メキシコシティ粘土の非排水せん断挙動に関する SYS カムクレイモデルに基づく考察

東亜建設工業 正会員 〇松岡達也 港湾空港技術研究所 正会員 渡部要一 竹中工務店 技術研究所 正会員 金田一広

1. はじめに

自然堆積粘土は、堆積環境、応力履歴および年代効果により過圧密となったり、構造や異方性が発達し、同じような物理特性を有する土であってもその変形挙動は著しく異なることがある。そこで、土の骨格構造(構造・過圧密・異方性)の働きを表現することができる弾塑性構成式(SYSカムクレイモデル¹⁾)を用いて、自然堆積地盤の力学挙動について考察した。本報告では、メキシコシティ盆地縁部(19°19′26″N、99°04′11″W)にて採取した不撹乱試料に対し、 K_0 正規圧密非排水三軸圧縮試験および再圧縮法による異方圧密非排水三軸圧縮試験を行い、その結果をSYSカムクレイモデルの構成式応答で再現し、設定したパラメータを基にメキシコシティ粘土の力学挙動について考察した。

2. 試料および試験概要

対象としたメキシコシティ粘土は、湖成堆積物(ρ_s =2.38~2.63g/cm³、 w_n =72~321%、 I_p =54~277)で形成された軟弱な地盤であり、その堆積環境により粘土層中にも火山灰や珪藻類および砂層が挟在した複雑な堆積構造となっている。メキシコシティ粘土の土質概要および物理・力学特性については文献 2)、3)、4)を参照されたい、採取した不撹乱試料に対し、定ひずみ速度載荷による圧密試験(CRST)、 K_0 正規圧密非排水三軸圧縮試験 ($K_0\overline{\text{CUC}}$)ならびに再圧縮法による異方圧密非排水三軸圧縮試験(CAUC)を実施した。 $K_0\overline{\text{CUC}}$ では、 ϕ 35×h80mmに成形した不撹乱試料を三軸セルにセットし、有効土被り圧 σ 4の 1/3 の等方圧から軸方向応力 σ 4を圧密降伏応力の 2~3 倍の圧力まで一定速度で漸増させ、その間、沈下量と排水量を基に K_0 状態が保たれるように側方向応力 σ 5を制御した。これにより正規圧密状態における静止土圧係数 $K_0\text{NC}(=\sigma'_r/\sigma'_a)$ 値を得た。その後、0.1%/minの軸ひずみ速度で圧縮せん断を行った。CAUC も同様に三軸セルにセットし、有効土被り圧 σ 4の 1/3 の等方圧から原位置の有効応力相当の圧力(σ'_a = σ'_{v0} 、 σ'_r = $K_0\text{NC}(\sigma'_{v0})$ まで圧密(再圧縮)し、0.1%/min の軸ひずみ速度で圧縮せん断を実施した。

3. SYS カムクレイパラメータの設定方法

上述の実験結果に対し、SYS カムクレイモデルによる数値シミュレーションを行った。このモデルの詳細は文献 1)を参照されたい。また、計算のために必要な材料定数(弾塑性パラメータ・発展則パラメータ)および 初期値の設定方法は文献 5)を参照されたい。弾塑性パラメータのうち圧縮指数 λ は、各深度の CRST 結果より 構造が十分低位化したと考えられる高圧時における圧縮曲線の傾きから決定した。また、NCL の切片 N は、 $K_0\overline{CUC}$ で初期比体積 v_0 が実験値になるように設定した。その他の材料定数および初期値は、 $K_0\overline{CUC}$ の応力経路および応力~ひずみ曲線に、SYS カムクレイモデルによる応答を試行錯誤的にフィッティングさせて決定した。CAUC における材料定数は、基本的に $K_0\overline{CUC}$ で設定した値をそのまま用い、初期構造 $1/R^*$ および初期過圧密 ocr(=1/R)のみ試験結果とのフィッティングにより設定した。なお、弾塑性パラメータは、深度により物性が若干異なるため各深度で設定し、発展則パラメータは、回転硬化指数 b_r を除き深度によらず同じ値とした。 b_r のみを変数としたのは、CAUC の方が $K_0\overline{CUC}$ より限界状態定数 M が大きくなっており、全ての材料定数を同じにするとフィッティングが困難になるためである。

4. SYS カムクレイモデルによる応答結果

表-1 に応答結果の一例として, G.L.-9.3m および G.L.-13.4m の実験結果に対して用いた材料定数群 (弾塑

キーワード:粘性土, K_0 三軸試験,構成式

連絡先 〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 (独)港湾空港技術研究所 地盤・構造部 土質研究チーム TEL046-844-5053

