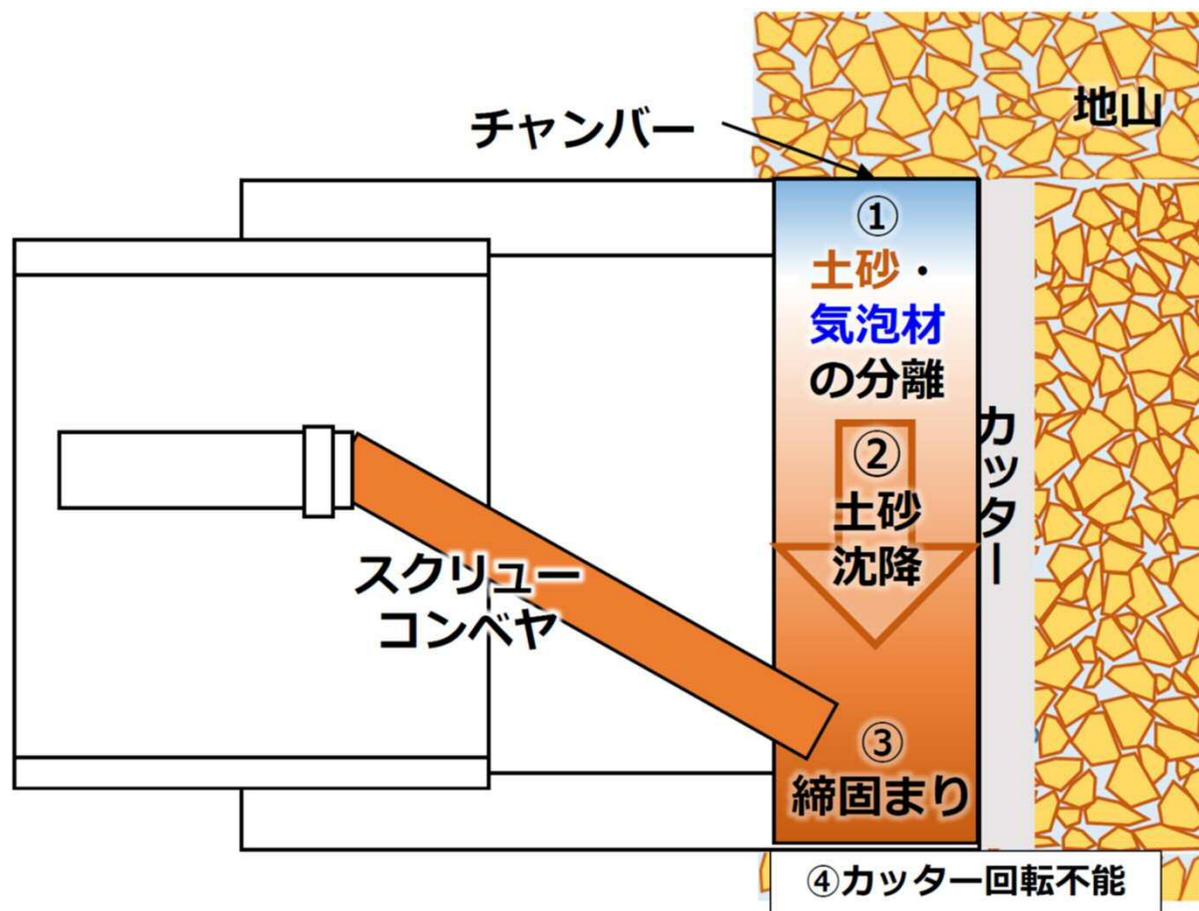


陥没・空洞の推定メカニズム [カッター回転不能に至る現象と解除作業手順]

(3) 翌朝(掘進休止後)

