

地震による物体の跳躍現象に関する実験

石丸 和宏* 成枝 秀介** 高原 鴻太*** 矢野 貴一****

A Study of Upthrow of Objects by Earthquake

Kazuhiro ISHIMARU, Shusuke NARIEDA, Kota TAKAHARA, Kiichi YANO

ABSTRACT

Many upthrown stones were reported in earthquakes located directly above the focus. The top of the grave stones of Atsumoriduka, or a tomb of Taira no Atsumori, which are piled up stones, were thrown by the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. In this study, the model experiments of the upthrow of boulders by vertical impulses were conducted. As the results, to simulate the upthrow of boulders, max impact acceleration at the time of the collision was about 300(G) from 800(G), and duration of action of the shock was about 0.0004(s) from 0.003 (s).

KEYWORDS : boulder, upthrow, earthquake, impact, acceleration

1. はじめに

大きな直下型地震動によって、地表の物体が飛び散る現象が確認されている。これらの多くは主に石であり、その現象の多くは震央付近の限られた範囲で発生している。近年では兵庫県南部地震や新潟県中越沖地震において跳び石現象が確認されている。例えば、RC 橋脚が水平に切れ、ずれているが変位面には擦痕が無かったり、鋼製橋脚の上部が脆性破壊していたり、また、岩石・門柱



写真1 地震時の跳び石現象

の門傘・墓石等の跳び石現象(写真1)などが挙げられる¹⁾。これらの現象は横揺れではなく、衝撃的な縦方向の力により生じたと考えられるが、地震計には縦方向の大きな加速度は記録されていない。これは地震計測時間間隔が0.01secであるため、瞬間的に作用する衝撃力をとらえることができなかったと考えられる。

本研究では、地震時に石を積み重ねただけの敦盛塚の1番上の石のみが落ちた跳躍現象を再現するため、サイコウッドを積み重ねた簡易縮小モデルを用い、鉛直下から上方向の衝撃による衝撃実験を行う。衝突物の材質や載荷条件を変化させるなど様々な条件下で行ない、ひずみ、加速度や衝撃の作用時間と跳び石の関連性を調べる。

2. 衝撃実験

本実験で用いる実験装置を以下の実験装置概略図(図1参照)に示す。積載物は一番上の石のみが跳んだ敦盛塚を想定しており、サイコウッドを積み重ねたものである。積載物の下面に衝突物を下から当てることで、積載物に鉛直上向きの衝撃力が作用するようにしている。また、衝撃力と作用時間を計測するため、積載物の上に加速度

*都市システム工学科,**電気情報工学科,***兵庫県****豊橋技科大

計を貼り付け、ひずみゲージを図の位置に貼り付けることで、曲げの影響を無くし、軸力を計測できるようにした(図2参照).

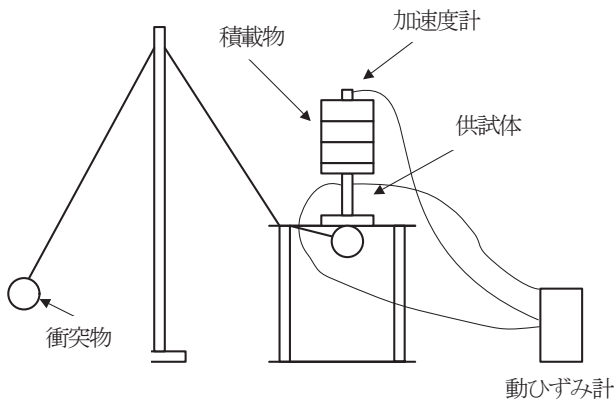


図1 実験装置概略図

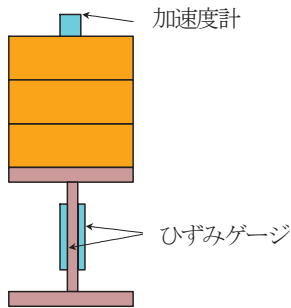


図2 供試体概略図

2・1 衝突物の材質を変えた場合

衝突物の材質の変化による積載物の跳び方の違いを調べるため、衝突物を鉄球(大)(質量 176.0g), 鉄球(中)(質量 111.4g), 鉄球(小)(質量 63.9g), ゴム球(質量 94.3g)に変えて最大加速度・加速度の作用時間・最大ひずみ・ひずみの

