

# エアロ・ブロック工法の開発と実用化

金丸 清人

都市部でニーズが高まっている矩形形状の都市トンネルを複数のエアバッグで切羽を押さえながら掘削する新工法を開発した。従来、都市トンネル築造には密閉型シールド機が用いられているが、トンネル延長が短いとシールド機製造コストが影響し開削工事に比べ経済的に不利であった。特に矩形形状では地盤を掘削するカッタが複雑な機構となり、さらにコスト高となった。

開発は、自立地盤における経済的な矩形形状のトンネル築造技術の確立を目的とし、掘削時の地山の安定と地表面の沈下抑制を図れる工法を目指し、実工事でエアバッグによる地盤保持効果などを実証した。本稿では開発した「エアロ・ブロック工法」の概要を報告する。

キーワード：矩形シールド，エアバッグ，エアロ・ブロック工法

## 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、地盤を切削するカッタと、地盤とトンネル坑内を仕切る隔壁を装備しているため、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、矩形端部まで掘削するため複雑なカッタ機構を採用するなど、より高価となった。

前号ではカッタ機構に汎用品の使用や横軸配置などでコスト低減を図ったパドル・シールド機を報告したが「エアロ・ブロック工法」は、矩形形状のトンネル築造を自立性が高い地盤に絞りシールド機経済性を追求して開発した。この掘削機は製造コストを抑えカッタ機構や隔壁を省略した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中間に位置し、両者の長所を保有する新しい工法と言える。

図-1にエアロ・ブロック工法のイメージ図を示す。

本工法は松本市の主要医療機関の病院増改築工事で採用され、掘進の結果、切羽の安定性や地表への影響低減などの効果を実証できた。

## 2. 工法の概略

カッタ機構を使用しない開放型のシールド機は、コストは安い切羽の地山変位量が大きい。密閉型と比



図-1 エアロ・ブロック工法のイメージ図

べ切羽の安定性に劣り、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はあるが、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。

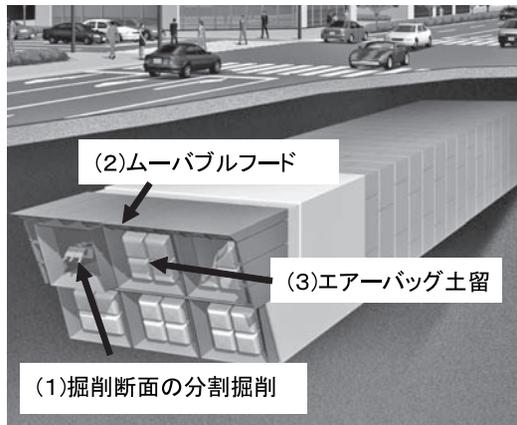
- ・掘削部分を機械的に複数の小断面に分割し、掘削のため開放する小断面以外の切羽をエアバッグで常時保持して掘削に必要な開放面積を小さくする
- ・シールド機に装備したムーバブルフードで掘削部分の先行先受けを行う

### (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している。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。

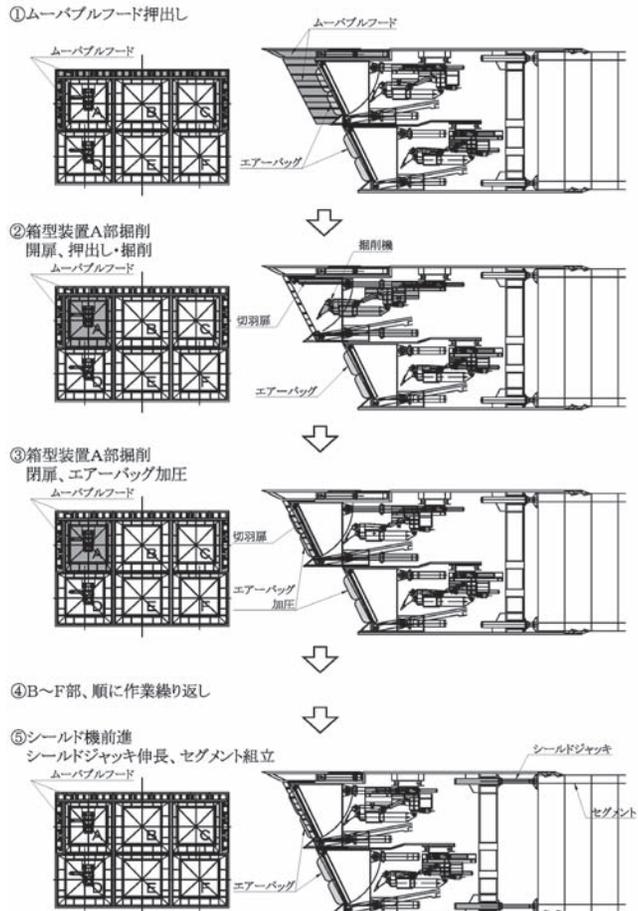
掘削機の上部および側部上半には箱形装置と同様に前後に摺動可能な「ムーバブルフード」を備え掘削時の先行先受けを行う。図一2にシールド機の構造図を示す。



