

# 土の動的変形特性に与える塑性指数の影響

山田卓<sup>1</sup>・兵動正幸<sup>2</sup>・中田幸男<sup>3</sup>・吉本憲正<sup>4</sup>・村田秀一<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 山口大学大学院博士後期課程 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: x083fd@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>2</sup> 山口大学工学部教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: hyodo@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>3</sup> 山口大学工学部助教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: nakata@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>4</sup> 山口大学工学部助手 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: nyoshi@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>5</sup> 山口大学工学部教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: hmurata@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp

粘土に砂分を様々な割合で混合して作製した砂混じり粘土，塑性の異なる再構成粘土および不攪乱粘土を用いて中空ねじり繰返し単純せん断試験による動的変形試験を行った．本研究では粘性土における砂分含有率の影響を評価するために，砂分を含めた粘性土試料の塑性指数を測定し，新しいパラメータ  $I_p^*$  を定義した．本実験より求めた各試料のせん断剛性率および履歴減衰率は砂分の影響を大きく受け，いずれも従来の塑性指数ではなく，ここで定義した塑性指数  $I_p^*$  と良い相関性を示すことが明らかとなった．

**Key Words** : *Dynamic deformation, Sandy clay, Plasticity index, Hollow cylindrical torsional simple shear test*

## 1. はじめに

塑性指数は粘性土の性質を分類する上で頻りに用いられる物性値であり，動的変形係数（等価せん断剛性率，履歴減衰率）を定量的に評価するパラメータとしても用いられている<sup>1)2)</sup>．しかし，我が国の低塑性粘土の多くは砂が混入したいわゆる中間土であり<sup>3)</sup>，その動的変形特性は拘束圧に加えて粗粒子骨格の間隙比の影響を受ける<sup>4)</sup>ことが知られている．したがって現在，低塑性粘土を対象とした動的変形係数の推定には塑性指数と間隙比を取り入れた推定法が用いられている<sup>2)4)</sup>．

しかし，この推定法は土の分類が砂質土か粘性土かによって個別の式が適用されることから中間土のような砂と粘土の両方の性質を併せ持つ<sup>5)</sup>ものに対しては，土の種類によるのではなく，それらの物理的性質によって推定する方法が妥当と思われる．

本研究では種々の粘土および砂混じり粘土を対象に一連の動的変形試験を行った．すなわち再構成海成粘土，不攪乱海成粘土および珪砂を海成粘土に混

合して作製した砂混じり粘土に対して非排水中空ねじり繰返し単純せん断試験を行い，粘性土および中間土の動的変形特性に対する塑性指数の影響を調べた．

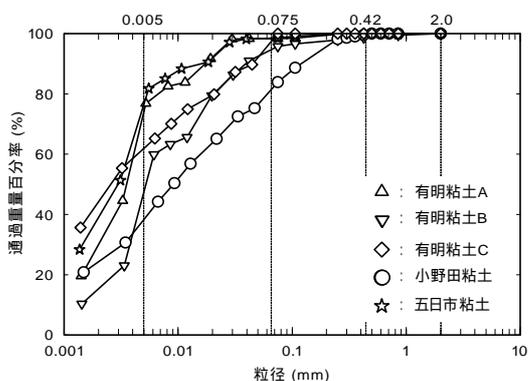
## 2. 試料および試験方法

### (1) 試料

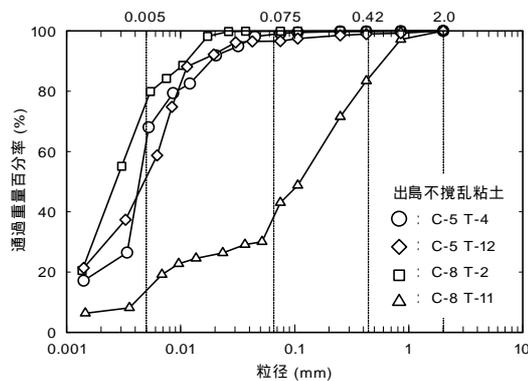
本研究で用いた試料は，0.425mmフルイで粒度調整した採取地点の異なる3種類の有明粘土（有明粘土A・有明粘土B・有明粘土C），五日市粘土（広島県五日市港），小野田粘土（山口県小野田港）の再構成粘土，出島不攪乱粘土（広島県出島地区）と有明粘土Cおよび小野田粘土に粒度調整した珪砂を粘土と珪砂の乾燥重量比で80:20,60:40,40:60,30:70となるように4種類の配合割合で混合した2種類の砂混じり粘土（有明粘土C混合土・小野田粘土混合

