

土木学会平成29年度全国大会  
研究討論会 研-22 資料

## 都市機能のリノベーションと トンネル技術の応用

座 長	清水 満	東日本旅客鉄道（株）
話題提供者	澤田 亮	（公財）鉄道総合技術研究所
	藤岡 一頼	（株）高速道路総合技術研究所
	近藤 政弘	西日本旅客鉄道（株）
	桑原 清	（株）ジェイテック
	丸田 新市	植村技研工業（株）
	田島 新一	鹿島建設（株）

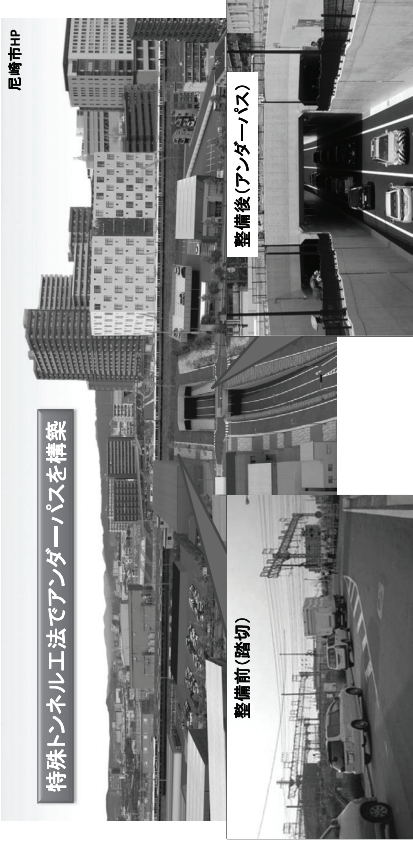
日 時	平成29年9月13日（水）13:00~15:00
場 所	九州大学伊都キャンパス
教 室	センター2号館 2304

トンネル工学委員会  
(特殊トンネル部会)



## 鉄道でのニーズ

鉄道と道路や水路を交差し、鉄道により分断された都市の活性化や都市の利便性を向上するなど、都市機能のリノベーションの一つの手段



## 特殊トンネル工法の近年のニーズ

【鉄道】

公益財団法人鉄道総合技術研究所  
(出向:株)ジェイアール総研エンジニアリング)  
澤田 亮

## 背景

一方では明治初期より鉄道網が発達し、都市内および都市間における交通手段として重要な役割



都市規模の拡大に伴い都市機能が高度化し、自動車の交通需要は拡大、多様化の一途

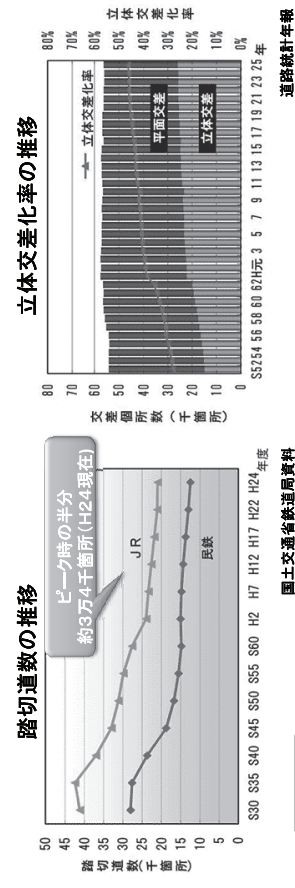
鉄道と道路の平面交差、いわゆる踏切道において交通渋滞、交通事故の多発を招き、都市機能に支障的  
道路交通容量の低下、交通事故、地域の分断といった都市の代表的な問題