図一2 シールド機の構造図

(2) 掘削の手順

図一3に掘削の手順を示す。掘削は、最初にムーバブルフードを押し出して先行先受けを行ってから複



図一3 掘削の手順

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、地盤に土水圧に対応する圧力をかけて切羽の変状を抑えている。扉を開けた掘削部では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。

3. 要素技術の開発

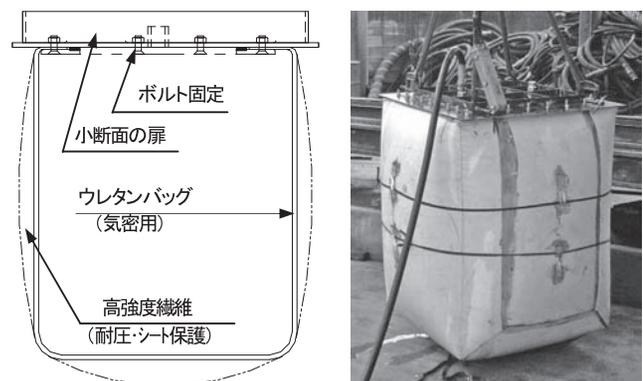
本工法の開発にあたり、核となる装置のエアバッグについては柔軟な伸縮性と耐久性の保持に多くの検討と実験を繰り返した。また、ムーバブルフードは比較的硬い自立地盤に貫入させるため断面形状や必要貫入力を検討し実証実験で確認した。

(1) エアバッグ

エアバッグは、密閉型シールドの泥水式や泥土圧式と同様に圧力調整が容易で、地山を保持しながら地山形状に柔軟に対応できる機能を安価に実現したものである。構造は気密性の高いウレタン樹脂のバッグを特殊な繊維で編んだ布で防護した。図一4にエアバッグの構造図を示す。この防護する繊維の引張力はカーボン繊維の2倍、耐摩耗性はアラミド繊維の4倍の性能を持つ。

(a) エアバッグの耐久性確認実験

エアバッグの耐久性を確認するため、1600回膨

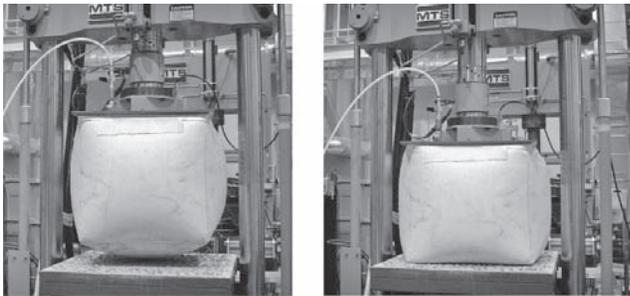


図一4 エアバッグの構造図

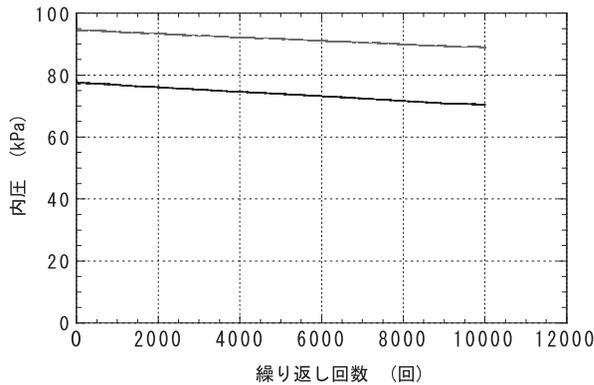
張・収縮を繰り返す実験（写真—1）と膨張させたエアバッグを碎石に10000回繰り返し押しつける実験（写真—2）を行った。図—5に同実験の繰り返し回数と最大・最小内圧の関係を示す



写真—1 1600回膨張・収縮繰り返し実験状況



写真—2 10000回繰り返し押しつけ実験状況



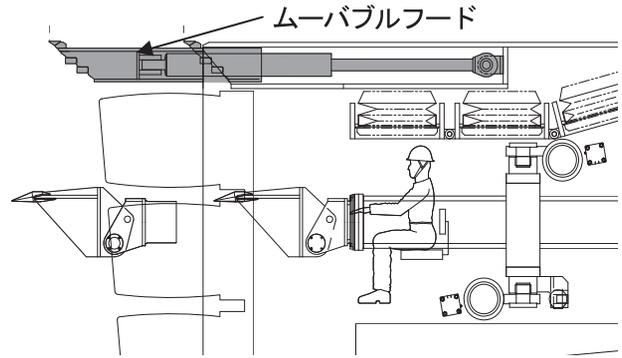
図—5 繰り返し回数と最大・最小内圧の関係

## (2) ムーバブルフード

掘削に先行して前方の地山に貫入させ、掘削中の切羽の安定を図る装置。ムーバブルフードは短冊状で各々の掘削断面ごとにフードが単独作動できるように、また、地盤に貫入しやすい形状に改良している。この改良により土質や施工条件に対応してストロークや設置範囲（上部・側部）を自由に設定できる。図—6にムーバブルフード概要図を示す。