表 - 1 試料の物性値

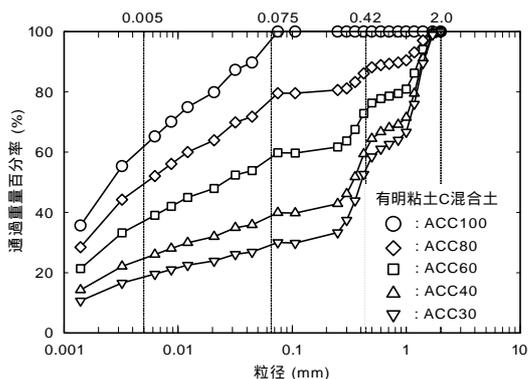
試料名	土質分類	FC (%)	PC (%)	w <sub>L</sub> (%)	I <sub>p</sub>	w <sub>L</sub> * (%)	I <sub>p</sub> *	w <sub>i</sub> (%)	e <sub>i</sub>	e <sub>c</sub>
有明粘土A	ACA 粘性土	98.3	75.2	89.09	47.7	89.09	47.7	82.4	2.16	1.76
有明粘土B	ACB 粘性土	97.9	52.0	83.47	43.6	83.47	43.6	59.2	2.21	2.01
有明粘土C	ACC100 粘性土	100.0	61.5	155.34	111.0	155.34	111.0	114.1	2.87	2.38
五日市粘土	IC 粘性土	98.6	77.0	109.59	75.1	109.59	75.1	92.4	2.52	2.05
小野田粘土	OC100 粘性土	84.5	37.5	84.04	49.5	84.04	49.5	59.7	1.56	1.38
	OC80 粘性土	67.0	30.0	69.18	44.8	22.67	37.8	49.4	1.28	1.10
小野田粘土	OC60 粘性土	50.0	21.5	63.15	40.6	18.20	27.9	43.7	1.18	1.04
混合土	OC40 砂質土	32.5	14.0	55.41	34.0	12.49	13.5	28.3	0.81	0.75
	OC30 砂質土	25.3	11.0	47.03	26.4	8.27	9.1	24.2	0.73	0.67
	ACC80 粘性土	79.5	49.0	138.37	98.3	38.99	84.7	91.9	2.41	1.93
有明粘土C	ACC60 粘性土	59.7	37.0	124.25	88.3	25.47	63.5	69.9	1.94	1.60
混合土	ACC40 砂質土	39.9	24.0	108.48	77.0	19.43	34.3	49.6	1.37	1.14
	ACC30 砂質土	29.8	18.5	95.45	67.3	16.75	22.9	39.5	1.11	0.91
	C-5T-4 粘性土	99.1	67.0	116.75	82.2	116.75	82.2	121.4	3.04	2.40
出島不攪乱	C-5T-12 粘性土	96.6	51.0	134.10	97.4	134.10	97.4	119.1	3.36	2.66
粘土	C-8T-2 粘性土	99.9	75.0	113.80	84.5	113.80	84.5	124.7	3.48	2.55
	C-8T-11 砂質土	43.0	13.0	38.08	16.0	22.00	6.5	37.6	1.10	1.04



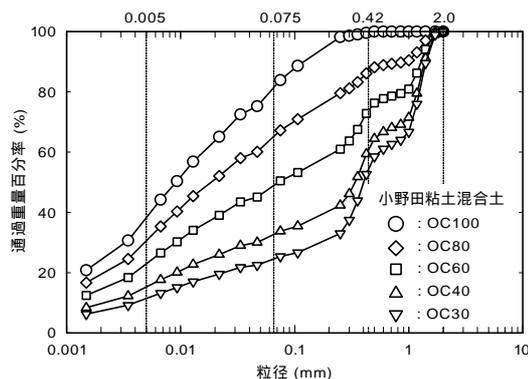
(a) 再構成粘土



(b) 出島不攪乱粘土



(c) 有明粘土C混合土



(d) 小野田粘土混合土

図 - 1 粒径加積曲線

土)である。

有明粘土A, 有明粘土B, 有明粘土C, 五日市粘土, 小野田粘土および2種類の砂混じり粘土は, 含水比を液性限界の2倍程度に調整し十分に攪拌, 脱気した後, 予圧密セル内に投入し, 鉛直圧密応力  $\sigma_{vc}=10, 20\text{kPa}$ とそれぞれ一日づつ段階的に載荷し

た後,  $\sigma_{vc}=50\text{kPa}$ で一次元圧密することにより予圧密供試体を作製した。なお, 予圧密終了時間は3t法を用いて決定した。

表 - 1に試料の物性値を, 図 - 1(a) ~ (d)に粒径加積曲線を示す。以後各試料は表中に示す記号を用いて示す。また, 試料名に含まれる100, 80, 60,

40, 30の数字は混合中の混合土全体重量に対する有明粘土Cおよび小野田粘土の乾燥重量比率を表している。2種類の混合土においては珪砂の配合割合が増加するごとに細粒分含有率FC, 粘土分含有率PC, 塑性指数 $I_p$ , 初期含水比 $w_i$ , 初期間隙比 $e_i$ , がいずれも低下する。ここで $w_i, e_i$ は不攪乱試料においては初期含水比, および初期間隙比であり, 再構成試料においては $\sigma_{vc}=50\text{kPa}$ を与えて作製した予圧密供試体の含水比および空隙比である。

本研究に用いた試料のうち, 出島不攪乱粘土のC-8T-11, 小野田粘土混合土のOC40, OC30および有明粘土C混合土のACC40, ACC30は地盤工学会基準「地盤材料の工学的分類方法」(JGS 0051-2000)<sup>6)</sup>による大分類では砂質土に分類される試料であるが, 塑性指数 $I_p=16\sim 77$ と砂質土としては高い塑性指数を示す。中間土の領域が $FC=20\sim 50\%$ ,  $I_p=N.P.\sim 30$ であるといわれている<sup>5)</sup>ことから, 本研究で用いた試料のうち上記のものに加えて, 小野田粘土混合土OC60が中間土に分類される試料であると考えられる。

