

種々の塑性を有する土の動的変形係数の評価について

山口大学大学院 学生会員 ○山田 卓 平方宏朋
山口大学工学部 正会員 兵動正幸 吉本憲正

1. はじめに

様々な砂分含有率から成る塑性の異なる試料に対して、中空ねじり繰返し単純せん断試験による一連の動的変形試験を行った。その結果、中間土から高塑性粘土に適応できる動的変形係数の推定式を提案したので報告する。

2. 試料および試験方法

表-1 に本研究で用いた試料の物性値および試験条件を示す。各試料の詳細については参考文献²⁾に示すとおりである。用いた試料のうち C8T11, OC30, OC40, OC60 の4つの試料は中間土($FC=20\sim50\%$, $I_p=N.P.\sim30$)に分類されるものである。また、表-1 中に示す I_p^* とは本研究で定義した砂混じり粘土のコンシステンシーを表すパラメータである。試料全体となる 2mm 以下の粒径に適用して土の液性限界・塑性限界試験を行い、得られた塑性指数を I_p^* と定義した。なお、粒度組成のほぼ全てが細粒分から成る試料 ($FC=85\%$ 程度以上) については、通常の液性限界・塑性限界試験から求める塑性指数をその試料の I_p^* として用いた。ここで、 I_p^* を求めるための液性限界・塑性限界試験におけるデータのばらつきは最大で $\pm 5\%$ 未満であり、通常の液性限界・塑性限界試験に比べ若干ばらつく程度であった。拘束圧は、有効鉛直応力を $\sigma_{zc}'=100, 150, 200\text{kPa}$ (平均有効主応力 $\sigma_{mc}'=66.7, 100, 133.3\text{kPa}$) の3通りとし、側方土圧係数 $K=\sigma_z'/\sigma_h'=0.5$ となるよう異方圧密状態で載荷した。各試料について行った試験の拘束圧条件

を表-1 に示している。繰返しせん断は供試体に周波数 $f=0.1\text{Hz}$ の正弦波形の繰返し荷重を与えて行った。

3. 初期せん断剛性率

動的変形試験より得られた、片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ における等価せん断剛性率 G_{eq} を初期せん断剛性率 G_0 と定義し、図-1 に $\sigma_{mc}'=66.7\text{kPa}$ で行った動的変形試験より得られた各試料の G_0 と I_p および I_p^* の関係を示す。図中の白抜きのプロットは $G_0\sim I_p^*$ 関係を示し黒塗りのプロットが $G_0\sim I_p$ 関係を示している。図より、 G_0 は広範な I_p に対して一義的関係となってい

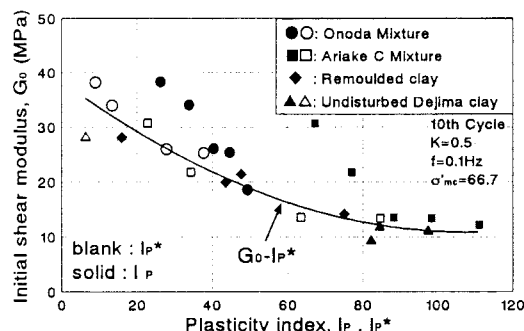


図-1 初期せん断剛性率と塑性指数および I_p^* の関係 ($\sigma_{mc}'=66.7\text{kPa}$)

