

リングせん断試験機を用いたシールド機周りの摩擦特性に関する研究

地盤工学研究室 徳山英之

指導教官 杉本光隆

1. はじめに

シールド機が地中を掘進していく際、ジャッキ力に最も影響を与える要因は、シールド機と地盤との摩擦抵抗である。しかし、シールド機と地盤の摩擦特性に関する研究結果がないのが現状である。

そのため、本研究はシールド機周りの摩擦特性を求めることを目的とする。シールド機が地中を掘進していく際、シールド機と地盤には摩擦が働くとともに、ワイヤーブラシ間にはグリスが詰まっていることから、セグメントとグリスの間にも摩擦が働く。シールド機周りの摩擦特性として、本研究では、シールド機と地盤、セグメントとグリスの摩擦特性に注目した。鉄と試料との摩擦力はシールド機と地盤の摩擦力を、コンクリートとグリスとの摩擦力はセグメントとグリスの摩擦力を表すことになる。

2. 試料と試験方法

(1) 試料

試料は、市販の豊浦砂とカオリン粘土を使用した。豊浦砂($e_s=2.65$ 、 $e_{max}=0.990$ 、 $e_{min}=0.597$)は、リングせん断試験では、気乾状態のものを相対密度 70%で堆積させた。カオリン粘土は、スラリー状にしたものを脱気し、鉛直応力 100kPa のピーク強度を計測する際に 90kPa、その他は 150kPa で圧密を約 1 日行った飽和度 100%の土塊を成形して用いた。

鉄、コンクリートの表面粗さを Table 1 に示す。

(2) リングせん断試験

試験に用いた供試体は外形 15cm、内径 10cm、高さ 1cm である。

試験は定圧試験で初期せん断と残留せん断の 2 通りの方法で行った。

試験条件は Table 2 に示す。また、介在物として用いた泥水は市販のベントナイトをスラリー密度 $1.10g/cm^3$ にしたものをを用いた。グリスとしては松村石油化成株式会社のテールシ

ーラー 8000NP を用いた。

Table 1 鉄とコンクリートの粗さ

部材	粗さ	Ra (μm)	Ry (μm)	Rz (μm)
鉄	滑らか	0.63	4.01	2.90
	普通	1.25	6.38	5.47
	粗い	4.38	27.84	19.15
コンクリート	-	1.85	12.37	8.56

Table 2 試験条件

試験名	部材料	表面粗さ	試料	介在物	せん断速度 mm/min	拘束圧 kPa
リングせん断試験	鉄	滑らか 普通 粗い	粘土 砂	無し 水 泥水	0.02	100
					0.2	300
					5	500
					50	500
76	500					
リングせん断試験	鉄 コンクリート	-	グリス	無し	50	10~100

3. 試験結果と考察

(1) ピーク強度について

a) カオリン粘土

せん断速度 5mm/min、50mm/min で行った試験結果を Table 3 に示す。

Fig. 1 よりせん断速度、50mm/min で行った試験結果は 5mm/min で行った試験結果より低い値を示している。これは、50mm/min せん断速度が速すぎるため、ピーク値をとらえることができなかったことを示している。よって、ピーク値を測定する際には、せん断速度 5mm/min により測定した。

Fig. 2 は初期せん断と残留せん断の試験結果である。初期せん断からの残留状態も、残留状態に至らしめた後の残留せん断でも残留強度はほぼ同じ値であることがわかる。よって、残留強度を求める場合には、鉛直応力を増加させながら、連続して実験しても良いといえる。

Fig. 3 から残留強度とピーク強度とはは約 10° くらい違いがあることがわかる。

b) 豊浦砂

Fig. 4 は初期せん断から残留状態に至らしめた結果である。ピーク強度を示していないことが分かる。

Table 3 カオリン粘土のピーク強度

粗さ	介在物	速度 mm/min	鉛直応力(kPa)			近似式 1	c kPa	φ ^o	近似式 2	
			100	300	500				α	β
普通	無し	5	50.6	132.6	204.1	0.3838x+13.9750	14.0	21.00	0.4197x	22.77
		50	-	-	178.3	-	-	-	-	-

