

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
武蔵工業大学 学生員 山崎晃弘

フジタ工業 正会員 斎藤悦郎
武蔵工業大学 学生員 ○ 孔山 暁

1. はじめに

液状化現象の効果的な解析法に有効応力解析法がある。この方法は^(*)1)きの細かく各要因を組み込んだモデル地盤に対する解析法であり、実現象を適確に表現できるものと思われるが、計算が複雑で、影響要因の出力へ与える定量的評価が困難なものとなる。本研究は、地盤応答を支配する物理量として「せん断ひずみエネルギー」を提案した。^(*)4)そしてこの物理量をパラメーターとして、液状化発生過程の複雑な現象を簡化に伴う等価線形モデルで表現した。最後にこの線形モデルを用いれば、等価線形化法により、液状化の予測が可能であることを明らかにした。

2. 応答観測データ

対象地盤は、1自由度系の非排水飽和砂質地盤とした(図-1)。

この地盤に対して、有効応力解析法を用いて、応答観測データを作成

した。入力波形は、0.01~5 Hzの有夢域ホワイトノイズ5本(最大加速度30 cm/sec²; W30 等と記号で示す)、最大加速度振幅100 cm/sec²のホワイトノイズを形状指数を用いて振幅の非定常性を持たせた波形EW100及び実地震波、Millikan Library NScom; R1, Managua Nicaragua NScom; R2, El Centro NScom; R3の計9本とした。これらを入力波形に対して、それぞれ間隙水圧比 u/v_v とせん断ひずみエネルギー Er の関係を図-2に示した。この図から、多少バラツキはあるものの1つの曲線で表され、せん断ひずみエネルギー量を知ることから間隙水圧比を推定できることがわかる。尚せん

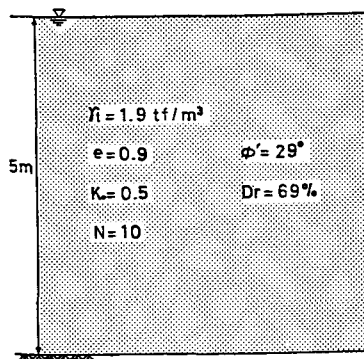


図-1 解析用対象地盤

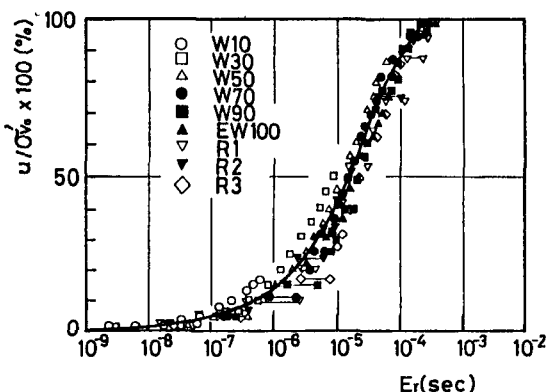


図-2. 間隙水圧比-せん断ひずみエネルギーの経時変化

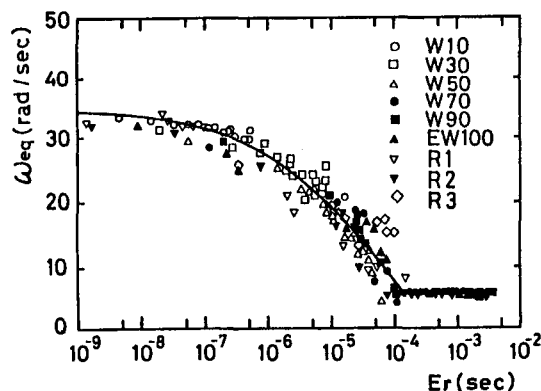


図-3 ω_{eq} - Er 曲線

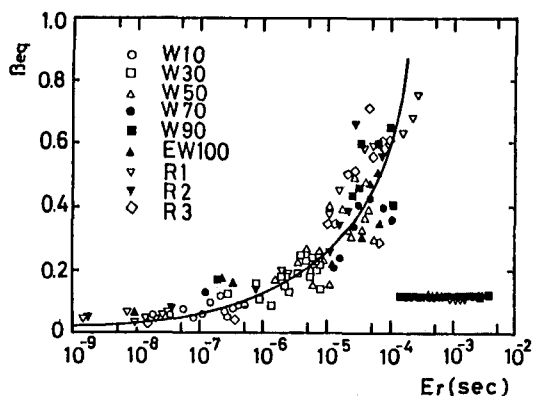


図-4 β_{eq} - Er 曲線

断ひずみエネルギー量は、

$E_r = \int_0^t \delta(t) dt$; $\delta(t)$ は時間 t におけるせん断ひずみ と定義した。

3. 等価線形モデルを用いた地盤の同定

次に観測データを較化に伴う等価線形系の入出力データと見なし、等価線形モデルを構成する特性値である固有円振動数 ω_{eq} と減衰定数 β_{eq} を同定した。同定手法は、制御理論の拡張カルマンフィルタである^{*2), 3)}。同定された特性値は、図-3, 4 に示すように入力波形状特性に関係なく、せん断ひずみエネルギーの関数として表現できることを示している。以上により、等価線形モデルで液状化発生過程の動特性を表現することができた。

