

一面せん断試験機による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 海老谷健

指導教官 杉本光隆

1. はじめに

シールド掘進時、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。そのほかにも、ワイヤーブラシの間に詰まっているグリスと、セグメントの間にも摩擦が発生している。しかし、シールド機周りの摩擦特性に関する研究結果がないのが現状である。

そこで本研究では、シールド機周りの摩擦特性のうち、セグメントとグリス、スキンプレートと泥水の摩擦特性を求めることを目的とする。

2. 試料と試験方法

(1) 試料

グリスは実際の現場でも用いられている、松村石油化成株式会社のテールシーラー 8000NH を使用した。グリスの成分を表-1 に示す。

泥水は、市販のベントナイトを蒸留水でスラリー密度 1.10 g/cm^3 にしたものをを用いた。ベントナイトの成分を表-2 に示す。

鉄、コンクリートの表面粗さを、表-3 に示す。

(2) 一面せん断試験

試験装置の概要を図-1 に示す。供試体は、下せん断箱に鉄とコンクリート、上せん断箱にグリスと泥水を入れた。鉄とコンクリートは、下せん断箱の内径 6cm、高さ 2cm に合うものを作成した。

試験は、定圧試験で残留強度試験を行った。実験因子として、材料、鉄の表面粗さ、せん断速度を採用した。試験条件を表-4 に示す。

(3) 試験結果の整理

一面せん断試験では、上、下せん断箱の間に 0.2mm 程度の隙間をあげ、両側から力を加えせん断を行う。そのため、非塊状試料であるグリスは、圧をかけると、試験機の隙間から漏出する。

表-1 グリスの成分

主成分	ポリオレフィン樹脂 A	10%
	ポリオレフィン樹脂 B	10%
可塑剤	ナフテン系オイル	20%
助剤	植物性特殊繊維	10%
充填剤	炭酸カルシウム A	30%
	炭酸カルシウム B	20%

表-2 ベントナイトの成分

項目 \ 銘柄	石狩
膨潤度 Jee 法	超微粉
膨潤度 a.c.c 法	7±0.5
水分	20 ~ 22
見掛比重	10%以下
真比重	0.30 ~ 0.40
砂質分	0.5%以下
PH	9.5±1
入目	20kg

表-3 材料 1 の粗さ

材料1	粗さ	Ra	Ry	Rz
鉄	滑らか	0.39	2.67	2.03
	普通	1.47	10.63	6.95
	粗い	3.39	25.44	14.78
コンクリート	-	1.54	12.72	7.78

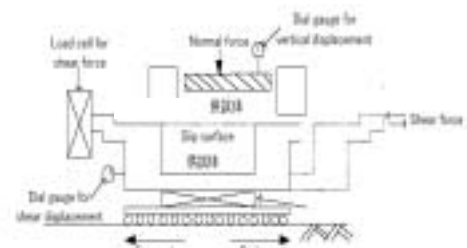


図-1 一面せん断試験機概要

表-4 試験条件

試験名	材料1	表面粗さ	材料2	せん断速度 mm/min	拘束圧 kPa
一面せん断試験	鉄 コンクリート	滑らか	グリス 泥水	0.2	50
		普通		0.5	150
		粗い			200

表-5 グリスの残留強度

材料1	粗さ	速度 mm/min	鉛直圧力 (kPa)				近似式 1	C kPa	φ	近似式 2	φ
			50	100	150	200					
鉄	滑らか	0.2	2.934	5.504	8.086	7.007	0.0296x+2.1825	2.18	1.70	0.0442x	2.53
		0.5	3.485	6.517	7.577	12.743	0.0577x+0.3720	0.37	3.30	0.0601x	3.44
	普通	0.2	2.172	2.275	6.453	7.548	0.0368x+0.4796	0.48	2.11	0.0398x	2.28
		0.5	1.379	7.818	9.980	15.647	0.0682x+1.0855	1.09	3.90	0.0754x	4.31
コンクリート	-	0.2	28.420	51.385	49.663	79.514	0.3031x+14.356	14.36	16.86	0.3988x	21.64
		0.5	11.490	22.318	24.124	25.186	0.0858x+10.056	10.06	4.90	0.1528x	8.69

