

## 締固めた混合土の強度異方性について

(Studies on Strength Anisotropy of Compacted Mixed Soils)

鬼塚 克 忠\* (Katsutada Onitsuka)  
吉 武 茂 樹\*\* (Shigeki Yoshitake)キーワード：異方性／砂質土／締固め／せん断強さ  
／粘性土／不飽和土 (IGC : D 6)

## 1. ま え が き

堤防や道路、鉄道の盛土などの人工的に締固めた土中の応力は異方的であり、加えて土粒子の形状は一般に偏平である。従来の研究<sup>1),2)</sup>によると、締固め土の構造は主に締固めの方法によって決まり、これが力学的特性を大きく左右すると考えられている。このように、異方性を含めた締固め土の力学的特性は締固め方法と密接な関係にある。実際問題として、現場における締固め土の斜面の安定計算や基礎の支持力の設計・施工に当たっては、この異方性を考慮しなければならない。

従来より著者らは、土の種類、締固め方法、締固め時の含水比と密度、非水浸・水浸条件と締固め土の異方性との関係を明らかにしてきた<sup>3)~5)</sup>。その結果、砂質土と粘性土では特に強度異方性に大きな違いのあることが分かった。すなわち、砂質土では締固め方法や密度の違いによる異方性の差異は見られない。粘性土の場合は締固め方法の違い、締固め時のエネルギーの大小によって異方性は異なることが明らかになった。

一般に、土は砂分の含有率が 85% 以上であれば砂の性質を有し、60% 以上であれば砂質土の性質を有するといわれている<sup>6)</sup>。果たして異方性も砂の含有率の増減によって異なるのか。また締固め方法が違えばどうなるのか。

以上の点を踏まえ、締固め方法、砂の混合率の違いと異方性の関係を明確にしようとした。具体的には砂の混合率を変えた試料を用いて、各混合率での最適含水比で動的および静的な締固め方法で締固めた混合土の供試体を作製した。この供試体から水平および垂直方向に削り出した2種類のサンプルについて、構造観察、一面せん断試験を実施し、締固めた混合土の非水浸・水浸条件における強度異方性を明らかにした。

なお、せん断試験としては、他に単純せん断試験、三軸圧縮試験、平面ひずみ試験、三主応力制御試験等が考えられる。しかし、本研究では、これらの試験に比べて装置が簡単で、その取扱いや供試体の作製が容易であり、また、せん断面の角度が規定できることから一面せん断試験を実施した。このせん断面の角度が明確であることは、著者らの研究目的の一つであるせん断特性と土構造(土粒子の配向性)との関係を、試験結果から類推するうえで重要なものであるといえる。加えて一面せん断試験は平面ひずみ条件により近い状態での試験であるという考えも示されている。

これらのことから、一面せん断試験は、本研究においては適切な試験と考えられる。

## 2. 試料、供試体および試験方法

## 2.1 試料および供試体

## 2.1.1 試料の性質

試料は、市販の白色粘土と豊浦標準砂である。その物理的性質、粒度分布は表-1、図-1に示すとおりである。なお、著者らが既に行った締固め土の研究<sup>3)~5)</sup>の一環として使用した風化片岩、まさ土についても表-1、図-1に示している。

## 2.1.2 供試体

表-1に示した白色粘土に豊浦標準砂を加えた中間土である混合土を作製した。この混合土の砂の混合率は乾燥質量比(全乾燥質量に対する砂の乾燥質量)で0, 20, 40, 60, 80%の5段階とした。各混合率の粒度分布は図-1に、最適含水比  $W_{opt}$  と最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$  の関係は表-2に示している。供試体は、各混合率での最適含水比に調整し 10 cm × 10 cm × 10 cm の立方体モールドに2通りの方法で締固めて作製した。締固め方法は、JIS-A-1210、呼び名 1-1 に準じた動的突固め(3層 25回)と、この動的突固めで得られた供試体と同じ含水比と密度をもつように圧縮装置によりプランジャーを介してモールド内に締固めた静的締固めである。動的および静的に締固めた供試体から図-2に示すように締固め方向と垂直な方向ならびに平行方向に削り出した。同図の H Sample は上下面が締固め方向と垂直方向に、また

\* 佐賀大学理工学部土木工学科 助教授(佐賀市本庄町1)

\*\* 佐賀大学理工学部土木工学科 助手(佐賀市本庄町1)

(1982. 11. 5 原稿受付・討議期限 1984. 10. 1)

表-1 試料の性質

Sample	$G_s$	$W_L$ (%)	$W_p$ (%)	$W_{opt}$ (%)	$\rho_{dmax}$ (t/m <sup>3</sup> )	Distribution (%)				Classification
						Gravel	Sand	Silt	Clay	
White clay	2.705	50	25	25.0	1.488	0	0	40	60	CH
Weathered schist	2.771	36	10	15.3	1.779	29	45	18	8	SH
Masa soil	2.633	NP	NP	11.5	1.910	10	70	14	6	SH
Toyoura sand	2.641	NP	NP	—	—	0	100	0	0	SP

