

12. ラチス式同時施工シールド工法の開発

（株）鴻池組：*古川 和義，西村 良平
梅谷 彰

1. はじめに

現在のシールド工事では、地下構造物の輻輳化と立坑用地の確保難から、大深度・長距離施工技术が要求されている。そこで筆者らは、長距離施工の効率向上を可能にする技術の一つである高速施工を目的として、掘削とセグメント組立の同時施工（以下、同時施工と称す）が可能なシールド機（以下、ラチス式同時施工シールド機と称す）の開発および実証施工を行った。本報告書では、開発した工法の概要と実証施工結果について述べる。

2. 工事概要

表-1 に実証施工の工事概要を示す。施工区間には、半径200mの曲線区間が2ヶ所（延長140m）含まれている。同時施工は本掘進の工事区間のうち直線区間約350mで実施した。本工事の特色として、掘進速度60mm/min以上にも対応する泥水輸送・処理設備を採用し、通常施工時にも高速施工を可能にしている。

表-1 工事概要

工事場所	大阪府堺市
工事延長	1109m
工 法	泥水加圧式「ラチ」工法
セグメント	RCセグメント外径 φ2800mm
土 被り	14.9(海底部)~36.9m(陸部)
土 質	洪積粘土層 (N値 7~9)

3. ラチス式同時施工シールド機の概要

図-1 に、当工事で使用したシールド機の概要を示す。本シールド機は同時施工を可能とするために、前胴と後胴を摺動可能な二重構造とした複動式を採用した。さらに、後胴にシールドジャッキ（100t×12本）、前胴と後胴の間は後述するラチスジャッキ（150t×6本）を設置することにより前・後胴に独立した推力を与えた。これらにより、後胴内でセグメントを組立中に前胴を掘進し、組立終了後に後胴を引き寄せせることを可能にした。以下に、本シールド機の主な構造上の特徴を述べる。

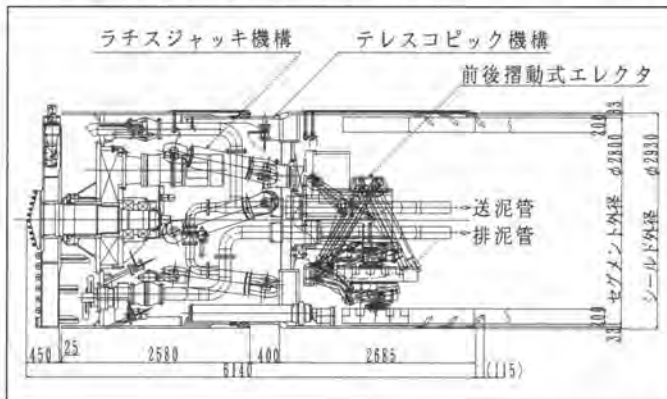


図-1 ラチス式同時施工シールド機

1) ラチスジャッキ機構

前後に分割したシールド機を、ラチスジャッキと称する6本の油圧ジャッキを用いて連結する。このラチスジャッキは、通常の中折れジャッキとは異なり、シールド機中心軸に対して平行ではなく角度を持って取り付けられている。6本のジャッキそれぞれに対してサーボ制御を実施するこ

とにより、各ジャッキを任意の伸縮速度・ストロークに設定することが可能である。この機構により、前胴部は後胴部に対して、6自由度（前後・上下・左右・左右首振り・上下首振り・回転）の姿勢制御を同時に行うとともに、外力に対する姿勢維持も可能となる。

2) テレスコピック機構

シールド機を分割するテレスコピック機構は、前後に伸縮（450mm）するとともに、任意方向への屈曲（ $\pm 1.1^\circ$ ）し、半径200m程度の曲線施工に対応可能である。摺動部は高耐久性シールによって止水され、シールド機内の送排泥管は、テレスコピック機構の動きに合わせて伸縮・屈曲する。

3) 前後揺動式エレクタ

セグメントエレクタは、前後揺動ジャッキと並行リンクの組み合わせにより、エレクタヘッドが前後方向に1200mmの移動が可能な機構を有する。この機構により、すでに組み立て完了したセグメント上に置かれたセグメントピースを直接ピックアップすることが可能になり、セグメント組立作業の高速化・安全性の向上が図れる。

4. 管理システム及び制御方法

図-2に、今回採用した管理システムを示す。シールド機の運転は地上の中央管理室からの遠隔操作とし掘削中の計測データはすべて管理室でモニタを行った。また、同時施工時の前・後胴の位置・姿勢およびそれぞれに作用する内外力を管理するラチス管理専用モニタを設置した。

