Hitz
Hitachi Zosen

シールド掘進機の歴史と技術の変遷

トンネル機械技術委員会　技術講演会
2020年1月23日
日立造船株式会社

[配布用・抜粋]

1 シールド工法の歴史

2 シールド掘進機　技術の変遷(当社主体)

3 シールド掘進機　技術の紹介(当社主体)

4 世界最大のシールド掘進機

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

1. シールド工法の歴史

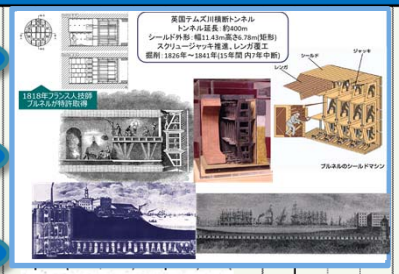
Hitz
Hitachi Zosen

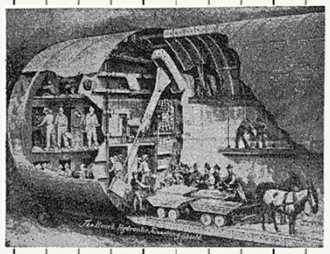
西暦	1800	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
和歴	寛政12	M33	M43	T09	S05	S15	S25	S35	S45	S55	H02	H12	H22	R02

シールドの歴史

海外

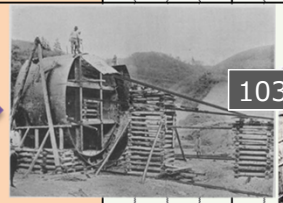
- 1825年(文政8年)シールド工法誕生（英国テムズトンネル）矩形W11.43mH6.78m、約400m　195年前　シールド誕生
- 1869年(明治2年)地下鉄用シールド（英国テムズ川）円形・鋳鉄セグメント φ2.2m、約400m　シールド原型
- 1886年(明治19年)圧気シールド（英国テムズ川）円形・鋳鉄セグメント φ3.45m　圧気シールド
- 1890年(明治23年)メカニカルシールド（ロンドン）電動バケット掘削　機械掘削
- 1897年(明治30年)メカニカルシールド（ロンドン）全断面回転ヘッド　カッタヘッド

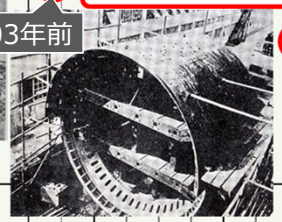




- 1960年泥水加圧シールド考案　80年前、シールド誕生より135年後　密閉型

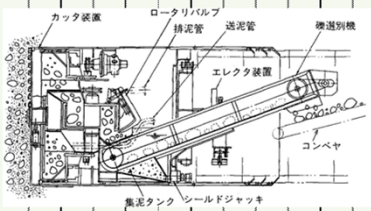
国内

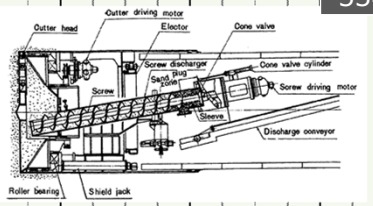




- 1917年日本初シールド機（旧国鉄羽越線）　103年前
- 1936年シールド本格採用（関門トンネル)φ7.18m
- 1967年国内メーカ泥水シールド1号機
- 1974年国内メーカ土圧式シールド1号機

Hitz

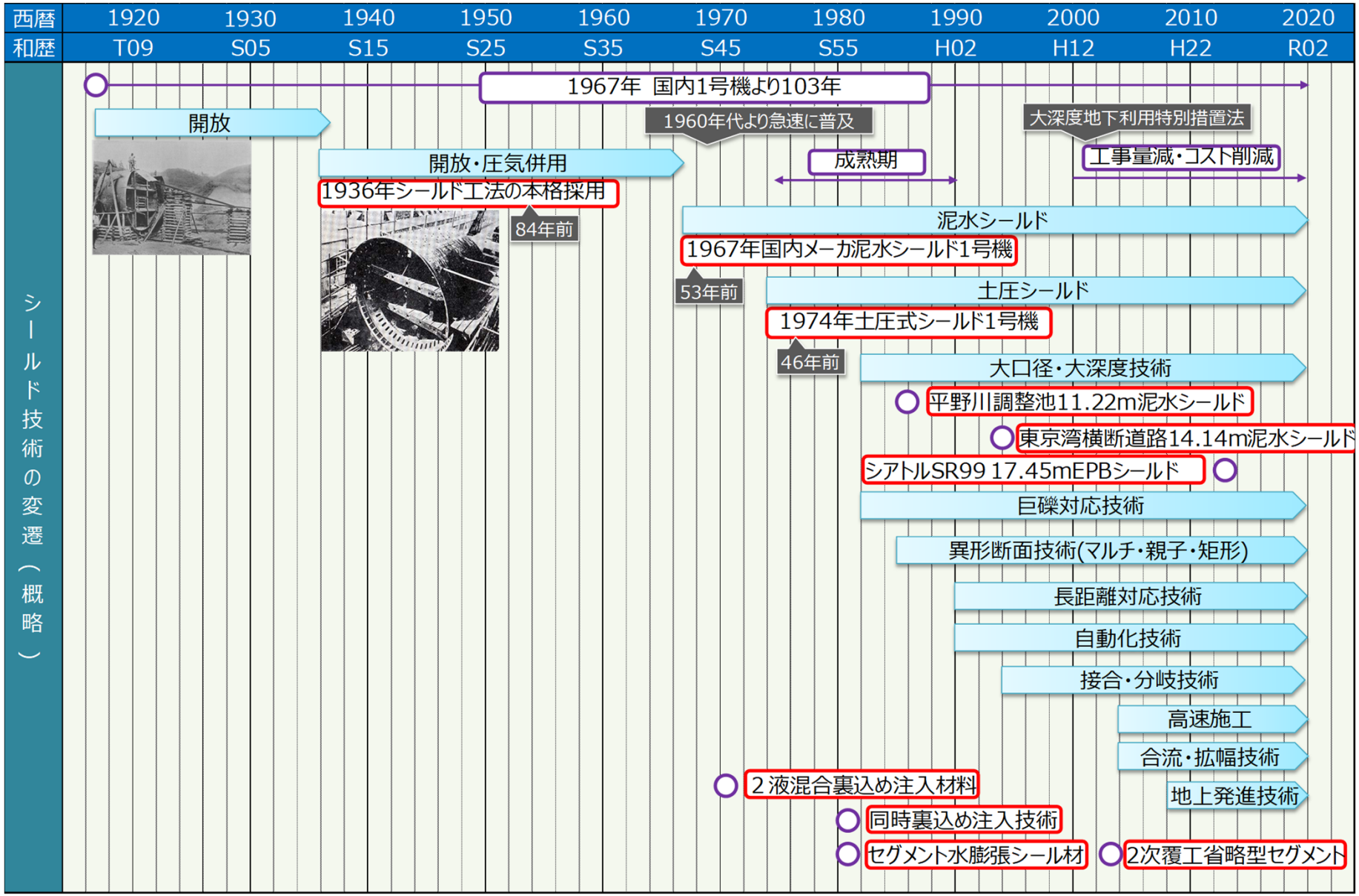




- 1967年φ2.7m手掘りシールド(シールド1号機)　53年前
- 1977年φ1.8m泥水シールド(密閉型1号機)
- 1978年φ2.355m土圧式シールド(土圧1号
- 1983年φ11.22m泥水シールド　37年前　世界最大

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

2.1 シールド技術の動向



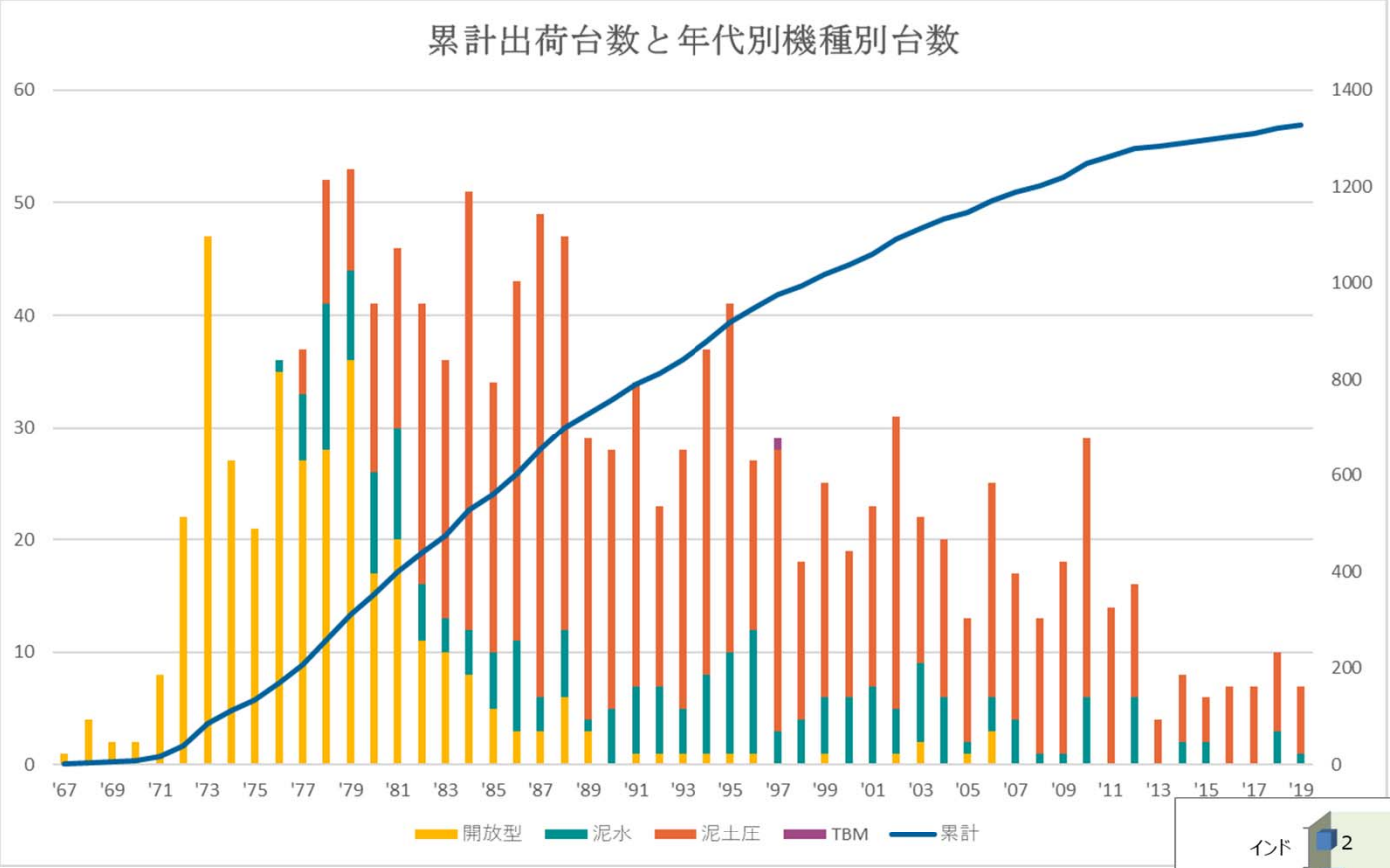
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

2.2 Hitz シールド技術の変遷

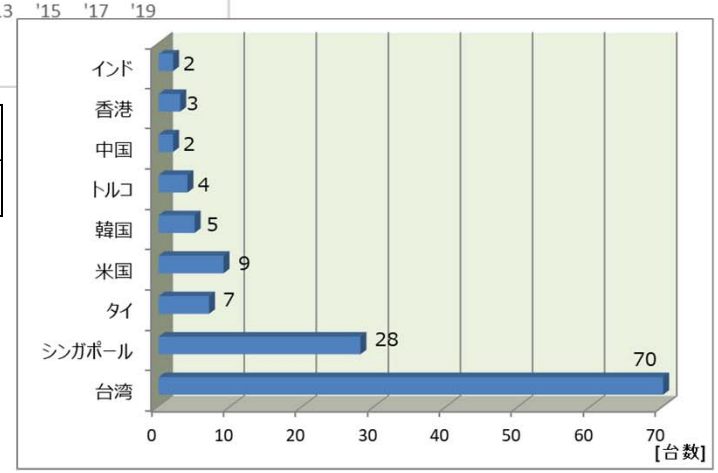
Hitz
Hitachi Zosen

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

2.3 Hitz シールド実績(2019年11月現在)



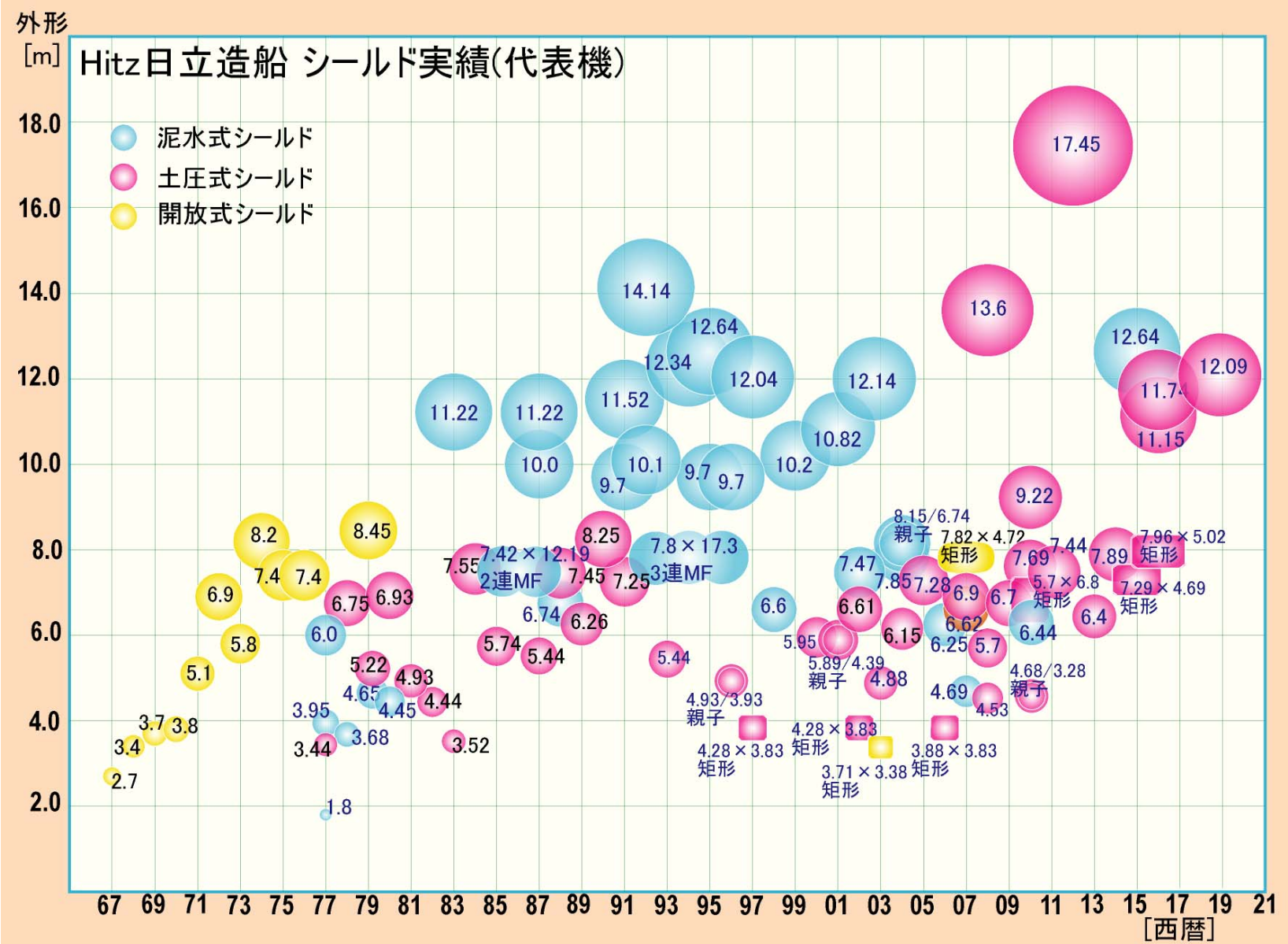
ﾌﾞﾗｲﾝﾄﾞ	手掘	半機械掘	機械掘	開放型合計	泥水	泥土圧	TBM	合計
45	230	74	11	360	202	765	1	1328



海外シールド実績
計130台

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

2.4 Hitz シールド実績(2019年11月現在)



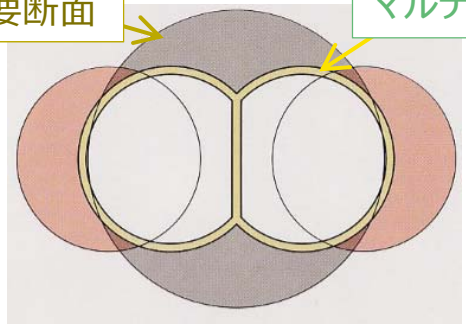
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.1 マルチフェイスシールド (2連)

