

清水建設(株) 研究所 正会員 赤尾 嘉彦
 東京大学 地震研究所 正会員 伯野 元彦

§ 1 まえがき

地盤を半無限弾性体として、動的にこれと等価な有限弾性体へのモデル化について考察した。地震動による地盤と構造物などの系の応答を考えると、従来は、これを振動問題として扱ってきたが、振動伝播の問題として扱うことにより、半無限体の有限体へのより忠実なモデル化に成功した。対象とする地震波は水平かつ伝播直角方向に変位する S-H 波とラフ波であるが、変位ポテンシャルを用いることによって、P 波 S-V 波などの解析にも利用できることを確かめた。

§ 2 考えかた

地震波が下方から伝播してくるに、仮りに地表付近に表層とは物性、形状を異にしたものがなく、均一水平な地層ならば、地動変位 u は、入射波 f と反射波 g という二つの平面波の和で表わされる。ところが、地表付近に構造物などの異なるものがあると、 u はさらに透散波 h (構造物があることによって生じる波) という球面波に近い波の成分が加わり、以下の関係式が成り立つ。(図1 参照)

$$u = f + g + h \quad (1)$$

地表付近の一部の領域を有限体へモデル化するとき、半無限体と接する境界線の内側に境界領域を設定し、(図2) その領域では、 f 、 g 、 h の各成分を別個に計算し、同時に有限体全体を振動体として解析した。(計算上は、入射波と反射波と一緒に扱った。前回の報告¹⁾では、反射波と透散波と一緒に扱った。)

実際に解析を行うとき、 f は与えられており、 g は簡単な計算で求まる。今、ある時刻までの $u(t)$ 、 $h(t)$ が既知として、次のステップの境界線上の $h(t+\Delta t)$ (Δt は時間と離散化した間隔) を、ある手法で予測する。また、境界線を除く部分の $u(t+\Delta t)$ は、有限体の振動計算で求まる。さらに(1)式より、境界線上の $u(t+\Delta t)$ と境界線を除く部分の $h(t+\Delta t)$ が求まる。

この解析を進める上で、要となるのが境界線上の

$h(t+\Delta t)$ の予測手法で、できる限り小さな境界領域から、精度よく、簡単に予測する方法の発見が、この一連の手法の成否を決める。ここでは、境界線上の離散点の境界直角方向の曲率 $h_{,nn}(t)$ (右下の指標はテンソル記号、 n は境界直角方向の座標、図2) と、時間・空間的に近いところの3個の $h_{,nn}$ より、波動の伝播方向を考慮して決め(図3) さらに、波動方程式(2)に、その値を代入して、(2)を差分化して境界上の点の $h(t+\Delta t)$ を求めた。

$$h_{,tt}/c_s^2 = h_{,nn} + h_{,ll} \quad (2)$$

(c_s はせん断波速度、 l は境界線平行方向の座標)

ただし、空間的に異なる点の $h_{,nn}$ は、透散波が球面波に近いことを考慮して、距離による補正をふこなった。この手法は、P 波、S-V 波の場合にも利用でき、P 波および S 波の変位ポテンシャルを、それぞれ ϕ 、 ψ とすれば、 $h_{,nn}$ の代わりに $\phi_{,nn}$ (ϕ は変位を求める方向) などを用いればよい。

§ 3 シミュレーション

境界の予測法を、一次元の半無限体に適用した結果を図4に示す。地盤のモデル化は、境界領域を3列の離散点で表わし差分法を使い、有限体全体を差分法を用いたが、有限要素法でも解くことができる。図5に真下から地震波が入力したときの応答を、図6に地表面中央部を加振したときの応答を示す。図7はこのモデルのすぐ下に、せん断波速度が2倍の層があるとして、一定周期のラフ波を入力した図である。

§ 4 まとめ

多くの研究では、地盤振動を有限体の振動として扱い、無限体との境界で、振動と吸収させる方法をとっているが、反射波だけを吸収させることは不可能であった。ここでは、変位を成分ごとに分け、波動として扱うことで、これを解決し、さらに表面波の解析の可能性も示した。

[参考文献] 1) 市尾, 伯野 (1979a,b) 工本学会全国大会, 工本学会地震工学研究発表会予稿集.

