

H&V シールド工法

－技術資料－

令和 2年 8月

シールド工法技術協会

はじめに

シールド工法技術協会で取り扱っている工法はいずれも多くの実績があり、信頼できる最先端技術及び工法であります。現在の社会的要請である地上や地下施設への影響が少なく地球環境にもやさしい技術として、さまざまな地盤やトンネル形状にも対応できるものであります。

これらの工法による工事におきましては、当該工事の目的や構造物の内容、施工期間や施工条件、施工環境などを十分に考慮した上で、設計および施工方法を検討しなければなりません。

前回の改定では、「下水道用設計積算要領 管路施設（シールド工法）編（社会法人）日本下水道協会（2010年版）」の改訂を受けて、その改訂内容との整合性を図るとともに、最新技術の知見を反映して各工法の計画、設計および施工に携わる方々が分かりやすくまた活用しやすい内容としました。

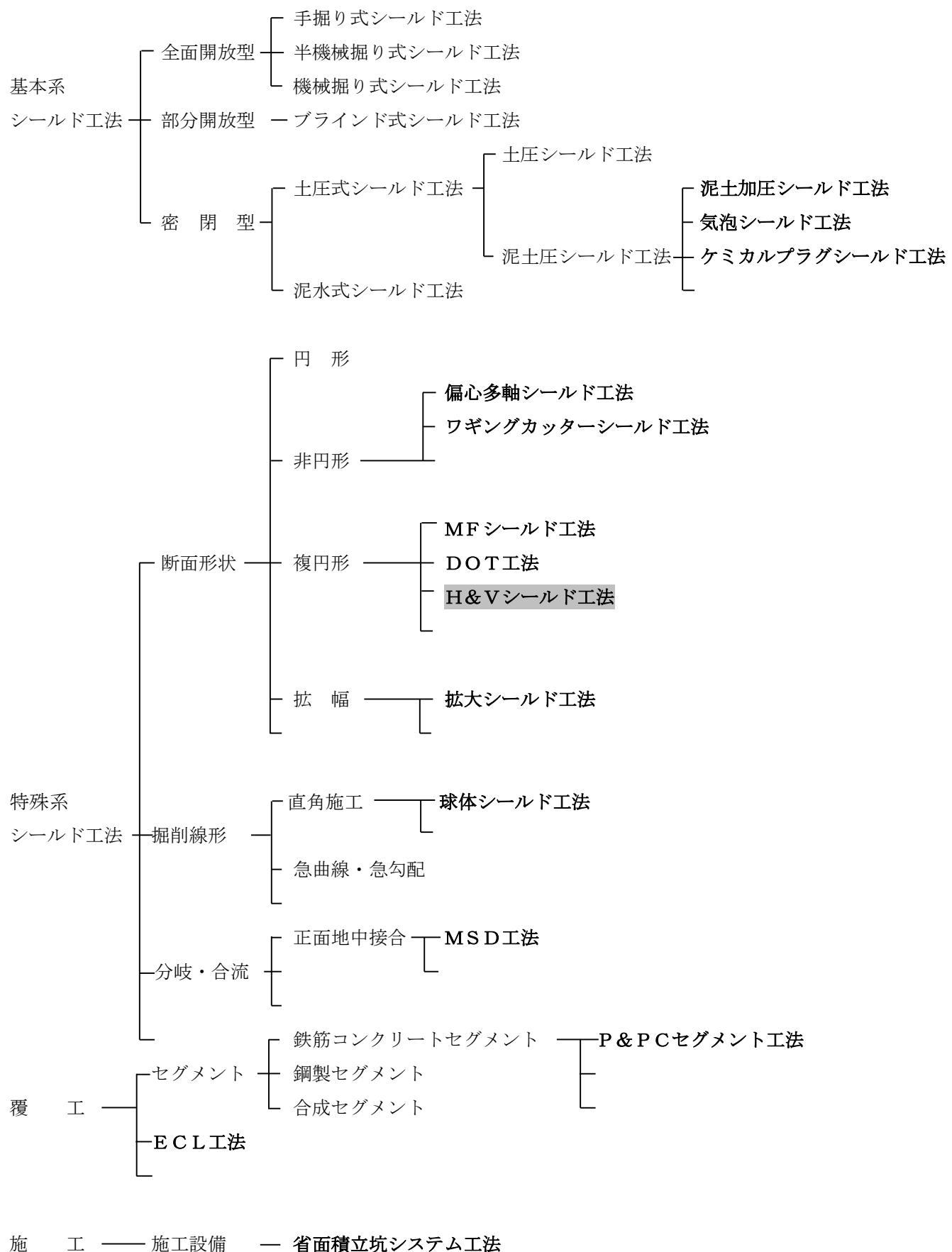
今回の改訂では、協会登録工法の位置付けを更新致しました。（「省面積立坑システム工法」追加）

皆様がシールド工法技術協会に登録しているシールド工法の採用にあたり、適正かつ合理的な計画、設計および施工を行うための資料として本書を大いに活用していただければ幸いに存じます。

令和2年8月

[H&Vシールド工法の位置付け]

シールド工法におけるH&Vシールド工法の位置づけを下記に示す。



目 次

はじめに

1. 概 要	1
1. 1 工法の概要	1
1. 2 工法の特徴	2
1. 3 工法の適用範囲	9
2. 工法の用途	10
2. 1 鉄道トンネル	10
2. 2 下水道トンネル	13
2. 3 共同溝	15
2. 4 道路トンネル	17
2. 5 地下物流システム	19
3. シールド	20
3. 1 全体構造	20
3. 2 シールド形式	22
3. 3 ローリング制御機構	23
3. 4 堀削機構およびセグメント組立機構	25
4. セグメント	26
4. 1 セグメント構造	26
4. 2 セグメント組立	27
4. 3 覆工構造計算	30
5. トンネル線形	34
5. 1 線形の考え方	34
5. 2 線形の計算例	35
6. 施 工	38
6. 1 仮設備	38
6. 2 施工管理	39
7. 施工事例	40
7. 1 H & V シールド工法実証実験工事	40
7. 2 地下鉄 1・2 号線環状部六本木駅（仮称）工区建設工事	44
7. 3 南台幹線工事	49
7. 4 吉見浄水場導水路工事	54
7. 5 第二溜池幹線及び勝どき幹線工事	58
8. 参考資料	61
8. 1 線形計算例	62
8. 2 シールド	65
8. 3 セグメント	68

1. 概要

1.1 工法の概要

H & V (Horizontal variation & Vertical variation) シールド工法は、従来の円形シールドを組み合わせることにより、超近接・併設トンネルをはじめ、施工条件や使用目的等に応じて多種多様なトンネル断面を提供することができる合理的な工法である。

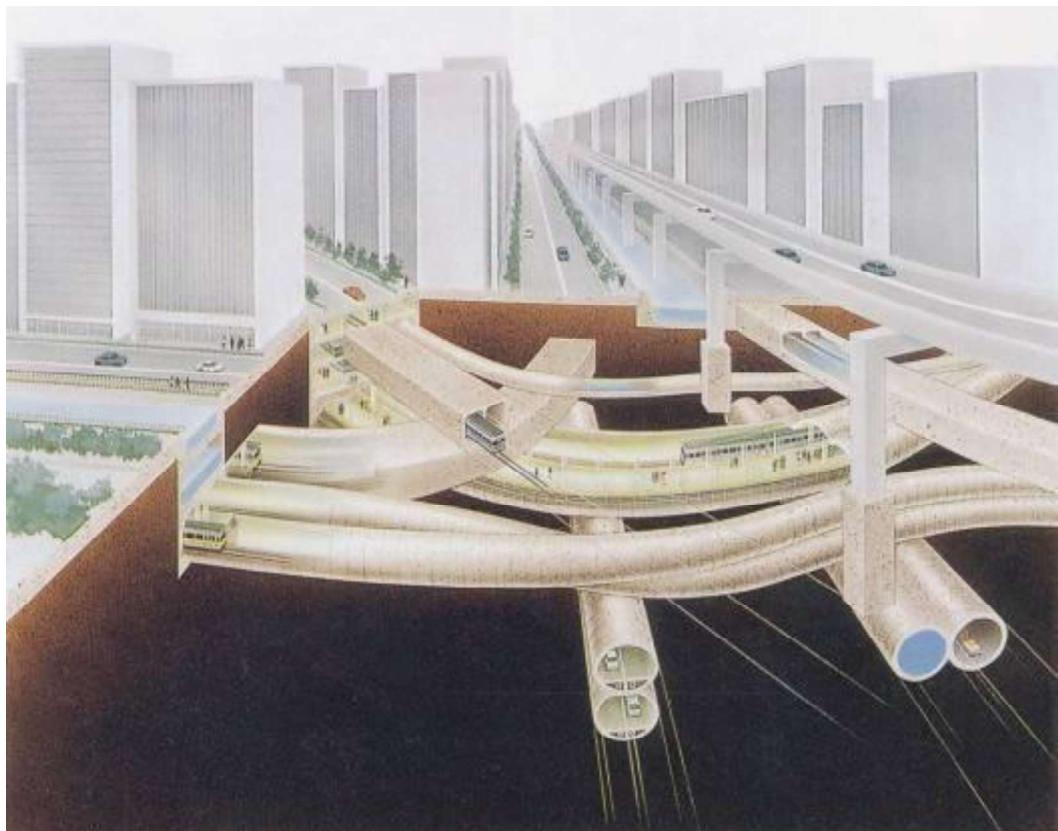


図-1. 1 輻輳した地下空間におけるH & Vシールド工法

H & Vシールド工法は、特殊な中折れ機構（クロスアーティキュレート機構）によりシールドのローリング制御が自由に行える複円形シールド工法で、縦から横あるいは横から縦へとねじれた（スパイラル）トンネルを構築することができる。またシールドを分離することにより、複円形断面から単円断面へと分岐するトンネルを構築することもできる。



図-1. 2 H & Vシールドトンネル

1.2 工法の特徴

(1) 円形が基本

H&Vシールド工法により提供される構造物は、円形を基本としているので、円形の持つ力学的優位性により構造的に安定している。さらに、円形断面の掘削を基本とするため、単純で独立した掘削機構を持つことにより、土質条件・周辺環境に応じて従来のシールド工法として実績のある泥水式・土圧式の選択ができる。

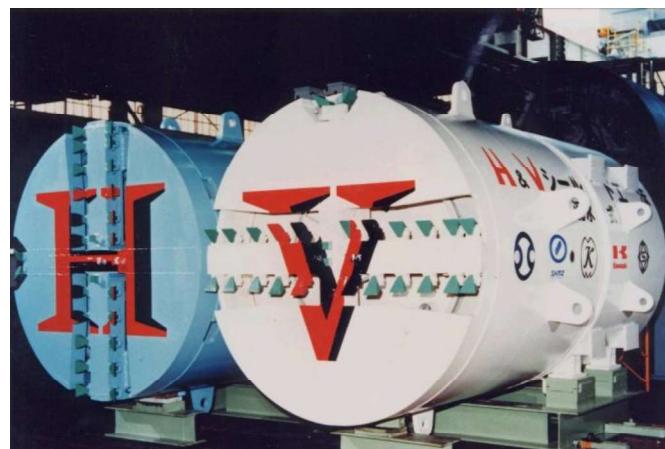


図-1. 3 H & V シールド

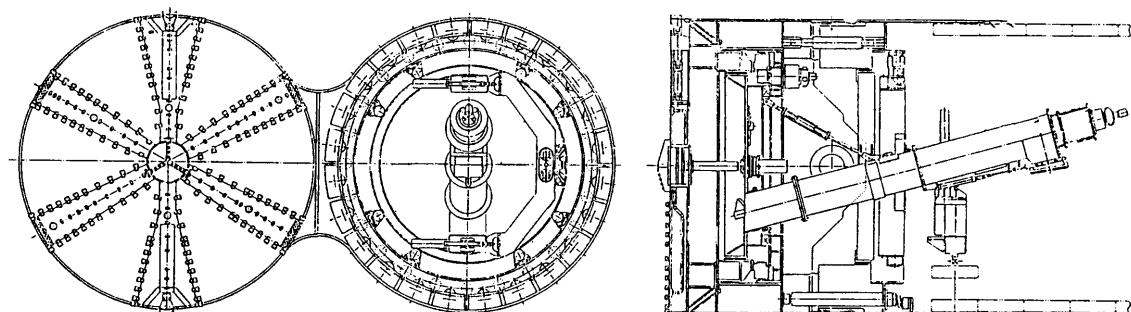


図-1. 4 2連型H&Vシールド（土圧式）

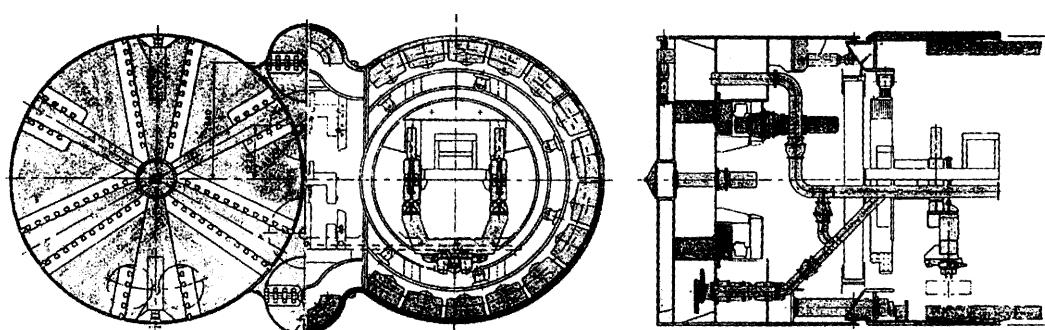


図-1. 5 4心円H&Vシールド（泥水式）

(2) ルート計画の自由度が向上

2連型、3連型の円や大きさの異なる円を横や縦に重ね合わせることにより、単円以外の多様な断面を持つ構造物を提供できる。その結果、狭い道路下など用地に制約を受ける場合は、縦に重ねて上・下のトンネルを一度に建設することで、占用幅を小さくできる。また既設構造物により上下方向に制約を受ける場合でも、横に連ねたH&Vシールドを用いることにより所要断面のトンネルを建設できる。

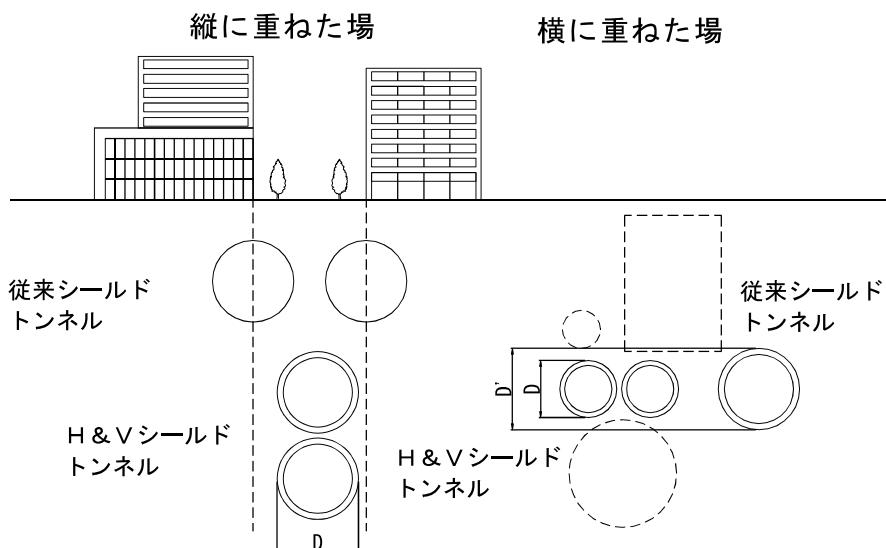


図-1. 6 円形シールドとのルート計画の比較

(3) 自由自在な掘進

H&Vシールド工法では、超近接した2つの円形トンネルをらせん状にねじることにより、横、斜め、縦と自由自在な線形にトンネルを構築することができるので、縦2連型と横2連型のそれぞれの長所を合わせた合理的な地下空間の利用が可能となる。さらに、用途によりトンネルの行き先が異なる場合は、立坑を設けずに地中でH&Vシールドを分離し、別々に掘進することができる。

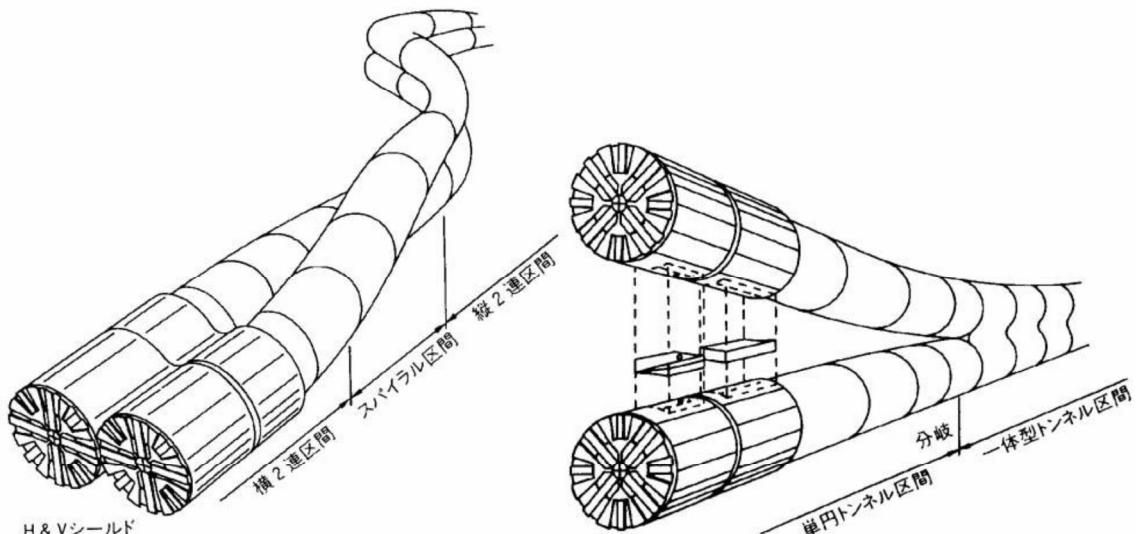


図-1.7 H&Vシールド工法の特徴

(4) シールドの特徴

セグメントの内空が円形となるように中折れ式円形シールドを接合した形状であり、以下の特徴をもっている。

- ① クロスアーティキュレート機構により姿勢制御・方向制御が自由に行え、縦並列や曲線施工時にも安定した掘進ができる。
- ② 横並列から縦並列（縦から横）へと旋回（スパイラル）しながら掘進することができる。
- ③ シールドを地中で分離することにより、立杭を設けずに分岐トンネルの構築ができる。
- ④ 独立したカッター、チャンバーを持つことにより、切羽の土質が異なっても安定した切羽管理が行える。
- ⑤ 密閉型の泥水式および土圧式の両形式を選択できる。

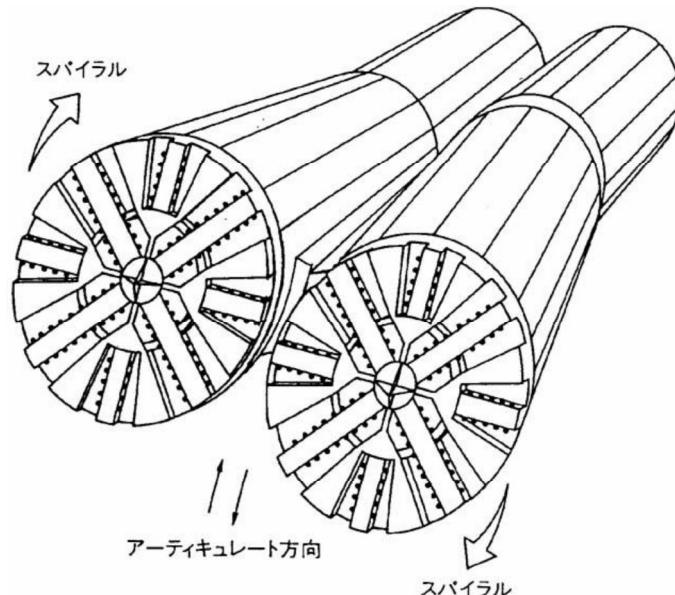


図-1. 8 H&Vシールドの旋回

1) ローリング制御機構

H&Vシールドはローリング制御機構としてクロスアーティキュレート機構を持ち、安定したシールド掘進を可能とする。また、シールドを回転（ローリング）させながら掘進することにより、スパイラルトンネルを構築する。

クロスアーティキュレート機構は、2つの前胴を相反する方向へ中折れさせ、2つのシールドの掘進方向を異ならすことにより発生する回転力でローリング制御を行う。

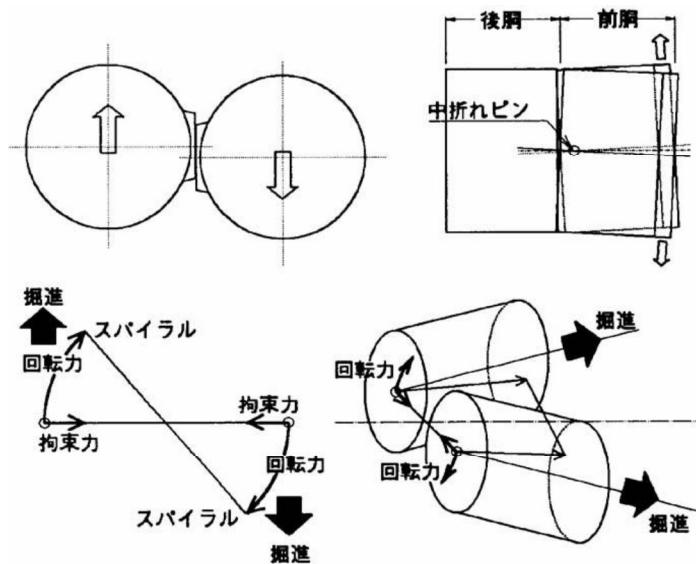


図-1. 9 クロスアーティキュレート機構概念図

2) 分岐掘進

H&Vシールドは、それぞれ独立した掘削機構、排土機構を有する中折れ式円形シールドを接合した形状であるため、接合部の取り外しを行うことにより分岐掘進が可能となる。前胴の連結ピン、後胴の接合ボルトなどをシールド内より取り外し、接合部を地中に残置することにより、それぞれ従来の円形シールドと同様に分岐掘進することができる（「7. 3 (4) 分岐機構」参照）。

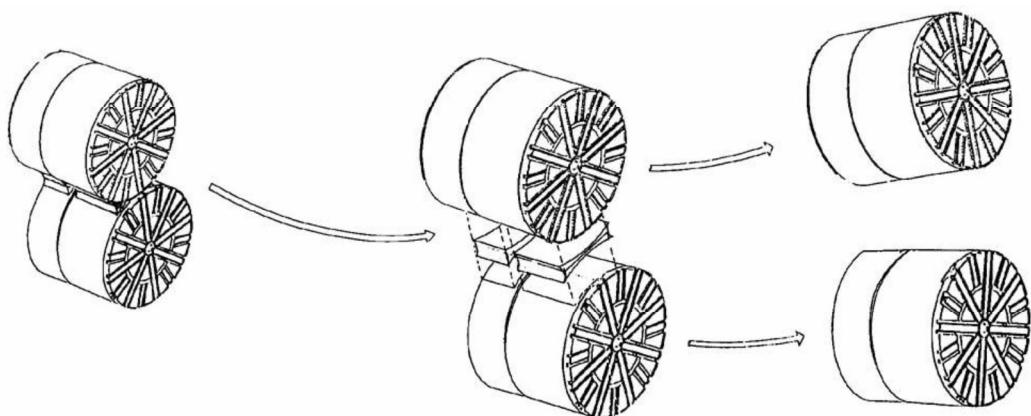


図-1. 10 分岐掘進概要

(5) セグメントの特徴

H&Vシールド工法に使用するセグメントは、円形トンネルを結合した形状の「一体型セグメント」または従来の円形セグメントを使用する「分離型セグメント」の2つ種類がある。いずれの場合も内空は円形であり、スパイラルトンネルにおいても内空が一定である。

1) 一体型セグメント

一体型セグメントは以下の特徴をもっている。

- ① トンネル間に連絡路が構築できる。
- ② トンネル接合部のみをねじれた形状とすることにより、スパイラルトンネルを構築する。
- ③ スパイラル度（単位長さ当たりの旋回量）が一定の場合、1種類のセグメントでスパイラルトンネルを構築できる。

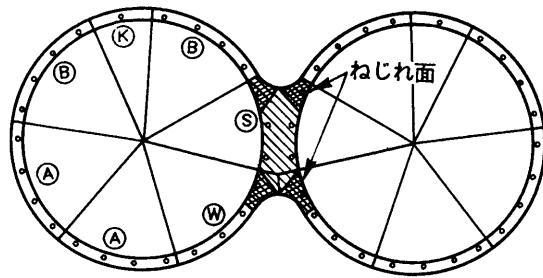


図-1.11 一体型セグメント（2連）の概要

一体型セグメントは、W型、S型、A型、B型、K型セグメントで構成される。スパイラル部では、各々のトンネル中心軸はたがいに平行とならず、セグメントのリング間継手面はそれぞれ異なった方向を向くことになる。これにより、中央部分の接合部（W型、S型セグメント）にはねじれ加工がなされている。

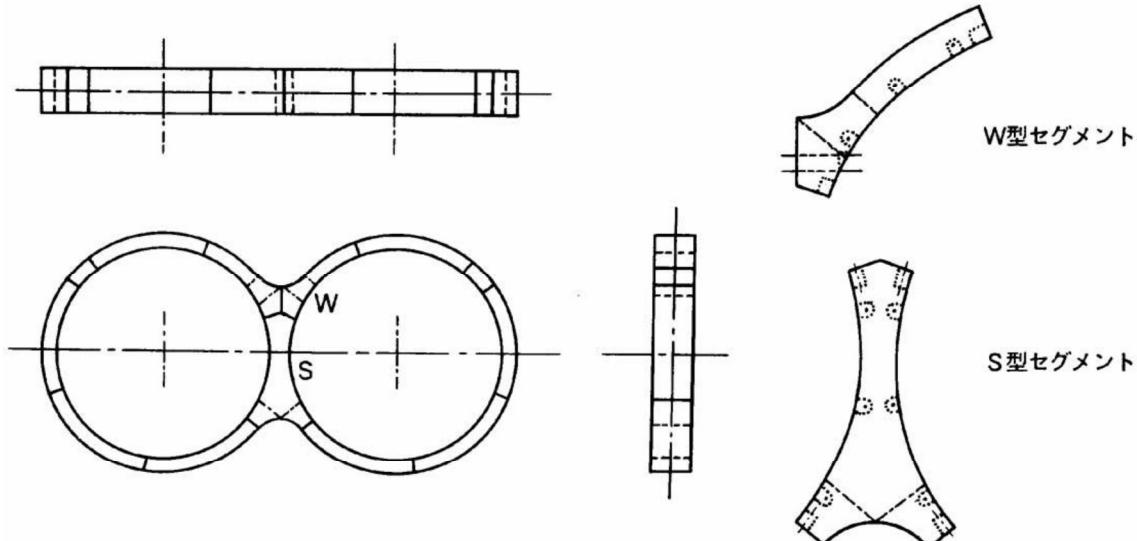


図-1.12 一体型セグメント構造図

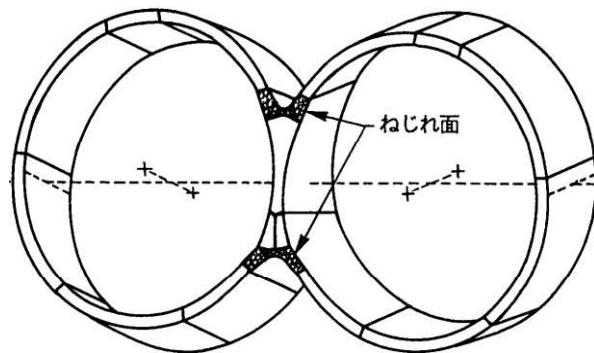


図-1.13 一体型セグメント組立図（スパイラル部）



図-1.14 一体型セグメントによるスパイラルトンネル

2) 分離型セグメント

分離型セグメントは以下の特徴をもっている。

- ① 超近接の円形トンネルが構築できる。
- ② 超近接の複円形トンネルから単円トンネルへの分岐トンネルに対応できる。
- ③ スタンダード、テーパーセグメントの組み合わせによりスパイラルトンネルを構築する。
- ④ 完全な円形構造であり構造的に安定している。