Hitz
Hitachi Zosen

工事名	京葉線京橋トンネル新設工事			
外形	形式	受注		現地完成
φ 7.42m x 12.19m	泥水	1986年3月		1988年2月

掘進距離 (m)	最大土被り (m)	地下水圧 (MPa)	土質	掘削期間
619	27	0.2	洪積砂、シルト層・砂礫層	1988年2月 –1989年4月



トピックス

世界初の2連マルチフェイスシールド。複線の鉄道トンネルを最小断面で一気構築するために開発された。2室が独立したチャンバーを持ち、個別に圧力制御を実施した。マシンの完成には、高度な設計・製造技術を要した。2円が連結した特殊なセグメントを組み立てるために特殊なエレクタが装備された。

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

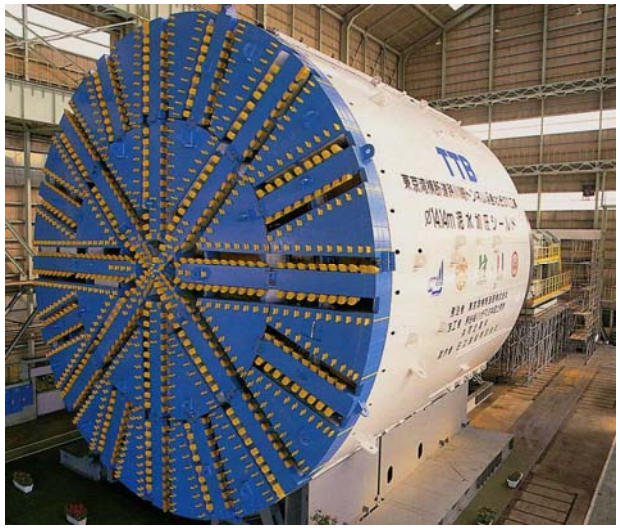
3.2 世界最大泥水シールド

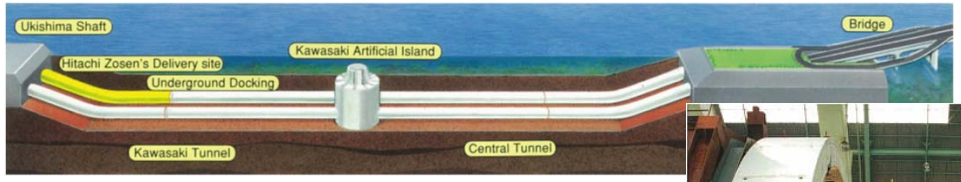
Hitz
Hitachi Zosen

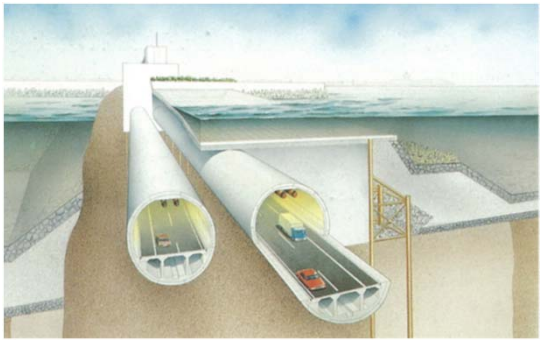
工事名	東京湾横断道路川崎トンネル浮島北(その１)工事

外形	形式	受注	工場完成	現地完成
φ 14.14m	泥水	1992年9月	1993年10月	1994年8月

掘進距離 (m)	最大土被り (m)	地下水圧 (MPa)	土質	掘削期間
2800	16	0.6(海底)	砂質シルト、シルト質粘土	1994年8月 –1996年7月







Fully automatic segment erection system

トピックス

日本国内最大径のマシン。世界的にも最大クラス。東京湾を横断する道路トンネルで、8台のマシンがその性能を競った。例のない大口径で海底トンネルということで、高度な製造技術と様々な先進技術が採用された。トンネル壁(セグメント)を組み立てるエレクタは全自動の装置が装備され、ボルト締結まで完全自動化された。すべて地中接合で到達というプロジェクトで、それぞれ到達位置は確定されておらず、早いマシンがより長い距離を掘ることができたが、その中で当社のマシンは最長距離を記録した。

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

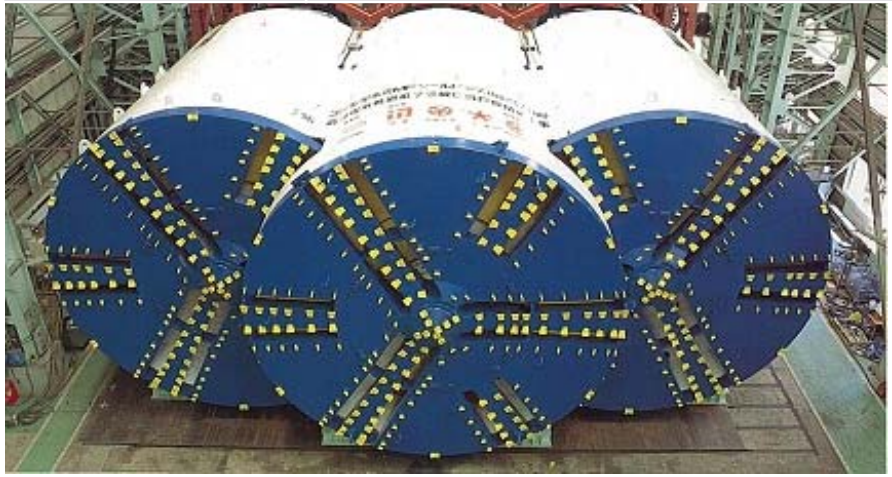
3.3(1) マルチフェイスシールド（３連）

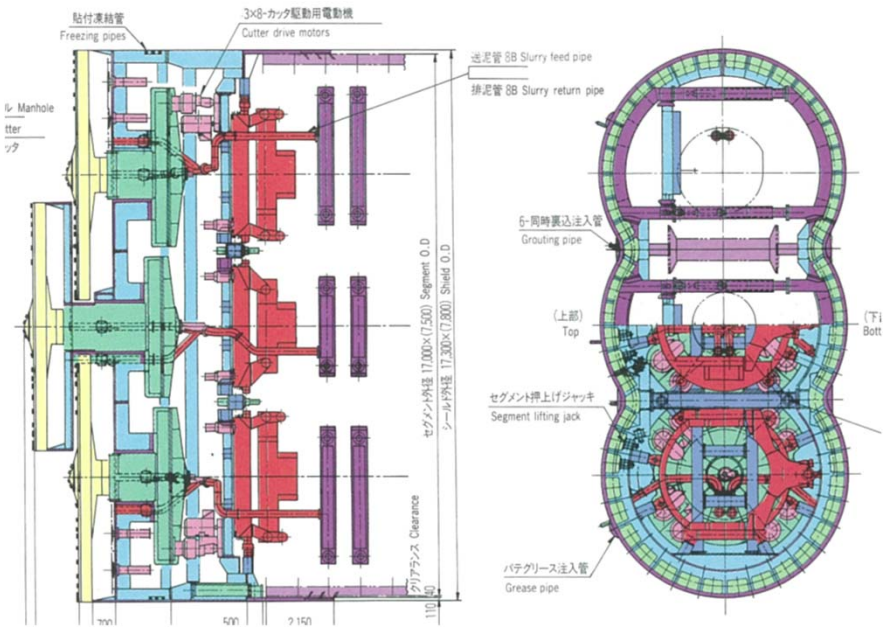
Hitz
Hitachi Zosen

工事名	大阪市地下鉄7号線　大阪ビジネスパーク停留場工事

外形	形式	受注	工場完成	現地完成
φ 7.8m x 17.3m	泥水	1994年6月	1994年5月	1994年11月

掘進距離 (m)	最大土被り (m)	地下水圧 (MPa)	土質	掘削期間
107	27	0.15	洪積粘土、砂層	1995年1月 –1995年4月





トピックス

世界初の3連マルチフェイスシールド。駅のプラットホームと複線の路線トンネルを一気に最小断面で構築するために開発された。3室が独立したチャンバーを持ち、個別に圧力制御を実施した。マシンの完成には、高度な設計・製造技術を要した。3円が連結した特殊なセグメントを組み立てるために特殊なエレクタが装備された。

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

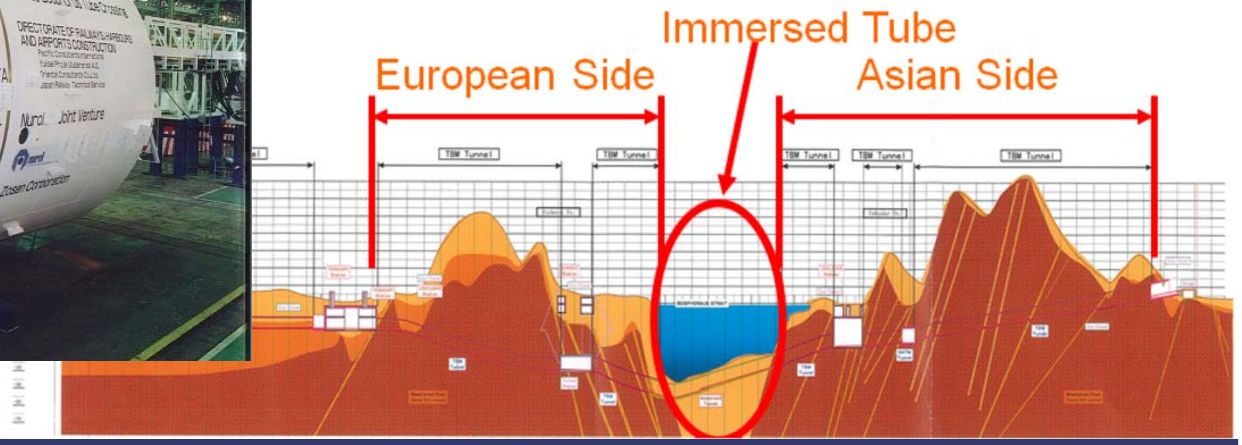
3.4 ボスポラス海峡横断シールド

Hitz
Hitachi Zosen

工事名	ボスポラス海峡横断鉄道トンネル

外形	形式	受注	工場完成	現地完成
φ 7.85m	泥水	2004年9月	2005年11月-2006年1月	2006年12月-2009年12月

掘進距離 (m)	最大土被り (m)	地下水圧 (MPa)	土質	掘削期間
アジア側:4240m×2 ヨーロッパ側:3098m×2	16	0.85(海底)	砂岩、頁岩	アジア側(上り)2007年1月－2010年4月 アジア側(下り)2007年2月－2010年2月 ヨーロッパ側(上り)2009年12月－2011年1月 ヨーロッパ側(下り)2010年1月－2011年2月



トピックス

トルコ国民の長年の夢であるボスポラス海峡を横断する鉄道トンネルプロジェクト。海底トンネル・破砕帯での高水圧・膨張性地盤・転石玉石等の過酷な条件下で無事掘削を完了した。遺跡調査等でヨーロッパ側の発進が大幅に遅れ、掘削期間の短縮を余儀なくされたが、アジア側の施工状況から、ディスクカッターのサイズアップや、泥水の排泥管の増設、排泥設備の増強を行い、工期内で全掘削を完了した。

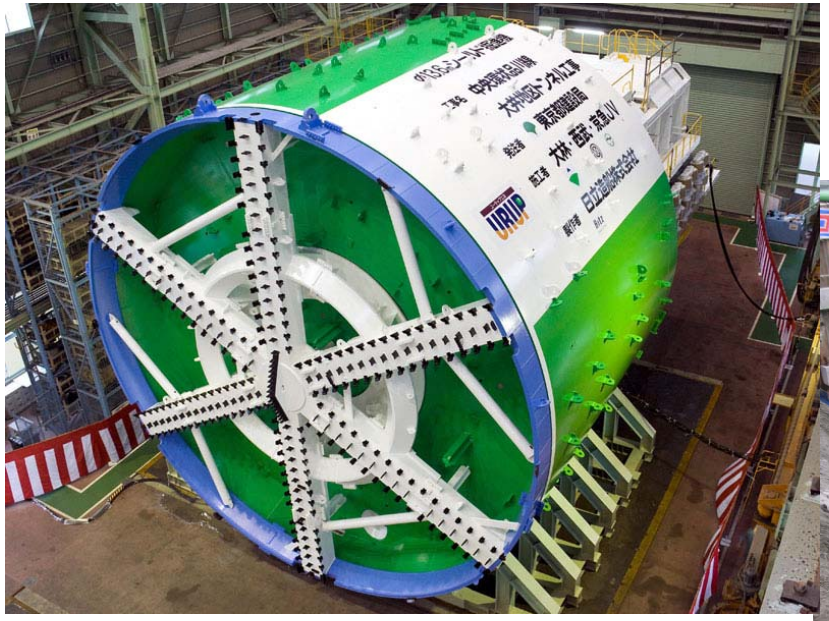
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

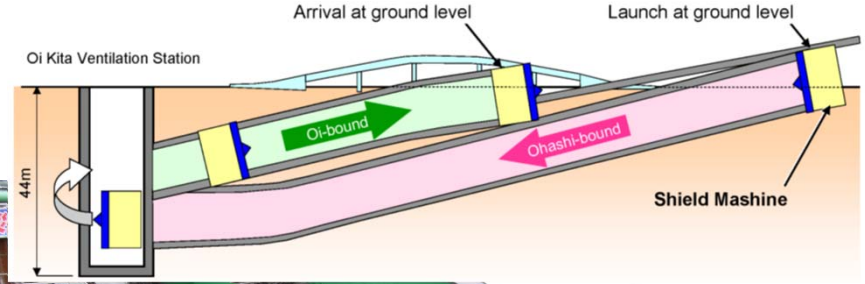
3.5 大口径泥土圧シールド

Hitz
Hitachi Zosen

工事名	中央環状品川線　大井地区トンネル工事			
外形	形式	受注	工場完成	現地完成
φ 13.6m	泥土圧	2008年9月	2009年10月	2010年3月

掘進距離 (m)	最大土被り (m)	地下水圧 (MPa)	土質	掘削期間
550+345m(Uターン)	25	0.4	粘土、砂層	2010年3月 –2011年5月





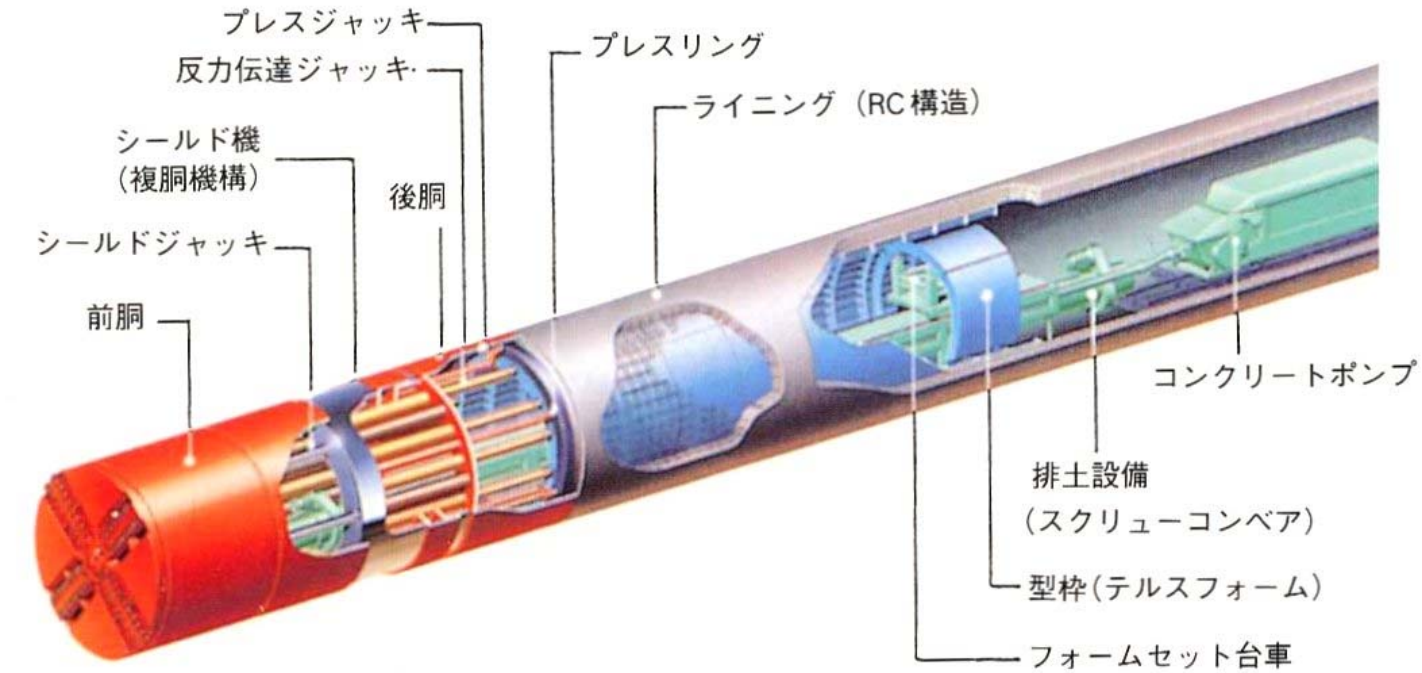
トピックス

地上発進、地上到達というシールド工法では日本国内では初めてで、世界的にもおそらく初めてではないかという施工方法が採用された工事。泥土圧式マシンとしては当時国内最大。この地上発進・到達方法の実施にあたっては、実験機も当社で製作し、様々な検討が行われた。装置としては特殊なセグメント形状保持が装備された。さらに低推力掘削に対応できる油圧システムが装備された。