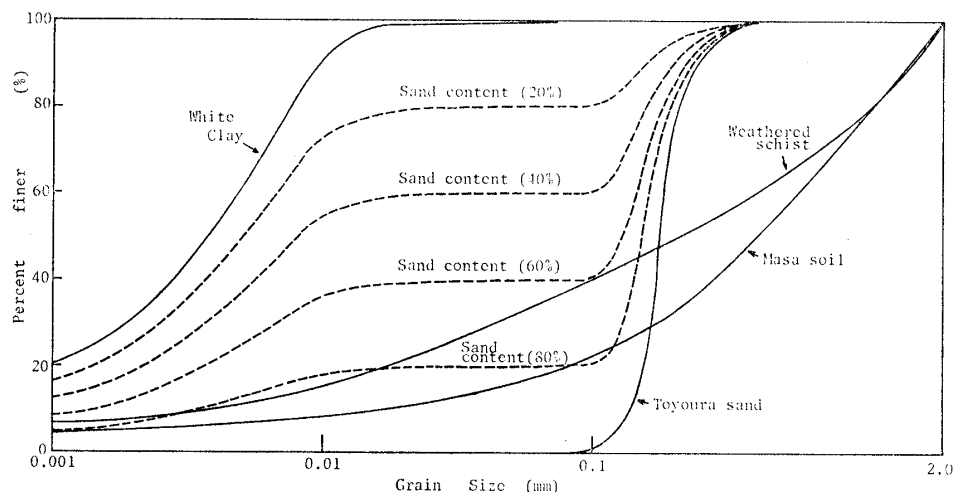


図-1 粒径加積曲線

表-2 砂の混合率と最適含水比, 最大乾燥密度との関係

Sand content (% of total dry weight)	0	20	40	60	80
Optimum water content $W_{opt}$ (%)	25.0	23.1	18.0	11.8	11.1
Maximum dry density $\rho_{dmax}$ (t/m <sup>3</sup> )	1.488	1.589	1.723	1.863	1.869

た後, 直ちにせん断する非水浸試験(Un-Soaking Test)と, 圧密後せん断箱に水を入れ垂直方向の変位が落ちつくまで(約1~2時間)放置し, その後せん断する水浸試験(Soaking Test)を実施した。せん断速度は 0.5 mm/min のひずみ制御式で, 使用した機種は在来型である。

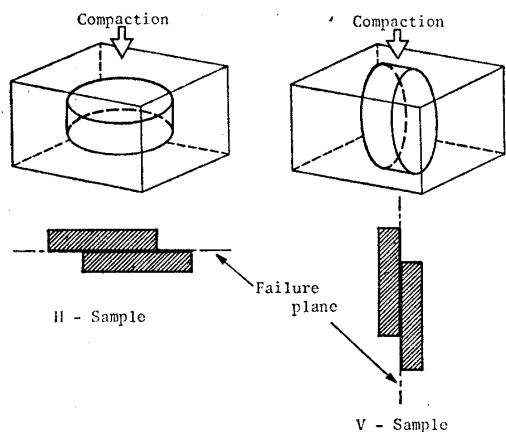


図-2 H-Sample と V-Sample

V Sample は同じく上下面が締固め方向に平行になるように削り出した供試体を意味している。これらのサンプルは直径 6cm, 厚さ 1.2cm である。

2.2 試験方法

2.2.1 一面せん断試験

動的および静的に締固めた混合土の H Sample, V Sample について, 所定の垂直荷重で1~2時間圧密し

3. 構造異方性

3.1 構造観察の結果

動的および静的に締固めた混合土の H, V Sample について走査型電子顕微鏡撮影による構造観察を行った。その土構造の写真を写真-1, 2, 3, 4, 5, 6 に示している。ここで, 水平面は締固め方向に垂直な面であり, すなわち H Sample の上下面に平行である。一方, 垂直面は締固め方向と平行な面であり, V Sample の上下面に平行である。写真-1 は砂の混合率 0%, 動的突固め供試体の水平面, 写真-2 は垂直面の土構造を示している。これらの写真から板状の粘土粒子であることが認められる。また, 水平面上における粒子の配向性の度合い, 垂直面上のものより若干大きいことが分かる。写真-3 は砂の混合率80%, 動的突固め供試体の水平面, 写真-4 は垂直面の土構造である。これらからは「やや角ばっている」砂粒子の結合の様子が認められる程度で, 水平面, 垂直面の土構造の違いは明確ではない。写真-5 には砂の混合率 60%, 動的突固め供試体の垂直面を, 写真-6 には砂の混合率 20%, 静的締固め供試体の垂直面を示