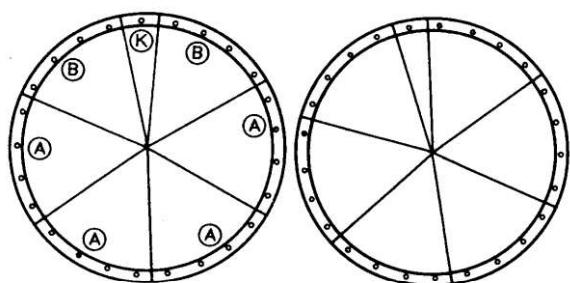


図-1.15a 分離型セグメント(2連)の概要

分離型セグメントは従来の円形セグメントを用いるもので、A型、B型、K型セグメントで構成される。スパイラルトンネルの構築では、従来の円形セグメントと同様にスタンダードおよびテーパーセグメントの組み合わせにより計画線形どおりのトンネルを構築することができる。

(6) トンネル線形

H&Vシールド工法により2連型のシールドをスパイラルさせる場合、トンネル線形はそのスパイラル方法により様々な線形を描く。一方、トンネルの路線線形は、鉄道、道路、下水道などの用途によりそれぞれ規定される。このトンネル線形と路線線形とが、完全に一致しない場合、建築限界に余裕を持たせた断面とすることが必要となる。

スパイラルトンネルの線形は、回転中心、スパイラル度^{※)}の設定の仕方により変化する。たとえば両トンネルの中心をスパイラルの中心軸とし、スパイラル度が一定の時、トンネルの平面線形および縦断線形は、それぞれCOS曲線またはSIN曲線となる。

※) スパイラル度：単位掘進距離当たりのスパイラル量（旋回量）

$$[\text{スパイラル度}] = [\text{スパイラル量}] / [\text{区間長}]$$

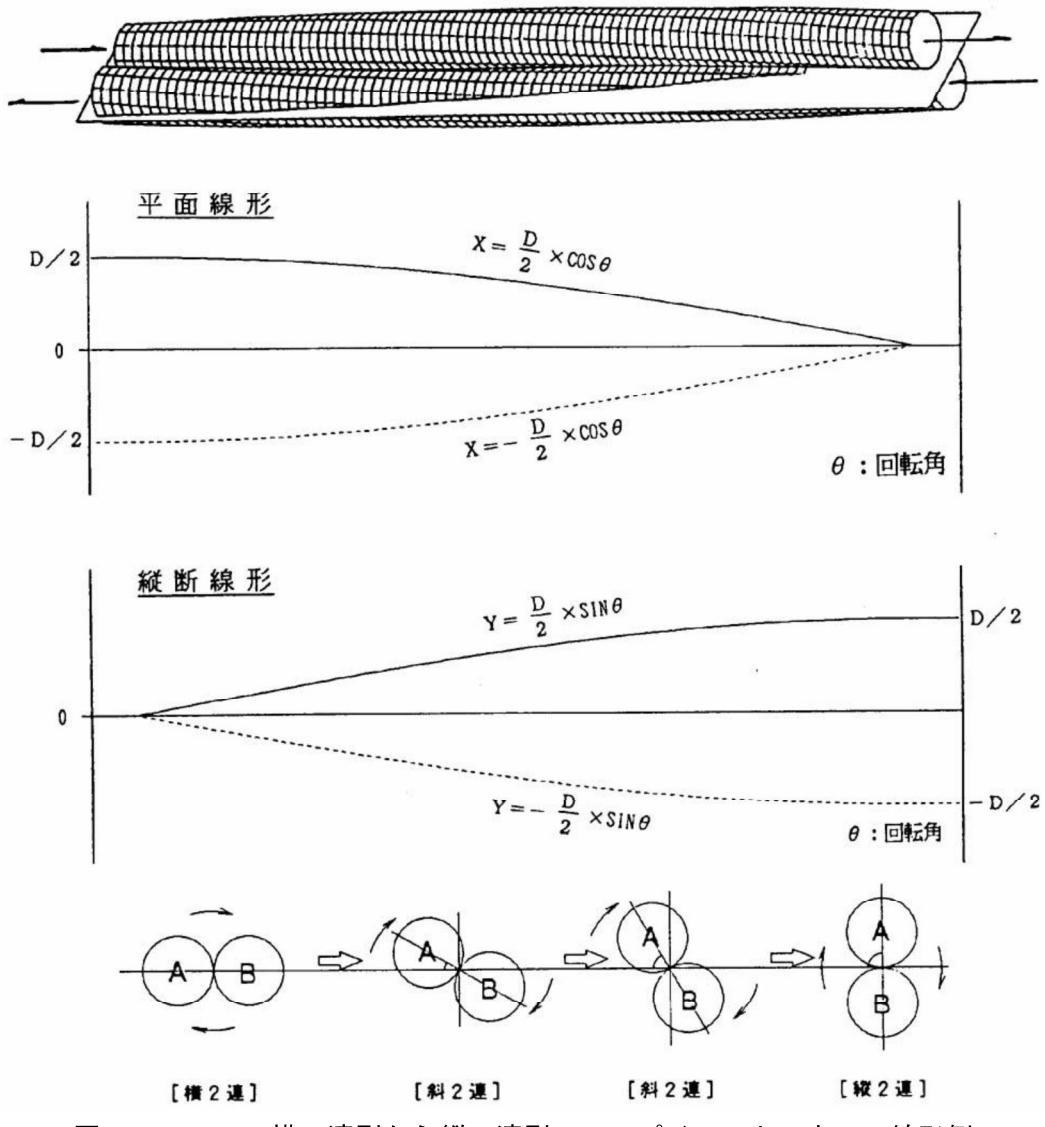
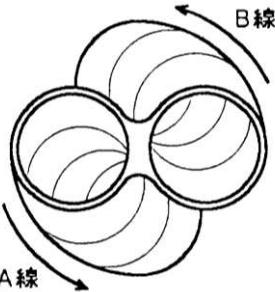
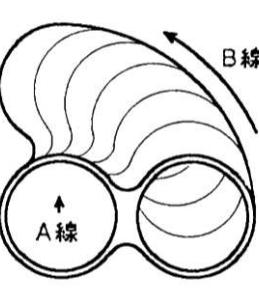
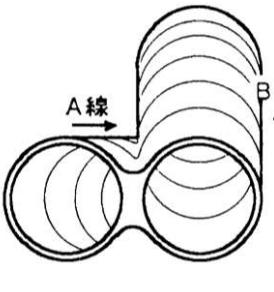
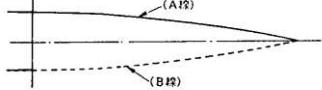
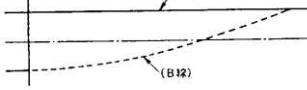
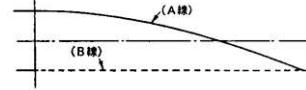
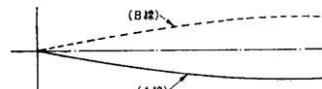
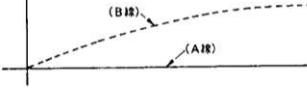
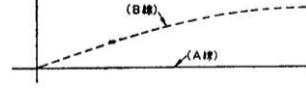


図-1. 16 横2連型から縦2連型へのスパイラルトンネルの線形例

スパイラルの中心軸の違いによるトンネル線形の例を表-1. 1に示す。実際には路線全体の平面線形、縦断線形と重ね合わせたものとなるため、路線線形計画での縦断勾配の制約、路線長、地中障害物などの制約条件を考慮し、スパイラル方法を決定する。

表-1. 1 スパイラル方法

	TYPE-A	TYPE-B	TYPE-C
概念図			
概要	2つのトンネル軸を中心としてスパイラル。	片側のトンネル中心を軸にしてスパイラル。	回転軸を移動させながらスパイラル。
線形	A B両線とも平面及び縦断曲線を持つ複合曲線となる。	B線のみ平面及び縦断曲線を持つ複合曲線となる。	A線は平面曲線のみ、B線は縦断曲線のみを持つ。
特徴	最も短距離でスパイラルが可能。	一方のトンネル線形が規定されている場合に対応。	複合曲線を持たず、線形基準への対応が容易。
平面線形			
縦断線形			

1.3 工法の適用範囲

H&Vシールド工法におけるシールド機やセグメントの構造および掘削断面の形状は円形を基本としているため、その適用範囲は一般の単円形シールド工法と同様である。

2. 工法の用途

近年の高密度な土地利用により、都市空間を高度かつ複合的に利用する様々なニーズが生じ、地下空間の有効利用と利用形態の拡大がますます求められている。

H&Vシールド工法は、そのような過密化した地下空間を立体的かつ効率的に利用するためのトンネル工法であり、次のような地下空間への用途が考えられる。

2.1 鉄道トンネル

地下空間の高密度化によって、鉄道トンネルの建設は用地幅の制限、地下構造物との近接、施工深度の増大等によりトンネルの施工環境が厳しいものになっている。しかし、H&Vシールド工法を鉄道トンネルに採用することで、これらの問題の解決が可能となる。

(1) 駅間トンネルへの用途

1) 横2連型の用途

鉄道トンネルでは建築限界より利用断面が決定されているが、円形断面の場合はトンネルの上下や側部に不要空間が生じるなど経済的に不利になる。複線用円形トンネルに比べて横2連型は不要な断面が少なく、掘削断面積や埋め戻しのインバートコンクリート量が低減でき、また一次覆工厚も薄くてすみ、経済的に有利である。さらに複線用円形トンネルに比べ、トンネル高さが低く、地中構造物との交差に有利である。

占有幅が狭く、建設用地が制限された地域に建設する場合、H&Vシールド工法により一般部（駅間）で横2連型のトンネルを、90度ねじって縦2連型として占有幅の狭い縦2段駅を建設することが可能となり、路線計画の自由度の拡大、建設コストの低減が図れる。

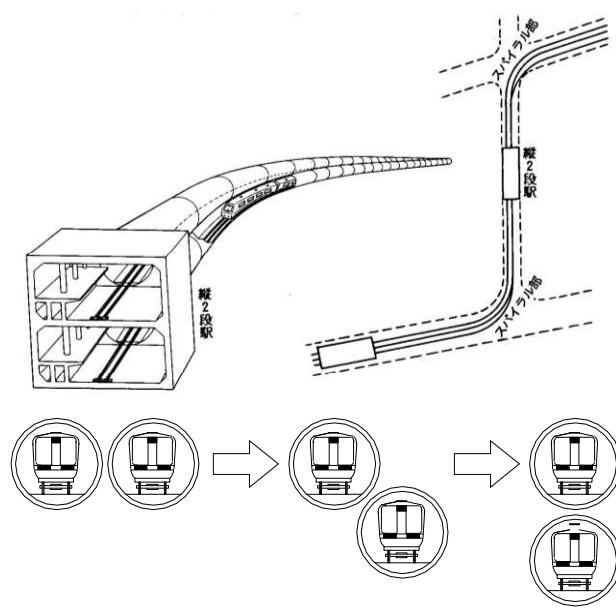


図-2. 1 横2連型から縦2連型へのスパイラル掘進例

2) 乗り換え駅

地下鉄駅で乗り換える場合、降車ホームと乗り換えホームが同じであればスムーズに乗り換える。2つの駅間で片側路線を180度回転することによりすべての方向への乗り換えが乗降同一ホームで行うことができ、駅間の混雑緩和、乗り換え時間の短縮が可能となる。

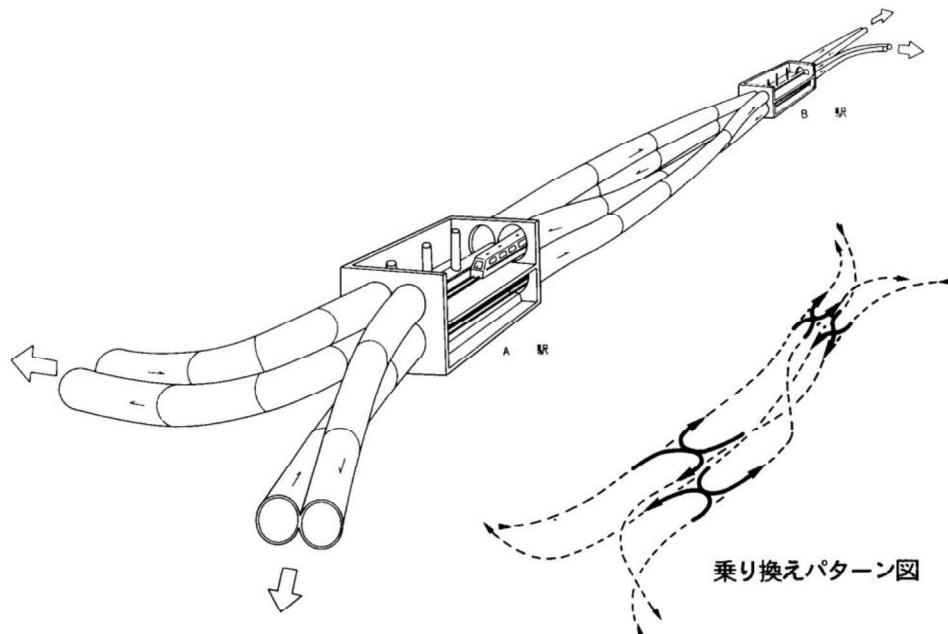


図-2.2 乗り換えの容易性を重視した地下鉄駅

3) 駅間シールドの分岐

横2連型トンネルをホーム手前で分岐することにより、島式ホームへの連続掘削が可能となり、駅部の開削区間を短くできる。

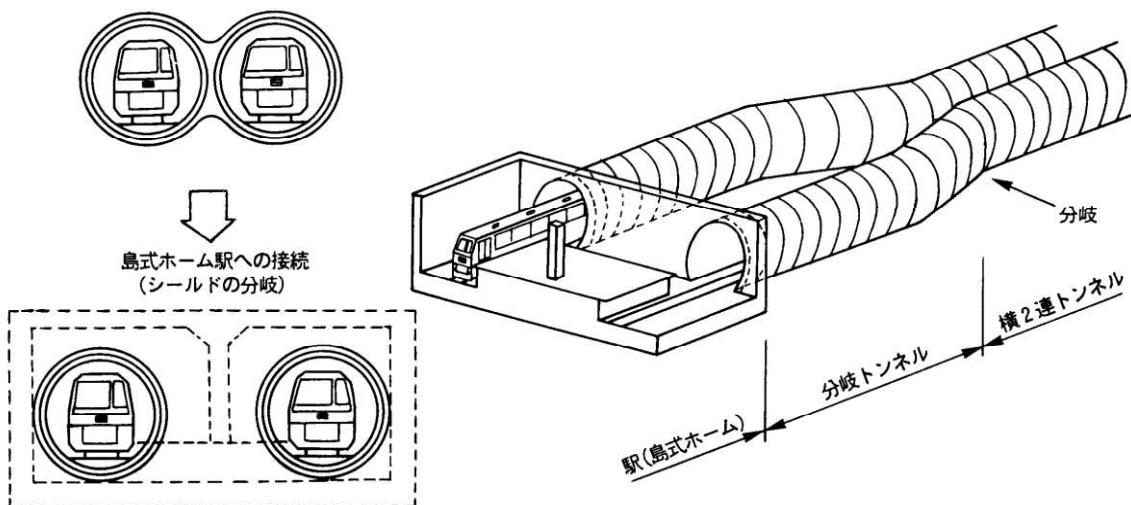


図-2.3 シールド分岐による島式ホームへの接続例

(2) 地下鉄駅トンネル

地下鉄駅は普通、開削工法や2本のトンネルを掘削した後にトンネル間を拡げるルーフシールド工法などが用いられる。横幅の広い地下駅、地上から開削不可能な地下駅、深層部・高水圧下の地下駅構築には、H&Vシールドを用いることで駅部を一度に、安全に施工できる。

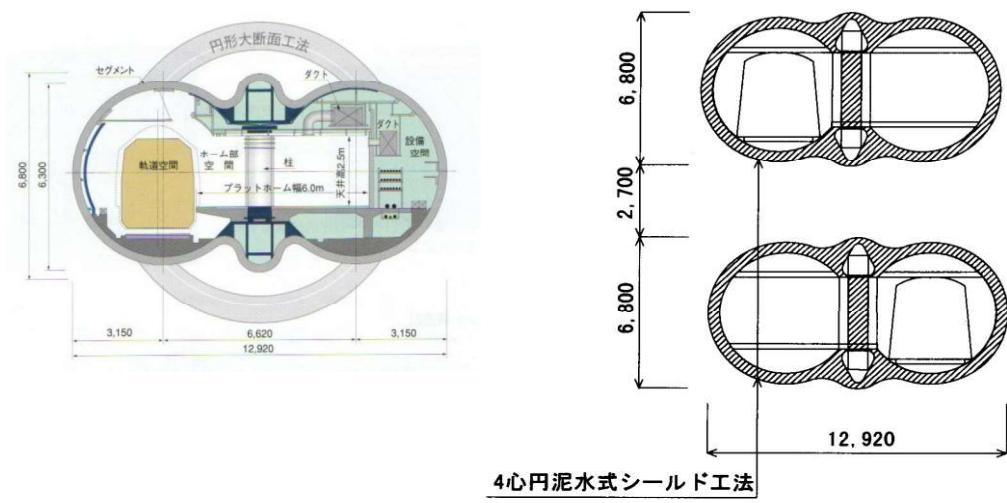
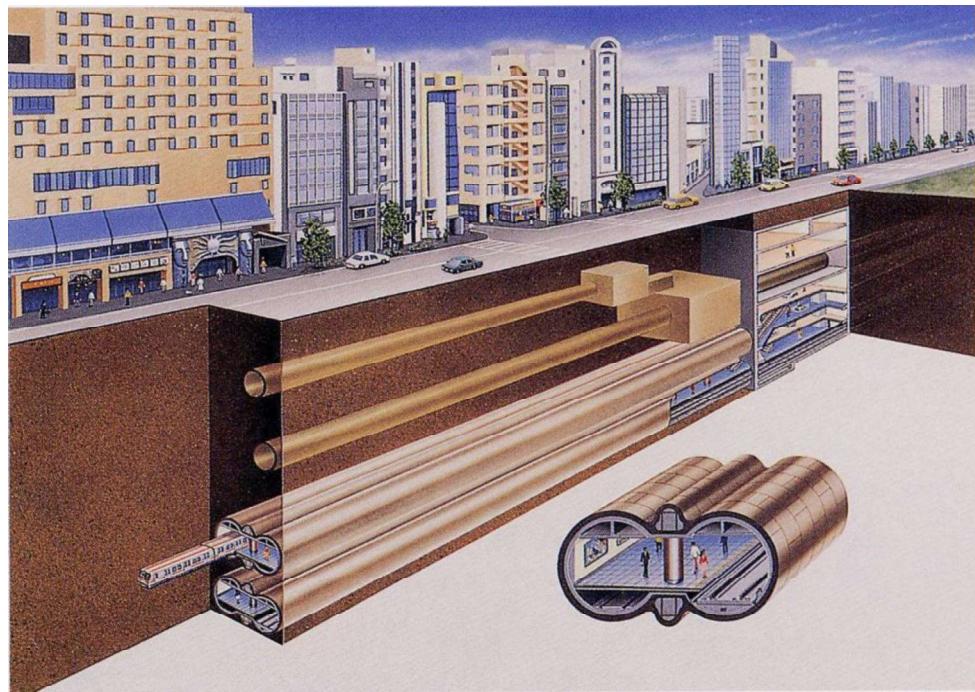


図-2. 4 4心円シールド駅（サイドホーム式）

2.2 下水道トンネル

(1) 複円形シールドによる下水道

下水道トンネルは自然流下を基本とするため、線形のうち特に縦断勾配に厳しい制約を受ける。既設地下構造物が輻輳したり土被りが少なく円形シールドでは建設が困難な所では、縦断勾配を確保するために横2連型を用いることにより必要流量を流すことが可能となる。

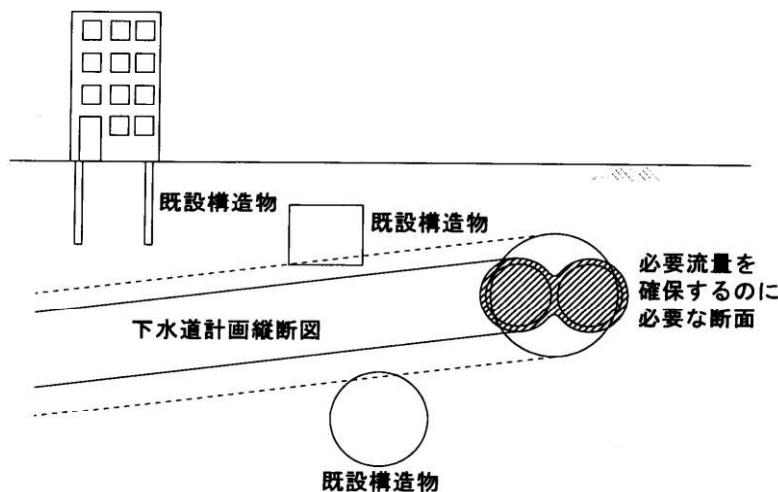


図-2.5 横2連型シールドによる下水道トンネル

(2) 伏越し式の下水道トンネル

下水管が河川、鉄道、地下埋設物等を横断しなければならない場合には、伏越しとなることが多い。伏越しは、沈殿物等による閉塞が生じやすいので、管を2つに分け、他方を使用しながら片方ずつ清掃する必要がある。そのために円形断面では、断面の中心に中壁を設ける必要がある。しかし、伏越しは圧力管となるため、中壁の構造が問題となる。そこで、H&Vシールド工法で横2連型のトンネルを構築することにより、2本のトンネルの内空断面が円形となり、構造的に有利である。

以下に円形と同容量の伏越し式の下水道トンネルの断面の例を示す。

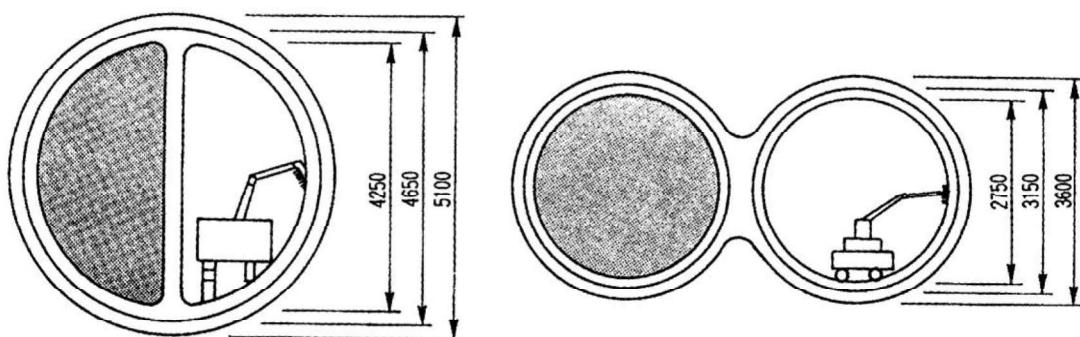


図-2.6 伏越し式下水道トンネルの例

(3) 分流式下水道トンネル

分流式下水道トンネルにおいては、雨水管と污水管を敷設するが、地下構造物の輻輳している既成市街地においては、雨水管と污水管の両管を新設することが困難となる場合がある。H & V シールド工法を採用することにより、2管を同時に施工することが可能であり工期の短縮、作業用地の縮小化が図れ、縦2連型とすることにより用地占有幅を小さくすることもできる。

また、2管の行き先が処理場やポンプ場と異なる場合にも、分岐用の立杭を設けずに両管の行き先を変えることができる。

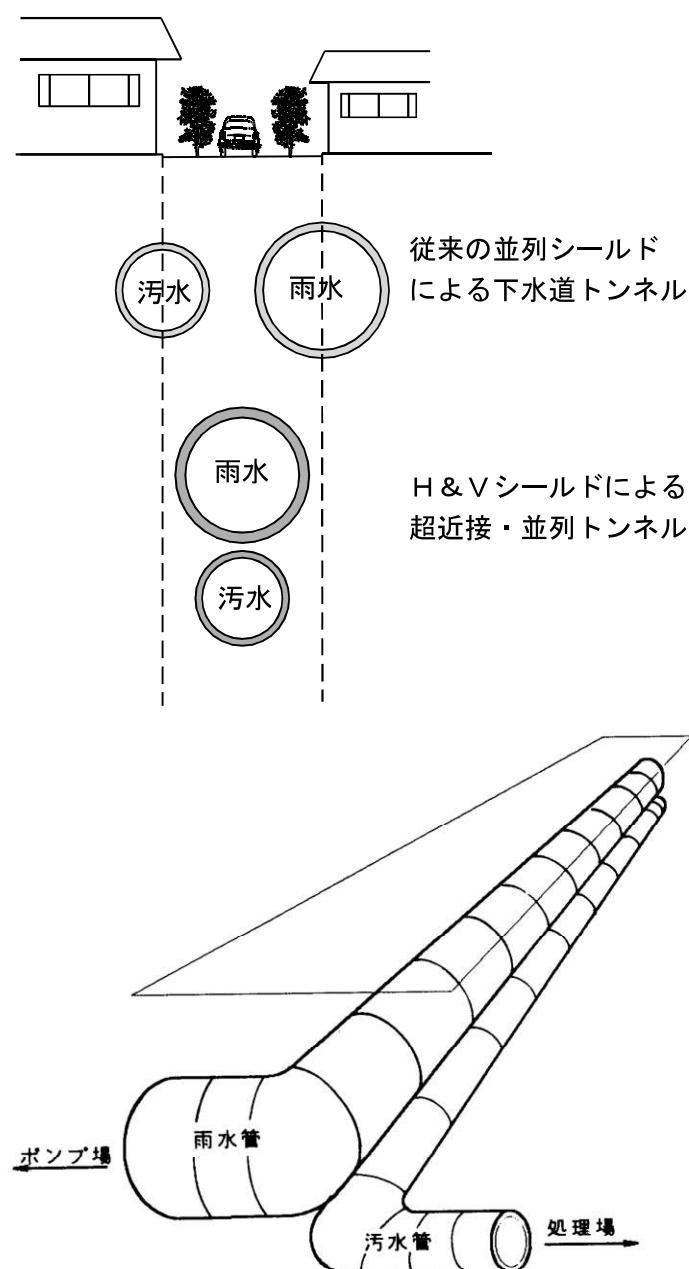
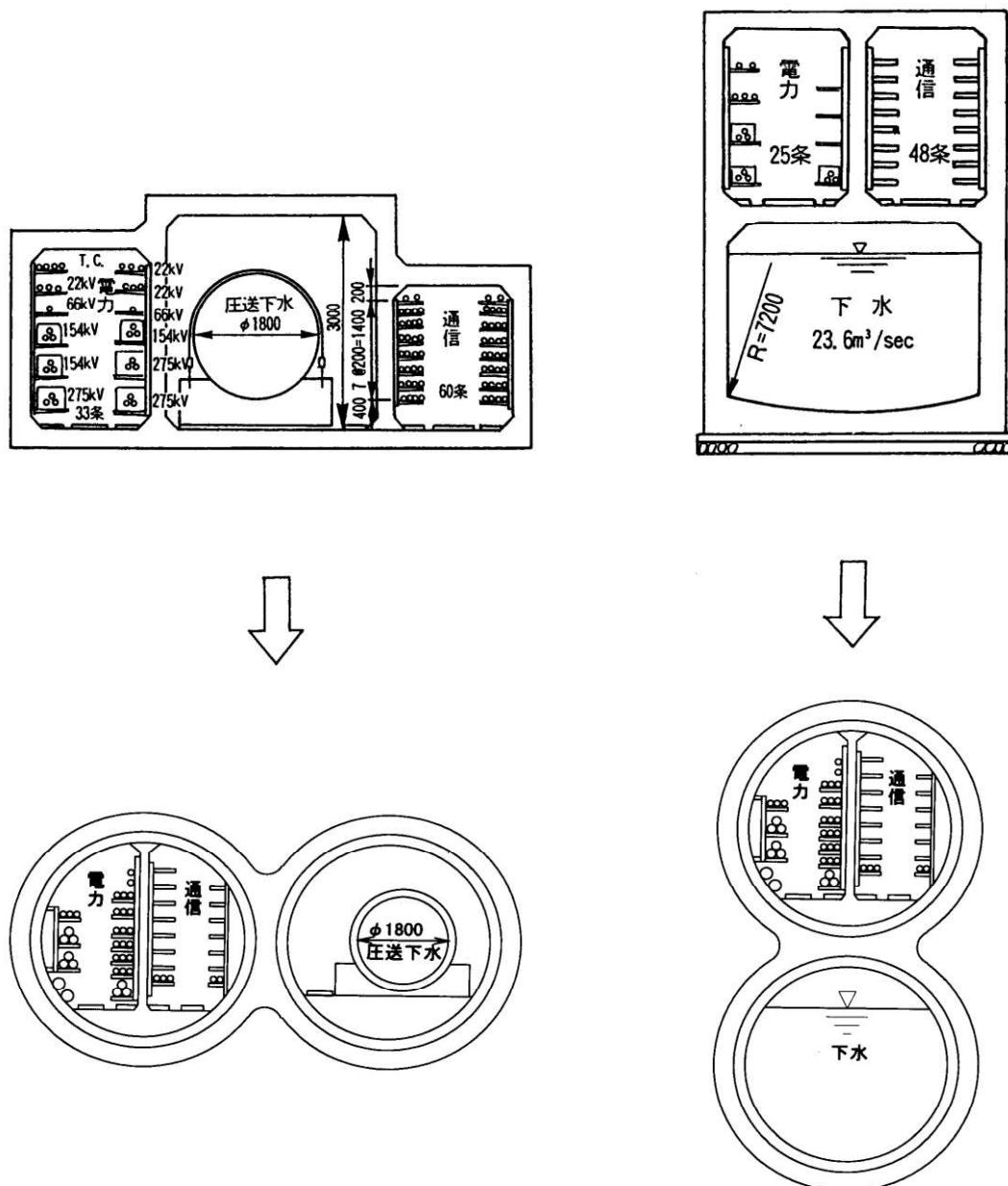


