

10.「エアロ・ブロック工法」の開発

エアバッグで地山を押さえてトンネル掘削

清水建設(株)土木技術本部 ○金丸 清人
清水建設(株)土木東京支店 原 忠

1. はじめに

都市部のトンネル築造は、円形の密閉型シールド機による施工が主流だが、シールド機は高価である。特にトンネル形状が矩形断面の場合、四隅まで掘削するために、カッタ機構が複雑となりコスト高となる。

今回開発した「エアロ・ブロック工法」は、自立地盤に矩形断面のトンネルを築造する場合のシールド機経済性を追求し、コストの安い開放型ではあるが開放型の弱点である切羽の安定性を、掘削時の開放面積を小さくし、新機構にて地山保持することで解決した。この工法は地山の安定効果が高い密閉型と低コストである開放型の間位置し、両者の長所を保有する新しい工法と言える。

平成19年に松本市の主要医療機関である相澤病院増改築工事で、地下通路施工にこの工法が採用され、掘進の結果とその効果が確認されたので報告する。

2. 開発技術の概要

一般的なシールド機はカッタを装備し高価である。カッタ機構を使用しない開放型のシールド機は、コストは安いが切羽の地山変位量が大きく、密閉型と比べ切羽の安定性に劣ることにより、地表面沈下量も密閉型に比べ2～3倍程度大きく現在はほとんど使用されていない。「エアロ・ブロック工法」のシールド機は開放型であるが、以下の2点により地山の安定を図り、掘進時の地表面沈下を抑制している。(図-1 参照)なお、適用地盤は自立性地盤を想定しているが、地下水以下でも補助工法(地盤改良等)を併用すれば施工可能である。

- 掘削部分を機械的に複数の小断面に分割し、掘削のため開放する小断面以外の切羽をエアバッグで常時保持して掘削に必要な開放面積を小さくする
- シールド機に装備したムーバブルフードで掘削部分の先行先受けを行う

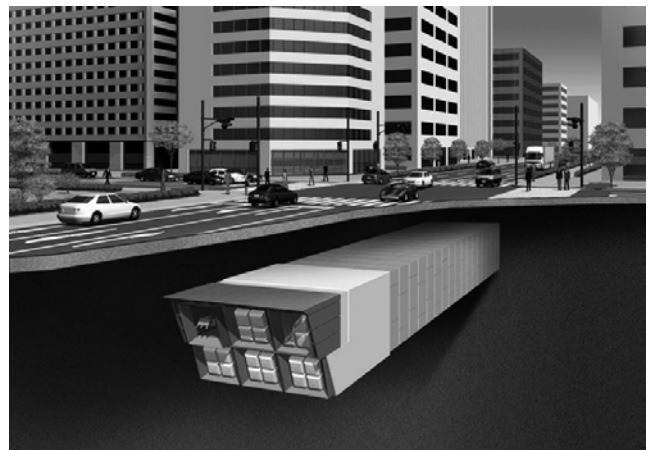


図-1 エアロ・ブロック工法のイメージ図

2.1 シールド機の構造

シールド機の切羽部分は機械的に複数の小断面に分割し、各小断面には角形筒状の箱形装置を挿入する。箱形装置はジャッキで前後に摺動可能な構造となっており、切羽側には「扉」と扉の地山側には「エアバッグ」を装備している。

掘進機の上部および側部上半には箱形装置と同様に前後に摺動可能な「ムーバブルフード」を備え掘削時の先行先受けを行う。

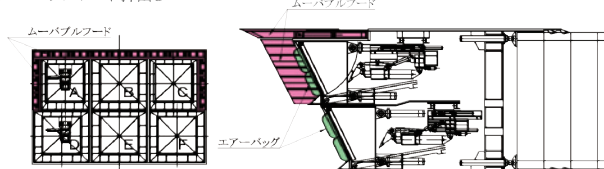
2.2 掘削の手順

図-2に掘削の手順を示す。掘削は、複数の箱形装置の内、1カ所の扉を開けて行う。掘削以外の箱形装置では、扉を閉めた状態でエアバッグを膨張させ、地盤に土水圧に対抗する圧力をかけて切羽の変状を抑えている。掘削時は最初にムーバブルフードを押し出して先行先受けを行い、シールド機に備えたショベルで地盤を切削しながら箱形装置を押し出す。必要な押出長はセグメントの1リングが組立可能な長さ(1m前後)である。掘削終了後、扉を閉め、エアバッグを膨張し切羽を抑える。

