

埼玉大学大学院 学生員 ○ 清水邦英

埼玉大学工学部 正会員 川上英二

1. 緒言

剛性の高いタンク、橋脚、原子炉施設、鉄道車両等の地震時挙動に関してロッキング現象は重要な現象の1つである。ロッキング挙動においては外力のわずかな違いに伴う応答の非線形的な変化が認められ、この現象を力学モデルを使って解析する事は可能であるが、将来の地震時における外力の推定の不確定性はかなり大きい、確定論的解析では構造物の安全性を十分に把握することができないものと考えられる。また、一般に構造物の安全性を実験または計算によって検討する際、入力地震動としては、種々の周期を有する正弦波と近似することが多く行われている¹⁾。しかし、この近似が構造物のロッキングまたは転倒に対する安全性を評価するために妥当なものであるかは十分な検討が必要である。著者らは正弦波に対するロッキング応答をこれまで解析している²⁾が、本研究では地震動波形の不確定性および入力波形の帯域の広さの影響を考慮していくつかの異なる波形を作成して数値計算を行い、得られた統計値と正弦波による解析結果との比較検討を行った。

2. 解析手法

図1に示される剛体が水平方向の加速度 $\ddot{D}(t)$ (t :時刻)を受ける時のロッキングの運動方程式は次式で表される³⁾。

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{a g}{a^2 + k^2} \sin(\alpha - \theta) \pm \frac{a}{a^2 + k^2} \ddot{D}(t) \cos(\alpha - \theta)$$

ただし、右辺の第2項目の符号は剛体が左に傾いている場合は+、右に傾いている場合は-である。ここで θ は変位角、 g は重力加速度、 k は重心回りの回転半径である。そして剛体が床に衝突する前後の剛体の回転角速度(それぞれ ω_0 , ω_0')の関係は木村・飯田³⁾による次式を用いた。

$$\omega_0' = \frac{-a^2 \cos(2\alpha) + k^2}{a^2 + k^2} \omega_0$$

入力加速度としては次の3つの場合を考えた。

①不規則波: $\ddot{D}(t) = \sum_k 2\sqrt{A S_T(\omega_k)} \Delta\omega \cos(\omega_k t + \phi_k)$

$$A S_T(\omega) = 6.4 (\omega / \omega_g)^4 \exp(-4|\omega| / \omega_g) \sigma^2 / (3\omega_g)$$

$A S_T(\omega)$ は加速度の振動数両側スペクトル⁴⁾、 σ は入力加速度の標準偏差、 ϕ_k は $0 \sim 2\pi$ の間で一様に分布する乱数、 ω_g は地盤の卓越角振動数である。

②正弦波: $\ddot{D}(t) = \sqrt{2}\sigma \sin(\omega_g t)$

③合成波: $\ddot{D}(t) = \sigma \{ \sin(\omega_{g1} t) + \sin(\omega_{g2} t + \phi) \}$

ただし ϕ は位相差である。

剛体モデルとしては1/10の縮尺の貨車模型²⁾を最も単純に図1のようにモデル化し、①～③の場合について入力加速度の標準偏差 σ を0.1g～0.3gに変化させて数値計算を行った。ただしその振幅は0～5秒までは零から線形的に増加し、それ以降は一定の値を示すものとした。なお運動方程式の積分にはRunge-Kutta-Gill法を用いた。

3. 数値計算結果

図2, 3, 4はそれぞれ不規則波の場合の入力加速度波形の初通過時間の確率分布関数、剛体のロッキングの開始時間(剛体が 1° または 5° 傾いた時間で定義した)の確率分布関数、転倒時間の確率分布関数を

示したものであり、図5は正弦波・合成波に対する初通過時間、転倒時間の確率分布関数を示したものである。図3、4からまず外力があるしきい値を越えてからロッキングが始まり、そしてしばらくロッキングを繰り返したのち転倒していることがわかる。また図4、5を比較してみると入力加速度の標準偏差が同じであつても不規則波または合成波の場合の方が正弦波の場合より転倒が早く発生しやすく、入力波のスペクトルが広帯域の方が転倒しやすいことがわかる。

謝辞：本報告をまとめるにあたり埼玉大学工学部久保慶三郎先生、渡辺啓行先生に貴重な御助言を頂きました。記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) Yasoshima, Matsumoto and Nishioka: Studies on the running stability of railway vehicles on suspension bridges, J. of the Faculty of Eng., the Univ. of Tokyo(B), 1981.
- 2) 川上・藤田：振動軌道上の鉄道車両のロッキング挙動の解析，第17回地震工学研究発表会，1983。
- 3) 木村・飯田：角柱の踊りについて(I)(II)，地震，第6巻，1943。
- 4) Goto and Kameda: Statistical influence of the future earthquake ground motion., 4 WCEE, 1969.

