

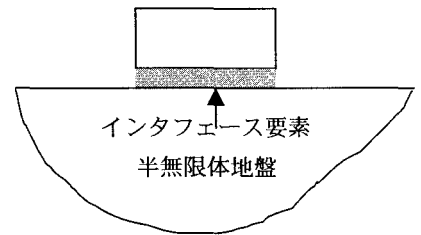
大阪大学 学生員 ○権 映録
大阪大学 正 員 西村 宣男

1. まえがき

強地震時には地盤－構造物の間は接触面の幾何学的形状によって異なる挙動が起こる可能性が考えられる。そこで、本研究は地盤－構造物の接触面で非線形性を伴う BEM-FEM のハイブリッド 3 次元の地盤－構造物の相互作用解析を行った。特別な幾何学的非線形性を有するインタフェース要素を考えてインタフェースの剥離とすべりの現象を考慮した。解析では線形、弾性の半無限体地盤の境界要素モデルと線形の構造物そしてその間にインタフェース要素を考慮し、適合方程式と釣り合い方程式を用いてそれぞれ両方法を結合した。さらに動的荷重と調和地震波を与えてその動的応答特性を明らかにした。

2. 解析モデル

本解析モデルは線形、弾性の半無限体地盤に表面基礎を置いて正弦波の調和地震波を与えてハイブリッド法により相互作用の動的応答を求めた。解析で用いた地盤－構造物のモデルは図－1. のようである。本研究の 3 次元の時間的 BEM-FEM のハイブリッド法は地盤と構造物の間に相互作用問題のため幾何学的非線形性を持っているインタフェース要素を考慮した。解析のシステムは 1)線形、弾性の構造物 2)幾何学的非線形のインタフェース 3)線形、弾性の半無限体地盤のように 3 つのシステムを考慮して解析を行った。



図－1. 地盤－インタフェース－構造物

3. 地盤－インタフェース－構造物の構成関係

3.1. 半無限体地盤の BEM

線形、弾性の半無限体地盤を仮定して 3 次元矩形アイソパラメトリック要素を用い、全時間段階での表面力－変位の関係をマトリックスで表わすと次のようになる。

$$\frac{1}{2} \{ u_{n,R}^N \} = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \{ G_{n,S} \} \{ t_{(N-n+1),S} \} - [T_{n,S}] \{ u_{(N-n+1),S}^N \} \quad (1)$$

ここで、 $[G_{n,S}]$ と $[T_{n,S}]$ は変位、表面力影響ベクトル、S と R は半無限体地盤の全体モデルをそれぞれ n 個の付要素で分割した時の各要素の目的要素と観測要素である。

3.2. 構造物の FEM

線形、弾性の構造物において上部と下部に対する動的強度マトリックスは次のようになる。

$$\begin{Bmatrix} P_e^N \\ P_s^N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{ee} & D_{es} \\ D_{se} & D_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_e^N \\ u_s^N \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここに、D マトリックスは動的強度マトリックスとし $[D] = -\omega^2 [M] + i\omega [C] + [K]$ と表わされるが、本解析では減衰マトリックスは $[0]$ とした。添字 e,s は上部と下部を表わす。

3.3. 地盤－構造物のインタフェース

動的荷重は時刻歴による動的変形時周囲地盤、接触面での不規則な現象のため地盤と構造物のインタフェースでは相対運動が起こると考えられる。そこで、本解析は地盤と構造物のインタフェースでの荷重伝

達 特性を考慮できる適切な幾何学的非線形要素を考慮して地盤-構造物の相互作用解析を行った。

$$\begin{Bmatrix} P_t^N \\ P_b^N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{tt}^N & K_{tb}^N \\ K_{bt}^N & K_{bb}^N \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_t^N \\ u_b^N \end{Bmatrix} \tag{3}$$

