

1 はじめに

YUSAYUSA-2¹⁾は液状化の解析に広く用いられている有効応力に基づく次元地震応答解析プログラムである。このプログラムは、液状化の発生までは比較的精度よくシミュレーションすることができるが、後に述べる理由により液状化付近以降の挙動の再現という観点では、不備な点が見受けられる。

一方、液状化解析の使い方を見ると、昔は、液状化発生の予測が主要な目的であり、液状化が発生すると予測されれば、地盤改良などを行い液状化を発生させないようにするというのが主要な考え方であった。しかし、土木分野では 1995 年兵庫県南部地震で土木構造物に大きな被害が発生したのを契機として設計用の地震動が大幅に引き上げられ、例えば道路橋示方書²⁾では液状化判定用の地表の震度は 3 倍以上に引き上げられた。このような大きな地震動の元では、液状化を発生させないような地盤改良には多大な費用が発生し、現実的でなくなることも起こるようになった。このような場合には液状化の発生を許容し、それでも構造物には被害が発生しないようにする、いわゆる構造的対策というのが重要な考えになってきた。また、新しい指針以前に作られた構造物の耐震照査にも液状化の発生以後の挙動を知る必要がある。

そこで、本論文では YUSAYUSA を液状化の発生の挙動を追跡できるような試みの一つを紹介する。

2 YUSAYUSA の応力経路と問題点

図 1 に YUSAYUSA の応力経路の模式図を示す。YUSAYUSA ではこの図に示されるような応力経路を指定することによって過剰間隙水圧の発生と有効応力の現象を表現するのが特徴となっている。

この応力経路では、載荷の初期では正負で別々の降伏局面（原点を通る直線）を定義し、載荷時、除

荷時で異なる式を用いて経路を設定している。この際の過剰間隙水圧の発生量を制御しているのは、 B_p 、 B_u という二つのパラメータで、それぞれ、載荷時、除荷時の応力経路を規定している。

これに対して、応力経路が変相線を超えると、載荷に対しては応力経路は破壊線（モール・クーロンの条件）を漸近線とする双曲線となる。そして、除荷時には、その接線を応力経路とする。このため、応力点の変相線を超えると、せん断応力が 0 付近における有効上載圧は急激に低下する。このため、ひずみの発生も急になり、サイクリックモビリティに相当するような挙動はあまり見ることができない。

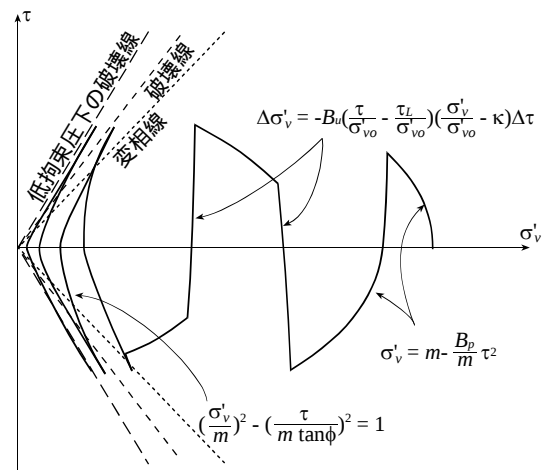


図 1 YUSAYUSA の応力経路模式図

例えば、図 2 は応力 - ひずみ関係と応力経路の計算例であるが、応力 - ひずみ関係は図の○の地点でひずみが少し急に大きくなり、その後、急激に大きくなっている。また、せん断応力が 0 の付近の流動の現象、さらには、ひずみが大きくなったところで急激にせん断応力が回復する、いわゆるサイクリックモビリティの現象は見ることができない。一方、応力経路を見ると、先に説明したように、応力経路が変相線を横切ると応力の現象は著しく、図の○の

