

第5回 東京外環トンネル施工等検討委員会 有識者委員会

陥没・空洞の要因分析

令和2年12月18日

東日本高速道路株式会社関東支社東京外環工事事務所
鹿島・前田・三井住友・鉄建・西武特定建設工事共同企業体

1. 陥没・空洞事象に関して議論すべき要因の分析

今回発生した陥没・空洞事象に関し、想定されるメカニズムを網羅的に検討する。

	I. 挖削前の表層地盤の状況			II. シールド施工の影響
	想定されるメカニズム①	想定されるメカニズム②	想定されるメカニズム③	
概要	<p>埋設管 接続部漏水・吸い込み</p> <p>地下埋設物からの漏水・吸い込み ・下水道接続部等の漏水 ・下水道接続部等の吸い込み</p>	<p>降雨 地下水 地下水の流出</p> <p>地下水流、地下水変動、大雨による浸食 ・自然浅層地下水による浸食</p>	<p>人工物 井戸 浸食 砂の流出</p> <p>人工物の存在による影響や人工物の埋戻し部の浸食 ・井戸、排水井、地下放水路等の人工物による影響 ・過去に存在した構造物の埋戻し砂の流出</p>	<p>粒径加積曲線 75 μm 泥土化 非泥土化 休止後の掘進再開時 ゆるみ取込 切羽地盤の緩み 局所変状 広域変状</p> <p>閉塞及び閉塞解除作業の影響 ・夜間休止時間において、細粒分が極めて少なく、かつ礫が卓越する特殊な地盤における掘削土の塑性流動性・止水性が低下し、土砂分離・沈降が生じるなどにより、掘進再開時にカッターが回転不能となる事象（閉塞）が発生 ・閉塞を解除するため、沈降した砂礫を排土しながら気泡を注入する等の特別な作業を行ったことにより切羽のゆるみを生じさせ、単一の砂層が掘削断面上部に厚く堆積する特殊な地盤において煙突状にゆるみ領域が上方に拡大</p>

	II. シールド施工の影響				
	想定されるメカニズム⑤	想定されるメカニズム⑥	想定されるメカニズム⑦	想定されるメカニズム⑧	想定されるメカニズム⑨
概要	<p>掘進時 ゆるみ取込 切羽地盤の緩み</p> <p>掘進時の影響 ・チャンバー内の塑性流動性の不足による天端や切羽土圧の不安定化 ・掘削土砂の過大な取込み</p>	<p>ボイド天端の崩れ 通過時沈下 浮力挙動</p> <p>掘進後のボイドによる影響 ・ボイド天端の崩れ</p>	<p>気泡(エア)浮力上昇→ゆるみ拡大</p> <p>空気の塊の上昇による影響 ・気泡に用いる空気の顕著な浮力上昇 ・空気の上昇による緩み拡大</p>	<p>振動伝搬(ゆるみ拡大等) シールド機掘進時の振動</p> <p>トンネル掘削の振動による締固め・局所的な液状化による影響 ・カッター付近の振動による締固め・局所的液状化</p>	<p>土砂噴發 ゆるみ取込</p> <p>シールド施工時の土砂噴發等による影響 ・シールド機テール・スクリューコンベアからの出水による土砂噴發 ・セグメント縫手面からの出水 ・セグメントの損傷</p>

