

令和5年3月8日  
東日本高速道路株式会社  
関東支社

## **C4** 首都圏中央連絡自動車道(大栄～松尾横芝)

### 芝山トンネル技術検討会(第1回)の開催について

NEXCO東日本 関東支社(埼玉県さいたま市)は、**C4** 首都圏中央連絡自動車道(大栄～松尾横芝) 芝山トンネル技術検討会(第1回)を開催しましたのでお知らせします。

1. 日時  
令和5年3月3日(金) 16:00～18:00
2. 場所  
東日本高速道路(株) 本社
3. 出席者  
別紙のとおり
4. 議題  
別紙のとおり
5. 議事要旨及び検討会資料等  
別紙のとおり

## 首都圏中央連絡自動車道（大栄～松尾横芝）芝山トンネル技術検討会（第1回）

### 議事要旨

日時：令和 5年 3月 3日（金） 16：00～18：00

場所：東日本高速道路(株) 本社151会議室

出席者：真下英人委員長、日下 敦委員、中野清人委員、大津敏郎委員、笹原壮雄委員、  
小島昌希委員

議題：

- 芝山トンネル施工における条件整理
- 補助工法の適切性について
- 薬液注入材の適切性について
- 今後の課題について

### 議事要旨

資料の内容について説明を行い、以下の意見があった。

- 設立趣意書及び規約（案）について事務局より説明を行い、全委員より了解を得た。
- 芝山トンネル施工における条件整理について、以下を確認した。
  - 芝山トンネルの掘削断面は、砂質土が主体であり、事前の土質データなどから細粒分含有率10%以下かつ均等係数5以下で「流動化を示す指標」にある物理条件を満たしており、自立性が低く、流砂現象に対する注意が最も必要な地盤であること。
  - 過去に首都圏中央連絡自動車のトンネル工事で陥没が生じた、笠森鶴舞トンネルや山口トンネルもこれに類する地盤条件であり、かつ小土被りであることやトンネル直上部には第三者の出入りがある町道やゴルフ場が存在することから、本トンネル工事を安全に進めるためには補助工法の適切な選定が必要であること。
- 補助工法の適切性について、以下を確認した。
  - 切羽天端の崩落防止および先行地山の緩み防止に効果がある注入式長尺鋼管先受工を用いること、切羽の安定対策として注入式長尺鋼管鏡補強工を用いることが必要であること。
  - また、インバート早期閉合や掘削の状況や計測を実施しながら必要な箇所脚部補強等の必要な補助工法を実施することが必要であること。
  - これまでの掘進において、上記の補助工法を用いることにより、地表面変位やトンネル内空変位については大きな変位は確認されておらず、安全に掘進できていること。

- 薬液注入材の適切性について、以下を確認した。
  - 注入式長尺鋼管先受工、注入式長尺鋼管鏡補強工、脚部補強で用いる注入材は、事前に実施した試験施工の結果、改良体を形成できた特殊水ガラス系溶液型が有効であること。
  
- 今後の課題について、以下を確認した。
  - 自立性の低い地山では地耐力不足が懸念され、脚部沈下に伴い地表面沈下に繋がる恐れがあることから、脚部補強等を行うこととし、地山支持力の確認や脚部補強の効果の検証を行いながら、今後の地山支持力の低い層の掘削断面に占める比率が上がる区間に備え、より詳細な検証を行うこと。
  - 注入式長尺鋼管先受工の鋼管と鋼アーチ支保工間の間隔が広がるに従って、天端の抜け落ちが頻繁に生じていることから、掘削断面の崩落を進展させないこととともに、作業員の安全を確保する観点からも、注入式長尺鋼管先受工の打設間隔（シフト長）を狭める対策を行うこととし、その効果を確認しながら掘進を進めていくこと。
  - 箱抜き部（非常用設備）の施工方法について、拡幅掘削時に流砂現象や地山崩壊の恐れがあることから、拡幅掘削箇所の上部を事前に薬液注入等で補強を行い、吹付けコンクリートや鋼アーチ支保工の応力測定やトンネル内空の変位を確認しながら、慎重に施工する必要があること。
  
- 引き続き、地表面のモニタリングを行いながら、慎重に、安全に掘進を進めていくとともに、更なる必要な補強等について検討していく必要があることを確認した。

以 上

首都圏中央連絡自動車道（大栄～松尾横芝） 芝山トンネル技術検討会  
設 立 趣 意 書

東日本高速道路(株) 関東支社 千葉工事事務所

首都圏中央連絡自動車道（大栄～松尾横芝）新設事業は、区間延長約18kmのうち、約0.6kmの芝山トンネル（仮称）を有する。

芝山トンネルは、砂質地盤が主体となる地山を掘進する工事となるが、これまでに千葉県内の圏央道沿線のトンネル工事では、同様の地質条件下において、流砂現象による陥没事象が発生しており、また、極めて厳しい条件下での施工となることから、適切な補助工法の選定などの施工技術等に関して確認、検討すべき課題が存在する。したがって、施工中における実際のトンネルの地盤の状況や掘進状況を確認し、検討することが必要である。

このため、首都圏中央連絡自動車道（大栄～松尾横芝）芝山トンネルに関し、トンネルの施工技術等について確認、検討することを目的として、トンネル施工技術の専門家、関係機関により本検討会を設置するものである。

# 首都圏中央連絡自動車道（大栄～松尾横芝）芝山トンネル技術検討会 規 約

## （設 置）

第1条 首都圏中央連絡自動車道（大栄～松尾横芝）芝山トンネル技術検討会（以下、「検討会」という。）は、東日本高速道路㈱関東支社千葉工事事務所が設置する。

## （目 的）

第2条 検討会は、芝山トンネルにおける施工技術等に関する技術的な検討を行うことを目的とする。

## （所掌事項）

第3条 検討会は、以下について検討等を行う。

- （1） トンネルの施工に関する事項
- （2） その他必要な事項

## （検討会の運営）

第4条 検討会には委員長を置き、検討会は、委員長が招集する。

2. 委員長は、事務局が推薦し、委員の了承を得て決定する。
3. 委員は、別紙1のとおりとする。
4. 委員長は、委員に諮った上で、委員の変更または追加を行うことができる。
5. 委員長は、必要に応じ、会議へのオブザーバの出席を求めることができる。
6. 委員長が職務を遂行できない場合、予め委員長が指名する委員がその職務を代理する。

## （中立性）

第5条 委員は、検討会の設置目的に照らし、公正中立な立場から審議等にあたらなければならない。

## （守秘義務）

第6条 委員等は、審議で知り得た内容について、検討会の許可無く第三者に漏らしてはならない。また、委員等の職を退いた後も同様とする。

(委員の任期)

第7条 委員等の任期は、第3条に定める事項が終了するまでとする。

(検討会の公開)

第8条 検討会の設立趣意書、規約、委員名簿、配布資料および議事要旨については公開とする。

2. 会議および議事については原則非公開とする。
3. これにより難しい場合は、委員に諮った上で、委員長が決定するものとする。

(事務局)

第9条 事務局は、東日本高速道路㈱関東支社千葉工事事務所に置く。

(その他)

第10条 本規約に定めのない事項等は、委員に諮った上で、委員長が決定するものとする。

附 則 この規約は、令和5年3月3日から施行する。

## 委 員 名 簿

- 委員長 真下 英人 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所長
- 委 員 日下 敦 (国研) 土木研究所 つくば中央研究所  
道路技術研究グループ上席研究員
- 委 員 中野 清人 (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 トンネル研究担当部長
- 委 員 大津 敏郎 東日本高速道路(株) 技術本部 総合技術センター エキスパート
- 委 員 笹原 壮雄 東日本高速道路(株) 関東支社 千葉工事事務所長
- 委 員 小島 昌希 国土交通省 関東地方整備局 千葉国道事務所長

