

(27) 薄い軟弱層を有する表層地盤の非線形動的解析

東京大学大学院 鄭 京哲
日本大学生産工学部 田村重四郎
東京大学生産技術研究所 小長井一男

1. まえがき

地盤構成が表層地盤の地震動に与える影響について、盛んに研究が進めた20有余年の成果から、多くの有益な見地が得られている。しかし、薄い軟弱層をもつ表層地盤の地震時挙動についての研究は数少ない。本研究は、波面追跡による成層地盤の非線形動的解析手法を提案し、これにより薄い軟弱層を有する表層地盤の動特性を検討したものである。

2. 解析方法

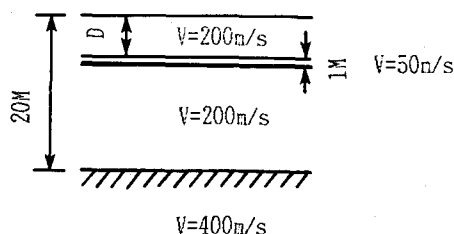
地震波が基盤から成層の表層に入射してから、層間の境界での反射および透過によって、波の数および大きさは変化してくる。 $t=0$ 秒から、時間ステップ毎に波の伝播を追跡し、各時間ステップにおけるすべての波を重ね合わせ、当該時刻の各深さにおける地盤のひずみを求め、これによって次のステップの計算のための各層のせん断波速度を算定する。これらのせん断波速度を用い、層間境界での透過率および反射率を計算し、波の伝播の追跡を続ける。このような手順によって成層地盤の非線形応答を算出することができる。この方法を用いる場合、最初から表層地盤を多くの層に分割する必要がない。表層内のひずみはあらかじめ深さ方向に必要な個数設定した点での変位をモニターすることで算定する。非線形領域に入った部分のみを新しい層に設定し、次のステップの計算をする。

3. 数値計算例および考察

地盤モデルを図-1に示す。軟弱層の深さが異なる3つのケースを取り上げ、せん断波が垂直入射する場合を想定する。弾性計算によるこの3種の地盤の1次固有振動数は1.575, 1.875, 2.234 Hzである。これらの振動数で卓越する周期が0.5秒のRicker Waveletの変位波を入力に用いた。入力波形およびそのフーリエスペクトルを図-2に示す。最大変位振幅が0.06cm(レベル1), 0.09cm(レベル2), 0.12cm(レベル3)の3レベルの入力を用いた。地盤材料の応力-ひずみ関係として図-3のようなバイリニアモデル($\alpha=0.4$)を設定し、弾性限界ひずみを 10^{-3} とした。

図-4に示すのは計算したせん断ひずみの分布である。縦軸は地表面からの深さで、横軸は入力レベル1(最大振幅0.06cm)の場合、いずれのケースでも地盤の最大ひずみは 10^{-3} より小さくなっているが、入力レベル2およびレベル3の場合には、薄い軟弱層の最大ひずみが 10^{-3} を超えていて、入力レベルによってせん断ひずみの分布が変化することがわかる。入力レベルが高くなると、軟弱層のひずみが大きくなる反面、硬い層のひずみは相対的に減少する。軟弱層が浅いところにあると、入力レベルの増加による軟弱層およびこれを挟む硬い層のひずみの変化は大きい。軟弱層が深い場合、入力レベルが大きくなると、ひずみの変化は全層にわたって認められる。

図-5(a), (b), (c)に示すのは地表面から各深さにおける変位応答である。左側は入力レベル1の場合の波形であり、右側は入力レベル3による結果を示している。ケース1の場合の結果に注目すると、入力レベル1の時、薄い軟弱層より浅い部分の波形は大きく増幅されており、これより深い部分の波形の振幅は小さいことがわかる。入力レベル3の場合、薄い軟弱層上の地盤の変位応答が比較的小さくなっており、卓越周期が長くなる様子が認められる。これらはケース2(図5(b))、ケース3(図5(c))にも共通している傾向である。また、この三ケースを比較すると、薄い軟弱層が地表面に近い場合、入力レベル1の時、薄い軟弱層より浅い部分の波形の振幅が大きく、入力レベル3



	ケース 1	ケース 2	ケース 3
D(m)	5	10	15

図-1 地盤モデル

の時の振幅の減少も顕著に現れることがわかる。

図-6は地表面の応答変位の最大値と入力値の最大値の比を示すものである。入力のレベルの増加に従って、増幅倍率は小さくなる。その程度は軟弱層の深さによって異なり、ケース1の場合の増幅倍率の減少が一番大きい。

地表面の応答変位と入力（変位）のフーリエスペクトルから、その比を求め、これを図-7に示す。入力レベルの増加によって地盤の固有周期が長くなり、ピークの値が小さくなることがわかる。ケース1の固有周期の増加が一番大きく、ケース3の固有周期の変化は比較的に小さい。