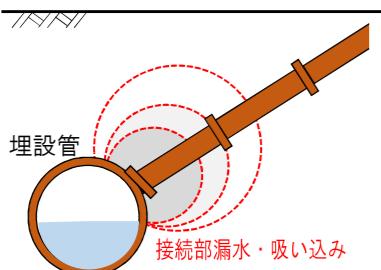
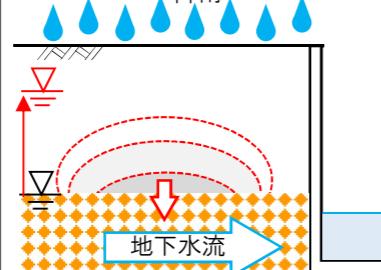
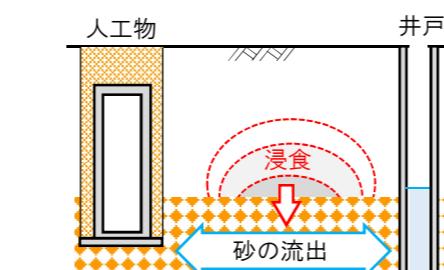
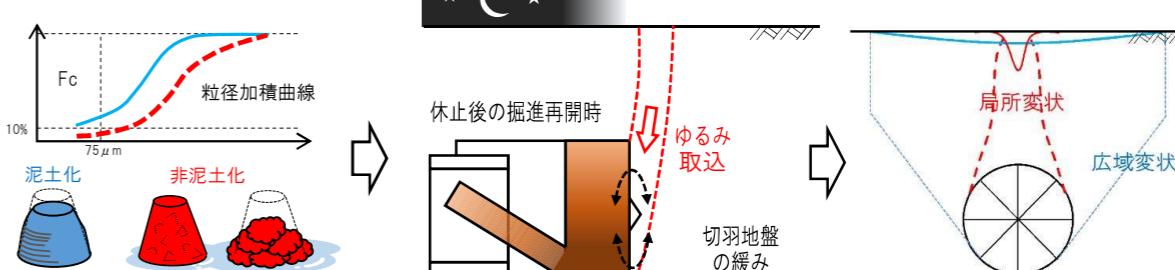
2. 陥没・空洞形成における想定される要因のまとめ（中間報告）

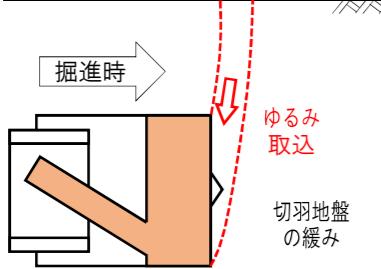
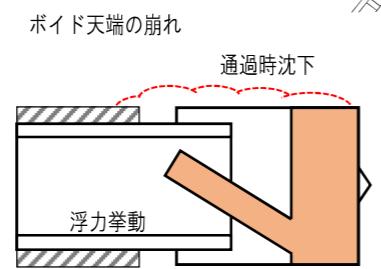
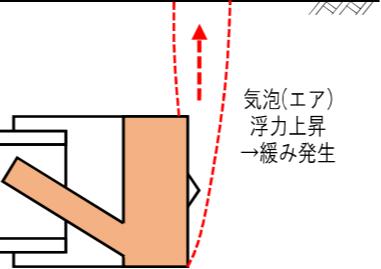
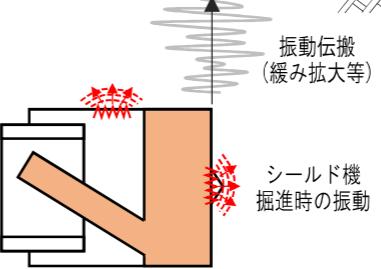
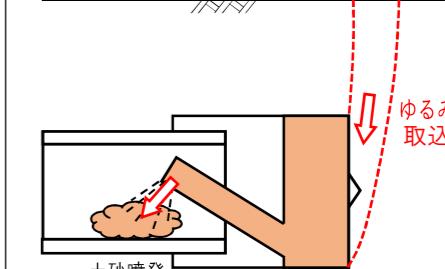
＜各要因に関する考察＞