# 首都圏中央連絡自動車道（大栄～松尾横芝）芝山トンネル技術検討会

## 第 1 回 検 討 会

### 資 料

令和 5年 3月 3日

東日本高速道路(株)関東支社千葉工事事務所  
大林組・岩田地崎建設特定建設工事共同企業体

## 目 次

1. 検討会の目的	.....	1
2. 芝山トンネルの概要	.....	2
3. 地形地質・地下水の概要	.....	3
4. 補助工法の検討について	.....	5
5. 地表面モニタリング方法	.....	12
6. 現在の状況	.....	13
7. 今後の課題	.....	14

## 1. 検討会の目的

### 1-1 路線概要

圏央道は、首都圏の交通混雑の緩和や地域の活性化を図ることを目的に計画された道路で、都心から半径およそ40～60kmに位置する総延長約300km（千葉県内約95km）の環状自動車専用道路である。

千葉県内においては、延長95kmの約8割にあたる77kmが既に通っており、千葉県内の最後の区間となる大栄～横芝間について、国土交通省関東地方整備局とNEXCO東日本が共同で事業を進めている。

この大栄～松尾横芝間では、インターチェンジ予定地の周辺地域を中心に、物流・産業拠点、交流拠点、住宅団地等の整備が進められており、この区間の開通によって周辺地域の経済の活性化や観光振興などに寄与することが期待されている。また、並行する一般道の渋滞緩和や、環状道路の整備により、都心の混雑を緩和する役割なども期待されている。

### 1-2 検討会の目的

千葉県内の圏央道沿線のトンネルでは、これまでに砂地山のトンネルで掘削時に流砂現象を起こした結果、陥没事象が発生しており、芝山トンネルも同様の砂地山であることから、現計画の補助工法が適切であるか、また追加の補助工法の必要性等について、有識者から技術的助言を得ながら安全に施工を進めて行くことを目的として本検討会を設置する。

#### 【位置図】



#### 【笠森鶴舞トンネル】（平成22年10月19日発生）

- 掘削中に前面から湧水とともに土砂も流出し、地上にある耕作地と林地の2箇所が陥没。



直径約7m、深さ約5m



直径約8m、深さ約10m

#### 【山口トンネル】（平成22年12月28日発生）

- 掘削中に天端より土砂崩落が発生し、地上部にある山林1箇所が陥没。



約7m×約4m、深さ5m

## 2. 芝山トンネルの概要

- トンネル延長 616m (STA.126+01.00~132+17.00)
- 主に砂質土を主体として形成された地質構造であり、土被りは約3m~約17m程度(平均10m程度)である。
- 芝山トンネルの直上部の一部には、町道とゴルフ場があり、第三者の立ち入りがある場所が存在。町道には農業用水管(成田用水φ100,φ500)が埋設されている。トンネル掘削時においては、これらの対象物に影響を与えないよう、より慎重に施工を行う必要がある。

〔平面図〕



起点側坑口部 (到達側)



終点側坑口部 (掘削開始側)

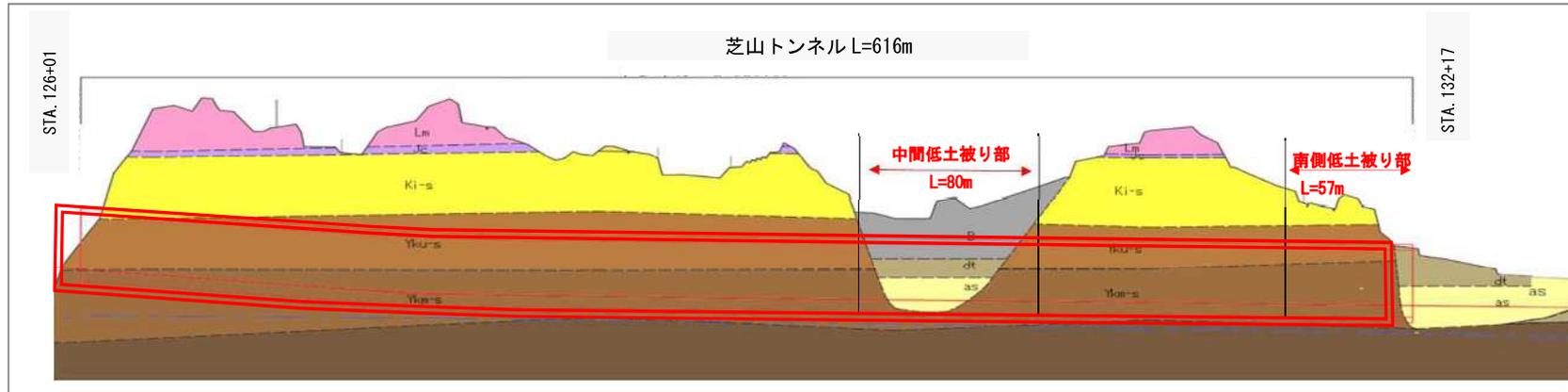
### 3. 地形地質・地下水の概要

#### 3-1 地形地質

芝山トンネルの地質は、主に横芝層上部層・中部層から構成され、一部終点側坑口部及び中間低土被り部にて沖積層が堆積する。

また、既往研究によると、地下水下にある砂質地山は「流動化を示す指標」にある物理条件を満たすと流砂現象が生じると言われているが、地下水がない場合でも、乾燥した砂の場合に流砂現象が生じる場合もあるとされている（圏央道山口トンネルの例）。芝山トンネルは地下水を有していないと考えられているが、流動性を示す指標と本トンネルの砂質土の特性を比較すると飽和状態の場合に流砂現象を起こす可能性があり、含水比が低いことから乾燥流砂を起こす条件にも該当する。

〔地質縦断面図〕



【芝山トンネルの砂質土の特性】

分類	横芝層上部層 Yku-s	横芝層中部層 Ykm-s
位置	天端～トンネル中央	トンネル中央～下半
均等係数	2.1～15.8 (平均 7.7)	2.4～3.0 (平均 2.7)
細粒分含有率 (%)	9.3～15.1 (平均 12.3)	10.7～12.3 (平均 11.5)
50%粒径	0.166～0.272 (平均 0.200)	0.141～0.147 (平均 0.144)
10%粒径	0.020～0.085 (平均 0.044)	0.054～0.064 (平均 0.059)
自然含水比 (%)	14.5～27.8 (平均 21.8)	13.7～21.3 (平均 17.5)
粘着力(kN/m <sup>2</sup> )	5 (推定)	5 (推定)
内部摩擦角 (°)	34 (N 値換算)	38 (N 値換算)

(平成 27 年度芝山トンネル詳細設計より)

【流動化を示す指標】

均等係数 < 4～5  
 細粒分含有率 < 10%  
 50%粒径 ≤ 1.5mm  
 10%粒径 ≤ 0.15mm

(社) 土木学会：2006 年制定 トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説  
 に示される地山の流動化を示す指標の例を基に整理

地層・土層層序表

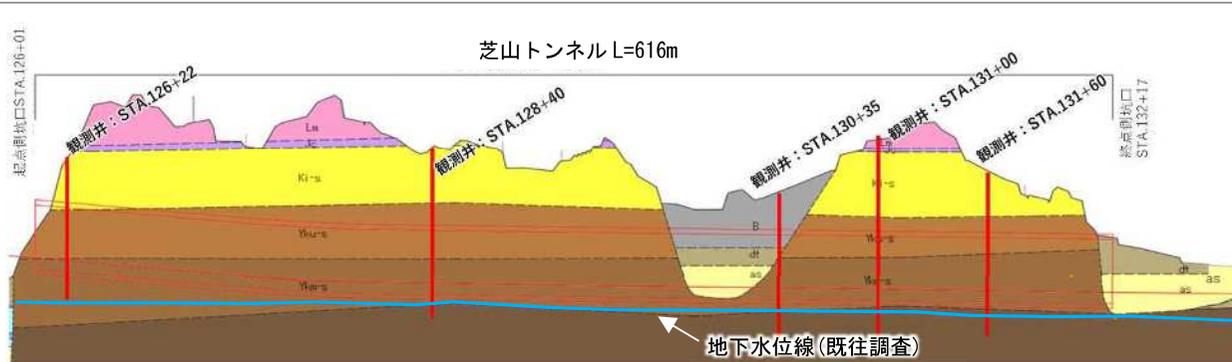
地質時代	地層区分	土層区分	記号
新世	現世	盛土・表土	粘性土・砂質土 B
		沖積層	砂質土 as
更新世	下	新期ローム層	二次ローム AI
		常総粘土層	凝灰質粘土・砂 Jc
		木下層	砂質土 Ki-s
		横芝層	上部層 砂質土 Yku-s
第四紀	新	中部層	砂質土 Ykm-s
		八日市場層	上部層 砂質土 You-s

