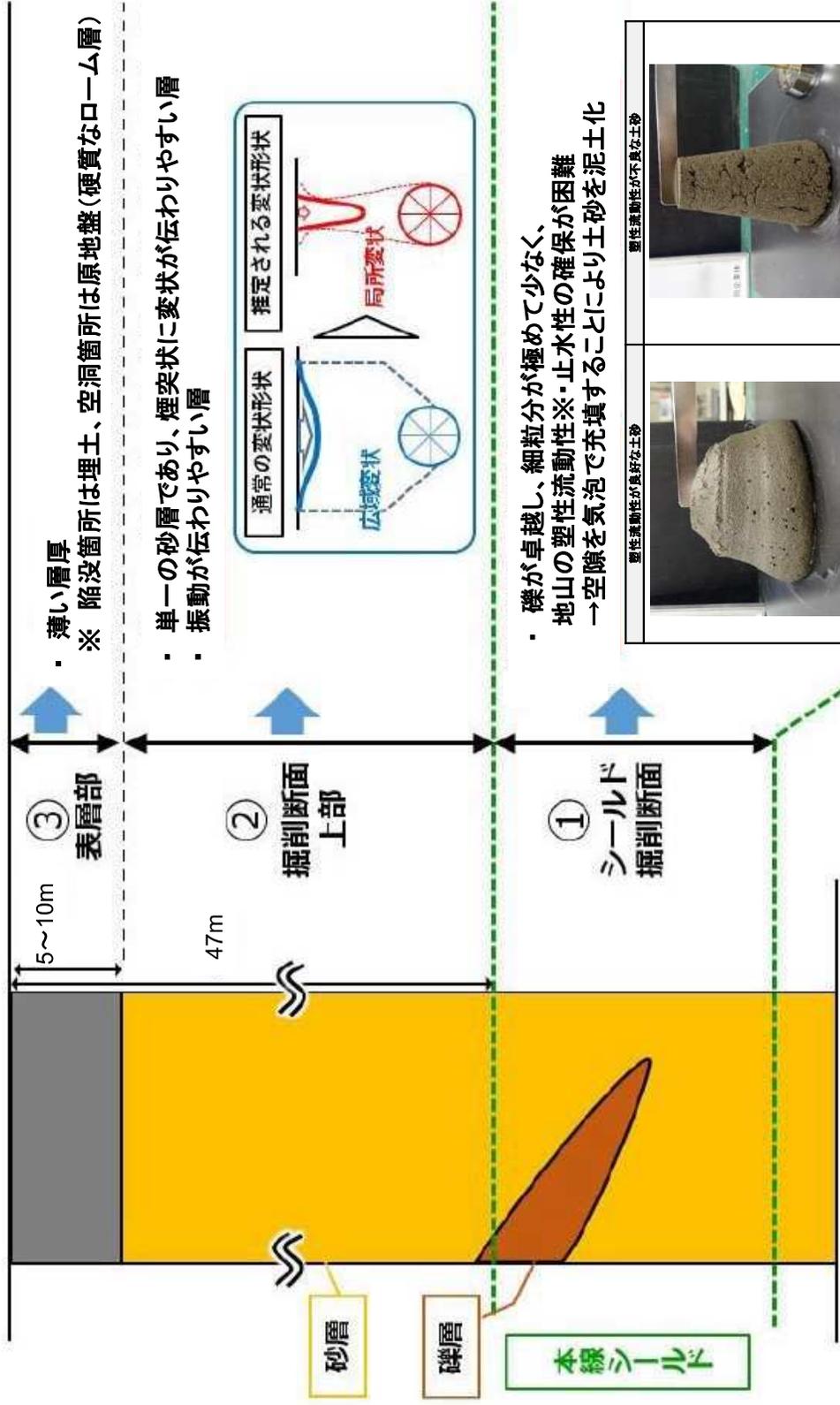


## 4. 陥没・空洞の推定メカニズム



# 4. 陥没・空洞の推定メカニズム [陥没箇所周辺の地盤]

- 陥没・空洞箇所周辺は、次の全てに該当する、東京外環全線の中で特殊な地盤条件
  - ①塑性流動性・止水性の確保が困難な掘削断面、②変状が伝わりやすい掘削断面上部、③薄い層厚の表層部