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.6 場所打ちライニングシールド ECL(Extruded Concrete Lining) 工法

Hitz
Hitachi Zosen

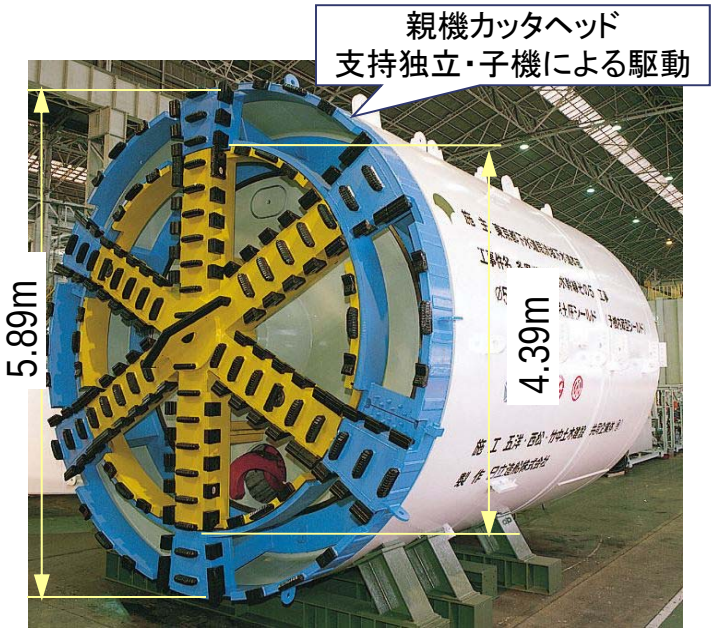


1992年

1994年

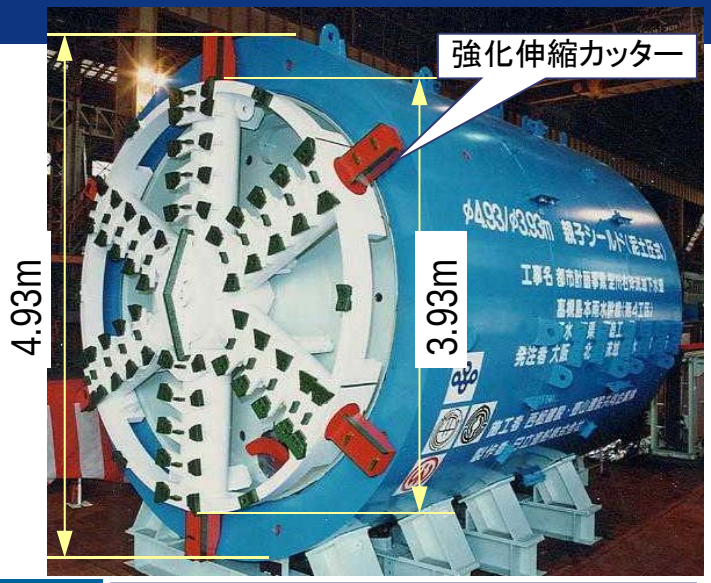
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.7(1) 親子シールド



2001年

工事延長：親機　1005m、子機　733m
曲線：親機　200mR　子機　100mR
土質：砂礫、固結粘土
シールド形式：泥土圧親子（地中分離）

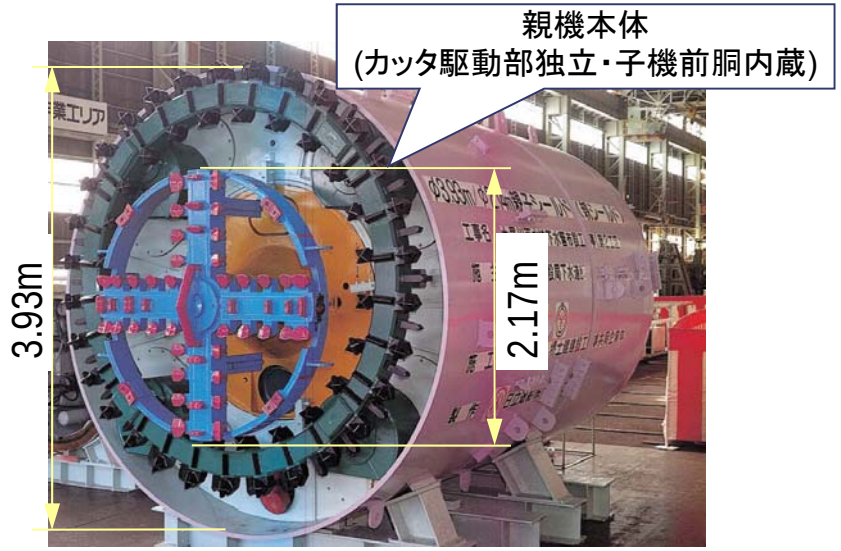


1996年

工事延長：親機　86m、子機　1464m
曲線：子機　40mR
土質：沖積砂質土、洪積粘性土
シールド形式：泥土圧親子（地中分離）

1999年

工事延長：親機　1026m、子機　751m
曲線：親機　150mR　子機　20mR
土質：粘土、礫混じり砂
シールド形式：泥土圧親子（地中分離）



© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.8　正面接合シールド　MSD(Mechanical Shield Docking)工法

Hitz
Hitachi Zosen

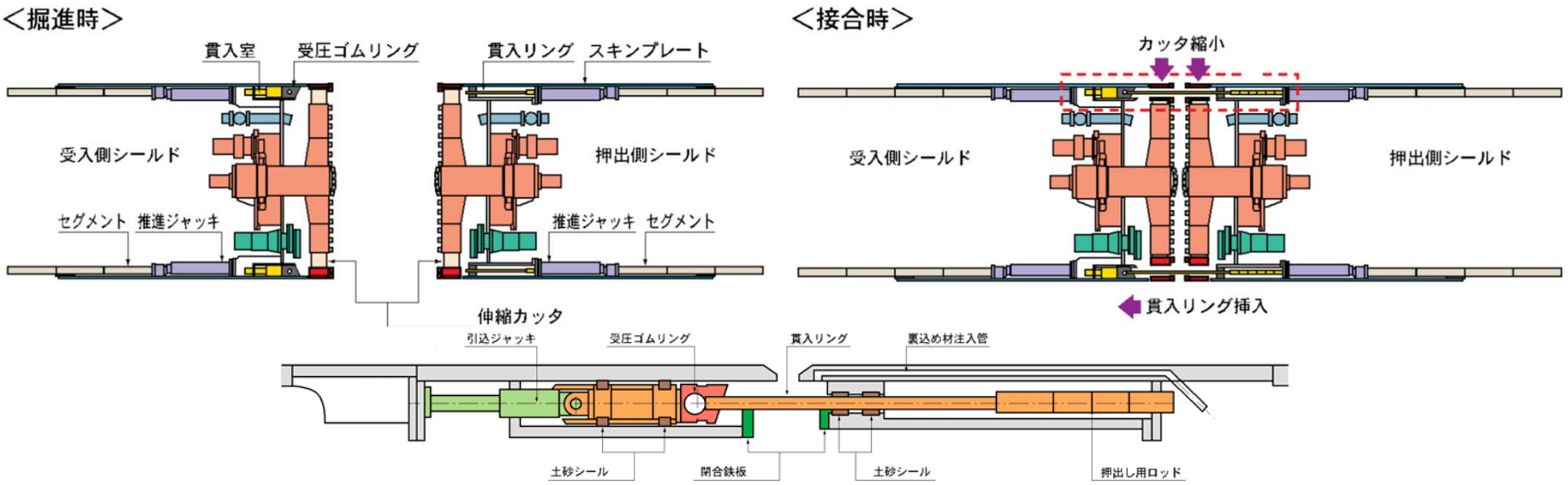
2000年

受入側

2000年

貫入側

他社資料

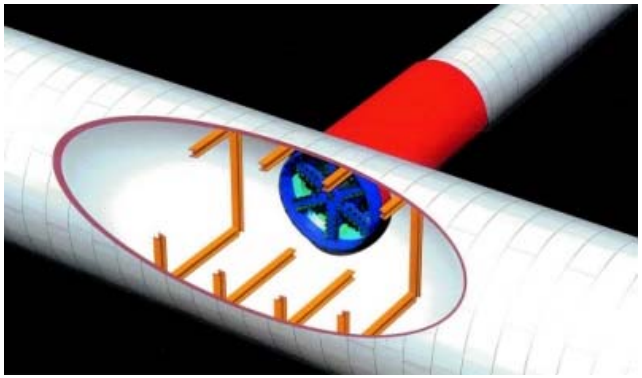


© 2019 Hitachi Zosen Corporation

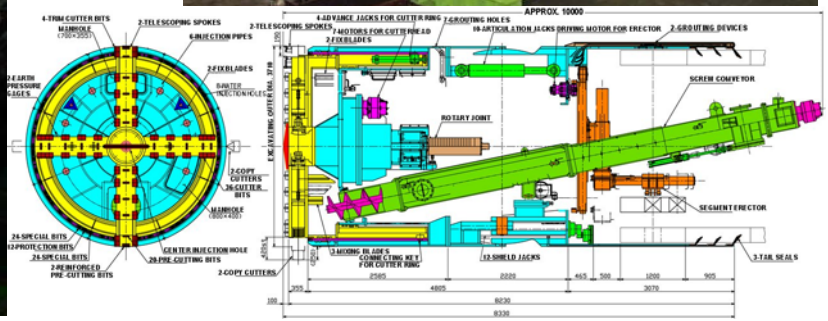
3.9(1) 側面接合シールド

Hitz
Hitachi Zosen

T-BOSS(T-type basement Branch Off Shield System)工法

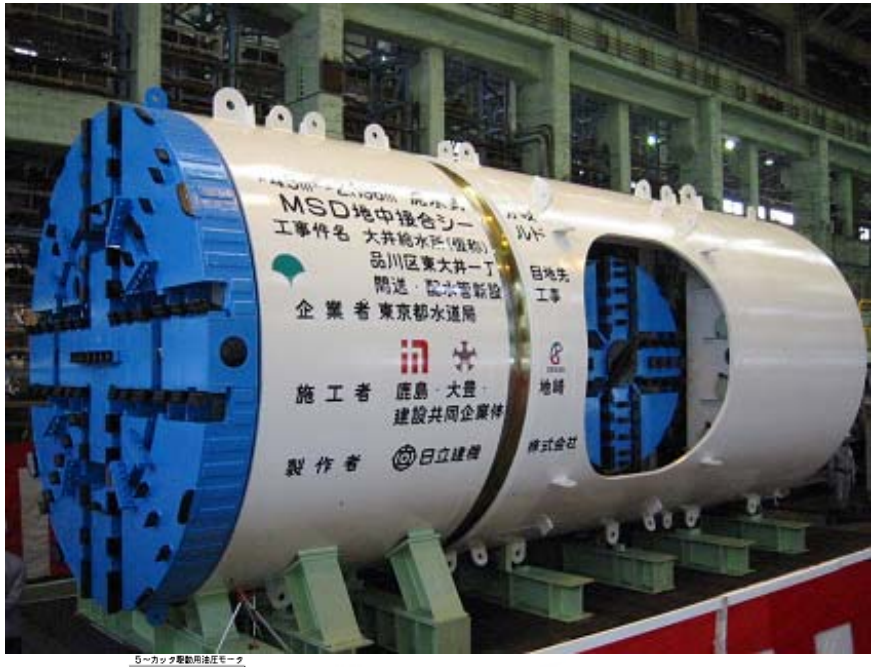


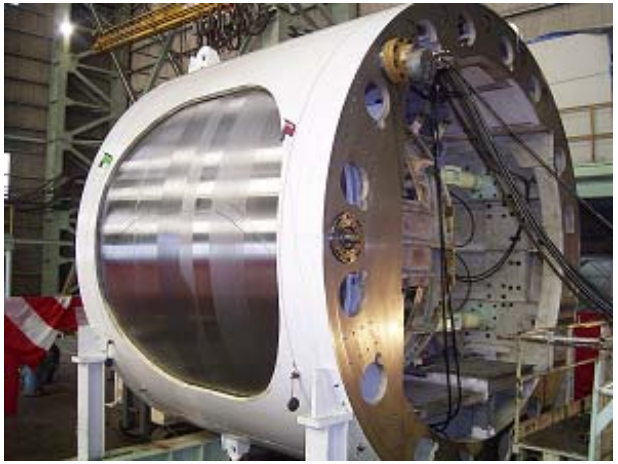
2007年



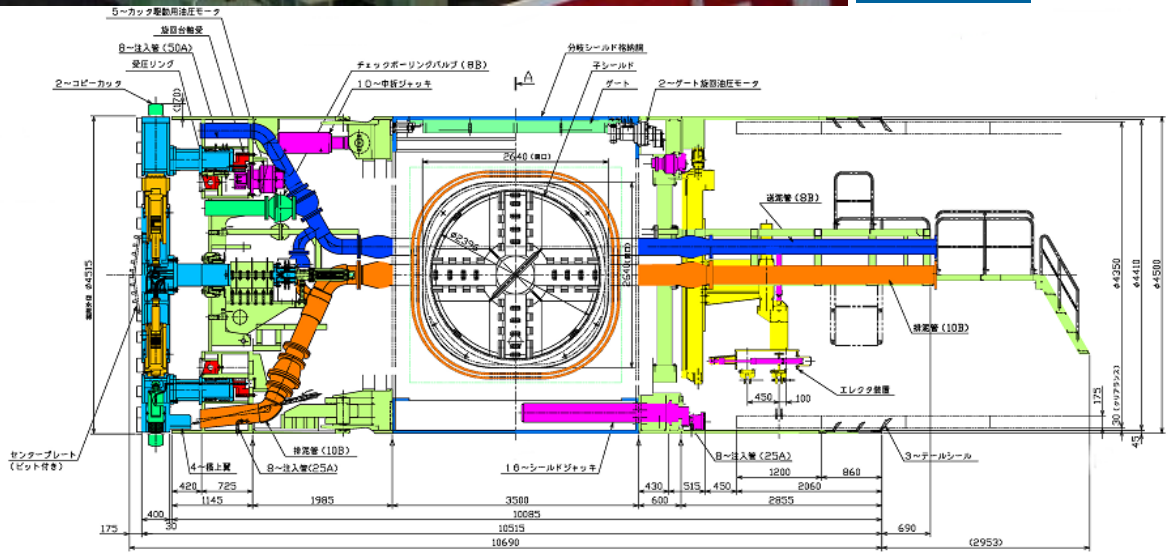
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.10(1) 分岐シールド





2003年



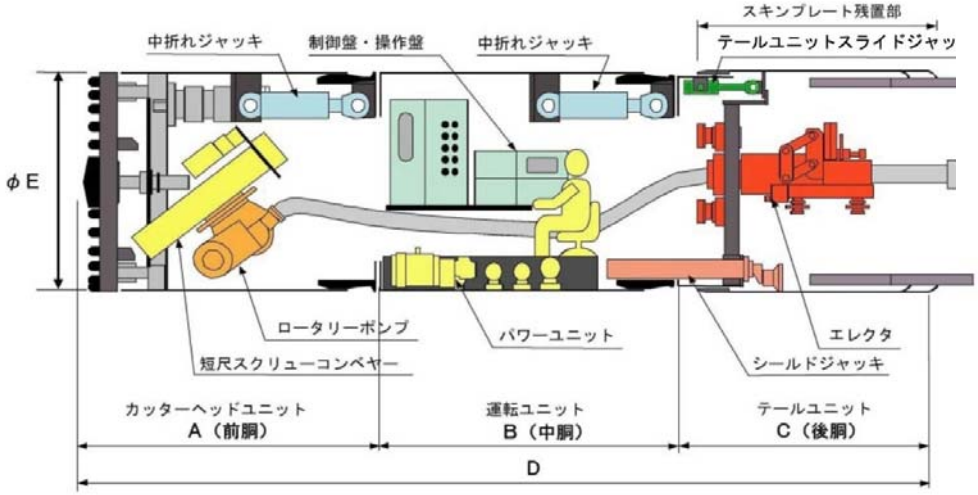
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

