

第13回 福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会

日時 令和元年5月23日(木) 14時00分から

場所 福岡市交通局 4F 大会議室

議事等

- 七隈線延伸事業の進捗状況について(報告)
- トンネル坑内水抜き・土砂撤去について(報告)
- 3連トンネル部の掘削計画について(討議)

(事務局)

定刻となりましたので、ただいまより、第13回福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会を開催いたします。

はじめに、福岡市交通局理事より、ご挨拶を申し上げます。

(交通局理事)

本日は、委員長をはじめ、委員の皆様におかれましては、大変お忙しい中、お集まりいただき、誠にありがとうございます。

七隈線延伸事業につきまして、後ほど工事の進捗状況等をご説明させていただきますが、各工区とも安全第一に工事に取り組んでいるところでございます。また、工事の進捗写真を定期的に交通局のホームページで公表するなど、わかりやすい情報提供に努めているところでございます。

本日の委員会では、七隈線延伸工事全体の進捗状況や、ナトム区間におけるトンネル坑内の水抜き・土砂撤去の状況についてご報告させていただいたのちに、3連トンネル部の掘削計画について、ご討議いただきたいと思います。

交通局といたしましては、委員の皆様から忌憚のないご意見をいただき、今後の施工計画に反映していくとともに、何より安全を最優先に七隈線延伸事業を進めてまいりたいと考えておりますので、どうぞよろしくお願いいたします。

(事務局)

ありがとうございました。

本日、ご出席いただいております委員の皆様につきましては、お配りさせていただいております座席表のとおりでございます。時間の都合上、これをもちましてご紹介に代えさせていただきます。

なお、九州旅客鉄道株式会社の吉野様及び、人事異動等により、今回より新しく委員に就任していただきました東京都交通局の谷本様におかれましては、ご都合により本日は欠席となっております。

それでは議事の都合上、頭撮りは以上とさせていただきます。報道機関の皆様には、ご退出をお願いいたします。なお、議事につきましては、本日 19 時から福岡市役所本庁舎 10 階の記者会見室で記者会見を行いますので、どうぞよろしくお願いいたします。

次に資料の確認をお願いいたします。A4 縦の 1 枚目が「議事次第」、2 枚目が「本委員会の資料の取り扱いについて (お願い)」、3 枚目が「座席表」、4 枚目が「委員名簿」、5 枚目が「予定スケジュール表」、以上 5 種類です。

続きまして、A3 横の「第 12 回技術専門委員会での指導事項と対応状況」。

本日の報告・討議資料としまして、A3 横綴りの「(報告資料 1) 七隈線延伸事業の進捗状況について」、「(報告資料 2) トンネル坑内水抜き・土砂撤去について」、「(討議資料) 3 連トンネル部の掘削計画について」。

「討議に関する参考資料」、以上でございます。

資料の不足がございましたら、恐れ入りますがお知らせください。よろしいでしょうか。

本日のスケジュールでございますが、予定スケジュールのとおり、議事の途中で一度休憩を挟み、最後に本日のとりまとめをお願いしたいと考えております。

それでは、これより進行を委員長をお願いしたいと思います。委員長、よろしくお願いいたします。

(委員長)

皆さんには、お忙しいところお集まりいただきましてありがとうございます。今日の委員会は 3 つほど検討すべきことをあげておりますが、その中で最も重要視すべきものは最後の 3 番目の掘削計画、前回から少し持ち越し状態になっておりますけれども、そこを中心にこれから進めさせていただきたいと思っております。

(委員長)

先ほどの議事次第に従いながら、順次進めてまいります。まずは延伸事業の進捗状況について、報告をいただきたいと思っております。事務局よろしくお願いいたします。

(交通局)

それでは、七隈線延伸事業の進捗状況につきまして、ご説明いたします。

1 頁をご覧ください。

このページは、全体スケジュールと土木本体工事の概要を示しておりますが、こちらにつきましては、前回の委員会時点と特に内容が大きく変わっておりませんが、全体的なスケジュールとしましては、昨年度末に軌道工事を発注するとともに、今年度末には車両の制作に順次着手する予定であるなど、着実に事業推進を図っているところであります。

2頁をご覧ください。

中間駅西・東工区の進捗状況につきまして、上から平面図、縦断図及び断面図で表示しております。工事の進捗としましては、まず駅舎の躯体工事につきましては、地下4階から3階部分の構築が完了し、現在、地下2階から1階部分の築造工事を行っているところであります。図面の縦断図及び断面図に示します灰色で着色した部分が、既にコンクリートの打設が完了しているところであります。また、中間駅西工区につきましては、平面図の紫色で囲っております道路中央部分に防音ハウスを設置し、地下4階部分より既設の天神南駅に向かって、本年の4月14日より単線シールドが発進したところであります。

現在、ピンク色で着色した部分の約50mの初期掘進が完了し、来週からは、本掘進を始める予定としております。

3頁をお願いします。

上段の左から2枚は、中間駅西・東工区の占用状況であります。現在、西工区は、はかた駅前通りの道路中央に、東工区は、出入口工事の関係により、道路南側を占用して工事を進めております。また、上段右は、シールドトンネルの坑口の写真、また、下段の3枚は、駅舎の躯体の進捗状況を表した写真となっております。

4頁をお願いします。

博多駅工区の開削・アンダーピニング部の進捗状況を平面図と断面図で表示しております。工事としましては、地上より約21m掘削した位置をアンダーピニングの施工基面として、各地下構造物の仮受工事を行っております。進捗状況としましては、JR地下街部及び連絡通路部の仮受が全て完了し、仮受が完了した部分から、順次、路下掘削を進めております。今後は、いよいよ既設の地下鉄空港線の軌道下部やナトムとの接続部分で、15mほど残っております地下車路部の仮受を進める予定としております。なお、仮受本数としては、203本で、全体の292本のうちの約70%が完了している状況であり、今後も各構造物の変位を注意深く監視しながら、施工を進めてまいります。

最後に5頁をお願いします。

上段左は博多駅工区の占用状況の写真であります。住吉通りの道路中央部を占用し

て工事を進めており、上段右は、地下車路部、下段中央は、JR 地下街部、下段右は連絡通路部の仮受が完了した状況の写真となっております。

簡単ではございますが、以上で、工事の進捗状況についての説明を終わります。

(委員長)

今の説明についてご質問ございますか。全体を確認いただいたということで、よろしいでしょうか。

以上、報告があったということで1つ目の議題を終わります。

続きまして、報告ではありますけれども、きちんと確認しないといけない内容がありますので、報告というイメージで聞かず、皆様方で色々な助言をいただくこともあり得るということで、よくお聞きいただきたいと思えます。

それでは、2つ目の議題、トンネル構内の水抜き・土砂撤去についてということで、事務局より説明をお願いします。

(交通局)

それでは、2番目のトンネル坑内の水抜きの結果報告と土砂撤去の状況について、現在の状況とあわせて、説明いたします。

2頁をご覧ください。

まず、現在の状況でございますが、右下の黄色いハッチ部分には、土砂が堆積していることのほか、トンネル坑内水抜き開始後から現在までにおけるトンネル周辺の地表面沈下や層別沈下の計測において大きな変化がないことや土砂層の地下水位に大きな変化がないこと、水抜きによる立坑やトンネル坑内の水位低下に追従して岩盤部の水頭が低下し、安定していることを記載しております。