	メカニズム	調査・検討で確認された事項	考察
I 掘削前 の表層地盤 の状況	①地下埋設物からの漏出・吸い込み	・陥没箇所において下水管の損傷を確認。 ・陥没・空洞箇所における地下水から下水成分は検出されなかった。	地下水の成分調査により下水成分が確認されなかったことから、陥没・空洞の要因である可能性は低い。
	②地下水流、地下水変動、大雨による浸食	・陥没、空洞の断面において、水で洗われた部分を確認。 ・表層地下水の降雨時における流速の上昇や流向の変化を確認。 ・当該地域は入間川の西に浅く円弧状に入り込んだ谷地形であることを確認。	当該地域は緩やかな集水地形となっていることから、あらかじめ空洞形成されていた可能性がある。これについては、更に調査する必要がある。
	③人工物の存在による影響や 人工物の埋め戻し部の浸食	・空洞①（11/3に確認された空洞）において、用途不明のヒューム管を確認。	空洞内部に人工物の存在が確認されたものの、あらかじめ空洞形成されていたこととの因果関係は、現時点では特定できなかった。
II シールド施工 の影響	④閉塞及び閉塞解除作業の影響	・陥没・空洞箇所周辺では、夜間休止時間にチャンバー内の土砂が分離・沈降し、締まってしまうことで掘進再開時にカッターが回転不能となる事象（閉塞）が生じていた。なお、事後的に陥没・空洞周辺箇所の地盤を再現した配合試験では、気泡配合直後は塑性流動性・止水性が確保されていたものの、時間経過により土砂が分離することを確認。 ・陥没・空洞箇所周辺では、特殊な地盤条件により施工部の振動が地上部に届きやすく、トンネル上部の住居から振動に関する問合せが増加したため、施工時間を段階的に短縮することにより夜間休止時間を延長したところ、閉塞が生じる頻度が増加。 ・掘進再開時に閉塞を解除するため、チャンバー内の圧力を保持しながら、沈降して締め固まつた砂礫を排土しながら起泡溶液を注入するという特別な作業を行った。この過程で局所的にチャンバー内の圧力が低下したことが確認され、切羽部の緩みが生じ、土砂の取込みを発生させた可能性を確認。 ・陥没・空洞箇所周辺では、閉塞解除作業が行われており、事後的に実験により、煙突状の緩み領域が生じうることを確認。	夜間休止時間に生じた閉塞を解除するために、沈降した砂礫を排土しながら起泡溶液を注入する等の特別な作業が陥没・空洞箇所周辺で行われており、その過程で切羽の緩みを生じさせ、煙突状に上方に拡大した可能性があり、陥没・空洞の要因となった可能性が考えられる。
	⑤掘進時の影響	・気泡の地山への逸失が生じていた可能性が考えられ、その場合、排土体積評価に影響があることを確認。 ・陥没・空洞箇所周辺では、トンネル上部の上方まで砂層が緩んでいることを確認。	掘進時の主要な施工データからは、今のところ問題点は確認されなかったが、陥没・空洞箇所周辺ではトンネル上部の上方まで砂層が緩んでいるため、陥没・空洞の要因となった可能性について、更に検証する必要がある。
	⑥掘進後のボイドによる影響	・裏込め注入量や注入圧は管理値に適合していることを確認。 ・地山探査装置が突出できない事象が発生していたことを確認。	裏込め注入に係る施工データに異常値は確認されず、余堀幅はわずか（8 cm程度）であること等から、陥没・空洞の要因である可能性は低い。
	⑦空気の塊の上昇による影響	・空気の上昇により、掘削断面上部の緩みの進展が助長される可能性はあるが、上昇する空気の圧力は体積膨張とともに減圧するため、土粒子に与える影響は小さいと考えられる。	上昇する空気の圧力は体積膨張とともに減圧するため、土粒子に与える影響は小さいと考えられることから、陥没・空洞の要因である可能性は低い。
	⑧トンネル掘削の振動による締固め・ 局所的な液状化による影響	・トンネル施工に伴う振動は55 dB程度であり、振動エネルギーは地震動と比較して極めて小さいことを確認。 ・振動は、特殊な地盤条件により施工部の振動が地上部に届きやすいことを確認。	トンネル施工に起因する振動エネルギーは地震動と比較して極めて小さく、液状化が発生したとは考えにくい。また、締固めの影響は小さいものと考えられることから、陥没・空洞の要因である可能性は低い。
	⑨シールド施工時の土砂噴発等による影響	・セグメントの損傷等の変状、シールド機スクリューコンベアからの土砂噴発やテールからの土砂噴出は生じていないことを確認。	土砂噴発やセグメントの損傷等はないことから、陥没・空洞の要因ではない。