そこで、試料の漏出の影響を補正するために、以下の手順で残留せん断応力を求めることにした。

1) せん断応力 y が供試体変位 x の双曲線関数で表される。

$$y = \frac{a}{x - x_1} + c$$

2) 試料漏れの影響が線形である。

$$y = \frac{a}{x - d} + bx + c$$

3) 制約条件として原点を通過する条件を加える。

4) 未知数を変数 c に置き換えると次式になる。

$$\tau = \frac{c_2 \times c_3}{d - c_3} + c_2 + c_1 \times d$$

c : 未知定数

d : せん断変位 (mm)

τ : せん断応力 (kPa)

$c_1 \times d$: 試料漏れによるせん断応力の増加分

c_2 : 残留せん断応力

$\frac{c_2 \times c_3}{d - c_3}$: せん断応力

5) この、非線形関数を Excel のソルバーを用いて、逆解析を行う。

3. 試験結果と考察

(1) グリスについて

試験結果を表-5 に示す。

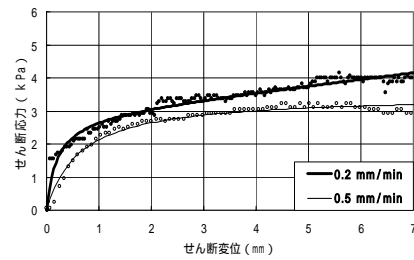
a) ピーク強度について

せん断速度を 0.2 mm/min、0.5 mm/min と変化させたときのせん断変位とせん断応力の関係を図-2 に示す。それぞれ、ピーク強度が発生していないことがわかる。

b) せん断速度の影響

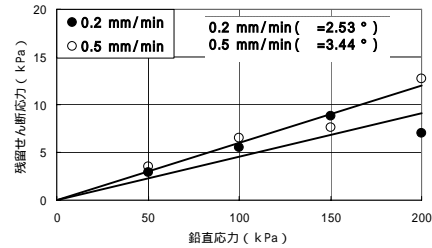
図-3、図-4 に材料 1 が鉄、コンクリートで行った試験結果を示す。

図-3 から、せん断速度 0.2 mm/min、0.5 mm/min に対し、残留せん断応力がほぼ同じ値であることから、せん断速度は残留せん断応力にほとんど影



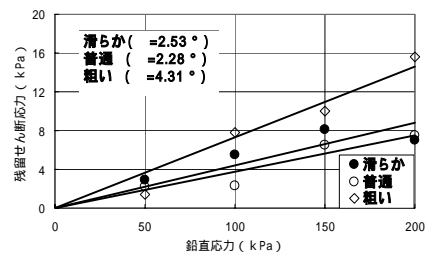
(鉄：滑らか、鉛直応力 50kPa、)

図-2 せん断速度のピーク強度への影響



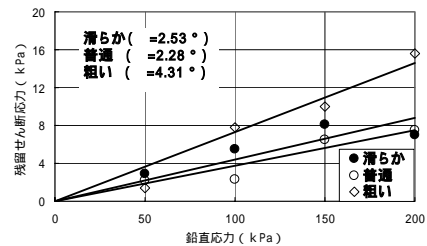
(材料 1：鉄、表面粗さ：滑らか)

図-3 せん断速度の残留せん断応力への影響



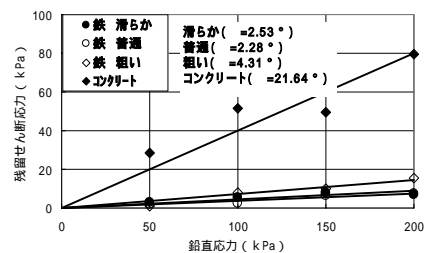
(材料 1：コンクリート)

図-4 せん断速度の残留せん断応力への影響



(材料 1：鉄、せん断速度：0.2mm/min)

図-5 表面粗さの残留応力への影響



(せん断速度：0.2mm/min)

