

(26) サンドクッション上への重錘衝突室内実験について

Impact experiment by the collision of a weight on a sand cushion

油谷勇佑*, 風當祥一**, 榊谷浩***, 佐藤彰****, 中村佐智夫****

Yusuke ABURAYA, Syouichi HUTOU, Hiroshi MASUYA, Akira SATO, Sachio NAKAMURA,

* 金沢大学大学院, 自然科学研究科社会基盤専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

**金沢大学, 工学部土木建設工学科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

*** 工博金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

****日本サミコン株式会社 技術部設計開発課 (〒950-0925 新潟県新潟市弁天橋通1-8-23)

キーワード: サンドクッション, 衝撃実験, 落石, 衝撃作用
(Sand cushion, Impact experiment, Rock fall, Impact action)

1. まえがき

我が国は地質が脆弱な上に地震も多く, 多雨多雪地域であるために山岳地帯に建設された構造物は地滑り, 崖崩れや落石などの自然災害の大きな問題を抱えている。また落石は年間 3000~5000 件発生しており山岳部において大きな落石事故が起こる度に様々な防止策が講じられてきた。

落石対策工は落石予防工と落石防護工に大別され, 落石防護工は落石防護網, 落石防護柵, 落石防護壁, 落石覆工に分類される。落石覆工は費用や用地等で問題があるものの, 落石の位置エネルギーが落石防護工中で最高の 500KJ 程度を越える場合や, 落石の跳躍量が大きい場合, あるいは落石以外は崩土が予想される場合に使用されている。落石覆工は PC コンクリートか鉄筋コンクリート製が採用されているが, いずれも落石による衝撃力を緩和させるために屋根部にはクッション材が設置される。クッション材は通常, 川砂や山砂が使用され, 敷砂緩衝材と呼ばれている。

山間部における自然災害に対する落石覆工等の防護構造物は, 落石等による衝撃荷重を受けることが前提となることから敷砂等による緩衝材を用いて合理的に設計する必要がある。しかし, 研究は長年行われているものの, このような緩衝材を通して構造物に伝達される衝撃力の評価や緩衝効果は, 十分には明らかにされていないわけではない。また, クッション材の複雑な衝撃挙動は理論的な説明が難しく, 性能照査型設計を行うためにも実験・解析的研究の進展が望まれている。そこで本研究では構造物を安全かつ合理的に設計するため, 緩衝材の1つである

サンドクッション上への重錘衝突による室内実験を行い発生衝撃力, 緩衝効果について検討した。

2. 実験概要

2.1 実験装置

図-1は, 金沢大学構造工学研究室ハードラボに設置されている自由落下式実験装置を示したものである。幅 2.35m, 奥行き 3.5m, 高さ 4.5m の重錘落下用フレームを用いて重錘を中心に設置した土槽に自由落下させる装置である。なお土槽は図-2に平面図と立面図を示すように, 1.1m 四方の面積に砂を敷くことができ, 敷厚は 0.75m まで可能である。写真-1は設置した実験装置全体を示したものである。

図-3は用いた2種類の重錘を示したものである。底面が平らな円であるもの(以後, 平底と呼ぶ)と円錐形状であるもの(以後, 錐底と呼ぶ)の2種類を使用した。いずれも重量は 2kN であり, 断面の直径は 0.5m である鋼殻にコンクリート充填した円筒形状の重錘である。