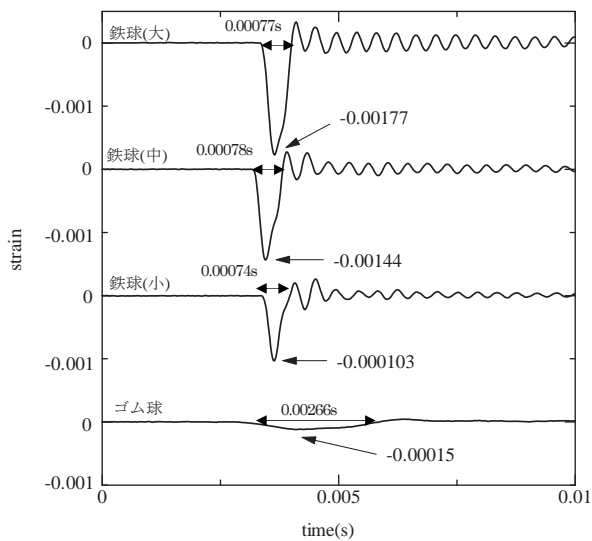


図3 衝突物を変えた場合のひずみ波形

作用時間・跳び方の違いをそれぞれ5回計測した. 図3は衝突物を変えた場合のひずみ波形である. 横軸は時間, 縦軸は鉛直方向の軸ひずみである. なお, 負の値は圧縮を示す. 衝撃の作用時間(第1波)は衝撃を与える材質の違いにより大きく異なり, その作用時間は, 鉄球(大)が平均 0.00077(s), 鉄球(中)が平均 0.00078(s), 鉄球(小)が平均 0.00074(s), ゴム球が平均 0.00266 (s)となった. 鉄球に比べゴム球の作用時間は長く約4倍であった.

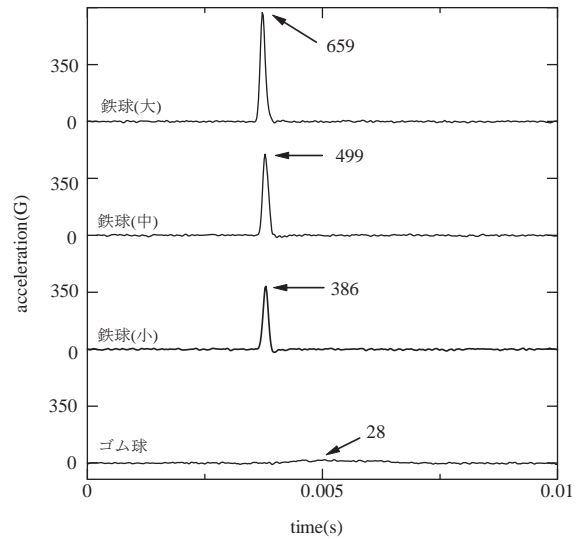


図4 衝突物を変えた場合の加速度波形

次に図4に得られた加速度波形を示す. 横軸は時間, 縦軸は加速度である. 衝撃の作用時間は, ひずみ波形と同様にゴム球の作用時間が鉄球と比べて長くなった. これらの結果からゴム球は鉄球に比べ, 作用時間が長くなり最大ひずみ・最大加速度が小さくなることがわかった. しかしながら同じ材質の鉄球(小), (中), (大)では質量が異なっても加速度の作用時間は変化していないことが分かる. また質量が大きくなるほど最大ひずみ・最大加速度が大きくなっている.

図5に最大ひずみと最大加速度の関係を示す. これよ

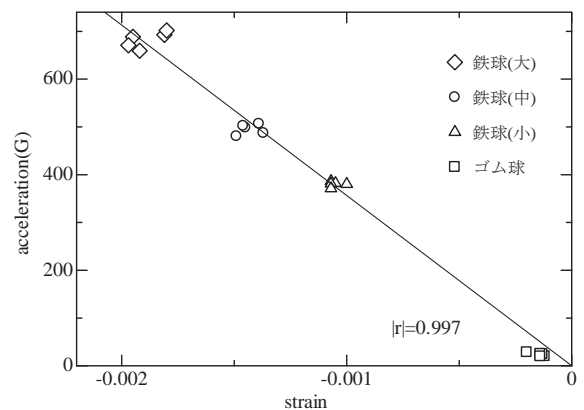


図5 最大ひずみと最大加速度の関係

り衝撃を加えたことにより発生する加速度とひずみには、加速度が大きくなれば最大ひずみが大きくなる正の相関があることが分かる。

積載物の跳び方を写真2に示す。ただし、写真はハイスピード動画 432×192(600 fps)で撮影した動画において、最も跳んでいる箇所を切り取ったものである。これより鉄球(大)を用いて衝撃を加えた場合は、供試体全体が跳んでいることが分かる。飛距離は4つの衝突物の中で最も高い約3.0(cm)となった。鉄球(中)は鉄球(大)に比べひずみゲージを貼り付けている供試体はあまり跳んでいない。鉄球の質量が小さくなったため、飛距離は約1.4(cm)と鉄球大よりも小さくなった。鉄球(小)で衝撃を与えた場合は、兵庫県南部地震の際に敦盛塚で発生したと思われる現象に近く、積載物の一番上だけが大きく跳んでいる。飛距離は約1.0(cm)とほかの鉄球と比較してさらに小さくなっている。ゴム球を衝突させた場合は衝撃力が小さいためか、積載物はほとんど跳ばなかった。

