

I-455

地盤の傾斜を考慮した軟着底構造物の滑動解析

大成建設（株） 正会員 田中 良弘
大成建設（株） 柄 登志彦

1. はじめに

軟着底構造物は、地震外力に対して全く滑動を許容しない従来の重力式海洋構造物とは異なり、機能を損わない範囲で、特に大きな地震に対して滑動を許容する海洋構造物である。軟着底構造物は、波浪、異常高潮位に対する安定を考慮すればよいので、バラスト荷重を減らすことができる。従って、バラスト空間を施設空間として利用できる。また、接地圧を低減できるので、地盤改良のコストダウンを図れる等のメリットが挙げられる。

大規模な軟着底構造物を設計する場合、施工後の地盤不等沈下が地震時の滑動量に与える影響を正確に予測する必要がある。しかし、地盤が傾斜している場合の滑動解析については、これまで解析的あるいは実験的にもあまり試みられていない。筆者らは、地盤の傾斜を考慮できる滑動解析コードを開発し、水平地震動（正弦波及びEl Centro波）を入力した場合の滑動解析を行う。入力波、最大加速度、傾斜の度合をパラメータとして、地盤の傾斜が滑動量に与える影響を明らかにする。

2. 滑動解析手法

滑動解析モデルを図-1に示す。構造物は剛体であり、滑り方向は地盤に平行方向のみとする。構造物と地盤の間にはクーロン摩擦のみが作用するものとし、粘着力等は作用しない。また、問題を単純にするために、今回は減衰と鉛直・回転方向の振動を考慮していない。

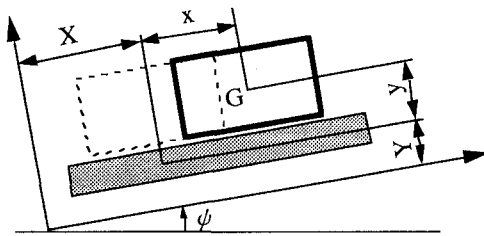


図-1 滑動解析モデル

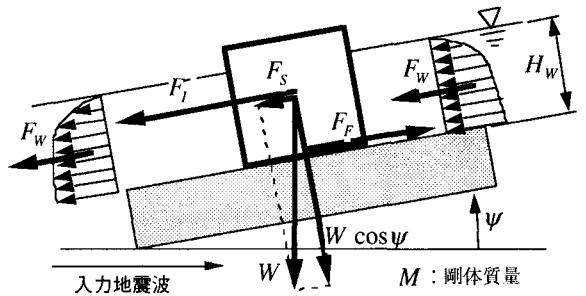


図-2 力のつりあい

M : 剛体質量
 W : 浮力を考慮した剛体重量
 μ_D : 動摩擦係数
 μ_S : 静摩擦係数

剛体に作用する荷重と記号を図-2に示す。水平面から ψ （反時計回りを正）傾いた地盤に平行な面上のつりあいを考えると、地盤に平行な方向の運動方程式と滑動条件式は次のように表される。

運動方程式 $-F_I - F_W - F_S + F_F = 0$

ここで、

慣性力: $F_I = M(\ddot{X} + \dot{x}) \cos \psi$

動水圧(Westergaard): $F_W = 2 \cdot \frac{7}{12} \frac{\gamma_w}{g} D(\ddot{X} + \dot{x}) H_w^2$

剛体重量の

地盤方向成分: $F_S = W \sin \psi$

摩擦抵抗力:

(滑動していない場合) $F_F = F_I + F_W + F_S$

(滑動している場合) $F_F = -\text{sign}(\dot{x}) \mu_D W \cos \psi$

滑動条件式

$\dot{x} = 0$ から $F_I = M \ddot{X} \cos \psi$

$F_W = 2 \cdot \frac{7}{12} \frac{\gamma_w}{g} D \ddot{X} H_w^2$

外力の合計: $F_{SLIP} = -F_I - F_W$

(i) 滑動を始める条件:

$F_{SLIP} > \mu_S W \cos \psi + F_S$ または $F_{SLIP} < -\mu_S W \cos \psi + F_S$

(ii) 滑動を終了する条件:

$-\mu_D W \cos \psi + F_S \leq F_{SLIP} \leq \mu_D W \cos \psi + F_S$

3. 解析結果

3. 1 解析モデル

解析に使用したモデルの諸元を表－1に示す。

入力波は正弦波（周期0.2秒）及びEl Centro波、最大加速度は300Gal 及び400Gal、地盤の傾斜は0（水平）、1/500、1/250、-1/500、-1/250の全ての組み合わせケースについて計算した。結果を図－3に示す。

