

トンネル 特集

2 段伸縮式シールドジャッキを用いた急曲線シールド機の開発

三谷典夫・新宅章治・村西正紀

シールド機の急曲線施工は、中折機構の改良開発によって大幅な発展を遂げたが、最近のセグメント幅の増大や軸方向挿入型セグメントの使用工事の増加などにより、これまでの技術だけでは対応が難しくなっている。

これに対し大幅な機長短縮を可能とする2段伸縮式シールドジャッキを使用したシールド機を開発したので施工事例も含めて紹介する。

この技術は、急曲線施工のほか発達立坑の縮小、掘削とセグメント組立ての同時施工機への適用など種々のシールド機への適用が期待できる。

キーワード：トンネル、シールド機、急曲線施工、中折機構、2段伸縮式シールドジャッキ

1. はじめに

昭和50年代に開発された中折式シールド機はその利便性から狭隘な市街地の工事に多用されるとともに、改良が加えられた結果、 $R10\text{ m}$ の超急曲線施工も可能としてきた。

一方、近年はシールド工事の適用拡大に伴う岩盤部等の過酷な土質条件下での急曲線施工や軸方向挿入型セグメントや幅広セグメントを採用した急曲線施工など、中折シールド機に対する性能要求も多様となってきている。

これらの土質条件やセグメント条件を満足する中折装置として各種方式の考案がなされているが、本報文では2段伸縮式シールドジャッキを用いた簡便な方式で各種の急曲線施工に対応可能な新しいシールド機について実績を主体に報告する。

2. 急曲線施工シールド機の動向

前述のように都市トンネル施工の活性化に伴い、狭い道路下での超急曲線施工への要求が強くなり、最近では $R8\text{ m}$ ～ $R10\text{ m}$ の超急曲線施工の要求も多くなっている。

また使用するセグメント幅は 1.5 m 程度の幅広タイプの採用も検討されており、軸方向挿入型セグメントの採用とあいまってシールド機長は増大化傾向にあるが、反対に曲線施工の最小曲率半径は小さくなる傾向にある。

このような条件下において急曲線施工を行う場合、従来はシールド機の中折角度を増大させて機体を大屈曲化し、また、大きな余掘量の確保が可能な大ストロークのコピーカッタを装備することなどにより対処してきた。