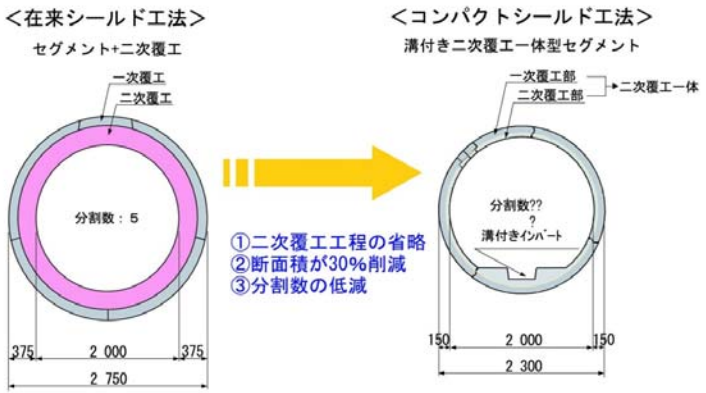
3.11 コンパクトシールド

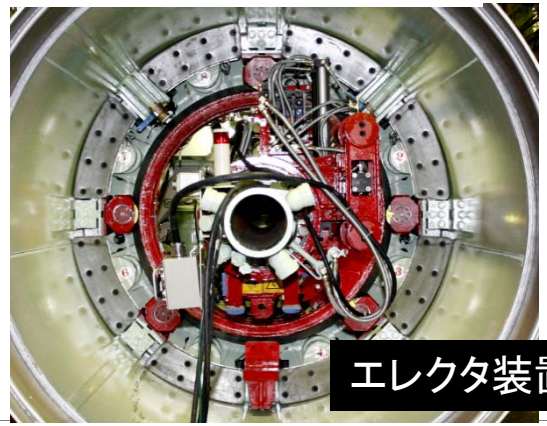
二次覆工省略、4分割3ヒンジ構造セグメント
(掘削断面縮小、組立時間短縮、工程省略)

シールド機を3節に分割･ユニット化
後方台車設備をマシン内に内蔵
（初期掘進を省略、立坑長短縮、転用性向上）

無操舵走行タイヤ式の搬送システム
（レール･枕木などの軌条設備が不要）



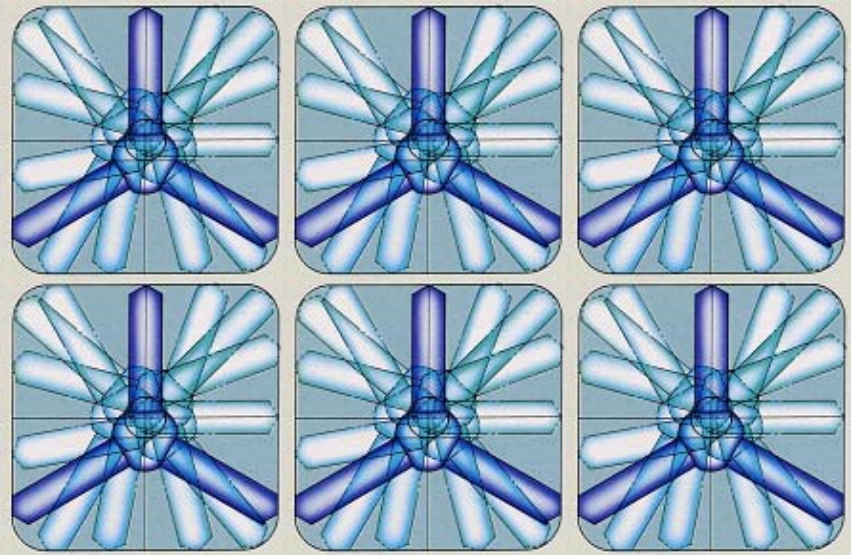


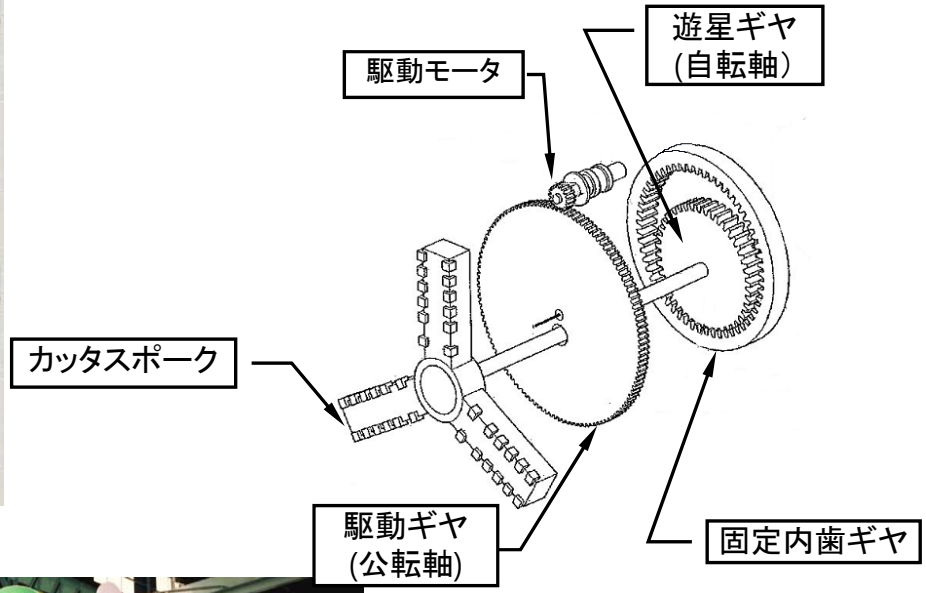


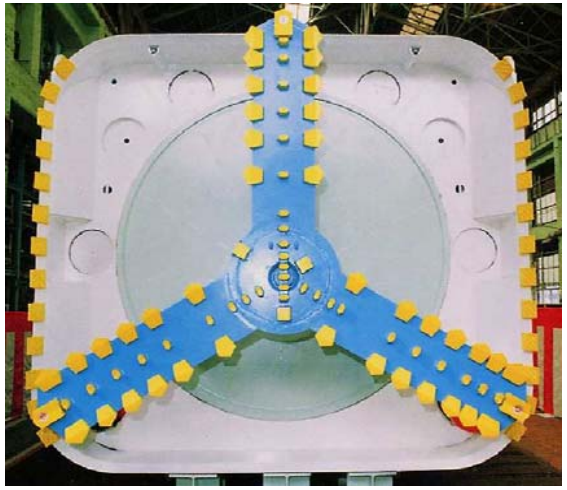
エレクタ装置

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

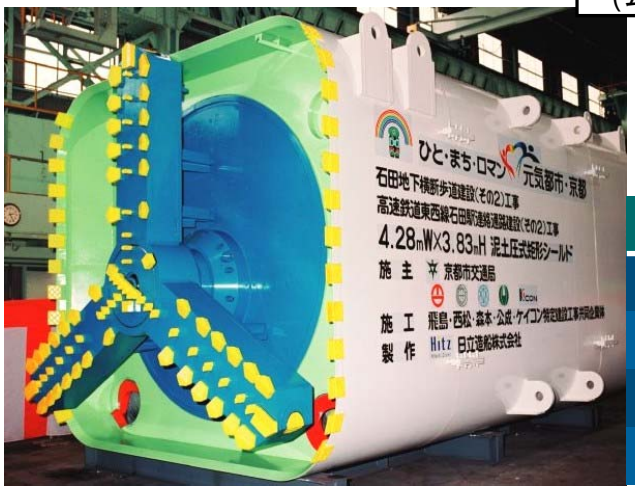
3.12(1) 矩形シールド OHM工法(Omni-sectional Hedge tunneling Method)







1997年



製作実績
1 4.28×3.83m 泥土圧(工事完了)
2 4.28×3.83m 泥土圧(工事完了)
3 4.8×2.15m(2連) 泥土圧(工事完了)
4 3.88×3.83m 泥土圧(工事完了)

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

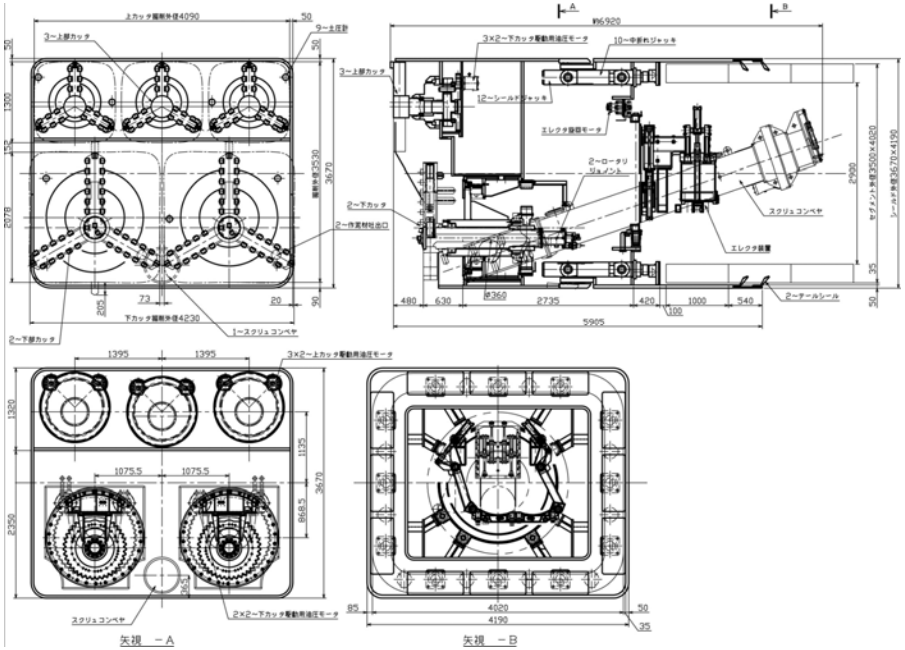
3.12(3) 矩形シールド OHM工法(Omni-sectional Hedge tunneling Method)

Hitz
Hitachi Zosen

URUPアンダーパスシールド機

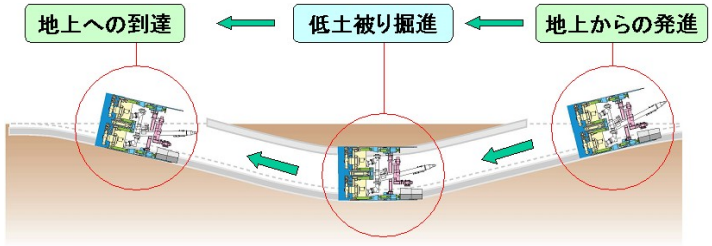
2004年

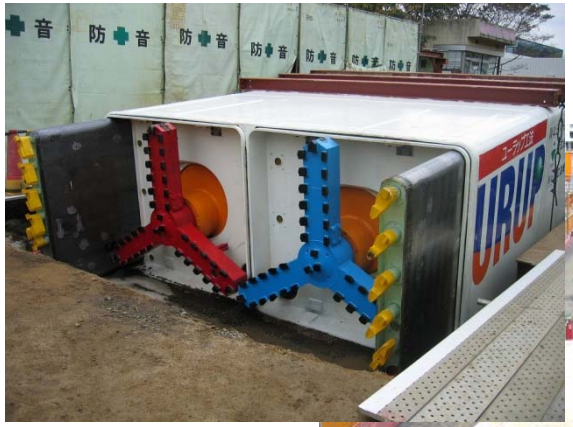
H16年度実験機



© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.12(8) 矩形シールド OHM工法 (URUP･2連実験機)





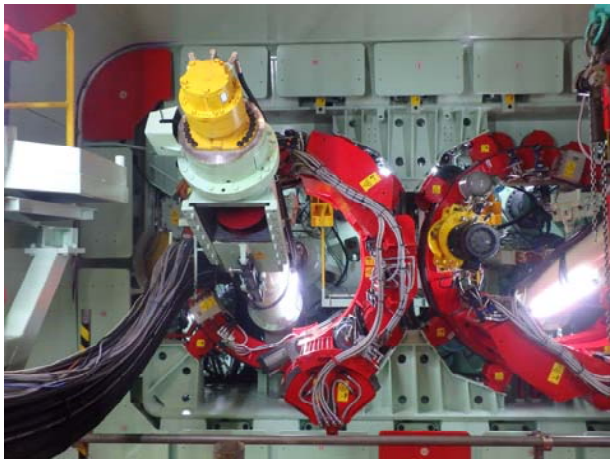
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.13(1) 矩形シールド 伸縮スポーク軌跡制御・2連カッタ同調制御

Hitz
Hitachi Zosen

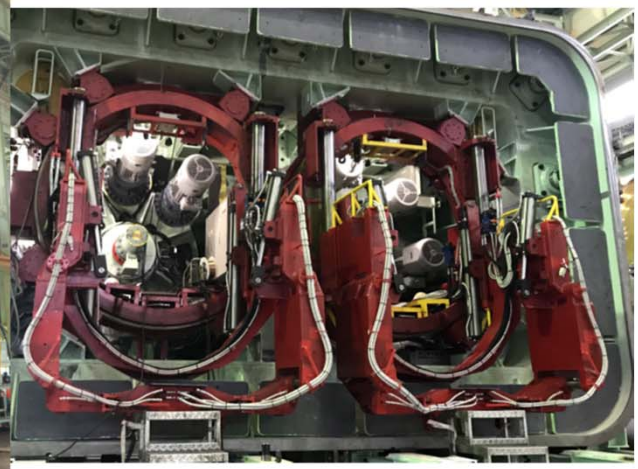
W7.29m×H4.69m
泥土圧矩形シールド

2016年



W7.92m×H5.02m
泥土圧矩形シールド

2018年



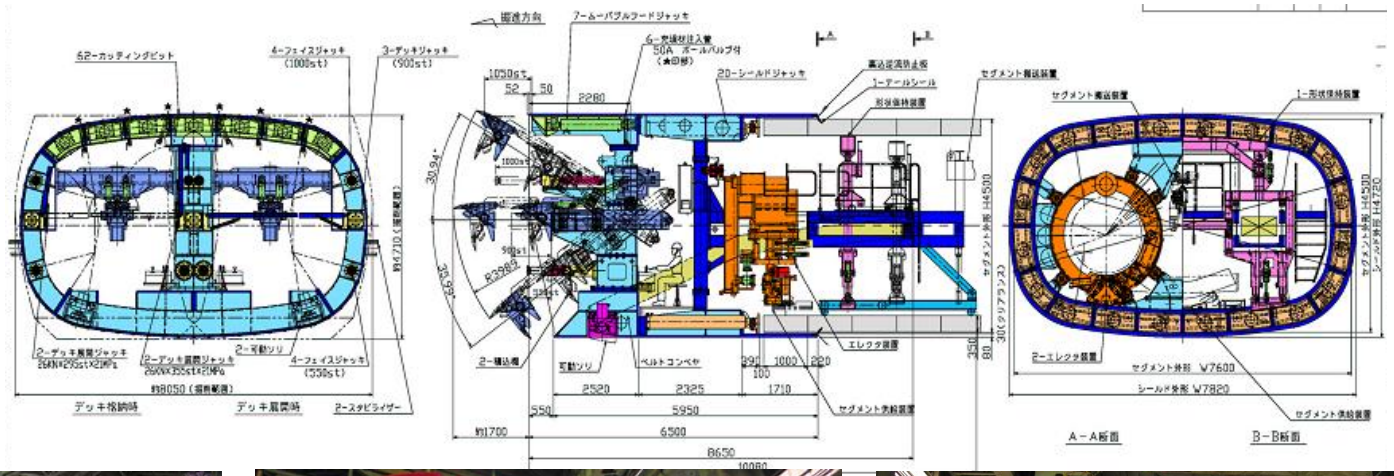
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

