

清水建設 大崎研究室 正員 ○ 近藤 司
同 正員 須原淳二

1. はじめに

近年、地盤の応答解析手法としてR-Oモデル、H-Dモデルによる時刻歴非線形解析がしばしば用いられている。これらのモデルにより地盤の非線形特性を決定するためには2~3のパラメータが必要であるが、現実にはこれらのパラメータを高い精度で設定することが困難な場合が多く、また、このことが非線形解析の有用性を低減させていると考えられる。そこで、ここでは非線形モデルとしてR-Oモデルを用いて、R-Oモデルの設定に必要な3つのパラメータの変動が地盤応答に及ぼす影響を確率論的手法を用いて検討した。解析はパートベーション法を用いて行い、モンテカルロ法により解析手法の検証を行った。

2. Ramberg - Osgoodモデル¹⁾

式(1)にR-Oモデルの骨格曲線と履歴曲線および応答解析に用いる骨格曲線の接線剛性 K を示す。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} (1 + \alpha |\tau|^\beta), \quad \gamma - \gamma_0 = \frac{\tau - \tau_0}{G_0} (1 + \alpha \left| \frac{\tau - \tau_0}{2} \right|^\beta), \quad K = \frac{G_0}{1 + \alpha (1 + \beta) |\tau|^\beta} \quad (1)$$

τ, γ はせん断応力, せん断ひずみ, G_0 は初期せん断剛性, α, β は式(2)より設定されるパラメータである。また, τ_0, γ_0 は折れ曲がり点での応力, ひずみを示す。

$$\beta = \frac{2\pi h_{\max}}{2 - \pi h_{\max}}, \quad \alpha = \left(\frac{2}{\gamma_{0.5} G_0} \right) \quad (2)$$

$h_{\max}$ は最大減衰定数, $\gamma_{0.5}$ は規準ひずみである。以上より、R-Oモデル設定に必要なパラメータは初期せん断剛性 G_0 、最大減衰定数 $h_{\max}$ 、規準ひずみ $\gamma_{0.5}$ の3つである。

3. パートベーション法による確率構造問題の解法²⁾

上記の3パラメータを確率変数として、式(3)のように定義する。

$$G_0 = G^* (1 + \varepsilon_G), \quad h_{\max} = h_{\max}^* (1 + \varepsilon_h), \quad \gamma_{0.5} = \gamma_{0.5}^* (1 + \varepsilon_\gamma) \quad (3)$$

添字*は各々のパラメータの平均値を、 $\varepsilon_G, \varepsilon_h, \varepsilon_\gamma$ は平均値0の変動量を示す。式(3)を式(1), (2)に代入し1次の変動量のみを用いて整理すると、接線剛性 K の1次近似は式(4)で表現することができる。

$$K = K^* (1 + b_h \varepsilon_h + b_G \varepsilon_G + b_\gamma \varepsilon_\gamma) \quad (4)$$

ここで、 $b_h = Q[R\{1 + (1 + \beta^*) \ln|\tau|\} + \alpha^* (1 + \beta^*) \ln(2/\gamma_{0.5}^* G_0^*)]$, $b_G = 1 + Q(1 + \beta^*)$, $b_\gamma = Q(1 + \beta^*)$ であり、 $Q = (\alpha^* \beta^* |\tau|^\beta) / \{1 + \alpha^* (1 + \beta^*) |\tau|^\beta\}$, $R = 2 / (2 - \pi h_{\max}^*)$ である。つぎに、応答変位の増分を $\Delta u_t = \Delta u_t^* + X_t^h \varepsilon_h + X_t^G \varepsilon_G + X_t^\gamma \varepsilon_\gamma$ とすると、運動方程式は式(5)の形で各々表現することができる。

$$\text{平均値に関する方程式} \quad M \Delta \ddot{u}_t^* + K_t^* \Delta u_t^* = -M \Delta \ddot{z}_t \quad (5)$$

$$\varepsilon_h \text{に関する方程式} \quad \varepsilon_h (M \Delta \ddot{X}_t^h + K_t^* \Delta X_t^h + b_h K_t^* \Delta u_t^*) = 0$$