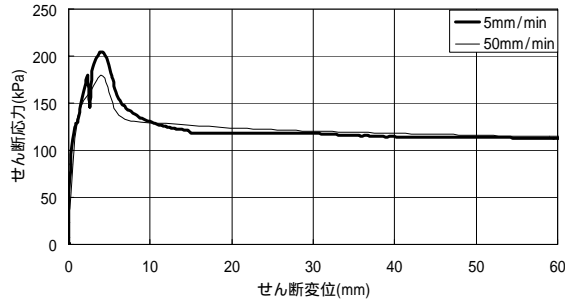


Fig. 1 カオリン粘土のせん断速度のピーク強度への影響
(鉛直応力：500 kPa、粗さ：普通、介在物：無し)

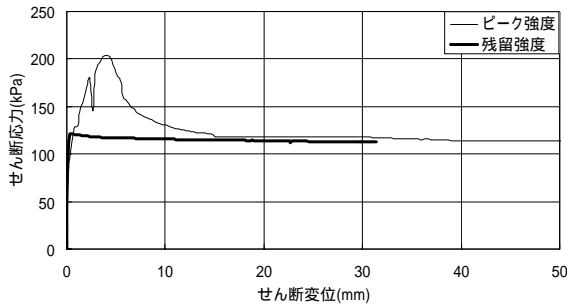


Fig. 2 カオリン粘土のピーク強度と残留強度
(鉛直応力：500kPa、せん断速度：50mm/min、粗さ：普通、介在物：無し)

(2) 残留強度について

カオリン粘土で行った試験結果を Table 4、豊浦砂で行った試験結果を Table 5 に示す。

1) せん断速度の影響

a) カオリン粘土

Fig. 5 はせん断速度 0.02、0.2、5、50、76mm/min で行った試験結果である。は約 13.00° であることから、せん断速度は残留強度に影響しないといえる。

b) 豊浦砂

Fig. 6 はせん断速度 5、50mm/min で行った試験結果である。どちらもほぼ同じ値を示すことから、せん断速度は残留強度に影響しないといえる。

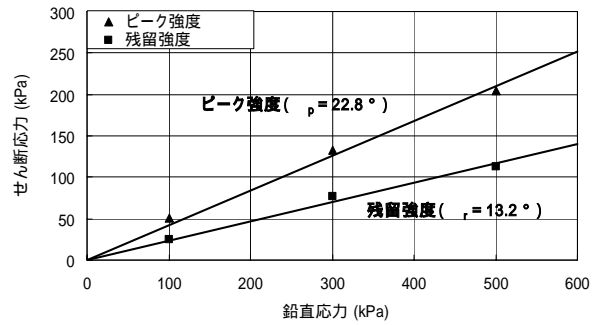


Fig. 3 豊浦砂のピーク強度と残留強度
(せん断速度：50mm/min、粗さ：普通、介在物：無し)

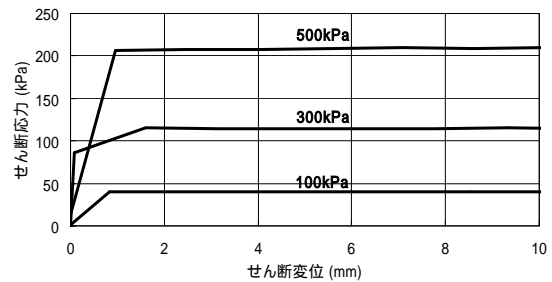


Fig. 4 豊浦砂のピーク強度
(せん断速度 50mm/min、粗さ：普通、介在物：無し)

2) 粗さの影響

a) カオリン粘土

Fig. 7 は鉄の粗さが普通、滑らか、粗いものを使用した時の試験結果である。普通と滑らかな時はほぼ同じ値を示すが、粗い時はそれらより大きい値を示していることが分かる。よって、カオリン粘土の場合、今回用いた普通と滑らかなとの粗さの違いでは強度に影響はなく、粗いものとの違いでは強度は大きくなるといえる。

b) 豊浦砂

Fig. 8 は鉄の粗さが普通、滑らか、粗いものを使用した時の試験結果である。大きい方から粗い、普通、滑らかな順になっているのが分かる。よって、豊浦砂の場合、滑らかと普通の粗さの違いでも強度に影響していることが分かる。