表 - 1中に示す $w_L^*$ ,  $I_p^*$ 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。地盤工学会基準で定められているJIS A 1205「土の液性限界・塑性限界試験方法」<sup>7)</sup>では0.425mmフルイで裏ごしした試料を用いることから, 砂分を多く含む試料の塑性指数は粒径0.425mm以上の砂分を無視した値となり, 試料の物理的性質を十分に示していないと考えられる。そこで, 本研究では粒径の適用範囲を試料全体の粒径に拡大して土の液性限界・塑性限界試験を行った結果から求められる液性限界を $w_L^*$ , 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については, 通常の液性限界・塑性限界試験から求まる塑性指数をその試料の $I_p^*$ として用いた。 $I_p^*$ を求めるための液性限界・塑性限界試験は, 砂分を多く含む試料では塑性限界試験が困難であると思われるが, 本研究で用いた試料においては, 得られたデータにばらつきは認められなかった。図 - 2は $I_p^*$ と塑性指数 $I_p$ の関係を示したものであるが, それぞれの混合土のうち砂分を多く含み塑性指数が低いものほど $I_p^*$ との隔たりが大きくなることわかる。

## (2) 試験装置

本研究で用いた実験装置は油圧サーボ式中空ねじりせん断試験装置である。載荷荷重, 載荷周波数, 載荷波形はファンクションジェネレータにより制御される。データの収録はコンピュータにより自動的に毎秒約37回行われる。ねじり変位は上部キャッ

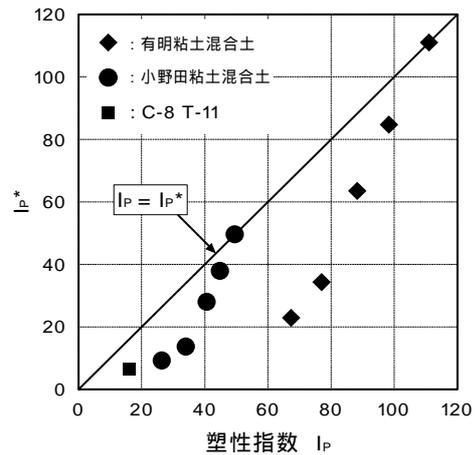


図 - 2  $I_p^*$ と塑性指数の関係

プに取り付けた2個の非接触変位計により最小分解能 $1.0 \times 10^{-5} \text{°}$ , トルク力は三軸セル内のトルク計で最小分解能 $1.0 \times 10^{-3} \text{Nm}$ での測定が可能であり, 高精度な応力 - ひずみ関係を得ることができる。

## (3) 試験方法

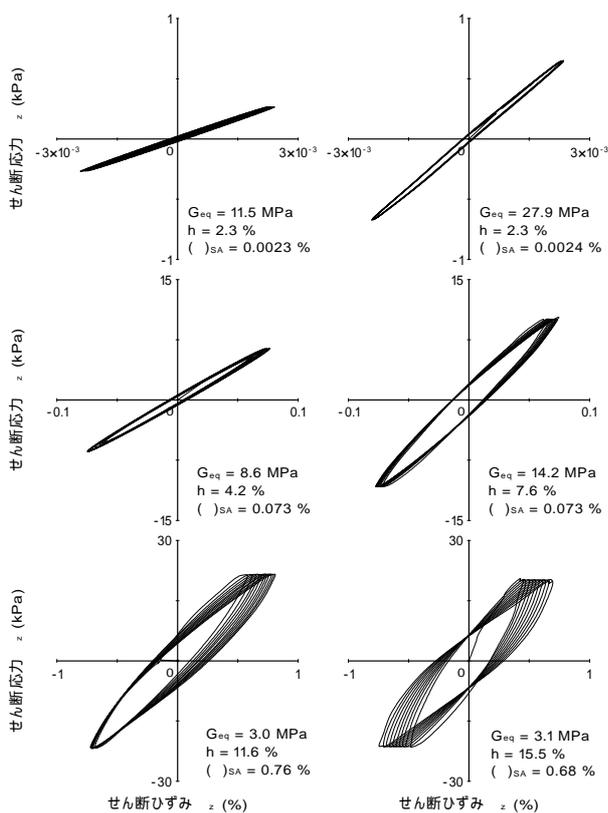
供試体の作製においては, 所定の大きさに切り出したブロック状の試料を外径7.5cm, 内径3.5cm, 高さ10cmの中空円筒形に整形した。供試体の飽和度を高めるために100kPaの背圧を加えた。なお, 全ての供試体についてSkemptonの間隙水圧係数B値0.95以上を確認している。

圧密は側方土圧係数 $K=\sigma_z'/\sigma_h'=0.5$ ,  $\sigma_{zc}'=100\text{kPa}$ 初期有効鉛直応力(平均有効主応力 $\sigma_{mc}'=66.7\text{kPa}$ )で異方圧密を行った。本研究では圧密時間の影響を統一する目的で, 2t法<sup>8)9)</sup>を用いて圧密終了時間を決定した。一般に1次圧密終了は3t法により決定されることが多いが, 中空円筒供試体は圧密促進用のペーパードレーンを巻くことが不可能であるため圧密に長時間を要することから, 圧密時間短縮のために2t法を用いた。繰返しせん断は地盤工学会基準「土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法」(JGS 0543-2000)<sup>10)</sup>の方法により, 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ることにより行った。