3. 2 正弦波入力による滑動解析結果

地盤がわずかでも傾いている場合、全体として傾斜の下り方向へ滑動する量が大きくなり、原点からの最大滑動量はほぼ傾斜に対してリニアに増大している。これは、滑動時の力のつりあいにおいて、剛体重量の地盤面水平方向成分が傾斜の下り方向にのみ働くからである。今回のケースでは、傾斜が1/1000増加すると、滑動位置は、1回の往復滑動によって、その滑動振幅の1%（入力最大加速度400Gal）～3%（入力最大加速度300Gal）増加する。

3. 3 El Centro波入力による滑動解析結果

傾斜の影響は、全てのケースについて、ほぼ最初の大規模な滑動1回（往復）だけに大きくあらわれており、最終的な滑動位置は、このときの滑動量の差によって決っている。したがって、最大滑動位置は、初期滑動の方向によっても決まり、実際の地震時には、一概に傾斜が大きい方が最大滑動量が大きいとは言えない。今回のケースでは、傾斜が1/1000増加すると、初回最大滑動時の滑動量は0.4%（入力最大加速度400Gal）～0.7%（入力最大加速度300Gal）増加する。

4. 結論と今後の方向

以上の結果を要約すると次のようになる。

- ・地盤の傾斜の増加による最大滑動量の増加率は、正弦波、El Centroの両方とも、入力最大加速度が大きい方が小さい。
- ・地盤の傾斜による最大滑動量への影響は、実地震に対してはあまり大きくないと言える。

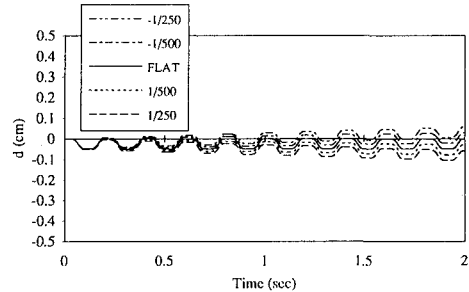
今後は、鉛直地震動やロッキング等も考慮した場合の地盤傾斜時滑動解析を含めて、軟着底構造物の実用化に係わる問題を検討すると共に、滑動実験を行って理論検証を進めて行く所存である。

参考文献

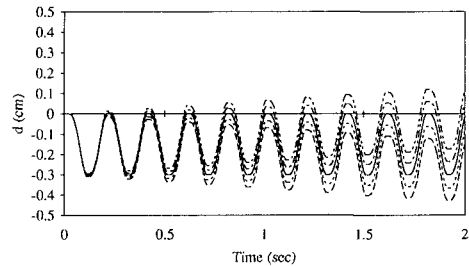
- 1) 藤井俊二：免震効果を考慮した着底型人工島の試設計、土と基礎、No1581、1986
- 2) 上部達生、松垣典弘：水中の剛構造物の地震時滑動と動水圧の実験的研究、港湾技術研究所報告、第23巻第3号、1984
- 3) Westergaard, H. M. : Water pressures on dams during earthquakes, Trans. ASCE 98, pp.418-434, 1933

表－1 モデル諸元

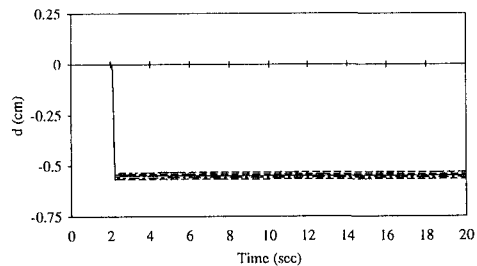
構造物	高さ H	16.0 m
	幅 B	45.0 m
	総重量 W_r	1155.0 tf
	水中重量 W	480.0 tf
	接地圧 q	10.67 tf/m ²
水	水位 H_w	15.0 m
	単位体積重量	1.0 tf/m ³
摩擦係数	静摩擦係数 μ	0.6
	動摩擦係数 μ	0.6



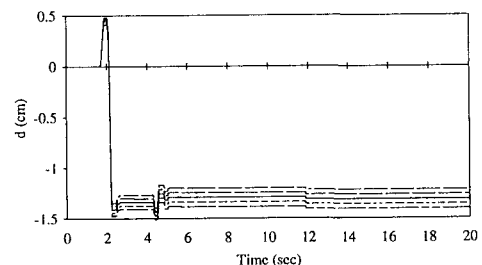
正弦波（入力最大加速度300Gal）



正弦波（入力最大加速度400Gal）



El Centro 波（入力最大加速度300Gal）



El Centro 波（入力最大加速度400Gal）

図－3 剛体の変位履歴