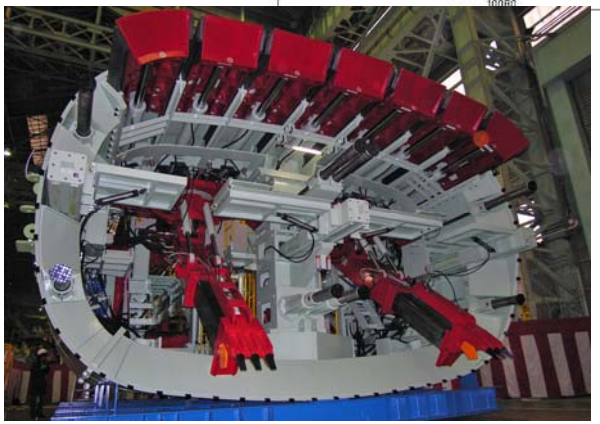
3.14(1) 矩形(扁平円形)シールド 開放半機械

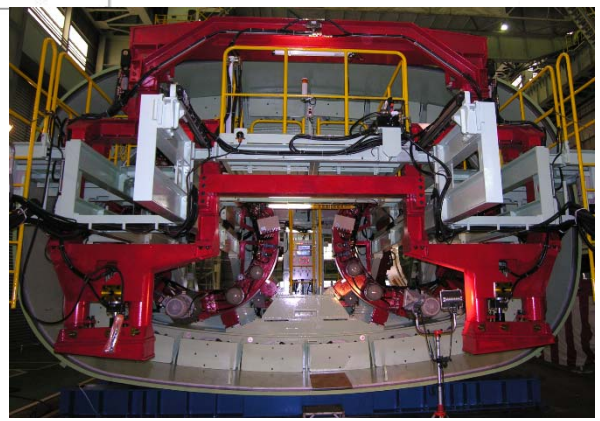
Hitz
Hitachi Zosen

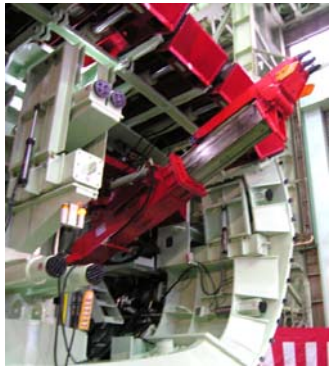
W7.82m×4.72m
半機械式シールド

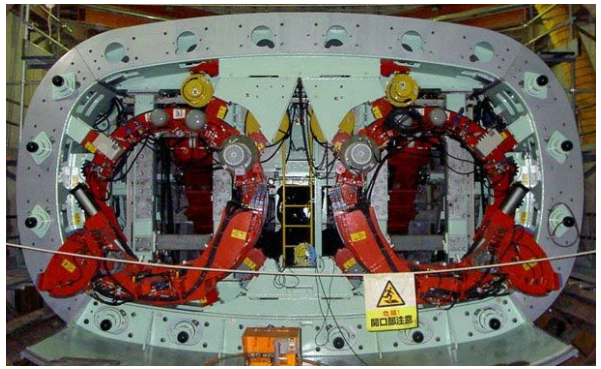
2007年





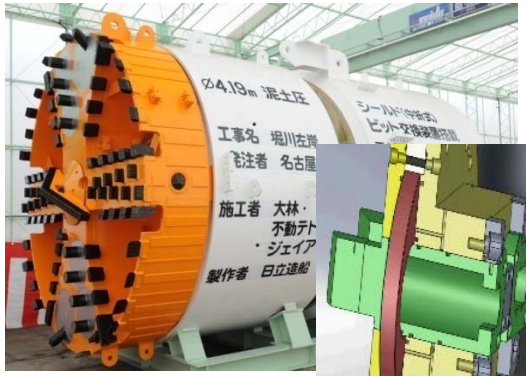




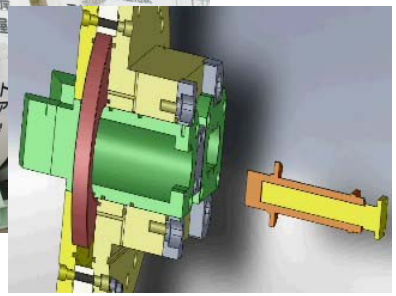


© 2019 Hitachi Zosen Corporation

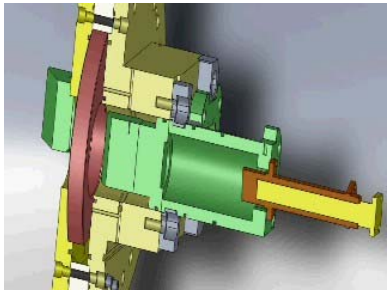
3.15(1) ビット交換装置(リレー式・中口径～大口径)

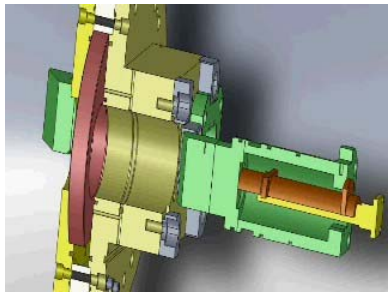


2011年

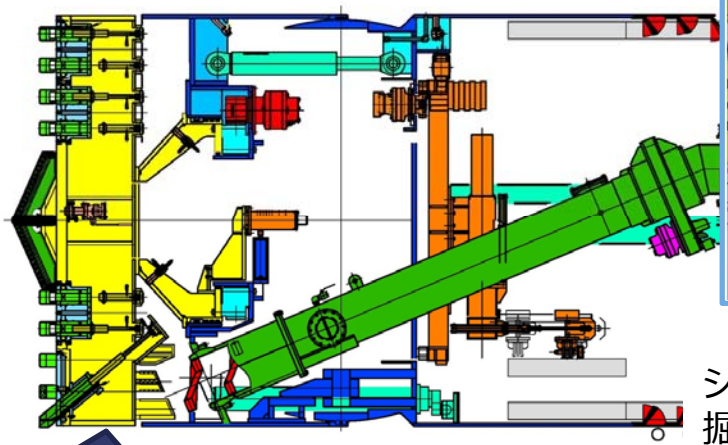


回転シャッター式

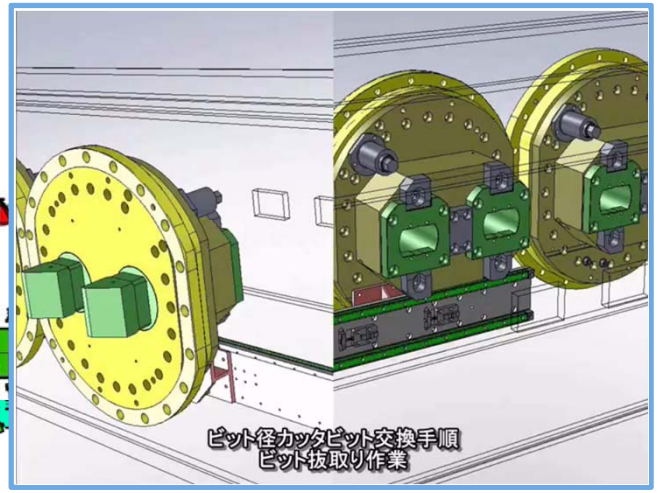




ビット交換装置



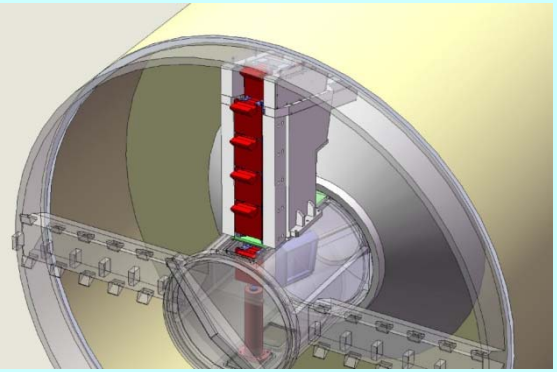
カッタヘッド



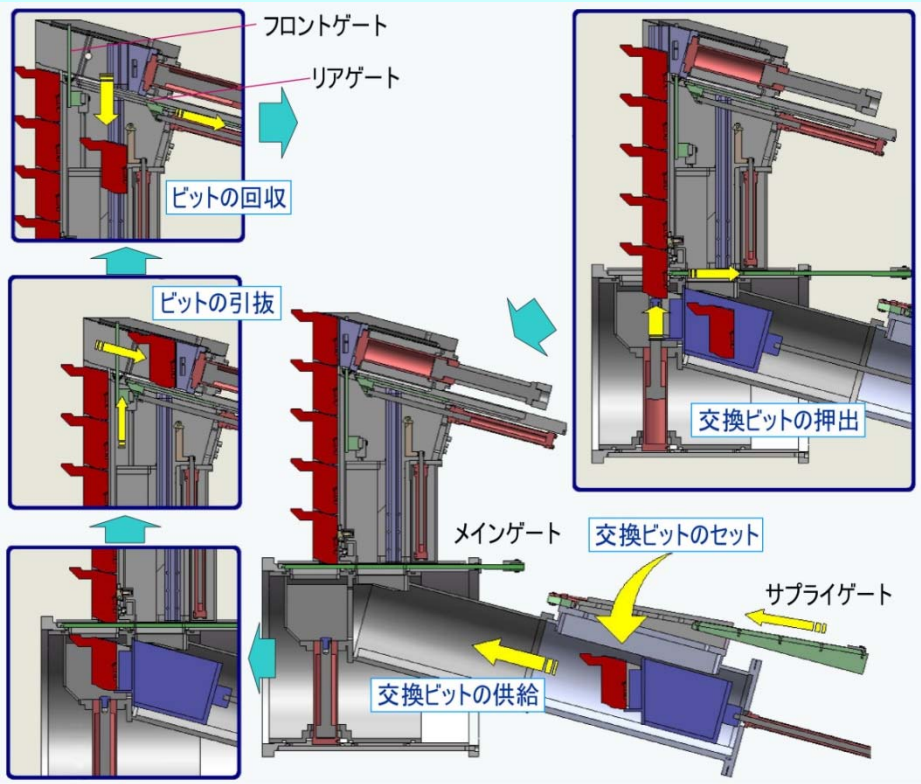
シールド外径：Φ4.19m
掘進距離：4087m
対象土質：シルト、細砂、砂礫
土水圧：最大 0.35MPa

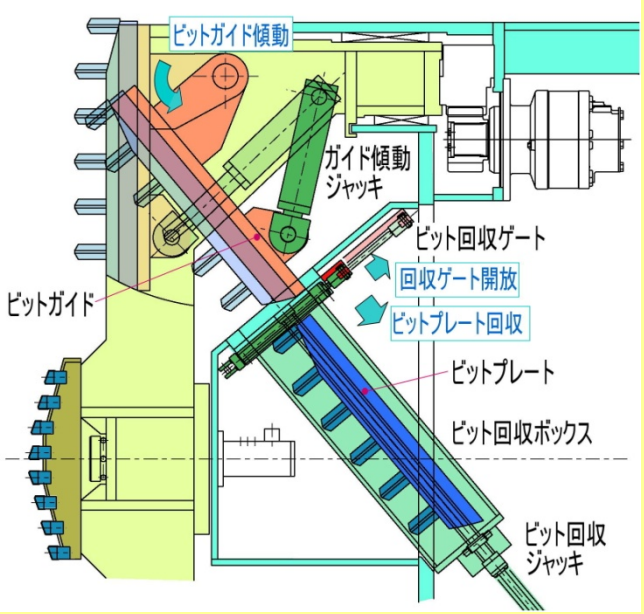
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.15(2) ビット交換装置(小口径～中口径)

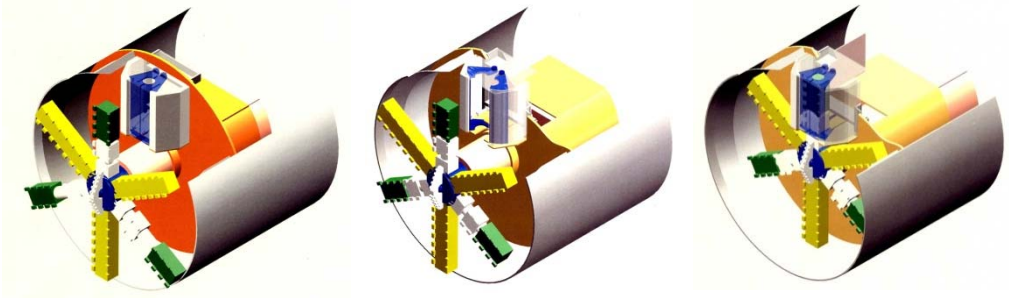


押出式ビット交換装置





ビットプレート引抜簡易式交換装置



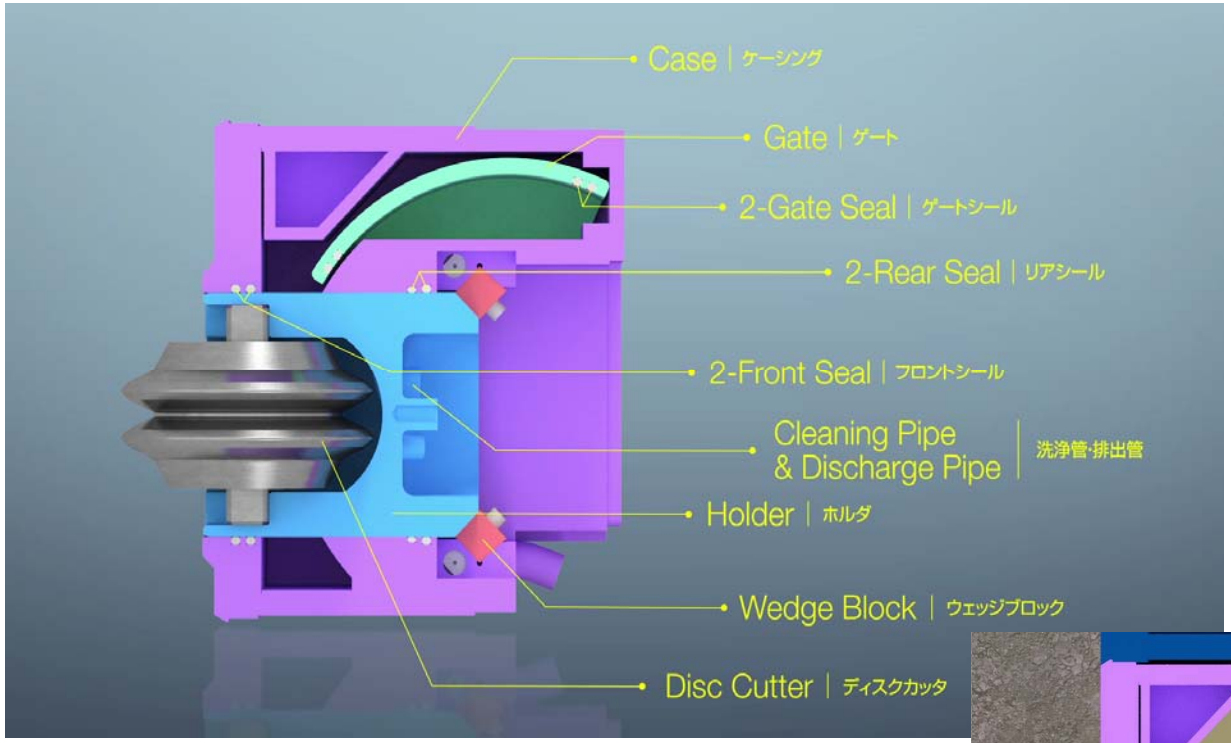
掘削時　円筒ゲート式交換装置　格納時

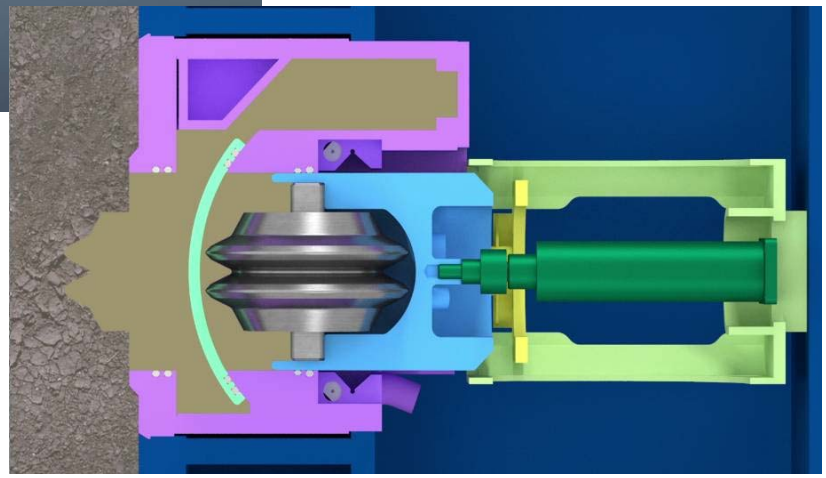
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.15(3) ビット交換装置（リレー式・円弧ゲート、ディスクカッタ対応）