都市機能のリノベーションにおいて、都市のモビリティ確保は極めて重要

## 踏切道改良促進法

踏切での事故や交通渋滞を減らすことを目的に昭和36年に制定

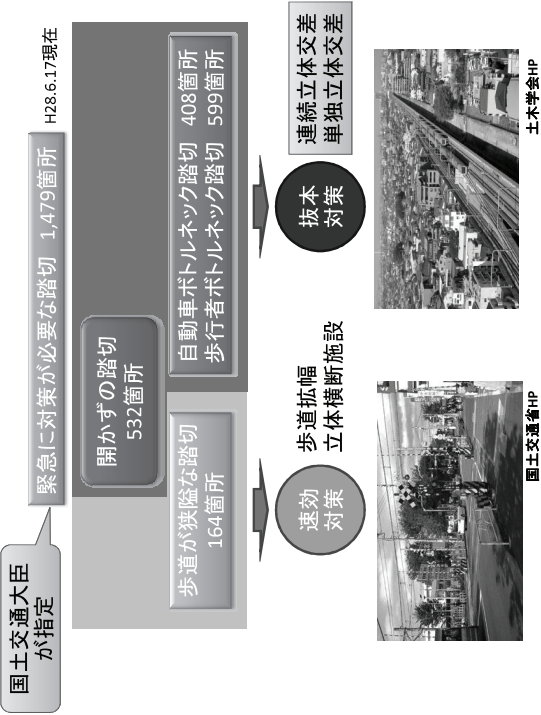
踏切除却を目的とした抜本対策を推進



しかし

踏切事故は依然多く、開かずの踏切も全国で約600箇所存在

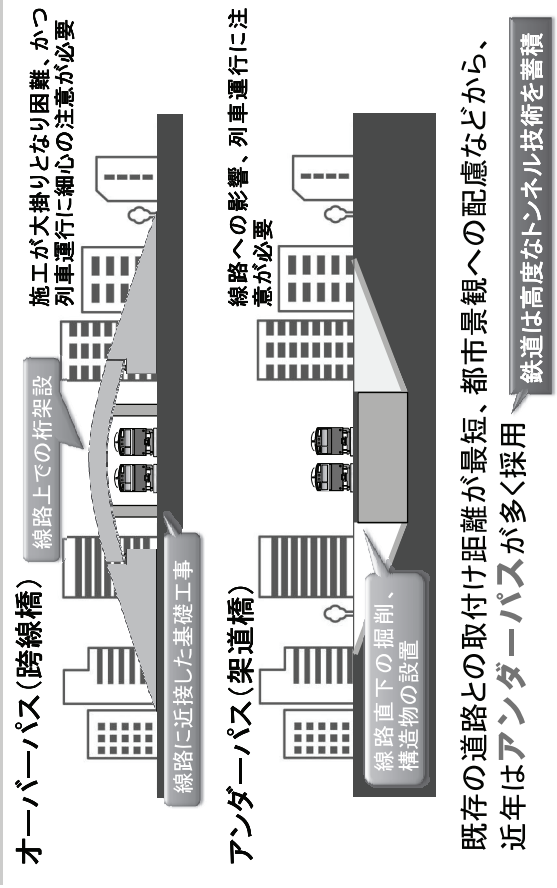
## 踏切対策



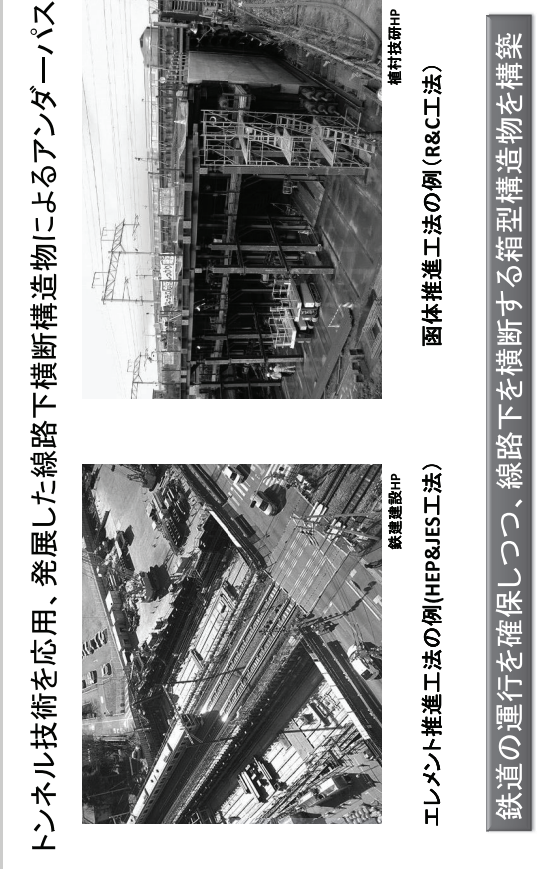
## 踏切除却の抜本対策



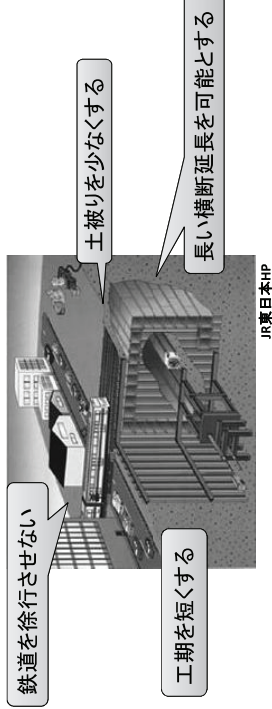
## 単独立体交差の種類



## 特殊トンネル工法によるアンダーパス



## 鉄道における特殊トンネル工法の課題



### 技術的なニーズ

軌道への変状を確実に抑える工法の開発  
 発生する変状を確実に予測し対処

## 鉄道における特殊トンネルの将来性

立体交差事業はこれからも地域の活性化や都市環境の改善のために必要

特殊トンネル工法は、線路下を掘削する極めて厳しい工事条件となり、鉄道の安全輸送を確保しながら工事を実施する**鉄道固有の技術**が求められる

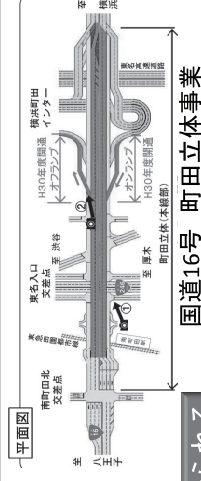


安全でかつ工期の短い経済的な技術開発に期待

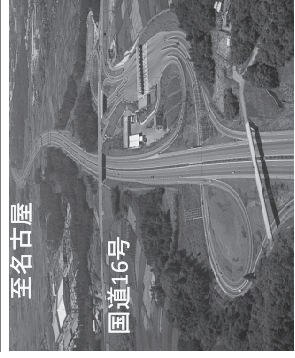
## 道路でのニーズ

### ◆道路整備の課題

沿道の土地利用が大きく変化。  
 ⇒慢性的な渋滞が発生  
 ⇒地域の発展の阻害



都市機能のリノベーションが求められる



開通当時の横浜町田インター



現在の横浜町田インター

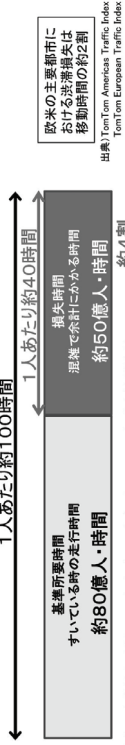
## 特殊トンネル工法の近年のニーズ 【道路】

高速道路総合技術研究所・道路研究部

藤岡一頼

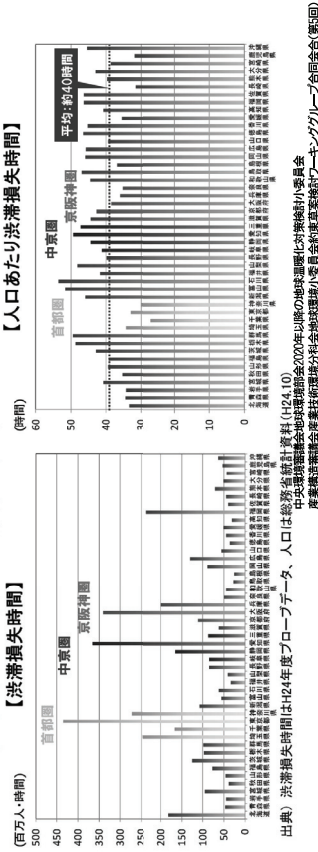
## 渋滞による損失

○ 1人あたりの年間渋滞損失時間は約40時間で、乗車時間(約100時間)の約4割に相当。



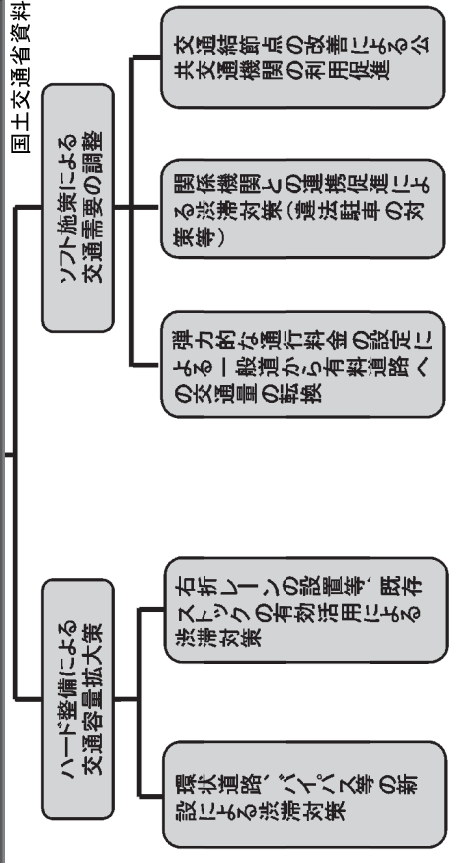
○ 渋滞損失時間はH24年度プロポーザー、人口は総務省統計資料(H24.10) 約4割

○ 渋滞損失時間は、都道府県別の総量では三大都市圏等の都市部が突出するが、人口あたりで見ると全国どこでも変わらない。



## 効率的な物流ネットワークの強化

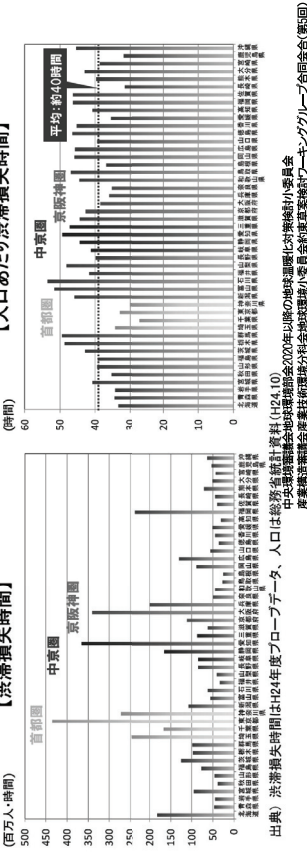
大都市圏環状道路等の整備やピンポイント渋滞対策等を併せて推進し、交通渋滞の緩和等による迅速・円滑で競争力の高い物流ネットワークの実現を図る。