2) J. Lysmer (1969) J. of EM. ASCE

3) 乃賀, 高松 (1980) 日本建築学会論文報告集

4) 佐藤泰夫 「弾性波動論」

図1 地動変位の成分

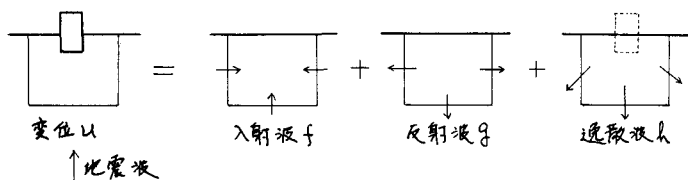


図2 境界部の図

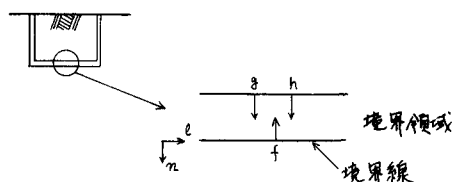


図3 境界線上の h, nm の平測

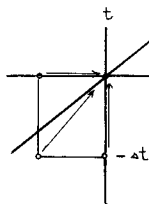


図4 一次元の加振A, B, C (平測) 半無限体の振動

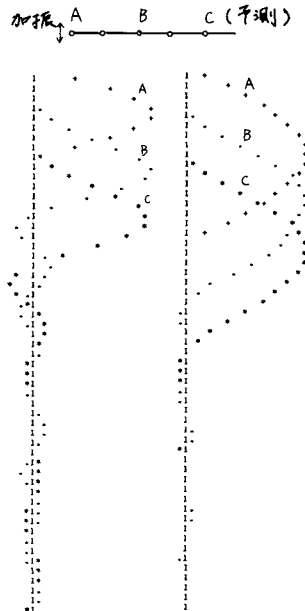


図5

入射波と反射
波のシミュレ
ーション

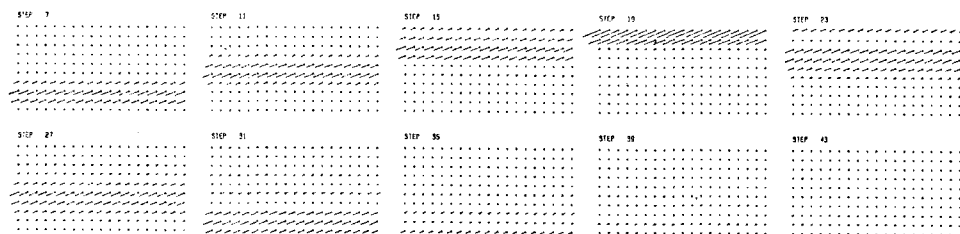


図6

透散波の
シミュレー
ーション

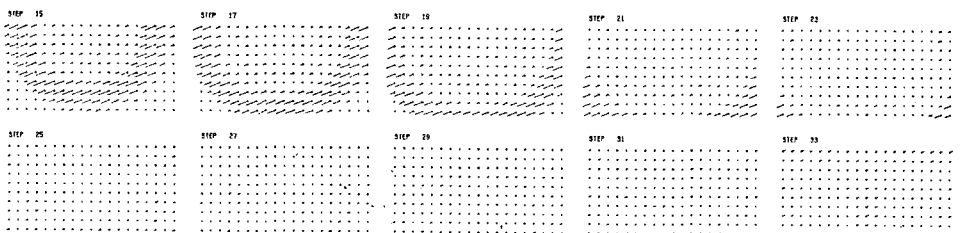


図7

ラフ波の
シミュレー
ーション

