

カタログ・パンフレット

・株式会社タック 「クレーショック・ミニパッカー工法技術・積算資料」

急曲線補助工法
『クレーショック・ミニパッカー工法』

【技術・積算資料 Ver.3.01】

平成 25 年 10 月



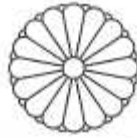
まえがき

シールド工法の急曲線施工では、コピーカッターで曲線内側の余掘りを行うため、余掘り部の緩みを防止する目的で一般に地上あるいは機内より薬液注入工法等の補助工法が必要である。しかし、近年では路上作業を伴う補助工法は、地上における施工スペースの確保や、作業帯による交通障害や夜間作業による騒音が発生するため周辺住民の理解が得られない等、施工が非常に難しくなっている。一方、シールド機内から薬液注入を行う場合には、所定の急曲線を掘削するにあたり数回の掘削停止及び注入作業を繰り返す必要があり施工効率が悪く、工期の延長、工費の増大という問題が発生する。

これらの問題点を解決するために、『クレーショック・ミニパッカー工法』の開発を行ってきた。本工法は従来裏込め注入まで空隙となっていたシールド機側面の余掘り部に、シールド機内から可塑性の充填材『クレーショック』を掘進と同時に注入することによって地山安定を図る工法である。また、従来の袋付きセグメントにかわる『ミニパッカー』をセグメント設置後に注入することによりシールドの推進力を確実に地山に伝達し、急曲線の線形の精度を高めている。なお、充填材『クレーショック』はセグメントの裏込め材によって切羽部に押し出され、掘削排土と同時に排出される。

本工法の特徴は路上作業がなくなり周辺環境に悪影響を与えないこと、日進量の低下がないこと、急曲線の線形の確保が確実にできることである。それに伴い、従来の薬液注入工と比較してコスト低減も期待できる。これまでの実施した泥水式および泥土圧式シールドの施工現場の実績結果においても施工性、経済性について本工法の有効性が確認されている。

この技術・積算資料は泥水式および泥土圧式シールドにおける急曲線補助工法として『クレーショック・ミニパッカー工法』に適用し、実務者に必要となる設計・施工および積算に関する基本事項について記述したものである。



特 許 証
(CERTIFICATE OF PATENT)

特許第 3 7 1 5 9 6 8 号
(PATENT NUMBER)

発明の名称(TITLE OF THE INVENTION)

急曲線掘削工法

特許権者(PATENTEE)

岡山県和気郡吉永町南方 1 0 7 3 番地

株式会社タック

発明者(INVENTOR)

瀧川 信二

出願番号(APPLICATION NUMBER)

特願 2 0 0 3 - 0 2 6 8 7 7

出願年月日(FILING DATE)

平成 1 5 年 2 月 4 日 (February 4, 2003)

この発明は、特許するものと確定し、特許原簿に登録されたことを証する。
(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE JAPAN PATENT OFFICE.)

平成 1 7 年 9 月 2 日 (September 2, 2005)

特許庁長官 (COMMISSIONER, JAPAN PATENT OFFICE)



小 川



目 次

1. 工法の概要	_____	1
2. 急曲線施工のポイント	_____	2
3. 余掘り崩壊防止対策工	_____	3
4. 急曲線施工における地盤耐力及び地盤反力の考え方	_____	6
4-1 地盤耐力の計算式	_____	6
4-2 地盤反力の計算式	_____	7
4-3 急曲線施工の可否について	_____	9
5. クレーショック・ミニパッカー工法	_____	10
5-1 急曲線施工の要件	_____	10
5-2 クレーショック・ミニパッカー工法	_____	11
5-3 ミニパッカー必要本数の計算	_____	15
5-4 クレーショック使用数量の計算	_____	18
6. 材料使用数量	_____	20
6-1 注入設備の選定手順	_____	20
6-2 注入設備の適用一覧表	_____	20
7. 施工計画	_____	21
7-1 基本サイクル	_____	21
7-2 施工手順	_____	23
8. 代価表	_____	28

【参考資料】

- ・設備基礎価格表
- ・機械器具損料表(標準)
- ・クレーショック注入設備図

1. 工法の概要

急曲線施工は技術的に困難であり、様々な補助工法が必要とされる場合が多い。一般的には、曲線施工のためのシールド反力の確保や、曲線施工に必要なシールド機周辺の余掘りの崩壊の防止を目的として、地盤改良が行われている。

しかし、工事の道路交通状況、地下埋設物の状況、近隣建物等の工事施工環境によって、地上からの地盤改良工事に制約を受けることが近年増えてきており、こうした状況の下で、安全かつ確実に急曲線施工を行い、周辺に与える影響を最小限に抑える補助工法の必要性が高まってきている。

急曲線施工時は、特にシールド周囲の余掘りの確保が重要となってくる。ひとたび余掘り部が崩壊すれば、急曲線施工が困難となるばかりでなく、周辺地盤の変状や地表面の過大な沈下といった問題を引き起こし、道路交通や地下埋設物、および近接構造物に大きな影響を与えることになる。

一方、シールドによって発生した余掘りは、シールド後部においてはセグメントを不安定にする要因となり、地表面沈下の懸念はもとより、セグメントのテールクリアランスの確保が困難となるばかりでなく、シールド推力の増大および推力作用方向の偏心、セグメントの破損、ひいてはトンネル線形確保の困難といった問題が発生する。

そこで急曲線施工時に必要とされる余掘りとセグメントの安定を確保すると同時に、道路上での作業の必要がなく、トンネル坑内からの作業のみによって施工可能なクレーショック・ミニパッカー工法を実施する。

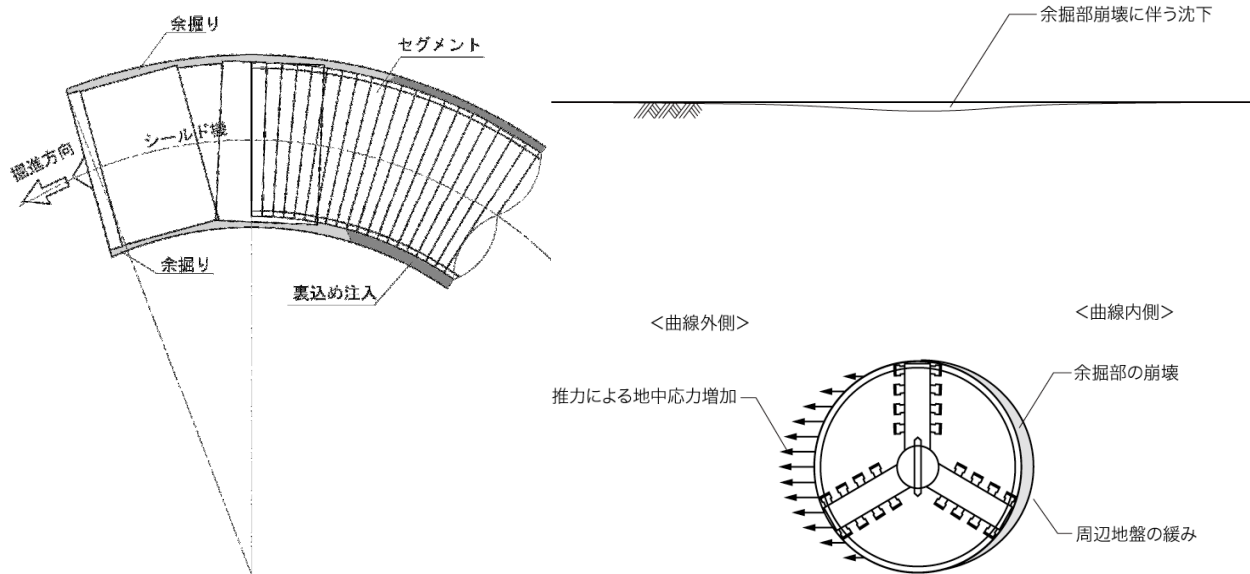
クレーショック・ミニパッカー工法は、余掘り部の確保と崩壊の防止を目的として、シールド外周に中間充填材であるクレーショックをシールド機内から注入する。また、シールド掘進と平行して裏込め注入を行い、クレーショックをシールド機前方に押し出しながら裏込め材で置換する方法を採用する。このことによって、余掘り部の崩壊防止と地表面沈下の抑制について、地盤改良と同等の効果が期待できるものとする。また、裏込め材がシールド外周部に付着し悪影響を及ぼす危険性が高いため、裏込め材の強度発現を遅らせた、遅硬性裏込め注入を行う。

裏込め材の強度発現が遅いことによって、シールド後方のセグメントを地山に固定することができないため、曲線施工時のセグメントの安定が確保できず、方向制御に悪影響を及ぼすことが考えられる。これに対しては、セグメントの固定を確実に行うと同時に、シールド外周部への裏込め材の回り込み付着を防止するために、セグメントに装備した小型の袋(ミニパッカー)の中に急硬性の裏込めを注入する限定裏込め注入を併用する。

以上の施工方法を用いたクレーショック・ミニパッカー工法は、確実な曲線施工を可能とするとともに、地盤変状の抑制効果が高い施工性に優れた工法である。

2. 急曲線施工のポイント

急曲線施工時のシールド機と曲線線形、および余掘りの関係を模式化したものを下図に示す。

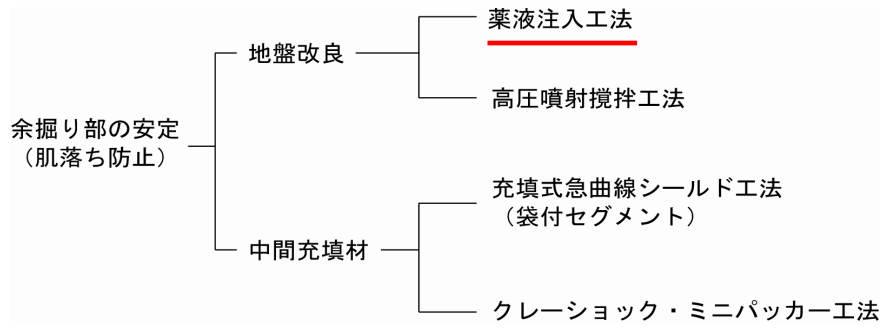


図に示すように、急曲線掘進時には曲線内側の地盤をシールドカッターフェイスにて大きく切削し土砂を取り込んでおかなければ、シールド胴体部でシールド推進の抵抗となる。一方、曲線外側の地盤は、シールドカッターフェイスにて掘削した軌跡がシールド胴体部よりも大きくなる。これらが急曲線施工時の余掘りであり、直線施工時に比べて余掘りが大きく増加する。このようにして発生した余掘りは、シールドテール部で裏込め注入を行うまでは機構上保持しておくことができないため、地盤の応力解放が大きくなる傾向にある。

また、崩壊性の高い地盤においては、余掘り部地山の崩壊が発生し、シールドを小さな曲線半径で曲げていくための障害となると同時に、周辺地盤の変状や地表面沈下を引き起こす原因となる。ひとたび地盤沈下を引き起こすと、道路の陥没や近隣家屋の傾斜、埋設物の損壊等、周辺環境に大きな影響を与えることが懸念される。