図-1は上述の機構を採用したシールド機の実施例である。図-2は曲線施工状態図を示す。

シールド機の外径は $\phi 2,890\text{ mm}$ で、中折角度

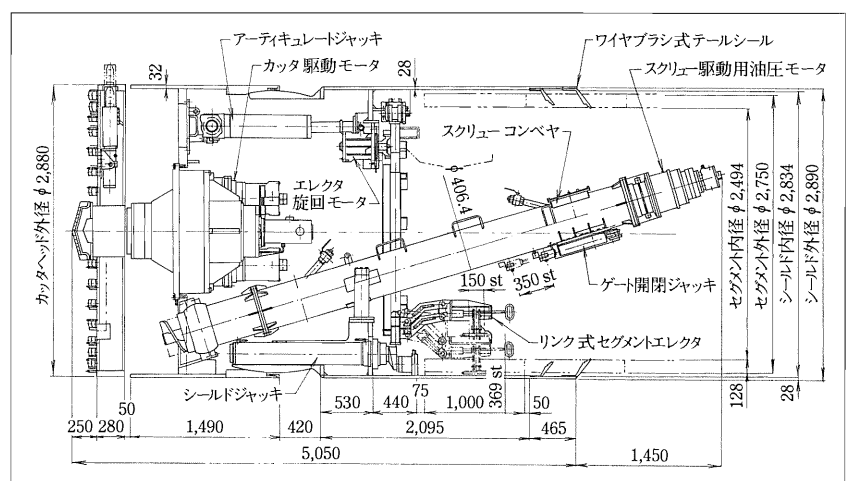


図-1 $\phi 2,890\text{ mm}$ 泥土圧式シールド

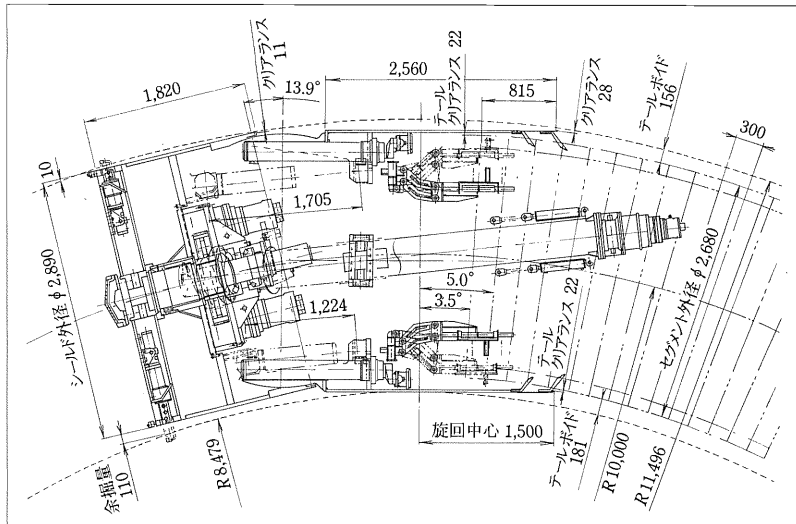


図-2 R10m 曲線施工状態図

13.9度、コピーカッターによる余掘量を110mmとすることにより、R10mの施工を可能としたものである。

また、近年の新しい事例として、従来の大屈曲中折方式に加え、カッター揺動方式(Wagging Cutter方式)によりカッターヘッド駆動部を簡素化・短縮するとともに急曲線施工時にテールシールドを換装することで機長を短縮する方式も考案されており、図-3に本方式を採用したφ5,240mmのシールド機を示す。