3) 介在物の影響

a) カオリン粘土

Fig. 9、10 は鉄の粗さが普通、粗いものを用いた時、介在物として水、泥水がある場合、何も無い場合の試験結果である。普通のものを用いた時、何も無し、水がある場合はほぼ同じ

Table 4 カオリン粘土の残留強度

粗さ	介在物	速度 mm/min	鉛直応力(kPa)			近似式 1			近似式 2		
			100	300	500	c	φ	c	φ		
普通	無し	0.02	24.5	79.0	109.0	0.2113x+7.4583	7.5	11.93	0.2304x	12.97	
		0.2	26.8	73.1	109.7	0.2073x+7.6917	7.7	11.71	0.2270x	12.79	
		5	24.8	77.1	112.6	0.2193x+5.6500	5.7	12.38	0.2340x	13.17	
		50	27.1	76.1	113.0	0.2148x+7.6417	7.6	12.12	0.2344x	13.19	
		76	26.4	73.1	112.3	0.2148x+6.1750	6.2	12.12	0.2306x	12.99	
		水	50	30.1	72.8	110.4	0.2008x+10.8750	10.9	11.35	0.2287x	12.88
滑らか	無し	50	24.8	67.9	97.0	0.1805x+9.0833	9.1	10.23	0.2039x	11.52	
		水	50	24.5	75.4	113.9	0.2235x+4.2167	4.2	12.60	0.2343x	13.19
		泥	50	23.8	62.4	92.4	0.1715x+8.0833	8.1	9.73	0.1923x	10.89
粗い	無し	50	37.9	109	164.9	0.3175x+8.6833	8.7	17.61	0.3398x	18.77	
		水	50	34.3	101.9	121.5	0.2180x+20.5000	20.5	12.3	0.2707x	15.15
		泥	50	33.6	81.3	116.2	0.2065x+15.083	15.1	11.67	0.2453x	13.78

Table 5 豊浦砂の残留強度

粗さ	介在物	速度 mm/min	鉛直応力(kPa)			近似式		
			100	300	500	c	φ	
普通	無し	5	43.1	124.4	208.3	0.4165x	22.61	
		50	41.5	126.4	205.1	0.4132x	22.45	
		水	50	40.5	155.4	240.0	0.4876x	25.99
滑らか	無し	50	57.5	163.2	270.0	0.5420x	28.46	
		水	50	56.0	130.0	215.0	0.4346x	23.49
粗い	無し	50	61.7	164.0	240.0	0.5011x	26.62	
		水	50	71.5	204.1	325.8	0.6608x	33.46
		泥	50	68.6	184.1	282.1	0.5804x	30.13

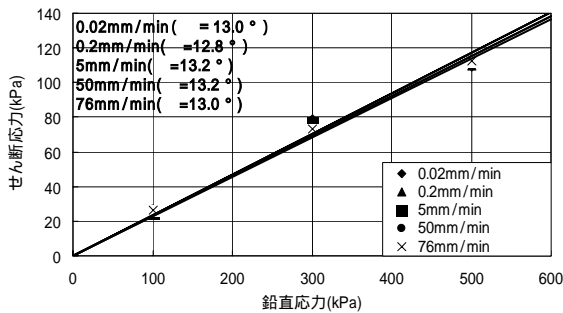


Fig. 5 せん断速度の影響（カオリン粘土、介在物：無し、粗さ：普通）

値を示していることが分かる。泥水がある場合は、水がある場合よりも小さい値を示していることが分かる。よって、滑らかな場合も普通のものと同じ傾向を示していたことより、普通、滑らかな場合、水は排水され強度に影響はしない。泥水がある場合は摩擦面に少しベントナイトが残るためそれらより小さい値を示すといえる。また、粗い場合は普通、滑らかな場合より水、ベントナイトが多く残るため強度が何も無い時より小さくなったと思われる。

b) 豊浦砂

Fig. 11 は鉄の粗さが普通のものを用いた時の介在物として何も無し、水、泥水がある場合の試験結果である。強度が大きい方から泥水、水、何も無しの順になった。しかし、Fig. 12 の試験結果により再現性が無いことが明らかとなった。これは鉄の表面が砂との摩擦で粗くなったためであるといえる。