夫觖胆	押型性八	シブメータ		弁)	長則/	ヘファ	<u>-</u>		初期他	ハフメーク	7		
深度 試験 σ'_{v_0} P_c OCR C_c M v_0 λ	κ	M N	ν	m a	b	c	$b_{\rm r}$ $m_{\rm b}$	$p_{0}{}'$	1/R * ocr	K_0	B_0	v 0	
-9.3 K ₀ CUC CAUC 146.8 359.1 2.45 1.852 1.852 2.759 0.804 (0.005 0.	90 3.197					0.05	1077.3 146.8	4.4 1.05 6.1 2.70	0.478	0.478	2.759 3.868	
K _* CUC 1.561 3.107	0.010 0.	90 3.018	0.3	20 1.0	1	1	0.08	431.6 161.0	3.6 1.10 4.5 2.00	0.438	0.438	3.107	
性パラメータ・発展則パラメータ・初期値)							1.00	ļ	4.3 2.00	<u> </u>		3.403	
を, 図-1, 2 に <i>K</i> ₀ CUC および CAUC 結果と	800	' '	-	CSL		_		800	' '		T		
	600 (kPa)	G .1	L. -9 .3	m		χ	(Pa)	600		G.L	-9.3m	-	
り、SYS カムクレイモデルは Ko CUC 結果	s <i>q</i> (k	-		/ 	K_0 I	Line	-	-				-	
を良く再現できていることがわかる.一方,	Deviator stress <i>q</i> 200	G.L.	13.41	m//			#	400		GI	13.4m	,]	
図-2 の CAUC 再現結果は,K ₀ CUC の場合	ia 500			_	_ ₋₌	デル	riator	200		G.E.		デル	
と比較して、実験結果とモデルに若干の違	De	- //		=		- <i>/ / /</i> · · · · · · · · · · · · · · · · ·	De l	-		Ξ		験 -	
いが見られる. この要因として, 自然状態	0	0 20	<u></u>	400	600	`	800	0 -			10	ـــــــــــــــــــــــــــــــــــــ	
にあるメキシコシティ粘土は、非常に脆性		Mean e	-			-		U	Axial	strain &	-	1,	
的な性質を有しており ^{3),4)} , 強度がピークを		2	₫–1	実験	(結:	果	ヒモデ	ルの比	△較(K ₀ CU	JC)			
示した後急激に低下するため、十分大きな	250					,	_	250 —	, ,				
圧力で圧密後にせん断した $K_0\overline{\mathrm{CUC}}$ と原位		G.L9.3m						CI 02m					
置の応力状態で圧密後にせん断した CAUC	(kPa) 200		M	1	_	//		200			<u> </u>		
で変形挙動が大きく異なることによるもの	<i>b</i> 150	G.L13.4m						G.L13.4m					
と考えられる.図-3 に初期値パラメータ	100 E							G.L13.4m					
1/R*と ocr の深度分布を示す. 初期構造 1/R*	Deviator stress q 100 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2	- / /	//	=		デル	ر ا	50		=	_ +	デル -	
は, GL. -9.3 m を除き, $K_0\overline{\text{CU}}$ C, CAUC と	0			=	二	₹ 験		0	1 1		<u> </u>	験	
もに深度方向に増加する傾向が見られる.	v	0 50	10			00	250	0	5		10	1:	
また, $K_0\overline{\text{CUC}}$,CAUC において両者に大き			Mean effective stress p' (kPa) 図-2 実験結果と						Axial strain ε (9 デルの比較(CAUC)				
な差は見られない. $K_0\overline{\mathrm{CUC}}$ における ocr は		Ŀ	칰_7	天硕	尺小口	木	2 7	/VV/1	L#X(CAC	(C)			
正規圧密状態まで圧密しているため、1 程度の			0	2	1/ <i>R</i>	*	6	3	0	ocr	2	3	
示すのに対し、CAUC では 1.8~2.7 程度と過归		6		 		-		, 1 6		<u>. </u>		, 	
性状を示す.また,ocrは一部の深度を除き,			-			K₀Œ CAU		1	-		K₀ CU C CAUC	-	
により得られた過圧密比 OCR とほぼ同程度 θ	り値と	8	-			CAC		- 8	3 -		OCR	╛╡	
なった。		~ 10			(0	A	<u></u>	, [0		♦ ▲ ☐	
5. まとめ	≒ . . ΨL	depth(m) 12	-	△ ○	A			depth(m)	-	0 0	• A	-	
非常に脆性的は性質を有するメキシコシテ			+	0.	04	_	-	ਝੂੰ ₁₂	2 -	0	 ▲		
土に対しても、K ₀ CUCおよびCAUC試験結果を			-		0	^		1		0 💠	A	-	
カムクレイモデルの応答で概ね再現すること							\(\infty\)	14	+	0	△	_	
きた. また, SYS カムクレイモデル上の過圧密. は. CRST によって得られた OCR と同程度の値		16					1 1	16	₅				
- は、UKSI にょつ(食られた UCK と同程度の無	ョタボ												

表-1 計算に用いた材料定数と初期値

発展則パラメータ

弾塑性パラメータ

【参考文献】1) Asaoka,A. et al:"An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanics of soils", Soils and Foundations, Vol.42, No.5, pp.47-57, 2002. 2)中島美代子ら:メキシコシティ粘土の特性(その1),第43回地盤工学研究発表会,pp.155-156,2008. 3)田中政典ら:メキシコシティ粘土の特性(その2),第43回地盤工学研究発表会,pp157-158,2008. 4)松岡達也ら:メキシコシティ粘土の非排水せん断特性,土木学会第63回年次学術講演会,pp.425-426,2008. 5)松岡達也ら:Onsøy粘土の非排水せん断挙動に関するSYSカムクレイモデルに基づく考察,第44回地盤工学研究発表会,2009(投稿中).

図-3 1/R*, ocr の深度分布

は、CRSTによって得られたOCRと同程度の値を示

し, ocr を設定する際に圧密試験の結果を目安とし

て用いることができることを示唆している.