

デュアルモード・シールド掘進機の開発と実用化

近藤 保徳・内田 博茂

近年、シールドトンネル工法では、立坑用地の確保が難しくなったことおよびコスト削減の観点より、シールド掘進機に対して長距離掘削、高速掘削が求められている。

長距離化によって掘削地盤は様々に変化する可能性が高く、その地盤を高速掘削するためにデュアルモード・シールド掘進機が開発された。

本掘進機は、切羽が自立した土質に対応した開放掘りの Open モードと、切羽が不安定な土質に対応した密閉掘りの Close モードを簡単に切換えることができるため、最適な方法で高速掘削することができる。

キーワード：長距離掘削、高速掘削、デュアルモード・シールド掘進機、Open モード、Close モード

1. はじめに

近年、シールドトンネル工法では、立坑用地の確保が難しくなったこと、およびコスト削減の観点より、シールド掘進機に対して長距離掘削、高速掘削が求められている。

掘削距離が長くなることによって掘削する地盤は様々に変化する可能性が高くなる。その地盤を最も適した方法で、効率的かつ高速で掘削できることを主眼において開発されたのがデュアルモード・シールド掘進機である。

高速施工のための方策としては、

- ① 地盤に最適な方法で掘削を行うことによって掘削トルクを押え、掘削スピードを速くする。
- ② 掘削とセグメント組立てを同時に行う同時施工を適用する。
- ③ セグメント組立て時のボルトレス化によって組立て時間を短縮する。

等が挙げられている。

デュアルモード・シールド掘進機は、そのうち「地盤に最適な方法で掘削を行うことによって掘削トルクを押え、掘削スピードを速くする」を実践したものである。ここでは、このデュアルモード・シールド掘進機の特徴、実施例について紹介する。

2. デュアルモード・シールド掘進機とは

(1) Open/Close モード

地山をシールド掘進機で掘削する場合、掘削モードとして大きく分けて Open モードと Close モードに分類される。

(a) Open モード

Open モードは地山が安定および自立している場合に適用される。地山が自立しているためチャンバ内の圧力を立てる必要がなく、カットトルクを抑えることが出来るため、高速で掘削することが可能である。チャンバ内の圧力を立てないため、排土口に如何に効率的に掘削土砂を集め、それを排土するかがポイントとなる。

(b) Close モード

Close モードは逆に地山が安定しておらず自立していない場合に適用される。地山が自立していないため、チャンバ内に土砂を溜め地山に対抗した圧力を立てて掘削をしなければならない。そのため一般的には Open モードより掘削速度は低下する。如何に掘削面でのトルクを低減させ、その土砂の取込みをスムーズにできるようにするかがポイントとなる。

(2) コンバーチブルタイプシールド掘進機とは

上記の Open モードと Close モードの両モード対応型シールド機として、図—1 に示すコンバーチブル (Convertible) タイプ・シールド掘進機が考えられる。

