

ワイヤブラシの変形特性と摩擦特性に関する実験的研究

長岡技術科学大学 地盤工学研究室 星野 智洋
指導教官 杉本 光隆

1 はじめに

近年，都市の地下構造物はますます輻輳し，シールドトンネルの大深度化，急曲線化が進んでいる．さらに，コスト縮減の流れを受け，セグメントの薄肉化および幅広化，急速施工化等が進んでいる．これらのことから，施工時にセグメントに発生する応力は以前より増大する傾向にあり，施工中のトンネルに発生する不具合が顕在化してきている．施工時荷重として影響がもっとも大きいと考えられているテール部での作用力に分類されるワイヤブラシの変形による作用力は，シールド動力学モデルで定式化されているが，ワイヤブラシの摩擦係数，バネ定数については，研究例が少ないため，他の工種の経験値等を用いているのが現状である．不具合の大きな要因であるテール作用力をより明確にするためには，

実際のワイヤブラシの摩擦係数，バネ定数を得ることが重要である．

そこで本研究では，ワイヤブラシと鉄の摩擦特性，ワイヤブラシの変形特性を定量的に求めることを目的として，鉄と実際のワイヤブラシを用いた要素実験を実施した．

2 試験方法

1) 実験因子

ワイヤブラシの変形特性に影響を与える因子は，ワイヤブラシ形状，材質，高さ等と考えられるので，シールドに広く用いられているワイヤブラシを用いることとした．

試験装置の鉛直方向摩擦と水平方向摩擦を確認するため，ワイヤブラシを取り外した状態での実験を行うこととした．

また，テールクリアランスに依存したワイヤブラシの変形特性を確認するため，テールクリアランスを減少させる実験と，ワ

表-1 試験ケース一覧

Case	旧Case	WBブラシ数 個	WB幅 mm	鉛直変位 U_v mm	テールクリアランス T_c (WB高さ- U_v) mm	底板水平速度 V_H mm/min	備考			
0100	0120	0		-	-	-	鉛直方向の試験機摩擦を確認			
0101	0121					10				
0103	0123					30				
0105	0125					50				
119F	1120	1	100	0-Max	75-Min	-	水平方向フリー (水平方向固定)			
1190						0				
1191						10				
1193						30				
1195	50					水平速度制御				
1195-2	50									
1121	1121						20	55	10	鉛直方向固定
1141							40	35		
1161						60	15			
1171						74 (Max)	1 (Min)			
1123	1123	20	55	30	鉛直方向固定					
1143		40	35							
1163		60	15							
1173		74 (Max)	1 (Min)							
1125	1125	20	55	50	鉛直方向固定					
1145		40	35							
1165		60	15							
1175		74 (Max)	1 (Min)							

表-2 計測項目一覧

Ch.No.	計測項目	測定器	メーカー	型番	製造番号	定格
1	底板水平変位	変位計	TML	CDP - 100	560428	100mm
2	底板水平力	ロードセル	MINEBEA	CMMI-5T	K870381	49.03kN
3	上板鉛直力	ロードセル	MINEBEA	U2M1	SOY8161	500kgf
4	上板鉛直変位(右, 切羽側)	レーザー変位計	KEYENCE	LB-300	058032	100mm
5	上板鉛直変位(右, テール側)	レーザー変位計	KEYENCE	LB-300	058038	100mm
6	上板鉛直変位(左, 切羽側)	レーザー変位計	KEYENCE	LB-300	053151	100mm
7	上板鉛直変位(左, テール側)	レーザー変位計	KEYENCE	LB-300	058035	100mm

ワイヤブラシと鉄の摩擦特性を確認するため、テールクリアランスを 55, 35, 15, 1mm で固定した実験を行うこととした。

さらに、底板水平速度がワイヤブラシの変形特性、摩擦特性に与える影響を確認するため、底板水平速度(0, 10, 30, 50 mm/min)も実験因子とすることとした。

したがって、本研究では、ワイヤブラシの有無、テールクリアランス減少量、底板水平速度を実験因子とした。試験ケースの一覧を表-1 に示す。

2) 実験装置

試験機の概要を図-1 に示す。上板を介してワイヤブラシを鉛直に押付けるためと、ワイヤブラシに接する底板を切羽側からテール側に水平に押すために、载荷装置を 2 つ設置した。

