

清水建設(株) 正員・大 槻 明
群馬大学 春海 佳三郎
清水建設(株) 山原 浩

1. はじめに 現在振動論的立場に立った地震応答解析が主流であるが、本研究では地震を波動として捉えた地震応答解析の開発に取り組んでおり、春海の方法²⁾をもとに差分法を用いて均一地盤($\nu \leq 0.3$)の波動伝播を解析した。しかしながらこの差分法を実際の問題に適用するには幾つかの問題がある。例えば構造物が構築される地盤のポアソン比は0.4以上のものが多く、このような地盤に差分法を適用すると地表付近で発散現象が生じやすくなり、また形状の複雑なものをモデル化する際には差分法では十分対応できないことが予想される。そこでこれらの問題を解決し、より実際に即した検討を行うため有限要素法(FEM)と差分法を融合した方法を考えた。

2. 理論 2次元平面歪の波動方程式を時間項については中央差分により、空間についてはFEMにより定式化すると次のようになる。

$$\{X\}_{t+\Delta t} = 2 \cdot \{X\}_t - \{X\}_{t-\Delta t} - [M]^{-1} [K] \{X\}_t \Delta t^2 \cdots (1)$$

ここで $\{X\}$: 変位ベクトル $[M]$: 質量マトリックス

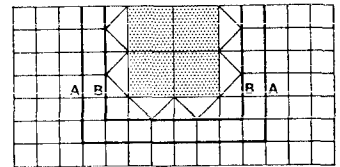
$[K]$: 剛性マトリックス Δt : 時間間隔

図-1に示すように1つのモデルの中でFEM領域と差分領域の2つを考え均一地盤A,Bで互いにラップ⁴⁾している。いまこのモデルで全領域の t 時刻の変位が既知だとし新たに $t+\Delta t$ 時刻の変位を求めるには、まず差分領域(A_1, A_2)の変位は差分により求められ、さらにFEM領域(B_1, B_2)の変位は式1を用いて計算できる。ところで A_1 と A_1', B_1 (A_2 と A_2', B_2)は共通節点で変位が同じであることから、 A_1 より A_1' 、 B_1 より B_1' の変位(A_2 より A_2' 、 B_2 より B_2')が求まり、すべての変位が得られる。

3. 数値シミュレーション まず本手法の妥当性を調べるため図-2のモデルについて本手法と差分だけを使い計算しその波形を図-3に示す。次に図4,5に示すモデルについて本手法を使い波動シミュレーションを行う。

解析に当たって、入力波形は単位SINEパルス波(平面波)とし、下方境界はCLYTONの方法により半無限効果を表現し(図4のモデルでは基盤固定)、また側方境界は波動が側方境界に沿って進むものとして($\frac{\partial u}{\partial x}=0, \frac{\partial v}{\partial x}=0$)取り扱う。地盤定数は表-1に示す通りである。

4. まとめ 本解析を通し分ったことを以下に示す。1.FEMと差分を融合する方法は差分だけの計算結果と比較しほぼその結果が一致し妥当性が認められる。2.FEMと差分を融合する方法は差分だけの方法に比べ複雑なモデルを解くことができ、またポアソン比(0.4)の高い物質に対しても安定した解が得られる。3.本手法はP波、S波及び表面波を同時に考慮して解析ができる。例えばS波(平面波)が地表面に垂直に入力された場合地盤内に異質物質が混入しているとそれにより新たにP波、S波、表面波が発生し複雑な伝播を示すことが本手法よりわかる。4.入力波としてはS波P波の平面波(斜め入射も可能)、点加振を考慮することができる。しかし入力波形はその形がなめらかである。



地盤メッシュ

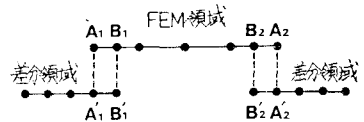
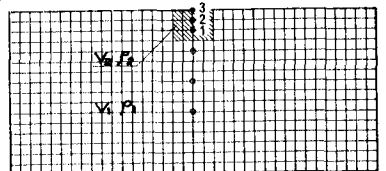
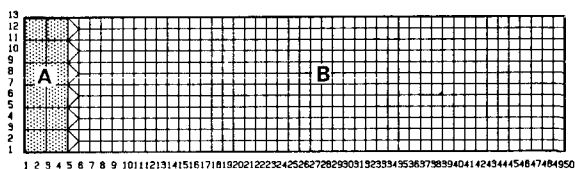
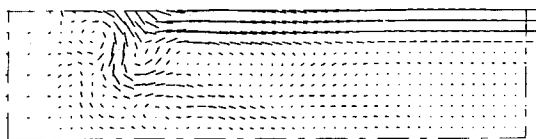