図-2.7 分流式下水道への適用例

2.3 共同溝

上水道、下水道、電力ケーブルおよび通信ケーブル等用途が異なる施設が複数で収容される共同溝では、その大きさはそれぞれの用途の組み合わせに応じた必要スペースを確保し、場合により施設ごとに隔壁を設けて遮断する必要がある。用地幅や既設構造物などの制約を受ける輻輳した地下空間では、H & V シールド工法を用いることにより、収容する施設の特性に応じた共同溝の建設が可能となる。

下図に従来の共同溝を複円形トンネルで構築した場合の参考例を示す。



図一2.8 横2連型トンネルによる共同溝

図一2.9 縦2連型トンネルによる共同溝

共同溝に収容される施設はそれぞれの供給計画に合わせて、共同溝からの分岐が必要となるが、H&Vシールド工法では立坑を設けずに分岐トンネルの建設が可能となる。

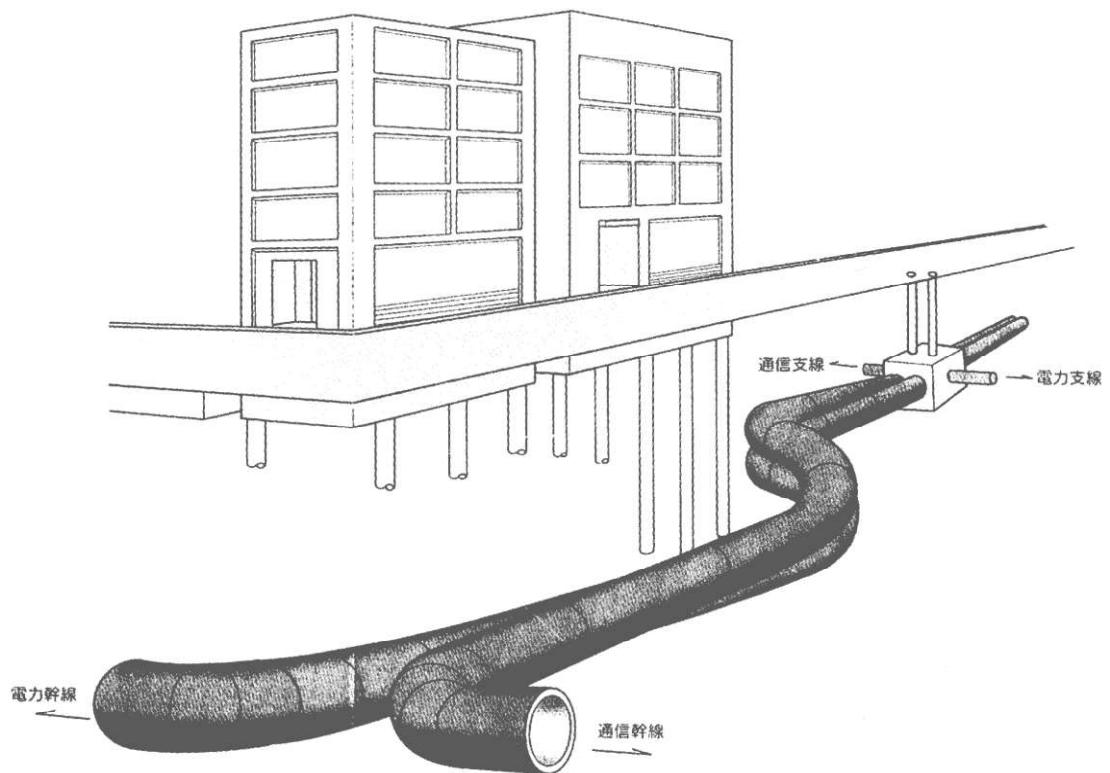


図-2. 10 H&Vシールドによる共同溝

2.4 道路トンネル

(1) 一般部

都市地下高速道路トンネルは片側2車線での一方通行のトンネル断面だけでも掘削外径が12m程度と大きくなり、円形の単線並列シールドトンネルなどでは占用幅等の問題で構築が困難となる場合がある。しかし、H&Vシールド工法を採用することにより、用地幅の問題を解決することができる。

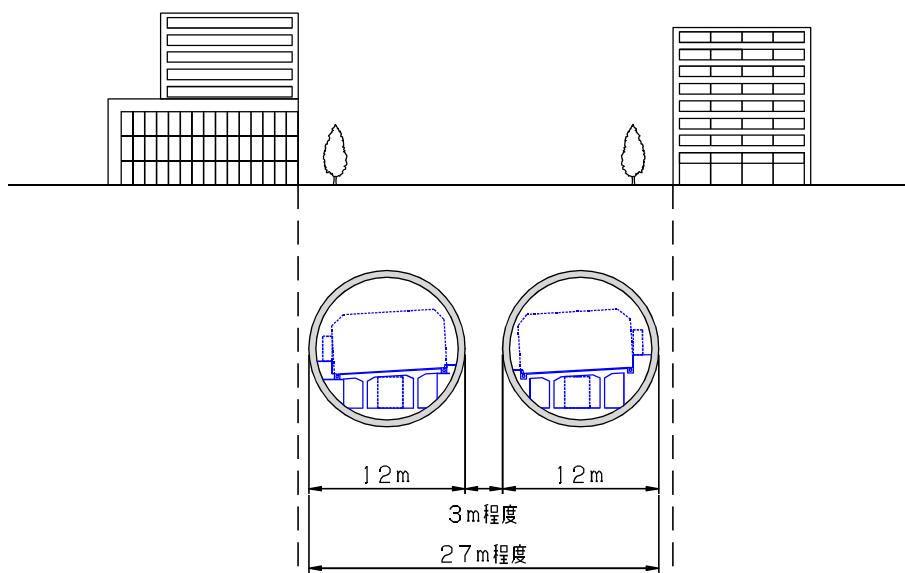
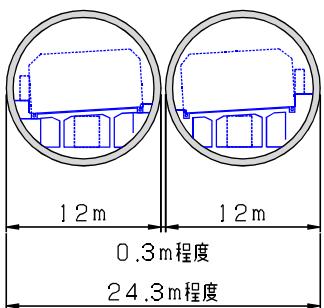


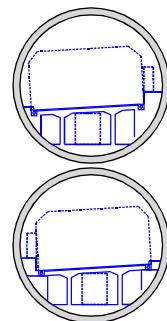
図-2.11 道路トンネルにおける併設シールドトンネル

横2連型



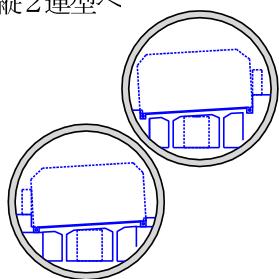
2円の離隔が小さく、連絡坑の築造が容易となる。

縦2連型



占有幅が狭いので用地幅に制約がある場所での構築が容易である。

横2連型から縦2連型へ



横2連型の区間と縦2連型の区間をシールドにより繋ぐことが可能となる。

図-2.12 道路トンネルにおけるH&Vシールドトンネル

(2) トンネルランプ部

都市地下高速道路トンネルへアクセスする場合、出入口（2方向）×上下線（2方向）=4本のアクセストンネルが必要である。H&Vシールド工法は超近接および分岐を特徴とした工法であり、本工法によりトンネルランプ部を効率的に構築することが可能である。

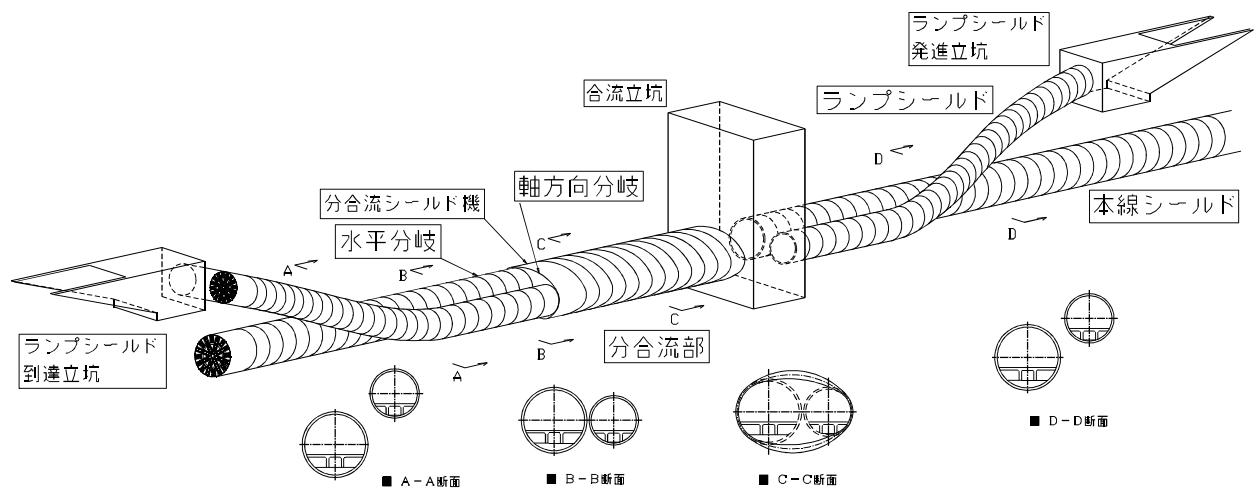


図-2.13 トンネルランプ部

2.5 地下物流システム

都市における地下空間有効利用の1つとして、地下物流システムが考えられている。円形カプセルを利用したカプセル輸送、さらにカプセルの往復輸送に適応した2連型トンネルの建設に、H & V シールド工法は有効な手段であると考えられる。

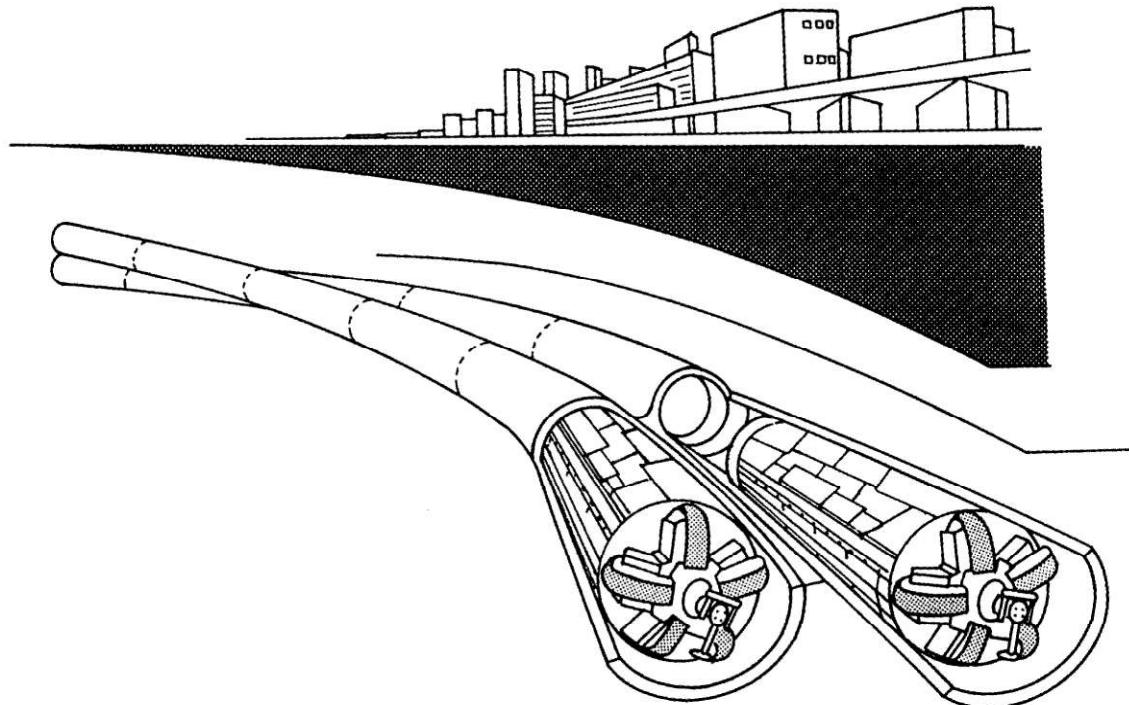


図-2.14 地下物流システムの概要図

3. シールド

3. 1 全体構造

H&Vシールドは従来用いられている円形シールドを、セグメントの内空が円形となるように組み合わせた形のシールドであり、複円形断面のトンネルを一度に構築することができる。シールドの組み合わせは後胴を瓢箪形の一体接合、前胴をスライド可能な接合構造とすることを基本とし、ローリング制御機構によりスパイラル掘進を行うことができる。

H&Vシールドの概要を図-3. 1に示す。

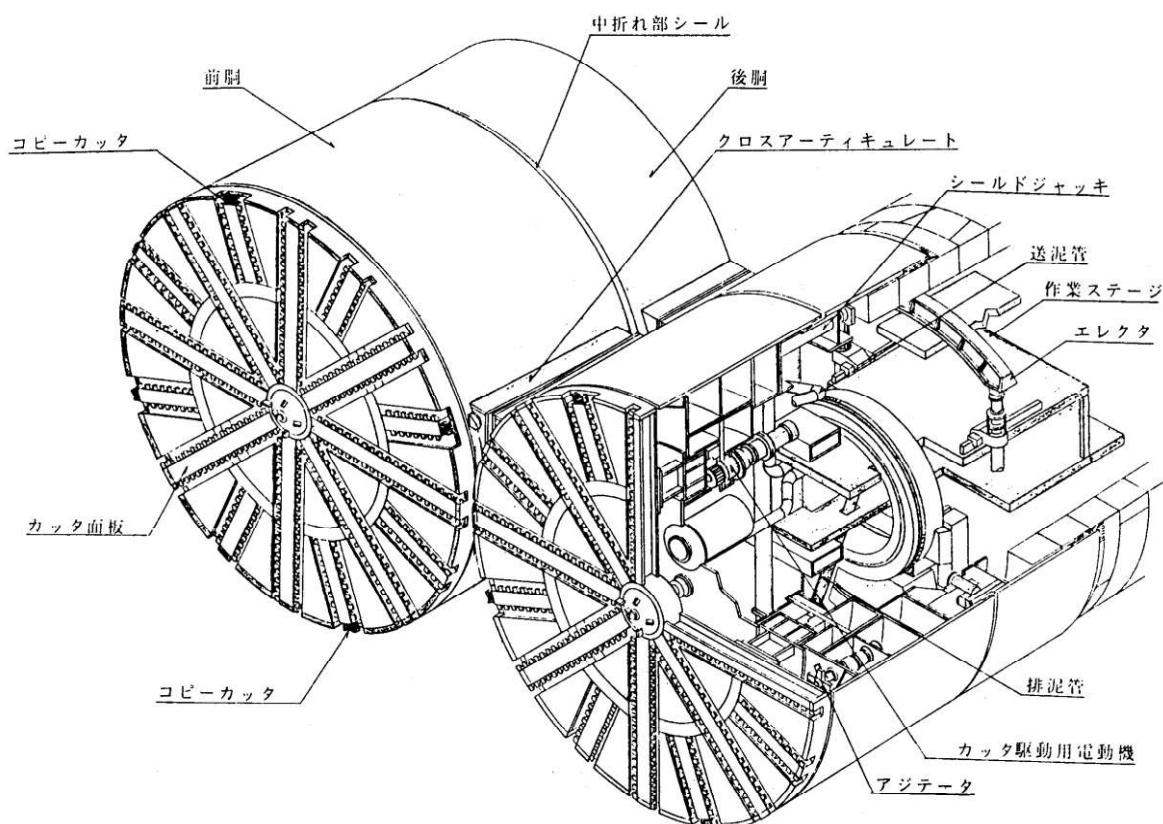


図-3. 1 H&Vシールド（泥水式）

(1) シールド寸法

H&Vシールドは2つのシールド間に離隔を持つものを標準とし、外径と芯間距離の関係は以下のように表せる。

$$[\text{芯間距離}] = [\text{外径}] + \alpha$$

$\alpha : 50 \text{ mm以上}$

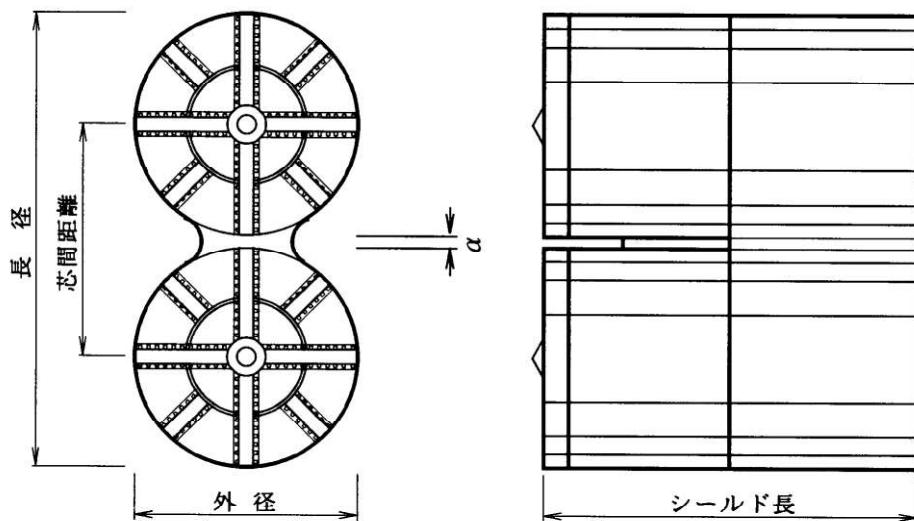


図-3. 2 シールド寸法

(2) テール部構造

シールドのテール部形状は、セグメント形状、テールクリアランスおよびテールプレート厚により決定され、断面は図-3. 3に示すような瓢箪型となる。

一方、通常の単円セグメントを使用する場合（「1. 2 (5) セグメントの特徴」参照）は、2つの接円形となる。

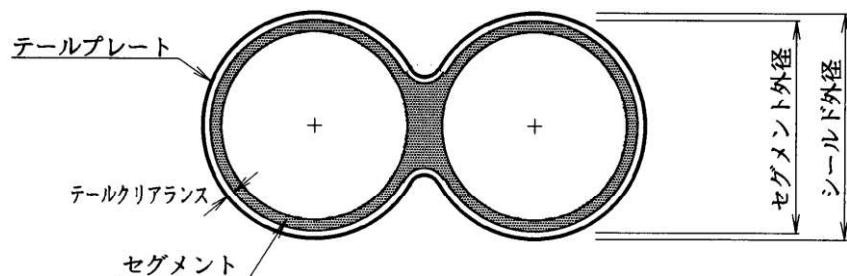


図-3. 3 テール部形状

3.2 シールド形式

シールドの形式は、泥水式、土圧式のいずれの形式も可能であり、独立した電気系統、油圧系統、排土機構を持つ。泥水式、土圧式の例を図-3.4、3.5に示す。

各々のシールドが装備すべきジャッキ推力、カッタートルクは単円のシールドと同じであり、土質条件、施工条件により決定される。

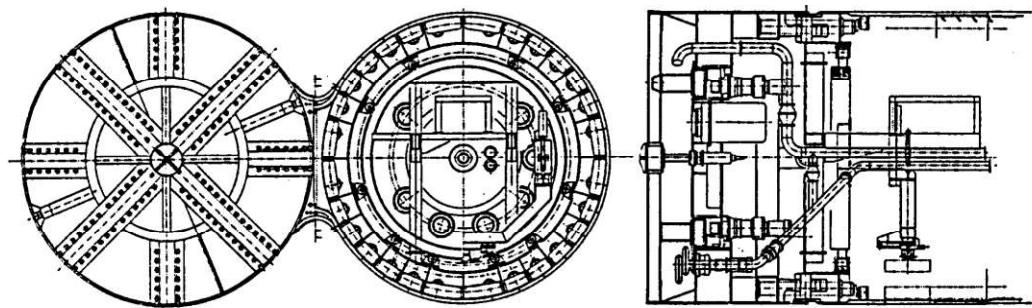


図-3.4 泥水式H & Vシールド

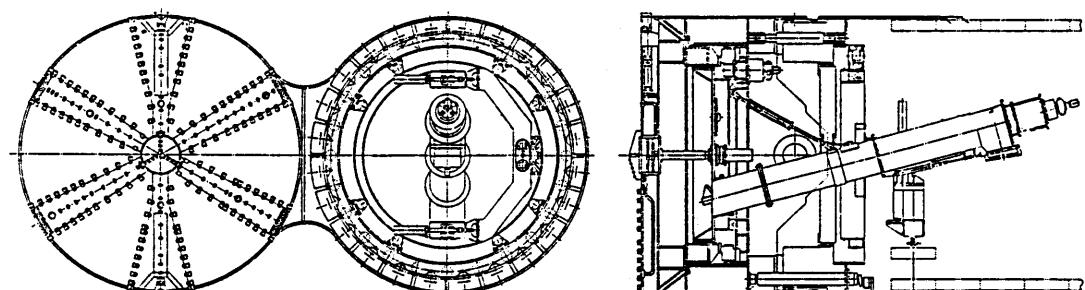


図-3.5 土圧式H & Vシールド

3.3 ローリング制御機構

H&Vシールドは、クロスアーティキュレート機構、スパイラルジャッキ、コピーカッターの3つのローリング制御機構を有している。

(1) クロスアーティキュレート機構

中折ジャッキにより2つの前胴を相反する方向へ中折れさせ、2つのシールドの掘進方向を異ならせ、発生する回転力によりローリング制御を行う。スパイラル掘進に必要な、大きな回転力を発生させることが可能なローリング制御機構である。

2つの前胴間にはスライド可能な連結ピンなどを設け、2つの前胴が分離する事を防止している。

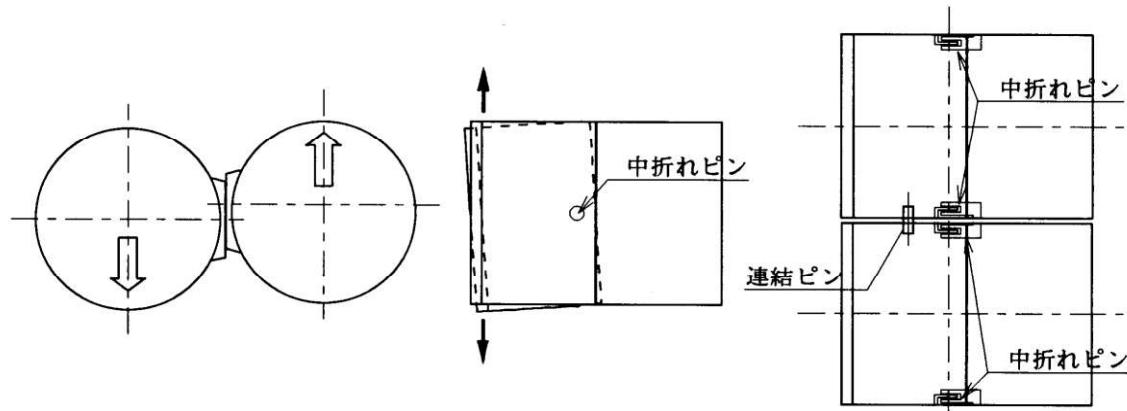


図-3.6 クロスアーティキュレート機構

スパイラル掘進をする場合の装備すべき中折れ量は次式より必要中折れ量 θ を算定し、決定する。

$$\text{必要中折れ量 } \theta = \tan^{-1} (D \times S_p) + \alpha$$

ここに、
D : スパイラル半径 (m)

S_p : スパイラル度 (1 m当たりのスパイラル量 [rad/m])

α : 施工余裕

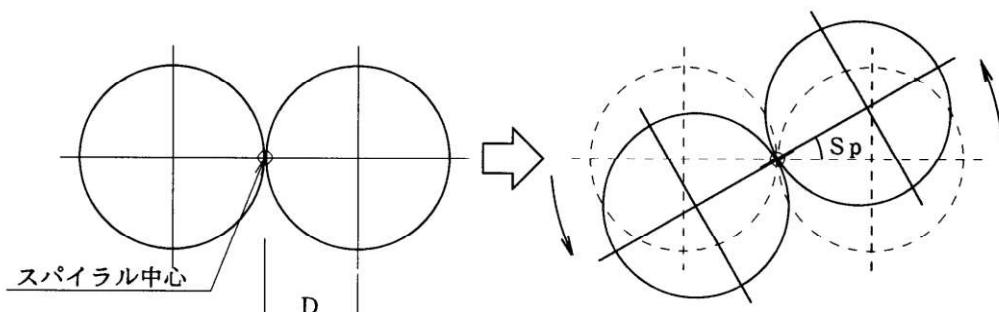


図-3.7 必要中折れ角の算定

(2) スパイラルジャッキ

シールドジャッキをシールドの進行方向に対し円周方向へ偏心させることにより、直進力と回転する方向への分力を得る。クロスアーティキュレート機構に比べ回転力は小さいが、相対位置等の細かい姿勢制御に使用する。

