

オープンピット工法

開削型自走式シールドによる画期的な函渠埋設工法

オープンピット工法協会

上田 MAIL t-ueda@tomec.jp

問合せ事業所	株式会社トームック内	電話
〒105-0012	東京都港区芝大門1-6-3 (工法協会事務局)	03-5408-1870
〒306-0314	茨城県猿島郡五霞町川妻字川岸前1362	0280-84-3860
〒575-0041	大阪府四条畷市蔀屋新町4-1	072-803-5815
〒812-0863	福岡県福岡市博多区金の隈3-1-26	092-513-0031

[工法の概要と用途]

この工法は自走機能を持つメッセルシールド機の開削型を用いて、掘削・基礎・管の布設（またはコンクリートの直打設）・埋戻を連続して行う施工法である。下水道の管渠埋設・雨水排水渠の築造・河川改修工事などに使用されている。

[シールド機の仕様]

一般に幅1.0m～10.0m程度まで、高さ1.7m～8.0mまでとなっている。
本機は、シールド機周面に装着されたメッセル1枚毎に1本のジャッキを装着し、ジャッキの前部はメッセルに、後部はフレームに取り付けられている。
メッセルの内側にはフロントフレームとテールフレームがあり、中間ジャッキで連結されている。
ジャッキのストロークは500～600mmである（急曲線用特殊ジャッキは別途）。

[自走の原理]

シールド機の自走は、個々のメッセルジャッキの伸びでメッセルを切羽に貫入し、全メッセルジャッキの縮み操作でメッセル内部のフレームが前進する。
従って次の条件が必要となる。

- ① $F1 \geq F2$

F1：地山とメッセルの摩擦抵抗
F2：メッセルとフレームの摩擦抵抗
- ② 全ジャッキの縮み速度が同調すること。



メッセルジャッキ伸ばし状況



ボトムメッセル伸ばし状況



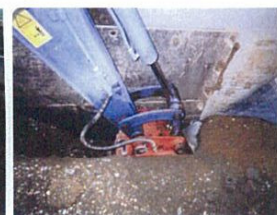
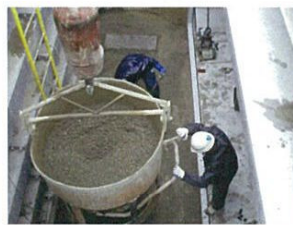
全てのジャッキを縮めると本体がメッセル上を前進します。

【工法の特徴】

- (1) 無振動・無騒音の土留工となる
- (2) 施工が速く、工期を大幅に短縮できる。
- (3) 開口部が小さく工事占有面積が小さい。
- (4) 掘削に伴って開口部が移動するため、沿線住民への影響は短期間となります。また開口部の対策で覆工板搭載も可能です。
- (5) シルトから砂礫地盤まで幅広い地山に適應する。
- (6) 掘削と埋め戻しが並行作業となり、地山の緩みが少ない。鋼杭のように根入れがないため、地山を傷めない。
- (7) 一定の施工延長（約150m～200m）を超えるにつれ、従来工法に比較し経済性に優れる。
- (8) 管渠に反力をとらないため、ヒューム管・FRPM管などあらゆる管材に適應できる。
- (9) 強固なフレーム構造で保護され作業員の安全を確保。
- (10) 曲線施工・落差工・人孔併設も可能。ボックスカルバートと塩ビ管の同時布設も可能。
- (11) 掘削地盤にはよるが、シールド機の操作は容易。
- (12) 使用上の制約がなく、特許使用料も不要。

【施工手順】

- (1) シールド機周面に装着されたメッセルを地山に貫入しながら、バックホウで切羽を掘削する。
- (2) 全メッセルを貫入後、全てのメッセルを縮めると、メッセルと地山の摩擦を利用して、シールド機内部のフロントフレームが前進する。
- (3) 次にシールド機中間部にある中間ジャッキを縮めるとテールフレームが前進し1サイクルが完了する。
- (4) 管長分掘進したところで、シールド機テール部にて基礎工を行う。
※コンクリート直打設では、テールフレームがなくテールメッセルが土圧を支え、かつ外型枠となる。内型枠をセットしコンクリートを打設する。
- (5) 管長分掘進したところで、シールド機テール部にてフォークリフト・ラフタークレーンを使用して管渠布設工を行う。
- (6) (1)～(5)の作業が完了するとボックスカルバート側面に山砂を投入し、水締めを行う。並行してボックスカルバート上部に改良土等でGL盤まで埋戻しを行う。



