

裏込め注入と泥水圧の影響を考慮した中折れシールド機挙動シミュレーション

地盤工学研究室 岩崎広幸
指導教官 杉本光隆

1 はじめに

施工実績や既往の研究によると、裏込め注入材のテール内空への付着や、切羽泥水のシールド機周囲への回り込みがシールド機挙動に影響を及ぼすことがありとされている。

裏込め注入材のシールドテール内空への付着は、テールシールの接地圧が不足する場合に起こりやすく、切羽泥水のシールド機周囲への回り込みは、余掘りによってスキンプレートと地盤の間に隙間がある場合に起こりやすい。これらの影響は中折れシールドが用いられる急曲線施工で影響が大きいと考えられる。

そこで、本研究では、裏込め注入と泥水圧による影響をより詳細に表現できるモデルを開発するとともに、これらがシールド機挙動に及ぼす影響の定性的な評価を行い、これらがシールド機挙動に及ぼす影響のメカニズムを解明することを目的とする。

2 裏込め注入材付着のモデル化

既往のモデルでは、図-1(a)のように裏込め注入材がテール部内空全体に一定厚で付着することを想定していた。本研究では、図-1(b)のようにシールドテール端部とセグメント前端面位置で独立に、かつ、指定範囲に設定できるようにした。

3 切羽泥水回り込みのモデル化

既往のモデルでは、スキンプレート周囲に作用する泥水圧を、切羽泥水圧を基準とした静水圧分布で与えていた(図-2(a)参照)。本研究では、静水圧分布とし

て算定した泥水圧に任意の倍率を設定できるようにするとともに、シールド機軸方向の分布を考慮できるようにした(図-2(b)参照)。

4 シールド機挙動解析

4.1 解析概要

本研究では、

- 1) 中折れシールド機力学モデルの妥当性を確認する。
- 2) 裏込め注入材の付着分布、付着厚の違いがシールド機挙動に及ぼす影響を定性的に評価する
- 3) 泥水の回り込みがシールド機挙動に及ぼす影響を定性的に評価する。

を目的として、以下の3項目の解析を実施した。

- 1) 実測データによるシールド機挙動シミュレーション
- 2) 裏込め注入材の付着による影響を考慮したシールド機挙動シミュレーション
- 3) 泥水の回り込みによる影響を考慮したシールド機挙動シミュレーション

4.2 解析対象

シミュレーションには、泥水式の中折れシールド(=8.08m)で土被り約25mの洪積砂層と洪積粘性土層の互層地盤中を約2900m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、RingNo.50~309の259Ringであり、挙動シミュレーションは、このうち平面線形が直線のみ区間(以降、直線部と呼ぶ)と直線と曲線の双方を含む区間(以降、曲線部と呼ぶ)で実施した。図-3の地質縦断上に直線部およ