図-6 材料 1 の残留せん断応力への影響

響しないといえる。

図-4 から、せん断速度 0.2 mm/min の方がせん断速度 0.5 mm/min より、残留せん断応力が高くなった。ただし、材料 1 がコンクリートの場合、せん断変位に対するせん断応力の変化が不安定となっている場合があり、今後、検証が必要である。

c) 表面粗さの影響

図-5 に、材料 1 が鉄、せん断速度 0.2 mm/min で行った試験結果を示す。

鉄の表面粗さが滑らかと普通では、残留せん断応力がほぼ同じ値である。表-4 より、表面粗さ $R_y < 10\mu\text{m}$ では、表面粗さは、残留せん断応力にほとんど影響しないといえる。滑らか、普通と粗いでは、表面粗さが粗い方が、残留せん断応力が大きくなるのがわかる。

d) 材料 1 の影響

図-6 に、せん断速度 0.2 mm/min で行った試験結果を示す。

鉄とコンクリートを比較した場合、コンクリートの方が鉄より、残留せん断応力が大きくなる。

(2) 泥水について

試験結果を表-6 に示す。

a) ピーク強度について

せん断速度を 0.2 mm/min、0.5 mm/min と変化させたときのせん断変位とせん断応力の関係を図-8 に示す。それぞれ、ピーク強度が発生していないことがわかる。

b) せん断速度の影響

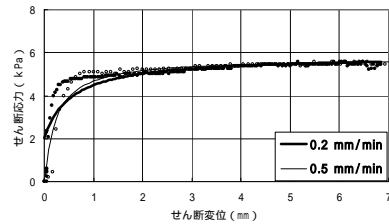
図-8、図-9 に材料 1 が鉄、コンクリートで行った試験結果を示す。

図-8 から、どちらもほぼ同じ残留せん断応力を示していることから、せん断速度は残留せん断応力に影響しないといえる。

図-9 から、せん断速度 0.2 mm/min の方が、せん断速度 0.5 mm/min より、残留せん断応力が大きくなった。材料 1 がコンクリートの場合、せん断応力の変化が不安定で、今後、検証する必要がある。

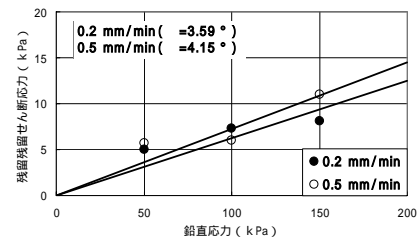
表-6 泥水の残留せん断応力

材料1	粗さ	速度 mm/min	鉛直応力(kPa)				近似式 1		C		近似式 2		C _{ave} kPa
			50	100	150	200	式	°	式	°			
鉄	滑らか	0.2	5.011	7.314	8.074	-	0.0306x+3.7367	3.74	1.73	0.0627x	3.59	6.80	
		0.5	5.731	6.015	11.000	-	0.0527x+2.313	2.31	3.02	0.0725x	4.15	7.58	
鉄	普通	0.2	4.316	5.121	6.062	-	0.0175x+3.4203	3.42	1.00	0.0468x	2.68	5.17	
		0.5	10.729	28.743	-	-	-	-	-	0.2729x	15.26	19.74	
コンクリート	-	0.2	18.126	16.768	-	-	-	-	-	0.2066x	11.67	17.45	
		0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



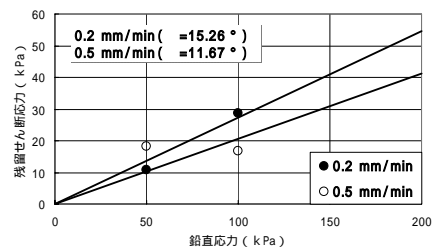
(材料 1 : 鉄、表面粗さ : 滑らか、鉛直応力 50kPa、)

図-7 せん断速度のピーク強度への影響



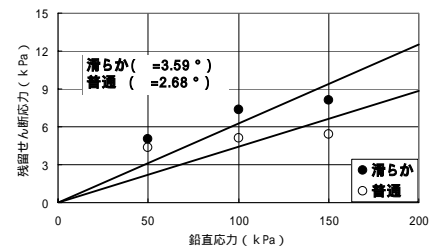
(材料 1 : 鉄、表面粗さ : 滑らか)