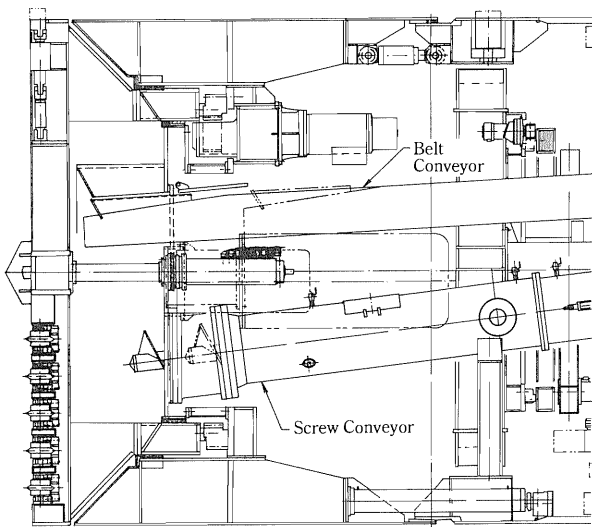


図-1 コンバーチブルタイプ・シールド掘進機

この掘進機は、1次排土装置として、ベルトコンベヤとスクリュウコンベヤの両方を有している。

Openモードにおいては、ベルトコンベヤをチャンバ内に押し出してベルトコンベヤにて排土を行う。スクリュウコンベヤは使用しない。

一方、Closeモードにおいては、ベルトコンベヤを機内に引込み、蓋をし、チャンバ内を密閉してスクリュウコンベヤにて排土を行う。

このタイプのシールド機の短所としては、以下の点が挙げられる。

- ① Open/Closeモードの切替え作業（ベルトコンベヤの出し入れ）に時間がかかる。
- ② Openモードでの掘削時、水が噴発した場合に機内に水が浸入してしまう。
- ③ 機内ベルトコンベヤおよびスクリュウコンベヤから2次ベルトコンベヤへの排土受渡し部の構造が複雑化し、スペースの確保も困難になる。

(3) デュアルモード・シールド掘進機とは

上記のコンバーチブルタイプ・シールド掘進機の短所を包括的に改善したのが図-5に示すデュアルモード・シールド掘進機である。デュアルモード・シールド掘進機は、1次排土装置としてスクリュウコンベヤのみを装備して、Open/Closeモードの両モードに対応できる構造としている。

(4) コンバーチブル・シールド掘進機とデュアルモード・シールド掘進機の比較

図-2、図-3にそれぞれコンバーチブルの中間支持タイプ、外周支持タイプのチャンバ内から見た排土装置の配置図を、図-4にデュアルモード外周支持タ

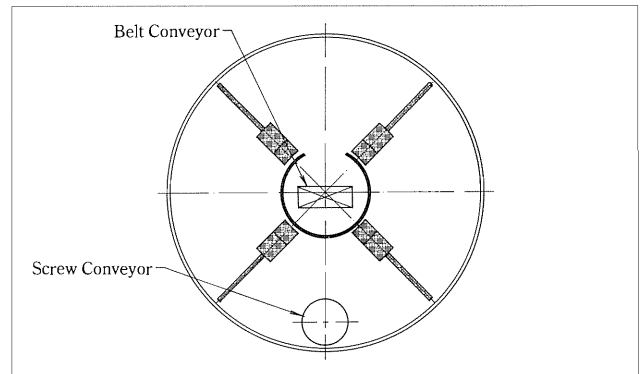


図-2 コンバーチブル中間支持タイプチャンバ内配置

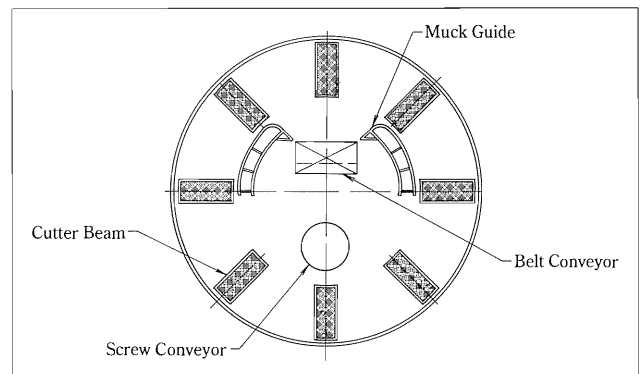


図-3 コンバーチブル外周支持タイプチャンバ内配置

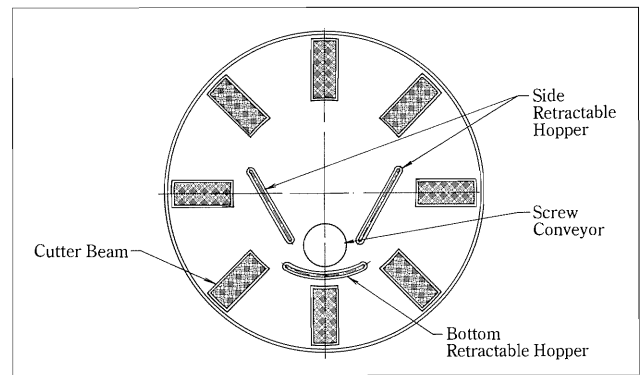


図-4 デュアルモード外周支持タイプチャンバ内配置

イプの配置図を示す。

表-1にコンバーチブルタイプとデュアルモードタイプの比較結果を示す。

(a) 排土効率

コンバーチブル中間支持タイプのOpenモード時は、図-2に示されるように土砂を排出するベルトコンベヤの位置がチャンバにおいて深すぎるため、排土効率は悪い。その他は良好である。