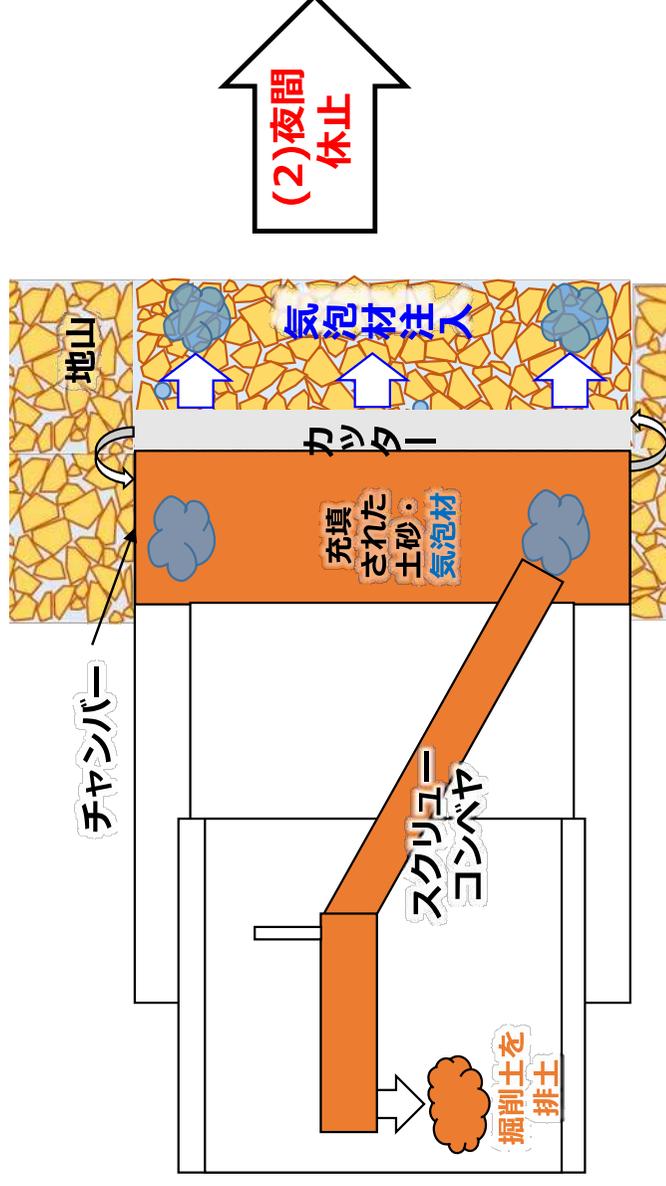


- ・ 礫が卓越し、細粒分が極めて少なく、地山の塑性流動性※・止水性の確保が困難  
→空隙を気泡で充填することにより土砂を泥土化

※塑性流動性…ほど良い固さの土ということ

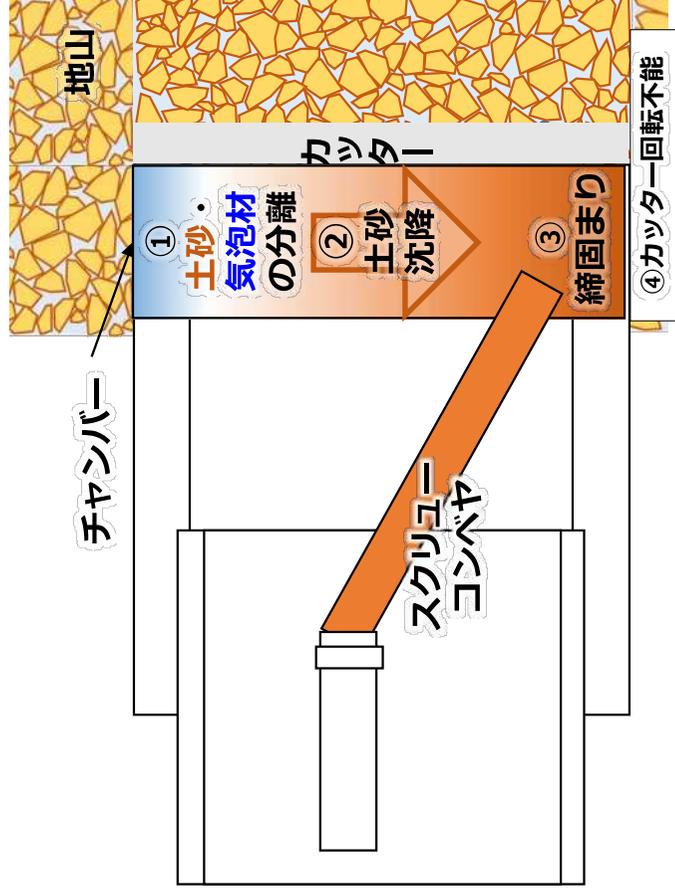
## 4. 陥没・空洞の推定メカニズム [カッター回転不能に至る現象と解除作業手順]

- (1) 昼間(掘進中)
- チャンバー内土圧と地山からの圧力の均衡が取れている状態
  - 細粒分・細砂分の減少、礫の介在してくる中で、気泡材の種類変更及び添加量の調整、掘進速度の調整を行いながら掘進を実施



## 4. 陥没・空洞の推定メカニズム [カッター回転不能と解除作業手順]

- (3) 翌朝(掘進休止後)
- チャンバー内の①土砂・気泡材が分離、②土砂沈降及び③締固まりが発生  
⇒ ④カッター回転不能(閉塞)が発生

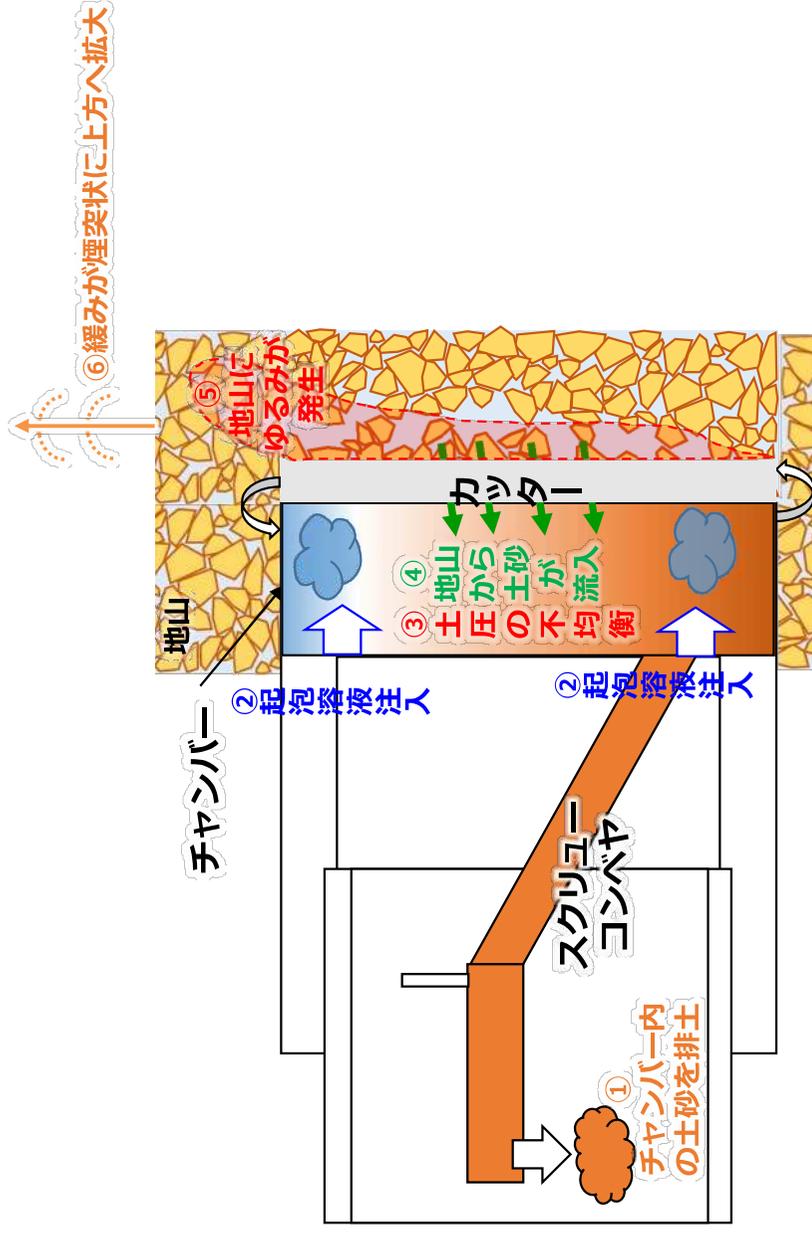


## 4. 陥没・空洞の推定メカニズム [カッター回転不能に至る現象と解除作業手順]

### (4) 閉塞解除作業

- カッターを再回転するため、①チャンバー内の締め固まった土砂を一部排出
- 排出によるチャンバー内圧力の低下を防止するため、②直ちに排出土砂分の起泡溶液と置き換え  
る必要がある