3. 余掘り崩壊防止対策工

地盤の緩みや崩壊を抑え、道路、近隣家屋や埋設物への影響を最小限にする余掘り崩壊防止対策工を以下のように分類する。

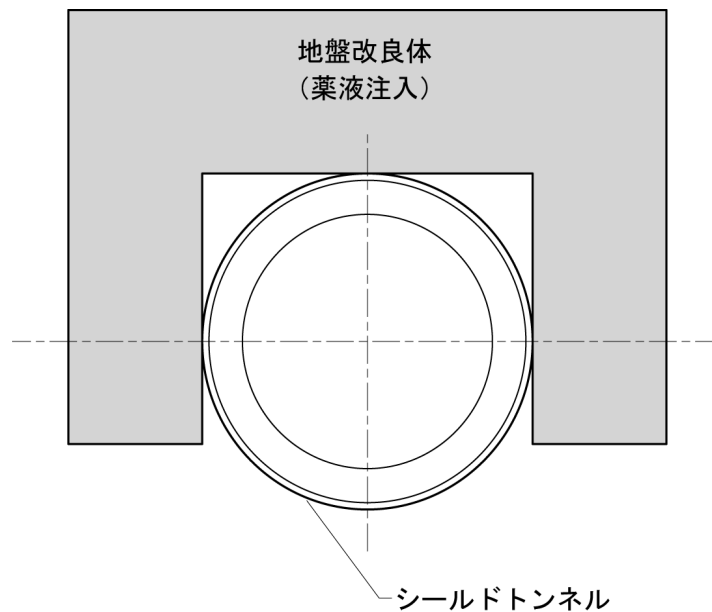


(1) 地盤改良工法

緩み、崩壊を起こす危険性のある地盤を地盤改良によって強化し、余掘りによる応力解放に伴う地盤の崩壊を抑制する。地盤改良の方法には、地上より所定の箇所をあらかじめ改良する方法と、シールド機の掘進に合わせてシールド機内より注入を行う方法とに分かれる。

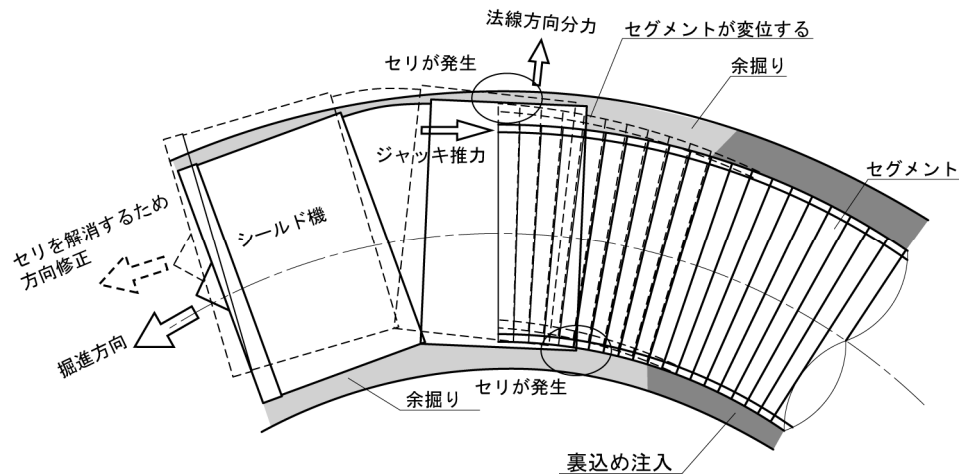
地上からの地盤改良は、掘進に先立って地盤改良を行うことができるため、シールドの進行に影響を与えないが、道路占有が必要となり交通障害等周辺環境に影響を与える。また、地下埋設物や近接構造物の位置関係によっては、施工を行うことが困難となる場合がある。

シールド機内からの施工では、こうした道路占有や埋設等による影響は無い。しかし、シールドが改良箇所到達してから注入となり、掘進の進行に合わせて注入を行うため施工に時間が掛かり、シールドの進行に大きく影響を及ぼす。



< 地盤改良工法参考断面図 >

地盤改良工法では、シールド周辺地盤の強度を増進させることによって、掘削に伴い発生した余掘り部の地盤を自立させる。これによって、シールド機周辺には十分な余掘りが確保されるが、この余掘りがシールド機後部のセグメント位置においても存続している。これら余掘りは早期に裏込め注入を行い、セグメントを地山に早期に固定する必要があるが、シールドマシン直後で裏込め注入を行うと、裏込め材がシールド機外周部の余掘りに回り込み、付着・硬化し掘進に悪影響を及ぼす危険性が高い。このため、裏込め注入はシールド機より十分離れたセグメントから行っている。この結果、シールド機直後のセグメントは地山から遊離しており極めて不安定な状態となる。



シールド機直後のセグメントは、掘進のためにシールド推力に対して必要な反力を得ることができなければならないが、トンネル自体が地山に固定されていない状態では、セグメントと地山との間のせん断抵抗力が期待できず、十分な反力を得ることが困難となる。特にシールド推力の曲線法線方向分力に対して、曲線外側地盤に発生する地盤反力が得られず、かつトンネル自体の軸方向剛性が小さいため、シールド機内およびシールド直後のセグメントは容易に外側に変位してしまう。この結果、セグメントのテールクリアランスの確保が困難となり、セグメントとシールドとの間でセリが生じる。セリによってシールド推力が増大すると同時に、シールド推力によるトンネルの変位と、それに伴って発生したトンネル縦断方向断面力によるセグメント主桁、縦リブおよびボルトの変形・破損といったトラブルが生じる。

また、ひとたびセグメントのセリが生じると、それを解消するためにシールドを曲線外側に向けて掘進させ、テールクリアランスを再度確保させなければならない。こうした掘進を繰り返すことで、線形が次第に外側に膨らんでいき、トンネルの計画線形確保が困難となってしまう。

このように、地盤改良工法は余掘りの確保については十分であるが、トンネル構造自体の安定やシールド機の方向制御、トンネルの線形確保等について、施工上問題点が潜在している。こうした問題点に対して、施工時に地盤改良の増強や反力確保のための仮杭の打設、シールド機そのものの牽引等の対策を実施した事例も数多く聞かれる。また、トンネル縦断方向の剛性を上げるために、セグメントの補強、セグメント間の溶接やリング間ボルトの増強等の対策工が通常行われている。

(2) 中間充填材工法

シールド機のスキムプレートより、ゲル状の中間充填材をシールド機周囲の余堀に注入・充填し、余堀り部の応力開放を抑制する方法である。

余堀りおよび、シールド機外径とセグメント外径のギャップであるテールボイドは、シールド機テール部直後で裏込め注入工によって埋めることによって、地盤の変状を抑制し地盤沈下防止する。このため、裏込め注入はシールド機直後で行う必要があるが、余堀り部に注入材が回り込みシールド機外周に付着するとシールド掘進の支障となる危険性が高い。これらを防止するために、裏込め注入をシールド機テールから離れた位置で裏込め注入を行ったり、強度発現の遅い裏込め材を使用したりするが、こうした場合、シールド機直後のセグメントを地山に十分に固定することができず、セグメントの変位の抑制や、トンネル軸方向の剛性とトンネル横断方向の地盤反力の確保が困難となる。

これらの問題を解決するための方法として、袋付セグメントやミニパッカーを用いた工法の採用があげられる。

① 袋付きセグメント(充填式急曲線シールド工法)

セグメント背面に袋を折り畳み設置した袋付セグメントを用い、シールド機直後で袋内に注入を行い地山にセグメントを固定する。袋付セグメントは、一般的に3リングに1リングの割合で設置する。これによってトンネル横断方向の地盤反力を確保する。この袋付セグメントは、トンネル全周に渡って袋を膨らませるために、袋付セグメントの前後でテールボイドを完全に遮蔽することが可能であり、袋付セグメントより後部で裏込め注入を実施しても、シールド機外周に裏込め材が回り込むのを防止することができる。裏込め注入は、袋付セグメントによって遮蔽されたテールボイド中の中間充填材を置き換えながら実施する。

② ミニパッカー(クレーショック・ミニパッカー工法)

ミニパッカーとは前述の袋付セグメントがもつ機能の内、セグメントを地山に固定する効果を持たせることとあわせて、裏込め注入材のシールド機外周への回り込を防止するために、セグメントグラウトホールに設置した膨張袋に限定裏込め注入を実施する工法である。ミニパッカーは、円筒の中に膨張袋を折り畳んで装填しておき、セグメント注入口に差し込んで使用する。

4. 急曲線施工における地盤耐力及び地盤反力の考え方

急曲線施工を行う場合、シールド機に回転力を発生させるために、曲線外側の地盤に反力を負担させる。このため、掘進位置の地盤はこの反力に対して十分な耐力を有している必要がある。

よって、本検討に必要な急曲線施工時のシールド推力による地盤反力と、掘進位置での曲線外側における地盤耐力の計算式を示す。

4-1 地盤耐力の計算式

トンネル中心位置側方の地盤耐力は有効応力状態での受働耐力を採用する。

(1) トンネル中心位置の鉛直土圧の計算(地下水位の浮力を考慮する。)

全土被りを考慮した鉛直土圧。

$$\Sigma \gamma h = \gamma_1 \times h_1 + \gamma_2 \times h_2 + \gamma_3 \times h_3 + \gamma_4 \times h_4 \dots$$

ここに、 $\Sigma \gamma h$: トンネル中心位置の鉛直土圧(kN/m²)

γ_n : 各土層における単位体積重量(kN/m³)

h_n : 各土層における層厚(m)

(2) 受働土圧係数

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

ここに、 K_p : 受働土圧係数

ϕ : シールドマシン通過部における土の内部摩擦角(°)

(3) 地盤耐力(受働土圧)の計算

$$P_p = K_p \Sigma \gamma h + 2C \cdot K_p^{0.5}$$

ここに、 P_p : 地盤耐力(kN/m²)

$\Sigma \gamma h$: トンネル中心位置の鉛直土圧(kN/m²)

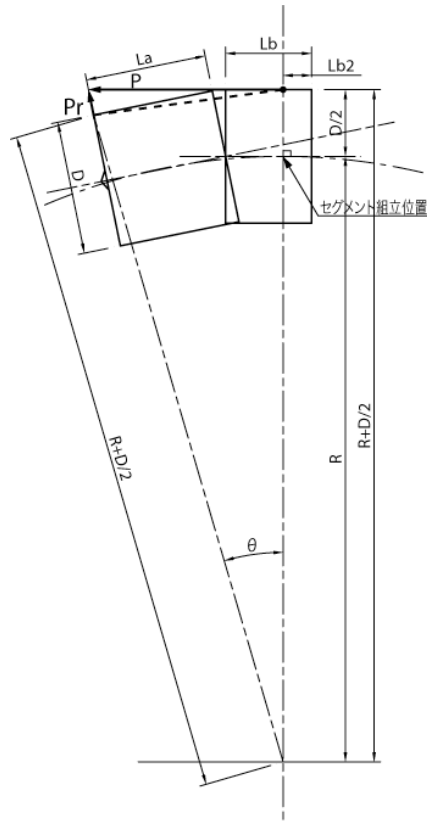
K_p : 受働土圧係数

C : シールドマシン通過部における土の粘着力(kN/m²)