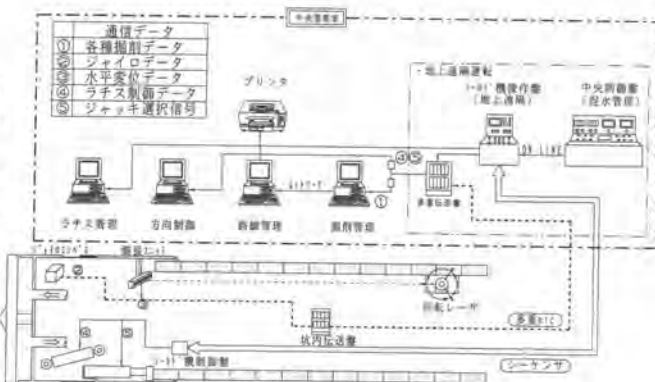


図-2 管理システム構成図

方向制御に関しては、回転レーザ

・ジャイロコンパス・レベル計等の自動計測装置を使用して、リアルタイムにシールド機的位置・姿勢を検出し、これらのデータをもとにコンピュータによる自動方向制御を実施した。自動方向制御は、掘進長10cmごとに指令を出し、同時施工時にはラチスジャッキストロークの制御、通常施工時にはシールドジャッキ選択にて実施した。

また、同時施工時において、

- ①セグメントへの偏荷重の作用とシールド機の後退
- ②摺動部分の噛み込みによる破損

の2つの問題が想定されたため、以下のような対策を講じ、実証施工を実施した。

- ①各ジャッキ及び伸縮管部のストロークセンサによる異常検知。
- ②シールドジャッキの圧力上昇を監視してセグメント破損を防止。
- ③後胴引き寄せ時に、中折れ角度を 0° にして、テレスコピック部の破損防止。
- ④後胴引き寄せ時のシールドジャッキ伸長速度とラチスジャッキの短縮速度比率制御。

5. 実証施工結果

1) 施工サイクル

図-3に同時施工と通常施工の計画サイクルの比較を示す。今回の施工では、立坑寸法等の制約により、テレスコピック部の摺動距離を450mmとし、シールド機長の短縮を図った。施工順序は、

①ラチスジャッキを使用して前胴のみ450mm掘進する。(シールドジャッキは伸ばしきった状態)

②前胴掘進中にセグメントを組立てる。

③残り450mmの掘削と後胴リフト(引き寄せ)を同時に行う。

④軌条設備や配線延長等の準備を行って①に戻る。

今回は、摺動長を450mmにしたために、複胴式に通常必要な引き寄せ時間も掘削できるので、通常施工と比較すると、セグメント組立時に掘進した時間がサイクルタイムの短縮になる。

図-4にサイクルタイムの施工実績を示す。通常施工時の平均サイクルタイム41分、同時施工時のサイクルタイム35分となり、1リングあたり6分の時間短縮となっている。図-5は平均速度を比較したもので、通常施工は毎分53mm、同時施工時は毎分36mmの平均掘進速度であった。この速度差は、泥水輸送・処理設備が毎分60mmの高速掘進に対応していたこと、ラチスジャッキ作動油ポンプの仕様が毎分45mmであったことによる。このように掘進速度で約1.5倍の差がありながら、サイクルタイムは逆に同時施工の方が短くなっているため、高速施工法の有効性が確認できた。

1リング施工サイクルタイムの比較

作業内容		0	15	30	45	合計
今回 工法	掘進	前胴のみ掘進	12分			42分
		後胴リフト掘進		12分		
	セグメント組立	20分				
	付帯工			10分		
従来 工法	掘進	24分			54分	
	セグメント組立		20分			
	付帯工			10分		

図-3 サイクルタイム比較(計画)