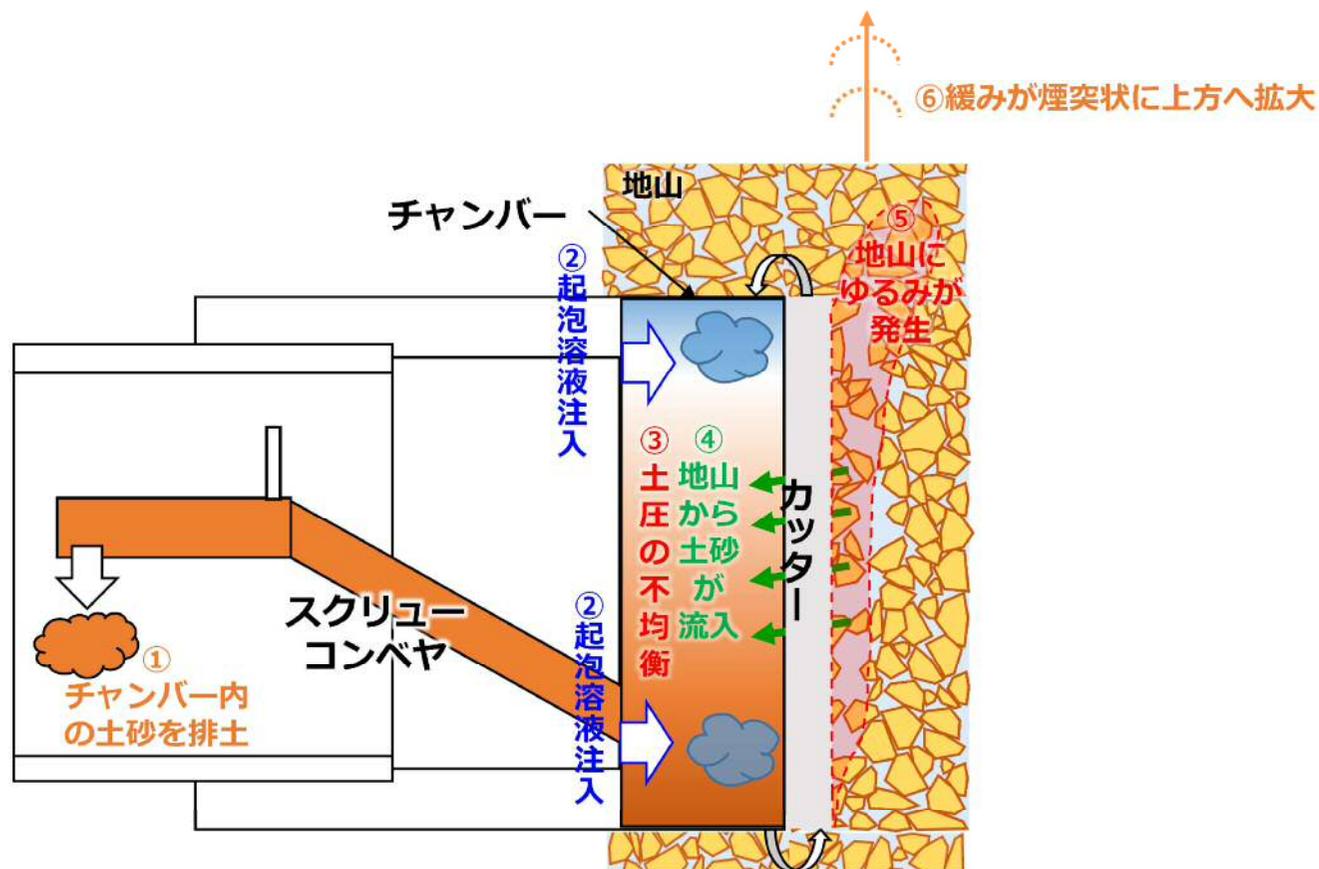
- ▶ チャンバー内の①土砂・気泡材が分離、②土砂沈降及び③締固まりが発生
- ⇒ ④カッター回転不能(閉塞)が発生



