

セグメントに作用する施工時荷重の推定に関する研究

地盤工学研究室 松本 貴士
指導教官 杉本 光隆

1. はじめに

今までの研究により、中折れシールド対応の動力学モデルは、実挙動の再現が可能であるという結論を得ている。しかし、同解析ではテールクリアランスが実測値と一致していないため、テール部の施工時荷重の影響を十分に解析できなかった。そこで本研究では、鋼製セグメントスキンプレートの変形、および、テールクリアランスの実測値より求まるエレクター中心からセグメント中心への偏差を考慮できるモデルを開発し、既往のシミュレーションを再検討し、施工時荷重としてセグメントに作用する力を明確にすることを目的とする。

本研究の手順を以下に示す。

- 1) 現場計測データを用いて、施工時荷重のメカニズムを検討する。
- 2) 検討結果を基に、シールド機動力学モデルを改良する。
- 3) 改良したモデルを現場計測データに適用し、パラメトリック・スタディーを行う。
- 4) 上記を基に、セグメントに作用する施工時荷重、および、施工時荷重がシールド機挙動に及ぼす影響を解明する。

図1に、テールシールドが、曲線部、セグメント外周半径1.875mから1.9mに変化する縮径セグメント、その後の直線部を通過している時の総推力の変化を、図2に、掘進速度と総推力の相関を示す。これらの図より、以下のことがわかる。

- 1) 曲線部では総推力の変動は見られない。
- 2) テール部が縮径セグメント通過時に総推力のピークが現れている。
- 3) テール部が縮径セグメント通過後の直線部で、総推力は約1800kNの周期的変動を繰り返している。
- 4) 総推力の増加は、ワイヤーブラシがセグメント主桁部を通過する時と一致しており、ワイヤーブラシ1,3段目が主桁部通過時に生じる総推力の増加と、ワイヤーブラシ2段目が主桁部通過