### 3-2 地下水位の状況

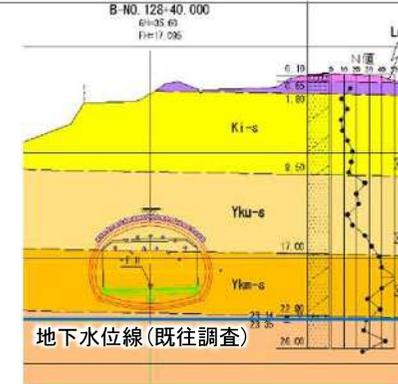
既往調査より地下水位は施工基面より数 m 程度下にあることが確認されているが、多量の降水時に地下水がどのように変動するかは不明確であり、一過性の上昇がみられる可能性もある。流砂現象は地下水の上昇に伴い砂質土が飽和状態となった際に生じ易いとされていることから、芝山トンネルを施工する上で地下水位の情報は重要となる。従って、トンネル施工範囲に計5ヶ所の地下水観測井戸を設け、遠隔水位モニタリング装置を設置した。

設置箇所は両坑口部と沖積層が堆積する中間低土被り部、土被りが比較的大きい中間部としている。

地下水位の観測はトンネル施工開始前の2022年7月(2022年11月より掘削開始)から開始し、2023年2月現在までに降水量の減少とともにわずかに地下水位の低下が確認されている。また、多量の降水時に急激な地下水の上昇は確認されていない。



〔地下水水位観測井設置箇所〕



〔地下水水位 STA128+40〕



〔地下水水位モニタリング結果〕

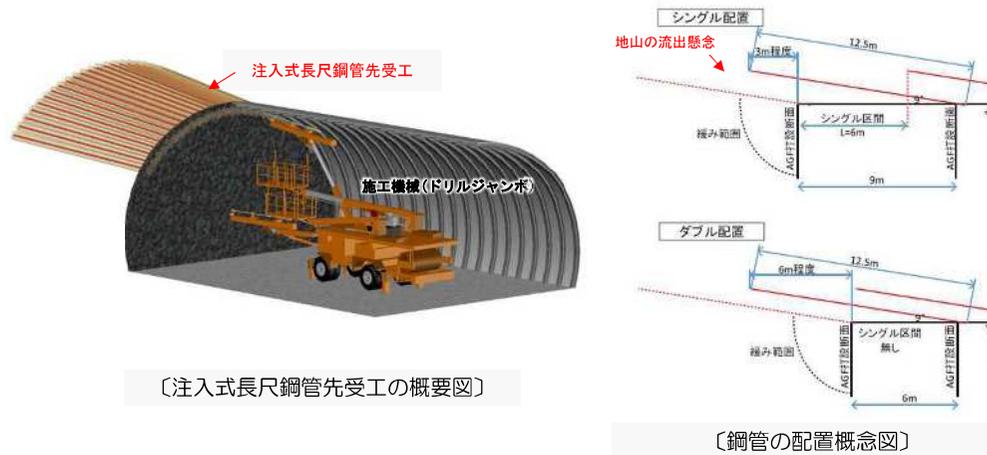


〔観測井戸・水位計設置状況〕

## 4. 補助工法の検討について

### 4-1 設計の考え方

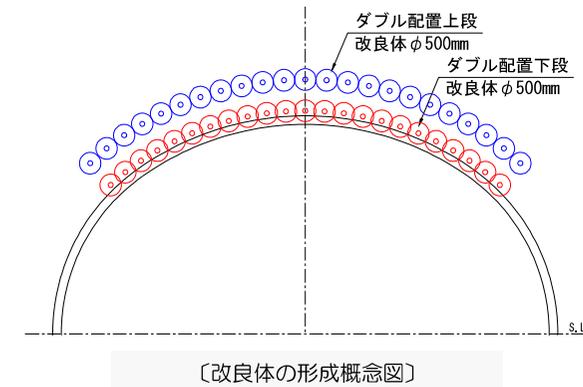
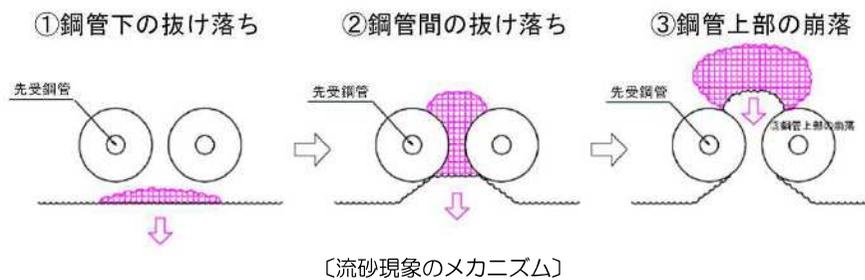
芝山トンネルの補助工法は、流砂対策として、同じ砂質地山である圏央道笠森鶴舞トンネル、山口トンネルと同様に、注入式長尺鋼管先受工が計画されている。  
 土質条件から、切羽の安定計算、先受けの先から地山が流出する懸念から、鋼管のダブル配置としている。なお、笠森鶴舞トンネル、山口トンネルでは、地表陥没を起こして以降、同様の対策により崩壊を抑止していることから、鋼管のダブル配置は妥当と考える。  
 流砂現象の発生メカニズムは、鋼管の隙間から地山が抜け落ちることで生じるものと考えられており、鋼管の打設間隔 450 mmより大きい改良体を形成し、アーチ方向に改良体を連続させることが重要であることから改良径を 500 mmとして設計している。  
 また、確実な改良体の形成が最も重要であることから、地山に適した注入材を選定する必要がある。



〔注入式長尺鋼管先受工の仕様〕

項目	標準仕様	採用案	備考
管長	12.5m	12.5m	
管径	φ 114.3mm, t=6mm	φ 114.3mm, t=6mm	
縦断方向打設間隔	9.0m	6.0m	常に2段となる配置
横断方向打設範囲	上半 120°	上半 120°	
横断方向打設間隔	450mm	450mm	
改良径	φ 450mm	φ 500mm	改良体に隙間が出ない径

(令和2年度芝山トンネル修正設計より)