図-4にテールシールドを超急曲線用に換装後のシールド機、図-5に超急曲線施工状態図を示す。本機は超急曲線施工時に機長を5,535mmに短縮し、中

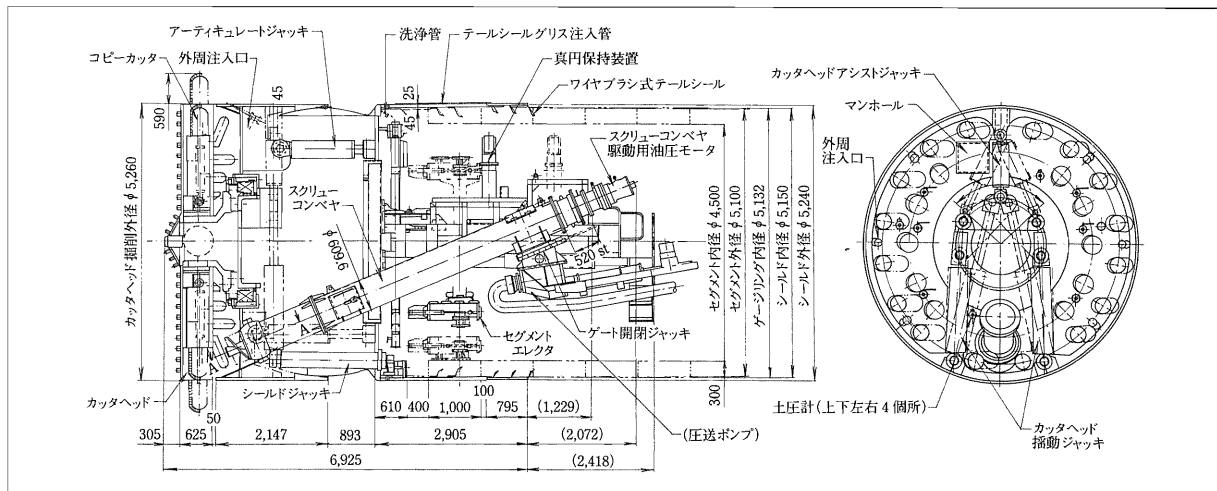


図-3 φ5,240mm 泥土圧式シールド

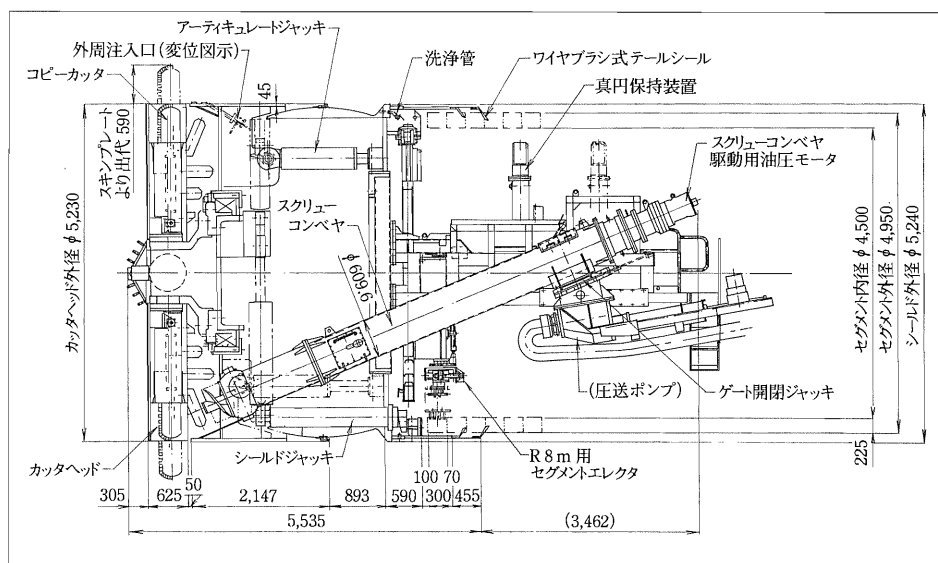


図-4 超急曲線施工時

折角度17度、コピーカッターによる余掘量を301mmとすることでR8mの施工を可能とした。

3. 2段伸縮式シールドジャッキ方式による急曲線施工シールド機の開発

前述のとおり、シールド機の開発や施工上の対応により多くの急曲線施工への対応を図ってきたが、いずれも大きな余掘りが可能であることを前提としている。

しかし、最近では岩盤部や

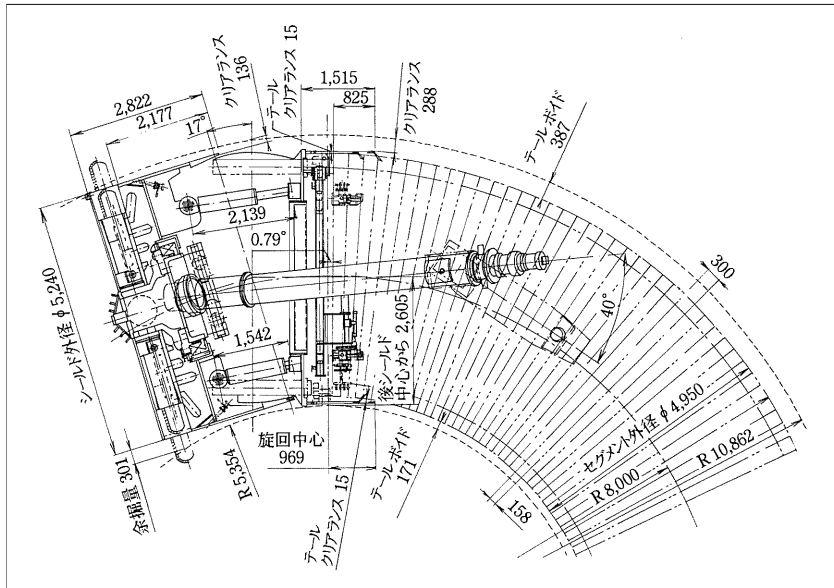


図-5 R8m 曲線施工状態図

礫層部あるいは構造物直下等で大きな余掘りができない条件においても超急曲線施工の要望が多くなってきている。

これらの要望に対し、今まで通りの大きな余掘りを前提とした技術的対応では施工が困難であり、大屈曲中折方式に加え、機長を極限まで短縮して少ない余掘りで急曲線施工が可能なシールド機の開発が必要である。

そこで筆者らは機長短縮化に対して制約となっているシールドジャッキの長さに着目し、シールドジャッキ短縮化に大きな効果がある2段伸縮式ジャッキをシールド機に採用することとした。

