

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
 フジタ工業(株) 正会員 奇藤 悦郎
 武蔵工業大学 学生員 〇山崎 晃弘

1. はじめに

液状化現象を伴う地盤の簡易計算法として、地盤ひずみ蓄積量のひずみエネルギーをパラメーターとした等価線形計算法を提案した。1自由度系に置換したモデルに対して、この方法と有効応力解析法を間隙水圧比の上昇について比較すると良く一致することが数値的に確かめられ、本方法の有効性が明らかになった²⁾。本研究では、液状化を伴う地盤の等価線形計算を1層地盤を2自由度系に分割したモデルに適用した場合について考察したものである。

2. 解析方法

解析対象地盤は、図-1に示すような土質定数を持つ1層地盤を2自由度系に分割したモデルである。本解析方法を2自由度系に適用するに当り、各層の動特性を表現するために室内繰返しせん断試験に相当する数値シミュレーションを行う。この方法は、2自由度系を各層ごとに取り上げ、その層に作用する拘束圧を加えた1自由度系として応答計算を行い、その層の動特性を表現するものである。

まず、図-2に示すように拘束圧を考慮した1自由度系に入力波形を与え、有効応力解析法を用いて応答計算を行う。そして、得られた応答波形と入力波形からEK-WG I法を用いて、各層の動特性である等価固有円振動数 ω 、等価減衰定数 β を推定し、地盤の軟化を伴う動特性を表わした。

これらの動特性を示したものが図-3、図-4である。これらの曲線は、様々な入力波形(表-1に示す)に対してプロットした値を1本の曲線で表わしたものである。図-3は ω をせん断弾性係数 G に換算し、せん断ひずみエネルギー Er との関係を示した図である。ただし、多層で表現するために初期せん断弾性係数 G_0 で正規化した G/G_0 を縦軸にとっている。

また、図-4は β と Er との関係を示したものである。ここで、 β の値は各層から明瞭な傾向が表われないため1本の曲線で表現した。図-5は、各層から求められた間隙水圧比 u/σ_v' と Er の関係を示したものである。

等価線形計算においては、2自由度系の応答計算を図-3、図-4

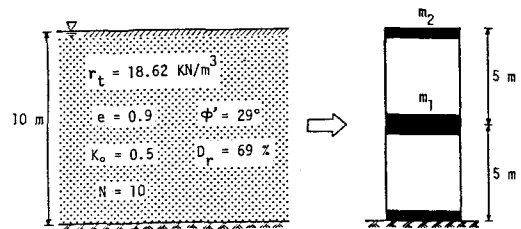


図-1 解析対象モデル地盤

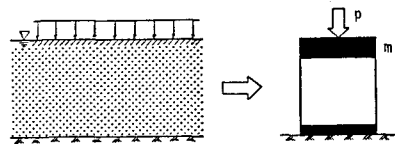


図-2 拘束圧を考慮した解析モデル

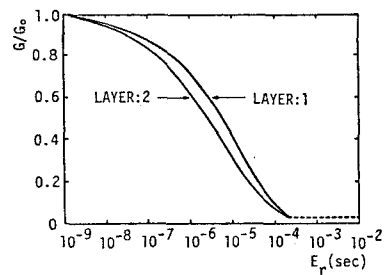


図-3 $G/G_0 \sim Er$ 曲線

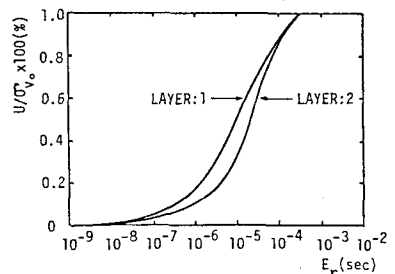


図-5 $u/\sigma_v' \sim Er$ 曲線

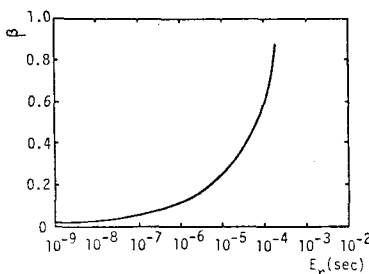


図-4 $\beta \sim Er$ 曲線

を用いて繰返し行い、収斂した E_r の値を図-5に適用し、間隙水圧比を見ることにより、液状化現象の簡易予測を行うものである。

3. 解析例

解析に用いた入力波形は、周波数が $0.01 \sim 5\text{Hz}$ の間で一般的なパワーを有する有帯域ホワイトノイズの最大振幅値を 70 、 90cm/s^2 と調整した波形(記号: $W70$, $W90$)と、最大振幅値が 100 、 200cm/s^2 のホワイトノイズに形状関数を用いて非定常性をもたせた波形(記号: $EW100$, $EW200$)、また、実地震波形として Millikan Library 地震記録 NS 成分(最大振幅値を 100cm/s^2 に修正, 記号: $MILL$)、Managua Nicaragua 地震記録 NS 成分(最大振幅値を 100cm/s^2 に修正, 記号: $NICA$)の計6波を使用した。

