

19. 分岐シールド工法“地下莖工法”の開発

西松建設(株)；*内田 克巳・渡辺 徹
大西 徳治

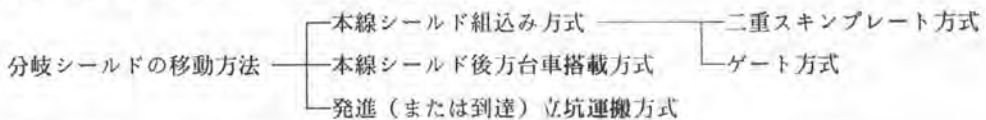
1. はじめに

分岐構造を有するトンネルは、電力、通信、上・下水道、ガス、熱供給、共同溝、導水路、地下河川、道路・鉄道の連絡通路等、さまざまな分野において数多く見受けられる。これらの構造物を施工する場合、本線となるトンネル施工にあたってはシールド工法の採用が主流となり、最近の都市化に伴う立地条件的制約は、回避されてきたかのように感じられる。しかし分岐部分の施工に至っては、本線トンネル坑内からの補助工法の施工、開口部近傍のセグメント補強等限られたスペースでの施工を余儀なくされており、工期的なネックとなっている。

地下莖工法（分岐シールド工法）はこれらのニーズに答えるべく工期短縮を目的として開発された工法で、分岐用シールドを内蔵した本線用シールドを用いることにより、従来の複雑な作業手順を省略し、さらに、補助工法を必要としない画期的かつ経済的な工法である。



「地下莖工法」は、本線と分岐トンネルの設計・施工条件及び分岐位置までの分岐シールドの移動方法で分類する。移動方法での分類を以下に示す。



本報告では、二重スキンプレート方式についての概要、シールドについて述べる。

2. 二重スキンプレート方式の概要

本工法は中胴部の二重スキンプレート内に分岐シールドを内蔵した新しいタイプのシールドを用いて、分岐部までは通常のシールドと変わりなく、分岐位置で本線シールドの前胴部の外側スキンプレートのみを掘進することにより、分岐シールド発進口を解放、分岐シールドを発進させ、本線・分岐シールド同時施工を可能とした工法である。

2-1. 特徴

- 本線シールド内から分岐シールドを発進するので、分岐シールド用の発進立坑は不要。
- 分岐シールドと本線シールドは同時施工ができ、工期の短縮が計れる。
- 本線シールドのセグメントを撤去する必要が無いので、地盤改良が不要。
- 本線シールドは、分岐シールドの発進後も同径。
- 本線シールド及び分岐シールドの形状は、円形あるいは矩形が可能。
- 分岐シールドの発進角度は斜め、あるいは直角が可能。
- 本線シールドに複数の分岐シールドを内蔵することにより、その数の分岐トンネルの築造が可能。

2-2. 分岐順序

分岐順序を以下の写真で説明する。

- ①本線シールドの掘進（分岐シールドは、本線シールド中胴部の二重スキンプレート内に内蔵する）
- ②分岐位置で本線シールドの掘進停止。
- ③前胴部及び中胴部の外側スキンプレートのみを掘進し、分岐シールド発進口を全部通過した時点で本線シールドを停止。（写真-1）
- ④分岐シールドを発進させる。（写真-2）
- ⑤分岐シールドの初期掘進区間終了後、本線シールドと分岐シールドを同時施工。

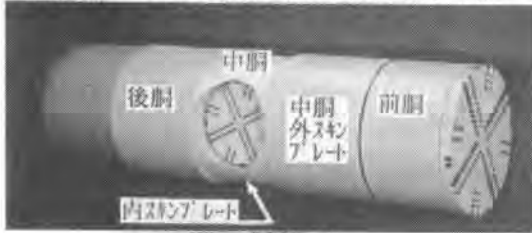


写真-1



写真-2

3. 二重スキンプレート方式のシールド

本線シールドは、中胴より分岐シールドが発進する特殊な構造上、従来シールドとは異なる面が多く、設計にあたっては、これらを考慮し検討する必要がある。中でも、本工法開発上重要な課題となった項目について以下に記述する。なお、検討条件として、対象土質は $\phi=35^\circ$ 砂を想定、土被り40m、地下水位GL-25m、とした。また、シールドの規模・形式については、本線シールド外径 $\phi 7,260\text{mm}$ 、分岐シールド外径 $\phi 4,200\text{mm}$ とし、いずれも泥水式とした。