3頁をご覧ください。

このページでは、トンネル坑内の土砂の堆積状況を示しております。右上には平面図、左側には連絡坑縦断図、右下には本坑縦断図を示しており、茶色でハッチされているところが、これまで得られた情報により、土砂が堆積していると予測したエリアです。土砂撤去は、平面図のL字型をした連絡坑の右下の円形部分の立坑から行っていますが、それぞれの縦断図に薄く茶色の線が入っているのがわかると思います。これは、水抜き完了後の立坑から連絡坑に向けて、含水比が高い細粒分が1 mほど存在しており、その細粒分の下には、砂が数十センチメートル存在しておりました。

このことから、陥没時に大断面部の方から比較的粒度の細かい砂が陥没箇所から離れた場所まで水と共に流されてきて、その後さらに小さな細粒分が沈殿したというよう

なことが考えられます。3連トンネルの棲部側にも同様に堆積していることが確認されました。

4頁をご覧ください。

上段のグラフは、土砂部の水位を表しており、降雨量に連動する範囲で変動しており、大きな変化はありません。中段のグラフは、岩盤部水頭を表していきまして、グラフの右端の方の黒い縦の破線が今年の1月18日のトンネル坑内水抜き開始を表していきまして、水抜き開始と共に水頭の低下が見られましたが、水抜き完了以降、顕著な変動は見られません。

水抜き開始から現在までの、もう少し詳細なグラフは後々、説明いたします。

5頁をご覧ください。

地表面沈下の状況を示しています。履歴としては、右下の凡例で示しております事故前の青色のラインよりも、昨年10月末の緑色のラインは、事故による岩盤部水頭の回復により1mmから4mm程度、隆起傾向にありましたが、5月中旬のオレンジ色のラインが、トンネル坑内水抜きにより、岩盤水頭の回復分と同等の1mmから4mm程度が、全体的に沈下したことがわかります。現在におきましては、この状況で安定しており、地表面沈下に進行性はございません。

以上が1つ目の現在の状況でございます。

6頁からは、トンネル坑内水抜き完了の報告です。

7頁をご覧ください。

今年の1月18日に開始した水抜き工事は4月4日に完了しました。水抜きは、地表面や地盤の変位、地下水や排水量について管理基準などを設け、水抜きによってトンネルが変形し、D2層が破壊するような状況になる前の早い段階で、トンネル内の水位の回復などの対策をとるという体制で臨んだわけですが、結果的には、対策を実施することなく安全に水抜きが完了いたしました。

グラフをご覧ください。縦軸が明治公園立坑の水深で、横軸が経過日数となっております。赤い太線は日数が経過するにつれて右下がりになって、水位が下がっていくことがわかりますが、途中青い線が分かれ出ているのは、3連トンネル側の水位を開削部側から計測していたところ、3月2日ごろから水位が下がらなくなったことが確認されたことを表現しています。

この事象は、トンネル内に存在する堆積土砂の天端までは、トンネル内の水が順調に抜けていきましたが、天端から下は、土砂ダムのようになっていて、水が通りにくい状態になり、3連トンネル側の水が排水されない状況になっていたと考えています。この

ことは、当委員会でも土砂ダムとなっていることを想定しておくべきだとのこと助言もいただいておりますので、計測を行って監視していたわけでありませう。

よって、3連トンネル側から、立坑の水位との差が大きくなるように水を抜いていって、まず先に立坑側の水位が計画位置まで低下し、追って3連トンネル側の水位が低下していき、4月4日で水抜きが完了したわけでございます。

8頁をご覧ください。

こちらは、水抜き中における計測結果をまとめています。地表面沈下や層別沈下の変位計測において、顕著な変位は生じていないことから、地盤が安定していたと言えること、各種地下水の計測結果から地下水挙動は安定しており、地下水環境に顕著な影響を与えていないということを確認していることを記載しております。

備考欄には、現在、土砂撤去中も、変位計測を継続して管理していることや、地下水計測を継続して監視していることを記載しています。

10頁をご覧ください。現在行っております土砂撤去の作業状況を報告いたします。紙面の中央にナトムトンネルの平面図がありますが、冒頭で説明いたしました茶色のハッチの堆積土砂のうち、灰色でハッチしている部分は土砂撤去が完了しているところでございます。連絡坑部分が撤去完了し、現在では、連絡坑から本坑に入ったところを撤去中でございます。

大断面側においては、坑内で行いました高圧噴射攪拌工法による改良体まで数メートルのところまで掘削が完了しています。また、博多駅側（3連トンネル側）のトンネル天端部分には空間が存在し、3連トンネル棲部が確認できる状況です。

11頁をご覧ください。

土砂撤去中の計測項目を記載しており、水抜き中と比較して、トンネル坑内変位とトンネル坑内の目視観察を追加しております。また備考欄には、現在までの計測結果に異常や顕著な変動がないことを記載しております。

12頁からは土砂撤去中の計測結果を示しています。

12頁の地表面沈下、13頁の層別沈下は、青い太線で示しております立坑の水位が低下しても増加しておらず、14頁の土砂水位については、降雨による応答が見られるだけにとどまり、岩盤水頭に異常な変動はみられません。

15頁は、大断面側坑内の地盤改良体に設置している傾斜計の値とトンネル坑内の内空変位と天端沈下の値をそれぞれグラフで示していますが、いずれの値も1mm未満の範囲内であり、顕著な変動は見られていません。

16頁以降は、水抜き中の計測結果の詳細を記載しております。

異常あるいは顕著な変動は見られない結果となっており、説明は割愛させていただきます。説明は以上となります。

(委員長)

はい、それでは今の説明を聞いて、何を考えるべきか、場合によっては、今後にどう生かすべきか。そのあたりを踏まえて質問、あるいは助言を頂ければと思います。いかがでしょうか。

(委員)

15 頁で内空あるいは天端沈下を測定されているということですが、これは水につかる前の値ではなくて、最近取り付けた測点の値だと思いましたが、これらのデータを水につかる以前の値と比べるなど何か検証したものはあるのでしょうか。今日見せて頂いた、連絡杭との交点部などで以前と比べ内空が変化しているか検証する方法があれば教えて頂ければと思います。

(大成 JV)

随時、トンネル掘削を進めて行くなかで、坑内の測量を実施しておりました。その時の座標が残っておりますので、今後土砂撤去が終わったとか、途中の段階で測量を行いまして、過去の座標とずれてないかというところを確認していきたいと思っています。

(委員長)

今日は資料を提示できないということですね。そこまで準備していなかったということで、今後は、そこもしっかり見てもらえればと思います。ほかに意見はありませんか。

(委員)

将来の話で申し訳ないですけど、今の土砂撤去の工程を踏んでいくと、あとどれくらいで全部の土砂が出し終わることになりますか。

(大成 JV)

3連側に向かって、下っていくところの土砂は、6月末ぐらいで全て無くなる予定です。その奥に溜まっているヘドロというか、細かい砂を取り出すのが、7月頃です。

(委員)

あと、構築部は水の中に浸かっていたので、変化はなかったと思いますが、ほかに現状を見た感じで、何か変状とかはなかったのでしょうか。

(大成 JV)

今見た限りでは、非常にコンクリートもきれいで、水中養生されていたような感じも受けますし、今のところ、問題はないかと思います。なお、工事を始める前には、外観の調査や、健全性の調査を行う計画です。

(委員長)

他は、いかがですか。

(委員)

安全に水抜きが完了したということですが、その安全にという部分が、どういう指標を持って安全なのかというのが明らかになっていないような気がして、たぶん8頁の変位計測結果と地下水位計測結果が、この値をベースにして安全というご判断をされていると思うのですが、安全に水抜きが完了するというのが、どういうことなのか、ということをもう少ししっかり整理していた方がいいのかな、と思ったのが一つです。どういう考えで安全という判断されたのか、現状で説明いただくことはできますか。

(大成 JV)