## 渋滞対策の効果

◆ 渋滞対策後の効果

- ① 交差点の通過時間(所要時間)が下り線で最大約17分短縮、上り線で最大約39分短縮。
- ② 交差点周辺の生活道路の交通量が約2~3割減少。
- ③ 地域の皆様の約7割が効果を実感。



【立体化後】  
今までは開削工法が主流

口全線開通1年後の状況(今)

(平成24年2月撮影) 至 浦和方面

口全線開通1年前の状況(今)

(平成18年9月撮影) 至 浦和方面

## 高速川崎縦貫線の事業効果

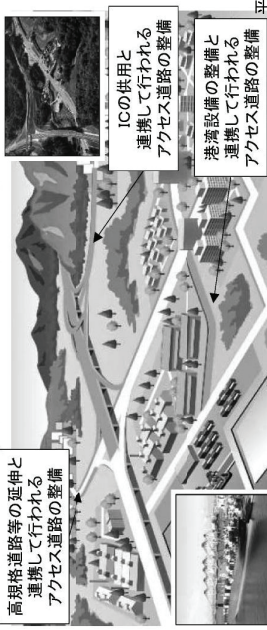


※ 国道1号原宿2丁目付近の横断歩道橋から原宿交差点(藤沢方面)を眺む

## ストック効果を高めるアクセス道路の整備

- 道の駅やスマートIC等の活用による拠点の形成及び道路ネットワークによる地域や拠点間の連携確保などによる地域の活性化と豊かな暮らしの実現
- ICアクセス道路補助制度の対象事業の拡充
- 高速道路と民間施設を直結する専用インターチェンジ整備制度の創設

○ 港湾・空港・IC等の整備と連携して行われるアクセス道路の整備  
 ○ 工業団地の造成等の民間投資と連携して行われるアクセス道路の整備  
 → アクセス道路の供用時期について他事業と連携し、早期の効果発現が見込める事業に対して特に重点的に配分



(港湾・空港・IC等の整備と連携して行われるアクセス道路の整備の事例)

平成29年度概算要求資料  
 (国土交通省)

## スマートインターチェンジ事業



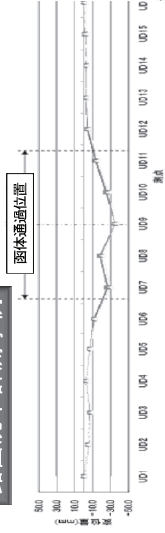
- ◆ 行政側のニーズ
  - アクセス、都市計画を考慮すると平地が望ましい
  - のり面が少ないので収面積が少なく済む
- ◆ 道路側のニーズ
  - 重交通路線のため交通規制が不可能
  - オーバーパスは、橋梁架設時に通行止が必要
- ◆ 盛土の下をアンダーパスする工法を採用

静岡市ホームページより

## 特殊トンネルに求められる技術

- 工事工程：特に路面下の作業期間
- 路面への影響：沈下が少ない工法
- 許容土被り厚：横断道路等の縦断線形強制排水等の必要性
- 許容断面：近年は大断面化、長尺化
- 施工の安全性
- 経済性
- 盛土内の支障物の対処方法

### 路面沈下計測事例



### 路面直下の作業時間

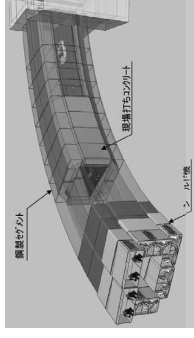


### 路面計測事例



## 道路における特殊トンネルの将来性

- ◆ 都市機能のリノベーションへの貢献
  - 都市機能を維持しながらリノベーション可能 (既設インフラを活かしながら施工可能)
  - ◆ 更なる発展に向けて
    - 大断面、曲線・長尺化など適用範囲の拡大
    - 路面下の作業短縮、路面沈下の抑制

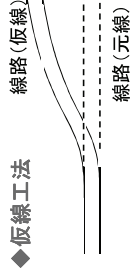
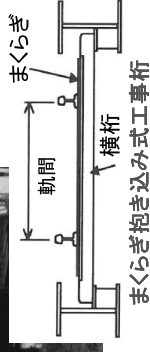
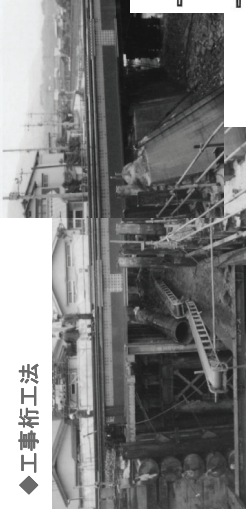


追加インターチェンジランプ部

## 特殊トンネルの変遷 -線路下横断を事例に-

以前、線路下横断工事は開削工法が主  
(工事桁が別線に振り替えて施工)

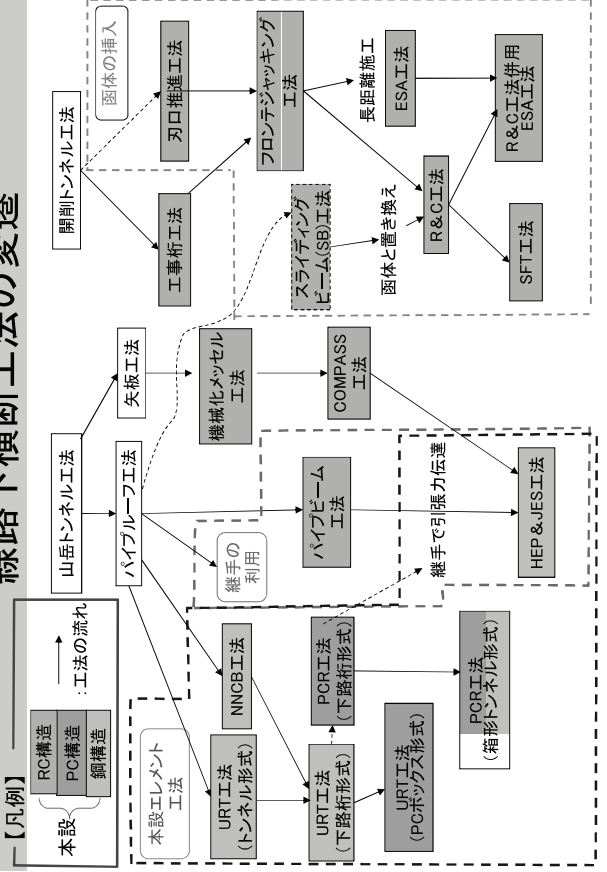
### ◆工事桁工法



## 西日本旅客鉄道(株)・構造技術室 近藤 政弘

## 特殊トンネルの変遷 -線路下横断を事例に-

## 線路下横断工法の変遷



## 最初の線路下横断推進工事

### まくらぎ代用桁工法

1957年ドイツで初めて採用された

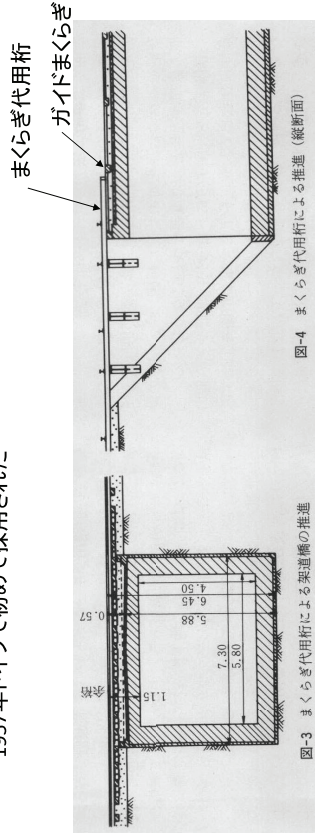


図-3 まくらぎ代用桁による架道橋の推進

図-4 まくらぎ代用桁による推進 (縦断面)