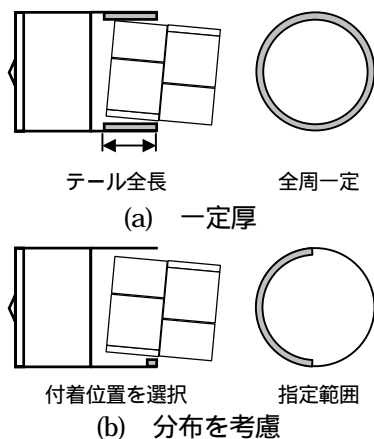


図-1 裏込め注入材付着のモデル化

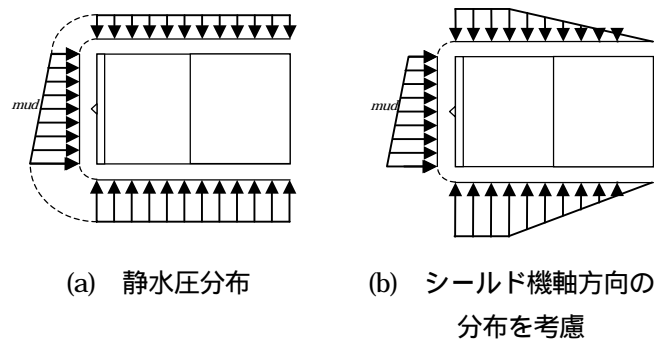


図-2 泥水圧分布のモデル化

び曲線部のシミュレーション区間を示す。

5 解析結果

5.1 実測データによるシールド機挙動シミュレーション

中折れシールド機動力学モデルの妥当性を確認するため、裏込注入および泥水の回り込みを考慮しない状態で直線部、曲線部それぞれについて挙動シミュレーションを実施した。

図-4、図-5 に直線部、曲線部におけるシールド機軌跡のシミュレーション結果と実測値を示す。

両図より、直線部、曲線部ともにシミュレーション結果は実測値とよく一致していることが分かる。

5.2 裏込め注入材の付着による影響を考慮したシールド機挙動シミュレーション

ここでは、裏込注入材の付着による影響が大きく現れると考えられる曲線部について検討を行う。

5.2.1 解析ケース

裏込注入材の付着による影響は、付着の分布と付着厚を検討項目とした。付着の分布については、図-6(a)～(d)に示す4パターンを設定し、付着厚については、片側のテールクリアランス 30mm を考慮して表-1 のように定めた。

なお、付着厚 $t_{TD}=0\text{mm}$ の S000 と C000 は、5.1 節で示した、裏込注入材の付着および泥水の回り込みを考慮しない場合の解析結果である。

5.2.2 解析結果

図-7 に付着厚 $t_{TD}=30\text{mm}$ の場合のシールド機軌跡の計画線形からの位置偏差を示す。(a)図は鉛直面内、(b)図は水平面内について示している。

図-7 より、以下のことが分かる。

- 1) 裏込注入材の付着を設定しない C000 と比較して、裏込注入材の付着を設定した全てのケースで、鉛直面内の軌跡が上方へそれる。
- 2) テール左側に付着のある3ケースでは、裏込注入材の付着を設定しない C000 と比較して、水平面内の軌跡が右側（カーブ外側）へそれる。一方、テール右側に付着を設定した C144 では、左側（カーブ内側）へそれる。
- 3) 裏込注入材の付着を設定しない C000 と比較して、裏込注入材の付着を設定した全てのケースで掘進距離