お答えいたします。一つ目は、事務局が言ったように地盤の安定性というのが、第一にありまして、なおかつ、遮水層の機能が確保されているか、ということですね。地下水、土砂層と岩盤部の水が分離されているか、という部分を見ながら、安全性を確認しておりました。また、日々、路上の点検を行いながら、という形で安全を確認して進めました。

(委員)

安全とはこういうものだと考え、計測した結果、ほとんど問題がなかったというように、わかりやすい説明をした方が理解を得やすいのではないかと、いう気がしました。

それから、もう一つ、細かい話なのですが、出てきた土砂の粒度分布を3頁に書かれていますよね。先ほどの説明のように、場所によって粒度分布は変わってくると思うので、どの場所での粒度分布の結果なのか、といったことなどを加えていた方がいいのではないかと、思ったことや、できれば、粒度曲線みたいなものを作っていた方がいいのかと思ったのですが、そのあたりいかがでしょうか。

(大成 JV)

はい。3頁で示しております緩い砂層の粒度分布と申しますのは、これは大断面部付近でボーリングを過去行った際の平均的な粒度分布になっています。

(委員)

これは、出てきた土砂ではない、ということですか。

(大成 JV)

はい、そうです。当時の調査の結果の粒径加積曲線はあります。

(委員)

では、今回出てきた土砂と対比しているのですか。

(大成 JV)

今でてきた砂のほうは、ちゃんと測ってはいないのですが、手に取った感じでいくと、連絡坑から徐々に掘っていったので、手前のほうはやはり細かい、最初ものすごく細かくて粘土みたいなものがあって、しばらくすると細かくなって、最後のほうは粗い砂が積んであるなって感じで、細かいものほど遠くまで流れてきているという一般的な考えと似ているところがあります。

(委員)

そういうのを整理しておくという考えはないのでしょうか。

(大成 JV)

あくまで見た感じで、掘ってみると上は細かくて下のほうにいくと粗いとか、そういったものは把握していますが、データまでといわれると、数値的には残っていないです。

(委員)

記録として残すということであれば、そんなものもあればいいのかなと思います。

(大成 JV)

検討してみます。

(委員長)

この3頁の図面はこのままでは誤解を招きそうだなと私も思っていました。私もこの図面をボーリング値ではなく、実態の土砂分布を書いているのかなという印象を思っていて、そういうのが流れでてきたのかと解釈を間違えましたので、これはボーリング時のものであって、上から下まで見たら、層ごとで違っているわけなので、誤解を招かないようにしていただきたいということだけです。

せっかくなら、さっき〇〇委員のおっしゃったような、あとで見返す時の参考資料と

なるような資料を断面毎に残してもらえると、学術者としてはありがたいだろうと思いますが、無理やりつくる必要はないと思います。

(委員)

例えば学術者には、どれくらいの流速だとどれくらいの粒度分布になるというのを分析する人もいるわけですし、場所と粒度分布とかがわかれば、逆にどういう流速で流れていったか、そういったところにも使えたりするのではないかなという予備知識です。

(委員長)

それでは、この件はやるかやらないかは事務局に委ねることにしましょうか。それでは、他に何かいかがですか。

(委員)

3頁に湧水量が約9 m³/h、今日の説明で12 m³/hになったということをおっしゃっていましたが、トンネル掘削の時は24 m³/hだったということなので、全部が水に浸かって元に戻ったら減ったのかという誤解もあるかもしれませんが、目詰まりというわけではないですね。だから、これはなにか他の工事があってそちらのほうで排水しているから減ったのかなという予想もあるのですけれども、そのあたりはいかがですか。

(交通局)

事故前が23 m³/hでして、事故後は、博多駅側の杭の削孔等の工事が非常に多く行われまして、新たに水がそこから排水されている状況になりました。今もなお、杭の周辺から水が出ているところがあります。そのため、広い面で言えば、同じプールの中で出ている水の量は同じなのかもしれませんが、その配分が開削側にもいったのではないかと考えています。委員の考えと同意であります。

(委員)

進捗状況によってまた変わってくるから、その点をまたずっと見ていくということでもよろしいですかね。

(交通局)

そうですね。排水量につきましては、今もなお、一日の排水量を見ておりますので、大きく変化するか激しく変化するかどうかとは監視しております。

(委員)

あともう一点、12頁に地表面沈下の計測値と予測値を比較していますけれども、予

測値が少し大きい結果になっているのですが、明らかに今回の沈下は小さいということ、このへんは改めて現象をもう一回見直すというかですね、解析においてこうなったということだけでいいのかということですが、いかがでしょうか。

(大成 JV)

いただいたご質問ですけれども、今回計算した結果はD2層の物性をややネガティブに捉えていて、計算の結果自体は変形が出ると予想していたんですけど実際はそうじゃなかったと、これは一つの知見として、これから大断面、3連トンネルを掘っていくわけですから、その時に知見をフィードバックしていきたいと考えます。

(委員長)

細かく見ればいろいろな意見が出て、解釈もいろいろ違ってくるかと思うのですが、私なりに今回の水抜きで、当初、考えていなかったいくつかの事象が出て来ました。

例えば、その一つは流れ込んだ土砂によるダムアップ効果と言いますか、とくに地下水は被圧地下水から不圧地下水に切り変わった後ですけど、そういう状態で水の存在を理解していれば、最初から博多駅側からももうちょっと突っ込むような議論が整理できたのかなと思います。しかし、トンネルの中はある程度通水性がよくて、立坑側にも引き込んでくれるだろうという考えで立坑からの水抜きで整理をしたという経緯がありまして、このことは、今後のこういった場合の見通しを考える一つの資料を与えたのかなと思いました。

それからもう一つは、博多駅側に抜けたと事務局が言った、No. 23E-4 かな、要するに固い岩盤の連続体だと思っていたところに、水脈があって、砂をかんだようなもの、C1層かC2層くらいのものがあって、博多駅側のアンダーピニングの方に水が抜けて行ったと、それでNo. 23E-4の水位が周りより低いわけですね。連動して動いてはいるが、そこだけスポット的に低いですよ。そういうなかなか予測できない中で安全性をどうとっていくかということ、地盤の性質をどう見るかということ、で考えるべきことだろうと思いますが、そうしたときに対策あるいは監視体制を十分やるような仕組みづくりをもうちょっと考えるべきかと思ったりしました。

そのような少し予想と違ったような挙動もあったということは、今後のこの掘進を進める過程においても、参考になる実証ではなかったかと思えます。そのことと関連して、今後に生かす意味で、私なりに1つ言わせていただければ、これは必ずやりなさいということではないのですが、さっき〇〇委員がおっしゃったような計算値との違いと言いますか、例えば、13頁の管理基準値Ⅰ、Ⅱ、Ⅲと、現在の変動状況あるいは過去の変動状況も近いのかもかもしれませんが、乖離が出ているわけですよ。これは前に管理基準値を決める時に議論したと思うのですが、管理基準値Ⅰに達したところで、しっかり対応を考えてください、というようなことを発言した記憶がありますが、そのような意味合い

のことが、今回に出てきているのかなと思います。では、これから本坑の中の土砂掘削などをやっていくときに、解析では少し不安があるから、どうしても弱くして変位が大きく出るような、そういうのにも引っ張られているのかもしれないと思わないでもないですね。どちらかというところ固くなってくれば固くなってくる程、一種の座屈現象的に悪くなるというのか、ポカッと崩れるような状況が、あるいはひび割れがポッと進行するような状況が、結構有りうることだかなと思います。こういう時に、管理基準値はどっちに、重点をおいて見ていくかというところですね。管理基準値を決めて、決めるには色々、検討して決めているのですが、それを活用するときに、少し応用的な判断をすること、今の地質状況等を少し覚えておいてほしいし、参考にしてほしい事象だかなと思います。