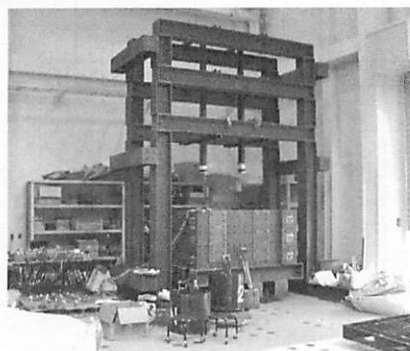


写真-1 実験装置全体

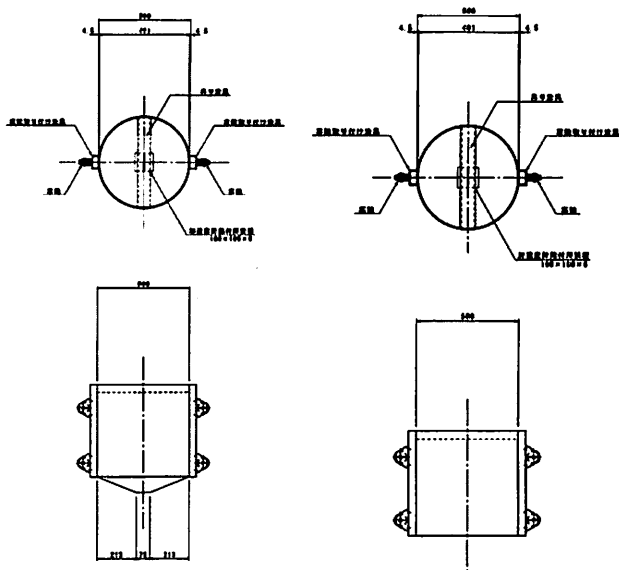


図 3—重錘構造図

2.2 測定項目及び測定方法

土槽の底面は一辺 1.1m の正方形であるため、対象性を考慮し、四分の一の正方形の領域に、36 個の土圧計を設置した (写真—2 参照)。なお、表—1 は本研究で報告する実験の種類を示したものである。これに緩衝材として厚さ 30 cm, 50 cm, 70 cm の敷砂材を敷設し、2 kN の重錘を、それぞれ落下高さ 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0m から 3 回ずつ全てスパン中央位置に落下させた。なお重錘に加速度計を配置した。図—4 に本実験装置の測定システムの簡略図を示す。本システムでは、各計測器より得られた出力を 100 μ s のサンプリング間隔 (サンプリング周波数: 10KHz) で測定している。

表—1 実験の種類

重錘の形状	砂厚 [cm]	落下高さ [m]
平底	30	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0
	50	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0
	70	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0
錐底	30	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0
	50	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0
	70	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0

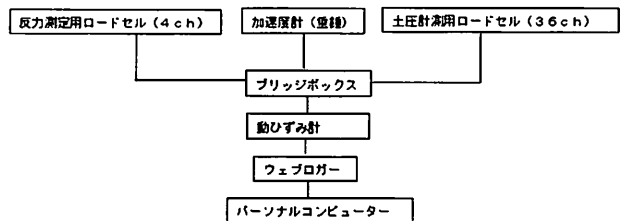


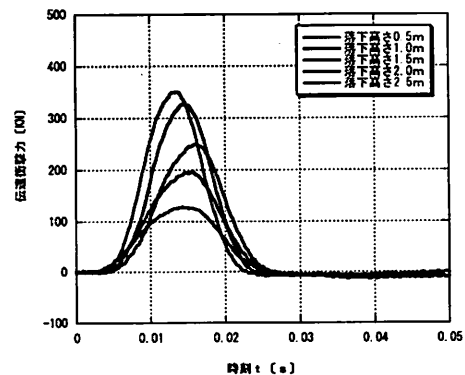
図 4—測定システム図

3. 実験結果及び考察

図—5, 6 は平底, 錐底の場合について落下高さ別に伝達衝撃力波形を示したものである。なお、伝達衝撃力とは土層底面における土圧による力を合計したものである。いずれの場合も、落下高さが多くなるほど衝撃力の立ち上がりが鋭くなり、最大値は大きくなっている。平底の場合は、錐底に比べて大きくなっている。

図—7 は砂厚 50 cm, 落下位置 1.5m の場合の土圧衝撃力と重錘の形状の関係を示したものである。ここに重錘衝撃力とは重錘に生じる加速度 (減速度) に錘水の質量を乗じたものであり、平底の重錘衝撃力は最も鋭く立ち上がり一端減少したあとと再度の増加を示した後単調に減少している。これに対し、錐底の重錘衝撃力は緩やかに立ち上がり、緩やかに減少する単調な波形であり、最大値も小さい。伝達衝撃力は、平底は錐底に比べて立ち上がりも鋭く消失も早く最大値も大きい。いずれの場合も最大値は重錘衝撃力の 2 倍程度と大きな値である。土層下の支点反力は、平底と錐底どちらの場合も重錘衝撃力より大きく、伝達衝撃力に類似した波形である。

