

第6回 東京外環トンネル施工等検討委員会 有識者委員会
議事概要

■ **第6回 有識者委員会：令和3年2月12日**

【議題】

- ・ 調査結果、地盤の特性、施工データについて
- ・ 陥没・空洞の推定メカニズムについて
- ・ 地盤の緩みの状況および補修について
- ・ 再発防止対策の基本方針について

【議事概要】

1. 調査結果

- 調査結果の報告があり、掘削断面に礫層が介在する東久留米層のエリア（以降、「エリア A」という。）について、第5回委員会で確認している事項も含め、次の点を確認した。
- ・ 空洞箇所付近において実施したボーリング調査では、空洞の上部付近にほぼ共通して硬質のローム層（凝灰質粘土層）が存在する一方で、陥没箇所の入間川に向かう道路筋にはこの層が無く、黒ボク土が存在していることから、当該地造成時などにおいて人工的に掘削され、埋め戻された可能性があるエリアであることを確認した。
 - ・ ボーリング調査から、陥没箇所や空洞の発生箇所では、トンネル直上において、トンネル部から緩み領域が徐々に上方に拡大している可能性を確認した。
 - ・ ボーリング調査および物理探査（微動アレイ、音響トモグラフィ）から、ボーリング No. ⑫より北側のトンネル直上部以外では地盤の緩みや空洞の存在が見られないことを確認した。
 - ・ 地表面変位測定結果から、最大沈下量は 19mm で収束していること、地表面傾斜角は最大 0.8/1000rad であることを確認した。
 - ・ 令和2年台風14号（シールドが空洞①箇所を通過した後に接近）の影響により、近傍観測井戸の地下水位が約 50cm 上昇していることから、陥没箇所および空洞①・②箇所はそれらの表面が形成された後に短期間に水で洗われた可能性があることを確認した。
 - ・ 表層地下水の降雨時の流速の上昇や流向の変化は、入間川に武蔵野礫層の土砂を流出させるものではないことを確認した。
 - ・ 空洞①において採取した土砂と入間川護岸に堆積している土砂の成分が異なっていることを確認した。
 - ・ 陥没箇所および空洞①、②箇所の地下水調査結果から、シールド掘進時に使用する気泡や下水が含まれている結果は得られていないが、空洞③箇所の地下水調査結果からは微量の陰イオン界面活性剤が検出されており、工事の影響による可能性が高いことを確認した。

- 掘進済み区間のうち、エリアAより南側の区間（以降、「エリアB」という。）について、次の点を確認した。
 - ・ 地表面変位測定結果から、最大沈下量は 6mm で収束していること、地表面傾斜角は最大 0.3/1000rad であることを確認した。
 - ・ 物理探査から、掘削断面上部において地盤の緩みや空洞の存在は確認されなかったことを確認した。

2. 地盤の特性

- 今回発生の陥没・空洞箇所周辺は、次の全てに該当する特殊な地盤条件であることを再確認した。
 - ・ 掘削断面は、細粒分が少なく、均等係数が小さいため、自立性が乏しく、礫が卓越して介在することから、シールドトンネル施工における掘削土の塑性流動性の確保に留意すべき地盤であること。
 - ・ 掘削断面上部は、単一の砂層である流動化しやすい層が地表面近くまで連続している地盤であること。
 - ・ 表層部は他の区間と比較して薄い地盤であること。
- 上記条件は、東京外環全線の中では「エリア A」及びその前方京王線付近までであることを再確認した。

3. 施工データ

- 施工データの報告があり、第5回委員会で確認している事項も含め、次の点を確認した。
 - (エリアA)
 - ・ 陥没・空洞箇所周辺のトンネル部分では、夜間掘進休止後の掘進再開時にカッターが回転不能となる事象（閉塞）が度々生じていた。この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、その緩みが煙突状に上方に拡大した可能性があることを確認した。
 - ・ チャンバー内の土圧勾配から推定される気泡土単位体積重量より掘進中のチャンバー内土砂性状を評価したところ、細粒分・細砂分が著しく少ない特殊な地盤では塑性流動性が低下しており、閉塞解除作業が行われていた箇所付近から、添加した気泡材が全量回収できていなかった可能性を確認した。結果として、掘削土の重量を小さく見積もり、掘削土砂を過剰に取り込んだ可能性を確認した。
 - (エリアB)
 - ・ 掘進再開時にカッターが回転不能となる事象（閉塞）は生じていないことを確認した。
 - ・ 施工データに特異な点はなく、掘削土の塑性流動性も確保され、掘削土量が適正に評価されていることを確認した。

