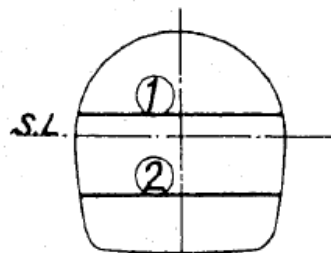
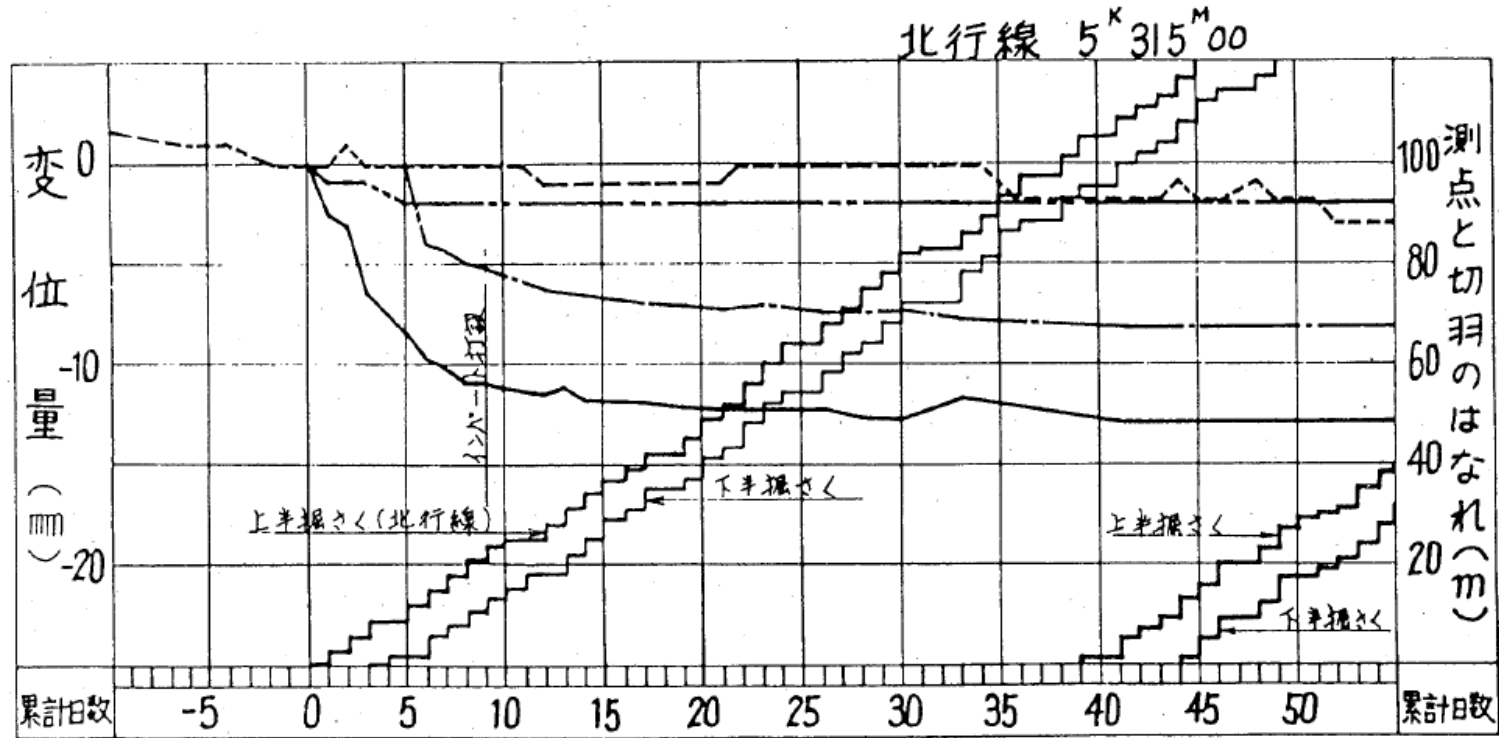


