

# 地震応答解析に用いる応力-ひずみ関係モデルのせん断強度の経験式に関する検討

東北学院大学 学生会員 熊谷 俊幸, 大泉 済  
東北学院大学 正会員 吉田 望

## 1 はじめに

筆者らの一人は、地盤の地震応答解析のための応力-ひずみ関係として二つの双曲線モデルを重ね合わせる、二重双曲線モデルを提案し、多くの実験値と比較することによって既往の双曲線モデルや Ramberg-Osgood モデルよりずっと誤差が小さいことを示した<sup>1)</sup>。実験が行われていれば、文献2)のモデルを使えば、実験を完全に満たすモデルを作ることができるので、既往モデルや二重双曲線モデルの様な数式モデルは繰返しせん断試験を行わない時に土質や  $N$  値などの地盤調査の結果を基に繰返しせん断特性をモデル化する際に用いられる。本報では、モデルパラメータを決める方法について検討する。

## 2 二重双曲線モデルの概要

二重双曲線モデルは、 $G/G_0=0.5$  に対応するひずみとして定義される基準ひずみ  $\gamma_r$  を境に二つの双曲線モデルを使うモデルで次式で表される。

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{G_0 \gamma}{1 + \gamma / \gamma_r} & (\gamma \leq \gamma_r) \\ \frac{\tau}{G_0 \gamma_r} &= \frac{k \gamma / \gamma_r + k - 1}{4k - 3 + \gamma / \gamma_r} & (\gamma > \gamma_r) \end{aligned} \quad (1a,b)$$

ここで  $\tau$ ,  $\gamma$  はせん断応力とひずみ,  $G_0$  はせん断弾性定数,  $k$  は二つの双曲線モデルのせん断強度の比である。前報<sup>1)</sup>では  $k$  の値をいくつかの方法で求め、 $\gamma_r$  より大きいひずみ領域で最小自乗法で決めるのが良いことを示した。図 1 に例を示すが、実験の最大ひずみまで良く追跡していることがわかる。検討は、前報でも用いた関東地方で得られた 492 の試験結果を用いる。

## 3 せん断強度比の分布

すでに、文献3)で基準ひずみに関する経験式は示したので、 $k$  の値が求まればモデルが確定する。図 2 に  $k$  の値を示す。土質の種類ごとの傾向は見るこ

とができない。その他、拘束圧,  $N$  値, 塑性指数などによる分類も試みたが、相関のある結果は得られなかった。そこで、以下では、直接せん断強度を求める方法を検討する。

## 4 せん断強度に関する経験式

繰返しせん断試験の結果は、 $G/G_0$ - $\gamma$  関係として表される。ここで、せん断剛性を最大せん断剛性  $G_0$  で除しているのは試料は採取時に乱れているのでそれを補正する為の処理である。そのため、図 1 でも縦軸は、 $G_0$  で無次元化されている。実務ではこれに原位置で得られたせん断剛性を乗じて計算に用いる  $G$ - $\gamma$  関係を求める。しかし、以下で論じるように、図 1 の強度に原位置の  $G_0$  を乗じることには問題がある。

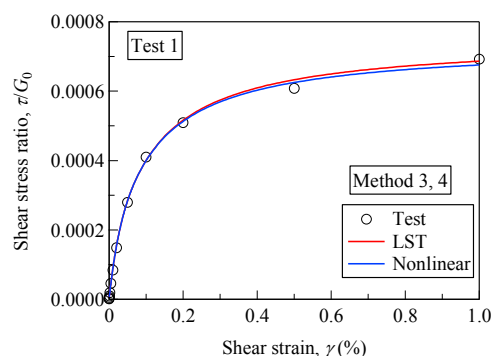


図 1 二重双曲線モデルの適用例

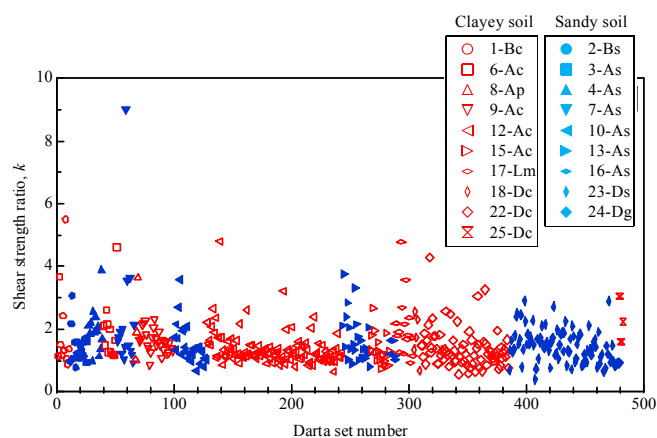


図 2 せん断強度比の分布

キーワード 応力-ひずみ関係、せん断強度、モール・クーロンの条件

連絡先 〒985-8537 宮城県多賀城市中央 1-13-1

#### 4.1 砂の内部摩擦角 $\phi$

三軸試験では、砂の内部摩擦角 $\phi$ はモール・クーロンの破壊条件を用い、粘着力 $c$ を0と設定すれば、し次式で求められる。

$$\phi = \sin^{-1}(\tau_f/(\sigma'_m + \tau_f)) \quad (2)$$

ここで、 $\sigma'_m$ は初期有効拘束圧である。ここで、 $\tau_f$ を求める際に原位置の $G_0$ を用いたときの $\tau_f/\sigma'_m$ を求めると図3の様になり、1を越えるデータも多い。これは、破壊状態に近いと、試料採取時の乱れの影響は消えていると考えられるからである。そこで、以下では室内試験の $G_0$ 値を用いてせん断強度を決める。