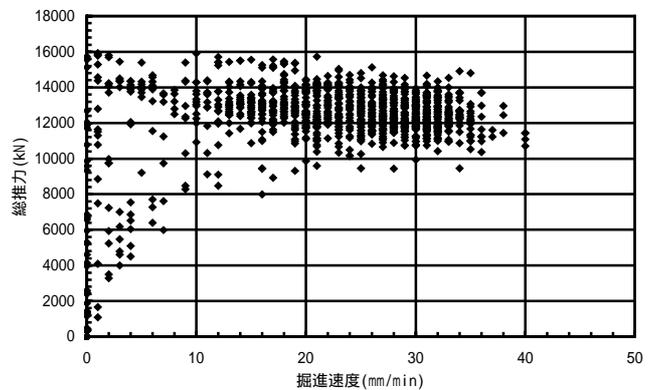


図2 掘進速度と総推力の相関

2. 現場実測生データ

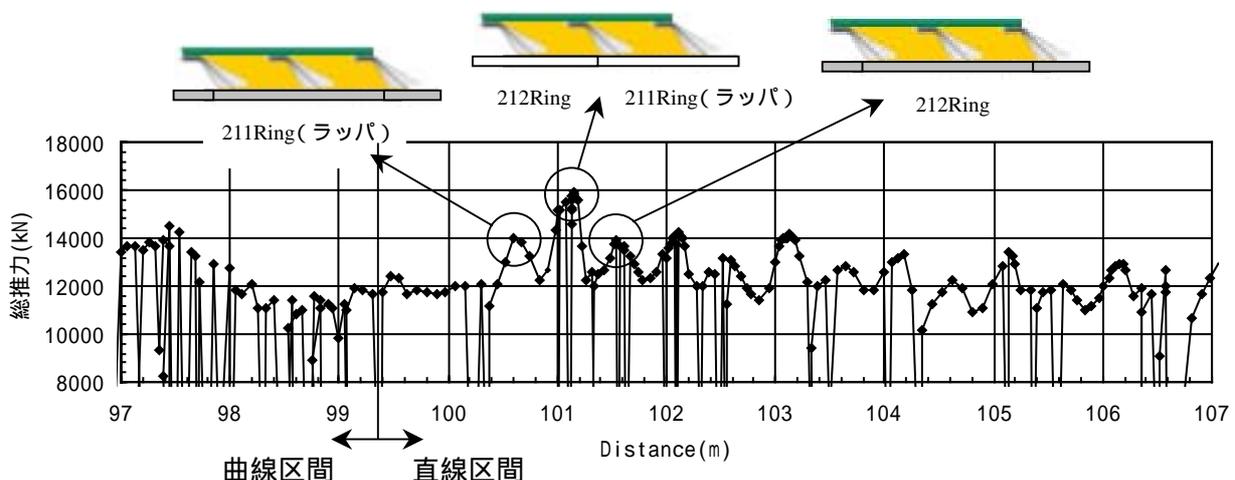


図1 総推力の変化 (距離程 97 ~ 107m)

過時に生じる総推力の増加が交互に起きている。

- 5) ワイヤブラシ 1, 3 段目が主桁部通過時に生じる総推力の増加より, ワイヤブラシ 2 段目が主桁部通過時に生じる総推力の増加の方が大きい。
- 6) 掘進速度と総推力の間には相関関係が見られない。

これらは, 以下のためであると考えられる。

- 1) 曲線部は, セグメント半径が小さいこと, セグメント主桁間隔が 0.3m と短く鋼製セグメントの変形量が小さいことから, 総推力の変動が現れない。
- 2) 直線部では, ワイヤブラシが鋼製セグメントの主桁部と内側に変形したスキンプレート部を交互に通過することにより, テールクリアランスの変化が生じ, ワイヤブラシ押付け荷重の変化, それに伴う掘進抵抗の変化が生ずる。さらに, ワイヤブラシ押付け荷重と釣合うために地盤反力が変化することにより, 掘進抵抗が変化する。これらにより, 総推力が変動する。
- 3) ワイヤブラシ 2, 3 段目に裏込め注入材の回り込み固化が生じている。
- 4) 縮径セグメントでの総推力のピークは, 固化した裏込め注入材の破碎, グリースの流動抵抗の発生, 競りの発生等によるものである。

3. モデル

3.1 作用力

シールド機動力学モデルでは, シールドに作用する力を,

- f_1 : シールド自重による作用力
- f_2 : シールドテール作用力
- f_3 : シールドジャッキによる作用力
- f_4 : 切羽作用力
- f_5 : スキンプレート作用力

の 5 つに分類して求めている。

3.2 モデル改良点

- (1) エレクター中心から組立て時セグメント中心への偏差

従来モデルによるシールド挙動シミュレーションでは, セグメント中心位置が掘進最後のエレクター中心位置であると仮定して, セグメント位置を求めている。施工時荷重を評価するために用いるテールクリアランスは数 mm 以下の高い精度で求める必要があること, セグメントの位置は, 施工に依存するので, 事前に設定することは困難であることから, テールクリアランスの計測値より, セグメント中心位置のエレクター中心位置からの偏差を求め, この偏差を考慮に入れてテールクリアランスを求めることとした。

(2) 鋼製セグメントの変形

セグメントの変形が無い状態でワイヤブラシがセグメントに接触する点 r_{22S} におけるテールクリアランス U_{22-old} に r_{22S} でのテールクリアランスの増加 U_{22} を加え, テールクリアランスを求めることとした(図 3)。なお, セグメントの変形によるテールクリアランスの増加 U_{22} を, 次式で表す。