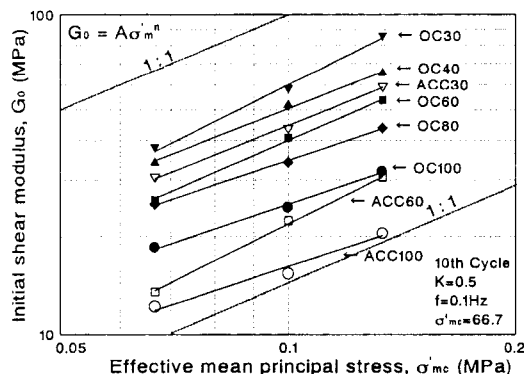


図-2 初期せん断剛性率と平均有効主応力の関係

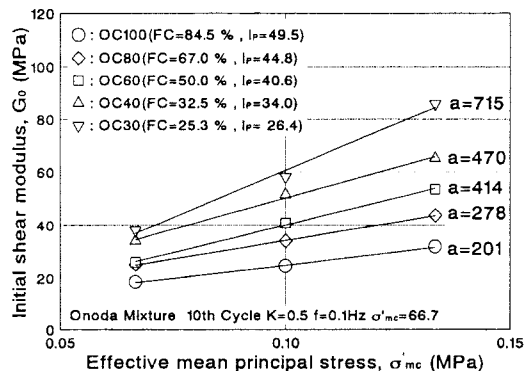


図-3 初期せん断剛性率と平均有効主応力の関係

表-1 試料の物理的性質および試験条件

Sample	FC(%)	I_p	I_p^*	e_i	$\sigma_{mc}'(\text{kPa})$
Onoda Mixture	OC100	84.5	49.5	1.564	66.7, 100, 133.3
	OC80	67.0	44.8	1.278	66.7, 100, 133.3
	OC60	50.0	40.6	1.182	66.7, 100, 133.3
	OC40	32.5	34.0	0.807	66.7, 100, 133.3
	OC30	25.3	26.4	0.726	66.7, 100, 133.3
Ariake C Mixture	ACC100	100.0	111.0	2.867	66.7, 100, 133.3
	ACC80	79.5	98.3	2.405	66.7
	ACC60	59.7	88.3	1.944	66.7, 100, 133.3
	ACC40	39.9	77.0	1.365	66.7
	ACC30	29.8	67.3	1.113	66.7, 100, 133.3
Undisturbed Dejima clay	C-5 T-4	99.1	82.2	3.040	66.7
	C-5 T-12	96.6	97.4	3.360	66.7
	C-8 T-2	99.9	84.5	3.484	66.7
	C-8 T-11	43.0	16.0	1.104	66.7
	Ariake A	98.3	47.7	2.128	66.7, 100
Remoulded clay	Ariake B	97.9	43.6	2.213	66.7
	Itsukaichi	98.6	75.1	2.523	66.7, 100

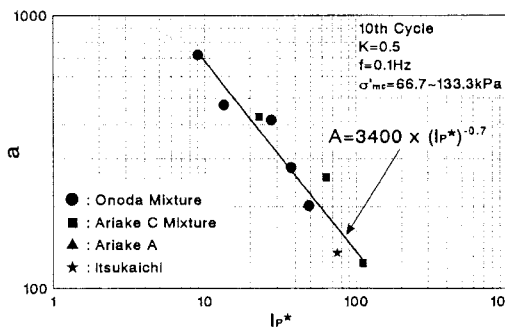


図-4 勾配 a と I_p^* の関係

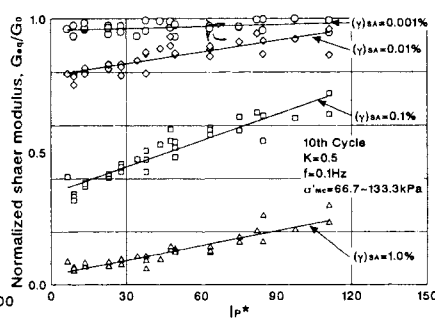


図-5 各ひずみレベルにおける G_{eq}/G_0 と I_p^* の関係

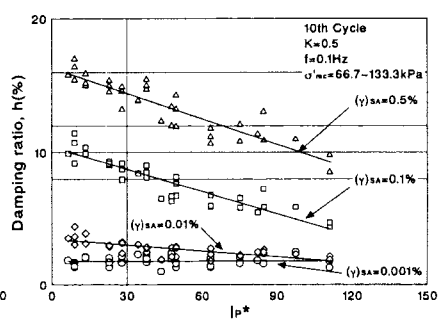


図-6 各ひずみレベルにおける履歴減衰率と I_p^* の関係

ないのに対して、 I_p^* と非常に良い相関関係にあることが認められる。

正規圧密粘土の G_0 は、拘束圧 σ'_c と間隙比 e により、

$$G_0 = A \cdot F(e) \cdot (\sigma'_c)^n \quad (1)$$

で表されることが多い。ここに、 $F(e)$ は間隙比の関数であり、 A 、 n は実験定数である。

図-2 は実験定数 n を求めるために、 G_0 と平均有効主応力 σ'_{mc} の関係を両対数グラフ上に示したものであるが、その勾配は平均的に 1 である。したがって、 $n=1$ となり

$$G_0 = A \cdot \sigma'_m \quad (2)$$

となる。図-3 は小野田粘土混合土の G_0 と σ'_{mc} の関係をプロットしたものであり、各試料の G_0 は σ'_{mc} と直線関係となり、その勾配を a として図中に記している。