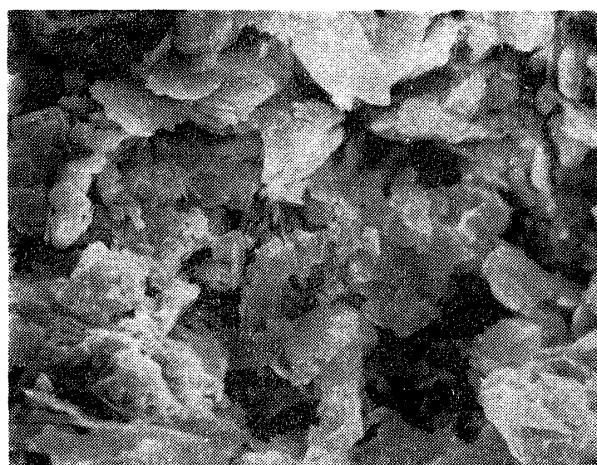


写真-1 白色粘土の土構造，水平面（動的突固め，砂の混合率 0%）

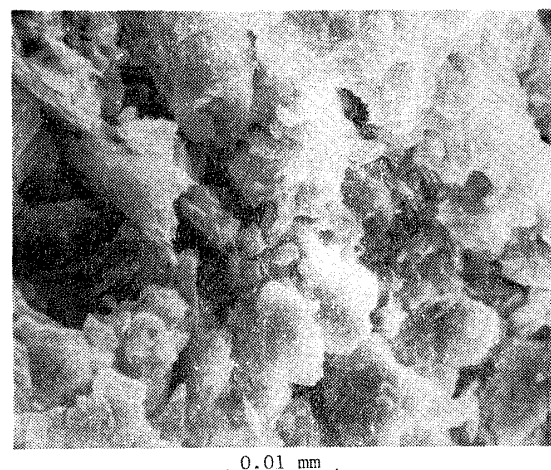


写真-2 白色粘土の土構造，垂直面（動的突固め，砂の混合率 0%）

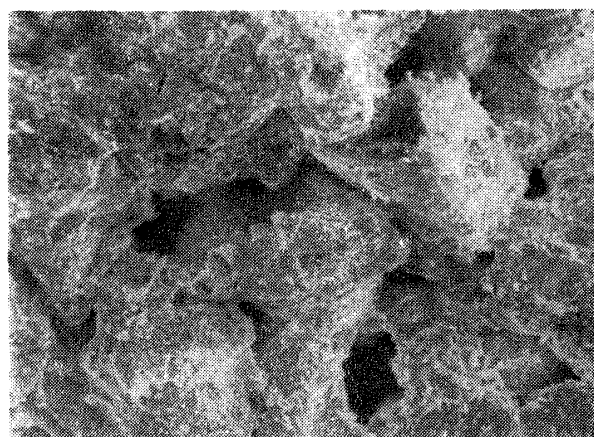


写真-3 混合土の土構造，水平面（動的突固め，砂の混合率 80%）

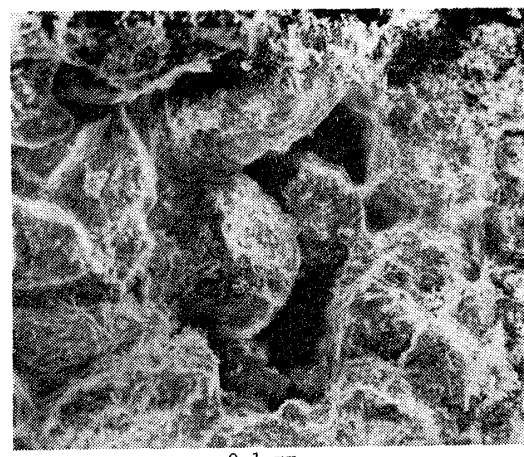


写真-4 混合土の土構造，垂直面（動的突固め，砂の混合率 80%）

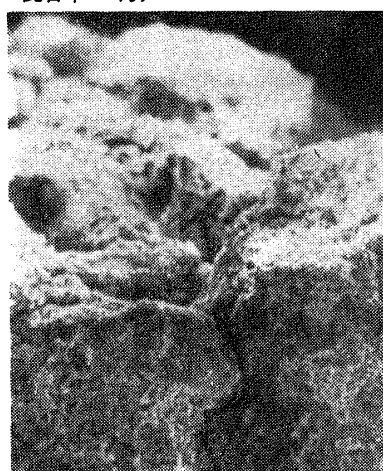


写真-5 混合土の土構造，垂直面（動的突固め，砂の混合率 60%）

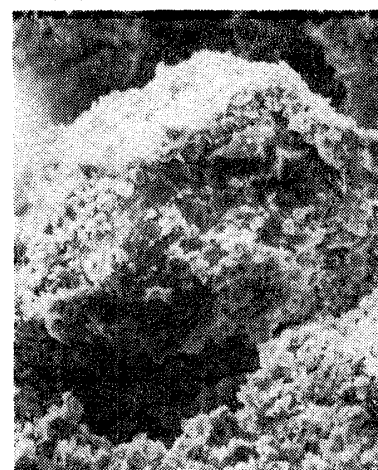


写真-6 混合土の土構造，垂直面（静的締固め，砂の混合率 20%）

している。この2枚の写真からは、砂粒子相互のかみ合いの様相、砂粒子の周りに付着している細かい粘土粒子の様子などを見ることができる。

### 3.2 構造観察の考察

動的および静的に締固めた供試体から削り出した水平

面および垂直面の走査型電子顕微鏡撮影による構造観察では、その明確な構造異方性を認めることはできなかった。しかしながら、Yong と Warkentin の考え<sup>2)</sup>を著者らがモデル化した土構造の概念図<sup>3),4)</sup>(図-3)によって、特に粘性土については動的および静的締固め土の異方性

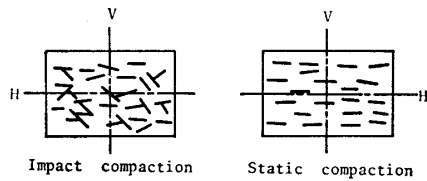


図-3 土構造に及ぼす締固め方法の影響

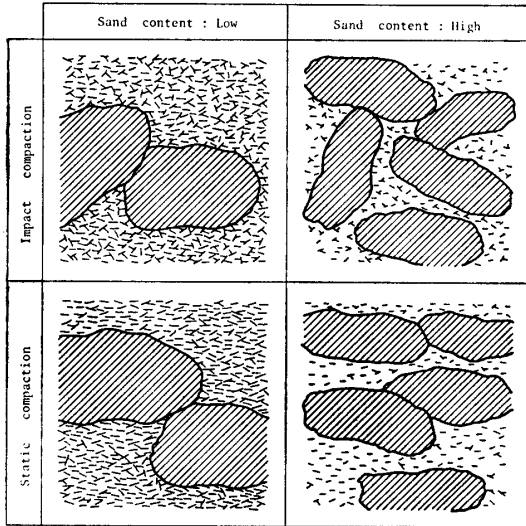


図-4 砂の混合率と締固め方法を考慮してモデル化した混合土の土構造図

を大部分説明することができる。すなわち、図-3のような土構造を考えると、H方向にせん断した場合、動的に突固めた供試体の方が静的締固めのものよりもせん断強度は大きい。またV方向については、逆に、静的に締固めた供試体のほうが大きいものと推察できる。