Hitz
Hitachi Zosen

円弧ゲート式



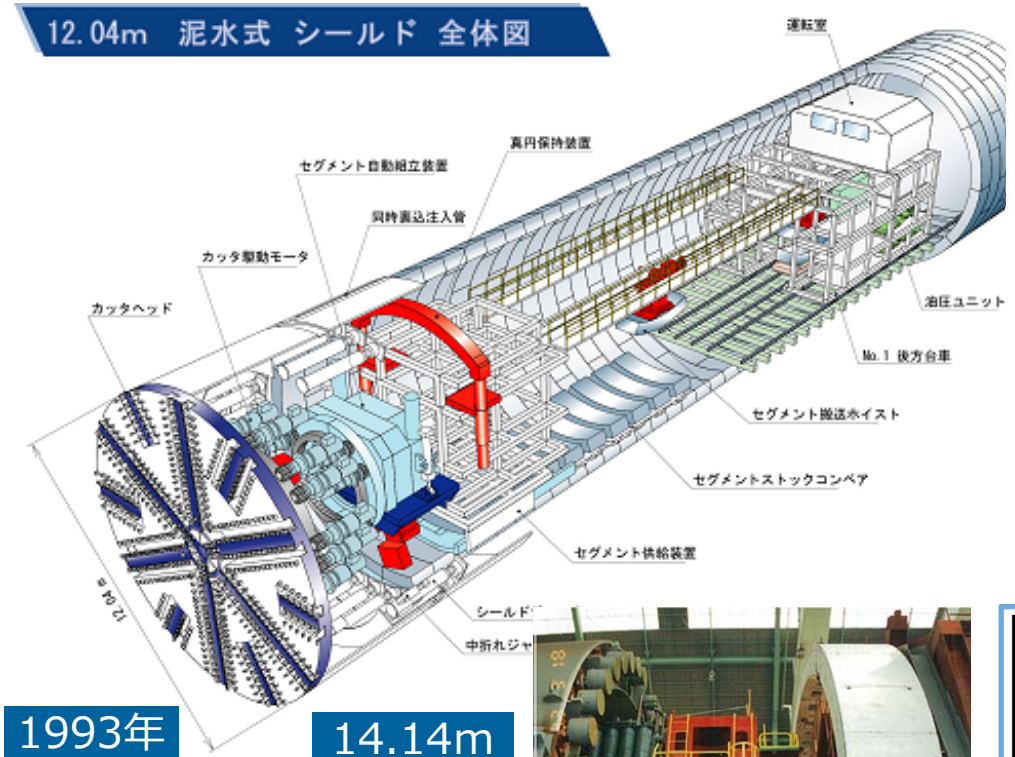


© 2019 Hitachi Zosen Corporation

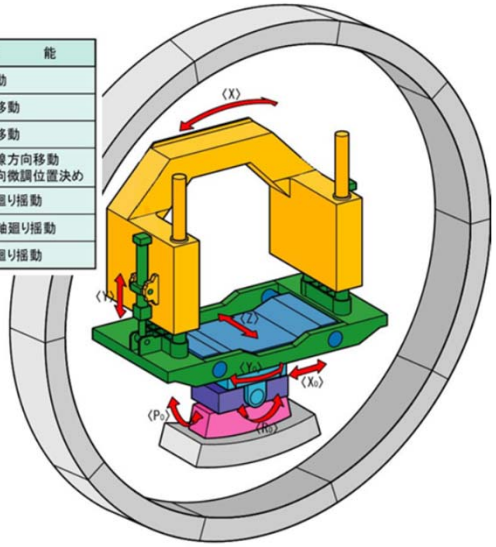
3.16(1) セグメント自動組立装置

Hitz
Hitachi Zosen

12.04m 泥水式 シールド 全体図

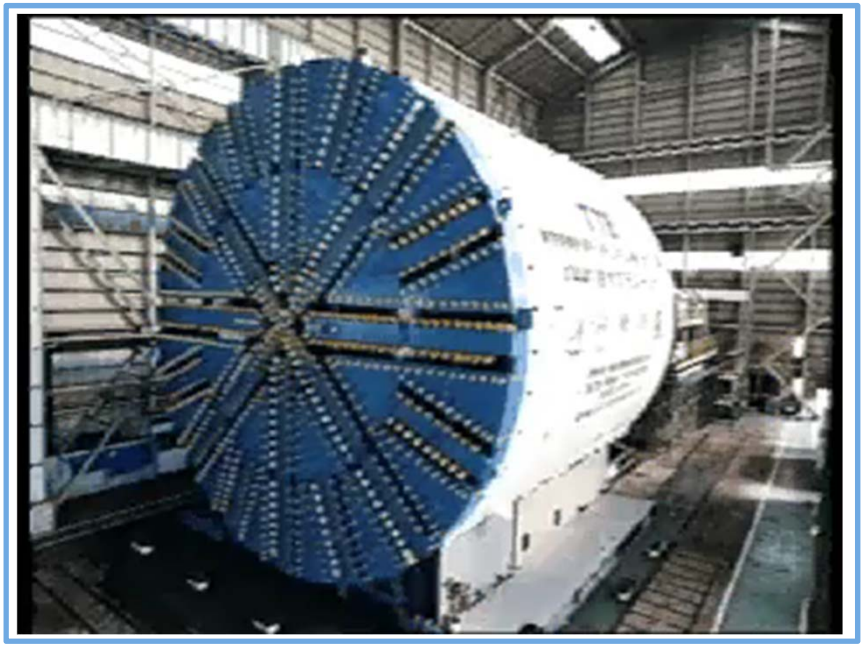


名 称	記号	制 御 方 法	機 能
旋回軸	X	ACベクトルインバータ	旋回移動
伸縮軸	Y	油圧サーボ	径方向移動
スライド軸	Z	油圧サーボ	軸方向移動
旋回微調軸	Xo	油圧サーボ	旋回接線方向移動 旋回方向微調位置決め
ヨーイング軸	Yo	油圧サーボ	伸縮軸廻り揺動
ローリング軸	Ro	油圧サーボ	スライド軸廻り揺動
ピッチング軸	Po	油圧サーボ	旋回軸廻り揺動



1993年

14.14m



© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.16(6) セグメント自動組立装置(実績)

Hitz
Hitachi Zosen

施主		東京湾横断道路	川崎市下水道局	建設省	建設省
工事名		川崎 T 浮島北	渋川貯留管	大津放水路	外郭放水路
施行者		熊谷組 JV	大成建設 JV	清水建設 JV	大林組 JV
シールド外径(mm)		14,140	12,340	12,640	12,04
シールド機種		泥水式	泥水式	泥水式	泥水式
セグメント	外　径 (mm)	13,900	12,100	12,400	11,800
	内　径 (mm)	12,600	11,000	11,300	10,600
	材　質	RC	RC	RC	RC
	キーセグメント	軸方向挿入式	軸方向挿入式	軸方向挿入式	軸方向挿入式
	継手タイプ	長ボルト (M36)	短ボルト (M27)	長ボルト (M27)	ﾋﾟｰｽ間：水平ｺｯﾀｰ(2 列) ﾘﾝｸﾞ間：ホゾ継手 (ﾌﾟｯｼｭｸﾞﾘｯﾌﾟ併用)
	分　割　数	11	10	10	9
	最大ピース重量 (kg)	10,000	6,800	6,000	7,600
自動組立施工延長 (m)		2,800 m 掘進完了	1,700 m 掘進完了	1,115m	1,396m
自動組立最小カーブ半径(m)		1,800	600	500	250
自動化の範囲	ｾｸﾞﾒﾝﾄ搬送	半自動 (1R ｽﾄｯｸ)	半自動 (1R ｽﾄｯｸ)	全自動 (1R ｽﾄｯｸ)	全自動 (1R ｽﾄｯｸ)
	ｾｸﾞﾒﾝﾄ供給・把持	全自動	全自動	全自動	全自動
	粗位置決め	全自動	全自動	全自動	全自動
	精位置決め	全自動	全自動	全自動	全自動
	締結資材供給	全自動	全自動	全自動	全自動
組立時間	1R 組立計画時間	82.5 分/R (1 ﾋﾟｰｽ 7.5 分)	42 分 (1 ﾋﾟｰｽ 4.2 分)	53 分 (1 ﾋﾟｰｽ 5.3 分)	57 分 (1 ﾋﾟｰｽ 6.3 分)
	実　績	80 ～ 90 分/R	45～50 分/R 最短 43 分	工場立会：63 分	60～70 分/R 最短 59 分

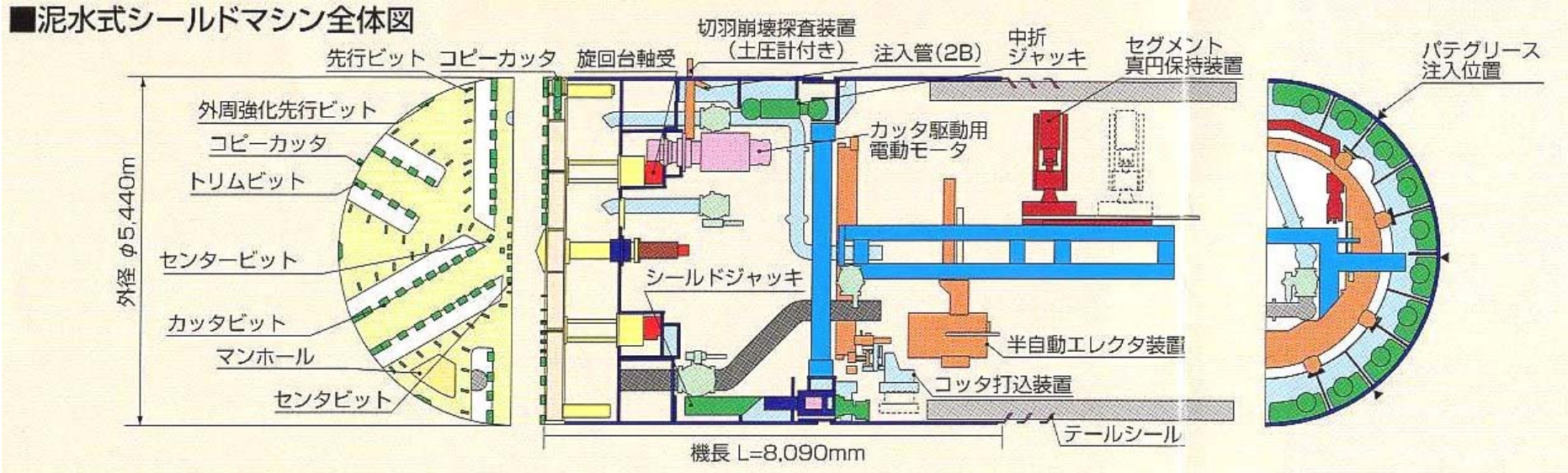
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

3.17 セグメント締結装置

Hitz
Hitachi Zosen

半自動エレクタ装置

手動操作締結具打込装置搭載



© 2019 Hitachi Zosen Corporation

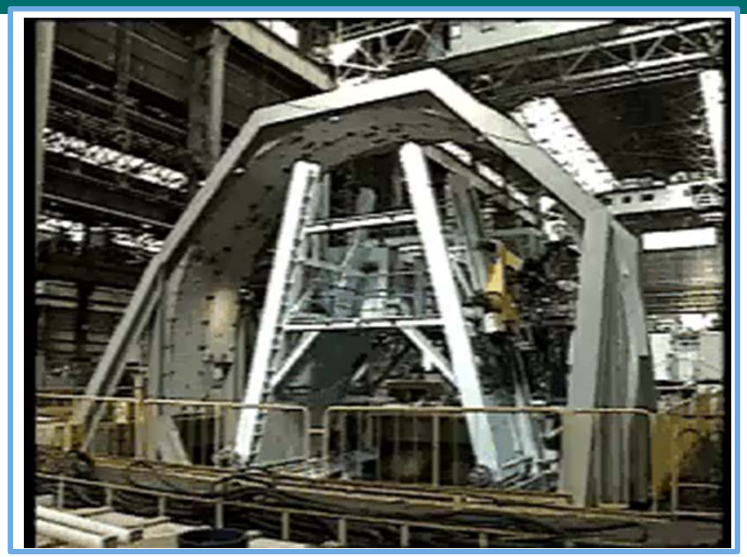
3.18 セグメント増締装置

Hitz
Hitachi Zosen

全自動増締ロボット

遠隔操作増締装置

多間接アームロボット
超音波センサー、画像処理によって、自動位置決め

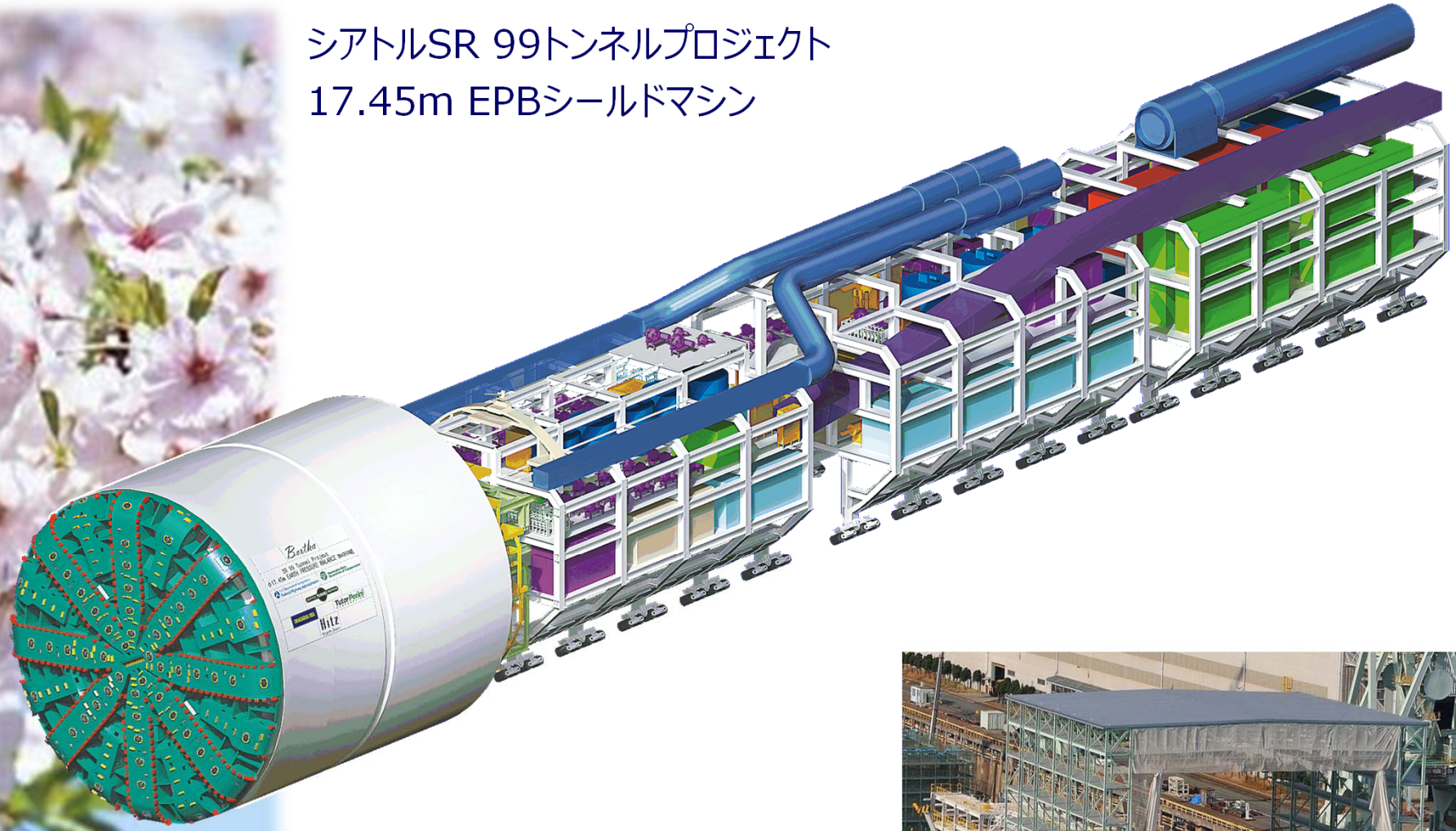


オペレータによるカメラ画像による遠隔操作

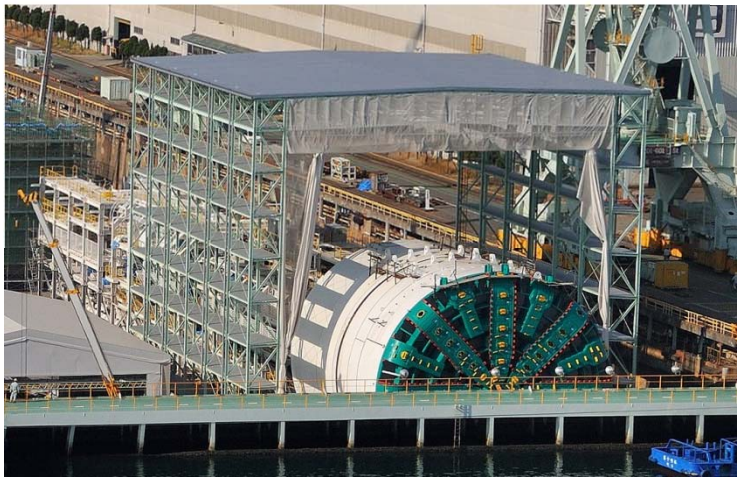
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4．世界最大のシールド（シアトルＳＲ99　Φ17.45m EPB）