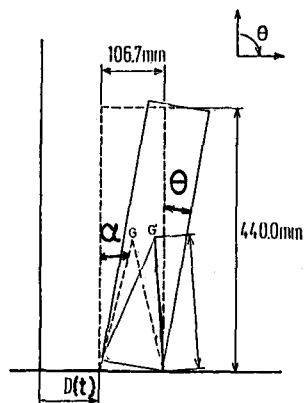


図1 剛体モデル

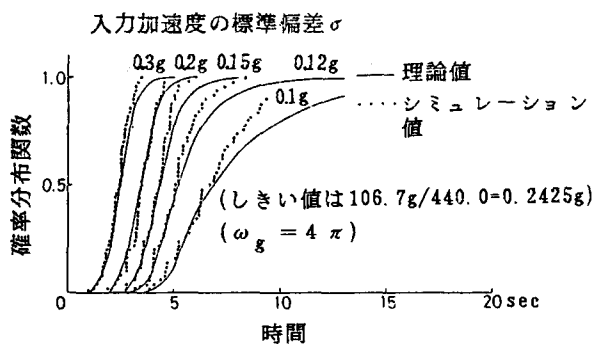


図2 入力加速度波形の初通過時間の確率分布関数(不規則波)

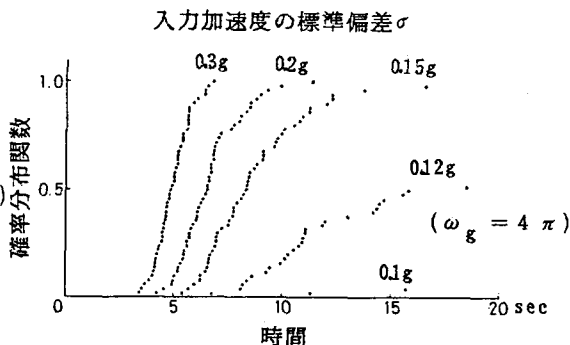


図4 剛体の転倒時間の確率分布関数(不規則波)

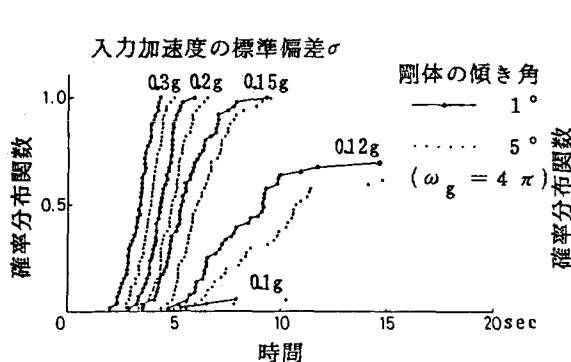


図3 剛体のロッキングの開始時間の確率分布関数(不規則波)

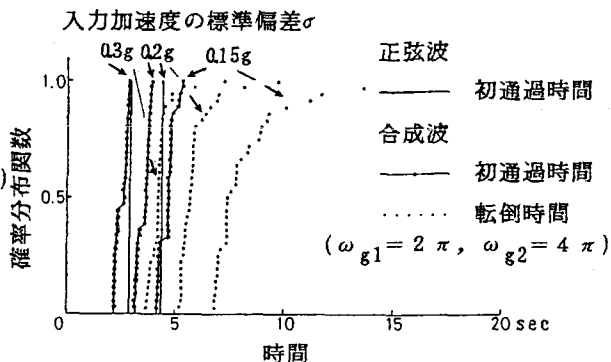


図5 正弦波・合成波に対する初通過、転倒時間の確率分布関数