ECL 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。現在の社会的要求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

［ＥＣＬ工法の位置付け］

シールド工法におけるＥＣＬ工法の位置づけを下記に示す。

- 基本系シールド工法
  - 全面開放型
    - 手掘り式シールド工法
    - 半機械掘り式シールド工法
    - 機械掘り式シールド工法
  - 部分開放型
    - ブラインド式シールド工法
  - 密　閉　型
    - 土圧式シールド工法
      - 土圧シールド工法
      - 泥土圧シールド工法
        - **泥土加圧シールド工法**
        - **気泡シールド工法**
        - **ケミカルプラグシールド工法**
    - 泥水式シールド工法
- 特殊系シールド工法
  - 断面形状
    - 円　形
    - 非円形
      - **偏心多軸シールド工法**
      - **ワギングカッターシールド工法**
    - 複円形
      - **ＭＦシールド工法**
      - **ＤＯＴ工法**
      - **Ｈ＆Ｖシールド工法**
    - 拡　幅
      - **拡大シールド工法**
  - 掘削線形
    - 直角施工
      - **球体シールド工法**
    - 急曲線・急勾配
  - 分岐・合流
    - 正面地中接合
      - **ＭＳＤ工法**
- 覆　　工
  - セグメント
    - 鉄筋コンクリートセグメント
      - **Ｐ＆ＰＣセグメント工法**
    - 鋼製セグメント
    - 合成セグメント
  - **ＥＣＬ工法**
- 施　　工
  - 施工設備
    - **省面積立坑システム工法**

第１編　技術資料

１．　概　要 …… １
１．１　工法の概説 …… １
（１）はじめに
（２）ＥＣＬ工法の概念
（３）ＥＣＬ工法の位置づけ
（４）旧ＥＣＬ協会登録の２０工法について
（５）各種の要素技術
（６）今後の発展に向けて
１．２　ＥＣＬ工法の特徴 …… １０
（１）工法の定義
（２）基本的な特徴
（３）基本的な施工方法
１．３　工法の適用範囲 …… １４
（１）地　質
（２）断面形状
（３）シールド形式
（４）トンネル径
（５）最小曲線半径
（６）ＥＣＬ工法の分類
２．　シールド …… ２２
２．１　シールドの計画 …… ２２
２．２　シールドの構成 …… ２２
（１）単胴ＥＣＬシールド
（２）複胴ＥＣＬシールド
（３）ジャッキのストロークについて
（４）ジャッキの接合について
（５）作動速度について
（６）中折装置について
（７）伸縮装置について
（８）シールドの重量
２．３　推進機構 …… ２６
（１）総推力について
（２）ジャッキの選定と配置について
（３）シールドの外径
（４）シールドの長さ

（５）ジャッキ盛替えについて
３．　コンクリート覆工 ・・・

４．９　補助工法 ･･ ４６
４．１０ 地盤沈下と構造物防護 ･･････････････････････････････････････ ４６
（１）沈下の原因
（２）沈下の挙動
（３）沈下量の予測
４．１１ 覆工コンクリートの施工一般 ･･････････････････････････････ ４８
（１）コンクリートの施工性について
（２）施工順序について
（３）打設圧力について
（４）初期養生について
４．１２　覆工コンクリートの配合 ･･････････････････････････････････ ５１
（１）コンクリートの強度(早強性、耐水性)
（２）コンクリートの施工性(流動性、スランプ、経時保持性)
（３）配合例
４．１３　覆工コンクリートの打設 ･･････････････････････････････････ ５２
（１）一般部の打設
（２）打継目の施工
４．１４　防水工 ･･ ５３
（１）一般の場合
（２）環境条件の厳しい場合
４．１５　施工管理 ･･ ５６
（１）材料管理について
（２）作業管理について
（３）出来形管理について
４．１６　計　測 ･･ ６０
（１）通　則
（２）計測計画
（３）計測の種類と計測項目
（４）計測結果
５．　施工設備 ･･ ６５
５．１　坑外設備 ･･ ６５
（１）覆工材料貯蔵設備について
（２）コンクリートプラント設備について
（３）計量設備について
５．２　坑内設備 ･･ ６８
（１）坑内運搬設備について

（２）覆工設備について
６．施工事例 ・・・

（４）施工結果
６．８　文京区弥生一丁目、千駄木一丁目付近枝線工事　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　８６
（１）工事概要
（２）覆工構造
（３）施工方法
（４）施工結果
６．９　野沢３丁目付近管路新設工事　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　８８
（１）工事概要
（２）覆工構造
（３）施工方法
（４）施工結果
６．１０　日高発電所新設工事のうち土木本工事（第二工区）　・・・・・・・・・・・・・・・・・　９０
（１）工事概要
（２）覆工構造
（３）主要設備
（４）施工結果
６．１１　帯水砂礫層における連続打設ＥＣＬ工法の施工　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　９３
（１）岡南シールド工事
（２）工事概要
（３）地質概要
（４）連続打設ＥＣＬ工法
（５）一次覆工コンクリート
（６）施　工
（７）周辺地盤の挙動

第１編　技術資料

１．概　要

１．１　工法の概説

（１）はじめに

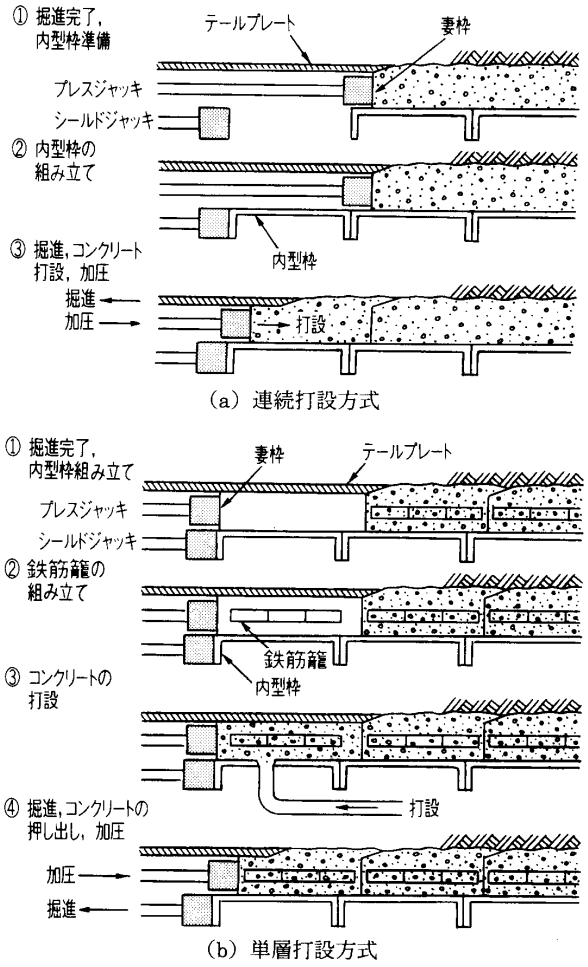
ＥＣＬ工法は、未だ発達途上にある若い技術である。このため、ＥＣＬ工法の構成は明らかに規整できても、要素技術とその組み合わせ方に評価の定まったものがそう多くあるわけではない。旧ＥＣＬ協会の登録工法が平成 10(1998)年 4 月で 20 工法に達するまでに至ったことは、トンネル技術に対する日本の旺盛な開発意欲の現われとはいえ、その反面、ＥＣＬ工法が未だ揺れ動く余地のある発達途上の技術であることを示唆していると思う。

このような観点から「概要」を担当するにあたっては、筆者の立場をまず明確にしておく必要がある。１つは、ＥＣＬ工法としてすでに固まっている基本的技術を概説することによって「概要」に続く諸講座の導入部を形成する。そして、２つ目は、筆者の関心にまかせていただき、ＥＣＬ工法のトンネル技術としての位置づけや要素技術の組み合わせが工法の多様化をもたらす背景などについて私見を述べ、分担の責めを果たさせていただくことにする。

ＥＣＬ工法は、トンネル技術の１工法として成立すると確信している。この連載講座によって関心がさらに高まり、他のトンネル工法に並ぶまでにＥＣＬ工法への理解が深まるよう望みたい。

（２）ＥＣＬ工法の概念

シールド、あるいはＴＢＭと呼んでも概念的にシールドと同じである機械などによるトンネルの掘削と、そのテール部における現場打ちコンクリート覆工とを一連の施工工程に組み込んだトンネル工法をヨーロッパにおいてＥＣＬ(Extruded Concrete Lining)工法と呼んでいる。これは、覆工用のフレッシュコンクリートがテール部から地盤側へ押し出される印象から命名されたものと思われる。ヨーロッパでＥＣＬ工法が都市トンネル工法として実用化されだしたのは 1970 年代[1] であり、ドイツのハンブルグ市の下水道工事[2] への適用は、早い方の実施例であった。1980 年代に入り、ドイツのフランクフルト市、エッセン市またフランスのリヨン市などの地下鉄工事[2] でも実用化され、現在に至っている。



図－１．１　ECL工法の概念図

日本においてもヨーロッパの情勢に呼応して昭和56（1981）年に東京都江戸川区の下水道工事でＥＣＬ工法の実用例[1]がみられた。この時期は、密閉型シールドが実用化に向けてようやく完成の域に達したときであり、シールド工法に目が奪われていてＥＣＬ工法に関心が寄せられるには至らなかった。昭和60年頃になってシールド工法に続く都市トンネル工法に目が向けられるようになり、にわかにＥＣＬ工法への関心が高まった。そして、平成10年4月には14件の実績を数えるまでになっている。

日本におけるＥＣＬ工法には、トンネル覆工をヨーロッパにならって無筋コンクリート造りまたはファイバーコンクリート造りにする考え方から、鉄筋コンクリート造りにする日本独自の考え方までがある（**図－１．１**）。これは、地盤条件や環境条件など都市トンネルを巡る諸条件が、ヨーロッパに比べて厳しいためである。旧ＥＣＬ協会の登録工法が多岐にわたるのは、覆工に鉄筋を入れる工程を組み込むところに関連が大きく、独自の技術として日本の技術者の克服すべき課題になっている。

このような事情から旧ＥＣＬ協会は、ＥＣＬ工法の成立要件として次の項目を掲げ、ＥＣＬ工法の定義[4]としている。

①　シールドの推進と同時にフレッシュコンクリートを加圧して空隙を充填し、地山に密着させる。

②　加圧によってフレッシュコンクリートを密実化させる。

これらによって地盤を緩めずに良質な覆工を形成することができる。付言すれば、これらはトンネル覆工法の基本を示したものにほかならない。

ＥＣＬ工法の構成にあっては、機械掘削と覆工法とをどのように連携させるか、フレッシュコンクリートの施工を地盤条件に適応させるにはどのような手段を用いるか、鉄筋籠の編成と建て込みの工程はどうするかなど、工法をシステムとして組み上げるには、多くの選択肢がある。これが工法を多様化するゆえんである。

（３）ＥＣＬ工法の位置づけ

シールド工法は、昭和50年代の初めに泥水式と土圧式シールドによる密閉型シールド工法を確立し、原則的には補助工法の助けを借りることなしに軟弱な都市地盤へ適用できるまでに進歩した。そして、現代シールド工法として開花したことは衆知のとおりである。

シールド工法のこの華々しい成果とＥＣＬ工法とがどのように係わるかについて筆者は次のような見解をもっている。

手掘り式シールド工法を主流とした伝統的シールド工法は、地山安定処理、施工機械としてのシールドおよびセグメントによる覆工とを工法の３大構成要素として成り立っている。これに対し、現代シールド工法は、切羽の安定対応をシールドの機能に取り込むことによって地山安定処理を基本的に必要としない工法を確立した。現代シールド工法が３大構成要素中前２者を結合することによって合理化に成功し、その結果、伝統的シールド工法から脱皮できたわけである。この事実によってシールド工法の向かうべき道を探れば、セグメントによる覆工までの工程を取り込んだ３大構成要素のシステム化技術が次の開発目標に浮かんでくるのは、技術一般の合理化指向からみて自然の成り行きである。日本の事情がこのような状況に置かれるようになった矢先に、既述のようにヨーロッパにおいてセグメントの工程をシールド工法のシステムに組み込んだＥＣＬ工法が出現した。いささか先を越された感はあるが、ＥＣＬ工法が、トンネル工法の次の対象になりうる技術であることを示唆している。

山岳トンネル工法の覆工技術は、コンクリートの発明によってれんが積みから現場打ちコンクリートの覆工へと進んだ。シールド工法では、れんが積みから鋳鉄製セグメントへと移行し、現場打ちコンクリート覆工を経験せずにセグメントの時代を続けて今日に至っている。この点、ＥＣＬ工法は、セグメントに対してそのあり方を探る反面教師の役割を担う立場にもある。この観点に立てば、セグメントによる覆工技術は、プレキャストの２次製品による現場施工の覆工という位置づけになる。この見解によれば、２次覆工は不要が建て前になるので、セグメントは、覆工としてすべての役割を受け持つ必要がある。言いかえれば、覆工としての強度は言うに及ばず、継ぎ手の防食、継ぎ目の止水から内面の仕上げなどまで含めてトンネルの使用目的にかなうものになっていなければならない。シールド工法が現場打ちのコンクリート覆工の歴史を経ずにセグメントに移行したのは、覆工技術が伴わなかったからである。そのため、トンネル工法の原点にもどり、ＥＣＬ工法によってシールド工法を見直すときが、今来ているとみるべきである。そして、両工法の特徴を生かし、トンネル工法の充実を図る必要がある。

ＮＡＴＭは、軟弱地山のトンネル施工に適する工法原理になり、シールド工法とともにトンネル技術を支える柱になっている。しかし、シールド工法が対象とする地盤は、自立できないのが建て前であるのに対し、NATM（山岳トンネル工法）が対象とする地盤は、自立するのが建て前である。したがって、地盤の自立性からみれば、両工法には地盤に対する適用性に本質的な隔たりが認められる。ＥＣＬ工法は、シールド（ＴＢＭ）を中心として、

切羽側はシールド工法の技術に依存するが、坑口側は地盤の自立時間が０でも対応できるまでに工夫した山岳トンネル工法の現場打ちコンクリート覆工の技術になると理解すれば、NATM（山岳トンネル工法）にも通じるとみることができる。この立場によれば, ECL工法は、シールド工法とNATM（山岳トンネル工法）との中間に位置する工法として存在価値を認めることができる。これに上述のＥＣＬ工法とシールド工法との関連性を加味すれば、これら３工法の並立がトンネル工法の隙間を埋めるのに役立つと言えよう。

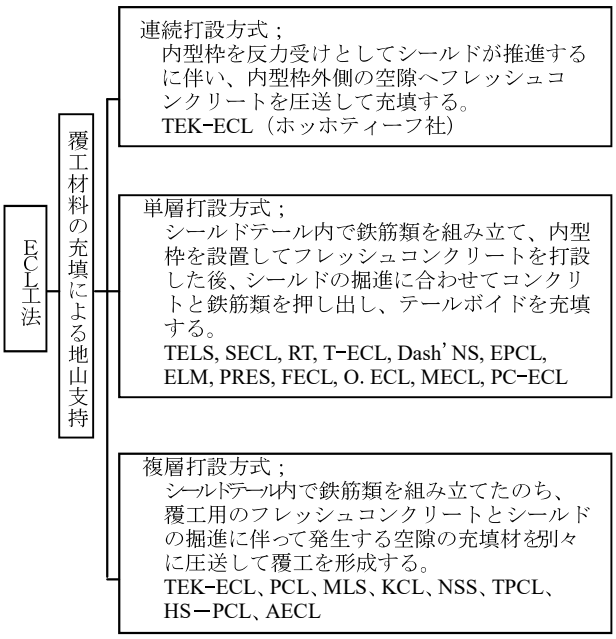
以上のような見解に立てば、ＥＣＬ工法の技術の確立は、現代シールド工法の栄誉を担う日本のトンネル技術者の責務である。日本の置かれた立場を認識して今後の励みとしなければならない。

（４）旧ＥＣＬ協会登録の２０工法[3)]　について

昭和62(1987)年に発足した旧ＥＣＬ協会に登録されたＥＣＬ工法は、平成10年4月で20工法に達している。このように多くの工法がみられるのは、既述のようにＥＣＬ工法が持つ表現法の多様性によっている。登録工法は、旧ＥＣＬ協会によってすでに分類されているが、筆者は、ＥＣＬ工法の特徴が顕著に現れるのはテール部におけるフレッシュコンクリートの打設とその押し出しによる地盤支持までの工程にあると考え、ここに視点を置いて**表－１．１**のように分類してみた。旧ECL協会のものと異なるところもあるが、簡明をねらったことでお許しをいただきたい。

表－１．１の連続打設方式はドイツの方式で、無筋コンクリートまたはファイバーコンクリートによる覆工に限られるから、日本の都市トンネルの現状では、この方式によってトンネルを仕上げるのは難しい。20 工法は、すべて都市トンネルへの適用をねらって有筋のコンクリート覆工を形成できる仕組みになっており、**表－１．１**のように単層または複層の打設方式のいずれかに分類することができる。これらの打設方式については改めて取り上げるが、単層打設方式は、テール内で打設したフレッシュコンクリートで覆工とテールボイドの充填とを同時に行う方式である。これに対し、複層打設方式では鉄筋籠を包み込むテール内のフレッシュコンクリートとテールボイドに充填する材料とを別々に供給する手法を採っており、シールド工法の裏込め注入の考え方に同じである。なお、これらの方式は有筋の覆工法であるから、その手法が無筋の場合に応用できることは指摘するまで

表－1．１　ECL工法の分類



（各種工法については参考資料[3)] 参照）。

もない。

（５）各種の要素技術

ＥＣＬ工法の構成にあたって重要と思われる要素技術のいくつかを取り上げる。選択した項目と内容とについては、もっぱら筆者の関心によるものである。

１）鉄筋籠について

テール内の限られた狭い空間で、トンネルの施工に合わせて鉄筋籠の編成と組み込みとを手際よく完了するには、数ピースをテール内で寄せ集めて鉄筋籠を組み立てる手法が用いられる。

重要なのは、鉄筋籠がフレッシュコンクリートを打設してから覆工の補強材として働くまでの間、配筋位置を設計どおりに保つ手段である。鉄筋籠はフレッシュコンクリートの流動によって変形したり、位置が変ったりするから、正規の位置を保つには工夫が必要である。登録工法にはそれぞれに提案がある。

２）打設したフレッシュコンクリートの押し出し方法

単層または複層の打設方式ではテール内で配筋を終えたのち、内型枠と妻枠を設置してフレッシュコンクリートを打設(サイクル打設)する。その後、シールドの掘進によって発生する地盤との間の空隙(テールボイド)に充填材を詰める工程へと進む。

単層打設方式では、テール内で打設済みのフレッシュコンクリートでテールボイドを充填することになるが、その手段として代表的なものを示せば次のようである。

① 流動性の高いコンクリートによる方法

② 機械的手段による方法

③ ①と②とを併用する方法

コンクリートは、狭い隙間を通って流動しにくい材料であり、鉄筋の間を縫ってテールボイドへ押し出すには、一般に難しさが伴う。このため、①によるにしても②を併用することが行われる。②として内型枠の振動は、型枠のマスが大きいだけに効果が顕著に現れないようである。これに対し、すでに組み込んである鉄筋籠を直接揺動してフレッシュコンクリートを流動させる方法は、効果が大きいことが確認されている。しかし、施工の融通性やコンクリートの品質などの諸条件から②によるにしても①への配慮は欠かせない。したがって、程度はさまざまにしても③によるのが一般である。

複層打設方式では、テール内で鉄筋籠を包み込むフレッシュコンクリートの打設とテールボイドへの材料の充填とが、それぞれ別系統で行われる。テールボイドへの充填は、シールド工法の同時裏込め注入と同様な手法が用いられるから、技術的にとくに問題になることはない。複層打設方式は、単層打設方式に比して設備がやや複雑になるし、施工の工程が増えることになる。

連続打設方式では、無筋のため、テール内に空間を作る必要がない(**図―１．１(a)**参照)。このため、覆工部とテールボイドとの充填に用いるフレッシュコンクリートをシールド工法の裏込め注入に類似な手法で一度に打設して押し出すことができる。

3）シールド掘進開始時におけるテール先端部付近の覆工の挙動について

フレッシュコンクリートを単層打設方式または複層打設方式で打設する場合には、**図ー1．2，3**のように、シールドは、地盤の土水圧に対抗するため、テール先端部付近が直近に打設したまだ固まり始めたばかりの覆工コンクリートにラップした状態から掘進し始めることになる。このときの状況は、シールド工法においてテール（シール）がセグメントと競り合った状態に似ている。この結果、セグメントのトラブルと同様、まだ強度がたりない覆工にはトンネル横断方向やトンネル軸方向の亀裂が発生しやすくなる。このような事態を避けるためには次のような手段が考えられる。

① テールプレート先端部分のラップ長を短くする。

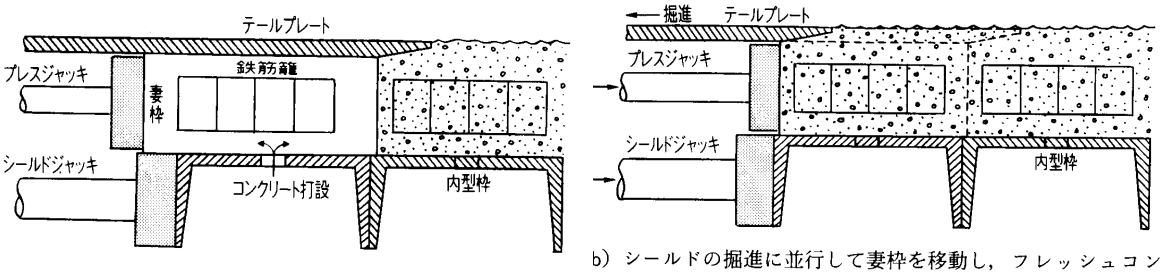
② テールプレート先端部分にテーパーを付ける。

③ ラップするテールプレート部分をフレキシブルにする。

④ 引張応力に抵抗できる覆工コンクリートにする。

単層または複層の打設方式では、①の手段は地盤との兼ね合いで採用が難しく、②か③または併用が適すると思われる。④は特殊な手段である。覆工コンクリートに有害な亀裂を発生させることは避けなければならないから、シールドの掘進初期にはテールプレートの先端部がせらないようにシールドを方向制御することが、亀裂防止の基本であることは言うまでもない。そのため、シールドに中折れ機構を設けることは、有効な対策になると思われる。

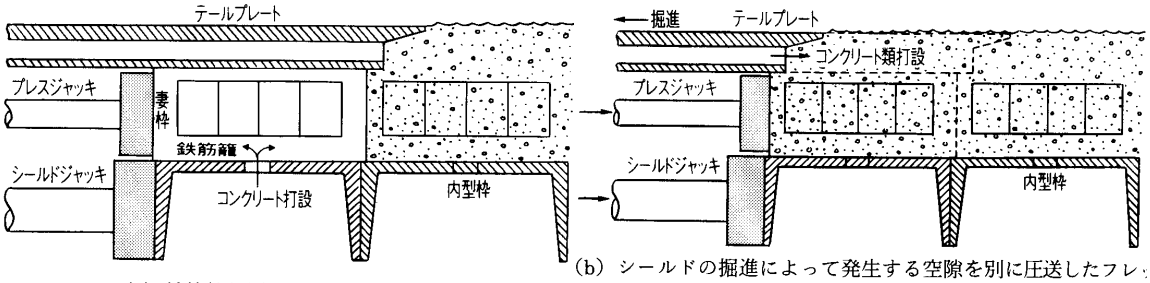
連続打設方式の場合には、テールに空間を作る必要がなく、フレッシュコンクリートを常にテール先端部に充満させておくことが可能になる（**図ー１．１(a)**参照）。したがって、地盤との兼ね合いを考えても①の手段を採用することができ、単層または複層の打設方式に比べてテール先端付近への配慮は軽減される。



(a) 鉄筋籠設置，コンクリート打設

b) シールドの掘進に並行して妻枠を移動し，フレッシュコンクリートをテールから押し出して空隙を充填する．

図ー1．2　単層打設方式の概念図例



(a) 鉄筋籠設置，コンクリート打設

(b) シールドの掘進によって発生する空隙を別に圧送したフレッシュコンクリート類で充填する．

図ー1．3　複層打設方式の概念図例

４）シールドテール部の止水について

単層または複層の打設方式の場合にテール内で鉄筋籠を組み立てるには、その作業空間が必要であり、テール内は一時期開放されることになる(**図－１．２，３(a)**参照)。このとき、直近に打設した覆工コンクリートの妻面は、自立して地盤から作用する土水圧に確実に対抗できなければならない。この条件を満たすためにECL協会の登録工法は、それぞれ妻面あるいは妻面近傍に対策を施している。しかし、水圧を持った地下水が、テールプレートと覆工コンクリートとの境界面に沿って浸入しやすいことは避け難いことである。有筋覆工のＥＣＬ工法が地下水のない地盤、また、あっても少ない地盤により適用性を有するという見解は、この点を強調したものである。

単層または複層の打設方式で浸入してくる地下水を押さえるには、地下水の浸入経路を伸ばして浸入水を抑制し、フレッシュコンクリートの打設を可能にする案が考えられる。しかし、単に経路を長くするためにテールプレートのラップ長を大きくするだけでは、３）の手段①から好ましくないが、この部分をフレキシブルにすれば、③によって長くする不都合を避けることができる。

連続打設方式の場合には、フレッシュコンクリートがテール先端部に充満しているから、妻枠の止水性を高めることで対応できる(**図－１．１(a)**参照)。水を押さえるためには、連続打設方式の方が単層または複層の打設方式に比べて容易である。しかし、地下水圧が高くなれば、止水は次第に難しくなる。

５）覆工の施工余裕厚について

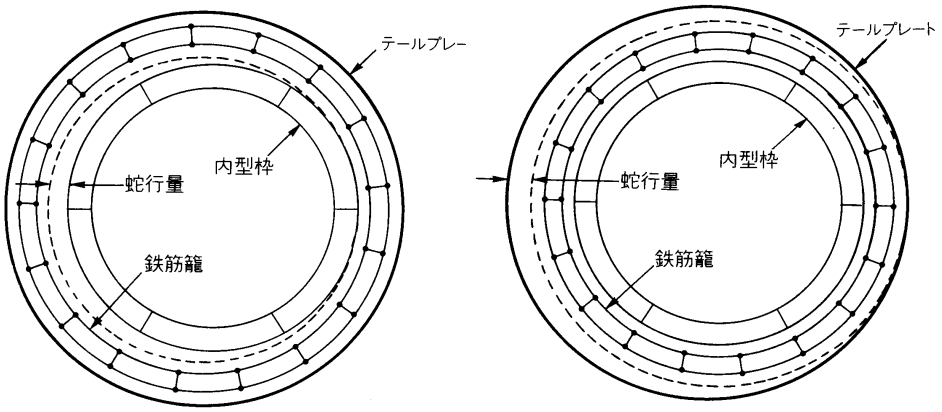
トンネルの施工に蛇行が伴うのはやむを得ないことである。ＥＣＬ工法でこれを吸収するには蛇行量を施工余裕としてあらかじめトンネルの寸法に見込んでおくことになる。

トンネル内空断面内に施工余裕を見込む場合は、施工余裕厚を加えて内型枠の外寸法を定めることになる。覆工厚内に施工余裕を見込む場合、無筋の覆工構造であれば、施工余裕分だけ覆工厚を大きくするだけですむ。しかし、有筋の覆工構造であれば、ＥＣＬ工法の構成によって施工余裕厚の取り方が違ったものになる。例えば、シールドのテールプレート内面を定規にして鉄筋籠を組み立てる形式にすれば、鉄筋籠の位置がシールドで規制されるから、施工余裕厚は、内型枠側に採る方が設けやすい(**図－１．４(a)**参照)。 これに対し、鉄筋籠を内型枠にならって取り付ける形式では、施工余裕厚は、テールプレート側に採る方が容易である(**図－１．４(b)**参照)。内型枠側に施工余裕を設ける場合には、鉄筋のかぶりを定められた厚さより大きくすることができる。

６）内型枠について

内型枠は、打設したフレッシュコンクリートのプレス圧に耐えて覆工の寸法精度を保持し、また地山荷重を支持し、さらに掘進時のシールドジャッキの反力受けなどとして利用される。

内型枠の構造は、強度と剛性を確保するために重量が相対的に大きくなりやすい。また、切羽の限られた空間で行われる諸作業は、互いに競合するから、とくに断面の小さいトン



(a) テールプレートを規準にして鉄筋篭を設置する場合　(b) 内型枠を規準にして鉄筋篭を設置する場合

図―1．4　覆工厚内に見込む施工余裕

ネルでは、かさばる内型枠とその他の設備との取り合いに配慮が必要である。このような事情から、ＥＣＬ工法指針(案)[4]では「1-3 ＥＣＬ工法の適用範囲 解説4) トンネル径」において、能率よく施工できるトンネルの最小仕上がり内径を２ｍ前後としている。しかし、小トンネルへＥＣＬ工法の適用を拡大することは望ましいことである。この方向の１案として内型枠がそのまま覆工になるよう、内型枠に使い捨てのプレキャスト製品(セグメント)を用いるシールド工法なみの考え方もある。

ＥＣＬ工法のトンネル覆工は、内型枠の外側寸法で仕上がるから、シールド工法のセグメントの場合に比べて、内型枠は規格化に有利である。しかし、そのためには、登録工法間にルールを設ける必要があり、関係者が早期に検討に入ることが望まれる。

７）施工継ぎ目の処理について

単層または複層の打設方式のＥＣＬ工法では、施工の１サイクルごとに鉄筋籠を組み込むから、場合に応じて施工継ぎ目がでるのは避けられない。施工継ぎ目が直接地盤に通じていれば、漏水の原因になるから、フレッシュコンクリートの打設に先だって直近に打設した覆工コンクリートの妻面の処理が必要になる。手段としてはシール材や止水板の使用、研り、その他など考えられるが、狭い空間での対処になるだけ、工夫すべきところがある。

以上、それぞれ項目を掲げ、私見を交えて説明したが、続く講座と重複する可能性のあるところは、触れないかまたは簡略にするようにした。しかし、ＥＣＬ工法を構成するにはもろもろの要素技術の組み合わせが必要であり、構成法によっては、ここに取り上げないのは片手落ちのそしりをまぬがれないものがあるかもしれない。その場合は寛容に願わざるを得ない。いずれにせよ、ＥＣＬ工法は未だ固まらない技術であり、早期によりよい構成に進むよう期待する。

（６）今後の発展に向けて

現代シールド工法は日本を中心として目覚ましい成果をあげたが、これは、シールドという機械分野の成果が主になっている。ＥＣＬ工法がヨーロッパで都市トンネル工法とし

て実用化されたのは、土木分野の覆工に開発の余地を見いだし、シールド工法に先を越された日本の技術に巻き返しを図った成果であるとみることもできよう。このように考えれば、よい技術を創り出して行くのはリーダーの務めであり、常々研鑽を積むよう努力が必要になることを暗示している。

ヨーロッパのＥＣＬ工法は、連続打設方式が示すように有筋の覆工構成法としては成り立たない。そこをねらって有筋の覆工構成法による多くの登録工法が日本に現れたのである。このことは、シールド工法に成果をあげた日本のトンネル技術の誇りを支える証であろう。シールド工法に開発の余地が残されているセグメント関連の技術にもよい成果をあげたいものである。そして、ＥＣＬ工法がその対象になりうる技術であることは、トンネル工法の原点にもどる立場から許されなければならない。一方、セグメントの技術それ自体も、ＥＣＬ工法を他山の石として見直しを迫られる立場にある。日本ではシールド工法の需要が未だ盛んであり、技術者は、これらの分野に挑戦できる恵まれた環境に置かれている。是非とも成果を得て、期待にこたえる必要がある。そして、トンネル工法を完成系に近づける糸口にしたい。

このためには、ＥＣＬ工法の応用分野にも目を向ける必要がある。その１つとして異形断面シールド工法の覆工法にＥＣＬ工法が考えられると思う。複円形シールド、楕円形シールド、矩形シールドなどの実用化にみられるように、ニーズに応じて異形断面シールド工法の発展は目覚ましい。しかし、そこで利用するセグメントは、その構造から製作、さらにトンネル切羽での組み立てに至るまで、円形断面のシールド工法に比べての不利は免れない。この点、現場対応でこれらのことを処理できるＥＣＬ工法は、問題点を克服できる対象として検討に値すると思う。

もう１つの対象として山岳トンネル工法の斜坑の建設にＥＣＬ工法の応用はどうであろうか。斜坑では施工スピードに対する要求が比較的に厳しくならないから、ＥＣＬ工法に好都合になるのではないかと想像される。

ＥＣＬ工法が都市トンネルの円形シールド工法に利用され始めて間もない現状において、異形断面シールド工法や斜坑掘削にまでＥＣＬ工法の適用を拡大しようというような提案は、時期尚早の感はある。しかし、山岳トンネルの水平坑においては、異形断面のＥＣＬ工法が秋間トンネル[5)]　の施工にすでに採用されている。常に先を見つめて努力したいものである。

ＥＣＬ工法がトンネル建設の一分野を担当するに値することはトンネル工法の原点にもどって考えれば、否定する余地はない。そのうえに立って、シールド工法や　ＮＡＴＭなどの他のトンネル工法に伍（ご）して行くＥＣＬ工法のあり方が探られなければならない。ＥＣＬ工法に一日も早くところを得る日が来ることを願ってやまない。今や日本のトンネル技術者の立場は、他に頼って結果を待ち、その実りを摘むことが許されないところまできている。努力してＥＣＬ工法でよい成果をあげたいものである。

１．２　ＥＣＬ工法の特徴

（１）工法の定義

ＥＣＬ工法とは、シールドあるいはＴＢＭなどのトンネル掘削機のテール部において、現場打ちコンクリートで覆工を構築する工法についてのヨーロッパにおける呼称である。これに対して日本国内における「ＥＣＬ工法」は、シールドを使用して掘削を行い、シールドテール部でコンクリートを打設し覆工を構築するトンネル施工法で、原則として以下に示す①と②を満足する施工法と定義している。

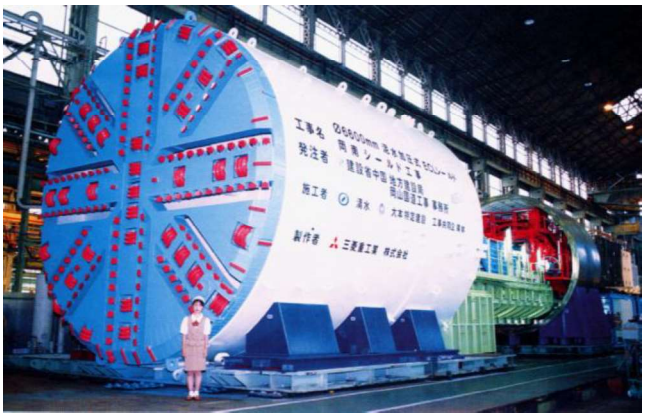
①　シールドの推進と同時にフレッシュコンクリートを加圧して空隙を充填し、地山に密着させる。

②　加圧によってフレッシュコンクリートを密実化させる。

以上の定義は「ＥＣＬ工法指針(案)〔設計編〕」の中で示されているものであり、設計にあたっての基本的な考え方は、上記の定義を背景に記述されている。

ＥＣＬ工法の基本的な施工法は、原則として①と②の両者を満足させることが必要である。①の加圧による地山への密着の効果は、セグメント工法における裏込め注入よりも地山との高い密着度が得られ、構造の安定性が向上し、地山の変形が抑制されるところにある。②の加圧によるコンクリートの密実化の効果は、コンクリートの強度増加が図られ、高品質の覆工が構築されるところにある。ただし、①以外の方法で地山へ密着させる効果が得られる施工法の場合は、②の加圧による密実化だけであってもＥＣＬ工法として取り扱いができることにしている。

覆工材料はコンクリートを基本とし、条件に応じてこれを補強する鋼材などを使用する。補強材としては、鉄筋、鉄板、ＰＣ鋼材、形鋼などの使用実績が報告されている。また、ヨーロッパにおいて補強材としてすでに実績のある鋼繊維の使用も国内において予定されている。



写真－１．１　シールド機械

写真－１．２　トンネル坑内

覆工構造には、一次覆工でトンネルの構造体を完成させるシングルシェル方式と一次覆工と二次覆工でトンネルの構造体を完成させるダブルシェル方式がある。

なお、ＥＣＬ工法においてよく使用される用語については次のように定義されている。

・シールドジャッキ；型枠などに反力をとり、シールドを推進するためのジャッキ
・プレスジャッキ；フレッシュコンクリートを加圧し、圧力を維持するためのジャッキ
・プレスリング；フレッシュコンクリートを加圧し、圧力を維持するための加圧板で、妻型枠としての機能を共有する
・プレス圧；フレッシュコンクリートを充填、密実化するために加圧する圧力
・内型枠；推力やプレス圧を支持する覆工コンクリートの内側型枠
・鉄筋ブロック；組み立て施工性の向上を目的とし、分割した鉄筋籠
・覆工厚；内型枠面から地山までの覆工の厚さ
・有効覆工厚；設計上考慮する覆工の厚さ（設計覆工厚）
・施工余裕厚；シールドの蛇行、内型枠の組み立てなどによる施工誤差が生じても、有効覆工厚を確保するために覆工厚に見込む余裕厚さ
・外周充填厚；テールプレート外面と地山までの厚さ
・打設長；１サイクルで打設するコンクリートのトンネル軸方向の長さ
・プレス長；加圧によるコンクリートの収縮あるいは地山への密着により、プレスリングがトンネル軸方向に移動する距離
・覆工長；(覆工長)＝(打設長)－(プレス長)
・プレス量；(プレス量)＝(プレス長) ×（妻面の面積）
・打継ぎ部；コンクリートの打設サイクルごとに生じる鉛直打継ぎ部
・妻面；加圧後に開放したコンクリートの妻部
・妻面補強材；妻面の自立性を確保するための補強材料
・シングルシェル；一次覆工だけで完成させる覆工構造
・ダブルシェル；一次覆工の内側に二次覆工を構築して完成させる覆工構造

（２）基本的な特徴

ＥＣＬ工法の基本的な特徴は以下に示すとおりである。

①　高品質な覆工体を構築

フレッシュコンクリートを加圧するため、コンクリート中の余剰水が排出されて、コンクリートの密実化の効果により強度増加が図られ、高品質の覆工が構築できる(**図－１．５**)。

②　幅広い適応が可能な覆工形式

覆工の種類として、鉄筋コンクリート(ＲＣ)、無筋コンクリート(ＮＲＣ)、繊維補強コンクリート(ＦＲＣ)、鉄骨補強コンクリート(ＳＲＣ)、プレストレストコンクリート(ＰＣ)など、条件に対応した合理的な覆工を構築することができ、幅広い適応性がある。

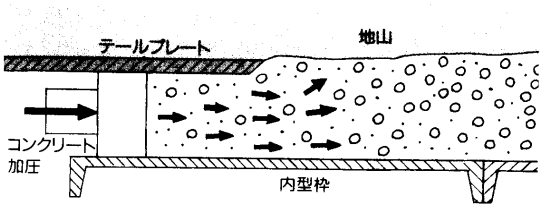
③　地盤沈下の抑制

シールドの推進に合わせて打設したまだ固まらないコンクリートをテールボイドに逐次充填されるように加圧する。したがって、覆工コンクリートは、掘進と並行して土圧・水圧に対応した圧力で加圧されるので、地山の変形を最小限に抑えることができる(**図－１．**

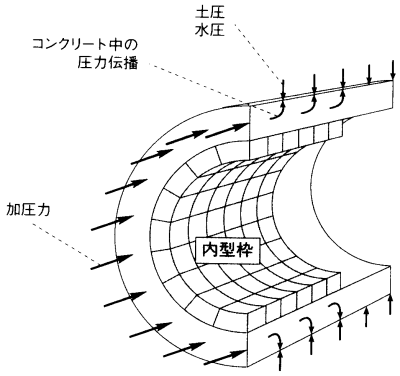
６）。

④　工費低減・工期の短縮が可能

直打ちコンクリートによって直接覆工するため、シールド工法におけるセグメントの一次覆工、裏込め注入、二次覆工の工程を必要とせず、施工法の合理化を図ることができる。したがって、トンネル用途に応じて二次覆工を省略することができ、また、地質条件に対応した覆工形式を選択できるため、工費の低減・工期の短縮が可能となる。



図－１．５　ＥＣＬ工法概念図



図－１．６　地盤沈下抑制概念図

（３）基本的な施工方法

ＥＣＬ工法の施工システムは、主に覆工の補強方法によって異なる。コンクリート打設方法、覆工体の構造に着目し、種々のシステムが現在開発されているＥＣＬ工法を分類すると**表－１．２**のようになる。

表－１．２　ＥＣＬ工法の分類

コンクリート打設方法		覆工体の構造
打設方法１	打設方法２	
連続打設	単層打設	無筋、ファイバー
	複合打設	無筋、鉄骨、ファイバー
サイクル打設	単層打設	鉄筋、鉄骨、ファイバー、プレストレスト
	複合打設	鉄筋、鉄骨、プレストレスト