(b) 機内およびセグメント組立てエリアスペース

コンバーチブルでは、スクリュウコンベヤとベルトコンベヤの両方を設置するためスペースを非常にとり、狭くなる。デュアルモードでは、スクリュウコンベヤのみで良く、機内およびセグメント組立てエリアスペー

表-1 コンバーチブルタイプとデュアルモードタイプの比較

モード	コンバーチブル中間支持タイプ		コンバーチブル外周支持タイプ		デュアルモード外周支持タイプ	
	Open	Close	Open	Close	Open	Close
1次排土装置	ベルトコンベヤ	スクリュウコンベヤ	ベルトコンベヤ	スクリュウコンベヤ	スクリュウコンベヤ	スクリュウコンベヤ
排土効率	×	○	○	○	○	○
機内およびセグメント組立てエリアスペース	△	△	△	△	○	○
シールド機構造	△	△	△	△	○	○
旋回ベアリング径および能力	△	△	○	○	○	○
Open/Close 切替えに必要な時間	△	△	△	△	○	○
水の噴発対応	△	—	△	—	○	—

(○：良 △：普通 ×：不良)

スを十分確保できる。

(c) シールド機構造

コンバーチブルでは、スクリュウコンベヤとベルトコンベヤの両者を設置するため、ベルトコンベヤの出し入れ機構、引き時の止水機構が必要となる。

(d) 旋回ベアリング径および能力

コンバーチブル中間支持タイプでは、ベアリング径が小さくなるためその能力を確保するのが難しい。

(e) Open/Close 切替えに必要な時間

コンバーチブルでは、切替え時ベルトコンベヤの出し入れおよび2次排土装置との接続等の盛替えが必要であり、かなりの時間を要する。デュアルモードでは、ホッパの出し入れおよびスクリュウオーガの出し入れのみであり、油圧ジャッキにて容易に作動するため短時間で切替えすることができる。

(f) 水の噴発対応

Open モードで掘削中に水が噴発した場合、コンバーチブルでは、ベルトコンベヤを引き、チャンバを密閉するまでに時間がかかり危険である。デュアルモードでは、Open/Close モードによらず、チャンバは常に密閉されているため安全である。

3. デュアルモード・シールド掘進機の特徴

デュアルモード・シールド掘進機の特徴は以下の通りである。

(1) リトラクタブルホッパを装備

リトラクタブル (retractable) ホッパを装備している。図-4 に示すようにサイド部に2基、下部に1基であり、Open 時には、図-5 のようにホッパをチャンバ内へ押し出し、掘削土砂をスクリュウコンベヤ口に集めやすくしている。Close 時には、図-6 のように機内側へホッパを引込み、チャンバ内の土砂の攪拌と流れを阻害しないようにしている。