4. まとめ

波面追跡による成層地盤の非線形解析方法を提案し、薄い軟弱層を持つ表層地盤の非線形動的解析を行った。その結果、薄い軟弱層に大きいひずみが生じ、比較的低い入力レベルでも、非線形挙動が現れる。入力のレベルの増加に従って軟弱層のひずみが大きくなる反面、その近辺の硬い層のひずみは小さくなる。また、地盤の固有周期が長くなり、増幅倍率は小さくなることが認められた。

参考文献：

- 1) 鄭, 田村, 小長井, 波面追跡による表層地盤の震動特性解析法の提案, 生産研究 Vol.41, No.12
- 2) Fujino, Y. and Hakuno, M., Characteristics of Elasto-Plastic Ground Motion During an Earthquake, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.53, 359-378

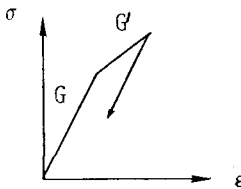
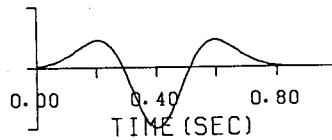
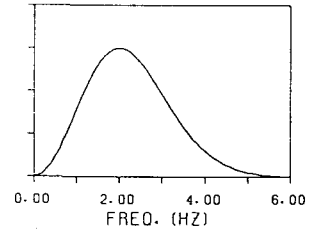


図-3 応力-ひずみ関係

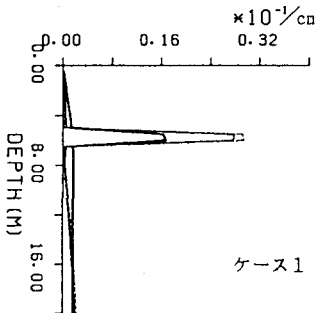


(a)変位波形

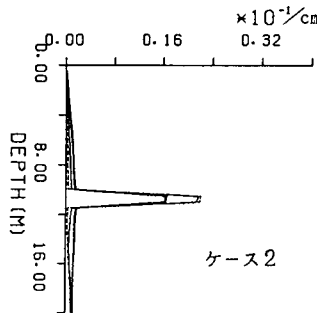


(b)スペクトル

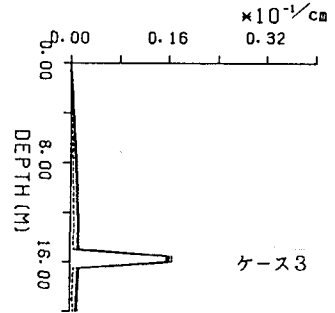
図-2 入力波形およびそのスペクトル



ケース1



ケース2



ケース3

— level 1
— level 2
--- level 3

図-4 せん断ひずみの分布

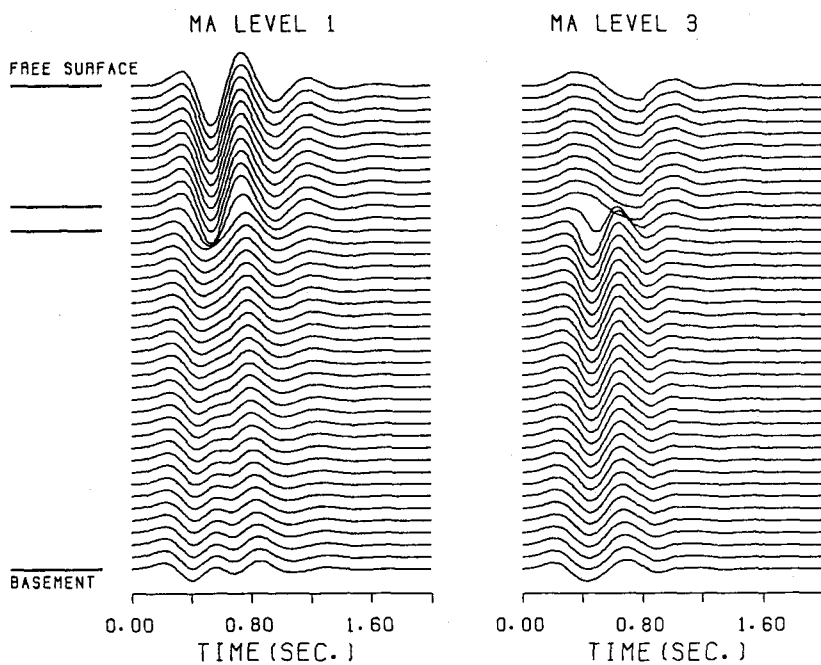


図-5(a) 各深さにおける変位応答 (ケース1)