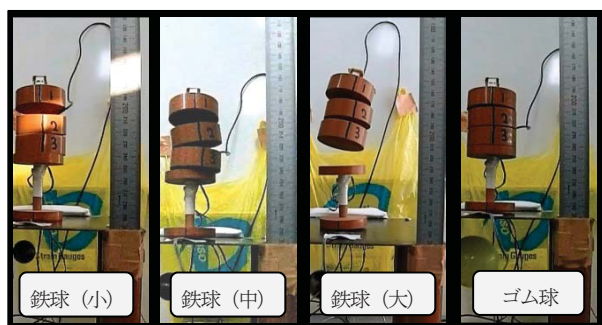


写真2 積載物の跳び方

まとめとして衝撃作用時間の短い鉄球(小)では一番上の積載物のみが大きく跳んでいる。しかし作用時間が同様に短く、衝突時の加速度が大きくなった鉄球(中)や鉄球(大)では、一番上の積載物だけでなく2段目・3段目の積載物も大きく跳躍している。逆に衝撃力が小さくなったゴム球では積載物は跳ばなかった。このことより最大加速度(=最大ひずみ)は積載物一番上の跳び方を変化させる原因のひとつであるといえる。

一昨年²⁾の研究では、衝撃の作用時間が積載物の跳び方に影響を与えると考え、最大ひずみが一定という条件下において、緩衝材を用いて作用時間を変化させる実験を行っていた。その結果、緩衝材ありの場合では積載物は全体的に跳び上がり、積載物を載せている台も大きく跳び上がっていた。一方、緩衝材なしの場合は1番上の積載物だけ大きく跳び上がり、2段目3段目の積載物や積載物を載せている台はほとんど跳び上がっていなかった。作用時間に着目すると、緩衝材ありの場合は平均0.00173秒であり、緩衝材なしの場合は平均0.00054秒となってお

り、約3.2倍の違いがあった。この実験により、衝撃の作用時間が短い方が積載物の1番上だけが大きく跳び、敦盛塚で起こったと予想される跳び石現象に近い跳び方をすると言える。作用時間が長い衝撃が加わると、積載物は全体が跳び上がり、写真1に示した敦盛塚破壊後のような1番上の石だけが落ちるといった状態にはならないという結果が得られた。また昨年度の研究³⁾からは最大加速度は一番上の積載物の跳び方を変化させる原因のひとつであると考えられる。一昨年²⁾の衝撃の作用時間が短い方が積載物の1番上だけが大きく跳ぶという結論と昨年の最大加速度(=最大ひずみ)は一番上の積載物の跳び方を変化させる原因のひとつであるという結果には関連性があると考えられ、昨年度得られた短い衝撃の作用時間で衝撃力の大きさを変化させる実験を行なった。その結果、衝撃の作用時間が短く、衝撃力がある値より小さいと積載物1段目が大きく跳ぶという結果が得られると考えられる。

2・2 大型実験装置を用い、衝撃を作用させた場合

実際の地震ではある一定範囲の大きな石が跳び、小さな石は跳んでいないことが観測されている⁴⁾。小さな石と大きな石とでどのような応答の違いがあるかを求めるため、図6に示す大型実験にて実験を行った。

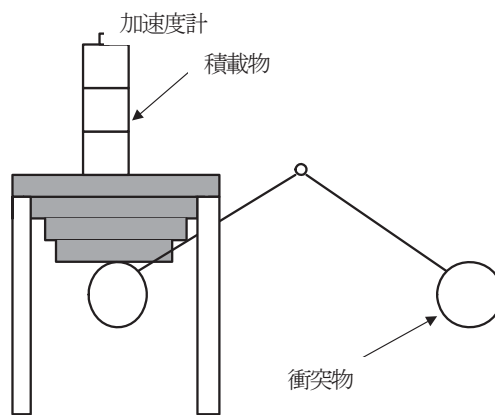


図6 大型実験概略図

図7に大型実験にて得られた加速度波形を示す。波形を見ると、小型実験の波形とあまり違いがないことが分かる。実験はそれぞれの条件で5回ずつ行ったが、非常に精度が悪く安定した結果は得られなかった。この理由としては台座の中心に正確に衝突物を衝突させることができなかったためと考えられる。今回測定した加速度波形からは実際に衝突物が台座の中心に当たっていたかを確かめる方法がないことも理由のひとつである。大型実験で得られた最大加速度は平均459(G)、作用時間は平均0.00111(s)であった。比較対象とした小型実験において衝