今回言えることはこの2つか3つくらいかなと思いますが、だからといって、本坑でもあまり油断してほしくないと思います。今までのところ、順調であるということは確かですが、だから今後も順調であるとは思わず、今までと同様に取り組んでもらいたい。特に水抜きは、今にして言えば、必要以上に慎重にやっていたと思います。ただし、もともと分かっている、こんな長引くようなことをやっているわけじゃなくて、やっぱり慎重を期したから、こういう段取りをしてうまくいったわけです。そのように受け取って、この傾向を見て解釈していただくのとありがたいのかなという風を感じるところです。特に鉄道事業者の委員の方はいかがでございましょうか。学問的なところではなく、これまでの経験等、直感的なところで構いませんので、ご意見を述べていただくとありがたいです。

(委員)

そこはバランスだと思いますけれども、慎重になって今後も施工するのはもっとも大事だと思いますけれども、計算結果に惑わされず、やはり今までの経験も含めて、あまり慎重になりすぎるのもいかがなものかと、13頁を見て思いました。

(委員)

もうすぐちょうど改良体が見えるところがもう数メートル先だということで、今までずっと順調に進めていますが、今後はちょうど陥没箇所近づいていくので、より慎重になられると思いますけど、改良体ができているところと、土砂が混ざっているところの土砂撤去について、どのようなやり方をされるのか何か注意する必要があるのかをお伺いできたらと思います。

(委員長)

そこは後での議論にしましょうか。私も3連トンネル部の掘削計画の後に、本坑の掘削プロセスとして大断面部の方も聞きたいと思っていましたので、それでよろしいでしょうか。混乱してしまうといけないので。

(委員)

わかりました。

(委員)

先ほども質問させていただいた件で、追加計測として、天端沈下は既に計測できると思いますので、できるだけ早めに測り始めていただければと思います。土砂を撤去することによって、何らかの動きがある場合も検証できるので、ナトムは計測が基本でもありますし、よろしくお願ひしたいと思います。

(委員長)

それは注意としていただいております。他にどうでしょうか。これまでの土砂撤去分まで含め、水抜きを観測結果等を整理していただきました。8頁のところは、水抜きだけの整理だったと思いますけれども、欲をいえば、連絡坑まで土砂を撤去した時もこれと同じでいいのかということも再確認して、本坑の方を土砂撤去していく、あるいはその観測体制を敷いていく、あるいは掘り方を考えるという方向にもっていけばよいのではないのでしょうか。連絡坑を抜いて、現在の状態がどうかというところで、8頁と似たようなものができるのではないかと思います。結局は8頁と同じような文章になってしまうかと資料を見ていたところです。

〇〇委員が言うように、もっと根拠をもって書くようにというのが後段の方だろうと思いますけれども、参考にしてくださいということによろしいでしょうか。

しかし、いずれにしても、水抜きの段階ではなんとかここまで無事行き着きましたということです。そして、この段階でしっかり反省した方がいいことは、先ほど言った通りです。

(交通局)

15頁の資料に誤りがございましたので訂正させていただきます。下の段に内空変位と天端沈下のグラフがございますが、言葉が入れ替わりまして、左側が天端沈下になって、右側が内空変位ということで、言葉だけが入れ替わります。

(委員長)

これは連絡坑の分ですか。

(交通局)

そのとおりです。

(委員長)

先ほどの〇〇委員の言われたのは、本坑の方もそろそろしっかりやるようにということですね。

(交通局)

はい。以上一点でございます。大変失礼いたしました。

(委員長)

他によろしいでしょうか。よろしければ、議題2については以上ということにさせてもらいたいと思います。

ではここで予定通り休憩にしようかと思えます。

～ 休憩 ～

(事務局)

時間となりましたので、委員会を再開いたします。それでは、委員長よろしく願いいたします。

(委員長)

はい。それでは再開いたしますが、これからは大事な検討事項ということになります。3連トンネル部の掘削計画についてということで諮りますが、先ほど質問がありました大断面部のことを聞いておくということもやりたいと思いますので、それは、今から行う3連トンネル部の討議のあとに、時間をとるということで、進めさせていただきたいと思えます。

それではまず、3連トンネル部の掘削計画について、事務局から説明をお願いいたします。

(交通局)

それでは、3連トンネル部の掘削計画についてご説明いたします。まず、表紙に目次を示しておりますのでご覧ください。説明内容として、「検討フロー、リスク評価」、「断面形状の検討」、「パイプルーフの成立性」、「地下水に対する抵抗性の評価」、「補助工法の検討」でございます。

1頁をご覧ください。

3連トンネル掘削に向けた検討フローを記載しています。検討にあたっては、現在の状況を整理した上で、大断面トンネルと同様にリスク評価を行い、続いて、主として岩盤層に期待する掘削を行うのか否かについての判定を経ます。昨年11月に開催の技術専門委員会での討議で、主として岩盤層に期待する掘削は行わず、補助工法としてパイプルーフを採用することについて了承いただいておりますので、今回は、パイプルーフの成立性や、地山の変位を抑えた掘削を行うことで、地下水に対する一定の抵抗性を期待した掘削が可能であるのかなどの検討を経て、具体的な地下水対策となる補助工法について、討議いただきたいと考えています。

2頁をご覧ください。

3連トンネルの中央坑については、2年以上前のこととなりますが、D2層の遮水性を期待し、補助工法としてAGFを使用した施工によって安全に掘削が完了していますが、今後、左右坑を掘削していくにあたり、中央坑の掘削と追加の地質調査によって、より詳細な地盤状況が確認できていることを踏まえ、より安全に施工するため、掘削時のリスクについて整理しています。①の地下水対策の必要性としまして、3連トンネル左右坑上部は土砂層、D2層、Dh層が存在しています。

現状では主にD2層が遮水層として機能していると想定されるため、D2層上面には土砂層からの高い水圧が作用することとなります。D2層の層厚が薄い場合や風化等によって水を通しやすくなっている箇所がある場合、掘削時に浸透破壊が発生し、連続的に土砂層の水がトンネル坑内に流入してくるリスクが想定されるため、地下水対策の検討が必要と認識しています。

続いて、②の天端安定化対策の必要性としまして、D2層、Dh層の局所的に弱い箇所があることで、トンネル天端部が力学的に不安定となり、抜け落ちが発生することなどによって浸透距離が短くなる可能性が考えられることから、このような現象を発生させないよう、天端安定化対策について検討が必要と認識しています。

3頁をご覧ください。

中央坑掘削時の状況を説明いたします。頁の上段には中央坑トンネル掘削時のトンネル天端の沈下量を赤色の点線で示しており、地表面沈下量をオレンジ色及び青色の線で示しています。沈下量は標準Ⅱ型に比べ小さい値となっていることが確認できます。

頁の中段には、平面図を示しています。切羽の写真及び状況を平面図の下にお示ししておりますとおり、264基付近では、破砕が確認されており、切羽の安定を図るため、鏡面から前方に長尺の鋼管を施工する必要があったことなど、区間によって地山の状況が異なっていることに留意するとともに、平成29年度に実施した追加の地質調査結果も踏まえた検討を行っています。

4 頁をご覧ください。

2 頁でご説明しました地下水対策、浸透破壊対策の一つとして、遮水層の厚さをより多く確保する観点から、掘削時のトンネル天端の高さを低くする方法が有効であると考えられるため、検討を行っています。

