中間軟弱層が不整形地盤の地震応答に与える影響に関する研究

東北学院大学工学部　学生会員　関場　夕卯子
東北学院大学工学部　千葉　祐樹
東北学院大学工学部　正会員　吉田　望

1　はじめに

一次元の地震では，中間に軟弱層があると，その層のせん断強度が地表の加速度の上限を決める[1)2)]。一次元状態では速度比例減衰項の影響が無視できるとすれば，ある層のせん断応力τとこれより上の慣性力（$m\alpha$：$m=\sigma_v/G$ は質量，αは加速度，σ_v は上載圧，G は重力加速度）は釣合い，式(1)が成立する。

$$\tau_f = ma = \frac{\sigma_v}{G}a \qquad (1)$$

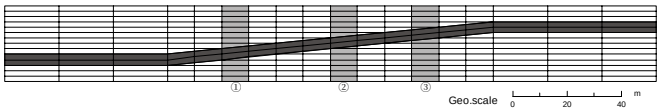
したがって，ある層がせん断強度（に近い値）に至ると，それより上の層の加速度は式(1)から得られる最大値を上限とするようになる。しかし，実地盤では地盤は必ずしも一次元解析の前提としている水平成層であるとは限らない。軟弱な層がレンズ状をしている，傾斜しているなどの不整形があることも多い。地盤が不整形であれば，地震動は鉛直下方から地表に入射するだけではなく，側方から伝播してくることもあるので，一次元の力の釣合を前提にした地震動の上限に関する議論が成立するとは限らない。

筆者の一人は，このようなレンズ状や不整形の地盤の影響をケーススタディにより調べたことがある[3)]。ただし，その際には一つの事例を調べただけであった。本報では，条件を変えたパラメトリックな解析を行い，中間軟弱層の影響を考察する。

2　解析モデル

文献 3)の方法を踏襲し，基本的な地盤構成，力学特性も同じものを用いる。すなわち，解析モデルは図 1 に示すように，レンズ状モデルでは中央部のいくつかの要素（図で塗りつぶした部分）を軟弱層に，傾斜モデルでは中央部に軟弱層を配置する。ここで，レンズ状モデルでは軟弱層の幅を 10m，30m，50m の 3 ケースを設定する。また，傾斜モデルでは，軟弱層の厚さを 4m とし，傾斜角は 2.86，5.71 度の二つのケースを設定する。次に，動的変形特性は，安田らの実験式[4)]を元に，図 2 の様に設定する。その他の力学特性は図 4 に示されている。

(a)　レンズ状モデル



(b)　傾斜モデル

図 1　FEM メッシュの例

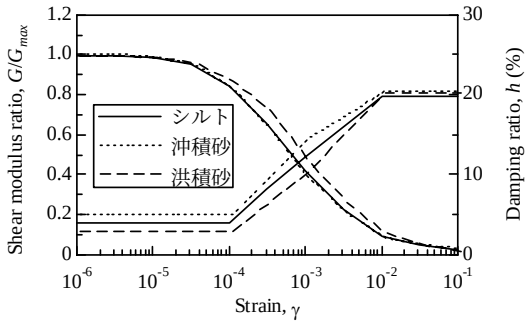


図 2　動的変形特性

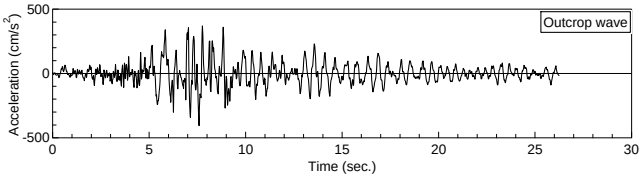


図 3　入力地震動

二次元汎用プログラム STADAS[5)]を用いる全応力非線形解析を行う。応力－ひずみ関係は，図 2 の動的変形特性を完全に満たすことのできるモデル[6)]を用いる。

地震波は，図 3 に示す千葉県東方沖地震の際に東京大学生産技術研究所千葉実験所で観測された地震波を解放基盤複合波として作用させる。

3　解析結果と考察

図 4 にレンズ状モデルの最大加速度分布を示す。図には，一次元解析で軟弱層がないケース（図のシルトと書いた層がない），軟弱層があるケースの結果も示されている。また，二次元解析では中央部の応答を用いている。軟弱地盤のある一次元解析では明瞭な頭打ち現象が見られる。一方，レンズ状のケース