以上のような構造観察と以下に示す一面せん断試験結果も踏まえ、非水浸状態における締固めた混合土の土構造を簡単にモデル化してみると図-4に示すようになり、動的に突固めた場合、ややランダムに近い土構造になるものと考えられる。しかしながら、混合率が低い時には、主に粘土粒子が、混合率が高いと砂粒子がそれぞれ突固め方向と垂直方向、すなわち、水平面の方が粒子配列は卓越しているものと思われる。静的締固めでは、粘土粒子、砂粒子ともに大きい静的圧力での締固めにより、水平方向に配向した土構造になるものと推察できる。

#### 4. 強度異方性

##### 4.1 一面せん断試験の結果

###### 4.1.1 動的に突固めた場合

###### 1) 非水浸の場合

図-5に砂の混合率0%、80% 供試体のせん断応力・垂直変位と水平変位の関係を示した。図中の白丸はH Sample、黒丸はV Sampleを表している。

混合率0%の白色粘土では、H Sampleのほうがせん断応力、せん断強度ともに大きい。 $(\tau)_H > (\tau)_V$ 、

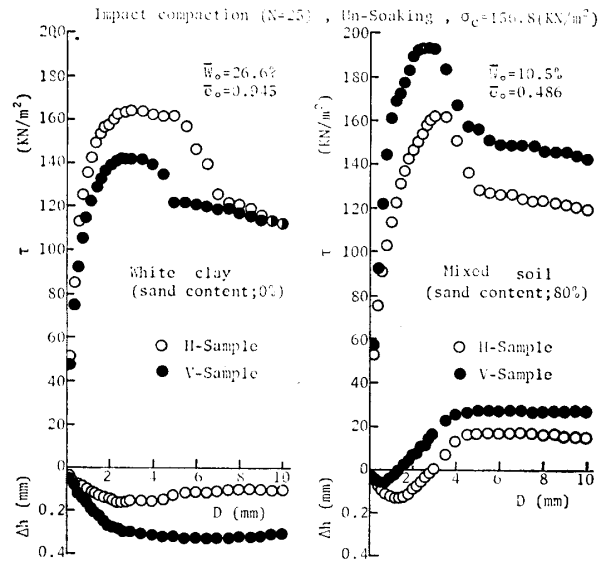


図-5 砂の混合率0%と80% 供試体の強度異方性の比較 (動的突固め、非水浸試験)

$(\tau_f)_H > (\tau_f)_V$  である。また、垂直変位の収縮量も少なく、垂直応力  $\sigma$  が小さいと、膨張しやすくより大きな正のダイレイタンスーを示している。一方、混合率80%の混合土では、まったく逆の挙動を示している。すなわちV Sampleのほうがせん断応力、せん断強度ともに大きく  $(\tau)_V > (\tau)_H$ 、 $(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$  である。また、V Sampleのほうが膨張に転じやすく、より大きな正のダイレイタンスー特性を示す。

###### 2) 水浸の場合

図-6には、砂の混合率0%、60%、80% 供試体の水浸時におけるせん断応力・垂直変位と水平変位の関係を示している。水浸すると、各混合率とも非水浸時に比べてせん断強度はかなり低下する。しかし、混合率0%、80%ではH、V Sampleに幾分異方性がみられる。ただ混合率60%の場合、特に動的突固めではH、V Sampleのせん断強度異方性はほとんど消滅する。

###### 4.1.2 静的に締固めた場合

###### 1) 非水浸の場合

図-7に砂の混合率0%、80% 供試体のせん断応力・垂直変位と水平変位の関係を示している。

図-7からも分かるように、砂の混合率に関係なくV Sampleのほうがせん断応力、せん断強度ともに大きく  $(\tau)_V > (\tau)_H$ 、 $(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$  である。また、V Sampleのほうが垂直変位の収縮量も少なく、小さな水平変位で膨張に転じやすい傾向にある。このように静的締固めでは、砂の混合率の変化による異方性の差異は顕著ではない。

###### 2) 水浸の場合

静的に締固めた混合土を水浸条件でせん断すると、前述の動的に突固めた供試体の水浸の場合と同様な挙動を示す。すなわち、各混合率とも非水浸時に比べてせん断

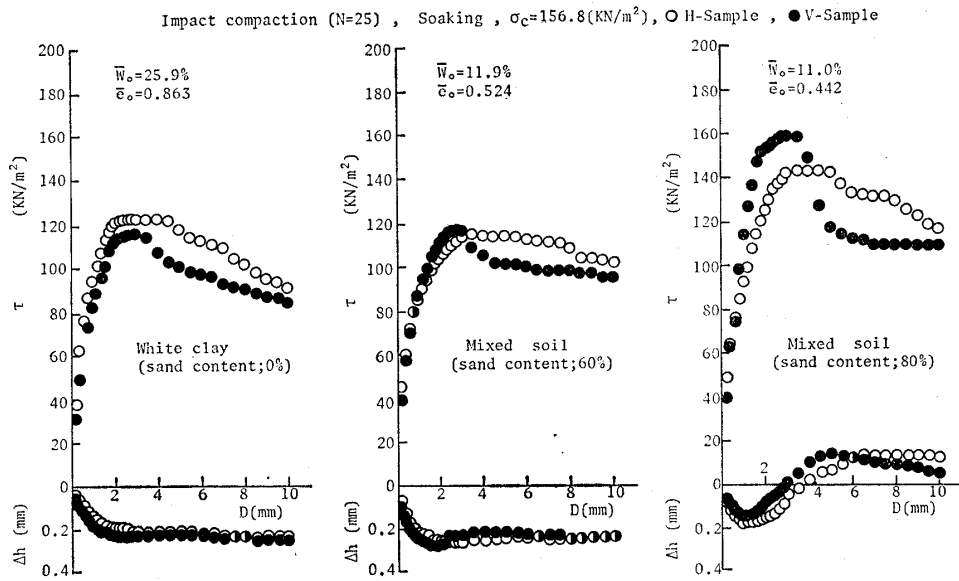


図-6 砂の混合率 0%, 60% と 80% 供試体の強度異方性の比較 (動的突固め, 水浸試験)

