

(48) 敷砂上への落石衝突による荷重の評価に関する一考察

A STUDY ON EVALUATION OF IMPACT LOAD BY ROCK FALL ON SAND CUSHION

榎谷 浩*, フランソア デキュードラ**
 Hiroshi MASUYA and François DESCOEUDRES

* 金沢大学助教授 工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)

** スイス工科大学教授 土木工学科 (〒1015 Lausanne, Switzerland)

キーワード：落石，サンドクッション，衝撃，荷重
 (Rock fall, Sand cushion, Impact, Load)

1. はじめに

落石による衝撃力の評価は、山岳道路の各種防護構造物の設計において重要な事項である。日本では緩衝材として最近では発泡スチロールの利用を含め多層構造も見られるようになってきた^{1,2)}。しかし、その場合でも砂が緩衝材の一部として用いられ、大部分の覆工には砂だけが用いられているのが現状である。スイスもやはり山岳国であるため多くの防護工が建設されているが、落石ならびに斜面崩壊や雪崩などの災害が後を立たないのが現状である。我が国では落石対策便覧が落石防護工の設計時にほとんどの場合重要な指針を与えるものとして利用されている³⁾。一方、スイスでは文献4に示す調査報告書が用いられている場合も多いが、クッション材や衝撃力評価に関する記述がほとんどないため荷重や緩衝材は設計者の判断にまかされているのが現状である。そのため、本研究では衝撃力評価を目的とし実際に用いられることの多い砂をクッション材とする落石実験を行ったので、実験の概要と実験結果の一部について報告する。

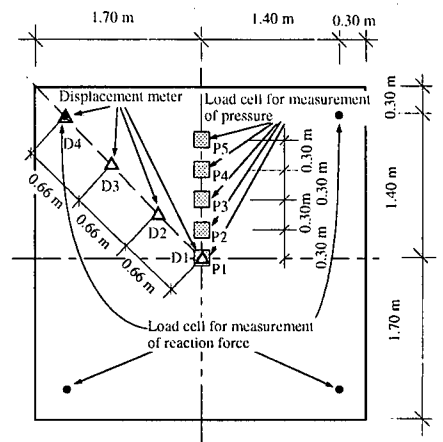


Fig. 1 Reinforced concrete plate and measurement items

2. 実験方法の概要

実験はFig.1に示す落石覆工の屋根部のモデルである鉄筋コンクリート板（縦横3.4m、厚さ20cm）を4点支持で設置し、その上にサンドクッションを敷き、鉄筋コンクリートを充填した重錘を

Table 1 Characteristics of sand cushions

Material name	Density (kg/m ³)	Uniformity coefficient C _u	Curvature coefficient C _c	Friction angle φ
Cushion 1	1.65	2.80	1.1	41
Cushion 2	1.90	231	6.2	45
Cushion 3	1.80	77.3	1.4	47

自由落下させ実験を行った。コンクリートの圧縮強度は 32.2MN/m^2 、弾性係数は 29.7GN/m^2 である。用いたサンドクッションの特性値を Table 1 に、粒径加積曲線を Fig.2 にまたそれらの示す。クッション厚 d は 1.0m と 0.5m とした。

落石として用いた重錘は Fig.3 に示す 3 種であり、質量が 100kg 、 500kg そして 1000kg のいずれも底面形状が球形のものである。

実験時には Fig.1 に示したようにに重錘の加速度 (測定速度 2kHz)、サンドクッション底部 (鉄筋コンクリート板上) での圧力をロードセルで、また反力と鉄筋コンクリート板の変位 (測定速度 1.2kHz) を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 測定例

Fig.4 は厚さ 1.0m の Cushion 1 に対して質量 100kg の重錘を高さ 2.5m より衝突させた場合の重錘の加速度波形および加速度を順次時間積分して得られる重錘の速度と変位を示したものである。重錘の運動は 0.03s 程度で単調に終了し、最終的には 9.5cm 程度の沈下となり実験後に測定した沈下量とほぼ一致している。