## 3. 粘土および砂混じり粘土の動的変形特性

### (1) 応力 - ひずみ関係

図 - 3(a)(b)に, 動的変形試験より得られた砂分を含まない粘土と砂混じり粘土のせん断応力 $\sigma_{z\theta}$ とせん断ひずみ $\gamma_{z\theta}$ の関係の代表例として, ACC100とACC30の $\sigma_{z\theta} \sim \gamma_{z\theta}$ 関係を片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.002\%$ ,  $0.07\%$ ,  $0.7\%$ のひずみレベルに対し



(a) ACC100(FC=100%) (b) ACC30(FC=29.8%)  
 図 - 3 せん断応力 - せん断ひずみ関係の比較

それぞれ示す。

$(\gamma)_{SA}=0.002\%$ の微小なひずみレベルでは ACC100, ACC30 とともに繰返しせん断応力に対する変形は弾性的な変形であり、一定形状の履歴曲線となるが、等価せん断剛性率  $G_{eq}$  に違いが認められ、砂混じり粘土の ACC30 が高い剛性を発揮することがわかる。本研究で用いた砂混じり粘土のように粘土が構造の主体をなす中間土では、試料内で部分的に砂粒子同士が互いに接触して構造を構築していることが柴田ら<sup>11)</sup>によって報告されており、FC が低いものほど多くの砂粒子が接触し合うといわれている。したがって、 $(\gamma)_{SA}=0.002\%$ 程度の微小なひずみレベルにおいて砂混じり粘土の剛性が高くなることには、試料中に存在する砂分の部分的な構造の繰返しせん断応力に対する抵抗が大きく関係していると考えられる。

$(\gamma)_{SA}=0.07\%$ では、ACC100 は一定な形状の履歴曲線となる弾性的な変形を示すのに対し、ACC30 は繰返し回数の増加とともに徐々にせん断ひずみが発達する塑性変形となり、 $G_{eq}$  が大きく低下することがわかる。このことから、微小なひずみレベルにおいて構造を保っていた砂の部分的な構造の一部が繰返しせん断応力に抵抗できずに崩れたために、試料全体の剛性が低下したと考えられる。また粘性土は弾性的な変形を示すひずみの範囲が広く、砂は比較

的小さいひずみレベルから塑性変形となる<sup>12)</sup>ことから、 $(\gamma)_{SA}=0.07\%$ の $\sigma_{z0} \sim \gamma_{z0}$ 関係において、ACC100 は粘土の典型的な変形特性を示し、ACC30 は砂の変形特性に近い挙動を示していると考えられる。

$(\gamma)_{SA}=0.7\%$ のある程度大きなひずみレベルでは、ACC100, ACC30 とともに1サイクルごとに大きくひずみが発達する著しい塑性変形を示し、ACC100 と ACC30 の  $G_{eq}$  はほぼ等しい値となることがわかる。 $(\gamma)_{SA}$  がある程度大きなひずみレベルに至ると、砂混じり粘土の砂分の構造は完全に崩れて繰返しせん断応力に抵抗しないため、 $\sigma_{z0} \sim \gamma_{z0}$ 関係および  $G_{eq}$  が砂を含まない粘土とほぼ等しくなると考えられる。

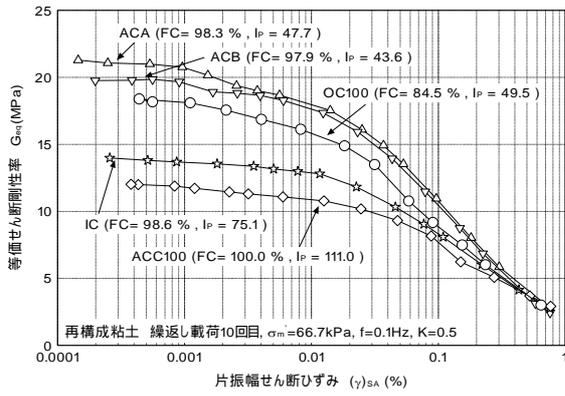
砂を含まない粘性土と砂混じり粘土の応力 - ひずみ関係を比較した場合、動的変形特性を取り扱う際に対象となる $(\gamma)_{SA}<1.0\%$ のひずみレベルでは両者の応力 - ひずみ挙動は異なった挙動となり、各ひずみレベルにおいて砂混じり粘土の  $G_{eq}$  が高い値を示し、試料に含まれる砂分が動的変形特性に大きく影響を与えることがわかる。

## (2) せん断剛性率

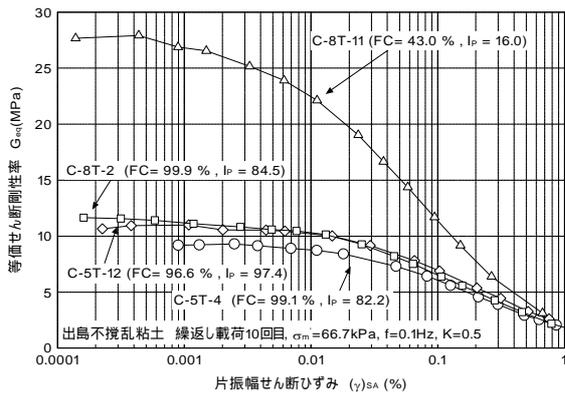
図 - 4(a)(b)(c)(d)に再構成粘土、出島不攪乱粘土、有明粘土 C 混合土および小野田粘土混合土の繰返し載荷 10 回目における等価せん断剛性率  $G_{eq}$  と片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$  の関係をそれぞれ示す。