4-2 地盤反力の計算式

(1) シールド推力の法線方向分力の計算

シールド外径(D)で曲線半径(R)の曲線を施工する場合、シールド機は下図のようになる。



- ここに、
- P_r : 急曲線部シールド推力の法線方向分力 (KN)
 - P : 急曲線部シールド推力 (kN)
 - L_a : シールド機前胴長 (m)
 - L_b : シールド機後胴長 (m)
 - L_{b2} : セグメント組立位置からシールド最後部までの距離 (m)
 - R : 急曲線部シールド中心曲率半径 (m)
 - D : シールド外径 (m)

$$L_a + (L_b - L_{b2}) : \theta = 2\pi \left(R + \frac{D}{2}\right) : 360^\circ$$

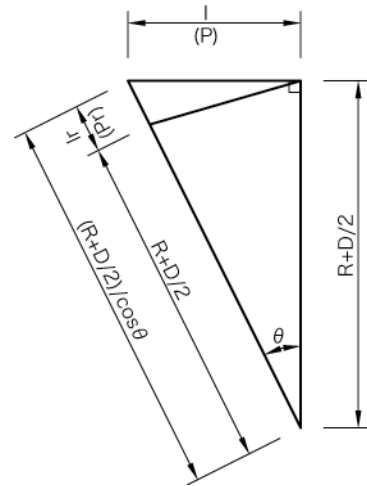
$$\theta = \frac{L_a + (L_b - L_{b2})}{2\pi(R + D/2)} \times 360^\circ$$

$$l = \left(R + \frac{D}{2}\right) \times \tan \theta$$

$$l_r = \left(R + \frac{D}{2}\right) \div \cos \theta - \left(R + \frac{D}{2}\right)$$

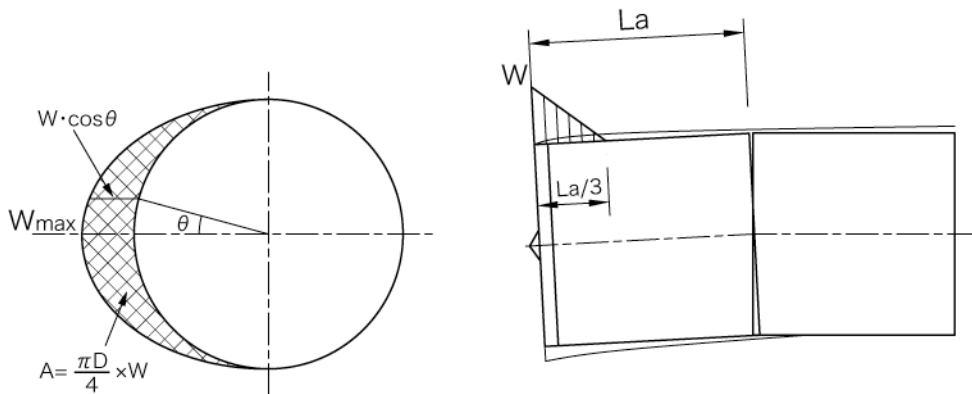
$$P : P_r = l : l_r$$

$$P_r = \frac{l_r}{l} \times P$$



(2) 地盤反力の計算

初期の中折れ式シールド機はシールドジャッキが前胴部で支持された方式が主流であったため、曲線外側のジャッキを主に使い、左右の推力差によってシールド機に回転モーメントを発生させていた。このためシールド機の回転中心はマシン前胴部に重心位置付近に位置し、曲線外側の地盤反力はシールド機先端に分布していると考えられていた。

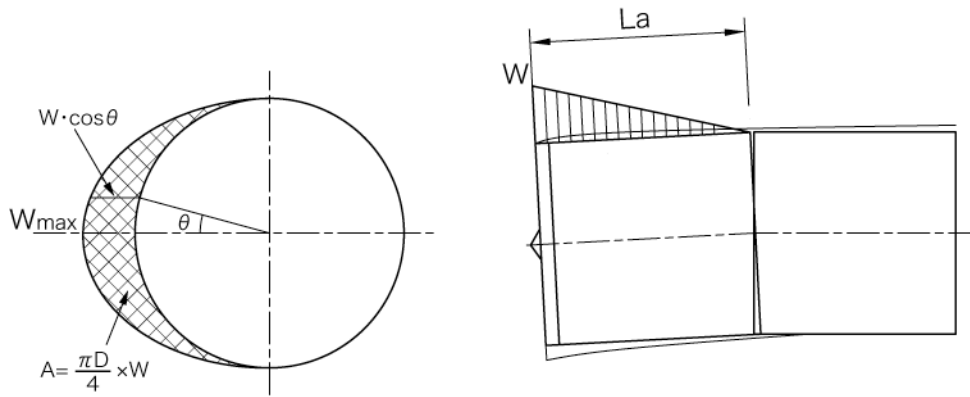


従来の地盤反力分布図

シールドジャッキ前胴支持方式では、こうしたシールドジャッキの片押しによるセグメントの損傷等の問題が多く見られた。この問題を解消するために、現在では後胴支持方式が主流となっている。

後胴支持方式のシールドマシンは、シールド機の回転中心がほぼシールド機の中心に位置するため、前胴全体で地盤反力を受けることができる。この地盤反力によって、シールドマシンに有効な回転モーメントを発生させることができるため曲線部の施工であっても全ジャッキ使用が可能となった。

このことから、シールドマシン側部の地盤反力分布は下図のようにになっているものと想定し、地盤反力度を求めるものとする。



後胴支持方式シールドの地盤反力分布図

$$Pr = \frac{1}{4} \pi \times D \times W_{max} \times \frac{1}{2} \times La$$

$$= \frac{1}{8} \pi \times D \times W_{max} \times La$$

$$\therefore W_{max} = \frac{8 \times Pr}{\pi \times D \times La}$$

ここに、 W_{max} : 最大地盤反力度 (kN/m²)

Pr : 急曲線部シールド推力の法線方向線分 (kN)

D : シールド外径 (m)

La : シールド機前胴長 (m)

4-3 急曲線施工の可否について

先に述べた、曲線外側の地盤耐力 (P_p) とシールド推力による生じる地盤反力 (W_{max}) により急曲線施工の可否を下表のように判断することができる。

《急曲線施工の可否判定表》

	施 工 判 定
地盤耐力 (P_p) \geq 地盤反力 (W_{max}) の場合	施工可能である (OK)
地盤耐力 (P_p) $<$ 地盤反力 (W_{max}) の場合	施工不可能である (NG)

5. クレーショック・ミニパッカー工法

5-1 急曲線施工の要件

(1) 余掘の確保

急曲線部において、シールド機内側の胴体部はカッターによって掘削した断面よりも内側を通過することになる。このため、シールド機内側の地盤を胴体部通過に合わせて大きく余掘りしておく必要がある。こうした余掘りを、シールド機に装備したコピーカッターによって行う。急曲線施工ではこの余掘りが、シールド機胴体部が通過するまで崩壊することなく保持されていなければならない。

(2) 裏込め材のシールドへの回り込み防止

シールド機後方における地盤沈下の防止のために、シールド機通過後にセグメント外周と地山との空隙を裏込め材によって早急に充填する必要がある。しかし急曲線区間では、余掘りによってシールド機外周に通常よりも大きな空隙ができるため、シールド機直後から裏込め注入を行なうと裏込め材が余掘りに回り込み、シールド機外周部に付着し悪影響を及ぼす危険性が高い。このため裏込め注入は、シールド機のテールから離れた場所で行う必要がある。

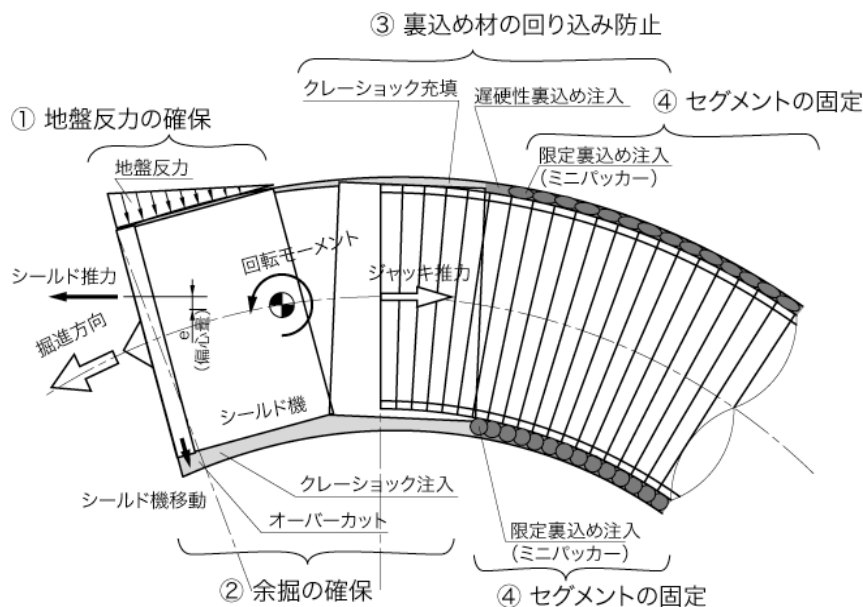
このことが、曲線部において地盤変状が過大となる原因となっていた。

(3) セグメントの固定と推進反力の確保

シールド機はジャッキ推力をセグメントに伝え、その反力を利用して推進する。急曲線部において裏込め注入をシールド機のテールから離れた場所で行うと、シールド直後のセグメントが地山に地山に固定されず、不安定な状態となる。これによって、シールド推力に対して十分な反力の確保できず、シールド機の姿勢制御が不安定となり、シールド線形の確保が困難となる。

5-2 クレーショック・ミニパッカー工法

『クレーショック・ミニパッカー工法』の概要を下図に示す。



(1) クレーショック工法

クレーショック工法は、粘土系材料であるTAC-β溶液と水ガラス系凝集材であるTAC-3G(3S)を比例混合させて、数秒で 30,000~50,000CP 程度の高粘性な可塑状粘土ゲル材であるクレーショックをシールド機外周に注入する方法で、裏込め注入施工までに開放される余掘り部の保持を行うと同時に、シールド外周部にゲル材が充填されるため、地山とのフリクションカットの役目を果たし、シールド推力が低減されて姿勢制御が容易となる。また、クレーショック注入によって、コピーカッターで切削した土砂をチャンバー内に押し出すため、確実な余掘りの確保が可能となる。クレーショックの特徴を以下に示す。

