

東北大学工学部 学生会員 ○大村宜孝
東北大学工学部 正会員 柳沢栄司

1. まえがき 地盤材料の非線形性を考慮した地震応答解析としては等価線形解析と非線形解析の2種類がある。本報告では、線形応答解析から求まる最大応答加速度を静的荷重に変換し、弾塑性論に基づく土の構成式に節点外力として載荷しせん断ひずみの大きさに応じて剛性を定め直して再度線形応答解析を行なう等価線形解析法を提案する。又 この解析法の妥当性を検討した上でその計算結果を報告する。

2. 等価線形解析手法¹⁾ 最大応答加速度を①式により、静的荷重に変換する。①式の係数の値を推定するために②式について1自由度1質点系モデルについて非線形応答解析を行なう。

$$m_s = \alpha \frac{m \cdot \ddot{u}_{max}}{g} \quad \text{--- ①}$$

$$u_{max} = \alpha' \frac{m \cdot \ddot{u}_{max}}{g} \quad (\alpha' = \frac{\alpha}{k}) \quad \text{--- ②}$$

ここに、 m_s は節点に働く静的荷重、 m は節点に働く質量、 g は重力加速度、 α, α' は係数 k は剛性

図1はSZN波の周期に対する α' の関係系系の固有周期を変えて解析した結果を示す。図2は6種類の地震波を入力し、系の剛性に対する α' の関係を示す。図1より係数 α' 入力波の周期および系の固有周期の関数になつており、図2よりほとんどの地震波に対して点線²⁾示した平均的な値として扱うことが可能であり、ある振動系が定めれば地震波の如何にかかわらず近似的に α' の値はほぼ等しいと考えることができる。

静的載荷における盛土の変形性状を表現する構成式として③~④式²⁾に示す平均の構成式を用いる。降伏関数および破壊線は以下のとおりである。

$$f = J_2 + I_1^2 + \sigma I_1 = 0 \quad \text{--- ③} \quad \delta = \phi_1 T_{ij}^{(p)} \dot{\epsilon}_{ij}^{(p)} + \phi_2 T_{ij}^{(p)} \quad \text{--- ④}$$

$$F = \sqrt{J_2} + I_1 - k = 0 \quad \text{--- ④} \quad \dot{k} = \lambda_2 T_{ij}^{(p)} \dot{\epsilon}_{ij}^{(p)} \quad \text{--- ④}$$

ここに J_2 は偏差応力 T_{ij} の2次不変量、 I_1 は応力 T_{ij} の1次不変量、 ϕ, k は硬化パラメータ、 ϕ, λ_2 は硬化パラメータの速度、 $\dot{\epsilon}_{ij}^{(p)}$ はひずみ速度、 $\phi_1, \phi_2, \lambda_2$ は材料定数

本研究の等価線形解析手法は以下に示すとおりである。線形応答解析を行なり各節点の \ddot{u}_{max} の①式を用いて静的荷重に変換を行なう。変換された静的荷重を節点外力として構成式を用いて静的解析を行なり、求まるせん断ひずみの④式を用いて各要素の剛性を定め直す。新たな剛性より再度、線形応答解析を行なり求まる最大変位と静的解析より求まる変位が収束するまで

