

第I部門 落石現象における静的震度と最大加速度の関係について

京都大学工学部

学生員

○辻一将

京都大学工学研究科

フェロー

土岐憲三

京都大学工学研究科

正会員

清野純史

1. はじめに¹

日本の国土の相当部分は急峻な地形と脆弱な地質から成り立っており、加えて地震等の自然現象が発生した際には落石や崩落などの斜面災害が起こりやすいと考えられる。本研究では岩石を矩形の剛体とみなし、壁面を有する剛体モデルに地震波を入力して応答計算を行うことにより、入力地震波と落石発生条件の関係についての検討を行った。

2. 剛体の運動モードの分類

剛体の地震時の挙動について 望月・小林¹⁾は、剛体の運動状態をスリップ、ロッキング、スリップ+ロッキング、ジャンプの4つの運動形態に分類しそれぞれの運動状態での運動方程式および各運動状態間の推移条件について示した。Ishiyama²⁾は、望月らが示した剛体の運動状態に Rest を加え、ジャンプを回転を伴わない Translation Jump と回転を伴う Rotation Jump に分けることにより、剛体の運動条件を6つに分類し、運動状態の推移条件について示した。清野・久保田³⁾らは地震時の物体の転倒現象・跳躍現象を、特に加速度振幅と振動数に着目し解析を行い、山下⁴⁾は近傍に壁面が存在するときの剛体の運動を地震時の家具の挙動について説明することにより示した。

以上をまとめると、剛体の運動モードは下記の6つのタイプに分類することができる。

1. Rest (静止)
2. Slide (並進)
3. Rocking (動揺)
4. Slide + Rocking (並進と動揺)
5. Translation Jump (回転を伴わない跳躍)
6. Rotation Jump (回転を伴う跳躍)

剛体は地震加速度に伴って並進、動揺、跳躍、またはこれらを複合した運動をする。剛体の挙動を図1に示す。

3. 解析に用いたデータとパラメーター

入力データは鳥取県西部地震の際に観測された記録であり、上下動は考慮せず、水平方向の記録を用いた。転倒現象は上下動成分にも大きく依存するが、ここでは、水平加速度と静的震度の関係のみに着目するために上下動の影響は排除した。最大加速度は283(gal)～927(gal)の範囲にある。解析に際して用いたパラメーターは、文献⁵⁾による値を参考に、静止摩擦係数0.85 動摩擦係数0.65 という十分に大きな値を用いた。

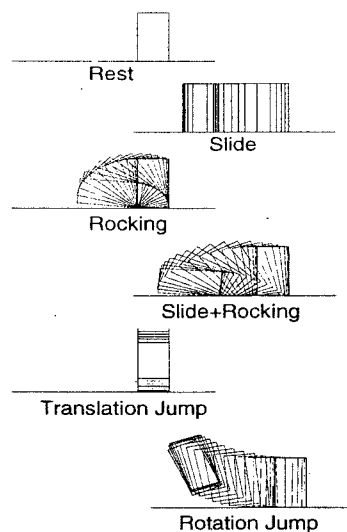


図1: 剛体の運動形態の分類

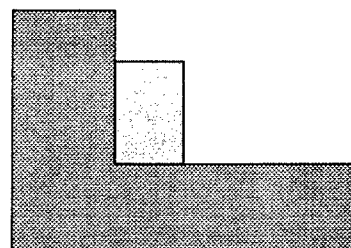


図2: 背面に壁を有する剛体のモデル図

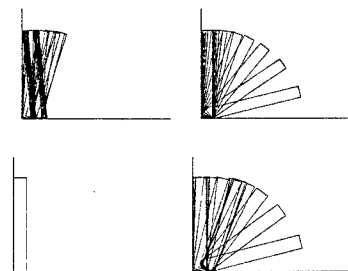


図3: 背面に壁を有する剛体の挙動

¹ Kenzo TOKI, Junji KIYONO, Kazumasa TSUJI

4. 壁を有する剛体の静的震度と最大加速度の関係

落石について議論する上で、落石が発生するような斜面上の岩石は、背面に岩壁を有した場合が多いと考えられる(図2)。ゆえに、壁が存在する時の剛体の運動(図3)について鳥取県西部地震の際に得られた地震波の加速度のデータを水平1方向入力したときの挙動について検討した。図4は横軸に入力加速度の最大加速度、縦軸に静的震度(スケール)をとった場合の剛体の挙動を示したものである。図中の○は剛体がRockingなどにより転倒したものを表し、■は転倒はしなかったがRockingなどの振動現象やSlideにより剛体が挙動を示したもの、×は剛体が転倒もRockingもせず、挙動を示さなかったものを表している。