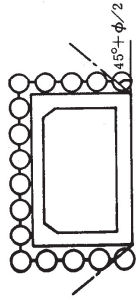
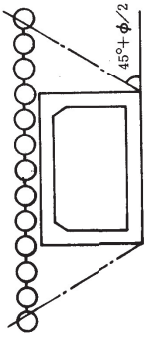
【出典】竹下貞雄：線路下横断構造物施工法の発展、基礎工、1986.2



## 推進・牽引工法の分類

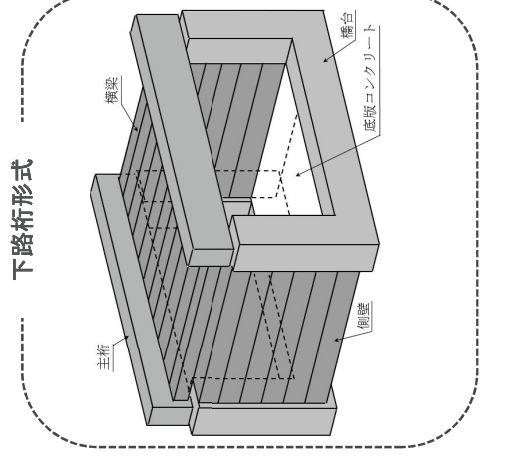
- フロンテジャッキング工法(牽引工法)  
パイプルーフ防護の下にボックスを牽引
- ESA工法  
パイプルーフ防護の下に  
ボックスを長距離推進
- SC工法・BR工法  
(R&C工法)

箱形ルーフを置換えながら  
ボックスを推進または牽引



φ：土の内部摩擦角(°)

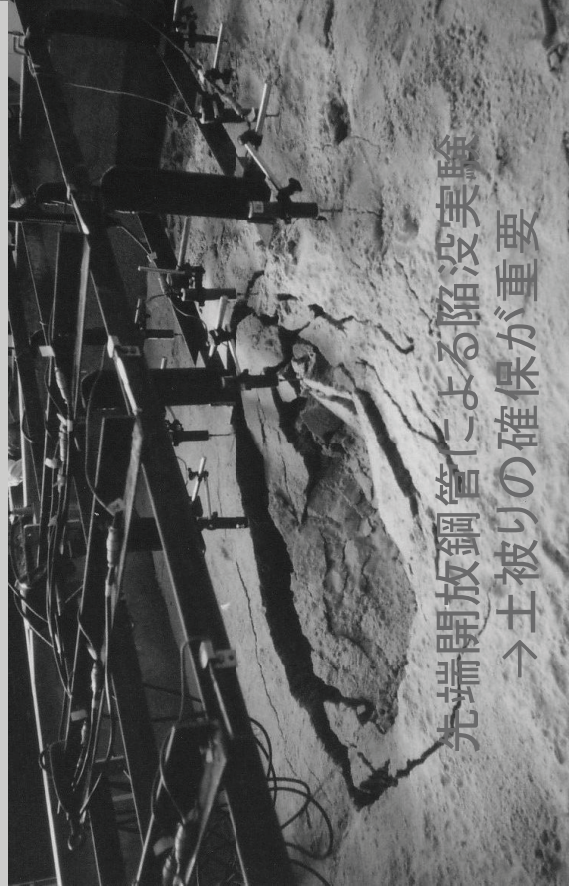
## エレメント推進工法(エレメント自体でボックス構築)



ボックス形式

下路桁形式

## 上部交通への影響軽減



先端開放鋼管による陥没実験  
→土被りの確保が重要

## 上部交通への影響軽減

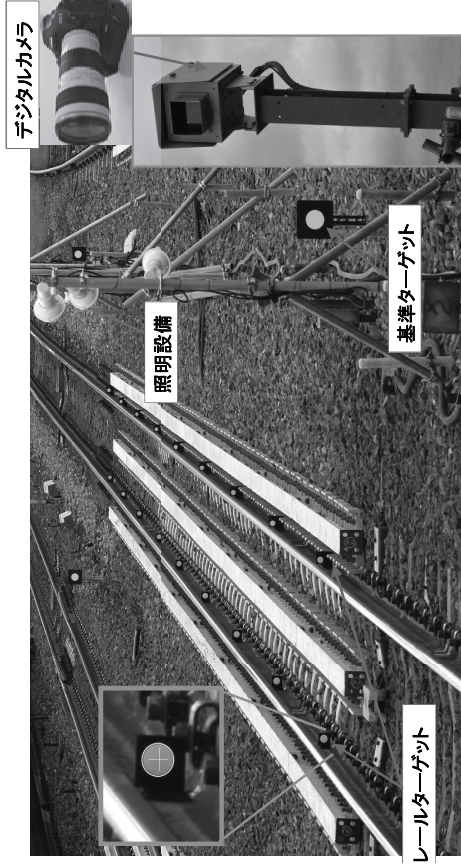
### 軌道の許容変位量

軌道整備目標値はmmオーダーの厳しい値であり、施工中に許容される変位量も小さな値となる。

種別 線区の区分	整備目標値			
	1級線	2級線	3級線	4級線
狂いの種別	+10 ( +6 )			
軌間	-5 ( -4 )			
水準	1.1 (7)	1.2 (8)	1.3 (9)	
高低	1.3 (7)	1.4 (8)	1.6 (9)	
通り	1.3 (7)	1.4 (8)	1.6 (9)	