図-1 解析モデル

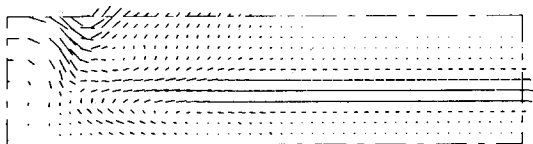




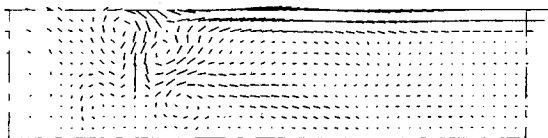
メッシュ図



変位分布図
時間ステップ 70



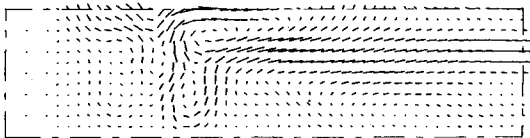
変位分布図
時間ステップ 40



変位分布図
時間ステップ 80

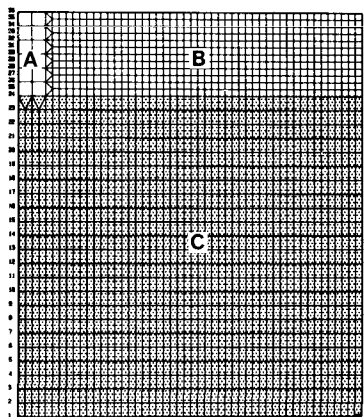


変位分布図
時間ステップ 60

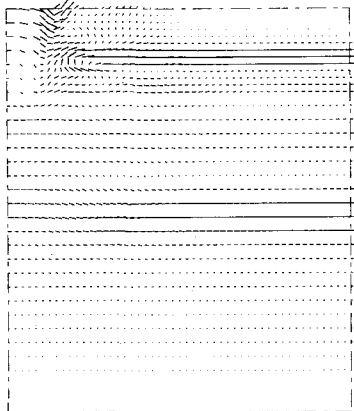


変位分布図
時間ステップ 100

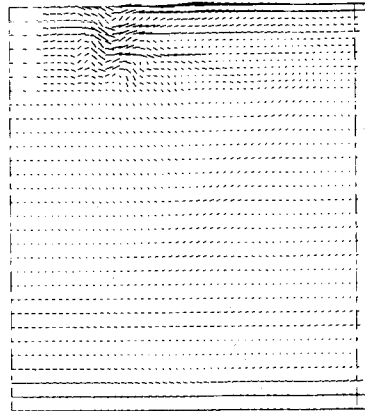
図-4 モデル2 (基盤固定)



メッシュ図



変位分布図
時間ステップ 100



変位分布図
時間ステップ 200

図-5 モデル3

と、また計算時間、計算容量の制限から継続時間の短い波形であることが望まれる。5.本手法は実際の波動伝播状況を克明にシミュレートできることか⁽¹⁾う地盤と構造体間の入力損失の効果や機構の解明に役立つものと思われる。

本解析を進めるにあたり御協力頂いた、清水建設社内SSDプロジェクトのかたがたにバから謝意を表わします。

- 参考文献 1: 山原 浩, 地震時の地動と地震波の入力損失, 日本建築学会論報 NO165, NO167
2: 青海佳三郎, ポテンシャルを持つ質点系モデルによる弾性波の数値解析, 非破壊検査27巻12号 日本非破壊協会
3: R. Clifton, Absorbing Boundary Conditions For Acoustic And Elastic Waves Equations, BSSA vol 67 no 6, 1977
4: 赤尾嘉彦, 有限要素法の境界における遠散波動の消去の一試み, 34回土木学会学術講演会概要集 水利部門