- 充填材は流動性があり、加圧注入することで余掘り部地盤に対する充密性がよい。
- 粘性が高く、間隙の大きな地盤においても十分な目詰り効果があり、余掘り部の安定性が高い。
- 余掘り部に充填材が充密しているため、シールド機テール部で裏込め注入材のシールド機への回り込みが発生しない。地山に比べると、粘着力、せん断抵抗力が小さく、シールド機外周部の摩擦抵抗力低減効果がある。

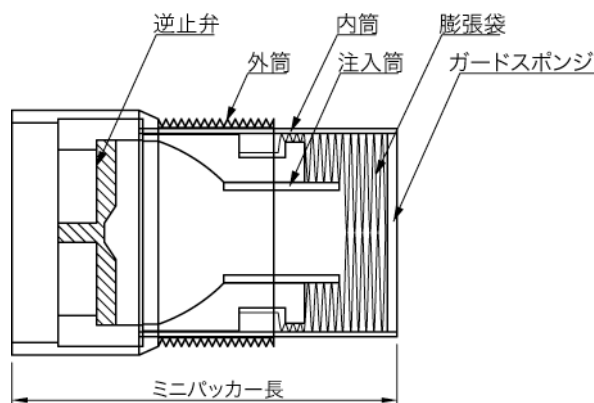
<クレーショック配合例>1.05m³当たり:A液 1000L、B液 50L

A 液 (1.0m ³)		B 液
特殊粘土	水	塑強調整剤
TAC-β	清水	TAC-3G
520 kg (495 kg)	800L (760L)	50L (48L)

※()内はクレーショック 1.0m³当たり配合

(2)ミニパッカー工法

ミニパッカー工法は、セグメントを地山に固定する効果を持たせることとあわせて、裏込め注入材のシールド機外周への回り込を防止するために、セグメントグラウトホールに設置した膨張袋に限定裏込め注入を実施する工法である。ミニパッカーは、円筒の中に膨張袋を折り畳んで装填しておき、セグメント注入口に差し込んで使用する。



<ミニパッカー参考図>

ミニパッカーの筒に裏込め材を注入すると、セグメント外周に 30～50 cmほどの座布団状の裏込め硬化物ができる。このミニパッカーによって、セグメントの地山への固定を行う。膨張袋には伸縮性素材を採用するためミニパッカーの全長を短くでき、セグメント内側に納められ二次覆工時の施工の支障とならない。

ミニパッカー工法は、袋付セグメントと異なりテールボイドを遮蔽する効果がない。このため、裏込め注入には強度発現の遅い裏込め材の配合を用いた、遅硬性裏込めをシールド機直後より実施する。これによって、中間充填材であるクレーショックをシールド機側に押しだし、テールボイド内を裏込め材に置換しながら掘進を行う。これによって、余掘り部およびテールボイド内は常に充填された状態が維持され、かつ裏込め注入によって地山の応力が保持されていることになり、地盤変状を最小限に抑えることが可能である。また、裏込め注入材が硬化することで、トンネルを安定させることが可能である。

(3) 裏込め注工

テール離脱と同時に裏込め注入を施工する。この際、裏込め材がシールド余掘り部に回り込んでも支障がないように、強度増進の遅い裏込め配合とする。また、ミニパッカーに注入する裏込め材は、パッカーを効率よく膨らませるためにゲルタイムを短縮させると同時に、セグメントを地山に固定するために、早期に所定の強度が発現する必要がある。

遅硬性裏込め材は通常の裏込め配合に対し、B液添加比率をA:B=10:0.4程度まで下げる。ミニパッカー内部の裏込め配合(A:B=10:0.8)が $\sigma_{2h}=0.2\text{N/mm}^2$ 以上に対し、 $\sigma_{24h}=0.2\text{N/mm}^2$ 程度である。最終強度は地山と同程度 2.0N/m^2 発現する。

なお、急曲線部では、シールド機への廻り込みを防止するため、ゲル促進剤を加える。

①基本配合例

裏込め配合表

材料名	A液(940L)						B液
	硬化材	助材	気泡剤	安定剤	水	空気量	塑強調整剤
品名 (真比重)	タックメント (3.15)	TAC- α (2.6)	TAC-2号 (1.00)	TAC-Re (1.27)	清水 (1.0)	—	TAC-3G (1.37)
1m ³ 当り	270 kg	30 kg	0.5 kg	2.7 kg	699 L	141 L	60 L

* A液性状

生比重 1.07±0.1

フロー値 300~500mm

* A B混合性状 (A : B = 10 : 0.64)

ゲルタイム 15秒以内

一軸圧縮強度 $\sigma_{1h} = 0.1\text{N/mm}^2$

$\sigma_{28日} = 2.0\text{N/mm}^2$



A液 1.0m³当り一般部配合(上記数量×1,000/940)

材料名	A液(1000L)						B液
	硬化材	助材	気泡剤	安定剤	水	空気量	塑強調整剤
品名 (真比重)	タックメント (3.15)	TAC- α (2.6)	TAC-2号 (1.00)	TAC-Re (1.27)	清水 (1.0)	—	TAC-3G (1.37)
1.07m ³ 当り	287 kg	32 kg	0.5 kg	2.9 kg	744 L	150 L	64 L

②急曲線部 テールボイド内遅硬性裏込め配合例

A液 1.0m³ 当たり遅硬性配合

材料名	A液(1000L)							B液
	硬化材	助材	気泡剤	安定剤	ゲル促進剤	水	空気量	塑強調整剤
品名 (真比重)	タックメント (3.15)	TAC- α (2.6)	TAC-2号 (1.00)	TAC-Re (1.27)	TACゲル (1.0)	清水 (1.0)	—	TAC-3G (1.37)
1.04m ³ 当り	287 kg	32 kg	0.5 kg	2.9 kg	3.0 kg	744 L	150 L	40 L

* A液性状

* A B混合性状 (A : B = 10 : 0.4)

生比重 1.07 \pm 0.1

ゲルタイム 5秒以内

フロー値 300~500mm

一軸圧縮強度 $\sigma_{28日} = 2.0\text{N/mm}^2$

③急曲線部 ミニパッカー内急硬性裏込め配合

A液 1.0m³ 当たり急硬性配合

材料名	A液(1000L)							B液
	硬化材	助材	気泡剤	安定剤	ゲル促進剤	水	空気量	塑強調整剤
品名 (真比重)	タックメント (3.15)	TAC- α (2.6)	TAC-2号 (1.00)	TAC-Re (1.27)	TACゲル (1.0)	清水 (1.0)	—	TAC-3G (1.37)
1.08m ³ 当り	287 kg	32 kg	0.5 kg	2.9 kg	3.0 kg	744 L	150 L	80 L

* A液性状

* A B混合性状 (A : B = 10 : 0.8)

生比重 1.07 \pm 0.1

ゲルタイム 5秒以内

フロー値 300~500mm

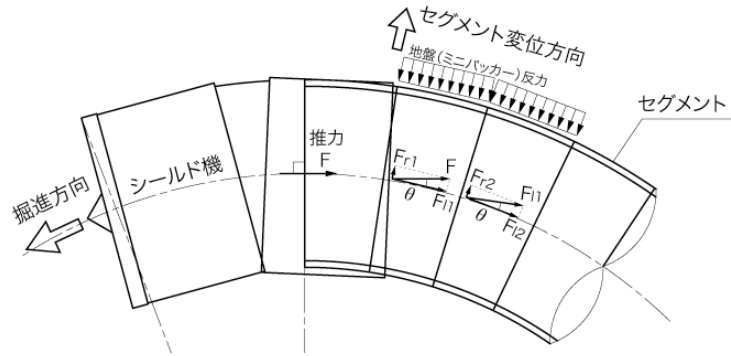
一軸圧縮強度 $\sigma_{2h} = 0.2\text{N/mm}^2$

$\sigma_{28日} = 2.0\text{N/mm}^2$

5-3 ミニパッカー必要本数の計算

(1) 曲線法線方向外側に作用するシールド推力の計算

トンネルの曲率によって、シールド推力がトンネル軸方向と曲線法線方向とに分けられる。ミニパッカーは、シールド推力のうち曲線法線方向分力を負担する。なお、ミニパッカーの必要数量は、単位トンネル長さ(1m)当たりで計算を行う。



① 曲率によるシールド推力の偏向角度

$$\theta = 360^\circ / (2 \cdot \pi \cdot R)$$

ここに、 θ : 曲率によるシールド推力の偏向角度(°)

R : 曲率による急曲線部シールド中心曲率半径(m)

② 曲線法線方向外側に作用するシールド推力

$$Fr = F \cdot \sin \theta$$

ここに、 Fr : 曲線法線方向外側に作用するシールド推力(kN)

F : 施工推力(kN) → ※通常、装備推力の50%とする。

(2) ミニパッカー使用本数の計算

① ミニパッカー1本当たりの受圧面積

$$A = \pi / 4 \times d^2$$

ここに、 A : ミニパッカー1本当たりの受圧面積(m²)

d : ミニパッカー袋径(m)

※30cm～50cm → 平均値の40cmを採用。

②ミニパッカー1本当たりが負担する曲線法線方向外側向きシールド推力

- $\sigma_{2h} > Pp$ の場合 $q = A \times Pp$
- $\sigma_{2h} < Pp$ の場合 $q = A \times \sigma_{2h}$

ここに、 q : ミニパッカー1本当たりが負担する曲線法線方向外側向きシールド
推力(kN/本)

σ_{2h} : 裏込め強度(kN/m²)

Pp : 地盤耐力(kN/m²)

A : ミニパッカー1本当たりの受圧面積(m²)

③ミニパッカー使用本数

- トンネル延長 1m 当りに必要なミニパッカーの本数

$$N_{pm} = Fr / q$$

ここに、 N_{pm} : トンネル延長 1m 当りに必要なミニパッカーの本数(本/m)

Fr : 曲線法線方向外側に作用するシールド推力(kN)

Q : ミニパッカー1本当たりが負担する曲線法線方向外側向き
シールド推力(kN/本)

- セグメント1ring 当りに必要なミニパッカーの本数

$$N_{pc} = N_{pm} \times w + n$$

外側 = $N_{pm} \times w$ (本)

内側 = n (本)・・・セグメント固定用

ここに、 N_{pc} : セグメント1ring 当りに必要なミニパッカーの本数(本/ring)

N_{pm} : トンネル延長 1m 当りに必要なミニパッカーの本数(本/m)

w : セグメント幅(m)・・・一般的には 30cm として考える。

n : セグメント内側固定本数(本)

セグメント外径(D) $D \leq 4,000m$: 1 本

$D > 4,000m$: 2 本

- ・ セグメントリング数(急曲線区間)

$$Nsr = CL / w$$

ここに、Nsr : セグメントリング数 (ring)

CL : 曲線長 (m)

w : セグメント幅 (m)・・・一般的には 30cm として考える。

- ・ ミニパッカー使用本数

$$\Sigma Npc = Npc \times Nsr$$

ここに、 ΣNpc : ミニパッカー使用本数 (本)