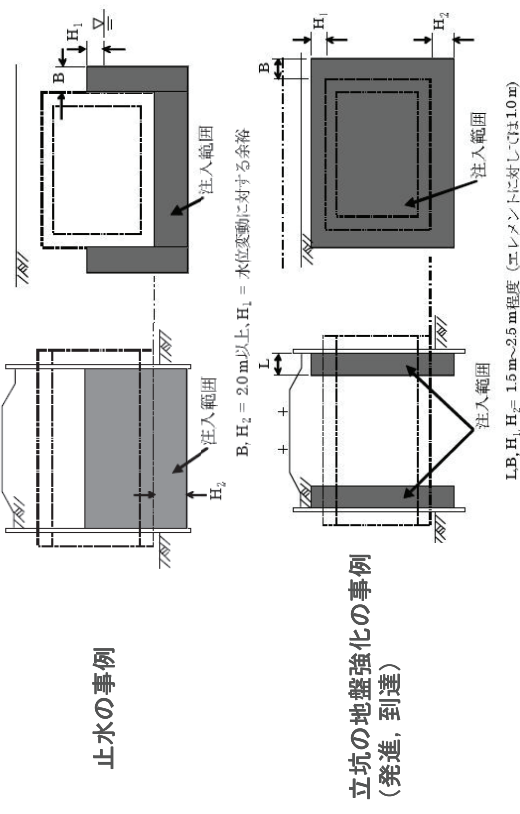
### 軌道の監視-自動計測-

#### ◆デジタルカメラによる軌道(レール)の計測事例



### 線路下横断工事へ用いる補助工法

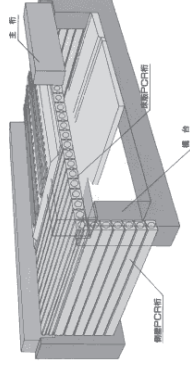
#### 薬液注入の活用



### 特殊トンネル部会WG2で取扱う工法(1)

WG2ではエレメント推進・けん引工法(以下「エレメント工法」として以下の工法を取扱っている

- 下路桁式
- ・エレメントを床版(横桁)として線路外に主桁, 橋台を構築  
URT, PCR



### エレメント推進・けん引

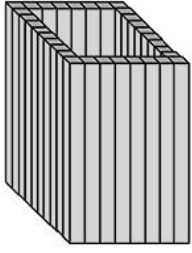
(株)ジェイテック・エンジニアリング部  
桑原 清

## 特殊トンネル部会WG2で取扱う工法(2)

### ■箱型形式

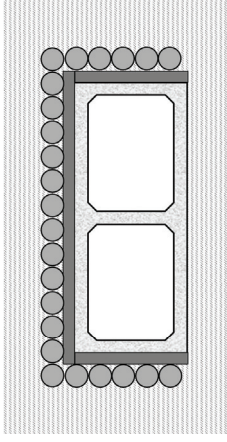
- ・エレメントを横方向に剛結

URT, PCR, JES,  
MMST, ハーモニカ,  
URUP(分割シールド)



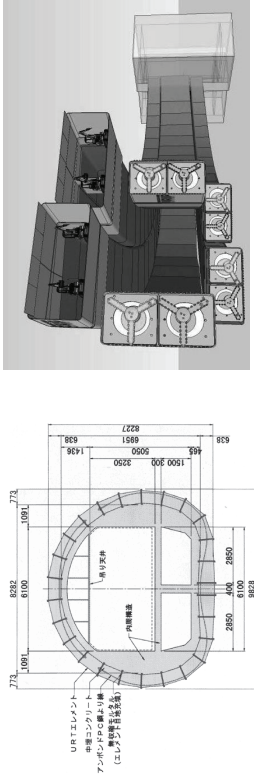
- ・エレメントを防護工として函体を場所打ち

パイプラーフ、パイプビーム、  
COMPASS (Type-1)



## エレメント工法の特徴

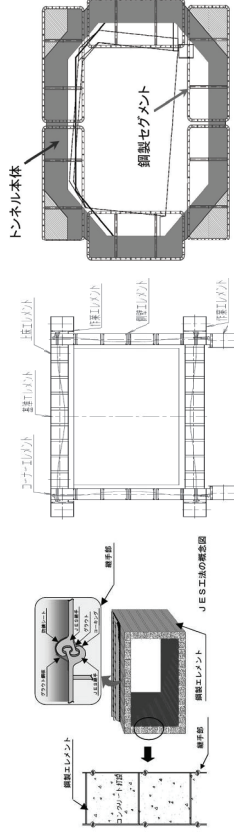
- ・エレメントの集合体として構造物を構築する
- ・施工時の周囲への影響が小さい
- ・比較的小断面のエレメント毎に推進・けん引
- ・多様な構造形式への対応が可能
- ・エレメントの組合せ、場所打ちRC併用で構造物を構成



## エレメント工法の設計

別個に施工したエレメントを本体として構築する方法は大きく3つに分類できる

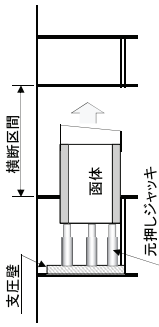
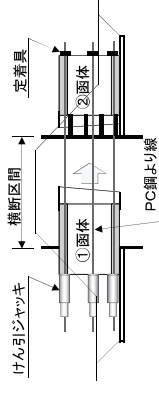
- ① エレメントの継手が応力を伝達 (JES)
- ② エレメントをPC鋼材で横締め (URT, PCR)
- ③ エレメントをRC部材の一部として利用  
(ハーモニカ, URUP (分割シールド) など)



## 今後の展望と課題

- ◆複雑化するニーズ
  - ・ 複雑な断面形状
  - ・ 既設インフラとの近接度
  - ・ 空間や時間などの作業上の制約
  - ・ 住環境への配慮
  - ・ 異常気象への耐性
- ◆設計・施工の課題
  - ・ より自由な断面形状への対応
  - ・ 施工精度の向上
  - ・ 省力化, 自動化, 施工設備の小型化, 施工速度向上  
(従事者減少への対応)
  - ・ 騒音・振動の低減
  - ・ 地中支障物への対応

## 函体推進・けん引工法

函体推進形式	函体けん引形式
 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 函体後方を反力体として押込む施工法</li> <li>▪ 元押し推進をベースに、防護部材との組合せ、低土被り化、安全施工、密閉施工化へ</li> </ul> <p>アール・アンド・シー工法 SFT工法 COMPASS工法 パドルシールド工法 RSWING工法</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 到達側を反力体として引込む施工法</li> <li>▪ 片引き施工、面引き施工、長距離施工化へ</li> </ul> <p>フロンテジャッキ工法 アール・アンド・シー工法 SFT工法</p>
ESAI工法	

## 函体推進・けん引工

植村技研工業(株) 立体交差事業部  
丸田新市

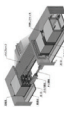
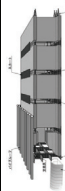


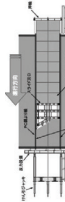


## 函体推進・けん引技術の変遷

### ◆主な函体施工法(WG3)の変遷

開削施工	着手年/函体施工法	アンダーパス施工法 開発経緯
	仮受または仮線等、現場製作	
	1948 推進工法	円形管の推進施工
	1967 フロンテジャッキ工法	矩形函体のけん引施工
	1980 ESA工法	長距離施工
	1984 アール・アンド・シー工法	低土被りと防護部材再利用
非開削施工	2005 SFT工法	低土被りと切羽掘削の省力化
	2007 COMPASS工法	低土被りと安全施工
	2013 パドルシールド工法	低土被り部の地表面変状抑制
	2013 R-SWING工法	マシンユニット組立で大小断面に対応化



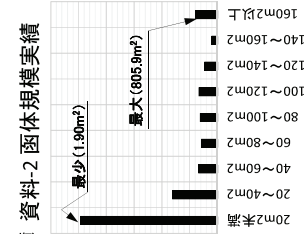
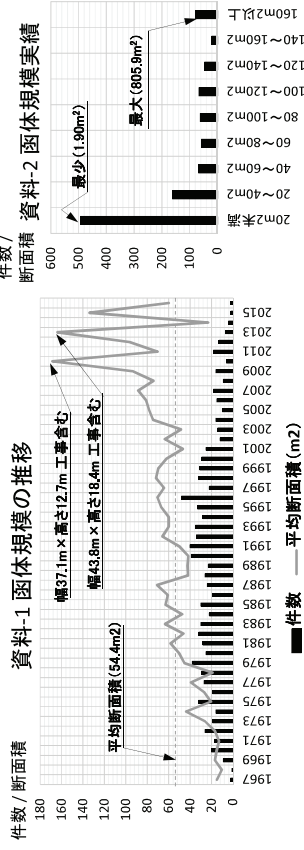
### ◆函体施工法(WG3)の概要と特徴