# NATMの発展 —都市トンネルへのNATMの挑戦—



幹線道路直下と住宅密集地下をミニパイプルーフ工法で施工  
 仙台地下鉄南北線、北四番丁トンネルの例

図一13 計測経時変化



凡 例

- 地表沈下(北行線直上)
- · - · - 天端沈下
- 内空変位①
- 内空変位②

# 4. NATMの発展

未固結地山への適用範囲の拡大

—東北新幹線、八戸・七戸間トンネル群—



JR TT

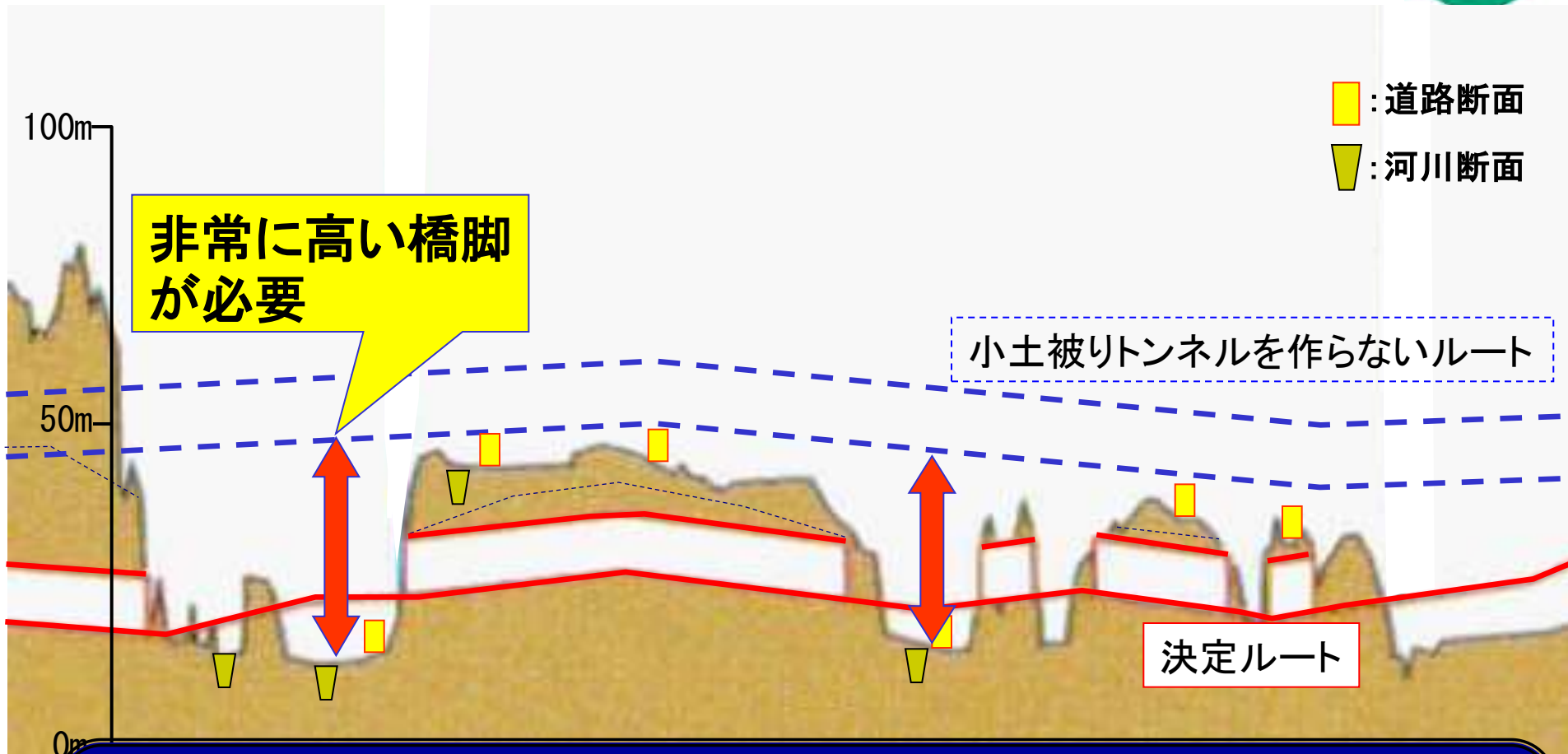


牛鍵トンネル・地山改良工法





# 八戸・七戸間トンネルの縦断線形



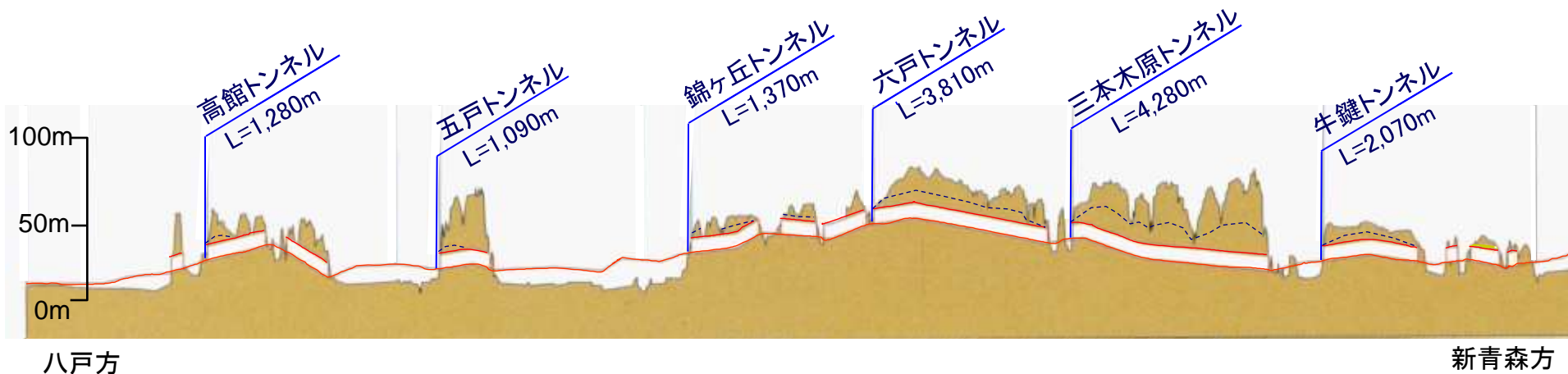
- ・台地部は道路などの下を通過
- ・谷部は、適当な空頭を確保し橋梁などで、その上を通過
- ・トンネルは雪・環境対策が不要であり、経済的となる