Npc : セグメント1ring 当りに必要なミニパッカーの本数 (本 / ring)

Nsr : セグメントリング数 (ring)

(3) ミニパッカーの種類と選定一覧

セグメント種別	選定条件	ミニパッカー(仕様)
RC セグメント	—	MPTM-C 特殊タイプ、L=120mm(桁高に応じる)
鋼製セグメント	主桁高 \geq 100mm	MPPF-S 標準タイプ、L=100mm(一定サイズ)
	主桁高 $<$ 100mm	MPPF-SS 特殊タイプ、L=80mm(桁高に応じる)

5-4 クレーショック使用数量の計算

(1) 余掘り量の計算

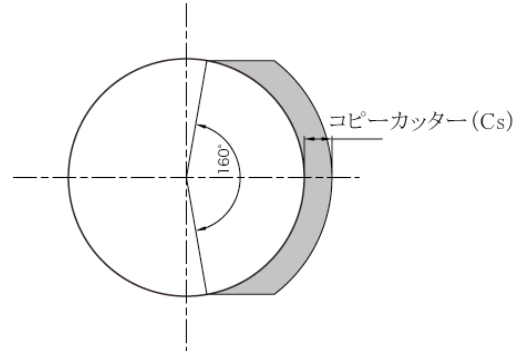
クレーショックを注入する余掘り量は、右図に示すように急曲線内側のシールド機スプリングラインを中心に160°の間をコピーカットにて切削するものとして計算する。

$$V = \pi / 4 \times \{ (D + 2 \times Cs)^2 - D^2 \} \times 160^\circ / 360^\circ$$

ここに、V : 1m当りの余掘り量 (m³/m)

D : シールド外径 (m)

Cs : コピーカット (m)



余掘り量の目安

(mm)

シールド 外径	曲 線 半 径 R(m)								
	10m 以下	15	20	25	30	35	40	45	50
1,930	170	150	150	130	130	100	100	80	80
2,130	170	150	150	130	130	100	100	80	80
2,280	170	150	150	130	130	100	100	80	80
2,480	170	150	150	130	130	100	100	80	80
2,680	170	170	150	150	130	130	100	100	80
2,880	170	170	150	150	130	130	100	100	80
3,090	200	170	150	150	130	130	100	100	80
3,290	200	170	150	150	130	130	100	100	80
3,490	200	170	150	150	130	130	100	100	80
3,690	200	170	170	150	150	130	130	100	100
3,940	200	170	170	150	150	130	130	100	100
4,190	200	200	170	170	150	150	130	130	100
4,440	200	200	170	170	150	150	130	130	100
4,690	200	200	170	170	150	150	130	130	100

(2) クレーショック注入量の計算

クレーショックは、経験的に計算余掘り量の1.2～2倍を常時注入することによって、余掘り部の安定を確保すると同時に、切削土砂をチャンバーに押し戻し確実な余掘りを形成する。

$$q = V \times 200\%$$

ここに、 q : 1m当りのクレーショック注入量(m^3/m)

V : 1m当りの余掘り量(m^3/m)

(3) クレーショック総注入量の計算

$$Q = q \times (CL + La \times 2)$$

ここに、 Q : クレーショック総注入量(m^3)

q : 1m当りのクレーショック注入量(m^3/m)

CL : 曲線長(m)

La : シールド機前胴長(m)

(4) クレーショック材料使用量の計算

・TAC- β (助材クレーサンド)

$$W_{\beta} = 495 \text{ kg/m}^3 \times Q$$

・TAC-3G (塑強調整剤)

$$V_s = 48 \text{ L/m}^3 \times Q$$

ここに、 Q : クレーショック総注入量(m^3)

<クレーショック配合例> 1.05 m^3 当たり: A液 1000L、B液 50L

A 液 (1.0 m^3)		B 液
特殊粘土	水	塑強調整剤
TAC- β	—	TAC-3G
520 kg (495 kg)	800L (760L)	50L (48L)

※()内はクレーショック 1.0 m^3 当たり配合

6. クレーショック注入設備の適用基準

6-1 注入設備の選定手順

クレーショック注入設備において、注入ポンプの選定基準となるクレーショックA液、B液の1分当りの注入量を下式により算出する。

- ・ クレーショック A 液流量 ; $V_A = q \times v \times 95.2\%$
- ・ クレーショック B 液流量 ; $V_B = q \times v \times 4.8\%$

ここに、 V_A : 1分当りのクレーショック A 液流量(m^3/min)

V_B : 1分当りのクレーショック B 液流量(m^3/min)

q : 1m当りのクレーショック注入量(m^3/m)

v : 掘進速度(m/min)・・・一般的には $3cm/min$ とする。

《クレーショック注入混合比率》

	A 液	B 液
混合比率	20	1
混合率(%)	95.2	4.8

※クレーショック A, B 液ともに、各急曲線毎のクレーショック注入量の最大値にて選定する。

6-2 注入設備の適用一覧表

《 アジテーター及びタンク適用一覧表 》

注 入 液	機 械 名	形 式	台数	電力(kw)
クレーショック A 液	TAC-βアジテータ	0.3 m^3	1	2.2
クレーショック B 液	TAC-3Gタンク	0.2 m^3	1	

《 注入ポンプ適用一覧表 》

注入液	機 械 名	形 式	台数	電力(kw)	適用範囲
クレーショック A 液	TAC-βポンプ°	TBX-75N 200L/min	1	11.0	100~200L/min
		TBX-50N 100L/min	1	7.5	25~100L/min
		TBX-32N 27L/min	1	2.2	5~25L/min
クレーショック B 液	TAC-3Gポンプ°	TBV-25N 10L/min	1	0.75	5~10L/min
		TBV-19N 5L/min	1	0.4	1~5L/min

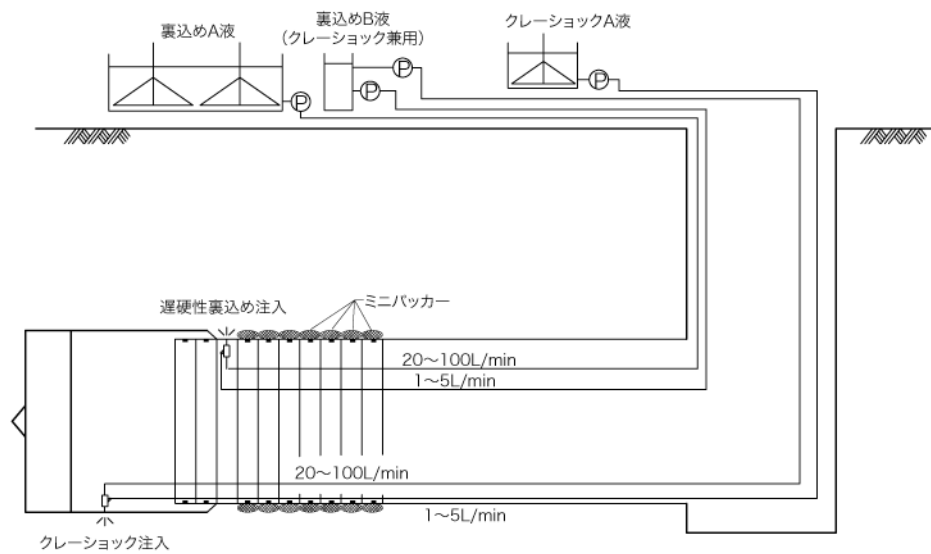
7. 施工計画

7-1 基本サイクル

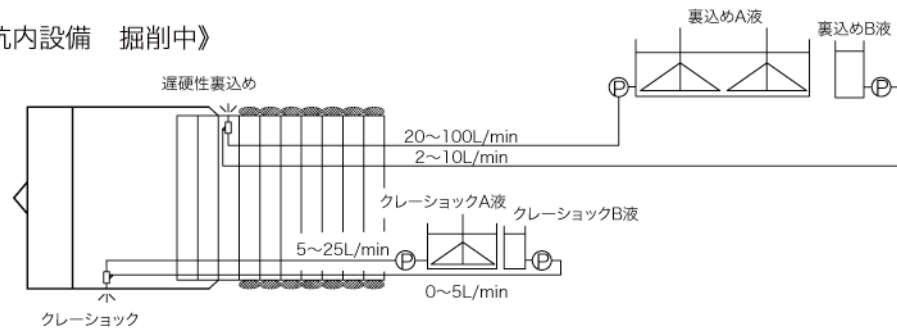
(1) 掘削中

- ① コピーカッターによる余掘掘削
- ② クレーショックをシールド機側部より注入
- ③ 遅硬性裏込め注入(A:B=10:0.4)

《地上設備 掘進中》



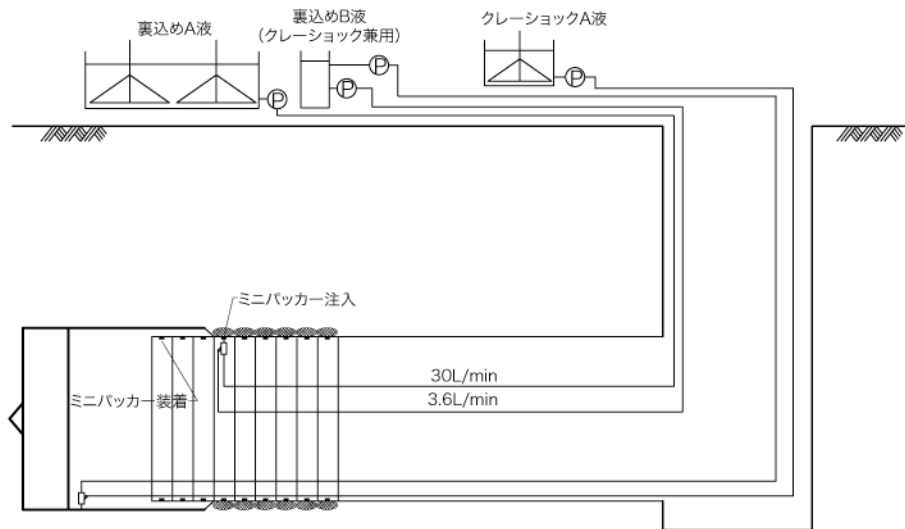
《坑内設備 掘削中》



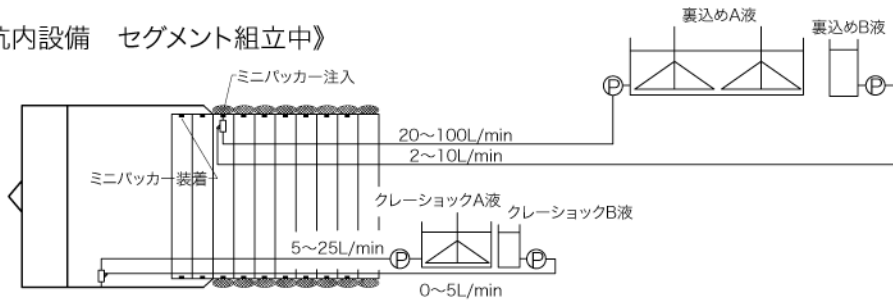
(2) セグメント組立時

- ① ミニパッカーを取り付けたセグメントがテールを抜けた直後に、ミニパッカー内に急硬性裏込め材(A:B=10:0.8)を注入する。ミニパッカー1本当たりの注入量は20Lを目安とする。

