

有明粘土におけるベーンせん断試験の実施例

中央開発株式会社 川渕 達也

1. はじめに

某港で実施した海上ボーリングにおいて、ボーリング調査の本孔にて有明粘土を対象にサンプリングを実施し、その近傍の2孔にて現場ベーンせん断試験を実施した。その試験結果と既往の試験結果を比較し、今回実施した試験の整合性を確認するとともに、サンプリング試料にて実施した三軸圧縮試験(CUbar)結果とも比較し、試験結果の妥当性と傾向について考察した。また、今後どのような現場においてベーンせん断試験が有効か検討した。

2. 調査箇所の地質

調査海域の断面図を図-1に示す。当該地は海底面より約35m 有明粘土が概ね水平に堆積する。有明粘土層は概ね均質であるが、表層より20m 以浅は砂分を含む箇所が確認され、シルト～砂混じりシルトを主体とする土層である。砂分の含有量に応じて、有明粘土を4層に区分した。当海域では、100m 間隔で同様の既往調査が行われている。今回の調査では有明粘土を対象に、本孔にて2～4m 間隔でサンプリングを実施し、別孔にて2m 間隔でベーンせん断試験を実施した。

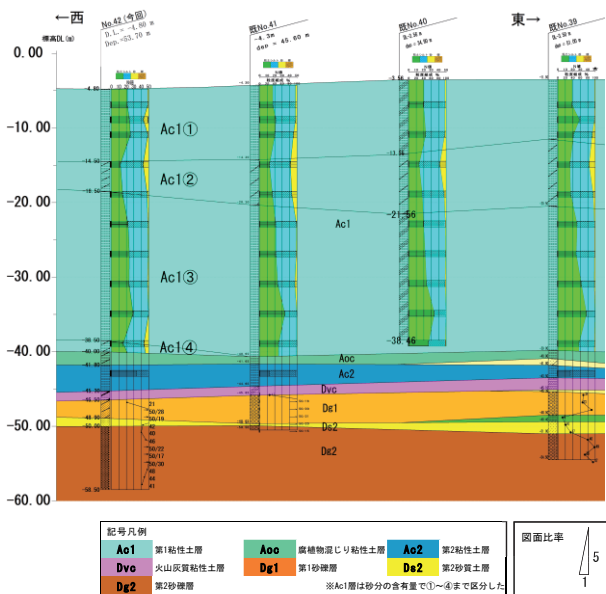


図-1 調査位置断面図

3. ベーンせん断試験方法

(1) 現場条件

調査はスパット台船で実施しており、海底地盤の標高はDL-4.6～4.8mであった。潮位変動(最大5m程度にもなる)と波浪を考慮し、海底面からフロート部作業足場までの高さは12m程度になるよう設置した。

(2) ロッドの偏心・摩擦トルクへの対策

今回の調査ではベーンせん断試験の最深部で DL-38m

程度となり、ロッド長が45m 程度になると想定された。そのため、ロッドが長くなることによる偏心が懸念された。そこで、試験深度の直上までケーシングパイプを挿入し、ベーンブレードを孔底へ下ろす際、ロッド間にケーシング内径に合わせたセンターライザーを設置することで、ロッドの偏心が生じないようにした(写真-1)。また、深部ではロッドの自重による摩擦トルクが生じるため、試験深度直上でベーンブレードを空転させ、摩擦トルクを測定した後に試験を実施した。試験結果の整理として、試験値より摩擦トルクを除した。



写真-1 センターライザー設置状況

(3) 粘土の硬軟に応じたベーンブレードの選択

有明粘土の下層部は圧密が進行し、一般的なベーンブレードでは試験実施が困難であると想定されたため、幅7.5cm・高さ15cmのベーンブレードに加え、幅5cm・高さ10cmの小型のものを用意し、対象の有明粘土の硬軟に応じて使い分けた(写真-2)。



写真-2 使用したベーンブレード

4. 試験結果

(1) ベーンせん断試験結果

ベーンせん断試験結果一覧を表-1に示し、既往調査も含めたベーンせん断強度と標高の関係を図-2に示す。深度方向にベーンせん断強度の増加が明瞭に確認された。

今回試験を行った2孔と既往調査で実施した2孔との試験結果は、同様の標高にて概ね近似する結果となった。また、DL-14.5~22.5m 間は砂分をやや多く含む土層であり、やや大きな値を示す傾向も確認された。