結果として、3 連トンネルの始端側約 50m 区間の 3 連トンネル I 型と、終端側約 10 m 区間の 3 連トンネル II 型駅接続部について、必要内空断面を確保しつつ、構造の成立性や耐久性を満たすよう検討をしたところ、0.5m もしくは 1.3m 程度岩被りを多く確保することが可能であることが確認できました。

この断面変更を行う場合、3 連トンネル I 型では、より強度のある $40\text{N}/\text{mm}^2$ のコンクリートを使用する必要があるが、3 連トンネル II 型駅接続部では、補強桁を設置する必要がありますが、これらの工夫によって浸透破壊の安全率が 1 割から 3 割ほど向上することが見込まれます。詳しくは、参考資料の 1 頁から 6 頁にそれぞれの断面の変更内容や安全率がどう変わるかなどをお示ししていますので、後ほどご覧ください。

討議資料の 5 頁をご覧ください。

断面変更後の 3 連トンネル左右坑上部の岩被りが、場所毎にどのようになっているのかについて整理しています。この図は、中央坑の掘削状況やボーリング調査から想定したものとなります。上段に記載しています 3 連トンネル左坑の図をご覧くださいとわかりますように、岩被りは 5.5m から 6.6m ありますが、灰色で示しております Dh 層がトンネル上部には厚いところで約 2.3m あると想定しています。下段の 3 連トンネル右坑につきましても、記載のような状況を想定しています。

以上を踏まえ、必要となる補助工法について検討をしています。

6 頁をご覧ください。

パイプルーフの成立性を確認するための照査対象や項目、用いた解析方法についてご説明します。照査対象として、①パイプルーフ材の安全性、②切羽付近の安全性、③トンネル周辺の安全性があり、それぞれ照査項目欄に記載のとおり、発生応力や地山の安定性、変位等をチェックしています。解析方法は、右側に記載しております通り、横断方向の二次元 FEM 解析を用い、切羽やトンネル周辺の安全性を確認するとともに、パイプルーフ方向の骨組み解析や FEM 解析を用いてパイプルーフの安全性を確認しています。

下の赤色枠内に記載しております通り、縦方向のパイプルーフは、設計や施工の実績が多いことから、骨組み解析による照査のみを実施していますが、横方向パイプルーフについては、トンネル横断方向の FEM 解析と骨組み解析の両方を行い、安全側となるよう設計を行っています。

7頁をご覧ください。

1つ目の検討項目であるパイプルーフ材の安全性検討として、左右坑掘削時にパイプルーフ鋼管に作用すると想定される力がパイプルーフ鋼管の設計上の耐力の範囲内であるのかについて照査しています。

検討の前提としまして、パイプルーフに作用する上部からの荷重は、トンネル上部の緩んだ範囲の荷重がかかる「ゆるみ土圧」を考慮するケースと、上部の全ての荷重がかかる「全土圧」の考え方がありますが、当該工区でのトンネル掘削時の計測結果等を踏まえると、「全土圧」は作用していないことが確認されていますので、「ゆるみ土圧」相当の荷重として、上部の地盤および地下水重量の約4割の荷重が作用すると仮定し、計算を行っています。解析モデルにつきましては、参考資料の8頁に記載していますので、後ほどご覧ください。

討議資料7頁の上の表に記載しております通り、横方向のパイプルーフについては、鋼管の外径が216.3mmの場合、曲げに対する耐力が不足していることが確認できます。また、外径が318.5mmの場合で鋼管の離隔を200mmとするケースでは、鋼管の内部に補強用のI型鋼を設置し、セメントミルク等を充填する必要があるという結果が得られました。

縦方向のパイプルーフについては、鋼管の外径が216.3mmの場合、318.5mmの場合とも成立することが確認できました。

8頁をご覧ください。

横方向パイプルーフについて、パイプルーフ材の安全性と切羽付近の安全性の検討を行っています。また、適切なパイプルーフの長さについても比較検討を行っています。

比較表の構成は横方向のパイプルーフを設置しない場合の検討結果を左に記載しており、その右隣には、パイプルーフの地盤内に設置する長さが6m、7m、8mの3ケース並べています。

上から2段目の主応力方向図は、トンネル周辺に発生している力の方向がアーチ状になっているのかを確認するためにお示ししています。パイプルーフより上の部分では、パイプルーフが強固な屋根となっているため、応力の方向が上下左右方向に向いていますが、下の部分では、トンネル掘削形状に沿ってアーチ状になっていることが確認できます。

上から3段目のせん断ひずみ図については、パイプルーフを設置する3ケースとも切羽が不安定となるせん断ひずみ、D2層の場合は0.8%となりますが、発生していないことが確認できます。

上から4段目の破壊接近度については、地山の緩みが想定される範囲の目安となる解析結果です。見方としまして、凡例の欄に赤囲みよりも小さい値0.6以下の範囲では概ねD2層が弾性体に近い挙動をするものと考えられますが、0.7以上の範囲では緩みが

発生していると想定されます。これらの FEM 解析の結果を見る限り、パイプルーフを設置する 3 つのケースで顕著な違いはありませんが、表の最下段に記載していますパイプルーフに発生する曲げ応力について、骨組み計算の結果を見比べると、6 m の場合は片持ち梁のような挙動を示し断面力が増大していることが確認できました。これらの検討結果から横方向のパイプルーフは地山に 7 m 程度入れることを計画しています。

9 頁をご覧ください。

3 つ目の検討項目であるトンネル周辺の安全性を検討するため、今後の掘削によって発生する地表面沈下量を算定しています。中央坑掘削に伴い 10mm から 20mm の地表面沈下が計測されており、表の数値は、左右坑掘削に伴い、新たに発生することが見込まれる沈下量を示しており、パイプルーフを施工することによって、より安全に施工することが可能になることが確認できます。

10 頁をご覧ください。

中央坑の掘削実績から、ある程度の遮水性は期待できると考えられますが、D2 層の不陸やバラツキ等の可能性を踏まえ、左右坑掘削においては、剛性の大きいパイプルーフの施工により地盤のゆるみを抑えることで、期待される地下水に対する抵抗性について整理します。パイプルーフによる地下水対策工については、D2 層や C2 層の層厚が一定以上ある場合、副次的に岩盤層の止水性に期待した掘削が可能と考えられることから、地下水に対する抵抗性の評価を行っています。

上の枠囲みの左側に記載している検討①では、左右坑掘削時の FEM 解析を行い、難透水性が不安定となる領域を除いて、D2 層の厚みがどの程度あれば、土砂層からの水を止めることが可能と考えられるのかについて検討しています。

右側に記載している検討②では、D2 層が土砂層からの水圧で押し抜きせん断破壊しないようにするには、D2 層の厚みがどの程度あれば良いのかについて検討しています。

下の枠囲みに記載している検討③では、トンネル天端に C2 層がある区間を対象として、比較的強度を有する C2 層がどの程度あれば浸透破壊を発生させないかについて検討しています。

具体的な計算方法及び検討結果について、次の頁以降でご説明します。

11 頁をご覧ください。

まず、検討①について、左右坑掘削時の FEM 解析を行い、D2 層の難透水性が不安定となる領域、言い換えると、掘削時の地盤のゆるみで水を通しやすくなる範囲がどの程度生じるのかについて求めています。

ここで、難透水性が維持される範囲の考え方につきましては、参考資料の 18 頁にお示ししています。

参考資料 18 頁をご覧ください。

ここでは3つの論文を抜粋した情報を載せており、左側の参考1の論文から、応力方向のひずみである軸ひずみが0.6%を超えると透水係数が大幅に増加することがわかります。