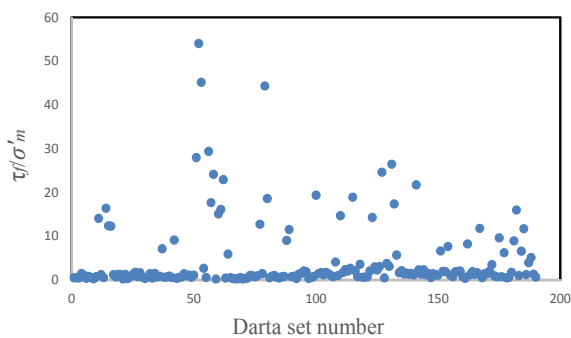


図3  $\tau_f/\sigma'_m$ の分布 (砂)

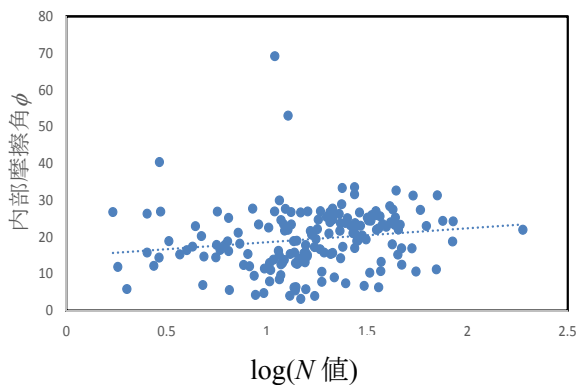


図4  $\phi$ - $N$ 値の関係

図4に式(2)で求めた $\phi$ と $N$ 値の関係を示す。データはかなりばらついているが全体として $N$ 値が大きくなると $\phi$ も大きくなるという傾向がある。そこで、最小自乗法を用いてこの関係を求めると、

$$\phi = 3.77N + 14.79 \quad (3)$$

の関係が得られる。データのばらつきは以下の二つの要因によると考えられる。

- 1) ステージごとに発生した過剰間隙水圧を消散さ

せるが、このとき、試料は密になり、見かけの内部摩擦角が大きくなる。

- 2) 過剰間隙水圧が発生すると、有効拘束圧が小さくなるので、見かけの内部摩擦角が減少する。

図4で得られる内部摩擦角は15~20度で、砂の内部摩擦角に競べれば相当に小さい値である。という事は、上記の二つの要因のうち、2)による影響が大きいと考えられる。ただし、大きい内部摩擦角を示すデータも多い事から、すべてが2)の要因によるものとはいえない。

#### 4.2 粘土の粘着力 $c$

図5にせん断強度と $N$ 値の関係を示す。やはりデータはばらついているが、最小自乗法による直線式は以下となる。

$$\tau_f = 5.35N + 59.92 \quad (4)$$

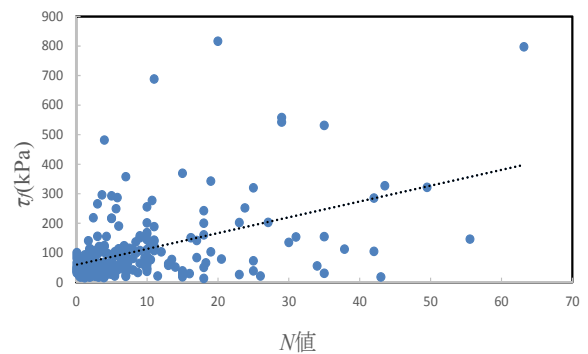


図5  $\tau_f$ - $N$ 値の関係

#### 5 おわりに

地盤の地震応答解析に用いるモデルのためのせん断強度を求める経験式について検討した。この中で既往の繰返しせん断試験を実務に適用する際の問題を指摘した。また、データはばらついているものの、 $N$ 値とは正の相関があることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 吉田望：二重双曲線モデルの精度評価，第50回地盤工学研究発表会，pp. 1745-1746，2015
- 2) 吉田望，辻野修一，石原研而（1990）：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），pp. 1639-1640
- 3) 吉田望，若松加寿江（2013）：土の繰返しせん断特性のモデル化と地質年代・堆積環境の影響，地盤工学ジャーナル，Vol. 8，No. 2，pp. 265-284