<総括>

- ここまで、陥没・空洞事象について、想定される要因を列举し、調査結果や施工データを用いて分析を行ってきた。
- 陥没・空洞事象は、年月をかけて形成された地下空洞があらかじめあった可能性は否定できないものの、陥没・空洞の下部がトンネル方向に局所的に引き込まれている現象がボーリング調査によって確認されていることから、特殊な地盤条件下において行われたシールドトンネルの施工が、陥没地点を含む空洞の要因の一つである可能性が高いと推定される。
- 現時点では、シールドトンネルの施工が陥没・空洞が形成の要因となったメカニズムの特定には至っていないため、引き続き残る現地調査やそれらも踏まえた検証を早期に行い、メカニズムを特定する必要がある。

	I. 堀削前の表層地盤の状況			II. シールド施工の影響
	想定されるメカニズム①	想定されるメカニズム②	想定されるメカニズム③	
概要	 <p>埋設管 接続部漏水・吸い込み</p> <p>地下埋設物からの漏水・吸い込み ・下水道接続部等の漏水 ・下水道接続部等の吸い込み</p>	 <p>降雨 地下水 地下水水流</p> <p>地下水水流、地下水変動、大雨による 浸食 ・自然浅層地下水による浸食</p>	 <p>人工物 井戸 浸食 砂の流出</p> <p>人工物の存在による影響や人工物の埋戻し 部の浸食 ・井戸、排水樹、地下放水路等の人工物に による影響 ・過去に存在した構造物の埋戻し砂の流出</p>	 <p>粒径加積曲線 泥土化 非泥土化 休止後の掘進再開時 ゆるみ取込 切羽地盤の緩み 局所変状 広域変状</p> <p>閉塞及び閉塞解除作業の影響 ・夜間休止時間において、細粒分が極めて少なく、かつ礫が卓越する特殊な地盤における 掘削土の塑性流動性・止水性が低下し、土砂分離・沈降が生じるなどにより、掘進再開 時にカッターが回転不能となる事象（閉塞）が発生 ・閉塞を解除するため、沈降した砂礫を排土しながら気泡を注入する等の特別な作業を行 ったことにより切羽のゆるみを生じさせ、単一の砂層が掘削断面上部に厚く堆積する特 殊な地盤において煙突状にゆるみ領域が上方に拡大</p>
考察	陥没・空洞の要因である可能性 は低い。	あらかじめ空洞が形成された可能性 について、更に調査する必要があ る。	あらかじめ空洞形成されていたこととの因 果関係は、現時点では特定できなかつた。	陥没・空洞の要因となった可能性がある。

	II. シールド施工の影響				
	想定されるメカニズム⑤	想定されるメカニズム⑥	想定されるメカニズム⑦	想定されるメカニズム⑧	想定されるメカニズム⑨
概要	 <p>掘進時 ゆるみ取込 切羽地盤の緩み</p> <p>掘進時の影響 ・チャンバー内の塑性流動性の不足によ る天端や切羽土圧の不安定化 ・掘削土砂の過大な取込み</p>	 <p>ボイド天端の崩れ 通過時沈下 浮力挙動</p> <p>掘進後のボイドによる影響 ・ボイド天端の崩れ</p>	 <p>気泡(エア)浮力上昇→緩み発生</p> <p>空気の塊の上昇による影響 ・気泡に用いる空気の顕著な浮力上昇 ・空気の上昇による緩み拡大</p>	 <p>振動伝搬(緩み拡大) シールド機掘進時の振動</p> <p>トンネル掘削の振動による締固め・局所 的な液状化による影響 ・カッター付近の振動による締固め・局 所的液状化</p>	 <p>土砂噴發 ゆるみ取込</p> <p>シールド施工時の土砂噴發等による影響 ・シールド機テール・スクリューコンベ アからの出水による土砂噴發 ・セグメント縫手面からの出水 ・セグメントの損傷</p>
考察	陥没・空洞の要因となった可能性につ いて、更に検証する必要がある。	陥没・空洞の要因である可能性は低い。	陥没・空洞の要因である可能性は低い。	陥没・空洞の要因である可能性は低い。	陥没・空洞の要因ではない。