中央の参考2の論文からは、軸ひずみが3%程度まで透水係数が増加しますが、最終的には初期透水係数の3倍から5倍程度の値となることがわかります。

右側の参考3の論文からは、せん断ひずみが10%から15%に達しても透水係数がほとんど変化しないことがわかります。

これらの論文等を参考とし、右上に記載している計算式を用いて、軸ひずみが0.6%となる場合のせん断方向のひずみを求めると0.78%という値が得られることから、安全側となるよう0.7%を境界値として評価を行いました。

討議資料の11頁に戻っていただいでよろしいでしょうか。

左の図に縦方向パイプルーフの場合の解析結果を示しています。参考資料の18頁でご説明しました0.7%以上のせん断ひずみが発生する範囲が、トンネル上部に約0.5m生じる結果が得られています。一方で横方向パイプルーフの場合、0.7%以上のせん断ひずみがトンネル上部には発生しない見込みであることがわかりました。

12頁をご覧ください。

ここでは、D2層の難透水性が不安定となる領域を踏まえて、地下水に対する抵抗性を有すると判断できるD2層被りを検討しています。

基本検討としまして、前頁の解析結果から、難透水性が不安定となる領域は縦方向パイプルーフの場合は約0.5m、横方向パイプルーフの場合は発生せず、0mとなることや、大断面部付近で採取したD2層のボーリングコアを用いて行った強度試験の結果から、想定される限界動水勾配の平均値13.3という値を用いて、安全率2を確保できるD2層厚を計算すると、約2mが必要となることから、これらの数値を足し合わせ、必要D2層被りは縦方向パイプルーフの場合は約2.5m、横方向パイプルーフの場合は約2mとなります。

その下の枠囲みには、パラメトリックスタディの結果も記載しています。今回、より安全な施工となるよう、限界動水勾配は最小値の7.3を使用し、D2層の変形係数につきましては、平成29年11月の技術専門委員会で設定した代表値27,840kN/m²を約2分の1の値となる15,000kN/m²に低減した値を使用したかなり安全側の計算も行っています。一番右側に記載しています通り、両方を組み合わせた検討結果を踏まえ、一番安全側の考え方である縦方向パイプルーフの場合は約5.5m、横方向パイプルーフの場合は約3.8m以上、D2層の被りを確保できる範囲は一定程度の地下水に対する抵抗性を有している区間と評価できるのではないかと考えています。

13 頁をご覧ください。

D2 層にかかる土砂層からの水圧によって D2 層がブロック状に抜け落ちてしまう場合のトンネル上部の厚さを計算によって求めています。

計算条件としまして、横方向パイプルーフの場合は幅 5.2m、奥行き 0.2m のブロックを仮定しており、縦方向パイプルーフの場合は幅 0.2m、奥行き 1m のブロックになると仮定しています。

結果としまして、横方向パイプルーフの場合、パイプルーフ上方の D2 層被りが 1.7 m あれば押し抜きせん断破壊は生じないと考えられ、縦方向パイプルーフの場合、パイプルーフ上方の D2 層被りが 1.5m あれば押し抜きせん断破壊は生じないと考えられます。

14 頁をご覧ください。

検討③として、比較的強度を有する C2 層がどの程度あれば浸透破壊を発生させないかについて検討しています。C2 層は D2 層よりも強度があるため、C2 層自体が浸透流によって流動性のある土砂状になることはないと言えることから、C2 層がトンネル上部に板のように薄く存在している場合において、曲げやせん断力によって壊れることがない厚さを計算によって求めています。

計算結果の欄に記載しています通り、曲げ応力に耐えるには 0.66m 以上の厚さが必要となることから、パイプルーフを含めて C2 層被りが約 1 m あれば地下水に対する抵抗性を有している区間と評価しています。

15 頁をご覧ください。

以上の検討から、地下水に対する抵抗性を有すると考えられる区間は、A の十分な D2 層被りがある区間として、横方向パイプルーフを採用する場合は 3.8m、縦方向パイプルーフを採用する場合は 5.5m の D2 層がある区間、B の十分な C2 層被りとして、トンネル上部に 1 m 以上の C2 層がある区間では、一定程度の地下水に対する抵抗性を有していると評価できます。

必要な補助工法の範囲について表にまとめますと、C2 層が 1 m 以上ある区間では、D2 層厚やパイプルーフの施工方向に関係なく、線的なパイプルーフが適用できます。

2 段目の C2 層が 1 m 未満の区間では、D2 層の厚みによって、「横・縦とも線的なパイプルーフが採用できる区間」と、「横方向パイプルーフは線的、縦方向パイプルーフは面的に施工する必要がある区間」、「横・縦とも面的なパイプルーフを採用する必要がある区間」の 3 つに区分することができます。

これを具体的に 3 連トンネルの右坑の縦断図に落とし込みますと、4 つのエリアに区分することとなり、左端と右端の区間では、D2 層が 3.8m 以上 5.5m 未満で C2 層が 1 m 未満となっていることから表の青色の組合せとなります。左から 2 番目の区間では、

D2層が3.8m未満、C2層も1m未満となっていることからピンク色の組合せになります。その右側の区間はC2層が1m以上あることから水色の組合せが適用されることとなります。

16頁をご覧ください。

想定される補助工法を一覧としてまとめています。3連トンネルの中央坑ではAGFを使用して安全に施工できた実績がありますが、D2層の不陸やバラツキ等の可能性を踏まえ、左右坑掘削においては、剛性の大きいパイプルーフの施工により地盤のゆるみを抑えることで、天端安定化や浸透破壊対策となることから、安全に施工できると考えており、この補助工法の概要を左側の線的補助工法の欄に記載しています。この線的補助工法はパイプルーフ同士の隙間を約200mm開けて施工することを計画しています。なお、横方向パイプルーフは318.5mmの外径を使用し、縦方向パイプルーフの場合は216.3mmの外径を使用することを計画しています。

D2層の剥りがやや薄い区間や中央坑掘削時に破砕が確認されている区間では、より安全に施工するため、パイプルーフを連続的に施工することで、D2層の遮水機能が不安定となる場合のリスクに備えることを計画しております。右側の面的補助方法の欄に概要を記載しています。

ここで、横方向パイプルーフの施工ステップについて説明をさせていただきます。

参考資料の25頁をご覧ください。

この図は、3連トンネルⅡ型の断面図に今後必要となる施工手順を記載したものとなります。まず、左上の①で上桁を施工します。ピンク色の部分ですね。②で桁の間のやや低い位置に作業用の床を設置し、横方向のパイプルーフを施工します。③で桁の間のコンクリートスラブを打設し、④で中央坑上部の空洞を流動化処理土又はコンクリート等で充填します。⑤と⑥では1m毎に、左右坑トンネルの上半掘削と吹付コンクリート、鋼製支保工、ロックボルトの施工を概ね左右並行して行います。⑦では、下半の掘削と吹付コンクリート、鋼製支保工、ロックボルトの施工を行います。⑧でインバートの掘削と支保工の施工を行い、⑨でインバートコンクリートの構築後、アーチコンクリートを構築します。なお、②に記載していますパイプルーフ施工時の更に詳細な施工ステップは前回の委員会でもご説明している資料と同じものになりますが、参考資料の26頁から27頁にお示ししていますので、後ほどご覧ください。

討議資料の17頁にお戻りください。

パイプルーフの施工の向きについて、施工精度や施工空間等の条件を踏まえた検討を行っています。

平面図の左側に記載しています3連トンネルⅠ型のうち、約23mの区間では、横方

向パイプルーフの施工空間が確保できないため、縦方向パイプルーフを使用する必要があります。

詳細につきましては、参考資料 29 頁をお願いいたします。

横方向パイプルーフの適用性の欄に記載しております通り、3連トンネル I 型の RC 中壁式の約 10m の区間、及び 3 連トンネル I 型の RC2 本柱の約 13m の区間では、横方向のパイプルーフは施工空間が確保できないため、施工できないことを確認しています。