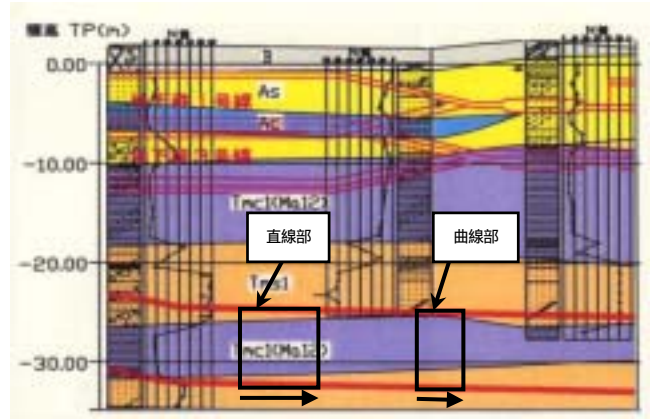


図-3 地質縦断面図

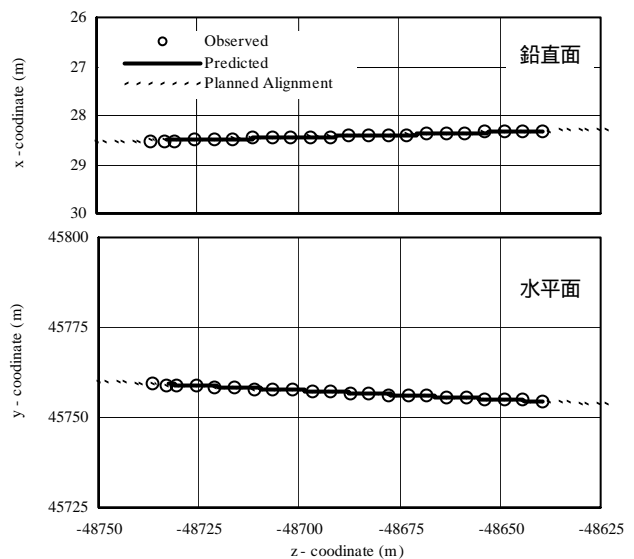


図-4 シールド機軌跡（直線部）

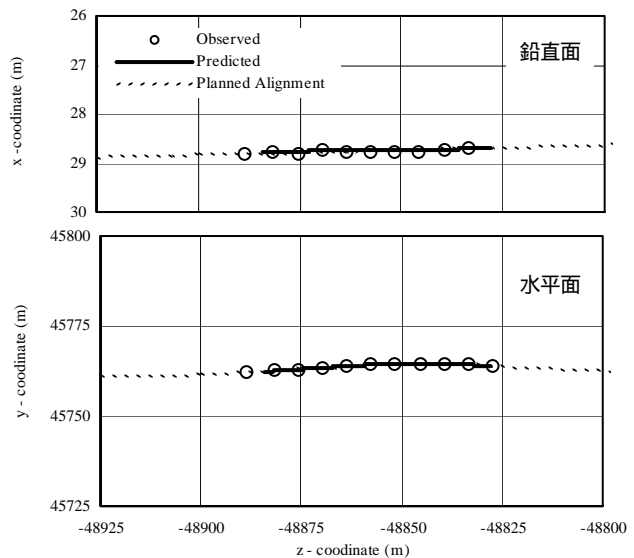


図-5 シールド機軌跡（曲線部）

が若干短い。

これらは以下のためであると考えられる。

1) 裏込注入材の付着を設定したことで、テールクリアランスが減少し、セグメント反力が増加する。このため、シールド機の回転が拘束される。また、力の釣合いのために裏込注入材の付着を設定した側へ後胴位置がシフトする。これらの結果として、シールド機軌跡がずれる。

2) シールドテールに作用するセグメント反力が増加すると、作用力に応じ摩擦力が増加する。これにより、シールド機は掘進抵抗が増大し、掘進速度が低下する。

上記は、力の釣合いの結果であり、力学的に合理的である。

5.2 泥水の回り込みによる影響を考慮したシールド機挙動シミュレーション

ここでは、泥水の回り込みによる影響が大きく現れると考えられる曲線部について検討を行う。

5.2.1 解析ケース

泥水の回り込みによる影響は、シールド機軸方向の分布と作用圧比（切羽泥水圧に対する比）を検討項目とした。

検討ケースの一覧を表-2 に示す。シールド機軸方向の分布については、図-2(a)のようにシールド機全長で一樣に分布する場合と、図-2(b)のようにシールド機先端部（1.5m）で一樣に分布し、後方テールにかけて低減を設定する場合の2種類を設定した。作用圧比については、0.5, 1.0 とした。なお、作用圧比0のS000とC000は、5.1節で示した、裏込注入材の付着および泥水の回り込みを考慮しない場合の解析結果である。

5.2.2 解析結果

図-8 に作用圧比 1.0 とした場合のシールド機軌跡の計画線形からの位置偏差を示す。(a)図は鉛直面内、(b)図は水平面内について示している。

図より、以下のことが分かる。

1) 泥水の回り込みを設定しないC000と比較して、泥水の回り込みを設定した2ケースでは、鉛直面内の軌跡が上方へそれる。また、シールド機軸方向の低減を設定しないC212と低減を設定したC222では、低減を設定しないC212の方が大きくそれる。

2) 泥水の回り込みを設定しないC000と比較して、泥

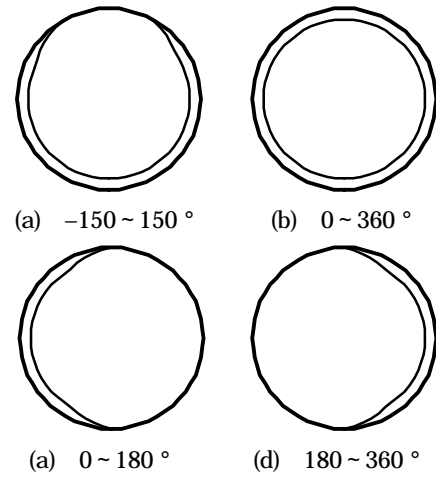


図-6 付着分布のパターン

表-1 裏込め材付着による影響の検討ケース

		付着範囲 (deg)				
		-150 ~ 150	0 ~ 360	0 ~ 180	180 ~ 360	
付着厚 t_{TD} (mm)	直線部	0	S000			
		10	S111	S121	S131	S141
		20	S112	S122	S132	S142
		30	S113	S123	S133	S143
		40			S134	S144
	曲線部	0	C000			
		10	C111	C121	C131	C141
		20	C112	C122	C132	C142
		30	C113	C123	C133	C143
		40			C134	C144