(a)に示す再構成粘土の  $G_{eq} \sim (\gamma)_{SA}$  関係において、 $I_p$  が低いものほど初期剛性が高い傾向があるが、これは一般的な粘性土の特性<sup>12)</sup>を示すものである。(b)に示す出島不攪乱粘土においては、砂分を多く含む C-8T-11 のみが高い初期剛性を示し他の3つの試料の初期剛性および  $G_{eq} \sim (\gamma)_{SA}$  関係に大きな違いは認められない。(c)(d)に示す有明粘土 C 混合土および小野田粘土混合土において、各混合土ごとに FC が低下するにしたがって初期剛性が高くなる傾向が認められる。これは、砂の部分的な構造が FC の低下とともに発達して互いに接触するようになり、せん断応力に抵抗するために高い初期剛性を発揮するためであると考えられる。しかし、有明粘土 C 混合土のうち、ACC60, ACC80, ACC100 の3つの試料は FC が異なるにもかかわらず初期剛性および  $G_{eq} \sim (\gamma)_{SA}$  関係がほぼ一致している。これら3つの試料では、砂の部分的な構造は試料中に浮遊して存在して互いに接触せず、せん断応力に抵抗しないため、初期剛性および  $G_{eq} \sim (\gamma)_{SA}$  関係が砂を混合していない ACC100 と同等となったと考えられる。

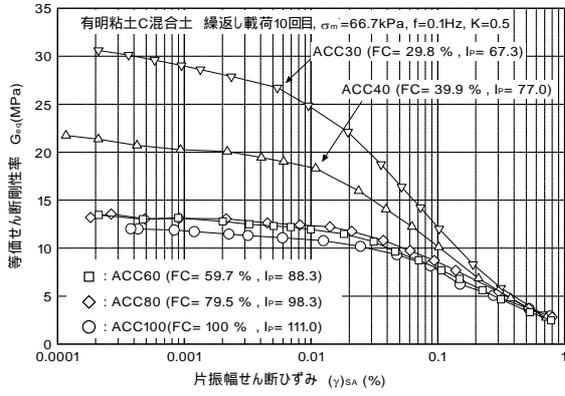
図 - 5 は初期せん断剛性率  $G_0$  と細粒分含有率 FC の関係を示したものである。図 - 4 の各曲線より  $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ に対する  $G_{eq}$  を読み取り、初期せん断



