

## 22. 超急曲線を土圧式シールドで掘進

住友建設(株)：\*大谷 賢司・佐藤 英之  
桑原 秀樹

### 1. まえがき

都市部での土地利用高密度化に伴う立坑用地の確保難、地下浅部に輻湊する既設構造物の影響で急曲線シールドの施工が増加している。しかし、急曲線シールドを施工する場合、余掘り部の自立性、方向変換の為に地盤反力と挙動、裏込め注入方法、片押しによるセグメントの破損等に留意する必要がある。今回、シールド外径φ6150mmと比較的大断面を土圧シールド工法で超急曲線施工(R=20m S字曲進、R=10m)した結果、良好な成果が得られたので、そのうちのR=10m部での施工概要を報告する。

### 2. 地質状況

地質は有楽町層下部の砂質シルトが主体で、一軸圧縮強度は1kgf/cm<sup>2</sup>、粘着力6tf/m<sup>2</sup>前後の地山状態で土被りは15~16m程度である。

### 3. 予測される技術課題

図-1にR=10m掘進時の状態図を示すが、最大余掘り量は1100mmに達する。従って、技術課題は①余掘りをいかに完全に行い、その余掘り空間をいかに維持するか。②テールボイドを即時に充填し、片押しによる偏荷重に対して、セグメント全体の安定をいかに保持するか。③シールド機の回転力をいかに確保するか。④曲線の線形精度をいかに満足させるか等であった。

### 4. 技術課題に対する対応策

#### 4-1. シールド機

図-2にシールド機構造図を示すが、急曲線施工への対応策として以下の装備を施すこととした。

#### (1) シールド機

①中折れ角が6.5度、カッターディスク折れ角が



図-1 R=10m掘進時の状態図

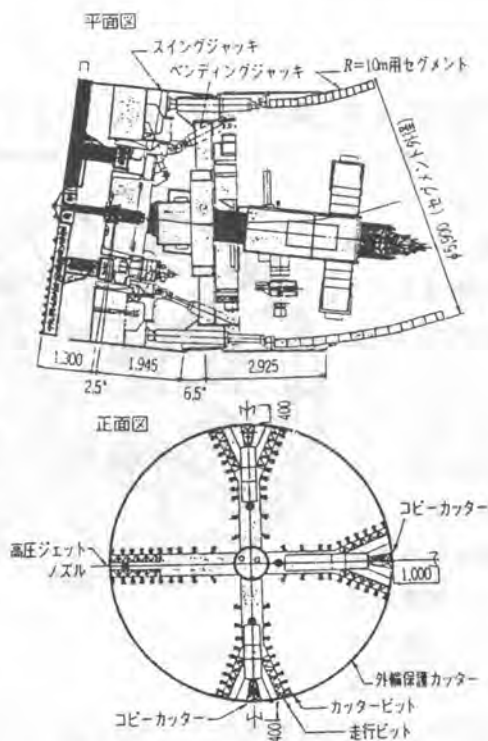


図-2 シールド機構造図

2.5 度の3折型シールド機を採用する。②コピーカッターは最大ストローク1000mmを1基、400mm ストロークを2基装備する。③余掘りする際の補助として高圧噴射ノズル（噴射圧130kgf/cm<sup>2</sup>）を1基装備する。④シールドジャッキが内・外側に80mm偏心可能なシールドジャッキ偏心装置を装備する。

#### (2) 土砂取込み時の対応策

①切羽崩壊防止用に溝型鋼を Cutter ビット 内側スポーク面に設置し、チャンバー内に土砂取込み用開口部（50cm×50cm）を8か所設ける。②バルグヘッドセンター部に約φ1.5m範囲を3分割で撤去可能とする。③限定圧気用マンロックを装備する。