(2) 鋭敏比

鋭敏比は2.3~6.7を示し、両地点の平均値は4.1となった。深度と鋭敏比の相関性は確認されなかったが、特に、No.42-2のDL-20.5m, 30.5m 付近は鋭敏比が大きくなり、DL-8.5m 付近では小さくなった。対象の有明粘土層の相対含水比が概ね1.0であることから、鋭敏比 St=8以上であれば超鋭敏粘土、St=4以上であれば鋭敏粘土と評価される。今回調査した有明粘土は、鋭敏粘土であると評価された。

5. 三軸圧縮試験結果との比較

今回の調査では、ベーンせん断試験結果を評価する目的で、本孔にて採取したサンプリング試料にて三軸圧縮試験 (CUbar 条件) を実施した。得られた試験結果を基に、式-1に示すクーロンの強度式よりせん断力 τ を算出した。算出結果を表-2に示し、ベーンせん断試験結果との比較を図-3に示す。ベーンせん断試験で得られた τ_v は、三軸圧縮試験結果から算出した τ よりやや大きな値を示し、特にDL-15.0~25.0m 間は、砂分の影響で大きくなったものの、概ね同等の値を示すことが確認された。

$$\tau = c_{cu} + \sigma' \tan \phi_{cu} \dots\dots\dots (式-1)$$

τ : せん断力, c_{cu} : 粘着力

σ' : 有効土被り圧, ϕ_{cu} : 内部摩擦角

6. 今後の活用例

本調査はスパット台船上から有明粘土を対象にベーンせん断試験を実施しており、ロッド長は最長で45m 程度であったが、ベーンせん断試験結果とサンプリング試料による三軸圧縮試験結果を比較すると近似した値が確認されており、試験の有効性が確認された。

近年ではベーンせん断試験を実施する調査業務はほとんど無く、サンプリング試料による力学試験の実施が主体となっているが、サンプリング試料を用いる場合、採取時の乱れや運搬中の試料の扱いによっては、適切な試験が実施できないことが懸念される。また、試料を採取してから運搬、試料の成形、試験実施、整理までの時間とコストを要する。そこで、ベーンせん断試験のメリットとして以下の3点を挙げる。

- ①サンプリング困難な軟弱粘性土でも試験可能である。
- ②原位置試験で結果を把握できる。
- ③試験が容易で、再現性が高い。

今後の調査業務において、既存調査の補充調査やサンプリングが困難な軟弱粘性土を対象とする場合は、ベーンせん断試験の実施を検討・提案したい。

表-1 ベーンせん断試験結果一覧

試験番号	No. 42-1				No. 42-2			
	試験標高 (DL -m)	乱さない試料	乱した試料	鋭敏比	試験標高 (DL -m)	乱さない試料	乱した試料	鋭敏比
		せん断強さ τ_v (kN/m ²)				せん断強さ τ_v (kN/m ²)		
V-1	6.50 ~ 6.65	6.9	1.50	4.6	6.50 ~ 6.65	7.80	1.70	4.6
V-2	8.50 ~ 8.65	11.7	2.60	4.5	8.50 ~ 8.65	11.00	4.70	2.3
V-3	10.50 ~ 10.65	15.1	4.50	3.4	10.50 ~ 10.65	14.50	3.50	4.1
V-4	12.50 ~ 12.65	20.1	6.00	3.4	12.50 ~ 12.65	18.60	5.60	3.3
V-5	14.50 ~ 14.65	28.9	8.60	3.4	15.50 ~ 15.65	28.90	6.00	4.8
V-6	16.50 ~ 16.65	31.1	8.20	3.8	16.50 ~ 16.65	31.50	6.30	5.0
V-7	18.50 ~ 18.65	31.5	7.80	4.0	18.50 ~ 18.65	32.80	7.10	4.6
V-8	21.50 ~ 21.65	31.8	8.00	4.0	20.50 ~ 20.65	35.00	5.20	6.7
V-9	22.50 ~ 22.65	29.8	8.00	3.7	22.50 ~ 22.65	30.20	6.50	4.6
V-10	24.50 ~ 24.65	30.7	9.50	3.2	24.50 ~ 24.65	31.50	8.40	3.8
V-11	26.50 ~ 26.65	35.4	10.80	3.3	26.50 ~ 26.65	36.30	8.20	4.4
V-12	28.50 ~ 28.65	37.8	9.30	4.1	28.50 ~ 28.65	38.00	9.10	4.2
V-13	30.50 ~ 30.65	39.7	9.10	4.4	30.50 ~ 30.65	40.20	6.50	6.2
V-14	32.50 ~ 32.65	45.4	9.30	4.9	32.50 ~ 32.65	47.10	9.10	5.2
V-15	34.50 ~ 34.65	47.5	13.60	3.5	34.50 ~ 34.65	48.80	10.40	4.7
V-16	36.50 ~ 36.60	49.6	16.00	3.1	36.50 ~ 36.60	57.60	17.50	3.3
V-17	38.50 ~ 38.60	58.3	17.50	3.3	38.50 ~ 38.60	59.80	16.00	3.7