Fig.5 は同じ場合について、各種衝撃力の時間変化を示したものである。図中の実線は加速度に重錘質量を乗じて得られる重錘衝撃力であり、波線は 4 支点における反力を合わせたもの、一点鎖線はサンドクッション底面での圧力を積分し求めた土圧衝撃力 (伝達衝撃力) である。土圧衝撃力は圧力がクッション中を伝播するため、重錘衝突より 0.07s 程度遅れ立ち上がり、反力はさら遅れて立ち上がっている。各衝撃力の最大値では、この場合では重錘衝撃力が一番小さく 50kN 程度、土圧衝撃力がやや大きく 70kN 程度、反力はかなり大きく 140kN 程度と重錘衝撃力の 2.8 倍、土圧衝撃力の 2 倍程度

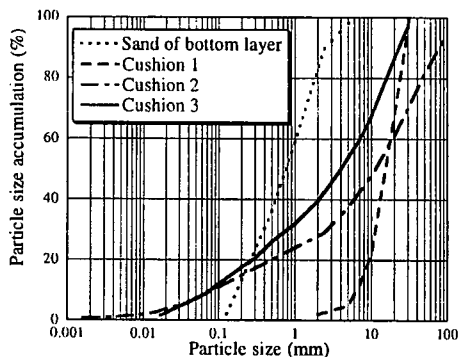


Fig.2 Particle size accumulation curves

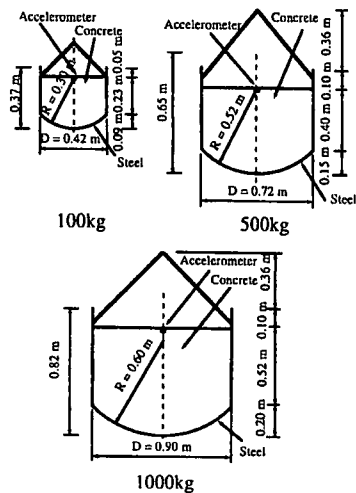
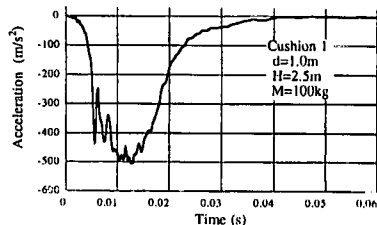
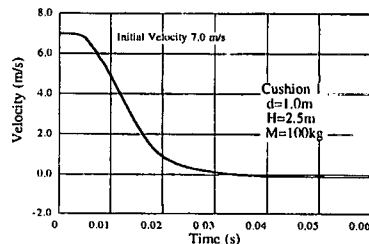


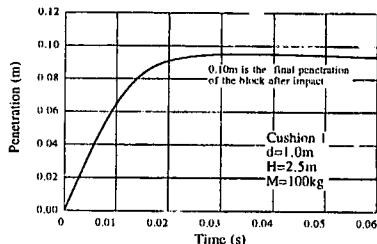
Fig.3 Impact blocks



(a) Acceleration



(b) Velocity



(c) Penetration

Fig.4 Motion of impact block (Cushion 1, $d=1.0\text{m}$, $m=100\text{kg}$, $H=2.5\text{m}$)

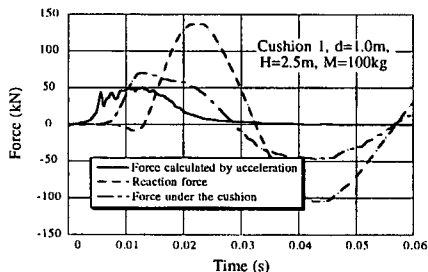


Fig.5 Impact loads

(Cushion 1, $d=1.0\text{m}$, $m=100\text{kg}$, $H=2.5\text{m}$)

であった。これらはどれも衝撃における荷重評価に必要なものあるいは等価荷重を考える上で有用なものと考えられることができる。この他に板の応答変位からも荷重評価が可能と考えられる。