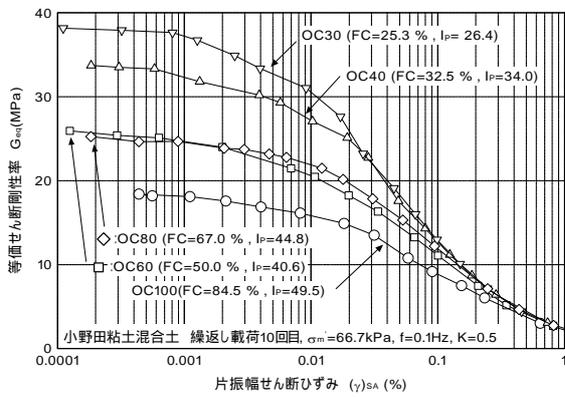
(a) 再構成粘土



(b) 出島不攪乱粘土



(c) 有明粘土C混合土



(d) 小野田粘土混合土

図 - 4 等価せん断剛性率と片振幅せん断ひずみの関係

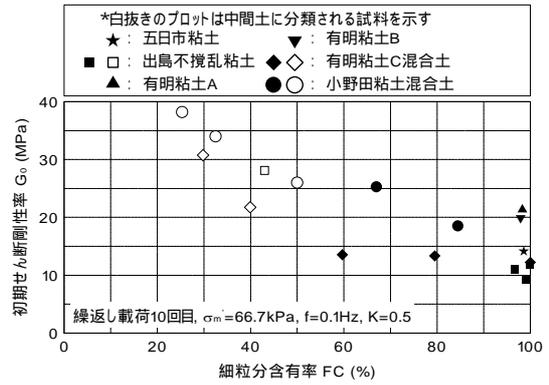


図 - 5 初期せん断剛性率と細粒含有率の関係

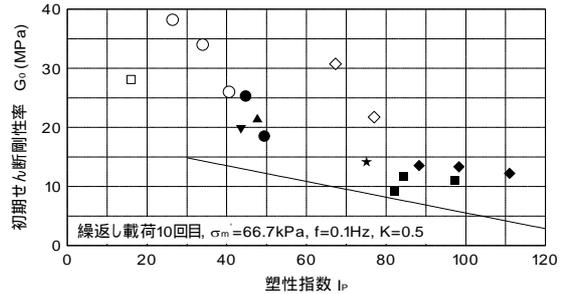


図 - 6 初期せん断剛性率と塑性指数の関係

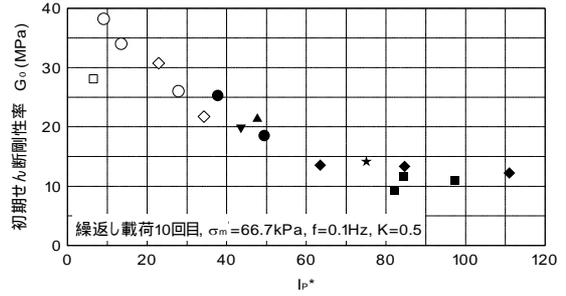


図 - 7 初期せん断剛性率と I\_p\* の関係

剛性率  $G_0$  として用いた。また、図中には中間土に分類される試料を白抜きのプロットで示している。図より、2つの混合土では傾向が異なるが、全体的に FC が低いものほど  $G_0$  が高い傾向が認められる。また、 $G_0$  が急激に高くなる FC は概ね FC=50% であり、これは中間土の範囲とされている FC=20~50%<sup>5)</sup> と良く一致する。

図 - 6 は初期せん断剛性率  $G_0$  と塑性指数  $I_p$  の関係を示したものであるが、全体として  $I_p$  が小さいものほど  $G_0$  が高い傾向が認められる。港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>13)</sup>では式(1)(2)<sup>2)</sup>により塑性指数 30 以上の粘性土の  $G_0$  は平均有効主応力  $\sigma_m'$  が一定であれば  $I_p$  のみで推定できることを示している。(図中の直線は  $\sigma_m'=66.7\text{kPa}$  の場合に式(1)により与えられる  $G_0$  を示している)

$$G_0 = (285 - I_p) \sigma_m' \quad (I_p \geq 30) \quad (1)$$

$$\sigma'_m = \frac{1+2K_0}{3} \sigma'_v \quad (2)$$

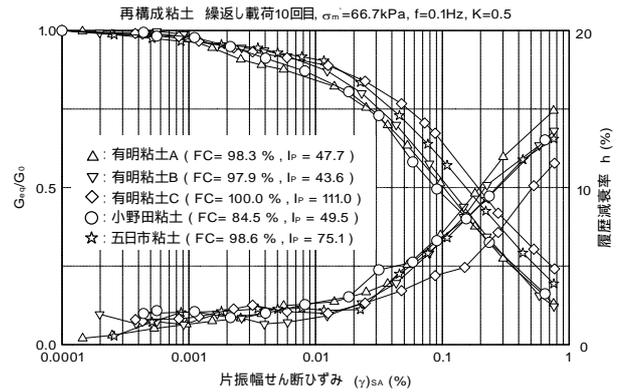
ここに $\sigma'_m$ は地盤中の平均有効主応力、 $\sigma'_v$ は有効土被り圧である。また通常、水平地盤では静止土圧係数  $K_0=0.5$  が用いられる。しかし本研究の試験結果では、2種類の混合土のうち中間土に分類される試料の  $G_0$  は含まれる砂分の影響を受けて同程度の  $I_p$  を示す粘性土よりも高い値を示し、 $G_0$  と  $I_p$  に良い相関性は認められない。したがって、本研究で用いた砂混じり粘土のように  $I_p=30$  以上を示す中間土を含めた土の  $G_0$  を  $I_p$  のみで推定することは困難であると考えられ、砂分が  $G_0$  に与える影響を考慮した方法を用いる必要がある。

図-7は初期せん断剛性率  $G_0$  と本研究で定義した  $I_p^*$  の関係を示したものであるが、中間土に分類される砂混じり粘土を含めた全ての試料の  $G_0$  と  $I_p^*$  の間に良い相関性を得ることができる。この結果は、塑性を有する土であれば、分類上砂質土にあたる土の  $G_0$  を粘性土と同じ方法を用いて推定することが可能であることを示唆している。

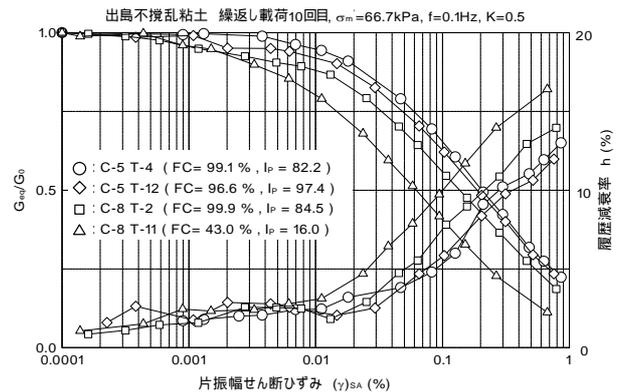
### (3) $G_{eq}/G_0$ および履歴減衰率と片振幅せん断ひずみの関係

図-8(a)(b)(c)(d)に再構成粘土，出島不攪乱粘土，有明粘土 C 混合土，小野田粘土混合土の繰返し載荷 10 回目における  $G_{eq}$  を  $G_0$  で正規化した  $G_{eq}/G_0$  および履歴減衰率  $h$  と  $(\gamma)_{SA}$  の関係をそれぞれ示す。(c)に示した有明粘土 C 混合土において、ACC100, ACC80, ACC60, ACC40, ACC30と FC が低下するごとに、 $G_{eq}$  および  $h$  のひずみ依存性が高くなる傾向が顕著に認められる。また(d)に示した小野田粘土混合土においても、同様な傾向が認められる。このことは、一般に  $G_{eq}$  および  $h$  のひずみ依存性は砂質土では高く粘性土では低い<sup>12)</sup>ことから、混合土に含まれる砂分の割合が増加することによって、その動的変形特性が粘性土の特性から砂質土の特性へ近づくことを示していると考えられる。