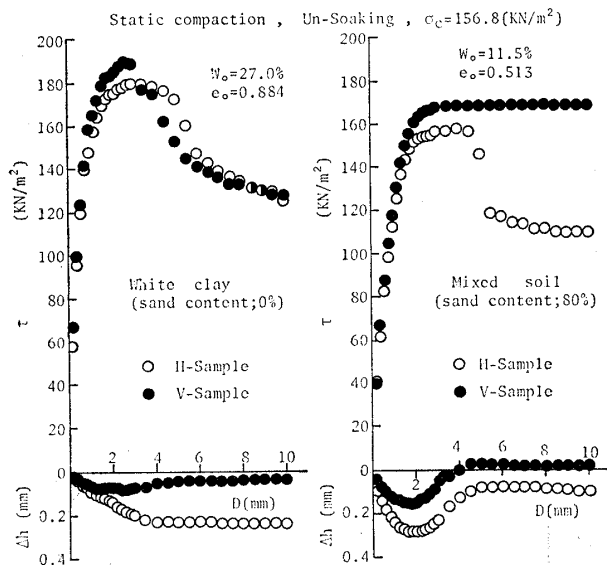


図-7 砂の混合率 0% と 80% 供試体の強度異方性の比較 (静的締固め, 非水浸試験)

強度はかなり低下する。しかしながら, H, V Sample のせん断強度異方性は残留している。その程度は動的突固めに比べて幾分か大きいようである。

#### 4.2 一面せん断試験結果の考察

##### 4.2.1 応力-変位特性

###### 1) 動的に突固めた場合

一面せん断試験の応力-変位特性における異方性の現われかたは, 試料が砂質土であるか, 粘性土であるかによって, また, 締固め方法と締固め密度の違いによって異なる<sup>3),4)</sup>。

今回の混合土の動的突固め非水浸の場合, 砂の混合率が低いときは, せん断応力は H Sample が V Sample よりも大きい。 $(\tau)_H > (\tau)_V$  である。また垂直変位についても, H Sample のほうがせん断時における収縮量は

小さく, 特に小さい垂直応力  $\sigma$  では膨張に転じやすい。このような異方性を示す理由としては著者らの締固めた粘性土の場合<sup>3),4)</sup>と同様なことが考えられる。すなわち, H, V Sample の先行荷重の違い, および粘着力の差があげられる。上下方向に突固めた場合, 削り出した H, V Sample の先行荷重は, 一般に,  $(P_0)_H > (P_0)_V$  である。著者らの静的に締固めた白色粘土では,  $(P_0)_V / (P_0)_H = 0.4 \sim 0.6$  という値が得られている<sup>3),4)</sup>。一面せん断試験での圧密荷重は高々  $\sigma_c = 156.8(\text{kN/m}^2)$  であり, 一般に, 過圧密状態での試験といえる。H, V Sample について, 各々過圧密比 OCR を求めて, 比較してみると,  $(OCR)_H \approx 2(OCR)_V$  であることが推定できる。よって突固め方向に垂直に削り出した H Sample のほうが V Sample より先行荷重, 過圧密比ともに約 2 倍程大きい。このために  $(\tau)_H > (\tau)_V$  となる。

著者らが先に行った試験結果<sup>3),4)</sup>から, 粘着力を比較してみると, H Sample のほうが V Sample よりも大きくなっている。このことは, 土粒子が締固め方向に垂直方向, すなわち水平面のほうが粒子配列が卓越し, そのために粒子接触面積が大きくなり, この面に沿ってせん断したときに大きい粘着力抵抗が発揮されるものと推察できる。

以上のような理由で, 動的突固め非水浸の場合, 砂の混合率が低いときは  $(\tau)_H > (\tau)_V$  なる異方性を示す。

砂の混合率が高いと, せん断応力は V Sample のほうが H Sample よりも大きい。 $(\tau)_V > (\tau)_H$  である。また, V Sample のほうがせん断時の収縮量も小さく膨張に転じやすい。この異方性は著者らが既に行った締固めたまき土や締固めた風化片岩の場合<sup>3),4)</sup>と一致している。Mahmood と Mitchell<sup>7)</sup> の破碎した玄武岩の一面せん断試験でも V Sample のほうが H Sample よりも

せん断強度は大きいことが示されている。また、柳の乱さない砂質土のせん断試験<sup>9)</sup>においても、著者らの V Sample に相当するものがせん断強度は大きくなっている。一方、小田の豊浦砂を用いた室内実験では、 $\delta=90^\circ$  ( $\delta$ : 圧縮方向 ( $\sigma_1$ ) と堆積面との傾角) の供試体において最大のせん断抵抗が発揮され、 $\delta=0^\circ$  のとき最小となるという結果<sup>9),10)</sup>が得られている。