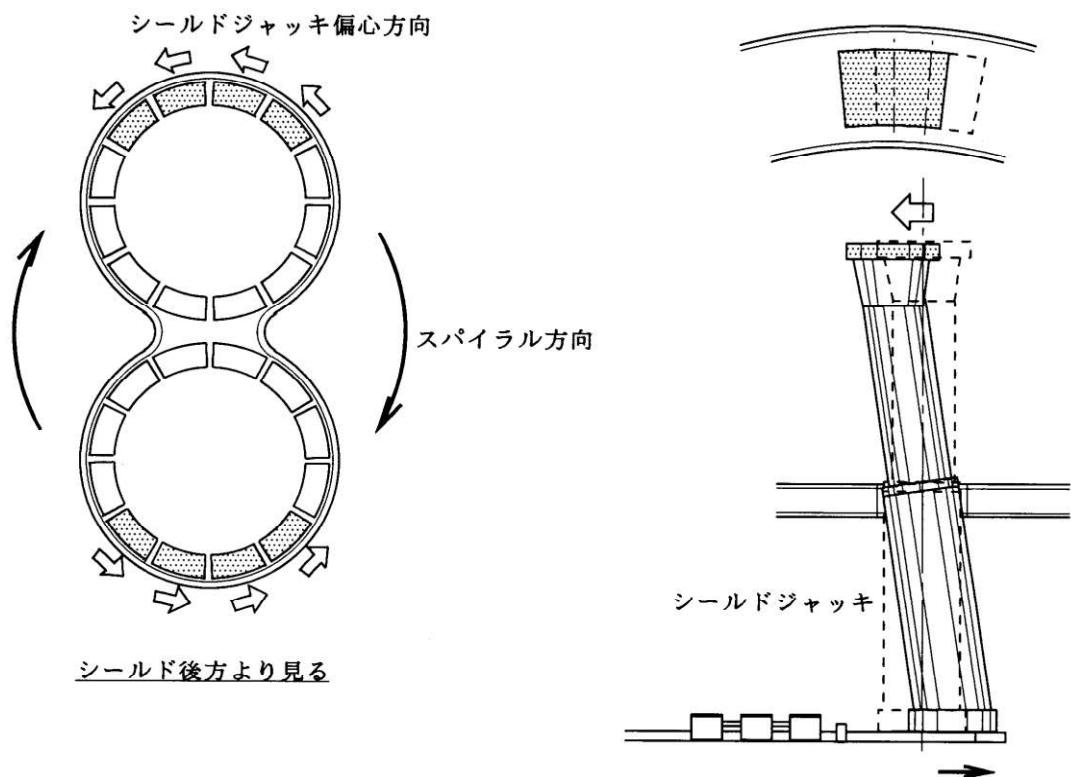


図-3. 8 スパイラルジャッキ

(3) コピーカッター

スパイラル掘進を妨げようとする地盤反力を低減させるもので、中折れさせる側の地山を掘削し、クロスアーティキュレート機構による中折れを容易にさせ、回転方向の地盤反力の低減を行う。

カッターは同一平面上に配置された場合は独立に回転するため、コピーカッターが相互に干渉しないようインターロックを設ける。

コピーカット量は、中折れ量から算定された量と地盤条件により決定する。

3.4 掘削機構およびセグメント組立機構

(1) カッター

地山の掘削は、2つの円形カッターにより行う。カッターは各々独立した駆動装置を持ち、別々に駆動できるものとする。2つのシールド接合部の大きさ、地山条件により、必要な場合は接合部に補助カッターを設ける。

(2) 土砂排出設備

土砂排出設備は各々独立したものを装備し、独立制御できるものとする。スパイラル掘進をする場合、排泥口の位置が変化するため、これに対応できるよう検討しなければならない。

(3) エレクター

セグメントの組立に用いるエレクターは、接合された2つのシールド各々に独立して設ける。また、一体型セグメントを用いる場合は、形状および重量の大きいS型セグメント、W型セグメント（「4. セグメント」参照）の組立が可能な能力（特に昇降ストローク）を装備する。

4. セグメント

4.1 セグメント構造

(1) 基本形状

H&Vシールド工法で使用するセグメントは、それぞれのシールドに対して通常のセグメントを用い、超近接・併設した二本のトンネルを構築することが可能である。また、一体型セグメントを用いる場合においては、トンネルが旋回しても供用する施設に対して建築限界等に影響を与えることなく、また構造的にも優れている円形断面を接合した形状を基本とする。

一体型セグメントのスパイラル部セグメントリングの形状を図-4.1に示す。リング継手面は各トンネルの中心軸（a-a'、b-b'）に対してそれぞれ直角であり、またセグメント継手面は各トンネルの中心軸に対してそれぞれ平行である。このため左右のトンネルの接合部は、ねじれを形成する特殊な形状になる。

このねじれ（螺旋角）は図-4.2に示すものであり、次式により求められる。

$$\text{螺旋角} : \alpha = \tan^{-1} (D \times S_p)$$

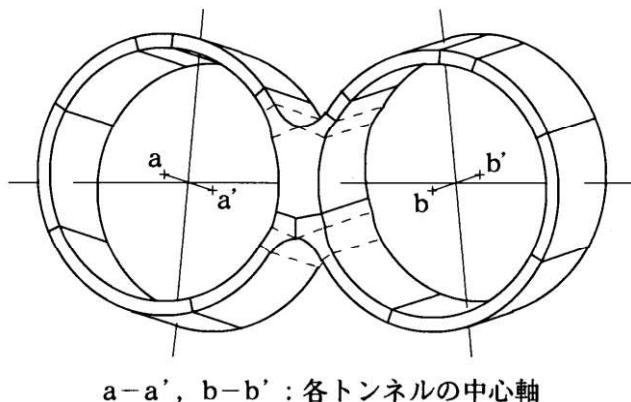


図-4.1 セグメントリング模式図

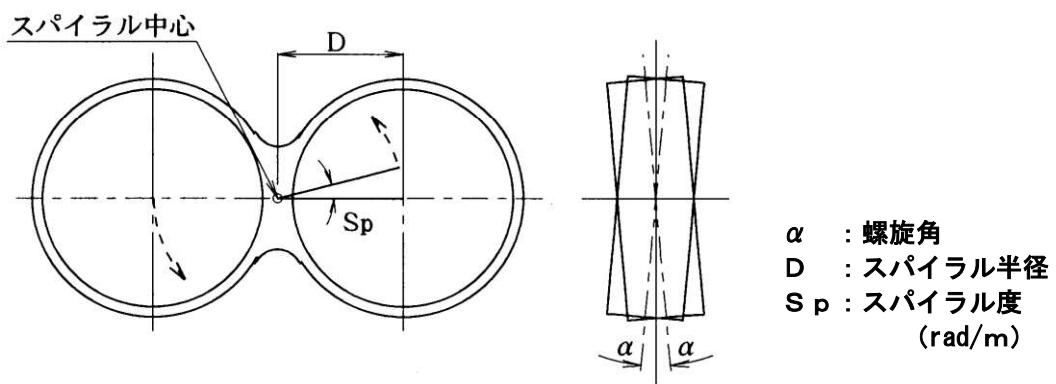


図-4.2 セグメント螺旋角

(2) セグメント分割

一体型セグメントにおける分割は、以下の2点を考慮して決定する。

- ①2本のトンネルの接合部が、柱とスラブの両方の機能を持つこと。
- ②スパイラル部でセグメントリングが順次回転した時にも組立が可能であること。

基本構成は、図-4. 3に示すとおり一般部を形成するA型、B型、およびK型セグメント、ならびに接合部を形成するW（ウイング）型、S（スラブ）型セグメントより成る。

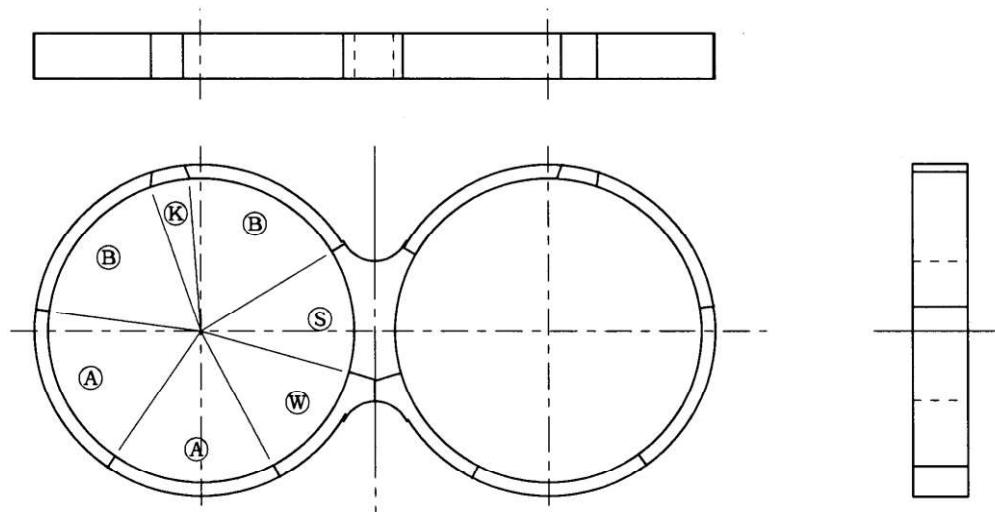
曲線施工用のテーパーリングは、必要に応じ縦方向用、横方向用、あるいは斜め方向用の異形セグメントを使い分けて用いる。

4.2 セグメント組立

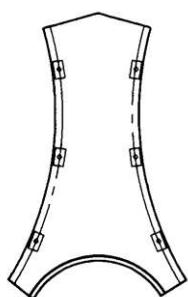
分離型セグメントの組立は、従来の円形セグメントと同様である。

一体型セグメントの組立手順を図-4. 4に示す。組立は、まず下側トンネルよりS型セグメントを組み立て、その後両トンネル同時作業により順次W型、A型、B型セグメントを組み立て、最後にそれぞれK型セグメントを挿入する。

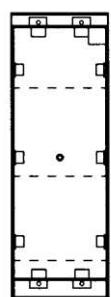
セグメント組み合わせパターンは、W型、S型セグメントを1リング毎に反転して配置し千鳥組とする。なお、組立手順は、横、斜め、縦のいずれの形態でも同じ手順により行われる。



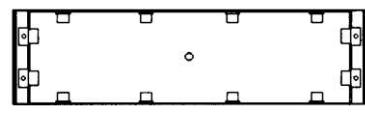
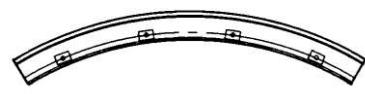
全体組立図



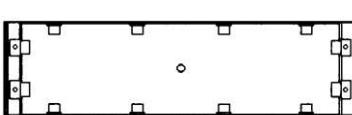
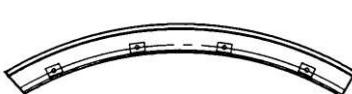
S型セグメント



W型セグメント



A型セグメント



B型セグメント

図-4. 3 セグメント構造図

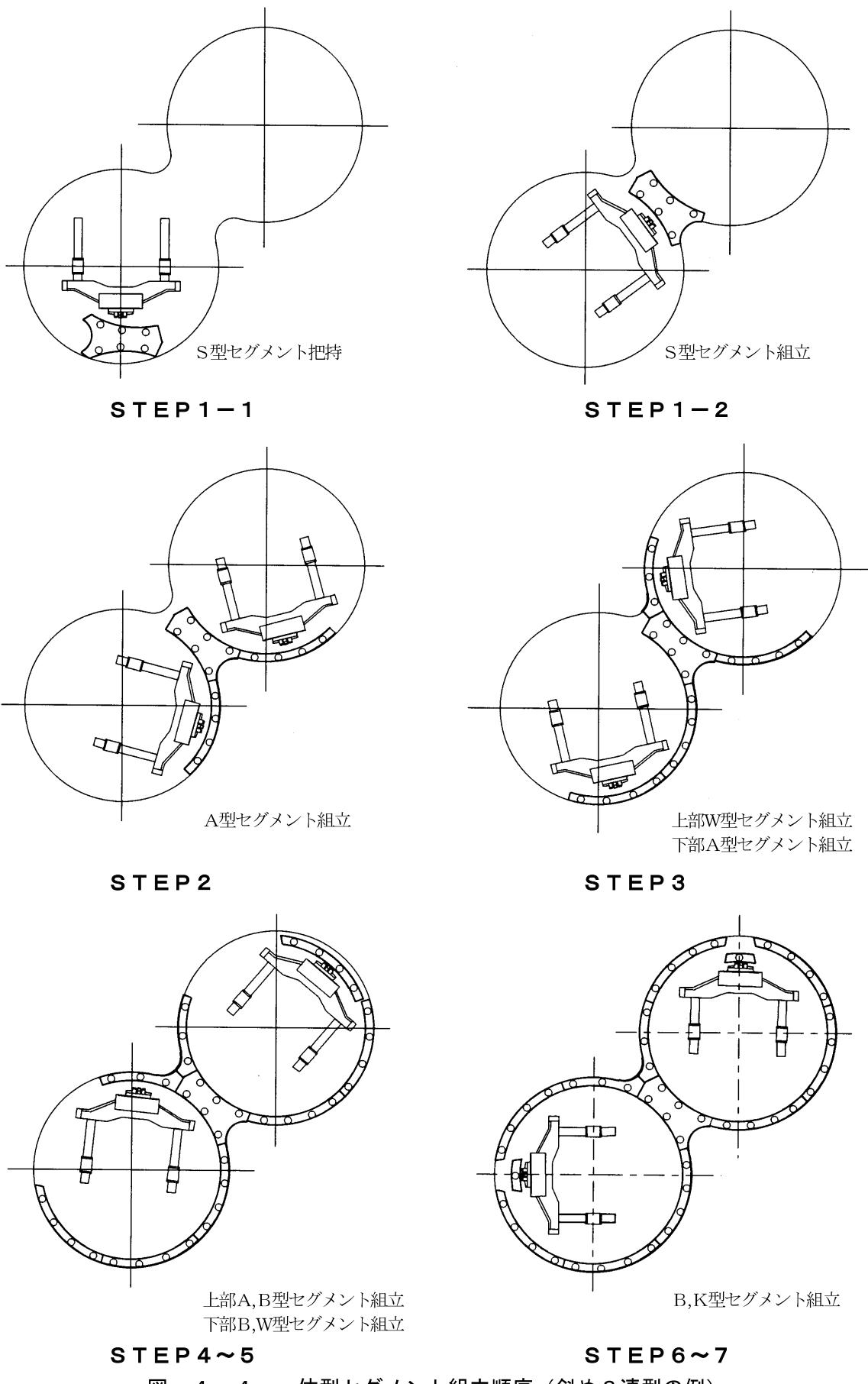


図-4. 4 一体型セグメント組立順序（斜め2連型の例）

4.3 覆工構造計算

H&Vシールドによるトンネルの覆工構造計算は、従来の円形シールドの構造計算を基本とし、各指針、示方書に基づき、必要に応じ複円形断面の実状を取り入れた計算を行うものとする。なお、H&Vシールドを分岐する場合においては、分岐直後のセグメントは後発シールドによる近接施工の影響を受けるので通常の並列シールドと同様な検討が必要となる。

(1) 荷重

- ・土水圧荷重

土圧の算定は、図-4、5に示すゆるみ高さの算定例のように、2連を1構造体とした扱いをし、その大きさは各部位の深さに比例したものとする。

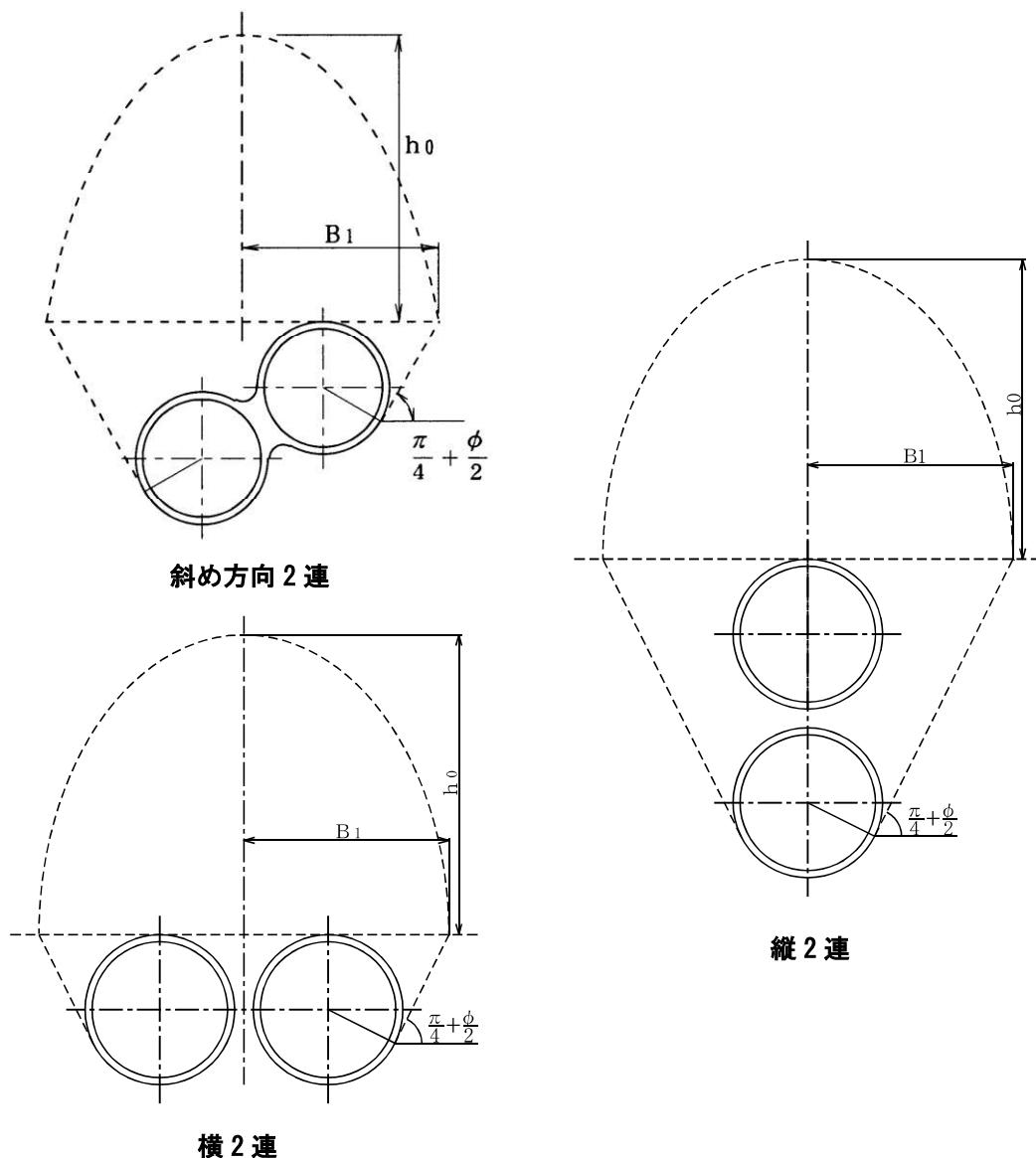


図-4、5 ゆるみ高さの算定例

・地盤反力

鉛直方向および水平方向の地盤反力は、水平方向と同様に地盤ばねとしてモデル化し、弾性解により求める。

その他の荷重についても、従来の円形シールドを基本とし、複円形断面の形態に合わせて算定することが妥当と考えられる。図-4. 6に土水圧荷重形態の例を示す。

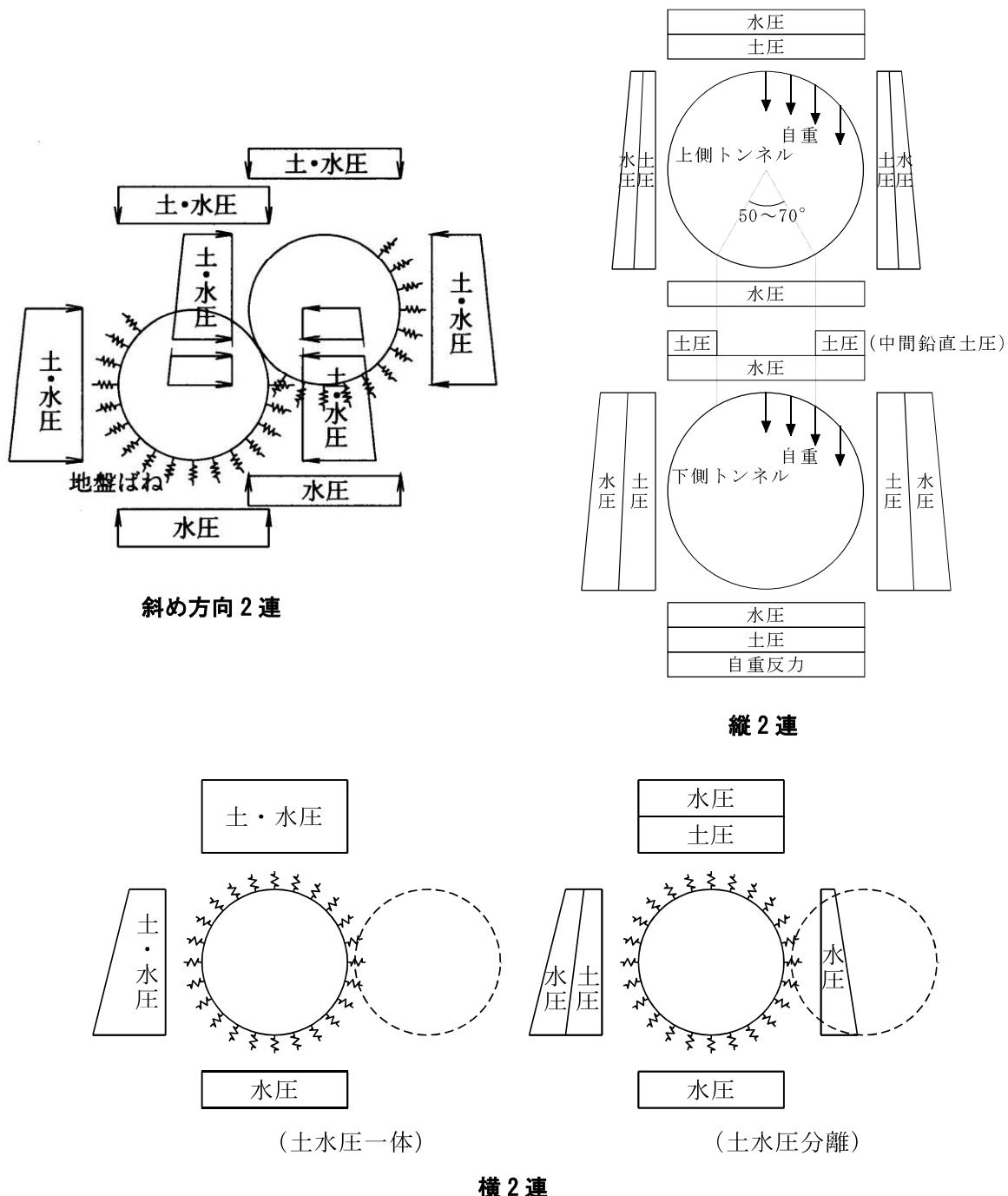


図-4. 6 土水圧荷重モデル例

(2) 断面力の算定

構造のモデル化は、複数のトンネルをモデル化することを基本とするが、分離型セグメントの横2連の場合において左右のトンネル構造および作用荷重が全く対照である場合には、片側のみの単円モデルとして計算することができる。

分離型セグメントの場合、トンネル間の地山は(50~70° の範囲)、シールド掘進により土砂が完全に取り除かれ裏込め材により置換されるため、フレーム計算モデルでは裏込め材相当の要素や地盤ばねとしてモデル化することができる。

一体型セグメントの場合の2円の接合部は、実状に合わせて剛域を設定することができる。

分離型セグメントにおける構造計算モデルの例を図-4.7、図-4.8に示す。

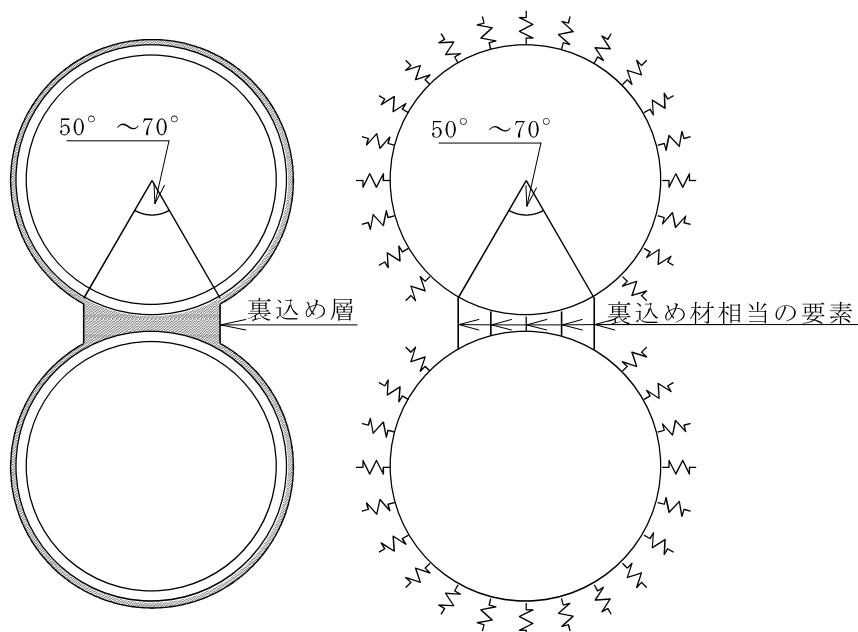
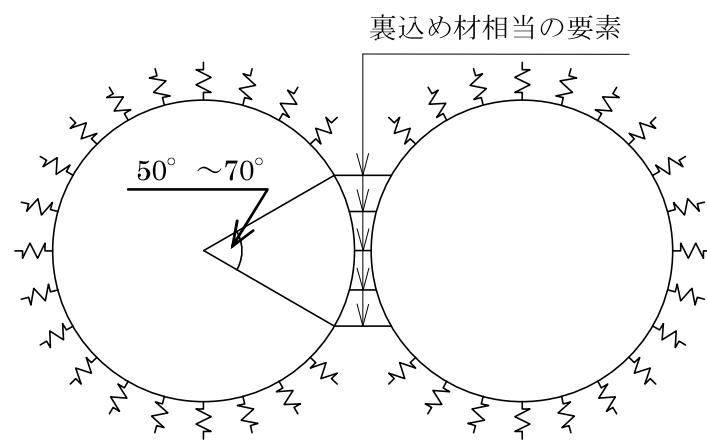
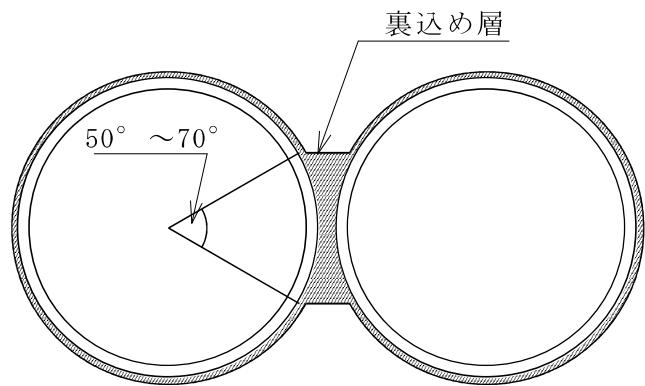
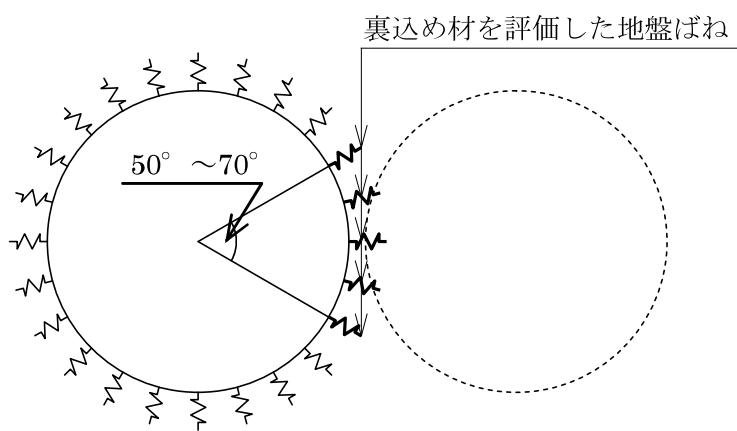


図-4.7 縦2連分離型セグメントのモデル化例



トンネル間を裏込め相当の要素でモデル化した例



左右対称トンネルでトンネル間を地盤ばねでモデル化した例

図-4. 8 横2連トンネルのモデル化例

5. トンネル線形

5.1 線形の考え方

H&Vシールド工法により2連のシールドを旋回させた場合、トンネルが描く軌跡は、その旋回中心軸、および、スパイラル度の設定の仕方により様々な線形を描く（「1. 2 (6) トンネル線形」参照）。

実際の線形計画では、路線全体の平面線形、縦断線形と重ね合わせたものとなり、適用用途の縦断勾配の制限、路線長、地中障害物等の制約条件を考慮し、スパイラル方法を決定する。スパイラル度の設定は、一定量を基本として考える。これにより、もっとも単純なスパイラル線形は \cos 曲線、 \sin 曲線となる。また、スパイラル度を変化させたトンネル線形も、両トンネルの中心軸間距離が常に一定であるという条件により算定される。これに対して、鉄道、道路などの路線線形は、各用途によりそれぞれ規定される。スパイラル区間において、この路線線形とトンネル線形とは、完全に一致することはなく、トンネル中心と路線中心との間にずれが生じる。このため、路線線形は、トンネルのスパイラル開始・終了点の位置、路線の直線・曲線設置の操作により、両者のずれが最小となるように平面、縦断をある区間毎に近似で求めることになる。