3.2 各種衝撃力

Fig.6はクッション厚さ $d=1.0\text{m}$ のCushion 1の場合について、重錘質量別に落下高さや衝撃力の関係を示したものの

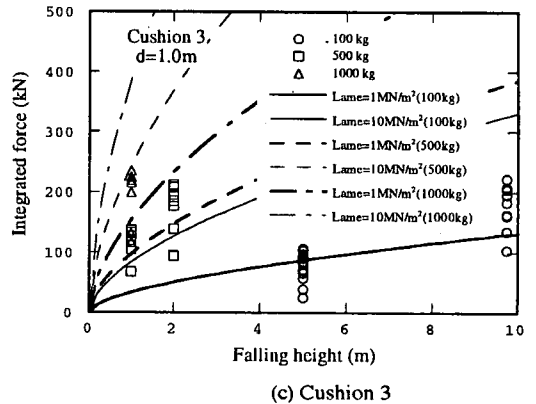
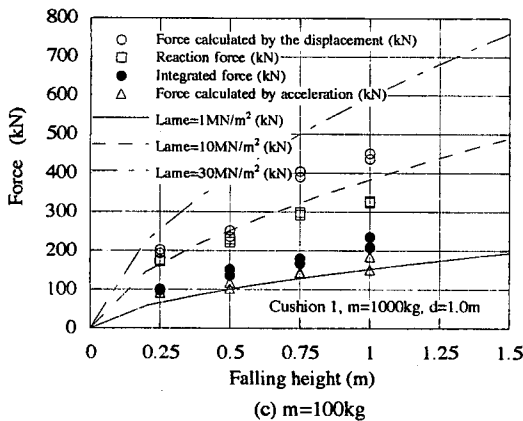
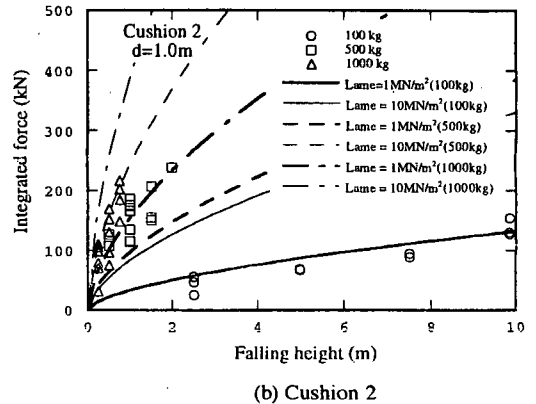
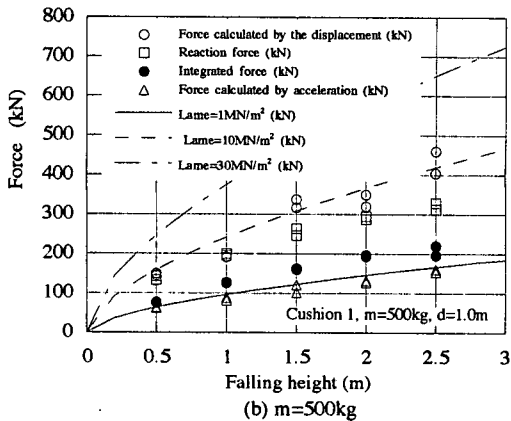
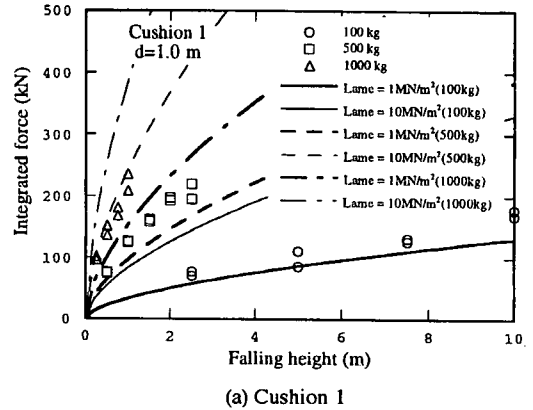
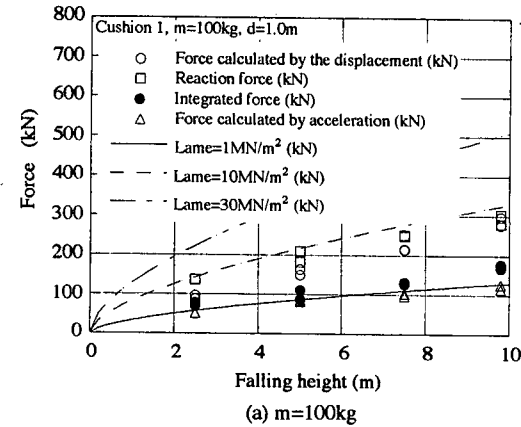