このように、砂の混合率が高いと、一般に、砂質土の場合と同様に  $(\tau)_V > (\tau)_H$  なる異方性を示している。この原因としては、土粒子が突固め方向に対しておおむね垂直方向に配列するためと考えられる。著者らの構造観察では確認できなかったが、砂の混合率が高い場合には、土粒子の配列方向が強度異方性に大きく寄与しているものと思われる。よって、動的突固め非水浸の場合、砂の混合率が高くなると  $(\tau)_V > (\tau)_H$  なる異方性を示す。

2) 静的に締固めた場合

静的締固め非水浸では、砂の混合率に関係なく V Sample のほうが H Sample よりもせん断応力は大きく  $(\tau)_V > (\tau)_H$  である。また、V Sample のほうが垂直変位の体積収縮量も少なく、小さな水平変位で膨張に転じやすい傾向にある。このように静的締固めでは、混合率の変化による異方性の差は顕著ではない。この理由としては、大きな静的圧力での締固めにより、土粒子が水平方向に配向し、この土構造の影響が大きく現われたためと考えられる。

このことから、静的締固め非水浸では、砂の混合率に関係なく  $(\tau)_V > (\tau)_H$  なる異方性を示す。

3) 水浸の場合

水浸すると、動的突固め、静的締固めともに非水浸に比べて、各混合率とも強度はかなり低下する。しかしながら、砂の混合率 0%, 80% では V Sample に幾分異方性がみられる。混合率 0% の場合には、締固め土の研究結果<sup>3),4)</sup>からも分かるように、粘着力の一部が残存するためと思われる。混合率 80% では、砂と粘土との混合土というよりは、むしろ 図-1 から分かるように、砂に近い粒度分布を有しているため砂そのものの性状を発揮しているものと考えられる。混合率 60% の場合は、砂質土の性質を有しているものと思われ、特に、動的突固めでは、著者らの締固め土の研究結果<sup>3),4)</sup>と同じく異方性はほとんど消滅する。

以上のような一面せん断試験結果を今回の締固めた混合および従来からの締固め土についてまとめて整理すると表-3 のようになる。

4.2.2 せん断強度特性

前述のごとく、強度異方性は粘性土と砂質土では異なる。このことから、土の中に含有される粘土分、砂分の多少で異方性は異なるものと推察できる。そこで、一面

表-3 一面せん断試験の結果

Sample	Method of compaction	Direct shear test	
		Un-Soaking	Soaking
White clay	*Impact compaction (N=25)	$(\tau_f)_H > (\tau_f)_V$	
	*Static compaction	$(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$	$(\tau_f)_H \approx (\tau_f)_V$
	Static compaction (0.90 $\rho_{dmax}$ , 0.85 $\rho_{dmax}$ , 0.80 $\rho_{dmax}$ )	$(\tau_f)_H > (\tau_f)_V$	$(\tau_f)_H \approx (\tau_f)_V$
Weathered schist	Impact compaction (N=25, N=25, N=50)	$(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$	$(\tau_f)_V \approx (\tau_f)_H$
Masa soil	**Impact compaction (N=25)	$(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$	
	**Static compaction		
	Impact compaction (N=15)		
Mixed soil of White clay and Toyoura sand	***Impact compaction (N=25)	$r > 60\%$ $(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$	$(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$
	***Static compaction	$r < 60\%$ $(\tau_f)_H > (\tau_f)_V$	$(\tau_f)_H > (\tau_f)_V$
		$(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$	

(N=Number of blow ; r=Sand content (% of total dry weight))

\*, \*\*, \*\*\* Same water content and same dry density for same symbol

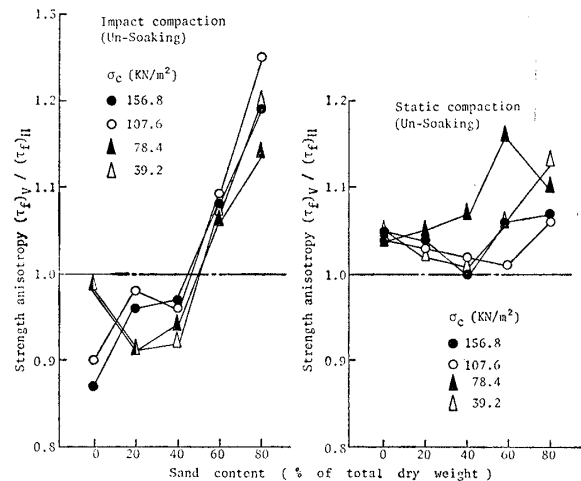


図-8 砂の混合率と混合土の強度異方性との比較 (動的および静的締固め、非水浸試験)

せん断試験における H, V Sample のピーク時のせん断強度の比  $(\tau_f)_V / (\tau_f)_H$  と砂の混合率との関係を示したのが 図-8, 図-9 である。非水浸の場合、図-8 の動的突固めでは、砂の混合率が 60% を超えると V Sample のほうがせん断強度は大きくなり、60% 以下では H Sample が大きい。同じく、同図の静的締固めでは、砂の混合率に関係なく V Sample のほうが H Sample よりもせん断強度は大きい。これらのことから、混合率が

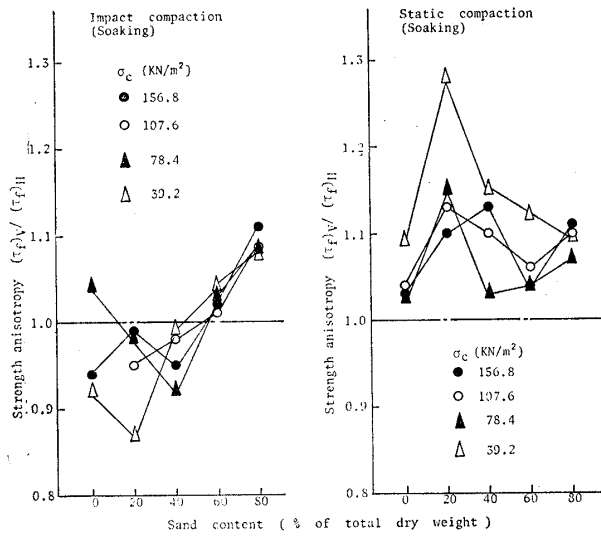


図-9 砂の混合率と混合土の強度異方性との比較 (動的および静的締固め, 水浸試験)