一般にこのずれは、スパイラル区間が長いほど小さくすることが出来る。区間長に制約を受け、トンネル断面に過大な拡幅を必要とする場合は、スパイラル開始、終了点にスパイラル度の遞減区間を設定するなどの考慮を必要とする。

5.2 線形の計算例

H&Vシールドによる鉄道トンネルの線形計算例を以下に示す。

ここでは、駅間で横2連から縦2連へと90度スパイラルさせた場合を想定し、条件を設定した。

(1) 計算条件

- トンネル外径 : $\phi 7,200 \times 2$ 連 (図-5.1参照)
- スパイラル量 : $\theta = 90$ 度
- スパイラル区間長 : $L = 500$ m
- スパイラル半径 : $D = 3,730$ m

スパイラル度は、スパイラル区間全長にわたり一定とし、また、スパイラル中心は、両トンネルの中心（構心）を軸とする。なお、スパイラル中心の軌跡は、平面、縦断とも、共に直線とする（表-1.1 TYPE-A参照）。

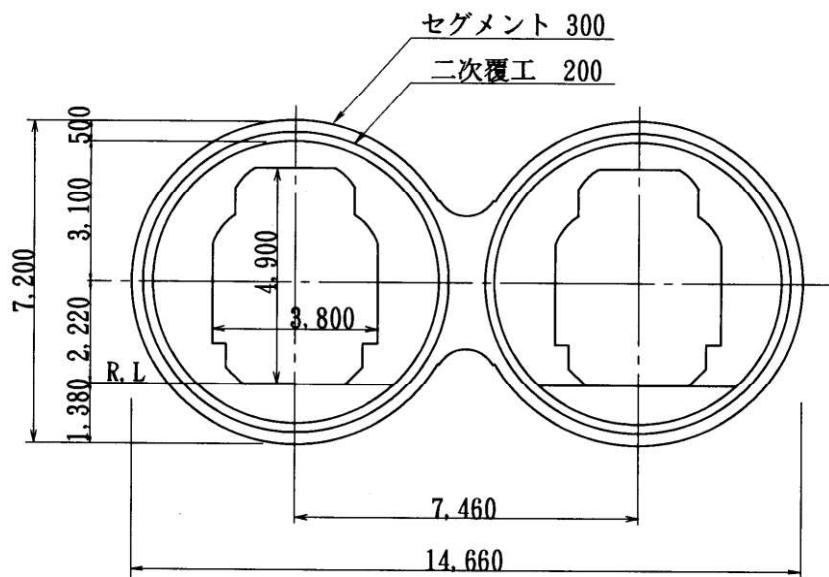


図-5.1 計算トンネル断面（鉄道）

(2) トンネル線形

スパイラルによるシールドトンネルの線形は、スパイラル度が一定の時、平面、縦断それぞれ \cos 曲線、 \sin 曲線となる。

$$\text{平面X座標 } X = (7.460/2) \times \cos (\ell \times 90/500)$$

$$\text{縦断Y座標 } Y = (7.460/2) \times \sin (\ell \times 90/500)$$

ここに、 ℓ はスパイラル開始地点からの距離(m)を表す。

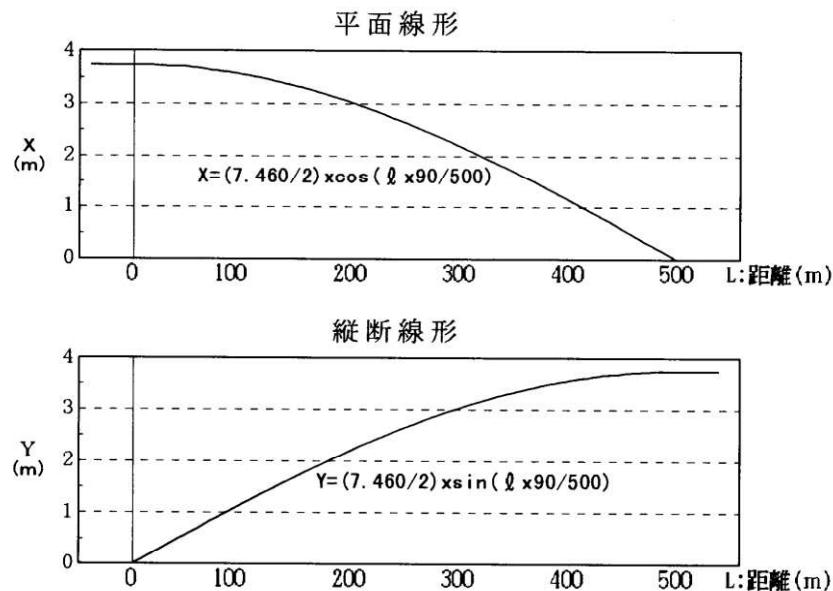


図-5. 2 トンネル線形（片側）

(3) 線路線形

鉄道においては、運転の安全性、運転速度、乗り心地、電車の牽引能力等の点からその線路線形は各種の規定を満足する必要がある。

ここでは、これらの規定を満足し、かつトンネル線形とのずれが最小となるような線路線形を算定した。

(4) 計算結果

線路線形を図-5. 3に示す。

計算の結果、トンネル線形と線路線形のいずれの最大値は、平面線形で 40 mm、縦断線形で 41 mmである。

これより、鉄道トンネルにおいて本例でのそれは、シールドの蛇行余裕（通常 100 mm以上）以下であり、500m区間で 90 度スパイラルするトンネルにおいても鉄道線路規準を満足する線形となる。

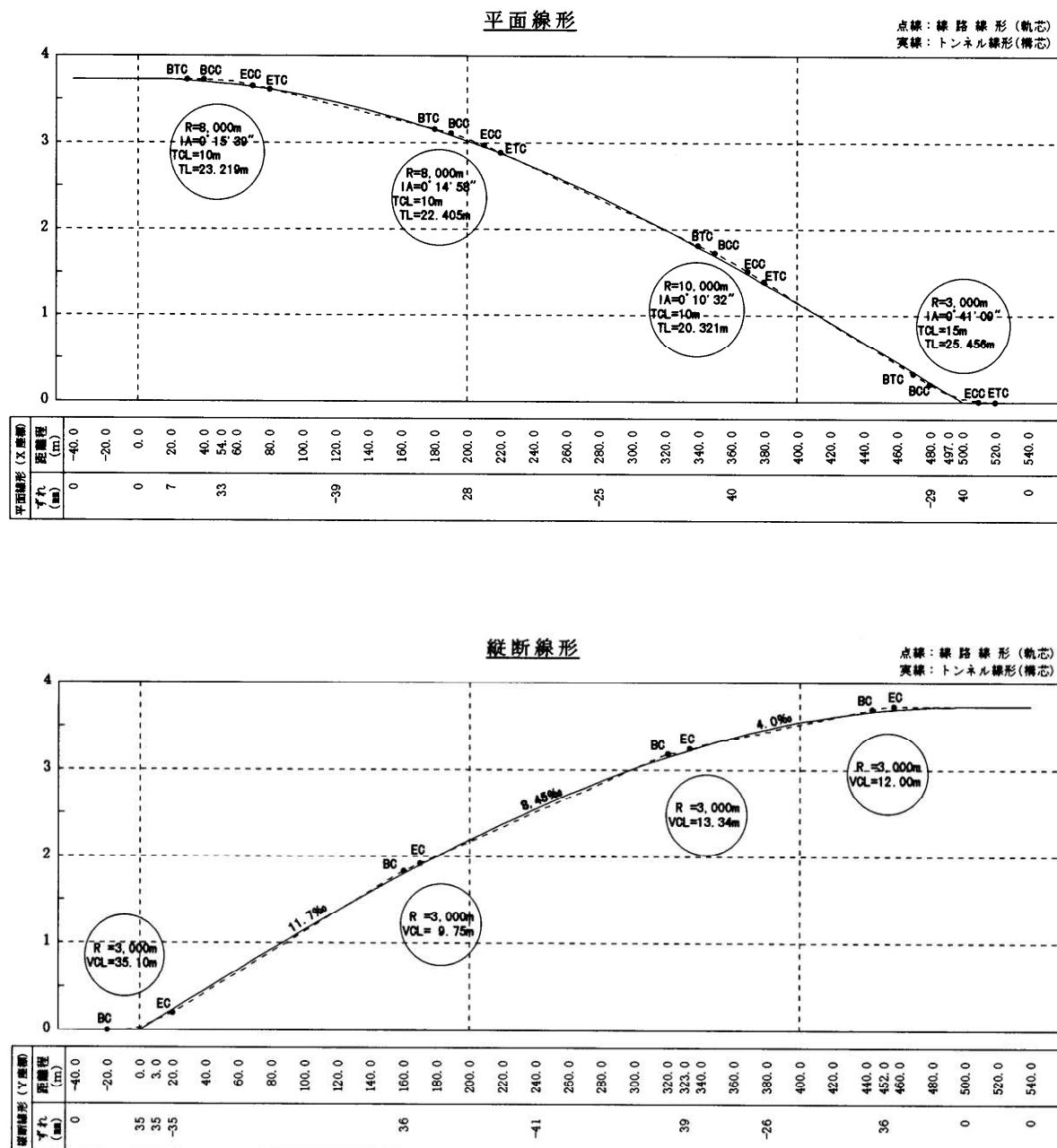
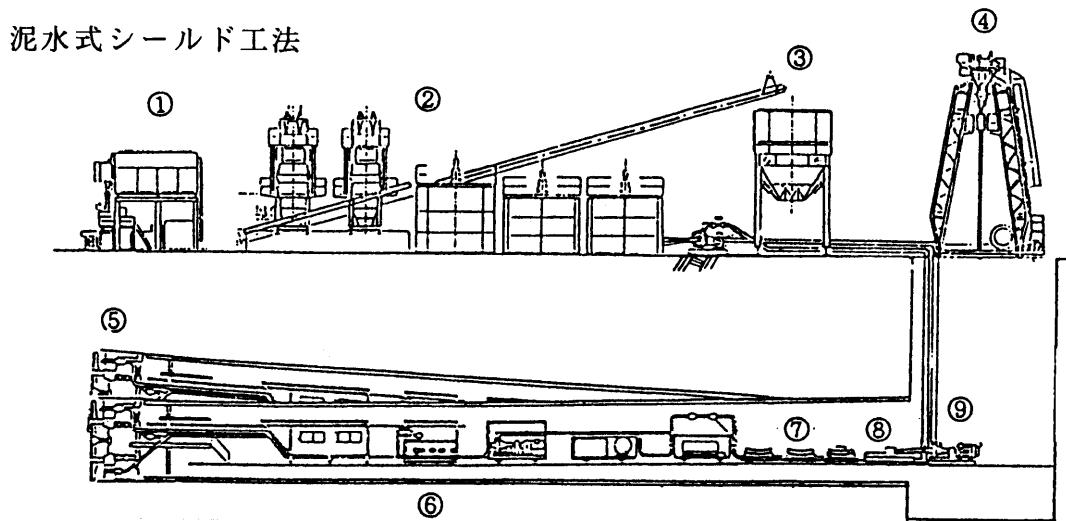


図-5. 3 線路線形例

6. 施工

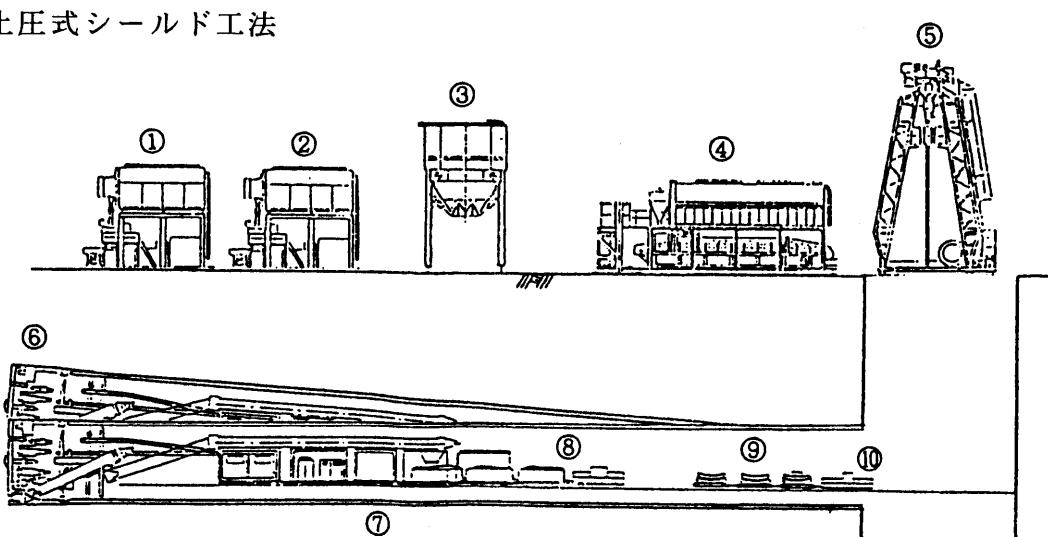
6.1 仮設備

泥水式および土圧式シールド工法における掘進設備の例を図-6.1に示す。



- | | |
|-----------------|--------------------|
| ① 裏込プラント (共有可能) | ⑥ 後続設備 (2系統必要) |
| ② 泥水処理設備 (共有可能) | ⑦ セグメント台車 (2系統必要) |
| ③ 土砂ホッパー (共有可能) | ⑧ バッテリー機関車 (2系統必要) |
| ④ クレーン (共有可能) | ⑨ 泥水輸送設備 (2系統必要) |
| ⑤ H & V シールド機 | |

土圧式シールド工法



- | | |
|-----------------|--------------------|
| ① 裏込プラント (共有可能) | ⑥ H & V シールド機 |
| ② 作泥プラント (共有可能) | ⑦ 後続設備 (2系統必要) |
| ③ 土砂ホッパー (共有可能) | ⑧ ズリ鋼車 (2系統必要) |
| ④ 泥土固化設備 (共有可能) | ⑨ セグメント台車 (2系統必要) |
| ⑤ クレーン (共有可能) | ⑩ バッテリー機関車 (2系統必要) |

図-6.1 掘進設備

6.2 施工管理

(1) 切羽管理

H&Vシールドは互いに独立したチャンバー、泥水輸送設備あるいは排土設備を持つため掘削制御は独立に行う。すなわち、各チャンバー内の泥水圧あるいは泥土圧を各々適切な状態に保持し掘進をおこなう。

(2) 方向制御

シールドの方向制御については、従来通りシールド位置ずれ量と方位角より目標線を定め、この目標線に向かうように二連一体とみなしたジャッキパターンを選択して行う。この場合、双方の中折れ装置を使用することで方向制御を助けることができる。

(3) 姿勢制御

H&Vシールドは複円形断面であるため、従来のヨーイング、ピッティング制御のみならず、ローリング量の制御が重要となる。ローリング量（スパイラル量）の制御は、クロスアーティキュレート機構による中折れ角度を制御することによって行う。また、コピーカッター、スパイラルジャッキの併用により、ローリング（スパイラル）制御の補助的な役割を果たすことができる。

(4) 裏込め注入管理

裏込め注入は、掘削断面形態、地山の条件等を考慮し、最も適した注入材を用いて掘進と同時に即時に行うものとする。

7. 施工事例

7.1 H&Vシールド工法実証実験工事

(1) 工事概要

H&Vシールド工法の施工実証と特性把握を目的として、2連型のシールドおよびセグメントを用いて、つくば市のハザマ技術研究所屋外実験場予定地にて行った。

路線は、横2連型での直進区間、横2連型から縦2連型へのスパイラル区間、縦2連型での直進区間、分岐トンネル区間と断面形態の変化するものである。2連型トンネルの中心は平面線形・縦断線形ともに直線であるが、スパイラル区間における両トンネルの路線線形は、平面線形が \cos 曲線、縦断線形は \sin 曲線となっている。

また、トンネル構造は、前半が一体型セグメントを用いた2連一体構造、後半が分離型セグメントを用いた超近接構造である。

工事名称：H&Vシールド工法実証実験工事

発注者名：H&Vシールド工法研究会

工 期：平成元年10月～平成2年3月

路線延長：A線 63.0m、B線 70.5m

(2連型トンネル区間 63.0m、分岐トンネル区間 7.5m)

トンネル断面：掘削外径 $\phi 2,120\text{mm}$

トンネル中心間距離 2,170mm

(横2連型～スパイラル～縦2連型～分岐単円)

シールド形式：泥水式

土被り：4 m (横2連型) ~ 3 m (縦2連型)

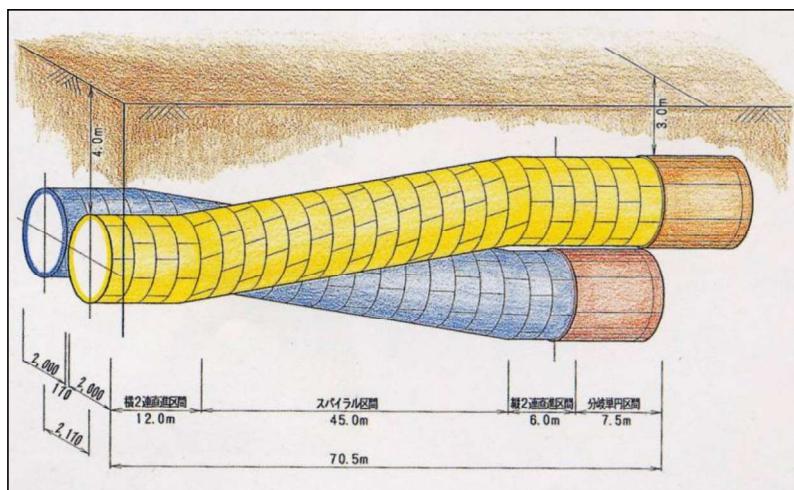
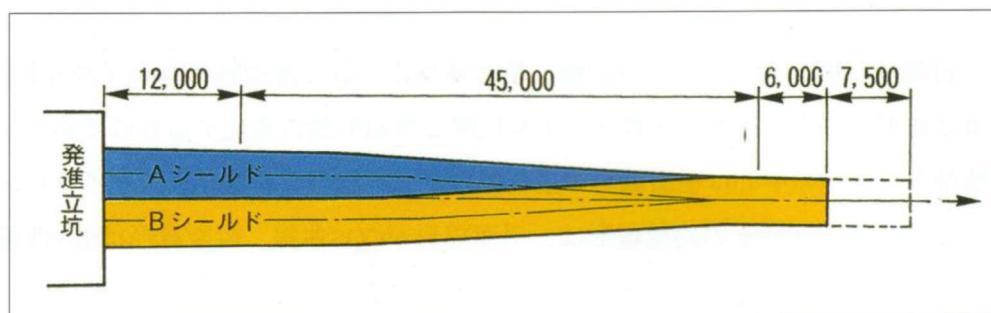


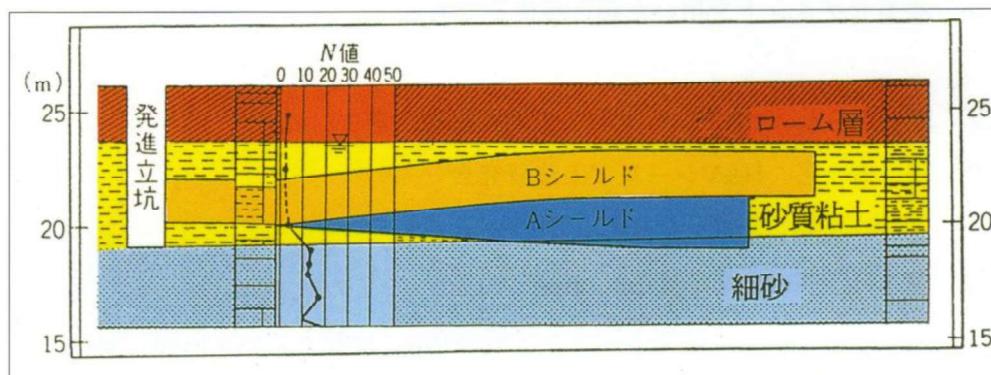
図-7.1 工事概要図

(2) 地質概要

実証工事位置の地盤は、上層よりローム層、粘土層、砂層の順に構成される。シールドが掘進する地盤は、主にN値1～3の粘土質細砂と砂質粘土の互層であり、到達時の縦2連部で細砂層の一部を含む。また、地下水位は、GL-3m程度である。以下に平面時および縦断面図を示す。



平面図



縦断面図

図-7. 2 平面および縦断面図

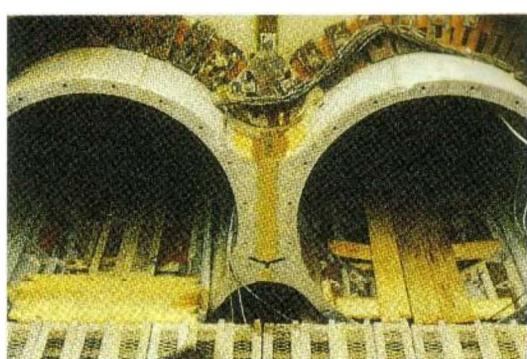


図-7. 3 発進坑口（完成時）

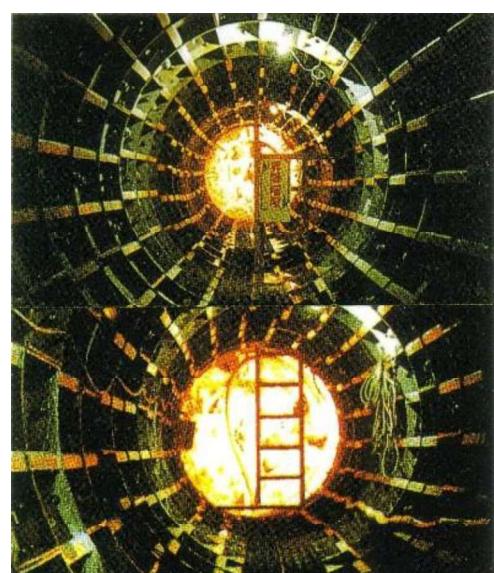


図-7. 4 坑内状況（縦2連部を合成）

(3) シールド

実証工事では、スパイラル掘進および分岐掘進を行うため、従来の中折れ式シールドを2機接合した形とした。

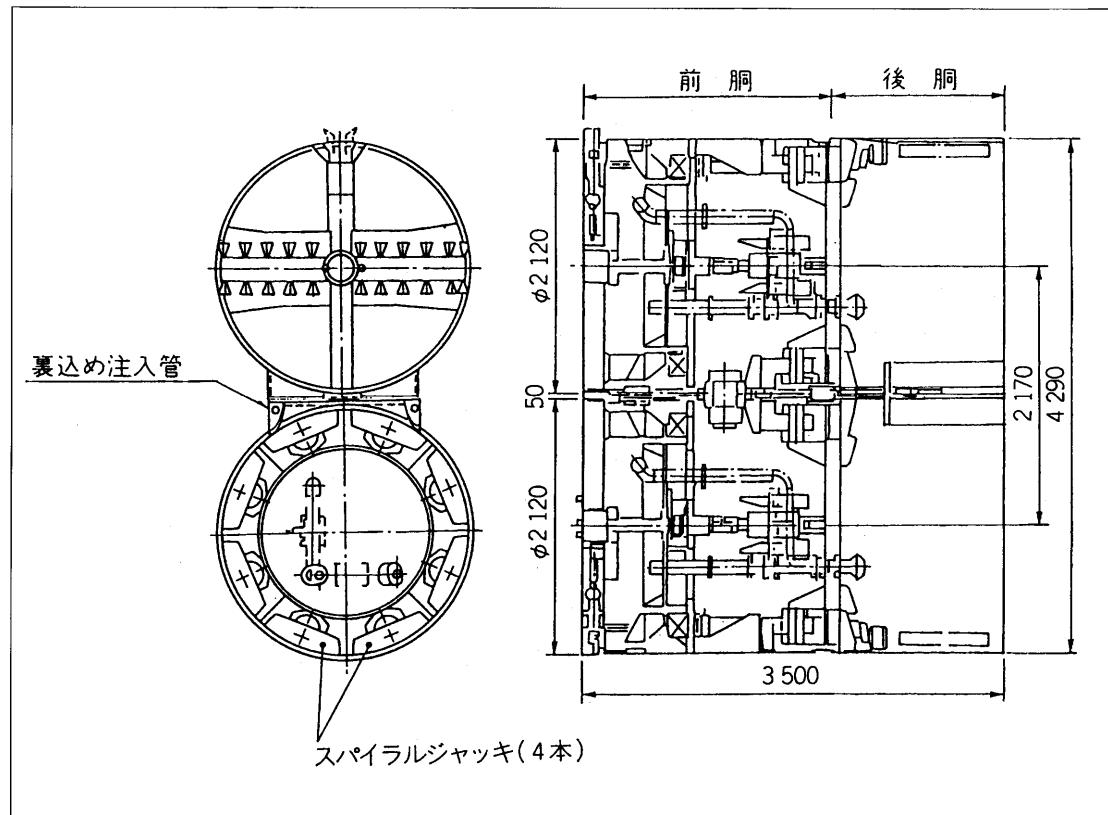


図-7. 5 シールド構造図

表-7. 1 シールド諸元

外径	$\phi 2,120\text{mm} \times 2$ 連(トンネル中心離間 2,170mm)
機長	3,500mm
形式	泥水式
推力	9,600KN (600KN×8本×2)

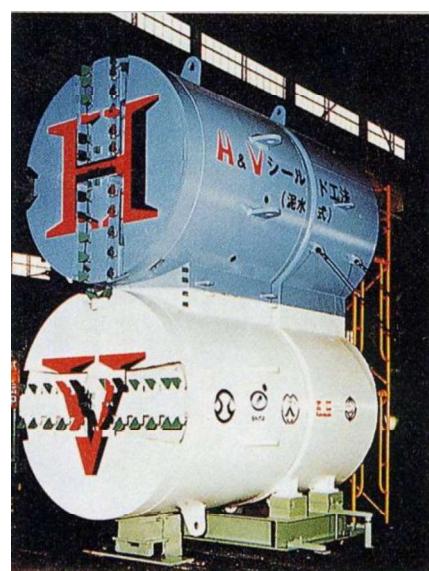


図-7. 6 H & V シールド機 (縦2連型)

(4) セグメント

セグメントは、一体型および分離型の2種類を使用した。

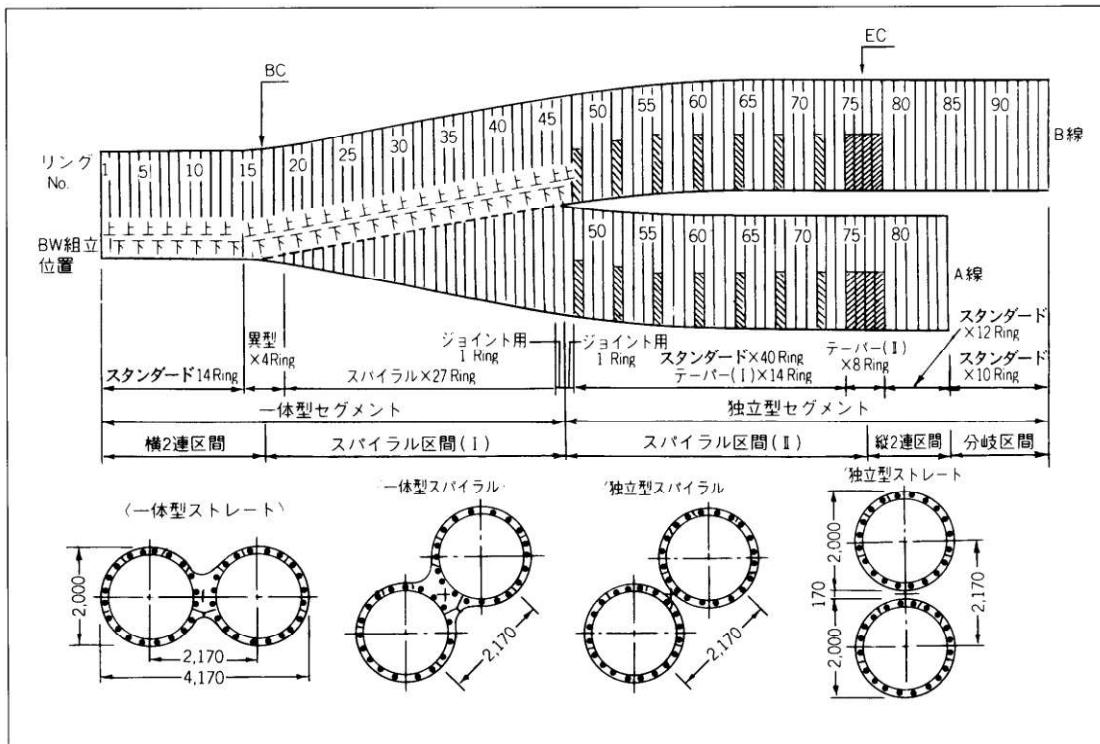


図-7.7 セグメント配置図

表-7.2 セグメント諸元

材質	鋼製セグメント	分割	片側6分割
寸法	外径 $\phi 2,000\text{mm}$ (トンネル中心間距離 2,170mm) 桁高 100mm	継手	ボルト継手 リング間: 20本 ピース間: 4本