(1) 2段伸縮式シールドジャッキの問題点と対策

(a) 推力, 推進速度

通常の2段伸縮式ジャッキは各段のピストンの受圧面積が同一ではないため、ジャッキが伸長して1段目から2段目へ切替っていくと推力, 速度が変化する。

通常構造の2段伸縮式シールドジャッキをシールド機へ装備すると、マシンの推力, 推進速度が途中で変化して安定したセグメント組立てや掘進速度を得られない問題が発生する。

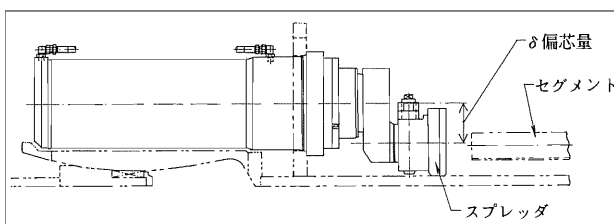


図-6 シールドジャッキ取付け状態

この問題を解決するため、新開発の2段伸縮式シールドジャッキは1段目と2段目のピストンの受圧面積を同一にするよう工夫をし、推力, 速度変化のない構造とした。

(b) ロッドたわみ量

2段伸縮式シールドジャッキはシリンダ外径が通常構造よりも太くなるため、スプレッド取付け軸とシリンダ中心間の偏心量 δ が従来の1段伸縮式シールドジャッキに対し約1.3倍増加する。

また、2段目ロッド内にも構造物を内蔵している関係で薄肉構造となり、シールド機推進時の荷重によるロッドのたわみ量が増加してくる。

そこで、図-6に示すようにスプレッドにより、過大なたわみを抑えるような工夫をした。

(2) 新開発した2段伸縮式シールドジャッキの特長

(a) 等推力, 等推進速度で伸長

上述の対応策により、1段目から2段目へ伸長していくときの推力, 速度が同一である。

推力, 速度を同一とすることが可能となったことにより、各段切替わり時の補正制御が不要となり、従来の1段伸縮式シールドジャッキと同様の油圧回路, 制御方式を採用することができる。

(b) ジャッキ全長が短縮

従来のシールドジャッキに対し、ストロークを2段に分けたことにより、ジャッキ取付けフランジからシリンダ後端までの長さ L を従来長さの約68%に短縮できた。これにより、シールド機長が短縮することにより、急曲線施工時の余掘量の低減やシールド機投入立坑サイズの縮小が可能となった。

表-1にフランジからシリンダ後端までの長さ L , シリンダ外径 D の比較を示す。表-1より、 L の縮小

表-1 2段伸縮式シールドジャッキと従来シールドジャッキの比較 (図-7, 図-8 参照)

呼び推力 (kN)	S (mm)	2段伸縮式シールドジャッキ		従来シールドジャッキ	
		L (mm)	D (mm)	L (mm)	D (mm)
588	850	785	254	1,155	190.7
784	1,100	948	298.5	1,440	216.3
980	1,150	1,070	343	1,530	232

上表記号説明 S: ストローク, L: フランジからシリンダ後端までの長さ, D: シリンダ外径

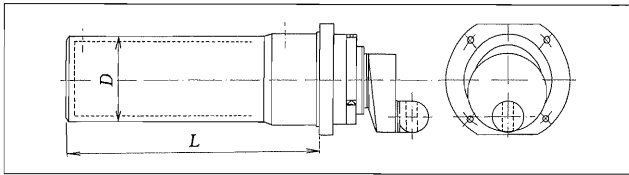


図-7 2段伸縮式シールドジャッキ

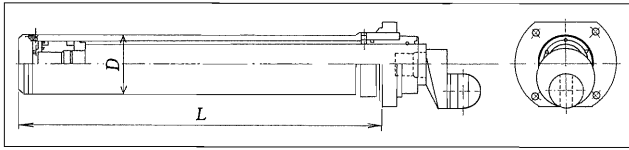


図-8 従来シールドジャッキ

量は 370~492 mm となり、ジャッキサイズが大きくなるにつれて短縮効果が大きくなる。

(3) 2段伸縮式シールドジャッキ方式によるシールド機製作実績

表-2 に 2 段伸縮式シールドジャッキを搭載したシ-

ールド機の製作実績を示す。

表-2 より、いずれのシールド機も急曲線施工時の余掘量が 100 mm 以下の小さな値となり、曲線施工性が向上している。

また、No. 1, No. 3 は岩盤内での急曲線施工であり特に余掘量を低減させることが曲線施工可否につながるため、いずれも余掘量を 50 mm 以下にしている。