$$\Delta U_{22} = \alpha \sin(\pi\beta)$$

$$\beta = b/B$$

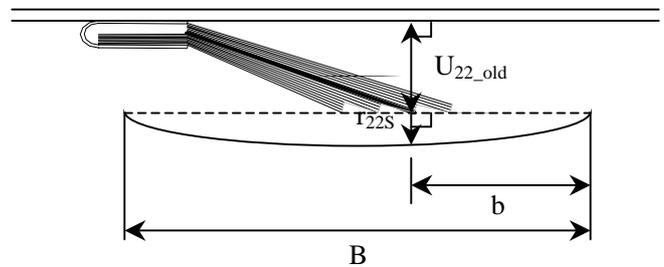


図 3 鋼製セグメントの変形

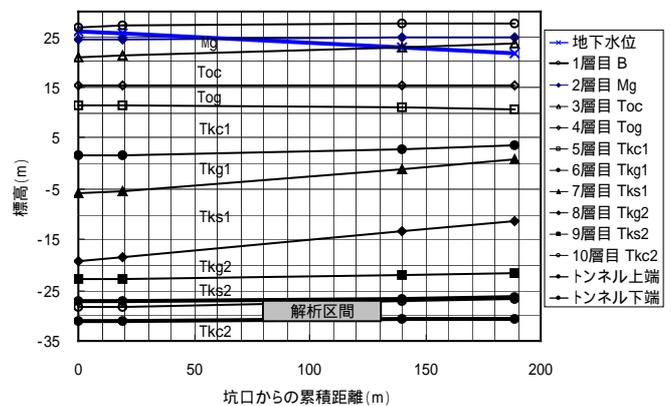


図 4 地質縦断図

ここで、

α : セグメントスキンプレート最大変形量(m)

B : セグメント主桁間隔(m)

b : セグメント主桁からワイヤーブラシがセグメントに接触している点までの距離(m)

4. シールド機挙動シミュレーション

シミュレーションには、泥水式中折れシールド(=3.94m)で、土被り約54mの洪積砂層と洪積粘性土層の互層地盤中を、約190m掘進した工事の現場実測データを用いた。掘進データの計測区間は、Ring No.151~262の111Ringで、挙動シミュレーションは、このうち平面線形にR=20mの急曲線を含む区間で実施した。図4の地質縦断図上にシミュレーション区間を示す。

裏込め注入材の回り込み固化によるワイヤーブラシパネ定数の増加は、既往の実験により求められた値がある(14815kN/m²)が、その実験では裏込め注入材のA液しか用いておらず固化が十分でないこと、手作業で裏込め注入材をワイヤーブラシへ注入したため注入が不十分であったことから、実際には実験で得られた値より大きい可能性がある。そこで本解析では、ワイヤーブラシの1段目(切羽側)と3段目(テール端部側)がセグメント主桁部通過時に、総推力の変動である1800kNが発生すると仮定し、パネ定数50930kN/m²と鋼製セグメントの変形30mmを設定した。

5. 解析結果

5.1 シールド機軌跡

図5にシールド機軌跡を示す。縦断線形のシミュレーション結果は、シミュレーション終了時で実測値より50mm上方だが、ほぼ一致している。また、平面線形のシミュレーション結果は実測値と良く一致している。

5.2 テールクリアランス

図6にテールクリアランスの実測値と解析値を示す。図より、モデルの改良により計測値と解析値の差は、1cm程度以下になることがわかる。よって、本モデルを用いたシールド機挙動シミュレーションを行うことにより、セグメント切羽側端部・テール端部のテールクリアランスの周方向分布をより精度良く求めることができる。

レーションを行うことにより、セグメント切羽側端部・テール端部のテールクリアランスの周方向分布をより精度良く求めることができる。

5.3 総推力の変動

図8に作用力・作用モーメントを示す。ここで、 F_{21} 、 F_{22} 、 F_{23} は競りによる作用力、ワイヤーブラシ圧、グリース圧を、下サフィックスp、q、rは図7に示す座標系を示している。図より、以下のことが分かる。