突物として鉄球(小)を用いた場合の最大加速度は平均380(G), 作用時間は平均0.00045(s)となった. 大型実験と小型実験では用いた衝突物の質量は約114倍となっているが, 最大加速度は, 約1.2倍, 作用時間は約2.5倍という結果が得られた. これより衝突物の質量が変化しても, 最大加速度・作用時間は小型実験と大きな違いが無いことがわかる.

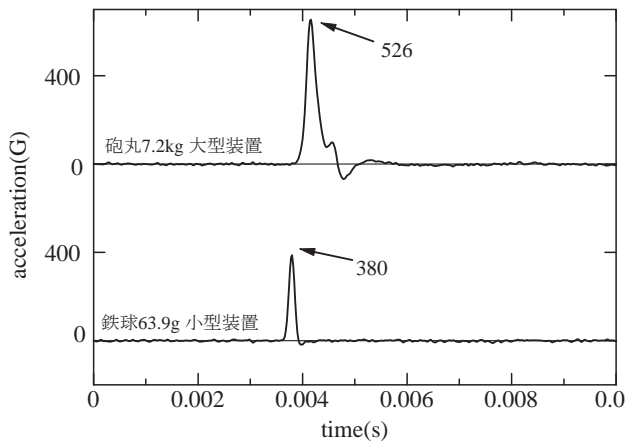


図7 大型実験で得られた加速度波形

写真3に小型, 大型実験での積載物の跳び方の違いを示す. 大型実験では積載物がまとまって跳んでおり, これは小型実験にて鉄球(大)を衝突させた場合(写真中央)の跳び方と似ている. 今回の実験では, 敦盛塚に見られるような積載物の1段目だけが跳ぶという現象に近い跳び方はしなかった. その理由としては作用時間の長さがあげられる. 小型実験でも作用時間が短くなると積載物1段目が大きく跳んでいた. それと比較して大型実験では作用時間が小型実験と比較して約2.5倍となっているので, 作用時間が長いいためか, 衝撃力が大きすぎる



写真3 小型, 大型実験での積載物の跳び方の違い

1番上のみが跳ぶ再現ができなかったと考えられる. しかしながら, 2・1節の衝突物を変えた場合の結果から, 作用時間が同じでも衝撃加速度の大小で積載物の跳び方が変わっているため, 大型実験においても衝撃加速度を小さくすることや積載物の質量を大きくすることで一番上の積載物のみを大きく跳ばすことが可能であると考え

3. 結論

本研究では地震時の跳び石現象の解明を目的に, 振り子装置を用いて鉛直方向の衝撃を与え, 衝撃加速度や衝撃の作用時間と跳び石現象との関連性を調べるため衝撃実験を行った. これらの実験により得られた結論を以下に示す.

1. 実験の条件が同じ場合, 最大加速度と最大ひずみには関連性があり, 加速度が大きいほど最大ひずみも大きくなる.
2. 今回の実験条件の限りでは, 積載物の跳び方と衝撃の大きさ・作用時間には関連性があり, 衝撃の作用時間が短く, 衝撃力がある値より小さいと積載物1段目が大きく跳ぶという現象が起こる.

今回の実験は, 非常に限られた条件であり, 跳び石現象の解明には至っていない. 今後, さらなる文献調査と衝撃実験そして個別要素法を用いた数値解析を行う予定である.

謝辞 本研究を実施するに当たり, 明石工業高等専門学校平成23年度教育研究支援経費Aの補助を受けた. ここに記して感謝の意を表す.

参考文献

- 1)久保村圭助他:巨大地震と高速鉄道～新潟県中越地震を振り返って～, 山海堂, 2006
- 2)神澤拓, 森山準基:地震時の跳び石現象に関する一研究, 明石工業高等専門学校, H22年度卒業研究 論文, 2011
- 3)高原鴻太, 矢野貴一:地震による物体の跳躍現象に関する一考察, 明石工業高等専門学校, H23年度卒業研究 論文, 2012
- 4)伊藤潔他:1984年長野県西部地震で加速度が1gを超えた領域の調査, 1984年長野県西部地震の地震及び災害の総合調査, pp.89-96, 1985