シアトルSR 99トンネルプロジェクト
17.45m EPBシールドマシン



現在の世界最大のシールド：
17.6m泥水(エアチャンバータイプ)シールド
(Herrenknecht製)
香港海底道路トンネル用で、アプローチ部650mの掘削用とし使用され、その後5kmを掘削する14mマシンに換装された。



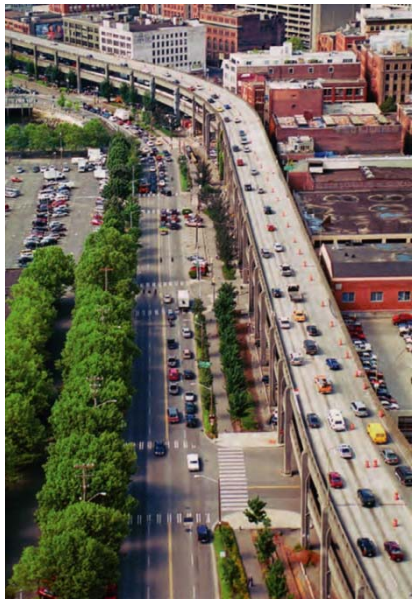
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.1 PROJECT OUTLINE 工事概要

Hitz
Hitachi Zosen

Project Name : SR 99 Tunnel Project
Project Location : Seattle, Washington State
Owner : Washington State Department of Transportation (WSDOT)
Contractor : Seattle Tunnel Partners (Dragados USA, Tutor Perini JV)

工事名：州道SR 99 トンネル工事
工事場所：米国ワシントン州シアトル市内
施主：ワシントン州交通局 / WSDOT
施工：シアトル トンネル パートナーズ (Dragados USA, Tutor Perini JV)

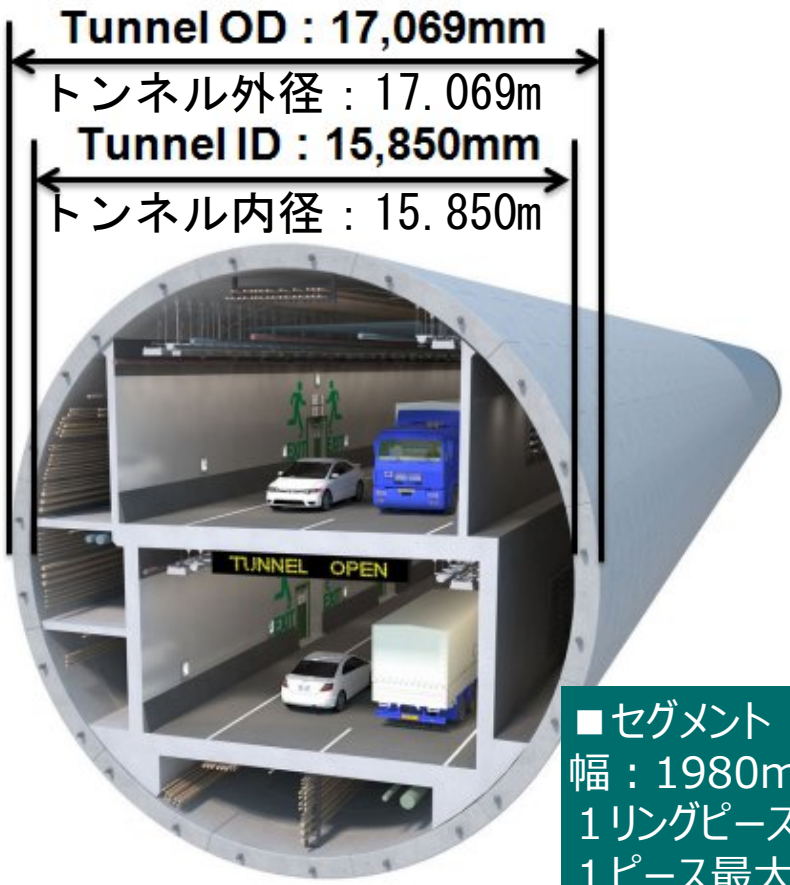


© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.2 TUNNEL OUTLINE トンネル概要

- Tunnel Length:2,856m
- Minimum curve radius:1,800m
- Gradient:-4%～+4%
- Max.overburden:65.2m

■トンネル長さ：2,856m
■最小曲線：1,800m
■勾配 ： -4%～+4%
■最大土被り：65.2m



■セグメント
幅：1980mm(6.5′)
1リングピース数：10
1ピース最大質量：17ton

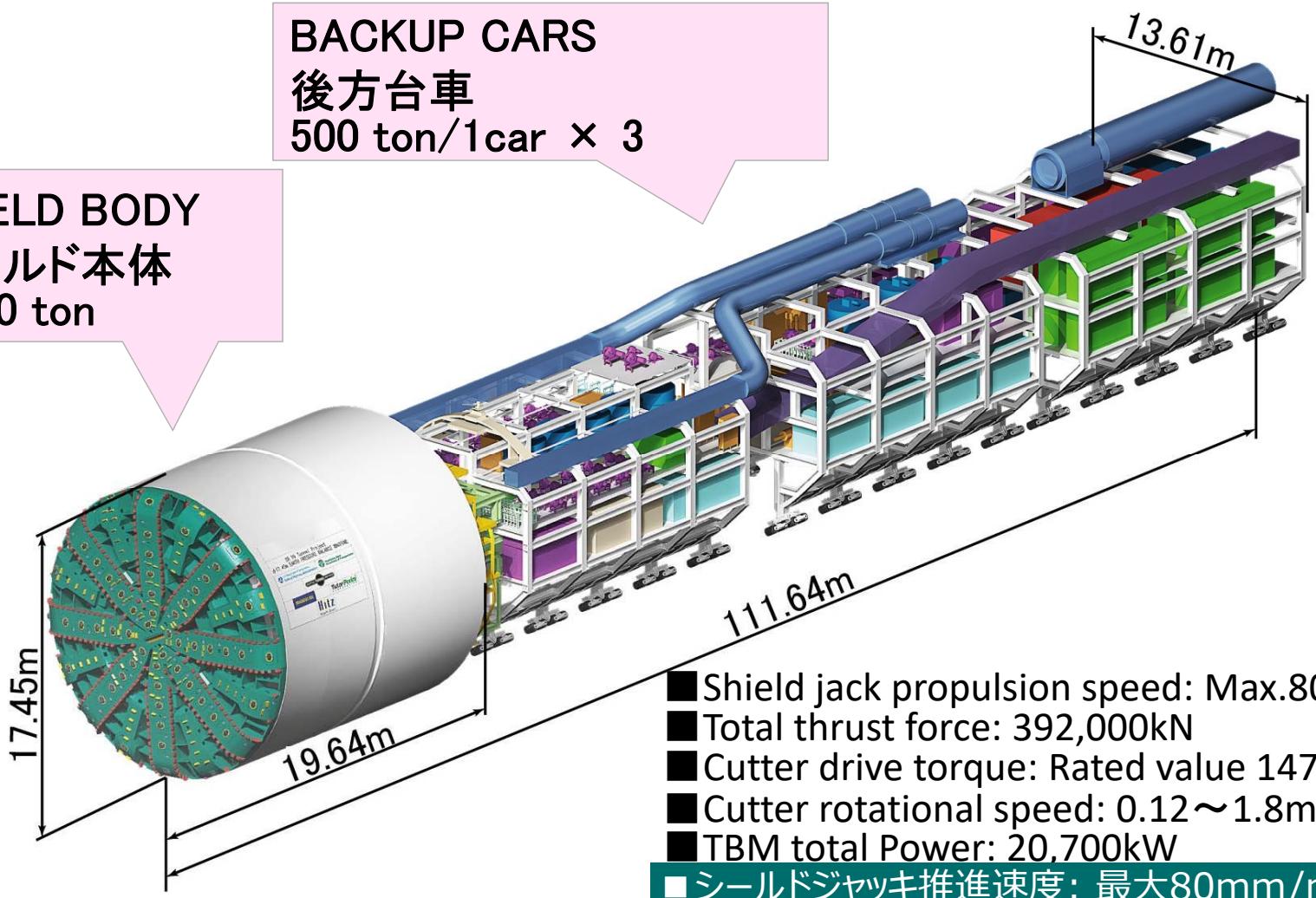
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.3 TBM OUTLINE マシン概要

Hitz
Hitachi Zosen

BACKUP CARS
後方台車
500 ton/1car × 3

SHIELD BODY
シールド本体
5,350 ton

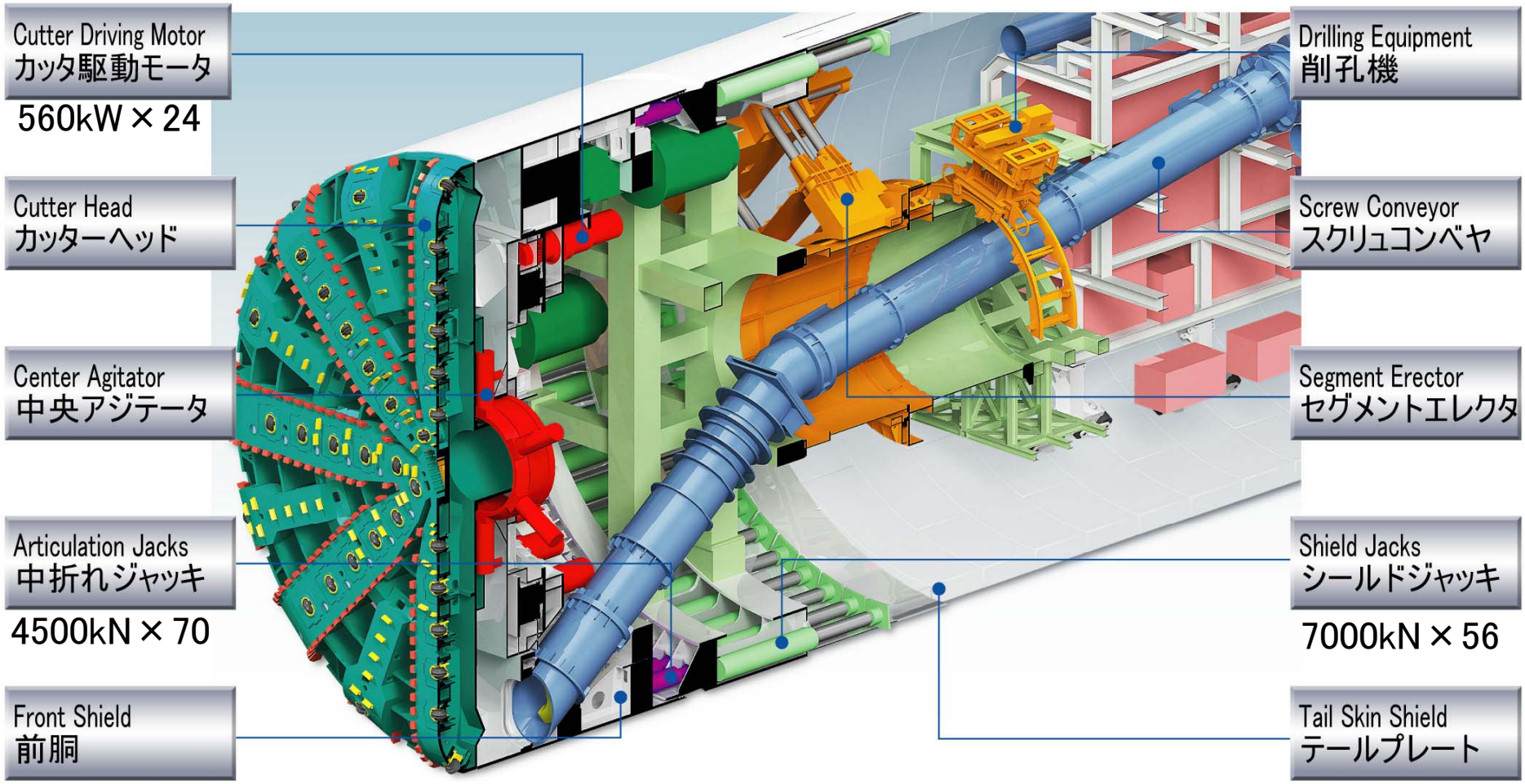


- Shield jack propulsion speed: Max.80mm/min
- Total thrust force: 392,000kN
- Cutter drive torque: Rated value 147,400kN-m
- Cutter rotational speed: 0.12～1.8min^{-1}
- TBM total Power: 20,700kW

- シールドジャッキ推進速度: 最大80mm/min
- 総推力: 392,000kN(単位面積推力:1639kN/m2)
- カッター駆動トルク: 定格 147,400kN-m
- カッター回転数: 0.12～1.8min^{-1}
- TBM総動力:20,700kW

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

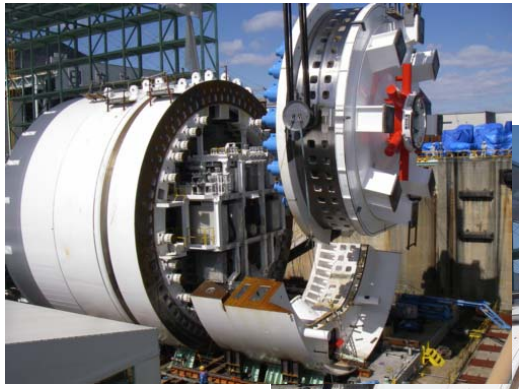
4.4 TBM MAIN COMPONENTS 主要機器

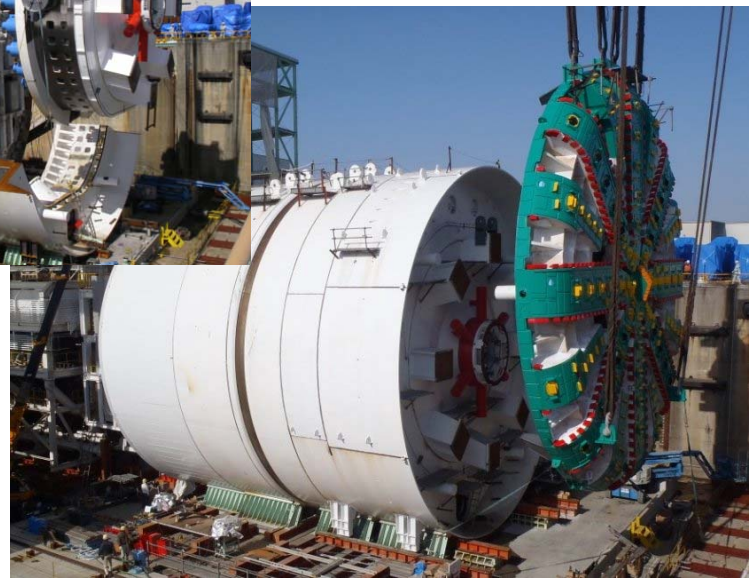


© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.5 LARGE BLOCK ASSEMBLY 大組立状況

FLOATING CRANE
フローチングクレーン
3700ton



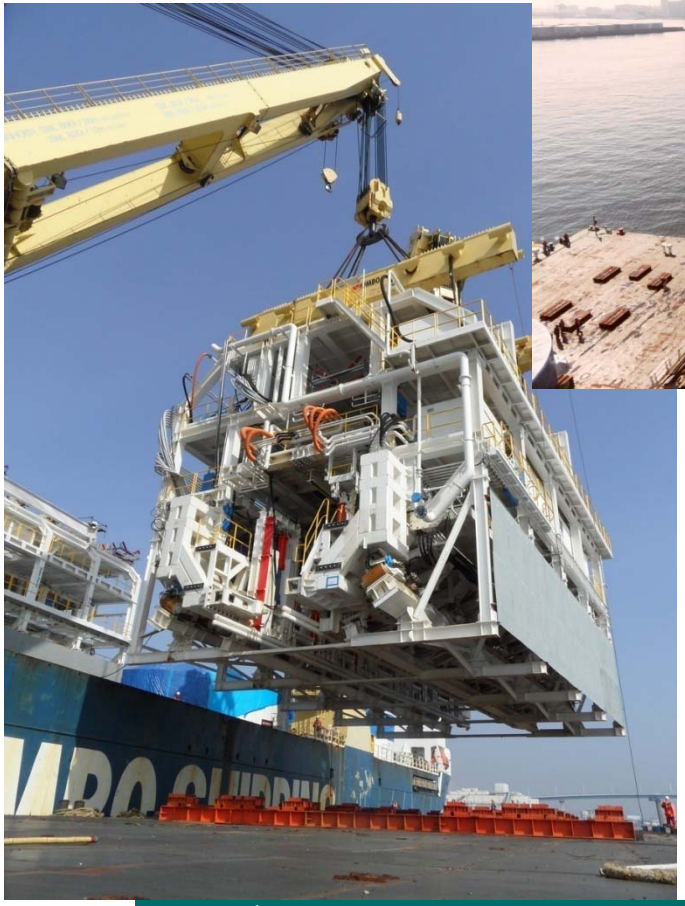


© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.7 COMPLETION OF FACTORY ASSEMBLY 工場完成