図-8 せん断速度残留せん断応力への影響



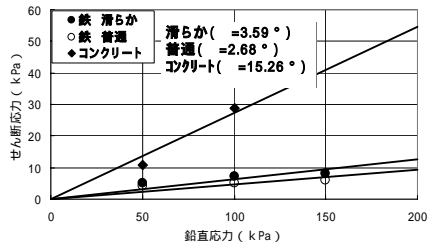
(材料 1 : コンクリート)

図-9 せん断速度残留せん断応力への影響



(材料 1 : 鉄、せん断速度 : 0.2mm/min)

図-10 表面粗さの残留せん断応力への影響



(せん断速度：0.2mm/min)

図-11 材料1の残留せん断応力への影響

c) 粗さの影響

図-10に、材料1が鉄、せん断速度0.2 mm/minで行った試験結果を示す。

残留せん断応力は、ほぼ同じ値である。よって、鉄の表面粗さは、表面粗さ $R_y < 10\mu\text{m}$ では、残留せん断応力にほとんど影響しないといえる。

d) 材料1の影響

図-11に、せん断速度0.2 mm/minで行った試験結果を示す。

鉄とコンクリートを比較した場合、コンクリートの方が鉄よりも、残留せん断応力が大きくなった。グリス同様、鉄よりもコンクリートに対して摩擦抵抗が大きくなった。

4. まとめと今後の課題

(1) まとめ

表-7に、本研究で得られた材料1と材料2の間の動摩擦特性を示す。

a) ピーク強度

グリス、泥水ともに、ピーク値を示さなかった。

b) せん断速度

グリス、泥水ともに、材料1が鉄の場合、せん断速度は、残留せん断応力に影響しない。

グリス、泥水ともに、材料2がコンクリートの場合、せん断速度0.5 mm/minよりもせん断速度0.2 mm/minの方が残留せん断応力が大きい。ただし、材料1がコンクリートの場合、せん断応力の変化が不規則となっている場合があり、今後、検証が必要である。

c) 鉄の表面粗さ

グリス、泥水ともに、表面粗さ $R_y < 10\mu\text{m}$ では、

表-7 材料1と材料2間の動摩擦特性

材料1	材料2	動摩擦角 °	動摩擦係数	動的付着力 k Pa
鉄	グリス	2.28 ~ 4.31	0.0398 ~ 0.0754	-
	泥水	2.73 ~ 4.15	0.0477 ~ 0.0725	5.17 ~ 7.58
コンクリート	グリス	8.69 ~ 21.64	0.1528 ~ 0.3988	-
	泥水	11.67 ~ 15.26	0.2066 ~ 0.2729	17.45 ~ 19.74

残留せん断応力にほとんど影響しない。しかし、グリスは、鉄の表面粗さが粗い方が、残留せん断応力が大きくなった。

d) 材料1

鉄よりコンクリートの方が、残留せん断応力が大きくなった。ただし、材料1がコンクリートの場合、せん断応力の変化が不安定となっている場合があり、今後、検証が必要である。

e) 試料漏れによる影響

グリス、泥水ともに、拘束圧が高いほど試料の漏出が多くなった。本研究の目的から、試料が漏出して、漏出した試料により摩擦抵抗が生じない場合や補正できる場合、さらに、拘束圧一定が確保できる場合には、求められた残留せん断応力を用いることができると考えられる。

このように考えると、本研究では、材料1がコンクリート、または、材料2が泥水で拘束圧が高い場合の試験ケースで、試験結果の精度が低いと考えられる。

(2) 今後の課題

グリスの場合、材料1がコンクリートの試験ケースには、せん断応力が不規則に変化している試験結果が多く、こうした試験ケースでは、試験結果の精度は低いと考えられ、今後、検証が必要である。

泥水の場合、拘束圧が高い場合には、泥水の漏出のため試験結果が得られなかったことから、泥水の摩擦特性を把握するには、三軸試験装置のように、外部からも拘束圧がかけられるように試験装置を改造する必要があると考えられる。