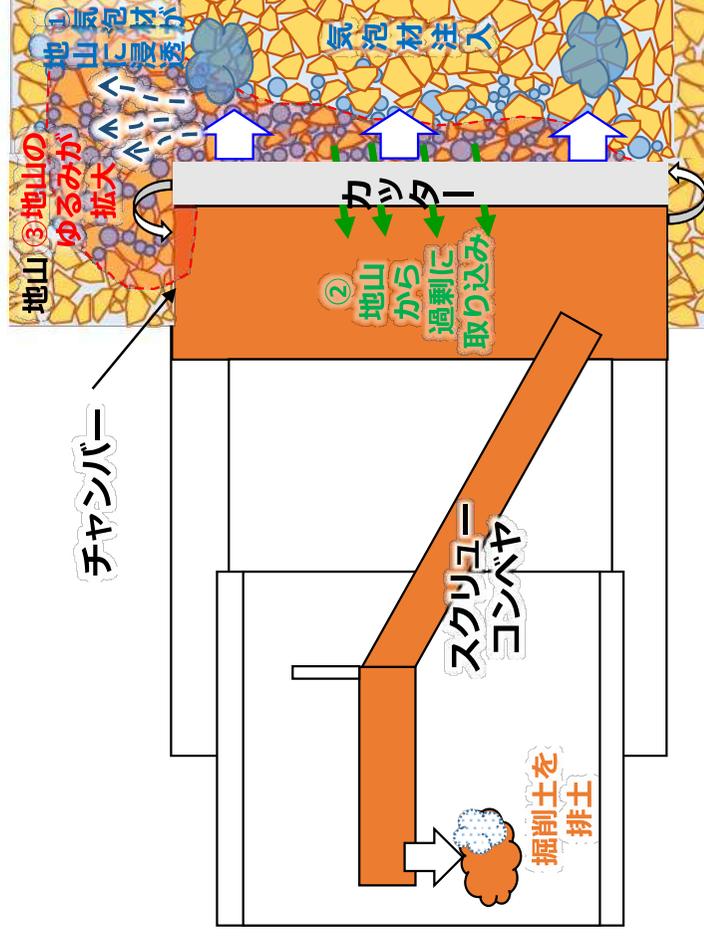
⇒ この際、③土圧の均衡がとれず、④地山から土砂がチャンバー内に流入すること、結果として、⑤地山に緩みが発生し、⑥煙突状に上方へ拡大



## 4. 陥没・空洞の推定メカニズム [カッター回転不能に至る現象と解除作業手順]

### (5) 掘進再開後

- 特殊な地盤下で塑性流動性を保つため、通常より多くの気泡材を地山に注入し、掘進を再開
- 掘進を再開後、①気泡材が(4)閉塞解除作業で緩んだ地山に過度に浸透
  - ⇒ 塑性流動性・止水性が低下し、閉塞解除作業で緩んだ地山に対する切羽土圧の不均衡
  - ⇒ 一部の気泡材は回収できず、掘削した地山重量を過少に評価し、②土砂の取り込みが想定より過剰に発生
- ⇒ 繰り返し行われた閉塞解除作業により生じた地山の緩みを掘進時にさらに助長し、
- ③地山の緩みが拡大し、地表面付近に硬質のロームをアーチとする空洞が地中に形成
- ⇒ 硬質ロームが欠如している箇所で陥没に至った



## 4. 陥没・空洞の推定メカニズム [まとめ]

(有識者委員会報告書「はじめに」より抜粋)

今回の陥没や空洞形成は、礫が卓越して介在する細粒分が極めて少ない砂層が掘削断面にあり、単一の流動化しやすい砂層が地表付近まで続くという、東京外環全線の中で特殊な地盤条件となる区間において、チャンバー内の良好な塑性流動性・止水性の確保が困難となり、カッターが回転不能になる事象(閉塞)が発生し、これを解除するために行った特別な作業に起因するシールドトンネルの施工が要因であると推定された。

また、結果として土砂の取込みが過剰に生じていたと推定され、施工に課題があった。

# 5. 地盤の緩みの状況および 補修について

# 5. 地盤の緩みの状況および補修について

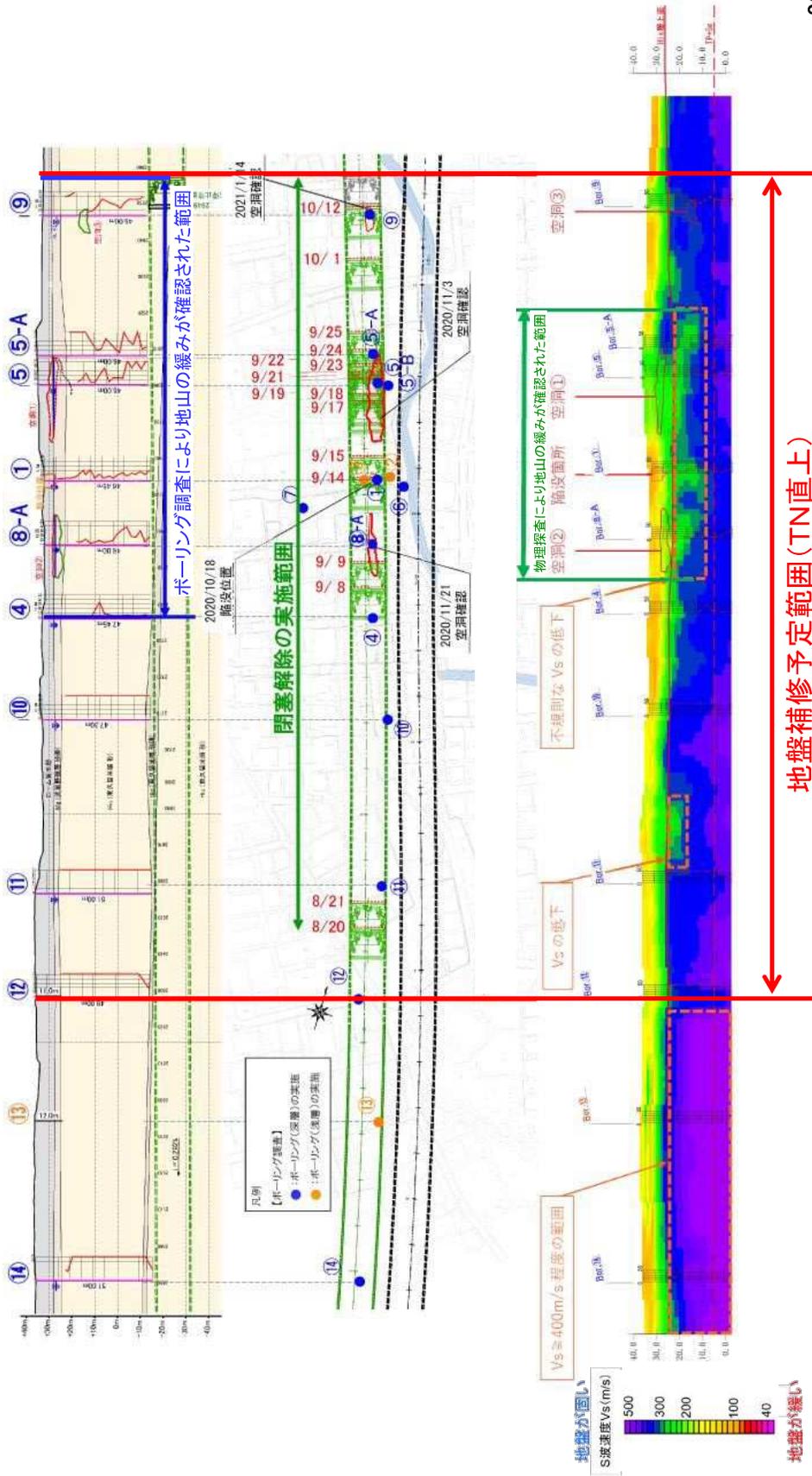
地盤の緩みが生じている可能性がある次のいずれかに該当する範囲で引き続き調査を進め、補修等の対応を実施します。