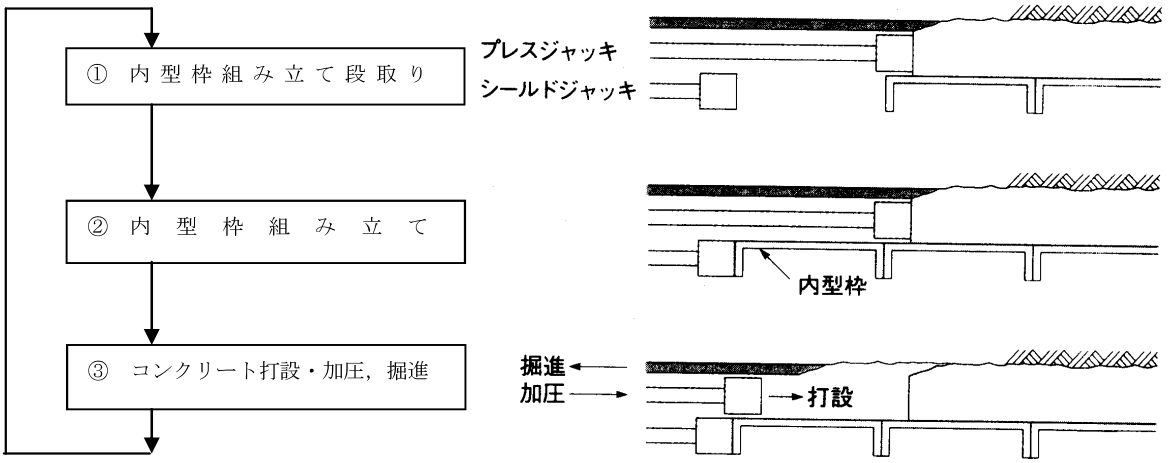
コンクリート打設方法によってＥＣＬ工法の施工法は次のように異なる。

１）コンクリート打設方法１（連続打設とサイクル打設）

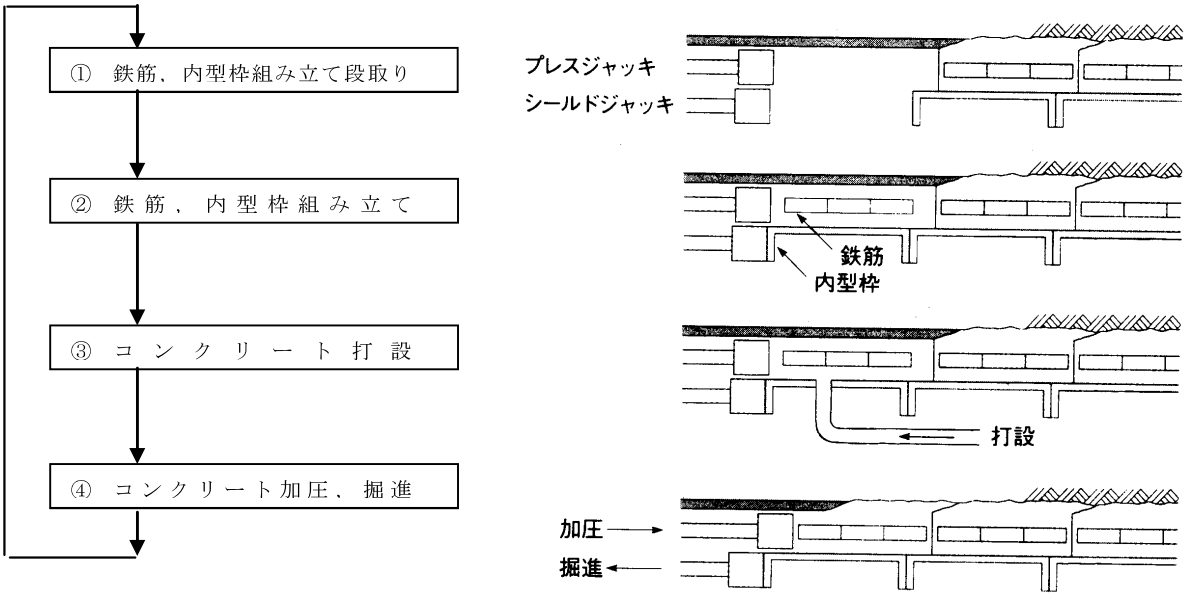
連続打設は、打継ぎ部の処理をする場合以外は妻型枠を脱型しないで連続的にコンクリートを打設するものである。サイクル打設と比較すると、妻型枠を脱型しないため、施工速度が速く、地下水圧からの影響を受けにくいという特徴がある。

サイクル打設は、鉄筋などを挿入するため、各サイクルごとに妻型枠の脱型・組み立てが行われる。鉄筋、鉄骨などでコンクリートを補強する場合に用いられるシステムである。

なお、打設方法による分類は、ＥＣＬ工法の中でも非常に大きな分類であり、連続打設とサイクル打設では積算の考え方が大きく異なる。**図－１．７，８**に連続打設、サイクル打設の施工フローを示す。また、**図－１．９**にＥＣＬ工法の全体設備配置参考図を示す。

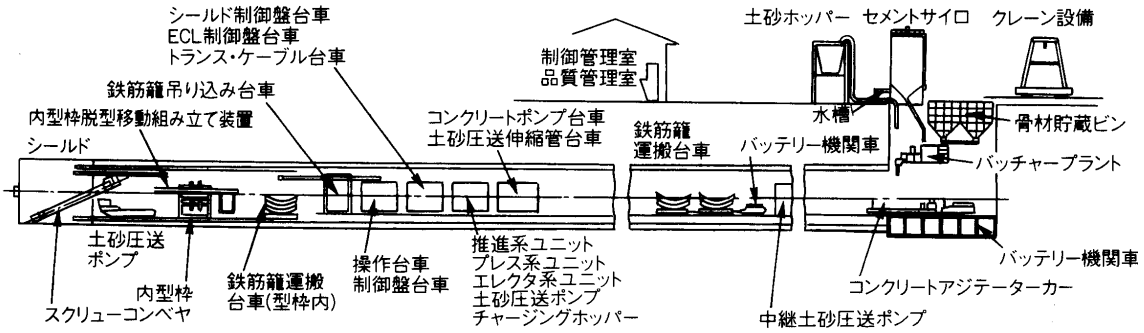


図－１．７　連続打設施工フロー(無筋の場合)



図－１．８　サイクル打設施工フロー(鉄筋を用いる場合)

２）コンクリート打設方法２(単層打設と複合打設)



図－１．９　ＥＣＬ工法全体設備配置参考図

単層打設は、コンクリートを一度に打設する方法である。また、コンクリートの加圧あるいは充填方法として２回以上に分けて打設する複合打設システムも開発されている。

１．３　工法の適用範囲

ＥＣＬ工法は、地山の安定性や施工法を確保し、直打ちコンクリートで良質な覆工を構築できる範囲で適用する。

ＥＣＬ工法の適用可能な範囲は、以下に示す地質・断面形状・シールド形式・トンネル径・最小曲線半径などによって基本的に定められる。

（１）地　質

基本的には、シールドで掘進できる地山であれば適用が可能である。これまでに国内外で沖積層・洪積層・第三紀層などで施工実績があり、適応性が立証されている。

なお、軟弱な沖積粘性土層、地下水圧の高い場合には、適用にあたっては十分な検討を行う必要がある。

鉄筋などでコンクリートを補強する場合は、施工サイクル間でコンクリートの妻部を開放しなければならない。したがって、コンクリートは加圧力によって密実化しているとはいえ、強度が十分に発現していないために、地下水が高い場合にはコンクリート妻面が自立しないことがある。

無筋コンクリートあるいは鋼繊維補強コンクリートを使用する場合には、コンクリートの妻部を開放することがないので、テール部における耐水圧性を保持できるため、国外では水圧 0.5MPa 以上の施工例がある。

（２）断面形状

一般にトンネルの断面形状は、円形や馬蹄形が多く採用されている。ＥＣＬ工法の場合は、セグメント工法と同様に円形が基本であるが、コンクリートの充填、加圧力の伝達が可能であればどのような形状でも施工が可能である。これまでのＥＣＬ工法での施工実績には、円形と馬蹄形の断面形状がある。

（３）シールド形式

従来の掘削機構をそのまま使用するので、開放型から密閉型まで基本的にすべての形式のシールドに適用可能である。これまでに土圧式、泥水式、機械掘り式、半機械掘り式、手掘り式での実績がある。

なお、シールド形式を選定する場合の留意点として次のようなものがある。

①　開放型シールド

・コンクリートへの加圧力とシールド推進抵抗とのバランス

・加圧によるコンクリートの切羽への回り込み防止

②　密閉型シールド

・泥水式シールドでは、泥水のテール部への回り込み防止のため、泥水圧と連動した加圧力の設定

・土圧式シールドでは、チャンバ内土圧と連動した加圧力の設定

ただし、部分開放型シールド（ブラインドシールド）は地山を塑性流動させて掘進するために、推力を大きく変動させるのでＥＣＬ工法の採用は好ましくない。

（４）トンネル径

基本的には大口径から小口径までのトンネルに適用できる。ＥＣＬ工法における坑内設備は、通常の掘進関連設備のほかに、コンクリート関連設備、型枠設備などがテール部から型枠存置区間に配置される。このため効率よく施工できる最小径は、仕上がり内径 2m 程度である。

また、最大径はセグメント工法と同程度まで施工可能である。

（５）最小曲線半径

テール部に打設されたコンクリートはテールプレート内面に密着し、セグメント工法のようなテールクリアランスが存在しないことから、シールドの曲線施工の抵抗になる。

また、急曲線の施工においてはコンクリートに偏荷重を加えることになり、覆工コンクリートの強度に影響を与える。さらに余掘り量が大きくなると、加圧中のコンクリートが切羽方向へ流動することがある。

これらの対策として、シールド中折れ機構、１打設長の短縮、型枠構造の改善などの種々の方法がある。通常の方法では 20～30D（D:シールド外径）程度の曲線が施工可能である。

ＥＣＬ工法の適用性については以上のとおりである。ＥＣＬ工法では、シールドによる掘削から覆工の完成までの工程を流れ作業としてシステム化するため、システムの中での各工程の位置付けにより、システムの構成法から開発課題まで多種多様となる。ＥＣＬ工法の開発において各システムに共通すると考えられる技術的課題を以下に示す。

①　シールドテール内で合理的に鉄筋などの補強材を所定の箇所に設置する方法およびコンクリートの打設方法。

②　シールドジャッキ推力の作用方法およびテールボイドに対するコンクリートの充填性に鉄筋類の存在が与える影響。

③　妻型枠の脱型時期および脱型時における覆工側壁の自立性・止水性

④　施工システム上から使用するコンクリート材料に対する品質。

コンクリートに関しては、次のようなかなり厳しい品質が要求される。すなわち、コンクリート打設時にはポンプ圧送性および型枠内の隅々まで充填される充填性が要求される。さらに、シールドの推進に伴って加圧力を受け、シールドテールが抜けた後に地山に密着した覆工体を構築するためには、シールドの推進が終了するまで流動性が保持される必要がある。これに対して、シールドの推進終了後は早期に強度が発現し、妻型枠を脱型するまでの時間を短縮する必要がある。以上の性状を満足したうえで耐久性に優れたコンクリートでなければならない。

（6）ＥＣＬ工法の分類

ＥＣＬ工法の目的である「地山に密着した良質な直打ちコンクリート」を得るための具体的な方法は各々の施工法によって異なり、様々な工夫がされている。施工法に関する主な相違点を以下に示す。

1）地山の支持方法

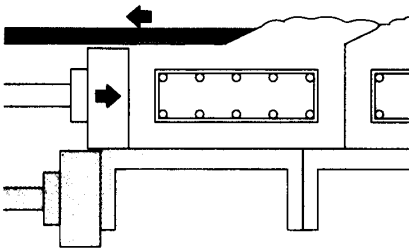
シールドの推進時に地山を支持することを目的として、覆工体と地山を密着させるためにシールドテールの空隙を充填する方法には、コンクリート加圧と充填材加圧の２種類の方法がある。

①　コンクリート加圧

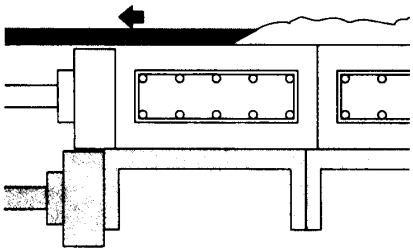
覆工コンクリートを加圧し、押し出すことにより、シールドテールの空隙を充填して、覆工体と地山を密着させる(**図－１．１０**)。

②　充填材加圧

コンクリート以外の充填材などを打設・加圧することにより、シールドテールの空隙を充填して、覆工体と地山を密着させる(**図－１．１１**)。



図－１．１０　コンクリート加圧



図－１．１１　充填材加圧

2）コンクリートの打設方法１

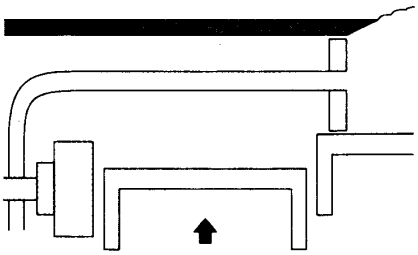
鉄筋などの補強材を覆工コンクリート中に挿入するか否かで、コンクリート打設の連続性が異なるため、コンクリート打設方法には、連続打設とサイクル打設の２種類の方法がある。

①　連続打設

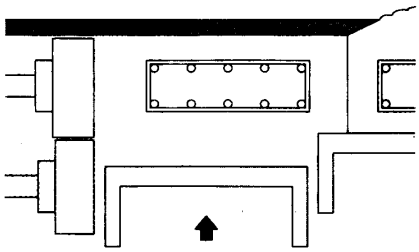
鉄筋などの補強材をコンクリート中に挿入しないため、打継ぎ部の処理をする以外は妻型枠を脱型しないで、コンクリートを連続打設する(**図－１．１２**)。

②　サイクル打設

鉄筋などの補強材をコンクリート中に挿入するため、各サイクルごとに妻型枠の脱型、組み立てを行って、コンクリートを打設する(**図－１．１３**)。



図－１．１２　連続打設



図－１．１３　サイクル打設

３）コンクリートの打設方法２

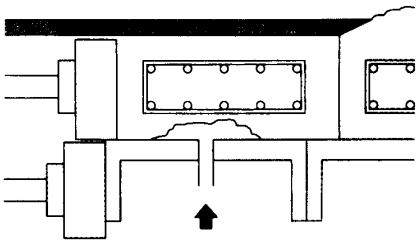
各施工サイクルの覆工厚を構成するコンクリートの打設方法は種々あるが、主に単層打設と複合打設の２種類の方法に分類することができる。

①　単層打設

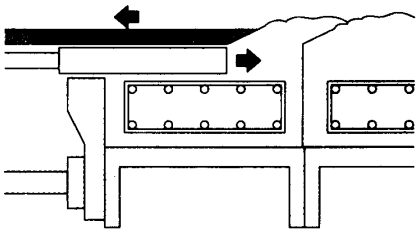
テール内において内型枠あるいは妻型枠より一度に覆工コンクリートを打設する（**図－１．１４**）。

②　複合打設

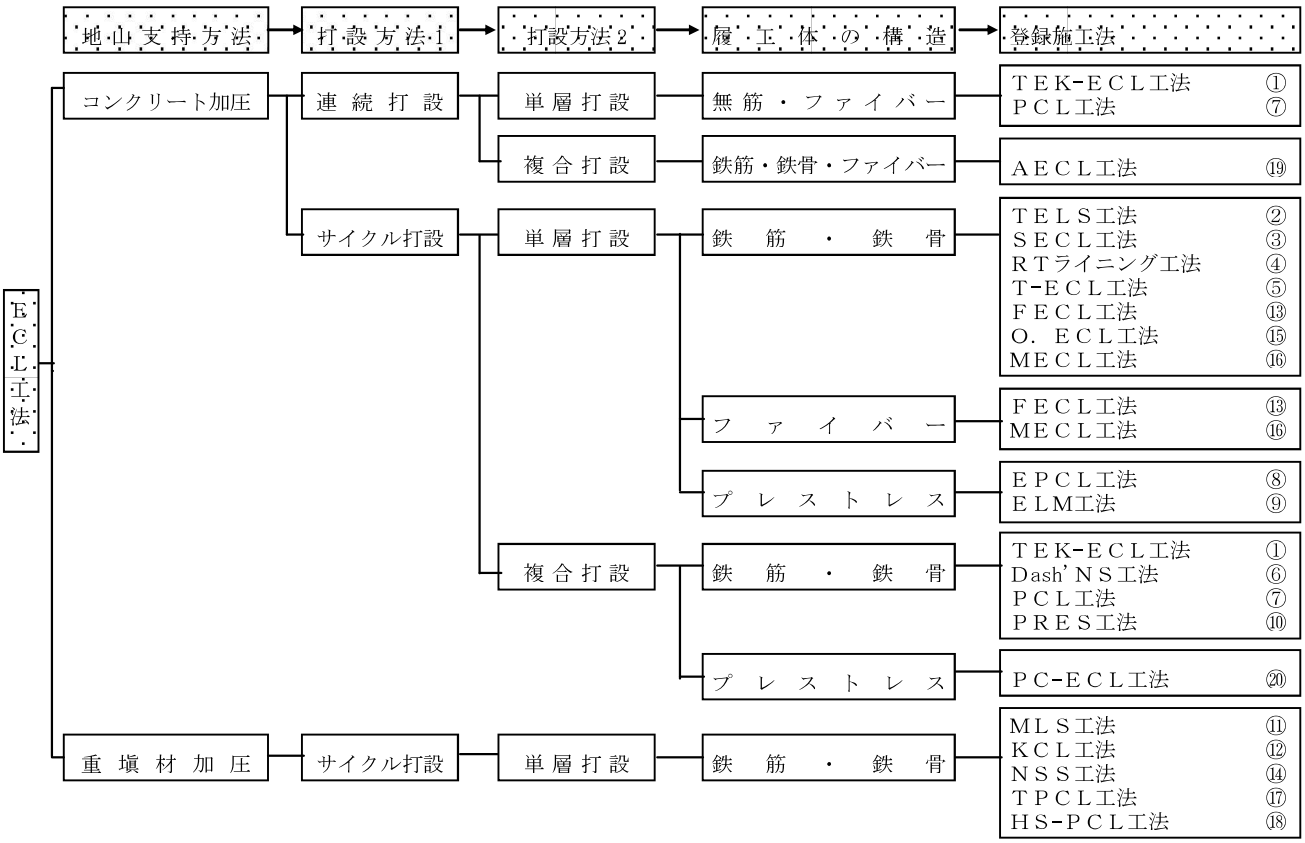
テール内と推進時との二度に分けて覆工コンクリートを打設する（**図－１．１５**）。



図－１．１４　単層打設



図－１．１５　複合打設



注）○数字は、ＥＣＬ協会への登録順を示す.

図－１．１６　旧ＥＣＬ協会登録工法の分類

旧ＥＣＬ協会では、各々の機関で開発された各種のＥＣＬ工法の登録制度を設けており、平成８年４月までに 20 工法が登録された。この登録制度は、旧ＥＣＬ協会に登録されたＥＣＬ工法をすべての会員が施工できるようにしたもので、工法の普及を主目的として設立されたものであった。

登録された 20 工法を、地山の支持方法、コンクリート打設方法、覆工体の構造について分類すると、**図－１．１６**のようになる。

参　考　資　料

1) 山本稔：ＥＣＬ工法の開発状況と将来展望、トンネルと地下、第 19 巻 1 号、1988 年 1 月。
2) 鉄建建設（株）・Hochtief 社：パンフレット「Extruded Concrete Lining　直打ちコンクリートライニング」。
3) ＥＣＬ協会：パンフレット「ＥＣＬ」。
4) （社）日本トンネル技術協会：ＥＣＬ工法指針(案)[設計編]、平成 4 年 3 月。
5) 長崎光男・友田孝：ＥＣＬとカプセル搬送で長大トンネルの高速施工に挑む。北陸新幹線秋間トンネル、トンネルと地下、第 22 巻 10 号、1991 年 10 月。
6) 日本トンネル技術協会：ＥＣＬ工法指針(案)〔設計編〕、1992 年 3 月.
7) 日本トンネル技術協会：ＥＣＬ工法指針(案)〔資料編〕、1992 年 3 月.
8) ＥＣＬ協会：パンフレット「ＥＣＬ工法」.
9) ＥＣＬ協会：ＥＣＬ工法積算資料(改訂版)、1994 年 12 月.
10) 樋口・桐谷：連載講座「シールドトンネルの新技術(23)」ＥＣＬ工法、トンネルと地下、第 23 巻 4 号、1992 年 4 月.
11) 高相・市野・中山・岡田・桐谷：連載講座「シールドトンネルの覆工技術(18)」ＥＣＬ工法、トンネルと地下、第 25巻 2 号、1994 年 2 月.
12) 日本トンネル技術協会：ＥＣＬ工法研究発表会テキスト、1987 年 11 月.
13) 日本トンネル技術協会：ＥＣＬシンポジウムテキスト、1989 年 1 月.
14) 日本トンネル技術協会：ＥＣＬ工法設計講習会テキスト、1993 年 1 月.
15) 日本トンネル技術協会：ECL 工法講習会テキスト，1995年 10 月。
16) 日本トンネル技術協会：ECL 工法に関するアンケート調査結果報告書，1989 年 12 月.
17) 山本：ＥＣＬ工法の開発状況と将来展望，トンネルと地下，第 19 巻 1 号，1988 年 1 号.
18) 山本・桐谷：場所打ちライニング工法，積算技術，1987 年 11 月.
19) 畑田・田中・本重：「場所打ちライニング工法」施工報告書，下水道協会誌，Ｖol. 20，Ｎo. 225，1983 年 2 月.
20) 新津ほか：ＴＥＬＳ工法に関する研究(そ の 1)プレスコンクリートの脱水性および強度増加性状，土木学会第 42 回年次学術講演会(Ⅲ-282)，1987 年 9 月.
21) 新津ほか：ＴＥＬＳ工法の開発，電力土木，No. 216，1988 年 9 月.
22) 日向ほか：ＴＥＬＳ工法に関する研究(そ の 2) 覆工の設計法について，土木学会第 43 回年次学術講演会(Ⅲ-451)，1988 年 10 月
23) 西原ほか：ＴＥＬＳ工法に関する研究(そ の 3)ライニング打継部のせん断抵抗力，土木学会第43回年次学術講演会(Ⅲ-452)，1988 年 10 月.
24) 新津ほか：ＴＥＬＳ工法に関する研究(そ の 4)伝達プレス圧の検討，土木学会第43 回年次学術講演会(Ⅲ-453)，1988 年 10 月.
25) 西原ほか：新しい現場打ちライニングによるシールド工法(ＴＥＬＳ工法)の研究開発と現場適用，土木学会第44回年次学術講演会(ＰＳ　Ⅲ-32)，1989 年 10 月.
26) 新津ほか：ＴＥＬＳ工法におけるコンクリート配合―分離低減材添加効果の―考察，土木学会第44 回年次学術講演会(Ⅲ-38)，1989 年 10 月.
27) 岡田ほか：ＴＥＬＳ工法におけるコンクリートプレス方式―実規模実験による最適プレス方式の―考察，土木学会第44回年次学術講演会(Ⅲ-39)，1989 年 10 月.
28) 岡田ほか：Development of New Type Extruded Con-crete Lining System，ＩＴＡ，International Congress on Progress Innovation in Tunnelling，1989.
29) 須田ほか：ＴＥＬＳ工法のコンクリート配合に関する検討―複胴タイプＴＥＬＳ工法に対応した配合の選定，土木学会第 46 回年次学術講演会(Ⅲ-30)，1991 年 9 月.

30) 竹内ほか：ＴＥＬＳ工法におけるテール部の止水性能に関する―考察，土木学会第46回年次学術講演会（Ⅲ-31），1991年９月．
31) 山崎ほか：ＴＥＬＳ工法の開発と施工例，技研情報センター講習会テキスト，1992年３月．
32) 須田・松尾・川村：複胴式マシンを用いたＥＣＬ工法を採用―東京電力野沢３丁目付近管路新設工事，トンネルと地下，第24巻９号，1993年９月．
33) 松村ほか：場所打ちライニング工法の開発―東北新幹線御徒町トンネルでの実験，熊谷組技報，1987年９月
34) 大野ほか：場所打ちコンクリートライニング工法（ＳＥＣＬ工法）の開発―鉄筋の振動実験―，土木学会第42回年次学術講演会（Ⅲ-278），1987年９月．
35) 嶋本ほか：場所打ちコンクリートライニング工法（ＳＥＣＬ工法）の開発―プレスコンクリートの早期物性に関する検討―，土木学会第42回年次学術講演会（Ⅲ-279），1987年９月．
36) 津田ほか：場所打ちコンクリートライニング工法（ＳＥＣＬ工法）の開発―有筋の場合のテールボイドの充填に関する検討―，土木学会第42回年次学術講演会（Ⅲ-280），1987年９月．
37) 桐谷ほか：場所打ちコンクリートライニング工法（ＳＥＣＬ工法）の開発―リング供試体による施工実験―，土木学会第42回年次学術講演会（Ⅲ-281），1987年９月．
38) 桐谷：Extruded reinforced concrete lining method with superior watertightness，ＩＴＡ Madrid，International Congress on “Tunnels and Water”，1988年６月
39) 山本ほか：切羽並進直打ちコンクリートライニング工法の開発現状と将来展望，日本工業出版，建設機械，Ｖol.１，24，No.6，1988年６月．
40) 福田ほか：ＳＥＣＬ工法の概要，日本工業出版，建設機械，Ｖol.1，24，No.6，1988年６月．
41) 大野：ＳＥＣＬ工法の開発，技研情報センター，ＥＣＬ工法の開発技術とその施工例及び将来展望，1988年６月．
42) 津田ほか：地盤中で実施した実物大実証実験について（並進直打ち工法（ＳＥＣＬ工法）の開発），土木学会第43回年次学術講演会（Ⅲ-499），1988年10月．
43) 大野ほか：コンクリートの流動性に及ぼす加圧速度の影響について（並進直打ち工法（ＳＥＣＬ工法）の開発），土木学会第43回年次学術講演会（Ⅲ-500），1988年10月．
44) 嶋本ほか：コンクリートの流動性に及ぼす揺動効果について（並進直打ち工法（ＳＥＣＬ工法）の開発），土木学会第43回年次学術講演会（Ⅲ-501），1988年10月．
45) 福田ほか：コンクリートと内型枠の摩擦力について（並進直打ち工法（ＳＥＣＬ工法）の開発），土木学会第43回年次学術講演会（Ⅲ-502），1988年10月．
46) 山本ほか：ノンセグメント・シールド工法―並進直打ち工法―，電力土木技術協会，電力土木，No.217，１988年１月．
47) 郷内ほか：シールドの直打ちコンクリート覆工　ＪＲ桜木町駅構内下水道，トンネルと地下，第20巻３号，1989年３月．
48) 梅香家：場所打ちライニング工法（ＳＥＣＬ）の実施例について，日本下水道協会，第26回下水道研究発表会講演集，1989年５月．
49) 福永ほか：ＳＥＣＬ直打シールド掘進機，日本工業出版，建設機械，Ｖol．25，No.5，1989年５月．
50) 桐谷：ＳＥＣＬ工法桜木町駅構内下水道トンネル，公共投資ジャーナル社，新時代のトンネル施工技術ＥＣＬ工法の実際，1989年８月．
51) 福田ほか：ＳＥＣＬ工法の開発（Sato Kogyo Extruded Con-crete Lining）アーバンライフテクノロジー推進会議，第１回技術研究発表論文集，1989年９月．
52) 嶋本ほか：下水道トンネルにおけるＳＥＣＬ工法施工報告―覆工体の挙動について―，土木学会第44回年次学術講演会（Ⅲ61），1989年10月．
53) 守山ほか：下水道トンネルにおけるＳＥＣＬ工法施工報告―内型枠の挙動について―，土木学会第44回年次学術講演会（Ⅲ62），1989年10月．
54) 津田ほか：下水道トンネルにおけるＳＥＣＬ工法施工報告―コンクリート打設の計画と実際について―，土木学会第44回年次学術講演会（Ⅵ-38），1989年10月．
55) 大野ほか：下水道トンネルにおけるＳＥＣＬ工法施工報告―推進・加圧監理システムについて―，土木学会第44回年次学術講演会（Ⅵ-39），1989年10月．
56) 福田ほか：下水道トンネルにおけるＳＥＣＬ工法施工報告―鉄筋と内型枠の計画と実際について―，土木学会第44回年次学術講演会（Ⅵ-40），1989年10月．
57) 赤松：ＥＣＬ工法による下水道の施工，日本鉄道施設協会誌，Ｖol．27，No.4，1989年４月．
58) 大野：場所打ち鉄筋コンクリートライニング工法（ＳＥＣＬ工法），土木学会，最新の施工技術6，1990年５月．
59) 大野ほか：並進直打ち工法における加圧・揺動制御に関する―考察，土木学会第45回年次学術講演会（Ⅲ-8），1990年９月．
60) 福田ほか：並進直打ち工法における妻面の自立実験，土木学会第45回年次学術講演会（Ⅲ-9），1990年９月．

61) 鈴木ほか：並進直打ち工法における妻面自立のための補強実験，土木学会第 45 回年次学術講演会(Ⅲ-10)，1990 年 9 月.
62)宇野ほか:若材令時の既打設コンクリートに及ぼす再加圧の影響について,土木学会第45回年次学術講演会(Ｖ-201)，1990 年 9 月.
63) 守山ほか：並進直打ち工法における打継面処理方法の試験，土木学会第 45 回年次学術講演会(Ⅵ-17)，1990 年 9 月.
64) 宇野ほか：若材令コンクリートの強度推定法，日本コンクリート工学協会，第 12 回コンクリート工学年次講演集，1990 年 12 月.
65) 守山：ＳＥＣＬ工法の施工実績，日本工業出版，建設機械，Ｖol.27，No.3，1991 年 3 月.
66) 桐谷ほか：場所打ちライニング工法(ＳＥＣＬ工法)，環境公害新聞社，月刊下水道，Ｖol.23，No.4，1992 年 4 月.
67) 前田・伊佐：設計・施工 場所打ちライニング(ＥＣＬ)シールド工法の調査研究その２，平成 5 年度，1994 年.
68) 前田：密閉型シールドによるＥＣＬ工法の本格施工，土木技術，Ｖol.48，No.7，1993 年 7 月.
69) 前田・高相・前田・福元・守山：ＥＣＬで密閉型シールドに本格挑戦　都下水道・文京区弥生１丁目，千駄木１丁目間付近，トンネルと地下，第 24 巻 5 号，1993 年 5 月.
70) 熊井：シールド工事における直打ちコンクリートライニング工法，建設機械と施工法シンポジウム，1986 年 10 月.
71)高野ほか:直打ちコンクリートライニング工法(ＥＣＬ工法)システム実験,土木学会第 42 回年次学術講演会(Ｖ-305)，1987 年 9 月.
72) 大八木ほか：ＥＣＬ工法に使用する流動コンクリートの性状実験，土木学会第42 回年次学術講演会(Ｖ-306)，1987 年 9 月.
73) 熊井：直打ちコンクリートライニング(ＥＣＬ工法)，ＥＣＬ工法の開発とその施工例及び将来展望，技研情報センター，1988 年 6 月.
74) 前川ほか：ＥＣＬ工法の材料と構造研究，土木学会関東支部大会，1988 年 3 月.
75) 前川ほか：コンクリートの若材令期の付着せん断強度，土木学会第 43 回年次学術講演会(Ｖ-314),1988 年 10 月.
76) 高野ほか：ＥＣＬ工法におけるシェル合成構造実験，土木学会第 43 回年次学術講演会(Ｖ-250)，1988 年 10 月.
77) 畔柳：信発第２水路トンネル・山本工区の施工，ＥＣＬ工法の実際，公共投資ジャーナル社，1989 年 8 月.
78) 鬼頭ほか：併進工法における覆工設計法(仮設時)の研究，土木学会第 44 年次学術講演会(Ⅲ-32)，1989 年 10 月.
79) 審査証明依頼者　鉄建建設株式会社：一般土木工法・技術審査証明報告書ＥＣＬ工法，(財)国土開発技術研究センター，1989 年 11 月.
80) Minemura ほか：Extruded Concrete Lining Method in Rock Tunnel, ＩＴＡ'90 PROCEEDINGS, 1990 年 9 月.
81) 山口ほか：併進工法における覆工コンクリート打設圧力管理実験，土木学会第45 回年次学術講演会 (Ⅵ-69)，1990 年9 月.
82) 川名ほか：ＥＣＬ工法による信発第二水路トンネルの地山変位計測結果，土木学会第 45 回年次学術講演会(Ⅲ-61)，1990 年 9 月.
83) 高野ほか：ＥＣＬ工法による信発第二水路トンネルの覆工歪位計測結果，土木学会第 45 回年次学術講演会(Ⅲ-62)，1990 年 9 月.
84) 林・吉田・笠井：シールド工法ＥＣＬ工法による水路トンネルの施工ＪＲ東日本信濃川発電所導水路トンネル，土木技術，Ｖol.46，No.11，1991 年 11 月.
85) 杉山・見波・杉田：信濃川水力発電所建設の歴史 1，トンネルと地下，第 22 巻 3 号，1991 年 3 月.
86) 林：特集シールド工事の最近の動向(2)ECL 工法の技術と実用化，建設機械，Ｖol.25，No. 2，1989 年 12 月.
87) 川名・吉本・熊本：ＥＣＬで挑戦！　最大月進 340mを記録信濃川水力発電再開発第二水路トンネル，トンネルと地下，第 20 巻 8 号，1989 年 8 月.
88) 水上・永井・熊本・佐藤：ＥＣＬ工法の設計・施工信濃川発電所第二水路トンネル，日本鉄道施設協会誌，Ｖol.27，No.3，1989 年 3 月.
89) 川名・馬場：信濃川発電所水路トンネル(山本工区)におけるＥＣＬ工法による施工，建設の機械化，No.458，1988 年.
90) 長崎・友田：ＥＣＬとカプセル搬送で長大トンネルの高速施工に挑む北陸新幹線秋間トンネル，トンネルと地下，第 22 巻 10 号，1991 年 10 月.
91)佐藤ほか:場所打ちコンクリートライニングを対象としたリング模型実験,土木学会第 42 回年次学術講演会(Ⅲ-296)，1987 年 9 月.
92) 佐藤：ＲＴライニング工法の概要，日本工業出版，建設機械，1988 年 6 月.
93) 佐藤ほか：ＲＴライニング工法における現場計測について，土木学会第 43 回年次学術講演会(Ⅲ-483)，1988 年 10 月.
94) 大橋ほか：分離抵抗混和剤を用いた超流動コンクリートの性状，土木学会第43 回年次学術講演会(Ⅴ-154)，1988 年 10 月.

95）高松：ＲＴライニング工法における機械と設備および施工管理システム，日本工業出版，建設機械，1989 年 4 月.
96）鈴木ほか：連続曲線部を通過するローム層に直打ち覆工を採用　相模原市上溝南都市下水路，トンネルと地下，第 20 巻 4 号，1989 年 4 月.
97）佐藤ほか：A new ECL construction method effectively using rings & tie rod, Proc. of Int'l Congress on Progress and Innovation in Tunnelling, Toront, Canada，1989.
98）前田ほか：ＲＴライニング工法適用コンクリートについて，土木学会第 45 回年次学術講演会（Ｖ-356），1990 年 9 月.
99）前田ほか：ＲＴライニング工法適用コンクリートについて，東急建設技術研究所報，No. 16，1990 年.
100）宮崎ほか：ＲＴライニング工法の対水圧実験について，土木学会第 46 回年次学術講演会（Ⅵ-95），1991 年 9 月.
101）石倉ほか：シールド工法における場所打コンクリート覆工工法の開発（その１），西松建設技報，Vol. 10，1987 年 6 月.
102）石倉ほか：シールド工法における場所打コンクリート覆工工法の開発（その２），西松建設技報，Vol. 11，1988 年 6 月.
103）出頭ほか：スリット付型枠を用いて打設したコンクリートの基礎的物性，日本コンクリート工学協会，コンクリート工学，1988 年 4 月.
104）出頭ほか：直打ちコンクリートライニング工法・コンクリートの加圧充填性に関する検討，土木学会第 43 回年次学術講演会（Ⅲ-454），1988 年 10 月.
105）北川ほか：直打ちコンクリートライニングシステム（ＭＬＳ）の開発，土木学会第 43 回年次学術講演会（Ⅲ-455），1988 年 10 月.
106）佐藤ほか：直打ちコンクリートライニング工法（平板模型における加圧されたコンクリートの性状），土木学会第43回年次学術講演会（Ｖ-221），1988 年 10 月.
107）佐藤ほか：直打ちライニング工法における加圧脱水コンクリートの品質特性，日本コンクリート工学協会，コンクリート工学年次論文報告集 11-1，1989 年 7 月.
108）原ほか：直打ちライニング工法における妻部の早期脱型法に関する検討，土木学会第44 回年次学術講演会（Ⅲ-33），1989 年 10 月.
109）出頭ほか：直打ちコンクリートライニング工法（ＭＬＳ）の開発，前田技術研究所報，Vol. 31，1990 年.
110）菊池ほか：都市トンネルのＥＣＬ工法の適用実績，日本工業出版，建設機械，1991 年 3 月.
111）竹内ほか：パンチプレートコンクリートの基礎実験報告（そのＩ付着・曲げ試験），土木学会第42回年次学術講演会（Ｉ162），1987 年 9 月.
112）林ほか：パンチプレートコンクリートの基礎実験報告（そのⅡ円管外圧試験），土木学会第42回年次学術講演会（Ｉ-163），1987 年 9 月.
113）田村ほか：加圧脱水コンクリートの基礎物性，土木学会第 42 回年次学術講演会（Ｖ-275），1987 年 9 月.
114）石田ほか：ＰＣＬ工法の開発，日本工業出版，建設機械，1988 年 6 月.
115）松崎ほか：ＰＣＬ工法の開発，土木学会第43回年次学術講演会（Ⅲ-495），1988 年 10 月.
116）村西ほか：ＰＣＬシールド機の特長と機能，土木学会第43回年次学術講演会（Ⅲ-496），1988 年 10 月.
117）竹内ほか：ＰＣＬ工法における推進反力実験報告，土木学会第43回年次学術講演会（Ⅲ-497），1988 年 10 月.
118）古田ほか：ＰＣＬ工法における地盤の挙動について，土木学会第 43 回年次学術講演会（Ⅲ-498），1988 年 10 月.
119）石田ほか：ＰＣＬ工法実証工事報告，土木学会第43回年次学術講演会（Ⅵ-78），1988 年 10 月.
120）林ほか：ＰＣＬ工法におけるコンクリートの打設管理方法について，土木学会第 43 回年次学術講演会（Ⅵ-79），1988 年10 月.
121）石田ほか：シールドトンネルにおける直打ちコンクリートライニング工法の施工，日本建設機械化協会，建設の機械化，No. 468，1989 年 2 月.
122）田村ほか：滞水地盤中におけるＰＣＬ工法の研究（その１）若材令コンクリートの透水性について，土木学会第 44 回年次学術講演会（Ⅲ-40），1989 年 10 月.
123）石田ほか：滞水地盤中におけるＰＣＬ工法の研究（その２）テール部止水性実験，土木学会第44回年次学術講演会（Ⅲ-41），1989 年 10 月.
124）竹内ほか：ＰＣＬ工法応用実験（その１）加圧流動化コンクリートの基礎実験報告，土木学会第45回年次学術講演会（Ⅲ-44），1990 年 9 月.
125）石田ほか：ＰＣＬ工法応用実験（その２）加圧コンクリートの流動性実験報告，土木学会第 45 回年次学術講演会（Ⅲ-45），1990 年 9 月.
126）石川ほか：軟弱地盤をＥＣＬで施工 都下水道南元幹線，トンネルと地下，第 23 巻 7 号，1992 年 7 月.