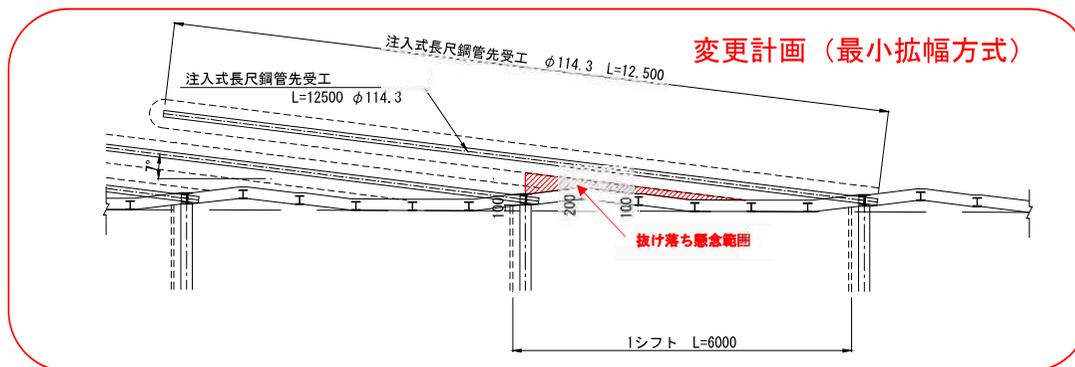
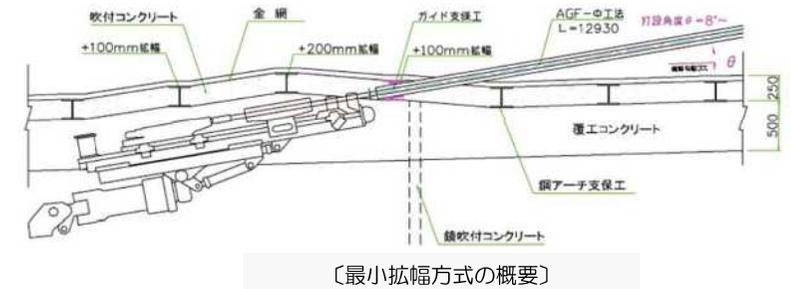
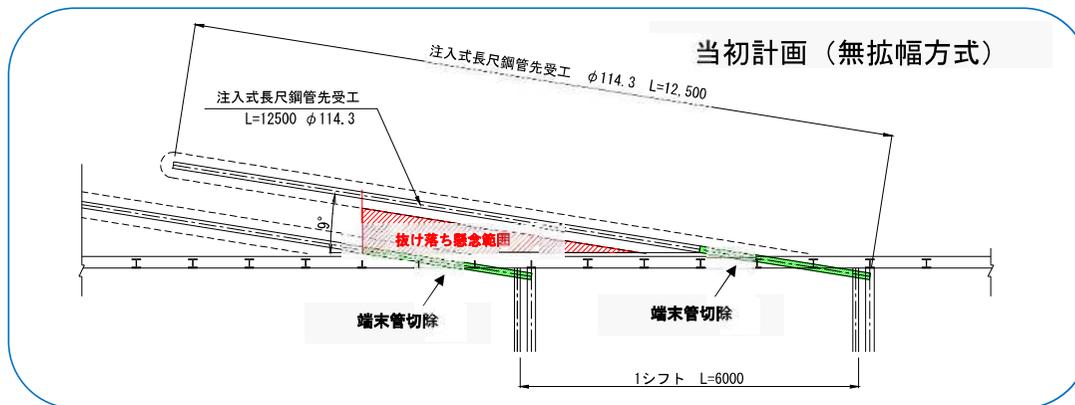


#### 4-2 補助工法の検討①〔注入式長尺鋼管先受工に関する検討〕

注入式長尺鋼管先受工は無拡幅方式の場合、掘削断面内から放射状に鋼管を打設するが、掘削時に大型ブレーカ等の打撃により鋼管の末端部を切除する必要がある。その際に地山の抜け落ちが生じ、周辺地山を緩めてしまう可能性がある。

芝山トンネルは、圏央道の類似トンネルと比較して小土被りかつ地上の土地利用があり、より慎重な施工が求められる。従って、注入式長尺鋼管先受工について、本トンネルの地山条件により適した工法を検討する必要がある。先述の通り、流砂現象は鋼管下部の抜け落ちから始まり徐々に進展していくと考えられる。従って、鋼管下の抜け落ちを防ぐことが重要と考え、上記の観点から、より優位性のある最小拡幅方式を採用する。

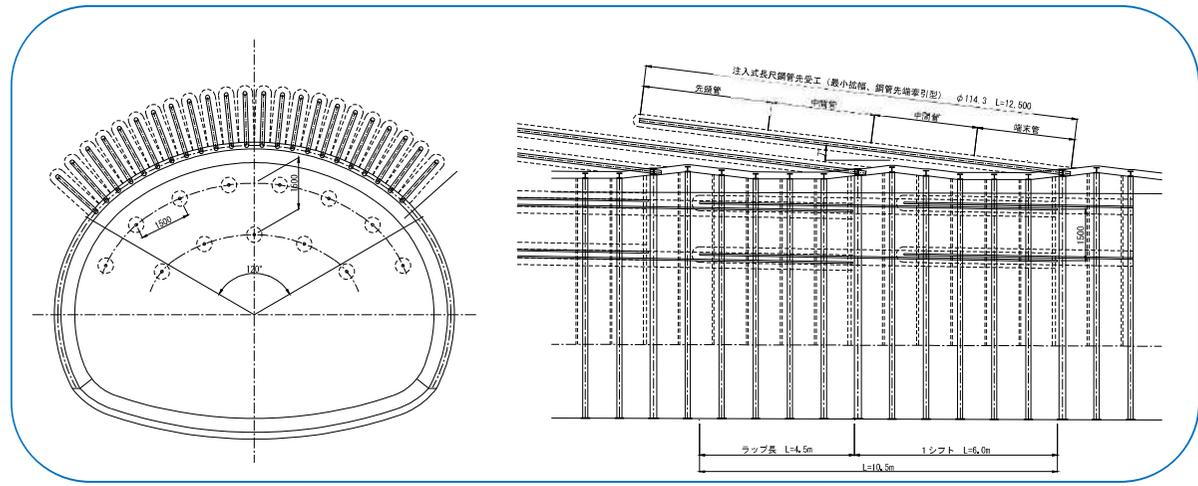
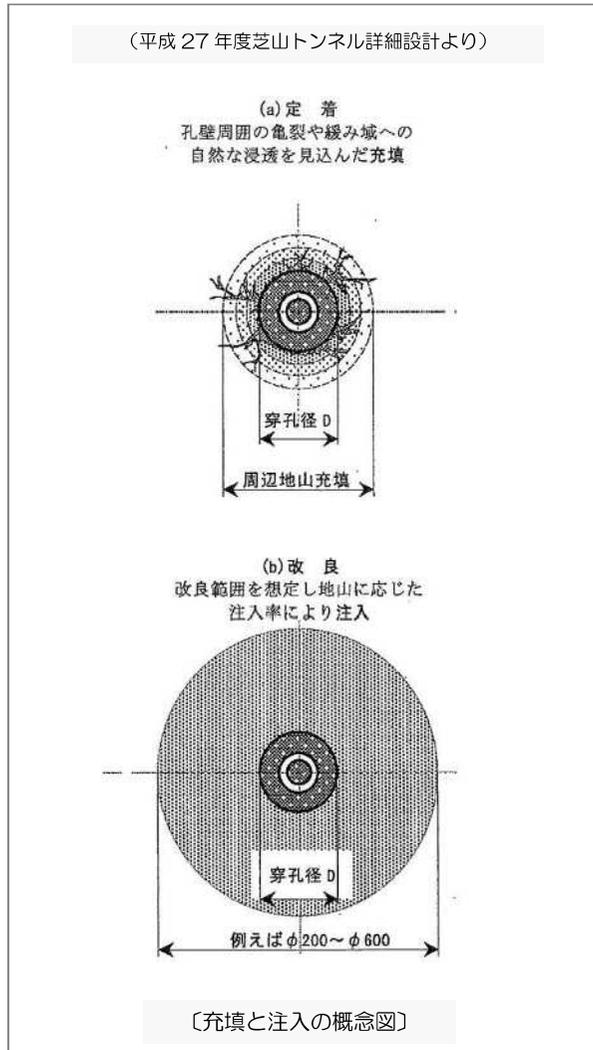
本工法はガイドパイプ付きの穴明き鋼製支保工から鋼管を打設することで打設仰角を最小にでき、掘削断面付近を改良できると共に鋼管下の抜け落ち量も最小にできる。加えて、鋼管の切除も不要となるため地山を緩める懸念もない。