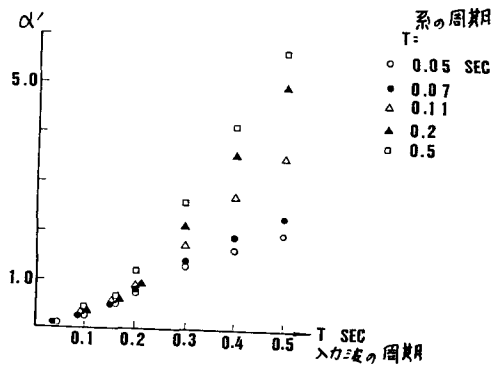


図1 入力波の周期と α' の関係

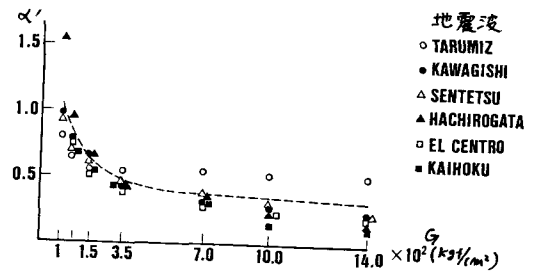


図2 地震波入力における系の剛性と α' の関係

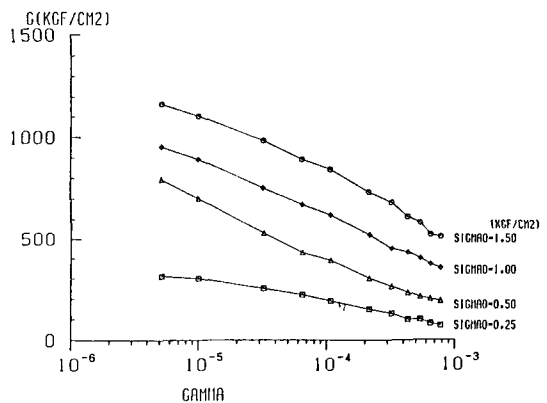


図3 せん断弾性係数~せん断ひずみ

計算をくり返す。③～④式の材料定数は次のように与える。

$$\beta = 0.052, \quad \phi_1 = 25.06, \quad \phi_2 = 8.38$$

$$\xi = 0.37, \quad \nu_2 = 0.2, \quad \kappa_0 = 0.0, \quad \delta_0 = 0.312$$

以上の等価線形手法の構成をフローにして図4に示す。

3. 計算結果

モデルは、19節点22要素の盛土モデルを考へる。(図5参照) 各近似における応答計算から求まる最大変位 U_d と静的解析から求まる変位 U_s の比を縦軸にして図6に示す。第1近似において静的解析の変位は応答計算に比較して小さな値を示しており、近似が進むにつれ両者が収束する傾向にあり、第4近似ではほぼ収束が終了してゐると言へる。非線形応答解析と等価線形解析との比較を行なう。盛土頂部部の第1, 第5近似及び非線形計算の応答変位, 応答加速度を図7, 図8に示す。図面上LZNEAR(M)と書いてあるのはM近似における応答計算の結果を示す。第1近似と第5近似を比較すると剛性の低下のため応答値の増加が顕著に表われており、さらにモデルの固有周期の増加のため応答波形が長周期になつてゐる。第5近似と非線形計算を比較すると最大応答変位でその差が約10%, 最大応答加速度でその差が約15%とかなりよい一致度とみることができ、応答波形は長周期の波形になつており、等価線形解析によつて時々刻々の応答値を表すことができたりものと考へられる。

4. まとめ |自由度|質点系モデルで求めた係数を用いて二次元等価線形応答解析を行なうことにより非線形応答解析とかなりよい一致度を得ることができ、モデルの要素を拡大しても本手法は有効であると考えられる。さらに間隙水圧発達モデルも組み入れることが可能である。

- 参考文献) 1) 柳沢, 大村「宮城県沖地震における全地盤土の被災の形態と地震応答特性, 地盤と基礎の地震災害に関する2004年論文集, 55p.5
2) 平井, 加藤「弾塑性構成による地盤の変形解析」, 土木学会東北支部技術研究発表会論文要覧(1983)

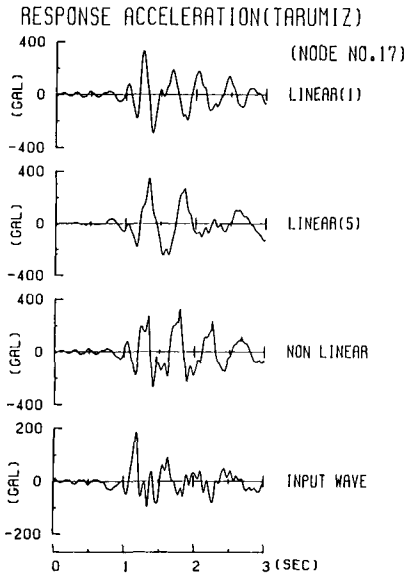


図7 応答加速度

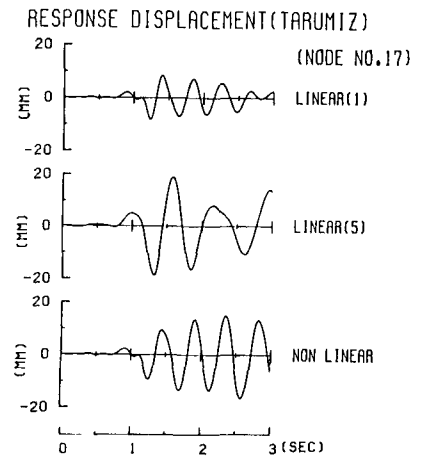


図8 応答変位

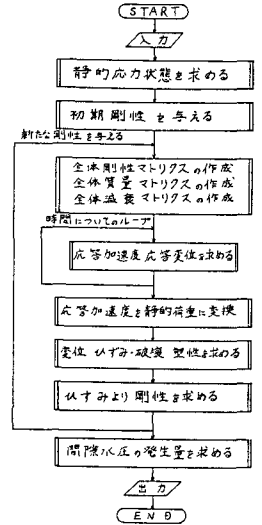


図4 フローチャート

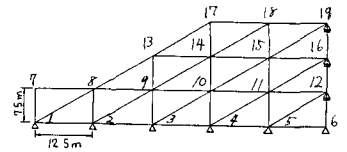


図5 要素分割

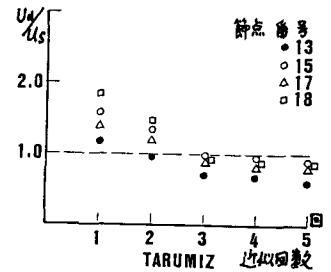


図6 U_d/U_s の変化