２．シールド

２．１　シールドの計画

シールドは地山を支持し、安全で経済的にトンネル掘進ができるものでなければならない。

ＥＣＬシールドは、地山を保持しながら掘削する機構とテール部で覆工コンクリートを打設する機構を有し、掘削と覆工が併進してトンネルを構築できるものである。

シールドがその施工区間で遭遇する諸条件は、多岐にわたっている。したがって、これら諸条件の調査資料に基づき検討し、掘削と覆工機構が十分に適応した構造強度をもち、耐久性、施工性、安全性、経済性のあるシールドを計画しなければならない。

一般シールドとＥＣＬシールドの構造上の相違点は覆工機構が主であり、これまで開発され、確立した切羽安定対策と排土方式のシールド形式すべてが、覆工機構を変更すれば、ＥＣＬシールドに適用できる。

したがって、シールドの掘削機構、シールドの設計、切羽安定機構、掘削土砂の搬出機構、運転制御機構、油圧および電気機器、シールドの製作や検査については「トンネル標準示方書(シールド工法編)・同解説」土木学会に準拠するものとし、本指針(案)では、本工法の特徴的な事項について記述するものとする。

２．２　シールドの構成

シールドは作業性、操作性、水密性等を考慮して、掘削と覆工を同時に施工できる構造とし、その機能が十分発揮できるように、シールド各部を構成するものとする。

ＥＣＬシールドは、外部から作用する荷重に対して内部を保護する鋼殻部分と、その保護下にあって前面の切羽部分で掘削を行い、後部で直打ちのコンクリート覆工を形成しつつ掘進できる機能を有する装置群からなる。

シールドは基本的には先端に掘削機構、後端に覆工機構が装備された機構によって構成される。

（１）単胴ＥＣＬシールド

単胴ＥＣＬシールドは、シールドの掘進と同時にその進行量に応じてコンクリートを打設し覆工を構築する１つの施工手順に限定されるＥＣＬシールドである。単胴ECLシールドは掘削と覆工が完全に連動しているため、相互の作業を拘束する場合がある。

（２）複胴ＥＣＬシールド

複胴ＥＣＬシールドは、中折装置を装備して複胴を構成する場合、スライド可能な伸縮装置を装備して複胴を構成する場合、およびこれら２つの機能を併用した場合の複胴がある。

１）中折装置による複胴（２胴タイプ）

中折装置を装備して複胴を構成する場合は、曲線施工における施工性やオーバーカットの低減、また内型枠の組立位置の固定化を目的に２胴タイプとするもので、掘削と覆工の機能は前述の単胴の場合と同様である。

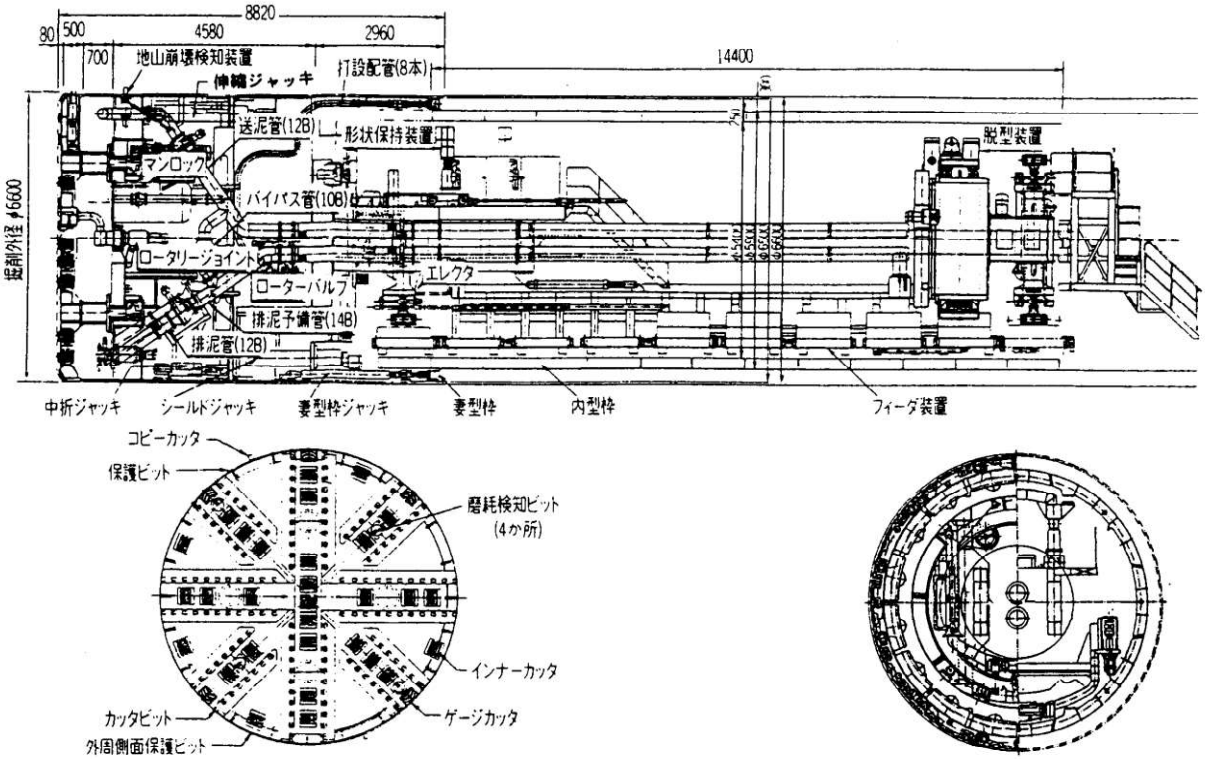
２）伸縮装置による複胴（２胴タイプ）

伸縮装置を装備して複胴を構成する場合は、前胴の先端に掘削装置を装備し、後胴には覆工装置を装備して、その間はスライド可能な構造とする。機能的には、前胴と後胴をスライド可能にすることによって、掘削と覆工を分離して施工することが可能となる。

３）中折装置、伸縮装置の併用による複胴（３胴タイプ）

中折装置および伸縮装置を併用した場合は、前胴・中胴・後胴の３胴より構成される。前胴と中胴は中折装置によって連結され、曲線施工に対応する機能を有する。中胴と後胴は伸縮装置によって連結され、伸縮ジャッキによってスライド可能な機能を有しているため、掘削・覆工を分離して施工が可能となる。また、伸縮装置を固定すれば、掘削・覆工を同時に施工ができる機能を有している。

礫泥水式シールドの例を**図－２．１**に示す。



図－２．１ 礫泥水式シールドの例

４）ジャッキ推力および本数

ジャッキ１本あたりの推力と本数は、シールド外径、総推力、内型枠の構造およびトンネル線形等の関係を考慮して定めること。

一般にシールドジャッキ１本あたりの推力は、中小口径シールドで 600～1000ｋＮ、大口径シールドで 2000～4000kＮのものが使用されている。

（３）ジャッキのストロークについて

内型枠に対する余裕長は内型枠をテール内で組立てるために必要なものであり、さらに曲線施工に対しても十分な長さのものとする。

（4）ジャッキの接合について

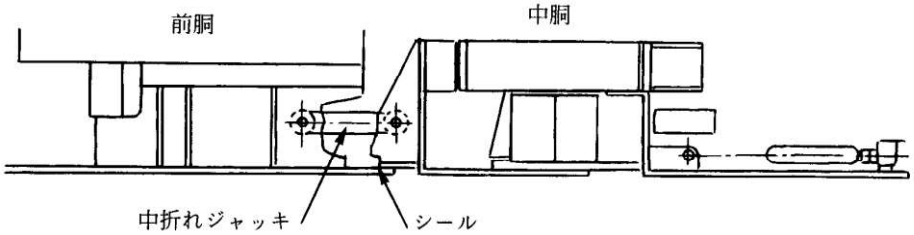
プレスリングはピン接合によってピストンロッド先端と結合し、スプレッダーの場合は回転自在継手によって結合するものとする。

（5）作動速度について

ジャッキの作動速度は調整できる構造のものとする。無負荷での作動速度は 50～100 mm／min 程度を標準とする。

（6）中折装置について

シールドは、伸縮装置や覆工機構等によってシールド機長が長くなる。このためシールドの操縦性の確保と、オーバーカットをできるだけ小さくしてコンクリートの廻り込みの防止を図り、また推進時に地盤との接触によってスキンプレートに大きな偏向荷重が作用することを防ぐために、ガーダー部に油圧ジャッキによって連結された中折れ部を装備している場合が多い。**図－２．２**に中折れ部の例を示す。

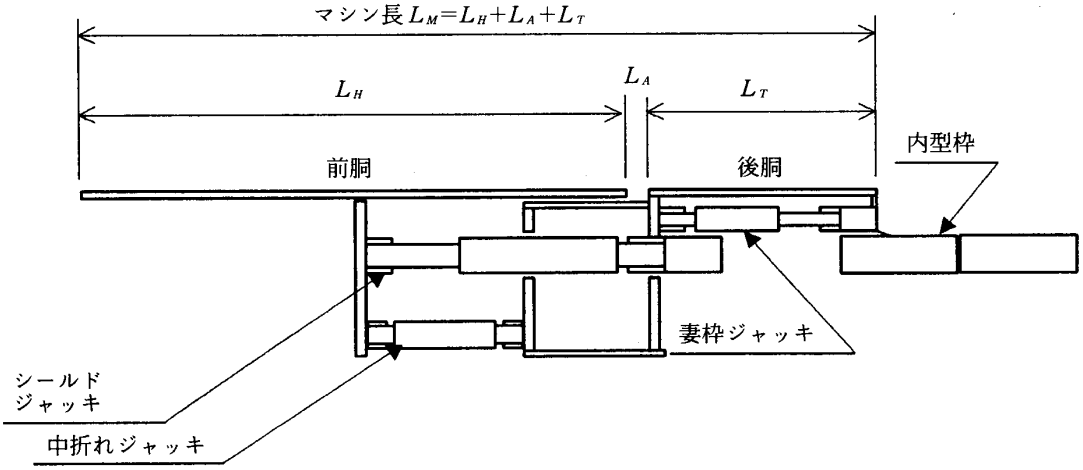


図－２．２　中折れ部の例

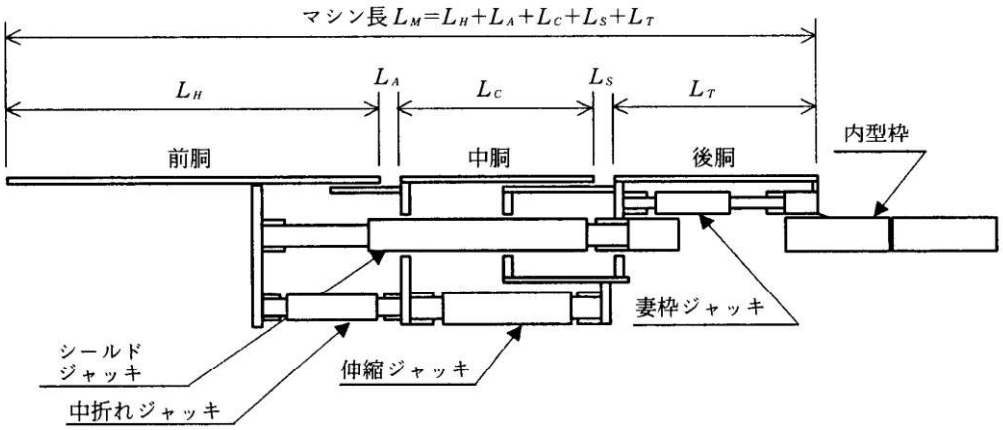
（7）伸縮装置について

伸縮部は掘削と覆工が併行してできること、また掘削と覆工が分離できるよう前・中胴と後胴がスライドする構造でなければならない。伸縮部はガーダー部の中胴と後胴が最大内型枠１リング程度スライドする構造で、前中胴と後胴が別々の動作、または前中後胴一体としての動作が可能となる。伸縮ジャッキの一端は中胴に固定、他の一端は後胴に固定している。さらに中胴と後胴が平行に伸縮できるようガイドボックス等の補助部材で構成される。

伸縮部分は構造が複雑でかつ可動するため十分な構造の検討と強度の検討が必要になる。



図－２．３　シールドの長さ（２胴タイプの例）



図－２．４　シールドの長さ(3 胴タイプの例)

L_T：後胴部の長さ

シールド全長とはシールド前端から後端までの長さの最大値である。

ＥＣＬシールドは後胴部に覆工のための機構が内蔵されるので、通常のシールドよりも幾分シールドの長さが長くなる。また、方向修正や曲線施工に対応するため、中折れ装置が装備される例が多い。

（８）シールドの重量

シールドの重量は、分割、輸送、組立等の施工計画上重要な条件となるものであり、またシールドの重量および重心位置は、その運転性能に大きく影響するため十分検討するものとする。

２．３　推進機構

推進機構は下記の事項によって定めるものとする。

①　シールドの総推力は、推進諸抵抗の総和に余裕を考慮して定めるものとする。

②　推進ジャッキの選定とその配置は、シールドの操向性、内型枠の構造・組立施工性等を考慮して定めるものとする。

③　推進ジャッキのストロークは、内型枠の幅に所要余裕長を加えたものとする。

④　推進ジャッキのピストンロッド先端にはプレスリングやスプレッダー等を設け、内型枠に推力が均等に分布する構造とする。

⑤　推進ジャッキの作動速度は、土質に応じて定めるものとする。

⑥　シールドが長くなるため、方向制御については中折れ装置の採用など、機能が十分発揮できる構造とする。

⑦　掘進と覆工の作業が分離できる構造とする場合は、中胴と後胴がジャッキによって連結された伸縮機構を設けるものとする。

⑧　切羽に作用する圧の反力の盛り替えが、確実、安全にできるよう配慮したものとする。ＥＣＬ工法で覆工されるトンネルにおいて、調査・計画・施工・施工管理に適用するものである。

（１）総推力について

シールドの総推力は推進諸抵抗の総和に余裕を考慮して決定するもので、次の要素からなる。

①　シールド外周と地山の摩擦抵抗あるいは粘着抵抗(F_1)

②　推進に伴う刃先先端の貫入抵抗(F_2)

③　切羽前面抵抗（F_3)

・半機械掘り式シールドでは山留め反力

・機械掘り式シールドではカッターヘッドにかかる諸抵抗

・密閉型シールドではチャンバ内圧力

④　方向転換による抵抗(曲線施工、蛇行修正等のためのスタビライザー、フラップの抵抗等)(F_4)

⑤　テール内での内型枠と妻枠との摩擦抵抗(F_5)

⑥　後続台車の牽引抵抗(F_6)

以上の推進諸抵抗の総和は、次式のようになる。

$$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$$

ΣＦ：推進諸抵抗の総和

$F_1 = \mu_1(\pi \cdot DS \cdot SL \cdot P_m + W)$　砂質土

$= C \cdot \pi \cdot D_0 \cdot L$　粘性土

$F_2 = l \cdot t \cdot k_p \cdot P_m$

$F_3 = P_f \cdot \pi \cdot D_0^2 / 4$

$F_4 = R \cdot S$

$F_5 = \mu_2 \cdot G_1$

$F_6 = \mu_2 \cdot G_2$

μ_1：鋼と土の摩擦係数

μ_2：鋼と鋼の摩擦係数

μ_3：車輪とレールの摩擦係数

D_0：シールド直径

L　：シールド機長

W：シールド重量

G_1：内型枠と妻枠間に作用する力

G_2：後続台車重量

P_m：シールドに作用する平均土圧

P_f：切羽前面圧（隔壁にかかる土圧、泥水圧など）

C：粘着力

k_p：受働土圧係数

R：抵抗土圧（支持力、受働土圧など）

l　：切羽部周長

t　：刃先貫入厚

S：抵抗板の推進方向投影面積

また、シールド断面積あたりの総推進力は、実績からシールド形式ごとにおおよそ次のようである。

・泥水式､土圧式シールド　1100～1300kN

・手掘り式、半機械掘り式、機械掘り式シールド　700～1100kN

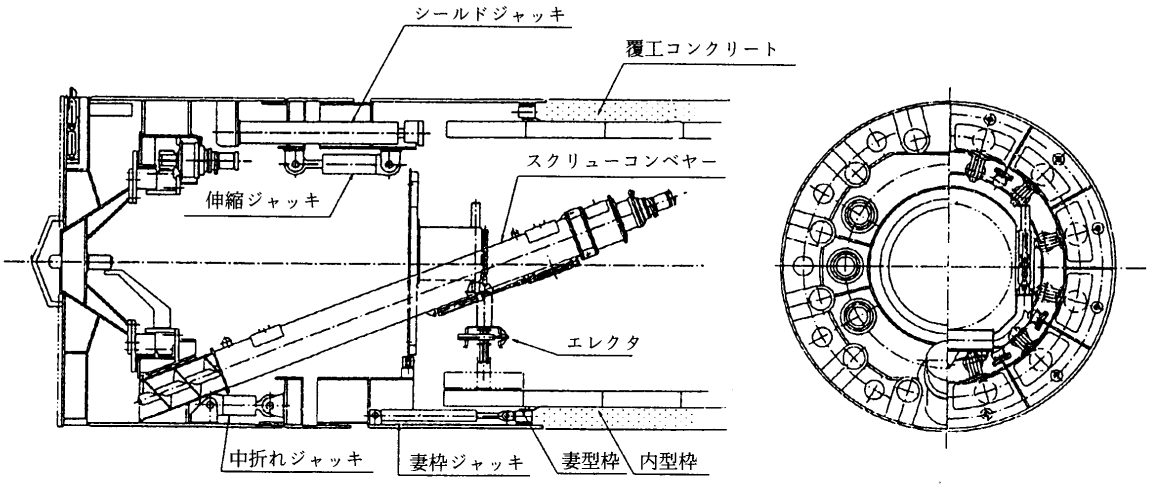
（２）ジャッキの選定と配置について

シールドジャッキの選定、配置にあたっては、下記の事項に注意しなければならない。

①　ジャッキは、努めてコンパクトな構造であるよう配慮すること。

②　ジャッキ類は軽量で耐久性が大きく、保守、交換が容易であるよう配慮すること。

③　ジャッキ類は等間隔に配置し、内型枠全周に均等荷重を与えられるよう配慮すること。



図－２．５　土圧式シールドの例

（３）シールドの外径

シールドの外径は、トンネルの線形、施工余裕、覆工厚等によって決定する。シールドの外径とはスキンプレートの外径をいい、フリクションカット等の突出部は除く。

したがって、ＥＣＬシールドではスキンプレート外側と覆工コンクリートの外径が一致するため、覆工外径がシールド外径となる。

（４）シールドの長さ

シールドの長さは、地盤の適合性、運転操作性およびシールドの構造等を考慮して定めるものとする。

シールドの長さは「シールド本体長さ」と「シールド全長」で表現される。シールド本体長さ(L_M)はスキンプレートの長さであり、次のように表される。

$L_M = L_H + L_A + L_T$

L_M：シールド本体長さ

L_H：前胴部の長さ

L_A：中折れジャッキストロークが０の前・後胴の間隔

L_T：後胴部の長さ

伸縮装置を装備する場合は

$L_M = L_H + L_A + Lc + Ls + L_T$

L_M：シールド本体長さ

L_H：前胴部の長さ

L_A：中折れジャッキストロークが０の時の前・中胴の間隔

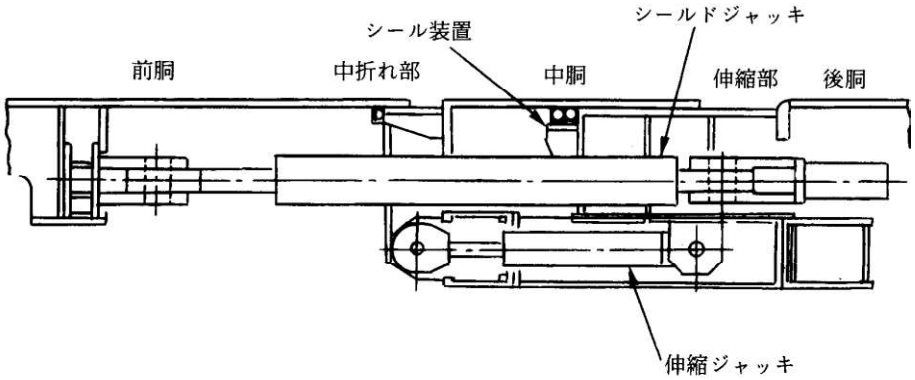
Lc：中胴部の長さ

Ls：伸縮ジャッキストロークが０の時の中・後胴の間隔

また、伸縮による機器の設置位置に変位を生ずるため、他の固定機器類との干渉についても十分に検討して設計する必要がある。

中胴と後胴の伸縮部分には止水のためシール装置を装備する必要がある。

図－２．６に伸縮部の構造を示す。



図－２．６　伸縮部

（５）ジャッキ盛替えについて

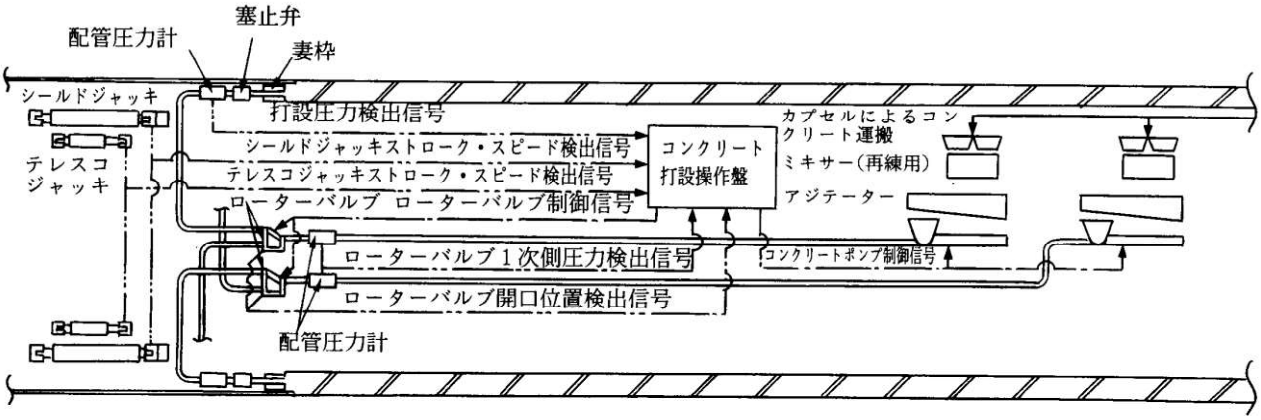
泥水式および土圧式シールドでは内型枠の組立て時に泥水圧および土圧の反力の盛替えを行う必要がある。この方法としては、シールドジャッキの交互使用による方法、内型枠とエレクタービームをワイヤー等で連結する方法がある。

３．コンクリート覆工

３．１　コンクリート覆工機構一般

コンクリート打設は、シールドテール部に内型枠を組立て、地山と内型枠間にコンクリートを圧入することにより、確実に覆工できる構造のものとする。

コンクリート打設は、コンクリートポンプにより打設圧力、打設量の調整を行いながら、コンクリート圧送管を介し妻枠円周上に設けた複数の打設口より、ローターバルブ（分配弁）を介して順次フレッシュコンクリートを打設するものとする（**図－３．１**にコンクリート覆工機構の例を示す）。



図－３．１　コンクリート覆工機構

コンクリートは一般に現場練りのフレッシュコンクリートを用いる。

打設圧力は、地盤条件や地下水圧等によって決定され、地盤に緩みが生じない打設圧力を設定する必要がある。コンクリート打設圧力はコンクリート打設圧力調整装置によって設定圧力に制御できる機構でなければならない。

コンクリート打設圧力制御装置はシールドの推進スピードとコンクリート打設量の制御および妻枠装置に装備されたアキュームレータによって行うのが通常である。

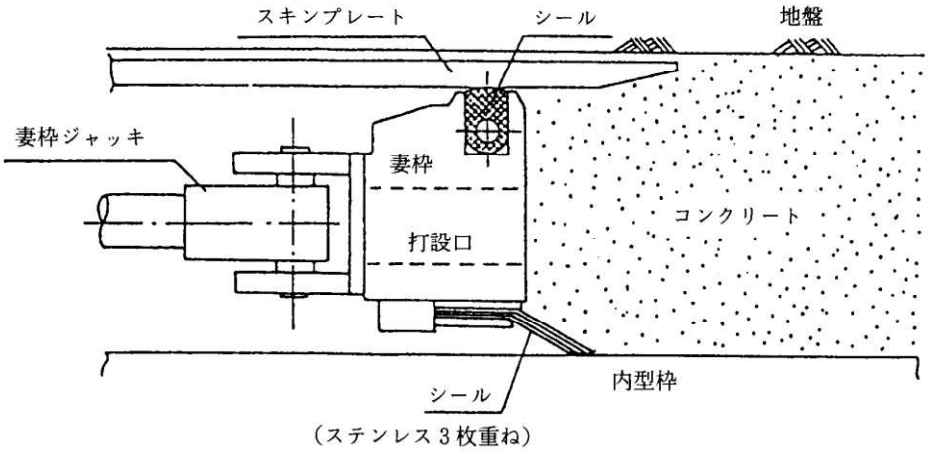
３．２　妻枠装置

妻枠装置は、コンクリート漏洩防止、コンクリート圧力調整の機能を有し、使用目的に適合した十分な強度を有するものでなければならない。

妻枠装置はテール部のスキンプレートと内型枠外面との間に装備し、コンクリート端面の型枠の役割をし、コンクリート材料、地下水等のシールド内への漏洩防止を目的とする。

妻枠本体はシールドテール軸心に対して垂直であり、かつ打設コンクリートの圧力を保持、調整できるような機構とする必要がある。このため妻枠は、妻枠ジャッキによりスキンプレート内側および内型枠外側に常に接して摺動する構造とする。したがって、十分な耐久性を有するとともにコンクリート打設圧力、水圧を確実に遮断することはもちろんであるが、この部分のシール機構は交換できる構造とする。

シール機構については、妻枠のシールドテールスキンプレート側は、止水目的とスキンプレートの変形量の吸収からゴム等によるシールが装備される。また、内型枠側は内型枠が施工上かならずしも同心円上の所定の位置ではなく、偏心したり曲線施工で位置がずれたりして組立てられるので、これに追従し、かつ内型枠との摺動、摩擦、および所定のコンクリート圧力等に耐え得るものでなければならない。このため現在は、この部分のシールの材質はステンレスのばね鋼を使用している。**図－３．２**に妻枠装置の例を示す。



図－３．２　妻枠装置の例

また、妻枠はシールド停止後の再発進時、妻枠のシール部交換時等において、これらの作業を安全かつ迅速に行えるよう作動できることが必要である。

打設口の数は、覆工に対して均等に分配できる数とする。標準的には打設口の間隔は３ｍ程度とする場合が多い。

この他には、プレスリングをプレスジャッキによって保持し、コンクリートに対してプレスジャッキで積極的に加圧する方式もある。

妻枠に設けた打設口に分配する方法としては、一般にローターバルブ(分配弁)を用いる。

ローターバルブはシールド内に設置し、コンクリートポンプから１系統で圧送されたコンクリートを、その断面に必要な打設口に分配するものである。コンクリートを覆工全周にわたって均等に分配し、打設中以外の打設口に対しては確実に閉じた状態となる機能が必要であり、かつその運転は管理室等で遠隔、自動制御できるようにしなければならない。

１台あたりの分配口数および装備数は、妻枠の打設口数(覆工断面)、打設スピード、後続設備、運転管理装置等により総合的に検討するものとする。

なお、１系統の分岐管の最大は８本程度とし、それ以上になる場合はコンクリートポンプ、ローターバルブの系統数を２以上に増やす必要がある。

ローターバルブの構造は回転板によるロータリー式で、油圧駆動、電動機駆動がある。

３．３　内型枠

本工法で使用する内型枠は、適切な強度と剛性を有し、施工条件に適合したものを使用し、施工にあたっては、正確な位置に据付け、所要の形状と寸法が得られるように行わなければならない。

本工法では、内型枠と地山の間に打設したコンクリートが覆工体を構築する工法であるため、作用する荷重に対して十分な剛性を有し、さらに組立・移動・脱型をトンネル延長分繰り返し使用するため、耐久性も要求される。

３．４　内型枠の機能

本工法で使用する内型枠は、型枠として、脱型、移動、組立の機能を有する他に次の機能を有することを原則とする。

① フレッシュコンクリートのプレス圧を支持する機能

② コンクリートの養生期間中に地山の荷重を支持する機能

③ シールド推力を伝達する機能

内型枠の機能は、施工方式によって異なるが、標準的な施工方式では上記すべての機能が必要となる。

（１）フレッシュコンクリートのプレス圧を支持する機能について

本工法では、地山に密着した密実な覆工を形成するために、テール内部で打設したコンクリートを、シールドの推進に伴ってプレスしなければならない。このために、内型枠はコンクリートを介して伝達されるプレス圧を支持することが必要となる。

（２）コンクリートの養生期間中に地山の荷重を支持する機能について

セグメント工法では、一次覆工に使用するセグメントで地山荷重を支持する。本工法では、打設後の若材令コンクリートに直接土圧や水圧などの外力が作用するために、これらを支持できるコンクリートの強度が発現するまでの間は、内型枠がこれを支持する必要がある。

（３）シールド推力を伝達する機能について

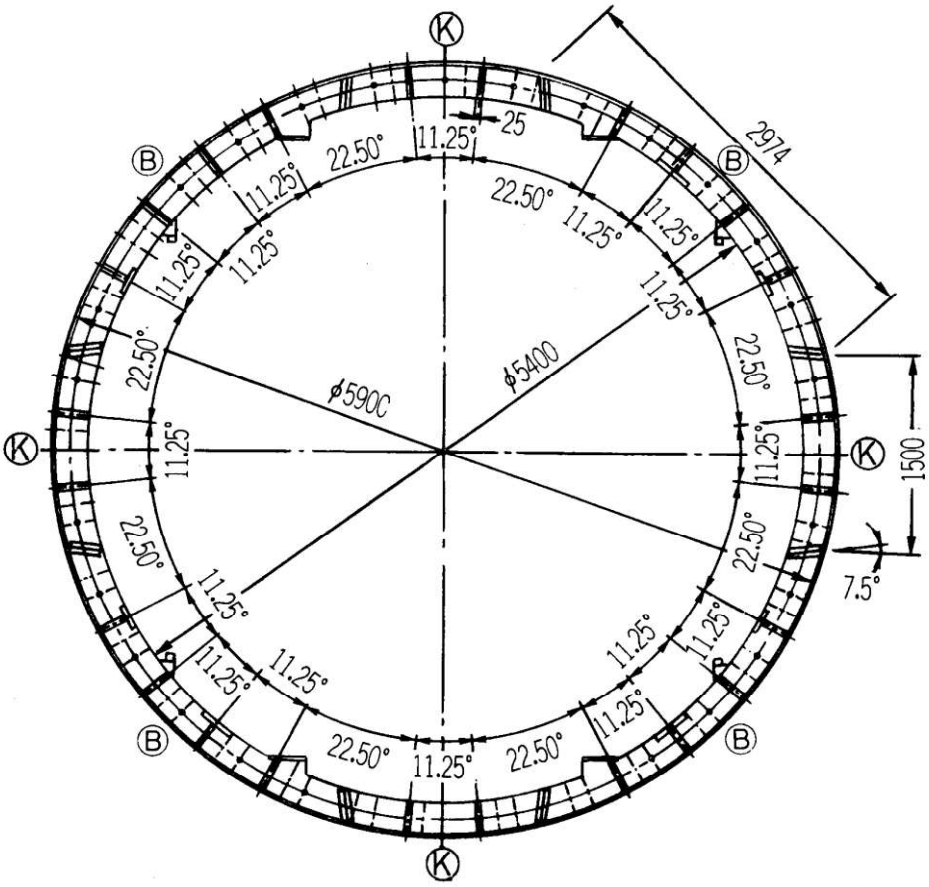
本工法では、シールドの推力を内型枠で受け、付着力あるいは摩擦力などによってコンクリートへ伝達する方式を採用している。このため、内型枠は、シールドジャッキによって発生する軸方向力に耐える強度が必要となる。また推力をコンクリートに伝達するためにコンクリートとの付着力あるいは摩擦力より内型枠の装備数を検討する必要がある。

３．５　内型枠の形式

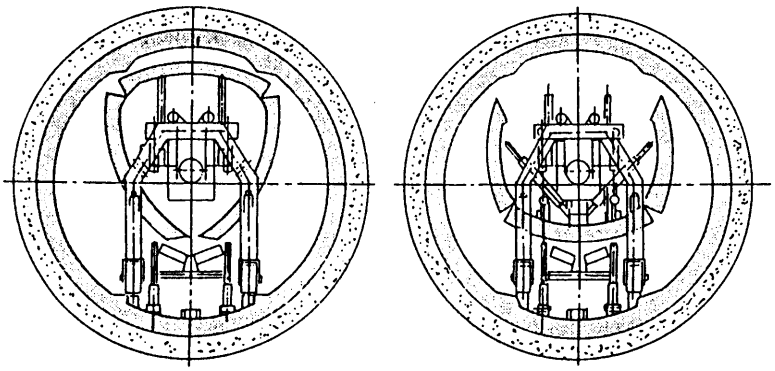
内型枠の形式は、施工延長、線形、トンネル径等の施工条件を考慮して、コンクリート打設、脱型、移動、組立等の作業を安全に能率よく行える形式にしなければならない。

ＥＣＬ工法では、掘進サイクルごとに、後方で養生を終了した部分の内型枠を脱型し、シールドテールへ搬送して組立てなければならない。このために内型枠は、通常の二次覆工型枠のようなセントル(骨組み)構造では諸作業の支障となるので、リング構造が適している。

これまでには組立式型枠とテレスコピック式型枠が使用されている。組立式型枠は、型枠リングを構成するピースごとにエレクタで脱型と組立を行う。移動は脱型・組立装置を持つ搬送台車などで型枠リングの全ピースを同時に、あるいはピースごとに行う方法と、独立した搬送トロリーを使用する方法がある。テレスコピック式型枠は、型枠リングをヒンジで結合したピースで構成し、折りたたんだ状態で移動する。



図－３．３　組立式型枠の例



図－３．４　テレスコピック型枠の例

３．６　内型枠の装備延長

内型枠は、掘進に伴って繰り返し使用するため、コンクリートの養生期間、もしくはシールド推力の伝達に必要な延長を考慮して内型枠の装備延長を決めなければならない。

コンクリート養生期間の掘進延長は、覆工が地山荷重を支持できるコンクリート強度に達し、脱型が可能になるまでの養生期間中に、シールドが掘進する距離に相当する型枠延長である。これは掘進速度と養生期間から決定される。

シールド推力の伝達に必要な延長は、シールド推力を内型枠からコンクリートに伝達するために必要となる内型枠の延長で、付着力あるいは摩擦力などとシールド推力から決定される。

コンクリートと型枠の付着力などは、これまでの計測事例によると、打設後１日で 0.1～0.4ＭＰａ程度と報告されている。これらは、コンクリートの品質、材令、圧力、型枠表面の状態をはじめとして、型枠の変形や組立状態も影響し、さらに大きな値が得られる場合もある。また、推力の影響範囲は、これまでの開放型シールド工事の結果では、数リングとなっている。大きな推力を必要とする密閉型シールドの場合は、影響範囲はさらに長くなるものと思われる。

これまでの施工実績では、延長 10～20m程度の内型枠が設置されている。

（１）内型枠の装備数

内型枠の装備数は、①コンクリートと内型枠の付着力による推進反力の確保または、②最大日進量に対する装備数のうち、いずれか大きい方で決定される。

１）推力に対する装備数

推力に対しては、コンクリートの強度が発現していないため、付着力が期待できない範囲と、強度が発現して推力を保持できる範囲を考慮する必要がある。

$N_1 = F / \tau \cdot B \cdot L + N_n$

N_1 ：推力に対する内型枠装備数

F ：シールド推力

τ ：単位面積あたり付着力

B ：内型枠１リングの幅

L ：内型枠の外周長

N_n ：付着力が期待できない枚数

２）最大日進量に対する装備数

$N_2 \geqq A_{Max} / B$

N_2 ：最大日進量に対する内型枠装備数

A_{Max} ：計画最大日進量

B ：内型枠１リングの幅

（２）計算例

直径７ｍクラスのシールドにおける内型枠装備数の計算例を以下に示す。ただし、最大日進量は 14.4m（12 リング）とする。内型枠の必要数は、次の計算となる。

１）推力に対する装備数

F＝48000〔kN〕

τ ＝400〔kPa〕

B＝1.2〔m〕

L＝20.9〔m〕

N_1＝48000/(400×1.2×20.9)

＝4.8

≒5

付着力の発現にはコンクリート打設後約 9～12 時間の経過が必要である。したがって、コンクリート打設後半日は付着力が発生しないため、この分 6 リングを考慮すると 11 リングとなる。

２）最大日進量に対する装備数

最大日進量は施工条件より 14.4mであるため。

N_2 ＝14.4/1.2

＝12

よって、①、②より 12 リング必要となり、余裕を 2 リング考慮すると内型枠装備数は 14 リングとなる。

３．７　エレクタ装置

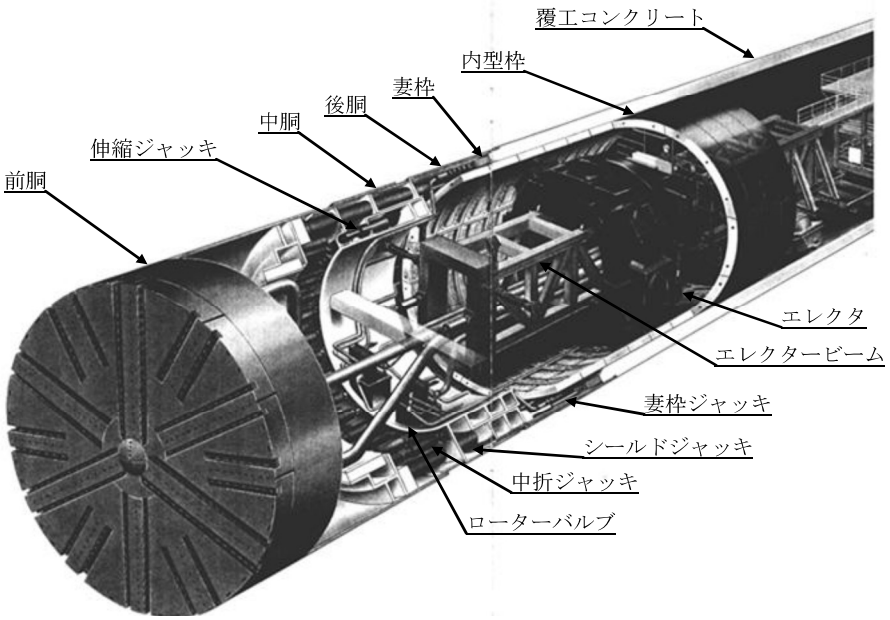
内型枠は順次繰り返して使用されるため、エレクタ装置は内型枠を安全、迅速、かつ効率的に脱型、移動、組立ができる機構で、十分な強度を有していなければならない。

エレクタ装置は、最後尾の内型枠の脱型、シールドテール部の組立位置への移動、シールドテール内での組立の作業ができる構造でなければならない。

（１）エレクタの形式

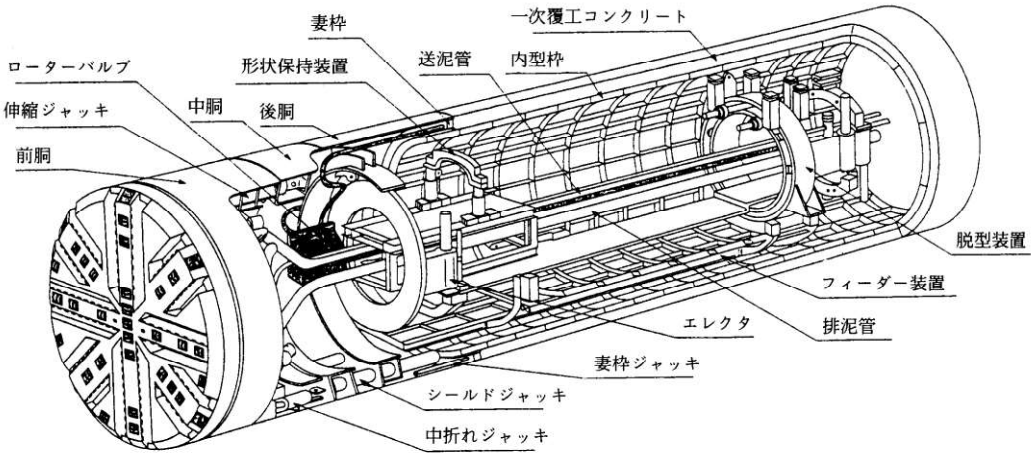
エレクタには走行型と非走行型があり、一般にはシールド機種および仕上り径によって選定する。

走行型は**図－３．５**に示すようにエレクタと走行用のエレクタービームによって構成される。この場合の走行エレクタは、数個に分割される内型枠をグリップによって一度に脱型が可能な構造とし、脱型した内型枠を把持したままエレクタービーム上を走行し、所定の位置で一度に組立ができ、一連の作業を正確かつ効率的に行えるものである。



図－３．５　走行型・エレクタの例

非走行型は、有効内空間の関係でエレクタービームが設置できない場合の構造で、**図－３．６**に示すように脱型用と組立用のエレクタが独立し、シールドテール内に組立エレクタが装備され、内型枠の脱型位置には脱型用エレクター(通常は自走式)が装備される。その間の内型枠の移動はローラーコンベヤーやフィーダ装置等が用いられる。



図－３．６　非走行型エレクタの例

（２）内型枠の脱型・移動・組立

内型枠の脱型・移動・組立の一連の作業は、前述のエレクタによって行う。

最後尾の内型枠をエレクタによって脱型し、エレクタの搬送機構によってシールドテール部へ移動させる。シールドテール部に移動した内型枠は、エレクタによって所定の位置に組立を行う。内型枠の脱型・移動・組立にあたっての注意事項を以下に示す。

・内型枠の脱型・移動・組立に際しては、その機能を損なわないように、目違い量、組

立ボルトのゆるみ、内型枠のパッキン等を確認して行う。

・内型枠の脱型については、コンクリートが所要の強度に達してから行う。

・内型枠面は、十分にケレン、清掃した後、水性剥離材や高性能剥離材等を塗布することが望ましい。

１）走行型エレクタによる脱型・移動・組立

走行型エレクタを用いる場合は、内型枠の全ピースの脱型・移動・組立を同時に行い、組立の効率化を図るため、主に切羽からの作用圧がないシールドで用いられる。その手順を次に示す。

ａ．脱　型

・ピース間ボルト、リング間ボルトの撤去

・Ｋ型、Ｂ型の順に脱型

・ケレン

ｂ．移　動

・エレクタにより組立位置まで移動

ｃ．組　立

・Ｂ型、Ｋ型の順に組立

・リング間ボルト、ピース間ボルトの締結

図－３．７に組立順序を示す。

２）非走行型エレクタによる脱型・移動・組立

非走行型エレクタは、切羽からの作用圧がある場合に多く用いられ、シールドジャッキを盛り替えながら１ピース毎に組立てるのが一般的である。

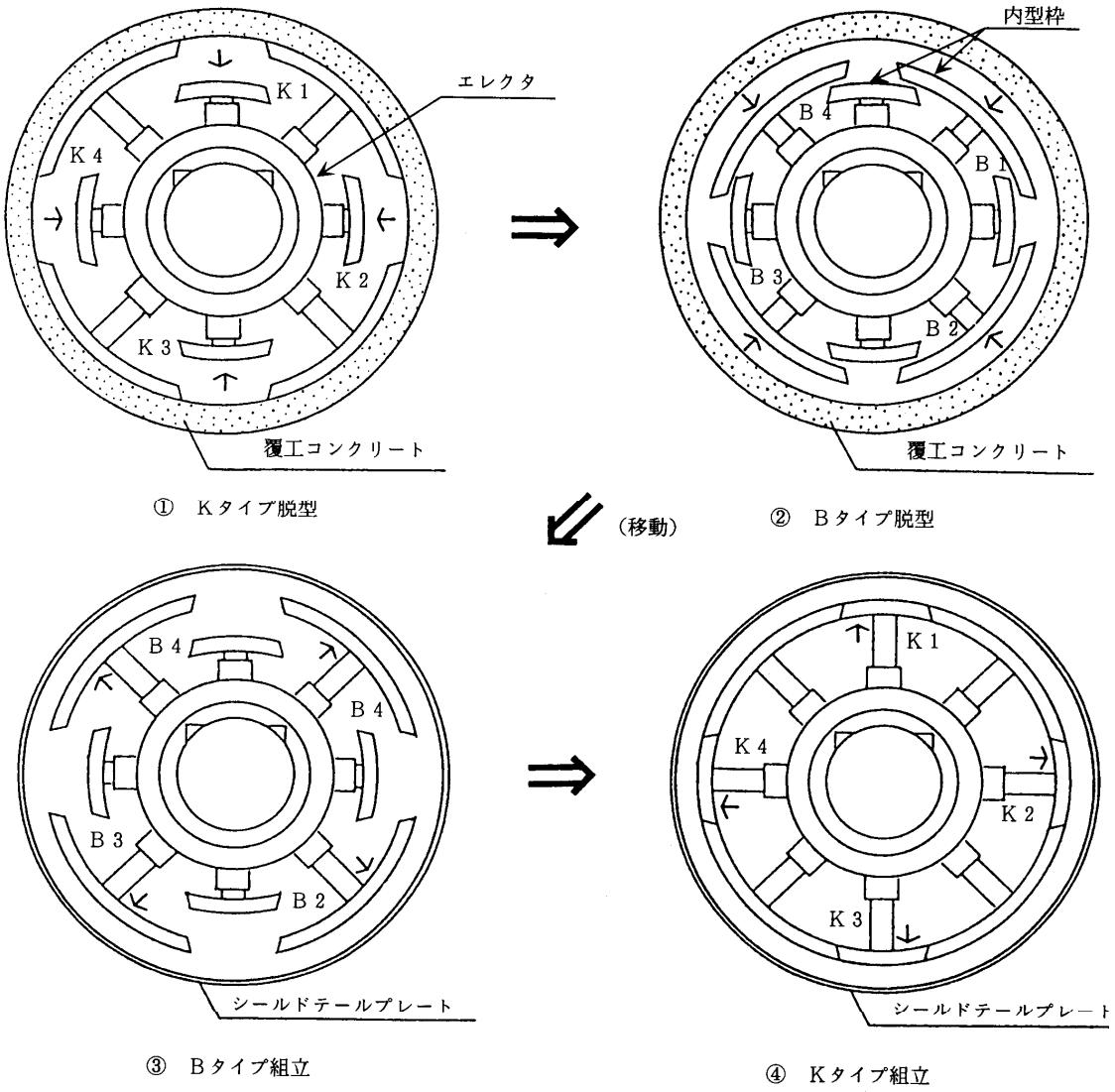
内型枠の脱型は、専用の脱型用エレクタで行われ、シールドテール部の組立位置までの移動は、フィーダ装置等によって行われる。移動した内型枠は、シールドテール部に装備された組立専用のエレクタによって、セグメント組立と同様の手順によって行われる。