### (a) ムーバブルフードの貫入実証実験

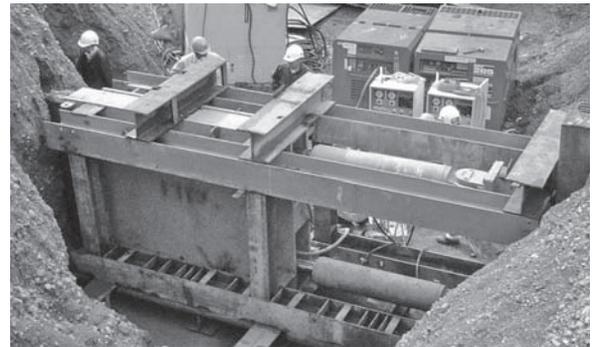
実物大に製作したムーバブルフードを洪積シルト層（関東ローム）や洪積砂礫層に貫入させ貫入量や貫入力を確認した。写真—3に洪積シルト層（関東ローム）、



図—6 ムーバブルフード概要図



写真—3 洪積シルト層（関東ローム）貫入実証実験状況



写真—4 洪積砂礫層貫入実証実験状況

写真—4に洪積砂礫層における貫入実証実験状況を示す。

## 4. 実工事による実証

### (1) 概要

本工法は松本市の病院増改築工事で採用され実工事による実証を行った。図—7に当工事の全体平面図を示す。

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3.5m×2.9m、延長は24.0mである。土被りは3.0～4.0m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、矩形形状の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

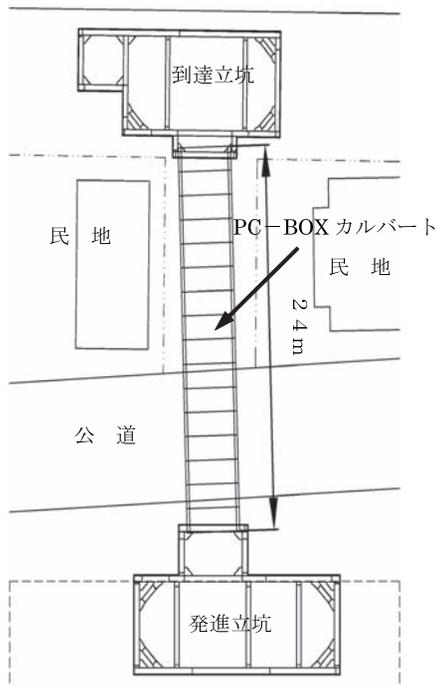


図-7 全体平面図

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。

施工に関する詳細検討を行った結果、低土被り下で掘削断面が約4m×3.5m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」を採用することになった。

当工法の適用に当たって掘削機は、設計時の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-5にエアロ・ブロック工法掘削機を示す。

箱形装置を省いたためエアバッグの膨らみ長を大



写真-5 エアロ・ブロック工法掘削機

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。写真-6にエアバッグによる切羽保持状況、写真-7にムーバブルフード下での掘削状況、図-8に当工事における施工手順を示す。

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。写真-8に掘削の状況を示す。

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である。

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。施工は昼間のみ施工で推進の日進量は約1m、掘削は約1ヶ月間で終了した。