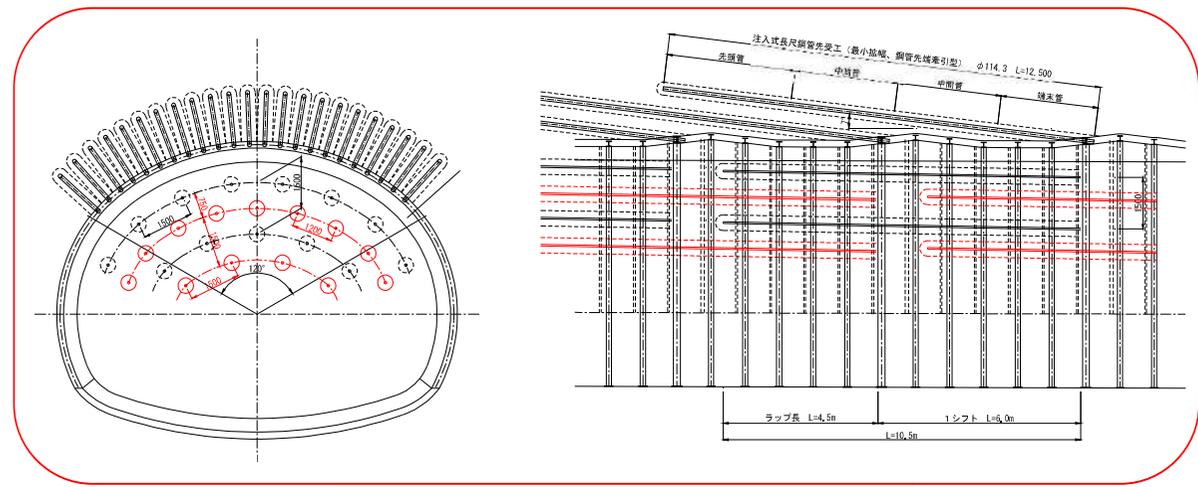
最小拡幅方式の施工状況（参考）

### 4-3 補助工法の検討②〔注入式長尺鋼管鏡補強工に関する検討〕

圏央道笠森鶴舞トンネル・山口トンネルの実績から未固結砂質土を掘削するには、注入式長尺鋼管先受工に加え、注入式長尺鋼管鏡補強工による切羽の安定対策が必要。  
 鏡補強工の周辺を固結する方法の考え方には「充填による定着」と「注入による改良」がある。通常、鏡補強工は定着を主目的とするが、芝山トンネルの砂質土は流砂現象を起こす可能性が考えられるため改良を目的とした注入が必要であると考え。  
 注入式長尺鋼管鏡補強工は打設長 L=10.5m(内 1.0m はバルヘッド管)とし、1 シフト 6.0m・ラップ長 4.5m とし、1 断面当たり 13 本を 1.5m 間隔で配置しているが、改良体の隙間から地山が抜け落ち、切羽崩壊につながる懸念があることから、1 シフトごとに鋼管を千鳥配置とする見直しを行った。



当初設計の注入式長尺鋼管鏡補強工の配置

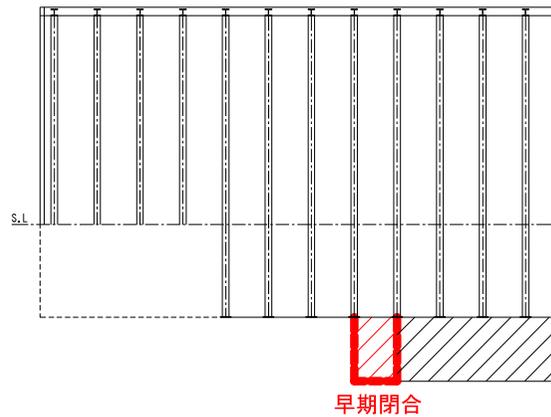
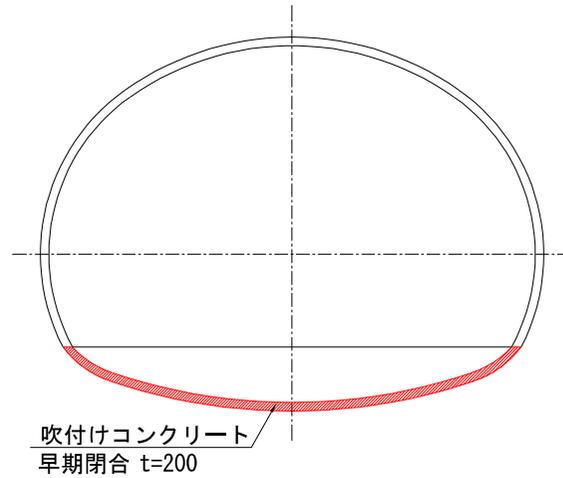


見直した注入式長尺鋼管鏡補強工の配置 (千鳥配置)

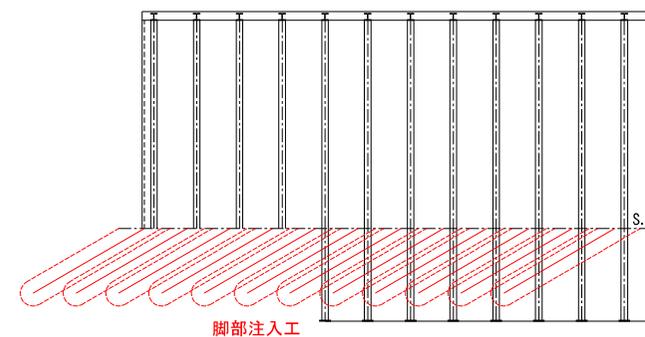
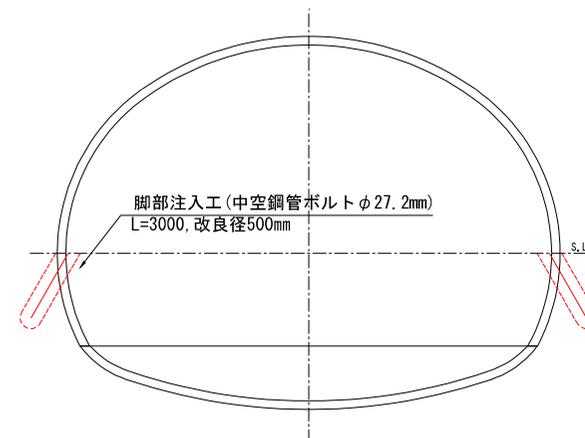
#### 4-4 補助工法の検討③〔地表面沈下対策に関する検討〕

芝山トンネルは、大半の区間で地上の土地利用が存在し、地表面沈下を最小限に抑える必要があることから下記の対策を実施する。

- 補助ベンチ付き全断面工法を採用し、インバート早期閉合を実施する。
- 支持地盤は未固結な砂質土であることから、地耐力が不足しトンネル上半脚部が沈下すると共に地表面沈下に影響を及ぼす可能性があるため、掘削の状況や計測を実施しながら必要な箇所に脚部注入工等の必要な補助工法を追加しながら、支持力改善を図る。



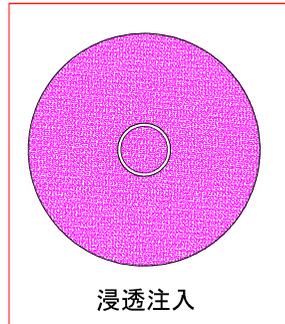
早期閉合計画図



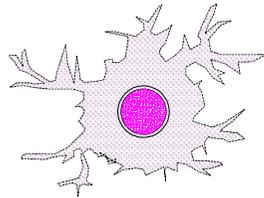
脚部注入工計画図

#### 4-5 試験施工による注入材の検討

補助工法の薬液注入による改良形態は大別すると「浸透注入」と「割裂注入」になる。砂地山に連続した改良体を形成するには浸透注入による改良が必要であるが、既往研究ではシリカレジンに締まった砂地盤では割裂注入形態を示すことが報告されており、アーチ部に改良体が連続して形成されない懸念があることから芝山トンネルの砂質土に適した薬液を試験施工により選定する。試験施工は、芝山トンネル近傍の事業地内で、トンネル掘削断面と同じ地層を切り出して実施。



