

佐藤工業株式会社技術研究所 正員 吉田望

原子力室 田中勉, 有沢裕

1. はじめに 本報では、液状化を考慮した地盤の地震応答解析で、せん断応力 (τ)—せん断ひずみ (γ) 関係に Ramberg-Osgoodモデル (R-Oモデル) を用いる手法を示すとともに、Hardin-Drnevichモデル (H-Dモデル) を用いた解析との比較を行う。本報で用いた有効応力解析の手法は、R-Oモデルを用いることを除けば、石原等¹⁾の定式化を用いている。

2. R-Oモデルの定式化 有効応力 (σ'_v) の変化に伴い、微小ひずみでのせん断弾性係数 (G_t)、終局強度 (τ_f) が変化する。これらの関係は次のように表わされる¹⁾。

$$G_t = A \cdot \frac{(B-e)^2}{1+e} \left(\frac{1+2K_0}{3} \sigma'_v \right)^C, \quad \tau_f = c + \sigma'_v \tan \phi$$

ここで A, B, C はパラメータ, e は間隙比, K_0 は静止土圧係数, c は粘着力, ϕ は内部摩擦角である。

R-Oモデルの骨格曲線に原の修正式²⁾を用いることにより、上記の関係を満す定式化を行うことができる。

$$\tau = \frac{G_t \gamma}{1 + (r_f G_t / \tau_f - 1) |\tau / \tau_f|^{r-1}}$$

ここで r_f (破壊ひずみ), r はパラメータである。

3. 解析例 文献3)を参照し、図1に示す地盤を解析する。地震波は図3の加速度波の最大加速度を $1/2$ にし、解析基盤 (GL-5.2m) への入射波に用いる。材料の割線係数 (G) と等価粘性減衰定数 (D) のひずみ依存性は同じく文献3)の砂の曲線を用い、これに対しR-Oモデルのパラメータを、① G/G_0 をなるべく合わせる ② $r=r_f=0.01$ の G/G_0 と D を合わせる、の2つの方法で定める (G_0 は地震前の初期せん断弾性係数)。H-Dモデルの規準ひずみ r_R は $r=0.01$ で G/G_0 が一致するように決める。表1に解析ケース、図2に材料の非線形性を示す。解析の最大応答値を図1に、全ケースで液状化した第4層の応答の比較を図4～6に示す。

4. 考察 1) R-Oモデルに原の修正式を用いることにより、初期せん断弾性係数とせん断強度の時間的变化を考慮した有効応力解析が行える。この方法ではひずみが破壊ひずみを越えるとせん断応力がせん断強度より大きくなり不都合が生じる。しかし、一般にひずみが破壊ひずみを越えるのは完全液状化後であることから、液状化の予測のために用いるような場合はこのような不都合は生じない。

2) HDとRO-1は G/G_0 の差が余り小さくなく、第4層は変相までは似た応答性状をしている。しかし、HDはこの後第2、第3層と続いて変相するのに対し、RO-1は第3層の変相が遅く、以後の挙動にかなりの差が生じている。RO-2はこれらに比べ G/G_0 の差が多く、第2層、第3層が液状化しないなど、応答性状にかなりの差がある。すなわち有効応力解析ではモデル化の差が応答性状に与える影響は全応力解析より大きい。最大応答値では、全応力解析で得られた⁴⁾のと同様、液状化を生じていない層では最大ひずみ近傍までの G/G_0 を大きく評価すると、最大応答加速度、せん断力は大きく、最大応答変位は小さくなる傾向がある。

5. おわりに 液状化の予測のためには実際により近い $\tau-\gamma$ 関係を用いる必要があるが、R-Oモデルの定式化により選択の範囲が広がり、液状化予測の精度の向上が期待できる。完全液状化後は変形が大きくなるが、大ひずみ時の $\tau-\gamma$ 関係はここで示したモデルで充分とは考えられず、液状化以後の挙動の精度を上げるにはこのような点の改良が必要であろう。

謝辞 本研究の遂行に際し、東京大学工学部 石原研而教授から多大の御指導を得ました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) K. Ishihara and I. Tawhata, "One-Dimensional Soil Response Analysis during Earthquakes Based on Effective Stress Method, J. of the Faculty of Engineering, the University of Tokyo (B), vol. XXXV, No. 4, 1980, pp. 655-700
- 2) 石原研而, 木村浩「土木工学大系 8 土質力学」 影国社, 1980
- 3) K. Ishihara and Y. Yamada, Seismic Response Analysis for Soil-Tank system under the Influence of Fluid Motion, Proc. 4th Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics, Edmonton, Canada, vol. 3, 1982
- 4) 田中勉, 有沢裕, 吉田望, 石原研而 「地盤の非線形地震応答に与える応力-ひずみモデルの影響」 土質工学研究発表会, 1983, 提出中