施工法	施工概要	特徴	概要図
フロンテジャッキキング(FI)工法	到達側の反力体を設け、PCケーブルで函体をけん引する施工法	函体を用いたけん引施工の先駆け	
ESA工法	推進とけん引を併用した、複数函体の、押込み施工法	長距離施工が可能	
アール・アンド・シー(R&C)工法	箱形ルーフと函体の置換工法で、推進またはけん引による施工法	低土被り施工が可能	
SFT工法	箱形ルーフと函体の置換工法で、ルーフと函体を一体化した施工法	横断面直下で切羽掘削の無い施工法	
COMPASS工法	事前に函体外周に防護鋼板を挿入し、刃口で鋼板を支持しながら函体を掘進する施工法	鋼板防護による上部交通への影響低減	
パドルシールド工法	密閉型泥土圧掘削機で函体を押込む施工法	横軸式カッターで掘残しが無い セグメントにも対応可	
R-SWING工法	掘削機上部ルーフを突き出し、地盤沈下を抑え、推進タイプにおいてには函体を押込む施工法	ユニット方式で大小断面に対応 面に対して 組立・解体を簡素化	

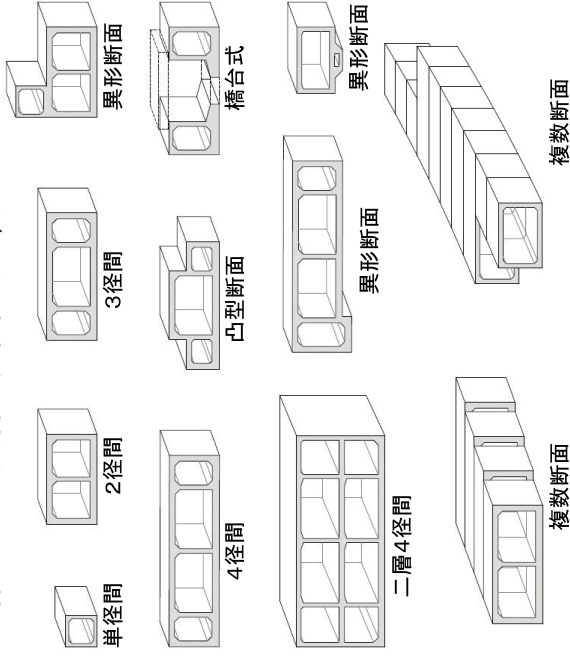
## 函体推進規模の変遷

### ◆ 函体施工(規模)の変遷

1967年頃より、鉄道や道路横断計画に於いて、ボックスカルバートの非開削施工が採用された。当初は、小断面のRC構造(現場製作函体)による単径間ボックスが多く、採用事例の増加と大型化(資料-1)に伴い多径間断面や、異形断面(資料-3)の施工が求められた。



### ◆ 推進函体形状例 (資料-3 多径間断面, 異形断面)



## 函体推進技術の実例

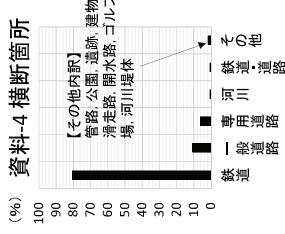
### ◆ 横断箇所とその用途の実績

函体推進・けん引方式による、横断箇所は(資料-4)の事例の通り、交通機関との立体交差が多い事を示している。

また、その用途は、新設工事や拡幅・改良工事に伴い、歩車道や鉄道、水路河川などのライフラインに関する工作物が多い。

函体推進による地下構造物の構築技術を拡大する事で、その用途を広げる事が可能であり、その事例を示す。

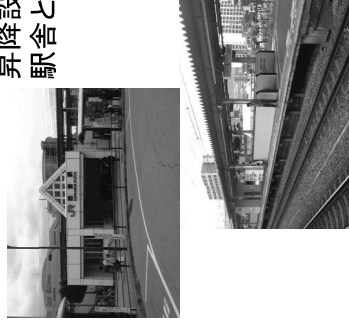
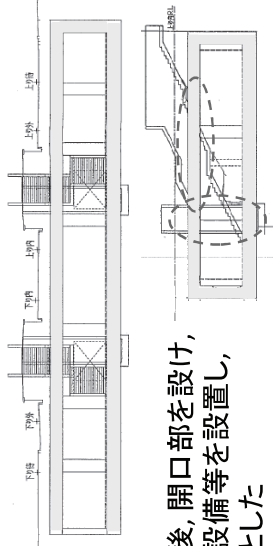
- ① 鉄道駅舎建設を半地下構造として設置した後、駅舎施設を加えた事例を(資料-5)に示す。
- ② 鉄道直下で既設連続桁施設を、道路拡幅計画に於いて、新設工事と既設撤去・改良工事の組合せ事例を(資料-6)に示す。



### ◆ 事例紹介 (資料-5)

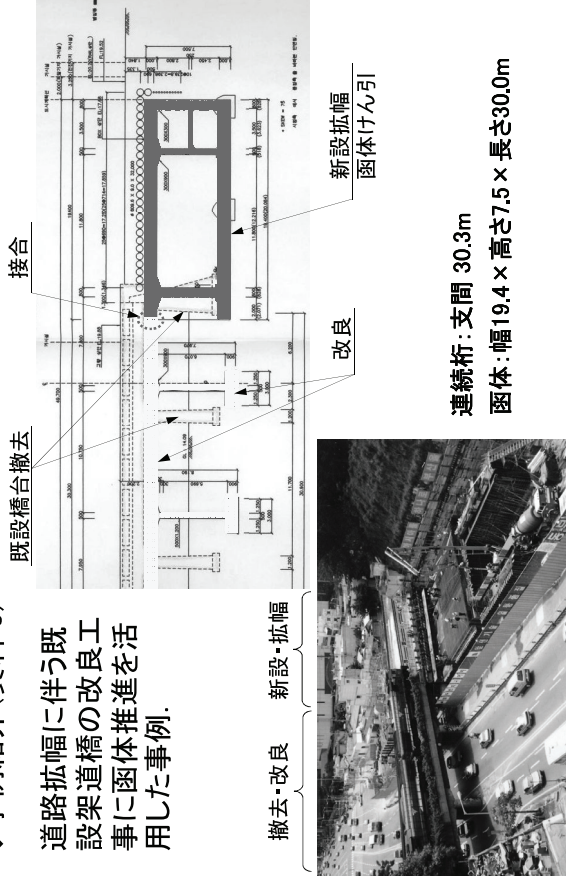
駅舎施設の改築(昇降施設・改札・事務室)として、函体推進を活用した事例。

推進後、開口部を設け、昇降設備等を設置し、駅舎とした



### ◆事例紹介(資料-6)

道路拡幅に伴う既設架道橋の改良工事に函体推進を活用した事例。



## 函体推進:設計・施工の技術課題

- ◆ 設計施工の課題と展望
  - ① コスト・工程短縮
    - ・ 低土被り化でアプローチの短縮化による、事業費縮減への対応
    - ・ 省力化、省人化
    - ・ プレキャスト化
  - ② 工事規模と函体製作法の選択
    - ・ 大型断面へのプレキャスト化への対応
  - ③ 施工法の選択
    - ・ 施工条件と施工特性との適合化への対応
  - ④ 安全性確保
    - ・ 施工時、地盤の安定化への対応
    - ・ 周辺地盤・近接構造物への影響抑制化への対応
  - ⑤ 維持管理
  - ⑥ 品質確保