(4) 施工実績の具体例

表-2 内の No. 1 に示すシールド機についての詳細を紹介する。

このシールド機は岩盤内で R 10 m の急曲線施工を実施するもので、大きな余掘量を確保することが困難な条件であった。

そこで、2 段伸縮式シールドジャッキを装備して、シールド機の機長を従来のシールドジャッキ装備時よりも 350 mm 短縮して、岩盤層内での急曲線施工時の余掘量を減少し、確実に R 10 m の急曲線施工を実施するようにした (図-9, 図-10 参照)。

表-2 2 段伸縮式シールドジャッキ方式による製作実績

No	呼び推力 (kN)	シールド機 外径 (mm)	最小曲率半径 (m)	土 質	シールド 機長 (mm)	通常施工時 セグメント幅 (mm)	急曲線施工時 余掘量 (mm)	急曲線施工時 最大中折角度 (°)	キーセグメント 挿入方向
1	588	2,140	10	岩盤	4,450	750	34	12.5	半径方向
2	588	2,300	8	シルト	4,750	1,000	93	17.0	半径方向
3	784	2,690	13	岩盤	4,975	1,000	43	7.54	半径方向
4	784	3,290	12	粘土, 砂, 砂礫	4,835	1,000	75	10.78	半径方向
5	980	3,930	15	砂, 砂礫	4,700	1,000	72	7.57	半径方向