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.8(1) OCEAN TRANSPORT 海上輸送



最大ブロック：900ton
ブロック：約30ブロック

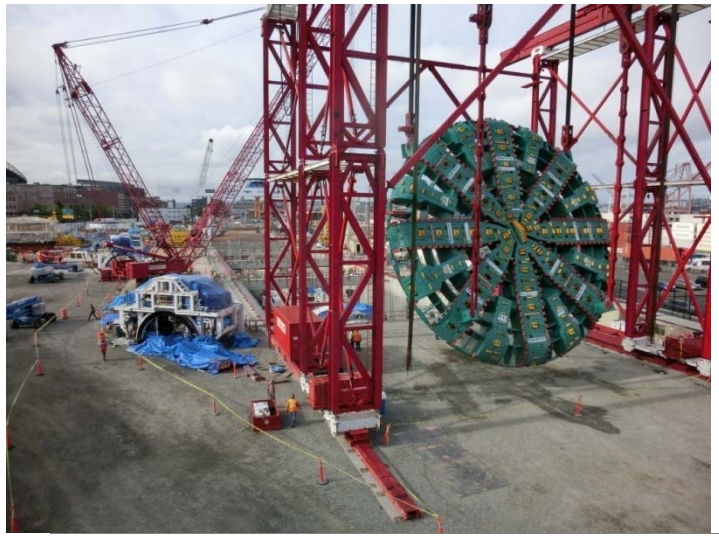
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.9(2) SITE TRANSPORT 現地輸送

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.10 SITE ASSEMBLY 現地組立

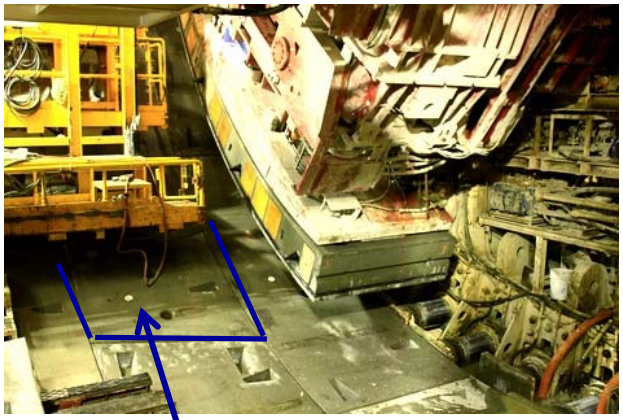
Modular Lift Tower (MLT)
850ton×2+650ton×2



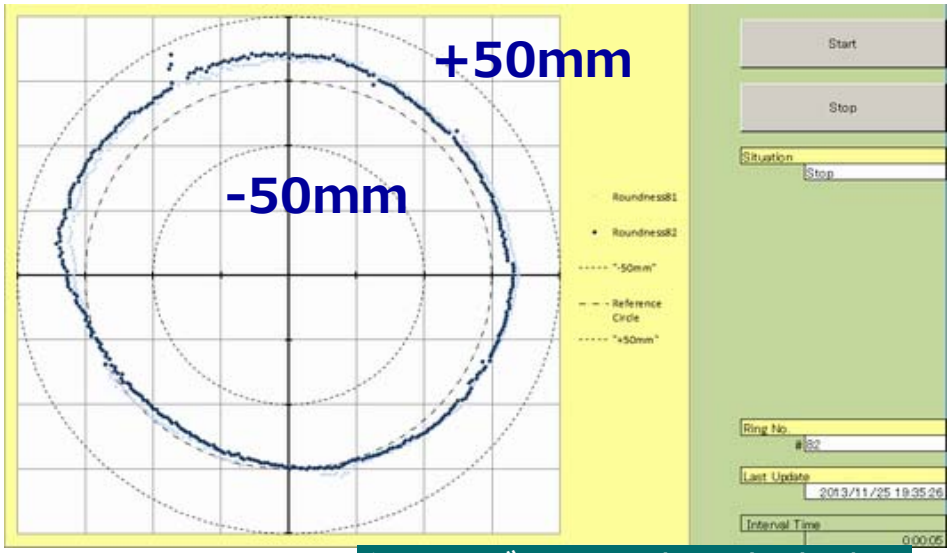
© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.12 SEGMENT ERECTION SYSTEM セグメント組立システム

Hitz
Hitachi Zosen



キーセグメント
キーの位置を変えて線形を保つ

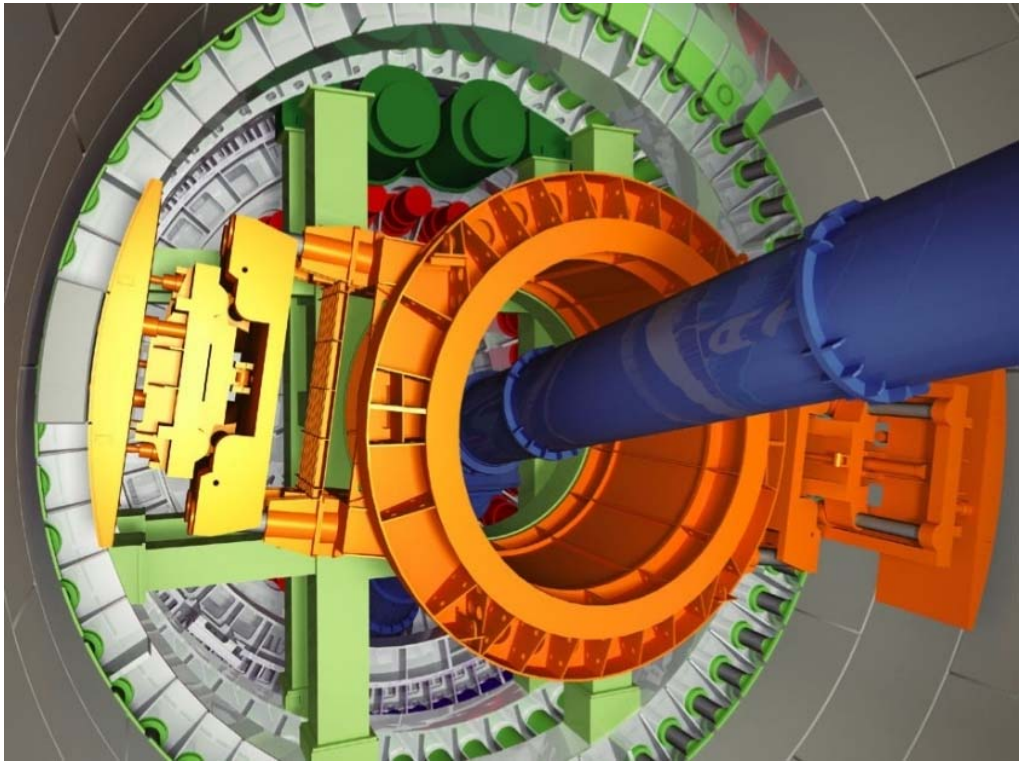


組立セグメントの真円度計測

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.13 ERECTOR エレクタ装置

Hitz
Hitachi Zosen

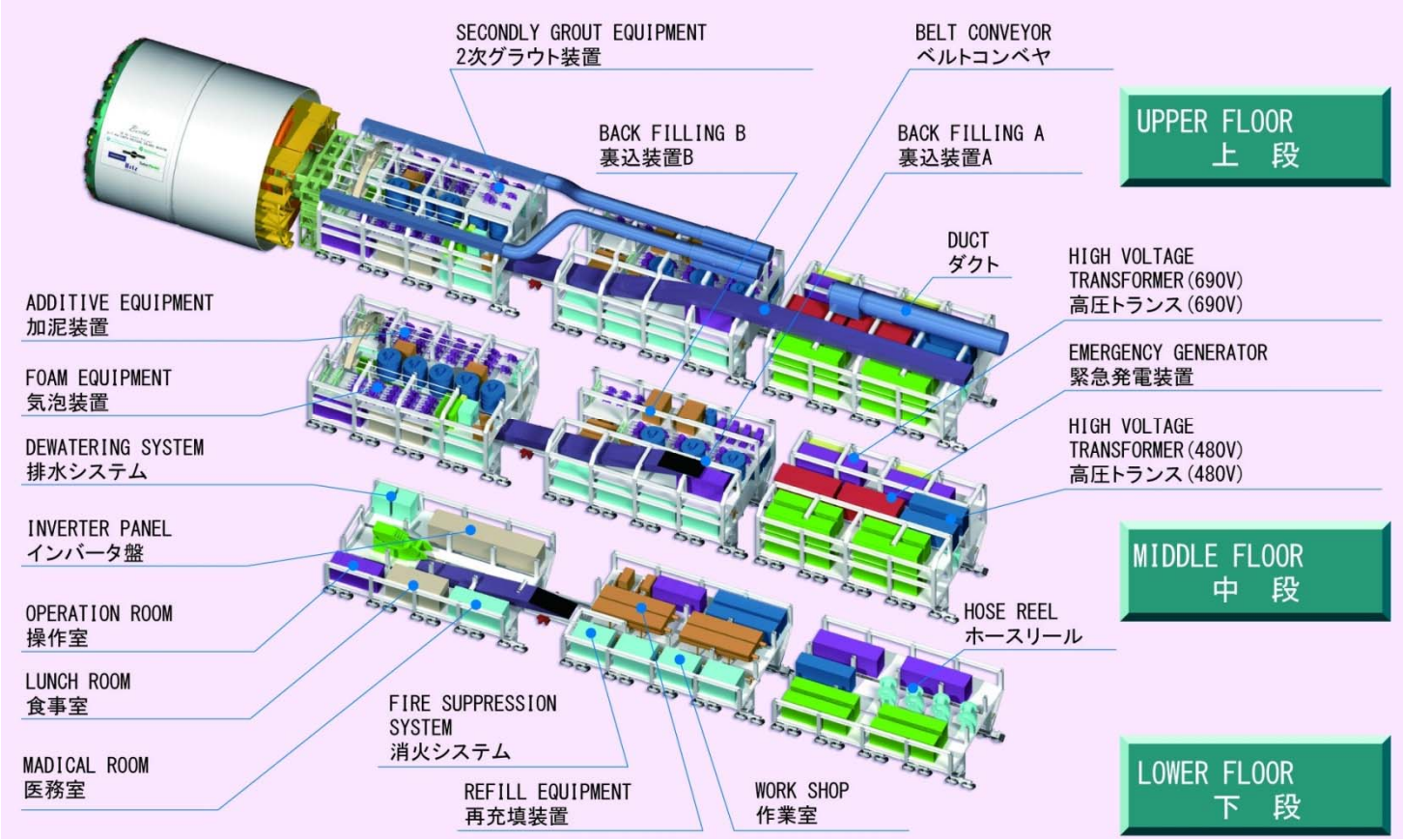


ダブルアーム
半自動位置決め

実寸大、実重量のセグメントを使用して
工場にて作動テスト実施

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.20 BACK UP CARS 後方台車



© 2019 Hitachi Zosen Corporation

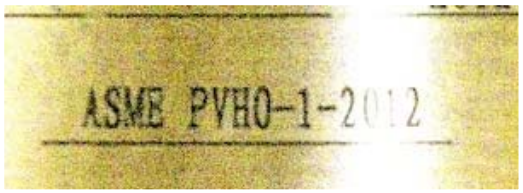
4.21 HYPERBARIC EQUIPMENT 圧気設備

Hitz
Hitachi Zosen

マンロック

救急搬送用シャトル

人身収容圧力容器
圧力：７bar
２室　６人収容
<ASME PVHO 適用>



© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.22 OPERATON 運転、施工

運転室

立坑クレーン

坑内測量

坑内搬送車両

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

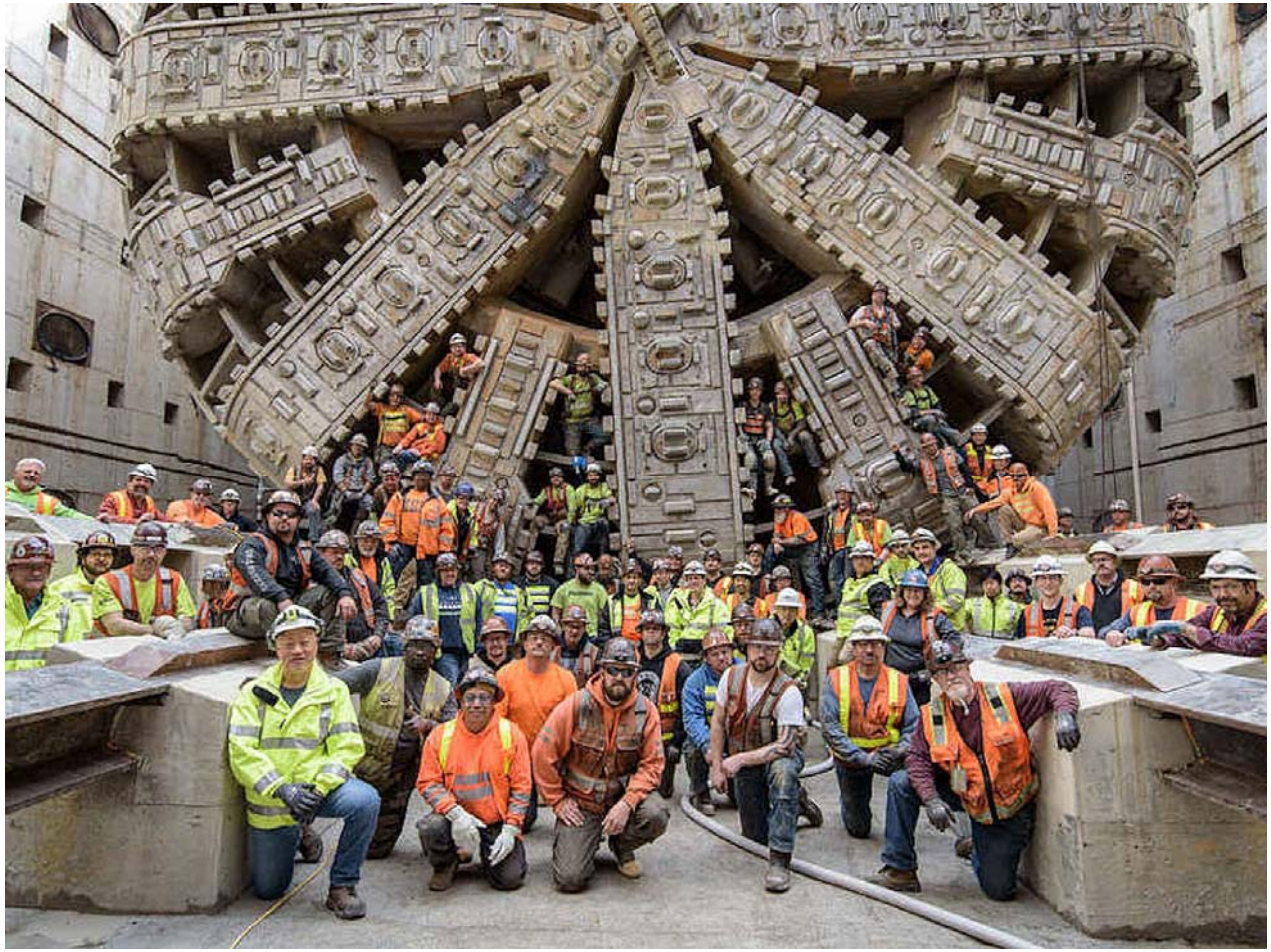
4.24 PRODUCTION RESULTS 稼働実績

Hitz
Hitachi Zosen

項目	実績
掘削距離	2,856m
掘削ボリューム（m^3/ring） ※ 泥土圧はふけ率1.3を見込む	624m^3/ring
稼働月数	22か月 (修理期間除く)
平均月進(m/月)	130m (75ring)
最大月進(m/月)	294m/月 (147ring)
最大週進(m/週)	90m (45ring)
最大日進(m/日)	27.8m (14ring)
シフト	2 シフト/日 土日はメンテナンス
現場からの排土処理方法 排土輸送量 （排土の状態によって増減有）	土砂ピット+バージ輸送 8ring/日 （5000m^3/日）

© 2019 Hitachi Zosen Corporation

4.28(1) Completion of project トンネル完成



© 2019 Hitachi Zosen Corporation

地球と人のための技術をこれからも

日立造船はつないでいきます。かけがえのない自然と私たちの未来を。

Hitz
Hitachi Zosen
日立造船株式会社 http://www.hitachizosen.co.jp/