

東北学院大学 学生会員 伊藤 浩也, 木村 颯里
東北学院大学 正会員 吉田 望

1 はじめに

地盤の地震応答解析に用いる応力-ひずみ関係モデルは大きく二つに分けられる。一つは、数式モデルを用いること、もう一つは、実験値をそのまま入力とする方法である。後者は、SHAKE の様な等価線形解析では一般的であるが、逐次積分による非線形解析でも可能である¹⁾。両者はそれぞれ特徴があり、実験値がある際には後者の方が明らかに精度がよいが、実験をしない際には前者の方のモデルで、実験式からパラメータを決定する方法が使いやすいといえる。

実務で多く用いられる応力-ひずみ関係モデルとして、双曲線モデルや、Ramberg-Osgood モデルなどがよく知られ、また、使われている。ここで、双曲線モデルを例にとると、応力 (τ) - ひずみ (γ) 関係は次のように表される。

$$\tau = \frac{G_0 \gamma}{1 + G_0 \gamma / \tau_f} \tag{1}$$

ここで、 G_0 はせん断弾性定数、 τ_f はせん断強度である。従って、非線形特性を制御するのはせん断強度 τ_f のみである。

表 1 繰返しせん断特性データ

地質年代	関東地方における地層名の例	堆積環境(微地形区分)	土質・岩質	記号	試料数
造成	埋土、盛土、表土		粘性土	1-Bc	10
			砂質土	2-Bs	14
完新世 後期	沖積層	砂丘砂	砂質土	3-As	2
		有楽町層上部	海浜、浅海成(砂州など)	砂質土	4-As
			砂礫・礫	5-Ag	0
			汽水成(三角洲)	粘性土	6-Ac
			砂質土	7-As	20
			腐植土	8-Ao	5
			河成(河床・自然堤防・農用地・谷底低地)、後背湿地成(後背湿地・沼沢)	粘性土	9-Ac
			砂質土	10-As	27
			砂礫・礫	11-As	0
完新世 前期	有楽町層下部	海成(一部河成)	粘性土	12-Ag	107
			砂質土	13-As	32
			砂礫・礫	14-Ag	0
更新世 末期	七号地層、戸田層、伊刈層、八潮層など	海成	粘性土	15-Ac	18
			砂質土	16-As	4
	後期	洪積層	関東ローム層、立川ローム層、武蔵野ローム層、下末吉、ローム層、立川礫層、武蔵野礫層、凝灰質粘土層(渋谷粘土層、板橋粘土層、池袋粘土層、大宮層など)、火山灰	関東ローム	17-Lm
			降下火山灰	粘性土	18-Dc
			砂質土	19-Ds	7
			砂礫・礫	20-Dg	0
	中期		多摩ローム層、常総粘土層、茨城粘土層、下末吉層、東京層、東京礫層、相模層群、成田層群、下総層群とその相当層(江戸川層、舎人層、相模層、埼玉層など)	関東ローム	21-Lm
			降下火山灰	粘性土	22-Dc
			砂質土	23-Ds	75
			砂礫・礫	24-Dg	93
	前期		上総層群	固結粘性土・泥岩	25-Dc
鮮新世 第二紀	三浦層群		砂質・礫質岩	26-Dsg	4
					0

2 検討対象と検討法

検討の対象としたのは、東京、神奈川、埼玉、千葉、茨城の 5 都県、95 地点で採取した合計 482 の試料(砂質土：208、粘性土：274)である²⁾。表-1 に地質・堆積年代を考慮した、分類を示す。せん断強度を次のような方法で整理する。

(1) 基準ひずみによる方法

$\gamma_r = \tau_f / G_0$ で定義されるひずみは基準ひずみと呼ばれる。式(1)にこのひずみを代入すると、 $\tau = \tau_f / 2$ となり、 G/G_0 も 1/2 となる。そこで、 G/G_0 - γ 関係より $G/G_0=0.5$ の位置のひずみを読み取り、これに、弾性定数を乗じたものをせん断強度とする。これを τ_1 と表す。

(2) 誤差最小基準ひずみによる方法

$G/G_0=0.5$ の位置のひずみを基準ひずみとすると、双曲線モデルではせん断強度を過小評価することが多いことが知られており、大きな地震動に対する解析に対しては適当では無いかも知れない。そこで、式(1)を次のように書き換える。

$$\frac{G}{G_0} = 1 - \frac{1}{\gamma_r} \left(\frac{G}{G_0} \gamma \right) \tag{2}$$

この式では、 G/G_0 と $\gamma G/G_0$ の関係が直線であることを示しており、その勾配の逆数が基準ひずみになっている。そこで、実験値より最小自乗法でその値を求め、これにせん断弾性定数を乗じることでせん断強度を求める。これを τ_2 と表す。

(3) 応力-ひずみ関係の外挿補間

繰返しせん断特性試験の最大ひずみは通常 1% 程度であり、応力-ひずみ関係もせん断強度には至らない。そこで、これを次のように外挿する。

実験値の最大ひずみを通る双曲線

$$\tau = \frac{G_1(\gamma - \gamma_1)}{1 + G_1(\gamma - \gamma_1)/\tau_f} \tag{3}$$