#### 4-2. セグメント

急曲線施工に対応できるようにR=10m 部では最大幅300mm、最小幅154mm のテーバースチールセグメントを使用するが、その他、以下の点に留意した。

①セグメント径は標準部より100mm 低減させテールクリアランスを確保する。②片押しに起因する軸方向応力に対処する為、1本のシールドジャッキを2つの縦リブで受けるように縦リブ数を42か所から48か所に増設する。③前記②に関連して、カーブ内側のリング間接合ボルトを倍数増設し内側セグメントの目開き防止に備える。④その他、現場において目開き防止プレートや、ジャッキ補強用リブを適宜増設する。

#### 4-3. 裏込め注入

裏込め注入はシールド機テール部よりセグメントが送り出された後、ただちに充填する同時注入方式を採用するが、以下の点に留意し計画した。

すなわち、R=10m 部はテールボイドとして最大 770mm発生する為、2液瞬結タイプの裏込め材を使用しても余掘り部への裏込め材の回り込みは防止できないと考えた。そこで、図-3に示す限定注入工法を開発し施工することとした。本工法は限定注入板、限定注入袋から構成されるがこれを7リング間隔で施工し裏込め材の逆流を防止するとともに、ジャッキ推力、セグメント全体の安定を確保する計画とした。

#### 4-3. 補助工法

円滑な曲進施工を行うためには、①余掘り部の自立性の保持。②シールド機の必要回転モーメントを得る為の地盤反力の確保。③周辺地盤の変形と隣接構造物への影響等を考慮する必要がある。

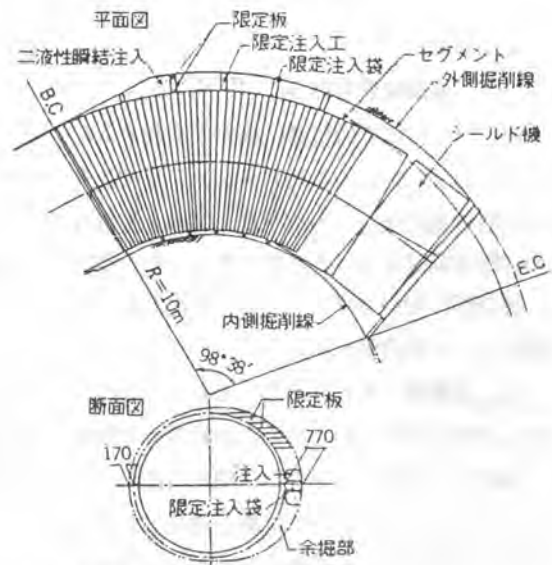


図-3 限定注入概要図

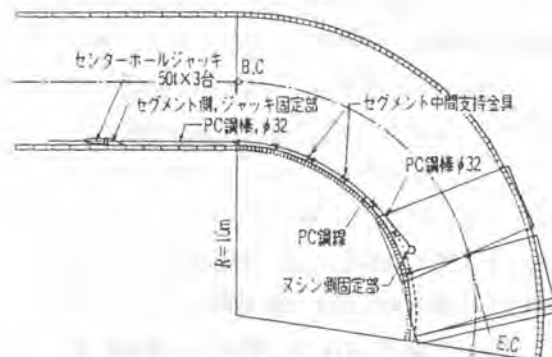


図-4 R=10m部牽引計画図

そこで、補助工法として $R=10m$ 部については、シールド断面外の全周にコラムジェットグラウト杭を断面内には薬液注入（単管ロッド注入）による地盤改良工法が採用された。又、 $R=10m$ 部は1リングセンター推進距離 $22cm$ 間でストローク差 $125mm$ 、 $3$ 度の偏角が必要となる。この為には、シールド機前面余掘り側に抵抗が必要となるが、各種検討の結果、この抵抗力をシールド機前面地山に負担させるのではなく、シールド機本体の内カーブ側のセグメントから牽引する方法を採用することとした。図-4に $R=10m$ 部の牽引計画図を示すが、シールド機のカーブ内側をPC鋼棒・PC鋼線でセンターホールジャッキ（ $50t$ ）に接続し、シールド機側のPC鋼棒固定点は後胴リングガードのエレクター回転に支障のない位置を選定している。