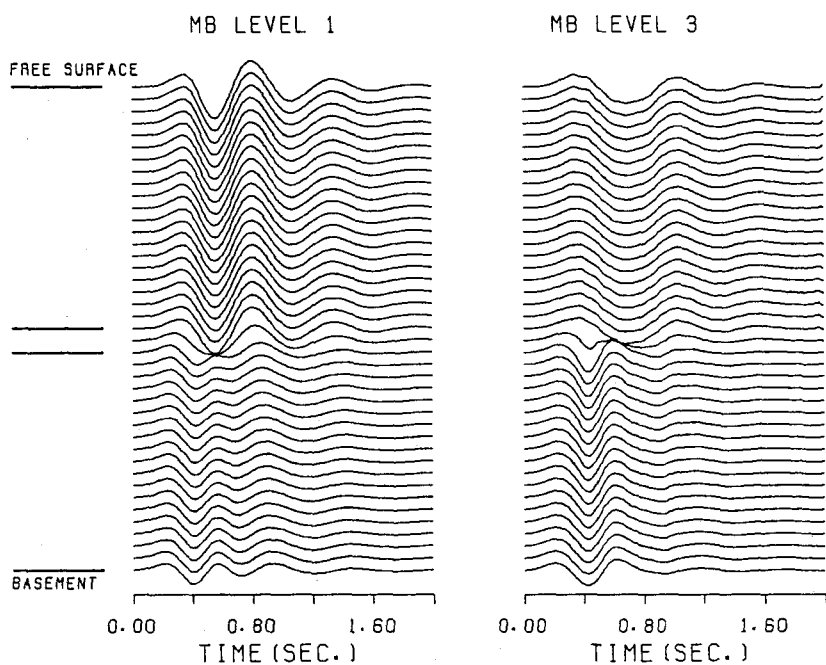


図-5(b) 各深さにおける変位応答 (ケース2)

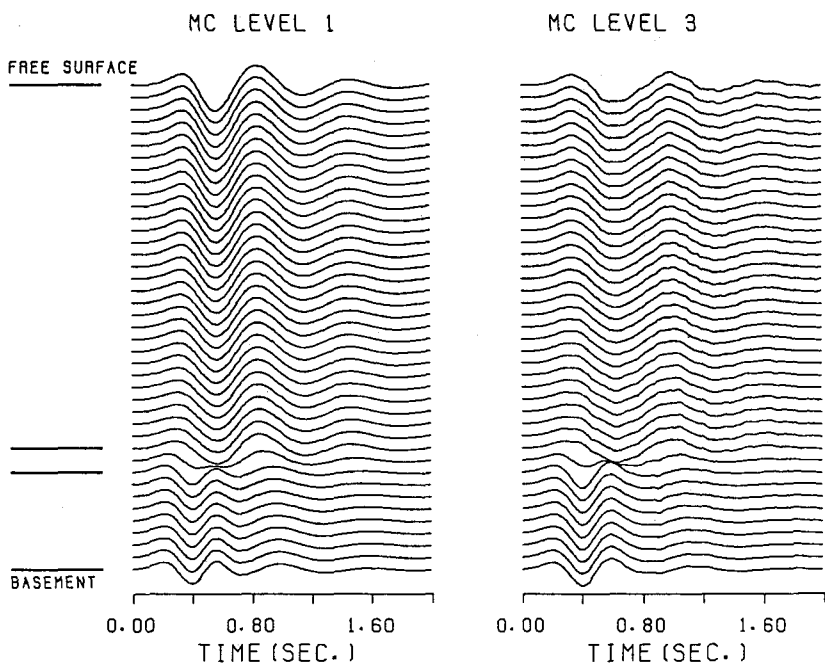


図-5(c) 各深さにおける変位応答 (ケース3)

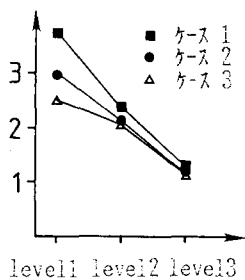
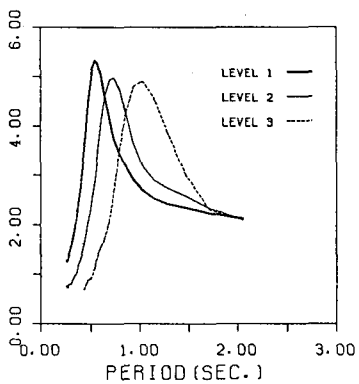
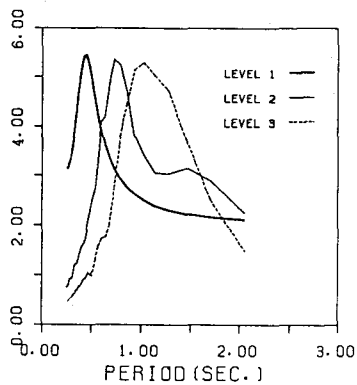


図-6 増幅倍率

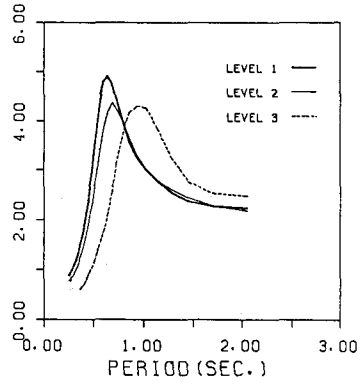


ケース2

図-7 伝達関数



ケース1



ケース3