# 小土被りのトンネル群



対象区間縦断面図

--- 地下水位



・総数13本、総延長約18kmの小土被りトンネル群を計画

## 施工条件

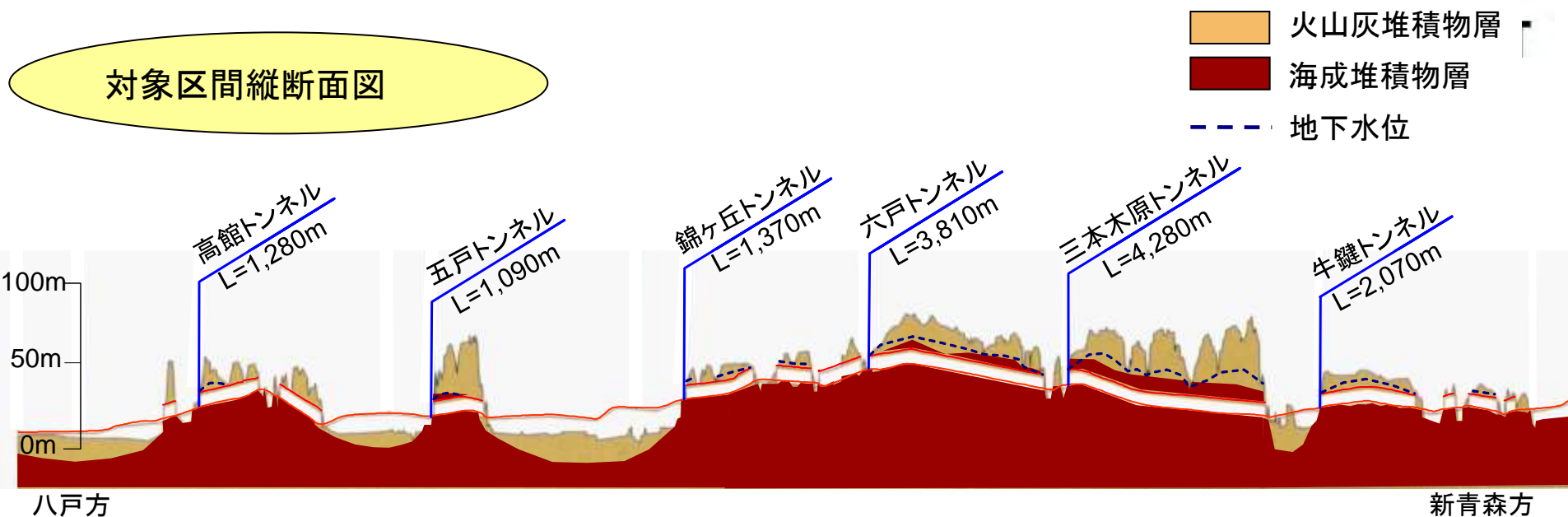
- ・土被り20m以下の区間が全体の80%
- ・最小土被り2m



# 地質と地下水位



対象区間縦断面図



## 掘削対象となる地山の施工条件

地質：粘性土層を介在し、水の抜けにくい軟弱な堆積層

地下水：ほぼ全区間で地下水面下

# 軟弱な地山における施工



切羽の自立が困難<sup>43</sup>



# 軟弱な地山における施工



切羽の崩落



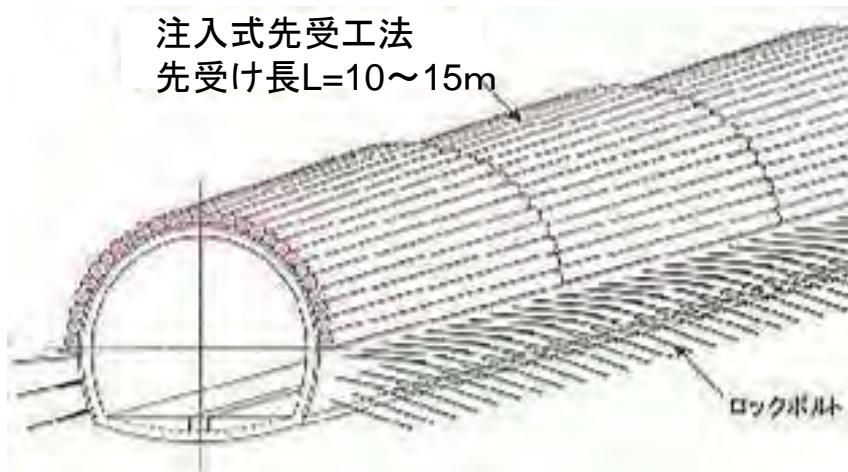


# 対象となる地山を掘削する工法



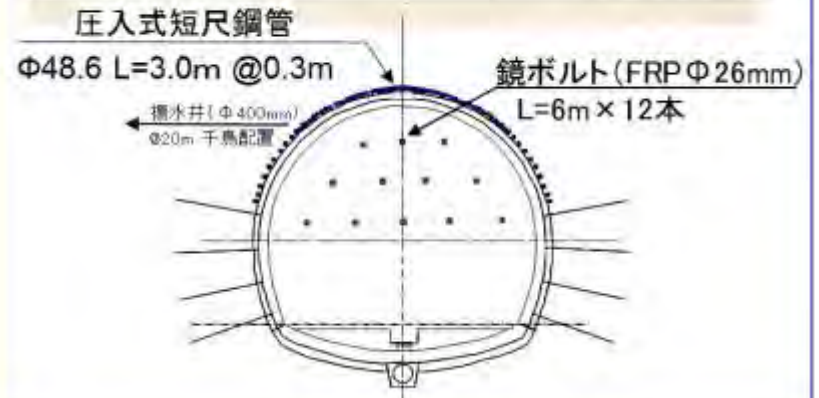
## 従来の工法

注入式先受工法  
先受け長L=10~15m

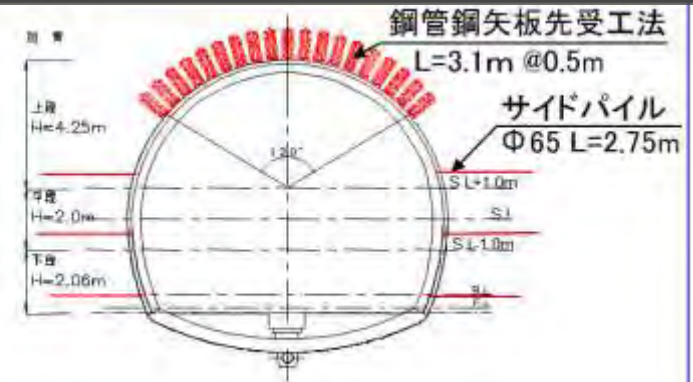


## 注入式先受工法

## 今回開発・採用した工法



## ② 短尺鋼管先受+鏡ボルト



## ③ SSPB+サイドパイル

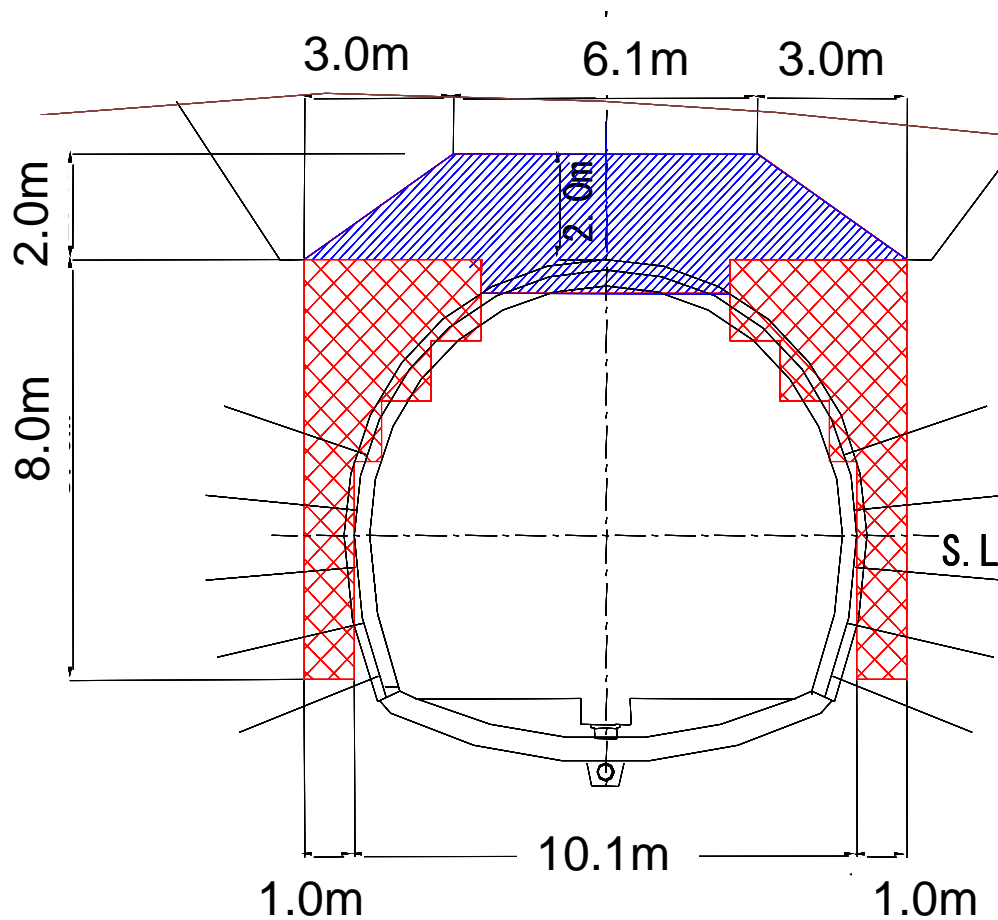


# ① 地山改良工法



JR TT

- ・掘削時の沈下を抑制
- ・トンネルの側壁部からの湧水の防止



- 事前混合処理 ( $q_u = 1.0 \text{ N/mm}^2$ )
- 浅層混合処理 ( $q_u = 0.5 \text{ N/mm}^2$ )