《地上設備 セグメント組立中》



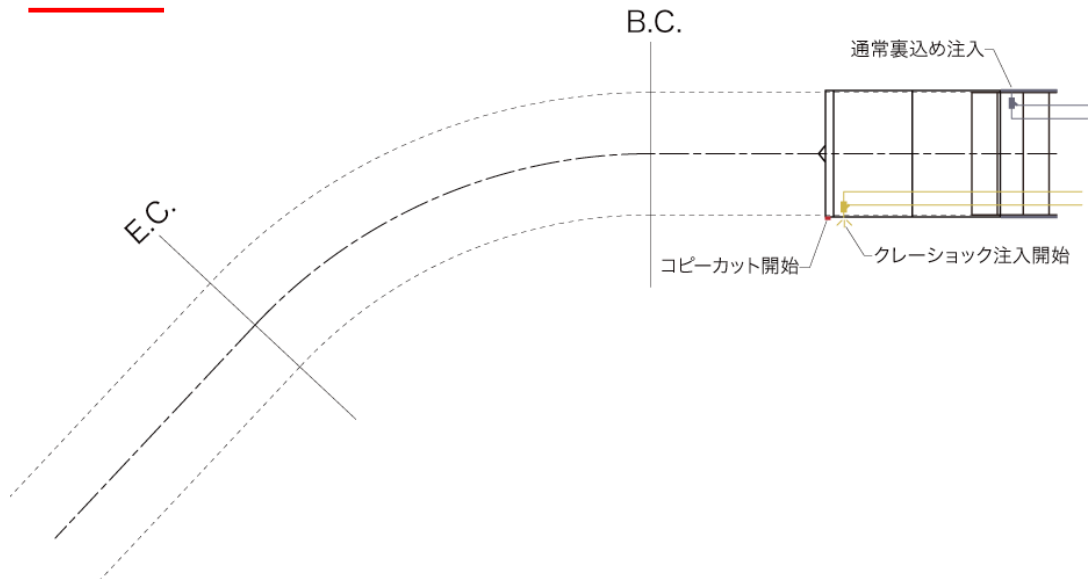
《坑内設備 セグメント組立中》



7-2 施工手順

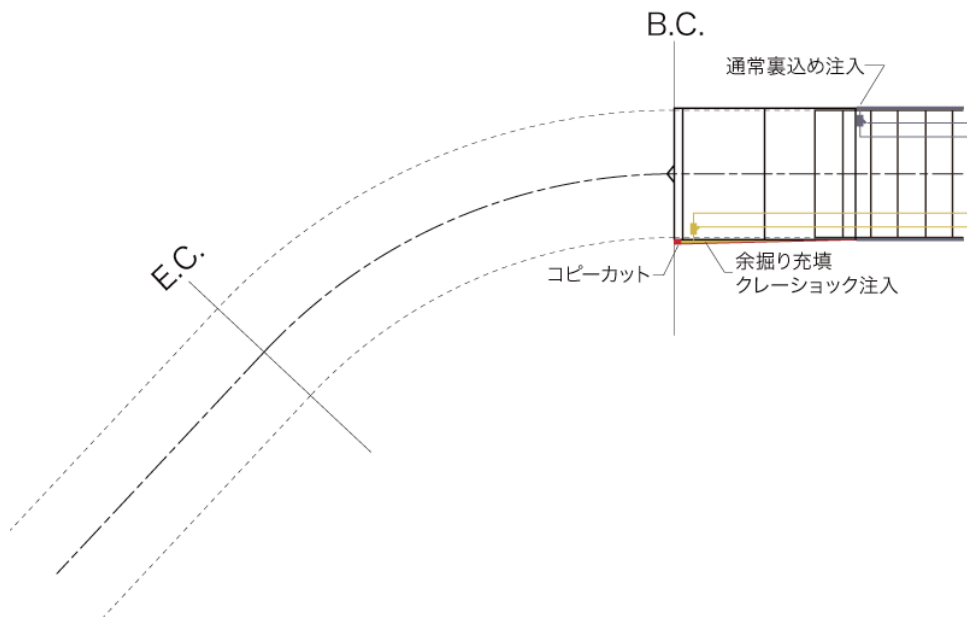
①B.C.手前地点

- 急曲線施工に曲線内側の地盤がシールド機の胴体と干渉するため、シールド機内側のコピーカットを行い、余掘りを作る必要がある。B.C.地点で、所定のコピーカット量となるように、手前から暫時コピーカッターのストロークを伸ばしていく。
- コピーカットに伴い余掘り部の崩壊を抑制するために余掘り充填材(クレーショック)の注入を開始する。



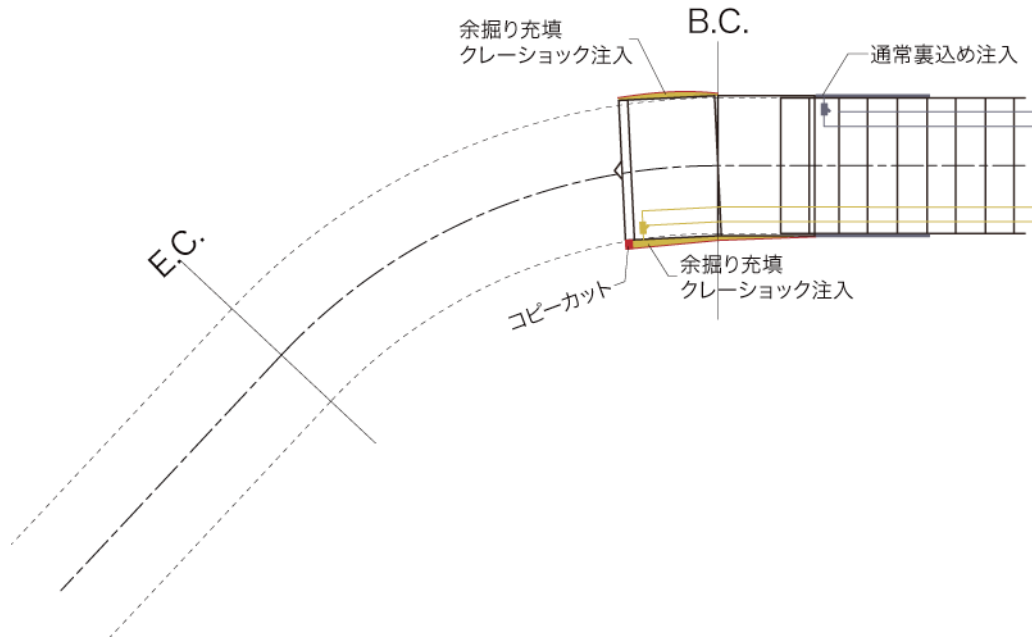
②B.C.地点シールド機先端通過時

- コピーカッターのストロークを暫時伸ばしていき、所定のコピーカット量にする。
- クレーショックを引き続き注入する。



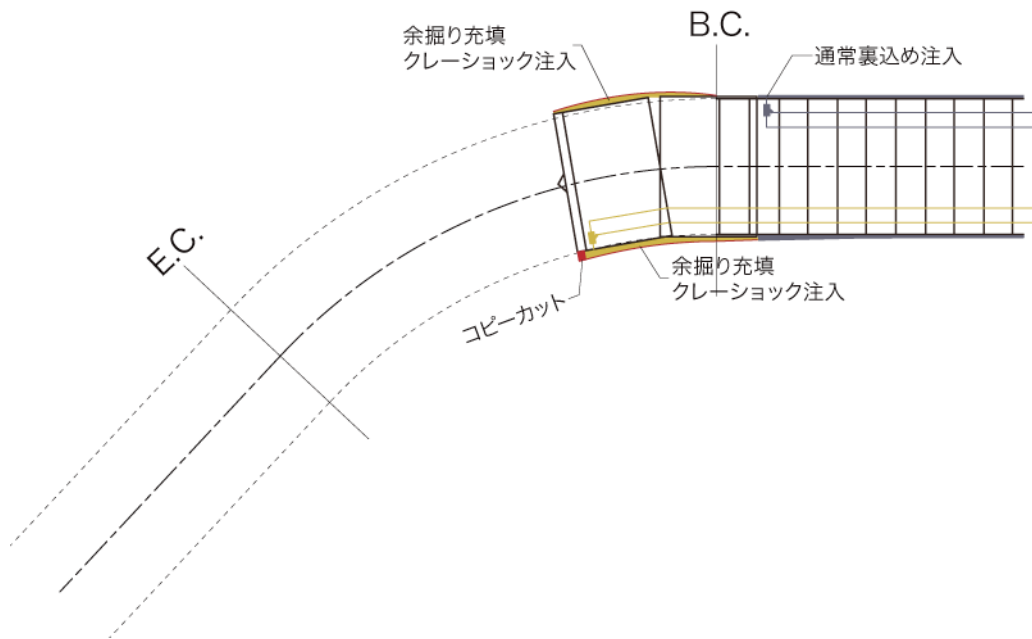
③B.C.地点シールド機通過時

- コピーカッターのストロークを暫時伸ばしていき、所定のコピーカット量にする。
- シールド機の中折れジャッキを作動させ、シールド機に中折れ角をつけていく。
- クレーショックを引き続き注入する。曲線内側に注入しているクレーショックは、中折れによって生じた曲線外側の余掘りにも回り込み、余掘りを保持させる。