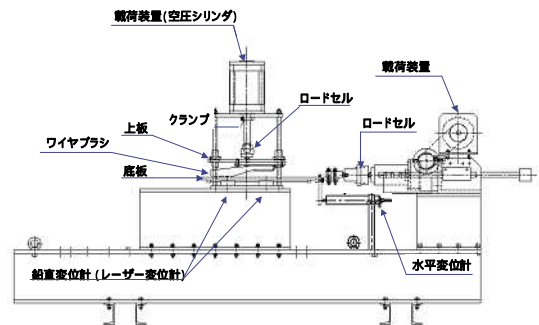
ロードセルは各载荷装置に 1 つ、変位計は水平方向に 1 つ、鉛直方向は水平にワイヤブラシを押付けているかを確認するため底板下部に切羽側とテール側に 2 ヶ所、左右に 2 ヶ所 計 4 ヶ所に設置した。計測項目を表-2 に示す。

3) 実験方法

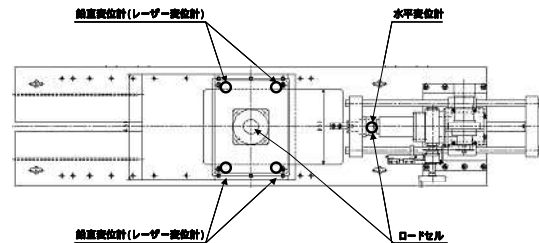
3.1) 試験準備

レギュレーターと空圧シリンダの上、空圧口をホースで接続する。

レギュレーターを操作し、空圧シリンダ



(a) 立面図



(b) 平面図

図-1 ワイヤブラシ変形特性試験装置

の下空圧口に空気圧をかけ、上板を持ち上げる。

上板にワイヤブラシをボルトで固定する。レギュレーターを操作し、空圧シリンダの下空圧口の空気圧を下げ、上板を下げる。

ワイヤブラシの先端が底板に着いた地点でクランプを締める。

レギュレーターを操作し、空圧シリンダの下空圧口に空気圧をかけ、クランプを締めた地点まで上板を持ち上げる

各計測器の校正を行い、0 点を取る。

3.2) 試験開始

各計測器と試験機が設置されていることを確認。

各試験ケースの条件を満たすようにレギュレーターとクランプを操作し、上板をスタート位置で固定する。

各試験ケースの条件に従って実験を開始する。

3.3) 試験終了

レーザー変位計の電源を落とし、クランプを緩める。

レギュレーターを操作し、空圧シリンダの下空圧口に空気圧をかけ、上板を持ち上げる。

ワイヤブラシを外し、レギュレーターの圧力を開放する。

3 試験結果

1) ワイヤブラシの変形特性

底板水平速度によるばねの変形特性への影響を図-2示す。これより、押付力は $V_H=30\text{mm/min}$ $V_H=50\text{mm/min}$ > 水平フリー > 水平固定となった。これは以下のように考えられる。

ワイヤブラシ先端の水平方向テール向きの変位は、ワイヤブラシがその取り付け位置を中心としてテール向きに回転することを意味する。このため、ワイヤブラシ先端に作用する押付力と摩擦力によって発生するモーメントによって、ワイヤブラシの回転角、すなわち、ワイヤブラシ先端のテール向きの変位が定まる。

底板水平変位固定では、ワイヤブラシに対するテール向き底板の相対変位は切羽向きとなり、ワイヤブラシ先端に切羽向きの摩擦力、すなわちモーメントが作用するため、押付力が増加する。

底板水平速度 $V_H=30, 50\text{mm/min}$ では、

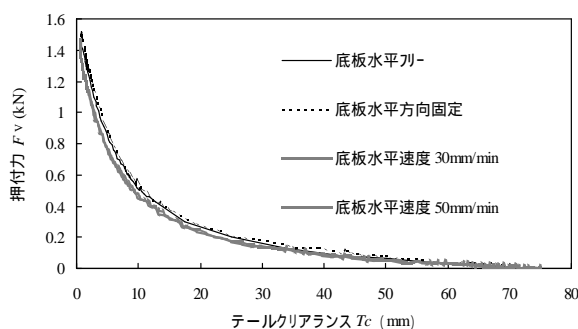


図-2 底板水平速度のワイヤブラシの変形特性への影響

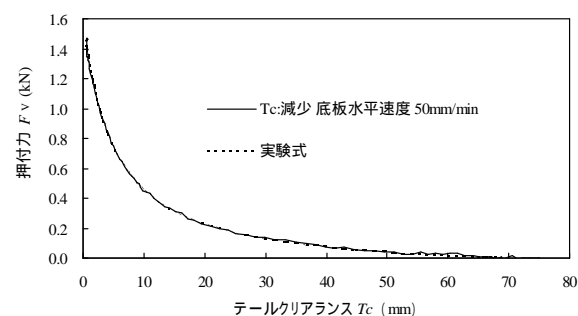


図-3 ワイヤブラシの変形特性 ($V_H=50\text{mm/min}$)

