

地震動の周期特性を考慮した正弦波による剛体滑動量推定法の提案

鳥取大学 学生員 ○三輪 拓也

鳥取大学 フェロー会員 上田 茂

鳥取大学 正会員 谷口 朋代

鳥取大学 正会員 池内 智行

1. はじめに

設計上において滑動量を推定することは大きな意味を持つ。推定法としては時刻歴応答計算をしているのが現状である。しかし既往の研究では建物内における滑動量は精度良く推定できていなかった¹⁾。そこで本研究では簡便に推定を行うために建物の応答加速度は入力される地震波に比べてより滑らかな様相となることに着目し、正弦波で近似できるのではないかと考えた。以上を見通し本研究は第一段階としてまず地盤上における物体の滑動量の推定に正弦波を使った方法について考察した。

2. 解析方法

滑動は地震動のある瞬間に起こるものであり、その瞬間の地震動を取り出して正弦波加速度で近似することにした。正弦波加速度は $A \sin(2\pi/T)t$ とし、 A には地震動の絶対水平最大加速度を、 T には地震動の応答スペクトルを求め、卓越周期を取り出したものを使った。本研究では水平面上に置かれた剛体モデルを想定し、水平地震動のみを作用させた場合と鉛直地震動も同時に作用させた場合との二段階に分けて結果の考察を進めた。滑動量の算出方法についてはそれぞれ式(1)、式(2)に示した運動方程式をたて、相対変位 x を算出し、その時刻歴のうちの最大値を滑動量とした。 h 、 v はそれぞれ水平方向、鉛直方向を意味する。 ρ は動摩擦係数である。

・ 水平動のみ作用する場合

$$m(\ddot{x} + \ddot{z}_h) + \rho mg \frac{\dot{x}}{|\dot{x}|} = 0 \quad \cdots(1)$$

・ 水平動、鉛直動が同時に作用する場合

$$m(\ddot{x} + \ddot{z}_h) + \rho m(g + \ddot{z}_v) \frac{\dot{x}}{|\dot{x}|} = 0 \quad \cdots(2)$$

3. 結果および考察（水平動のみ考慮した場合）

現実的なモデルを考えるため表 1 に示した組み合わせで解析を試みた。そして正弦波を入力した場合の滑動量に対する地震動を入力した場合の滑動量の比を slip 比と本研究では定め、その傾向を調べた。それぞれの組み合わせについて slip 比の頻度分布を求め、さらにこれとは別に地盤種別にも区別し、同様に分布を見た。図 2 は結果の一例であり、最大水平加速度 900gal、摩擦係数 0.5 の時のものである。ほぼ slip 比は 2 以内に収まっているが、わずかながら突発的に大きい slip 比が見られた。これは、実際の滑動現象は一方向のみに滑動量が累積することや、滑動が見られる瞬間の時間間隔がその地震の抽出した卓越周期より大きいことが原因で推定に誤差が生じると考えられる。しかしこれらの事例は全データに比べて希であり、他の組み合わせについても同様の分布が見られたので slip 比は最大地震加速度、摩擦係数、地盤種とは無関係にある特定の分布に従うという統計的性質を持つと考え、区別をなくし全データを集計した。図 3 の◆は相対度数であり、

最大水平加速度	静止摩擦係数	動摩擦係数
500gal	0.5	0.5
	0.4	0.4
	0.3	0.3
700gal	0.5	0.5
	0.4	0.4
	0.3	0.3
900gal	0.5	0.5
	0.4	0.4
	0.3	0.3

※ただし 500gal の時の摩擦係数 0.5 という組み合わせでは、滑動現象は見られたがその量はわずかで比較検討が困難となったため解析はなしとした。

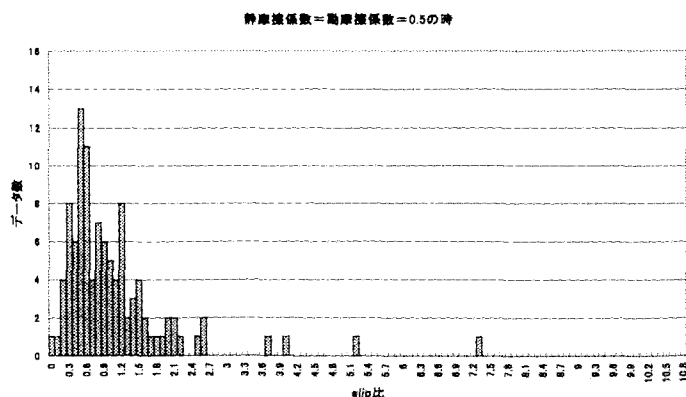


図 2 解析結果一例

全データでの頻度分布を総データ数 832 個と区間幅 0.1 で除したものである。なお、図中の実線は平均値 $\mu = 1.03$ 、標準偏差 $\sigma = 0.71$ の対数正規分布での近似を表している。図. 4 は対数正規分布から求めた確率分布である。slip 比を設計時における許容値に見込むための倍率と考えれば、例えば正弦波に基づいた滑動量の 2 倍を見込めば発生する地震波による滑動量の約 90% は許容値内に収めることができる。こうして正弦波によって滑動量の基準値を求め、それに非超過確率に基づいた slip 比を乗じたものを滑動量の特徴値として推定することを提案する。非超過確率と slip 比を表. 2 に示す。