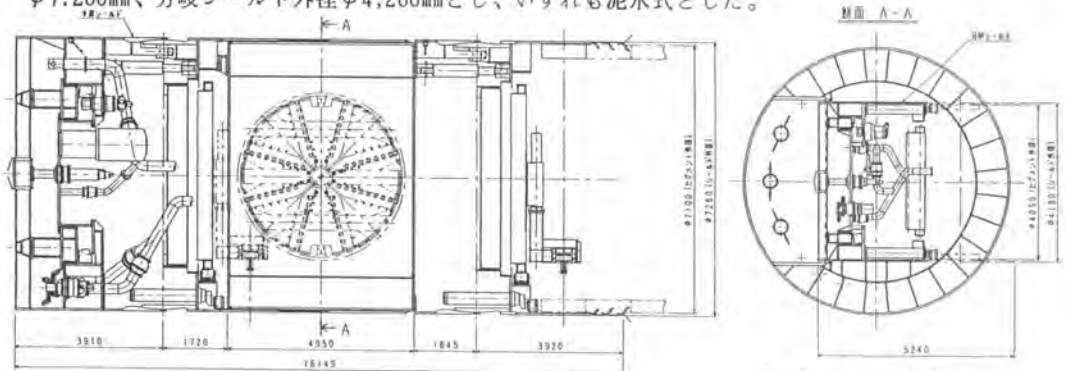


図-1 シールド機構造図

3-1. シールドの装備推力・トルク

本線シールドは分岐を行うまで、従来シールドに比べ機長が長く、重量が増大することから装備推力の検討を行った。検討の結果、所要推力に対し余裕率=2.3をとり200tfジャッキ24本とした（掘削断面積あたり=116tf/m²）。又、トルクについては、一般の泥水シールド程度とした。

	本線シールド*	分岐シールド*		本線シールド*	分岐シールド*
所要推力：F	2085 t	530 t	所要トルク：T	274 t-m	37.0 t-m
装備推力：F ₀	200t×24本=4800	100t×16本=1600	装備トルク 常用	406(809)	86(141)
単位面積当り f	116(tf/m ²)	116(tf/m ²)	安全率（常用）	1.48	2.27
余裕率 F ₀ /F	2.30	3.00	トルク係数：α	1.06	1.15

3-2. 後胴プレート強度

中胴部のスライド機構から後胴プレートは変形を極力抑える必要があるため、F・E・Mによる構造解析を行った。モデルは軸方向15分割、円周方向36分割し本体側とはリングガータ部で固定されているものとした。算定結果は、材質がSS400で最小プレート厚 $t=19\text{mm}$ 、最大撓みは自由端の下部で 1.16mm である。

最大引張応力	$231 \text{ kgf/cm}^2 < 1400 \text{ kgf/cm}^2$
最大圧縮応力	$514 \text{ kgf/cm}^2 < 1400 \text{ kgf/cm}^2$

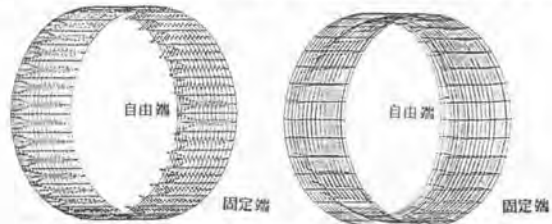


図-2 テールプレート応力分布図 図-3 テールプレート変形図

3-3. 中胴部の内スキンプレート強度

中胴部の内スキンプレートは、土圧、水圧の他に分岐シールドの発進口としての開口部があること、本線シールドジャッキ推力は中胴部の内スキンプレートを伝達すること、分岐シールド発進時の反力を受けることを考慮し、立体板構造モデルとして扱い、F・E・M構造解析を行った。算定結果は、半径方向の最大変形量 $=0.98\text{mm}$ （発進口横で外側へ変形）、軸方向の最大変形量 $=1.7\text{mm}$ （発進口横で内側へ変形）である。なお、材質はSS400である。

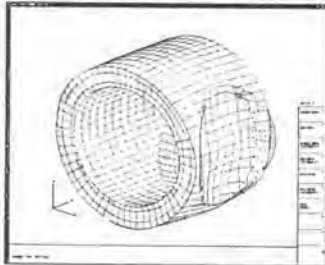


図-4 全体変形図

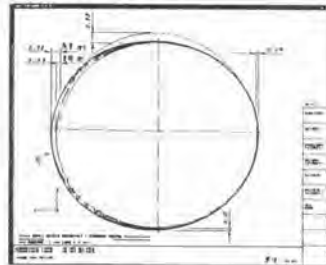


図-5 外周スキンプレート変形図（半径方向）

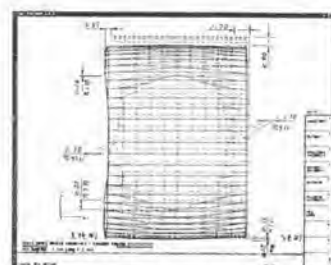


図-6 外周スキンプレート変形図（軸方向）

3-4. 発進口の補強

中胴部の内スキンプレートは分岐シールドの発進口があるので、剛性が不均一になり均等にシールドジャッキ反力が伝達しない。従って掘進管理の信頼性を高めるため、発進口部に連結管（鋼管 $\phi=406.2\text{mm} \times 3\text{本}$ ）を設け伝達の均一性を図った。

