

工事再開と今後の設計施工に向けて

# 1 工事再開に関する主な留意点

---

本委員会での事故原因の推定を踏まえ、福岡市が地下鉄工事を再開するにあたっては、主に以下の項目について留意し、必要な調査等を行う必要がある。

## ① 地質、地下水の状況把握

- 難透水性風化岩層の強度や厚さについては、過去の風化の影響等により強風化の弱部が各所に存在し、また、地層の不整合面に凹凸があるなど、不規則で複雑な地質構造となっていたことが事故後の調査で明らかとなった。このため、事故後に実施されたボーリング調査の結果や、過去において周辺部で実施された地質調査の結果等も踏まえるとともに、陥没箇所について埋め戻した流動化処理土、薬液注入された周辺地盤等、事故後の措置も考慮しつつ、再度、地質、地下水の状況を把握する必要がある。

## ② トンネル坑内の水抜き及び土砂撤去に関するもの

- 現存するトンネル坑内の水抜きや土砂撤去にあたっては、現在は安定していると推測される力学的な均衡が再び変化し、トンネル部や周辺地盤の崩壊に至る恐れがあるため、地下水位等の計測を行うことによって力学的安定性について観測、評価しつつ、周辺へ影響が生じないように慎重に行う必要がある。
- 崩壊部と健全部を分離する位置、地盤改良(固結)や埋め戻しが必要となる場合の区間・範囲の検討(土砂をどこまで存置させるのかの前提も含む)、事前の地盤改良(固結)や埋め戻しなどの方法を検討する必要がある。
- 坑内地下水と上部未固結帯水砂層内地下水との不連続性について把握するため、現在の地下水位が、岩盤部のものか土砂部のものかなど水頭変動の要因の確認が必要である。
- 崩落部地盤およびその周辺地盤の改良により、すでに施工されている支保工を含むトンネル本体に影響を与えないことの検討が必要である。

### ③ 再掘削工法の選定に関するもの

- 工法選定については、都市 NATM の他に、シールド工法等の他の工法や新技術の活用も含め、安全面を重視して行う必要がある。
- 周辺の地下水位をあらかじめ低下させる可能性も含め検討する必要がある。
- 埋め戻し流動化処理土、薬液注入された周辺地盤、既設支保工等の状況を確認し、現在の地質状況を踏まえ、施工時リスクの評価を行う必要がある。
- 再掘削を開削工法にて行う場合には、
  - 埋設物の存在を考慮しつつ、土留め支保工が設置できない箇所への対策を含めた土留め支保工の安全性の確認を行う必要がある。
  - 開削時に、既存トンネルの支保工の撤去等を行う場合には、その安全性について検討する必要がある。また、既設構造物(下水管等)の切り回しや防護等を行う場合には、その可否や埋設物の安定性について検討する必要がある。
  - 周辺建築物へ影響を与える恐れがあることから、土留め支保工の剛性を高める等の事前の対策や地表面の変位計測など、安全面を考慮した対策を講じる必要がある。
- また、再掘削を非開削工法にて行う場合には、
  - 地下水の影響や周辺地山、残置支保工の状況の把握、汚水流入による有毒ガス発生の可能性、再掘削の加背割、支保工、補助工法等について、安全面を考慮した対策を講じる必要がある。
  - 陥没箇所に残置されることになる信号機等の埋設物は、状況に応じて適切に処理する必要がある。

## 2 類似する条件下での都市 NATM 及び地下空間での工事における留意点

今回の事故は、トンネルを施工する地盤の強度や厚さが局所的に不足する難透水性風化岩であることに加えて、高い地下水圧が作用する厳しい条件においてトンネル施工の安全性が実際より高く評価されたことが要因であると推定した。また、こうした厳しい条件下における設計変更が結果的にトンネル構造の安定性を低下させる副次的な要因となったものと推定した。これらのことから、都市 NATM の工法選定そのものが誤っていたということではなく、また、直接的に都市 NATM そのものの信頼性が損なわれるものではない。さらに、これまでの技術的な基準等の見直しに直接的に繋がる事項はない。

しかしながら、今回の事故の教訓を活かし、二度とこのような事故を発生させないよう、類似した条件下において都市 NATM によるトンネルを計画・施工する場合など地下空間での工事について、留意すべき点は以下の通りである。

### 2.1 計画・調査、設計について

#### ① 計画・調査

- ボーリング等の地質に関するデータは地下空間の限定的な情報であり、たとえ多くの調査を実施しても地下空間を詳らかに把握することには限界があることから、施工の安全性を事前に完璧に確保することには自ずと限界がある。しかしながら、今回の事故の規模や影響を鑑みると、地下空間の安全な利活用を図るためには、地下空間に関する情報を出来るだけ収集するとともに、その時々最新の技術を用いて、リスクを可能な限り低減させた、より安全性を確保した設計・施工に努めるべきである。そのため、地下空間に関する調査については効果的・効率的に行うとともに、その目的に照らして必要かつ十分なものでなければならない。加えて、過去において周辺部で実施された地質調査等を官民間問わず情報収集し、利活用できるようにする必要がある。

- 土被りが確保されていても未固結層とその下部にある岩盤との境界では、風化により地山強度にばらつきがみられたり、岩盤の侵食等による起伏により不均一な層厚となっている場合があるため、地質調査を十分に行う必要がある。
- 都市 NATM は、断面自由度や経済性などの利点があるが、地山条件や周辺環境状況によっては、リスクが高くなることを十分鑑み、リスク対策に必要な調査、想定されるリスクに対する適切な対応等についても検討する必要がある。