図-4 は拘束圧を変化させて実験を行った全ての試料の a と I_p^* の関係を示したものであるが、両者の関係は両対数グラフ上で直線となり、その近似曲線から本研究で用いた $I_p^*=6.5 \sim 111$ の範囲において実験定数 A は、

$$A = 3400 \cdot (I_p^*)^{-0.7} \quad (I_p^*=6.5 \sim 111) \quad (3)$$

となる。したがって、中間土に分類される低塑性粘土から $I_p=100$ 程度までの高塑性粘土における G_0 は粘土の種類によらず、本研究で定義した I_p^* により、

$$G_0 = 3400 \cdot (I_p^*)^{-0.7} \cdot \sigma'_{mc} \quad (I_p^*=6.5 \sim 111) \quad (4)$$

で表すことができる。

4. $G_{eq}/G_0 \sim (\gamma)_{SA}$ 関係および $h \sim (\gamma)_{SA}$ 関係

図-5 は $(\gamma)_{SA}=0.001\%$ 、 0.01% 、 0.1% 、 1.0% における G_{eq}/G_0 と I_p^* の関係を全ての拘束圧条件で得られた結果を合わせて示したものである。同様に履歴減衰率 h と I_p^* の関係を図-6 に示す。両図より、各ひずみレベル

表-2 代表的なひずみレベルにおける a_G 、 b_G 、 a_h 、 b_h の値

$(\gamma)_{SA}(\%)$	G_{eq}/G_0		$h(\%)$	
	a_G	b_G	a_h	b_h
0.0001	0	1	0.00350	0.994
0.001	0.00024	0.957	-0.00049	1.781
0.005	0.00098	0.853	-0.00532	2.600
0.01	0.00144	0.790	-0.01493	3.482
0.025	0.00244	0.633	-0.03329	5.652
0.05	0.00298	0.497	-0.04202	7.668
0.1	0.00329	0.346	-0.05557	10.404
0.25	0.00295	0.173	-0.06456	14.238
0.5	0.00223	0.094	-0.06370	16.357
1.0	0.00187	0.036	-0.05587	17.999

における G_{eq}/G_0 および h は I_p^* と直線関係となり、その勾配 a_G 、切片 b_G より、 G_{eq}/G_0 および h の値はひずみレベル毎に、

$$G_{eq}/G_0 = a_G \cdot I_p^* + b_G \quad (I_p^*=6.5 \sim 111) \quad (5)$$

$$h = a_h \cdot I_p^* + b_h \quad (I_p^*=6.5 \sim 111) \quad (6)$$

で示される。

表-2 は代表的なひずみレベルに対しての a_G 、 b_G 、 a_h 、 b_h の一覧を示したものである。式(5)、(6)および表-2 の値を用いることにより、広範な I_p^* (FC=85%程度以上のものについては $I_p^*=I_p$) を示す中間土から粘性土の動的変形定数を推定することができると考えられる。

5. まとめ

本研究で定義した、砂分を含めた塑性指数 I_p^* を用いることにより、低塑性の中間土から高塑性粘土に至る土の G_0 は式(4)により表すことができた。また、各ひずみレベルの G_{eq}/G_0 および h は式(5)、(6)または表-2 の形で表すことができた。

【参考文献】

- 善功企, 山崎浩之, 梅原靖文: 地震応答解析のための土の動的特性に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, Vol.26, No.1, 1997
- 山田卓, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正, 村田秀一: 土の動的変形特性に及ぼす塑性指数の影響, 土木学会地震工学論文集 (CD-ROM), Vol.27, 2003