Fig.6 Several kinds of impact forces (Cushion 1, $m=1000\text{kg}$, $d=1.0\text{m}$)

Fig.7 Relationship between falling height and impact force (Cushion 1, $d=1.0\text{m}$)

である。図中には鉄筋コンクリート板の中央変位から換算した衝撃力、反力、土圧衝撃力そして重錘衝撃力の最大値をプロットしてある。なお、図中には次式で表される落石対策便覧式³⁾を示している。

$$P = 0.097L_a^{2/5}m^{2/3}H^{3/5} \quad (1)$$

ここに、 L_a はクッション材のラメ定数 (kN/m^2)であり、 m は落石の質量(kg)、 H は落下高さ(m)である。この図より、重錘衝撃力はラメ定数が 1MN/m^2 と同程度の値となるが、土圧衝撃力は重錘衝撃力よりやや大きい。これに対し、応答値である反力やたわみからの換算値はここに示した場合では土圧衝撃力より大きく、ラメ定数 10MN/m^2 に近いものもある。

これより通常規模の落石(ソフトな衝撃で構造に破壊が生じない範囲)の設計で衝撃力を考える場合、衝撃点の局所的な設計では土圧衝撃力あるいは割り増した重錘衝撃力)を、構造の主部材の設計では等価衝撃力を用いるのも一つの合理的な方法と考えられる。

Fig.7は落下高さ土圧衝撃力の関係をクッション材別(クッション厚 $d=1.0\text{m}$)に示したものである。これよりいずれのクッション材においても 100kg の場合は、ラメ定数 1MN/m^2 とほぼ等しいが、 500kg 、 1000kg と重錘質量が増加するにつれラメ定数 1MN/m^2 を越える場合が多いことがわかる。

サンドクッションの特性値と衝撃力の関係、また落石からのエネルギー伝達率と衝撃力との関係^{5,6)}についても衝撃荷重評価では重要と思われ、これらについても現在データ分析中である。

4. あとがき

本研究では衝撃力評価を目的とし実際に用いられることの多い砂をクッション材とする落石実験を行い実験の概要と実験結果の一部について報告した。本研究をまとめると以下の通りである。

- 1) 本実験ではもっとも単純な衝撃力としての重錘衝撃力はラメ定数が 1MN/m^2 の落石対策便覧式に近いが、より合理的と考えられている土圧衝撃力はそれよりやや大きい値であった。
- 2) 反力や鉄筋コンクリート板の変位より求めた換算衝撃力は、重錘衝撃力や土圧衝撃力と異なり、衝突位置での局所的な設計と主部材の設計での荷重の取り方が異なるのも一つの合理的な考えと思われる。
- 3) サンドクッションの特性値と衝撃力の関係、またエネルギー伝達率と衝撃力との関係についてもさらに研究する必要がある。

謝辞

本研究の遂行にはスイス工科大学のMr. Cl.-Al. SchmidhalterおよびMiss Sara Montanaにご協力頂いた。ここに深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 中野修、岸 徳光、松岡健一：三層緩衝構造の緩衝性能に及ぼす裏面材料の影響、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、pp.192-198、1993.6.
- 2) 土木学会衝撃問題研究小委員会：構造物の衝撃挙動と設計法、土木学会、構造工学シリーズ6、1994.1.
- 3) 日本道路協会：落石対策便覧、日本道路協会、1983.7.
- 4) Heierli W., Merk A., Temperli A. : Protection contre les chutes de pierres (2e édition), Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie office fédéral des routes, Nov. 1985.
- 5) 園田恵一郎：落石覆工の設計法についての一提案、構造工学論文集、Vol.39A、pp.1563-1572、1993.
- 6) 園田佳巨、石川信隆、園田恵一郎、大田俊昭：P C落石覆工の耐荷力評価と安全性照査法に関する研究、土木学会論文集、No.495、pp.83-92、1994.