を考える。この式は三つのパラメータで校正されているので、これを次の三つの条件を与えて解く。

- ・最大ひずみ点を通る。
- ・最大ひずみ点の勾配 k を次式で設定する。

$$k = \frac{\tau_N - \tau_{N-1}}{\gamma_N - \gamma_{N-1}} \quad (4)$$

ここで N は実験データの数である。すなわち、 k は最大ひずみとその前の点を結んだ直線の勾配である。これにより、最大ひずみ点からなめらかに増加する応力-ひずみ関係が得られる。

$$\bullet G_1 = G_0$$

これよりせん断強度が求められ、これを τ_3 とする。

(4) せん断強度の経験式を用いる。

N 値からせん断強度を求める実験式は多く提案されている。ここでは砂質土では内部摩擦角 θ を

$$\theta = 20 + \sqrt{20N_1} \quad (5)$$

で求め³⁾、これに $\sigma_m \sin \theta$ を乗じる。ここで、 N_1 は拘束圧で補正した N 値、 σ_m は初期拘束圧である。また、粘性土は

$$c = q_u / 2, \quad q_u = 25 \sim 50 N \quad (\text{kPa}) \quad (5)$$

によりせん断強度を評価する⁴⁾。ここで、係数は 25 と 50 の二通りを検討した。これを τ_4 で表す。

3 考察とまとめ

これまでに求めた 4 つのせん断強度を比較して図 1～図 4 に示す。この結果、各種の関係である程度相関のあるのは、 τ_1 と τ_2 のみで、その他の関係ではほとんど相関関係が無いことが分かった。これより、繰返しせん断特性モデルのパラメータを決めることはかなり難しいことが分かる。

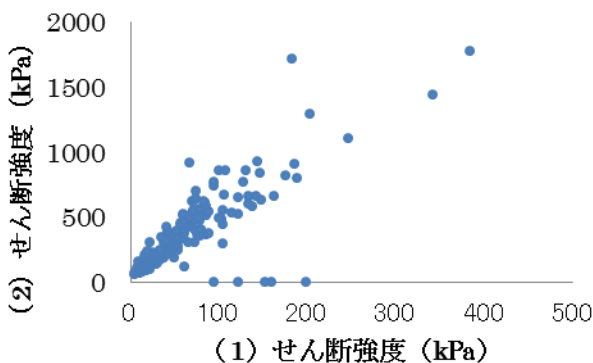


図 1 砂質土の(1)せん断強度-(2)せん断強度

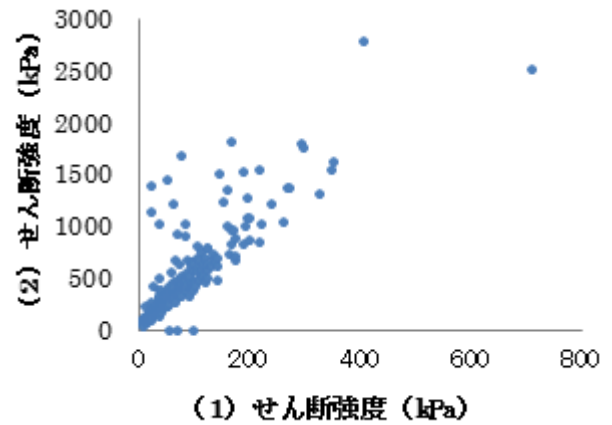


図 2 粘性土の(1)せん断強度-(2)せん断強度

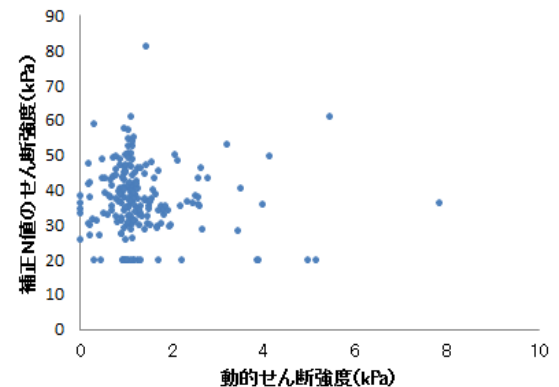


図 3 砂質土の動的せん断強度-補正 N 値のせん断強度

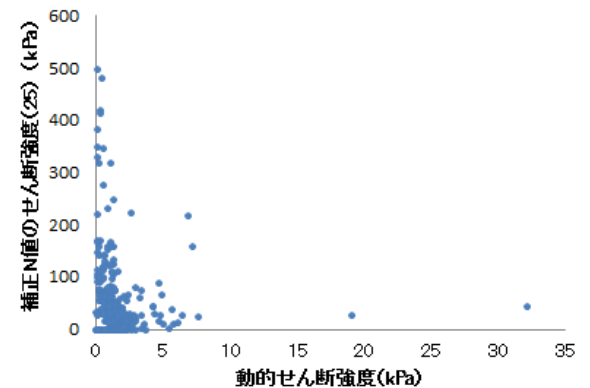


図 4 粘性土の動的せん断強度-補正 N 値のせん断強度

参考文献

- 1) 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
- 2) 若松加寿江, 吉田望, 三上武子: 地質年代・堆積環境を考慮した土の繰返し変形特性の支配要因の検討, 地盤工学ジャーナル, Vol. 5, No. 3, pp. 463-478, 2010
- 3) Hatanaka, M. and Uchida, A. (1996): Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils, Soils and Foundations, Vol. 36, No. 4, pp. 1-9
- 4) 吉田望 (2010): 地盤の地震応答解析, 鹿島出版会, 256pp.