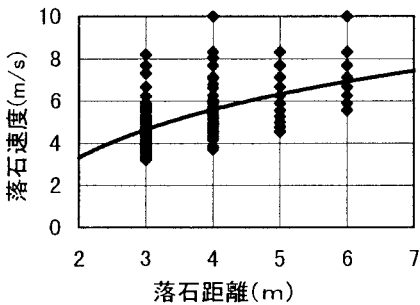


図1 落石速度と落石距離との関係

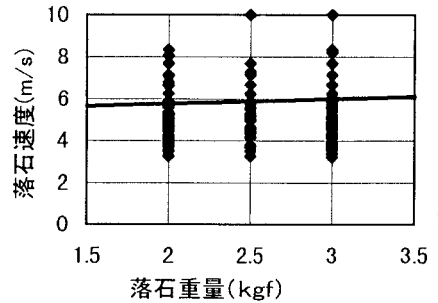


図2 落石速度と落石重量との関係

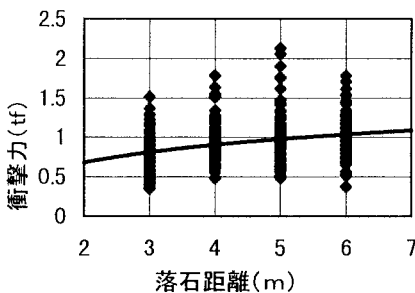


図3 衝撃力と落石距離を関係

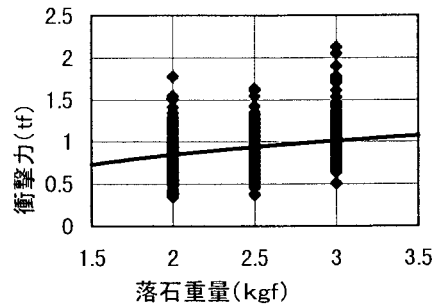


図4 衝撃力と落石重量との関係