(ア) カッター回転が不能となる閉塞が生じ、その解除のために特別な作業を実施した範囲

(イ) ボーリング調査によりN値の低下が確認された範囲

(ウ) 物理探査により不規則な計測波速度の低下が確認された範囲

⇒ 縦断方向はボーリング⑫以北、横断方向はトンネル直上の範囲を基本として実施

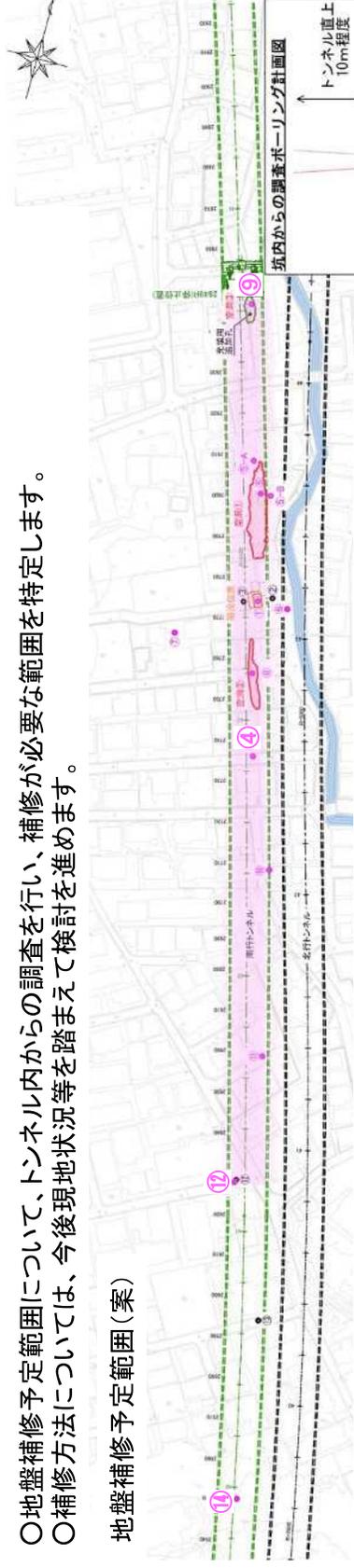


# 5. 地盤の緩みの状況および補修について

ボーリング調査と物理探査の結果、赤で着色した範囲を地盤補修予定範囲として設定し、下記の流れで補修を実施。

- 地盤補修予定範囲について、トンネル内からの調査を行い、補修が必要な範囲を特定します。
- 補修方法については、今後現地状況等を踏まえて検討を進めます。

地盤補修予定範囲(案)



トンネル坑内からの調査方法(案)  
 (ボーリング調査と物理探査の結果により、地盤の緩みが確認されていないボーリング④～⑫の範囲で実施)

地上からの地盤の補修工法(案)

	薬液注入工法	機械搅拌工法	高圧噴射搅拌工法
施工概要	<p>ボーリングマシンを用いて地盤に薬液を浸透注入して地盤強化を図る。</p>	<p>機械搅拌翼によって、固化材と地盤を混合して円柱状の固結体を造成する。</p>	<p>地盤内に空気と固化材を高圧で噴射させ、地盤を強制的に切削しながら円柱状の固結体を造成する。</p>
工法の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・比較的狭い場所での施工が可能である。</li> <li>・地盤の強度が弱い箇所が薬液が浸透して改良する工法である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大型重機による施工となる。</li> <li>・地盤に改良体を造成する工法である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大型の施工設備が必要となる。</li> <li>・地盤に改良体を造成する工法である。</li> </ul>

## 6. 再発防止対策について

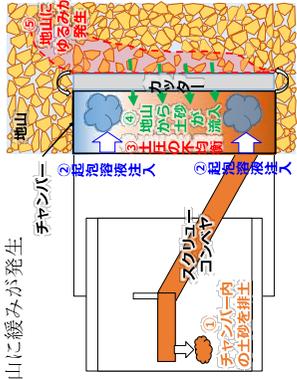
- 陥没・空洞現象を発生させない取り組み
- 地域の安全・安心を高める取り組み

# 6. 再発防止対策(陥没・空洞事象を発生させない取り組み)について

## ＜推定メカニズム＞

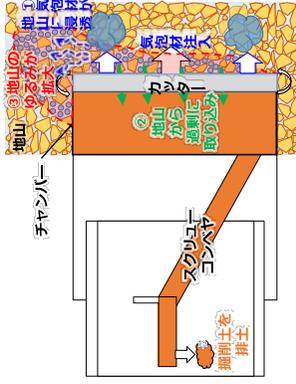
### ○閉塞及び閉塞を解除するための作業

- ・機が卓載し、細粒分が少ない地盤では塑性流動性・止水性の確保が難しく、夜間休止時間にチャンバー内の土砂が分離・沈降し、縮固まってしまう閉塞
- ・その閉塞解除のために、土砂を一部排出し、直ちに排出土砂分の起泡溶液と置き換える特別な作業を行う過程で、土圧の均衡がとれず
- ・地山から土砂がチャンバー内に流入
- ・地山に緩みが発生



### ○閉塞解除後の掘進

- ・掘削土の塑性流動性を保つため、通常より多くの気泡材を注入
- ・閉塞を解除するための作業により緩んだ地山に気泡材が浸透し、一部が回収されず。
- ・掘削した地山重量を過少に評価され、土砂の取り込みが想定より過剰に生じた
- ・地山の緩みが拡大