図—8 は砂厚 50 cm, 落下位置 1.5m の場合の時間ごとの土圧の分布を示したものである。衝突点直下で土圧が生じはじめ、広がっていく様子が確認できる。なおグラフ中における z 軸は土圧衝撃力、x 軸 y 軸は土槽を 4 分割した一辺の長さであり、原点は土槽底面の中央である。



図—5 伝達衝撃力波形 (錐底, 砂厚 50cm)

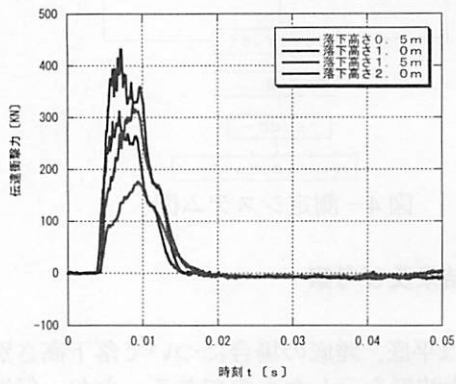
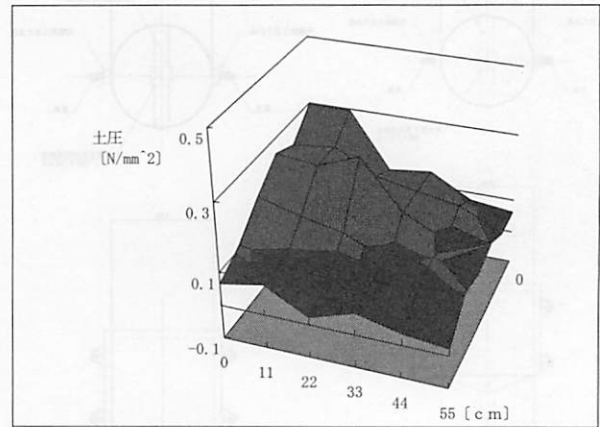


図-6 伝達衝撃力波形 (平底, 砂厚 50cm)



(b) $t=0.0217(s)$

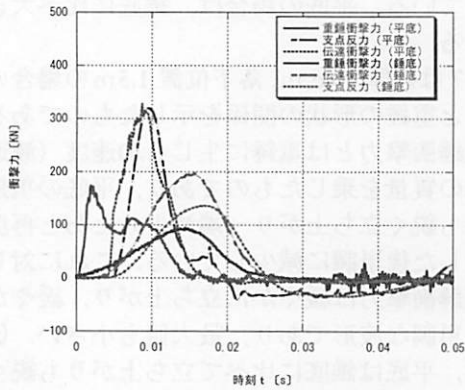
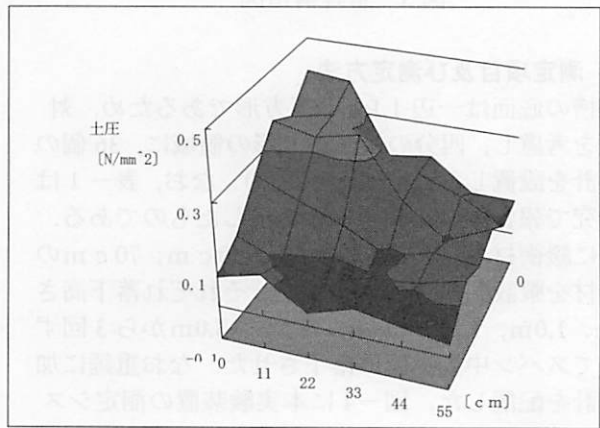
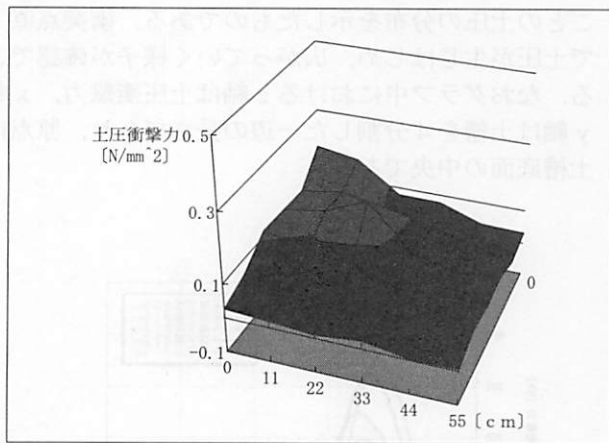


