

地盤の1次元非線形解析に用いる土のせん断応力-せん断ひずみ関係のモデル化 その2 液状化解析への適用性の検討

佐藤工業(株)中央技術研究所 吉田 望

1 はじめに 土の非線形性は、割線せん断係数 G (またはその微小ひずみ時のせん断弾性係数 G_0 に対する比) と等価減衰定数 D のひずみ(γ)依存性として表されるのが普通である。地盤の1次元非線形解析を行う場合、逐次積分型の解法を用いたプログラムでは、応力-ひずみ関係には数学モデルを用いているが、一般に用いられている数学モデルでは広いひずみ領域にわたりこれら二つのひずみ依存性を満たす事ができない。パラメータの決め方に関してはいくつかの研究があるが、いずれも最終的には工学的判断が必要である。これに対し、筆者らはこのような判断が不要、すなわち実験値をそのまま入力に用いることのできる応力-ひずみ関係のモデル化手法提案した¹⁾。このモデルは一定拘束圧下では与えられた条件を完全に満たすが、拘束圧が変化する場合には別の仮定が必要であった。本報ではその有効性を検討する。

2 提案モデルの概要¹⁾ 繰り返し載荷を受ける場合の応力-ひずみ関係を、骨格曲線と、履歴曲線(骨格曲線から除荷し、再び骨格曲線に戻るまでの曲線)に分ける。骨格曲線は、実験等で得られた $G/G_0-\gamma$ 曲線をそのまま用いる。すなわち、実験値は連続曲線としてではなく、数表として与えられるので、線形補間やスプライン曲線による補間によりひずみの関数としてせん断剛性比を求める。一方、履歴曲線には適当な数学モデル(例えば双曲線モデルやRamberg-Osgoodモデル)を用い、そのパラメータの値は、文献2の方法を用い、履歴曲線によるエネルギー吸収が数表として与えられた等価減衰定数を補間し得られる等価減衰定数となるように決める。このようにすれば、与えられた $G/G_0-\gamma$ 関係と $D-\gamma$ 関係を完全に満たす応力-ひずみ関係を得ることができる。

ところで、土の材料特性はひずみに依存するのみでなく、有効拘束圧 p にも依存する。従って、液状化解析のように、解析中に有効拘束圧が変化する場合には、与えられた特定の拘束圧に対する曲線から、有効応力が変わった場合のひずみ依存性を求めることができるようにしておく必要がある。これに関しては、通常の液状化解析で用いられる以外の新たなパラメータを必要としない方法として、次のような方法を提案した。添字 i をつけた、与えられた拘束圧下の値より、任意の拘束圧下の値を次式で求める。

$$\frac{G}{G_0} = \left(\frac{G}{G_0}\right)_i \frac{1 + \gamma A p_i^{m-1}/B}{1 + \gamma A p^{m-1}/B} \quad D = D_i \frac{1 - G/G_0}{1 - (G/G_0)_i} \quad (1)$$

ここで、 A 、 B 、 m は材料に固有の定数で、液状化解析では通常データとして用いられる量であり、次のように表される。

$$G_0 = A(p)^m \quad \tau_{max} = Bp \quad (2)$$

ここで、 τ_{max} はせん断強度であるので、 B は1次元解析では内部摩擦角の正接である。 A 、 B 、 m は新たなパラメータを導入するのであれば拘束圧やひずみの関数としてもかまわない。また、粘性土の場合には、 τ_{max} を一定値(B)としてもかまわない(ただし、この時式(1)の $m-1$ は m となる)。

3 有効性の検討 液状化解析を対象とし、提案したモデルの有効性を検討する。実験値には岩崎らが整理した砂質土のデータ³⁾を用いる。データは、拘束圧1、0.5、0.25kg/cm²について整理されており、図-1にそのひずみ依存性を示す。検証に際し、微小ひずみ時のせん断弾性係数 G_0 については、豊浦標準砂に関する国生の式、

$$G_0 = 840 \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} (p)^{0.5} \quad (\text{単位: kg/cm}^2) \quad (3)$$

を用いる。すなわち、 $m=0.5$ 、 A は式(3)右辺の係数であり、 $e=0.7$ とした。また、 B の値は0.55とした。これは、内部摩擦角29度と対応している。実際の材料では、 m 、 e 、 B の値は変化が少ないので、結果に与える影響は少ない。

図-2、3は、拘束圧 1 kg/cm^2 におけるデータが与えられたとして、拘束圧 0.5 kg/cm^2 、 0.25 kg/cm^2 の値を計算し実験値と比較したもの、図-4は、拘束圧 0.5 kg/cm^2 のデータが与えられたとして拘束圧 0.25 kg/cm^2 の値を計算し実験値と比較したものである。液状化の解析では、拘束圧が初期拘束圧より大きくなる事は考えられないので、ここでは拘束圧が大きくなる場合の計算はしなかった。

いずれの場合でも、ひずみが小さい部分では、計算値は実験値に比べ G/G_0 を大きめに、 D を小さ目に評価するがその差は非常にわずかである。また、液状化解析で重要な、ひずみの大きいところでは計算値は図上では区別できないくらい実験値と一致している。