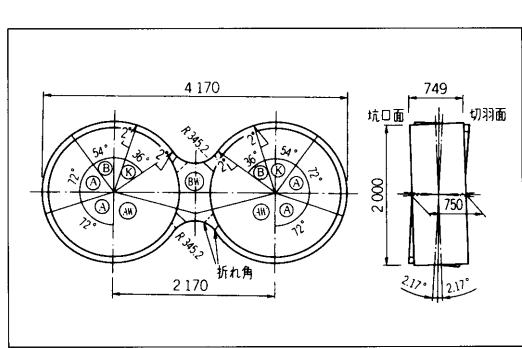


図-7.8 一体型スパイラルセグメント
(全体組立図)



図-7.9 一体型スパイラルセグメント
(地上仮組)

7.2 地下鉄12号線環状部六本木駅（仮称）工区建設工事

都営地下鉄12号線は、西新宿を起点として西大久保、春日、蔵前、森下、月島、汐留、麻布十番、青山一丁目を経由し、再び西新宿へ戻る環状部約29kmと、西新宿から東中野、練馬を経て光が丘に至る放射部約14kmからなる延長約43kmの路線である。

そのうち六本木駅（仮称）工区を泥水式4心円シールドで施工した。

以下に都営地下鉄12号線の環状部路線図を示し、次ページより工事概要を述べる。

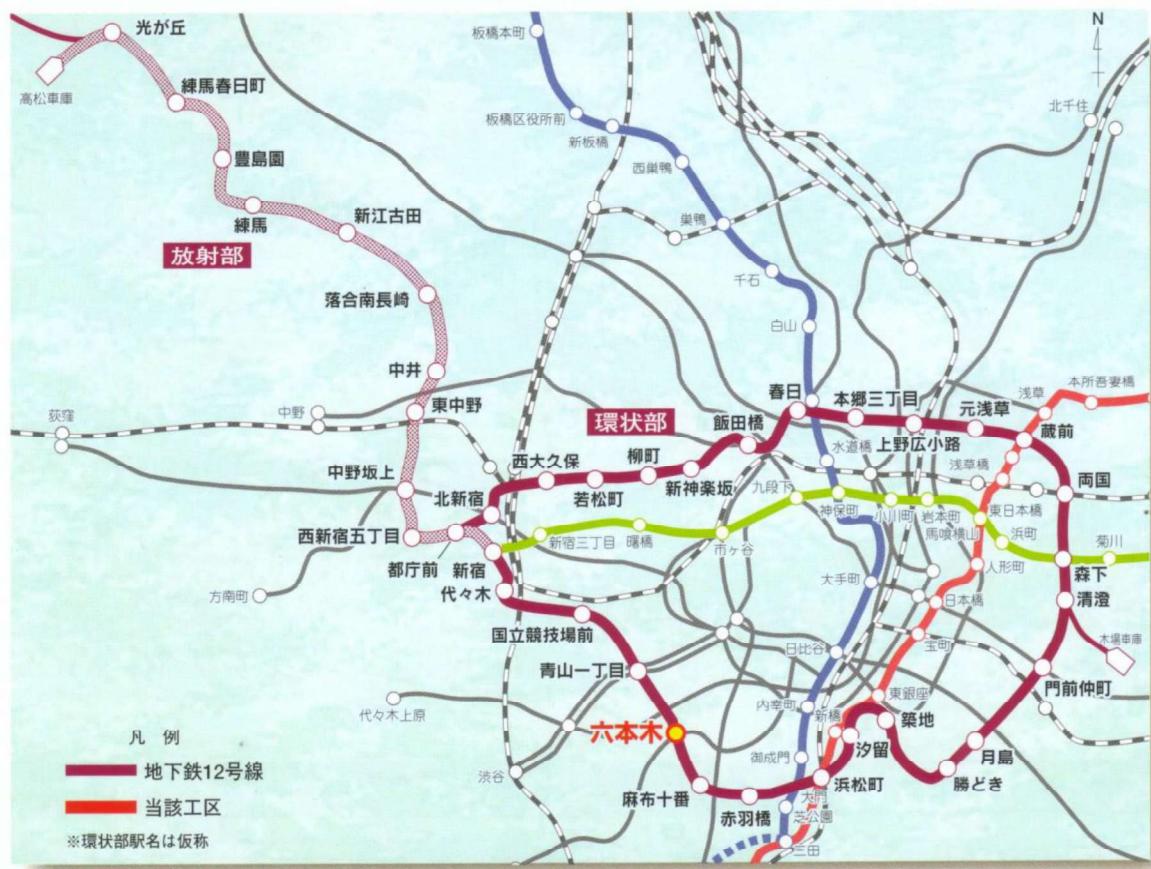


図-7.10 地下鉄12号線(環状部)路線図



図-7.11 完成した駅構内

(1) 工事概要

六本木駅（仮称）工区は、防衛庁前の開削区間から六本木交差点手前の開削区間までの工区延長215.0mに地下鉄12号線の駅部を構築する工事で、このうち開削区間を除いた118.0mを泥水式4心円シールドで施工する。駅部構造は、外廻り・内廻りの上下併設構造であり、シールドは上下併設施工となる。

当工区は、シールド直上に平行して既設洞道（ $\phi 4,100\text{mm}$ 、 $\phi 3,550\text{mm}$ ）が布設されており、また発進部直上には既設人孔が2基存在している。

工事名称：地下鉄12号線環状部六本木駅（仮称）工区建設工事

発注者名：東京都地下鉄建設株式会社

工 期：平成3年12月～平成12年6月

トンネル延長：118.0m×2本

トンネル断面：掘削高 7,080mm（中央部） $\phi 6,560\text{mm}$ （左右部）

掘削幅 13,180mm

シールド形式：泥水式

土被り：28m（外廻り）、38m（内廻り）

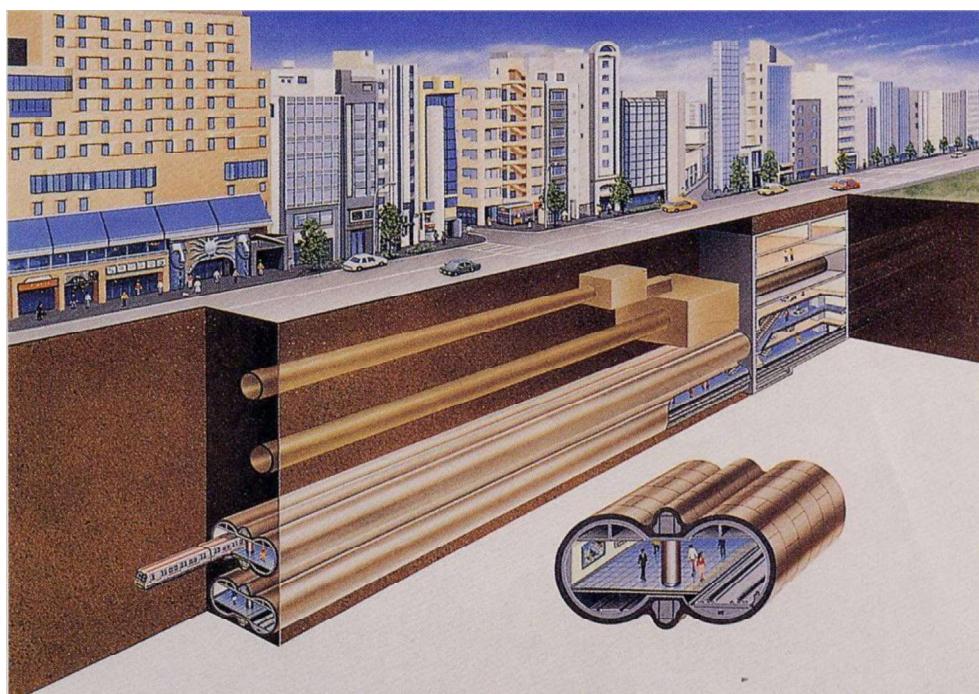


図-7.12 六本木駅（仮称）工区概念図

(2) 地質概要

当工区の地質は、上層より沖積粘土層、沖積細砂層、東京層、上総層の順で構成されている。シールド掘進地盤は主に上部（外廻り）シールドが砂礫層（東京礫層）、下部（内廻り）シールドが砂質泥岩層（上総層）である。また、地下水位はGL-15m程度である。

以下に平面図、縦断面図を示す。

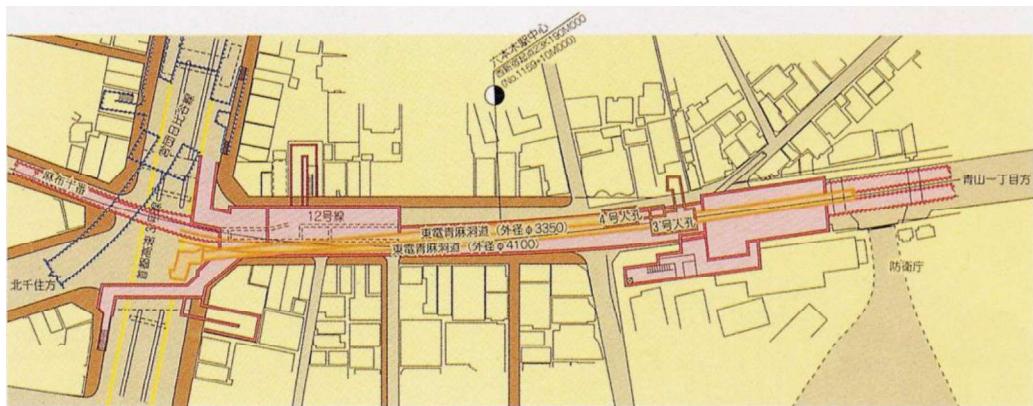


図-7.13 平面図

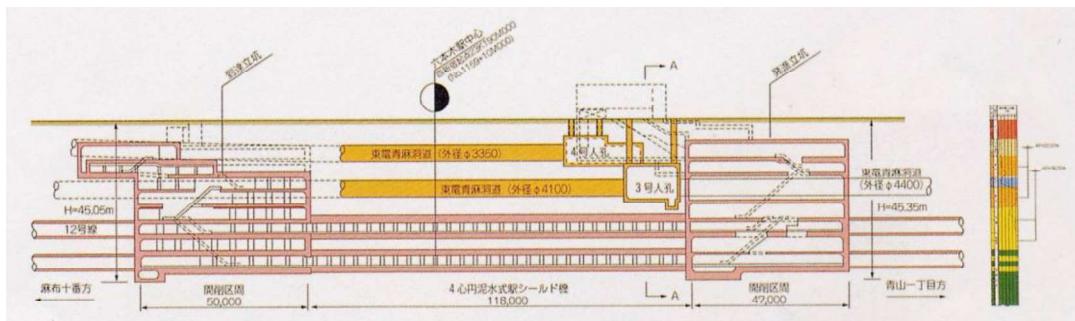


図-7.14 縦断面図

(3) シールド

当工区の泥水式4心円（H&V）シールド機は、中間支持方式の側部大径カッターとセンターシャフト方式の中心部小径カッターを同一平面に配置し、チャンバーは同一チャンバーを採用している。また、シールド機の蛇行修正のために中折れ装置を装備している。

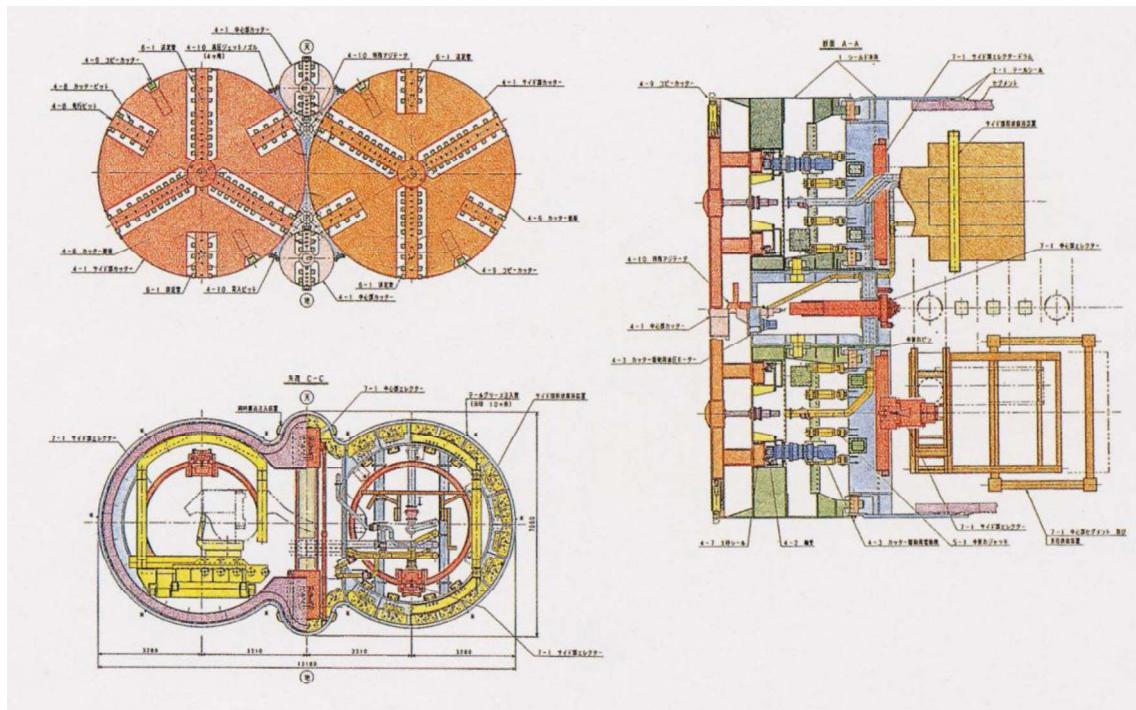


図-7. 15 シールド構造図



図-7. 16 泥水式4心円シールド

(4) セグメント

当工区のセグメントは、中央部（スチール構造）・側円部（嵌合方式合成構造）セグメントピースおよび本柱・仮柱よりなる。中央部セグメントピース内に箱桁を内蔵しており、シールド掘進完了後トンネル軸方向の箱桁の締結により仮柱を撤去し、本柱のみの本体構造とする。

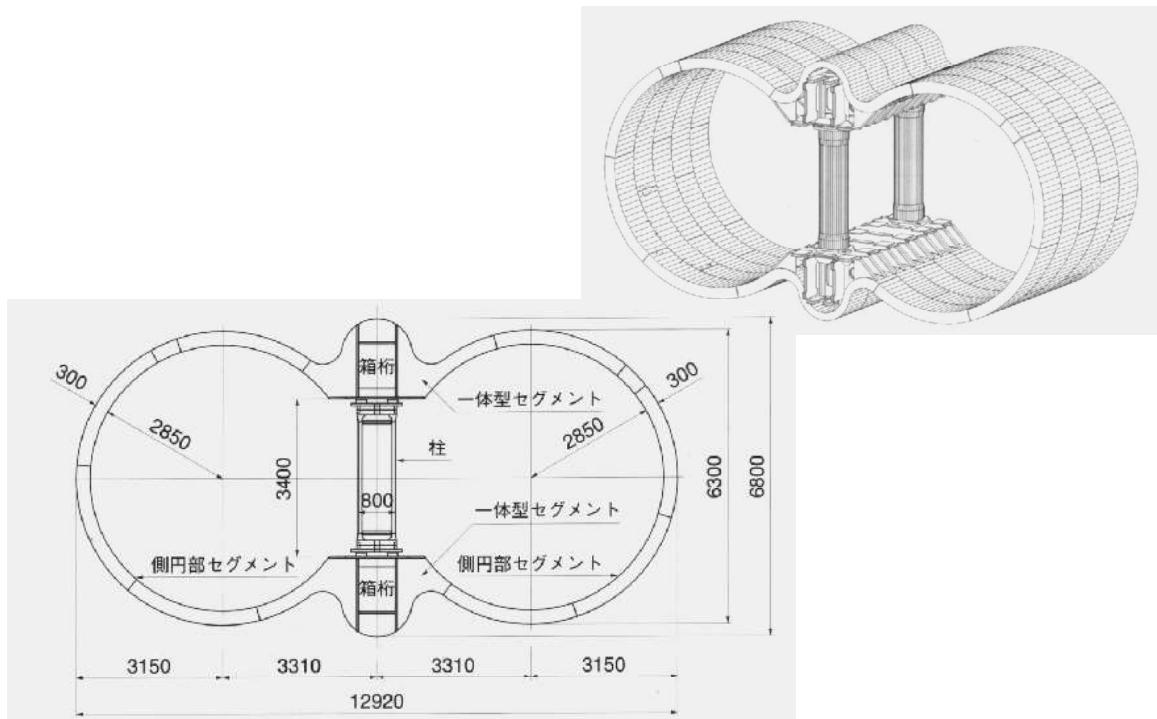


図-7.17 セグメント構造

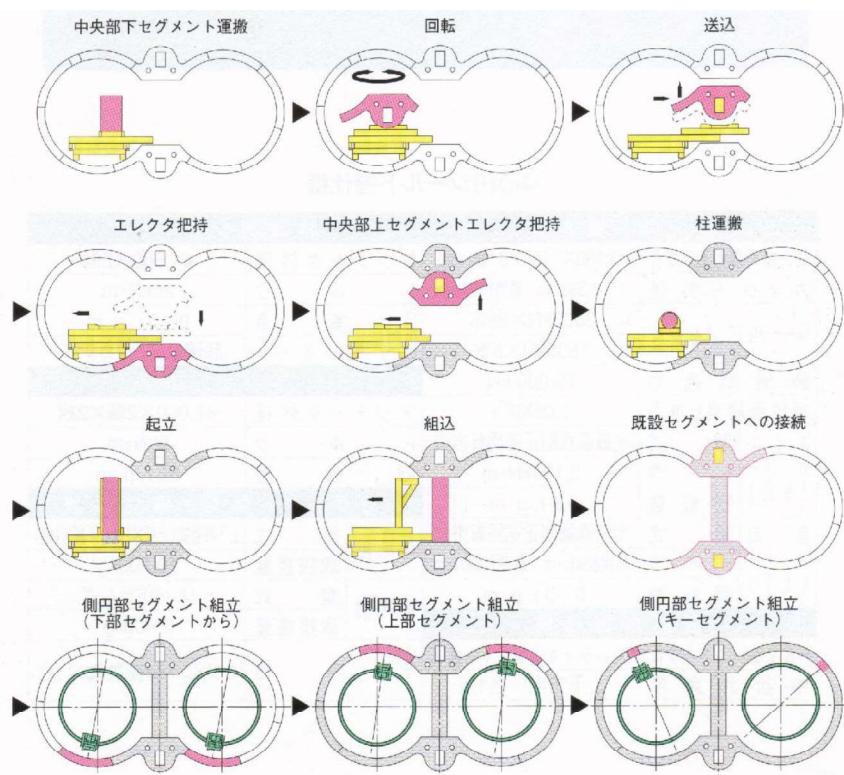


図-7.18 セグメント組立順序

7.3 南台幹線工事

(1) 工事概要

南台幹線工事は、杉並区および中野区の一部の雨水を集水する南台幹線および枝線の一部を構築するものであり、縦2連分岐式のH&Vシールド工法で施工する。

本工事では曲線半径R15m急曲線施工区間を2ヶ所含む 154mを縦2連シールド機で掘進し、その後上下のシールド機を分岐させ、上部シールド機（外径 ϕ 3.29m）が 574mを、下部シールド機（外径 ϕ 2.89m）が 769mをそれぞれ掘進する。

工事名称：南台幹線その2工事

発注者名：東京都下水道局（中部建設事務所）

工 期：平成11年4月1日～平成12年5月11日

トンネル延長：南台幹線（上部シールド機）728m

枝 線（下部シールド機）923m

マシン断面：南台幹線（上部シールド機） ϕ 3,290mm

枝 線（下部シールド機） ϕ 2,890mm

シールド形式：泥水式

土被り：南台幹線（上部シールド機）15～24m

枝 線（下部シールド機）18～27m

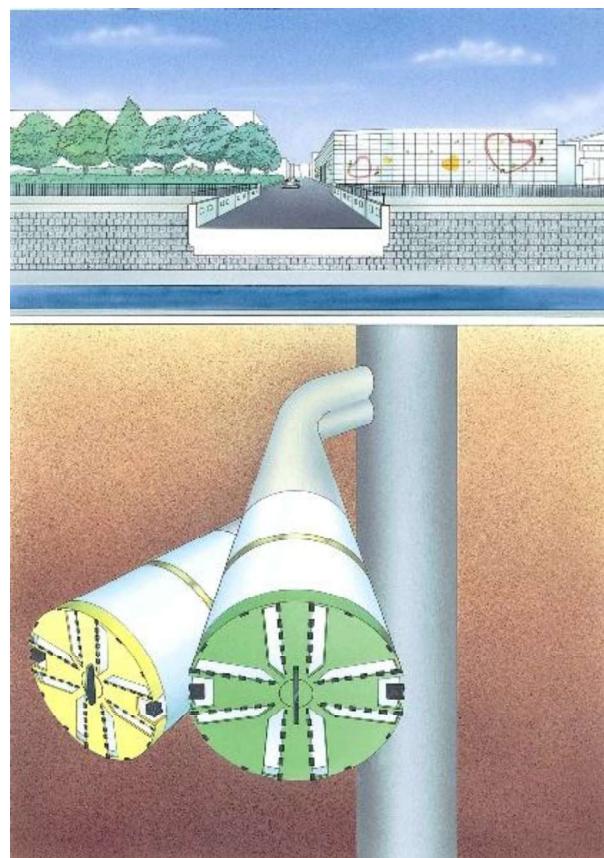


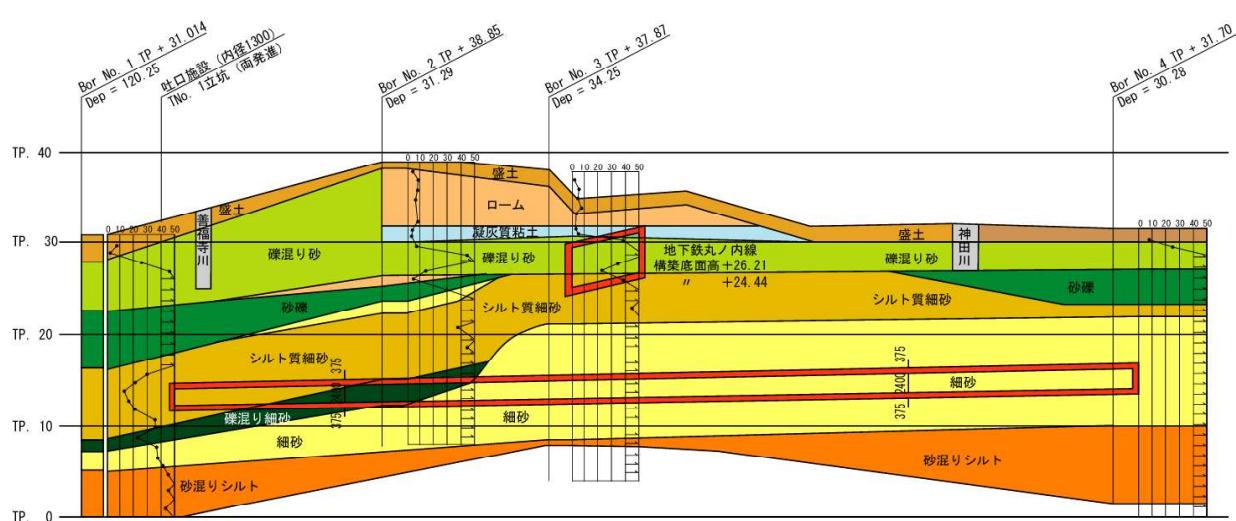
図-7.19 南台幹線工事概念図

(2) 地質概要

上部シールド機（南台幹線）は、非常に締まった細砂、礫混じり細砂、シルト質細砂を、下部シールド機（枝線）は、礫混じり細砂、シルト質細砂をそれぞれ掘進する。間隙水圧はほぼ静水圧に近く $0.15\sim0.19\text{ MPa}$ ($1.5\sim1.9\text{ kgf/cm}^2$) の範囲にある。



平面図



縦断図（上部シールド機）

図-7. 20 路線概要

(3) シールド

当工区のH&Vシールド機は泥水式で、 $\phi 3,290\text{mm}$ の上部シールド機（南台幹線）と $\phi 2,890\text{mm}$ の下部シールド機（枝線）がスペーサーを挟んで連結されている。スペーサー部分の地山は、下部シールド機のコピーカッターで切削する。

各シールド機は中折れ機構を有しており、この中折れ装置により、2つのシールド機に相対的な中折れ角度差をつけることで姿勢制御（H&V機構）することができる。また、連結ピンをシールド機内部より取り外すことにより、地中で分岐させる。

縦2連同時掘進時には、下部シールド機が上部シールド機の掘進土砂の流体輸送もある程度負担する必要性を考慮し、送排泥能力は通常の同径の泥水式シールド機に比べ1.5倍にしている。

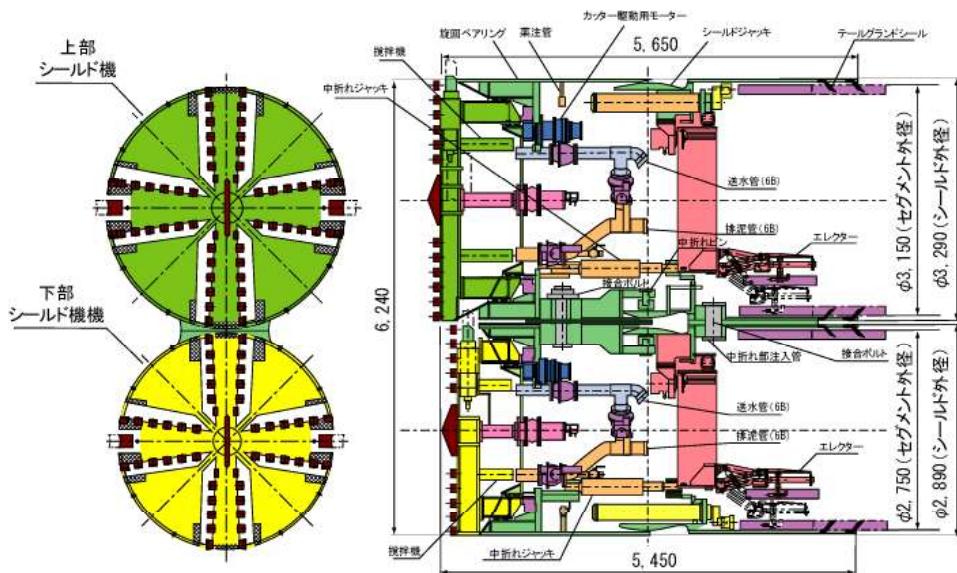


図-7. 21 シールド構造図



図-7. 22 シールド機全景

(4) 分岐機構

当工区では縦2連の状態で約154mを掘進した後に、上下のシールド機を分岐する。

分岐地点で上下のシールド機を連結している連結ピン（前胴1本、後胴2本）を取り外し、この穴にジャッキボルトを挿入、このボルトを押しつけることでシールド機とスペーサーを分離する。詳細を図-7.23に示す。

