

地震応答解析による多層系地盤の液状化判定

山口大学大学院 学生会員 ○松尾 晃

山口大学工学部 正会員 山本哲朗 鈴木素之

常盤地下工業(株) 正会員 鶴田泰徳 瀬原洋一

1. まえがき 地盤は何らかの形で構造物と接し、それを支持している。地震動に対する挙動を考える上で、地盤の構成や動的強度・変形特性を知ることは重要である。本解析では、まさ土、シルト、沖積砂および洪積砂からなる多層系実地盤の地震動に対する挙動を調べ、液状化を予測した。以下に本論文の結果と考察を述べる。

2. モデル地盤と入力地震動 解析にあたり、実地盤1および実地盤2をそれぞれモデル地盤1（8m）およびモデル地盤2（12m）とモデル化した（図-1）。また、基盤面はN値30以上の風化花崗岩とした。入力地震動には、図-2に示す模擬地震波である設計用入力地震動レベル1、2を用いた¹⁾。以後これらをL1、L2と呼ぶ。本解析では、L1、L2の最大加速度振幅 a_{max} を 2.0m/s^2 および 4.0m/s^2 に調整したものをそれぞれ地震動として用いた。

3. 間隙水圧蓄積量の算定 各層から採取された不攪乱試料に対する繰返し三軸試験を行った。図-3に示す試験結果から繰返し回数 n ごとの間隙水圧比の上昇量 $(u/\sigma'_{30})/n$ を繰返しせん断応力比 $\sigma_d/2\sigma'_{30}$ の一次関数として近似した。それに原位置の応力状態を考慮して間隙水圧蓄積量 u_m を求めた。なお、まさ土部分に関しては試料不足のため沖積砂の式を適用し、より危険側の解析を行った。

4. 解析手法 モデル地盤の地震応答解析による液状化判定は全応力法による集中質点系モデルを用いた等価線形解析法で行った²⁾。集中質点系モデルはモデル地盤を厚さ1mごとに分割し、各層の質量の半分を土層間の上下境界部に加えたものである。図-4にモデル地盤1の場合を示す。これにニューマークの β 法 ($\beta=1/6$) を適用し応答解析を行った。次に地盤内に生じるせん断ひずみ（せん断応力）が時間に対してゼロとなるごとに、せん断ひずみ γ 、せん断応力 τ および応力比 τ/σ'_{v0} の最大値を各層ごとに求めた。間隙水圧の上昇量は、3.で述べた関係から半周期($n=1/2$)ごとの間隙水圧蓄積量 u_m を算出し、その u_m を時間刻みごとに加算して求めた。時間刻みは $1/200$ 秒とし、継続時間は20秒間とした。液状化の判定は、間隙水圧比が砂層およびまさ土層で1.0、シルト層で0.8まで上昇したときとした。

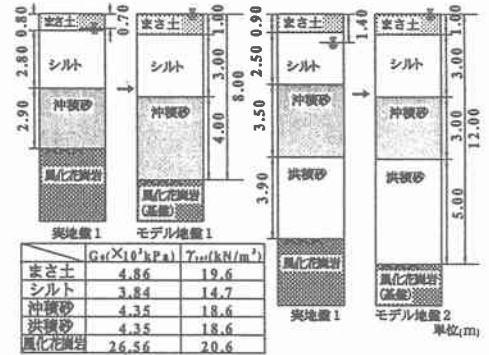


図-1 モデル地盤

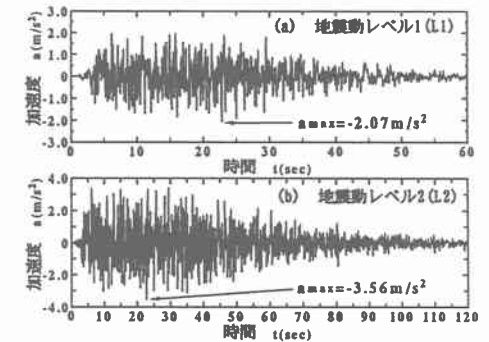


図-2 地震動レベル



図-4 集中質点系モデル (モデル地盤1)

