

山口大学工学部 正会員 三浦房紀
 京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三

1. まえがき 筆者らはジョイント要素を構造物と地盤との接触面に導入することによって、この面に沿って生じる剥離・滑動現象を考慮に入れた非線形地震応答解析法を提案し、この手法を用いて大規模構造物の滑動に対する安定性に関して検討を行っている¹⁾。本報告はさらに構造物全体の滑動と局所的な滑動の関係、滑動・浮き上りに対する構造物の重心高さの影響、根入れの影響等に関して考察を加えたものである。

2. 解析モデル 解析の対象とする地盤-構造物系の概要を図-1に示す。構造物の基本固有振動数は5.44Hzであり、減衰定数は5%を仮定している。この構造物の重心の高さは、地表面から22mの位置にあるが、以下の解析においては重心高さが構造物の安定性に及ぼす影響を調べるために、構造物の総重量および基本固有振動数は変えずに重心高さだけを18m、11mと変えている。さらに、根入れの影響を調べるために、構造物が10m地中に根入れされている場合を想定している。以下においては、構造物が地上にある場合をモデルI、根入れのある場合をモデルIIと呼ぶことにする。なお、モデルIIは構造物が10m根入れされている点が異なるのみで、他の諸元はモデルIと全く同一である。地盤に関しては、これを弾塑性体として材料非線形性を考慮に入れている。モデルIの有限要素網を図-2に、その諸元を表-1に示す。構造物と地盤の間にはジョイント要素を6要素配列してある。

3. 構造物の滑動に対する安定性 構造物の滑動に対する安定性を評価するために、以下の3通りの安全率を用いる。まず、動的な安全率として、構造物全体の滑動に対する安全率 TSF、局所的な滑動に対する安全率 LSF、そして静的な外力に対して定義される SSFである。これらは次式で定義される。^{1),2)}

$$TSF = \left| \frac{\sum_{j=1}^N \tau_{yj} l_j}{\sum_{j=1}^N \tau_j l_j} \right|_{min.} \quad (1)$$

$$LSF = \left| \tau_{yj} / \tau_j \right|_{min.} \quad (2)$$

$$SSF = (C_j L + W \tan \phi_j) / (W \alpha / g) \quad (3)$$

ここに、Nは接触面を構成するジョイント要素数、 τ_j 、 τ_{yj} 、 l_j はそれぞれ要素jのせん断応力、降伏せん断応力、要素長である。min.は時刻歴中の最小値を意味する。Lは接触面の長さ、Wは構造物の重量、gは重力の加速度であり、 α は線形モデルの応答解析から求まる構造物重心での最大応答加速度である。

入力加速度記録として、El Centro(1940) NS、UD成分、およびJPL(1971、サンフェルナンド地震) S82E、UD成分を用いる。解析に際しては、水平、上下両成分の振幅を同じ割合で変えて同時入力する。

図-3はモデルI、重心高さh=22mにおけるTSFとLSFの関係を示したものである。図中の矢印は構造物全体が滑動、すなわちTSF=1.0となるときの入力加速度の振幅である。LSF=1.0となるのはこの振幅の0.3~0.4

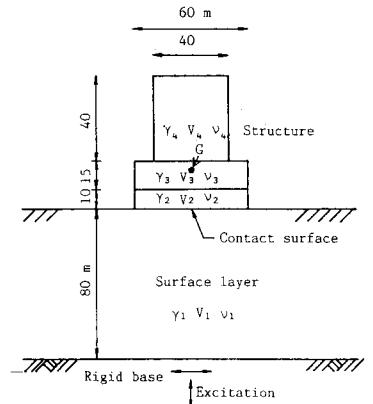


図-1 解析モデル

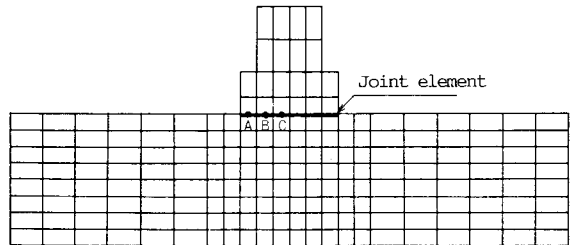


図-2 解析モデルの有限要素網

表-1 解析モデルの諸元

	Unit weight (t/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Poisson's ratio	Damping factor	Cohesion (t/m ²)	Friction angle (°)
Ground	Y ₁ =1.8	C ₁ =700	0.3	h=0.1	5.0	35
Structure	Y ₂ =2.4	C ₂ =1600	0.17	h=0.05	—	—
	Y ₃ =1.7	C ₃ =1600	0.17			
	Y ₄ =0.85	C ₄ =1600	0.17			
Joint element	Shear spring constant k _s =313500 t/m ³ Normal spring constant k _n =788500 t/m ³				5.0	30

