

1 はじめに

1995 年兵庫県南部地震を契機として, 土木構造物で性能設計が導入される様になった。地中構造物等ではこれは地盤の変位の予測が要求されることになる。特に液状化が発生する可能性のある地盤においては, マンホールの浮き上がりなど, 過剰間隙水圧の発生によって生じる被害はあるものの, どちらかというと例外的で, 杭, 地中線状構造物など, 地盤の変位に伴って被害を受けるケースが多い。このようなことを考えると, 液状化以後の挙動を精度よく予測することは重要である。

YUSAYUSA-2¹⁾は日本では非常によく用いられる有効応力に基づく地震応答解析(液状化解析)プログラムである。このプログラムは, 単に地盤の液状化の発生予測のみならず, 最近では液状化時の杭の照査などにも用いられている。本論文ではこれを変位予測という観点から改良することを試みる。

2 YUSAYUSA-2 の特徴

YUSAYUSA-2 は, 元の YUSAYUSA²⁾に, 応力-ひずみ関係や応力経路などの適用性を広げたプログラムである。基本的には非排水状態における土の挙動を対象とした応力-ひずみ関係のモデル化が行われ

ている。

オリジナルでは, せん断応力 τ -せん断ひずみ γ 関係骨格曲線には双曲線モデルを用いている。

$$\tau = \frac{G_0 \gamma}{1 + \gamma / \gamma_r} \quad (1)$$

ここで G_0 はせん断弾性係数, γ_r は基準ひずみでいずれも有効上載圧 σ'_v の関数として表されている。

また, 応力経路(σ'_v - τ 関係)は, 非排水状態の経路を図 2 に示すようないくつかの経路で表したものである。ここで, B_p , B_u は材料に固有のパラメータ,