また、3連トンネル II 型駅接続部については、中央坑のトンネル構築がアーチ状になっていますが、横方向パイプルーフの場合、このアーチの下で作業するということが、この際、トンネル構造に穴をあけてしまうことになり、構造が成立しないため採用できません。

討議資料の 18 頁をご覧ください。

討議資料の 17 頁で整理したパイプルーフの施工の向きを反映し、横方向パイプルーフの施工を行う範囲を青色、縦方向パイプルーフの施工を行う範囲を緑色で示しています。この配置を基本とし、地下水に対する抵抗性の評価結果を重ね合わせると、ご覧の通り、赤文字の範囲ではパイプルーフを面的に施工し、黒文字の範囲ではパイプルーフを線的に施工することを計画しています。

まとめとしまして、3連トンネルの中央坑は AGF を使用して安全に施工できた実績がありますが、検討委員会から示された留意点等を踏まえ、左右坑掘削においては、トンネル上部の地下水や掘削に伴う地盤のゆるみを考慮し、剛性の大きい縦、又は横方向のパイプルーフを施工する考え方としまして、今回お示ししたパイプルーフの配置を基本としています。

なお、施工段階では、パイプルーフ施工時の湧水状況や地質状況を確認し、状況に応じて配置の見直しや対策をとりながら進めていくとともに、これまで実施してきている計測に加え、パイプルーフ鋼管や 3 連トンネルの鋼管柱等に作用している応力の計測、駅接続部構築の中壁に変位が生じていないことなどを確認しながら、安全に施工を進めていくことを計画しています。

ご説明は以上となります。

(委員長)

施工手順が今まで明確でなかったところを少しでも分かるようにということで、説明図を付けていただいたのですが、それでも今日初めて見たら、ちょっと認識が異なるところもでてくる可能性があるかと思います。それは事務局によく聞いて、良い施工になるように皆さんのご意見を賜らなければと思います。

その前に、一つこれは事務局の方にお聞きしたいのですが、側方トンネルを掘る訳ですけれども、そのだいたい天端の上ぐらいにDh層とまたその上にD2層があるのかな。ここの地質の状態、力学的な特徴とか、あるいは安定性の問題などをどのように解釈すればいいか、ここのところを意思統一しておきたいなと思います。そうしないと、その見方いかんによっては意見が分かれたりしてきますので、簡単に分かるように説明を追加してくれないですか。Dh層、D2層の状況、地質的な力学的な状況といいますか、例えばクラックの状態とか、節理の発達状況や厚さ、折れやすさとか、わかる範囲でいいです。簡単に説明してください。

(交通局)

参考資料の31頁から33頁までのところに、3連トンネル区間の地質状況とそのボーリングコアの状況、それから左右坑の天端がどの付近に位置するのかなといった資料をつけておりますので、こちらで説明させていただきます。

まず31頁をご覧ください。

平面図のN-2とS-3、場所としては3連トンネルI型の区間に該当する箇所のコア写真をつけています。層の構成としましては、中央坑の天端が黄色、左右坑はオレンジで示しております、中央坑の上にはD2層があります。前々回の技術専門委員会でも強度等をお示ししており、変形係数のバラツキがありますけれども、 $30,000\text{kN/m}^2$ 以上のものもあれば、 $15,000\text{kN/m}^2$ ぐらいのものも確認がされているという幅がある状況になっています。色味を見ていただきますと、天端付近から下は黒色がかかった色になっておりまして、特に黒く見えるところは炭質頁岩があるところ、天端より下の付近には非常に硬いC岩級のもの確認されています。

あと、2頁後ろの33頁をご覧ください。

33頁の左側に書いておりますN-4、こちらのコア写真を見ていただきますと、破碎部という記載ですとか、透水割れ目という記載もございまして、この付近では、中央坑掘削時にも破碎されていることが確認されております。頁の左上には、切羽写真も付けておりまして、中央坑掘削時の切羽265基では上部が破碎されております。掘削時には、この付近では強度が弱かったという確認がなされております。以上です。

(委員長)

質疑応答に移ります。

(委員)

意見と質問とで、5つくらいあります。

まず一つ目に、FEM解析でパイプルーフの安定性を評価したという文言があったと思いますが、この場合、これは2次元での解析ですよ。それなら、例えば、奥行きはどんな条件と合致するのか、パイプルーフが面的にずっとあるという解析になっているのか、その辺はどのように考えればよろしいですか。

(交通局)

2次元にしておりますので、同じ断面がずっと続いているというご理解でよろしいかと思えます。

(委員)

そうすると、実際もそういう状況になるのですか。

(交通局)

横方向パイプルーフでは、奥行き方向もずっとあります。縦方向のパイプルーフのモデル化になりますと、モデルの仕方というのがありまして、剛性を入れる場合と、3次元効果を見て、切羽が到達した時点の応力解放率を40%から20%に下げるといった解き方もしております。

(委員)

そうすると、まず解析条件としては、実際の問題をイメージした2次元だけど、3次元的な要因を考慮したような解析をしているという理解でいいわけですね。

(交通局)

そのとおりです。

(委員)

わかりました。

それと、二つ目ですが、D2層のことなのですが、私が思ったのは、現場にそのままの状態である場合は、岩としての機能を発揮するかもしれませんが、何らかの外乱とか、あるいは、繰返しの応力の変動とかですね、そういうことがあると、一気にD2層の機能っていうのは失われるのではないかと、いう風に感じます。だから、実際に、物を作るときは、そういった状況があるということをうまく考えた上で、対応を取らないといけないので、そういった場合の対策として、今、提案されているようなもので十分なのかという議論をしていただきたい、ということです。

また、三つ目に、パイプルーフを面的に施工する場合に、画で描くと、入り口の先の方も接しているような画を描いていますが、実際に施工する場合は、必ずしもそうなる

のかなというか、ならないのではないのか、という思いがあって、その辺の施工の精度みたいなことを教えていただきたいと思います。もうかなりの実績があって、絵に描いたように面に接するような形で、施工が技術的に十分可能なかどうかですね、その点を意見いただきたいと思います。

あと、四つ目として、この結果は、完成形のと看での評価になっているわけですね。でも実際は一つ一つパイプルーフ、例えば、対策を打って行くわけで、そのプロセス、過程のときの安全性というか、そういったものはどうやって考えておけばいいのかという、そういった議論も是非していただきたいと思います。

最後に5つ目ですが、今回、炭質層の話があまり出てこなかったのですが、ある部分には炭質層がかなり入り込んでいますよね。そういった炭質層の取り扱いをどのように考えていくのかということ伺いたたいと思います。

(委員長)

ここで提案している工法に関する施工の信頼性というか、その辺の不安はどうなのか。これは施工する方に聞いた方がいいかもしれませんね。

(大成 JV)

今回、このパイプルーフを施工する工法として、ベビーモール工法という工法を想定しています。管そのものを回転させて、地中に押し込んでいく工法です。今回の現場でも、開削の空港線ビルと JR ビルの間はかなり高いところを、300mm の管を用いて 15m 程度施工しています。そもそも管自体を回転させるので、ズレが生じると回らなくなるんですね。そういう意味では常に芯を確認しながら、抵抗がかかっているか確認しながら少しずつ入れていくので、そんなに大きくズレは生じないと思っています。ただし、例えば地盤ですが、上部部分が非常に弱くて、下のほうが固いということがあると、抵抗が弱い方、弱い方にズレが出てくるので、今回配置するうえでも、層変わりになるようなところは十分注意して考える必要があるとは思っています。今回、横断方向で 7m、縦方向で長いのが 20m 程度ですが、この程度であれば、管 1 本も 2 本もズレが出るということはないと思います。