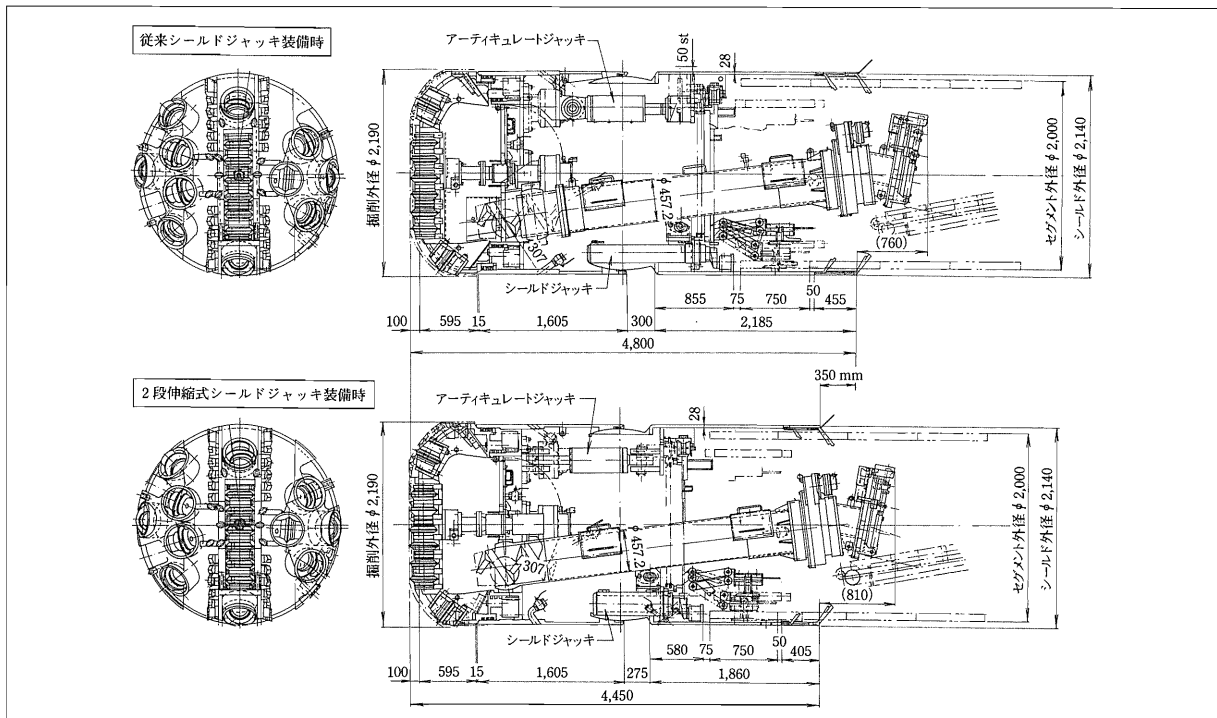


図-9 機長比較図

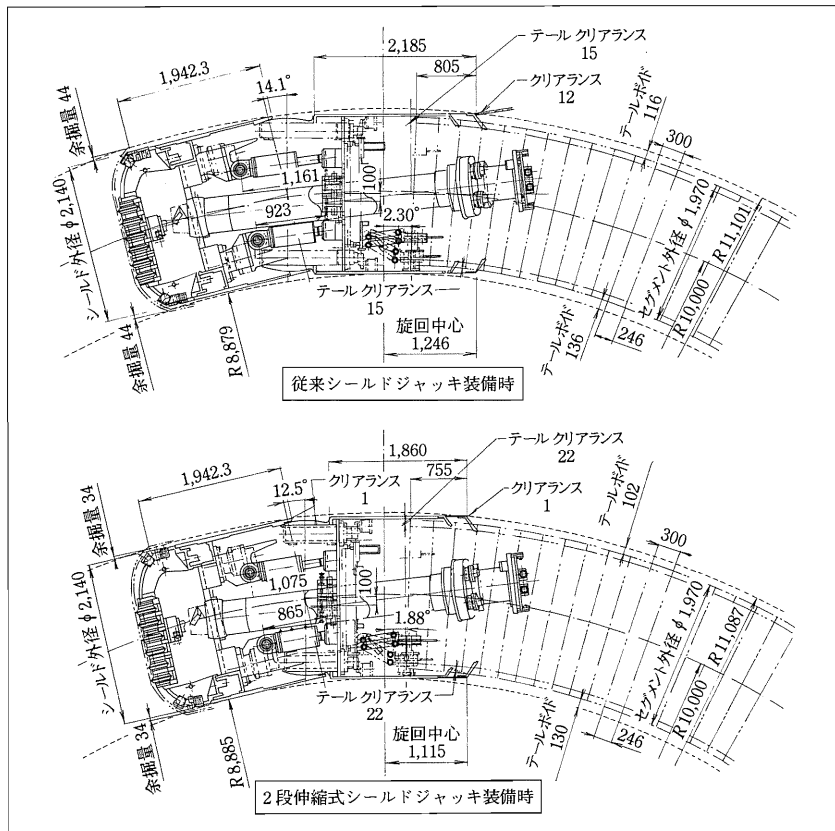
施工実績としては、所定余掘量 34 mm にて岩盤内の R 10 m 超急曲線施工が円滑に行え、施工性の向上を図ることができた。

4. おわりに

新開発した2段伸縮式シールドジャッキおよび本ジャッキを装備したシールド機による急曲線施工実績を紹介

したが、シールド工事はこれまでよりも更に幅広セグメントの採用、二次覆工省略型軸方向挿入セグメントの採用、超急曲線の採用などにより、急曲線対応に向けた新たな技術開発が今後も必要と考えられる。

このため、2段伸縮式シールドジャッキの系列化、軽量化等の改善を図るとともに、シールド工事における急曲線施工への要望に応えるべく、更なる技術開発を進めていく所存である。 JCM A



図—10 曲線施工比較図

[筆者紹介]

三谷 典夫
(みたに のりお)
株式会社小松製作所
建機マーケティング本部
地下建機事業室
担当部長



新宅 章治
(しんたく しょうじ)
株式会社小松製作所
建機マーケティング本部
地下建機事業室
エンジニアリングセンタ
所長



村西 正紀
(むらにし まさのり)
株式会社小松製作所
建機マーケティング本部
地下建機事業室
エンジニアリングセンタ