倍であることが判る。h=18, 11mの場合においてもほぼ同様の結果が得られている。

図-4はSSF/TSFと入力レベルとの関係を示したものである。入力レベルが上るにつれてSSF/TSFは1.0より小さくなり、その傾向はJPLよりもEl Centro波形の方が著しく、また重心高さが高い程その傾向が強いことが判る。構造物全体が滑動、すなわちTSF=1.0におけるSSFの値は0.6~0.8であり、これは構造物全体の滑動に関していえば、静的に荷重を作用させて安全性を評価することは過大な安全率を要求していることになる。

図-5はh=22mにおけるTSFに及ぼす根入れの影響を調べたものである。ここではモデルが異なるので応答加速度を横軸にとっている。応答レベルが低い間は予想される通り根入れの影響でモデルIIの方が安全率は高くなっているが、レベルが高くなり、TSF=1.0に近づくと両者間の差はほとんどなくなることが判る。

4. 構造物の浮き上りに対する検討 構造物底面の圧縮応力が0となる時点において構造物の地盤からの浮き上りが生じると考えて、浮き上りに対する検討はこの圧縮応力によって評価する。静的な圧縮応力 σ_s は次式で与えられる。

$$\sigma_s = W/L - Whd\alpha/I_g \quad (4)$$

ここに、dは構造物底面中心から注目点までの距離、Iは構造物底面中心回りの断面2次モーメントである。ここではd=25, 15, 5mの3点(点A、B、C)を考える。動的な圧縮応力はジョイント要素の垂直応力から直接求める。

図-6は3点における静的および動的応力の応答加速度との関係調べたものである。(4)式から定まる静的な応力は右下りの直線となるが動的な応力は、レベルの増加に伴って突然減少し、静的な応力より低いレベルで0となる傾向にある。すなわち、静的に外力を作用させて得られた安全率は危険側となり、滑動に対する結果と逆の結果となっている。

図-7は浮き上りに対する根入れの影響を調べたものである。これより、根入れのあるモデルIIの方が同じレベルに対して一般に圧縮応力は低くなっており、低いレベルで浮き上りの生じる可能性のあることがわかる。これは根入れのある方がない場合に比べて動揺運動が卓越するためと考えられる。

参考文献 1) 三浦：強震時における剛構造物の耐震安定性の評価、第6回日本地震工学シンポジウム、1982。
2) 三浦：有限要素法の地盤・基礎工学、耐震工学への応用、昭和58年度講習会テキスト、土木学会中四国支部、1984。

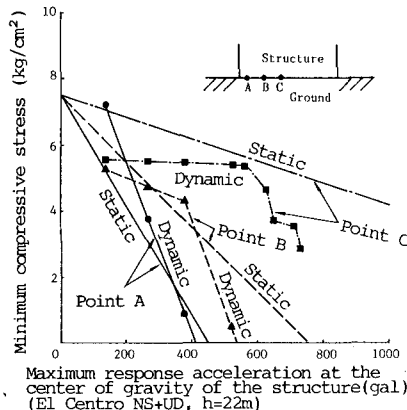


図-6 動的および静的外力による構造物底面の圧縮応力の比較

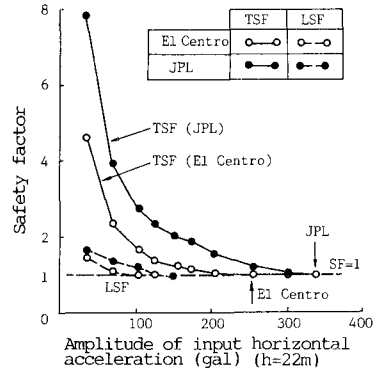


図-3 TSFとLSFの関係

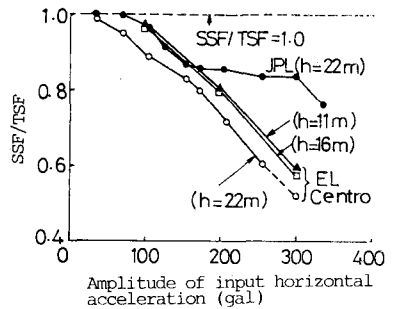


図-4 TSFとSSFの関係

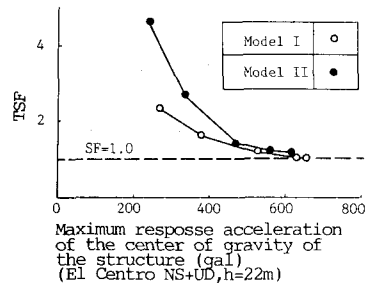


図-5 TSFに与える根入れの影響

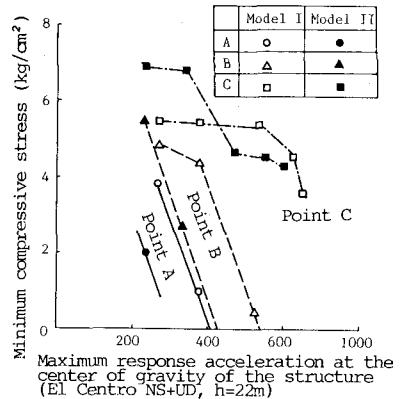


図-7 構造物の浮き上りに与える根入れの影響