## 5. 施工状況

### 5-1. 掘進線形管理

一般にBC付近では急激に線形が変化するため、マシンテールによるセグメントジョイント部の剪断破壊防止や、円滑なカーブ進入を行うために緩和曲線を設ける必要がある。本工事では、緩和部に曲率半径 $R=100m$ 、曲線長 $L=6m$ （機長分）の単曲線を挿入した。

一方、曲線施工するうえで、スムーズなカーブ進入（曲り切れなかった場合の対処）を図るべく検討した結果、インコース側から進入し、SP点をセグメント組立て位置が通過した時点より補正曲線を挿入する施工を行った。今回のような超急曲線施工では、できるだけ多いリング間で中折れ操作を多段的に行った方が後胴の追従性が無理なく効果的である。しかし、カーブ入口部ではシールドジャッキが前胴固定タイプだとテール内セグメント組立て幅が中折れをかけることで狭くなり、セグメントを組立てられない場合が生じる。今回は幸いにも、このようなこともなく推移したが、使用セグメント幅を考慮した中折れ角設定の重要性が再確認された。図-5に施工フローを、図-6に実施線形結果を示す。

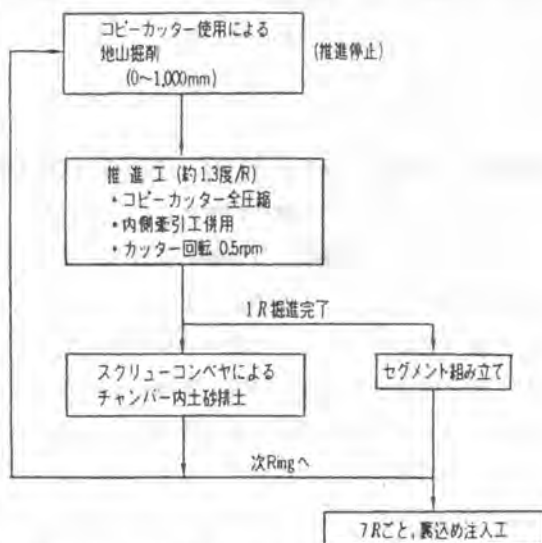


図-5 R=10m部施工フロー

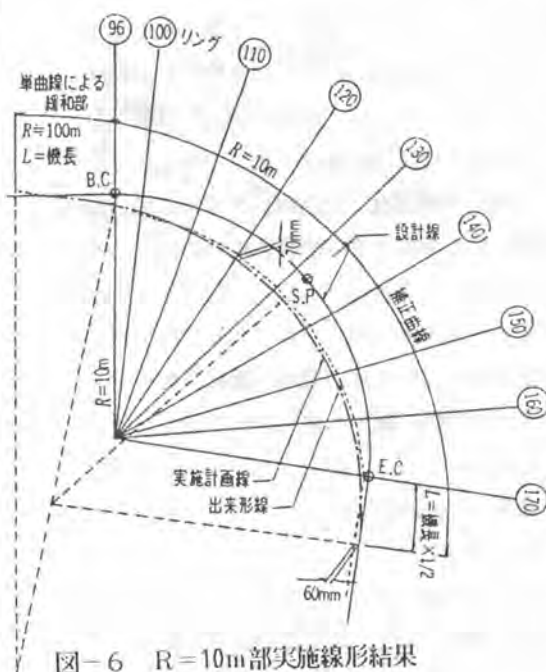


図-6 R=10m部実施線形結果

## 5-2. 余掘り状況

R=10m 部の最大計画余掘り量は約1100mmに達する。そこで、0～1000mmまではコピーカッターで、1000mm～1100mmまでは高圧噴射ノズルで行う計画とした。ところで、R=10m 部掘進時のカッター回転数は0.25rpmであり、1000mmストロークのコピーカッター作動時間は17秒/伸、17秒/縮である。本来、コピーカッター作動の理想は0～90度で「伸」、90～180度で「縮」であるが、ジャッキの「伸」、「縮」の時間的コントロールが困難なため、図-7に示す計画余掘り線に近似するコピーカッター出入り位置(角度)を考えた。