[2] 簡易な発進立坑と到達立坑

(1) 立坑の付帯工

一般にシールドの発進に際しては、推進反力体（支圧壁）やシールドの受台などを必要とし、相応の付帯工を伴う。

函渠反力式シールドでは、①支圧壁工②シールド受台工③仮発進工④坑口止水工⑤鏡切工⑥裏込注入工を必要とし、これらの諸費用が大きな負担となっている。

しかしながら、本工法で使用するシールドは自走機能を持つメッセルシールド機であり、平坦なグラウンド上・コンクリート上でも容易に自走することができる。このため、立坑では上述①～⑥項の全てが不要であり、この経済上のメリットは大きなものとなっている。

ただし、発進立坑のベースは、シールド機組立て時のレベル保持のため、捨てコン（5～10cm厚）仕上げとするのが望ましい。

(2) 立坑寸法

マシン組立は、全てボルトアップ構造でマシン内の作業となる。このため立坑開口部の内寸法は、吊り振れシロ10cmを両側に考慮し、マシン幅+20cmとする。発進立坑の長さは最短で、一般にシールド機長の約6割程度としているが、現場ヤードの広さなどを確認し、状況に応じて考慮する必要がある。

まずシールド機のフロント部を組み、フロント部仮発進を行い、テール部を投入するスペースが出来れば投入後シールド機全体を組立て、その後本掘進を行う。

到達立坑の幅は基本的に、発進立坑と同寸法とします。長さにおいては、一般にシールド機長分を必要とするが発進立坑と同様で現場の状況に応じて考慮する必要がある。

しかしながら近年、狭隘な現場環境が多く立坑を小さく出来ないかとの要望が多くなっている。

この場合、別途で到達立坑の補強が必要になるが、フロント部の回収を立坑内で行った後、テール部をシールド機内の中間ジャッキを利用して到達立坑内に導いている。

(3) 切梁・支保工

掘削深2.5m以下では、自立杭とすることが多く、掘削深2.5m以上では、腹起・切梁支保を掛けることが多い。

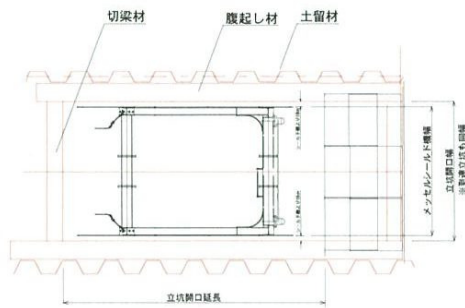
シールド機の高さは、上部土留板が容易に脱着できるので機高を低くすることができる。シールド機機高は、2200mmから610mm間隔で取外せるようになっている。また、シールド機操作盤が切梁に接触する場合には、盛り替えや遠隔操作が可能である。

立坑寸法について、参考図面を後頁に添付する。

参考シールド機図面と立坑図

発進（到達）立坑標準図

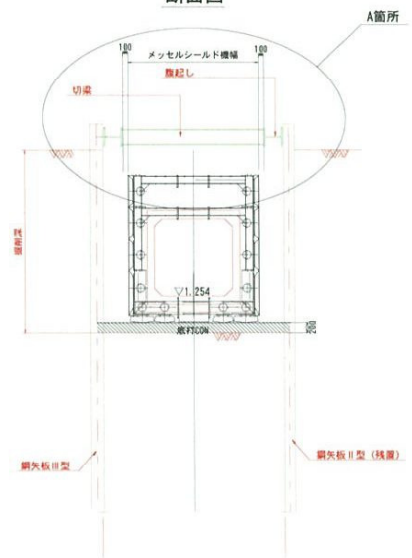
平面図



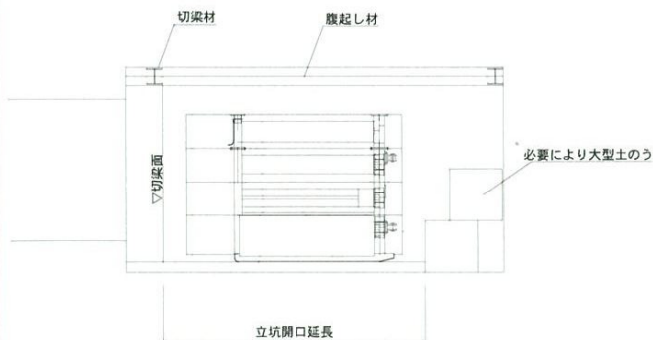
現場条件及び使用するメッセルシールド機のテルフレーム長さにより立坑開口延長を決定する
到達立坑はシールド機全長分必要