60% 以上では砂質土の、60% 以下では粘性土の強度異方性を有していることが分かる。先述のごとく、一般に、土はその含有砂分が 60% 以上であれば砂質土として、85% 以上であれば砂として取扱ってよいとの報告<sup>6)</sup>がある。締固めた混合土の強度異方性についても同様な試験結果が得られた。

水浸条件では 図-9 に示すようになる。動的突固め、静的締固めともに非水浸の場合とほぼ同じような傾向を示している。ただ、動的に突固めた、砂の混合率 60% 以上の供試体では、非水浸に比べて異方性はかなり小さくなっている。

次に、砂の混合率の増減による粘着力  $C_d$ 、内部摩擦角  $\phi_d$  の変化を動的突固めおよび静的締固めについて示したのが 図-10、図-11 である。動的に突固めた場合、非水浸条件における粘着力は砂の混合率が 60% 以上になると、V Sample のほうが、60% 以下では H Sample のほうが大きい。静的締固めでは、砂の混合率に関係なく、V Sample のほうが粘着力は大きい。内部摩擦角については、動的および静的締固めともに、H, V Sample の間に数度の差があるものの明確な異方性は認められない。このことから、締固めた混合土の強度異方性は、主に粘着力の差に起因するものと思われる。

水浸すると、粘着力は動的突固め、静的締固めともに大幅に減少する。特に、動的突固め、混合率 60% では、H, V Sample とともにほとんど 0 に近くなる。内部摩擦角は非水浸の場合と同様な傾向を示し、水浸による影響はあまりみられない。

#### 4.2.3 ダイレイタンスー特性

ダイレイタンスー指数  $\{D \cdot I = A(h/H)/\Delta D\}$  と砂の混合率との増減を比較してみると、動的突固めでは、混合率が 60% を超えると V Sample のほうが大きく、60%

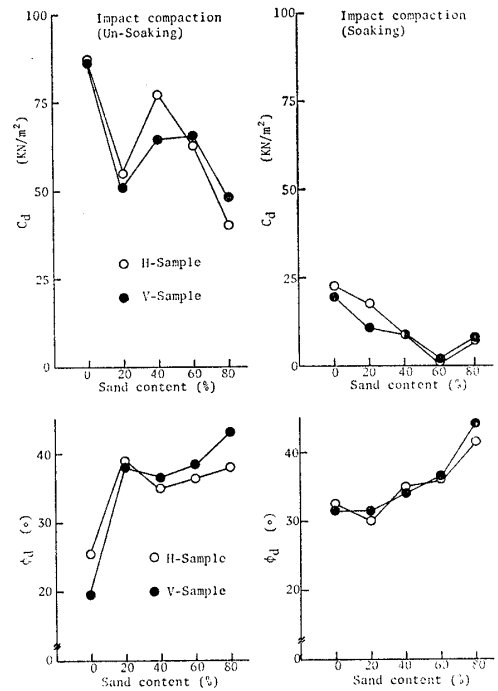


図-10 砂の混合率と混合土の見かけの粘着力および内部摩擦角との関係 (動的突固め, 非水浸および水浸試験)

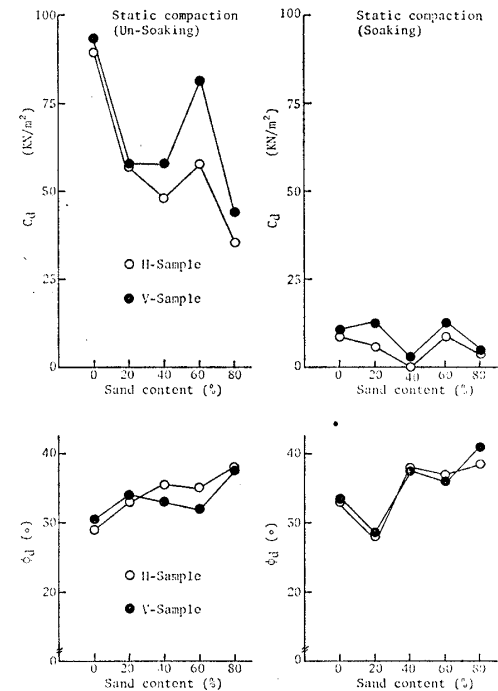


図-11 砂の混合率と混合土の見かけの粘着力および内部摩擦角との関係 (静的締固め, 非水浸および水浸試験)

以下では H Sample が大きい。また、静的締固めでは、ほぼ V Sample のほうが大きい傾向にある。このことから、ダイレイタンスー特性と 4.2.2 で述べたせん断強度特性とは、ほぼ対応関係にあると思われる。

## 5. ま と め

砂質土と粘性土では、締固め方法の違いによってまっ

たく異なる異方性を呈する。このことから、土の中に含まれる砂分、粘土分の多少で異方性は異なるものと推察できる。そこで、粘土に砂を一定の割合で混合した試料を用いて、各混合率での最適含水比で動のおよび静的に締固めて供試体を作製した。これより互いに直角方向に削り出した2種類のサンプルについて、構造観察、一面せん断試験を実施した。これらの観察や試験から、砂の混合率の増減による土構造と締固め方法との関係、また強度異方性と締固め方法との関係について明らかにした。