３．８　コンクリート打設設備

コンクリート打設装置は、シールドの掘進に対してコンクリート打設量および打設圧力の制御を十分に満たされるものを選定しなければならない。

コンクリート打設設備の構成機器は、コンクリートポンプ、コンクリートを分配するロータービルブ、打設圧力制御装置等による。コンクリートポンプは通常ピストン式のポンプを使用する。その打設能力は覆工断面および打設スピードによって決定され、十分にこれらの条件を満足し、さらに余裕を考慮したポンプを選定する必要がある。

コンクリート打設制御装置は、基本的には打設圧力に対してコンクリートポンプの打設量を精密に制御し、シールドジャッキ、伸縮ジャッキの相対スピードに応じた所定のコンクリート打設圧力に調節する必要があるので、これらに十分対応できる制御装置を装備しなければならない。



図－３．７　走行型エレクタによる組立順序

（１）コンクリートプラント

コンクリートのプラントは、トンネルの規模や施工延長等の施工条件によって設置位置を決定するが、基本は坑口に設置するものとする。

トンネルの内径が大きく、トンネル坑内の後続設備に設置できる場合は、坑内にプラントを設置する場合もある。コンクリート材料は、専用の台車等で坑内を運搬してコンクリートプラントに供給し、練り混ぜる。

コンクリートミキサは JIS に適合し、練り混ぜ能力については、シールドの推進に伴い必要なコンクリート量が十分に練り混ぜできることが必要であるが、選定にあたっては、材料や掘削土砂等の坑内運搬方法、材料供給方法、後続設備およびプラントの機構、構造、配置、その他施工条件等も十分考慮して検討する。

（２）コンクリート圧送管

コンクリート圧送管は、圧送圧力、耐摩耗性、止水性に優れた圧送管を使用しなければならない。

コンクリート圧送管は、コンクリートポンプからローターバルブを介して妻枠の打設口までの鋼管配管、高圧ホース、ジョイント、塞止弁等によって構成される。これらの圧送管は高圧に耐え、耐摩耗性に優れたものでなければならない。また、コンクリート圧送圧力が高いためジョイント箇所では止水性に十分注意を払わなければならない。

３．９　コンクリート打設管理装置

打設管理装置は、それぞれの目的を確実に行うことができる機能を有するものを選定しなければならない。

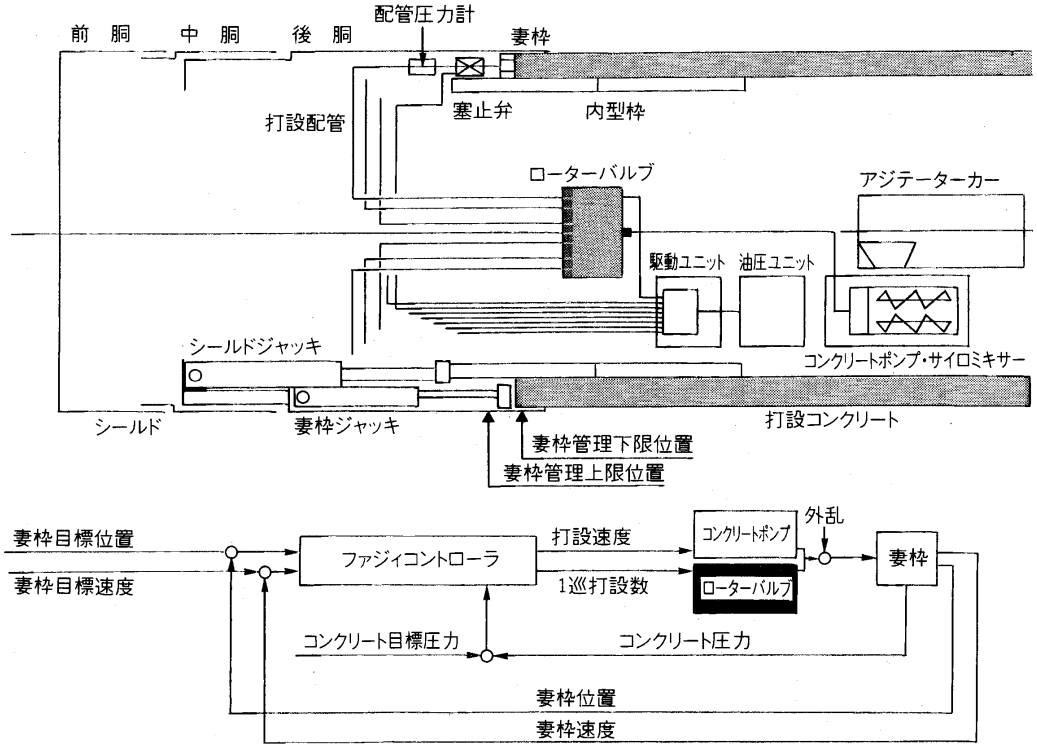
コンクリート打設圧力および打設量の管理調整を行い、地山に密着した安定したコンクリートを打設する装置とする。

これらを行うため配管圧力計、打設監視盤、場合によっては妻枠圧力計、流量計等を装備するものとする。また、上記の目的のためコンクリートポンプ、妻枠装置、ローターバルブ、シールドジャッキ、伸縮ジャッキ等の運転は、打設監視盤、中央監視盤等において遠隔、自動制御ができるようにする必要がある。

図－３．８に管理装置のフロー図の例を示す。

図－３．８　打設制御システムの例

４．施　　工



４．１　施工計画一般

施工にあたっては、工事の目的、規模、工期、地盤条件および施工環境等に適応したシールド、補助工法、環境保安設備、施工設備、施工順序等について安全で経済的な施工計画を定めなければならない。本工法は、シールドの掘進と併行して直打ちコンクリートを連続的に加圧打設する工法であり、施工を効率的に行うため、機械の自動化および作業を集約化した機械システムによりトンネル工事を施工するものである。

このため、施工計画の策定にあたっては、地盤条件および施工条件等に適合する機械システムとこれに対応する施工体制および施工方法等を確立することが重要である。

４．２　測　量

トンネルを所定の位置に構築するため、坑外、坑内、推進管理測量を正確に行わなければならない。測量は、所定の位置にトンネルを構築するため、正確に行うことが重要である。測量についてはシールドトンネル一般と同等であるため、「トンネル標準示方書(シールド工法編)・同解説」土木学会に準拠する。

４．３　立坑の形状と大きさ

立坑は使用目的により本構築としての機能のほかに能率的な施工が行えるよう、その形状と大きさを定めるものとする。立坑は、その用途から発進立坑、中間立坑、到達立坑、方向変換立坑の４つの種類に分けられる。

立坑については、通常のセグメント工法の場合に加え、本工法の特徴を考慮した次のような注意が必要である。

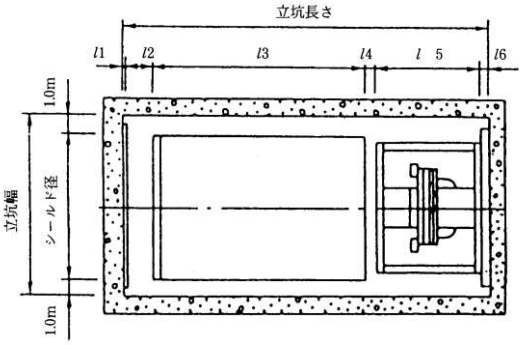
①　シールドの機長がセグメント工法に比較して長くなるため、立坑の大きさを決定する際に十分な検討が必要である。

②　シールドの反力を確保するため、エレクタービーム等の設備があり、それを考慮して立坑の大きさを決める必要がある。

以上の事柄は、セグメント工法と多少異なるので、注意が必要である。

（１）発進立坑の大きさ

シールドは一般に、シールドの大きさにより 6～20 分割程度で工場から運搬され、立坑に搬入される。組立はシールド受台上で行われ、通常、組立スペースとしてシールドの大きさより左右 1.0m程度、下側に 1.5m程度、前後にはエントランス、仮壁取り壊しスペース、シールド全長、反力受(仮支保工)、支圧壁、シールド後部と反力受間の余裕が必要である。反力受は初期掘進時の推進反力を支えるものであるが、本工法では、内型枠のためのエレクタの長さと、走行スペース、内型枠および仮推進用ストラットの投入スペース等を考慮したエレクタービームの最小必要長が確保できる長さが必要となる。発進立坑形状の例を**図－４．１**に示す。



l 1：泥水シールド用エントランス
l 2：仮壁取り壊し
l 3：シールド全長
l 4：シールド後部と反力受間の余裕
l 5：反力受（仮支保工）
l 6：支圧壁

図－４．１　発進立坑形状の例

また各階床版の開口部の大きさについては、資材の搬入、掘削土砂搬出、シールドの　分割搬入等に影響するので注意する必要がある。シールドの発進は、一般に反力受（仮支保工）、ストラット（反力用仮設材）などを設置し、これをシールドジャッキの推進反力受として、仮壁を取り壊して推進する。この場合、掘削土砂は反力受（仮支保工）の開口部から搬出される。

したがって、ストラットおよび内型枠の搬出入、掘削土砂搬出、仮壁の取り壊し作業等シールド初期掘進時の作業に必要な設備については十分な検討が必要である。

（２）中間立坑

中間立坑は、トンネルの使用目的に応じて、シールド推進路線の中間に構造物を構築　するため、あるいはシールドの点検を行うため設けられる。中間立坑はシールドを通過させることが一般的であり、シールド推進基地として用いられることは少ない。

（３）到達立坑

到達立坑は、トンネルの終点に設けられ、シールドの解体搬出に利用される。特に、シールド全体を搬出する場合は、シールド解体スペースの確保、搬出用開口部等の関連について十分検討する必要がある。

（４）方向変換立坑

方向変換立坑は比較的短い併設トンネルを１機のシールドで往復させて施工する場合に設置されることがあり、シールドの回転空間と回転設備の設置空間について検討する　必要がある。特に、ＥＣＬシールドは、回転作業におけるエレクタおよびエレクタービームの取り扱いについての検討が必要である。

その他の立坑に関しては、セグメント工法と同様であるため、「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」土木学会に準拠するものとする。

４．４　発　進

発進にあたっては、必要により適切な防護を施工し、シールドを所定の位置に正しく据付けた後、地盤に貫入し、予定の計画線に沿って、立坑の土留工、周辺の路面、埋設物等に影響を与えないよう十分配慮して掘進するものとする。発進は、シールドを立坑内に設けられた仮支保工等の反力受設備を利用して受台上を推進して発進口から地盤へ貫入し、予定のルートに沿って掘進を開始する一連の作業をいう。

発進における留意事項を以下に示す。

（１）シールドの据付け

シールドは、立坑内に設けられた受台上の適正な位置に組立て、据付ける。その適正な位置は、設計上のセンターおよび高さを基本に、必要に応じ若干の補正を行って求められる。ここでいう若干の補正とは、据付けるシールドの方向を地盤貫入時点の設計値を示す方向と一致させることや、例えば、軟弱な地盤で貫入後シールドの沈下が予想される場合には、あらかじめ若干の量(数程度)を上越して据付けることなどをいう。

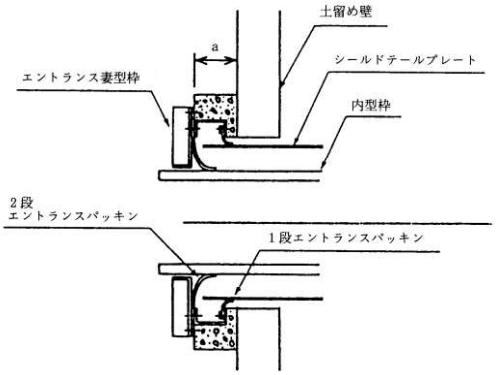
（２）反力受け設備

使用する反力受(仮支保工)、ストラット等は、必要な推力に対し十分な強度、剛性を確保することが必要である。

（３）発進口

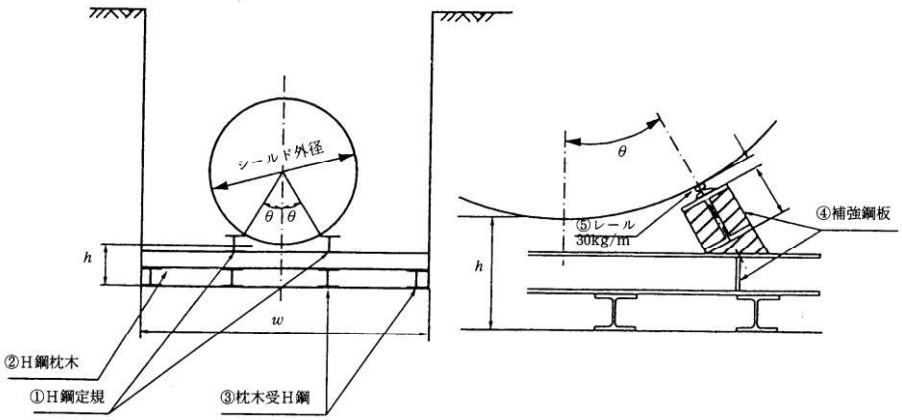
発進口の開口作業は、地盤の崩壊、路面の陥没などの危険が多いので仮壁取り壊しは小区分ごとに行い、迅速かつ慎重に行う必要がある。シールドについては、通常、発進口に接してエントランスパッキンを設け、坑口コンクリートを設置して施工の確実性、安全性を図るが、エントランスパッキンの設置については、その材質、形状、寸法等に十分な検討が必要である。

特にＥＣＬ工法の場合、シールドの外周から内型枠までの間隔が大きいので特殊なエントランスを設備し、エントランスからの土砂流出を防ぐとともにコンクリート打設時の妻板の役目も兼ねる構造とする必要がある。エントランスの例を**図－４．２**に示す。



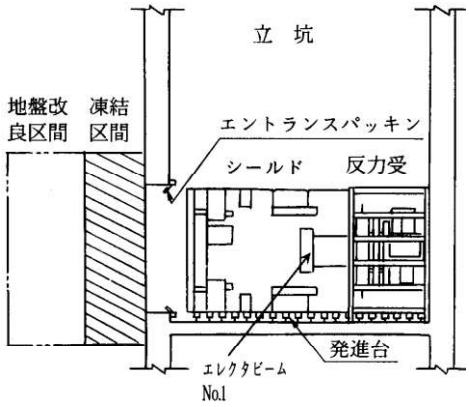
図－４．２　エントランスの例

発進の防護等については、シールド工法と同様であるため「トンネル標準示方書（シールド工法編)・同解説」土木学会に準拠する。**図－４．３**に発進用受台、**図－４．４**に発進手順の例を示す。

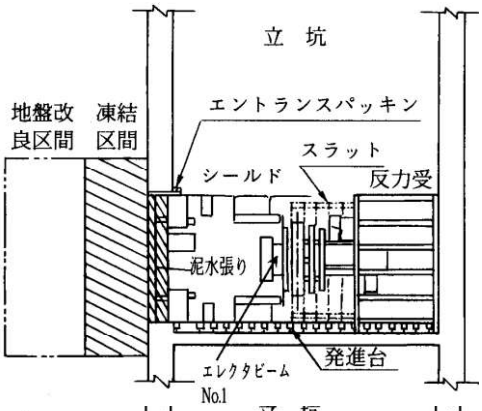


図－４．３　発進用受台の例

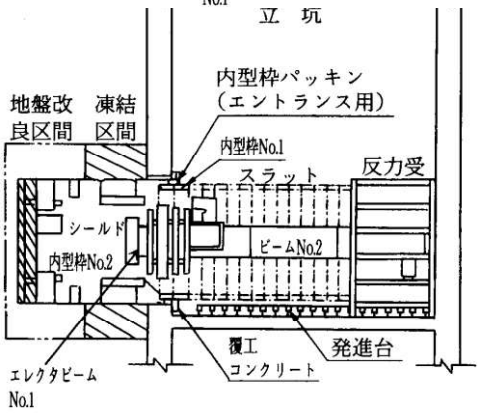
1. a．発進防護(凍結、地盤改良)
   b．仮壁取り壊し、撤去
   c．エントランスパッキン取付
   d．発進台投入、組立
   e．シールド、エレクター、エレクタービームNo.1投入、組立
   f．反力受投入、組立



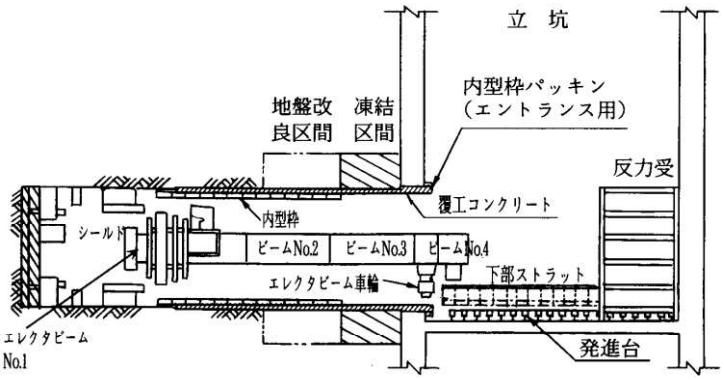
2. a．仮発進、ストラット組立
   b．泥水張(シールドチャンバー内)



3. a．仮推進、ストラット組立
   b．エレクタービームNo.2投入、組立
   c．掘進、ストラット組立
   d．内型枠No.1組立
   e．内型枠用パッキン取付
   f．内型枠No.2組立
   g．掘進、覆工
   h．エレクタービームNo.3投入、組立



4. a．掘進、覆工
   b．エレクタービームNo.4投入、組立
   c．掘進、覆工(内型枠全数装備まで)
   d．ストラット上部解体、撤去
   e．掘進、覆工
   f．エレクタービーム車輪取付
      以降、反力受撤去
      掘進、覆工順次後続設備投入
      段取替え
      本掘進



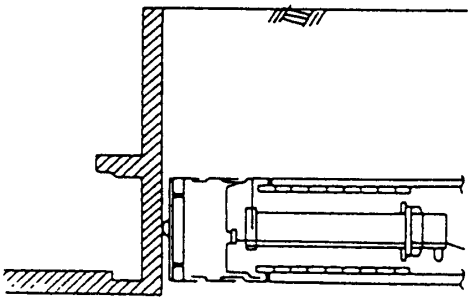
図－4．4　発進手順の例

４．５　到　達

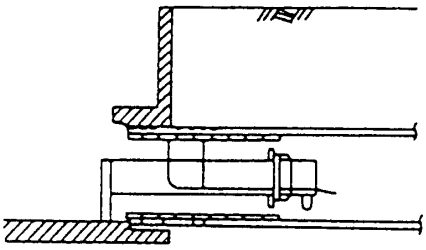
到達にあたっては、シールドの位置を正しく測定しながら所定のルートに沿い、周辺の路面、埋設物などの影響を与えないよう十分配慮して、定められた位置まで掘進しなければならない。

到達とは、シールドを立坑の到達面まで、地盤の安定を図りながら所定のルート上を推進させ、到達壁の所定の位置まで推進させた後停止させるか、あるいは、あらかじめ用意された大きさの開口部よりシールド本体を立坑内に引き出す一連の作業をいう。

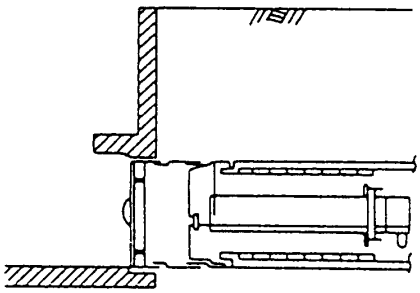
シールド到達の手順を**図－４．５**に示す。



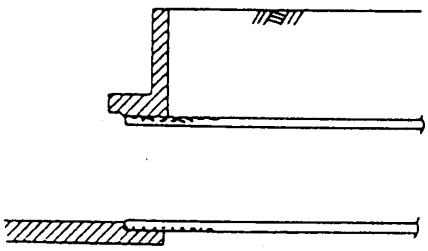
（１）シールド到達
①シールド機到達
②隔壁内の泥水撤去
③隔壁内発泡モルタル充填



（３）シールド解体
①シールド機解体(外郭部は残す)
②油圧機器、ジャッキ類撤去
③エレクタービーム移動、固定
④シールド外郭部に内型枠組立
⑤シールド外郭部にコンクリート打設



（２）土留め壁の撤去
①到達部の土留め壁の撤去
②シールド押し出し
③覆工コンクリート打設
④坑口部止水



（４）後方設備撤去、搬出
①エレクタービーム、エレクタ、内型枠撤去
②後方設備撤去、搬出

図－４．５　シールド到達手順

４．６　掘削の施工一般

掘削の施工については、トンネルの長さ、断面の大きさ、形状、地盤条件、立地条件等を十分検討の上できるだけ周辺地盤を緩めないよう施工しなければならない。

ＥＣＬ工法は、掘削作業に追従する覆工方法であるため、掘削、切羽の安定方法については、「トンネル標準示方書(シールド工法編)・同解説」土木学会に準拠する。

４．７　推進方法

シールドの推進にあたっては、地盤の条件を考慮して、必要なジャッキを適正に作動させ地盤の安定を図りながら、所定の計画線上を正確に推進させるとともに、テール部における覆工コンクリートと連動して、適正なコンクリート圧力を保ちながら推進しなければならない。

シールドの推進は、シールドジャッキ推力によって行われるので、適正な使用方法の運用が必要である。また、シールドの後端部では、推進に伴って、地山と内型枠の間に、所定の圧力で覆工コンクリートを打設するため、推進と覆工コンクリート打設は常に連動する。したがって、推進、覆工コンクリート打設の双方に注意を払う必要がある。

シールドの推進反力は、内型枠とコンクリートの付着力および摩擦力によって確保されるため、十分な反力を確保する内型枠の検討も必要となる。

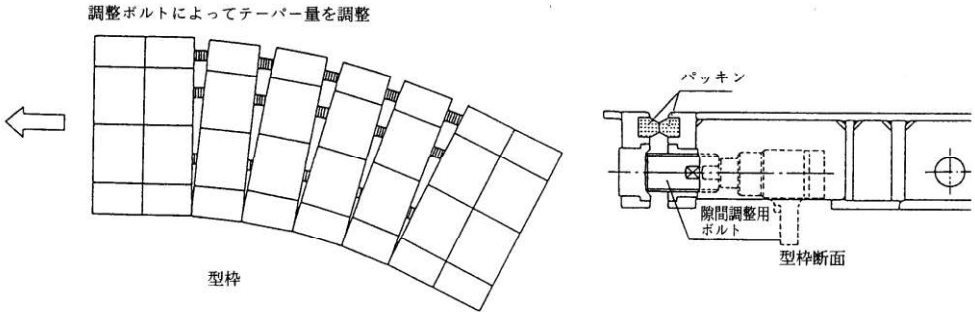
４．８　曲線施工法

シールドの曲線施工にあたっては、シールドの構造および内型枠のテーパー量を十分に検討し、所定の計画線上を正確に推進しなければならない。

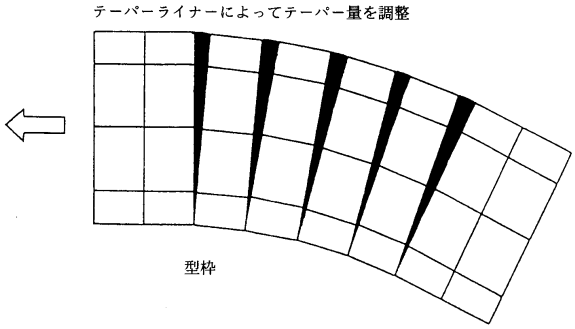
シールドの曲線施工にあたっては、ジャッキの推力を変化させて推進するとともに、中折れ装置が装備してある場合は併用して確実に施工を行う。

また、推進にあたっては、シールドの中心と内型枠が直交するように、内型枠には調整ボルトやテーパーライナー等によって適正なテーパー量を確保する。

なお、曲線部の対応、内型枠機構上の対応については、**図－４．６，７**に施工例を示す。



図－４．６　調整ボルト



図－４．７　テーパーライナー

４．９　補助工法

地山が不安定で、切羽の崩壊、地表面の陥没あるいは沈下の恐れのある場合や、シールドの掘進に伴い周辺地盤や構造物に影響を与える恐れのある場合は、地盤条件、シールド形式、周辺環境等を考慮し、薬液注入工法、高圧噴射攪拌工法、地下水位低下工法、凍結工法、圧気工法あるいはこれらの併用等により、地山の安定を図らなければならない。

シールド発進・到達部、急曲線部、土被りが小さい場合、ならびに近接施工部においても、地山が不安定になる恐れがあるので、必要に応じて措置を講じなければならない。

ＥＣＬ工法では、切羽の安定に関しては、現在のシールド工法における掘削機構を併用するため、同様の補助工法が必要となる。よって、補助工法に関しては「トンネル標準示方書(シールド工法編)・同解説」土木学会に準拠するものとする。

しかし、ＥＣＬ工法は、覆工コンクリートを地山に対して加圧打設するため、シールドセグメント工法にみられるテール部通過後に発生するテールボイドによる沈下は極めて少ない。

工法の選定にあたっては、上記ＥＣＬ工法の特徴を考慮する必要がある。

４．１０　地盤沈下と構造物防護

地盤沈下は、地盤条件、シールドの形式、掘削方法、切羽安定機構等により影響されるため、適切な工法を採用して、施工にあたっては、慎重な管理および適切な方法によって、地盤沈下が少なくなるよう努力しなければならない。

シールド工法による地盤変位の大きさは、線形、土被り、テールボイド等の設計、計画条件、地盤条件によって異なる。

ＥＣＬ工法は、掘削と併行して直打ちコンクリートを連続的に加圧打設することにより、テールボイドの発生がなく、地盤の緩みを抑えて、地山に密着した良好な覆工体を構築することができる。このため、後続沈下を最小限にすることができる。

しかしながら、本工法においても、地盤沈下の防止は既設構造物に及ぼす影響を少なくするうえで重要であるため、各種作業について入念な管理を行い、所定条件に適合した対策を取る必要がある。

（１）沈下の原因

シールド掘進に伴う地盤沈下の原因として、次のものがあげられる。

１）地中の応力変化によって生ずる弾性的変形および弾塑性的変形

シールドの掘削によって地盤応力が変化し、応力の再配分によって、地盤の弾性的、弾塑性的変形が地盤沈下の原因となる。

２）推進時の地盤の乱れ

シールドのスキンプレートや姿勢制御装置等と地盤との間の摩擦によりシールド周辺の地盤が乱れる。その結果、地盤の有効応力が低下し圧縮ならびに圧密による沈下を引き起こす。一方、蛇行修正、曲線推進に伴う余掘によっても地盤を緩める範囲が大きくなり、沈下を助長する原因となる。

３）テールボイド

本工法では、覆工コンクリートをテール部で加圧打設するため、テールボイドが発生しないのでテールボイドに起因する沈下は少ない。

４）覆工の変形に伴う沈下

本工法では、覆工コンクリートが地盤に密着して早期に強度が発現し、覆工の変形も発生しにくいため、地盤沈下の原因となることは少ない。

（２） 沈下の挙動

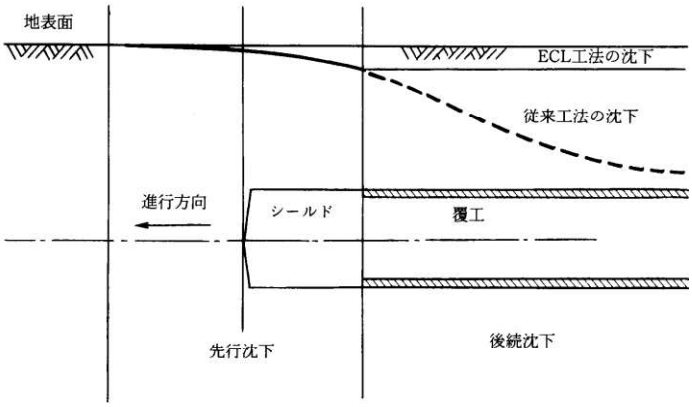
一般に、地盤沈下の現象はシールド掘進に伴う弾性的および弾塑性的変形をはじめ諸原因が複合して発生し、経時的に漸増して最終値に達する。シールド中心線上において、シールド掘進によって発生する縦断方向の沈下は、次のようになる。

１）先行沈下

良好な地盤では、シールドがその地点に到達するまで沈下はほとんど現れない。軟弱な地盤では、掘進前方にシールド到達以前に沈下が発生することがある。この現象は、軟弱な粘性土の場合に大きく、砂質土の場合は地下水位が低下したときに起こることがある。土被りが小さい場合は先行隆起が生ずることがある。

２）最終沈下量の傾向

一般に最終沈下量は、地盤条件と地下水位、シールド径、土被り、シールドの形式、　　覆工の方法等によって影響を受ける。地盤条件によっては、地盤が固く締まった洪積層で地下水位の低い場合には、沈下量は少なく、地盤が軟弱で地下水位が高い場合は、沈下量が増加する。軟弱な沖積層で、軟弱かつ地下水位が高い場合には、従来工法では沈下量はかなり大きくなるものと予想されるが、本工法による覆工方法では、初期沈下を避けることはできないが覆工の特質によって後続沈下を最小限に抑えることができるため、初期沈下以外の沈下の発生は小さくなる(**図－４．８**参照)。



図－４．８　沈下の進行モデル

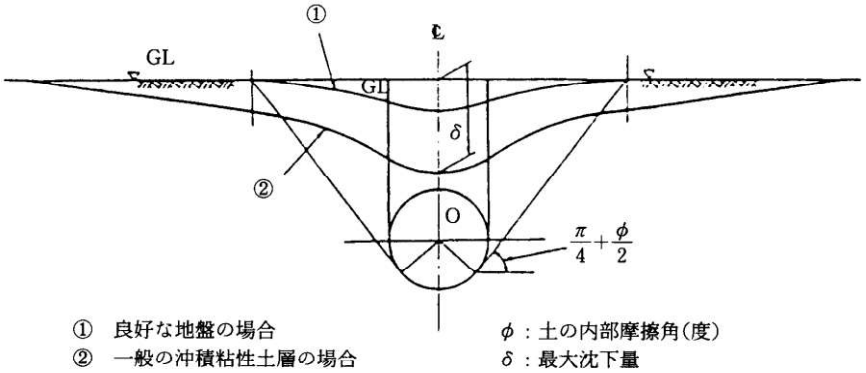
３）横断方向の沈下

ペックは、シールド掘進に伴う横断方向の地盤沈下を、トンネル中心線の直上で最大沈下量となるような正規確率曲線を逆にした曲線で土質と関連させて示している。

接近して２本のシールドを併設した場合には、両シールドの中間点付近に最大沈下量が生じる。

（３）沈下量の予測

沈下量の予測は、過去の実績等によるほか、有限要素法解析を用いることが多い。周辺構造物等に影響を及ぼす沈下が予想される場合は、工法の改善、補助工法等の採用などの対策を講じる必要がある。



図－４．９　地表沈下の横断図

４．１１　覆工コンクリートの施工一般

覆工は現場練りコンクリートを用いて、加圧打設し、地山に密着した高品質なコンクリートができるように、次の事項について十分な検討を行い、施工しなければならない。

- **コンクリートの施工性**
- **施工順序**
- **打設圧力**
- **初期養生**

本工法は、シールドを用いて掘削を行い、テール部で内型枠と地山との間にコンクリートを加圧しながら打設し、地山に密着した覆工コンクリートを構築するトンネルライニング工法である。

したがって、覆工コンクリートの施工にあたって、上記の条件を考慮して、地盤条件、施工条件等に合ったコンクリートの施工性、施工順序、打設圧力、養生等を十分に検討することが重要である。

（１）コンクリートの施工性について

覆工コンクリートは、流動性、圧送性、材料分離抵抗性等の施工性に優れ、かつ所要強度、水密性、耐久性を有し、内型枠脱型時に所定の強度が発現できるコンクリートであることが必要である。

特に、高水圧下におけるコンクリートの配合、打設圧力等については、まだ固まらないコンクリートが地下水によって悪影響を受けることのないよう、十分検討する必要がある。発進立坑にコンクリートプラントを設置してシールド後方まで運搬するのが一般的である。

ＥＣＬ工法では、練り上がり直後のフレッシュな状態で打設することが望ましいため、施工条件が可能であれば、シールドの後方にコンクリートプラントを設置する場合もある。

（２）施工順序について

通常の施工では、掘進を開始すると同時にコンクリートの打設を行い、その間に最後尾の内型枠を脱型し移動し、掘削が終了した時点で内型枠を組み立てる。**図－４．１０**に手順図を示す。

（３）打設圧力について

本工法は、シールドテール部でコンクリートを打設し覆工を構築するために、コンクリートを打設し、地山に密着させ、加圧によってフレッシュコンクリートを密実化させる。したがって、コンクリートを加圧するための打設圧力は重要な施工の要素となる。

打設圧力は、基本的には、土水圧＋変動幅を考慮した圧力とし、地盤沈下を極力少なくすること、水圧に対して十分な止水性を有すること等に留意し、地盤条件、水圧条件等に応じて地盤を破壊させない範囲で設定するものとする。

また、既設構造物に近接し併設する場合は、他構造物への影響について十分調査検討を行って、打設圧力を設定することが必要である。

これまでの施工実績や実験結果から、一般に打設圧力に関しては次のような条件が考えられる。

$P_m < P_c < \{(P_u + P_e)/(1.0 \sim 1.3)\}$ ⇒許容加圧値

$P_w + 50[\mathrm{kPa}] < P_c$

$\gamma H_d \fallingdotseq P_c$

ここに、

P_m　：切羽圧（土圧＋水圧＋調整加圧）＜全土圧

P_c　：コンクリートの設定打設圧力

P_w　：水圧

P_e　：地盤の破壊圧（孔内水載荷試験等による）

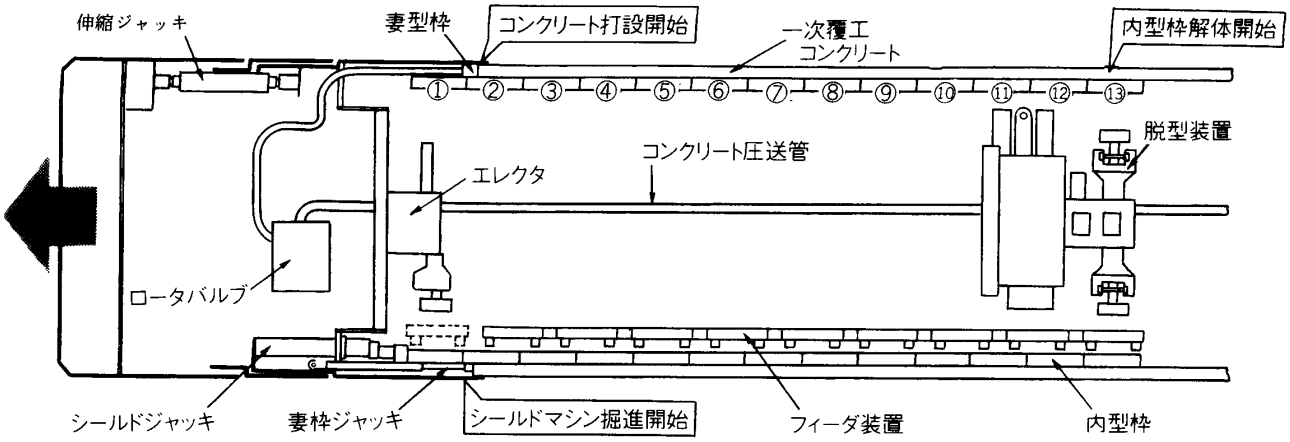
γ　：地盤の単位体積重量

H_d　：土被り

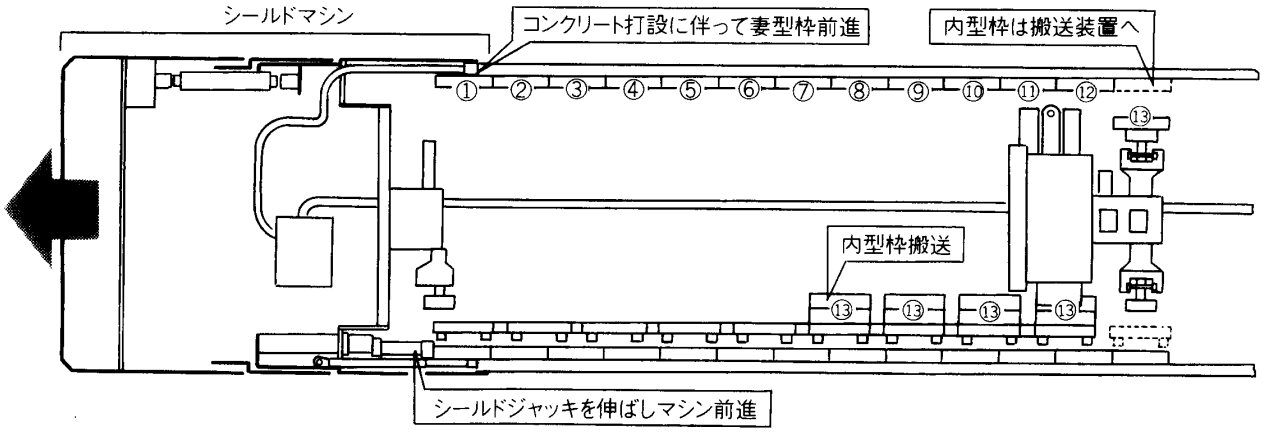
γH_d　：全土圧

（４）初期養生について

一般に、本工法における覆工コンクリートは、施工条件によって配合が決定されるため、富配合となること、また早強セメントを使用すること等から、坑内環境条件等によっては、温度応力、収縮応力等によってひび割れが発生しやすい状態となる。したがって、温度制御養生、脱型後の養生、振動、衝撃からの保護等の初期養生について十分検討する必要がある。

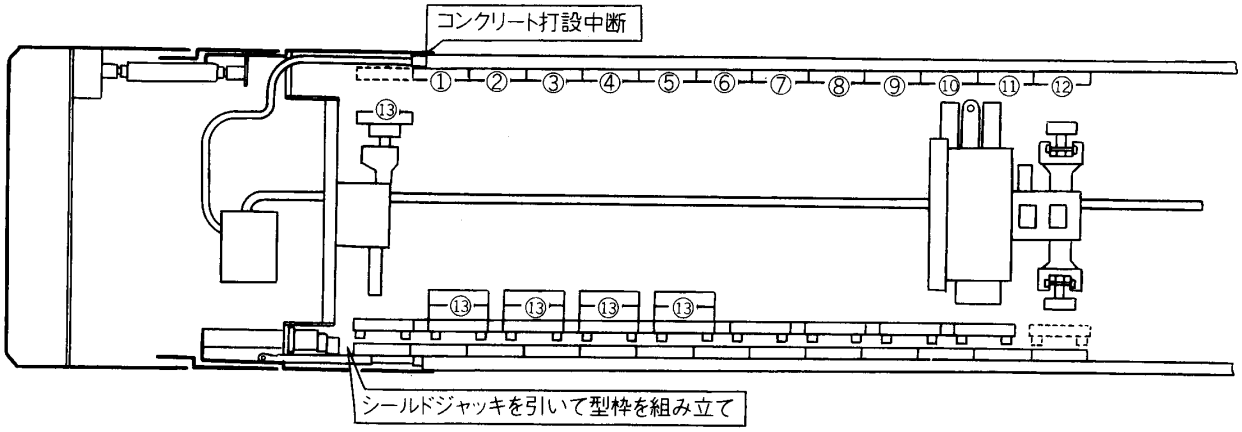


(1)　掘進およびコンクリート打設開始



(2)　内型枠解体・搬送

掘進およびコンクリート打設中に内型枠を解体しエレクタ位置まで搬送する。



(3)　掘進終了、内型枠組み立て

1リング分の掘進終了後内型枠を組み立てる。そして(1)からの作業をくり返す。

図－4．10　覆工コンクリート施工手順の例

４．１２　覆工コンクリートの配合

覆工コンクリートの現場配合は、示方配合に基づき、使用材料、打設方法等を考慮して決めなければならない。

本工法では、コンクリート打設からプレス終了までは流動性が良く、終了後は早期に強度発現するコンクリートが要求される。したがって、フレッシュコンクリートの性状は施工の良否を左右する。