4. 結果および考察（鉛直動を同時に考慮した場合）

(2) 式に示すとおり鉛直地震動が加わると物体の垂直抗力が時々刻々と変化し、その影響が滑動量にどう及ぶのか数個の地震波で調べたところ、滑動量は増加しやすい傾向が見られた。また既往の研究から、最大鉛直地震加速度に対する最大水平地震加速度発生時における鉛直地震加速度の比(以下、 λ とする)の出現確率は正規分布に従うことが知られている²⁾。この性質を使って鉛直地震動の影響を推定値の計算へ取り入れるために、これまでどおり水平方向には正弦波を代入するが、最大鉛直加速度に λ の標準偏差を乗じた下向きの加速度を(2)式の $\ddot{z}_v$ に与え、一律に垂直抗力を小さくすることにした。こうして水平地震動のみの時の様に表. 1 の組み合わせや地盤種別に slip 比の頻度分布を求めたところ、やはり対数正規分布で近似できることが分かった。近似式のパラメータは図. 5 に示すとおりである。この対数正規分布から非超過確率に基づく slip 比を算定した結果は表. 3 のようになった。

5. まとめ

slip 比の発生確率を調べたところ、ある特定の対数正規分布に従い、この統計的性質は水平動のみならず鉛直動を同時に考えた場合でも適用できることが分かった。正弦波によって滑動量の基準値を求め、それに非超過確率に基づいた slip 比を乗じて滑動量の特徴値を求める方法を提案した。

しかし建物内でのモデルを考えた時、本推定法が適用できるかどうかは今後の課題である。

<参考文献>

- 1) D.Lopez Garcia , T.T.Soong. : Sliding fragility of block-type non-structural components. Part1 : Unrestrained components, Earthquake Engineering & Structural 32, Issue 1, 2003. pp.111-129
- 2) 谷口 朋代: 水平及び鉛直地震動を受ける平底円筒貯槽の滑動判定式、土木学会論文集、No. 661, pp95-105, 2000.10

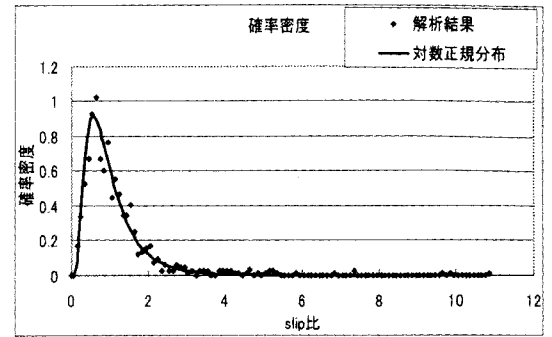


図. 3 全データで見た slip 比の確率密度

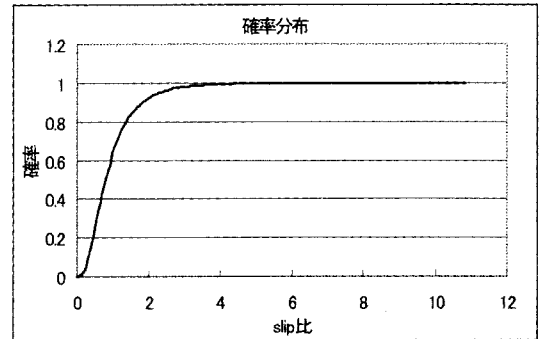


図. 4 確率分布

表. 2 非超過確率とその slip 比の値

slip比	非超過確率(許容超過確率)
1.84	90%(10%)
2.32	95%(5%)
2.70	97%(3%)
3.58	99%(1%)

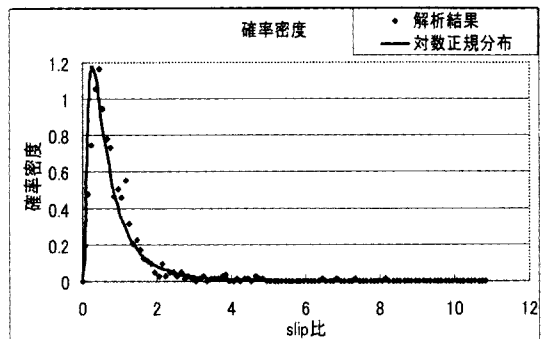


図. 5 全データで見た slip 比の確率密度

表. 3 非超過確率とその slip 比の値

slip比	非超過確率(許容超過確率)
1.69	90%(10%)
2.35	95%(5%)
2.90	97%(3%)
4.40	99%(1%)