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

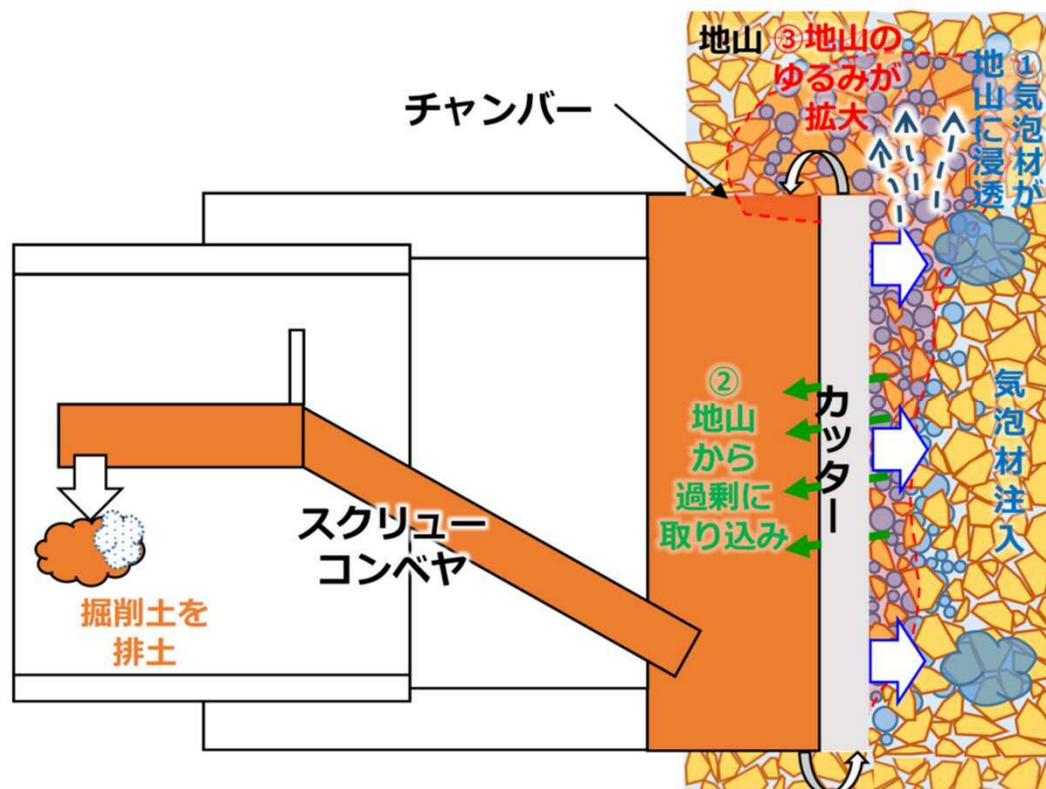
- カッターを再回転するため、①チャンバー内の締め固まった土砂を一部排出
 - 排出によるチャンバー内圧力の低下を防止するため、②直ちに排出土砂分の起泡溶液と置き換える必要がある
- ⇒ この際、③土圧の均衡がとれず、④地山から土砂がチャンバー内に流入することで、結果として、⑤地山に緩みが発生し、⑥煙突状に上方へ拡大



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

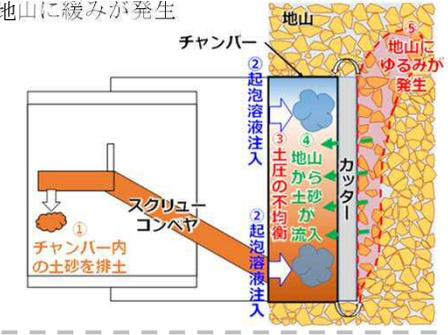


陥没・空洞事故を発生させない取り組み

<推定メカニズム>

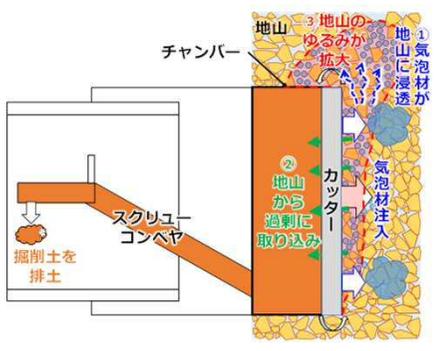
○閉塞及び閉塞を解除するための作業

- ・礫が卓越し、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パー内の土砂が分離・沈降し、締固まってしまい閉塞
- ・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パー内に流入
- ・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

(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、試験により排土性状を確認
- ・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