（１）コンクリートの強度(早強性、耐水性)

①　トンネル構造物として必要な強度、および水密性、耐久性を有すること。

②　内型枠脱型時に所定の強度が発現できること。

（２）コンクリートの施工性(流動性、スランプ、経時保持性)

①　本工法は、コンクリートポンプによりコンクリートを加圧しながら連続打設し、地山に密着した覆工コンクリートを構築するため、流動性、圧送性、材料分離抵抗性等の施工性の優れたコンクリートであること。

②　施工中、トラブルが生じても、長時間(３時間程度)流動性が保持できるコンクリートであること。

（３）配合例

参考として、これまでの施工実績や各種試験から求められた配合例を示す。

１）無筋コンクリートの配合例

ａ．設計条件

脱型時強度 10Ｎ/mm^2

スランプ 23±2 cm、練混後３時間で 20 以上

ｂ．配合例

最大骨材寸法			[mm]	20
水ｾﾒﾝﾄ比		*W/C*	[%]	45.0～51.4
水ｾﾒﾝﾄﾌﾗｲｱｯｼｭ比			[%]	38.7～39.9
細骨材率		*s/a*	[%]	48.0～56.0
単位量 [kg/m^3]	水	*W*		180～185
	ｾﾒﾝﾄ(早強)	*C*		400～350
	細骨材	*S*		800～1000
	粗骨材(砕石)	*G*		950～850
	混和材(ﾌﾗｲｱｯｼｭ)			60～100
増粘剤			[kg/m^3]	１以下
高性能 AE 減水剤			[kg/m^3]	16 程度

２）鋼繊維を用いたコンクリートの配合例

ａ．要求性能

・脱型時強度(材齢１日)：18N/mm^2

・練り上がり直後のスランプフロー:62.5±7.5 cm

・３時間後のスランプフロー：55 cm以上

ｂ．配合例

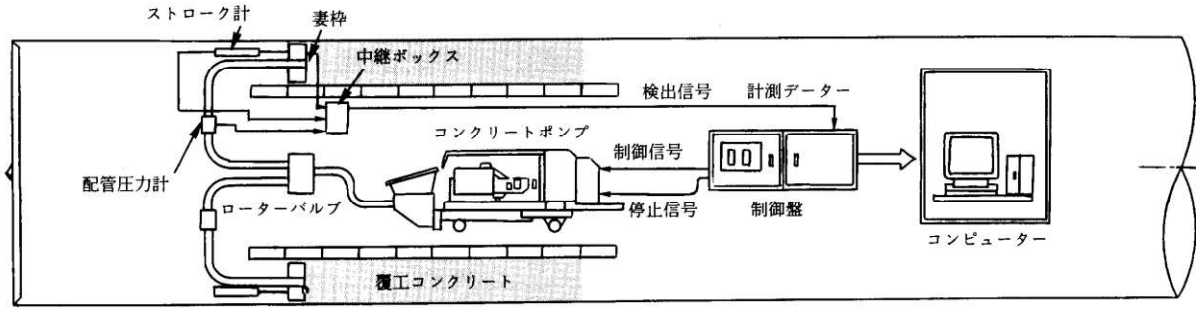
鋼繊維混入率			[%]	1
粗骨材最大骨材寸法			[mm]	15
水結合材比		*W/(C+F)*	[%]	38
ﾌﾗｲｱｯｼｭ置換率		*F/(C+F)*	[%]	20
細骨材率		*s/a*	[%]	68
単位量 [kg/m3]	鋼繊維	*SF*		78.5
	水	*W*		190
	ｾﾒﾝﾄ	*C*		400
	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	*F*		100
高性能 AE 減水剤		*C+F*	[%]	1.8～2.5
増粘剤			[kg/m^3]	1.2

４．１３　覆工コンクリートの打設

コンクリートの打設にあたっては、現場練りコンクリートを地山に密着するように適切な圧力で連続して打設しなければならない。

覆工コンクリートは、常にフレッシュな状態で連続して打設するため、コンクリートをコンクリートポンプにより加圧しながらローターバルブを介して、妻枠円周上に設けた数箇所の打設口より順次打設する。打設口は、一般には、妻枠円周方向に３ｍピッチ程度で装備している。

打設量はシールドの掘進速度に連動させ、打設圧力はコンクリート打設圧力制御装置によって、地盤条件、地下水圧等により決定した設定圧力に制御し、打設する。打設制御システム例を**図－４．１１**に示す。



図－４．１１　打設制御システムの例

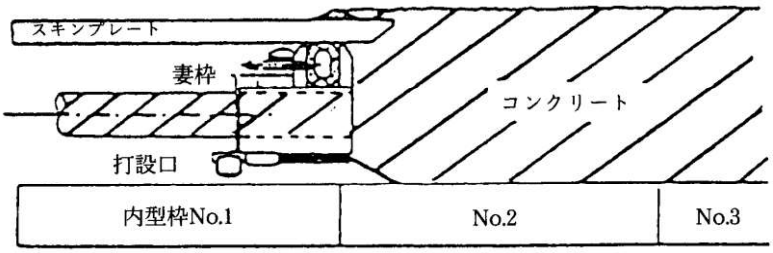
コンクリートの打設にあたっては、次のことに留意して施工する必要がある。

（１）一般部の打設

コンクリートの打設は、シールドの掘進に対応させ、所定の設定圧力で行う。１型枠長分の打設(掘進)完了後、前述の内型枠の脱型、移動、組立の手順に従って各々の作業を行

い、再び連続してコンクリートを打設する。

一般部におけるコンクリートの打設位置を**図－４．１２**に示す。

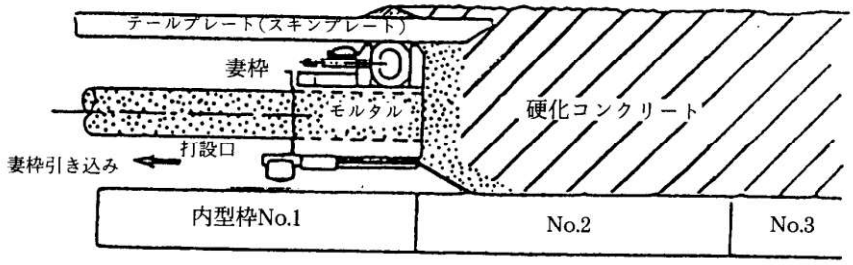


図－４．１２　一般打設

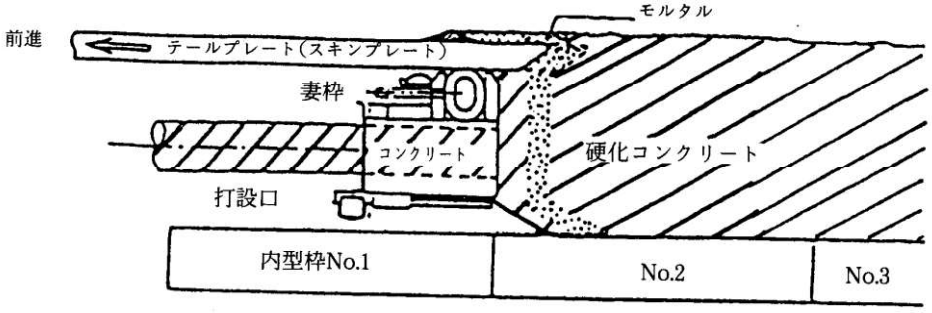
（２）打継目の施工

打継目の施工におけるコンクリート打設の停止にあたっては、妻枠を所定の位置において停止し、設定した押付け力で硬化するまで保持する。

コンクリート打設の再開にあたっては、**図－４．１３**に示すように、全打設口の先端まで密着性のよい特殊モルタルを充填し、モルタルの打設圧力を管理しながら妻枠を引き込む。次に、**図－４．１４**に示すように、シールドを前進させながら通常のコンクリートを設定圧力で打設し、通常の連続打設に移る。



図－４．１３　特殊モルタル打設



図－４．１４　一般打設への移行

４．１４　防水工

防水工は、トンネルの使用目的に応じ、適切な方法で施工しなければならない。

トンネルは地下水位下に構築されることが多いので、地下水圧に耐えるような 防水工が必要となる。

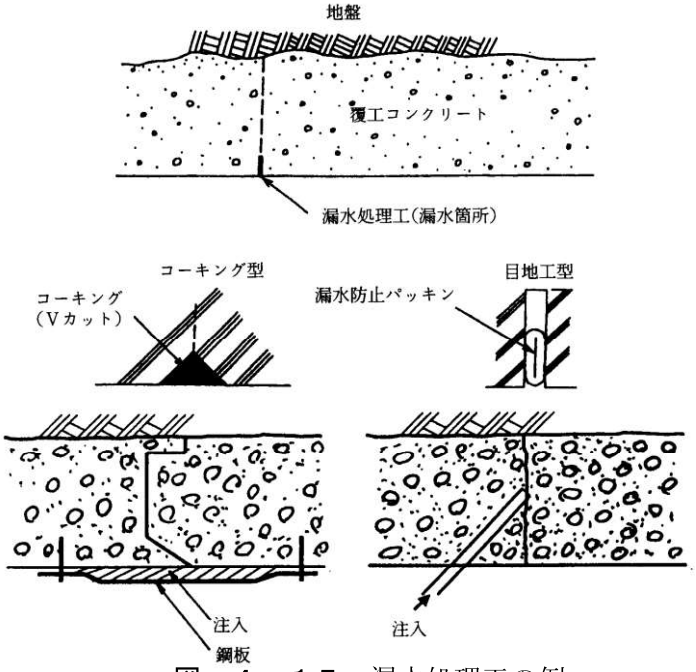
ＥＣＬ工法による覆工コンクリートは、コンクリートを加圧しながら連続打設するため、地盤に密着した高品質の覆工コンクリートが構築される。また打継目では特殊モルタル等を用いて高圧打設するため水密性の高い打継目が得られる。しかしながら無筋コンクリート覆工であるため、乾燥収縮、温度応力、外部拘束等によってトンネル軸方向に対して直角に輪切りのひび割れが発生する可能性がある。

そこで、トンネルの状況に応じて、次により防水工を施工するものとする。

（１）一般の場合

覆工コンクリートの打ち継ぎ目やひび割れから漏水している箇所は、**図－４．１５**に示したような例を参考に、適切な漏水処理工を用いて確実に処理する必要がある。

覆工コンクリートからの漏水を少なくする対応策としては、鋼繊維補強コンクリートを用いて、ひび割れを分散させて開口幅を小さくする方法がある。また覆工コンクリートにひび割れの誘発目地を施工し、ひび割れを集中させ、目地として処理する方法がある。



図－４．１５　漏水処理工の例

（２）環境条件の厳しい場合

環境保全上水位低下を防止し、坑外に漏水を排出することが難しい場合は、二次覆工を計画し、シート防水工等を用いて、漏水防止を行う。

シート防水工は、次のことに留意し、覆工内面に漏水が生じないよう施工する必要がある。

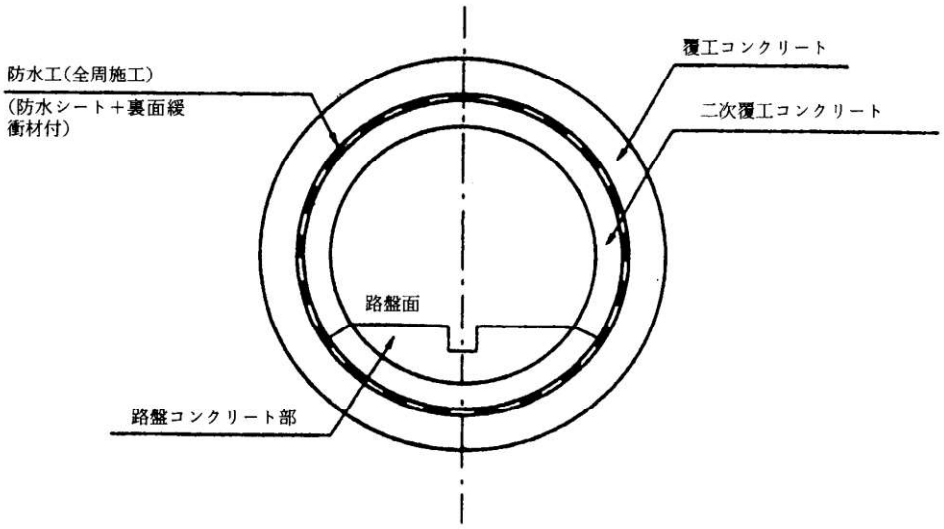
覆工コンクリートの内面は、シート防水工の施工に支障をきたす下地面の突起物等をあらかじめ処理し、漏水については二次覆工コンクリートが構築されるまで防水工背面に滞水することのないように排水材等を用いて確実に排水する必要がある。

またシート防水材は、覆工コンクリート内面に確実に取り付け均一で連続した接合が得られるようにする必要がある。シート防水工には、トンネル全周または部分的にシート防水を行う方法がある。

１）全周型防水工(覆工内面の全周をシートで防水)

トンネル周辺の地下水位が高く、極めて厳しい条件下では**図－４．１６**に示すように全周にシート防水工を設置する。

○覆工内面の全周を防水する場合

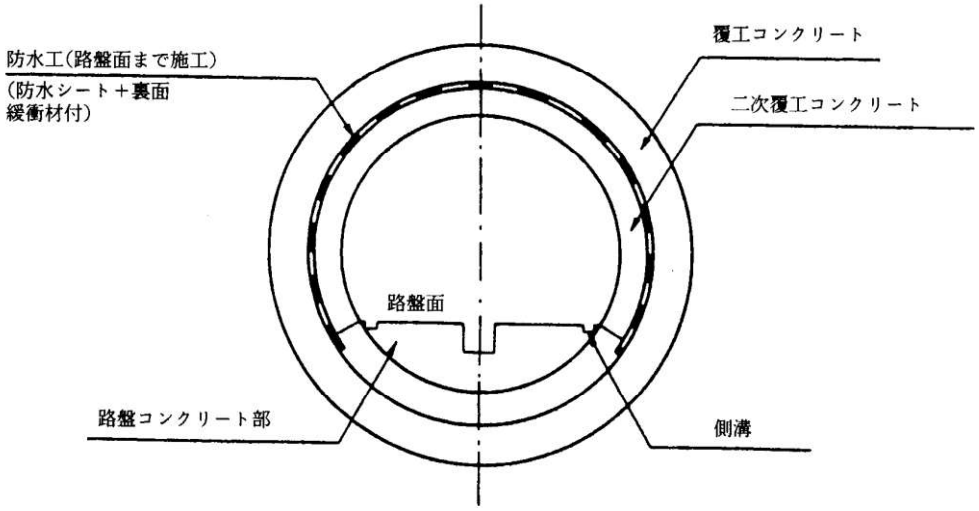


図－４．１６　全周型防水工

２）上半型防水工(覆工内面の上部をシート、下部をコンクリートで防水)

トンネル周辺の地盤条件、地下水位、環境条件等により、上部はシート防水工を用い、下部は路盤コンクリート等で十分防水機能が得られる場合は**図－４．１７**に示すように上半型防水工を設置する。

○覆工内面の路盤面までを防水する場合



図－４．１７　上半型防水工

４．１５　施工管理

ＥＣＬ工法による覆工が、所要の品質を確保するために、次の管理を行わなければならない。

・（１）材料管理
・（２）作業管理
・（３）出来形管理

ＥＣＬ工法は、直打ちコンクリートによって地盤内に覆工を構築するため、コンクリート強度、覆工厚さ等の完成後の覆工品質を非破壊による計測で管理することが困難である。したがって、完成後の品質を確保するためには、材料管理、作業管理、出来形管理等を入念に行う必要がある。

これらの管理の記録は、トンネルの維持管理上において貴重な資料となり、またＥＣＬ工法の技術の進歩のために必要なものである。

（１）材料管理について

①　コンクリート材料

必要な強度、材質等が確保できるようにコンクリート材料の品質管理を行うものとする。なお、コンクリート材料(セメント、粗骨材、混和剤等)の品質管理については、「コンクリート標準示方書(シールド工法編)・同解説」土木学会等に基づいて行うものとする。

②　コンクリート

ＥＣＬ工法では、コンクリート打設終了までは流動性がよく、終了後は早期に強度発現するコンクリートが施工上要求される。したがって、フレッシュコンクリートの品質は、施工の良否を左右するとともに、完成後の覆工品質に影響を及ぼすことがあるため、入念に管理しなければならない。また、覆工の品質を保証するために、型枠の脱型時および完成時のコンクリート強度を把握しなければならない。コンクリートの強度管理は、現場条件に応じて強度試験を実施する。

ＥＣＬ工法は施工サイクル上、昼夜間にコンクリートを連続的に打設しなければならない。このため、夜間のレディーミクストコンクリートの入手が難しい場合には、コンクリートを現場プラントで製造しなければならない。コンクリートをレディーミクストコンクリートプラントから入手する場合と現場プラントで製造する場合では、次のような品質管理を必要とする。

ａ．　現場プラントで製造する場合

現場プラントで製造する場合、セメント、水、細骨材、粗骨材、混和剤等の各材料が所要の品質を満足していることを確認すると同時に、貯蔵状態を入念に管理する。材料搬入時の管理は、品質証明書等の検査により行う。材料の受け入れ検査項目と頻度を**表－４．１**に示す。

表－４．１　材料の受入れ検査項目と頻度

種　　目	管理項目	品質特性	試験方法	試験頻度	備　　考
セメント	品質	JIS に規定する る品質	JIS R 5201 JIS R 5202	※１回／月	製造工場の試験成績表でチェック
骨　　材	外観 異物		目　　視	入荷の都度、適宜	石質、粒形等 木片、 玉石の混入
	粒度	粒度分布	JIS A 1102	※１回／月以上	産地、 種類、 銘柄別
		粗粒率	JIS A 5004 JIS A 5005	※１ 回／月以上	
	粒形判定	実積率	JIS A 1102 JIS A 5004 JIS A 5005	※１回／月以上	
	比重	比重	JIS A 1109 JIS A 1110	※１回／月以上	
	吸水率	吸水率	JIS A 1109 JIS A 1110	※１回／月以上	
	有害物	有機不純物	JIS A 1105	※１回／月以上	
		粘土塊量	JIS A 1137	※１回／月以上	
		洗い試験で失われるもの	JIS A 1103	※１回／月以上	
		軟らかい石片	JIS A 1126	※産地の変わる都度	
		比重 1.95 の液体に浮くもの	JIS A 5308 附属書 2	※産地の変わる都度	
	単位容積重量	単位容積重量	JIS A 1104	※１回／月以上	
	すりへり減量	すりへり減量	JIS A 1120 JIS A 1121	※１回／年以上 産地の変わる都度	
	安定性	安定性	JIS A 1122	※１回／年以上 産地の変わる都度	
	アルカリ骨材反応性	アルカリシリカ反応性試験	JIS A 5308 附属書 7 附属書 8	※２回／年以上	骨材生産者が提出する試験成績表で確認
水	水質	コンクリートに影響を及ぼす物質の有害量を含まない	水質検査	１回／年程度	
混和材		JIS A 6201 等に規定する る品質	JIS A 6201	※１回／月	製造工場の試験成績表でチェック
		JIS A 6204 に規定する 品質	JIS A 6204	入荷の都度銘柄を確認	塩化物量とアルカリ量を試験成績表によって確認

※印の試験結果記録等は保存しなければならない。

現場プラントで使用する計量装置は、所定の計量誤差内で計量できるものとし、定　期的に点検、調整しなければならない。

ｂ．　レディーミクストコンクリートプラントから入手する場合

レディーミクストコンクリートプラントにおける配合を確認すると同時に、現場到　着時にスランプ試験等を実施し、所要の品質が満足されていることを確認する。なお、現場において流動化剤等の混和剤を添加する場合は、その使用量・使用時期に注意を払う必要がある。

コンクリートの品質を確保するために、十分な管理を行える製造設備が必要である。製造設備の管理基準については、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートに基づくことを原則とする。

コンクリートの試験は、一般に製造管理試験として行われ、その必要なコンクリートの製造管理試験を**表－４．２**に示す。

表－４．２　製造管理試験

工　　程	管理項目	品質特性	試験方法	試験頻度	備　　考
配　合	綱骨材の粗粒率		JIS A 1102	１回／日以上（工事初期）	
	粗骨材の実積率		JIS A 1104 JIS A 5005	適宜	
	細骨材の表面水率		JIS A 1111 JIS A 1125	２回／日以上（工事初期）	静電容量水分計等が正常作動している場合は検定のみ
			静電容量水分計等の出力検出	随時	
材料計量	計量精度		目視	全バッチ	零点、設定針表示針の確認
			動荷重試験	※１回／月以上	連続 10 バッチ
			静荷重試験	※２回／年以上	
練混ぜ	外観 ワーカビリチー 均一性	均一性	目視	全バッチ	スランプフローの測定以外は、基本的に、JIS A 5308 の 9 検査に規定する検査を行う
		スランプフロー	目視	全バッチ	
			土木学会規準(案)に準拠	※初期２回／日以後は原則として 150m^3 毎	
		練りまぜ３時間後のスランプフロー		※初期１回／日程度、以後は１回／週程度	
	空気量	空気圧	JIS A 1118	※初期２回／日以後は原則として 150m^3 毎	
	コンクリート温度	温度		※スランプフロー試験時	
	強度	圧縮強度 １日、28 日	JIS A 1118 JIS A 1132	※原則として 150m^3 毎	
	塩化物量	塩化物量 （C1$^-$換算）	JIS A 5308 附属書 5	※１回／月	

※印の試験結果記録等は保存しなければならない。

（２）作業管理について

シールドテール部で築造された覆工は、トンネルの構造体となるため、所要の品質を確保するには、各作業段階で入念な管理を行わなければならない。

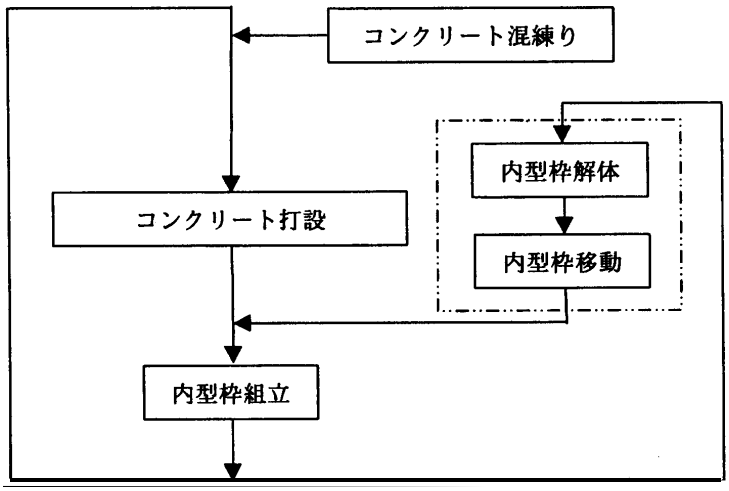
ＥＣＬ工法の基本的な作業フローを**図－４．１８**に示す。

なお、作業内容と作業手順が工法ごとに異なるため、各工法の管理基準に従って作業管理を実施するのを原則とする。

表－４．３に各工種における主要な作業管理項目とその目的を示す。

表－４．３　各工種における主要な作業管理項目とその目的

作業管理項目	目　　的
（1）シールド掘進に関する事項	
ジャッキ推力・ストローク・速度 ジャッキ選択	コンクリート充填状態確認 方向制御
シールドの平面・縦断位置	線形の確保、覆工厚の確保
シールドと型枠の位置	型枠の調整および覆工厚の確保
コピーカッターストローク	コンクリート充填状態確認
掘削土量	コンクリート充填状態確認
（2）コンクリートの打設に関する事項	
打設圧力・打設量	打設充填状態確認、型枠の安定確保
打設長	出来形管理、覆工長
（3）内型枠に関する事項	
型枠の位置・形状	線形の確保、覆工厚の確保



図－４．１８　ＥＣＬ工法の基本的な作業フロー

図－４．１８に示したフローの各段階における作業管理について、以下に示す。

①　内型枠組立

内型枠は、覆工の仕上がり精度に直接影響を及ぼすため、所定の位置に正確に組み立てられているかを確認すると同時に、組上がり状態が良好であるかを確認しなければならない。

② コンクリート打設

コンクリートは、内型枠と地山間に打設され、充填状態を保持するよう連続的に打設される。この打設方法では、地山にコンクリートを密着させ、地山を保持するため、打設されたコンクリートの圧力を一定範囲内に保持する必要があり、打設圧と打設量を管理しなければならない。

コンクリートの圧力保持は、コンクリートの品質にも影響を与えるため、品質管理上も打設圧・量の管理は重要である。

③ 内型枠解体、移動

内型枠の脱型後は、覆工に荷重が作用するので、必要強度が発現するまでコンクリートを養生しなければならない。内型枠の脱型時期は、事前の強度試験等によって定める必要がある。

コンクリート強度の確認は、標準供試体あるいは加圧供試体による所要材齢における強度試験により行うものとする。

（３）出来形管理について

覆工が設計図書の形状・寸法に適合していることを確認するために、トンネル形状・内空寸法等を管理する。覆工厚さの出来形は、覆工の品質に直接影響を及ぼすので、設計図面に適合していることを確認することは重要である。一般に、地下水がない場合は、コア採取試験によって確認することができる。しかし、地下水がある場合は、超音波測定などによる非破壊検査が必要となる。

実施工のコア採取試験の結果では、**表－４．３**に示したような計測・管理方法で、覆工厚さを保証できることが確認されている。したがって、出来形は上記の管理を十分行うことにより、設計仕様を満足させることができる。

その他、安全衛生管理、環境保全管理等については、「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」土木学会に準拠するものとする。

４．１６　計　測

（１）通　則

トンネルの工事を安全かつ経済的に施工するため、覆工コンクリートおよび地盤等について必要な計測を行わなければならない。

トンネルは、不連続で不均質な地盤中に構築される線状の構造物であり、事前調査の精度は自ら限りがある。そのため、トンネル掘進に伴う地盤の挙動や覆工コンクリートに作用する応力および周辺環境に及ぼす影響等について、事前に予測することは容易なことではない。

そこで、工事の安全性および経済性を確保し、さらに周辺環境へ及ぼす悪影響を防止するために、施工中に各種計測を行い、その結果を総合的に判断して、施工に反映させながら工事を慎重に進めることが肝要である。

また、計測結果は、工事完了後のトンネルの保守管理に役立つばかりでなく、将来の他のトンネルの工事計画をたてるうえで有効な資料となるので、よく整理し保存することが必要である。

（２）計測計画

計測計画の策定にあたっては、本工法の特徴、地盤条件および立地条件を十分考慮して行わなければならない。

セグメントによる覆工方法では、地盤との間に空隙が生じるため、地盤の緩みと沈下防止を目的として裏込め注入を行うが、本工法はコンクリートを地盤と型枠の間に直接打設する工法であり、地盤に与える影響は極めて小さいといえる。計測の目的はトンネルの品質の保持、地中応力の変化の把握および地表沈下による周辺環境への影響の把握が主たるものである。

計測計画の策定にあたっては、その目的を考慮して、効果的で経済的な方法を検討するとともに、安全にかつ工事にできるだけ支障をきたさないよう十分配慮して行う必要がある。

（３）計測の種類と計測項目

計測にあたっては、使用目的、評価の方法を明確にしたうえで、必要な項目を選定しなければならない。

計測項目の例を**表－４．４**に示した。

計測は、その目的や評価方法を明確にし、また施工方法や現地の状況や経済性等から総合的に判断して施工上必要な計測項目を選定して行うことが必要である。

表－４．４　測定頻度の例

種　　類	項　　目
計　　測	①　地表の変位測定 ②　地中の変位測定および土・水圧測定 ③　覆工コンクリートの内空変位測定 ④　覆工コンクリートの応力度測定等

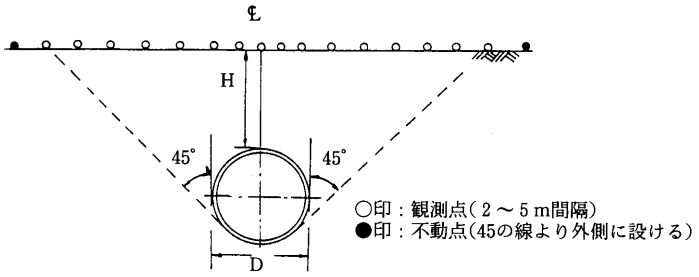
１）　計　測

①　地表変位の測定

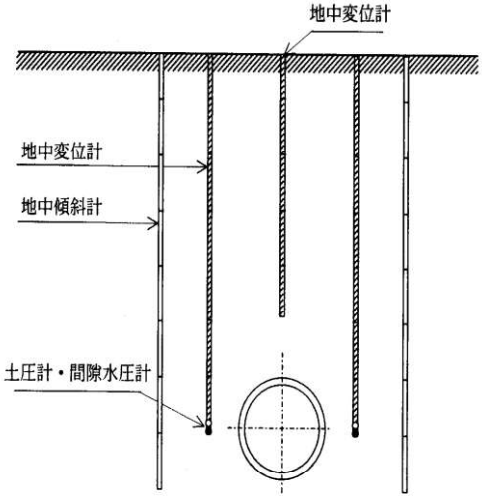
都市部におけるトンネル施工は、道路下、ビル等建築物、地下埋設物等の重要構造物に近接して構築する場合が多い。このため、地表変位の測定の他に構造物の沈下、変状測定を実施する。**図－４．１９**に地表面沈下測定のための測点の配置例を示す。

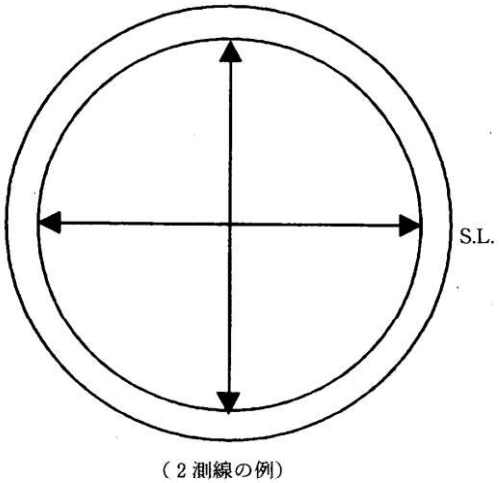
②　地中の変位測定および土・水圧測定について

トンネル掘削に伴う地盤中の変位測定は、地表部からボーリングを行い地盤条件に応じて層別沈下計、傾斜計、地中土圧計、間隙水圧計、等を設置し各計測を行って、地盤の挙動を把握する。**図－４．２０**に地中変位測定のための測定器の配置例を示す。



図－４．１９　地表面沈下測定のための測点の配置例





図－４．２０　地中変位測定のための測定器の配置　**図－４．２１**　内空変位測定測線の配置例

③　覆工コンクリートの内空変位測定

覆工コンクリートの内空変位測定は、コンバージェンス・メジャー等を用いて覆工コンクリートの内空変位測定を行う。また、必要に応じてトンネル方向の変位についても測定することが望ましい。

なお、シールド後続設備が支障となる場合が多いので、測定時期および位置については検討を要する。**図－４．２１**に一般的な内空変位測定測線の配置例を示す。

④　覆工コンクリートの応力度測定等

覆工コンクリート応力度の測定は、歪み計で型枠やコンクリート面の歪みを測定して行うものであり、施工状況やコンクリートの収縮等の影響を受けやすいので注意を要する。

２）計測位置の選定

計測位置の選定にあたっては、次の点を考慮して行う必要がある。

地表条件が、所定の計測を実施するにあたって大きな障害とならないこと。地盤条件や

地表面の利用状況、土被りの大きさを考慮し、影響が想定される範囲や位置を選定する必要がある。諸々の状況から、必要に応じて主測線のほか副測線の位置を選定することが望ましい。

３）計測間隔と計測頻度

計測は、その目的、トンネルの規模、条件などを十分考慮して、計測間隔と計測頻度を決定する。特に、発進部付近の計測は今後の施工の良否に大きく左右することとなるため、綿密に計測を行う。

計測間隔の例と計測頻度の例を**表－４．５**および**表－４．６**に示す。

表－４．５　計測間隔の例

計　測　項　目	計　測　間　隔　（　場　所　）
内　空　変　位　測　定	発進部付近および重要構造物付近
地　中　変　位　測　定	発進部付近および重要構造物付近
地　表　変　位　測　定	トンネル中心線上は概ね 20m、横断は発進部付近および重要構造物付近
覆工コンクリート応力度測定等	発進部付近および重要構造物付近

表－４．６　測定頻度の例

切羽からの離れ	計　測　頻　度
－３Ｄ～　０	１回／日程度
０～１Ｄ	１～２回／日
１Ｄ～２Ｄ	１回／日
２Ｄ～５Ｄ	１回／２日
５Ｄ～変位収束まで	１回／週

（４）計測結果

①　計測の結果得られた数値は、以降の設計や施工に役立てるため、速やかに集積し、分析・評価しなければならない。

②　計測結果は、日常の保守管理や将来の技術開発に役立てるため、よく整理し、必要な時には即座に利用できるように保管しておかなければならない。

１）計測の分析・評価について

計測結果を活用して、トンネルの施工が安全かつ経済的に行われているかどうか、また、地表沈下等周辺環境に悪影響を及ぼしていないか常に監視する必要がある。

トンネルの安全性を保つために、施工前に地表沈下量等についてあらかじめ数段階の管理基準値を設定して、それぞれの段階に応じた対応策を定めておく方法がとられることが多い。管理基準値の設定にあたっては、事前調査による地盤の物性値やこれに基づく解析的な方法によって定められる場合と、これまでの条件の類似したトンネルのデータによって定められる場合とがあるが、いずれの場合も、絶対的なものではないので、施工中の実

測値から反映させて管理基準値の見直しを行うことが必要である。

都市トンネルの地表沈下量の管理基準値については、対象構造物の管理者と協議して許容値を定め、それを最大値として数段階の管理レベルを設定している例が多い。

２）計測結果について

計測結果は、施工記録と関連づけて整理しておくことがよく、日常の保守管理上有効な資料となる。そのためには、事前に様式を定めて見やすく整理しておき、必要な時には即座に利用できるように保管しておく必要がある。

また、整理された記録は、本工法の施工実績が少ない現状からみて、将来さらに開発を進めていく必要があることから、今後の施工に役立つようよく保存する必要がある。

５．施工設備

５．１　坑外設備

トンネル坑外には、計画工程を満足させる能力を有し、かつトンネル内設備と関連して各々の作業が遅滞なく安全に施工できるような下記設備等を設けるとともに、必要な用地を確保するものとする。

- 覆工材料貯蔵設備
- コンクリートプラント設備
- 計量設備
- ずり搬出設備
- 給水設備
- 材料、資機材置場および搬入設備
- 排水処理設備、充電設備
- 受変電設備
- 掘削土処理設備
- 換気設備
- その他

トンネル坑外設備は、作業に必要な動力の供給、掘削土砂の搬出、資材の搬入搬出等を行うもので、環境保全対策を考慮したうえ、工事の規模、工程を満たす能力を持ち、工法にあった合理的な運営ができるものとする。これらは現地の条件とつりあいのとれたものでなければならず、各設備の配置も相互に競合支障を与えないよう慎重に決定する。

本工法において特徴的な設備は、覆工コンクリートの材料貯蔵設備および直打ちコンクリートのためのコンクリートプラント設備等を坑外設備として設置することにある。

この項においては、これら本工法の特徴的な設備についてのみ記述し、トンネル工事全体として必要なその他の設備については、「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」土木学会に準拠するものとする。

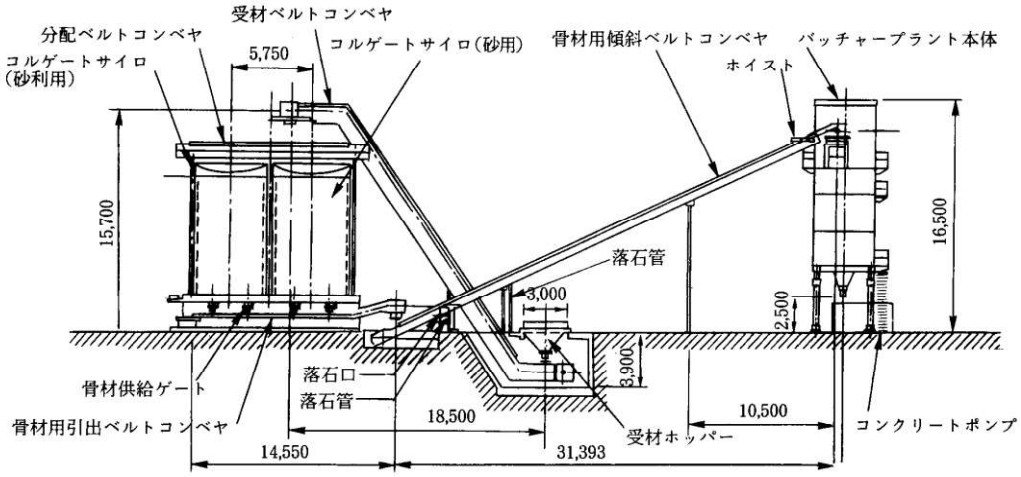
（１）覆工材料貯蔵設備について

現場打ちのコンクリートは現場内で練混ぜを行うのを基本とし、そのためにセメント、骨材、混和剤等の貯蔵設備を設ける。貯蔵量は、主に発進基地の立地条件や材料の供給元との地理的な条件等から決まる搬入の量および頻度と、進行とを考慮して決定する。

また、骨材の表面水、凍結等に関して、上屋等で覆うなどの配慮が必要である。上記諸条 件によって設備の規模が異なってくるが、施工実績等から、通常 3 日分程度を貯蔵することとしている。6mクラスのシールドを想定した場合では、コンクリートの主要な材料であるセメントは60t 程度、細骨材および粗骨材は、それぞれ 250t、100t 程度が貯蔵できる規模のものが必要となる。

また、これらの材料を坑内運搬設備に移すための積込設備を設ける。

貯蔵設備の例を**図－５．１**に示す。



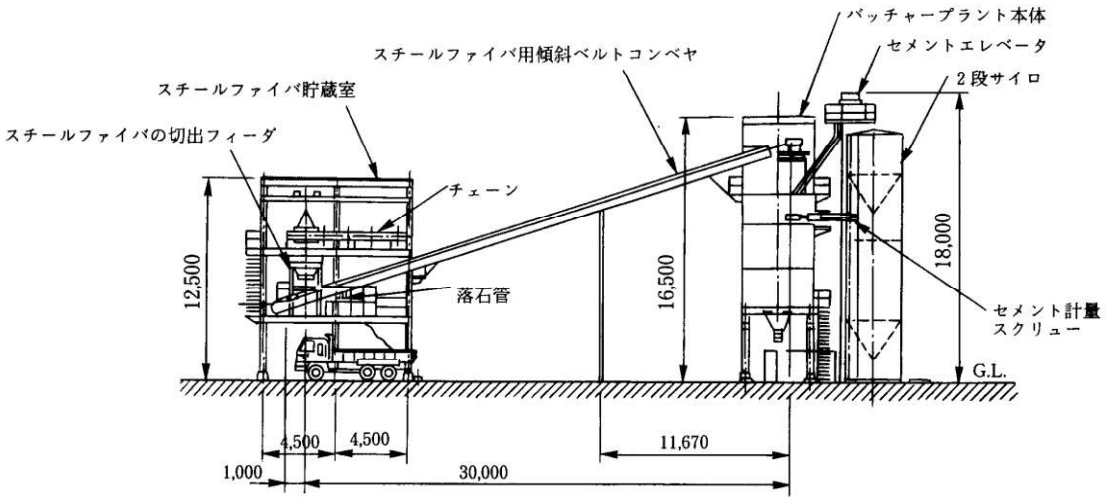
図－５．１　貯蔵設備の例

（２）コンクリートプラント設備について

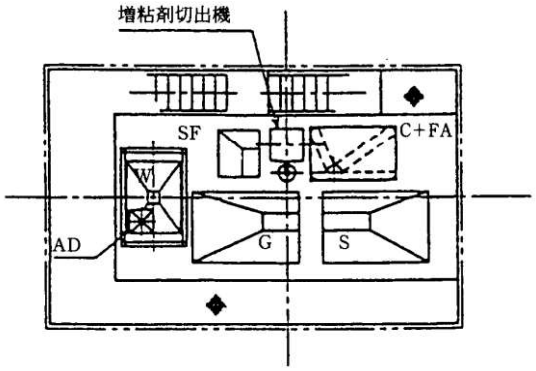
本工法において、コンクリートを現場内で練り混ぜる場合、２種類の方法がある。立抗上にコンクリートプラント設備を設置する方法とシールド坑内の後続台車設備にコンクリートプラント設備を設置する方法である。

坑外の立抗上にコンクリートプラント設備を設置する場合は、高さ制限等の制約は比較的受けないため、掘進能力、運搬能力、サイクルタイム等を十分に検討して、練り混ぜ能力を決定する必要がある。