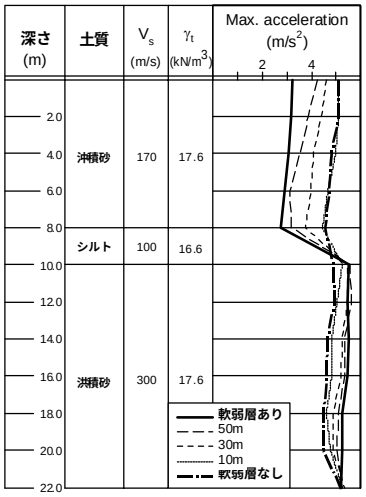


図 4　レンズ状モデルの最大応答値

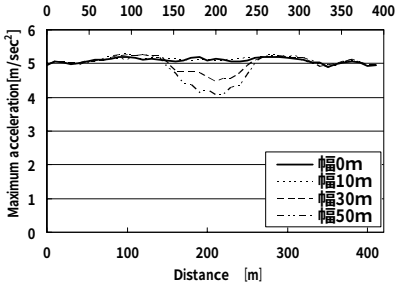


図 5　レンズ状モデルの地表面最大加速度

では，幅が 50m のケースは軟弱地盤のある一次元解析のケースに近く，幅が 10m のケースでは軟弱地盤のないケースに近い。次に，図 5 には各ケースの地表の加速度を示している。加速度の低下が見られているのはレンズ状の中央部だけであり，端部では軟弱地盤なしのケースに近づいている。これらの結果を見ると，レンズ状の端部より 20m 程度の部分は遷移域であり，その内側では軟弱層の影響が現れているといえよう。

次に，図 6 は軟弱地盤の傾斜角 5.71°の代表断面の最大加速度分布である。いずれのケースでの地表の加速度はほぼ同じであり，かつ，軟弱層のあるところで加速度が小さくなっている。従って，これらのケースでは軟弱地盤の存在による頭打ち効果は現れているといえる。図 7 には二つケースについて地表の最大加速度を比較している。二つの傾斜角に対する応答はほぼ同じであり，この程度の傾斜角では頭打ち効果にそれほど影響が現れないことがわかる。

4　おわりに

軟弱地盤の存在に伴う地表の加速度の頭打ち現象が不整形地盤でも現れるかを数値計算で検討した。レンズ状モデルでは端部 20m 程度より内側で, また,

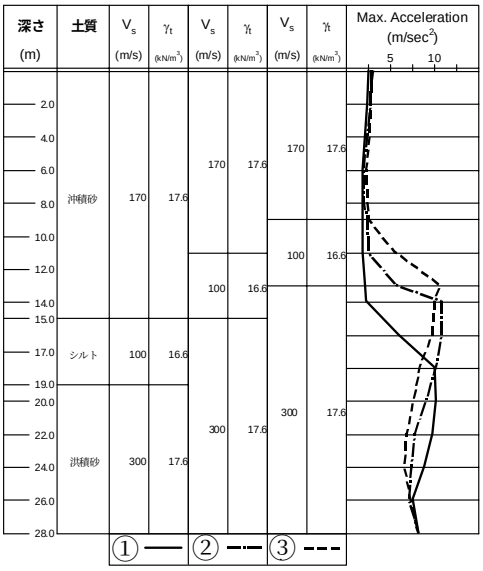


図 6　傾斜モデル（5.71°）の最大加速度

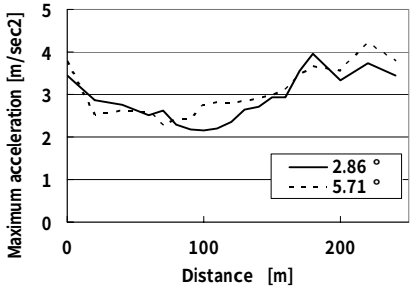


図 7　傾斜モデルの地表面最大加速度

傾斜モデルでは，傾斜角によらず頭打ち現象が発生することが確認できた。

参考文献

1) 吉田望（1994）：実用プログラム SHAKE の適用性, 軟弱地盤における地震動増幅シンポジウム発表論文集，土質工学会，pp. 14-31

2) 末富岩雄, 沢田純男, 吉田望, 土岐憲三（2000）：地震動の上限値と地盤のせん断強度の関係, 土木学会論文集，No. 654/I-52，pp. 195-206

3) 吉田望，安保秀範，安田進，樋口佳意：中間軟弱層のある地盤への一次元地震応答解析の適用性に関するケーススタディ（1999）

4) 安田進，山口勇（1985）：種々の不撹乱土における動的変形特性，第 20 回土質工学研究発表会講演集，pp. 539-542

5) Yoshida, N. (1993): STADAS, A computer program for static and dynamic analysis of ground and soil-structure interaction problems, Report, Soil Dynamics Group, The University of British Columbia, Vancouver, Canada

6) 吉田望，辻野修一（1993）：多次元解析に用いる簡易な構成則，第 28 回土質工学研究発表会平成 5 年度発表講演集，pp. 1221-1224