# ① 地山改良工法

地山改良工法を実施した坑内の状況



改良範囲

先受け工法の省略が可能・側壁からの湧水抑制  
トンネル直上地表面沈下を20mmに抑制

地表部に支障物件がなく、土被りが極めて小さい区間で有利



## ② 短尺鋼管先受

## 短尺鋼管先受の効果





## ② 短尺鋼管先受

水の抜けにくい粘性土層が介在する場合



鋼管の隙間から抜け落ちが発生



### ③ SSPB工法

### 鋼管鋼矢板圧入打撃工法



JR TT

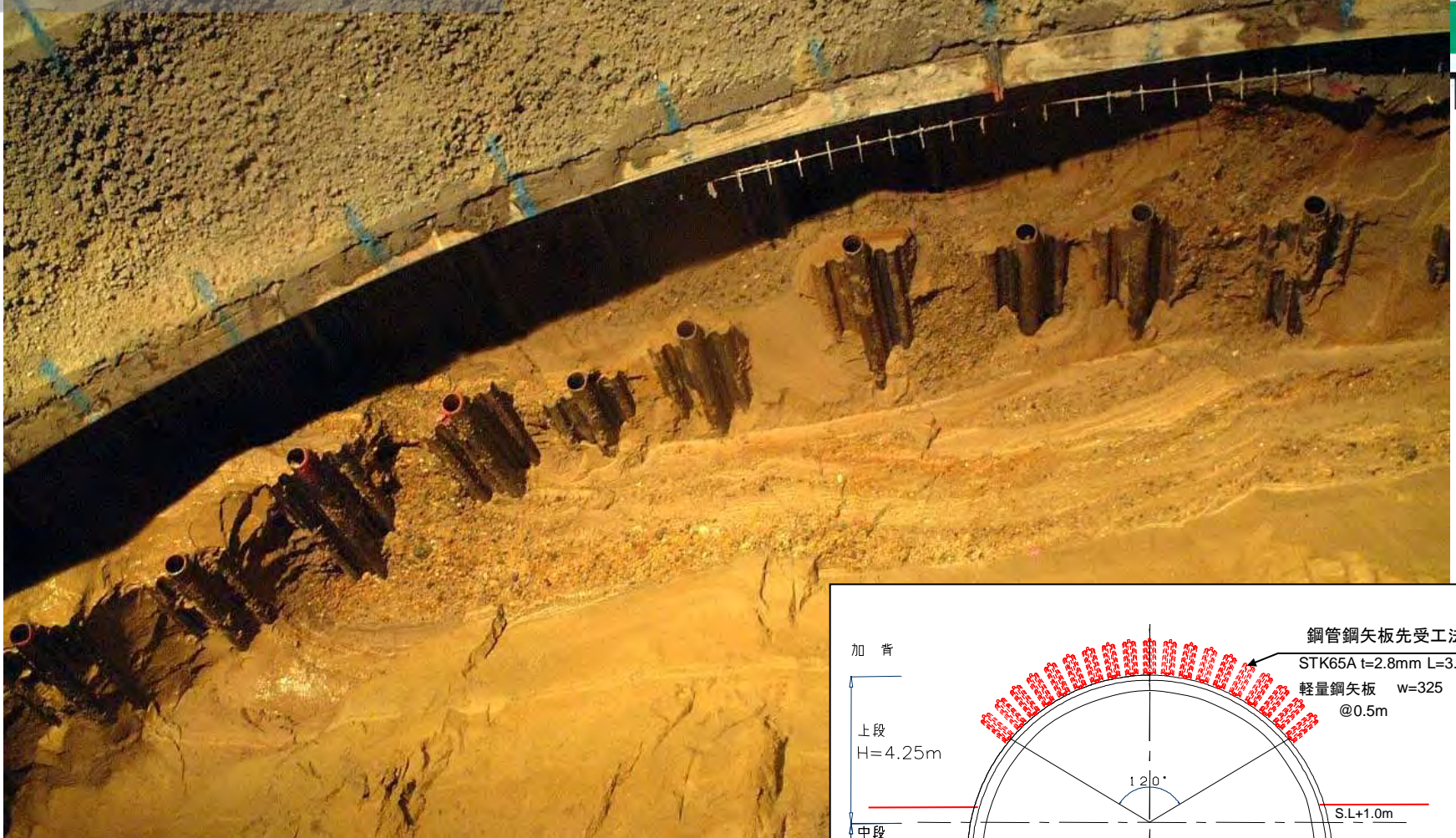


SSPB工法：  
Steelpipe  
Steelsheetpile  
Pressfit Blow  
Method

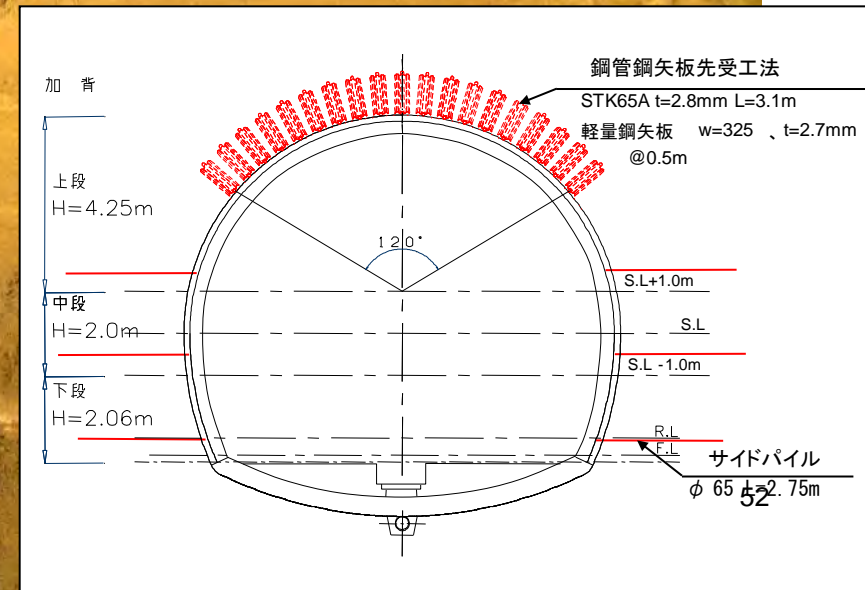
鋼管Φ65に軽量鋼矢板を溶接により添接加工

# ③ SSPB工法

## SSPB打設状況



地山改良工法の適用が困難で、  
地下水低下工法の有効性も期待  
できない場合に採用



# 経済性の比較

## 工法別のトンネル単価(覆工を含む)



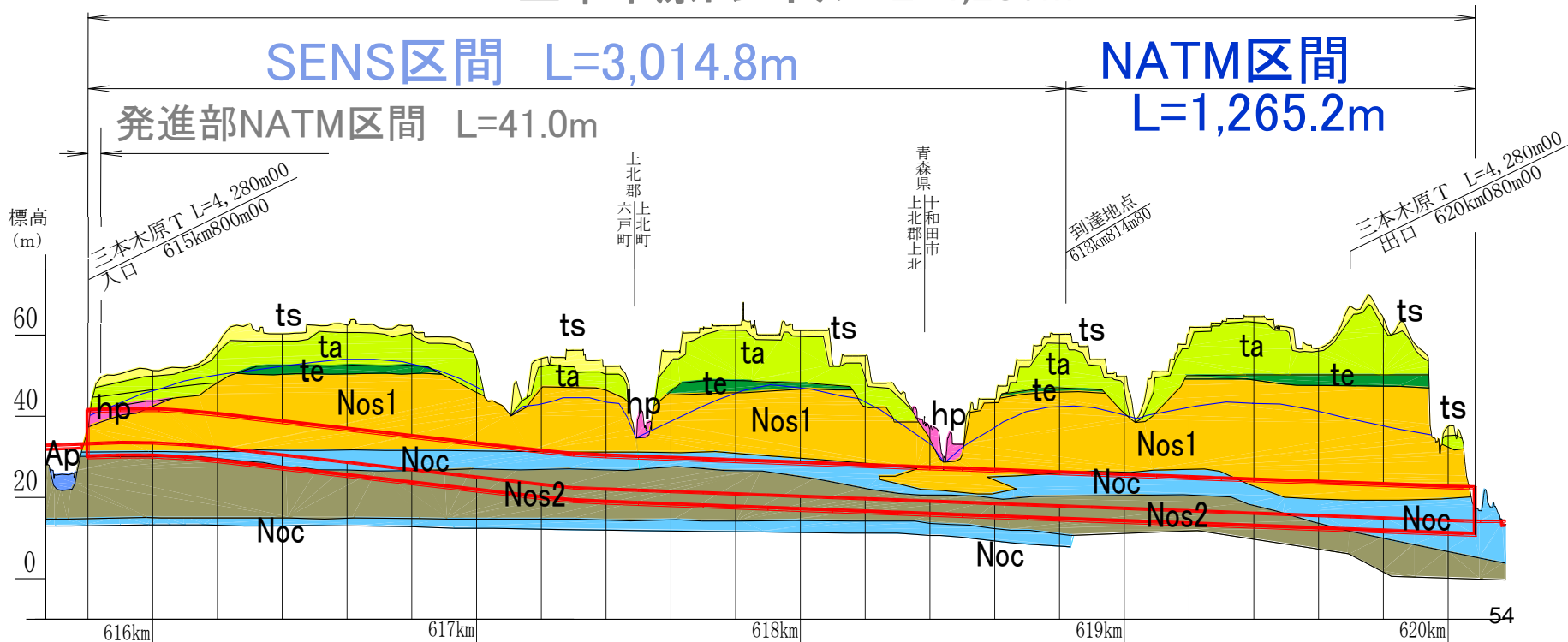


# 5. SENSの導入 三本木原トンネル



記号	地質	記号	地質
ts	表土・盛土	te	天狗岱火山灰層(ローム)
hp	八戸浮石流凝灰岩	Nos1	野辺地層砂質土層
Ap	沖積層腐植土	Noc	野辺地層粘性土層
ta	高館火山灰層(ローム)	Nos2	野辺地層砂質土層

