

テール作用力におけるグリスの流動抵抗の実験的検討とその適用

長岡技術科学大学 地盤工学研究室 田邊 健太
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。しかし、施工時にセグメントに作用する荷重については未解明な点が多く、定量的に把握されていないのが現状である。そこで本研究では、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荷重に着目し、グリスがワイヤブラシを通過する時のグリスの流動抵抗を定量的に求めることを目的として、テールクリアランス 35mm でワイヤブラシとグリスを用いた要素実験を行なった。

2. 試験方法

1) 実験因子

グリスについては、現場で実績があるテールシーラー #8000N, #8000NP を用いることとした。

実験規模の制約から、グリスとワイヤブラシをボックス（以下グリスボックスと呼ぶ）に入れて実験することにした。こうした場合には、グリスとグリスボックスの摩擦抵抗を考慮する必要がある。このため、グリスボックスの幅を実験因子とすることにした。また、実験装置の制約から、ワイヤブラシの高さ、グリスの温度を変更できないことから、実施工の条件を考慮して、テールクリアランスを 35mm とし、グリスの温度を測定することとした。したがって、本研究では、ワイヤブラシ幅、ワイヤブラシ単位幅当たりのグリス透過流量、ワイヤブラシ背面の水圧を実験因子とした。試験ケースの一覧を表-1 に示す。

2) グリスの流動抵抗実験

試験機装置の概要を図-1 に示す。グリスに対し

表-1 試験ケースの一覧表

case	ワイヤブラシ幅mm	水圧 kPa	速度 mm/min	備考
1110	100	100	10	貫入速度の影響
1130			30	
1150			50	
1130-2			30	
1030		0	30	水圧の影響
3110	300	100	10	グリスボックスの幅、貫入速度の影響
3130	300		30	
3150	300		50	

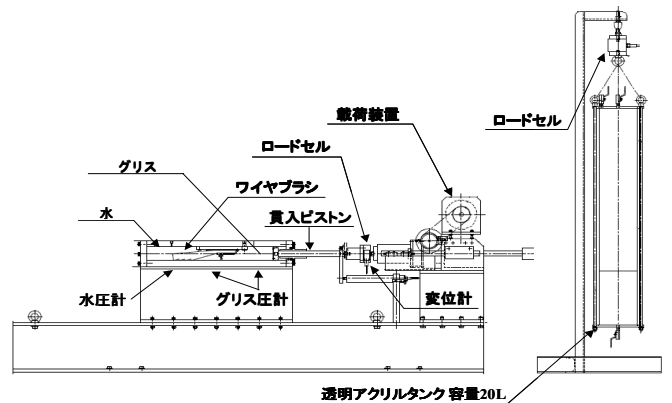


図-1 グリス流動抵抗試験装置

て水平方向からピストンを押し付け、ピストンの変位、ピストンの貫入力、ワイヤブラシ背面の体積変化、グリス圧、水圧を 1 秒間隔で測定した。

3) 試験結果の整理

ピストンの貫入力 F は、次式で表せる。

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (2-1)$$

F : ピストンの貫入力

F_1 : ピストンとボックスの摩擦力

F_2 : グリスとボックスの摩擦力

F_3 : グリス-ワイヤブラシの流動抵抗

また、 F_2 は次式で表される。

$$F_2 = \tau \times A \quad (2-2)$$

$$A = 2(h+W) \times L$$

τ : 単位面積あたりの摩擦力

A : グリスとグリスボックスの接触面積

W : ワイヤブラシ幅 (10cm)

h : グリスボックスの高さ

L : 充填されたグリスのピストン貫入方向長さ

また、 F_3 は次式で表せる。

$$F_3 = F_{31} + n F_{32} + (n-1) F_{33} \quad (2-3)$$

表-2 グリスと鉄の摩擦特性一覧

ワイヤブラシ幅 (cm)	強度特性	ピーク	収束平均
10	c (kPa)	1.78	1.94
	$\tan \phi$	0.0285	0.0415
	ϕ (deg)	1.63	2.38
30	c (kPa)	2.24	2.61
	$\tan \phi$	0.0392	0.0559
	ϕ (deg)	2.24	3.21