土留材：条件と土圧計算により鋼矢板・軽量鋼矢板・H鋼横矢板・簡易土留を選択
腹起し、切梁材：条件と土圧計算によりH鋼・軽量支保・自立式を選択

断面図

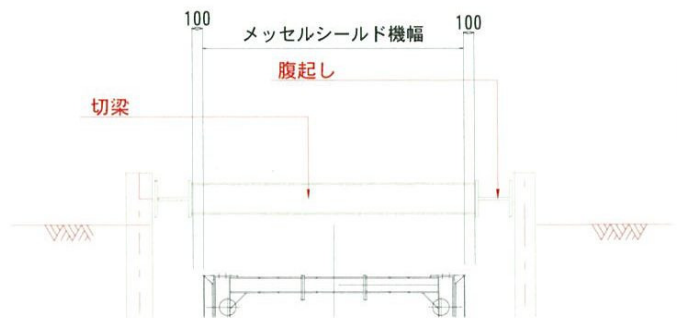


側面図



現場条件及び使用するシールド機のテルフレーム長さにより立坑開口延長を決定する
到達立坑はシールド機全長分必要

A箇所拡大



[3] 掘削断面と設計理念

掘削幅の決定は、図-1に示すシールド機内側とボックスカルバート外側とのクリアランスをいくつに設定するかで変わってくる。

このクリアランスは、

①布設精度 ②曲線施工 ③作業性を念頭に置き、慎重に取り決める必要がある。

クリアランスを小さくすれば、掘削幅は狭くなり相応の利点を得られる。

一方で次に示す致命的な問題を抱えていることも忘れてはならない。

1. 問題点

- (1) シールドがローリングを起こしたとき、ボックスカルバートを吊降し出来なくなる。
- (2) シールドが蛇行したとき、ボックスカルバートの据付はシールドに準じて入れることになり、設計路線に設置出来なくなる。
したがってシールドの軌跡にならってボックスカルバートも蛇行することになる。
- (3) 曲線施工時、マシンの内側とボックスカルバートの接触を防ぐため所定のクリアランスを必要とする。

以上3点は、いずれを取っても函渠の布設精度や作業性に大きく影響を及ぼすことになる。

一般のシールド掘進において密閉式は勿論のこと、開放式シールドにてもマシン内から、きめ細かい掘進と方向制御がなされ掘進精度も高くなっている。

しかしながら開削型シールドではバックホウで掘削することが多い。掘削機のオペレータは、シールド切羽の下部が視野に入らず通常シールドに比べ粗い掘削となることは否定できない。この掘削がシールド方向制御に大きく影響することになる。またマシンはそれぞれに特有の癖があり、オペレータの技量や習熟度によっても違ってくる。さらに地盤の変化にも影響を受けることになる。

上記を踏まえ各掘削断面のクリアランスを設定する。小断面（掘削深2.5m以下）で200mm・中断面（掘削深5m以下）で250mm・大断面（掘削深5m超）で300mm内外のクリアランスを設け、蛇行またはローリングが万一発生しても布設精度を侵さないことを配慮して設計に反映させている。

したがって掘削幅の標準は、小断面・中断面で函渠外寸法+800~1000mm、大断面で函渠外寸法+1000~1200mmとする。詳細断面の決定は、曲線施工の有無により検討する。

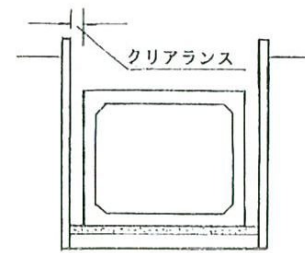


図-1

[4] 函渠への反力を取ることの弊害

シールド機のコスト低減を図るため、従来のシールドがセグメントに反力を取ることに着目して、昭和50年頃、我々が開発し商品化したものに簡易オープンシールドがある。函渠に反力を取ることに多くの矛盾と弊害が生じ、最近ではこのタイプの営業をしていない。

しかしながら、従来のシールドとの類似性から一般に理解されやすく、今なお問い合わせも多く、類似工法もいくつか発表されてきた。

我々の工法他に、トレンチ工法・NEW Z工法・(新)オープンシールド工法をあげることができる。これらのシールド機は、本体をスキンプレートで構成し、函体に反力を取りシールド機全体を同時に推進する。このため、大きな反力を必要とし、方向制御難や函渠や地山への悪影響があり、我々の経験では満足できる結果が得られていない。これらの問題点・留意点は、次に示すと通りである。