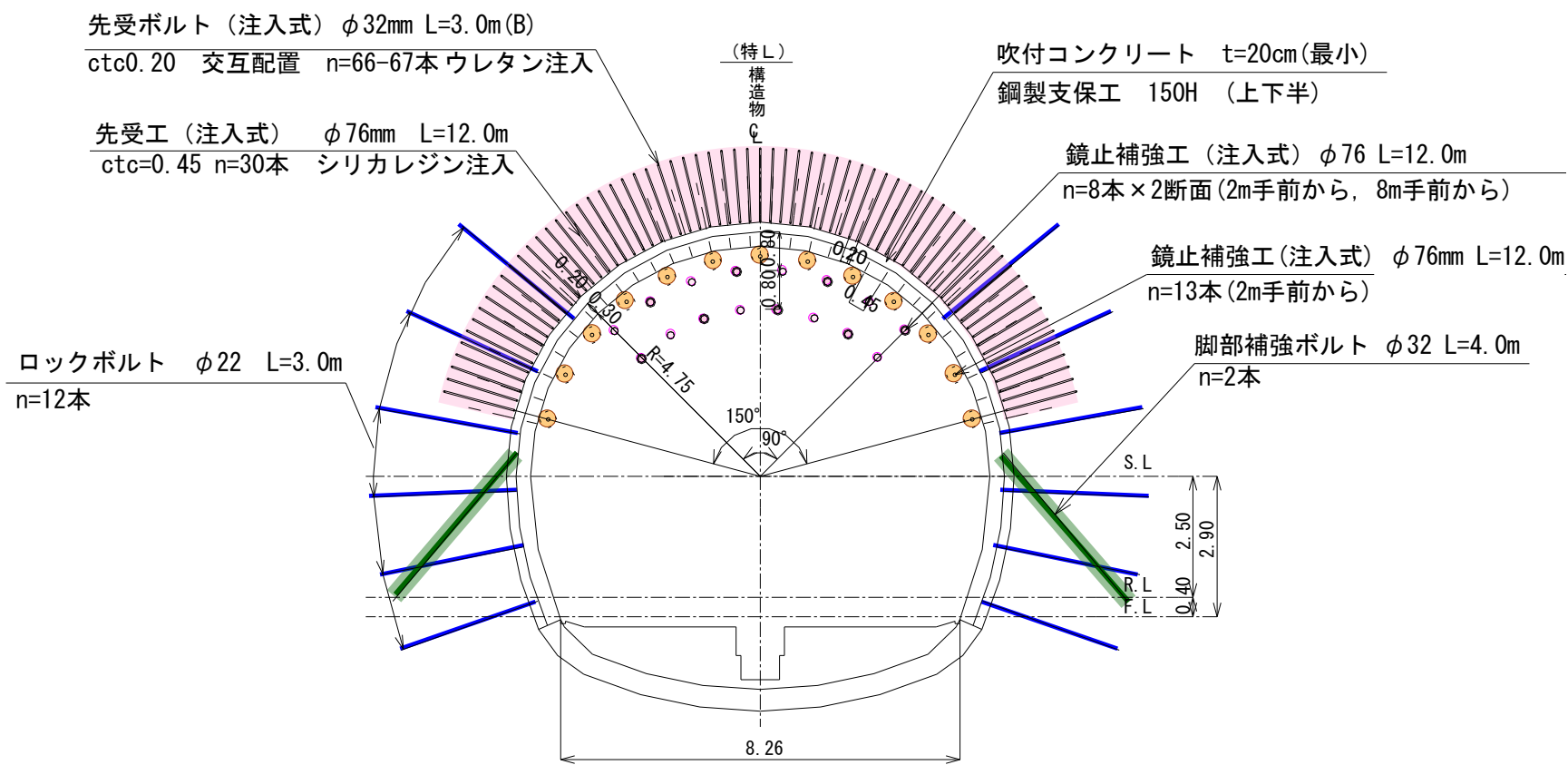
三本木原トンネル L=4,280m



# SENSの導入 三本木原トンネル(NATM区間)



掘さく (P-特L1)ア



地下水位低下工法: 地上からのディープウェル (@20m千鳥配置)  
坑内からのウェルポイント, 水抜きボーリング



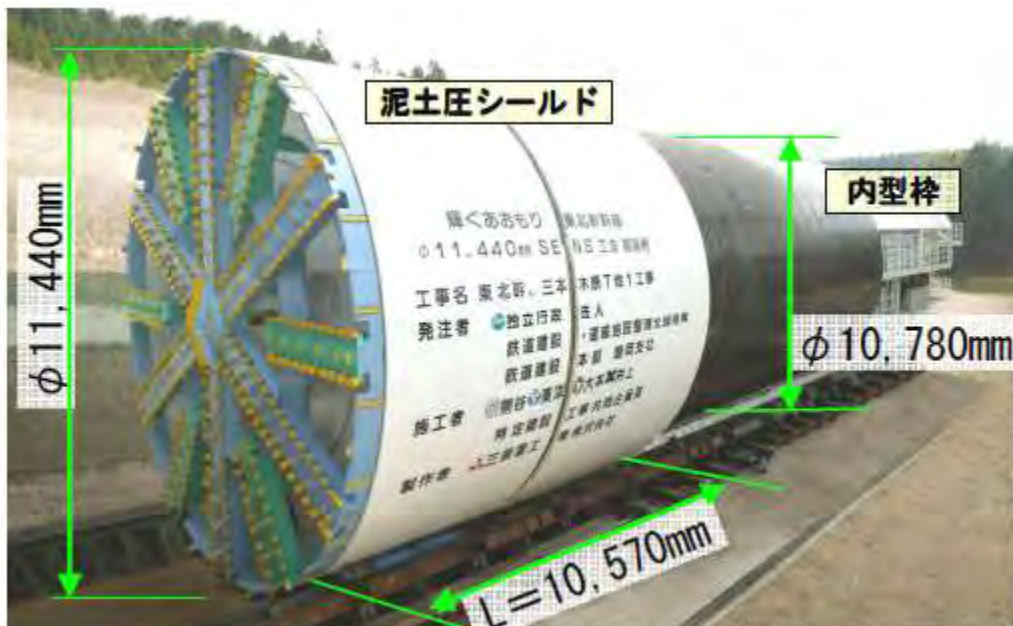
# SENSの導入

## 三本木原トンネル



# SENSの導入 三本木原トンネル

- SENS(シールドを用いた場所打ち支保システム)



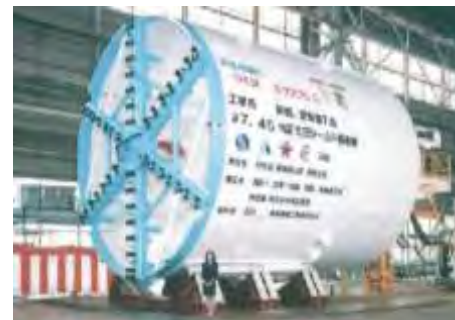


# SENSの導入

## 三本木原トンネル

### シールド (Shield Machine)

シールドによる掘削で流動化する  
地山でも安全施工



### 場所打ちコンクリート (Extruded Concrete Lining)

セグメントを使用しないため  
シールド工法より低コスト

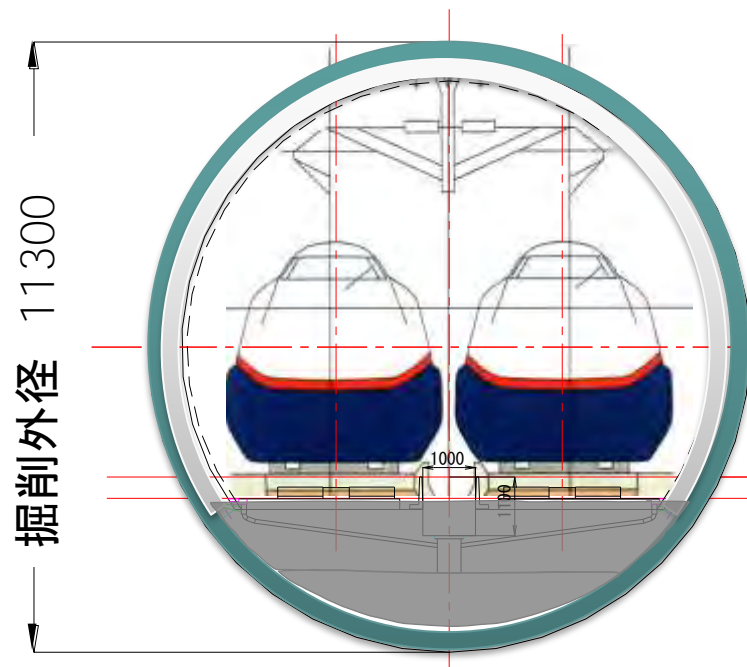
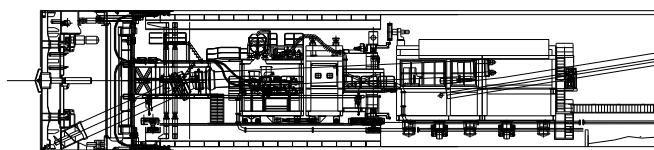