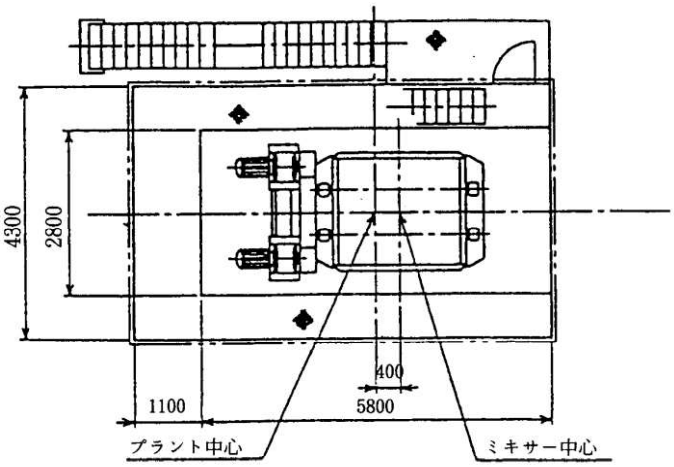
コンクリートプラントの例を**図－５．２，３**に示す。



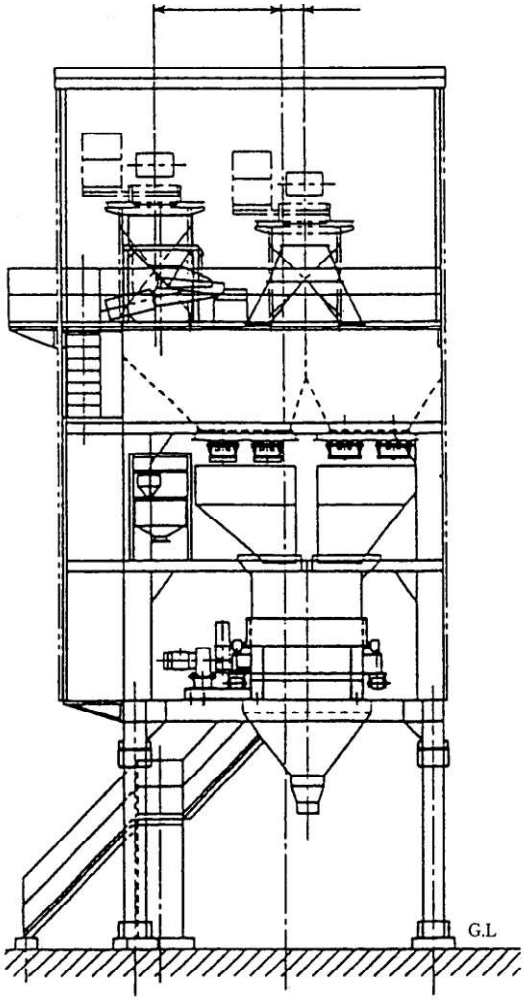
図－５．２　コンクリートプラント配置の例

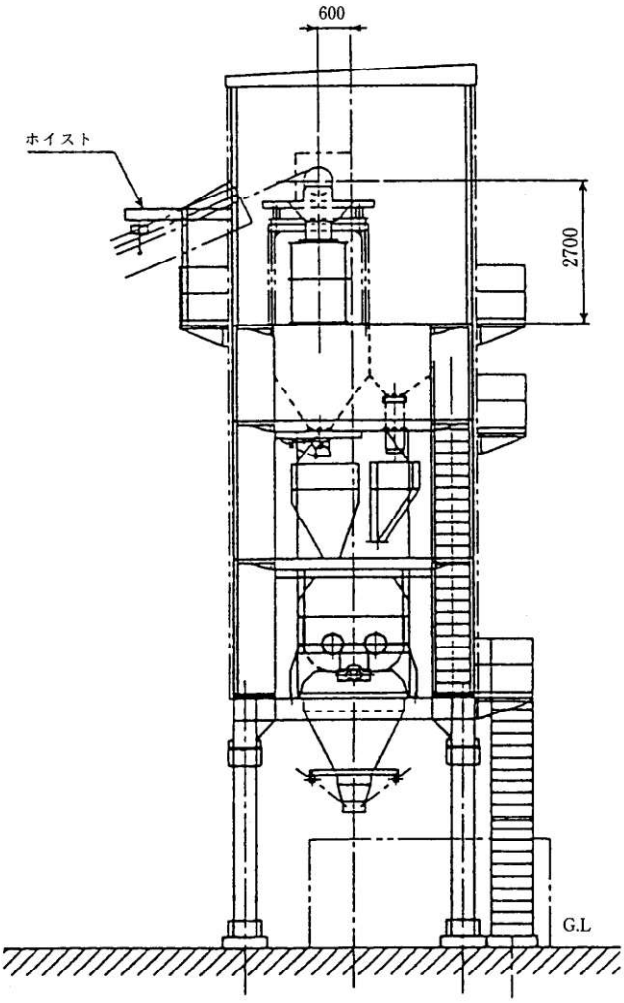


Ｂ－Ｂ断面



Ａ－Ａ断面





図－５．３　コンクリートプラント設備の例

（３）計量設備について

材料の計量に関しては、計量する場所により以下に示す２通りの方法がある。

１）坑内のコンクリートプラントで計量を行う方法

坑外よりコンクリート材料を搬入し、坑内のプラントでセメント、骨材、混和剤、水等の全ての材料を計量する方法。

２）坑外でバッチごとに計量を行う方法

水、混和剤等を坑内のコンクリートプラントで計量し、セメントや骨材は坑外でバッチごとに計量する方法。前者の場合、計量設備は坑内に設置されるので、坑外には積込の設備だけでよいが、後者の場合には坑外にも計量設備が必要になる。計量器は「JIS A 5308 レディミクストコンクリート　7.2 計量誤差」に示される範囲内で計量ができるものを選定する。

５．２　坑内設備

トンネル内には、計画工程を満足させる能力を有し、トンネル坑外設備と関連して各々の作業が遅滞なく安全に施工できるような下記設備等を設けるものとする。

- **坑内運搬設備**
- **覆工設備**
- **後続台車設備**
- **換気設備**
- **電気設備**
- **照明設備**
- **連絡通信設備**
- **安全通路**
- **消火防火設備**
- **作業台車**
- **その他**

トンネル坑内設備とは、本トンネルに設置されるシールド以外の設備をいう。
これらの設備機器はシールドの形式およびトンネル坑外設備、地山条件、施工方式を考慮して安全で経済的なものを配置するものとする。

この項においては本工法における特徴的な設備について記述し、その他一般的な設備については、「トンネル標準示方書(シールド工法編)・同解説」土木学会に準拠するものとする。

（１）坑内運搬設備について

本工法は、シールドの進行に追従した覆工の工法である。運搬設備の適否が直接シールドの進行に影響するため、坑内運搬設備は掘削能力に見合った容量の能力を有する設備とする必要がある。

坑内運搬設備は、掘削土砂の搬出、覆工材の搬入、仮設材の搬出入等に供し、トンネル

の断面、延長、線形、勾配、サイクルタイム、後続設備、坑外設備等を総合的に考慮して、適切な運搬方法を決定する。

本工法における特徴的な運搬設備として覆工コンクリートの運搬設備がある。

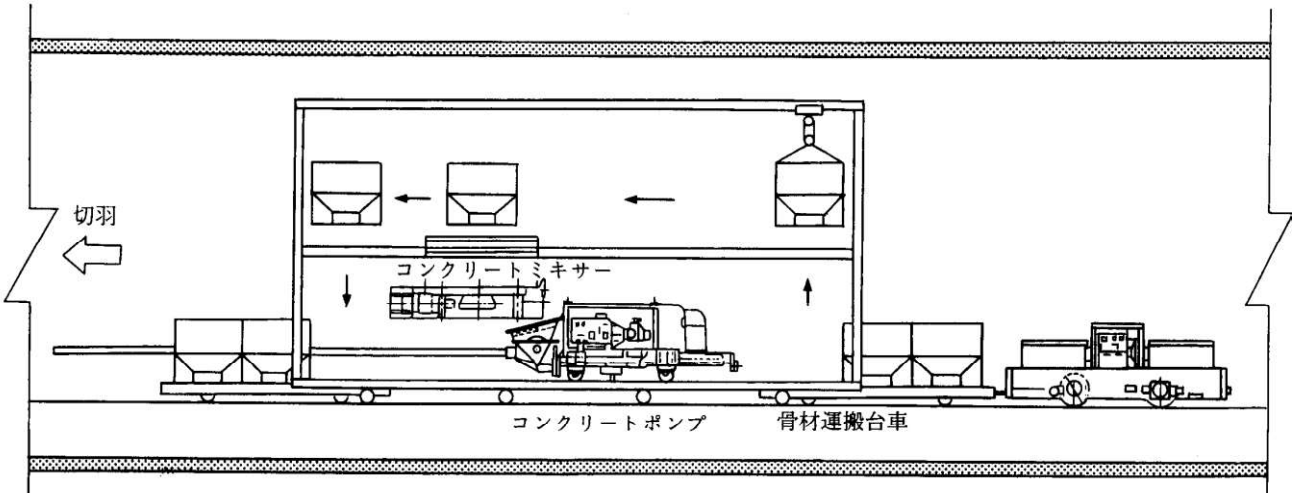
覆工コンクリートの運搬には、坑内にコンクリート材料を運搬する方法と練り混ぜしたコンクリートを運搬する方法の２つがある。

１）コンクリート材料の運搬

坑内にコンクリート材料を運搬する方式は、トンネル径が比較的大きく、シールドの後続台車設備にコンクリートプラントが設置できる場合に適用され、セメント、粗骨材、混和剤、水等を個別に立坑から坑内に運搬する方式である。

コンクリートの材料を運搬する場合、セメントはサイロ、粗骨材はコンテナー等の専用設備を設ける等、運搬中の防水、飛散、ミキサーへの投入等を考慮するものとする。

坑内プラントの例を**図－５．４**に示す。



図－５．４　坑内プラントの例

２）練り混ぜたコンクリートの運搬

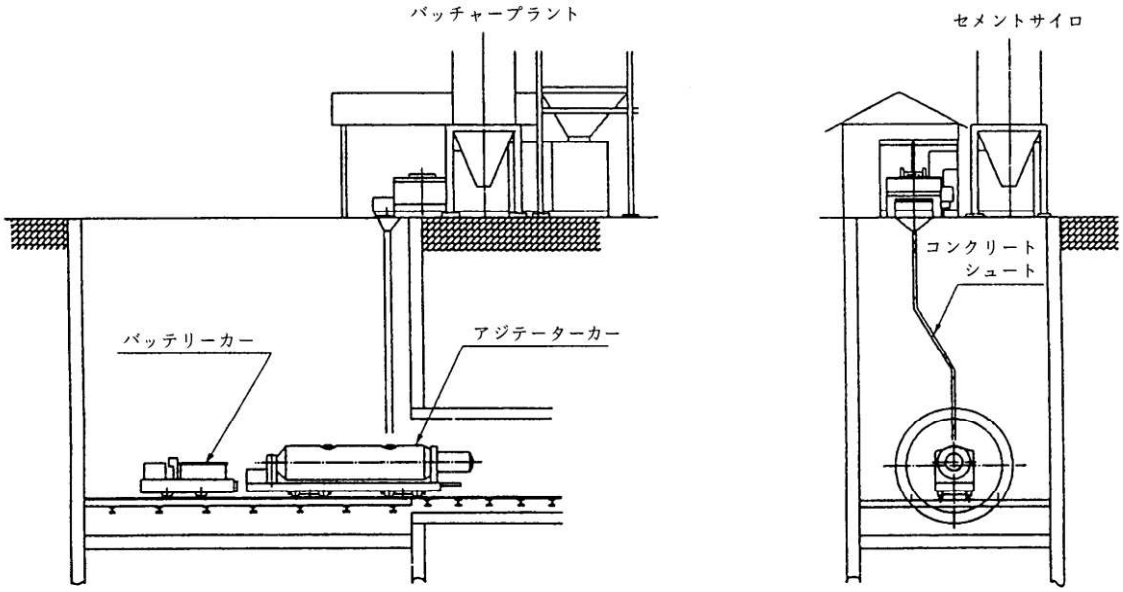
コンクリートの運搬にあたっては、できるだけ練り上がり後の性状変化が少ない設備である必要がある。したがって、攪拌装置の装備されたアジテーターカーが一般的に使用されている。

これらの運搬設備では、練り混ぜたコンクリートの積込みおよび坑内後続台車の打設設備への荷下ろしが停滞することのない設備とすることが重要である。

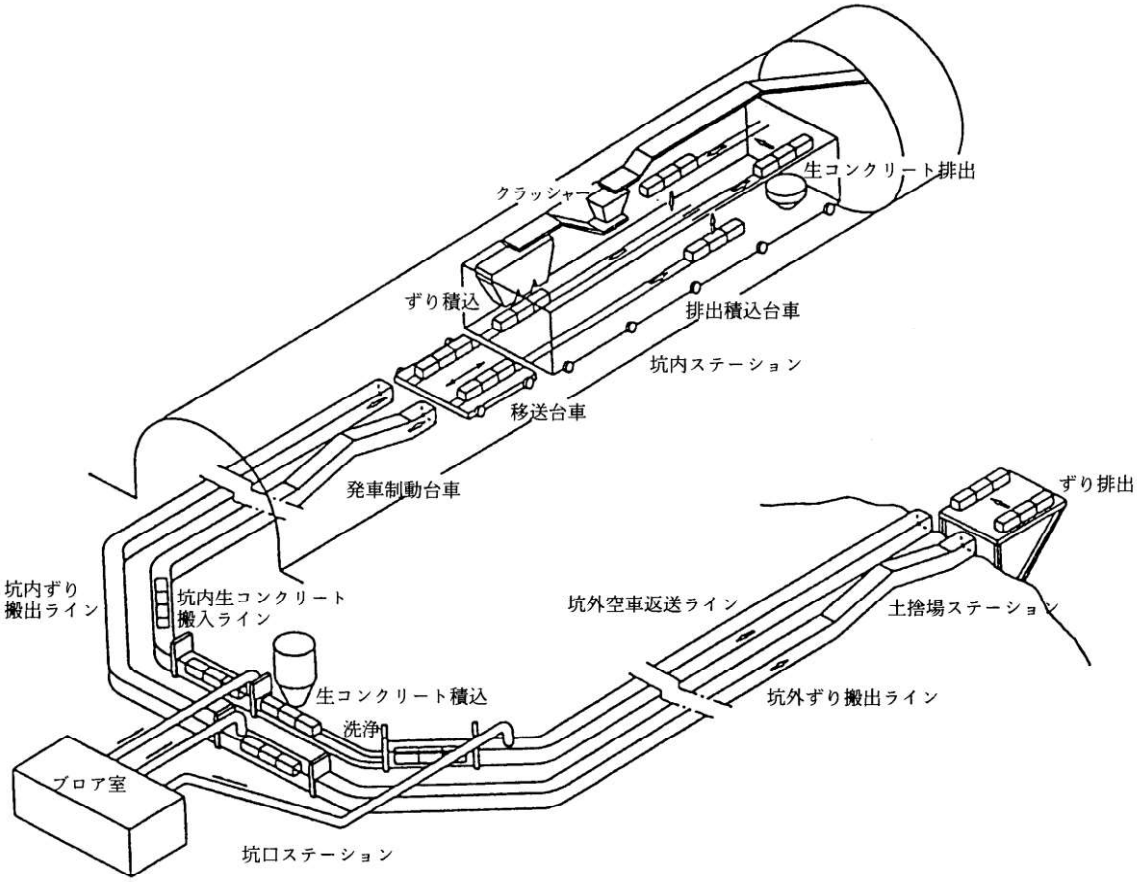
コンクリート運搬設備の例を**図－５．５**に示す。

また、大規模な運搬設備として、掘削土砂の搬出と共用して、空気カプセルによってコンクリートの運搬が行われた例もある。

空気カプセル輸送の例を**図－５．６**に示す。



図－５．５　コンクリート運搬設備の例



図－５．６　空気カプセル輸送設備の例

（２）覆工設備について

覆工設備には、内型枠・エレクタ設備、コンクリート打設設備、コンクリートプラント設備およびコンクリート打設制御設備がある。

１）内型枠・エレクタ設備

内型枠は、コンクリート圧力、シールドの推力に耐えるのに十分な強度を有し、推進力の反力をとり、シールドの進行に十分な装備数が必要である。

また、エレクタ装置は進行のサイクルに合わせて、安全かつ迅速に脱型・移動・組立ができる設備とする。

２）コンクリート打設設備

コンクリート打設設備は、コンクリートを打設するコンクリートポンプ、これらの打設量、打設スピード、打設圧力を制御するコンクリート打設制御装置、これらに付属するコンクリート配管群、コンクリートを分配するローターバルブによって構成される。　コンクリートポンプの選定にあたっては、必要なコンクリート打設圧力に十分対応できる圧力の能力を有すること、シールドの進行に見合った容量の打設能力を有すること、　また覆工断面に対して均等に所定の圧力で、地山に密着したコンクリートを打設しその圧力が保持できるような個々の設備と全体の機能を十分検討して決定するものとする。

上記設備の他に、シールドのテール部にコンクリート圧力を微調整する端面型枠の役割をする妻枠装置がある。

３）コンクリートプラント設備

一般的には、コンクリートポンプ、コンクリートミキサが主設備であり、状況に応じて各種計量器、水槽、混和剤槽、骨材およびセメントの荷役、一時貯蔵設備、練りまぜられたコンクリートの一時貯蔵、再練り装置等を設置する。

コンクリートの供給能力としては、打設計画量のコンクリートをその打設時間内で練りまぜ、供給できることが基本である。

また、できるだけフレッシュなコンクリートを供給することが望ましい。

４）コンクリート打設制御設備

打設制御、監視および掘進管理、データ記録設備は、シールドやコンクリートプラントに設けられた各種センサー、制御機器、連絡通信機器等によって直打ちコンクリートの打設を制御、監視する。

また、掘削、推進、覆工に関する制御、管理、データの記録を行う。

表－６．１　ＥＣＬ工法の施工実績概要

工事件名	発注者	施工時期	用途	形状	仕上げがり内径(mm)	ＥＣＬの施工延長(m)	主な地質	シールド形式	覆工形式	ＥＣＬ工法名
東北新幹線御徒町トンネル工事	日本国有鉄道	自Ｓ60年４月 至Ｓ60年５月	鉄道(導坑)	円形	3,030	16	洪積粘性土	手掘り式	プレストレストコンクリート	ＥＰＣＬ
都営新宿線(10号線)江戸川工区建設工事	東京都交通局	自Ｓ61年８月 至Ｓ61年12月	鉄道	円形	6,700	12	洪積砂質土	泥水式	プレストレストコンクリート	ＥＬＭ
信濃川第２水路トンネル工事	東日本旅客鉄道㈱	自Ｓ62年７月 至Ｈ１年９月	水路	円形	7,600	3,100	砂岩 シルト岩	半機械式	無筋コンクリート	ＴＥＫ-ＥＣＬ
上溝南都市下水路整備工事	相模原市	自Ｓ62年９月 至Ｓ63年12月	下水道	円形	2,000	347	関東ローム	手掘り式	鉄筋コンクリート	ＲＴライニング
蛇の目ミシン線管路化工事	東京電力㈱	自Ｓ62年11月 至Ｓ63年３月	管路	円形	1,550	50	関東ローム	手掘り式	パンチプレートコンクリート	ＰＣＬ
桜木町構内下水道新設工事	東日本旅客鉄道㈱	自Ｓ63年６月 至Ｓ63年９月	下水道	円形	1,500	177	泥岩	半機械式	鉄筋コンクリート	ＳＥＣＬ
横須賀市安針塚下水道工事	横須賀市(移管)	自Ｓ63年７月 至Ｓ63年９月	下水道	円形	1,800	41	泥岩	半機械式	鉄筋コンクリート	Ｔ-ＥＣＬ
野沢４丁目付近管路新設工事	東京電力㈱	自Ｈ１年３月 至Ｈ１年12月	洞道	円形	2,250	1,005	固結シルト	機械式	鉄筋コンクリート	ＴＥＬＳ
北幹・秋間Ｔ東工事	日本鉄道建設公団	自Ｈ２年３月 至Ｈ６年８月	鉄道	馬蹄形	8,920 ×9,700	3,805	凝灰岩	半機械式	無筋コンクリート	ＴＥＫ-ＥＣＬ
新宿区南元町，若葉２丁目付近枝線工事	東京都下水道局	自Ｈ３年７月 至Ｈ３年10月	下水道	円形	2,870	60	沖積粘性土と腐植土の互層	土圧式	鉄筋コンクリート	ＫＣＬ
文京区弥生１丁目，千駄木１丁目付近枝線工事	東京都下水道局	自Ｈ４年４月 至Ｈ５年６月	下水道	円形	2,200	842	火山灰質粘土 洪積砂質土	土圧式	鉄筋コンクリート	ＳＥＣＬ
野沢３丁目付近管路新設工事	東京電力㈱	自Ｈ４年６月 至Ｈ５年４月	洞道	円形	2,350	820	固結シルト	機械式	鉄筋コンクリート	ＴＥＬＳ
岡南シールド工事	建設省中国地方建設局	自Ｈ６年３月 至Ｈ10年10月	共同溝	円形	5,900	1,857	洪積砂礫	泥水式	鋼繊維補強コンクリート	ＥＣＬ
日高発電所新設工事のうち土木本工事(第２工区)	北海道電力㈱	自Ｈ７年５月 至Ｈ９年10月	放水路	円形	3,400	6,082	スピライト質溶岩泥岩	複合型 ＴＢＭ	無筋コンクリート	ＥＣＬ

６. 施工事例

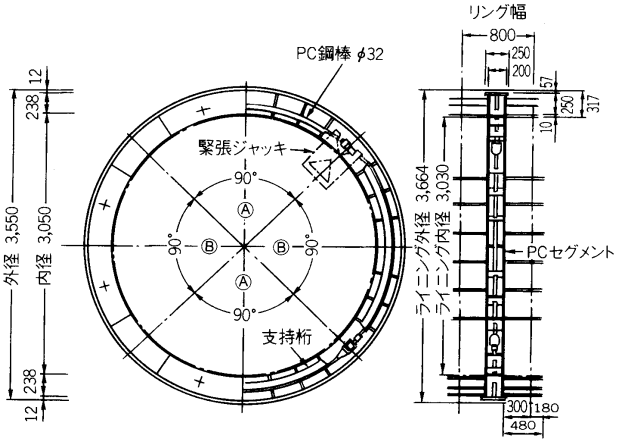
６．１　東北新幹線御徒町トンネル工事[1)]

（１）工事概要

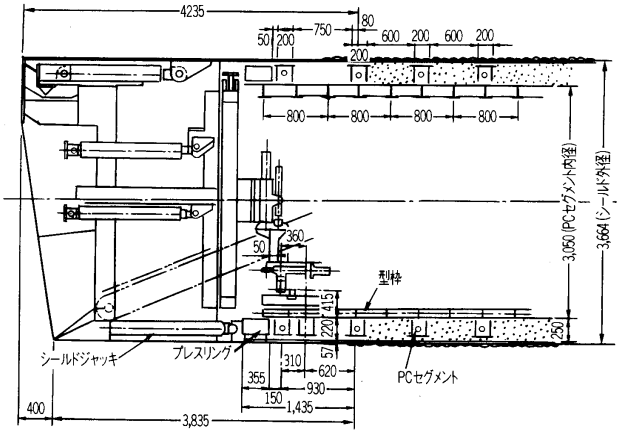
本工事は、本トンネルの開放型複線断面シールドトンネル断面内に施工されたパイロットシールドトンネルの到達部 16mの区間において、ＥＰＣＬ工法の実験工事として実施されたものである。パイロットトンネルは粘性土中に施工され、シールド形式は圧気併用の手掘り式であり、セグメント区間の掘進終了後にシールドの改造と後方設備の段取り替えが行われた。半径 200mの曲線部も含まれている。

表－６．２　工事概要

施　工　法	ＥＰＣＬ工法
施 工 場 所	東京都台東区
用　　途	鉄道シールドトンネルの先進導坑
施 工 延 長	16m
地 山 土 質	洪積粘性土
土 か ぶ り	約 18m
仕上がり内径	φ3,030mm
有 効 覆 工 厚	300mm
覆 工 構 造	ＰＣコンクリート
サ イ ク ル 長	80cm



図－６．１　ＰＣセグメント



図－６．２　覆工概要

（２）覆工構造

覆工構造は、**図－６．１，２**に示すように、アンボンドＰＣ鋼棒(ＳＢＰＲ95/100、φ32)を組み込んだ鋼製セグメント(π型 250×250 mm(以下、ＰＣセグメントという))を、リング状に不連続に組み立て、ＰＣセグメントリング間にコンクリートを打設して連続的なトンネルライニングを形成し、コンクリート硬化後にＰＣ鋼棒を緊張してプレストレスを導入することによってＰＣ構造とするものである。すなわち、ライニングに発生する断面力を、ＰＣセグメントと場所打ちコンクリートの剛性に応じて分配し、いずれの断面においてもコンクリートに引張応力度が生じないようなプレストレスを導入する。設計は慣用計算法により、荷重は緩み土圧を採用している。

（３）施工方法

１）ＰＣセグメント組み立て

ＰＣセグメントは、ライニング構造体の一部とし、ＰＣ鋼棒の位置保持を行うほか、場所打ちコンクリートの妻型枠としての機能も持たせている。１リングは４ピースで構成し、改造したエレクターで組み立て、プレスリングに仮固定した後、各ＰＣ鋼棒で仮締めを行っている。

２）コンクリート打設

コンクリートは設計基準強度 24N/mm^2、スランプ 15±2.5cm のものを使用した。型枠は、鋼製７分割のスチールセグメント形式で、クラウンと両サイドに打設孔を設けた。型枠の設計はシールドの推進によって発生するプレス圧(最大 0.7MPa)で行った。

３）掘進・コンクリートプレス

コンクリート打設終了後、直ちにシールドの推進を行った。シールドの推進反力は、すべてをプレスリングとＰＣセグメントを介して場所打ちコンクリートに伝達させ、テールの充填を行っている。

４）緊　張

ＰＣ鋼棒は、１リングあたり４か所のカプラーによる継手を有している。緊張は、互いに対角位置となる２か所の継手位置で行い、導入荷重を 600kN とした。緊張作業はすべてリングのコンクリート打設終了後に実施した。

（４）施工結果

ライニングの仕上がり形状、寸法、コンクリート強度、地山との密着度などについては所要の成果を得ている。また、打設直後のコンクリートを反力としたシールド推進も、操縦性に関して障害はなく、余掘りとジャッキ操作で対応できた。しかし、硬化途中のコンクリートにシールド推力が作用したことで一部のライニングにクラックが発生した。掘進サイクルは平均して、１方２リング、１リングあたり 3.5 時間であった。　プレストレスについては、周辺地盤の干渉などにより所要の導入が困難であった。ライニングを取りまく地盤の性状によってはプレストレスの効果が左右されることになるため、今後の研究が必要とされている。

６．２　都営新宿線(10 号線)江戸川工区建設工事[1)]

（１）工事概要

本工事は、到達後に内部を解体したシールド内で、ＥＬＭ工法の実物大実験として施工されたものである。ＥＣＬ工法としての重要な課題である場所打ちコンクリートの押し出しなどの確認はされていないが、施工性やプレストレス導入に関する力学的な挙動の把握が行われている。

実験目的は次のようである。

表－６．３　実験概要

施工法	ＥＬＭ工法
施工場所	東京都江戸川区
用途	鉄道トンネル
施工延長	12m
土質	(シールド内)
仕上がり内径	φ6,700 mm
有効覆工厚	300 mm
覆工構造	ＰＣコンクリート
サイクル長	85～95cm

①　ＰＣセグメント・ＰＣ鋼棒の組み立て精度、緊張ほかの作業性などの施工に関するデータ入手。

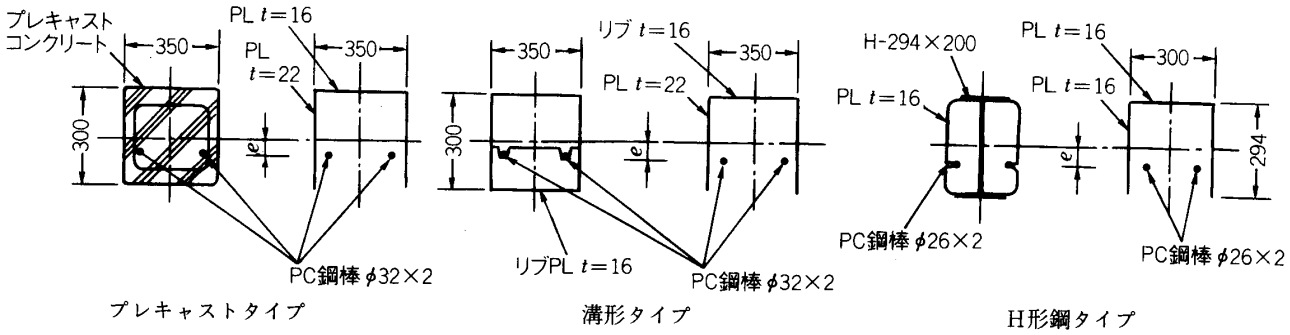
②　周辺の拘束がある場合のプレストレス発生量、ジャッキボックス位置での応力の確認、プレストレスのトンネル延長方向への伝達などの力学的特性の把握。

（２）覆工構造

覆工構造はＰＣセグメントと場所打ちライニングで構成され、あらかじめＰＣ鋼材を組み込んだＰＣセグメント間に打設した場所打ちライニングに、硬化後にＰＣセグメントのＰＣ鋼材を緊張することによってプレストレスを導入する。ＰＣセグメントは**表－６．４**に示す３種類が使用された。それぞれの形状は**図－６．３**のようである。設計は慣用計算法、荷重は全土圧を採用している。

表－６．４　ＰＣセグメントの種類

ＰＣセグメントの種類	断面の形状 幅×高さ(mm)	分割数	ＰＣ鋼棒 径(mm)×本数
Ｈ形鋼	200×294	6	φ26×2
溝形	350×300	6	φ32×2
プレキャスト	350×300	6	φ32×2



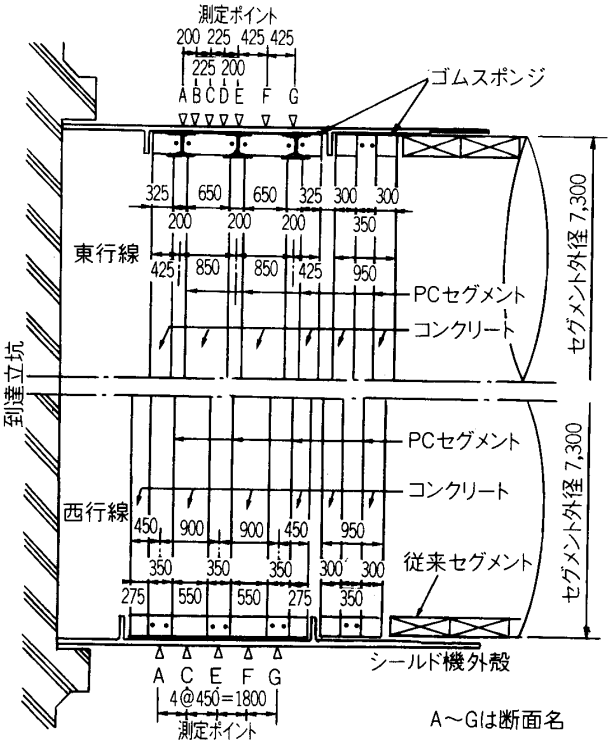
図－６．３　ＰＣセグメント

（３）実験方法

覆工は、シールドのスキンプレート内面に地山バネ定数相当のゴムスポンジを張り付けたうえで設置している。 配置は**図－６．４**に示すとおりである。型枠は４リング分のバラセントルを使用し、コンクリート打設は東行線と西行線のそれぞれ４リングを一度に打設した。緊張作業は、コンクリート打設後 8～14 日経過後にＡ，Ｅ，Ｇ，Ｈの順に行った。導入緊張力はＨ形鋼ＰＣセグメント(3 リング)では 600kN、溝形ＰＣセグメント(２リング)では 1200kN、プレキャストＰＣセグメント(3 リング)では 1360kN とし、東行線では 50％と 100％の２段階に分け、西行線では 100％の１段階で導入した。使用したコンクリートは 40N/mm^2、スランプは 21±1.5cm である。

（4）実験結果

設計方法については、設計荷重など不明な点があり、今後の検討が必要とされている。施工性については、とくに、ＰＣセグメントの組み立てが課題とされたが、専用の組み立て装置で可能と判断している。力学特性については、ほぼ事前の予測どおりの結果を得た。すなわち、軸力については計算値どおり、曲げモーメントについては地盤の拘束の影響を考慮した計算どおりのプレストレス導入が確認されている。ただし、地盤の拘束については、地盤を弾性体とみなした検討と実験の比較結果であって、実際の地盤の場合、長期的には塑性体とみなした方が自然な地盤もあり、この場合はその影響は小さいとしている。



図－６．４　覆工配置図

６．３　上溝南都市下水路整備工事[2)]

（1）工事概要

本工事は、工事延長 349m、内径 2,000mm の雨水管渠築造工事で、ＲＴライニング工法により施工したものである。

管渠は国道 129 号線下と同バイパスへ抜ける市道下とを通過するもので、曲線半径 20 m の急曲線が含まれている。

工事区間の土質は、トンネル上部に関東ローム層（N＝2～6）、下部は砂礫層と砂質土で、砂礫層には 50～100 mm の玉石が混在している。地下水位は切羽底部より 1mほど上部にある。

表－６．５　工事概要

施　工　法	RTライニング工法
施 工 場 所	神奈川県相模原市
用　　途	下水道トンネル
施 工 延 長	347m
地 山 土 質	関東ローム
最大土かぶり	5.2m
仕上がり内径	φ2,000mm
有効覆工厚	225mm
覆 工 構 造	鉄筋コンクリート
サイクル長	90cm

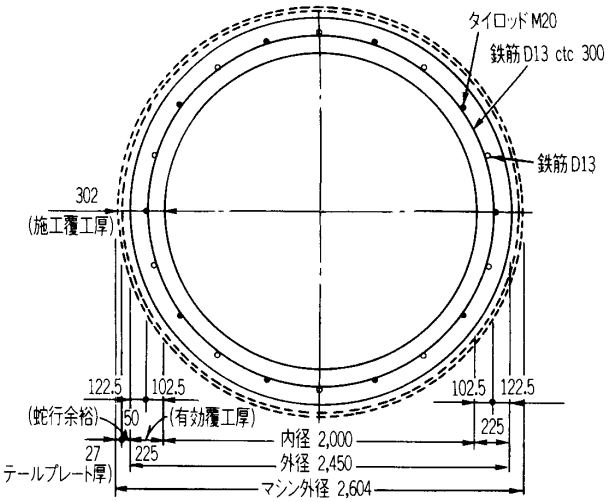
工事か所直上は道路で、その幅員も狭いうえに、曲線部が多い。また、大型車両の通行が多いため常に交通渋滞を起こしており、地下埋設物の多くが移設できない状況にあった。さらには住宅も密集している。

このため、① 掘削後直ちに地山との空隙を覆工できること、② 低騒音・低振動の工法であること、③ 安全性・施工性・経済性に優れた工法であること、などが要求された。

以上の点を考慮し、種々の工法を補助工法とともに検討した結果、在来工法では最良の工法を選定できず、ＲＴライニング工法が採用された。

（２）覆工構造[1)]

トンネルの断面形状は**図－６．５**に示すとおりである。覆工は設計有効厚 22.5 cmのＲＣ構造で慣用計算法によって設計を行っている。圧力保持リングは構造部材としては考慮していない。トンネルの仕上がり精度は型枠を正確に組み立てることで確保されるが、シールドのある程度の蛇行は避けられないため、覆工厚は最低でも設計有効厚を確保できるように、設計有効厚に施工余裕およびテールプレート厚を考慮している。



図－６．５　覆工断面図

（３）施工方法

鉄筋はD13 を使用し、単鉄筋構造であるため鉄筋籠にせず、曲げ加工したものを坑内に持ち込んでタイロッドをガイドとして組み立てた。

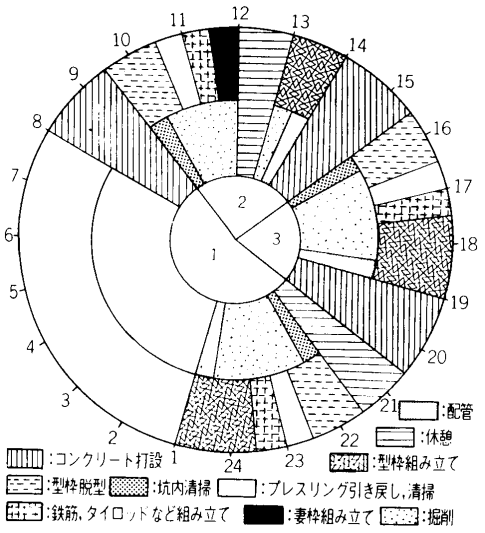
型枠は６分割のセグメントタイプで、型枠脱型装置走行用のレールと脱型した型枠をエレクタまで搬送するためのローラーを取り付けた。型枠脱型装置は回転機能を有しており、中心部にはベルトコンベヤの設置スペースが確保されている。型枠長は、日進量、型枠押し抜き試験結果から決定した推進反力をもとに余裕を考慮して 8.1m(0.9m／リング×9リング)とした。

コンクリート打設は、コンクリート配管の閉塞やコンクリートポンプの操作タイミングのずれによるトラブルを避けるため、アジテーターカーと坑内コンクリートポンプの組み合わせとした。アジテーターカーは2.6m^3 積みとし、１打設分のコンクリートを運搬できるようにした。

（４）施工結果

周辺住民への配慮から、夜間 20 時以降のコンクリート打設作業を制限したため、朝８時から深夜１時までの変則的な作業時間となった。一般部における作業サイクル(**図－６．６**)は、１日３リングで、急曲線区間とその前後では１サイクル/日であった。

コンクリート打設量は、手掘り掘削のため余掘り量が多く、また、礫層の間隙によりテールボイド量がテール板厚だけとは限らず一定しなかった。したがって、シールド推進中のテールボイドへのコンクリート充填は、コンクリートの加圧充填によると、プレスリングの移動量が大きく変化して配筋作業や機長への影響が懸念された。 そこで、テールボイドへのコンクリート充填はシールドを推進させながらコンクリートを追加打設することで対処した。



図－６．６　サイクルタイム(3 リング/日)

曲線部では、テーパーライナーを型枠間に挿入することによって線形を確保した。また、上下の修正も同様の方法で行った。Ｒ＝100ｍの曲線区間では、コンクリートの切羽側への回り込みもなく直線区間とほぼ同様の作業サイクルであった。Ｒ＝20m区間では、短いテーパー型枠を用いてシールド中折れ装置を作動させて施工した。この区間では、中折れ角４°であってもシールドの方向修正のために余掘りが必要で、このため逆テールシールではコンクリートの流出を防止できず、背面シート併用やせき板を取り付けてコンクリートの流出を防止した。

構築した覆工体の圧縮強度、覆工厚およびコンクリート充填状況はコア採取により調査し、良好な結果が得られた。

６．４　蛇の目ミシン線管路化工事 [1)]

（１）工事概要

本工事は、セグメント工法で計画された電力ケーブルの管路化工事において、それまでに地上での実大規模の模擬実験で覆工の品質を確認したＰＣＬ工法の施工性と地山挙動を把握する目的で、発注者の了解を得て到達立坑までの 50m区間について実施された工事である。

管路が建設された道路は幅員６～７ｍの住宅地域の地方道で、地山は盛土と関東ロームで構成され、土かぶり約５ｍのトンネル位置は関東ローム層である。地下水位はトンネルより下方にあった。シールドは手掘り式で、対象区間に到達した後に坑内でＰＣＬ工法用に改造された。

表－６．６　工事概要施工法

施　工　法	ＰＣＬ工法
施 工 場 所	東京都小金井市
用　　途	電力ケーブル管路
施 工 延 長	50m
地 山 土 質	関東ローム
土 か ぶ り	約 5m
仕上がり内径	φ1,550㎜
有 効 覆 工 厚	250㎜
覆 工 構 造	パンチプレートコンクリート
サ イ ク ル 長	50cm

（２）覆工構造

設計はフレーム計算法で行い、モデルは断面の下半分に地盤ばねを考慮した部分バネモデルを使用し、荷重は全土かぶり圧を採用している。覆工構造は**図－６．７**に示すとおりであるが、狭い坑内での鉄筋組み立て作業の改善を目的として、鉄筋の代わりに１リング４分割のパンチプレート（穴あき鋼板)を採用している。使用したコンクリートの設計基準強度は 24kN/㎜^{2}で、応力度の照査は脱型時と本設時について行っている。

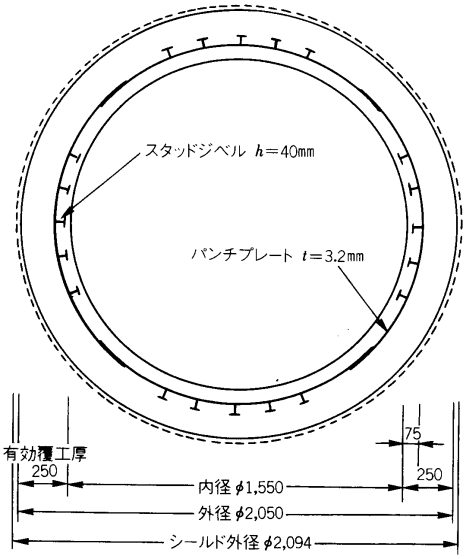
（３）施工方法

１）鋼板組み立て

４分割のパンチプレートはボルトで結合しているが、ピース間継手は開口部同士をラップさせ、リング間継手は添接板と開口部をラップさせている。

２）型枠組み立て

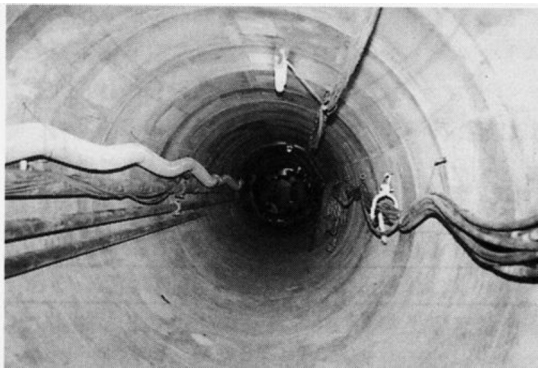
型枠は６分割のセグメントタイプのものを 30 リング使用している。手掘りシールドを改造して使用したことから１リング幅を 50cmとしたことや、施工延長が 50mであることから、型枠の脱型・組み立ては人力で行っている。下半部のスキンプレートは、加圧時の脱水効果を高めるために表面をセラミック加工したスリットを設置した。