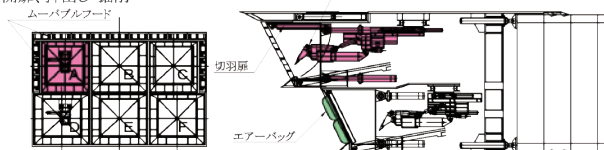
掘削終了後、未掘削部分の箱形装置の内、1ヶ所の扉を開け同様の掘削作業を行う。順に掘削・

箱形装置押し出しを繰り返し、箱形装置全部の掘削が終了後、シールドジャッキを伸張しシールド機胴体を前進させる。シールドジャッキ伸張後通常のシールド工法と同様にシールド機テール内でセグメントを組立て1リング分の掘進サイクルが終了する。

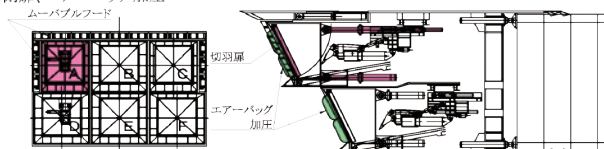
①ムーバブルフード押出し



②箱型装置A部掘削
開扉、押し出し・掘削

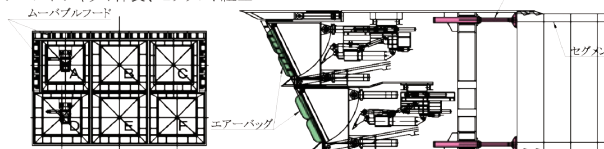


③箱型装置A部掘削
閉扉、エアバッグ加圧



④B～F部、順に作業繰り返し

⑤シールド機前進
シールドジャッキ伸張、セグメント組立

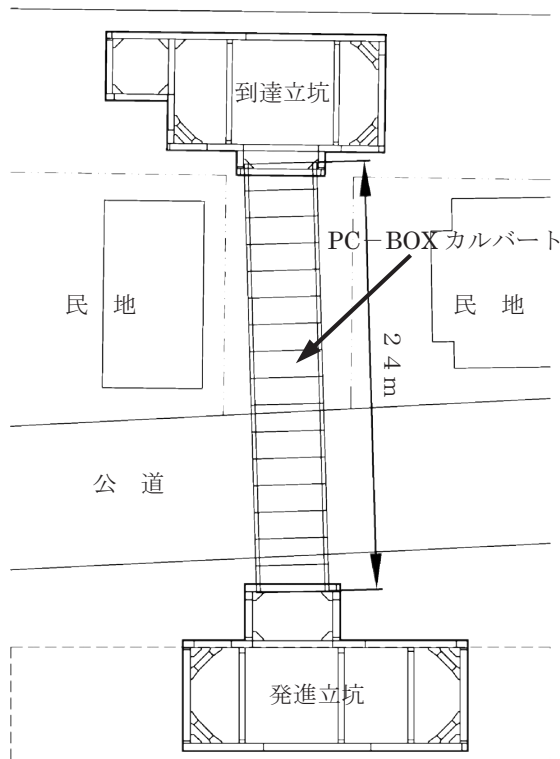


図－2 掘削の手順

2.3 工法の特徴

以下にこの工法の特徴とメリットを挙げる。

- 先行先受けを行い、掘削開放面積を小さくすることにより地山の安定を図り、地表面沈下を抑制する
- 開放型シールド機のため残置杭などの地中障害物の対応が容易である
- 密閉型に必要な掘削土処理設備がないため、道路下での掘進の場合、常設作業帯が不要となる
- 密閉型矩形断面シールド機に比べ掘削機コストは、約 1/3 となる
- 掘削残土は普通土なので、掘削残土が泥土化する密閉型に比べ環境負荷が低減する