## ライブラリー執筆へ向けての情報収集収集活動

### ◆情報提供アンケート調査

土木学会HP(トンネル工学小委員会HP及び特殊トンネル工法検討部会HP)にて、アンダーパス工法(概要、実績など)の情報提供依頼を実施。

- 依頼期間:平成28年11月～平成29年1月
- 提供依頼内容;工法名、工法特徴、メリット、留意点、実績、適用範囲など

### 【調査結果】

- ① 実績2件以上(実証実験工事含む)⇒19件 ⇨ライブラリーで詳細紹介
  - ② 実績1件⇒1件 ⇨ライブラリーで概要紹介
- ⇒以降、上記20件のうちの『箱桁密閉泥土圧式特殊トンネル工法5件』と『②の1件』について説明する

## アンケート結果、箱型密閉泥土圧式特殊トンネル工法紹介

鹿島建設(株) 土木設計本部 地盤基礎設計部  
田島新一

## ライブラリリーにて詳細紹介する工法 (実績2件以上)

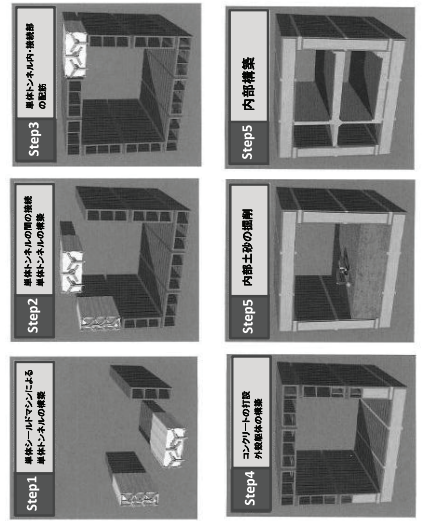
### ◆箱型密閉泥土圧式特殊トンネル工法 5工法

	MMST工法	ハーモカ工法	URUP工法 (分割シールド工法)	ハドルシールド工法	R-SWING工法
開発者	首都高	大成建設	大林組	清水建設	鹿島建設
構造分類	本設エレメントに剛結	本設エレメントを横方向	仮設セグメント間を切り抜けば後に本設躯体構築	掘削機の後ろでセグメントを組み立てる	
継手	RCで一体化 (超大断面・断面変化対応可)	鋼殻スكينプレート撤去後にRC接続		本設セグメント継手	
実績	2件	8件	特殊トンネル2件 (実証実験含む)	2件 (実証実験含む)	2件 + 実証実験
掘削機	密閉泥土圧式	密閉泥土圧式	密閉泥土圧・開放	密閉泥土圧式	密閉泥土圧式

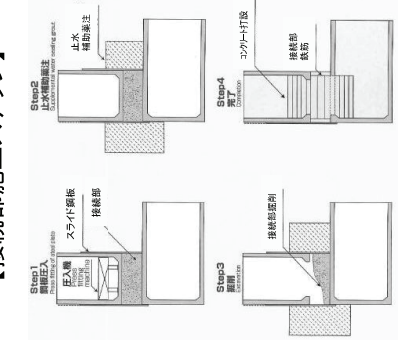
## ライブラリリーにて詳細紹介する工法 (実績2件以上)

### ◆MMST工法 (首都高)

#### 【施工ステップ】

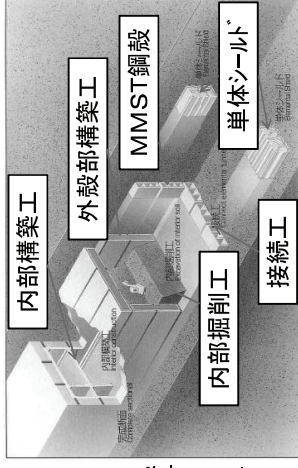


#### 【接続部施工ステップ】



## ライブラリリーにて詳細紹介する工法 (実績2件以上)

### ◆MMST工法 (首都高)



●【特徴】; 外殻と呼ばれる外側の壁を複数の小型シールドマシン (単体シールドマシン) で掘削し、これらを相互につなぎ合わせた後に内部の土を掘削しトンネルをつくる工法である。

### ●【主なメリット】;

- ・接続部間隔を広げれば、トンネルの大きさ変化に対応可
  - ・外殻内部の掘削は通常の掘削機械で行える
  - ・開削工法と比較して、周辺への環境保全に有利
- 【適用実績】; 2件 (首都高川崎縦貫線本線、換気洞道)

## ライブラリリーにて詳細紹介する工法 (実績2件以上)

### ◆ハーモカ工法 (大成建設)

●【特徴】; アンダーパスなどの大断面トンネルを小断面に等分割し、小型の矩形掘削機を用いて隣接する鋼殻同士を接触させた状態で掘削し、内部に躯体を構築することで小断面トンネルを一体化し、トンネルを作り上げる。

### ●【主なメリット】;

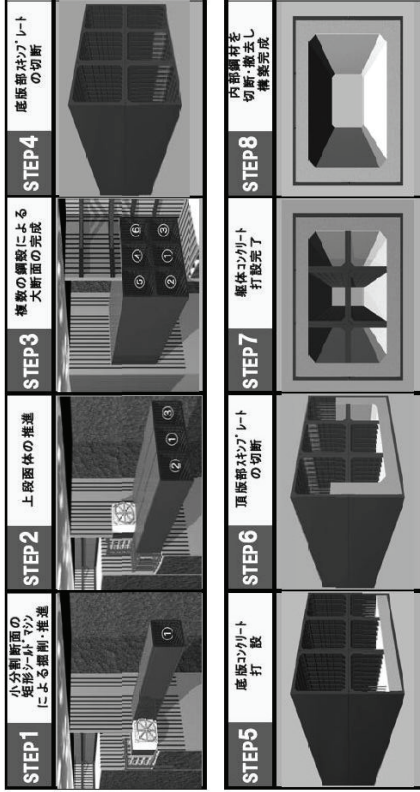
- ・小断面密閉型掘削機⇒低土被り対応可
- ・推進方式を採用⇒矩形断面で団体同士を接触させて掘削可能
  - ・テールボイドが少ないので地表面への影響小
- ・曲線施工可能
- ・分割施工のため、部分供用も可能で交通渋滞緩和に寄与