④ 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

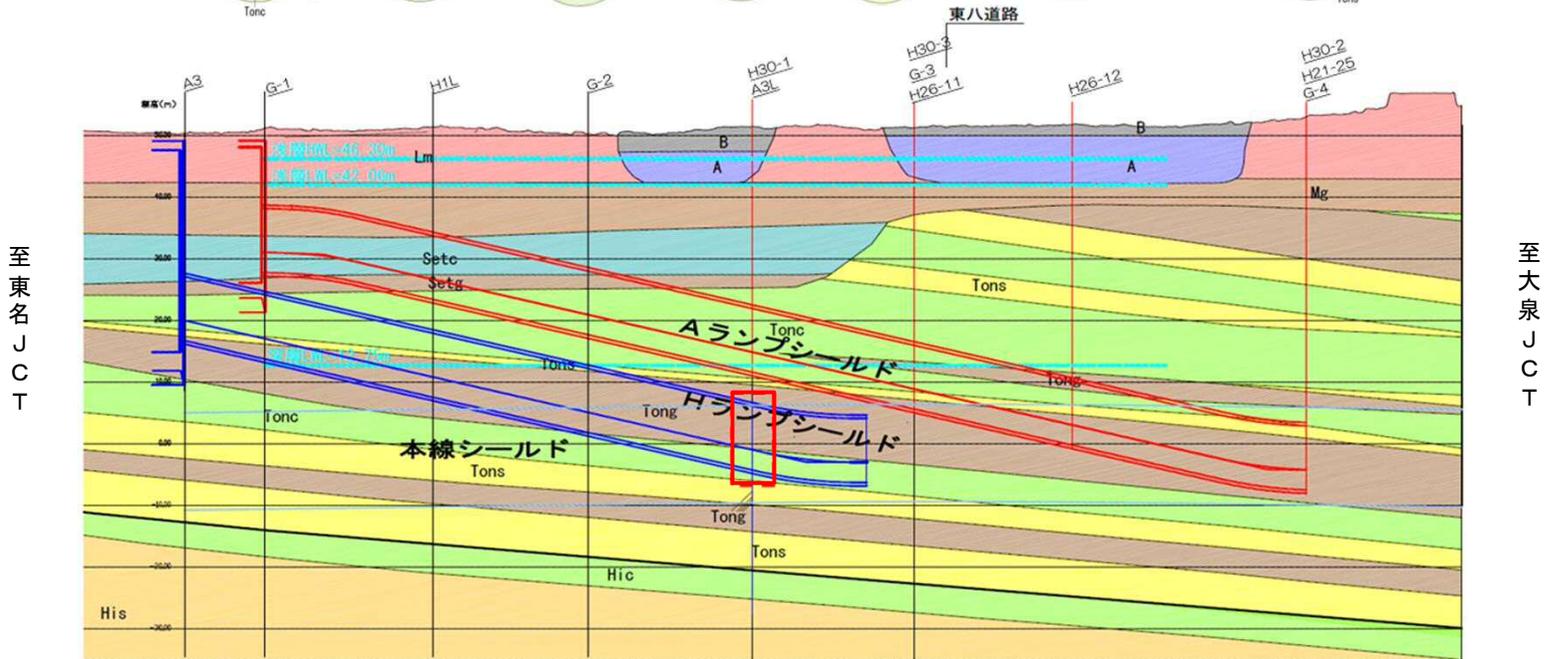
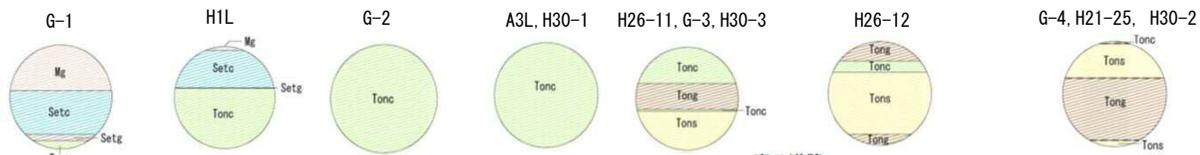
シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

- 添加材事前配合試験結果を踏まえ、標準配合の気泡材を使用して、注入量等を調整しながら掘進することを基本とし、各ケースの添加材を常時使用可能な状態にしておきます。
- 各種モニタリングや排土性状を確認し、塑性流動性の確保が懸念される場合には、添加材種別や注入量等を変更し改善を図ります。
- 気泡材の注入量の調整や添加材の変更による対応で塑性流動性の改善が見られない場合には、速やかに鉋物系等を添加したのち掘進を一時停止します。

シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

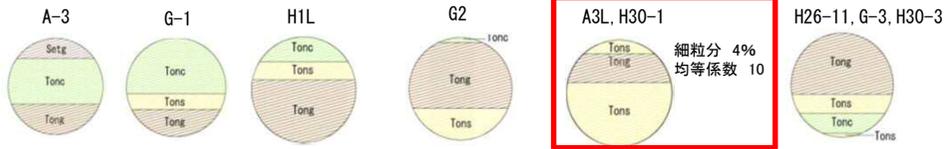
○本工事の施工箇所付近では、これまでに13箇所ボーリング調査を実施しています。
 ○これらの調査結果を用いて、地盤の再確認(検証)を行い、想定するトンネル掘削断面のうち、塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される箇所を試験対象断面としました。

