

III-37

有効応力法に基づく一次元液状化解析について

榊大林組技術研究所 正員 鳥井原 誠 ○松本 伸
平間 邦興

1. まえがき 従来から行なわれてきた地盤の地震応答解析は、その大部分が全応力法に基づくものであったが、この方法では砂地盤の液状化のように土中の間隙水圧が上昇して地盤が軟化していくような現象を説明することはできない。そのため、最近では土中の間隙水圧の変化を考慮した有効応力法に基づく解析手法が特に注目されてきているのが現状である。この報告は、これらの有効応力解析法の内、Finnら¹⁾の手法および石原ら²⁾の手法の2つをとりあげ一次元液状化解析を行ない両者の比較、検討を試みたものである。解析に必要な入力定数はほとんど全て室内要素試験によって求めたものである。

2. 解析手法 両解析手法ともに、土の非線型性についてはHardin-Drnevichモデルで考慮し、地盤を一次元のせん断型多質点系モデルとして逐次積分法により数値計算するものである。また、間隙水圧蓄積モデルについては、Finnらが体積ひずみモデルを用いているのに対し、石原らは応力経路モデルを用いている。いずれのモデルによる間隙水圧蓄積パラメータも室内の要素試験によって求めることができる。

3. 体積ひずみモデル これは繰返し排水せん断によって生じる体積収縮特性と除荷による体積膨張特性から、発生する間隙水圧を次式で表現するモデルである。

$$\Delta u = \bar{E}_r \cdot \Delta e_{vd} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(Δu : 間隙水圧増分, $\bar{E}_r$: 一次元除荷係数,

Δe_{vd} : 体積ひずみ増分)

例えば、図-1および図-2は、相対密度60%の鬼怒川砂を用いた動的中空ねじりせん断試験機によるひずみ振巾一定排水繰返しせん断試験結果を示したものである。図-1の破線で示すものは、この試験から得られた定数から逆に e_{vd} を求めた計算結果であり、試験結果と良く合っている。なお、この試験の他に一次元圧縮・除荷試験($\phi 10$, $h 20\text{cm}$)も行っている。³⁾

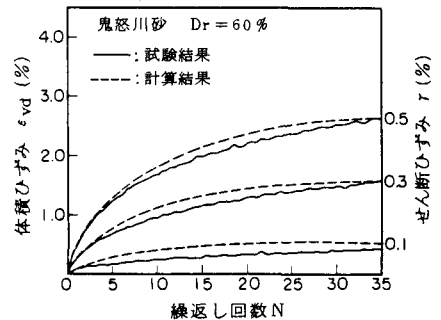


図-1 体積ひずみモデル ($e_{vd} \sim N$)

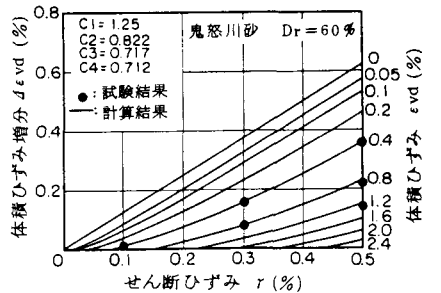


図-2 体積ひずみモデル ($\Delta e_{vd} \sim \gamma \sim e_{vd}$)

4. 応力経路モデル これは飽和砂が非排水状態で繰返し載荷を受けた時の応力経路

を表現するモデルである。例えば、図-3(a)は相対密度60%の鬼怒川砂を用いた振動三軸試験機による応力振巾一定非排水繰返しせん断試験結果を示したものである。また、この試験による応力経路に最も合う間隙水圧蓄積パラメータ(B_p, B_u)お

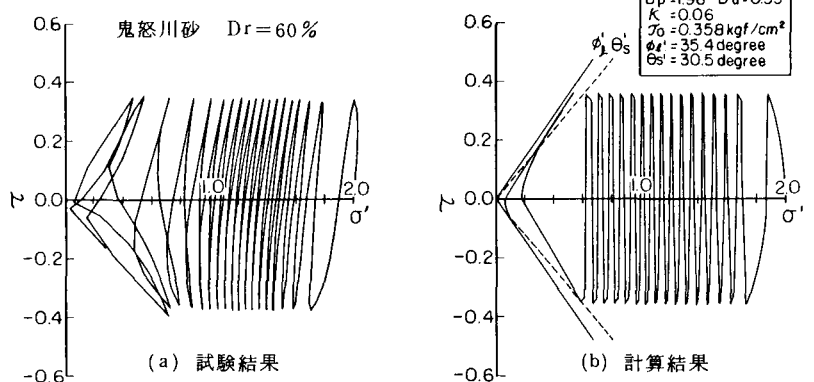


図-3 応力経路モデル (試験結果と計算結果の比較)

よび変相線 (θ_s), 破壊線 (ϕ_s) を求め、モデルに従って計算した結果が同図 (b) である。応力経路が、完全液状化に近づくと、やや両者の間には差がみられるものの、概ね良い対応を示しているといえよう。