浸透注入



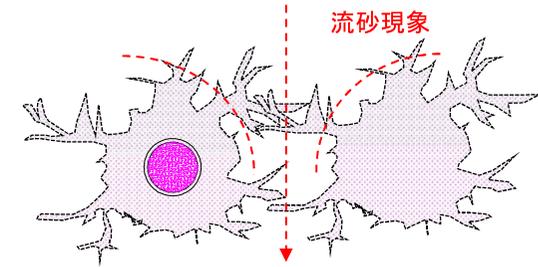
割裂注入

改良形態モデル

模擬地山	3号珪砂	4号珪砂	6号珪砂	8号珪砂
透水係数 (cm/sec)	$1.32 \times 10^0$	$2.71 \times 10^{-1}$	$6.70 \times 10^{-2}$	$4.65 \times 10^{-3}$
模擬地山注入形態				

既往研究報告(シリカレジンの注入形態)

引用元：シリカレジン注入材の模擬地山における発泡圧と浸透性  
トンネル工学研究論文報告集第12巻



懸念される事象

設計時の注入材は、注入式長尺鋼管先受工はシリカレジン、注入式長尺鋼管鏡補強工は超微粒子セメントが採用されていた。今回の試験施工では、より浸透性の高い注入材を複数選択し、比較検討することとした。高浸透シリカレジンとは従来のシリカレジンの液粘度を低下させ浸透性を向上させたものである。高浸透ウレタンはシリカレジンと比較し、発泡圧が高く浸透性が良い材料である。これらに加え、圏央道山口トンネルにて、地表陥没後に対策として選定された特殊水ガラス系溶液型を選定した。

注入量は、改良径 500 mm の形成に必要な量及び、その 2 倍量を試験するものとして、「最近の薬液注入工法 総合土木研究所」に示される算出式を用いて算出。

《比較検討した注入材》

	シリカレジン	高浸透シリカレジン	高浸透ウレタン	超微粒子セメント	特殊水ガラス系溶液型
液粘度 mPa・s (25°C)	110±40 (25°C)	50±20 (25°C)	55±30 (25°C)	180	2~10 (20°C)
発泡倍率 (自由発泡)	6~10倍	2~8倍	3~9倍	-	-
一軸圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	3.0±0.5 (3倍発泡時)	1.0±0.4 (3倍発泡時)	7.0以上 (3倍発泡時)	8.0 (材齢28日)	1.0~1.5
その他	設計注入材(長尺先受工)	シリカレジンの液粘度を低下させ、浸透性を向上させた材料	シリカレジンと比べ液粘度が低く高い発泡圧力のため浸透性に優れる。	設計注入材(長尺鏡補強工)	液粘度が非常に低く砂地山の適用性が高い。 山口トンネルにて陥没後に注入材として採用している。



試験状況

引用元：注入式長尺鋼管先受工法(AGF工法)技術資料(五訂版)2006年12月6日ジェオフロンテ研究会、メーカーカタログ

[試験結果及び対応方針]

[シリカレジン、高浸透シリカレジン、高浸透ウレタン]

・いずれも地山へ浸透せずに割裂形態を示し、広範囲に逸走した。注入時の圧力は初期圧からほとんど上昇していない。注入量を倍量に設定しても同様の結果となった。

[超微粒子セメント]

・薬液は地山へ浸透せずにボアホールを充填した後に鋼管口元及び吹付下部からリークし、止めることができなかったため途中終了した。薬液の逸走も見られない。

[特殊水ガラス系溶液型]

・薬液は広く地山へ浸透し、偏りもなく均一な改良体が形成された。目標改良径(500 mm)も満足している。注入時も圧力上昇はほとんどなく、リークも生じなかった。

以上から、芝山トンネルの砂質地山においては「特殊水ガラス系溶液型」が適切であるとし、注入式長尺先受工・注入式長尺鏡補強工ともに本注入材を適用するものとした。

※注入量は以下の通りとした。長尺鋼管先受工適用時：1071L/本（打設長L=12.5m）、長尺鋼管鏡補強工適用時：791L/本（打設長L=10.5m）

■改良体の全景



①・②シリカレジン（設計量・2倍量）※高浸透シリカレジン③・④も同様の結果となった



⑥高浸透ウレタン（2倍量）※⑤は閉塞により注入未実施



⑧超微粒子セメント（設計量）※⑦は閉塞により注入未実施



⑩特殊水ガラス系注入材溶液型（設計量）※⑨は閉塞により注入未実施



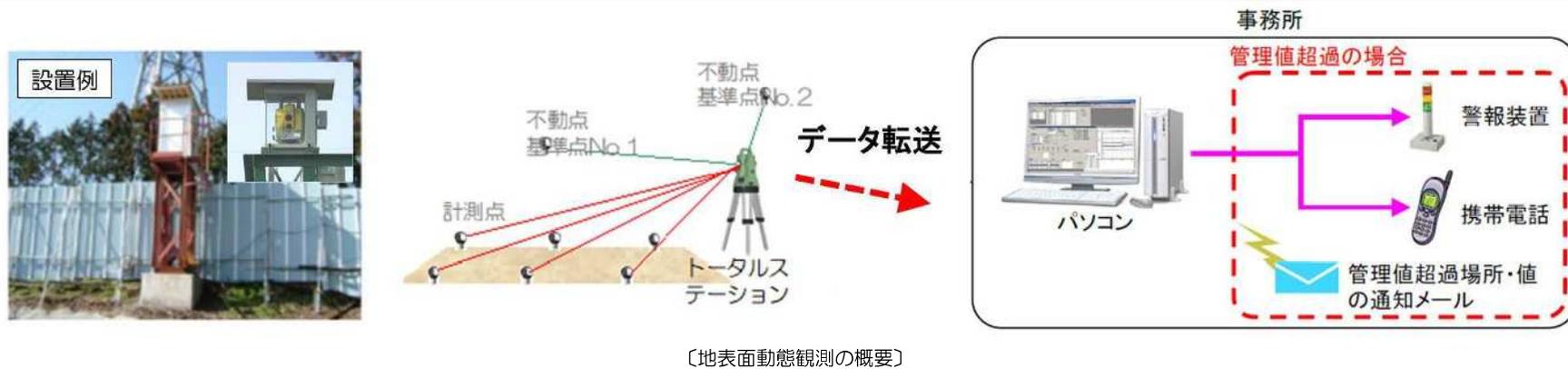


## 5. 地表面モニタリング方法

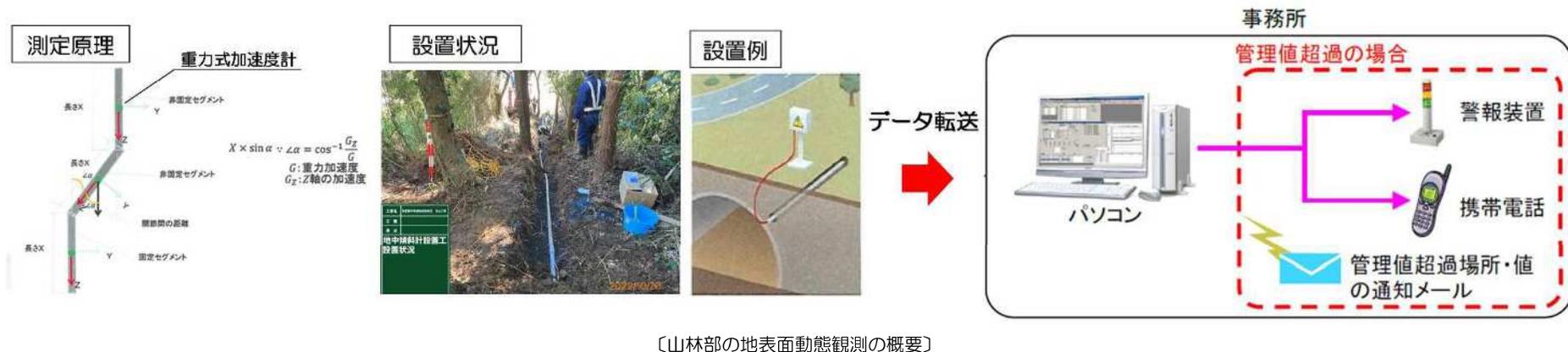
芝山トンネルの直上には、ゴルフ場や町道、農業用水管（φ100 mm, φ500 mm）等の土地利用があるため、これらに影響を与えないよう施工する必要がある。そのため、通常のトンネル施工管理にて実施する「地表面の沈下計測」・「トンネル坑内の変位計測」に加え、「トンネル支保部材の応力測定」・「地表面沈下の自動計測」・「トンネルの地盤支持力計測」を追加し、その結果を基に地表面沈下抑制対策を検討していくものとする。