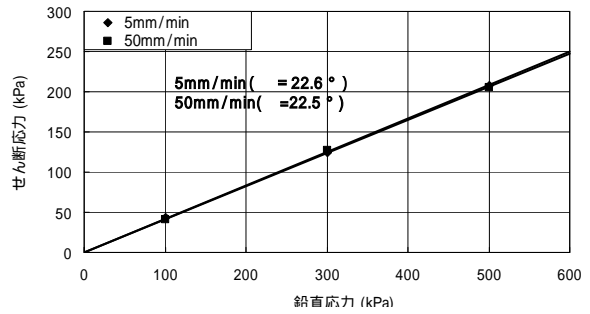


Fig. 6 せん断速度の影響（豊浦砂、粗さ：普通、介在物：無し）

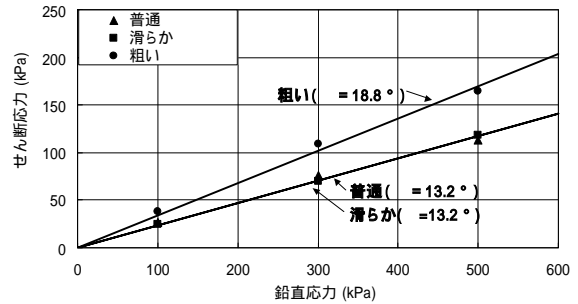


Fig. 7 粗さの影響（カオリン粘土、せん断速度：50mm/min、粗さ：普通、介在物：無し）

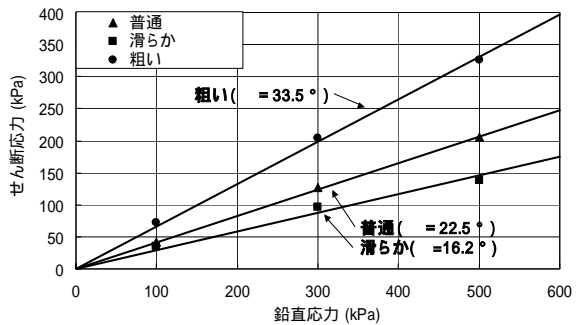


Fig. 8 粗さの影響（豊浦砂、せん断速度：50mm/min、粗さ：普通、介在物：無し）

4) グリスの摩擦特性について

Fig. 13 はコンクリート、鉄を用いた場合のグリスとの試験結果である。鉄は $\phi = 6.5^\circ$ 、コンクリートは $\phi = 6.1^\circ$ であることから部材の違いは強度には影響しないことが分かる。

4. まとめ

- 1) ピーク強度：せん断速度が 50mm/min だと計測時間間隔が長すぎて、ピーク値をとられないことがある。残留強度を求める場合には、鉛直応力を増加させながら、連続して実験しても良い。カオリン粘土のピ

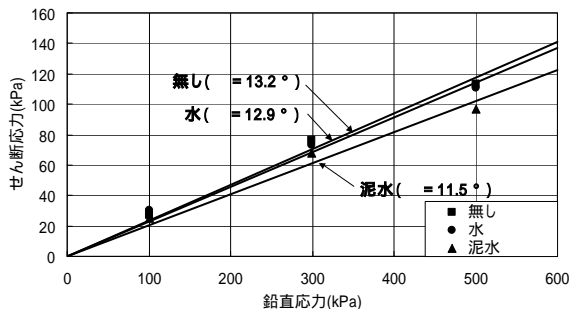


Fig. 9 介在物の影響 (カオリン粘土、せん断速度：50mm/min、粗さ：普通)

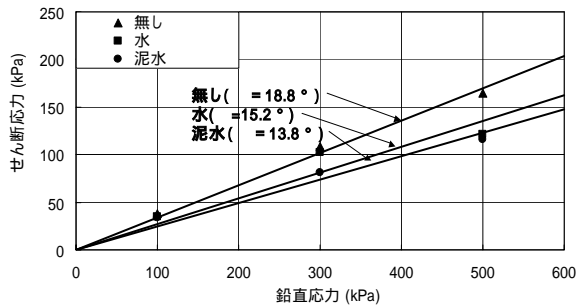


Fig. 10 介在物の影響 (カオリン粘土、せん断速度：50mm/min、粗さ：粗い)

