

鹿島建設 正員 木村哲郎 同 正員 太田貴博
同 平島 繁 同 藤本信夫

1. はじめに 重力式海洋構造物は陸上構造物に比べ地震時の付加質量による慣性質量の増加、浮力による有効重量の減少がある。このため従来の設計の考え方を適用すると下記のような問題が生じる。

- ① 滑動に対する安定を確保するため有効重量の増加が必要になる。これは同時に慣性質量の増加を伴う。
- ② 従って、海底地盤の滑動、支持力に対する耐力が不足する可能性が増え①と矛盾を生じる。
- ③ 上記の対策として構造物基部の拡大もしくは地盤改良が必要になり、大幅なコストアップを招く。

以上を解決するためには構造物が地盤との間に相対変位を生じる、つまり滑動することにより慣性力が静止摩擦力に相当する力で頭打ちになる一種の免震効果を活用すれば構造物の安定確保が容易になる。このときの滑動特性については単純化した剛体すべり解析[1]、ジョイント要素を用いた解析などの研究がある。この考え方を拡張し、より正確な挙動把握をするためには構造物-地盤-周辺水の相互作用を考慮した滑動振動解析が必要になる。そこで2次元FEMモデル(図-1)を用い滑動を考慮した耐震設計手法を開発した。

2. 滑動を考慮した耐震設計手法 今回開発した滑動を考慮した耐震設計手法のフローを図-2に示す。地盤、周辺水を含めた解析の基本的な考え方は以下の通りである。

- ① 構造物と地盤はアイソパラメトリック有限要素でモデル化する。構造物の滑動や浮上がりといった非線形特性は、コネクティング要素でモデル化する(図-3参照)。
- ② 周辺水の動的な影響は仮想質量法により評価する。
- ③ 地盤の側方無限性はLysmer等による粘性境界で評価する。
- ④ 砂地盤で問題となる液状化の評価には簡便なSherif等による方法を採用し、間隙水圧比の上昇は次式で計算する(使用記号は文献[2]参照)。

$$(\Delta U_N^*) = (1 - U_{N-1}^*) \cdot \frac{C_1(Neq)_D}{(Neq)_D^2 - C_3} \cdot \left[\frac{\tau_{NP}}{\sigma'_{N-1}} \right]^a$$

- ⑤ 構造物の滑動を許容する場合は静力学的支持力公式の適用は困難となる。このため地盤の安定解析としてモール・クーロンの破壊基準を採用する。破壊安全係数は初期応力と地震時動的応力の重ね合わせにより計算する。
- ⑥ 土の動的特性は有効拘束圧及びせん断ひずみ依存性を考慮し次式で評価する(文献[3]参照)。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + |\gamma/\gamma_{0.5}|} \quad h = h_{\max} \left(1 - \frac{G}{G_0} \right) + 1$$

ここに、 G 、 G_0 はせん断ひずみ γ に対するせん断剛性及びその初期値、 $\gamma_{0.5}$ は剛性低減率 G/G_0 が0.5の時のせん断ひずみを示し $\gamma_{0.5} = Su/G_0$ で計算される。 Su は最大せん断強度である。また h 、 $h_{\max}$ は減衰定数及びその最大値を示す。液状化あるいは地中応力に関してある要素の安定性が不可と判断された場合は、その要素の物性値を低減した上で最終の滑動解析を行う。