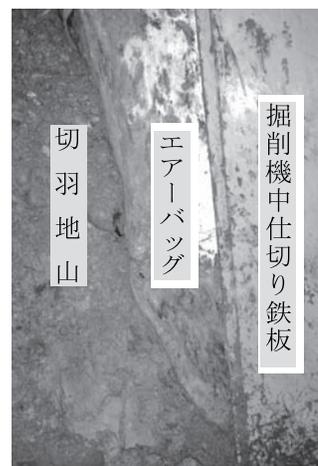
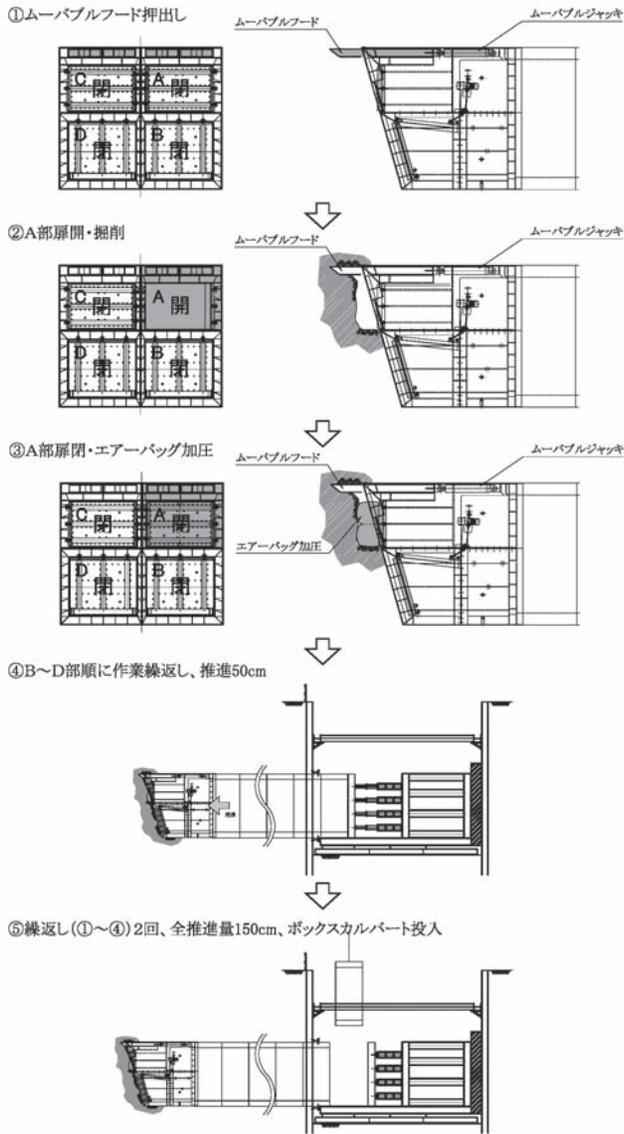


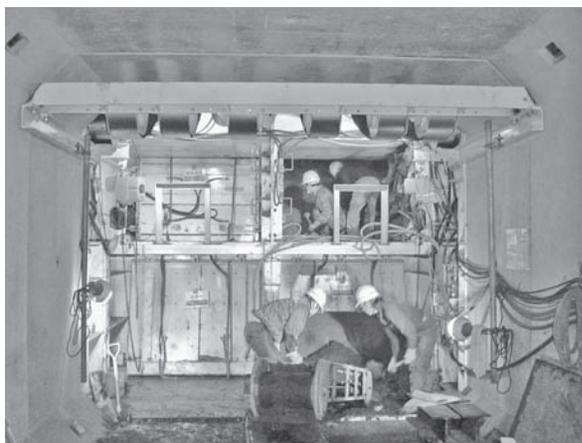
写真-6 エアバッグによる切羽保持状況



写真-7 ムーバブルフード下の掘削



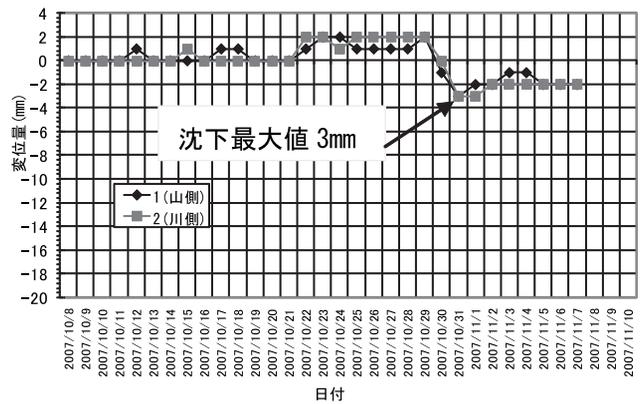
図一八 施工手順図



写真一八 掘削の状況



写真一九 掘削機到達状況



図一九 掘進日毎の地表変位量

## 5. おわりに

「エアロ・ブロック工法」は自立地盤対応の矩形形状のトンネル築造工法で、密閉型と比較して掘削機コストが安い、残置杭などの地中障害物の対応が容易、掘削機に必要な設備がわずかなため道路下など狭隘な場所でも施工可能、掘削土が泥土化しないので環境負荷が低減するなどのメリットが多い。

今後は、道路トンネルや地下通路工事などで開削工法で考えられていた浅い土被りのトンネル築造においても積極的に提案していきたいと考えている。

JCMA

写真一九に掘削機の到達状況を示す。

推進直上には下水マンホールなどがあったが、沈下量は小さかった。一事例として掘削機上にある地表測定ポイントの掘進日毎の変位量を図一九に示す。

[筆者紹介]

金丸 清人 (かねまる きよと)  
清水建設株式会社  
土木技術本部 技術開発部