### (掘進前)

#### ① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

- ・細粒分が少なく、均等係数が小さいなどの特殊な地盤については追加ボーリングを実施
- ・土質調査結果を踏まえ、事前配合試験を実施し、添加材を選定

### (掘進中)

#### ② 塑性流動性とチャンパー内圧力のモニタリングと対応

- ・チャンパー内圧力勾配などをリアルタイムに監視
- ・手触に加え、都度、試験により排土性を確認
- ・適正なチャンパー内圧力の設定

### (掘進中)

#### ③ 排土管理の強化

- ・これまでの排土管理に加えて、より厳しい管理値や気泡材を控除しない新しい管理項目を設定
- ・管理値を超過した場合には、添加材の種類変更等の対応を適切に実施

#### ○掘削土砂を分離・沈降させない、閉塞させない対応

- ・一定時間にわたり掘削土砂の塑性流動性・止水性を確保

#### ○過剰な土砂取込みを生じさせない対応

- ・切羽を緩めない対応
- ・添加材の未回収傾向を把握
- ・排土量管理の強化

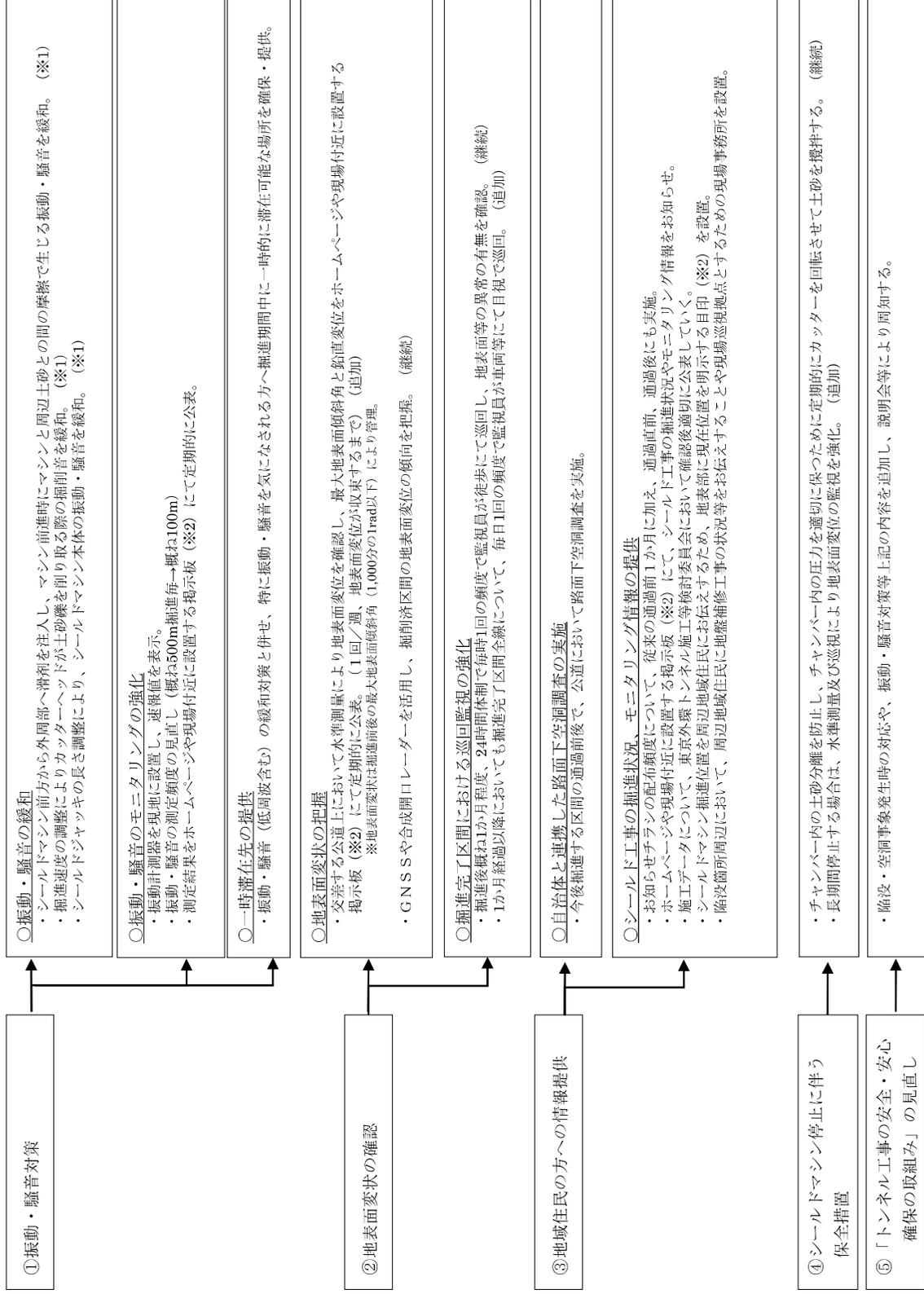
#### 【万が一、閉塞が生じた場合】

#### ○切羽を緩めない対応

- **カッター回転不能(閉塞)時の対応**
  - ・工事を一時中断し、原因究明と地表面に影響を与えない対策を十分に検討
  - ・地盤状況を確認するために、必要なボーリング調査等を実施する



# 6. 再発防止対策(地域の安全・安心を高める取り組み)について



※1：状況に応じて実施

※2：設置箇所・手法は自治体と調整

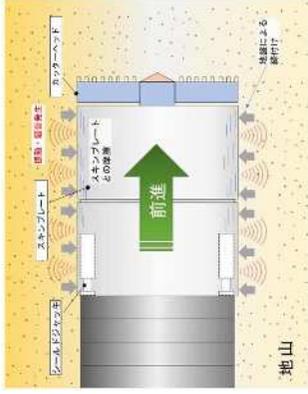
# 6. 再発防止対策(地域の安全・安心を高める取り組み)について

○東つつじヶ丘周辺では、礫が卓越して介在し、単一の砂層が地表面近くまで連続しており振動・騒音が地上に伝達しやすい地盤であったと考えられます。

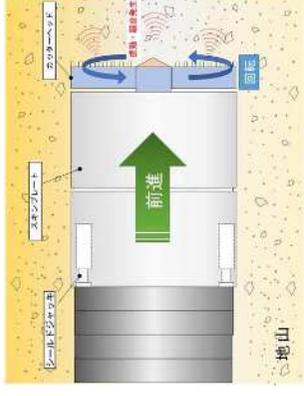
○今後の掘進においては振動・騒音対策を地域の安全安心を高める取り組みの一部として実施していきます。

## ＜想定される振動・騒音発生メカニズム＞

1. 前進する際に、シールドマシンのスキンプレートと周辺の土砂の摩擦から発生する振動・騒音



2. シールドマシンのカッターヘッドで、地山を削り取り取る際に発生する振動・騒音



## ＜振動・騒音緩和対策＞

- ・スキンプレートと地山との間に滑剤を充填することにより摩擦低減。(状況に応じて実施)