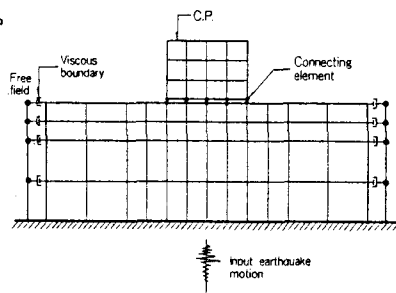


図-1 解析モデル

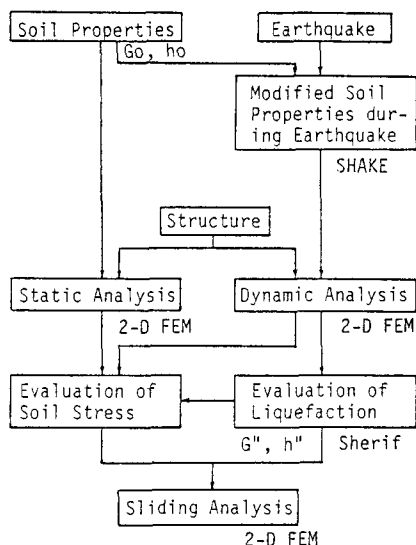


図-2 滑動を考慮した耐震設計手法フロー

3. 解析例 海底石油開発用の重力式コンクリートプラットフォーム（CP）の設計に際し、今回開発した耐震解析を行った。CPは平面形状90×90m 高さ44m で自重W=30.2万t、浮力PU=24.7万t、付加重量Wadd=4.7万tである。地震波はEl Centro 波及び八戸波をそれぞれCP設置地盤面無限遠点で200galが得られるように逆応答して入力波とした。海底地盤は、砂と粘土の互層でCP設置面は $\phi = 30^\circ$ の砂層である。CPと地盤との静止及び動摩擦係数はそれぞれ $\mu s=0.577$ 、 $\mu d=0.289$ とした。解析結果の一例を図-4、5に示す。図-5は上段より地動の加速度、cpの応答加速度、cpと地盤の相対速度及び相対変位を示す。滑動により入力加速度が低減され、最大応答加速度は静止摩擦力に相当する87.9gal に、相対変位の最大値は 4.3cm になっている。

4. 結論 構造物－地盤－周辺水連成系で滑動を考慮した耐震設計手法の開発により、構造物の滑動量は構造物の寸法に比べ十分に小さい値であり、また構造物に作用する地震加速度だけでなく、地中応力も滑動を許容しない場合に比べて低減されることが分かった。従って、本設計法を採用した場合は従来の設計法に比べ大幅なコストダウンが可能になる。今後は静止・動摩擦係数及び構造物の滑動挙動を実験により確認する予定である。

参考文献 [1] 堀越、藤本他：滑動振動の数値解析手法に関する一研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 1983, PP.1035～1036 [2] Sherif et al: Pore-Pressure Prediction during Earthquake Loadings, Soils and Foundations, Vol. 18, No. 4, 1978, PP. 19 ～ 30 [3] 原、清田：組み合わせ応力下における土の非線形解析手法、鹿島建設技術研究所年報、Vol. 32, 1984, PP. 125～ 128

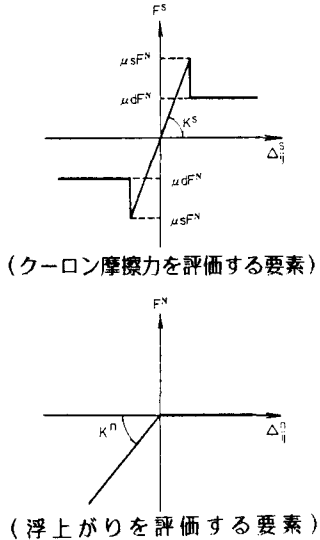


図-3 コネクティング要素の復元特性

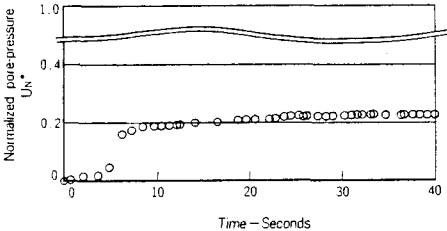


図-4 CP直下砂層の八戸波による
間隙水圧比の推移

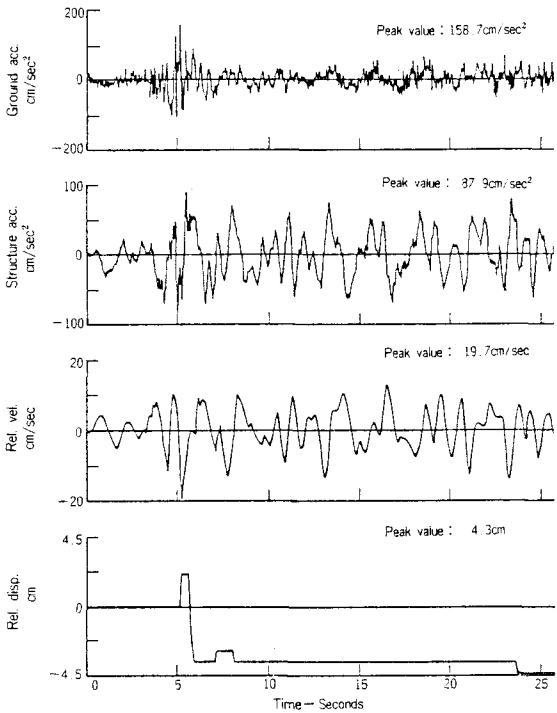


図-5 八戸波によるCPの応答