図－3 全体平面図

3. 実証工事

松本市の相澤病院増改築工事で実証工事を行った。図－3に全体平面図を示す。

当工事は道路を挟んだ病院増改築部の地下連絡通路築造工事で、内空は $3.5\text{m} \times 2.9\text{m}$ 、延長は 24.0m である。土被りは $3.0 \sim 4.0\text{m}$ と浅いが、付近住民や一般交通への配慮から、開削工法では無く、矩形断面 PC-BOX カルバートを使用した全断面開放型の刃口推進工法による非開削工法が計画されていた。掘削の補助工法としては掘削部土質の礫と腐植土の互層に対する地盤改良および水位低下工法が予定されていた。

施工に関する原計画の詳細検討を行った結果、低土被り下で掘削断面が約 $4 \times 3.5\text{m}$ と大きく、全断面開放型による地山の安定性の低下が懸念された。さらに地表面沈下時の交通・埋設物等周辺環境への影響が大きいため、地山の安定効果の高い「エアロ・ブロック工法」を新たに選定した。

当工法の適用に当たって掘削機は、原計画の PC-BOX カルバートを使用した推進機とし、推進機の切羽部分は機械的に 4 分割した。当工事は掘削距離が短いため前後に摺動可能な箱形装置は省き、エアバッグを装着した 4 枚の扉のヒンジは掘削機に固定した。写真－1 にエアロ・ブロック工法掘削機を示す。



写真-1 エアロ・ブロック工法掘削機

箱形装置を省いたためエアバッグの膨らみ長を大きくして膨張時に扉から60cm先の掘削地山まで届くようにした。PC-BOX カルバートの長さが1.5mのため、掘進は50cm毎に3回に分けて行い、1リング分の掘進サイクルとした。掘削はムーバブルフードを先行して押し出し、分割した各部分毎にエアピックハンマーで地盤を切削し、掘削残土は人力でベルコンに積み込んだ。掘削終了後は扉を閉めエアバッグを膨張し切羽の変状を抑えた。図-4に相澤病院における施工手順、写真-2にムーバブルフード下の掘削状況、写真-3にエアバッグによる切羽保持状況を示す。

4分割した全ての掘削部分の終了後に行う推進作業は4枚の扉を全て閉め、全部のエアバッグを膨張した状態で行った。

推進機の前進によりエアバッグが縮小しバッグ内の圧力が上昇するが、所定の圧力(設定圧力: 0.1MPa)以上になるとエア抜き管のリリーフ弁が作動する構造としており、掘進中一定の圧力で切羽を維持することが可能とした。