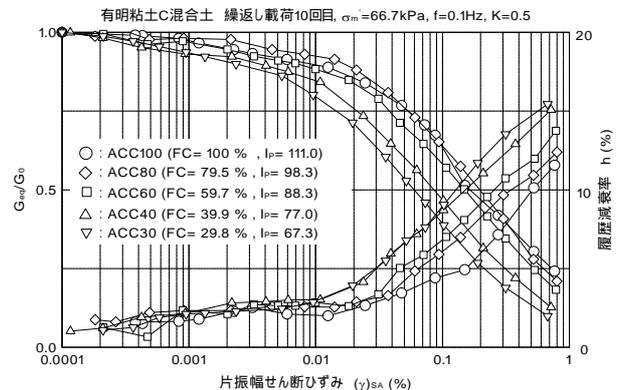
図-9は $(\gamma)_{SA}=0.01\%$ 、 $(\gamma)_{SA}=0.1\%$ 、 $(\gamma)_{SA}=1.0\%$ における  $G_{eq}/G_0$  と塑性指数  $I_p$  および  $I_p^*$  の関係を示したものである。白抜きのプロットは中間土に分類される試料を示している。 $G_{eq}/G_0 \sim I_p$  関係では、全体的に  $I_p$  が低いものほど、 $G_{eq}/G_0$  が低い傾向が認められるが、2種類の混合土のうち特に中間土に分類されるものは同程度の  $I_p$  を示す粘性土よりもさらに  $(\gamma)_{SA}$  に対する  $G_{eq}/G_0$  の減少量が大きくなり、各ひずみレベルにおける  $G_{eq}/G_0$  と  $I_p$  の間に良い相関性



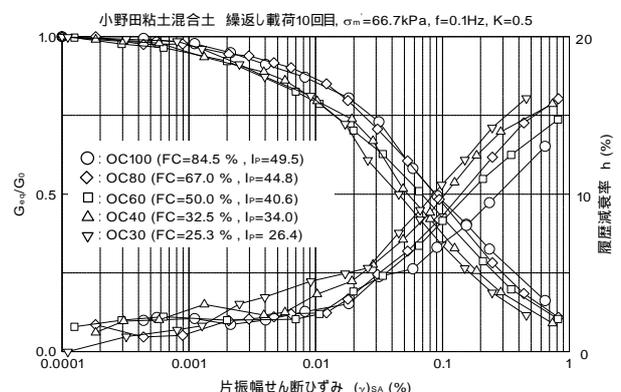
(a) 再構成粘土



(b) 出島不攪乱粘土



(c) 有明粘土 C 混合土



(d) 小野田粘土混合土

図-8  $G_{eq}/G_0$  および履歴減衰率と片振幅せん断ひずみの関係

#### 4. 結論

本研究では、拘束圧および周波数を一定とした中空ねじり繰返し単純せん断試験による動的変形試験を再構成および不攪乱海成粘土、砂混じり粘土に対して行い、粘性土および中間土の動的変形特性に及ぼす砂分と塑性指数の影響について検討した。本研究により得られた知見を要約すると以下の通りである。

- 1) 混合土の応力 - ひずみ関係に与える砂分の影響は比較的小さなひずみレベルで顕著であったが、 $(\gamma)_{SA}=1.0\%$ 程度では砂分の影響は認められなかった。
- 2) 砂分が $G_0$ に影響を与える細粒分含有率は概ね $FC=50\%$ であり、中間土と粘性土の境界とされる細粒分含有率と一致する結果であった。
- 3)  $G_0$ と $I_p$ の一義的な関係は中間土の場合には成立しない。しかし、本研究で定義した $I_p^*$ は粘性土および中間土の $G_0$ と非常に良い相関性を示した。
- 4) 粘性土と中間土の $G_{eq}/G_0$ および $h$ は、各ひずみレベルにおいて本研究で定義した $I_p^*$ と直線関係にあることを示した。これより、砂分を考慮したパラメータを用いれば、塑性を有する土の動的変形係数は粘性土と同様の方法で推定することが可能である。

#### 参考文献

- 1) 龍岡文夫：新体系土木工学18 土の力学(III)，pp.195-256，技報堂出版
- 2) 沿岸開発技術センター：埋立地の液状化ハンドブック（改訂版），pp.66-69，1997
- 3) 田中洋行，Jacques Locat：塑性指数に関する再考察，土と基礎，Vol.46，No.7，pp.9-12，1998
- 4) 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
- 5) 地盤工学会：ジオテクノート2 中間土 砂か粘土か，1992
- 6) 地盤工学会：地盤材料の工学的分類方法，土質試験の方法と解説 第1回改訂版，第4編，第2章，pp.214-237，2000
- 7) 地盤工学会：土の液性限界・塑性限界試験方法，土質試験の方法と解説 第1回改訂版，第4編，第2章，pp.93-98，2000
- 8) 小田美明，三田地利之，木藤勇人：粘性土の非排水線挙動に及ぼす圧密時間の影響，土木学会論文集，No.412/III-12，pp.117-126，1989
- 9) Kamei, T., Ogawa, S. and Tanaka, N. : The variation in undrained shear characteristics during consolidation