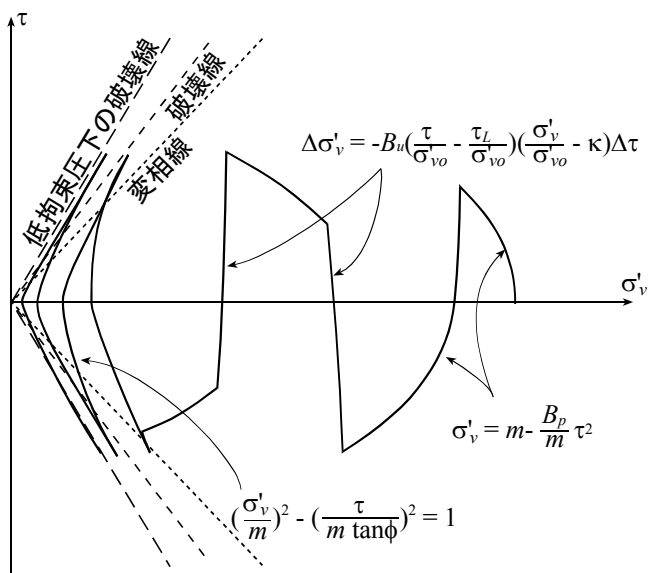


図 2 YUSAYUSA の応力経路

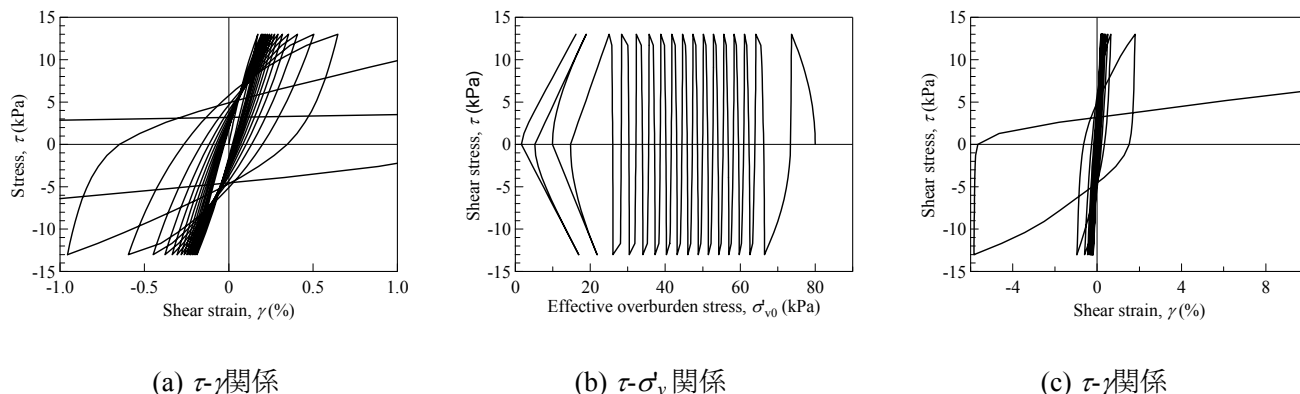


図 1 YUSAYUSA の応力-ひずみ関係と応力経路の例

液状化, サイクリックモビリティ, 応力経路

〒985-8536 多賀城市中央 1-13-1 Te. 022-368-7193

m は経路が連続するように決めるパラメータである。

図 2 は液状化強度試験のシミュレーション例である。図 2 (b)は応力経路で、载荷に伴い、有効応力が低下していく様子、サイクリックモビリティにより耐力が回復したりする様子などが表現されている。また、図 2(a)の応力-ひずみ関係を見ると、過剰間隙水圧の増加に伴い、ひずみが次第に増加している様子が表現されている。

ところで、図 2(c)は(a)より大きいひずみ領域で作図したものである。すると、ひずみは-6%付近で反転した後、急激に大きくなる。このような挙動は、この例に限らず、YUSAYUSA で一般的に見られる現象である。そして、その挙動は液状化強度試験で見られるようなサイクリックモビリティに入ってもひずみが次第に大きくなっていく挙動とは異なる。すなわち、YUSAYUSA は液状化の判定という意味では精度があるが、液状化以後の挙動の再現性は劣るといえる。

このような挙動が発生する原因は、YUSAYUSA で用いられている応力経路にあると考えられる。すなわち、YUSAYUSA では変相線を超えると、载荷時には微小ひずみに対応する破壊線に漸近する双曲線、除荷時は双曲線に漸近する直線で挙動するため、変相線を超えると有効応力が急激に小さくすることに起因している。

3 YUSAYUSA 改良の方向

サイクリックモビリティを超えてからの急激な有効応力を避けるために、除荷時に双曲線の接線という条件を、 σ'_v 軸上で変相後のひずみの蓄積量の関数として決まる値 σ'_a を通るように決めた³⁾。すなわち、

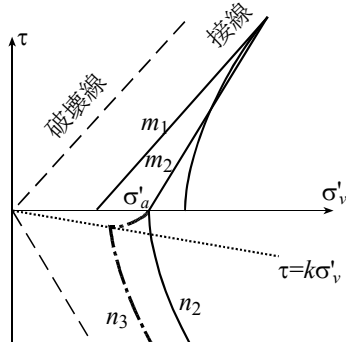


図 3 応力経路の追加

除荷点の座標を (σ'_v, τ) とすると経路は

$$\tau = \frac{\sigma'_v - \sigma'_a}{\sigma'_R - \sigma'_a} \tau_R \quad (2)$$

と表される。また、

$$\sigma'_a = \sigma'_p + \left(\frac{x}{1 - x/(\sigma'_m - \sigma'_p)} \right)^n \quad (3)$$

である。ここで、 $s'p$ は変相線を超えた直後に直線が向かう有効上載圧で通常は変相線を超えたときの有効上載圧、 $s'm$ は最小の有効上載圧で、YUSAYUSA では $0.03\sigma'_v$ を目安としている。

この改良により、変相線を超えた後にも次第にひずみが大きくなる様子は再現できるようになった。しかしながら、液状化時にせん断応力が 0 の付近で大きくひずみが増加する現象は再現できていなかった。これは、除荷時の経路のみを改良しただけであるのが原因と考えられる。そこで図 3 に示すように改良の方向を考えた。すなわち、図の m_1 はオリジナルのモデル、 m_2 は σ'_a を通る新しい除荷曲線であるが、これに対して、その延長に $\tau=k\sigma'_v$ なる直線を考え、これにあたるまでは m_2 を曲線として延長し、その後放物線となる経路を考える。これにより、载荷領域でせん断応力が余り変わらないで有効応力が減少するので、流れる領域が表現できると考えられる。 k の値は 0.03 程度が適当と考えられる。

4 まとめ

YUSAYUSA-2 液状化後のひずみの精度を上げるための経路を提案した。今後、このモデルの有効性をケーススタディにより検証していきたい。

参考文献

- 1) 吉田望, 東畑郁生: YUSAYUSA-2・SIMMDL-2 理論と使用法, <http://www.civil.tohoku-gakuin.ac.jp/yoshida/computercodes/eqcode.html>
- 2) Ishihara, K. and Towhata, I. (1980): One-dimensional Soil Response Analysis during Earthquake Based on Effective Stress Method, Journal of the Faculty of Engineering, Vol. XXXV, No. 4, The University of Tokyo, pp. 656-700
- 3) 阿部聡太, 吉田望 (2010): 有効応力解析のための構成モデルの改良, 平成 21 年度土木学会東北支部研究発表会講演概要集, Paper No. III-10