

供試体作成方法に着目した砂の非排水せん断特性

福岡大学 学生会員○松下 繁樹
正会員 佐藤 研一
西部ガス(株) 正会員 木下 貴夫

橋本 浩一
正会員 吉田 信夫

1. まえがき

1995年の阪神大震災では、液状化によって、ガス、電気、水道といったライフラインが多大な被害を受けた。著者らはこれまで、ガス導管工事に用いる埋戻し砂の非排水せん断挙動を単調及び静的条件下において調べてきた。また、同時に液状化強度の増加のために消石灰混入の影響についても調べている¹⁾²⁾。しかし、実験に用いている供試体の作成方法を現場では、堆積状態が異なるためその評価が難しい。そして、消石灰を用いた改良土の液状化特性の検定には、炭酸ガスを用いずに供試体を飽和させるといった問題が生じる。また、昨年までの研究¹⁾²⁾では供試体作成方法の検討に不十分な点があり、さらに詳細な検討の必要性が指摘された。そこで非排水せん断特性に及ぼす供試体作成方法の影響について、最も良く用いられている空中落下法、現場における締め固めを想定したウェットタンピング法(以下、WT法とする)、消石灰混入の影響を想定した水中落下法に着目し非排水単調せん断試験を行った。

2. 供試体作成方法および実験方法

実験には、試料として豊浦標準砂($G_s=2.650$, $e_{max}=0.962$, $e_{min}=0.622$)埋戻し砂($G_s=2.554$, $e_{max}=1.051$, $e_{min}=0.576$)を用いる。埋戻し砂の締め固め試験結果を図-1に示す。その結果、最大乾燥密度 $\gamma_d=1.747$ 、最適含水比 $w=9.2\%$ となった。なお、供試体(直径約5cm, 高さ約10cm)は、空中落下法、WT法、水中落下法により作成する。供試体の作成方法の詳細と供試体の初期条件をそれぞれ表-1、表-2に示す。

表-1 供試体の作成方法

試料	豊浦標準砂	埋戻し砂
作成方法	所定の落下高さから一定速度でモールド内に空中落下させる。	
空中落下法	所定の落下高さから一定速度でモールド内に空中落下させる。	
WET TAMPING法	埋戻し砂の最適含水比9.2%に調整した試料を10層、最適含水比9.2%に調整した試料を8層3回ずつ30回ずつ一定の強さで木棒を用いて突き固める。	一定の強さで木棒を用いて突き固める。
水中落下法	炉乾燥試料に脱気水を加える。約1時間満潤しながら脱気を行う。放置冷却後、この試料を4層に分割してモールド内に流し込み、所定の密度にするため打撃を加える。	

各々の方法で供試体を作成し炭酸ガスと脱気水を通水し飽和させる。ただし、水中落下法の場合は、湯煎して、脱気を行い飽和させた。その後、背圧 $\sigma_{BP}=98\text{kPa}$ を負荷して試料の飽和度を高め、B値が0.96以上になっていることを確認の上、所定の拘束圧49, 98, 147kPaで等方圧密を1時間行い、その後、非排水条件の下で単調せん断試験を行った。

3. 実験結果と考察

一般に砂の非排水せん断時の応力-ひずみ曲線は、図-2に示すような三つのタイプに分類することがこれまでの研究よりわかっている³⁾。これによると、非常に緩い砂では、一定応力のもとでひずみが進行する流動型の変形特性が現れ、少し密度が増すと限界流動型となる。この二つを流動型と呼ぶこととしている。密度が更に増大するとせん断応力が常に増大し非流動型となる。従って流動型は収縮型で非流動型は膨張型の挙動を示すと予測できる。そこで、この研究を参考に今回の実験結果を考察することにする。図-3(a), (b)および図-4(a), (b)に豊浦標準砂と埋戻し砂のそれぞれの試料における軸差応力-軸ひずみ関係、有効応力経路図を示す。豊浦標準砂、埋戻し砂ともにいずれの供試体も相対密度が80%と密であるために非流動型の挙動を示している。豊浦標準砂では、空中落下法の供試体がせん断初期にわ

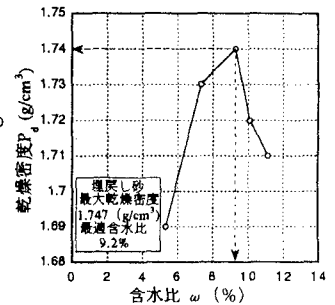


図-1 締め固め曲線

表-2 供試体の初期条件

試料	TRST No	供試体作成方法	拘束圧 (kPa)	相対密度 (%)
豊浦標準砂	TDK805	空中落下法	49	81
	TDK810	空中落下法	97	84
	TD5815	空中落下法	147	80
	TD5805	WET TAMPING法	49	83
	TD5810	WET TAMPING法	97	78
	TD5815	WET TAMPING法	147	77
	TDW805	水中落下法	49	82
	TDW810	水中落下法	97	75
	TDW815	水中落下法	147	78
	UDK905	空中落下法	49	96
埋戻し砂	UDK910	空中落下法	97	91
	UDK915	空中落下法	147	94
	UDS905	WET TAMPING法	49	89
	UDS910	WET TAMPING法	97	87
	UDS915	WET TAMPING法	147	84
	UDW905	水中落下法	49	84
	UDW910	水中落下法	97	82
	UDW915	水中落下法	147	81