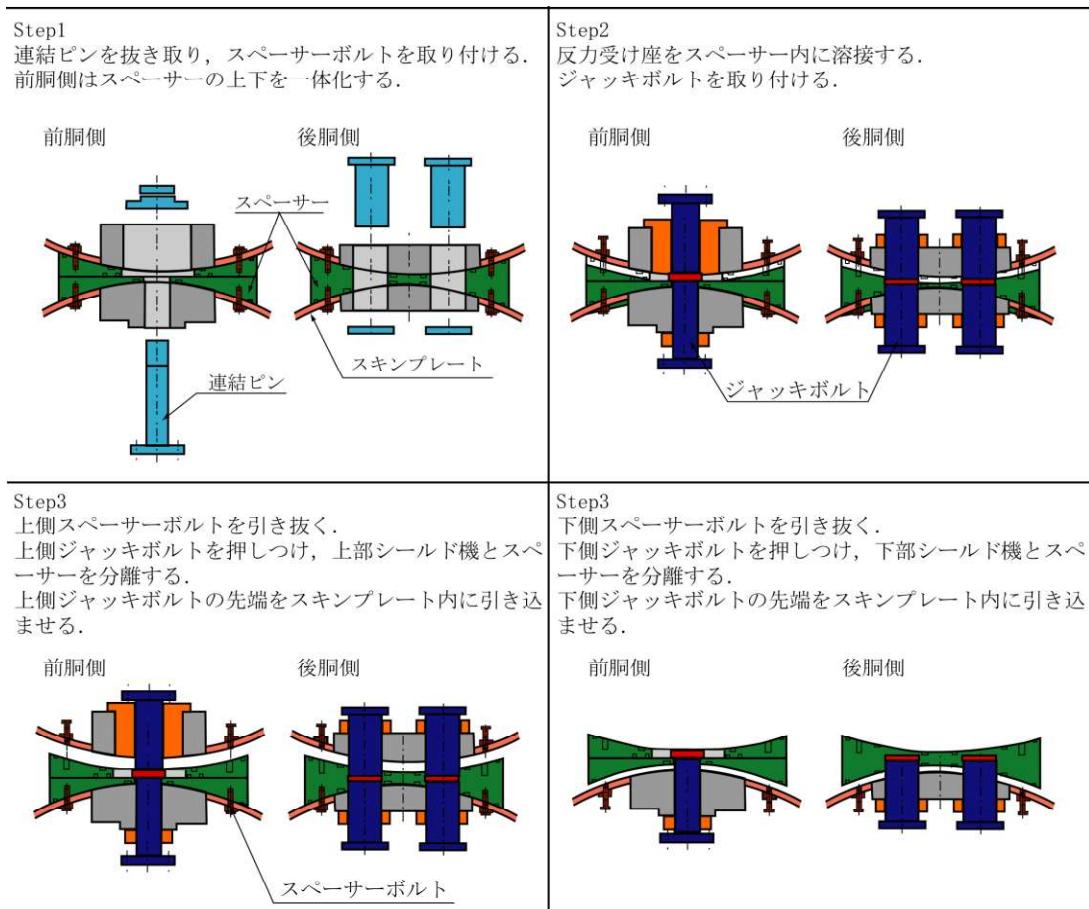


図-7.23 分岐手順

(5) セグメント

縦2連同時掘進時の上下のトンネルは、独立したセグメントを使用して超近接で構築する。

上下のセグメントには設計上300mmの離隔があるが、上下のシールド機を連結しているスペーサー部分の地山は下部シールド機のコピーカッターにより切削されているので、浮力により下部のセグメントが持ち上がる可能性ある。そこで、上部セグメントリングの底部に袋付きセグメントを採用し、上下のセグメントリングの離隔を確保した。

表-7. 3 セグメント諸元

		南台幹線（上部シールド機）	枝線（下部シールド機）
一般部	材質	スチール（6分割,2本主桁） (河川横断部3本主桁)	スチール（6分割,2本主桁） (河川横断部3本主桁)
	セグメント外径（mm）	3150	2750
	桁高（mm）	125	125
	セグメント幅（mm）	1000	1000
曲線部 R=15m	材質	スチール（6分割）	スチール（6分割）
	セグメント外径（mm）	3100	2700
	桁高（mm）	125	125
	セグメント幅（mm）	300	300
	テーパー量（mm）	64	56



図-7. 24 袋付きセグメント

7.4 吉見浄水場導水路工事

(1) 工事概要

本工事は、新規に建設される吉見浄水場に荒川の水を導水するため、長距離・極小断面の超近接單円並列トンネルを横2連H&Vシールド工法により築造するものである。



工事名称：吉見浄水場導水路工事

発注者名：埼玉県企業局

工 期：平成14年1月18日～平成17年3月18日

トンネル延長：約2,564m

マシン断面：掘削高φ2,090×幅4,230mm（横2連・分離型）

シールド形式：泥水式

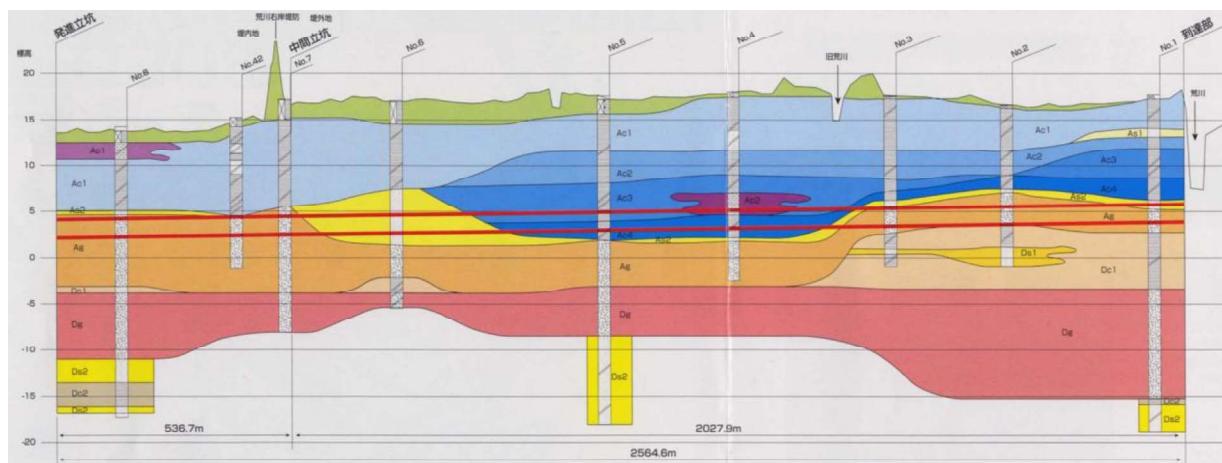
土被り：9～18m

(2) 地質概要

シールド通過断面は、発進および到達部では礫を主体としたAg層（長径200mm程度）、中間部ではN値10以下のAc層とN値10～15程度のAs層であり、一部多量の腐植物を混入する軟弱なAp層が上半部分に出現する。



平面図



縦断図

図-7.25 路線概要

(3) シールド

最小曲線半径 $R=100m$ に対応するため水平中折れ角を 2.0 度とし、前胴を互いにスライド可能な連結ピンで接合している。また、ローリング制御用に各シールド機に上下 1.0 度の中折れ（クロスアーティキュレート機構）を装備している。

表-7. 4 シールド諸元

外 径	$\phi 2,090\text{mm} \times 2$ 連
全 長	5,530mm
シールドジャッキ	500kN×1300st×8 本×2 基
中折れジャッキ	800kN×160st×4 本×2 基
中折れ角度	左右各 2.0° 上下各 1.0°
コピーカッタージャッキ	60kN×75st×1 本×2 基 60kN×30st×1 本×2 基

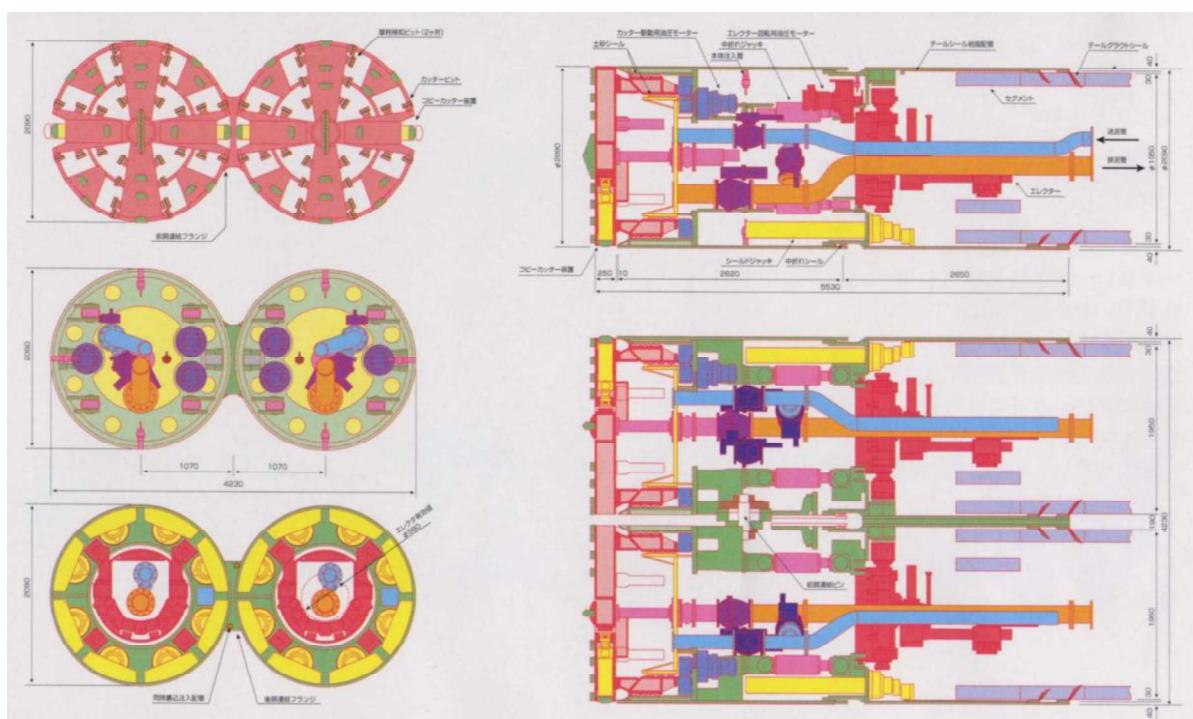


図-7. 26 シールド構造図



図-7. 27 シールド機全景

(4) エントランス

本工事では、特異形状となるカモメ部（2機のシールド接合部）に止水性の高いチューブ加圧式パッキンを用いた親子エントランスを採用し、親エントランスはシールドマシンの貫入時に、子エントランスはセグメント貫入時に確実な止水性が得られるよう分割した構造としている。

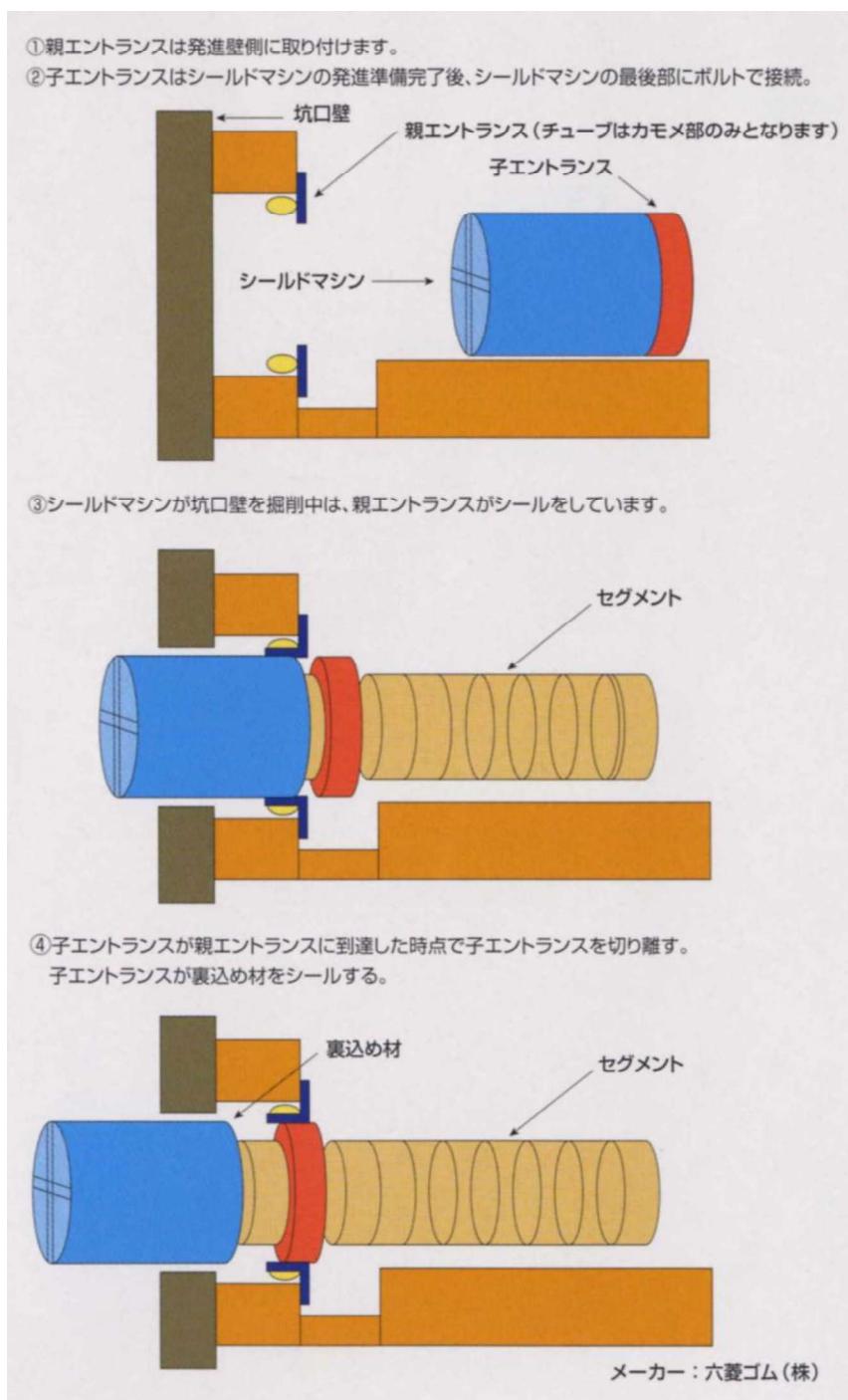


図-7. 28 親子エントランスによる発進手順

(5) セグメント

本工事では、互いに独立した分離型セグメントを使用して離隔 190mm の超近接単円並列トンネルを構築する。なお、二次覆工省略に適し、覆工厚さを薄くできるとともに、経済性、施工性に優れたコンクリート中詰め鋼製セグメントを採用している。

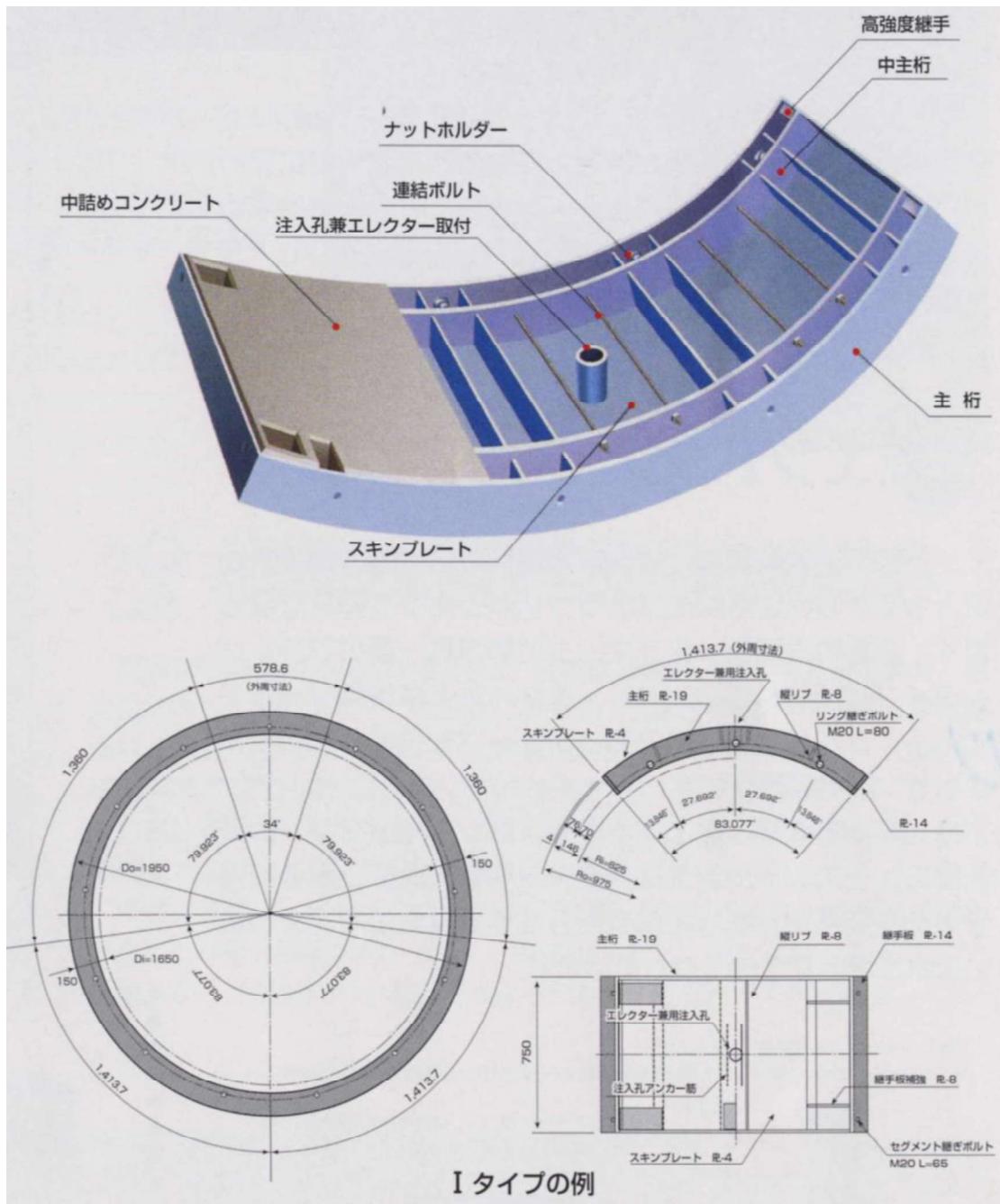


図-7. 29 コンクリート中詰め鋼製セグメント

7.5 第二溜池幹線及び勝どき幹線工事

(1) 工事概要

本工事は、千代田区番町地区、港区赤坂・溜池地区及び中央区銀座・築地地区の既設管渠の流水能力不足に対し、浸水対策の強化および水質改善に向けて整備するものである。

H&Vシールド工法を用いることにより大きさの異なる2本のトンネルを離隔295mmと超近接で同時に施工。さらに立坑を設けずに地中で分岐するものである。

工事名称：第二溜池幹線及び勝どき幹線工事

発注者名: 東京都下水道局

工 期：平成 22 年 10 月 16 日～平成 24 年 7 月 3 日

トンネル延長：第二溜池幹線 2,323m

勝どき幹線 1,016m

マシン断面: $\phi 9.0\text{m} + \phi 4.15\text{m}$ (横2連・分離型・分岐シールド)

シールド形式：泥水式

土被り : 39~42m



図-7.30 工事位置図

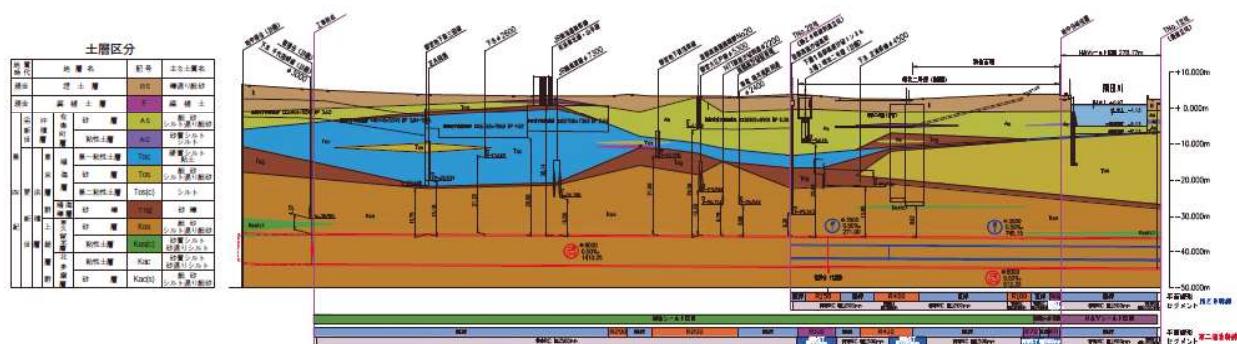


図-7.31 土質縦断図

(2) シールド

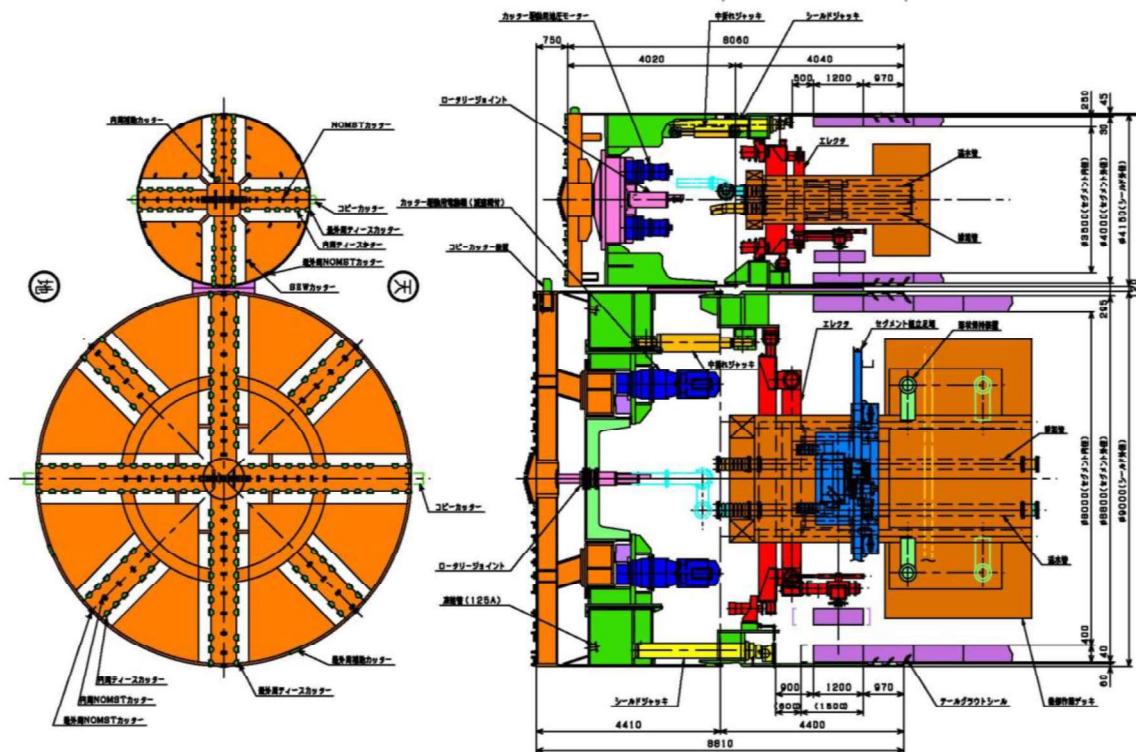


表-7.5 シールド諸元

	大径シールド機	小径シールド機
外 径	φ 9,090mm	φ 4,150mm
全 長	8,810mm	8,060mm
シールドジャッキ	2,500kN×2150st×29 本	1,000kN×1750st×16 本
中折れジャッキ	3,500kN×500st×16 本	1,500kN×450st×8 本
中折れ角度	左右各 5.0° 上下各 0.5°	左 4° 右 5° 上下各 0.5°
コピーカッタージャッキ	250kN×350st×2 本	150kN×200st×2 本



図-7. 32 シールドマシン全景

(3) シールド分岐手順

立坑を設けず、高水圧下においても補助工法なしで分岐します。

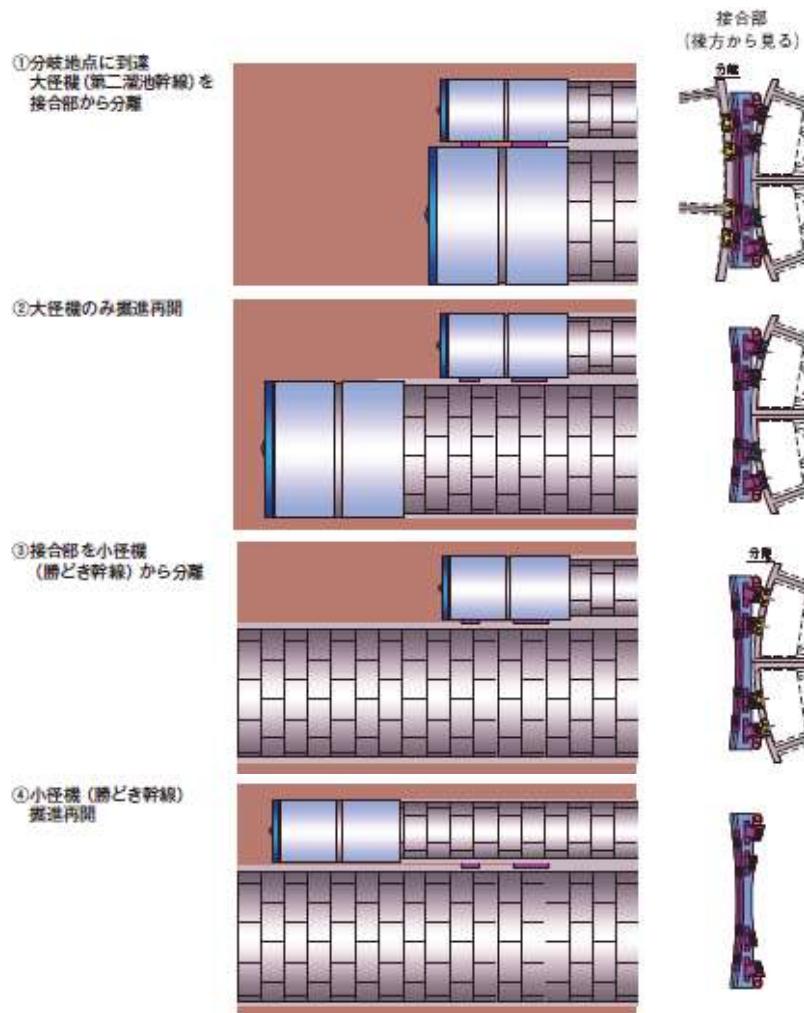


図-7.33 分岐手順

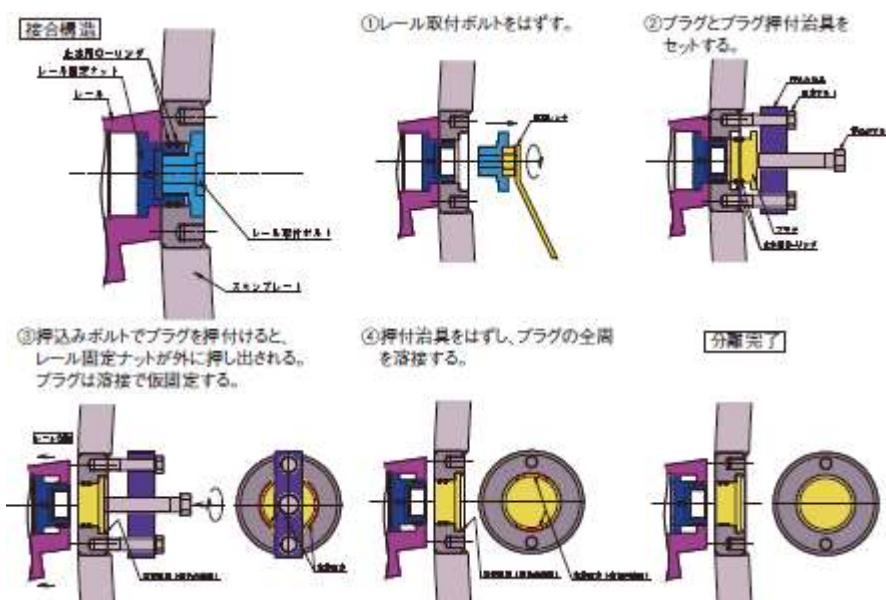


図-7.34 接合部の分岐手順

8. 参考資料

8.1 線形計算例

8.2 シールド

- (1) $\phi 2.12\text{m} \times 4.29\text{m}$ [泥水式]
- (2) $\phi 7.40\text{m} \times 14.86\text{m}$ [泥水式]
- (3) $\phi 7.40\text{m} \times 14.86\text{m}$ [土圧式]