- ・滑剤 摩擦の低減効果が大きい安定性に優れた材料を選定

材料	① 植物系 淡黄色粉体	② 水溶性高分子系 乳白色～淡黄色液体
外觀		
pH	9.0～11.0(2%懸濁液)	6.0～8.0(1%液)
特徴	持続性が高く、継続的な摩擦低減効果が期待できる	粘性土において、摩擦低減効果が期待できる

滑剤例

- ・掘進速度の調整によりカッターヘッドが土砂層を削り取り取る際の振動・騒音を緩和。(状況に応じて実施)
- ・シールドジャッキの可動長を短い状態で運用することで、ジャッキの振れ幅を抑制しシールドマシン本体の振動・騒音を緩和。(状況に応じて実施)

ジャッキの長さ調整による掘進

### 【調整前】



### シールドジャッキ伸長大



### 【調整後】



全ジャッキ伸長後にセグメントを組立  
シールドジャッキ伸長小

ジャッキ伸長大でセグメントを組立

# 6. 再発防止対策(地域の安全・安心を高める取り組み)について

## ○地表面変状の確認として、水準測量結果の定期公表と巡回監視強化

### <水準測量結果の定期的な公表>

- ・水準測量により工事前後の地表面変位を確認し、最大地表面傾斜角と鉛直変位を定期的に公表



水準測量

### <巡回監視の強化>

- ・掘進後概ね1か月程度、24時間体制でシールドマシンの掘進工事箇所周辺を警戒車両等により巡回を実施
- ・1か月経過以降以降においても掘進完了区間全線について、毎日1回の頻度で巡回を実施



巡回員



警戒車両

## ○地域住民の方への情報提供として、路面下空洞調査の実施と掲示板等によるモニタリング情報のお知らせ

### <路面下空洞調査>

- ・マシン通過後に、空洞探査車の走行(狭隘部は作業員によるハンディ型の探査機使用)を行い、路面の空洞調査を実施



路面下空洞探査車(車載型レーダー)



ハンディ型地中レーダー

### <情報提供>

- ・掲示板やホームページ、お知らせチラシ等を活用し、シールド工事の掘進状況やモニタリング情報をお知らせ



掲示板(イメージ)



HP(イメージ)

## ○シールドマシン停止に伴う保全措置

- ・チャンバー内の土砂分離を防止し、圧力を適切に保つために定期的にカッターを回転させて土砂攪拌
- ・長期間停止する場合は、水準測量及び巡視により地表面変位の監視を強化

## ○「トンネル工事の安全・安心確保の取り組み」の見直し

- ・“地域の安全・安心を高める取り組み”を追加

## 7. 補償等について

## 7. 補償等について(補償の方針)

### (補償方針)

- ・ 本事象により建物等に損害が発生した場合において、原則として従前の状態に修復、復元するなど原状を回復（補修）いたします。
- ・ それ以外に実際に発生した損害につきましても補償いたします。補償項目としては、家賃減収相当額、地盤補修工事完了後において生じた不動産売却損、疾病等による治療費などです。
- ・ 相談窓口や個別訪問時に、皆さまから不安や被害の状況をお伺いしておりますが、実際に発生している損害は個々の事情によって異なっております。引き続き状況をお伺いし、誠意をもって対応いたします。
- ・ 補償に関する専門チームを設置し、個別に内容やご事情を確認しながら、誠意をもって対応してまいります。