ここでは、例題として入力波形 $MILL$ 、経流時間 $T_d = 5\text{sec}$ の場合について行った等価線形計算を示す。初期値を $G/G_0 = 1.0$ 、 $\beta = 0.02$ として計算を開始し、3回の繰返し計算により収斂した。図-6は1層目の収斂状況を示したものであり、このときのせん断ひずみエネルギー E_r は $5.70 \times 10^{-6}\text{sec}$ 、間隙水圧比 U/V_0 は 4% となった。また、図-7は同様の計算を行った2層目の収斂状況を示したものである。このときの E_r は、 $6.69 \times 10^{-6}\text{sec}$ 、 U/V_0 は 27% となった。ただし、収斂したことの判断として、1層目あるいは2層目のどちらか先の層が収斂した時点で収斂したと判断し、繰返し計算を終了した。次に、有効応力解析法により算出したせん断ひずみエネルギーと間隙水圧比は、1層目の E_r が $5.70 \times 10^{-6}\text{sec}$ 、 U/V_0 が 35% 、2層目の E_r が $8.54 \times 10^{-6}\text{sec}$ 、 U/V_0 が 31% となった。同様の計算を他のケースについて行い、まとめたものが表-1である。この表から、等価線形化法による計算と有効応力解析法による計算を比較すると、ほぼ良い対応を示すことがわかる。

4. おわりに

表-1の結果から、等価線形化法と有効応力解析法とはほぼ良い対応を示すことが明らかとなった。従って、多層地盤においても本方法を用いることで、液状化の簡易予測は可能であると思われる。

今後は、さらに異種地盤、多層地盤に拡張することで、より現実的な地盤に対して本等価線形計算法を適用し、解析を行う予定である。

*参考文献

- 1) Finn, W.D.L, 他: An Effective Stress Model for Liquefaction, Proc. ASCE, Vol. 103, No. GT6, 1977
- 2) 星谷 勝, 斎藤 悦郎: 液状化を伴う地盤の等価線形化, 土論集, No. 340, 1983年, 12月
- 3) 星谷 勝, 斎藤 悦郎: 拡張カルマンフィルターを用いた同定問題の各種振動系への応用, 土論集, No. 339, 1983年, 11月

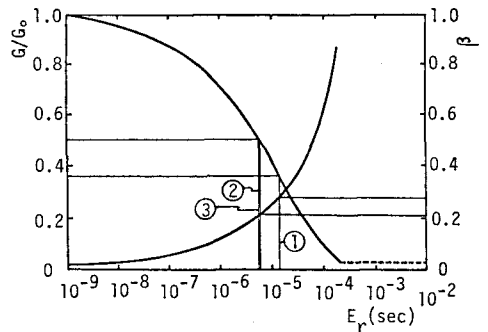


図-6 1層目の収斂状況

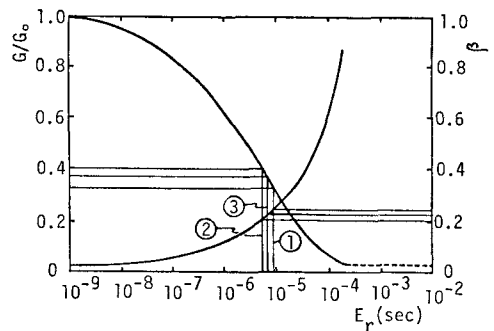


図-7 2層目の収斂状況

表-1 等価線形化法と有効応力解析法との比較

Input Wave	CASE	Td	IT	Equivalent Linearization Method		Effective Stress Method	
				LAYER	E_r	U/V_0	U/V_0
W70	1	6	2	1	6.85×10^{-6}	0.44	5.61×10^{-6}
				2	6.81×10^{-6}	0.27	5.53×10^{-6}
W70	6	4	2	1	5.49×10^{-5}	0.80	6.48×10^{-5}
				2	3.48×10^{-5}	0.64	1.24×10^{-4}
W90	1	4	2	1	1.16×10^{-5}	0.54	1.17×10^{-5}
				2	1.21×10^{-5}	0.37	1.16×10^{-5}
W90	4	6	2	1	8.25×10^{-5}	0.85	9.77×10^{-5}
				2	3.88×10^{-5}	0.66	6.34×10^{-5}
EW100	1	4	2	1	1.29×10^{-6}	0.20	1.19×10^{-6}
				2	8.85×10^{-7}	0.09	9.26×10^{-7}
EW100	4	7	2	1	5.50×10^{-5}	0.80	7.63×10^{-5}
				2	3.92×10^{-5}	0.66	7.55×10^{-5}
EW200	1	7	2	1	5.81×10^{-6}	0.41	5.27×10^{-6}
				2	5.82×10^{-6}	0.25	4.81×10^{-6}
EW200	2	5	2	1	3.44×10^{-5}	0.73	3.92×10^{-5}
				2	3.68×10^{-5}	0.65	4.03×10^{-5}
MILL	5	3	2	1	5.70×10^{-6}	0.41	5.70×10^{-6}
				2	6.69×10^{-6}	0.27	8.54×10^{-6}
MILL	7	4	2	1	1.46×10^{-5}	0.58	1.39×10^{-5}
				2	1.47×10^{-5}	0.41	3.00×10^{-5}
NICA	2	5	2	1	2.11×10^{-6}	0.26	2.39×10^{-6}
				2	2.19×10^{-6}	0.15	2.14×10^{-6}
NICA	4	4	2	1	3.13×10^{-5}	0.71	2.22×10^{-5}
				2	1.90×10^{-5}	0.48	2.21×10^{-5}

Id : time Duration

It : Iteration time