4. 解析結果と考察

本解析は半無限体地盤の BEM と構造物の FEM の結合解析し、正弦波の調和地震波を与えてインタフェース要素による地震応答特性を求めた。半無限体地盤の P 波、S 波の速度は $P_v=109.109m/sec$, $S_v=44.544m/sec$ 、時間刻みは $0.01sec$ である。そして構造物の材料的定数を変化させ、各 P 波の速度がそれぞれ $P_{v1}=1234.5m/sec$, $P_{v2}=547.7m/sec$, $P_{v3}=292.6m/sec$ について正弦波の大きさを $500gal$, $1000gal$ を考慮して解析を行った。図-2. は解析の Flow-Chart であるが、まず、運動方程式は $\alpha=0.25, \beta=0.5$ の Newmark- β 法を用い、インタフェースでの滑動現象に対するすべりの判定を行った。さらにインタフェースで滑動の評価は次のようである。

$$\begin{aligned} \sigma^n &> 0 \\ \tau^n &\leq \mu \sigma^n \end{aligned} \tag{4}$$

図-3. は正弦波の大きさにより振動数領域で求めた水平応答である。低振動数では柔軟な構造物の応答が大きいが高振動数に行くほど応答の差はほとんど見られないことが分かった。そして境界積分方程式により振動数が大きくなるほど放射減衰現象が明らかに現れた。図-4. は非線形応答と線形応答の比較を行った。応答のように $1000gal$, $500gal$ の水平応答は低振動数ではすべりの現象が明らかに確認されたが、高振動数に行くほど線形応答との差がだんだん小さくなり、ある以上の振動数になれば滑動が起らないことが分かった。

5. まとめ

本解析は半無限体地盤の境界要素モデルと構造物の有限要素モデルを考慮して地盤と構造物の接触面に起これる滑動現象を明らかにするため幾何学的非線形のインタフェース要素を入れて解析を行った結果次のような結論が得られた。振動数領域で求めた結果は低振動数から高振動数に行くほど境界積分方程式による放射減衰効果が確かに見られた。そして非線形インタフェース要素を考慮したので地盤-構造物の接触面に発生される滑動現象が確認された。さらに非線形応答が線形応答に比べて低振動数では地盤と構造物の間に確かに滑動現象が確認されたが高振動数に行くほど現象は起らないことが分かった。

<参考文献> 1)Pratic, N.P. :Nonlinearities due to soil-foundation separation in dynamic SSI , West Virginia Univ. Ph-D., 1989. 2)Toki,K.&Miura,F. :Non-linear seismic response analysis of soil-structure interaction system, earthq. Engng Struct. Dyn, 1983, 11, 77-89. 3)Chopra, A.K. & Yim, S.C.S. : Simplified earthquake analysis of structures with foundation uplift, J. Struct. Engng, ASCE, 1985.

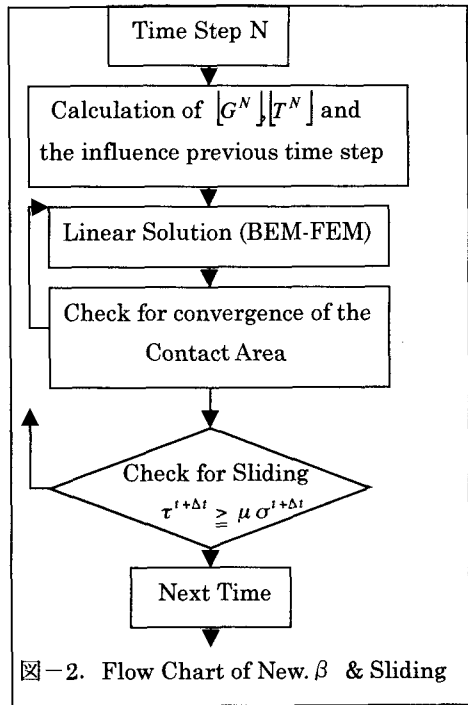


図-2. Flow Chart of New.β & Sliding

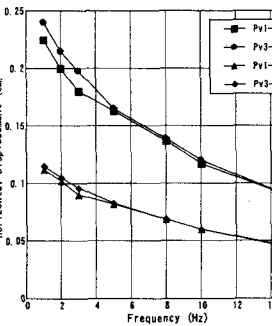


図-3. 正弦波の水平応答

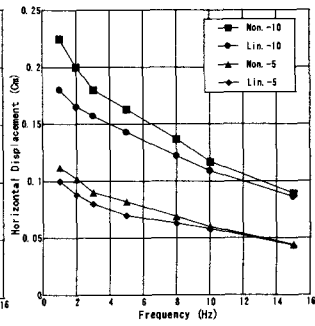


図-4. 線形応答と比較