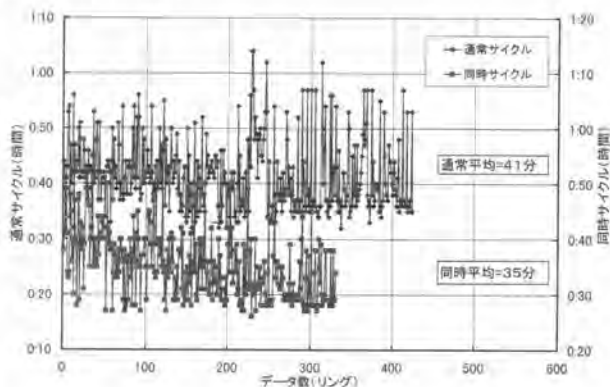


図-4 サイクルタイム実績

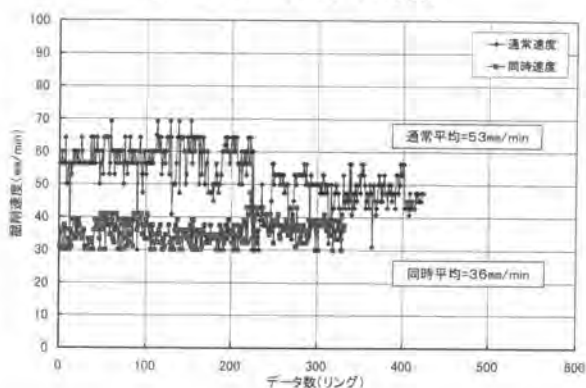


図-5 掘進速度実績

2) セグメント組立時のシールド機の挙動

ラチスジャッキを使用して掘進中に、セグメント組立に伴うジャッキの入れ替えを行うと、選択ジャッキの本数が減少し、一部のジャッキが過負荷となってシールド機が後退したり、後胴部分が左右に移動するおそれがある。特にシールド機の後退は、切羽圧力の低下や、テールシールドの破損につながるため極力防止しなければならない。

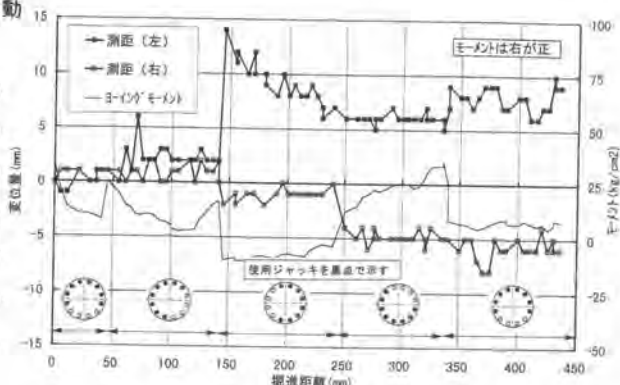
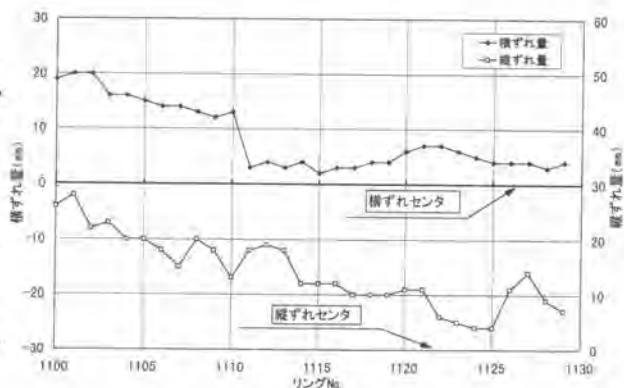


図-6は、同時施工時に1リングのセグメント組立を行った時の後胴部の挙動を示したものである。図中の測距データは、シールド機後胴部の外周内側の左右に光波測距機を設置し、シールド機と既設セグメントとの距離を計測した結果で、ヨーイングモーメントはラチスジャッキにより前胴部に発生した水平モーメントの推移結果である。

シールドジャッキを縮めた部分にラチスジャッキによるモーメントが作用する場合もあるため、後胴の後退量は最大で10mm程度になっている。しかし、通常施工の場合に、セグメント組立前と組立後と比較したときの後退量が常に10mm程度発生することを考えると、同時施工時のジャッキ入れ替えによる後胴部の挙動は実施工に支障がないことが実証された。

3) 方向制御

図-7は、同時施工区間において方向制御を実施したときの測量実績を示している。水平・鉛直方向ともに計画線に対して30mm程度のずれ量の地点からの自動方向制御を実施したが、10リングから20リング程度の掘進で修正されてずれ量が小さくなっている。このことから、同時施工においても、方向制御が十分に可能なことを確認できた。



6. まとめ

本実証施工結果より、同時施工法による高速施工が可能であることが実証された。さらに実用性についても、同時施工実施時に懸念されたセグメント組立時のシールド機の安定性および方向制御についても良好な結果を得た。今後、土圧シールドや曲線施工において本工法の高度化を図るとともに、実工事への適用を進めていきたい。

おわりに、本工法の開発及び実証施工にあたり、御協力頂いた関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 池田 他；ラチス式同時施工シールド機の開発；第51回土木学会年講概要集，1996, 9
- 2) 梅谷 他；ラチス式同時施工シールド機による実証施工；第51回土木学会年講概要集，1996, 9