## 7. 補償等について(補償の方針)

### 補償の対象となる方

- ・ 本事象と因果関係があると認められ、実際に損害を被られた方

### 補償の対象となる地域

- ・ 別添図のとおり

※範囲外についても損害等の申し出があった場合、因果関係等確認のうえ個別に対応を検討してまいります。

### 補償についての問合せ先

- ・ 下記までご連絡いただければ、担当者から折り返し連絡のうえ、個別に対応してまいります。

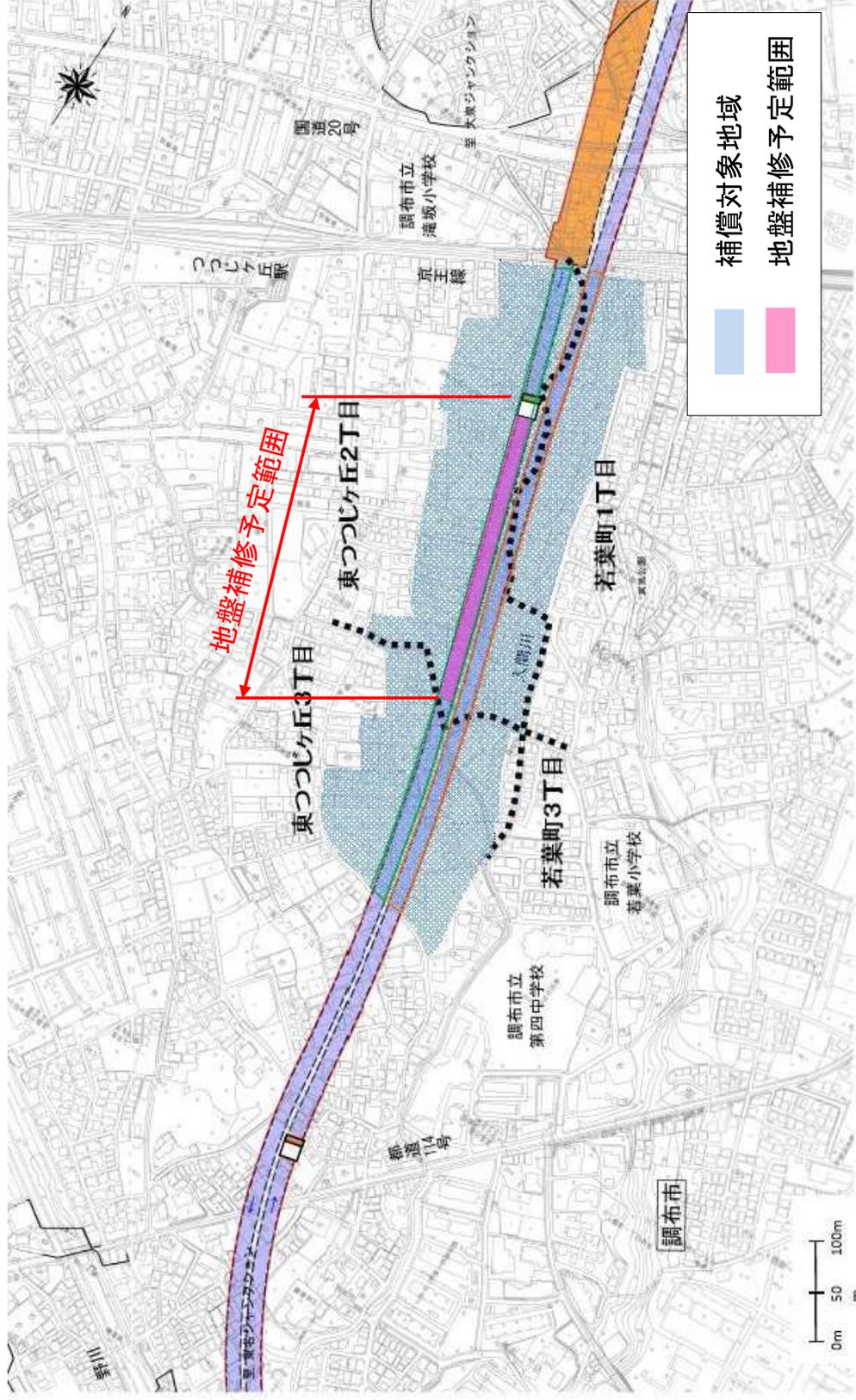
専用フリーダイヤル

TEL：0800-170-6186（受付時間：平日9:00～17:30）

※新たに常設する相談窓口でも対応いたします。【4月中旬開設予定】

# 7. 補償等について(補償対象地域・地盤補修予定範囲)

《別添図》



※上記範囲外についても損害等の申し出があった場合、因果関係等確認のうえ個別に対応を検討してまいります。

## 7. 補償等について(地盤補修について)

### ◆ 調査の協力依頼

- 地盤補修範囲を特定するため、トンネル内からの調査や地上部での測量を実施します。調査に際しては、対象となる方にご説明に伺いますので、ご協力をお願いいたします。

### ◆ 仮移転等の依頼

- 特定した地盤補修範囲にお住まいの方へ仮移転等をお願いさせていただきます。
- 仮移転等に必要となる費用などは補償いたしません。

### ◆ 補修工事の施工計画検討

- これらの対応と併せて、補修工事の施工計画検討を実施します。

## 7. 補償等について(専用フリーダイヤル及び相談窓口)

陥没・空洞箇所周辺にお住まいの方を対象とした、被害に関する補償や緩んだ地盤の補修工事についてご相談やご意見をお受けする『専用フリーダイヤル』『相談窓口』は、以下のとおりです。

専用フリーダイヤル

0800-170-6186

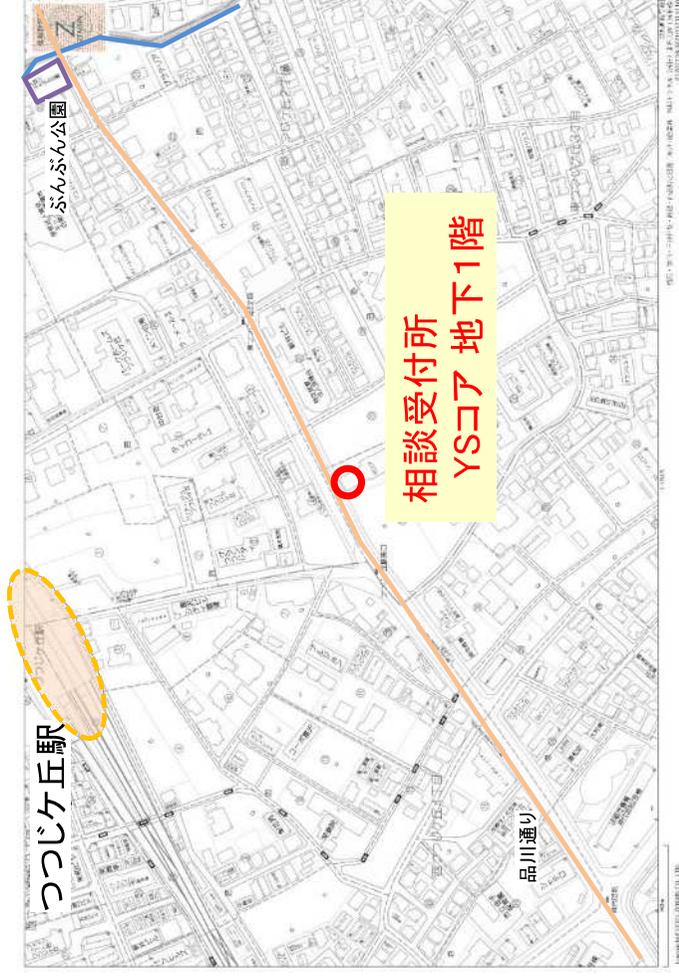
(受付時間：平日9：00～17：30)

相談窓口

- 常設の相談窓口を開設します【4月中旬予定】  
(詳細は、次項に記載)

## 7. 補償等について(相談窓口)

○東つじヶ丘に、常設の相談窓口を設置します【4月中旬予定】



位置図

開設時間：平日 10:00～17:00(予定)

住所：東京都調布市東つじヶ丘2丁目30-4  
YSCOA 地下1階



相談ブースのイメージ

## 7. 補償等について(対応状況)

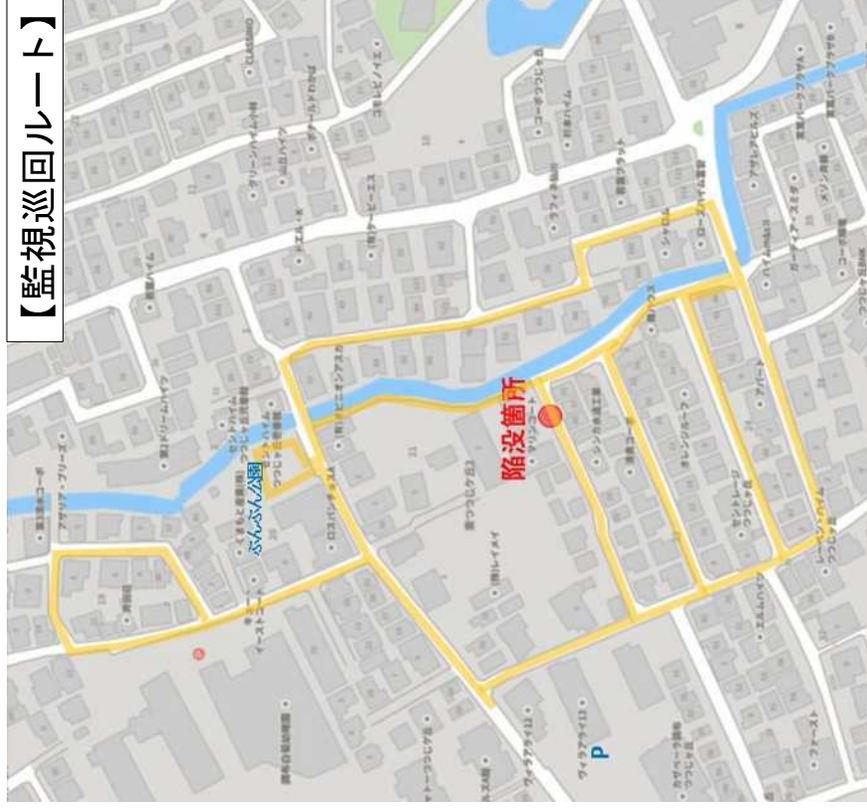
- 専用フリーダイヤルを令和2年12月より開設
- 相談窓口を令和3年1月より実施し、累計18日間開催
- これまで約1,000件訪問し、個別に状況をお伺いし、現在も必要に応じて繰り返し訪問して、対応を実施中
- 家屋中間調査を行い補修を実施中  
調査希望あり:227件、調査実施済:170件、応急補修:19件※
- 地盤補修のため、調査及び仮移転等のご協力を依頼中
- 建物等の損害以外に実際に実際に損害を被られた方への補償対応を実施中