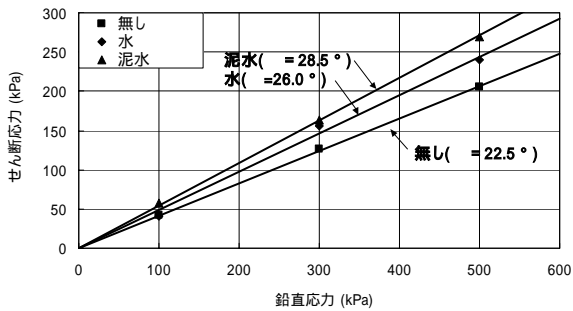


Fig. 11 介在物の影響 (豊浦砂、せん断速度：50mm/min、粗さ：普通)

ーク強度と残留強度は で約 10° の差がある。豊浦砂はピーク強度が得られない。

- 2)せん断速度:残留強度にせん断速度は影響しない。
- 3)鉄の粗さ:カオリン粘土は今回の試験で用いた普通、滑らかな場合、強度に影響ないが、粗い場合、強度は大きくなる。豊浦砂は普通と滑らかな場合でも強度に影響がでてくる。
- 4)介在物:カオリン粘土の場合は、介在物として水がある場合は、何も無い場合と比較して残留強度に影響はないが、泥水がある場合は、強度は小さくなる。豊浦砂の場合は同一条件で試

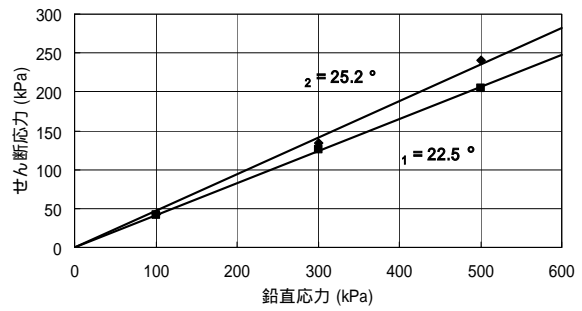


Fig. 12 再現性の確認 (豊浦砂、せん断速度：50mm/min、粗さ：普通、介在物：無し)

Table 6 グリスの残留強度

試料	部材	速度 mm/min	鉛直応力 (kPa)								近似式 1		近似式 2	
			10	20	30	40	50	70	100	c kPa	φ °	c kPa	φ °	
グリス	鉄	50	2.0	2.5	5.2	5.8	6.7	8.7	9.3	0.0856x+1.8277	1.8	4.9	0.1143x	6.5
	コンクリート	50	3.6	3.7	3.8	4.0	4.0	-	-	0.0110x+3.4900	3.5	0.6	0.1062x	6.1

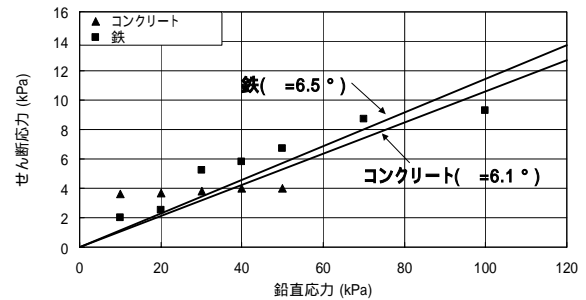


Fig. 13 グリスの摩擦特性 (せん断速度：50mm/min)

験を行うためには試験ごとに同一条件の部材を用いなければならない。

- 5)グリス:コンクリートの は 6.1°。鉄のは 6.5°。コンクリートと鉄の違いは無い。

参考文献

- 1) 酒井直樹：リングせん断試験による残留状態の評価と残留強度測定法に関する検討、土木学会論文集 No. 743 -64、pp. 223-228、2003.9
- 2) 鈴木素之：直接型せん断試験における土の残留強度、土木学会論文集 No. 645 -50、pp. 37-50、2000.
- 3) 鈴木素之：リングせん断試験における粘土の残留強度とせん断変位の関係、土木学会論文集 No.575/ -40、141-158、1997.9
- 4) 柳和久：新しいJISに基づく仕上げ面粗さのパラメータ表示、砥粒加工学会誌 vol40 No2、pp66-68、1996.3