トンネル地表面の自動計測は全線に亘って24時間常時モニタリングを実施し、結果を適宜施工にフィードバックさせる。

- 自動追尾機能を搭載したトータルステーションによりトンネル施工箇所地表面沈下量を自動計測
- 計測頻度は24時間常時計測
- 全ての計測データはオンライン化により現場事務所へ自動転送し、一元管理
- 基準値を超過する際は、自動的に警報を起動させるとともに、工事関係者への通報を行う

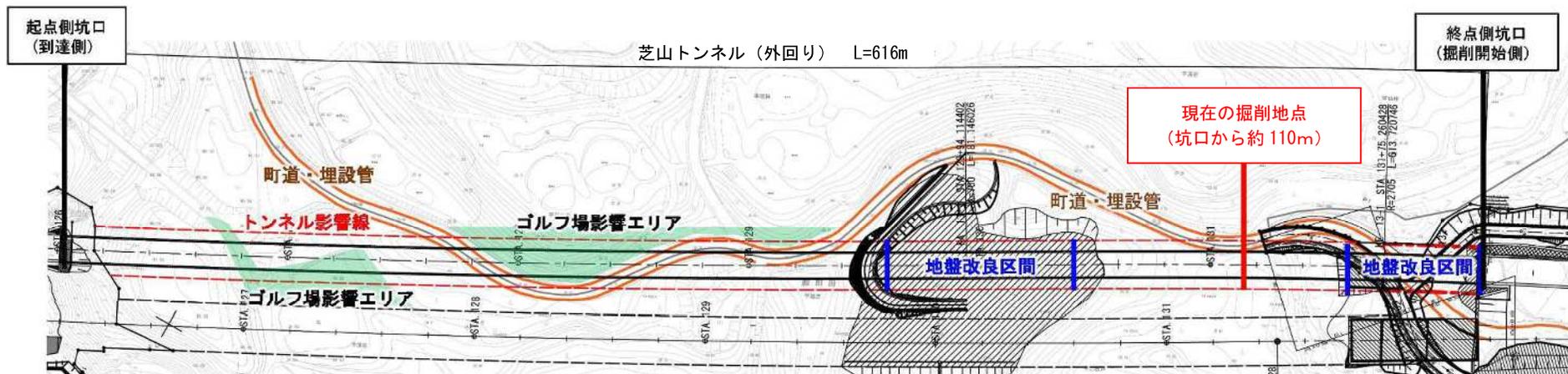


また、芝山トンネルの地表部には一部、山林部となる区間があり、トータルステーションによる地表面の動態観測を実施できない区間がある。当該箇所は山林部にあらかじめ地中傾斜計を埋設し、地盤の傾斜角度から地表面沈下量を算出する方法を実施する。



## 6. 現在の状況 (トンネル掘削の進捗と地表面への影響)

芝山トンネルは坑口から約110m地点まで掘削が完了。これまでに、地表面沈下は町道や埋設管に影響を与えていないことを確認している。また、試験施工により選定した注入材は切羽にて良好な改良体が形成されていることを確認した。ただし、掘削時に天端の抜け落ち等も発生しており、引き続き安全かつ慎重な施工を進めていく。



トンネル坑内状況写真

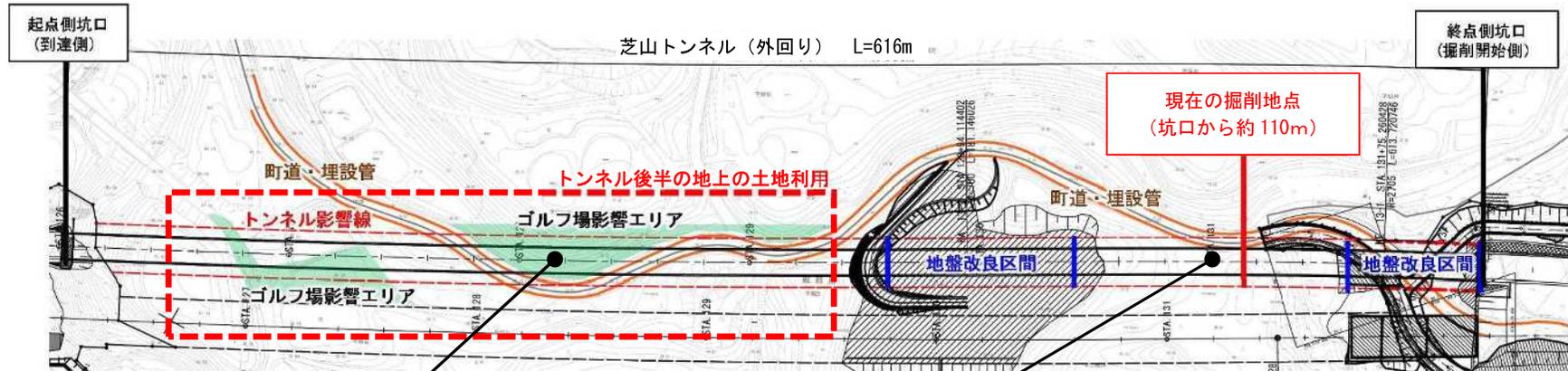


切羽状況写真

## 7. 今後の課題

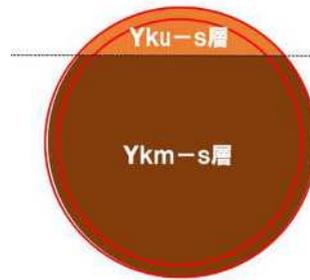
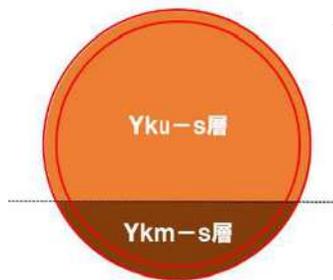
### (1) トンネル脚部補強等の検討

芝山トンネルの支持地盤は、未固結な砂質土でありかつ低土被りであることから、上半脚部の地耐力不足によりせん断破壊が発生し、脚部の沈下に伴い地表面沈下に繋がる恐れがある。特に、トンネル掘削の後半には、町道、ゴルフ場直下の掘削を予定していることや、支持力の低い層（Yku-s）の掘削断面に占める比率が上がることから、より確実な施工や更なる検討を行うておく必要があるため、脚部補強等を実施しその効果の検証を行う。また、解析による脚部荷重の想定だけでなく実際にトンネル脚部に発生する荷重の測定や、地山の地耐力を測定するなど、より詳細な検討を行う。

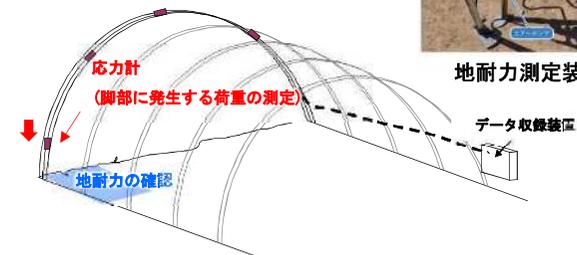


(今後の掘削断面)

(現在の掘削断面)