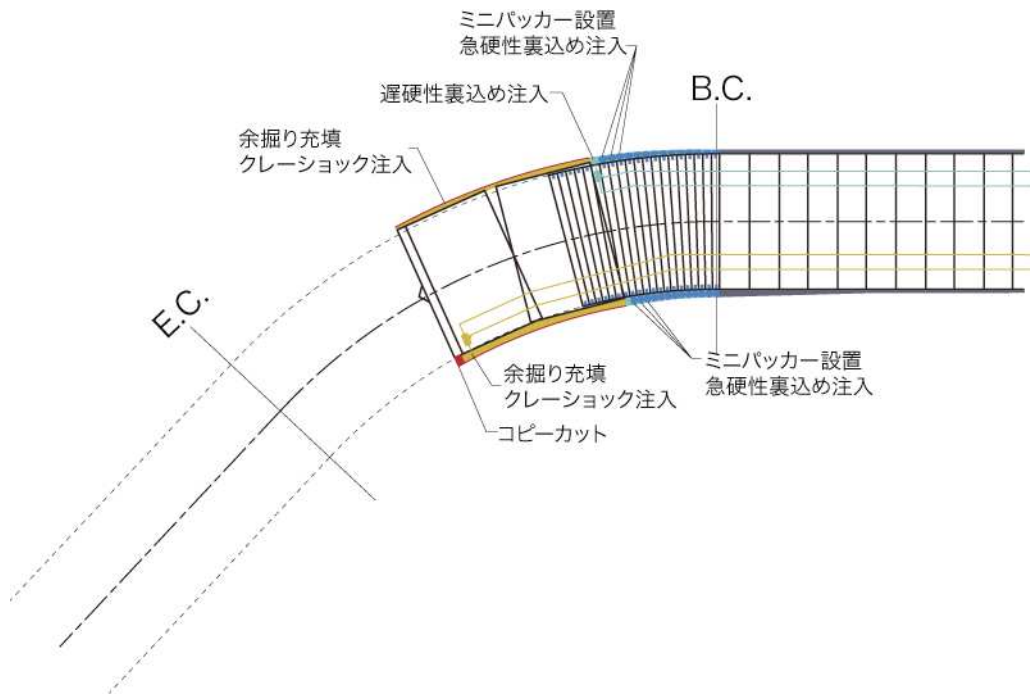
④B.C.地点シールド機通過時

- シールド機の中折れジャッキを作動させ、所定の中折れ角にする。
- クレーショックを引き続き注入し、曲線内側および外側の余掘りを保持させる



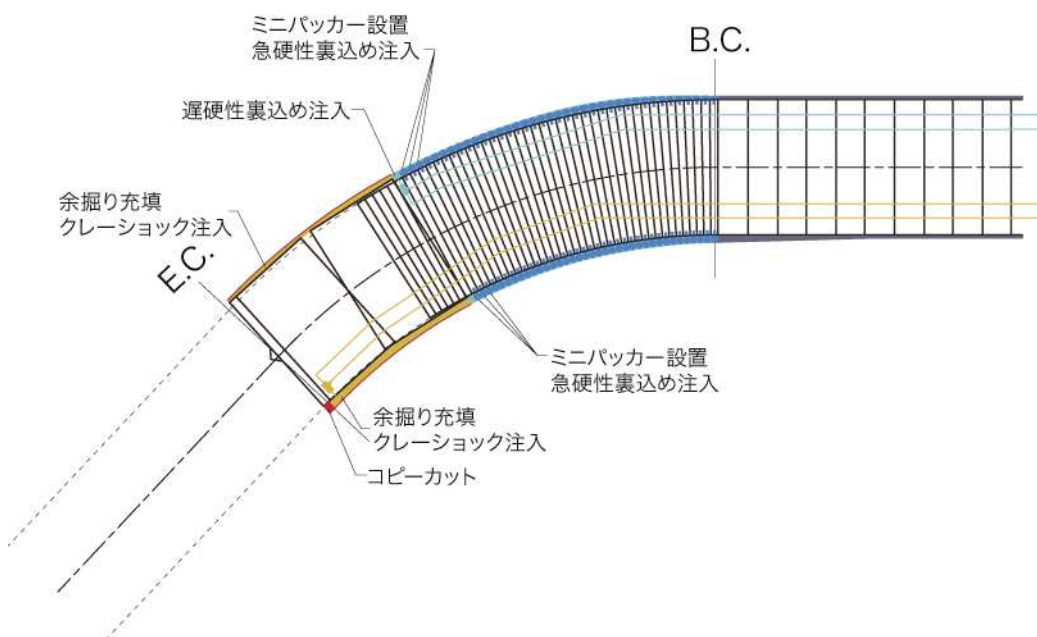
⑤曲線区間シールド機通過時

- クレーショックを引き続き注入し、曲線内側および外側の余掘りを保持させる
- シールド機掘進中は、遅硬性裏込め注入を行う。
- 余掘り部のクレーショックは、裏込め注入によってシールド機側に押し出され、裏込め材と置き換わる。
- ミニパッカーをセグメントグラウトホールに取付け、シールド掘進完了後ミニパッカーに裏込め注入を行い、ミニパッカーを拡張させる。



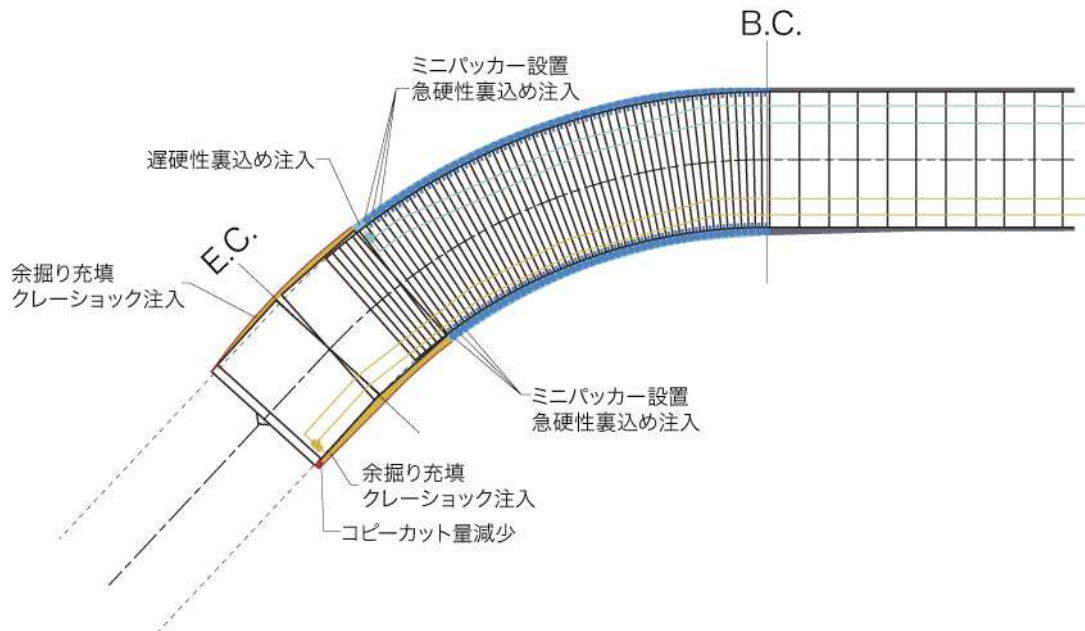
⑥曲線区間シールド機通過時

- ⑤と同様の手順を続ける。施工要領については後述する5-2参照。



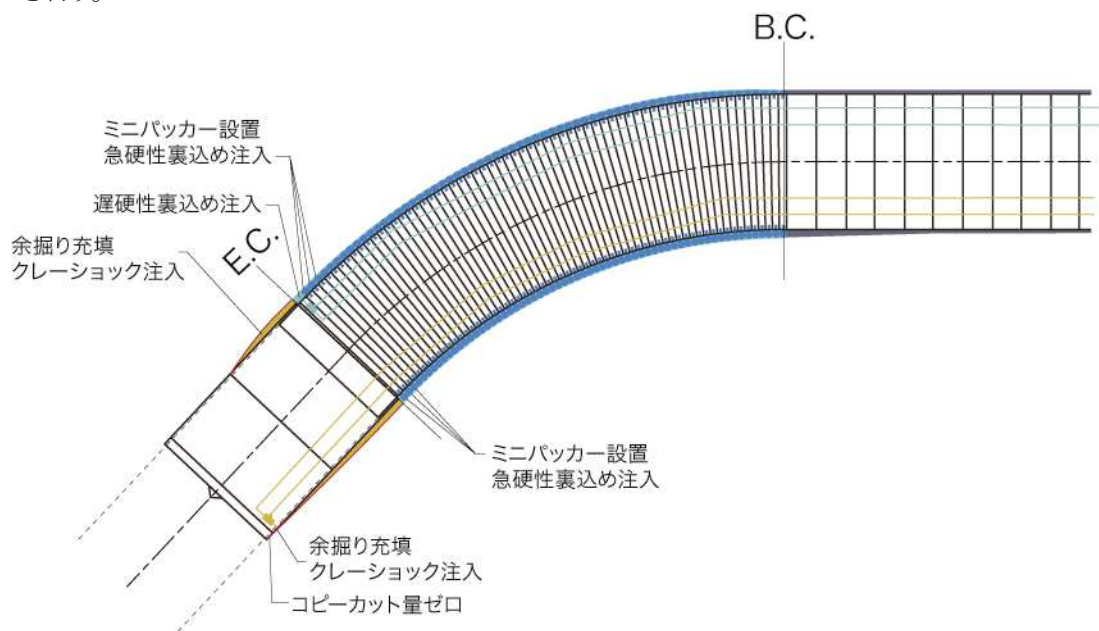
⑦E.C.地点シールド機通過時

- シールド機の中折れ角とコピーカット量を減少させる。
- クレーショックを引き続き注入し、曲線内側および外側の余掘りを保持させる
- シールド機後胴部は曲線区間内にあるため、遅硬性裏込めとミニパッカーの注入は引き続き行う。



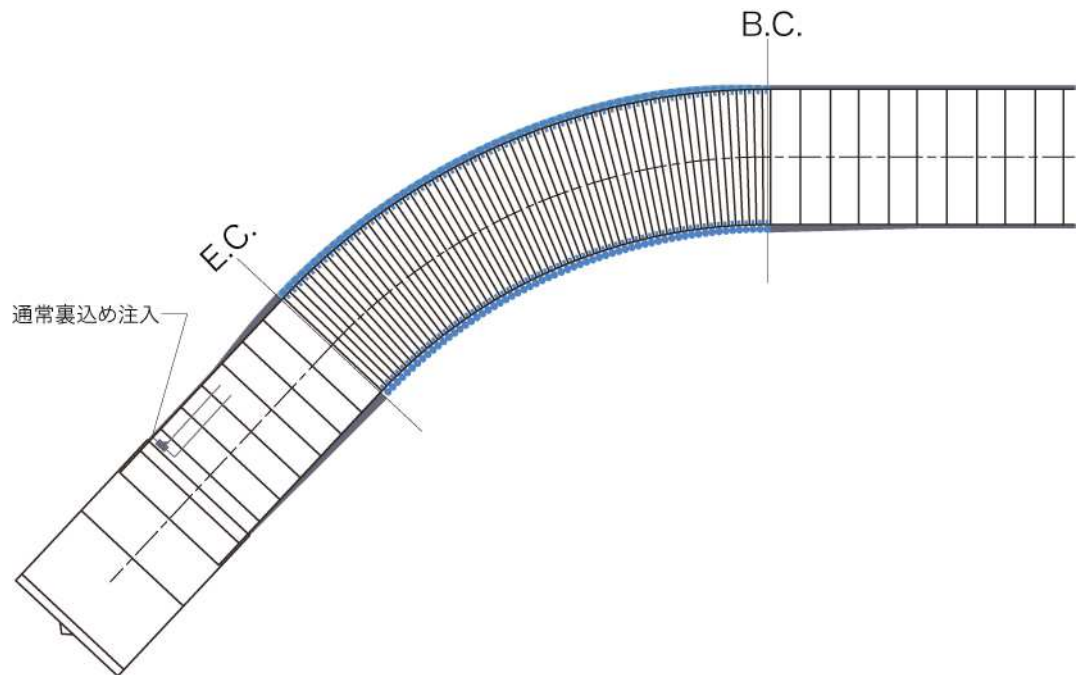
⑧E.C.地点シールド機通過後

- シールド機の中折れ角とコピーカット量をゼロにし、直線施工状態に戻す。
- クレーショックを引き続き注入し、シールド機の姿勢変更に伴い発生した余掘りを保持させる。
- シールド機テール部は曲線区間内にあるため、遅硬性裏込めとミニパッカーの注入は引き続き行う。