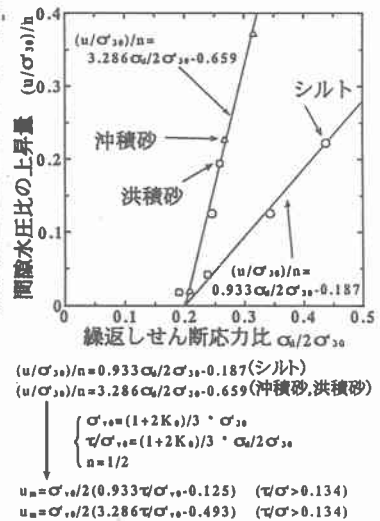


図-3 間隙水圧比上昇量—繰返しせん断応力比関係

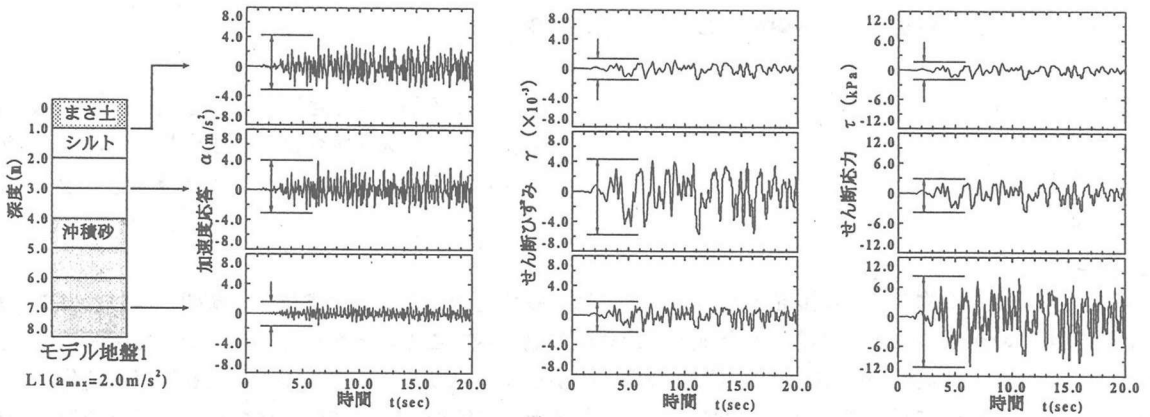


図-5 加速度応答, せん断ひずみおよびせん断応力時刻歴 (モデル地盤1, $a_{max} = 2.0 \text{ m/s}^2$)

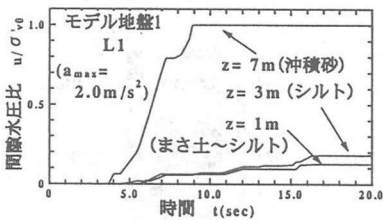


図-6 間隙水圧比時刻歴 (モデル地盤1, $a_{max} = 2.0 \text{ m/s}^2$)

表-1 解析結果

モデル地盤	入力地震動		解析中に最初に液状化が発生した層とその深さおよび時間			解析継続時間中に液状化が発生した層とその深さ	
	レベル	a_{max}	時間 t(s)	深さ z(m)	層	深さ z(m)	層
1	L1	2.0m/s ²	8.91	7	沖積砂層	6~8	沖積砂層
		4.0m/s ²	6.99	7	沖積砂層	1, 5~8	まさ土層～シルト層, 沖積砂層
	L2	2.0m/s ²	8.91	7	沖積砂層	6~8	沖積砂層
		4.0m/s ²	7.00	6~8	沖積砂層	1, 5~8	まさ土層～シルト層, 沖積砂層
2	L1	2.0m/s ²	11.41	10~11	洪積砂層	6~12	沖積砂層, 洪積砂層
		4.0m/s ²	6.97	11	洪積砂層	5~12	沖積砂層, 洪積砂層
	L2	2.0m/s ²	9.32	10~11	洪積砂層	5~12	沖積砂層, 洪積砂層
		4.0m/s ²	6.97	10~12	洪積砂層	1, 5~12	まさ土層～シルト層, 沖積砂層, 洪積砂層

5. 結果および考察 代表例としてモデル地盤1にL1 ($a_{max}=2.0 \text{ m/s}^2$)の地震動を与えたときの加速度応答, せん断ひずみ, せん断応力の時刻歴を図-5に, 間隙水圧比の時刻歴を図-6に示す。図-5より, 加速度応答の振幅はまさ土層~シルト層に比べ沖積砂層で小さく, また, 他の層に比べて, せん断ひずみはシルト層で, せん断応力は沖積砂層で振幅が大きくなった。これは沖積砂層のせん断弾性係数が大きく, シルト層の減衰定数が大きいためと考えられる。図-6より, 間隙水圧比は沖積砂層で著しく上昇し, 液状化が起きた。モデル地盤2においてもほぼ同じ挙動がみられたが, 加速度応答の振幅は洪積砂層で小さく, せん断応力の振幅は洪積砂層で大きくなり, 間隙水圧比はまず洪積砂層で, 次に沖積砂層で著しく上昇し液状化が起きた。表-1にすべての解析結果を示す。液状化までの時間は, 多少差があるものの7~12秒程度であった。両モデル地盤ともに, 地震動レベルの加速度波形の差異によらず, 基盤面のすぐ上方の砂層部分でまず液状化が起き, その後液状化は砂層全体に拡大した。以上の解析結果は, 不攪乱試料の動的試験に基づく解析パラメータを用いていたもので, 実地盤でも有益な知見を与えるものと考えられる。

6. まとめ 本論文のまとめを以下の1)~5)に示す。1) 加速度応答の振幅は他の層に対して, モデル地盤1では沖積砂層で, モデル地盤2では洪積砂層で小さくなった。2) せん断ひずみの振幅は他の層に対して, モデル地盤1, 2ともにシルト層で大きくなった。3) せん断応力の振幅は他の層に対して, モデル地盤1では沖積砂層, モデル地盤2では洪積砂層で大きくなった。4) 間隙水圧比の上昇は, モデル地盤1では沖積砂層で, モデル地盤2では洪積砂層で著しく。両者ともに沖積砂層もしくは洪積砂部分で液状化が初めに発生し, その後ほぼ両砂層全域に液状化が拡大した。5) モデル地盤の解析結果により, 想定される地震動レベルでは実地盤も液状化する可能性がある。

謝辞 試験の実施にあたり御助力頂いた大学院生の松下英次氏に厚く感謝の意を表します。

参考文献 1)日本建築センター:設計用入力地震動作成手法技術指針(案)本文解説編, 1992。

2)山本哲朗:グラベルパイル液状化対策工に関する基礎的研究, 九州大学学位請求論文, pp.95~115, 1986。