※ 件数については、3/31時点のもの

## 8. その他

## 8. 現在の取り組み

- 周辺の地表面を24時間体制で重点監視を実施しています。監視員は『腕章』を付けています。お気付きの点などがありましたら、お声掛け下さい。



※徒歩にて近接目視で地表面の状況を確認しています。

## 8. お問い合わせ先

### お問い合わせ内容

陥没・空洞箇所周辺の現場でお気づきの点があった場合

陥没事象に関する疑問やご相談等

その他外環事業に関すること

### お問い合わせ先

東名発進 本線トンネル東名北工事担当  
TEL 03-6411-8723

(24時間ダイヤル)  
鹿島建設(株)・前田建設工業(株)・三井住友建設(株)・鉄建建設(株)・西武建設(株)JV



東日本高速道路(株) 関東支社  
東京外環工事事務所

TEL 0120-861-305  
(フリーコール：平日9:00～17:30)



国土交通省 関東地方整備局 東京外かく環状国道事務所  
TEL：0120-34-1491(フリーダイヤル)  
受付時間：平日 9:15～18:00



東日本高速道路株式会社 関東支社 東京外環工事事務所  
TEL：0120-861-305(フリーコール)  
受付時間：平日 9:00～17:30



中日本高速道路株式会社 東京支社 東京工事事務所  
0120-016-285(フリーコール)  
受付時間：平日 9:00～17:30

分類	名称	説明
シールド・マシン関係	切羽(きりは)	シールドマシンの先端の地山を掘削している面のこと。
	スキンプレート	シールドマシンの外側(外周部)の鋼板(各装備を保護するもの)。
	カッターヘッド	シールドマシン前面の回転して地山を掘削する部分。地山を掘削する刃(ビット)等が備わっている。
	チャンバー	カッターヘッドと隔壁との間に土砂を充填させる空間。常に掘削した土砂で充填されており、充填した土に圧力を加えることで、切羽の安定を図る。
	隔壁(かくへき)	チャンバーとシールドマシン機内を隔てる壁。
	シールドジャッキ	シールドマシンを前進させるための押す力を加えるもの。
	スクリュウコンベンヤ	チャンバー内の土砂を排出する機械。 シールドマシンが前進した分の土量と排出する土量を調整させるため、回転数等の調整を行う。
	塑性流動性 (そせいりゆうどうせい)	土砂の性状を表現する言葉で、力を加えると容易に変形し、適度な流動性を有した性状のこと。(切羽の安定に必要な土圧を保持し、シールドの掘進量にあわせた土量の排出を行うために、チャンバー内に充填した掘削土砂が、適度な流動性を有することが必要。)
	閉塞(へいそく)	チャンバー内で土砂の堆積によりカッターが回転不能になること。
	土圧の不均衡(ふきんこう)	チャンバー内圧力と切羽土圧のつり合いが取れなくなること。
止水性(しすいせい)	水が通りにくい性質のこと。(チャンバー内に充填した土砂は、地下水の流入が生じないよう止水性を高めることが必要。)	

分類	名称	説明
材料関係	添加材(てんかざい)	掘削土砂を泥土化(塑性流動化)するために添加する材料。
	気泡材(きほうざい)	添加材の一種で、シェービングクリーム状のきめ細かい泡。
	起泡溶液 (きほうようえき)	気泡材を作るための元材料。これに空気を混合して発泡させることで気泡材を作成する。
	滑剤(かつざい)	摩擦抵抗を少なくするためにシールドマシンと地山との間に充填する材料。
土質関係	地山(じやま)	自然のままの地盤。
	ローム質土層(しつどそう)	砂やシルトや粘土などが含まれた混合土層。
	砂層(さそう)	砂を主体とする地層。
	礫層(れきそう)	礫を主体とする地層。
	凝灰質粘土 (ぎょうかいしつねんど)	火山から噴出された火山灰が堆積してできた粘土。
	細粒分(さいりゆうぶん)	地盤を構成する土粒子の内、小さな土粒子(0.075mm未満のシルト・粘土)の比率。
	細砂分(さいさぶん)	地盤を構成する土粒子の内、細砂(0.075mm～0.25mm)の比率。
	均等係数 (きんとうけいすう)	砂の粒径の均一性を示す指標。1に近いほど粒径がそろっている。

粒径mm	0.005	0.075	0.25	0.85	2	4.25	19	75
粘土		シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫
	細粒分			粗粒分				

分類	名称	説明
調査関係	ボーリング調査	地中に孔を掘り、地盤の状況を確認する調査。
	微動アレイ調査	地表面から行う地盤の物理探査手法。地盤は微小な振動(人工振動・交通振動・海岸線に押し寄せる波浪振動)などによって絶えず振動をしており、この微小な振動を測定・解析することにより地盤の状況を把握する。
	音響トモグラフィ	ボーリング孔に設置した発信器から周波数と振幅を制御した音波を発信し、地中を伝播してきた音波を受信器で受信し、地盤の状況を把握する。
	S波	地盤を伝わる振動横波。固い地盤は、速度が速くなる。
	P波	地盤を伝わる振動縦波。固い地盤は、速度が速くなる。
	N値	地盤の固さの指標で、数値が高いと固い。
	水準測量	高低差や標高を求めめる測量のこと。
	GNSS	人工衛星を利用した測位システムの総称で、複数の衛星から信号を受信し、地上での現在位置を計測するシステム。
	合成開口レーダー	レーダーの一種で航空機や人工衛星に搭載し、電磁波を照射し反射して返ってきた信号で観測するもの。
	地表面傾斜角	シールド掘進前の水準測量で得た観測点の標高を基準とし、その後の観測点の標高の変位で発生した地表面の傾斜角のこと。