## ライブラリーにて詳細紹介する工法 (実績2件以上)

### ◆ハーモニカ工法 (大成建設)

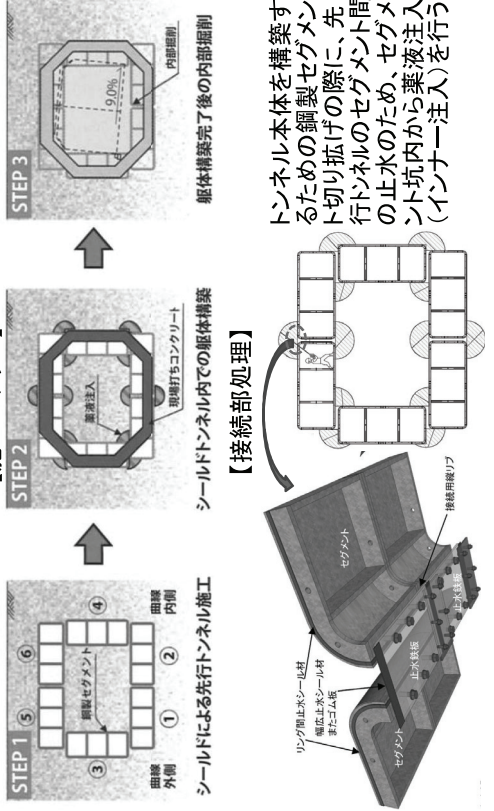
#### 【施工ステップ】



## ライブラリーにて詳細紹介する工法 (実績2件以上)

### ◆URUP工法 (分割シールド工法) (大林組)

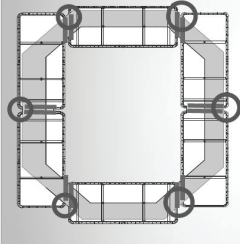
#### 【施工ステップ】



## ライブラリーにて詳細紹介する工法 (実績2件以上)

### ◆URUP工法 (分割シールド工法) (大林組)

●【特徴】; 先ず、トンネル本体構造物を包含するように分割した複数の小断面シールドによる先行トンネルを構築し、次に、先行トンネル間でセグメントを切り拡げて接続し、トンネル本体を構築、最後にトンネル本体内部の地山を掘削することでトンネルを完成させる。



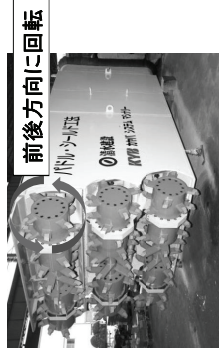
#### ●【主なメリット】;

- ・複雑な平面、縦断曲線を有する線形のトンネルにも対応可
- ・建築限界に合わせた自由な断面形状に対応可
- ・シールドを用いた小断面先行トンネル掘進により、周辺地盤への影響小
- ・建築限界に沿った必要最小限掘削により、排出土砂を最小限に抑えられるとともに、先行トンネルより内部の掘削は一般残土として処理

## ライブラリーにて詳細紹介する工法 (実績2件以上)

### ◆パドルシールド工法 (清水建設)

●【特徴】; 従来の矩形シールド機には無いシンプルな軸付きの横配置カッタを採用し、矩形断面の端部まで掘り残しのない合理的な掘削機構となっている。推進工法にも対応可。地表面沈下が懸念される場合には、上段スライド機構を用いて先行先受けする。



#### ●【主なメリット】;

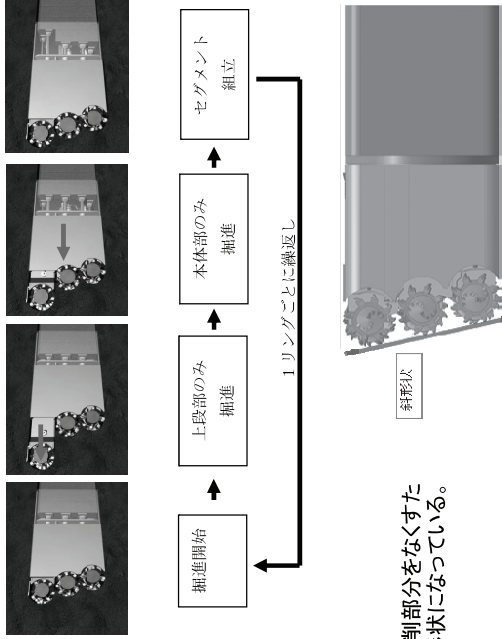
- ・軸付き横配置カッタにより特殊機構無しに掘削断面を矩形とできる
- ・チャンバ内のパドルスクリューで強制的にチャンバ内全体を攪拌でき、掘削土と加泥材は効率よく攪拌され、排土は均一な塑性流動性を持つ
- ・スライド機構は複数段に設置でき、沈下抑制、地山安定に寄与



## ライブラリーにて詳細紹介する工法(実績2件以上)

### ◆パドルシールド工法 (清水建設)

【施エステップ】



カット間の未切削部分をなくすため、前面は斜形状になっている。

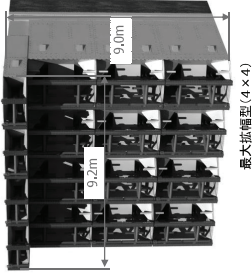
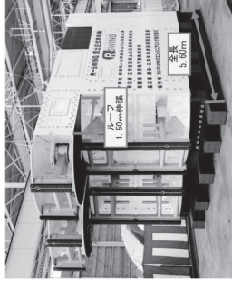
## ライブラリーにて詳細紹介する工法(実績2件以上)

### ◆R-SWING工法 (鹿島建設)

●【特徴】;汎用性、マシンの転用性、マシン掘削機構などで合理性やコスト面を追求している。トラックで運搬可能な大きさのユニットマシンとし、それらの組み合わせ(ボルトアップ)で大断面を掘削でき、汎用性、転用性を高めている。また、適用範囲を設定することによって揺動カッタ方式を採用して機構をシンプルとすることによりマシンをコストダウンしている。

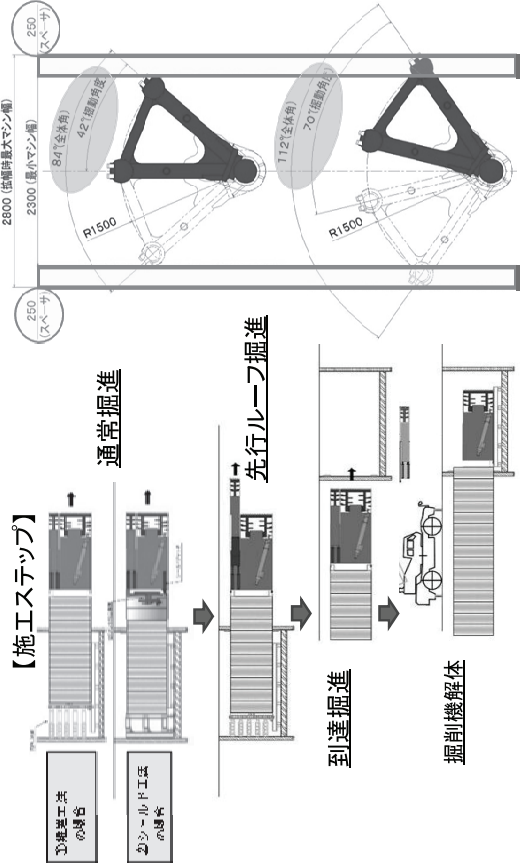
### ●【主なメリット】;

- ・推進、シールド両工法対応
- ・先行ループ掘進による地盤沈下抑制と地中支障物先行探査
- ・ユニットマシンの組合わせで大断面対応可



## ライブラリーにて詳細紹介する工法(実績2件以上)

### ◆R-SWING工法 (鹿島建設)



【マシン幅拡張方法】

## ライブラリーにて概要のみ紹介する工法(実績1件)

### ◆エアロ・ブロック工法 (清水建設)

●【特徴】;地下水位以上の自立性地山を対象とした【部分開放型】シールド工法で、バックホウ等で掘削する。掘削部分を機械的に複数の小断面に分割し、掘削面積を小さくすることで地山の安定性を図る。掘削時にはムーンバールフードで地山の先行先受けを行い、掘削する小断面以外の切羽をエアバックで保持する。

### ●【適用実績】;1件(実証実験)