- 1) F_{5p} 、 F_{5q} は、 F_{2p} 、 F_{2q} と連動して生じている。また、競りが発生していないため $F_{21}=0$ となっている。 F_{22} と F_{23} の増減は逆となっていて、 $F_2=F_{22}+F_{23}$ となり、 F_2 の変動が抑えられている。
- 2) F_{2r} は、テールシールドが直線通過区間(距離程84~89、100~104m)で約1500kNの変動を示しているが、曲線通過区間(距離程89~100m)

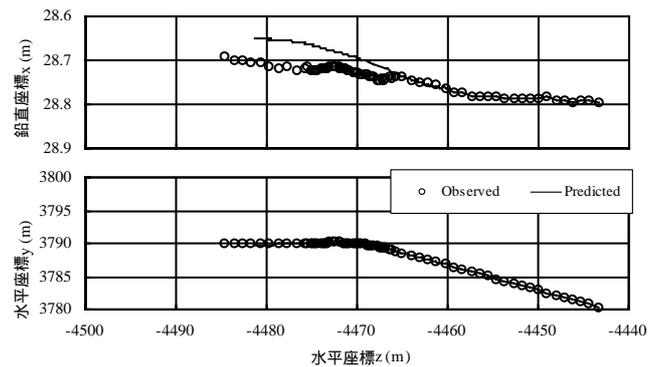


図5 シールド機軌跡

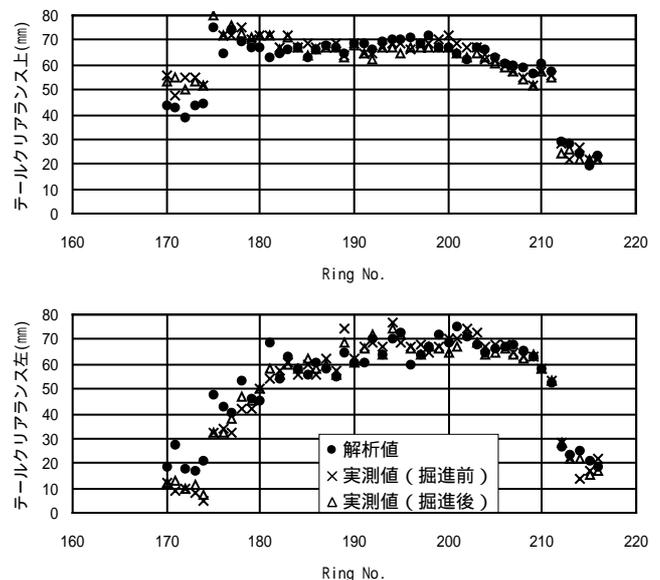


図6 テールクリアランス

では変動を示さない。 F_{5r} は、現場実測データの総推力の変動を示さない。

3) 縮径セグメント通過時における総推力の増大(約4000kN)は、 F_{2r} で表現できていない。

これらは、以下のためであると考えられる。

1) F_{22} のワイヤーブラシとセグメント間の摩擦係数は0.15で、 F_{23} のグリースとセグメント間の摩擦係数は0.001であるため、 F_{22r} が F_{2r} の支配的な成分である。したがって、 F_{2r} の変動は、テールクリアランスで定まる F_{22p} 、 F_{22q} の変動を反映している。

2) F_{5r} は、 F_{5p} 、 F_{5q} に対応して発生すること、 F_{5p} 、 F_{5q} は F_{2p} 、 F_{2q} に対応して発生すること、 F_{2p} 、 F_{2q} の変動は、 F_{22} と F_{23} の増減が逆となって抑制されていることから、 F_{5r} には、テールクリアランスの変化が反映されていない。この現象については、 F_{23p} 、 F_{23q} を規定するグリースの流動抵抗係数を解明する必要がある。

3) 仮定したグリースの流動抵抗係数が正しい場合には、現場実測データにおける総推力の変動(約1800kN)が F_{2r} により表現できていることから、設定したワイヤーブラシバネ定数、鋼製セグメントの変形量は妥当である。