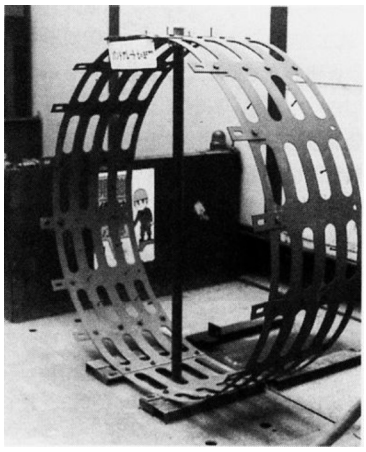
図－６．７　覆工構造

３）コンクリート設備

コンクリートの供給は、狭い坑内での設備の輻輳を避けるため、ボーリングで投入孔を設置して路上から坑内に供給し、投入孔下部のコンクリートポンプ（スクイズ式、配管径 65mm）で打設か所へ圧送した。コンクリートは購入コンクリートを使用して昼間のみの施工としたため、コンクリートプラントは設置していない。



写真－６．１　覆工仕上がり状況

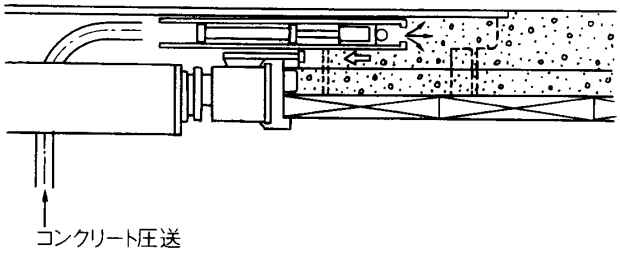


写真－６．２　パンチプレート

４）掘進・コンクリートプレス

ＰＣＬ工法では、**図－６．８**に示すように、内型枠から１次コンクリートを打設し、配管を切り替えてプレスリングを引き抜きながらその打設孔から２次コンクリートを打設し、シールドの推進時にプレスリングを押し出しながらテールの充填と加圧を行う。このため、シールドの推進速度 40mm/min に合わせて、テールの十分な充填量と適切な加圧力を保持し

ながらプレスリングを作動させた。加圧力は下限を土かぶり圧、上限を土かぶり圧＋0.05MPa とした。コンクリートプレス後55分の養生時間をとって妻型枠を脱型した。



図－６．８　二次コンクリート打設状況

（４）施工結果

覆工コンクリートにひび割れの発生がなく、圧縮強度は材齢 28 日で35N/mm^{2}が得られ、加圧脱水の効果が確認できた。また、地山の挙動は若干の浮き上がり傾向が見られ、セグメント工法区間の沈下傾向に比較してその抑制効果のあることが明らかになった。１サイクルの所要時間は、坑内作業空間の制約を受けたこともあり、 231 分であった。

６．５　横須賀市安針塚下水道工事[3)]

（１）工事概要

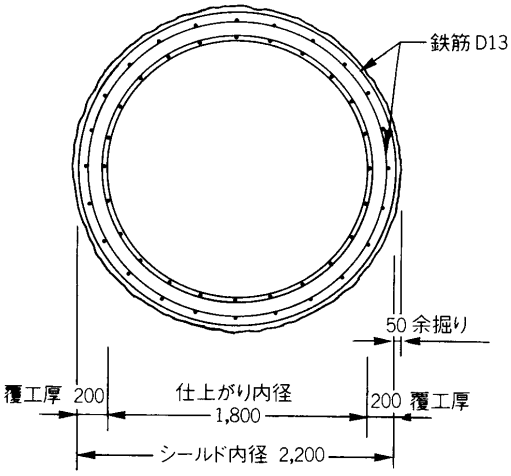
本工事は、安針塚駅前開発工事に伴う下水道工事の一部区間(施工延長 41.4m)をＴ-ＥＣＬ工法によって施工したものである。

（２）覆工構造

図－６．９は覆工断面図である。覆工は厚さ 200mm で、主筋はD13 を 150mm ピッチに配置し、複鉄筋構造とした。

表－６．７　工事概要

施　工　法	Ｔ-ＥＣＬ工法
施 工 場 所	神奈川県横須賀市
用　　途	下水道トンネル
施 工 延 長	41.4m
地 山 土 質	泥岩
最大土かぶり	3.2m
仕上がり内径	φ1,800mm
有効覆工厚	200mm
覆 工 構 造	鉄筋コンクリート
サイクル長	75cm



図－６．９　覆工断面図

（３）施工方法

型枠の分割数は、鉄筋ユニットとの一体化施工を狙いとし、その搬送・組み立て作業性を勘案して 10 分割とした。１打設長は 0.75mである。型枠の各ピースには、配力筋の継手施工のための開閉自在な作業窓を設け、コンクリート打設前の覆工厚の調整は、天端、インバートおよびスプリングラインに設けた着脱可能な６本の巻き厚調整ボルトで行うものとした。

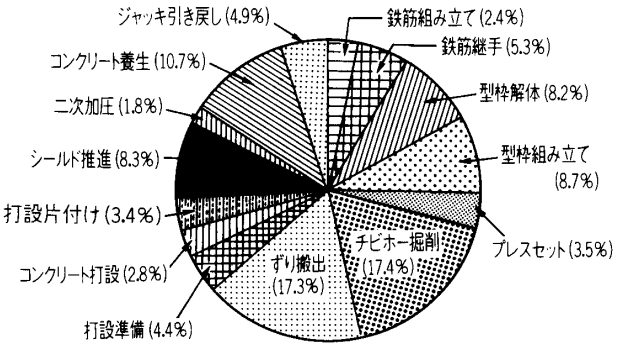
内型枠の組み立て解体および坑内掘削発生土運搬には移動式エレクタ台車を使用した。

鉄筋は、型枠と同様に10分割した鉄筋籠をあらかじめ溶接により製作し、埋め込みボルトを利用して型枠ピースに固定した。

また、組み立て作業性の比較のための鉄筋の先組み施工を実施し、この場合は内・外筋を各々６分割し、もち網筋状にユニット化した。分割された鉄筋の継手は、主筋の場合重ね継手を、配力筋にはフープクリップという名称の簡易型の機械式継手を採用した。

コンクリートの打設は地上に設置したコンクリートポンプを用いて行った。コンクリートの型枠内への打設口は、プレスリングに設ける方法と２次巻きに用いられる吹上げ方法を比較検討した。その結果、吹上げ方式にすると、転用していく各型枠にすべて吹上げ口を設けなければならず、型枠が重くなり、コストアップになることなどから、プレスリングに打設口を設けた。

コンクリートの加圧は２段階加圧式によった。シールドを推進する間は１次加圧とし、加圧力は0.02MPaから0.05MPaとした。このように１次加圧力を低く設定した理由は、１次加圧時にはフレッシュコンクリートの流動性を保つことにより、テールボイドをコンクリートで置き換えるためである。次に２次加圧を行った。２次加圧とは、フレッシュコンクリートを加圧し、脱水することを目的とする。加圧脱水された加圧コンクリートは、普通のコンクリートより高い強度を発生することが知られている。本工事では２次加圧をプレスリングクラウン部に取り付けた圧力計で0.45～0.55MPaとした。



図－６．１０　サイクルタイム分析表

（４）施工結果

本工事におけるサイクルタイムを分析すると**図－６．１０**のようであった。これらのサイクルを分析すると、

①　鉄筋組み立て、型枠組み立てのサイクルタイムは、それぞれの分割数に比例する。

②　鉄筋継手のサイクルタイムは、継手箇所数に比例するが、１か所あたり１分程度であった。

③　プレスリングのセット、コンクリート打設、コンクリート養生などは施工規模にあまり影響を受けず、ある一定の時間に収束するものと思われる。

④　掘削などのサイクルタイムは、本工事での設備は十分なものでないため、かなり改善が期待できるものと思われる。

などのことが言える。

また、高水圧対策の一つとして、防水シートの施工を考慮し、その取り付け作業性を検証する目的で、一部区間において鉄筋・型枠組みに先立って防水シートの取り付けを行っ

た。防水シートはポリエステル系の 0.3mm の薄膜状のものであり、とくにコンクリートの加圧充填性を損なうことなく施工することができた。

６．６　北陸新幹線秋間トンネル東工事 4)～6)

（１）工事概要

本工事は、北陸新幹線高崎・軽井沢間のほぼ中間に位置する秋間トンネルのうち東工区3,805m間をＴＥＫ－ＥＣＬ工法で構築したものである。

トンネル周辺の地質は、新第三紀中新世の板鼻層および秋間層を基盤とし、これらを覆って第四紀の浅間山の降下火山灰層が分布している。施工対象地質の主となる秋間層は、一部に砂岩、礫岩を挟在するものの、大部分は凝灰岩、火山角礫岩、溶結凝灰岩などの火山砕屑岩類からなっている。

工事は、大断面の長大山岳トンネルにおける省力機械化施工の初めての試みとして世界最大級の機械を使用する掘削覆工並進工法をトンネル工事で初めて採用したものである。

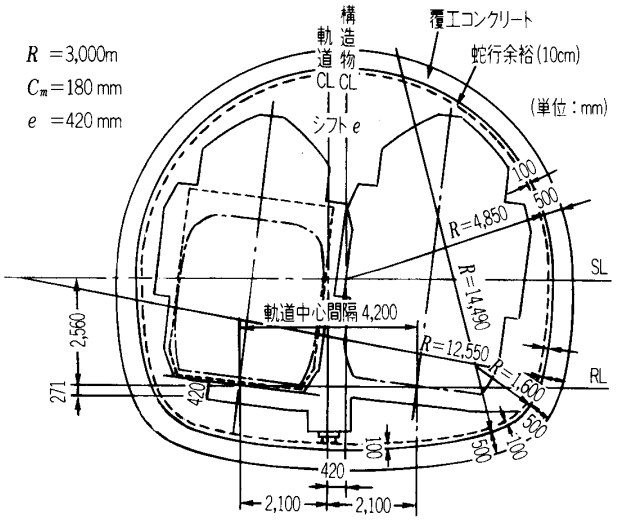
（２）覆工構造

内空断面形状は､建築限界外に約 50mm の余裕と湧水処理のための中央下水断面を確保するとともに、力学的な安定性と経済性を考慮して検討を行った。また、覆工コンクリートの巻き厚は、当該地質条件をＮＡＴＭで施工する場合の設計パターンに吹付けコンクリートと覆工コンクリートの厚さを加えたものを基本とし、さらに、断面形状などを勘案して50cmとした(**図－６．１１**)。

（３）施工方法

表－６．８　工事概要

施　工　法	ＴＥＫ-ＥＣＬ工法
施 工 場 所	群馬県安中市
用　　途	鉄道トンネル
施 工 延 長	3,805m
地 山 土 質	凝灰岩
最大土かぶり	220m
仕上がり内径	馬蹄形 8,920×9,700mm
有 効 覆 工 厚	500mm
覆 工 構 造	無筋コンクリート
サ イ ク ル 長	120cm

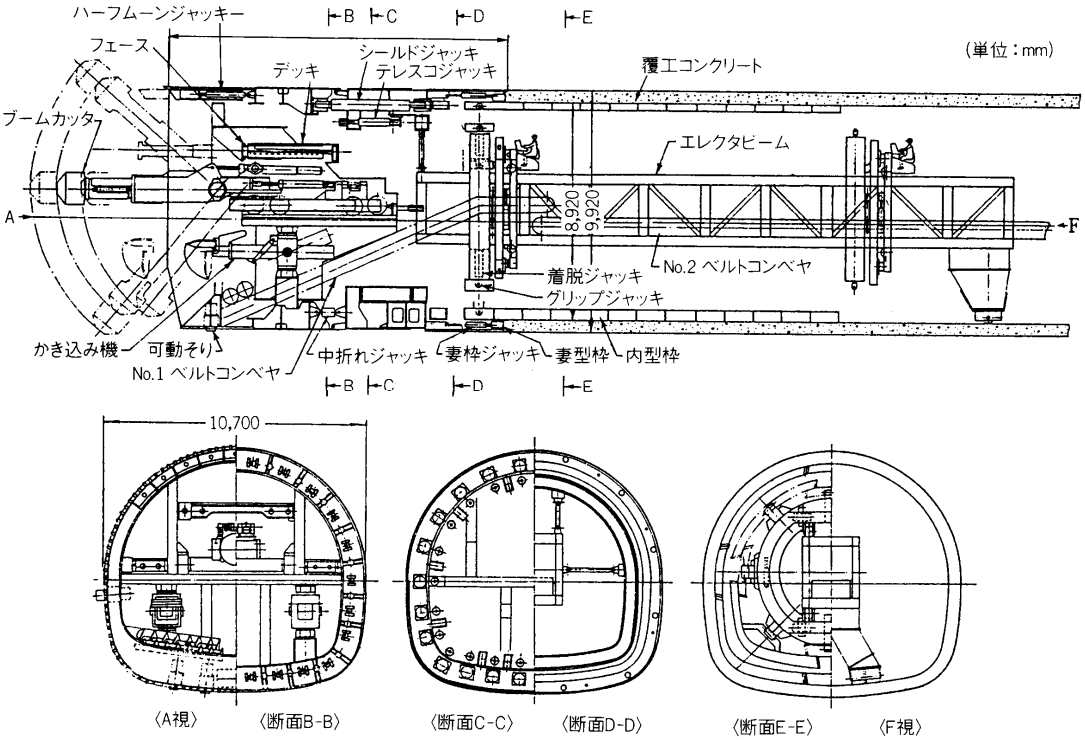


図－６．１１　トンネル断面

シールドは、**図－６．１２**に示すように、掘削と同時並行して覆工を構築する構造で、掘削と推進機構を備えた前胴部、方向制御を円滑にするための中折れ装置が組み込まれている中胴部および伸縮装置とコンクリート打設装置を備えた後胴部から構成されている。掘削機構は、最大外径 1.3mのカッターヘッドを備えた出力 250kWのブームカッター、バックホウタイプのずりかき込み装置、ベルトコンベヤおよびムーバブルフードなどの山留

め装置からなっている。掘削断面積が 90m^2 に近い大断面でかつ高速掘進することから大量のずりが連続して発生することが予想されたため、ずりの搬出は、わが国では 1970 年代の後半以降、鉱石の輸送などで実用化されている空気カプセル搬送システムにより行った。シールドの推進は、スキンプレート内空側の外周に配置された 24 基のシールドジャッキ(総推力 80,000kN)で行い、反力は内型枠から得る。内型枠機構は、内型枠の脱型、移動および組み立ての一連の作業を安全、かつ能率的に行うためのエレクタ装置と走行用ビームからなっている。内型枠は、シールドジャッキ反力、土圧・水圧およびコンクリート打設圧に耐えられる構造で、施工性を考慮して幅 1.2mの８分割で、準備基数は掘進速度、コンクリートの養生時間、推進ジャッキの反力を受ける内型枠と覆工コンクリートの摩擦力などの検討から 13 基とした。内型枠は、コンクリート所要強度の発現後、最後部よりエレクタによって順次脱枠し、再び前方に移設して組み立て、反復使用される。

混練されたコンクリートは、シールド後方に設備したコンクリートポンプによりロータービルブを介して全断面に均等に行きわたるよう妻枠装置に分散配置された 12 個の打設口から型枠内に圧入される。型枠内のコンクリートは、打設圧調整装置によって一定の圧力で硬化するまで加圧制御されるので、地山に密着した高品質の覆工コンクリートが期待できる。



図－６．１２　掘削覆工併進工法用シールド概要図

（４）施工結果

工事は、平成２年に着工し、各種実験を行い所定の目標を達成して平成６年８月に完了した。最大月進は 240mである。

コンクリートの型枠脱型時強度は12N/㎜^{2}以上で、材令28日強度は40N/㎜^{2}以上と良好な強度特性を示している。また、コンクリートの充填性を確認するために、コア抜きを行い地山との密着性を調査したが、いずれのコアも十分に密着していることが確認できた。

岩強度が高いために生ずる地山拘束によるひび割れは、３～５ｍピッチに施工した誘発目地にその70%が吸収されている。残りは地山の凹凸や余掘りの影響が大きいところなどに生じているが、いずれも横断方向なので、耐荷力には問題ないものと考えられる。以上のように50㎝厚で強度40N/㎜^{2}もの覆工が地山に密着して構築されていることから、これまでのＮＡＴＭトンネルなどに比較して５倍程度の耐荷力を有し、耐久性もきわめて高いものと推察される。

６．７　新宿区南元町、若葉二丁目付近枝線工事[7)]

（１）工事概要

本工事は、東京都新宿区内の一部での浸水被害を解決するための主要枝線工事であり、全延長772.1ｍの下水道築造工事のうち発進立坑から中間立坑までの60ｍ区間をＫＣＬ工法で施工したものである。

ＫＣＬ施工区間の土質は、表層がローム主体の盛土で比較的厚く、その下のトンネル通過部はN値がほぼ０程度の腐食植物を大量に含んだ有機質粘土の軟弱地盤となっている。地下水位はＧＬ－１～２ｍである。

表－６．９　工事概要

施工法	ＫＣＬ工法
施工場所	東京都新宿区
用途	下水道トンネル
施工延長	60ｍ
地山土質	沖積粘性土と腐植土との互層
最大土かぶり	5.0ｍ
仕上がり内径	φ2,870㎜
有効覆工厚	210㎜
覆工構造	鉄筋コンクリート
サイクル長	90ｃｍ

（２）覆工構造

覆工の計算は、慣用計算法を使用し、セグメント工法と同様の外荷重を作用させるものとした。ただし、側方地盤に関しては覆工自重に対する反力も考慮するものとした。断面力の算定は内型枠脱型時のコンクリート強度σ_3と完成時のσ_{28}のケースについて検討した。

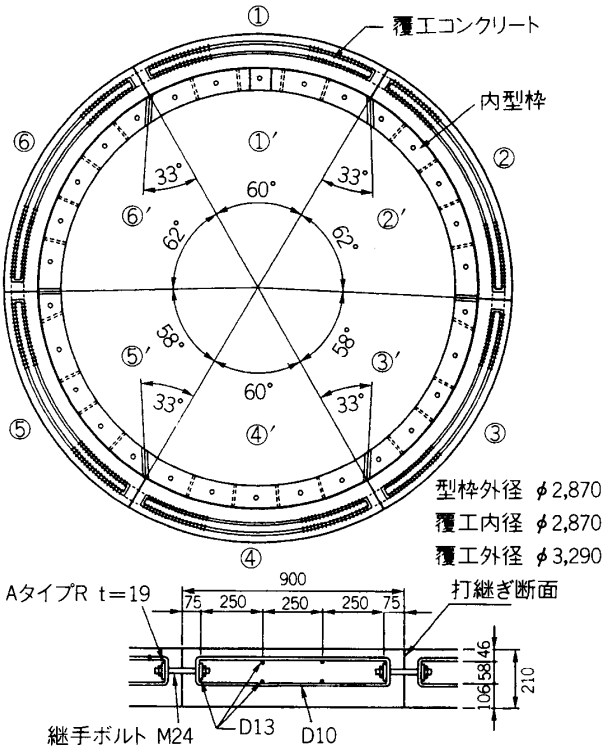
土水圧は、土水一体として考え、鉛直土圧は全土かぶり圧を作用させ、短期荷重は裏込め注入圧力の等圧性を考慮して側方係数λ＝0.75 とし、完成時にはセグメントの設計計算書に準じてλ＝0.70 による土圧を作用させ設計を行った。鉄筋のかぶりに関しては、地山側は裏込め注入材による保護を考慮してコンクリート標準示方書に示す一般環境として25㎜、内側かぶりは硫化水素などによる浸食を考慮して純かぶり75㎜とした。　また、掘進の蛇行調整代としては、直線部のみの施工のため10㎜とした。**図－６．１３**に覆工断面図を示す。

（３）施工方法

鉄筋は事前に、１リング分を６分割のブロックで製作しておき、シールドテール内で組み立てた。ピース間ジョイントは、通常のラップジョイントとし結束線で継ぐ方式とした。

内型枠は**図－６．１３**に示すように、鉄筋の分割と合わせた６分割とし、内型枠のクラウン部とインバート部の型枠はK型とした。また、コンクリート打設孔は、クラウン部の型枠に設け、**図－６．１３**に示す③と⑤の型枠に、それぞれ点検孔を設置した。

コンクリートの供給は、施工区間が短いことからコンクリートプラントを現場内に設置せずに生コンを購入することとした。プラントより到着したコンクリートは、所定量の流動化剤と急硬剤とを添加後、傾胴ミキサーを用いて再混練して調整し、ポンプにより打設した。



図－６．１３　覆工断面図

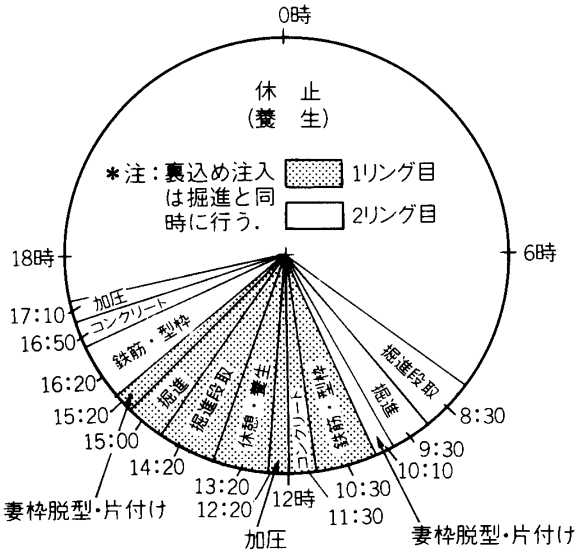
コンクリートの加圧は、圧力 0.4MPa で約 20 分間シールドテール内で行い、掘進に伴って発生するテールボイドには、打設したコンクリートを用いずに、同時裏込め注入方式で充填することを基本とした。

本工事では、コンピュータを用いた施工管理システムを採用した。このシステムは、従来のシールド掘進管理システムに加え、コンクリートの充填状況および加圧時の圧力分布などを各種センサーにより検知して、コンクリートの加圧を管理および制御できるものとした。

（４）施工結果

工事は、コンクリート供給体制などの条件から昼夜間連続施工ができなかった。施工サイクルを**図－６．１４**に示す。

施工後に行った覆工コンクリート調査では、若干のクラックが認められるものの仕上がり状況は全体的に良好で、覆工厚、鉄筋かぶりも確保され、偏圧や地下水による影響も受けていないことがわかった。これは、ＫＣＬ工法のテールの２重構造や同時裏込め注入方式の効果であると考えられる。



図－６．１４　施工サイクル図

以上のことから、施工地盤としては軟弱な帯水層においても場所打ちライニングの施工が可能であることが実証された。

６．８　文京区弥生一丁目，千駄木一丁目付近枝線工事[8)・9)]

（１）工事概要

本工事は、延長約 970mの雨水貯留管をシールド工法で築造したもので、発進から 82mを通常工法で、その後の 824mをＳＥＣＬ工法で施工したものである。

シールド掘削対象地盤は、火山灰質粘土（Tc）、および本郷層上部の砂質土層（Ds1）である。Tc 層は N 値 １～６、自然含水比 W=37%、粘着力 C=35kPa、内部摩擦角 ϕ=10° を示しており、粘性の高い層である。

表－６．１０　工事概要

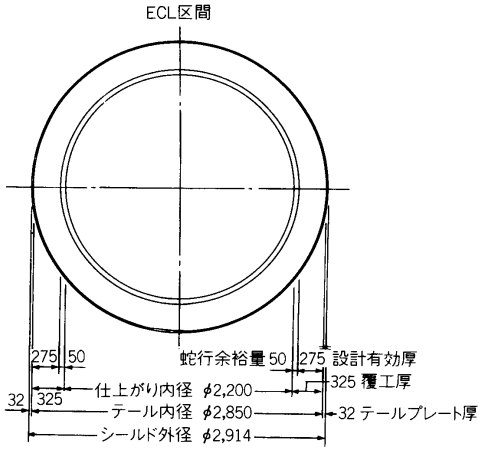
施　工　法	ＳＥＣＬ工法
施 工 場 所	東京都文京区
用　　途	下水道トンネル
施 工 延 長	824m
地 山 土 質	火山灰質粘土、洪積砂質土
最大土かぶり	80m
仕上がり内径	φ2,200mm
有 効 覆 工 厚	275mm
覆 工 構 造	鉄筋コンクリート
サ イ ク ル 長	150cm

Ds1 層は N 値 10～15 であり、自然含水比 W＝18～32%、粒度組成はシルト＋粘土の細粒分含有率 20～30%である。透水係数は、発進立坑部で 1.0×10^{-4}cm/s、到達部では 3.6×10^{-5}cm/s を示しており、発進立坑から到達部へとやや低下する傾向を示している。地下水位は、ＧＬ－7.0m付近に存在し、また、シールド掘削上部には火山灰質粘性土層を介在しており、自然水位はシールド天端付近である。

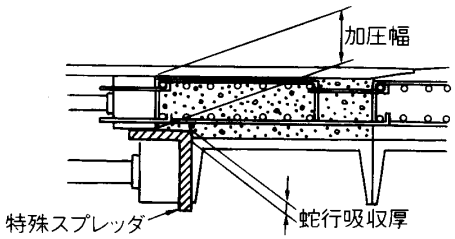
本工事は、工事期間の短縮、地盤沈下の抑制、覆工体の品質向上および施工の合理化などを目的に採用された。

（２）覆工構造

覆工厚は、**図－６．１５**に示すように、設計計算上(設計有効覆工厚)275mm とし、蛇行余裕量として 50mm を見込み(**図－６．１６**)、これにテールプレート厚 32mm を加えた 357mm とした。断面力の算定には、慣用計算法を用いている。



図－６．１５　管渠標準断面



図－６．１６　蛇行修正システム

（３）施工方法

トンネル内部が狭いため、鉄筋籠はあらかじめ６ピースに分割して製作し、坑内に搬入した。内型枠は、坑内の作業性を考慮してテレスコピックタイプを採用している。１リングの型枠長は 1.5ｍであり、これを８リングセットし、シールド掘進とともに順次転用していく。

コンクリートの打設手順は、まず、掘進が完了した後、鉄筋籠と内型枠を所定の位置に設置する。次に、内型枠に推進ジャッキ、覆工側にプレスジャッキをセットし、続いてコンクリートを打設する。シールド掘進は昼夜連続施工で行ったため、立坑基地内にバッチャープラントを設置し、現場で製造したコンクリートを用いた。

コンクリート打設完了後、シールドの掘進を開始する。このとき、掘進に伴って発生するテールボイドの体積に見合うように、コンクリートを加圧する。コンクリート加圧時にはプレスジャッキをトンネル軸方向に緩やかに揺動させる(揺動の振幅±１㎜ 程度、周波数 0.5Hz)システムを採用している。これにより、テールボイドにコンクリートが充填され、地山に密着した覆工が形成されることになる。

（４）施工結果

覆工の仕上がり状況は、ＥＣＬ開始当初はクラック幅 0.2㎜のものが数箇所みられたが、その後の覆工においてはヘアークラックが数箇所みられる程度である。クラックの発生原因としてシールドテールと覆工コンクリートの干渉と推定し、シールド推進初期の方向操作を改善したところクラックの発生をなくすことができた。施工精度については当初想定した蛇行余裕量 50㎜の範囲内に仕上がっている。これらより、高品質なトンネルが築造されていることが確認された。

地盤変状については、直線部と曲線部（R＝90m）の２か所において計測を行った。この結果、変位は最大でも２㎜程度であり、通常のシールド工法と同等以上に変状が抑制されていることが確認された。

トンネル内空断面がの 2,200㎜ と非常に狭いことから、鉄筋および型枠の組み立ての施工性、コンクリートの水和熱による坑内温度の上昇など、施工面でいくつかの課題が生じた。これらについては、作業の習熟や設置したクーリングユニットのメンテナンスなどによって一定の改善をみているが、今後、より一層の技術改良が必要であると考えられる。

また、日進量については当初目標としていた１日最大４リング（６ｍ）に対し、掘進初期にはその半分程度の実績しか上がらなかった。これは、作業の不慣れのほか、作業空間の制約により資材運搬や後続設備の段取り替えなどに手間取ったことが原因となっている。しかし、工事の進捗とともに施工能力も向上し、後半は稼働日平均で 3.6 リング(5.4m)を確保することが可能となった。

６．９　野沢３丁目付近管路新設工事[10)]

（１）工事概要

本工事は、東京都世田谷区野沢４丁目に立地する駒沢変電所から環状７号線と駒沢通りの交差点部である駒沢陸橋間の環状７号線下に約 900m（洞道内径 2.35m）の地中送電線路を新設するもので、発進部直後の 80m区間を除いた約 820m区間をＴＥＬＳ工法により施工したものである。

表－６．１１　工事概要

施工法	ＴＥＬＳ工法
施工場所	東京都世田谷区
用途	電力洞道
施工延長	820m
地山土質	固結シルト
最大土かぶり	約 30m
仕上がり内径	φ2,350mm
有効覆工厚	200mm
覆工構造	鉄筋コンクリート
サイクル長	150cm

隣接管路（野沢４丁目付近管路新設工事[11)]）ではすでにＴＥＬＳ工法による最初の工事を行っており、本工事は２例目で、

① 小口径シールドマシンの複胴化

② コンクリート配合の見直し

③ プレスリング抑制システムの見直し

などの改善を行ったものである。

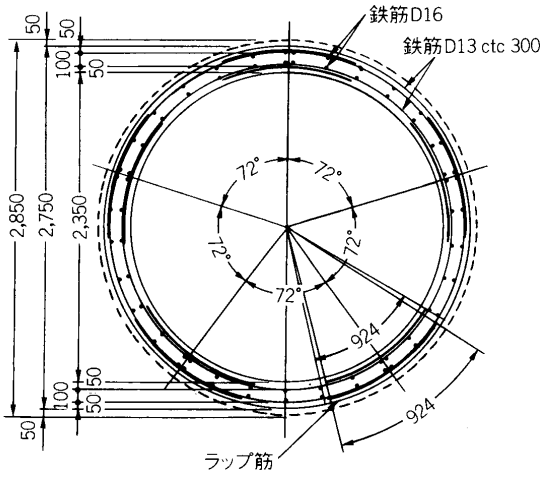
トンネル通過部の地質は、東京付近の基盤をなす土丹と呼ばれている上総層群の固結シルト層であり、*N*値は 50 以上、一軸圧縮強度は 2.2～3.5MPa、ＲＱＤは 75%以上である。また、トンネル位置付近の最大間隙水圧は約 0.2MPa である。なお、固結シルト層は介在砂層を有しており、トンネル断面に対する介在砂層率は５～70%程度となっている。

（２）覆工構造[1)]

図－６．１７は覆工断面図である。

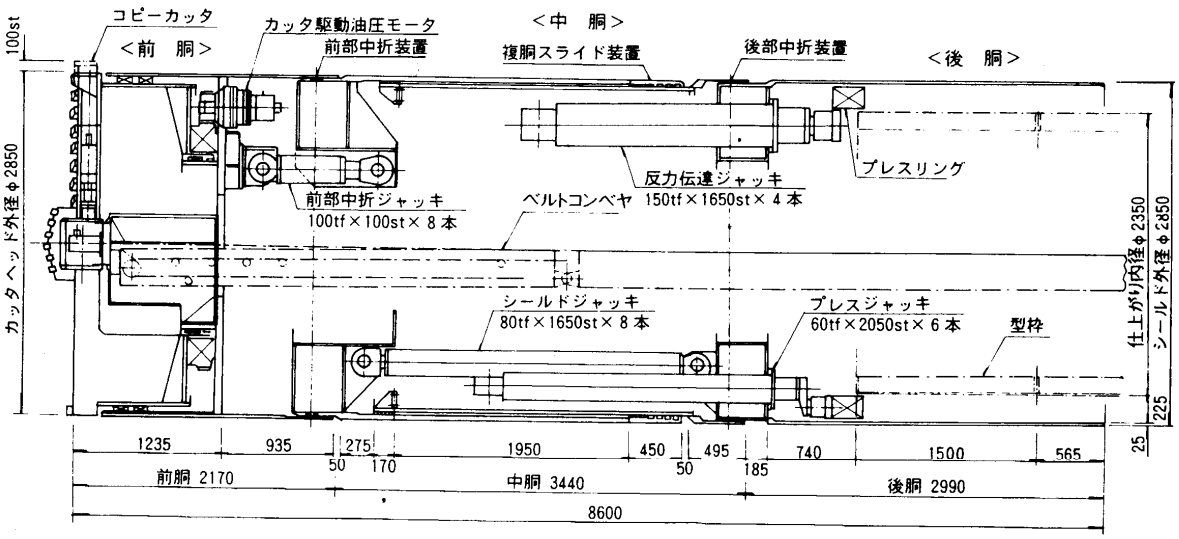
設計は、① 内型枠脱型時、② 本設時、③ 近接構造物施工時について行っている。断面力の算定には、ケース①および②については部分バネモデルを採用し、ケース③についてはＦＥＭ解析を行っている。

（３）施工方法



図－６．１７　覆工断面図

本工事では、掘削時のトラブルによる覆工品質への悪影響を回避できることおよび掘削時にホールド作業が行え、施工サイクルを短縮できる可能性があることなどの利点を有する掘削とコンクリートプレス工程を分離できる小口径シールドマシンの複胴化を検討し、野沢４丁目付近管路新設工事の実績をもとにシールドジャッキ、プレスジャッキ、反力伝達ジャッキの本数の見直しを行った結果、小口径（仕上がり内径φ2,350mm、シールド外径φ2,850mm）における複胴式シールドマシン（**図－６．１８**）の適用が可能となった。



図－６．１８　複胴式シールドマシン構造図

複胴式シールドマシンの採用にあたっては、複胴スライド部の耐久性および複胴スライド部の地盤保持方法がネック技術となったためそれぞれ想定実験を行って実施工へ対応した。

また、施工面での向上をはかるために、以下に示すような改良を行った。

①　４丁目工事の推力実績にもとづく、型枠枚数の低減(11 枚から 9 枚)および型枠重量の軽量化(35.4kN/枚から 27.6kN/枚)。

②　型枠搬送組み立て装置のジャッキストロークの増加および各ジャッキを独立操作できる油圧回路の導入。

③　連結架台の支持脚の増設およびインバート型枠移動時の支持脚伸縮の自動化。

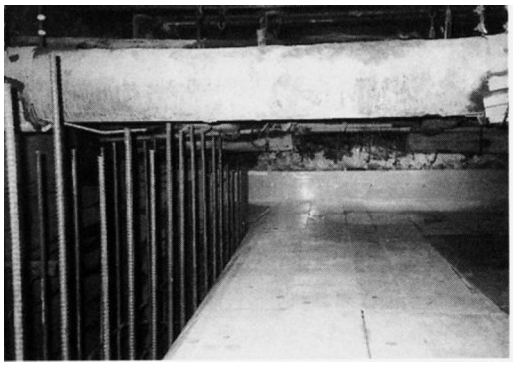
④　コンクリート注入口の固定方式の簡略化（ボルト方式からピン方式)。

⑤　発生土搬出方法を鋼車方式からパイプ圧送方式へ変更。

（４）施工結果

覆工品質面では、コンクリート打継ぎ部付近のクラック、打継ぎ部の目開きの発生という問題があった。前者は、分離低減剤および高性能減水剤の添加量を増加させコンクリートの保水性を高め、流動性を確保したこと、コンクリートおよび鉄筋の移動をスムーズにするためにプレス時に型枠バイブレータを連続作動させること、コンクリートの移動をスムーズにするために鉄筋かぶりを増加させたことなどの対策を施すことにより、品質を高めることができた。後者は、コア抜きをした結果、プレスリングに塗布している剥離材が打継ぎ部に残留していることが確認されたため、その後、端面部の目荒らしなどを実施したところ、密着性の向上がみられた。なお、前者の対策を実施した結果、コンクリートの端面自立強度が低下したため、ホールド時間を長くする必要があった(180ｍｉｎ以上実施)。この影響を受け、日進量は最大で 6.0m/day(４リング/day)に止まる結果となった。また、湧水による掘削時間の増大などのトラブルを除く日進量の平均は 4.9m/day(3.3 リング

/day)であった。



写真－６．３　スラブ内型枠組み立て状況

写真－６．５　洞道内金物取り付け状況

写真－６．４　坑内止水、目地ｺｰｷﾝｸﾞ状況

写真－６．６　発進マンホール金物取り付け状況

６．１０　日高発電所新設工事のうち土木本工事（第二工区）

（１）工事概要

本工事は、北海道日高発電所の使用水を岩知志調整池に放流する総延長 7,538ｍの放水路トンネルのうち、取水口側の6,085.5ｍをＥＣＬ工法にて施工したものである。

トンネル周辺の地質は、放水口側から1,766.6ｍの区間は沙流川層のスピライト質溶岩が主体であり、硬質で亀裂が多い。さらに工区境までの4,424.9ｍはニニウ層群下部層の泥岩が主体となり、途中３か所の砂岩層が介在している。また、この区間には３か所の破砕帯が推測されている。**図－6.19**に地質縦断図を示す。

表－６．１２　工事概要

施　工　法	ＥＣＬ工法
施　工　場　所	北海道沙流郡日高町
用　　途	放水路トンネル
施　工　延　長	6,085.5m
地　山　土　質	スピライト質溶岩、泥岩
最大土かぶり	190m
仕上がり内径	φ3,400mm
有効覆工厚	250mm
覆　工　構　造	無筋コンクリート、 一部鋼繊維補強コンクリート
サイクル長	180cm

軟岩と亀裂が多い中硬岩を主体とする6,000m以上の長距離掘進を行うにあたり、施工方法の検討を行った結果、確実性・工期の点でセグメントより若干劣るが経済的に優れている「複合地質型シールド式ＴＢＭ＋ＥＣＬ工法」を採用した。

放水路の線形は、R＝1,000mの曲線区間が１か所あるが大部分は直線区間となっている。縦断勾配は一様に0.91°/₀₀である。

（２）覆工構造

覆工の構造設計はテルツァーギ理論によるフレーム解析を行い、全周バネモデルを基本とした。また、部分バネモデルおよびＦＥＭ予測解析の比較検証も行い、覆工厚を決定した。

当路線のほとんどの区間は地山の変形係数E_0＝15MPa 以上であり無筋構造で対応可能であるが、E_0＝15MPa 以下の不良地質に遭遇した場合には鋼繊維補強コンクリートにて対処することとした。

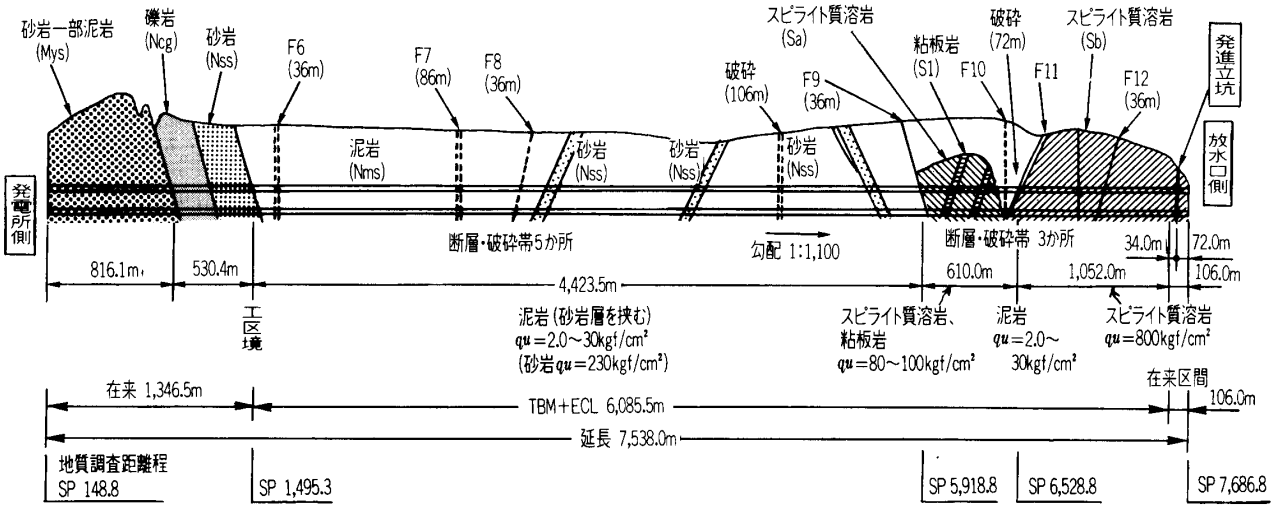
（３）主要設備

１）複合地質型シールド式ＴＢＭ(図－６．２０)

ＴＢＭの本体は、前胴・中胴・後胴からなる複胴式の密閉型マシンとした。推進反力は、中硬岩掘削時はグリッパを地山に押しあて、軟岩掘削時は反力伝達ジャッキを使用してＥＣＬ型枠から反力をとった。

２）掘削ずり搬出設備

鋼車方式とベルコン方式の施工性・安全性・経済性などについて比較検討を行った結果、優位性の高い自動延伸式水平ベルコン(トンネル部)と垂直ベルコン(立坑部) で構成する連続ベルコン方式を採用した。



図－６．１９　地質縦断面図

３）ＥＣＬ設備(写真－６．７)