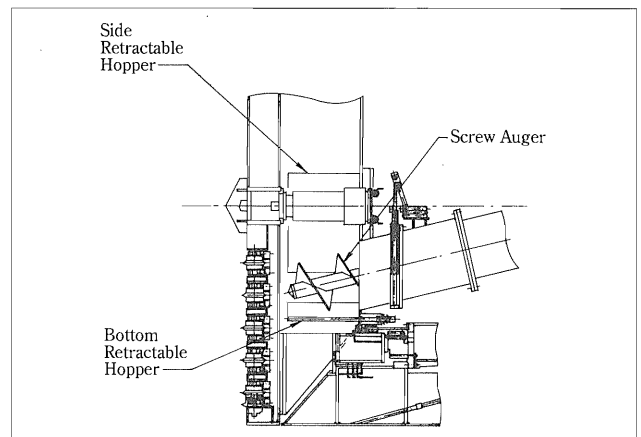


図-5 Open 時のホッパ、スクリュウオーガ状況

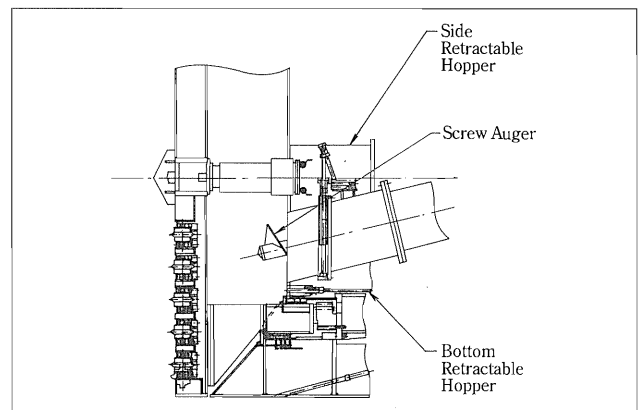


図-6 Close 時のホッパ、スクリュウオーガ状況

各ホッパの出し入れは油圧ジャッキで容易に行うことができる。

(2) スクリュウオーガのスライド機構を装備

スクリュウオーガがスライドできる機構を装備している。Open 時には、オーガをチャンバ内に押し出し、土圧のほとんどたっていない状況下で、効率良く掘削土砂を排出できるようにしている。Close 時には、オーガを引いて土砂搬出を行う。

オーガのスライドは、油圧ジャッキで容易に行うことができる。

(3) Open/Close モードの切換えが容易に可能

Open/Close の切替は、上記のホッパの出し入れ、スクリュウオーガのスライドのみであり、極めて短時間でその切替が可能である。

(4) チャンバが常に密閉されている

上記のように、スクリュウコンベヤのみで Open/Close 時とも排土が行えるため、チャンバを常に密閉状態に保つことができる。そのため水の噴発を心配する必要がなく、そのため先行探査による水のある無しチェックも不要であり、コスト、工期の両面においてメリットが大きい。

4. 実用化例

現在までに、デュアルモード・シールド掘進機の実用機は、バンコック・プロジェクト向け（マシン外径 $\phi 6.43\text{ m}$ ）の6台、シンガポール・プロジェクト向け（マシン外径 $\phi 7.16\text{ m}$ ）の1台、イギリス CTRL プロジェクト向け（マシン外径 $\phi 8.11\text{ m}$ ）の2台の総計9台である。

ここでは、イギリス CTRL (Channel Tunnel Rail Link) プロジェクト向け（マシン外径 $\phi 8.11\text{ m}$ ）掘進機についてそのマシンの概要と施工状況について述べる。

(1) CTRL プロジェクト向けシールド掘進機概要

写真-1 に示す CTRL プロジェクト向けデュアルモード・シールド掘進機・工事の主要目は表-2 の通りである。

また、その全体構造図を図-7 に示す。

この掘進機は、全長 7,547 m の長距離の様々に変化する地盤（砂層、粘土層、チョーク層）を掘削する。

この地山には、自立している区間と自立していない区間があり、その地山を効率よく高速掘削するために、施主より Open/Close の変換が可能であるコンバーチブルな掘進機が要求された。それに対して川崎重工業株式会社 (KHI) としてデュアルモード・シールド掘進機を提案し、採用されるに至った。