8.3 セグメント

- (1) $\phi 2.00\text{m} \times 4.17\text{m}$ [鋼製セグメント]
- (2) $\phi 7.20\text{m} \times 14.66\text{m}$ [RCセグメント]

8.1 線形計算例

本文「5.2 線形の設計例」の詳細を示す。

(1) 線路線形条件

最小曲線半径 200 m

緩和曲線長 $\geq 0.4C$ (C はカント:mm)

$$\text{カント} = 8.4 \times \frac{V^2}{R} \quad (\text{Vは列車速度})$$

最急勾配 35/1000

(最緩勾配 2/1000)

縦曲線最小半径 平面 $R \leq 800$ のとき 4,000 m

その他 3,000 m

曲線間最小直線長 ≥ 20 m

最小円曲線長 ≥ 20 m

その他 緩和曲線内での縦曲線は避ける

(2) トンネル線形条件

スパイラル量 90 度

スパイラル区間 500 m

スパイラル度 $90/500 = 0.18$ 度/m (一定)

スパイラル中心 両トンネルの中心

スパイラル半径 3.73 m

(3) トンネル線形

平面X座標 $X = (3.73) \times \cos(0.18 \times \ell)$

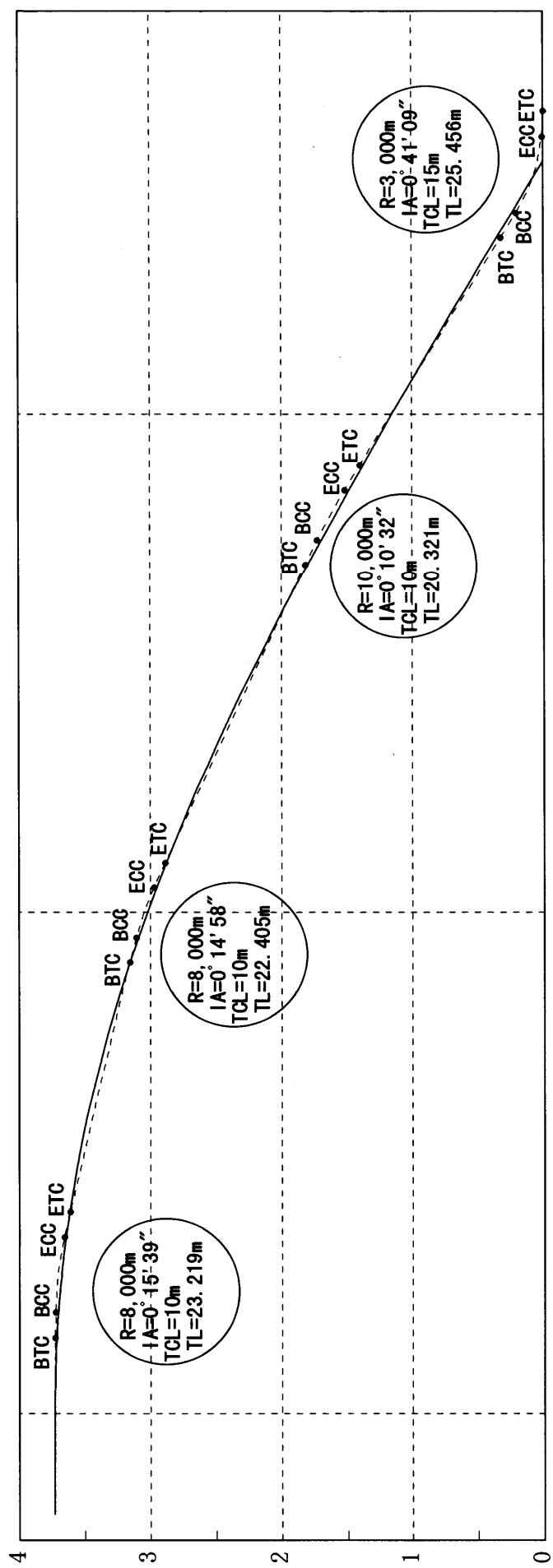
縦断Y座標 $Y = (3.73) \times \sin(0.18 \times \ell)$

(4) 線路線形

線路線形およびトンネル線形を以下に示す。

平面線形

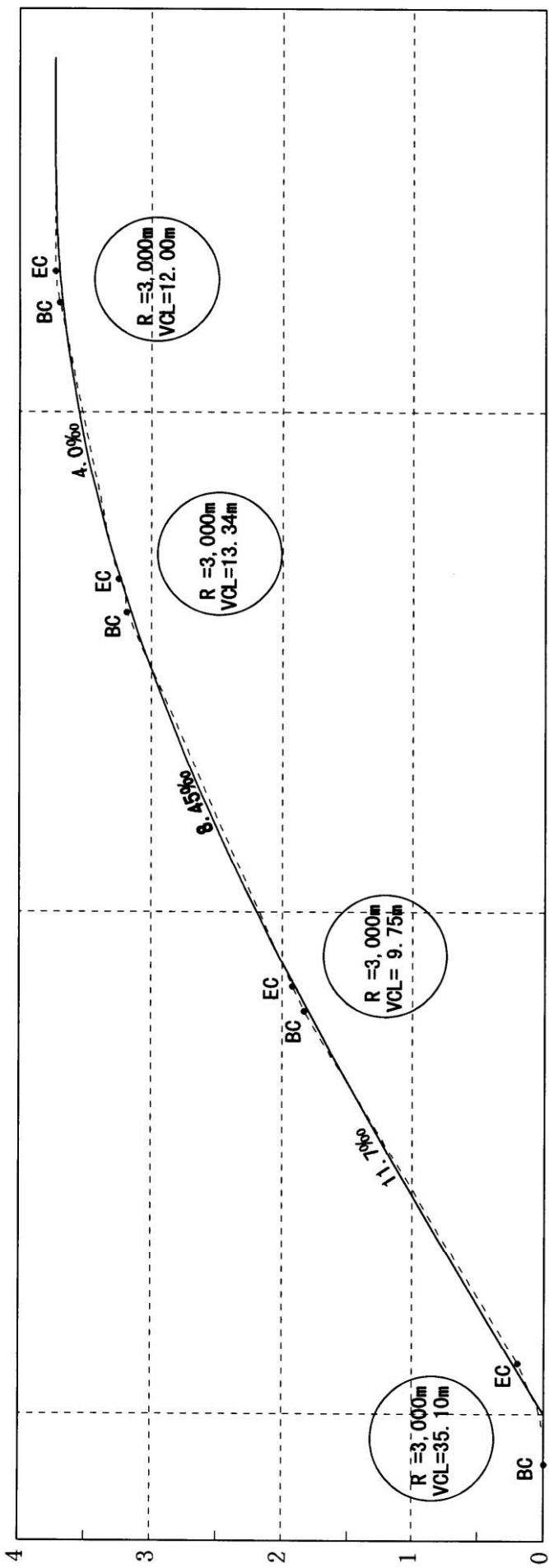
点線:線路線形(軌芯)
実線:トンネル線形(軌芯)



平面線形(X座標)			
ずれ (mm)	トンネル (m)	線路 (m)	距離程 (m)
0	3.730	3.730	-40.0
	3.730	3.730	-20.0
0	3.730	3.730	0.0
7	3.723	3.730	20.0
	3.701	3.728	40.0
33	3.676	3.709	54.0
	3.664	3.693	60.0
	3.613	3.612	80.0
	3.547	3.520	100.0
-39	3.468	3.429	120.0
	3.375	3.338	140.0
	3.269	3.247	160.0
	3.149	3.156	180.0
28	3.08	3.046	200.0
	2.874	2.887	220.0
	2.719	2.709	240.0
	2.553	2.531	260.0
-25	2.378	2.353	280.0
	2.192	2.174	300.0
	1.999	1.996	320.0
	1.797	1.818	340.0
40	1.588	1.628	360.0
	1.373	1.401	380.0
	1.153	1.161	400.0
	0.928	0.922	420.0
	0.699	0.682	440.0
	0.467	0.443	460.0
-29	0.234	0.206	480.0
	0.035	0.057	497.0
40	0.000	0.040	500.0
0	0.000	0.000	520.0
0	0.000	0.000	540.0

縦断線形

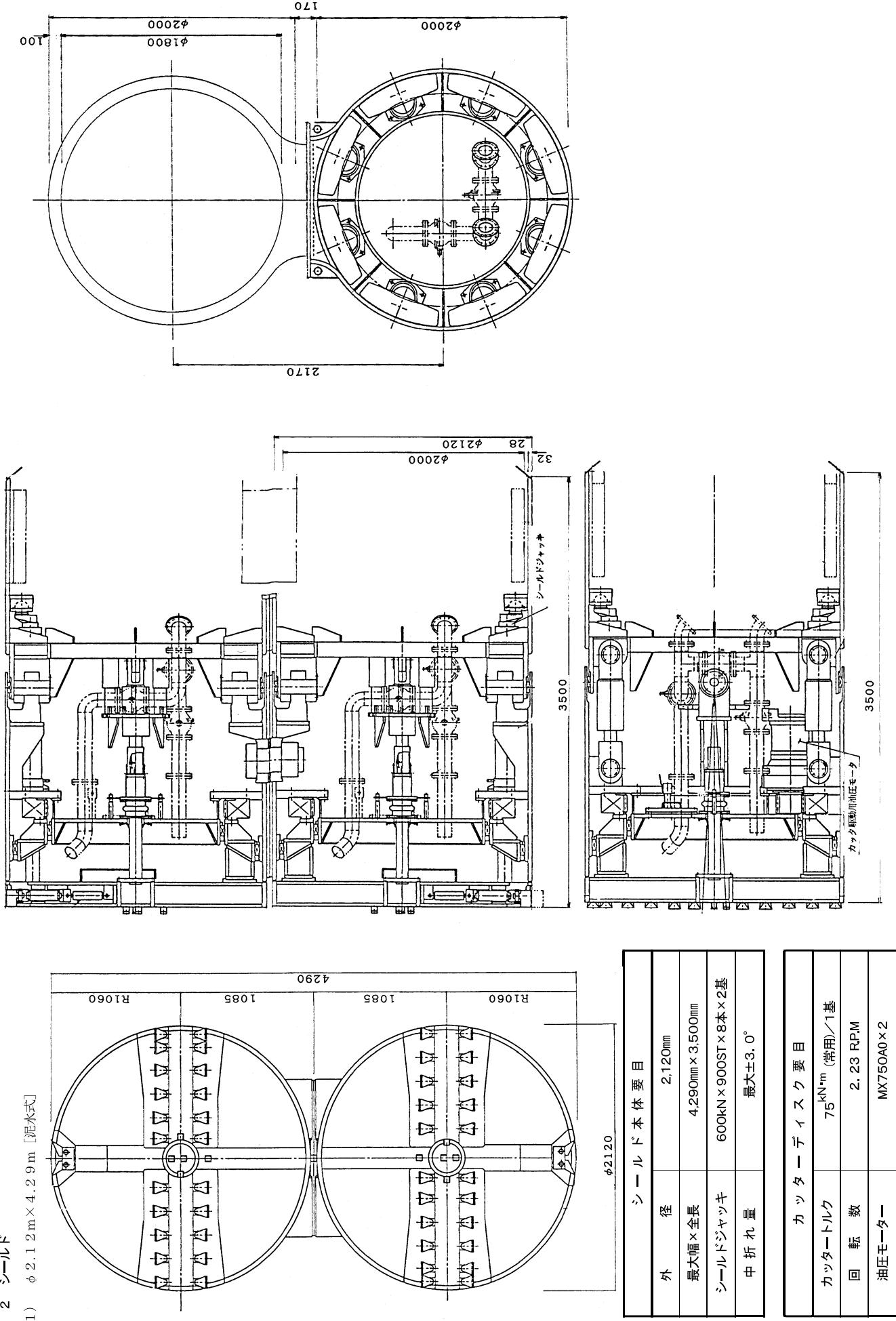
点線:線路線形(軌芯)
実線:トンネル線形(軌芯)



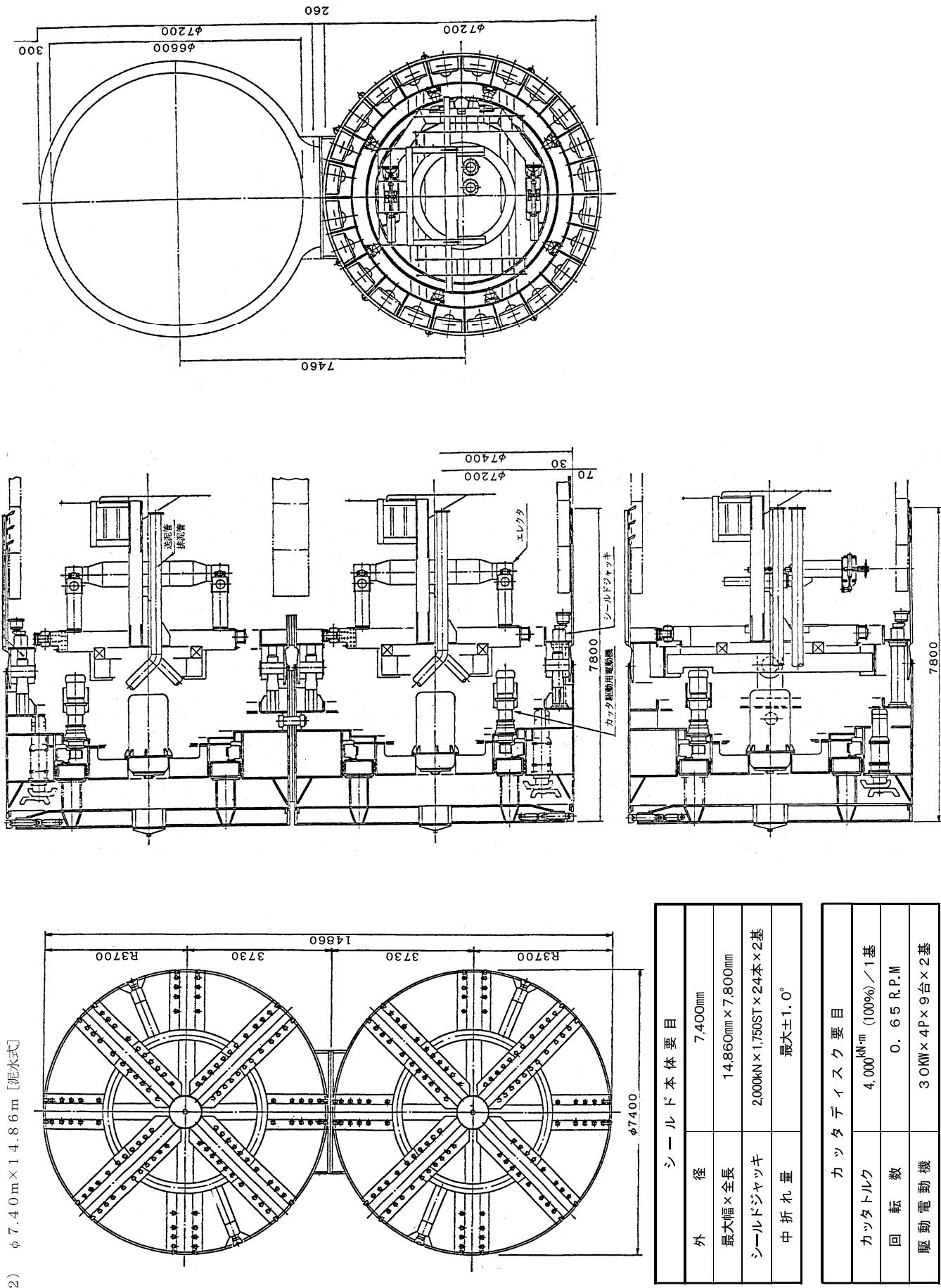
縦断線形(Y座標)			
ずれ (mm)	トンネル (m)	線路 (m)	距離程 (m)
0	0.000	0.000	-40.0
0	0.000	0.000	-20.0
35	0.000	0.035	0.0
	0.035	0.051	0.3
-35	0.234	0.199	20.0
	0.467	0.433	40.0
	0.699	0.667	60.0
	0.928	0.901	80.0
	1.153	1.135	100.0
	1.373	1.369	120.0
	1.588	1.603	140.0
36	1.797	1.833	160.0
	1.999	2.006	180.0
	2.192	2.175	200.0
	2.378	2.344	220.0
-41	2.553	2.513	240.0
	2.719	2.682	260.0
	2.874	2.851	280.0
	3.018	3.020	300.0
	3.149	3.186	320.0
39	3.168	3.207	323.0
	3.269	3.282	340.0
	3.375	3.362	360.0
-26	3.468	3.442	380.0
	3.547	3.522	400.0
	3.613	3.602	420.0
	3.664	3.682	440.0
36	3.688	3.724	452.0
	3.701	3.730	460.0
	3.723	3.730	480.0
0	3.730	3.730	500.0
	3.730	3.730	520.0
0	3.730	3.730	540.0

8.2 シールド

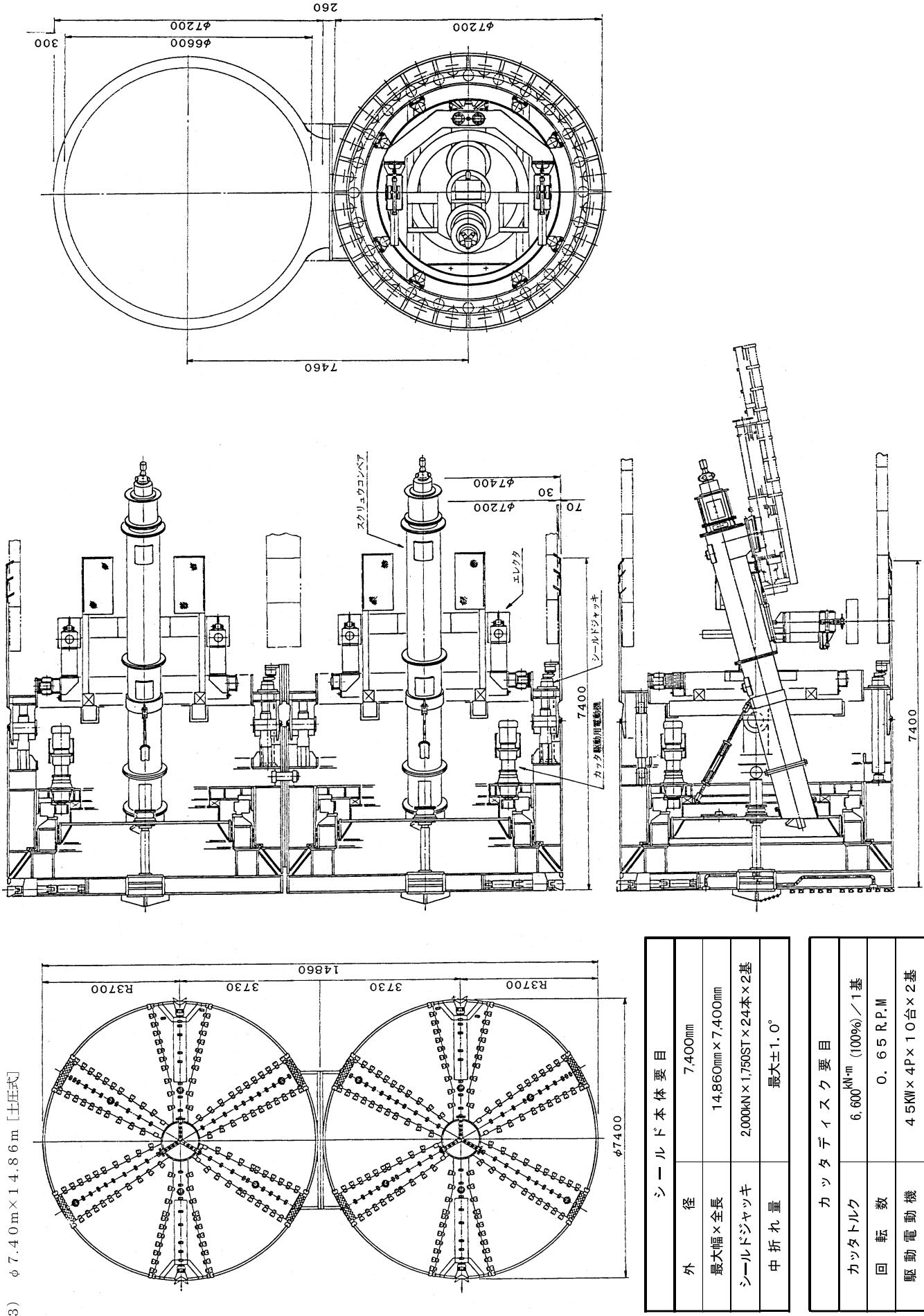
(1) $\phi 2.12 \text{ m} \times 4.29 \text{ m}$ [泥水式]



(2) $\phi 7.40\text{m} \times 14.86\text{m}$ [泥水式]

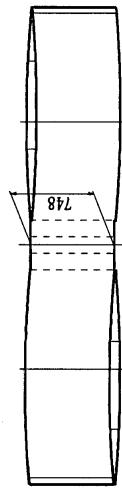
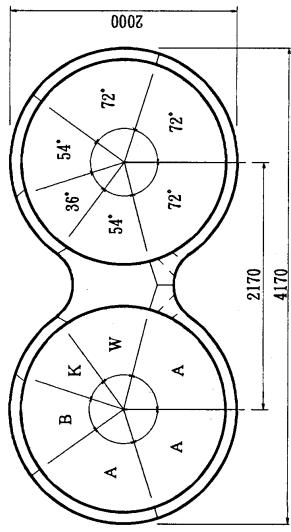


(3) $\phi 7.40\text{m} \times 14.86\text{m}$ [土压式]

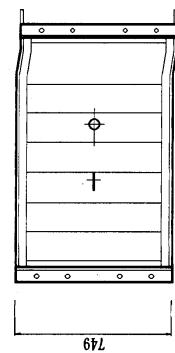
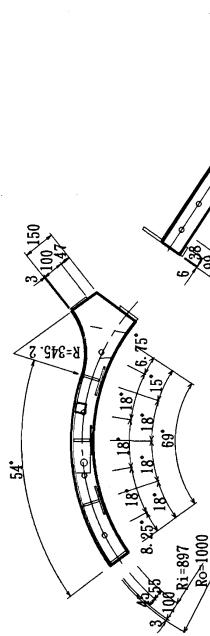


8.3 セグメント

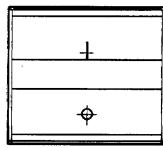
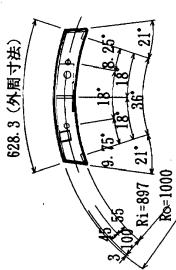
(1) $\phi 2,000\text{m} \times 4,17\text{m}$ (スパイラル度 = 2隻/m) [鋼製セグメント]



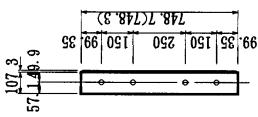
全体組立圖



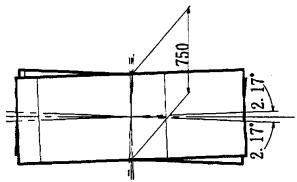
W型セグメント



K型セグメント



B型セグメント



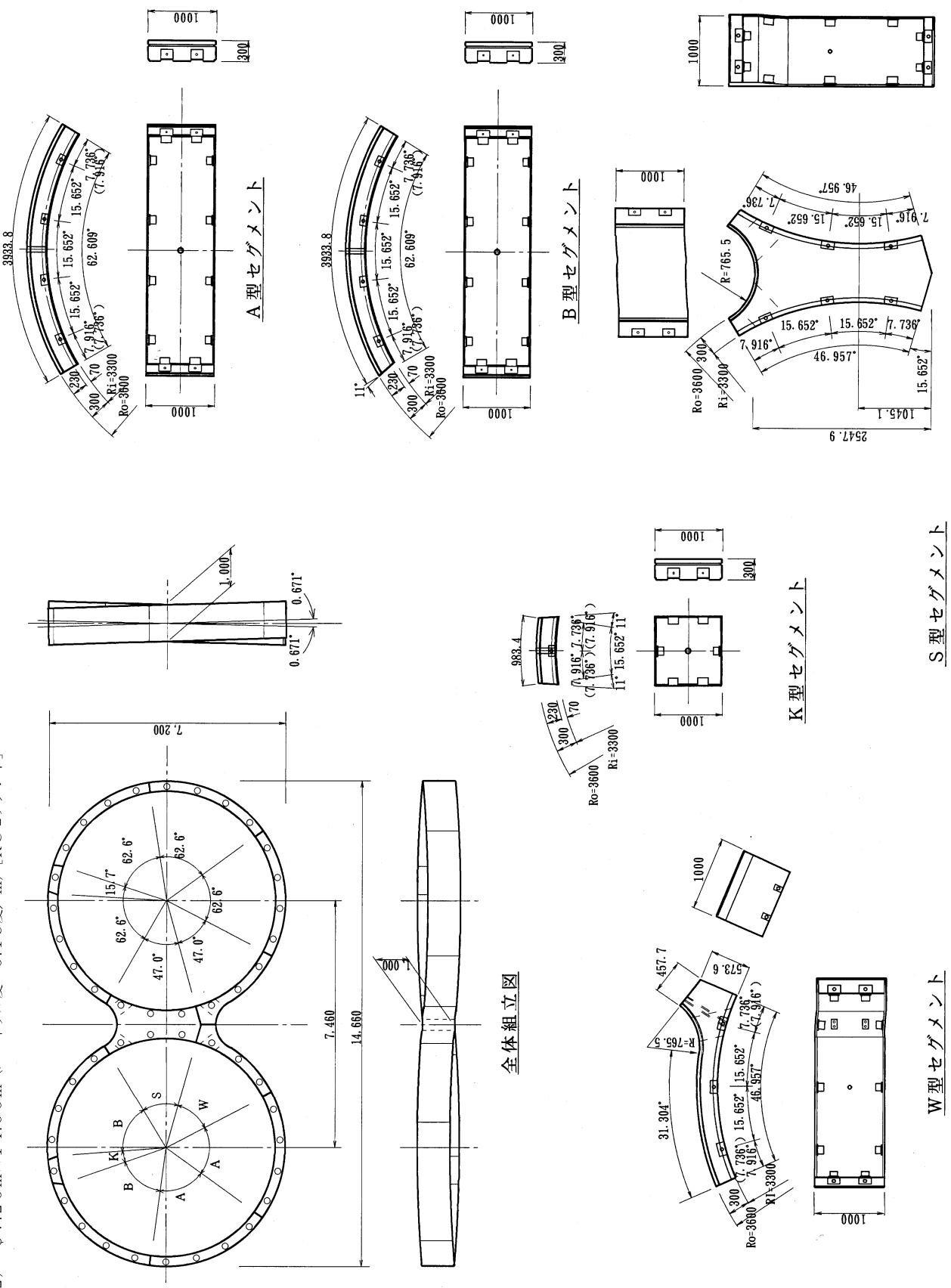
A型セグメント



A technical drawing of a double door cabinet. The cabinet has two doors, each featuring vertical panels and horizontal handles. A vertical dimension line on the left indicates a height of 748 units.

* () 内の数字は反対側寸法を示す

(2) $\phi 7.20\text{m} \times 14.66\text{m}$ (スハライラル度=0.18度/m) [RCセグメント]



* () 内の数字は反対側寸法を示す

H&V シールド工法技術資料

平成13年 3月 発行第1版

平成13年 7月 発行第2版

平成15年 3月 発行第3版

平成18年 4月 発行第4版

平成19年 6月 発行第5版

平成23年 8月 発行第6版

令和 2年 8月 発行第7版

シールド工法技術協会

URL : <http://www.shield-method.gr.jp>