### 山岳工法 (NATM) (New Austrian Tunneling Method)

変位の収束後、  
二次覆工を行うため高品質

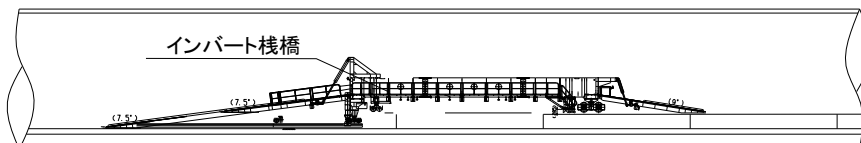


# SENSの導入 三本木原トンネル

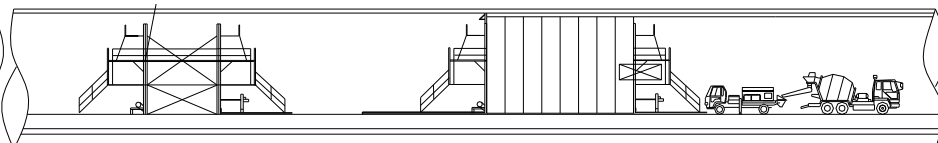


シールド掘進

一次覆エコンクリート



二次インバートコンクリート工



防水シート工

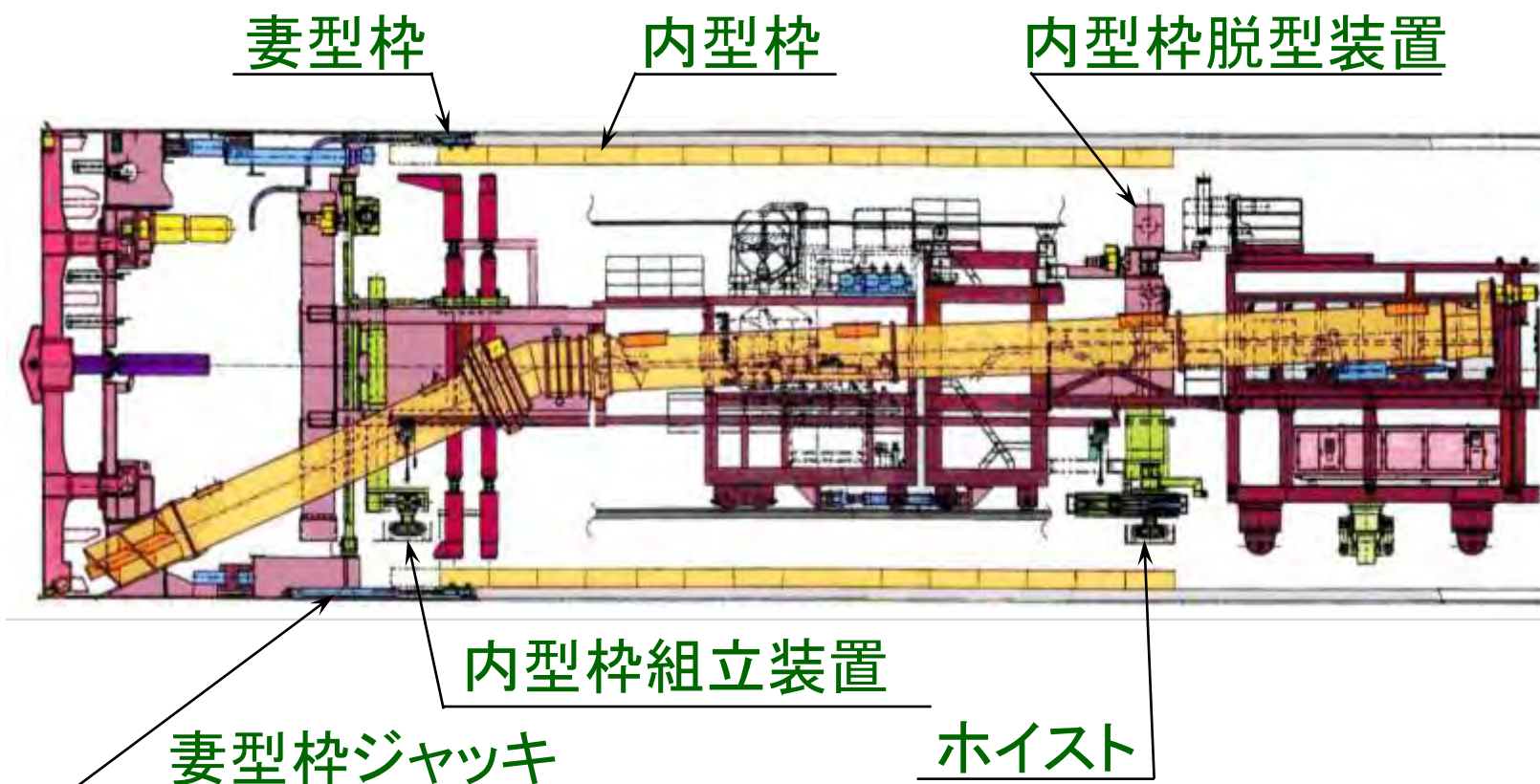
二次覆工



# SENSの導入

## 三本木原トンネル

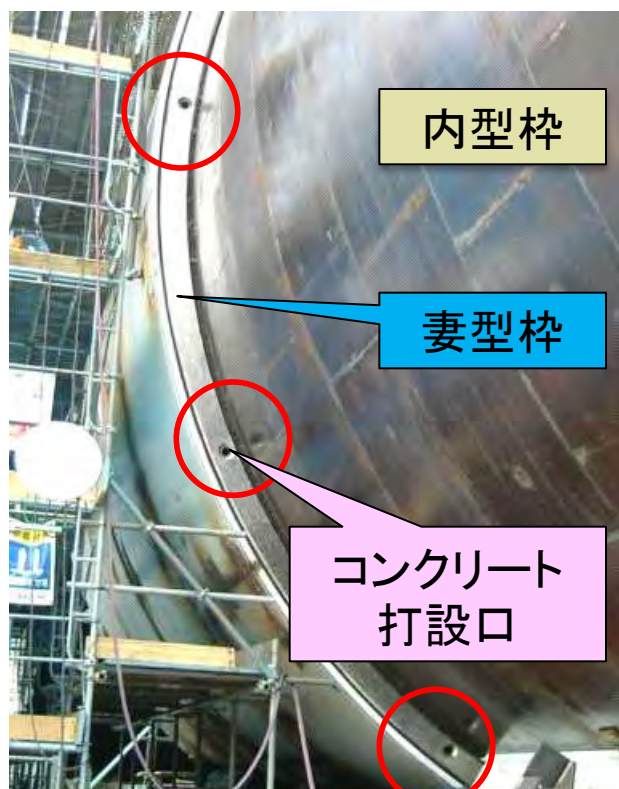
- シールドの概要



# SENSの導入

## 三本木原トンネル

### ● SENSの一次覆工コンクリート



#### 一次覆工コンクリートの要求性能

試験項目	要求性能
スランプフロー (練上り)	650±50mm
フレッシュ保持性 (経時4時間後)	4時間後の500mmフロー時間 180秒以下
強度特性 (気中採取供試体)	30時間強度(標準養生): 15N/mm <sup>2</sup> 以上、 21N/mm <sup>2</sup> 以上 28日で30N/mm <sup>2</sup> 以上 標準養生   20℃環境下の養生
ポンプ圧送性	3インチ配管で30m、 5m <sup>3</sup> /hで打設可能 (ポンプ圧送性の向上)
水中分離抵抗性	pH: 12.0以下、 懸濁物質: 1000mg/ℓ以下

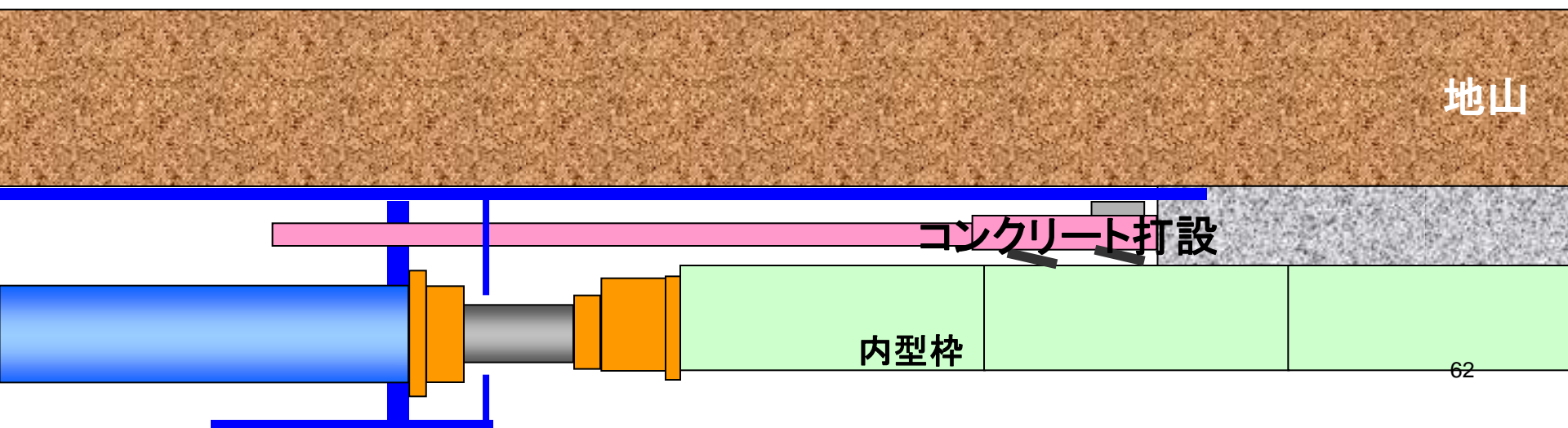
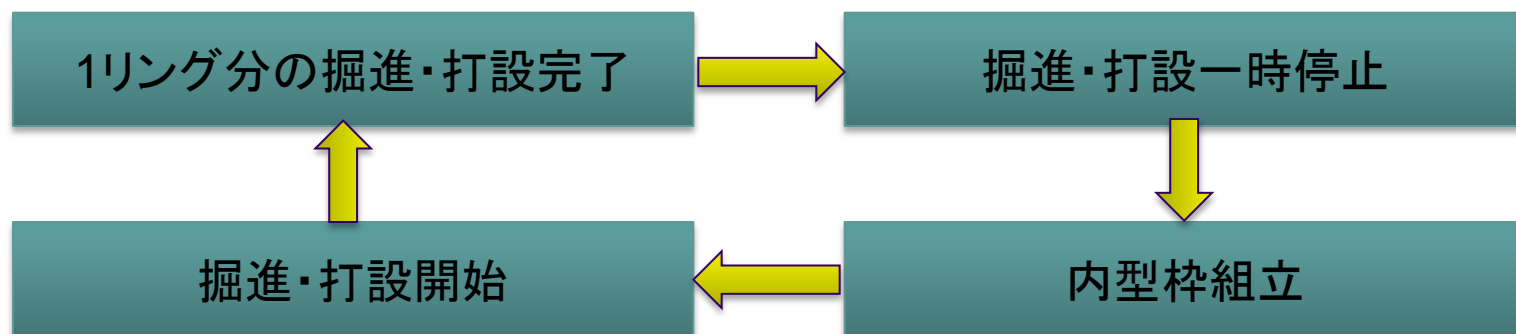
締固め無しで型枠内へ充填することが必要 = 高流動性  
 推進反力を内型枠と一次覆工コンクリートの付着力とする = 早強性

# SENSの導入

## 三本木原トンネル



### ● SENSの施工サイクル





# SENSの導入

## 三本木原トンネル



内型枠脱型状況



場所打ちライニングの状況



二次覆工完了状況



貫通状況

# SENSの導入

## 津軽蓬田トンネル



津軽海峡線 大平トンネル 蟹田層(津軽蓬田トンネルと同地質)



# SENSの導入 津軽蓬田トンネル



発進状況

(地上発進方式)