⑨E.C.地点シールド機通過

- シールド機は直線施工状態で掘進を行う。
- シールド機周囲に余掘りが存在しない状態であるため、遅硬性裏込め注入を止め、通常の裏込め注入を行う。



8. 代 価 表

本積算資料は、泥土圧式および泥水式シールド工事における急曲線の補助工法として、『クレーショック・ミニパッカー工法』を採用するものに適用し、日本下水道協会規格(JSWAS A-3, 4)に基づくセグメントを用いた仕上がり内径φ1,350～5,000mmのシールド工事を適用範囲とする。

A 代 価

A- 1 急曲線補助工法(クレーショックミニパッカー工法)						
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
材 料 費		式	1			B-1
設 備 費		式	1			B-2
施 工 費		式	1			B-3
設計・技術 指導費		式	1		500,000	当社実績より
合 計						

B 代 価

B- 1 材 料 費						1式当り
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
クレーショック		m ³				C-1
ミニパッカー		式	1			C-2
諸 雑 費		式	1			端数調整
合 計						

B-2 設備費						1式当り
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
機械器具損料		供用日	※1			
切羽配管配線材	ミキシングノズル他	式	1		950,000	当社実績より
坑内台車		台	1		800,000	
設備運搬費	4t車往復	回	※2			地域別に算出
諸 雑 費		式	1			端数調整
合 計						

※ 1: 供用日数=曲線長÷日進量

ここに、日進量(m/日)は国土交通省都市・地域整備局「下水道工事積算基準」に定める日進量とする。

※ 2: 急曲線施工回数とする。

B-3 施工費						1式当り
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
クレーショック 注入工		m ³				C-3
ミニパカー取付 け注入工		本				C-4
注入設備設置 撤去工	坑内設備	式	※1			C-5
諸 雑 費		式	1			端数調整
合 計						

※1 : 急曲線施工回数とする。

C 代 価

C- 1 クレーショック						1m ³ 当り
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
TAC-β	25kg/袋	t	0.495			地域別に算出
TAC-3G	タンク	L	48			
合 計						

C- 2 ミニパッカー						1式当り
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
ミニパッカー	MPTM-C タイプ L=123mm	本				※1
ミニパッカー	MPPF-SS タイプ L=80mm	本				※1
ミニパッカー	MPPF-S タイプ L=100mm	本				※1
合 計						

C- 3 クレーショック注入工						1m ³ 当り
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
トンネル世話役		人	0.25			昼夜間平均単価
トンネル特殊工		人	0.25			昼夜間平均単価
トンネル作業員		人	0.50			昼夜間平均単価
諸雑費		式	1			労務単価合計 の5%を計上
合 計						

※ 1:国土交通省の公共工事設計労務単価を使用する。

※ 2:夜間単価は、国土交通省都市・地域整備局「下水道工事積算基準」に定める計算式を使用する。

$$\text{夜間単価} = P + 0.1875 \times P \times r$$

ここに、P : 基準額

r : 割増対象賃金比

C- 4 ミニパッカー取付け注入工						1本当り
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
トンネル特殊工		人	0.075			昼夜間平均単価
諸雑費		式	1			労務単価合計 の5%を計上
合 計						

C- 5 注入設備設置撤去工《坑内プラント設備》						1式当り
種 目	仕 様	単 位	数 量	単 価	金 額	備 考
トンネル世話役	設置時	人	2			
トンネル特殊工	設置時	人	2			
トンネル作業員	設置時	人	3			
トンネル世話役	撤去時	人	1			
トンネル特殊工	撤去時	人	1			
トンネル作業員	撤去時	人	2			
諸雑費		式	1			労務単価合計 の5%を計上
合 計						

参考資料 機械器具基礎価格表

名 称	規 格			基礎 価格 (千円)	台数 (台)
	形 式	定格出力	機械 重量 (t)		
グラウトポンプA液	TBC-32N(25L/min 1.5Mpa)	2.2KW	0.2	2,450	1
A液用 注入ポンプ起動盤	TBC-32N 用インバータ制御	1.0KW	0.01	1,100	1
グラウトポンプB液	TBV-19N(5L/min 1.3Mpa)	0.4KW	0.03	850	1
B液用 注入ポンプ起動盤	TBV-19N 用インバータ制御	1.0KW	0.01	750	1
A液アジテータ	0.3m ³	2.2KW	0.2	980	1
B液用 タンク	0.2m ³		0.1	500	1
注入遠隔操作装置	TAC-II-CS	0.5KW	0.01	1,150	1
流量圧力発信器		0.5KW	0.01	900	2
切羽配管・配線材			現場当り	950	
坑内台車			現場当り	800	

※ この設備は標準的な坑内設備の基礎価格である。

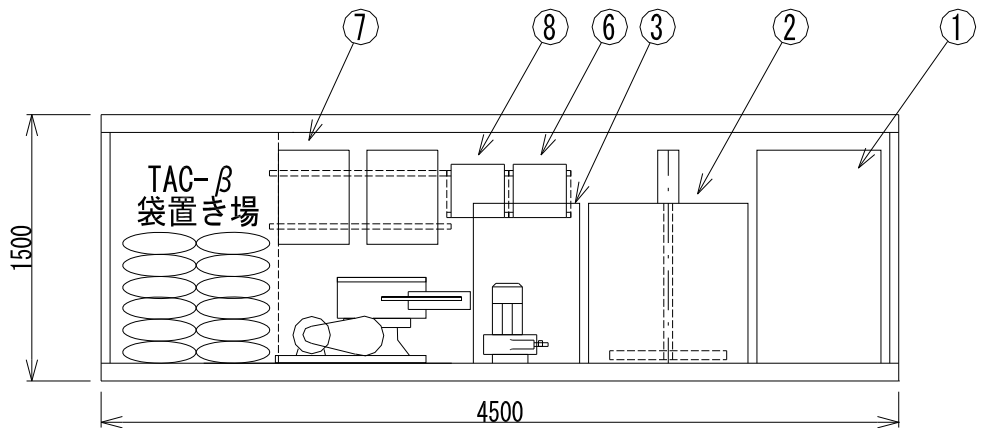
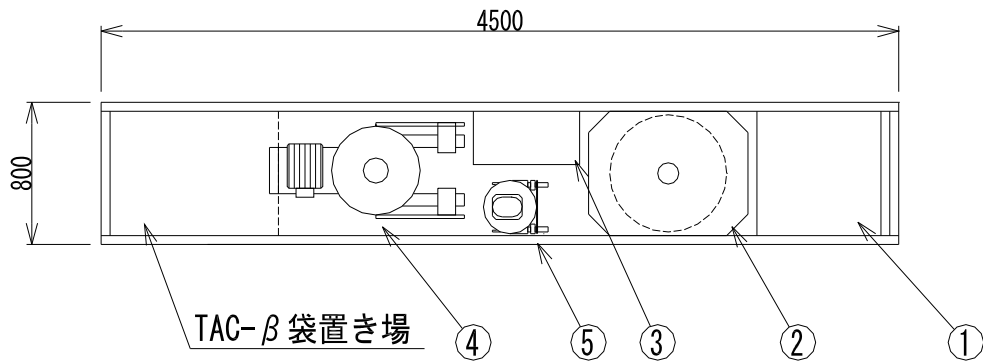
※ 設備計画は工事毎に必要である。

クレーショック(坑内)注入設備 機械器具損料及び消耗品算定表

名称	規 格		重 量		基 礎 価 格			耐用年数(年)	年間使用標準日数(日)	維持修理費率率(%)	年間管理比率率(%)	残存率率(%)	供用1日当り		備 考
	形式	定格出力(kw)	機械重量(t)	単価(千円)	台数	金額(千円)	損料率(×10%)						損料(円)		
クレーショックA液 注入ポンプ	TBC-32N(25L/min 1.5Mpa)	2.20	0.20	2,450	1	2,450	7.0	150	160	7.0	7	2,876	7,050	H23建設機械等損料表P06-21,0651,011-010-001	
クレーショックA液 注入ポンプ駆動盤		1.00	0.01	1,100	1	1,100	10.5	180	60	9.0	9	1,299	1,430	H20建設機械等損料表P05-51,0530,018-024-001	
クレーショックB液 注入ポンプ	TBV-19N(5L/min 1.2Mpa)	0.40	0.03	850	1	850	7.0	150	160	7.0	7	2,876	2,440	H23建設機械等損料表P06-21,0651,011-010-001	
クレーショックB液 注入ポンプ駆動盤		1.00	0.01	750	1	750	10.5	180	60	9.0	9	1,299	970	H20建設機械等損料表P05-51,0530,018-024-001	
クレーショックA液用 アンダータ	0.3m ³	2.20	0.20	980	1	980	8.5	150	65	7.0	7	1,706	1,670	H23建設機械等損料表P06-21,0651,022-003-001	
クレーショックB液用タンク	0.2m ³	0.00	0.10	500	1	500	8.5	150	65	7.0	7	1,706	850	H20建設機械等損料表P06-25,0651,023-006-001	
注入遠隔操作装置	TAC-II-CS	0.50	0.01	1,150	1	1,150	10.5	180	60	9.0	9	1,299	1,690	H20建設機械等損料表P05-51,0530,018-024-001	
高圧圧力変信器		0.50	0.01	900	2	1,800	10.5	120	60	7.0	9	1,782	3,210	H20建設機械等損料表P05-51,0531,012-001-001	
坑内台車				800	1									1現場備却	
切羽配管・配線材				930	1									1現場備却	
計		7.80	0.57	9,380,000円		9,380,000円							19,110円		

機械器具損料(坑内設備) 供用 30日当り	供用 30日 × 19,110円 =	573,300 円
坑内台車	1台 × 800,000円 =	800,000 円
切羽配管・配線材	1式 × 950,000円 =	950,000 円
合 計		2,323,300 円

H23.4月改訂



番号	名称	仕様
	貯水槽	700×700×1200H:0.5m ³
②	A液用アジテータ	700×900×900H:0.3m ³
③	B液用タンク	300×600×900H:0.2m ³
④	A液用グラウトポンプ	TBC-32N(25L/min 1.5Mpa)
⑤	B液用グラウトポンプ	TBV-19N(5L/min 1.3Mpa)
⑥	A液混練盤	330×320×220
⑦	A液用注入ポンプ起動盤	530×500×220
⑧	B液用注入ポンプ起動盤	430×400×220