Aランプシールド
想定トンネル掘削断面



※路線地質縦断面(H26年度時点)

Hランプシールド
想定トンネル掘削断面



 塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される箇所を試験対象断面とする

シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

○選定した試験対象断面について、以下の2つのタイプの模擬土を作成し、確認試験を実施しました。

タイプA: 塑性流動性の確保が最も厳しいと想定されるトンネル掘削断面(選定した試験対象断面)の粒度組成を模した模擬土

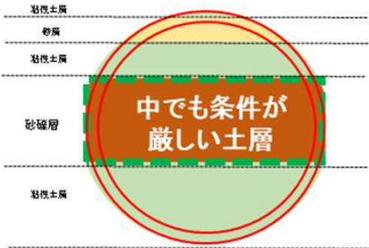
タイプB: 塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される土層がトンネル掘削断面の全断面に出現した場合を想定した模擬土

○確認試験では、使用予定の添加材の効果(経時変化を考慮)を確認しました。

<トンネル掘削断面のイメージ図>

タイプA

(実際の掘削断面で特に条件の厳しい断面)

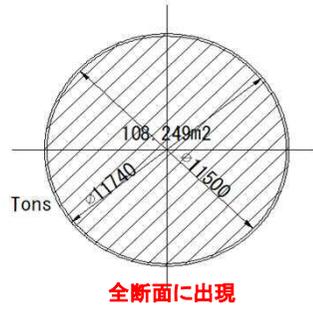
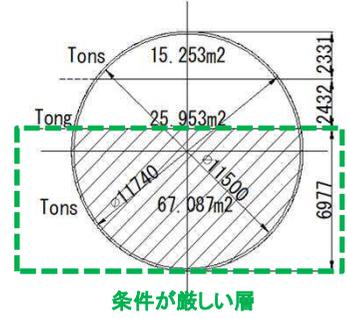


タイプB

(中でも条件が厳しい土層が全断面に現れた想定)



<選定した試験対象断面>



材令 添加材	添加直後	7日後
気泡材 	 ○(塑性流動性あり)	 粘性が無く固まっている  まとまりが無くバラバラになっている ×(塑性流動性なし)
鉱物系 (ベントナイト) 	 ○(塑性流動性あり)	 ○(塑性流動性あり)

シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

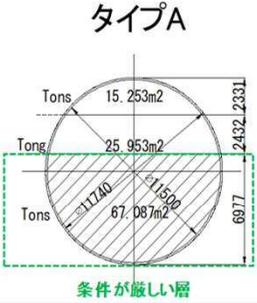
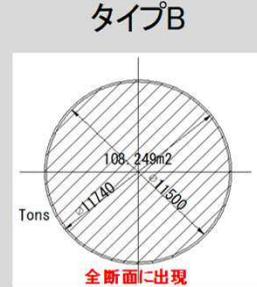
■使用予定の添加材

添加材は、以下の4種類で選定試験を行いました。

	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4
添加材種別	気泡材(標準配合)	気泡材(高濃度配合)	気泡材+鉍物系 (気泡材の助材として使用)	鉍物系 (単体で使用)
外観			 + 	
特徴	標準的に使用を予定している気泡材	標準的な気泡材に対し、強度の高い気泡を得ることを目的として、起泡剤溶液の配合を変えた気泡材	気泡材の添加と同時に、助材として鉍物系を添加することで細粒分を補うとともに、粘性を付与して、塑性流動性の改善を図るもの	鉍物系を主材として添加

シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

- 地盤状況によっては気泡材のみでは良好な塑性流動性が確保できない場合があります。
- この場合においても、鉱物系添加材を用いることにより、材齢7日にわたり良好な塑性流動性が確保できることを確認しました。