5. 解析結果 表-1は今回解析に用いた仮想地盤の土質定数である。解析にあたっては、この他にも間隙水圧蓄積パラメータが必要であるが、これらの全ては、室内の要素試験によって得たものを用いている。ただし、透水係数のみ、その粒度特性から決めている。基盤をG.L.-50mにとり、上層になるほど緩い状態になるようにした。この基盤にE.L. Centro 地震波 (1940年) を 80gal で入力し、解析した結果が図-4および図-5である。図-4は最大間隙水圧比、図-5は最大応答加速度の深度分布を示したものである。図-5では有効応力解析結果の他に間隙水圧を考慮しない全応力解析結果も併せて示している。

図-4の最大間隙水圧比の結果をみると、いずれの解析法でも浅層で液状化が生じており、全体的にはほぼ同様の傾向を示しているが、G.L.-10~20mでFinnらの解析法の方が石原らの解析法よりもやや大きな間隙水圧を示している。この違いは、図-5で全応力解析による最大応答加速度が両解析法とも同様の結果になっていることから、それぞれの間隙水圧蓄積モデルの相異によるものと考えられる。

図-5の最大応答加速度の結果をみると、両解析法とも有効応力解析の方が全応力解析に比べて、応答加速度が小さくなっていることが明らかである。また、有効応力法による両解析結果を比較すると、Finnらの解析法の方が全層に渡ってやや大きな応答加速度を示している。これは間隙水圧の蓄積過程の違いが影響していることはいうまでもない。

図-6は完全液状化に至った4層目で得られた間隙水圧比と加速度の時刻歴を示したものである。Finnらの解析法の方が間隙水圧の上昇がやや速い傾向にあるが、全体的には非常に良く似た結果となっている。

謝 辞 本解析を行うにあたり、東京大学・石原教授にたいへんお世話になりました。記して、深く感謝の意を表します。

参考文献 1) Finn, Lee, Martin : An Effective Stress Model for Liquefaction, Proc. ASCE, GT.6 (1977) 2) Ishihara, Towhata : One-dimensional Soil Response Analysis during Earthquakes Based on Effective Stress Method, Journal of the faculty of Engineering, University of Tokyo (B), Vol. 35, No. 4, (1980) 3) 鳥井原 誠, 平間 邦興, 松本 伸: 有効応力法による一次元液状化解析について、第21回土質工学研究発表会 (1986)

表-1 土質定数

深さ (m)	層区分	土質定数	G_0 (t/m ²)	T_0 (t/m ²)	P_t (t/m ²)	e	k (m/sec)
1	45		3250	2.70	1.89	0.900	1.50×10^{-4}
2							
3							
4							
5	60		8880	6.55	1.92	0.834	1.50×10^{-4}
6							
7							
8							
9	80		11690	8.62	1.97	0.746	1.50×10^{-4}
10							
11							
12							
13			17050	14.08			

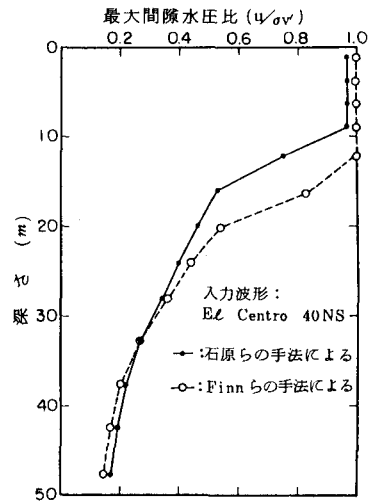


図-4 最大間隙水圧比の深度分布

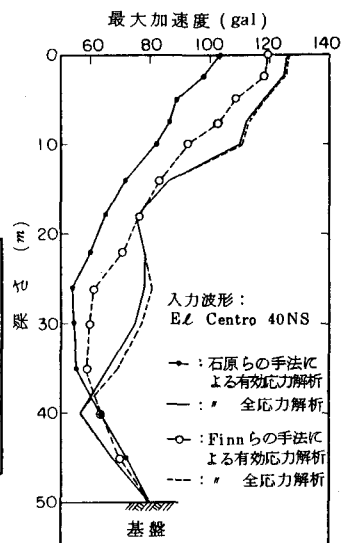


図-5 最大応答加速度の深度分布

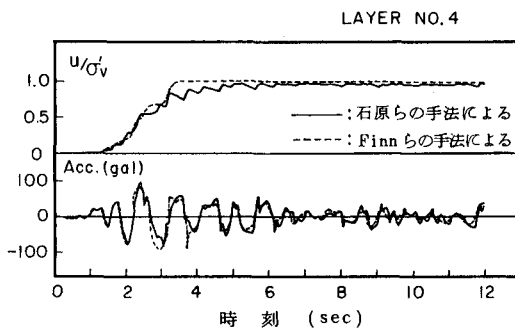


図-6 時刻歴