平均月進189.6m/月，最高月進367.5m/月 を記録  
三本木原トンネルの約1.7倍【平均】，約2.1倍【最高】

貫通状況

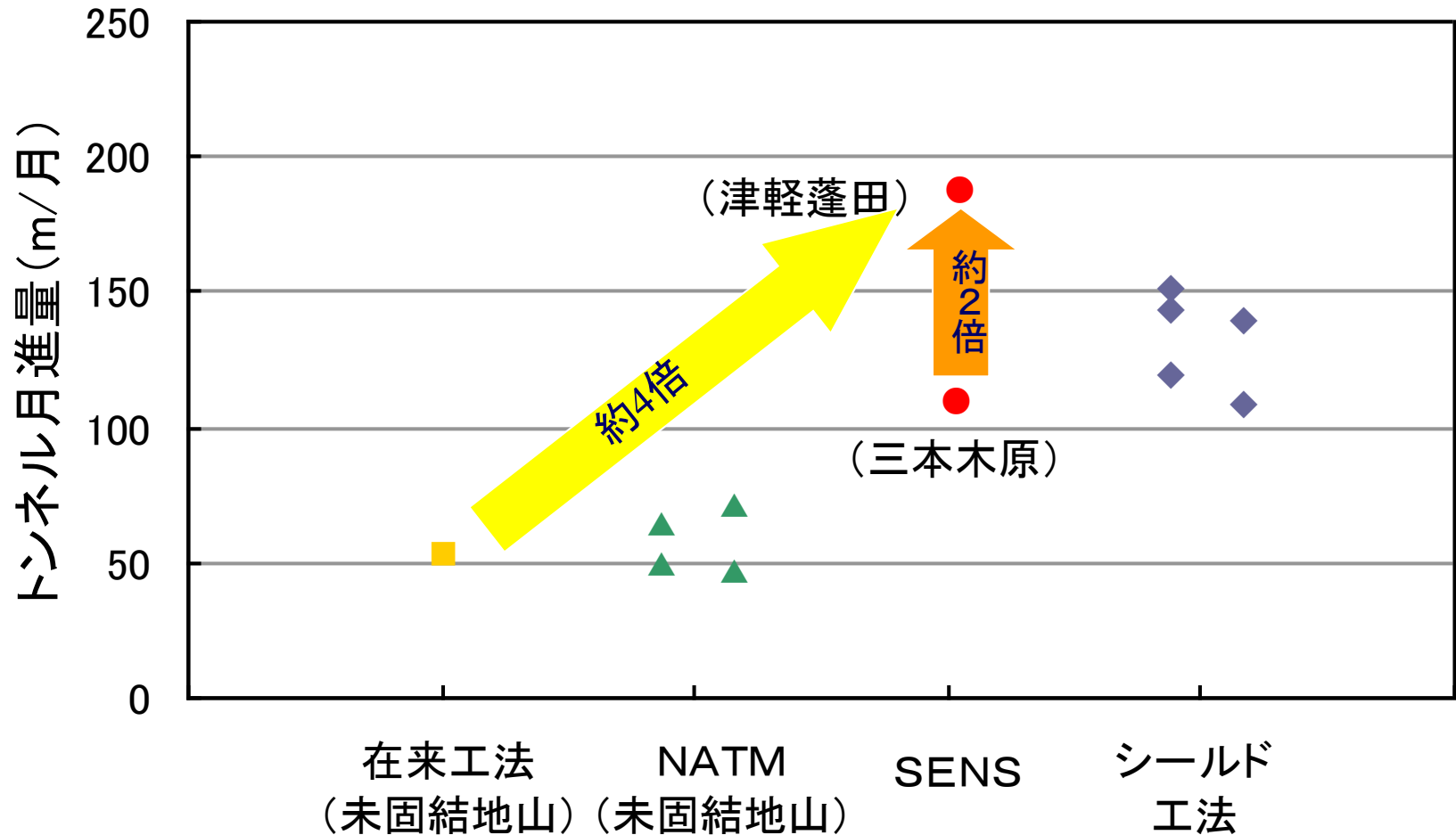




# SENSの導入

## 三本木原トンネル、津軽蓬田トンネル

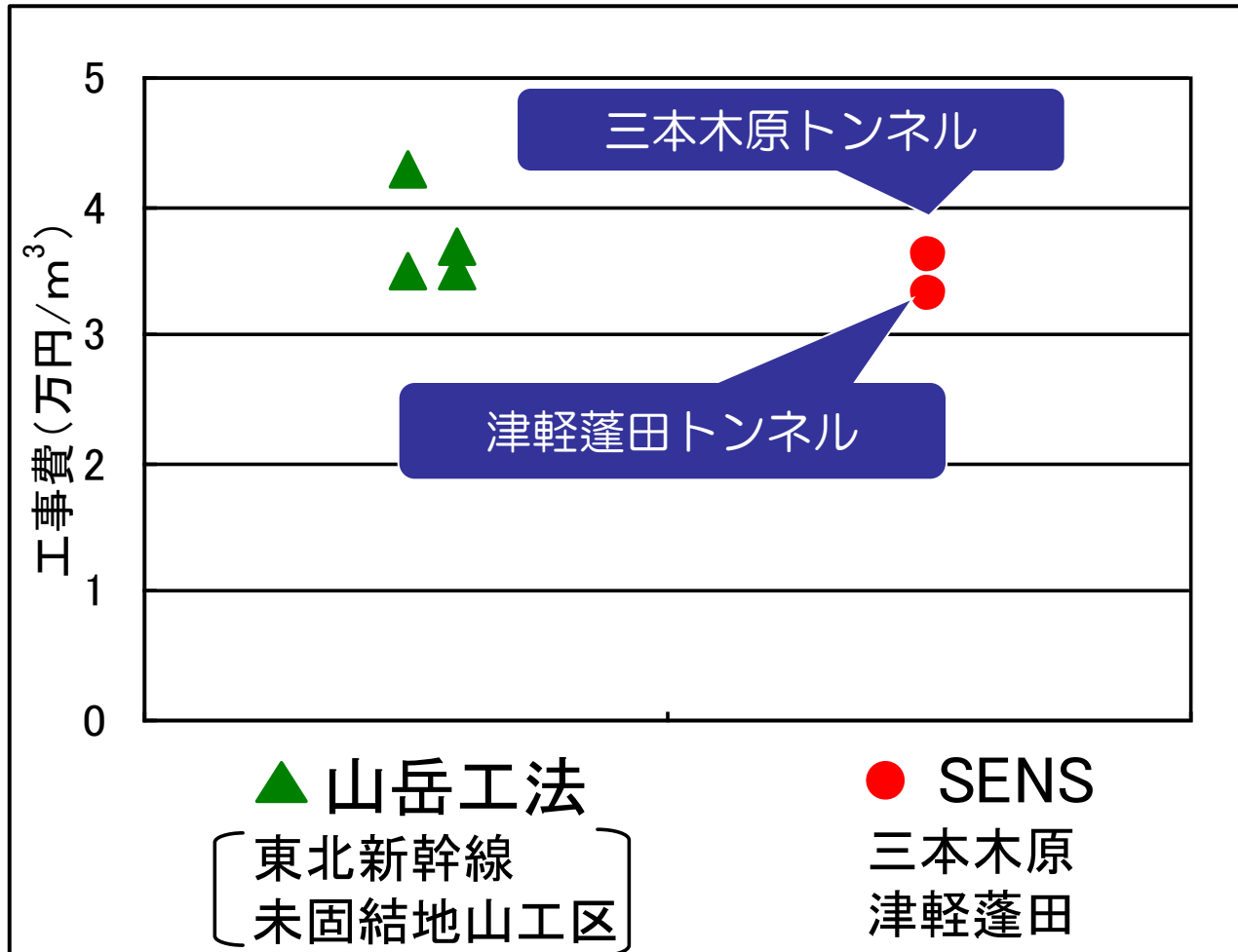
### ● 月進量比較



# SENSの導入

## 三本木原トンネル、津軽蓬田トンネル

- 工事費比較

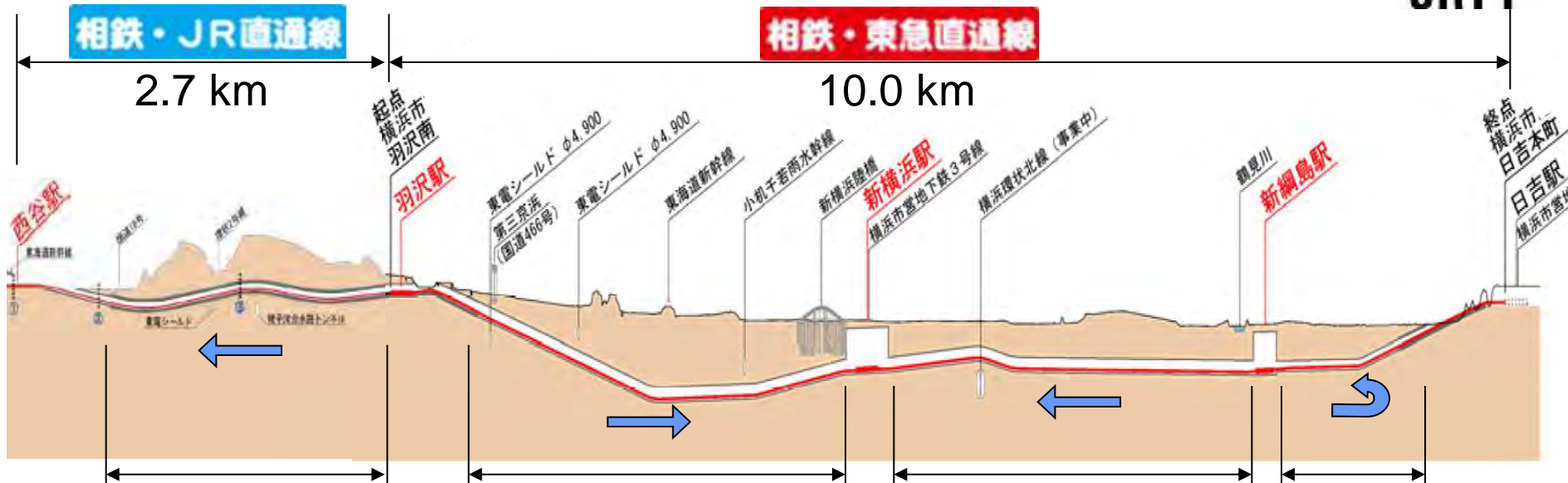


# SENSの導入

## 西谷トンネル、羽沢トンネル



JR TT



西谷トンネル

- ・複線断面
- ・SENS

羽沢トンネル

- ・複線断面
- ・SENS

新横浜トンネル

- ・複線断面
- ・シールド

綱島トンネル

- ・単線断面(並列)
- ・シールド

★SENSの都市部への適用

★シールド機の転用 ★場所打ち⇔セグメントの換装



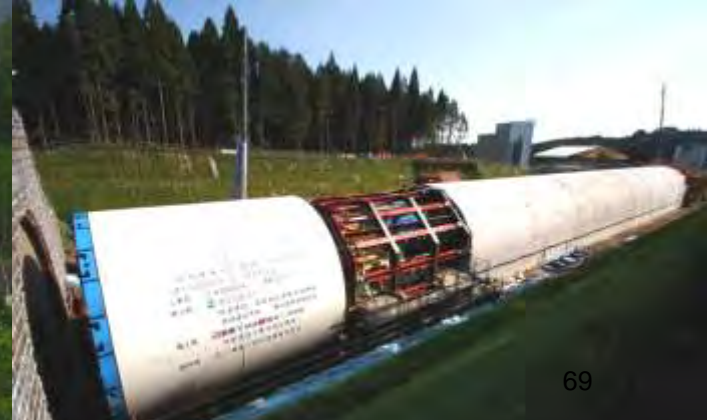
## 6. 羊蹄トンネルにおけるSENSの挑戦



東北新幹線、三本木原トンネル



羊蹄山



北海道新幹線、津軽蓬田トンネル



# 羊蹄トンネル位置図 (地理院地図より)

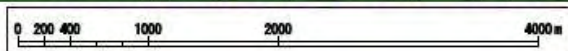


# 羊蹄トンネル周辺の地形

(航空レーザ測量成果)



トンネルルート上には古羊蹄火山の山体崩壊によって出来たとされる流れ山が点在。





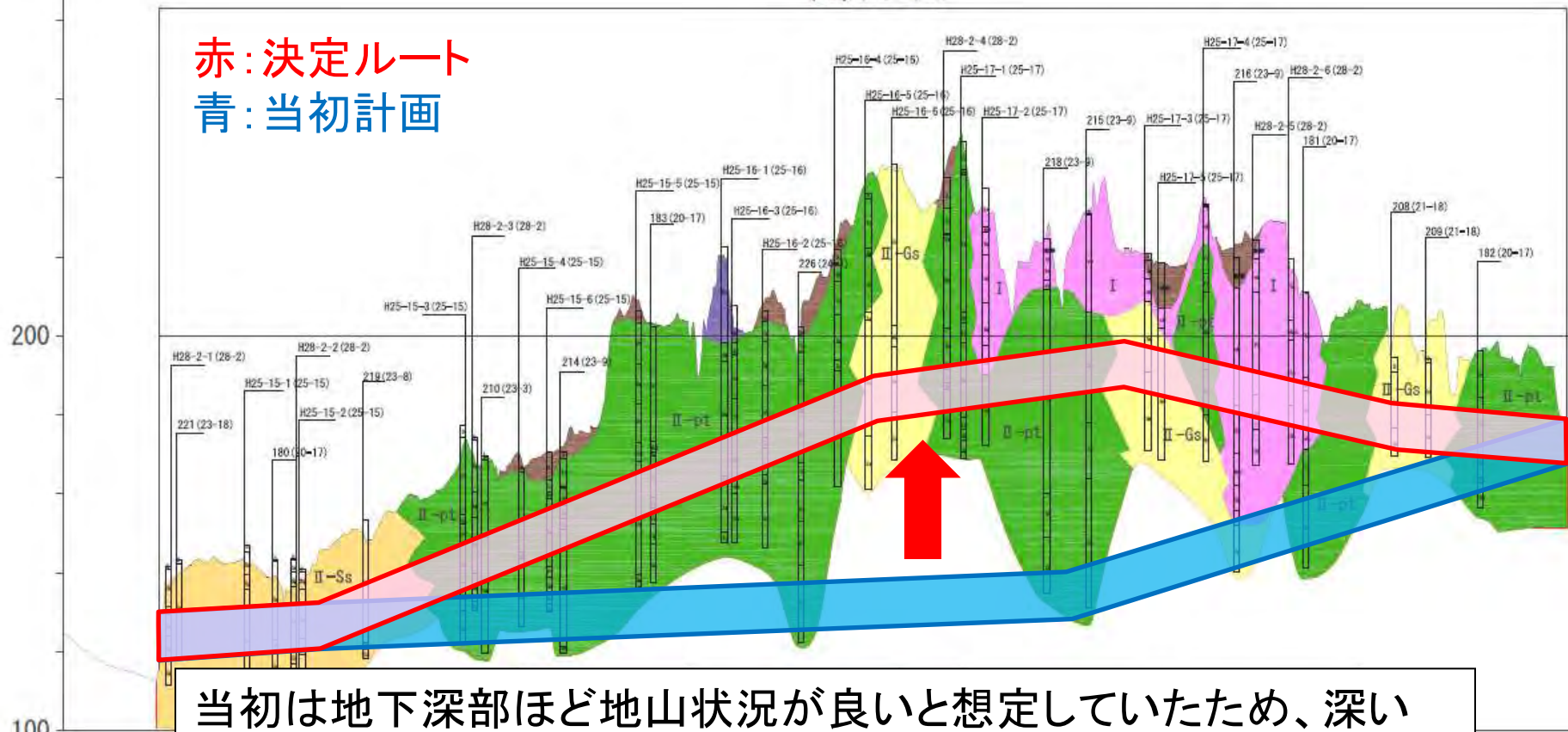
標高  
(m)

# 地質縦断図



羊蹄トンネル

赤: 決定ルート  
青: 当初計画



当初は地下深部ほど地山状況が良いと想定していたため、深い位置にトンネルを通す計画としていたが、詳細な地質調査の結果、地山状況は地表付近とほぼ変わらない(改善されない)ことが判明したため、全体的に縦断線形を上げ、被圧水による切羽の不安定化や掘削に伴う湧水リスクをできるだけ回避することとした。

