

斜面を転倒する落石による衝撃実験

熊本工業大学 学生員 関屋角栄

正員 村田重之・渋谷秀昭

大隅哲也・福本基義

1. まえがき

平成5年6月18日熊本県小国町杖立温泉で豪雨による斜面崩壊が発生した。このとき崩壊した斜面の下方には落石防護壁が設置されていた。しかし、流れ出した土砂圧力で防護壁は崩壊し災害を拡大する働きをしてしまった。この防護壁には設計荷重以上の外力が作用して破壊したものと思われる。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。今回は斜面長さを6mに延長した実験と、ロードセルに從來から使用しているひずみ変換型のものに加えて、衝撃力の測定に適しているといわれている圧電素子型のものも新たに購入して計測した。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図1に示す。合板を使って幅35cm、斜面長6m、側壁幅35cmの斜面を作成した。斜面の勾配は自由に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最も重要な部分で、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でき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砕石を使用している。砕石の重量は400g、600g、800g、1000gおよび1200gである。これらを落下距離3m、4m、5mおよび6mの位置から自然落下させた。斜面勾配は30度、40度および50度である。また、衝撃板に5mmと10mmのゴム板を張り付けた場合、さらに斜面に人工芝を張り付けた場合についても同様の実験を行った。1ケースについての実験回数は30～40回である。

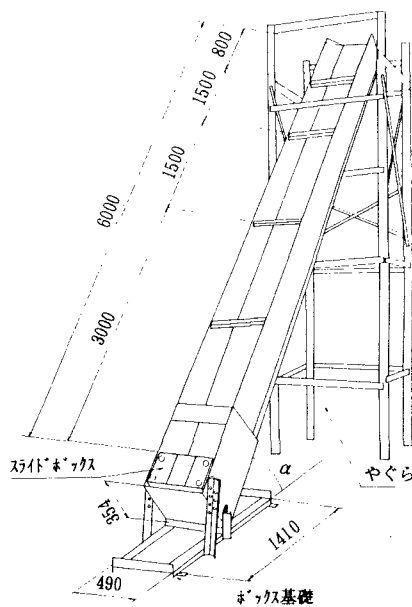


図1 落石実験装置の概略図

3. 実験結果 図2および図3には斜面角が30度で落石重量が1200gの場合の衝撃力を圧電素子型とひずみ変換型のロードセルで測定した結果を示している。図中の衝撃力は測定された値の最大値をプロットしている。これから落下距離が長くなるほど衝撃力がほぼ直線的に大きくなっている。圧電素子型とひずみ変換型のロードセルによる比較は圧電素子型がひずみ変換型よりも平均で約3割程度大きな値を示している。このような傾向は他の実験でも同様であった。図4および図5は落石重量が1200g斜面角が40度と50度について衝撃力を示している。図2と合わせてみると勾配が大きくなるほど衝撃力も大きくなっている。これらの傾向は他の重量の実験についても同様の結果であった。測定値にばらつきが生じているのは砕石の落下経路が変わったり、側壁に接触する回数などが常に一樣ではないことなどから生じたものと考えられる。図6および図7は落石の衝突面にそれぞれ5mmと10mmのゴム板を張り付けた場合で、斜面角が50度、落下距離を3mとした実験の結果である。図4との比較からゴムを挟んだ場合は衝撃力を約30%程度減少することがわかる。衝撃力はゴムの厚さが5mmと10mmでそれほど大きな差はなく同程度の減少効果があると言える。落石による衝撃力(y)に影響を及ぼすと思われる要因としては、落石重量(x_1)、落下距離(x_2)、斜面角(x_3)が考えられる。これらの要因に基づいて衝撃力を推定する線形回帰式($y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$)を重回帰分析によって求めると、それぞれの実験に対して表1のような偏回帰係数が求められ、これらの実験式からそれぞれの衝撃力を推定することができる。また、これらの要因がすべてが統計的に有意であることが確認されると同時に、これらの標準回

帰係数(β)の大きさを比べることで衝撃力の予測への貢献度を比較できる。寄与度が最も大きいのが落石重量、ついで斜面角、落下距離の順になっている。

4. まとめ 斜面を転倒してきた落石が鋼製の壁に作用する衝撃力は、落石重量、落下距離および斜面角と直線的な相関がある。その寄与度は落石重量が最も高く、ついで落下距離、斜面角の順である。衝撃力を測定するには圧電素子型のロードセルが望ましいといわれているが、圧電素子型のロードセルはひずみ変換型のそれよりも約3割程度大きな値を示している。落石の衝突面にケッション材としてゴム板を張ると衝撃力がそうでない場合と比較して約30%程度減少する。ゴム板の厚さによる相違は今回の実験の範囲内では大きな違いは認められなかった。