F_{31} : グリスとグリスボックス間の流動抵抗

F_{32} : ワイヤブラシ単体 (幅 10cm) のグリスの流動抵抗

F_{33} : ワイヤブラシ間 (幅 10cm) のグリスの流動抵抗

n : ワイヤブラシ個数

グリスボックス幅 30cm の F_3 からグリスボックス幅 10cm の F_3 を引くことにより, F_{31} を除いた F_{32} と F_{33} から, グリスがワイヤブラシを透過する時の, ワイヤブラシ単位幅当たりのグリスの流動抵抗 f が求められる。

$$\Delta F_3 = 2(F_{32} + F_{33}) = 2fW$$

$$f = \Delta F_3 / 2W \quad (2-4)$$

3. 試験結果

式 (2-2) を用いて, グリス圧 (切羽側, テール側) から得られたグリスと鉄の摩擦特性を表-2 に示す. この摩擦特性を用いて式 (2-4) から得られた単位幅当たりのワイヤブラシによるグリス流動抵抗力 f と単位幅当たりグリス流量 q の関係を図-2 に示す. これより以下のことがわかる.

1) 単位幅当たりのワイヤブラシによるグリス流動抵抗力 f と単位幅当たりグリス流量 q の関係は, 摩擦力を c で表しても, ϕ で表してもほぼ同じ傾向を示す. これは, 有効グリス圧がほぼ同じ値で, 両者の摩擦力がほぼ同じであったからである.

2) グリスの流動抵抗力 f は, ピークの方が, 収束平均より大きくなった. これは, ワイヤブラシのグリスの流動抵抗力へ与える影響が, ピークの方が大きいことを示していて, グリスがワイヤブラシとワイヤブラシ保護板を上方に押し上げるのに大きな力を必要とするためである.

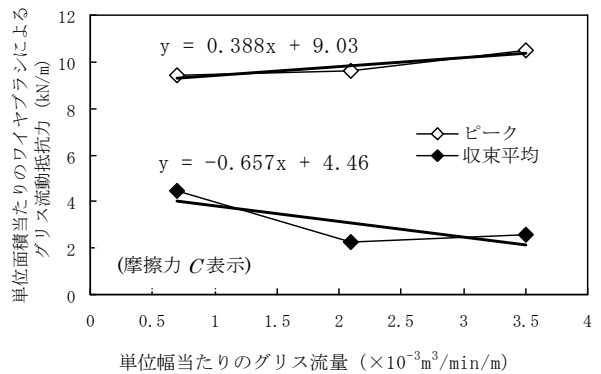
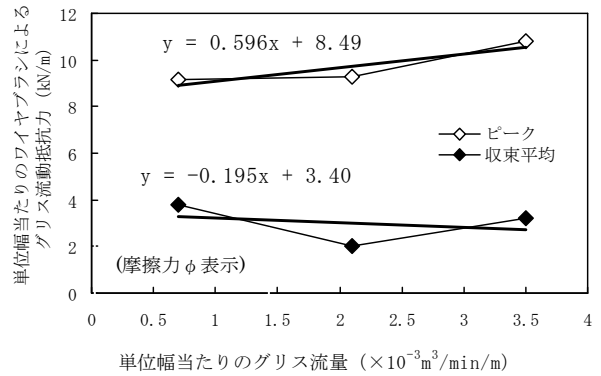


図-2 グリスの流動抵抗と流量の関係

3) グリス流動抵抗力 f のピーク値は, 流量 q の増加とともに線形に増加するが, グリス流動抵抗力 f の収束平均は, バラツキがあり, 流量 q に依存しない. これは, ワイヤブラシ幅 300mm, ピストンの貫入速度 30mm/min の実験が, ワイヤブラシにグリスを詰め込んだ後, 初めて行なった実験のため, グリスがワイヤブラシに均一に充填せれておらず, 流動抵抗が小さくなったためと考えられる.

4) 最小二乗法をあてはめて得られた f (kN/m) と q ($10^3 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$) の関係は以下のようであった.

$$f = 0.596q + 8.491 \quad (\text{ピーク値 摩擦力 } \phi \text{ 表示})$$

$$f = 0.388q + 9.033 \quad (\text{ピーク値 摩擦力 } c \text{ 表示})$$

4. 結論

テールクリアランス 35mm の場合の, 単位幅当たりのグリス流量と単位幅当たりのワイヤブラシによるグリスの流動抵抗の関係式を, 実験により定量的に求めることができた.