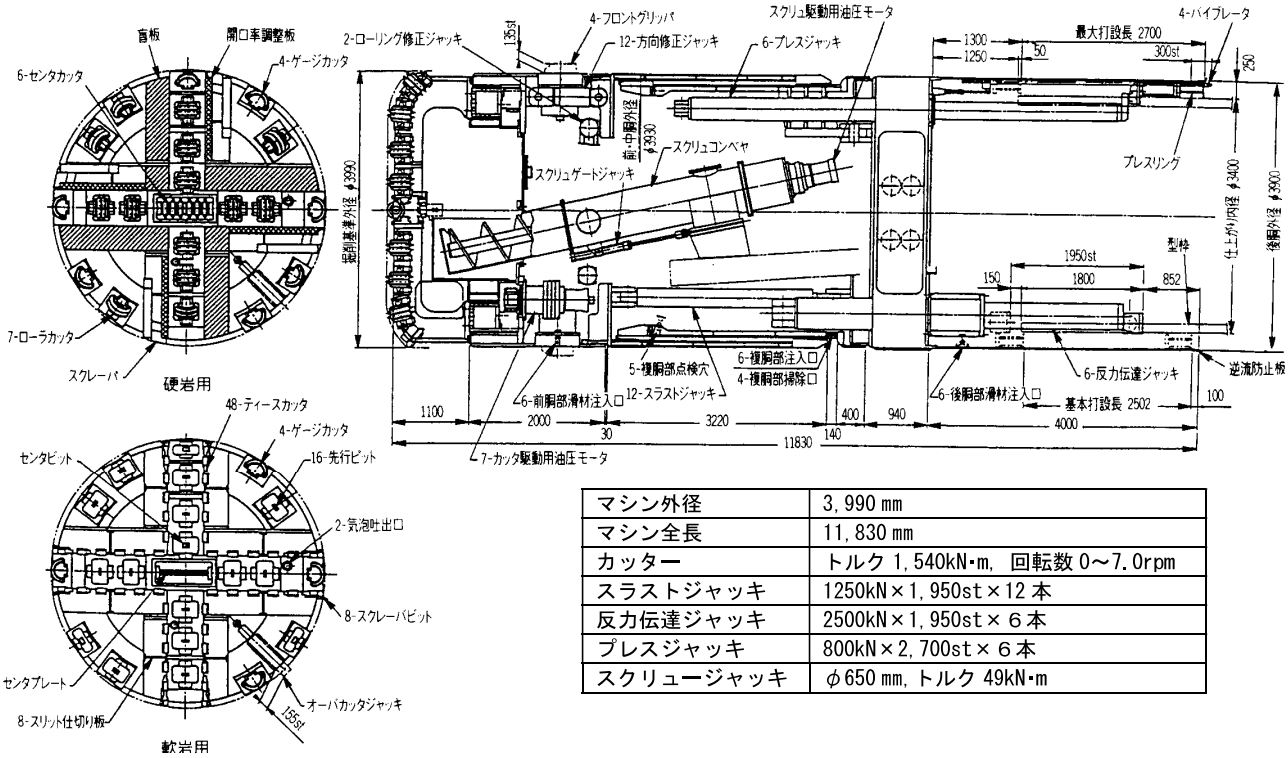
ＥＣＬ型枠は、トンネル内の限られた空間の中で脱型・運搬・組み立ての一連の作業を安全かつ迅速に行うため、型枠・連結架台・移動装置がシステム化された「テレスコピック」方式の型枠設備を採用した。型枠の長さはコンクリートの強度(１日脱型)、推進反力(1,508kN)、平均日進長(10.8m＋余裕)から18m(1.8m×10 基) とした。型枠は上半と下半同時に移動可能な構造とし、移動装置は連結架台上のレールを走行し、掘進中に型枠内を移動することによりサイクルタイムの短縮を図った。

写真－６．７　型枠・連結架台・移動装置

また、コンクリートをプレスするプレスジャッキはできるだけストローク差が生じないようマルチフローポンプによる変位制御システムを取り入れた自動制御を行い、フレッシュコンクリートのボイドへの充填性を確保した。

（４）施工結果

本放水路トンネルは延長が長く、コンクリートの運搬に時間を要する他、ＥＣＬコンクリートを使用するにあたって留意した事項は以下のとおりである。



マシン外径	3,990 mm
マシン全長	11,830 mm
カッター	トルク 1,540kN･m, 回転数 0～7.0rpm
スラストジャッキ	1250kN×1,950st×12 本
反力伝達ジャッキ	2500kN×1,950st×６本
プレスジャッキ	800kN×2,700st×６本
スクリュージャッキ	φ650 mm, トルク 49kN･m

図－６．２０　複合地質型シールド式ＴＢＭ全体図

①　製造１時間後にスランプロス 5cm、スランプフロー52cm の高流動性を維持するため、高性能ＡＥ減水剤を使用する。

②　１時間および１日後の脱型強度が 0.04kN/mm^{2}および 6N/mm^{2}を要するため、水セメント比を小さく、セメント量を多くする。

③　コンクリートの材料分離を防ぐため、フライアッシュの混入および細骨材率を多くする。

ＴＢＭの掘進は平成７年５月末から開始し、９月上旬から本掘進を開始した。
平成８年３月以降の進捗状況は掘進日平均 14.2m/日、最大日進 24.0m/日、最大月進 458.9m/月で当初工程を約２か月上回り、平成９年 10 月に掘進を完了した。

今回、施工完了した覆工部をコアサンプリングした結果、地山への密着と必要強度の確保がほぼ満足できた。しかし、コンクリートの仕上がり性状は当初平滑性が劣り、ざらついた状況であった。

これは、コンクリートの保水性が低く、プレス時の脱水量が多かったことや、型枠内へのポンプ圧送時におけるコンクリートの分離抵抗性が劣っているためと考えられた。

そこで基本配合を見直し、コンクリートの粘性および分離抵抗性を向上させた。また、施工面では打設時のバイブレータのかけ方などを改善した結果、ほぼ満足できる仕上がりとなった。

６．１１　帯水砂礫層における連続打設ＥＣＬ工法の施工

（１）岡南シールド工事

岡山市では昭和 53 年から建設省の直轄工事による共同溝の整備が続けられている。現在、約 2.4ｋｍの区間が供用され、今後も引き続き事業の推進を図っていくものである。

ここで報告する岡南共同溝は、岡山市街地の南に位置した一般国道２号において、延長約 1.9ｋｍの４車線区間に泥水式ＥＣＬ工法で構築するものである。

当区間は交通量が非常に多く、大雲寺交差点から約 550ｍの区間は路面軌道があり、沿道は人家が連なった地区であるとともに路線全線にわたり、電力、上下水道、ガス、通信、工業用水の幹線が埋設されている。さらに、地質的にも被圧された洪積砂礫層を掘進するため施工技術的に非常に厳しい環境下にある。

工法選定にあたっては学識経験者による技術検討委員会を設置し、新工法、既存工法について技術面、現地適応性、経済性などの技術検討を重ねた結果、地山緩みを抑え、地盤沈下や周辺構造物への影響を最小限にすることのできるＥＣＬ工法(連続打設方式)を採用することにした。水圧が作用し、地盤が自立しない都市型のトンネルで連続打設方式のＥＣＬ工法が採用されたのは国内で初めてである。

また、もう一つの大きな特徴として**図－６．２２**の縦断図に示すように、施工対象地盤は全線洪積砂礫層で、シールド掘進にとってもカッターの摩耗や切羽の安定制御など非常に過酷な条件での施工である。

（２）工事概要

本工事は、国道２号の十日市交差点内を発進基地として約 900m北に位置する岡南交差点の中間立坑(企業分岐、およびシールド機のメンテナンス）を経て大雲寺交差点の到達立坑に至る延長 1,869mをシールド工法で構築する。

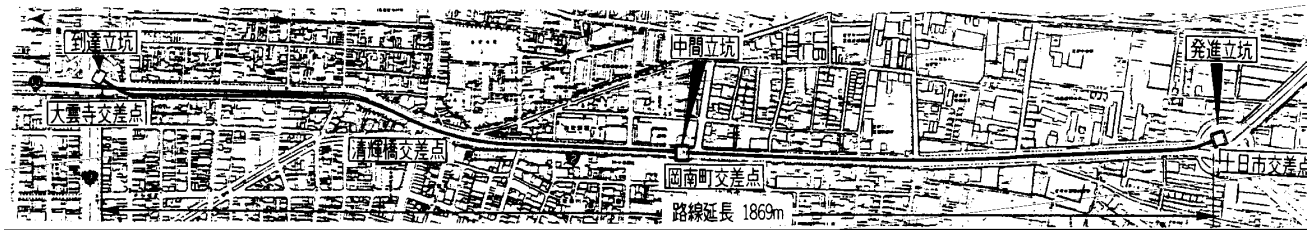
平面線形は発進後 28mで半径 300mの曲線施工となり、その後は到達立坑まで最小半径 200mを初めとする曲線施工がある。

縦断線形は発進から約 650ｍの区間は上り 0.2%の排水勾配で、その後の最急上り勾配は１.48%、下りの最急勾配は 0.844%である。

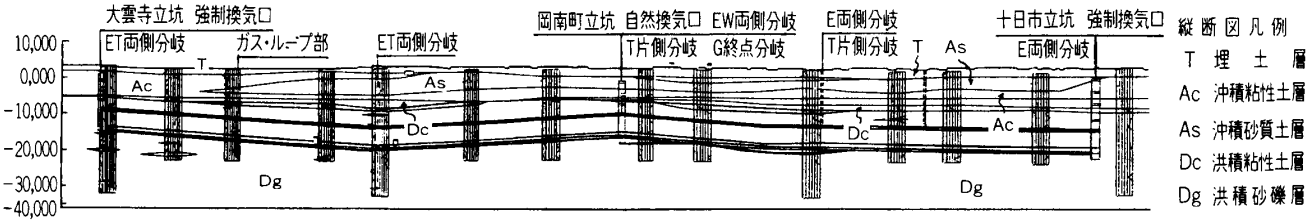
図－６．２１に平面図、**図－６．２２**に縦断図、**図－６．２３**に断面図を示す。

表－６．１３　工事概要

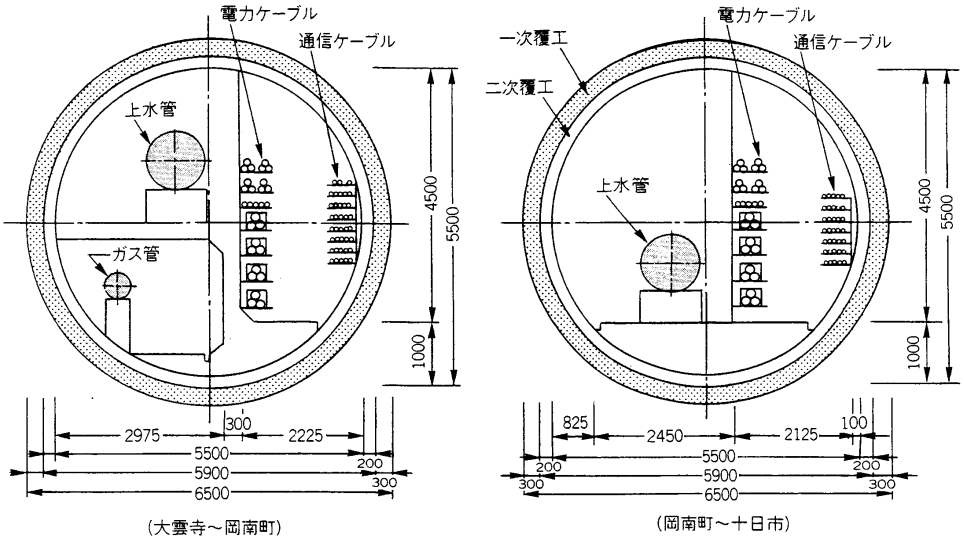
施　工　法	礫対応型泥水加圧式ＥＣＬ工法
路 線 延 長	1,869m
シールド外径	φ6, 600mm
仕上がり内径	φ5,900m（一次覆工） φ5,500mm（二次覆工）
一次覆工材料	鋼繊維補強コンクリート 鋼繊維使用量　体積比で 1%
二 次 覆 工	無筋コンクリート
立　　坑	発進、中間、到達　計３基
土 か ぶ り	11.4～17.0m



図－６．２１　平面図



図－６．２２　縦断図

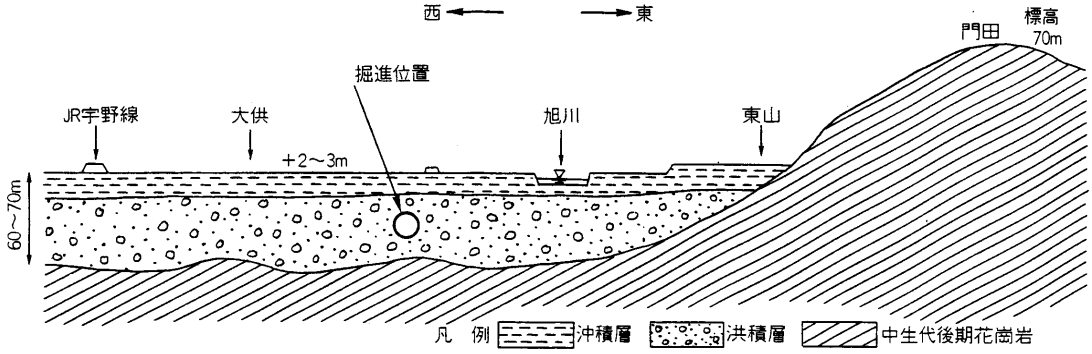


図－６．２３　断面図

（３）地質概要

当該地区は岡山市街地の南部に位置し、東を流下する旭川の運搬堆積作用により標高 2.5～3.0ｍの低地に形成された沖積平野である。現場周辺の模式断面を**図－６．２４**に示す。

地質構成は深さ 10ｍ程度までは柔らかな粘性土を主体とする沖積層、深さ 60～70ｍ（推定）程度までは密に締まった礫質土を主体とする洪積層で、それより下は広島型花崗岩の３層で構成されている。シールド掘進の対象地盤は洪積砂礫層で、中粗砂と 10～70mm 程度の亜円、亜角礫が主体で最大粒径 300mm 程度の玉石を確認している。地下水の水量は豊富で水位は地表面下１.7～４ｍ付近に存在する。また洪積砂礫層は被圧されており、その水位は地表面下 2.5～４ｍ程度で、シールド中心での作用水圧は 0.18N/mm^2、透水係数はおおむね 10^{-3}cm/s オーダーである。



図－６．２４　地盤模式図

（４）連続打設ＥＣＬ工法

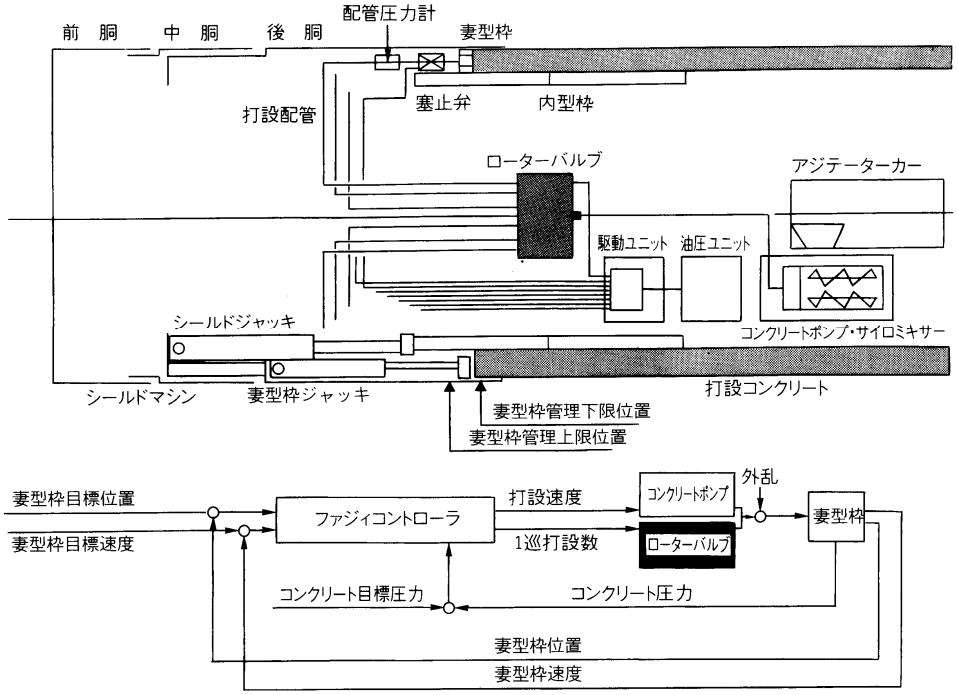
１）工法の特色

本現場では、鋼繊維を混入したコンクリートを、**図－６．２５**の打設システムに示すシールドテール位置にある妻型枠から加圧充填する。妻型枠は常にコンクリート打設圧を泥水圧以上の力に保持させながら、フレッシュな状態でコンクリートを連続打設する機能を持っている。本方式を地下水位下の土砂地盤で施工する場合、もっとも重要でかつ難しい点がこのコンクリート打設である。空隙を生じさせない状態で、常に泥水圧以上の圧力が作用した中にコンクリートを充填するためには、流動性・充填性に優れたコンクリートを使用し、シールド掘進と連動した打設管理によって妻型枠の圧力を適正な値に保っておくことが必要不可欠となる。

２）施工方法

掘進・覆工開始から内型枠組み立てまでの１リング分の施工手順を**図－６．２６**に示す。

シールドの掘進反力は内型枠と硬化コンクリートとの付着力によって負担する。内型枠は幅１.2ｍで 13 リング装備している。最後尾の内型枠は、掘進中に脱型され、先頭位置まで型枠フィーダで搬送される。１リングの併進が終了した型枠の組み立てに入るが、この間は掘進と打設が停止し、コンクリートは打設管の中に静置された状態になる。そして組み立て終了後再び併進を開始する。



図－６．２５　打設制御システム図

３）主要設備

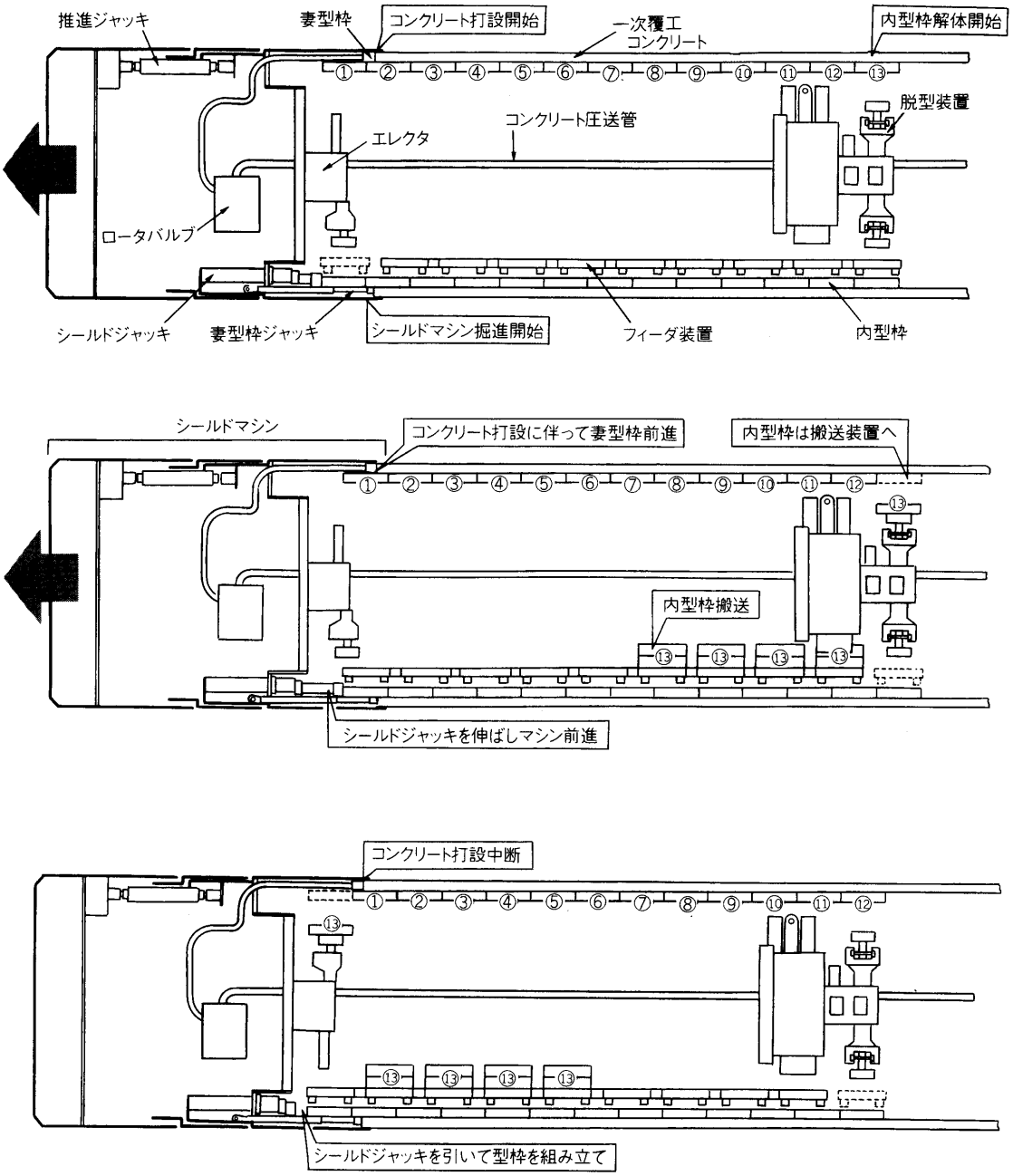
①　礫対応型泥水加圧式ＥＣＬシールド機

本工事のシールド機の全体図を**図－６．２７**に、工事完成時の状況を**写真－６．８**に示す。

本機は礫泥水シールドとしての機能とＥＣＬ工法のための機能を持っており、礫対策としては一次破砕をローラーカッターで行い、後続設備のクラッシャで２次破砕する。カッター関係の摩耗については、ローラーカッターの大きさおよび数、ビットの材質と構造などの対策を施している。また、排泥設備の閉塞に対してはカッターでの礫の取り込み径を考えた管径や排泥流速の設定、さらに予備排泥管の設置といった対応をとっている。

シールド機は前胴、中胴、後胴の３胴タイプになっている。前胴部は、地山の切削機構を有し、また掘削と覆工コンクリート打設の各々が単独でも作業が行えるよう後胴との間に推進ジャッキによる伸縮装置を備えている。中胴部は、方向制御や曲線施工を円滑に行うために前胴部との間に中折れ装置を備えている。後胴部にはシールドジャッキがあり、内型枠へ反力をとって前進する。また、テール部にはリング状の妻型枠を装備している。コンクリートは後続台車の先頭に配置したサイロミキサ付きのポンプ車から圧送し、シールド機内のローターバルブによって妻型枠の８か所の打設口のうち１か所を選択して打設される。

写真－６．８　シールド機

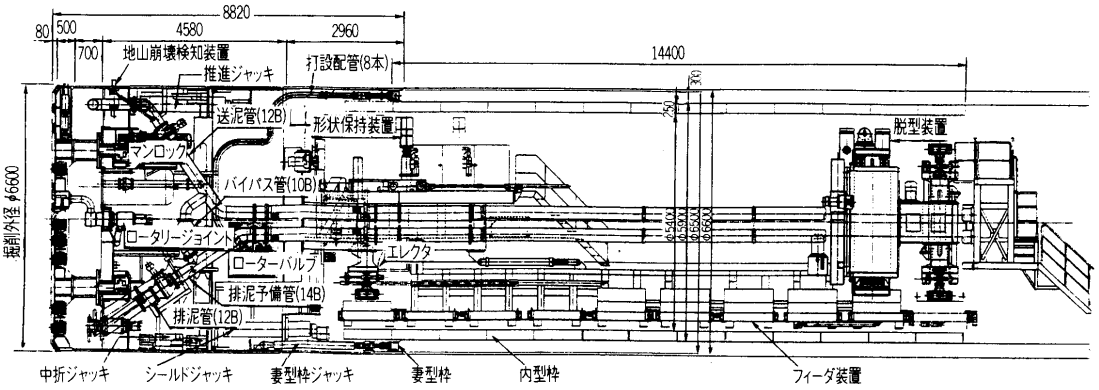


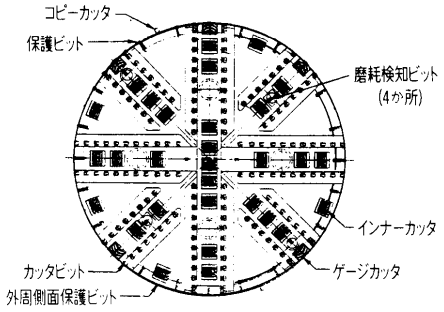
図－６．２６　施工手順

② 妻型枠

妻型枠は、ポンプによって打設されたコンクリート圧力をシールド天端で0.24N/mm²(作用水圧0.18～0.20N/ mm²で泥水圧＋0.03N/mm²) とし、設定値内に保持管理（妻型枠ジャッキストロークの±10cm の差が圧力差±0.02N/mm²に対応)する機能を有している。この機能は、円周上に配置された妻型枠ジャッキのシリンダー側圧力室をアキュームレータに接続し、コンクリート圧力を弾性支持することにより行われている。また、妻型枠がシールド機に対して垂直を保つように、妻型枠ジャッキのロッド側に調圧室を設け、12 本のジャッキを

３本１ブロックで４ブロックに連結し、コンクリート打設圧などの偏荷重を分配する機能を持っている。**図－６．２８**にシステム概要を示す。



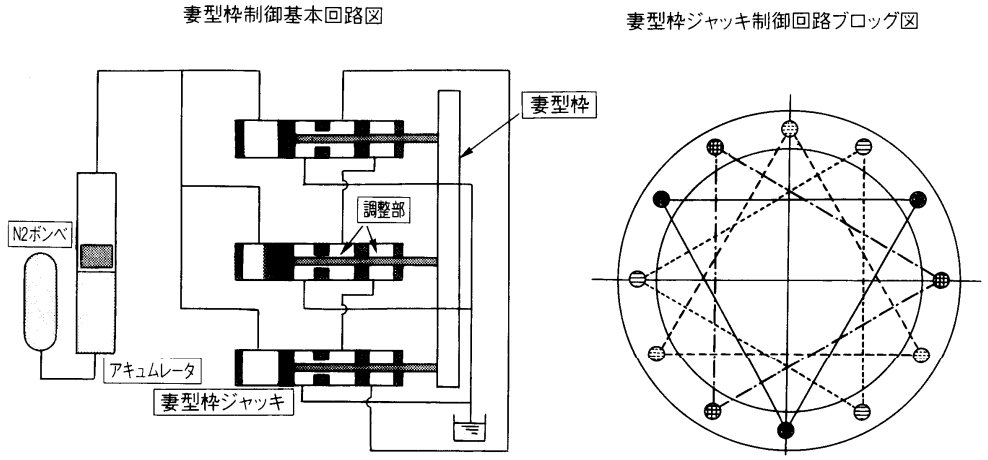


■シールドマシン仕様

外　径	φ6,600	カッター回転数	0.8rpm
機　長	8,820	旋回回転モータ	30kW×４P×440V×60Hz×12 台
カッタートルク	4,021kN･m	シールドジャッキ	2,500kN×1,550st×35MPa×16 本
	4,825kN･m	推進ジャッキ	2,500kN×1,260kN×1,220st×35MPa×14 本

中折れジャッキ	1,500kN×1,120kN×270st×35MPa×12 本
妻枠ジャッキ	320kN×700st×21MPa×12 本
エレクタ形式	リングギア門型式
エレクタ取扱い重量	16kN

図－６．２７　シールド機全体図



図－６．２８　妻型枠システム図

③　内型枠関連装置

内型枠は、コンクリート打設圧、土圧・水圧およびシールドジャッキの反力に対して変形しない剛性を持ち、組み立ておよび解体が簡単に行える８分割とした。

内型枠の８ピースは脱型時と組み立て時で順序を変える必要があり、そのため脱型装置はダブルアーム門形式を採用し順位の入れ替えを可能にした。型枠の搬送は通路床下に装置するフィーダ装置により行う。エレクタは通常のリングギア式門形形式を採用した。

図－６．２９に内型枠の断面図を示す。

（５）一次覆工コンクリート

一次覆工コンクリートの特徴は以下のようである。

１）流動性と材料分離抵抗性の保持, 性能

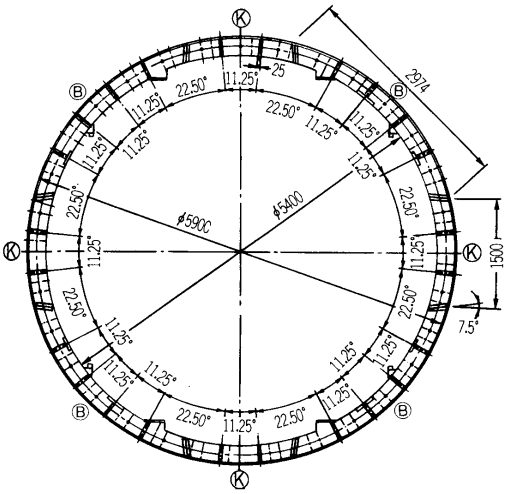
コンクリートは、コンクリートポンプで圧送するが、内型枠の盛り替え作業中は打設が中断する。また、施工中のトラブルによって圧送が中断することを考えて、コンクリートは製造から３時間程度経過しても再圧送、再充填が可能な流動性と材料分離抵抗性を保持している。

２）初期強度発現性

内型枠を早期に脱型するため材令１日の設計基準強度 18N/mm^2 を満足する。

３）ひび割れ抵抗性

乾燥収縮や水和熱によるひび割れを防止する目的で鋼繊維をコンクリートの体積比で１％混入する。



図－６．２９　内型枠

流動性と材料分離抵抗性の保持性能に対して、高い初期強度の発現性と鋼繊維の添加はそれを妨げる方向の条件であり、相反する性能が同時に求められるコンクリートである。

現場における管理値は次のとおりである。

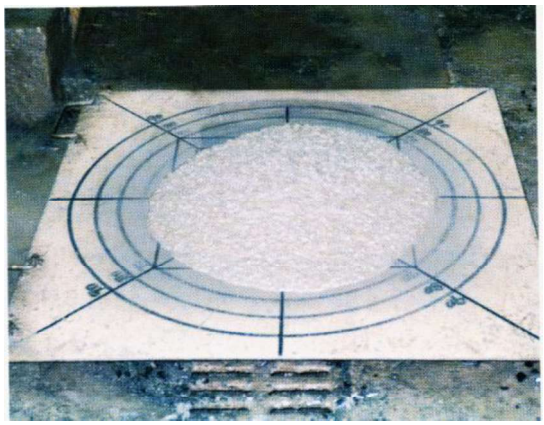
・練り上がり直後のスランプフロー：55～70cm

・３時間後のスランプフロー：50cm 以上

・空気量：２±1.5％(凍結融解抵抗性を考慮する必要がないことによる)

・材令１日の圧縮強度：18N/mm^2

表－６．１４に基本配合、**写真－６．９**にスランプフロー試験の状況を示す。



写真－６．９　スランプフロー試験状況

表－６．１４　基本配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	水結合材比 W/(C+F) (%)	フライアッシュの置換率 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					鋼繊維混入率 (%)	高性能AE減水剤 (C+F)×%	増粘剤 (g/m^3)
				W	C	F	S	G			
15	38	20	68	190	400	100	1159	532	1.0	1.8～2.5	900～1200

（６）施　工

１）初期掘進

平成８年４月から掘進を開始し、ＥＣＬ関連および礫泥水関連の設備の投入で、５回の段取り替えを行い、約 120ｍの初期掘進を施工した。

掘進開始当初にＥＣＬ関係の制御システムの立ち上がりにともなうトラブルが発生したり、またコンクリートを妻型枠から打込む際の閉塞が発生した。トラブルが発生してその修復が短時間ですめばそのまま施工が継続できるが、コンクリートが練り上がりから 4 時間以上経過するようであれば良好な充填が難しくなるので、硬化しないうちにポンプと配管内のコンクリートを破棄し清掃する。打設再開時には妻型枠をコンクリート面から 10㎝程度引いて充填を始めるが、そのためには端面の硬化が必要で、掘進再開のための待ち時間が発生する。

トラブル時の対応は本掘進でも同様であるが、フレッシュコンクリートを扱うＥＣＬ工法特有の問題であり、工事の進捗に大きく影響する。

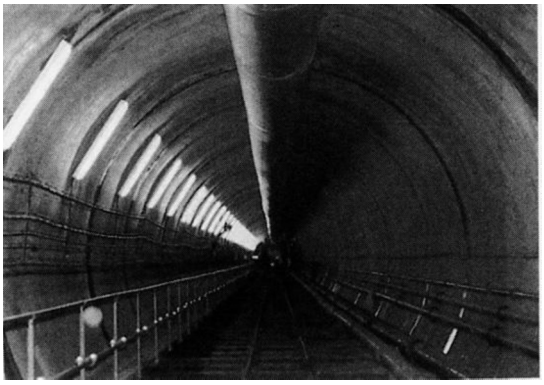
２）本掘進

本掘進に入ってからの実績は、稼働日平均６リングである。**写真－６．１０**に坑内の状況を示す。

１リングの施工サイクルはほぼ３時間で、掘進・覆工に２時間、内型枠組み立てとレール延伸などに１時間である。掘進スピードはビット摩耗と排泥管での礫閉塞を考慮して、毎分 10～15 に抑えているため、それによって施工サイクルが決まっている。

進行を阻害する施工上の問題としては、掘削系では礫閉塞である。スリット幅を制限してディスクカッターで破砕するマシン仕様であるが、偏形の礫がスリットを通過し、クラッシャ手前の排泥管内で閉塞することがある。砂礫層の中も一様ではなく、突然閉塞が発生し、その傾向がしばらく続くといったことが多く、礫だまり的な箇所が所々に存在しているのではないかと考えられる。

覆工系では、初期掘進で多かったコンクリートの妻型枠での閉塞が本掘進に入って大幅に減少した。加圧打設下でのコンクリート流動保持性能をさらに改善したことや、練り上がり温度の影響によるものである。また、地盤によってはコンクリート打設量が異常に多くなる現象とコンクリートの切羽への回り込みが生じた。これは礫閉塞と同様に、地盤中の礫の堆積状態の不均質性が原因であろうと考えられる。



写真－６．１０　坑内状況

覆工厚については、超音波による非破壊測定を脱型前後で全リング実施し、施工巻き厚 350㎜が確保されていることを確認しながら掘進している。

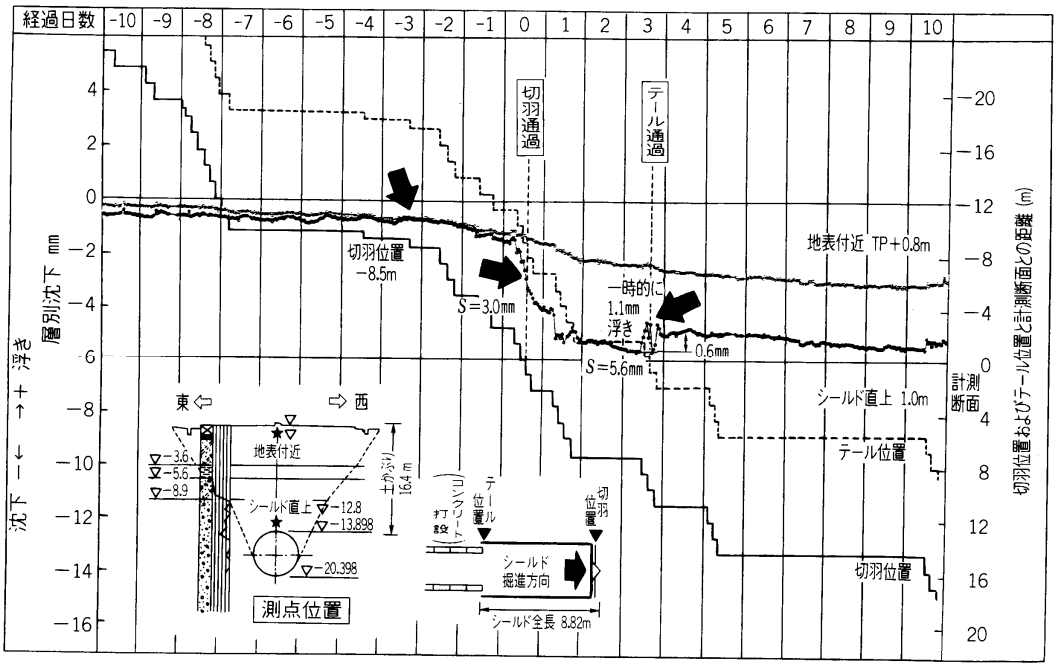
（７）周辺地盤の挙動

本工法は、地山に直接コンクリートを打設するため、テールボイドが発生せず、地盤の緩みを抑え､周辺への影響を小さくすることができる工法であるといわれている。

本現場は全断面砂礫地盤での施工で、掘削断面の形状が不規則となり、また地盤の空隙が大きいうえに砂礫層中にレンズ状のルーズな砂層が介在している。そのため、一般のシールド工法における裏込め注入材料では同時裏込め注入が困難であり、地盤挙動の抑制は困難であると思われるが、本工法では打設圧力を管理しながらコンクリートでの掘進打設が可能で空隙を残さずに充填できる。したがって、従来のシールド工法において主たる沈下要因であるテールボイドの沈下が、ＥＣＬ工法の特性から抑えられることができるため、全体沈下量が小さくなると考えられる。

しかし、土砂地盤で初めての工法であり既往の実測データがないため、実際の地盤挙動を把握する目的で発進後約 200ｍの地点に計測器を設置した。

計測の結果、地表付近の沈下量は 3.4～4.2、シールド直上１ｍで 6.7～7.9㎜と小さく、全沈下量に占める後続沈下量の割合は 14～22％となっており、ＥＣＬ工法の特長を確認することができた。**図－６．３０**にシールドセンター位置での層別沈下の経時変化を示す。



図－６．３０　計測結果

参　考　文　献

1）（社)日本トンネル技術協会：ＥＣＬ工法指針(案)[資料編]、 1992。

2）鈴木常司・小林邦雄・田所茂文・成田政夫・佐藤康夫：連続曲線部を通過するローム層に直打ち覆工を採用 相模原市上溝南都市下水路、トンネルと地下、Vol. 20, No. 4, pp. 41～47、1989。

3）橋本　司・倉林　清・小林　光・岡村光政・春山浩彦・舘川裕次：戸田式ECL工法の開発とその実証実験、戸田建設株式会社技術研究所報、pp. 93～105。

4）長崎光男・友田　孝：ECLとカプセル搬送で長大トンネルの高速施工に挑む、北陸新幹線秋間トンネル、トンネルと地下、Vol.22, No.10, pp.15～23、1991。
5）鬼頭　誠・大八木　崇：掘削・覆工併進工法によるトンネルライニング、コンクリート工学、Vol.32, No. 3 、pp.27～30、1994。
6）峯本　守・鬼頭　誠・田代美樹男・梶原雄三：北陸新幹線秋間トンネルの調査解析に基づく掘削覆工併進工法の覆工設計手法に関する研究、土木学会論文集、No.510、VI-26、pp。175～192、1995。
7）石川　旭・稲見光次・吉村宗男・青山　要：軟弱地盤をECLで施工、都下水道南元町幹線、トンネルと地下、Vol.23、No.7, pp47～52、1992。
8）前田正博・高相恒人・前田教昭・福本福幸・守山　亨：ECLで密閉型シールドに本格挑戦、都下水道・文京区弥生一丁目、千駄木一丁目間付近枝線工事、トンネルと地下、Vol.24、No. 5 、pp.7～15、1993。
9）前田正博・前田教昭：密閉型シールドによるECL工法の本格施工、土木技術、Vol.48, No.7, pp.101～109、1993。
10）須田嘉彦・松尾和俊・川村祥二：複胴式マシンを用いたECL工法を採用、東京電力野沢３丁目付近管路新設工事、トンネルと地下、Vol.24, No.9, pp.43～54、1993。
11）シールドトンネルの新技術研究会：シールドトンネルの新技術、土木工学社、pp.215～216, 1995
12）日本トンネル技術協会：ECL工法指針(案)〔設計編〕、1992年3月。
13）ECL協会：パンフレット「ECL工法」。
14）建設省土木研究所：トンネル掘削時地盤変状の予測・対策マニュアル(案)1992年２月。
15）原田・渋江・栗田：鋼繊維を混入した高流動コンクリートを用いたECL工法、土木技術、1996年12月。
16）原田・渋江：ECL工法入門(施工実績)、トンネルと地下、1996年12月。
17）伊藤・川端・渋江・玉川：藤泥水ECL工法への挑戦、土木施工、1997年７月。
18）原田・渋江：技術最前線「帯水砂礫層をECLシールドで掘る」、土木学会誌、1997年10月。
19）原田・川端・渋江・玉川：ECL工法による共同溝工事、基礎工、1997年10月。
20）川上：ECL工法による都市トンネルの計画・設計・施工、公共投資ジャーナル講習会テキスト、1996年６月。
21）川端：ECL工法による都市トンネルの計画・設計・施工、土木学会中国支部工事報告会テキスト、1996年11月、
22）原田：帯水砂礫層における連続打設ECL工法の施工、日本トンネル技術協会ECL工法講習会テキスト、1997 年10月。
23）寺坂・山本・栗田・野村・金子：ECL工法用の鋼繊維を混入した高流動コンクリートの配合検討、土木学会第 51 回年次学術講演会(V-348)、1997年９月。
24）寺坂・山本・栗田・田中・田野：鋼繊維を混入した高流動コンクリートのポンプ圧送性、土木学会第 51 回年次学術講演会(V-336)、1997年９月。
25）原田・川端・沓脱・栗田・金子：鋼繊維を混入した高流動コンクリートの材料分離性状、土木学会第 52 回年次学術講演会(V-458)、1998年９月。
26）栗田・野村：鋼繊維の混入率の違いによる鋼繊維補強高流動コンクリートの強度特性、土木学会第 52 回年次学術講演会（V-564)、1998年９月。
27）伊藤・原田・川端・渋江・玉川：帯水砂礫層での連続打設ECL工法の施工、土木学会第52回年次学術講演会(VI-115)、1998年９月。
28）原田・川端・沓脱・玉川・尾越：連続打設ECL工法にともなう周辺地盤の変形計測、土木学会第52回年次学術講演会(Ⅲ-B114)、1998年９月。

ECL シールド工法技術資料

平成　３年１１月　発行第１版
平成　６年１２月　発行第２版
平成１３年　３月　発行第３版
平成１５年　３月　発行第４版
平成１８年　４月　発行第５版
平成１９年　６月　発行第６版
平成２３年　８月　発行第７版
令和　２年　８月　発行第８版

シールド工法技術協会
URL：http://www.shield-method.gr.jp