(1) 方向制御が困難

シールドは、直線施工であっても方向修正の連続で掘進されている。しかしながら、シールドは地中にあり、方向制御に対する感度は鈍く、地山条件や機械の癖にも左右されて理論通りにはいかない。

図-2に示すようにシールドを左へシフトする場合、右ジャッキ操作をするが、函渠への反力は右側へかかり、函渠は右を向こうとする。蛇行の原因となり、ジョイント部の均一な縦締めも期待できない。

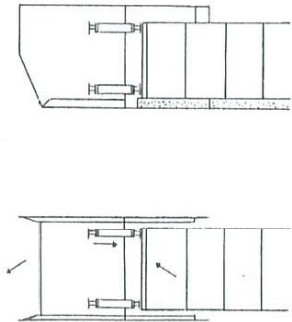


図-2

(2) ローリング・ピッチング修正が困難

シールドと函渠は、ジャッキ側と面接触だけで拘束されていない。したがってシールドの自由度が大きく、ローリング・ピッチングに対して、強制的な制御ができない。ローリングが大きくなると函渠が埋設できなくなるので留意を要する。シールド機底部が覆われているシールド機（基礎を構築しないタイプ）では、ローリング現象が多く発生する。

(3) ノーズダウン現象

シールド外周の摩擦抵抗は、土圧と自重に比例するためシールドの横断面からみて、図-3に示すように下部ほど大きくなる。このためシールド推進時には、下部に大きな抵抗が生じシールドはたえず下を向こうとする。さらに自重が加わるため、軟弱地盤やバックホウで深掘した場合、ノーズダウンは避けられない。

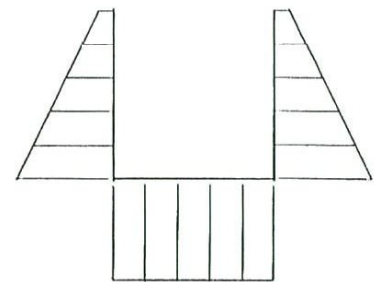


図-3

ベース先端をソリ状にしたり、ブレーキ板を用いたりしているが、地山によって効果に差があり制御はまず困難である。余堀してクレーンで吊り上げる事例もある。函渠据付に当たって、基礎工でレベルを調整しているが、基礎工のできない工法では、布設函渠の計画レベルを確保できないことが多い。

(4) 函渠への影響

大きな推進力を必要とするため、現場では先堀することが多い。先堀せず推進反力全てを函渠に取って、ジョイント部の破損やヘアクラックを生じた例も多い。最近ではコンクリート強度を上げて対応しているが、プレキャストの養生不足や砂礫地盤では、留意を要する。

[5]十分な基礎工と布設精度

開削型シールドは、一般のシールドと違って土被りが少ない。このため布設する函渠には上載荷重（主に路面荷重）がもろにかかることになる。したがって函渠に対しては、十分な基礎工が必要になってくる。また基礎工で上下誤差を修正し、正確なレベルのもとに布設することができる。

基礎工ができない他開削型シールド工法では、①シールド機がローリングを起こした場合②シールド機がピッチングを起こした場合③バックホウで根切り面を緩めた場合④軟弱地盤でベースを改良または基礎工をしたい場合にどのように函渠を布設すべきか妙案が浮かばず、我々は昭和56年当時マシンを図面化したものの、市場にだすのを手控えた経緯がある。

本工法の目的は、設計に準じて正確に函渠を布設すると同時に、質のある耐久性のある構造物を築造することにあり、我々はこの目的達成を最優先させている。

一般的な基礎工は、図-4に示すように
 砕石200mm、転圧コンクリート100mmが多い。
 ※基礎の厚みはプレキャストボックスカルバート
 設計・施工マニュアルを参考し決定する

なお、転圧コンクリートのW/Cは30～35%を
 目処とする。

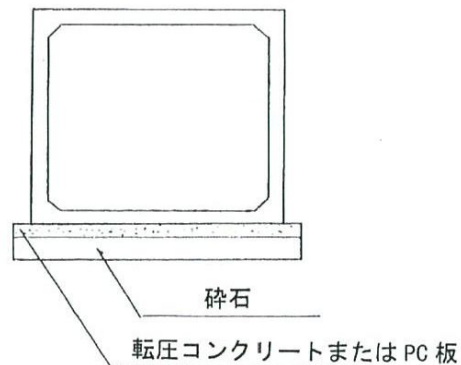


図-4

近年、耐震性の向上したボックスカルバートが主流となり、ボックスカルバートの縦締めは殆どなくなった。基礎工についても柔軟に対応しているように見受けられ、基礎コンクリートをPC板にし、それ以外の部分を砕石基礎としている例も多くなっている。