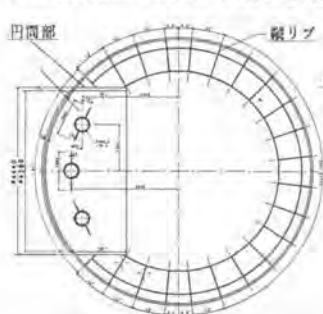


図-7 構造図

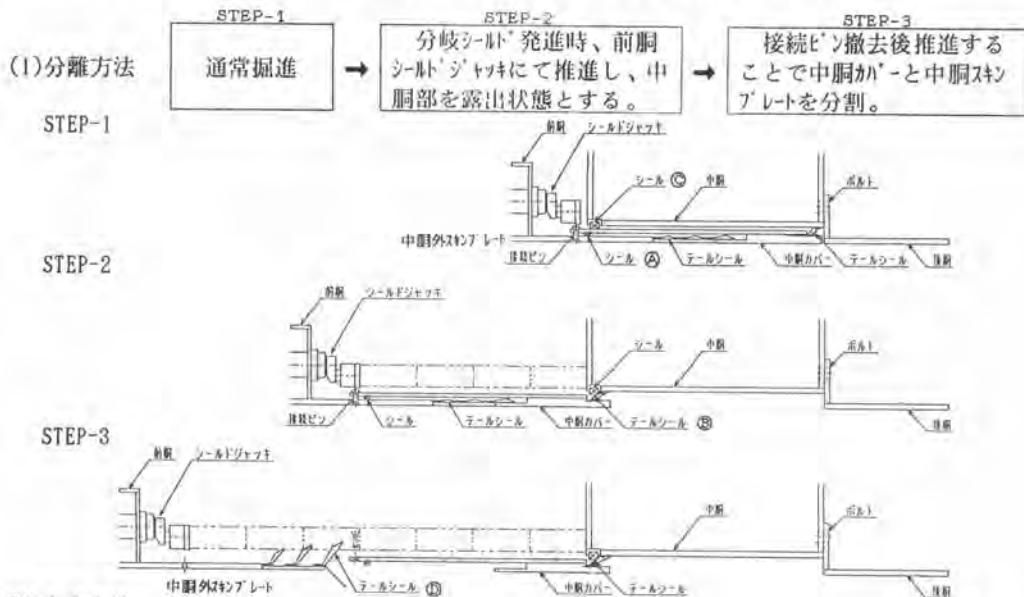


図-8 反力状態（中折ジャッキ支点位置）

□ 反力発生方向を示す。
○ 中折ジャッキNo.を示す。

3-5. 中胴外スキムプレート分離方法および止水方法

本線シールドは、分岐後、前胴と中胴外スキムプレート（分岐後の本線シールドテールプレート）の構造となり機長は短くなる。しかし、分岐後の施工条件で急曲線がある場合、中胴外スキムプレートの長さが長く対応が困難となる。そこで、分岐後中胴外スキムプレートを中間で分離できる構造とし、これに対処する。その分離方法と、各段階における止水方法について検討を行った。



3-6. 急曲線への対応

本線シールドの機長は長くなるため、前胴、中胴、後胴の各々の分割位置は中折れジャッキで連結し急曲線に対応する。前出シールド構造図は曲率半径 $R=60\text{m}$ を対象とした場合のシールド例（中折れ：前胴/中胴 5.5度 中胴/後胴 6度 余堀り量=155.2mm セグメント幅=600mm）である。なお、分岐後の本線シールドは外スキムプレートを分割、テール長を短くし（通常シールドと同様）急曲線に対応する。曲率半径 $R=30\text{m}$ の場合、中折れ：前胴/後胴 7度 余堀り量=140.4mm セグメント幅=400mmとなる。

4. おわりに

本報告では、「地下莖工法」のうち二重スキムプレート方式について述べたが、他の方式についても検討を進め、より広範囲の分岐条件に対してより合理的な分岐シールド工法への開発を行っていく考えである。なお、「地下莖工法」は現状技術の効果的な組み合わせにより発展させたものであり、即、実工事への対応が可能であると判断している。従って今後は実工事の中から、より効果的な工法への改善、そして工法全体についての経済性への追求を図っていく考えである。