1) 走査型電子顕微鏡撮影では、締固め方法、H, V Sample の違いによる土構造の差を明確に認めることはできなかった。しかしながら、動的に突固めた場合には、ややランダムに近い土構造を有するものと思われるが、一面せん断試験結果などから、突固め方向と垂直方向、すなわち、水平面の粒子配列が卓越した土構造に、静的締固めでは、大きい静的圧力での締固めにより、水平方向に配向した土構造になるものと推察できる。

2) 一面せん断試験の応力-変位特性およびせん断強度特性における異方性は、砂の混合率の違い、締固め方法の違いによって異なる。

3) 動的に突固めた場合、砂の混合率 60% 以上では  $(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$  であり、60% 以下では  $(\tau_f)_H > (\tau_f)_V$  なる異方性を示す。この結果から、60% を境にして混合率が高い場合には、砂質土と同じ異方性を、低いときには、粘性土と同じ異方性を呈する。

4) 静的に締固めた場合には、砂の混合率に関係なく  $(\tau_f)_V > (\tau_f)_H$  である。これは、大きい静的圧力での締固めにより、混合土についても土粒子の配向性が強度異方性に大きく寄与しているものと考えられる。

5) 水浸すると、動のおよび静的締固めともに、非水浸に比べて、各混合率とも強度はかなり小さくなる。しかし、砂の混合率 0%, 80% などでは、H, V Sample に幾分異方性がみられる。ただ、動的突固め、砂の混合率 60% の場合、異方性はほとんど消滅する。

6) 粘着力  $C_a$  の異方性は、砂の混合率、締固め方法の違いによって異なる。すなわち、動的に突固めた場合、砂の混合率が 60% 以上になると、V Sample のほうが大きく、60% 以下では H Sample のほうが大きくなっている。静的締固めでは、混合率に関係なく V Sample のほうが大きい。このことから、混合土の強度異方性は主に粘着力の異方性に起因するものと思われる。

7) 内部摩擦角  $\phi_a$  については、砂の混合率の変化、締固め方法の違いにより、H, V Sample の間に数度の差はあるものの、明確な異方性は認められない。

8) 水浸すると、粘着力は動のおよび静的締固めともに大幅に減少する。特に、動的突固め、砂の混合率 60%

では、H, V Sample ともほとんど 0 に近くなる。内部摩擦角については、水浸による影響はあまりみられない。

9) 一面せん断試験におけるダイレイタンス特性における異方性は 2), 3), 4) で述べた応力-変位特性、せん断強度特性における異方性とほぼ同様な関係にある。

## 謝 辞

本研究の一部は、佐賀大学理工学部土木工学科、昭和 55 年 3 月卒業の政安欣典君に、また、土構造写真の撮影に際しては、熊本工業大学土木工学科の村田重之講師に御協力いただきました。厚くお礼申し上げます。

## 記 号 説 明

- $(\tau)_H$  = H-Sample のせん断応力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $(\tau_f)_H$  = H-Sample のせん断強度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $(\tau)_V$  = V-Sample のせん断応力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $(\tau_f)_V$  = V-Sample のせん断強度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $D$  = 一面せん断試験における水平変位 (mm)
- $\Delta h$  = 一面せん断試験における垂直変位 (mm)
- (D·I) = ダイレイタンス指数
- $(P_0)_H$  = H-Sample の先行荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
- $(P_0)_V$  = V-Sample の先行荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
- $C_a$  = 粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\phi_a$  = 内部摩擦角 (°)
- $N$  = 突固め試験における一層あたりのランマーの落下回数 (回)
- $\sigma_c$  = 一面せん断試験における垂直荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
- $r$  = 混合土の全質量に対する砂の質量の割合 (%)

## 参 考 文 献

- 1) Seed, H. B., Mitchell, J. K. and Chan, C. (1960): "The structure of compacted cohesive soil," ASCE, Research Conf. on the Shear Strength of Cohesive soil, Boulder, Colorado, pp.169-273.
- 2) Yong, R. N. and Werkentin, B. P. (1966): Introduction to soil behavior, 山崎不二夫・山内豊聡, 鹿島出版会.
- 3) 鬼塚克忠・林 重徳・吉武茂樹・大石英隆 (1979): 締固め土の圧縮及び強度異方性について, 「土質工学会論文報告集」, Vol.19, No.3, pp.113~123.
- 4) 鬼塚克忠・吉武茂樹 (1979): 締固め土の圧縮異方性および強度異方性と締固め方法の関係について, 「佐賀大学理工学部集報第7号」, pp.5~13.
- 5) 鬼塚克忠・吉武茂樹 (1980): 締固めた混合土の圧縮および強度異方性について, 「第15回土質工学会研究発表会講演集」, pp.465~468.
- 6) 倉田 進・藤下利男 (1962): 砂と粘土の混合土の工学的性質に関する研究, 「運輸省港湾技術研究所報告」, Vol.11.
- 7) Mahmood, A. and Mitchell, J. K. (1974): "Fabric-property Relationships in Fine granular materials," Clays and Clay Minerals, Vol.22, pp.397-408.
- 8) 柳 大夏 (1971): 乱さない砂質土のせん断特性について, 「第26回土木学会年次学術講演会講演集」, pp.67~70.
- 9) Oda, M. (1972): "Initial fabrics and their relations to mechanical properties of granular materials," Soils and Foundations, Vol.12, No.1, pp.17-36.
- 10) Oda, M., Koishikawa, I. and Higuchi, T. (1978): "Experimental study of anisotropic shear strength of sand by plane test," Soils and Foundations, Vol.18, No.1, pp.25-38.