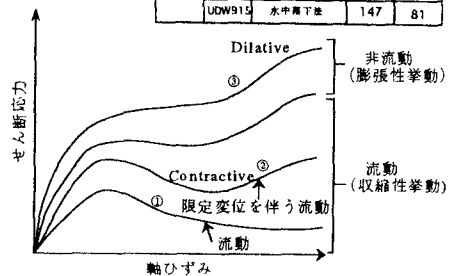
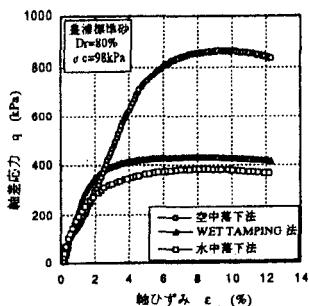


図-2 流動型・非流動型の応力-ひずみ曲線

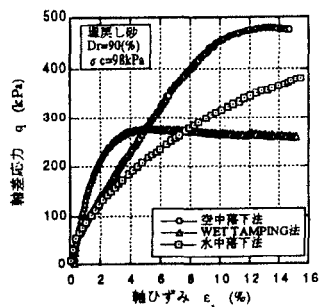
ずかながら収縮傾向を示した後、大きな膨張傾向を示した。これに対し、埋戻し砂は、豊浦標準砂においてせん断初期から膨張傾向を示していた水中落下法が空中落下法と同様な傾向を示している。この原因は、豊浦標準砂の水中落下法では、打撃を加え供試体を作成するのに対し、埋戻し砂は、打撃を加えていない点が結果に現れたと推察される。すなわち、打撃を加えたことにより砂の堆積状態が均一な状態になったことによると思われる。また、いずれの試料ともにWT法は、動的な荷重が加わるため過圧密的な挙動を示している。そこで、これらの挙動を最大間隙水圧比に着目して整理した結果を図-5(a), (b)に示す。拘束圧の増加とともにどの作成方法ともに最大間隙水圧比は大きくなっているが前述した傾向がこの図にも現れている。最後に図-6(a), (b)に有効応力の変相状態に着目し、変相線の傾きと供試体の作成方法の関係を示した。非排水繰返しせん断において、有効応力経路が変相線に達した時点で大きな有効応力の低下を示し、変相線の傾きが大きい方がこの挙動に至りにくいと考えられる。これらの結果を見ると、同一密度であっても繰返しせん断挙動に作成方法の違いが現れると考えられ、いずれの試料ともに空中落下法が変相線の傾きが小さく、WT法が最も液状化に対して抵抗すると考えられる。

4. まとめ

- ①砂の非排水せん断挙動は、供試体の作成法、言い換えれば、作成時の堆積状態に大きく影響を受ける。
- ②非流動型の密な供試体の検討ではあったが、2つの試料ともにWT法が最も液状化に対して抵抗があることが推察された。

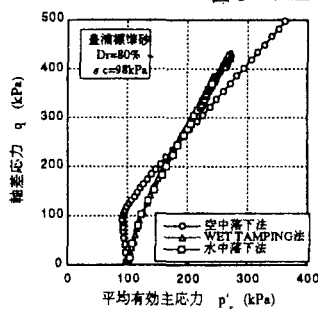


(a) 豊浦標準砂

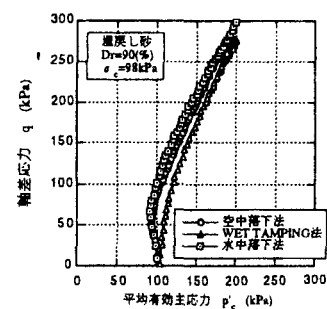


(b) 埋戻し砂

図-3 軸差応力-軸ひずみ曲線

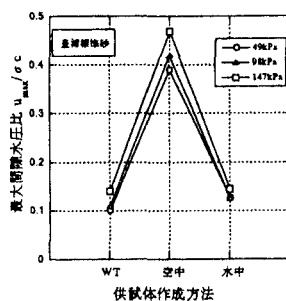


(a) 豊浦標準砂

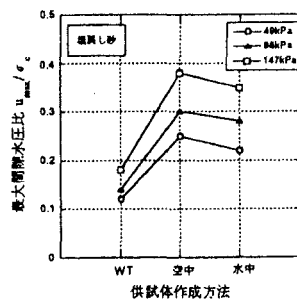


(b) 埋戻し砂

図-4 有効応力経路図

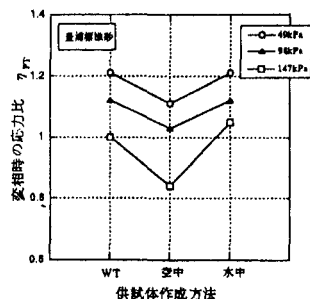


(a) 豊浦標準砂

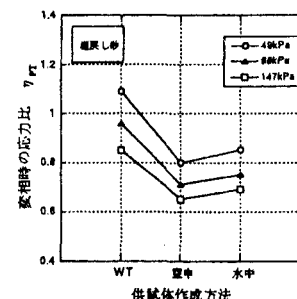


(b) 埋戻し砂

図-5 最大間隙水圧-供試体作成法の関係



(a) 豊浦標準砂



(b) 埋戻し砂

図-6 変相時の応力比-供試体作成の関係

【参考文献】1) 木下貴夫他：埋戻し砂の非排水せん断挙動、平成8年度土木学会西部支部研究発表会講演集 pp. 570-571 2) 木下貴夫他：消石灰を混入した豊浦標準砂と埋戻し砂の非排水せん断特性、第31回地盤工学研究発表会講演集 pp. 711-712 3) 石原研而：地震時の液状化と流動破壊、第33回Rankine Lectureより 土と基礎、Vol. 141, No. 8, pp. 6-12