表-3 ワイヤブラシと鉄の摩擦定数

Case	Tcの制御	V_H (mm/min)	μ	c (kN)
1123-1173	固定	30	0.345	0.023
1125-1175		50	0.333	0.023
1193	減少	30	0.389	0.022
1195		50	0.381	-0.003
		平均	0.362	0.016

ワイヤブラシに対する底板の相対変位はテール向きとなり、ワイヤブラシ先端にテール向きの摩擦力、すなわち、モーメントが作用するため、押付力が減少する。底板水平変位フリーでは、上記のとの中間となる。

実際の施工では、ワイヤブラシに対する底板の相対変位はテール向きとなるので、底板水平速度 $V_H=30, 50\text{mm/min}$ の実験結果を用いることとした。

底板水平速度 $V_H=50\text{mm/min}$ のテールクリアランス T_c と押付力 F_v の関係の実験式

を以下に示す。(図-3 参照)

$$F_v = \frac{8.179}{T_c + 5.176} - 0.174 \quad (1)$$

2)ワイヤブラシと鉄の摩擦特性

テールクリアランスのワイヤブラシ摩擦特性への影響と底板水平速度のワイヤブラシ摩擦特性への影響を、図-4、5に示す。

また、 T_c の固定、減少と底板水平速度毎のワイヤブラシと鉄の摩擦定数を表-3に示す。これらの図表より、以下のことがわかる。

図-4より、押付力と摩擦力の関係は線形である。したがってテールクリアランスは、ワイヤブラシと鉄の摩擦特性に影響を与えない。

図-5より、 $V_H = 30, 50\text{mm/min}$ の場合、 V_H はワイヤブラシと鉄の摩擦特性にほとんど影響を与えない。

表-3より付着力 c は、底板水平力の計測精度 0.05kN よりも小さいことから、 $c=0$ として摩擦係数 μ を求めることにした。ロードセルの計測精度を定格 1% とすると、底板水平力、上板鉛直力の計測精度 3 は、それぞれ $0.05, 0.2\text{kN}$ となる。 μ は次式で表されるので、

$$\mu = \frac{F_H}{F_v} \quad (2)$$

摩擦係数の精度 3 μ は、次式より 0.066 となる。

$$\sigma_\mu^2 = \left(\frac{\partial \mu}{\partial F_H} \right)^2 \sigma_{F_H}^2 + \left(\frac{\partial \mu}{\partial F_v} \right)^2 \sigma_{F_v}^2 \quad (3)$$

$V_H = 30, 50\text{mm/min}$ における μ の差は 0.008 と計測精度以下で、有意な差はないといえる。そこで、摩擦係数の平均をとると、ワイヤブラシと鉄の摩擦係数 μ は 0.362 となった。

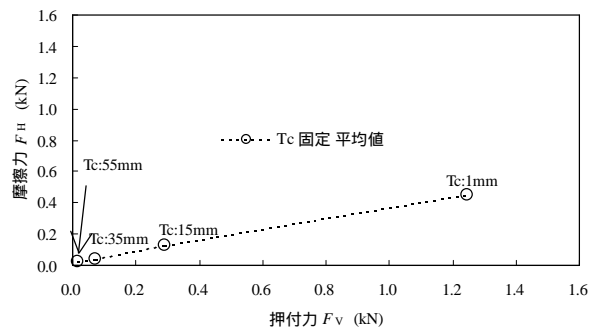


図-4 テールクリアランスのワイヤブラシ摩擦特性への影響

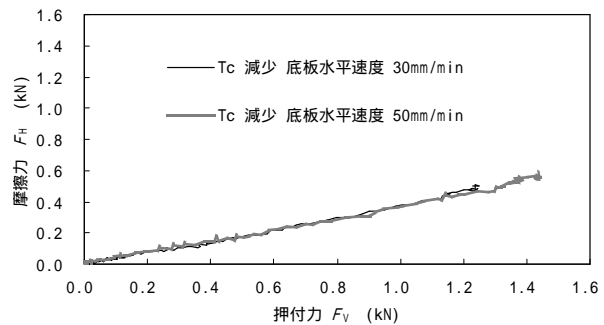


図-5 底板水平速度のワイヤブラシ摩擦特性への影響

4 結論

本研究で得られた結論を列記する。

ワイヤブラシの変形特性を表す実験式を提案した。

ワイヤブラシと鉄の摩擦係数は 0.362 である。

今後の課題として、以下があげられる。

裏込注入のワイヤブラシへの回り込みの影響評価。

グリスの有無の影響評価。

ワイヤブラシとコンクリートの摩擦特性。