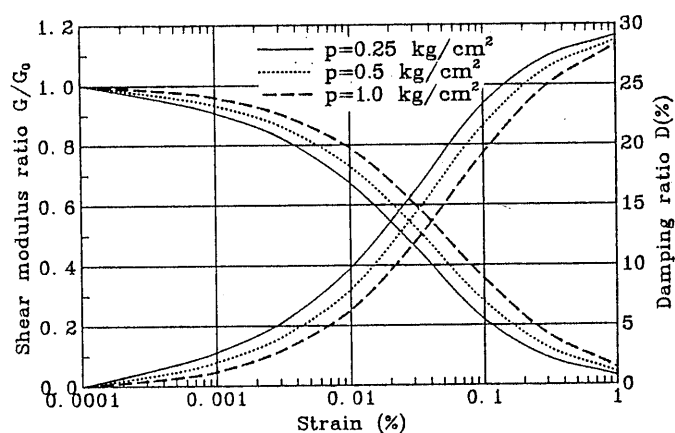


図-1 実験値

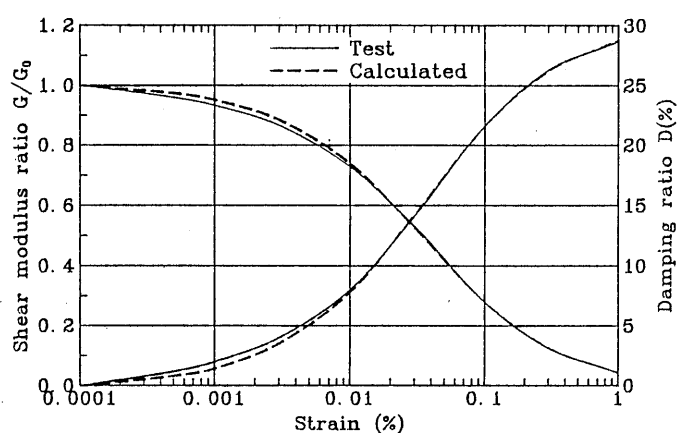


図-2 拘束圧 $1 \rightarrow 0.5\text{ kg/cm}^2$

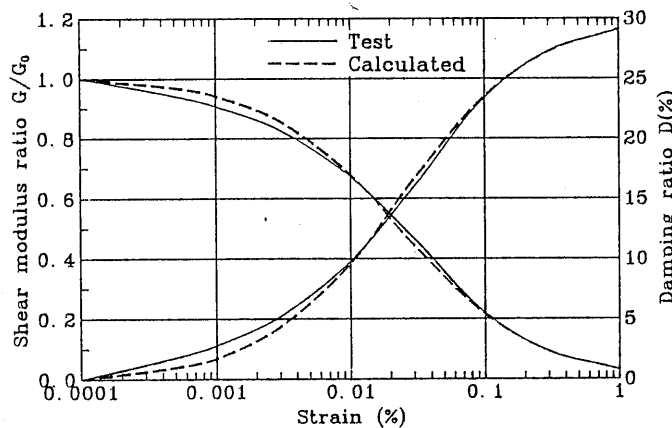


図-3 拘束圧 $1 \rightarrow 0.25\text{ kg/cm}^2$

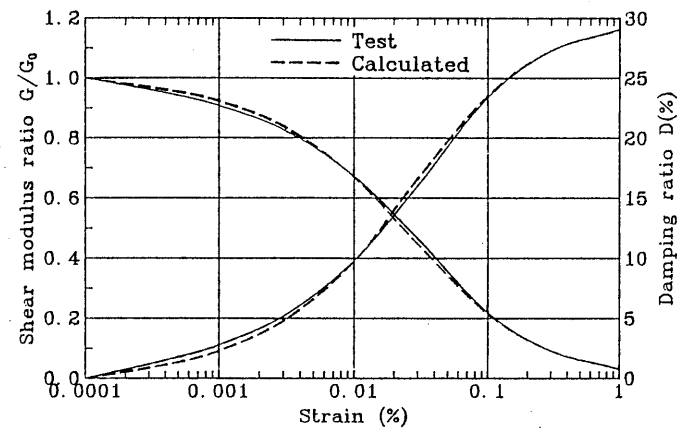


図-4 拘束圧 $0.5 \rightarrow 0.25\text{ kg/cm}^2$

4 おわりに 筆者らの提案した、一定拘束圧下では任意の $G/G_0-\gamma$ 、 $D-\gamma$ 関係を完全に満たすモデルの、拘束圧が変化する場合の適用性を、主として液状化解析を対象として砂質土について検討した。その結果、提案したモデルは、拘束圧が変化した場合の実験値をよく追跡している事が分かった。

参考文献 1)吉田望、辻野修一、石原研而：地盤の1次元非線形解析に用いる土のせん断応力-せん断ひずみ関係のモデル化、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、1990年10月、pp.1639-1640

2)Ishihara, K., Yoshida, N. and Tsujino, S., Modelling of Stress-strain Relations of Soils in Cyclic Loading, Proc. 5th Int. Conf. for Numerical Method in Geomechanics, Nagoya, Vol.1, pp.373-380, April 1980

3)岩崎敏男他：地盤の動的変形特性に関する実験的研究(Ⅲ)、土木研究所報告153号の2、1980年

4)国生剛治、桜井彰雄、江刺靖行：三軸試験装置を用いた微小ひずみから大ひずみまでの土質動的試験法の開発と砂の物性試験への適用、電力中央研究所報告、研究報告No. 379002、1979年