4. 液状化の簡易予測法

図-3, 4 及び図 2 の曲線を用い液状化の予測を行なう。まず初期の β_{eq} , ω_{eq} を用いて、継続時間 T_d の入力波形に対する線形自由度系の応答を求め、せん断ひずみエネルギーの蓄積量を算出する。図-3, 4 の曲線から算出されたせん断ひずみエネルギーに対応した ω_{eq} , β_{eq} を求める。これらの値が初期値と異なる場合は、これらの ω_{eq} , β_{eq} を採用して再び同様の計算を行ない、せん断ひずみエネルギーを計算する。図-3, 4 に従い、対応する ω_{eq} , β_{eq} を求める。もし ω_{eq} , β_{eq} が異なるならば、再度同様の計算を収斂するまで繰り返す。以上等価線形化法によって得られたせん断ひずみエネルギー量を用い、図-2 の対応する間隙水圧比を求める。このような方法で継続時間 T_d での液状化予測ができるわけである。図-5, 6 は、それぞれ $W10$, $T_d=15\text{sec}$, $R1$, $T_d=8\text{sec}$ の入力波形に対して、等価線形化法の収斂過程を示したものである。次に本方法の検証のために 18 ケースの入力波形に対して有効応力解析法による時間 T_d でのせん断ひずみエネルギー、間隙水圧比との比較を行なう(表-1)。この表から本方法は、有効応力解析法と良い対応を示すことがわかる。このことから等価線形化法を用いて液状化の予測が可能であることが明白になり、次。

* 参考文献

- 1) Finn, W.D.L, 他: An effective stress model for Liquefaction, Proc. ASCE, Vol. 103, No. GT6, 1977.
- 2) Jazwinski, A.H: Stochastic Process and Filtering Theory, Academic Press 1970
- 3) 星台勝, 斎藤悦郎: 拡張カルマンフィルタを用いた同定問題の各種振動系への応用, 工論集, 投稿中,
- 4) 星台勝, 斎藤悦郎: 液状化に伴う地盤の等価線形化, 工論集, 投稿中,

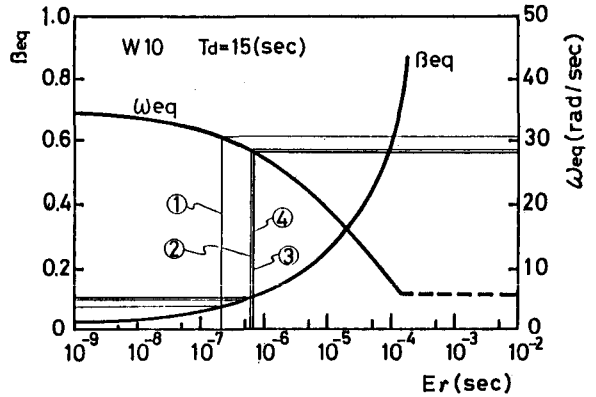


図-5 ω_{eq} , β_{eq} - E_r 曲線 ($W10$, $T_d=15\text{sec}$ の場合)

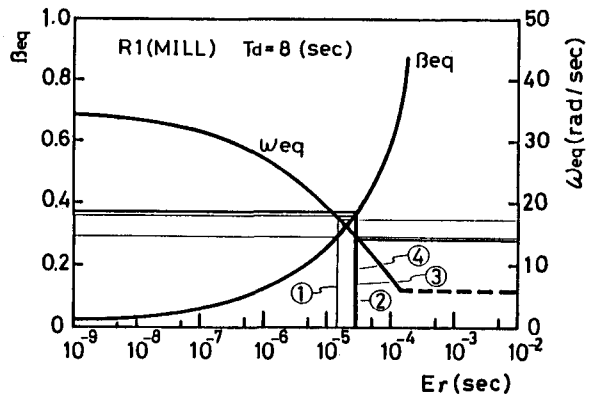


図-6 ω_{eq} , β_{eq} - E_r 曲線 ($R1$, $T_d=8\text{sec}$ の場合)

表 1 等価線形化法と有効応力解析法との比較

Input Wave		Equivalent Linearization Method			Effective Stress Method	
CASE	T_d	IT	E_r Fig- 3, 4	U/σ_v' Fig- 2	E_r	U/σ_v'
W10	5	4	1.88×10^7	0.060	1.67×10^7	0.037
W10	15	4	7.02×10^7	0.110	5.94×10^7	0.163
W30	5	3	1.84×10^8	0.215	1.65×10^8	0.233
W30	15	4	1.08×10^9	0.450	9.45×10^8	0.506
W50	5	5	7.57×10^8	0.345	6.91×10^8	0.384
W50	10	6	3.31×10^9	0.680	3.09×10^9	0.697
W70	2	5	8.83×10^8	0.400	9.90×10^8	0.380
W70	10	6	2.08×10^9	0.990	2.62×10^9	0.996
W90	1	6	6.37×10^8	0.340	8.58×10^8	0.274
W90	6	8	9.18×10^9	0.880	1.11×10^{10}	0.901
EW100	1	4	2.14×10^7	0.068	2.26×10^7	0.060
EW100	6	7	6.80×10^9	0.825	7.42×10^9	0.802
R1	5	6	4.98×10^8	0.310	5.75×10^8	0.267
R1	8	4	3.00×10^9	0.680	5.53×10^9	0.717
R2	1	2	7.23×10^8	0.038	6.01×10^8	0.044
R2	6	6	7.10×10^9	0.840	1.48×10^9	0.936
R3	2	5	1.51×10^9	0.170	4.99×10^8	0.172
R3	10	6	1.00×10^{10}	0.880	7.48×10^9	0.789

T_d : Time duration IT : Iteration Time