

地震時における飽和砂地盤の等価線形化法による有効応力解析

九大工学部 正 山内豊隆 東海大工学部 正 矢動正幸
 〃 学 橋詰順一郎 北九州市 正 村本政行
 〃 学 釜瀬敬寿 〃 正 須沢広則

1. まえがき

現在までに、飽和砂地盤の液状化を考慮した応答解析法として、種々の構成則を用いて、土の非線形モデルに基づく有効応力解析が行われてきたが、これらの解析には膨大な計算量を必要とするため、多次元への拡張、及び実用化が阻害されているように思われる。本研究は、有効応力法における解析手法の簡略化と計算時間の短縮化、さらに2次元問題への拡張を容易にすることを目的としている。

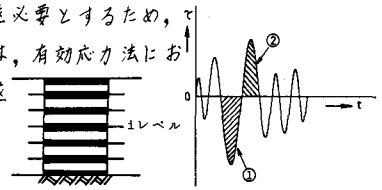


図-1 解析モデル 図-2 土中のせん断応力概念図

2. 液状化解析の簡便法としての等価線形有効応力解析の開発

2-1. 解析手法

ここでは、直接積分による集中質量法を用いており、土の非線形性モデルは、Modified Hardin-Drnevich モデル¹⁾である。この解析手法によれば、図-1に示す水平な飽和砂地盤の地震時の挙動は次のような運動方程式で表わされる。

$$M_i \ddot{u}_i + \tau_i - \tau_{i-1} = -M_i \ddot{u}_0$$

M_i : iレベルでの質量, τ_i : iレベル直下の要素iのせん断応力, τ_{i-1} : iレベル直上の要素i-1のせん断応力, \ddot{u}_i : iレベルでの質量に対する加速度, \ddot{u}_0 : 差盤での加速度

解析対象地盤は層厚30mの単層地盤で、この地盤に最大加速度0.1GのEl Centro波を入力し、初期せん断剛性率はRichart式²⁾を用いて決定した。なお間隙水圧上昇量の算定には、最もデータの豊富なSeedらの式³⁾を使った。 τ/σ' と液状化回数 N_e との間には、 $N_e = 2.035(\tau/\sigma')^{1.7}$ の関係があるとし、図-2の半波長①で生じた間隙水圧が次の半波長②で剛性を低下させるとともに、履歴減衰の上昇を伴うものとする。本法では、剛性の低下をひずみによるものとする有効応力の減少によるものと独立であるとして取り扱い、初めに等価線形解析によりひずみ依存の定数を決定し、その後ひずみによる定数の変更はないものとして、間隙水圧の上昇に伴って変化させる。図-3に解析手法のフローチャートを示す。

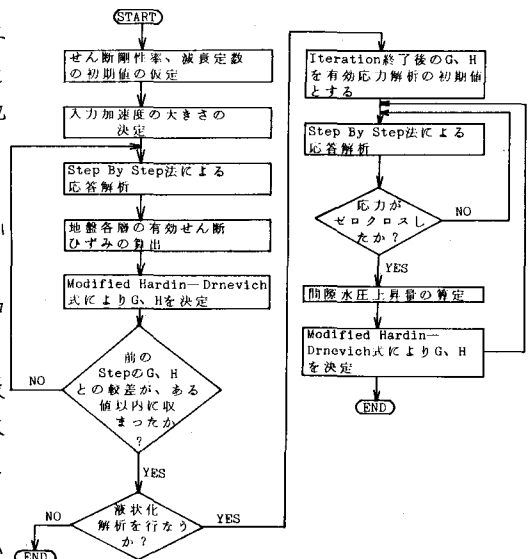


図-3 解析手順のフローチャート

2-2. 解析結果

図-4に地表面での応答加速度の時刻歴を示す。最上層において、有効応力法による液状化現象が生じ、

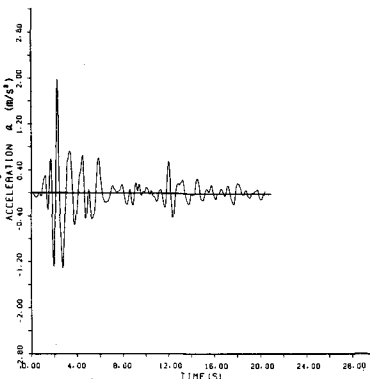


図-4 地表面での応答加速度時刻歴

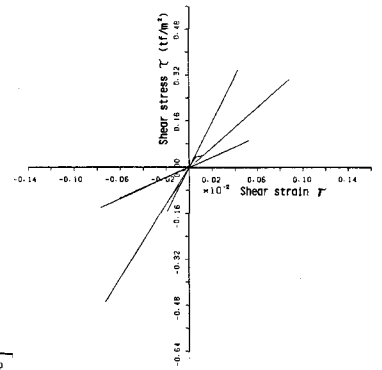


図-5 表層付近での応力-ひずみ関係

せん断波の伝播が妨げられたため、6枚付近を境に応答値が下がっている。図-5は、表層付近(地下1.5m)での応力-ひずみ関係である。せん断応力がゼロクロスするごとに、間隙水圧が上昇し、剛性が低下している現象をよく表わしている。