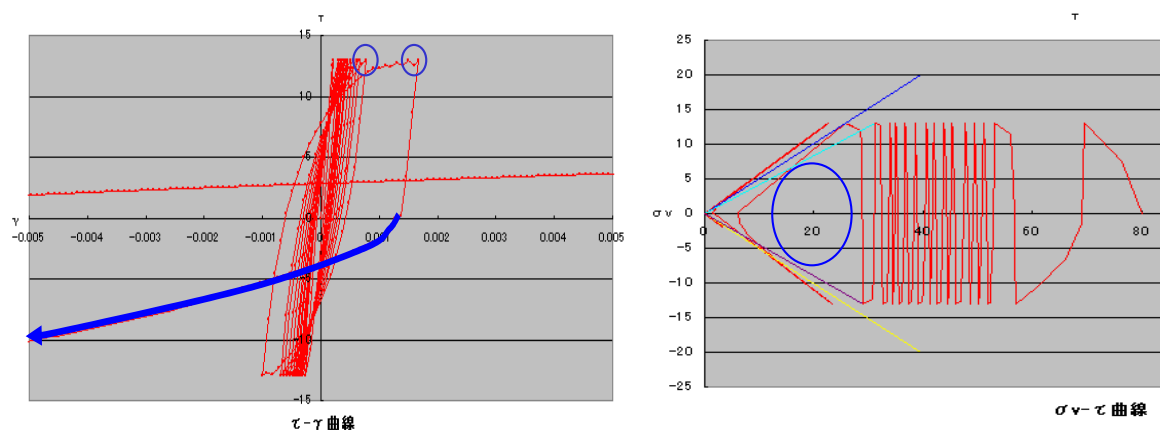


図2 応力 - ひずみ関係と応力経路

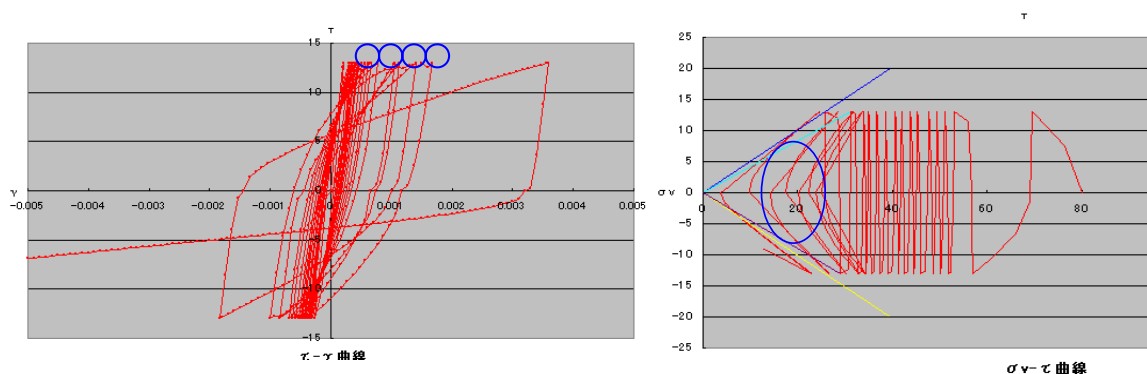


図3 改良後の応力 - ひずみ関係と応力経路

部分には応力点が存在しない。このような点は実験の結果とは大きく異なっているように見える。

3 経路の改良

先に述べたように、変相線を横切るまでの挙動は YUSAYUSA では実験値とかなり整合性があることはこれまでの実績から知られている。そこで、変相線を超えて以後の応力経路を修正することを考える。すなわち、除荷時の応力経路はこれまでと同様直線とするが、これを双曲線の接線とせず、 σ 軸上の σ_a とする。 σ_a の値は、変相線後のひずみの蓄積量 χ の関数とし、

$$\sigma'_v = \frac{(\sigma_R - \sigma_a + \chi)}{\tau_R \cdot \tau} + \sigma_a - \chi$$

とする。ここで、添え字 R は除荷点の値、 σ_a は変相線を越えたときの上載圧である。この式は、友情上載圧が0の点に漸近的に近づく双曲線となっている。

図3に改良後の応力 - ひずみ関係と応力経路を示す。一定応力振幅の载荷でひずみが漸増する挙動、応力経路で通らない部分なくなったことなど、改良

の効果は現れている。しかし、流動部分が見られないなどの欠点は改良することはできなかった。

4 まとめ

YUSAYUSA で、変相後有効応力が急激に減少し、この結果、サイクリックモビリティに相当する現象が見られない、せん断応力が急激に発生するなどの、液状化以後の挙動をうまく表現できない点に関して、変相後の応力経路を変更することで、改善を試みた。その結果、有効応力の急激な減少を制御し、変相線通過後の応力経路の挙動の再現性は良くなった。また、ひずみが漸次増加していく減少も再現できた。しかしながら、十分改良することができなかったところも残った。今後、これを元に改良する必要がある。

参考文献

- 1) 吉田望，東原郁生：YUSAYUSA-2 SIMMDL-2 理論と使用法（改訂版），（平成17年7月）
- 2) 日本道路協会（1996）：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，（社）日本道路協会