図-7 伝達衝撃力と重錘形状の関係



(c) $t=0.0247(s)$

図-8 土圧分布の時間変化
(錘底, 砂厚 50cm, 落下高さ 1.5m)



(a) $t=0.0182(s)$

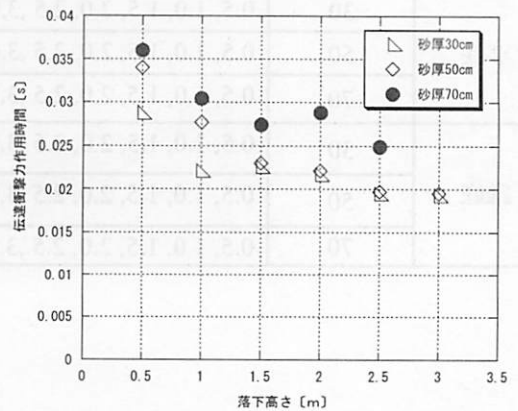


図-9 落下高さと伝達衝撃力作用時間の関係
(錘底)

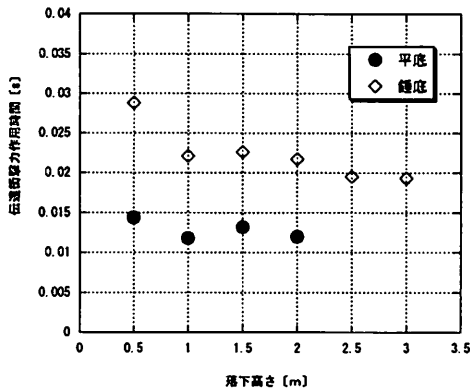


図-10 落下高さと伝達衝撃力作用時間の関係

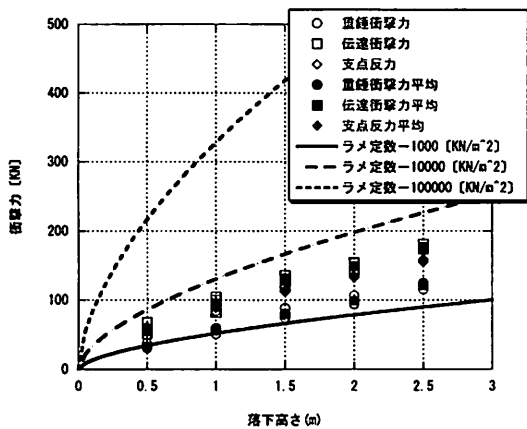


図-11 伝達衝撃力と落石対策便覧式の関係
(錐底, 砂厚 70cm)

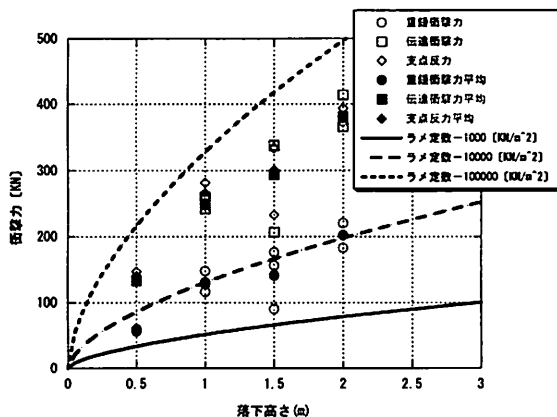


図-12 伝達衝撃力と落石対策便覧式の関係
(平底, 砂厚 70cm)