しかしながら、上載荷重を均等に地盤に伝達することは、土被りの少ない永久構造物に対して重要と考え、本工法では基礎工は必要と判断する。

[6]方向制御と曲線施工

8

本メッセルシールド機は、地山とメッセルの摩擦抵抗を反力として自走する機能を持っている。したがって、左右または上下の摩擦抵抗に差をつければ、シールドは摩擦抵抗の大きい方向へシフトすることになる。

この簡単な原理が、なかなか理解されにくいので、ここに具体的な操作方法を持って詳述する。

〈方向制御〉

次の操作を単独または複合して方向制御または曲線施工を行う。

(1) 左右のメッセルの貫入枚数に差をつければ、多い方の摩擦抵抗が大きくなり、その方向へシフトする(図-5)

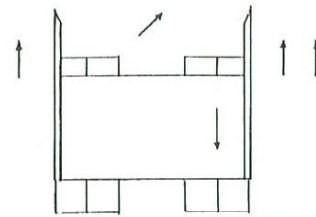


図-5

(2) フレーム前進時、片側のメッセルを1枚~2枚固定する。固定されたメッセルは引きずられ摩擦抵抗が増して、その方向へシフトする(図-6)

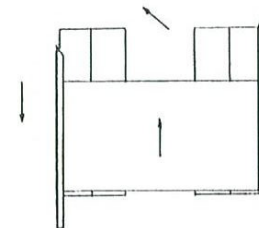


図-6

(3) 左右メッセルの片側を前進、他方を後進すれば機軸を中心として、メッセルの前進方向へシフトする(図-7)

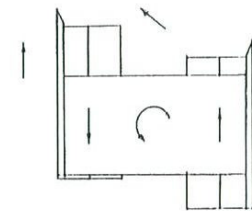


図-7

(4) 上下の方向制御は、下部メッセルで推進し、上部メッセル1枚~2枚固定する。固定されたメッセルは摩擦抵抗が増してシールド機先端は容易に上を向く

(図-8)

(5) フロントフレームとテールフレームの間に装着した中間ジャッキにより、本体は中折れする機能を持っている。余掘りされていれば強制的に曲がり操作ができるが、マシンにとって好ましくない。前述(1)~(4)の操作でシフトしたフロントが元に戻らないように中間ジャッキで支持するのが望ましい使用方法である。

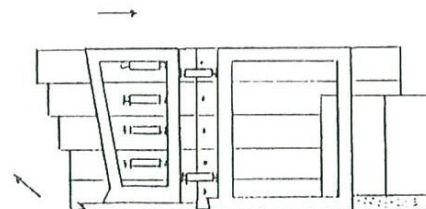


図-8

〈ノーズダウン対策〉

上向きの修正は、バックホウの掘削深で容易に対応できる。一般にノーズダウンに留意を要する。

- (1) 中間ジャッキ操作でフロント部は上を向く。
- (2) 底部掘削をやめ、ボトムメッセルを貫入すれば、先端がソリ状になっており上を向く。
- (3) 前項(4)の操作で掘進する。上部メッセルが抵抗して上を向く。
- (4) その他、超軟弱地盤での自沈対策としてボトム部の機幅を100mm程度狭くすることがある。これは方向制御にも有効に作用する。本シールドの地山に対する面圧は、 $0.50.7 \text{ kg/cm}^2$ にありほぼ人の足に相当する。これで不足する場合には、ボトムメッセルの枚数を増やし、さらに面圧を下げることができる。

したがって、N値零の軟弱地盤での施工実績は多く、人の足が沈まなければ実施可能と考えて差し支えない。

〈曲線施工の実情〉

これまでの実施例からみると掘削断面によって多少異なるが、一般に $R=80\text{m}$ まで施可能は通常掘進で支障ない。したがって $R=80\text{m}$ より小さい R になってくると所定の余掘り量が必要となってくる。余掘りをすれば地山を緩めることになり、補助工法の検討が望ましい。しかしながら、地山の緩みが許容される処では、この必要はない。

本工法では、余掘りの確保と地山の緩み防止のため、掘削線の外側に鋼矢板打設や地盤改良を行い $R=20\text{m}$ までの実績がある。

曲線掘進に対する日進量の補正值（案） R の単位：m

R80以上	80~50	50~30	30~20
1	0.9	0.8	0.7