また、ピーク加速度を作用力の指標として用いるとすると、理論的には最大加速度を重力加速度で除した式のようになり、図4の図中で一点鎖線で表した式の下側は全て転倒するはずであるが、解析を行った結果得られたのは、図中の破線で示されるような式の下側が転倒や動揺などの運動を示していることが分かる。当然のことながら、これらの結果からも、必ずしも静的震度と入力地震波の最大加速度との関係は、エッジ回りのモーメントのつりあいの計算のみに委ねられるものではないことがわかる。

5. 底面の長さを制限したときの静的震度と最大加速度の関係

図5は背面に壁を有するという条件に加えて、底面の長さを制限したときのモデル図である。図6は以上の条件で横軸に入力加速度の最大加速度、縦軸に静的震度をとっている。図中の○は剛体がRocking等により落下したものを表す。×は剛体は様々な運動を示すものの、落下には至らなかったものである。これらの結果から、静的震度と入力地震波の最大加速度との関係の概略を求めたものが図中の破線であり、次式で表される。

$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_{max}}{980} \right)^{\frac{2}{3}}$$

6. 結論

落石現象を模擬するような底面の長さを制限したモデルにおいて、落石挙動を分けることのできる最大加速度と震度の関係式を提案した。図6により、斜面における地震動強度と震度の関係が求められた。これらの関係から、当該地点における想定地震の最大加速度さえ与えられれば、対応する必要強度が求まるため、当該斜面に対する設計強度に関する議論も可能であると思われる。

参考文献

- 1) 望月利男、小林計代: 単体の運動から地震加速度を推定するための研究-単体の動的挙動の解析-、日本建築学会論文報告集、No.248、1976
- 2) Y.Ishiyama: Motions of rigid bodies and criteria for overturning by earthquake excitations, Earthquake eng. struct. dyn, 8, 1982
- 3) 久保田修一: 地震時における家具等の転倒に関する振動試験とその理論的考察、京都大学卒業論文、1998
- 4) 山下英郎: 剛体の地震時挙動とその評価に関する研究、京都大学卒業論文、2000
- 5) 今村 文彦、吉田 功: 1771年明和津波による津波石の移動に関する数値解析、土木学会東北支部、2000

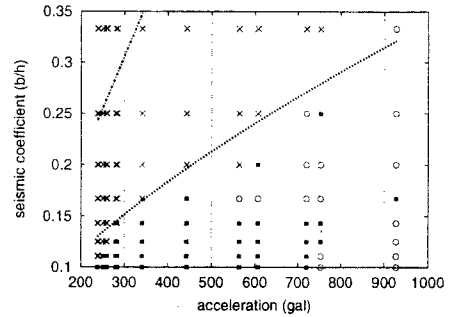


図 4: 静的震度と最大加速度の関係

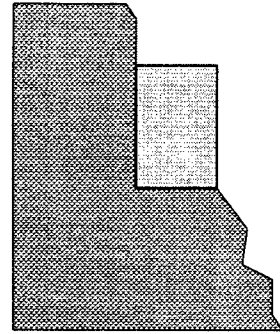


図 5: 底面の長さを制限したときのモデル図

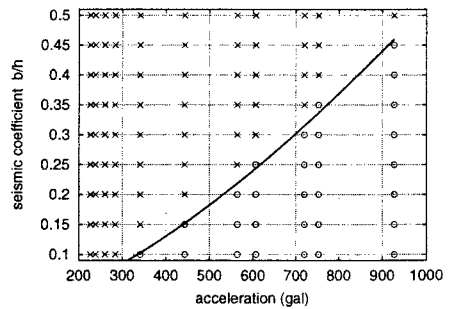


図 6: 底面の長さを制限したときの静的震度と最大加速度の関係