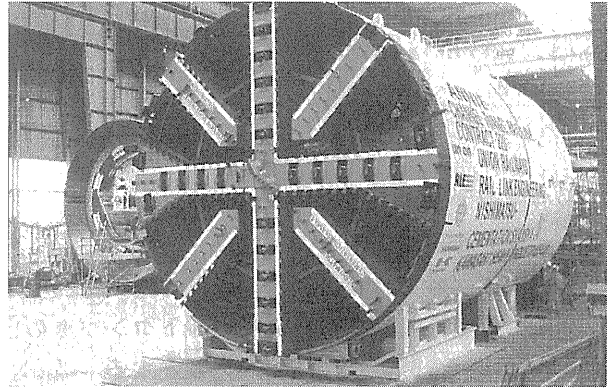


写真-1 CTRL プロジェクト向けデュアルモード・シールド掘進機全景

表-2 シールド機・工事主要目

シールド本体・工事要目	
外 径	$\phi 8,110\text{ mm}$
全 長	11,300 mm
シールドジャッキ	2,250 kN×2,250 mmst×29 本
中折れジャッキ	2,000 kN×150 mmst×16 本
中折れ角度	1° (縦・横)
仕上り内径	7,150 mm
最小曲線半径	400 m R
掘削土質	London clay, Thanet sand W.R.B., Upnor formation
掘削距離	7,547 m
カッタディスク要目	
支持方式	外周支持
回 転 数	低速：1.25 min ⁻¹ 高速：2.5 min ⁻¹
掘削トルク	低速：11,456 kN・m 高速：5,728 kN・m
駆動用電動機	250 kW×4/8 P×415 V×50 Hz×6 台

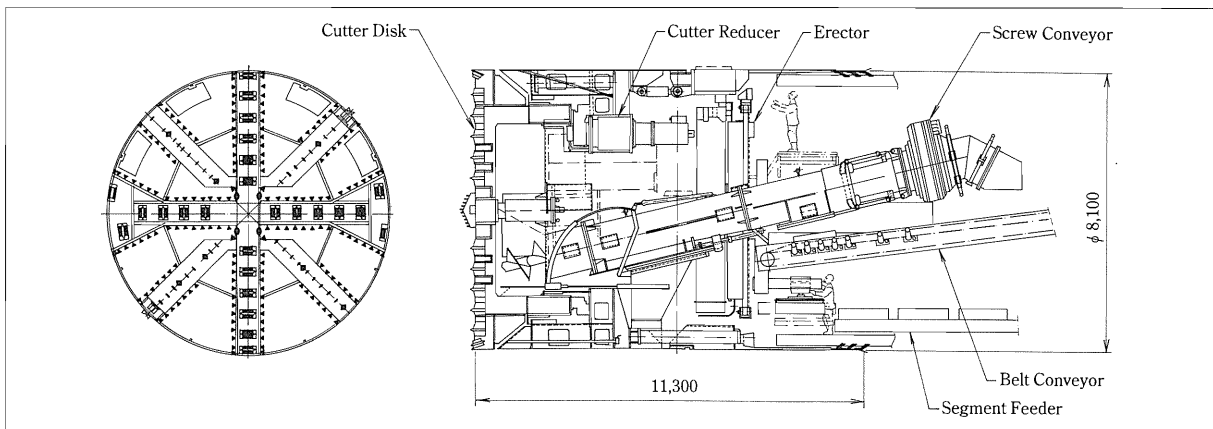


図-7 CTRL プロジェクト向けデュアルモード・シールド掘進機全体構造図

(2) CTRL プロジェクト施工状況

本シールド掘進機は、1号機が2002年の8月末、2号機が2002年の11月初めに発進した。地盤に対応したモードで、最適な掘削を行うことで、随時100mm/minでの掘削を実現している。

5. おわりに

デュアルモード・シールド掘進機は、バンコック、シンガポールのプロジェクトを完遂し、現在イギリスのCTRLプロジェクトにて順調に掘削中であり、月進920mを達成している。

この実績は、長距離掘削、高速掘削が要求される工事にデュアルモード・シールド掘進機が極めて有効であることを示したものであると言える。

最後に、本掘進機の開発、現場での施工に際し、ご協力頂いた皆様に心から感謝の意を表します。

JCMA

【筆者紹介】

近藤 保徳（こんどう やすのり）
川崎重工業株式会社
土木機械技術部
部長



内田 博茂（うちだ ひろしげ）
川崎重工業株式会社
土木機械技術部



建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論 （建設工事と公害、現行法令、調査・予測と対策の基本、現地調査）
- 各論 （土木、コンクリート工、シールド・推進工、運搬工、塗装工、地盤処理工、岩石掘削工、鋼構造物工、仮設工、基礎工、構造物とりこわし工、定置機械（空気圧縮機、動発電機）、土留工、トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説、環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731）、振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判、340頁、表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体5,600円） 送料 600円

非会員 6,300円（本体6,000円） 送料 600円

・「会員」 本協会の本部、支部全員及び官公庁、学校等公的機関

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289