4) 本モデルでは、裏込め注入材の回り込み固化によるテールクリアランス減少の考慮は、ワイヤーブラシ3段目(テール端部側)のみ可能であること、総推力の増大はワイヤーブラシ2段目(3段の内真ん中)で起こっていることから、縮径セグメント通過時における総推力の増大を表現できなかった。モデルの改良が必要である。

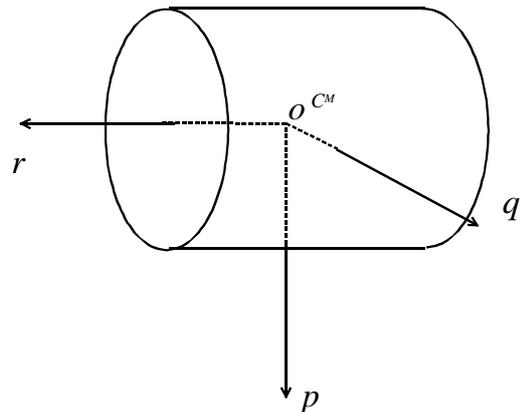
6. 結論

本研究により、以下の結論を得た。

- 1) 現場実測データを用いてR=20mの急曲線を掘進する泥水式中折れシールド機の挙動シミュレーションを実施した。計算値は実際のシールド機挙動と良く一致した。これより、中折れシールド機動力学モデルの妥当性が確認された。
- 2) 鋼製セグメントの変形、テールクリアランスの実測値より求まるエレクター中心からセグメント中心への偏差を考慮できるモデルを開発

した。このモデルを用いることにより、直線部での総推力の変動を評価できるようになった。

- 3) 一方、縮径セグメント通過時の総推力の増加は表現することができなかった。裏込め注入材の回り込み固化によるテールクリアランスの減少の位置を指定できるようにモデルを改良する必要がある。



- o : center of the section on which shield jack thrust acts
- p : downward direction from the view point of shield structure
- q : p,r axis determine by right hand coordinate
- r : shield axis in advance direction

図7 マシン座標系

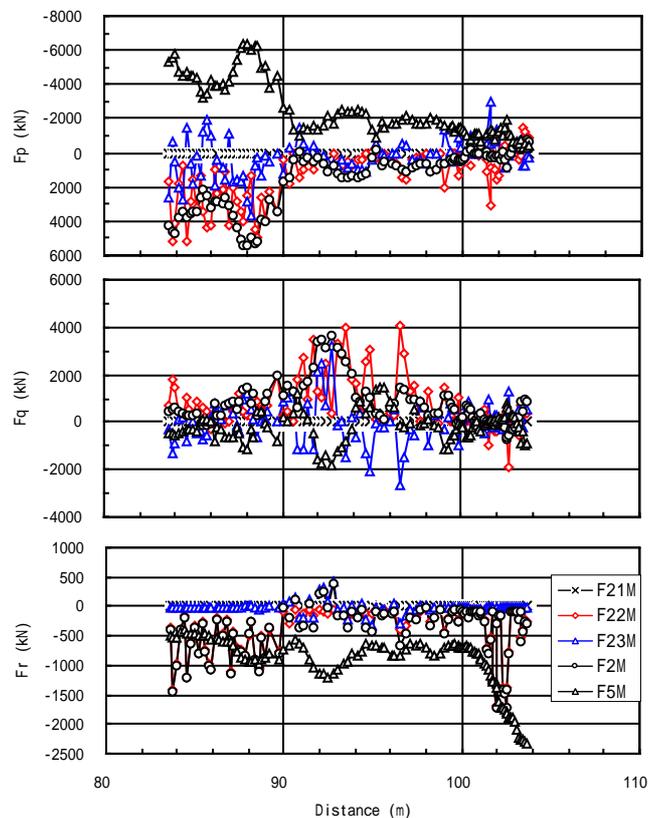


図8 作用力・作用モーメント