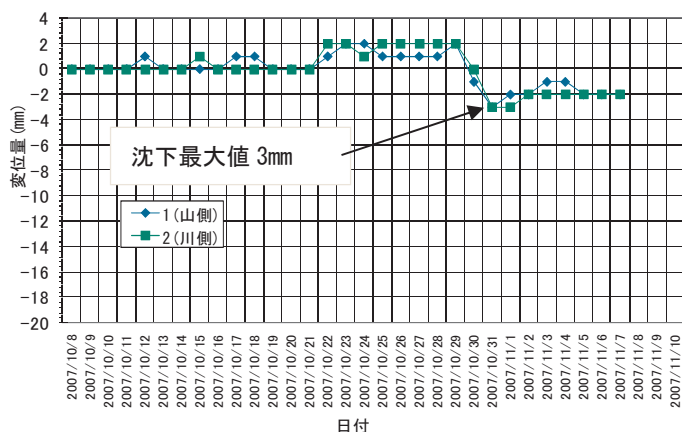


表-1 地上変位量

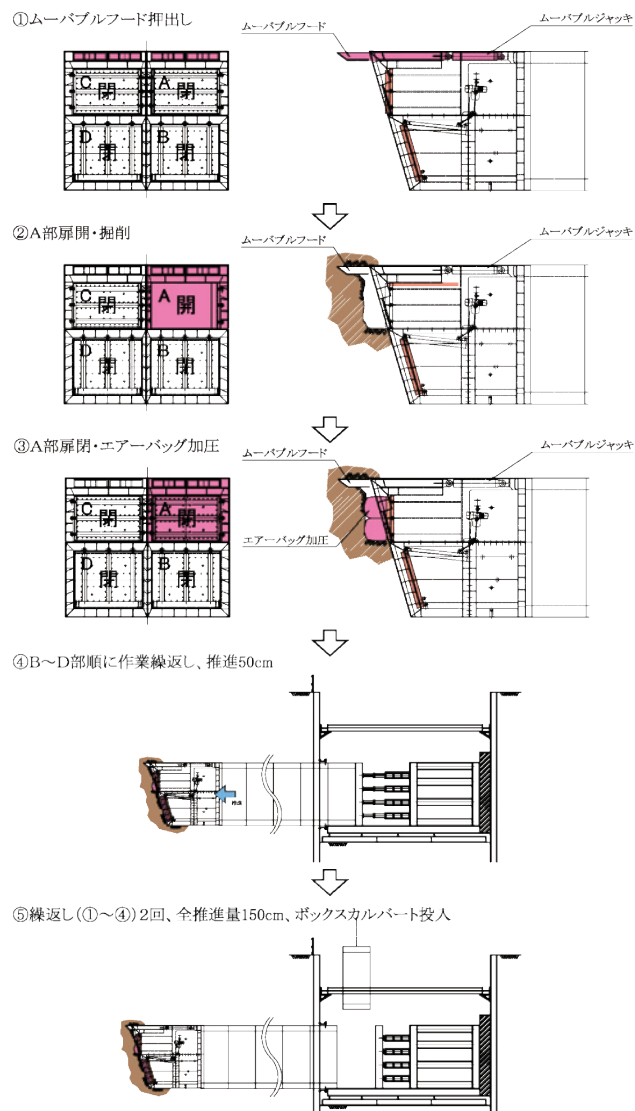


図-4 施工手順図



写真-3 エアバッグによる切羽保持状況

50cm 毎の掘削・推進を 3 回繰り返し、推進ジャッキを縮小し PC-BOX カルバートを投入して 1 リング分の掘進サイクルが終了する。写真-4 に掘削の状況、写真-5 に PC-BOX カルバート投入状況を示す。

施工は昼間のみ施工で平成 19 年 10 月 10 日に本格的な掘削を開始し同年 11 月 6 日に無事到達した。写真-6 に到達状況を示す。

推進の日進量は約 1 m であった。表-1 に地上変位量を示すが、沈下最大値は 3mm であった。推進直上には下水マンホールなどがあったが、特に異常は発生しなかった。

4. おわりに

「エアロ・ブロック工法」は矩形断面のトンネル築造工法で、掘削機コストが安く(密閉型シールド機の約 1/3)掘削機に必要な設備がわずかなため、道路下など狭隘な施工場所での距離の短い地下人道築造においても適した工法である。

従来、開削工法で考えられていた浅いトンネル築造においても、非開削施工の可能性が増えたと言える。今後はアンダーパス工事の他、地下駅や地下街などからビルへ接続する地下人道などにも積極的に本工法を提案していきたいと考えている。



写真-4 掘削状況

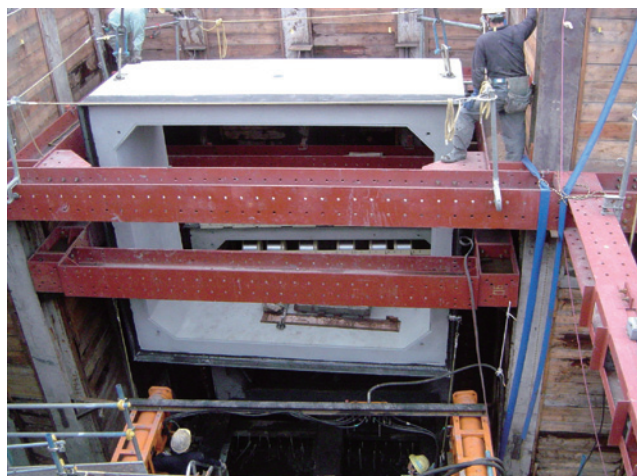


写真-5 PC-BOX カルバート投入状況



写真-6 到達状況