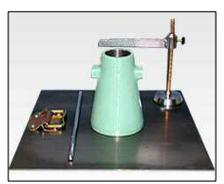
模擬土	細粒分含有率	CASE	添加材					水 注入率 [対Vol]	結果			
			気泡材			鉱物系			直後	1日	3日	7日
			配合 (濃度)	発泡倍率	注入率 [対Vol]	配合 (濃度)	注入率 [対Vol]					
タイプA  条件が厳しい層	4%	CASE-1	標準 (0.6%)	8倍	25%	—	—	5%	○	○	×	×
		CASE-2	高濃度 (5.0%)	20倍	20%	—	—	5%	○	○	○	×
		CASE-3	高濃度 (5.0%)	20倍	15%	70kg/m3 (7.0%)	10%	—	○	○	○	×
		CASE-4	—	—	—	70kg/m3 (7.0%)	35%	—	○	○	○	○
タイプB  全断面に出現	2%	CASE-1	標準 (0.6%)	8倍	15%	—	—	5%	○	○	×	×
		CASE-2	高濃度 (5.0%)	20倍	15%	—	—	5%	○	○	○	×
		CASE-3	高濃度 (5.0%)	20倍	15%	70kg/m3 (7.0%)	5%	—	○	○	○	×
		CASE-4	—	—	—	70kg/m3 (7.0%)	35%	—	○	○	○	○

シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

室内試験 判断の目安

①室内試験項目

項目	規格
ミニスランプ	JIS A 1171
テーブルフロー	JIS R 5201
目視・手触り	—



ミニスランプ試験機



テーブルフロー試験機

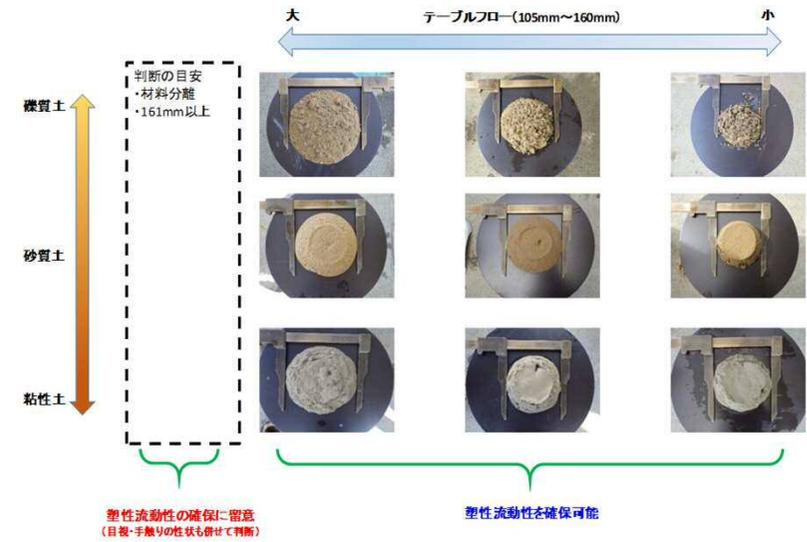
②ミニスランプの判断目安

- ・0.5cm～7.5cmを目安
- ・緩やかに形を変え、崩壊しないこと
- ・材料等の分離がないこと



③テーブルフローの判断目安

- ・105mm～160mmを目安
- ・フローの広がりに偏りが無いこと
- ・材料等が分離せずに広がること



④目視・手触りの判断目安

- ・容易に混練できる、分離しない
- ・同一技術者による判断

①分離抵抗性

状況
攪拌後に礫・砂の沈降がない
攪拌後に礫分がわずかに沈降する
攪拌後に表面に気泡や水分が分離する
攪拌後に気泡材の分離・破泡がみられる

③粘性

状況
適度な粘性を有する
粘性がやや不足
粘性がほとんどない

②流動性

状況
混練時の負荷が小さい
混練時の負荷がやや大きい
混練が困難
混練時に全体がまとまって流動化する
混練時に流動化するものまとまりがない
混練時に流動化が困難

④触感

状況
握った際に芯が残らない
握った際にわずかに芯が残る
握った際に容易に脱水され固い芯が残る

塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応

- 掘進管理システムの監視モニターでリアルタイムに監視しカッタートルクやチャンバー内圧力勾配の変化を確認するとともに、手触・目視に加えミニスランプ試験及び粒度分布など排土性状の確認結果を踏まえ塑性流動性の確保について総合的に判断します。
- 各種モニタリングや排土性状を確認し、塑性流動性の確保が懸念される場合には、掘進速度の調整(カッタートルク対応)やチャンバー内圧力設定の見直し、気泡材の注入量等の調整や添加材の種別を変更し改善を図ります。
- 気泡材の注入量等の調整や添加材の変更による対応で塑性流動性の改善が見られない場合には、速やかに鉋物系等を添加したのち掘進を一時停止します。