## ② 設計

### (解析に用いる地山のモデル化)

- 地下工事の安全性を確保するためには、地質の持つ不均質性を適切に捉え、危険側とならないような物性値の採用や地層厚や、物性値を変化させた複数の計算を行って結果を評価すること(パラメトリックスタディ)の採用を検討するなどの取り組みを設計及び施工に反映させるとともに、今回のような不規則で複雑な地質構造や高い地下水位などの安全性に対するリスクを可能な限り把握し低減するよう努める必要がある。また、数値解析によって得られる結果は必ずしも万能ではないとの認識に立ち、十分な知見・経験等も加えて総合的な工学的判断を行うことが重要である。

### (トンネル断面形状)

- 採用するトンネル断面形状が扁平となる場合には、周辺地山や支保工の安定性について入念に検討する必要がある。特にトンネル天端の地盤に遮水性を期待するような設計を行う場合は、扁平断面の天端部近傍の地山はアーチアクションの効果が減少することから、地山の安定性に加え遮水機能が十分に確保できるよう検討する必要がある。

### (施工法の検討)

- 地下水位が高い場合には、水圧による影響をあらかじめ最小化できるよう、工法の選定、水位の低下や地盤改良等の必要な措置について十分に検討すること。

- 地下水位低下が困難な場合、水圧や土圧に耐える遮水層の厚さや遮水のための薬液注入等補助工法の施工範囲を検討し、遮水層の安定性を確保する必要がある。

#### (注入式長尺鋼管先受け工の設計)

- 注入式長尺鋼管先受け工法は、トンネル周辺地山の掘削時の緩みを抑制する工法であり、大きな水圧が作用する地盤の遮水効果は期待できないことを踏まえる必要がある。
- 注入式長尺鋼管先受け工法のラップ長の設定においては、切羽・天端の安定性を十分に確保できるように設定し、その際、周辺地山への注入材の注入状態(浸透注入、亀裂注入)改良効果、設計上必要な最小ラップ長の要求性能を試験施工にて確認する必要がある。

## 2.2 施工について

### ① 設計照査と追加調査、施工法変更の提案

- 近接構造物等の施工上の制約、地上への影響などについて照査を行い、必要に応じて設計の変更・施工に必要な調査等を行う必要がある。
- 設計変更が必要な場合は、設計の考え方を十分把握し、現場条件を踏まえて有効な変更案を作成する必要がある。
- 都市 NATM の施工段階において、地山および地下水の状況を把握して照査を行い安全性の確認を行う必要がある。
- 掘削断面の分割については、周辺環境、近接構造物への影響に配慮し、適切な補助工法との組合せ及び断面の早期閉合や施工機械の組合せについて検討する必要がある。

### ② 補助工法の施工と管理

- 設計上の補助工法に期待している要求性能について、対象地盤に対して十分に満足していることを試験施工で確認する必要がある。また、試験施工

により要求性能を満足するための適切な管理目標値を設定し、施工管理において適切に管理する必要がある。

- 注入式長尺鋼管先受け工法は、トンネル施工時における切羽・天端の安定性を確保するための補助工法であり、遮水性については別途対策を検討する必要がある。

### ③ モニタリング

- 変状の発生を敏感に捉え、非常時を想定した詳細なモニタリング計画を作成するなど、体制を充実させること

## 3 設計・施工等以外の配慮すべき事項について

---

トンネル工事の設計・施工にあたっては、以下の事項にも配慮する必要がある。

### ① 設計・施工における意思疎通

- 調査、設計、施工にあたっては、関係者は、最終的にどのように使用されるかも含めてその目的を十分に踏まえるとともに、必要に応じて追加調査や設計変更を行い、リスクの低減に努める必要がある。
- 調査、設計、施工の各段階で得られた情報や知見については記録に残し、関係者間で十分共有するとともに、調査から設計、設計から施工と言った次の段階に適切に引き継ぐ必要がある。設計思想を発注者や施工者へ確実に伝達するため、3者(発注者、設計者、施工者)協議の実施が重要である。
- 特に、トンネル工事においては、地下空間の情報が限定的であることから不確定要素が多いため、発注者、設計者、施工者等の関係者が協力し、互いに知恵を出し合いながら困難を乗り越えていくべきであり、調査、設計、施工の各段階で得られた情報や知見については関係者間で十分共有するとともに、適切に調査から設計、設計から施工といった次の段階に引き継ぐこと
- 難易度が高くリスクを多く包含する工事においては総合的な判断も求められることから、日頃の関係する技術者の技術力向上はもとより、工事中に

においても然るべき場を設け、関係者間における現場状況の共有と真摯な技術的議論、その結果のフィードバックにより、高度な技術的知見を設計・施工に反映させるとともに、地質・地盤条件が複雑な我が国においては、関連する知見等を全国的に収集・活用できるしくみが必要である

## ② 技術的検討の場の活用

- 技術的検討の場については、設計・施工に関する課題の抽出等、初期の段階からその活用を検討する必要がある。
- 技術的検討の場の活用にあたっては、専門家からの具体的な指摘に対し、詳細に対応を検討し、その対応状況を説明を行うことで双方向のやりとりとすることで、技術的な示唆を設計・施工に活用していくことが重要である。
- 発注者、調査者、設計者、施工者の各者が技術レベルの向上に努めることが重要である。

## ③ 地下構造物の建設に対する信頼回復

- 今回のような事故は、地下構造物の建設に対する信頼を失うことに繋がりがねないものであり、本検討委員会で提言された留意点を踏まえつつ、同様の事故の発生を未然に防ぐことが重要である。