図-9 は錐底の重錘の場合について、落下高さと伝達衝撃力作用時間の関係を砂厚別に示したものである。いずれの砂厚においても、落下高さの増加に伴い作用時間が短くなるのが分かる。なお、砂厚 30cm と 50cm とでは有意な差は認められないが、砂厚 70cm の場合は他に比べ作用時間が長いことがわかる。

図-10 は砂厚 50cm の場合について、落下高さと伝達衝撃力作用時間の関係を重錘の種類別に示したものである。いずれの重錘においても、落下高さの増加に伴い作用時間が短くなるのが分かる。なお、平底の場合、錐底に比べ作用時間が明らかに短いことがわかる。

図-11, 12 は伝達衝撃力と落石対策便覧式の関係を示したものである。

$$P = 2.108(mg)^{2/3} \lambda^{2/5} H^{3/5} \quad (1)$$

ここに、 m は落石質量 (t)、 g は重力加速度 (m/s^2)、 H は落下高さ (m)、 λ は被衝撃体 (本研究では敷砂) のラーメの定数 (kN/m^2) である。これより、いずれの重錘においても、落下高さの増加に伴い各種衝撃力が単調に増加していることがわかる。錐底の場合、重錘衝撃力が小さく、支点反力、伝達衝撃力の順で大きくなっている。ラーメ定数 $\lambda=1000kN/m^2$ の落石対策便覧式の値が重錘衝撃力とほぼ一致していることがわかる。平底の場合、やはり重錘衝撃力が小さく、伝達衝撃力、支点反力はそれよりかなり大きいことがわかる。いずれの場合にもラーメ定数 $\lambda=1000kN/m^2$ の落石対策便覧式の値より非常に大きい。

4. まとめ

本研究では緩衝材の 1 つとして砂をクッション材とするサンド重錘衝突による室内実験を行い発生衝撃力、緩衝効果について検討した。得られた結果は以下のようにまとめられる。

1) 2 種の重錘底面形状を用いた実験により、いずれにおいても重錘衝撃力が一番小さく、伝達衝撃力と土槽底部の反力の合計は重錘衝撃力より大きいことが明らかになった。

2) 作用時間は衝突速度の増加に伴い短くなり、伝達衝撃力最大値が増加すること大きくなることが明らかとなった。

3) 重錘底面形状が平らな平底の場合には、錐底の場合に比べ、どの衝撃力においても大きいことが明らかとなった。いずれの場合にもラーメ定数 $\lambda=1000kN/m^2$ の落石対策便覧式の値より非常に大きいことが明らかとなった。

現在、実験をなお遂行中であることを付記する。

参考文献

- (1) 榎谷浩, 落石対策の現状 4. 落石運動のメカニズムと予測 (その 1), p 61-71 2003 年
- (2) 松葉美晴, 後藤吉晴, 佐藤彰, 音田奨, 岡畑博子, 井上理恵: 実物 PC 製シェッドの落石による破壊実験について(1), (2), 第 2 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会構造工学委員会, pp.241-246, pp.247-253, 1993
- (3) 橘紗代子, 榎谷浩, 中村佐智夫: 有限要素法を用いた RC はりの衝撃応答解析に関する一考察, 第 7 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 土木学会構造工学委員会, 構造物の性能照査型耐衝撃設計に関する研究小委員会, pp.77-82, 2004.
- (4) 榎谷浩, フランソア デキュードラ: 敷砂上への落石衝突による荷重の評価に関する一考察, 第 3 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 土木学会構造工学委員会, pp.275-278, 1996.
- (5) 榎谷浩: 性能照査型設計と落石防護構造物, 防災土木, 北陸 PC 防雪技術協会, Vol.12, pp.30-37, 2005.