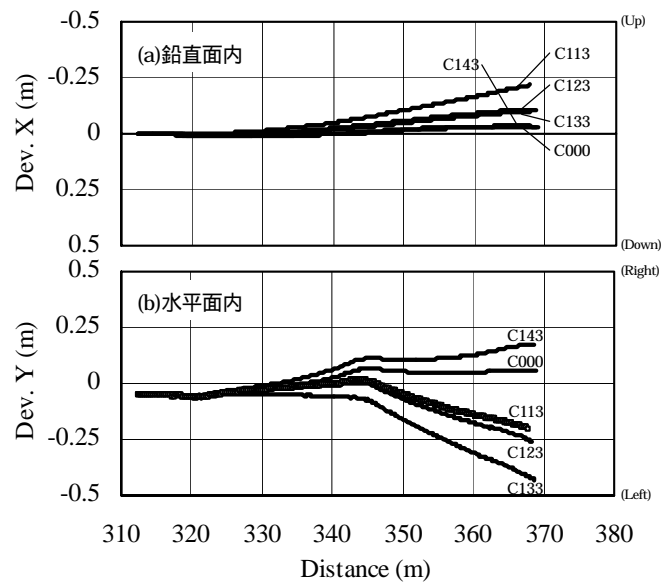


図-7 シールド機軌跡の計画線形からの位置偏差

水の回り込みを設定した2ケースでは、水平面内の軌跡が左側（カーブ内側）へそれる。また、シールド機軸方向の低減を設定しないC212と低減を設定したC222では、低減を設定しないC212の方が大きくそれる。

これらは、以下のためであると考えられる。

- 1) 泥水圧の密度は水の密度より大きいので、泥水の回り込みを考慮することにより、シールド機作用する浮力が増加する。したがって、シールド機は上方へ変位する。さらに、泥水圧が作用する範囲は前胴のほうが広いので、上向きの回転を生ずる。
- 2) 「泥水圧よりも小さい地盤反力が作用している部分に泥水圧が作用する」という仮定を用いている。カーブ内側より外側の方が上記の範囲が広いので、泥水の回り込みを考慮することにより、シールド機はカーブ内側へ変位する。さらに、泥水圧が作用する範囲は前胴のほうが広いので、カーブ内側への回転を生ずる。

上記は、力の釣合いの結果であり、力学的に合理的である。

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直線区間および曲線区間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、計算値は実際のシールド機挙動と良い一致を見た。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) 裏込注入のテール内空への付着およびスキンプレート周囲に回りこむ泥水について、分布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で、より実現象に近い状態でこれらがシールド機挙動に及ぼす影響を評価できるようになった。
- 3) 開発したモデルを用いて裏込注入材の分布性状ならびに泥水の作用圧を検討項目とした数値実験を実施し、これらのシールド機挙動に及ぼす影響の定性的な評価を行った。その結果、両者のシールド機挙動に及ぼす影響とそのメカニズムを解明した。

謝辞

本研究を行うにあたり貴重なデータをご提供くださった関係者の方々に深く感謝の意を表します。

表-2 泥水の回りこみによる影響の検討ケース

		分布	
		一様	テール方向に低減
作用圧比 (-)	直線部	0	S000
		0.5	S211 S221
		1	S212 S222
	曲線部	0	C000
		0.5	C211 C221
		1	C212 C222

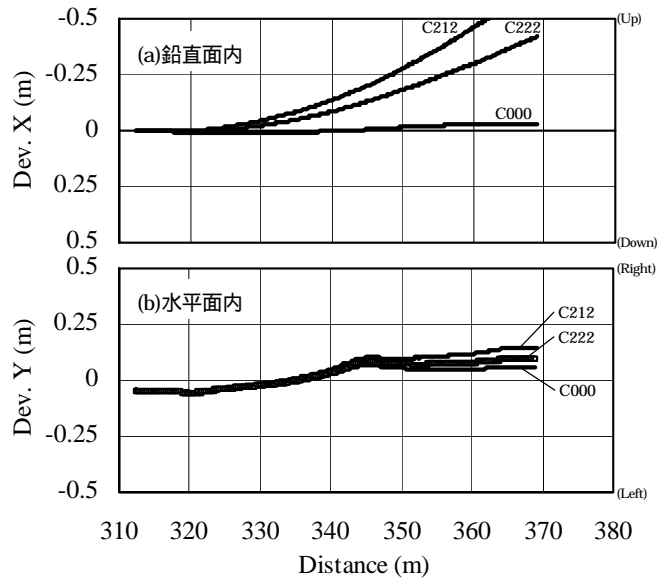


図-8 シールド機軌跡の計画線形からの位置偏差

参考文献

- 1) 杉本光隆, Aphichat Sramoon 施工実績に基づくシールド機動力学モデルの開発, 土木学会論文集, No.673/ -53, 2001
- 2) 山口宇玄, 杉本光隆, Aphichat Sramoon 中折れシールド機挙動モデルの開発, 第56回土木学会学術講演会講演概要集, -B075, 2001