距離程 (km)	277k500	278k000	278k400	279k000	279k500	280k000	280k500	281k000	281k500	282k000	282k400	282k500	283k000	283k500	284k000	284k200	284k500	285k000	285k500	286k000	286k200	286k500	287k000	287k300	287k340
----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------





JR TT

# NATMによる施工の問題点

- 地下水位面が高く、被圧していることから切羽の安定性に問題がある。
- 地下水位を低下させる場合、地盤沈下や湧水などの影響が懸念される。
- 水抜きや地山改良など、補助工法の使用により工期・工費が増大する可能性がある。



羊蹄山麓、ふきだし公園の湧水(京極町)

羊蹄トンネルにおいて、NATMによる施工は安全性、周辺環境への影響、工期・工費などさまざまなリスクが存在する。

# SENS適用にあたっての課題

- 高強度の巨礫（安山岩質溶岩）の出現。  
（右写真）
- 高圧湧水・被圧水の存在。
- 長距離（1工区約5km）にわたるシールド掘進。



# シールドマシンの設計条件 —巨礫・高水圧への対応策—



- 巨礫への対応
  - ・カッターヘッドは開口率が大きく、土砂の取り込み能力で有利なスポーク形を採用。
  - ・礫質の地盤を先行掘削するシェルビットを配置。
  - ・1m以上の礫も取り込めるよう、スクリーコンベアの径を拡大。
  - ・想定外の巨礫出現に備え、坑内からの割岩作業も考慮した設計とする。
- 高水圧への対応
  - ・推進ジャッキ能力の向上
  - ・テール部からの漏水を防ぐため、テールシール、排土装置の多段化。



羊蹄トンネルは5本目のSENS掘削によるトンネルである。羊蹄トンネルでは未固結地山中に含まれる巨礫の存在や高水頭の被圧地下水の存在といった新たな課題があるが、今後も技術開発を進め、適用範囲のさらなる拡大や、建設コスト縮減、工期短縮に向けた取り組みを行っていく。