謝辞：本研究には平成8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。

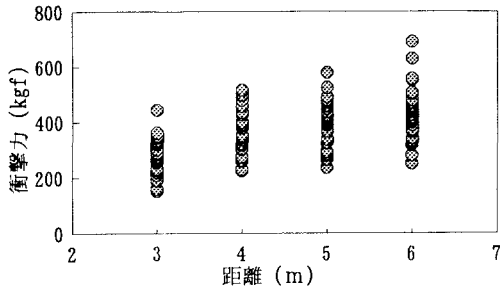


図2 圧電素子型ロードセルによる衝撃力 (1200g, 30度)

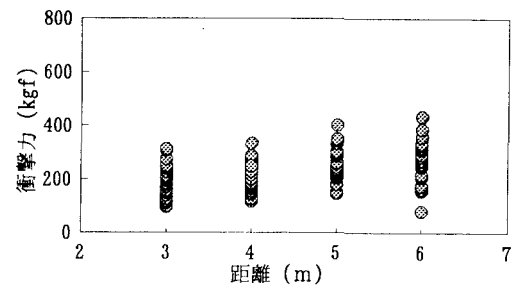


図3 ひずみ変換型ロードセルによる衝撃力 (1200g, 30度)

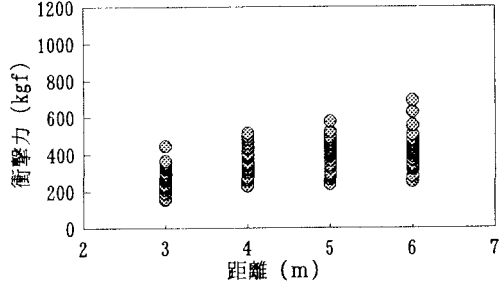


図4 圧電素子型による衝撃力 (1200g, 30度)

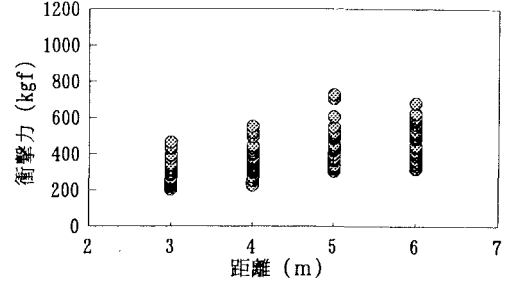


図5 圧電素子型による衝撃力 (1200g, 40度)

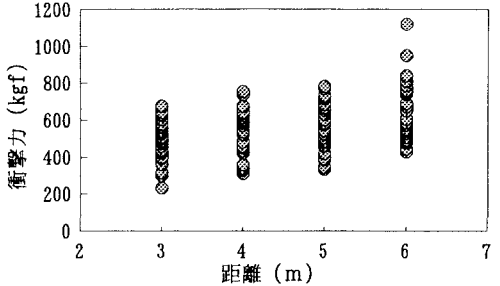


図6 圧電素子型による衝撃力 (1200g, 50度)

表1 偏回帰係数

ロードセル	条 件	a_0	a_1	a_2	a_3
圧電素子型	なし	-371.6	6.45	39.0	0.320
"	ゴム板5mm	-332.8	4.99	36.9	0.257
"	ゴム板10mm	-273.0	4.07	28.1	0.245
"	芝生	-456.4	6.81	51.3	0.363
ひずみ変換型	なし	-213.5	4.47	15.8	0.223
"	ゴム板5mm	-172.6	3.74	9.96	0.204
"	ゴム板10mm	-194.1	4.37	8.06	0.200

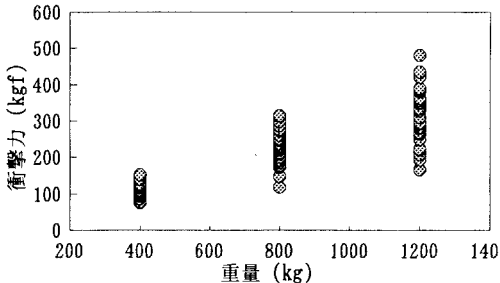


図7 衝撃力の計測結果 (ゴム板5mm、距離3m、50度)

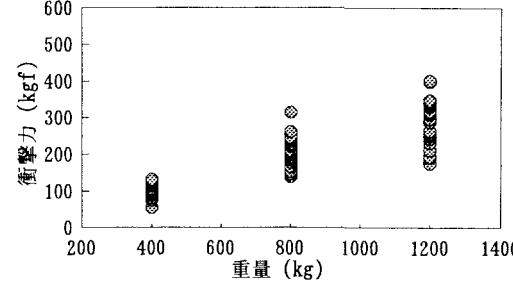


図8 衝撃力の計測結果 (ゴム板10mm、距離3m、50度)