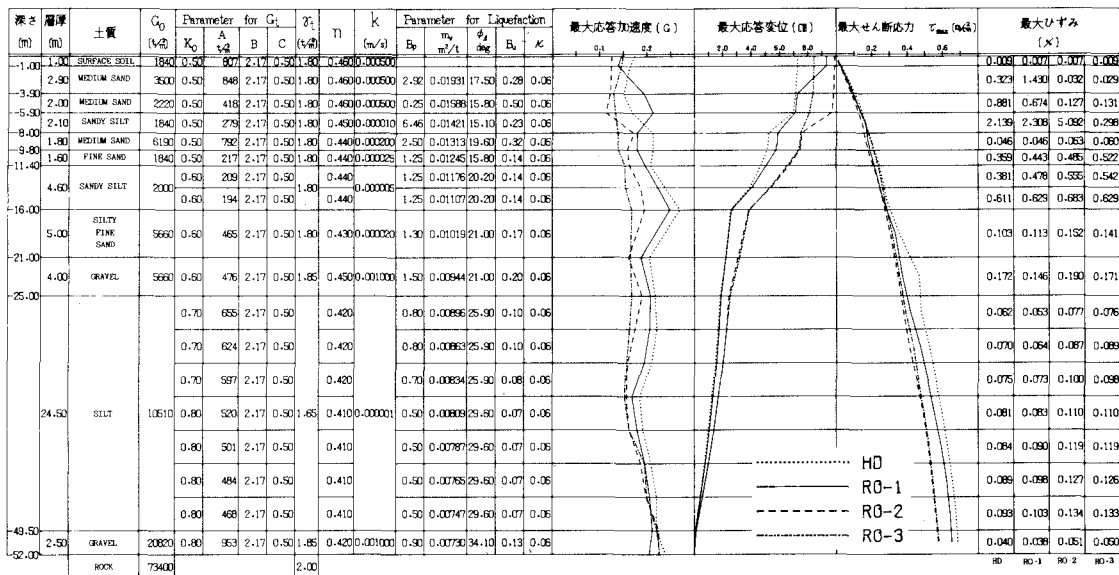


図1 諸定数および最大応答値

n 間隙率
k 透水係数
mv 体積圧縮係数
 γ_1 単位体積重量
 ϕ 変相角
Bp, Bu, κ 液化化パラメータ¹⁾

表1 解析ケースとパラメータ一覧

ケース名	H-D	RO-1	RO-2	RO-3
τ - γ 関係	H-Dモデル	R-Oモデル	R-Oモデル	R-Oモデル
解析法	有効応力	有効応力	有効応力	全応力
τ_h	0.00217	0.00178	0.00326	0.00326
τ_i	—	0.01	0.03	0.03
τ	—	2.829	1.949	1.949
$\alpha = \tau_i / \tau - 1$	—	4.62	8.20	8.20

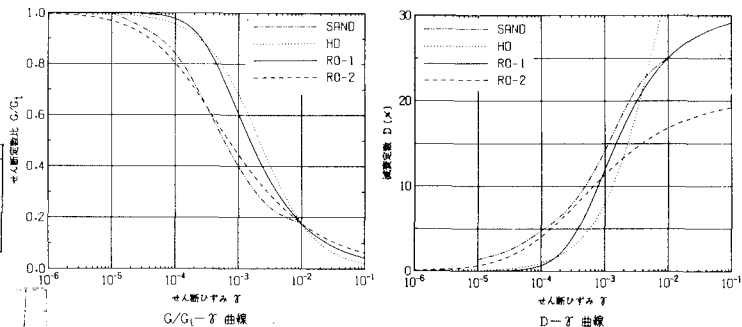


図2 材料の非線形性

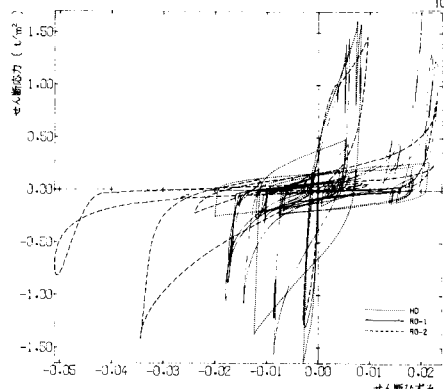


図5 応力-ひずみ関係の比較 (第4層)

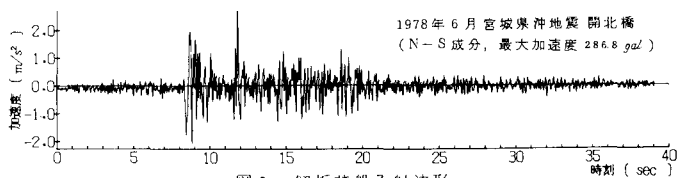


図3 解析基盤入射波形

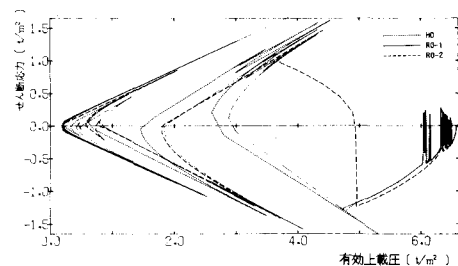


図6 せん断応力-有効上載圧関係の比較 (第4層)

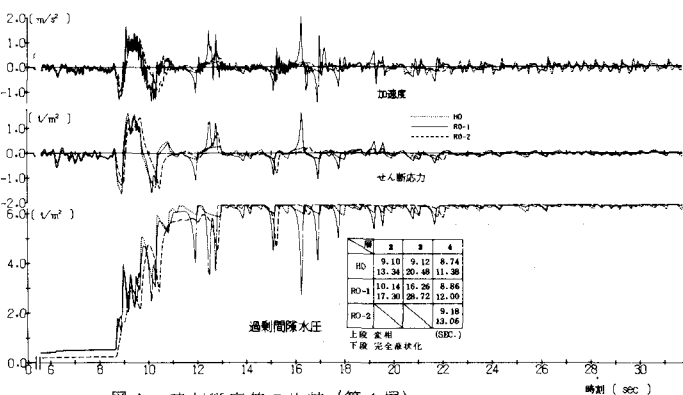


図4 時刻歴応答の比較 (第4層)