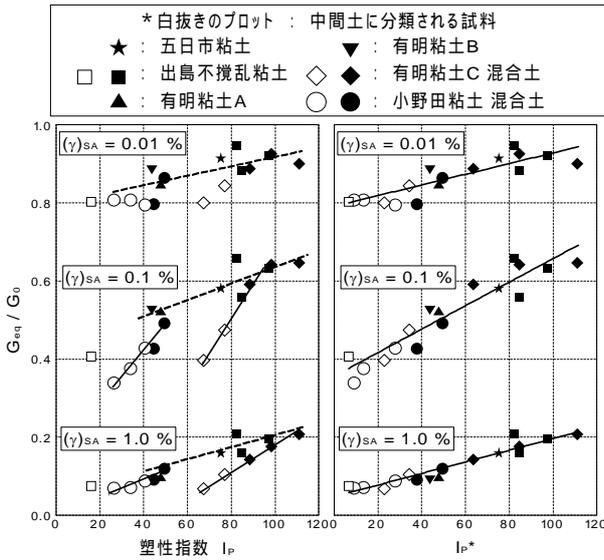


図 - 9  $G_{eq}/G_0$ と塑性指数および $I_p^*$ の関係

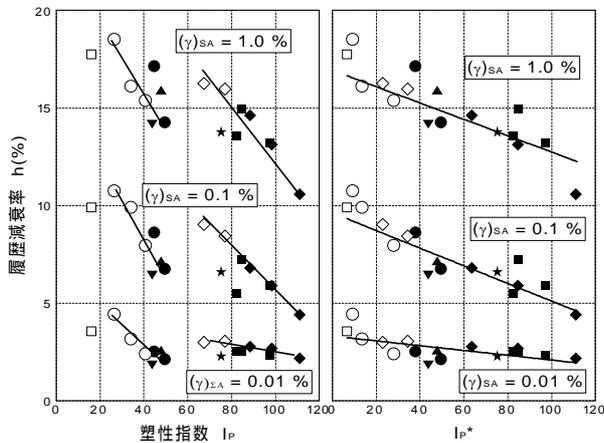


図 - 10 履歴減衰率と塑性指数および $I_p^*$ の関係

は認められない。これに対して、 $G_{eq}/G_0 \sim (\gamma)_{SA}$ 関係では各ひずみレベルにおいて、中間土を含めた全試料の $G_{eq}/G_0 \sim (\gamma)_{SA}$ 関係は直線関係で表すことができる。

図 - 10 は $(\gamma)_{SA}=0.01\%$ ， $(\gamma)_{SA}=0.1\%$ ， $(\gamma)_{SA}=1.0\%$ における履歴減衰率  $h$  と塑性指数  $I_p$  および  $I_p^*$  の関係を示したものである。  $G_{eq}/G_0$  と比較して  $h$  はデータのばらつきが大きい，  $h$  の場合も同様に  $h \sim I_p$  関係には混合土の種類ごとに別々の増加傾向があり，  $h$  と  $I_p$  の相関は良くないが，  $h \sim I_p^*$  関係では各ひずみレベルにおいて全ての試料の  $h$  と  $I_p^*$  は直線関係にあることがわかる。

以上の結果から、従来の塑性指数ではなく、試料中に含まれる砂分を考慮したパラメータ $I_p^*$ を用いることにより、塑性を有する土の動的変形係数を粘性土または砂質土の分類に関係なく推定することが可能であると考えられる。

- process , Soils and Foundations , Vol.27 , No.3 , pp.91-98 , 1979
- 10) 地盤工学会：変形特性を求めるための繰返し試験，土質試験の方法と解説 第1回改訂版，第7編，第7章，pp.678-697，2000
- 11) 柴田英明：電磁顕微鏡観察による締固めた砂・粘土混合土の構造についての一考察，第18回土質工学会研究発表会，pp.1433-1436，1983
- 12) 土木学会：動的解析と耐震設計 第1巻 地震動・動的物性，技報堂出版，1989
- 13) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻），1999

(2003.6.30 受付)

## EFFECT OF PLASTICITY ON DYNAMIC SHEAR DEFORMATION OF SOIL

Suguru YAMADA, Masayuki HYODO, Yukio NAKATA, Norimasa YOSHIMOTO  
and Hidekazu MURATA

Cyclic simple shear deformation tests was carried out by hollow cylindrical torsional triaxial shear apparatus. Reconstituted samples were prepared by mixing the silica sand and two kind of clays with various mixture ratio. Undisturbed samples with various plasticity were also tested.

It was found that the shear modulus and damping ratio for soils were greatly dependent on the sand contents and plasticity. The relationship between these moduli and plasticity index, however, did not show unique line but showed different lines belong to each clays.

A new plasticity index  $I_p^*$  which was defined by samples including sand contents was introduced . As a result, a unique relationship was obtained between dynamic shear moduli and new defined and  $I_p^*$  for all the samples.