

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 学○星野智洋

長岡技術科学大学 正 高田 晋 正 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、シールド機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、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、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った。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、1) ワイヤブラシの有無、2) テールクリアランス減少量、3) 底板水平速度を実験因子とした。

(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。

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 $V_H=30\text{mm/min} \div V_H=50\text{mm/min} < \text{水平フリー} < \text{水平固定}$ となった。これは鉛直方向の押付力と水平方向の摩擦力によりワイヤブラシ保護版を回転させるモーメントが発生するが、ワイヤブラシに対する底板の相対変位がテール向きだと、両者によるモ

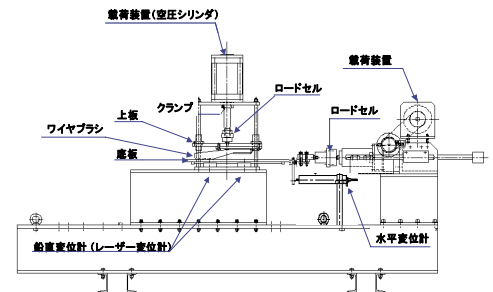


図-1 ワイヤブラシ変形特性試験装置

キーワード：シールドトンネル、ワイヤブラシ、要素実験、施工時荷重

連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡 1603-1 長岡技術科学大学建設系 TEL: 0258-46-6000 FAX: 0258-47-9600

ーメントが同じ向きとなるためである。

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 の関係を表す実験式を以下に示す。(図-3 参照)

$$F_V = \frac{8.71}{T_c + 5.17} - 0.114 \quad (1)$$

(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-1 に示す。これらの図表より、以下のことがわかる。

- 1) 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。
- 2) 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。
- 3) 表-1 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。
- 4) 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 3σ 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 $3\sigma_\mu$ 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。

4 結論

本研究で得られた結論を列記する。

- 1) ワイヤブラシの変形特性を表す実験式を提案した。
- 2) 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。
- 1) 裏込注入のワイヤブラシへの回り込みの影響評価。
- 2) グリスの有無の影響評価。
- 3) ワイヤブラシとコンクリートの摩擦特性。

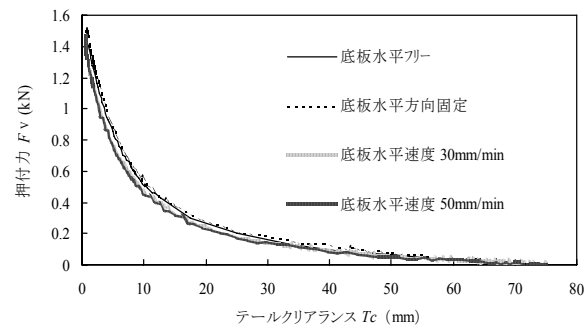


図-2 底板水平速度のワイヤブラシの変形特性への影響

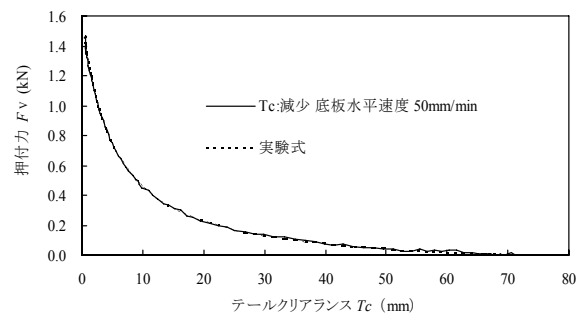


図-3 ワイヤブラシの変形特性 ($V_H=50\text{mm/min}$)

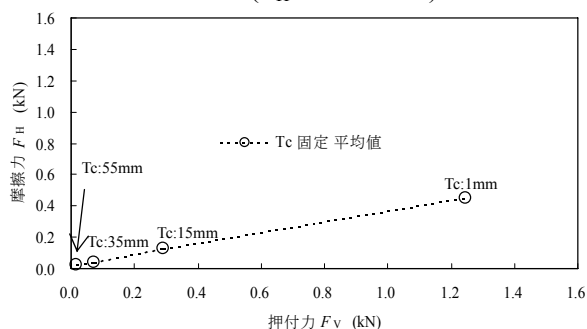


図-4 テールクリアランスのワイヤブラシ摩擦特性への影響

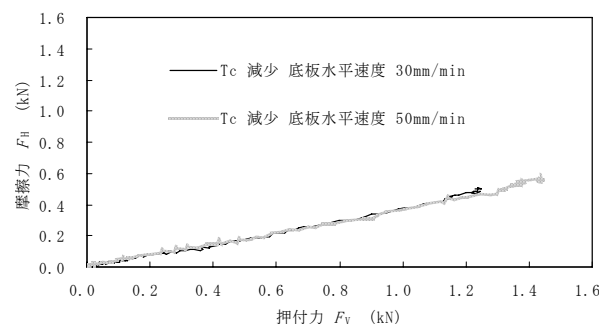


図-5 底板水平速度のワイヤブラシ摩擦特性への影響

表-1 ワイヤブラシと鉄の摩擦定数

Tcの制御	V_H (mm/min)	μ	c (kN)
固定	30	0.345	0.023
	50	0.333	0.023
減少	30	0.389	0.022
	50	0.381	-0.003
	平均	0.362	0.016