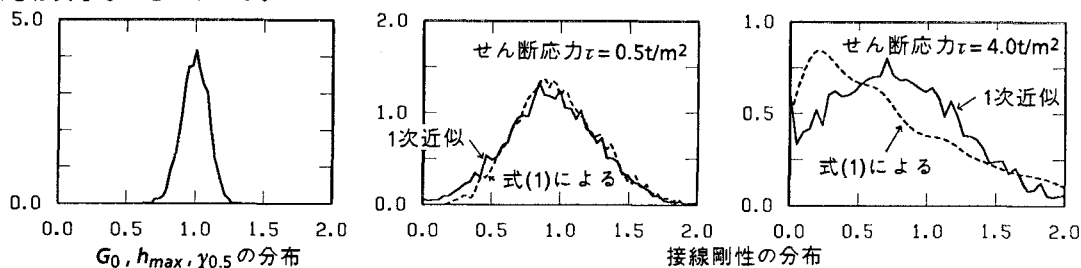
$$\varepsilon_G \text{に関する方程式} \quad \varepsilon_G (M \Delta \ddot{X}_t^G + K_t^* \Delta X_t^G + b_G K_t^* \Delta u_t^*) = 0$$

$$\varepsilon_\gamma \text{に関する方程式} \quad \varepsilon_\gamma (M \Delta \ddot{X}_t^\gamma + K_t^* \Delta X_t^\gamma + b_\gamma K_t^* \Delta u_t^*) = 0$$

4. パラメータの確率密度関数

図(1)に式(3)に示したパラメータの確率密度関数(正規分布と仮定)と式(4)に示した1次近似の接線剛性 K および式(1)の接線剛性 K の確率密度関数を示す。接線剛性 K の確率密度関数は、せん断力 τ を0.5と

4.0t/m²の2ケース設定した。この図より、せん断力 τ が大きくなると式(1)の接線剛性 K 、すなわちパラメータの変動をそのまま評価した確率密度関数は正規分布からはずれてくる傾向を示し、1次近似の接線剛性 K の分布とは異なることがわかる。



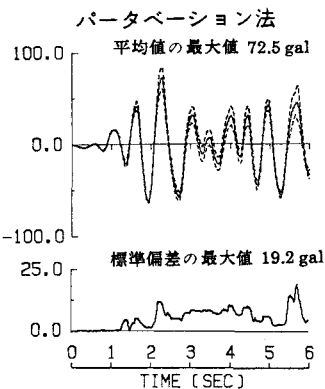
図(1) パラメータの確率密度関数

5. 数値解析例

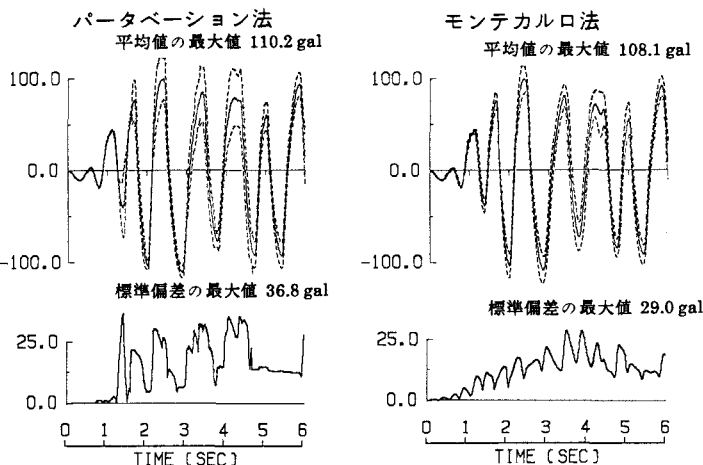
数値解析例として、固有周期0.5秒の1自由度系モデルを取り上げる。図(2)にパートベション法とモンテカルロ法の応答加速度の平均値および標準偏差の時刻歴波形を示す。式(3)のパラメータは互いに独立な正規分布で変動係数はすべて0.1とした。また、モンテカルロ法のサンプル数は500とし、入力地震波はEL-CENTRO, N-S成分とした。

解析は応答レベルの異なる2ケースを行った。ケース(1)は剛性低下率 $G/G_0=0.50$ (入力最大加速度50gal)、ケース(2)は $G/G_0=0.25$ (150gal)である。同図よりつぎのことがわかる。まず、モンテカルロ法とパートベション法の比較より、応答レベルの大小にかかわらず変動量は両者はほぼ同程度であることがわかる。しかし変動量の時刻歴変化には差異がみられる。つぎに応答レベルの大小の比較では応答レベルが大きくなる程、つまり非線形性が大きくなる程応答の変動量が大きくなる傾向にあることがわかる。

ケース(1)



ケース(2)



図(2) 解析結果

6. まとめ

地盤の非線形解析に用いられるR-Oモデルの変動が地盤応答に及ぼす影響をパートベション法を用いて検討できることがわかった。今後は、パラメータの感度解析および観測記録の得られている実地盤に適用していく予定である。

参考文献

- (1)龍岡, 福島「砂のランダム繰返入力に対する応力~歪関係のモデル化について(1)」生産研究第30巻9号, 1978, pp26~29 (2)星谷「確率論手法による構造解析」鹿島出版会, pp66~79