3. 本法の2次元問題への適用

3-1. 解析手法

有効応力解析の2次元問題への拡張のために、2-1で示した解析法をFEM解析に適用した。特にここでは、コンクリート杭を入れた場合の液状化に対する影響について調べた。今回の解析対象地盤を図-6に示した。入力は2-1の場合と同様に、最大加速度 $0.1g$ のEL Centro波とし、初期せん断剛性率も、Richart式を用いて決定した。また、杭は全て一辺の長さが1mの四角柱であり、そのヤング率は $E_c = 2 \times 10^4 \text{ t/cm}^2$ 、ポアソン比は $\nu_c = 0.25$ とした。ただし杭間隔が3mであるため、杭の曲げ剛性EIが正しい値を保つように、杭のヤング率を $1/3$ に落した。

3-2. 解析結果

図-7(a), (b)に間隙水圧比 U/σ_v' のコンター図を示した。

(a)の杭が無い場合、コンターはほぼ水平に分布しており、上層ほど間隙水圧の上昇量の割合が大きくなっている。これに対して(b)の杭が有る場合は、杭付近の地表面近くでは杭の無い場合に比べて、間隙水圧の上昇量の割合が小さいが、中間の層では逆に大きくなっている。さらに杭の内側では、 U/σ_v' の最大値が88%程度で杭を入れない場合に比べて低い値になっている。杭から離れた所では、杭が無い場合、有る場合共に、ほぼ同じ分布をしている。次に、図-8(a), (b)はそれぞれ杭が無い場合と有る場合の図-6のA点での応答加速度の時刻歴である。(b)に比べ(a)は全般的に応答値が低く、間隙水圧上昇量の影響が出ている。最後に図-9(a), (b)は応力-ひずみ関係を図-6のB点で求めたものである。両図を比べてみると、ひずみで1桁違っており、ここでも間隙水圧上昇量の影響が現われている。

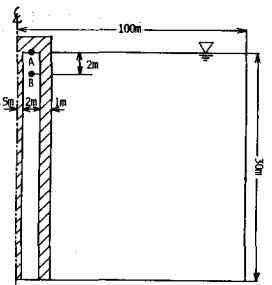


図-6 解析対象地盤

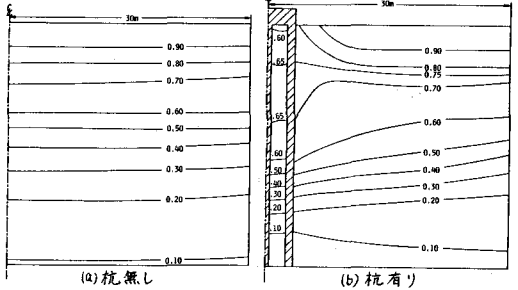


図-7 U/σ_v' コンター図

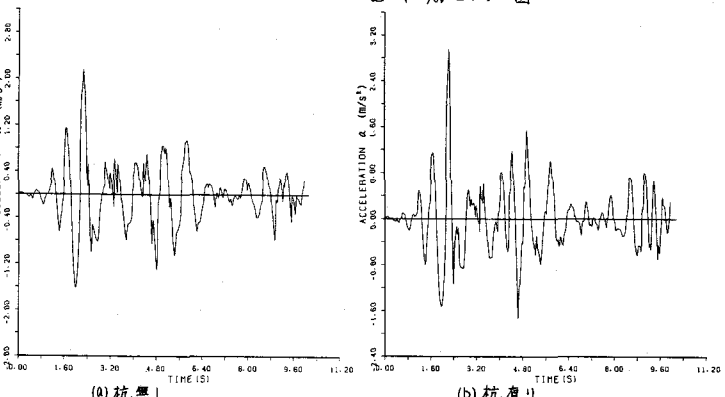


図-8 A点での応答加速度時刻歴

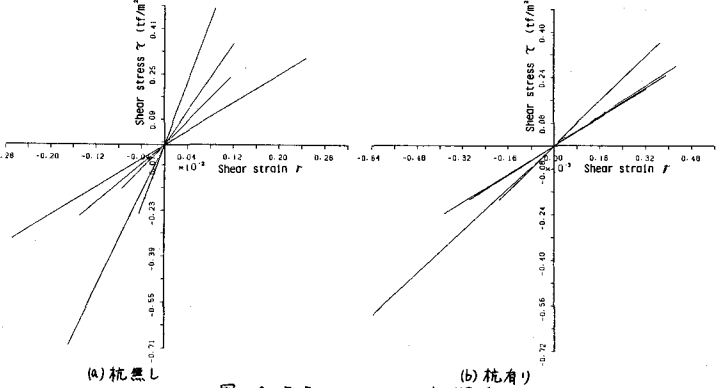


図-9 B点での応力-ひずみ関係

参考文献：1) 国生ほか：第33回土木学会年次学術講演会講演概要集，Ⅲ，PP114-117，1978，2) Richart, et al, Vibrations of Soil Foundations, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1970, 3) Seed, et al, Proc. ASCE Vol. 103, No. GT7, PP757-768, July, 1977, 4) 兵動ほか：第33回土木学会年次学術講演会講演概要集，Ⅲ，PP203-204，1978