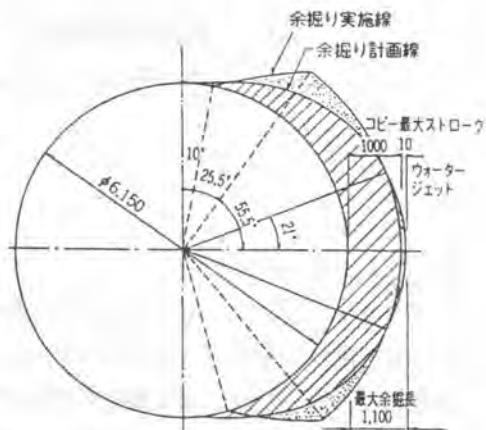


図-7 R=10m部余掘り計画図

余掘りは順調に推移したが、掘削中コピーカッターに破損が見られた。破損原因については、改良地山自体の強度増加、コピーカッター自体の作動特性に起因する要因が考えられたため、破損部の構造を再検討したが、工程や施工性の観点より、現装備に近い形で強度増加を図り施工を再開した。再開にあたり、同様なトラブルの発生を防止する目的で、コピーカッターを650mmストロークまでに伸縮を制限し、残りの350mmはカッターインテング操作で施工を行い、所定の余掘り量を確保した。

図-8に実施余掘り断面図を示す。

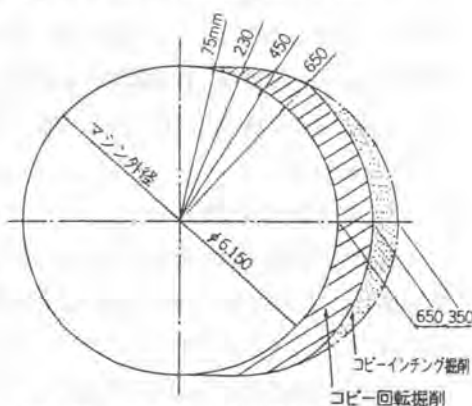


図-8 R=10m部実施余掘り断面図

## 5-3. ジャッキ使用実績

図-9に線形条件の違いによる総推力経距変化図を示す。図より、R=20m部は直線部に比し特に推力差が認められないが、R=10m部では比較的少ない推力で推移している。これは、曲線内側余掘り部の残土がR=20m部では残留圧密されたのに比べ、R=10m部では掘進ごとに排出し、余掘り空間が完全に確保された為、少ない回転抵抗モーメントで済み、これが総推力に反映されたと考えている。

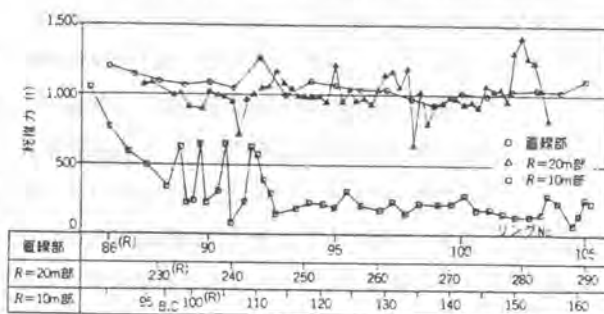


図-9 総推力経距変化図

## 6. あとがき

超急曲線施工における余掘りの難しさ、余掘り残土の取込み・排出方法、補助工法のあり方、およびシールド機中折れ機構の改善と余掘り量の軽減等、検討すべき課題は多い。しかし、比較的大断面で超急曲線施工が機械掘削方式で完工できたことは、今後、増大する超急曲線施工の試金石になりえたと確信している。最後に、施工にあたりご指導をいただいた関係各位の皆様には謝意を表します。