4. 陥没・空洞の推定メカニズム

- 陥没・空洞事象について、想定される要因を抽出し、調査結果や施工データを用いて多角的な分析を行った。
- 地下埋設物や地下水による影響により空洞があらかじめあった可能性は低いことを確認した。
- 陥没・空洞箇所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調査によって確認されており、特殊な地盤条件下において行われたカッターが回転不能になる事象（閉塞）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陥没・空洞事象の要因である可能性が高いことを確認した。また、陥没・空洞形成の要因となったメカニズムについては次のとおり推定されることを確認した。
 - ① 夜間休止時間にチャンバー内の土砂が分離・沈降し、締固まってしまうことで掘進再開時に閉塞が生じ、その解除のために、沈降した土砂を排土しながら起泡溶液を注入する等の特別な作業を行う過程で、土圧の不均衡が生じて地山から土砂がチャンバー内に流入し、結果として地山に緩みが発生した
 - ② 陥没・空洞箇所周辺の掘進時において、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していたが、閉塞解除作業により生じた地山の緩みに気泡材が浸透することにより、塑性流動性・止水性が低下し、閉塞解除作業により生じた地山の緩みに対する切羽土圧の不均衡が生じた。また、一部の気泡材は回収できず、掘削した地山重量が過少に評価され、土砂の取り込みが想定より過剰に生じ、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た
 - ③ 地山の緩みが進行方向に拡大し、地表面付近に硬質のロームをアーチとする空洞が形成され、硬質ロームが欠如している箇所で陥没に至った

5. 地盤の緩みの状況および補修について

- これまでに確認された調査結果、施工データの結果及び陥没・空洞の推定メカニズムに基づき、地盤の緩みが生じている可能性のある範囲は次のいずれかに該当する。
 - (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
- その上で、次のとおり、補修や常時監視等の措置を速やかに講じることが妥当であることを確認した。
 - (エリアA)
 - ・ トンネル縦断方向では、2639R～2840Rにおいて閉塞が生じるとともに解除のために特別な作業を実施しており、Br. ④、⑧-A、①、⑤、⑤-A、⑨の間においてN値の低下及び不規則な計測波速度の低下が確認されている。一方で、Br. ⑫より南側では、(ア)～(ウ)のいずれも確認されていない。従って、Br.⑫より北側からシールドマシンまでの間が地盤の緩みが生じている可能性のある範囲と想定される。

- ・ トンネル横断方向では、ボーリング調査及び物理探査の結果及び推定メカニズムを踏まえ、南行トンネル直上に、地盤の緩みが生じていると想定される。
- ・ 地盤の緩みが生じている可能性のある範囲は、地盤補修予定範囲として、引き続き調査を実施し、補修等の措置が必要となる地盤を特定していく。

(エリアB)

- ・ 物理探査結果から掘削断面上部での地盤の緩みや空洞は確認されていない。また、閉塞及びその解除のための特別な作業も実施されていない。
- ・ 従って、エリアBでは、シールドトンネルの施工が要因となる空洞の形成や補修等の措置を必要とする地盤の緩みが生じている可能性は極めて低い。
- ・ なお、今後、GNS S等による常時監視を継続し、詳細な調査等を必要とする変動が生じた場合は、速やかに適切な措置を講じていく。

6. 再発防止対策の基本方針について

○ 陥没・空洞の推定メカニズムを踏まえた、東京外環事業における今後のシールドトンネル施工を安全に行うための以下の再発防止対策の基本方針の妥当性を確認した。次回委員会までに再発防止対策の実施に向けた検討を進めることとする。

- ① 掘削土砂を分離・沈降させない、閉塞させない対応
- ② 過剰な土砂取り込みを生じさせない対応
- ③ 万が一、閉塞が生じた場合、切羽を緩めない対応

7. 沿線住民の方への対応

○ 引き続き、陥没・空洞箇所及びその周辺の監視を重点的に行い、本委員会での議論の内容を説明するなど、周辺住民からの問合せ等に対し適切に対応するとともに、不安を取り除くことに努めることを確認した。

以上