地耐力測定装置



支持地盤の種類	許容支持力		備考	
	q <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> (t/L/m <sup>2</sup> ))	許容支持力	q <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> (t/L/m <sup>2</sup> ))	N値
岩盤	亀裂の少ない均一な硬岩	1000 (100)	10000 以上 (100 以上)	—
	亀裂の多い硬岩	600 ( 60)	10000 以上 (100 以上)	—
	軟岩・土質	300 ( 30)	1000 以上 ( 10 以上)	—
礫層	密なもの	600 ( 60)	—	—
	密でないもの	300 ( 30)	—	—
砂質 地盤	密なもの Ykm-s層	300 ( 30)	—	30~50
	中位のもの Yku-s層	200 ( 20)	—	20~30
粘性土 地盤	非常に密なもの	200 ( 20)	—	15~30
	密でないもの	100 ( 10)	—	10~15

道路土工擁壁工指針(H24.7.P69)

支保工脚部に発生する荷重と地耐力の測定概要

## (2) 注入式長尺鋼管先受工の鋼管下部の抜け落ち状況と対策について

注入式長尺鋼管先受工の鋼管下部の地山が抜け落ちる懸念から最小拡幅方式を採用し、抜け落ち量を極力小さくする対策を取ってきたが、それでも掘削時や吹付け時、支保工建て込み時に抜け落ちが発生。特に、吹付けの際に吹付けコンクリートの自重に地山強度が耐え切れず、吹付けコンクリートの塊が地山ごと落下する事象が頻発している。現時点では、注入材の効果により鋼管下部の抜け落ちが止まっているが、抜け落ちの進展により流砂現象に繋がる恐れがあることや、作業員の安全確保の観点からも、注入式長尺鋼管先受工のシフト長を6.0mから4.0mに変更し、鋼管が掘削断面から外側に離れ、鋼管下部の抜け落ち量が拡大する前に次の注入式長尺鋼管先受工の施工を行い、効果を確認しながら掘削を進めていく。



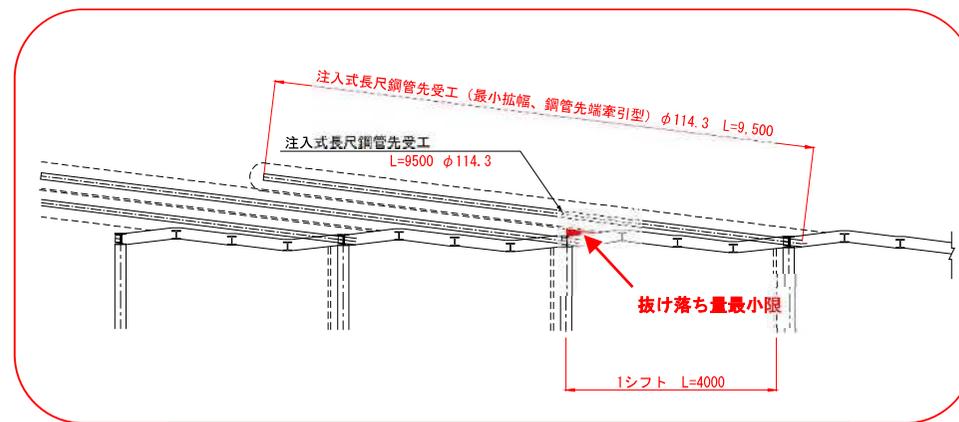
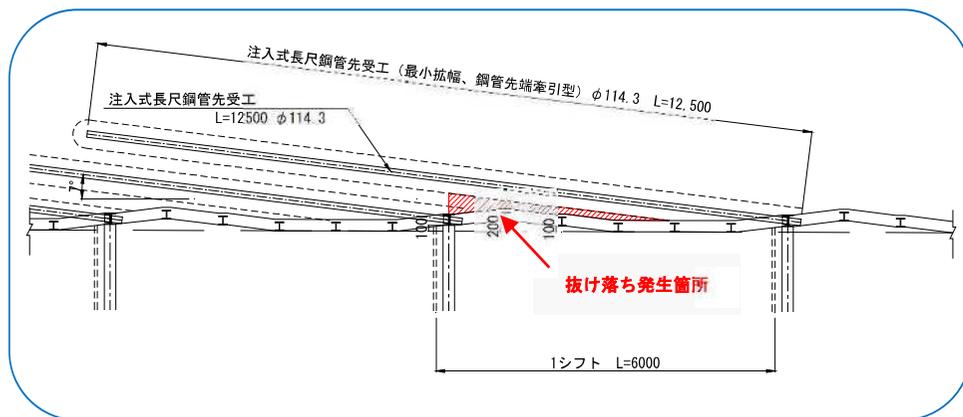
吹付け時の地山とコンクリートの抜け落ち状況



抜け落ちたコンクリート塊



抜け落ちた後の状況



抜け落ちの事象発生後に検討した工法

### (3) 箱抜き部（非常用設備用）施工方法の検討

非常用設備を設置するためにはトンネル掘削工事の段階で、一度構築した支保工を部分的に撤去し、箱抜き掘削を行うことで断面の拡幅を行う。その際、箱抜き掘削対象箇所は注入式長尺先受工による地山改良範囲の外となり、掘削時に流砂現象や地山崩壊を起こす可能性があるため、箱抜き掘削対象箇所の上部を事前に注入材（特殊水ガラス系溶液型）で改良した上で施工を行う計画とする。

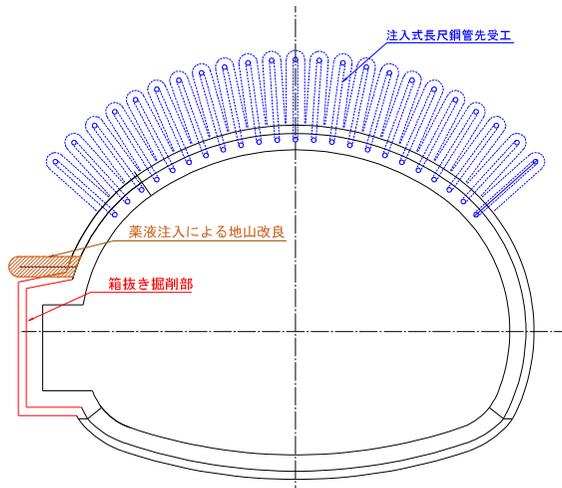
支保工の部分撤去に伴い周辺支保部材に応力が再配分され過剰な荷重が掛かる可能性があるため、対策として箱抜き掘削周辺の支保部材に応力計を設置することで周辺支保工の負担を確認し、地表面沈下やトンネル内空変位をモニタリングしながら慎重に施工を行う。



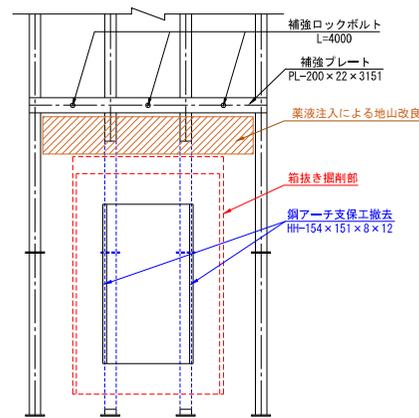
非常用設備設置（例）



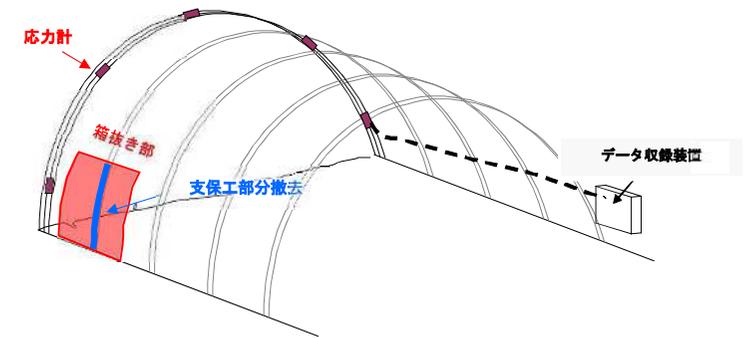
非常用設備用箱抜き掘削状況（例）



箱抜き補強工断面図



箱抜き補強工正面図



支保工応力測定計画（例）