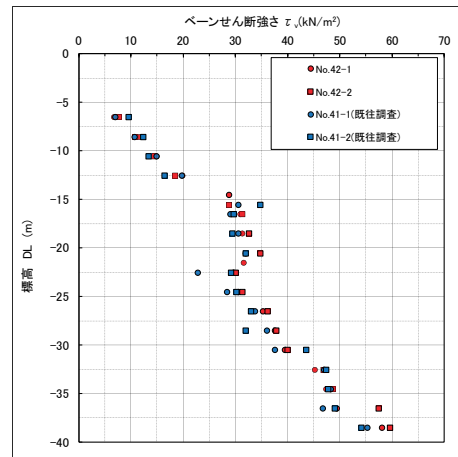


図-2 ベーンせん断強さと標高の関係

表-2 三軸圧縮試験結果によるせん断強さ

試料番号	土質記号	試験標高 (DL -m)	中間標高 (DL -m)	鉛直応力		全応力		せん断強さ $\tau = c + \sigma' \tan \phi$ (kN/m ²)
				有効土被り圧 σ' (kN/m ²)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)		
T-1	Ac1	6.50 ~ 7.30	6.90	8.60	3.20	11.50	4.95	
T-2	Ac1	8.50 ~ 9.30	8.90	16.80	3.60	12.30	7.27	
T-3	Ac1	10.50 ~ 11.30	10.90	25.00	5.60	11.90	10.87	
T-4	Ac1	14.50 ~ 15.30	14.90	42.10	7.20	14.20	17.85	
T-5	Ac1	18.50 ~ 19.30	18.90	64.80	3.70	13.60	19.37	
T-6	Ac1	22.50 ~ 23.30	22.90	82.80	4.20	11.40	20.89	
T-7	Ac1	26.50 ~ 27.30	26.90	100.80	6.40	11.00	25.99	
T-8	Ac1	30.50 ~ 31.30	30.90	118.80	10.60	11.70	35.20	
T-9	Ac1	34.50 ~ 35.30	34.90	136.80	6.10	13.60	39.19	
T-10	Ac1	38.50 ~ 39.30	38.90	155.40	18.10	11.90	50.84	
T-11	Ac2	42.50 ~ 43.30	42.90	173.20	21.20	9.20	49.26	

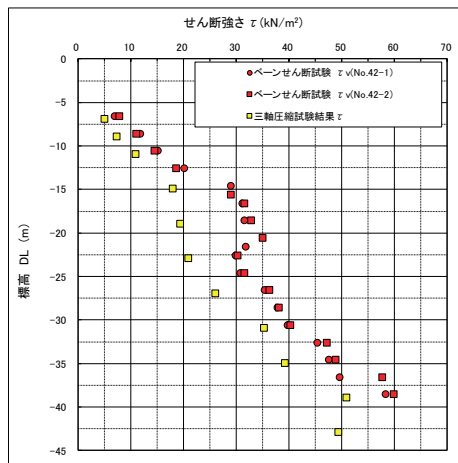


図-3 三軸圧縮試験結果とベーンせん断試験結果の比較