(委員長)

施工は信用できるということによろしいですかね。注意してやってくださいということですね。

(委員)

みなさんの意見は分かりませんが、面、線、面、線、面、線と交互に対策を打つということが今回の提案ですね。こういうのはあんまりやらない方がいいんじゃないかと

というのが私の意見です。

(委員長)

討議資料の18頁ですね。

(委員)

はい。さっき言ったD2層等が、実際どういう地層構成になっているかというのは本当に調べてみないと分からない部分がいっぱいあるので、そういう意味では今回のような面、線、面、線というのも、結構、施工するのが大変じゃないかという気がして、一つに絞ったほうがいい、僕の思いとしては面的な対策をしっかりと取っていただいた方がいいという風に考えております。

(委員長)

ご意見として賜りたいと思います。

(委員)

あと、大断面の方もちょっと議論したいことがあります。

(委員長)

今、言っていていただいて構いません。

(委員)

気にしていることは、ちゃんと本当に地盤改良ができているのかということです。効果をどうやって確認しながら進めていくのかというのは、よく議論していただきたいと思っています。

(委員長)

はい。

先ほど地質状態についても多少説明をいただいて、中央坑の掘削時にちょっと崩落しているというか、大した崩落かどうかとみるのはありますが、要注意のところだということは分かっていたきたい。それでパイプーフということで、前回、委員会の時にまとめた訳ですが、そのまとめた後もまたいろんな意見が出て、その詰めをしながら今日の討議資料となっている訳ですので、そのことを認識の上でご意見賜りたいと思います。

最初にもう一つだけ見解を統一しておきたいのは、今回、ちょっとだけ設計変更されている訳ですね。前の大断面の時も設計変更多少しましたが、今回の側方の方を少し下

げても十分だよということから、この辺の考え方で何かご意見ございますか。あるいは、これはまずいのではないかという意見があるのかどうかというのを聞きたいのです。4頁に3連トンネルの代表的な断面図が出ている訳ですね。中央坑は先に施工していますので同じです。左右坑のところ、0.5mないし1.3mくらい下がるという形になりますが、何らかの差し支えが出るのかどうかということです。確かに地層を厚くするとか、水の浸透圧などに対して抵抗させるとか、水を浸透させないように下まで漏れさせないようにするとか、トンネルの方の検証として、これで良いかという議論を少ししておきたいなと思います。どうですか。

(委員)

反対することはないです。これで別に構わないと思うのですが、例えば、3連トンネルⅡ型のところで約1.3m岩被りが増になることで、より安全になるとは私は思えません。ここは3連のトンネルなので、結局同心円で考えたときには何ら円の形状の寸法的には変わるものではなくて、せん断ひずみによるゆるみ領域というのは1.3mあろうが変わらないという状況になろうかと思います。だから、これによって、より安全かどうかというのは決して言えないのではないかなと。

(委員長)

だから、計算でいろいろやってくれている訳ですね。

(委員)

だけど、その中の範囲の中で、塑性歪みの発生領域がこれによって縮まる訳ではないので、岩被りの厚さが厚くなったからといって、浸透距離が伸びるという風な感覚はちよつと違うと思います。このことに別に反対しているわけではないです。

(委員長)

掘削断面は小さくなりますね。

(委員)

若干小さくなります。

(委員長)

そうすれば、それだけ合理的な、経済合理性の高い施工になるかと。微々たるものかもしれないよね。

(委員)

はい。それだけです。

(委員長)

それぐらいのことだから、これで安全だと思わないでくれということですね。

(委員)

はい、そういうことです。

(委員長)

では、しっかり安全性の確認をしながら設計を詰めてくださいということですね。
ほかの委員はどうですか。

(委員)

今の〇〇委員のご意見からすると、約1.3m岩被りが増えたことをあまり考慮できないということですが、その値はどこかに反映されてはいないのですか。どこか計算に反映されているのであれば、そこはあまり期待できないということになる訳です。そこは大丈夫なのですか。

(委員長)

どうですか。

(交通局)

計算をいくつかのパターンでやっております、掘削時に緩みが生じる範囲の話と、浸透破壊しないかという観点から、D2層の岩かぶりの話などいくつかございます。もちろん、形状が変わると、緩みの出方はやや変わるところがあるかもしれませんが、緩む範囲をある程度特定してしまえば、残っている岩被りとしては、掘削する範囲が小さくなれば、抵抗することができる距離が稼げるという考え方としています。

(委員長)

よろしいですか。それでは、先ほどのご意見も踏まえて、後の色々な提案をされているものが、それが果たしていいのかどうかという検討をいただきたいということにしたいと思います。

要するに、パイプルーフでいきましょうということですが、AGFでは、少し心配だということから、パイプルーフに変わったのだと思うのですが、その時に、パイプルーフの使い方として、縦と横がでてきたということですが。そして、縦と横で、しかも、今度は、

密に打つケースと、少し間隔を空けて打つケースとあって、それぞれの組み合わせを考えますと、4パターン出てくるわけです。

先ほどの〇〇委員の意見が、4パターンを地質状態に応じてやろうというところが、ある意味では考えすぎ、やりすぎではないかとか、あるいは、複雑にしすぎていないかという意見ですね。地盤の安定性という意味でも、全体的に見て、ところどころで色々なタイプが出るというのは、果たしていいのかという疑問もあったということです。では、どなたかご意見ありますか。

(委員)

討議資料8頁のパイプルーフの安全性の検討のところですが、参考資料13頁を見ると、D2層、Dh層の厚さというのはフィックスで計算したのでしょうか。それとも、パラメトリックに厚みを変えて、計算したのかを教えてください。

(交通局)

それぞれの検討断面で想定される層厚として、一つの層厚を入れています。とあるところの層厚を、さらにパラメトリックな変更ということまではしていません。

(委員)

ということは、8頁は、一つの計算例というかたちだと考えてよろしいでしょうか。

(交通局)

そのとおりです。

(委員)

その場合に、3連トンネルⅠ型、Ⅱ型とありますが、それぞれどのような層厚で計算したのか、どの代表断面をとったのかを知りたいです。

(交通局)

5頁の縦断図でいきますと、3連トンネルⅠ型とⅡ型がちょうど変わる場所、この付近をモデル化しています。ここを抽出した理由としまして、この付近のD2層が一番薄くなっており、炭質頁岩もあがってきているということで、地質的にはD2層が薄いことが、最もシビアになるのではということで、ここを抽出して計算を行っています。

(委員)

右と左の傾きのところを、検討に入れられていないような感じを受けるのですが、その点はどうでしょうか。

(交通局)

右と左の傾きは、解析上では水平にみなして作業を行っております。

(委員)

そうすると、骨組み要素の計算をされる時、先端部分のところがバネ拘束になっているかと思うのですが、そのバネ拘束の条件は変わってくるかと思えます。その点はいかがでしょうか。

(交通局)

実際のところは、FEM 解析では水平にみなしております、実態が斜めということで確かに変わるところがあると認識しています。

(委員)

一つ気になっているのは、横パイプルーフを差し込んだときに、奥が Dh 層の中に入っている場合というのは、ちょっと非常に注意しておかないといけないと思います。横断で切ったときに、D2 層の厚さについては、今のところ本当にわからないですね。その不確定性に配慮するために、物性値で一番低い値を採用されているのは分かりますが、ここが先ほどの線的とか面的とかいうところの一つのキーポイントになると思います。しっかりと C2 層とか、そういうところにきちんと固定されて、不安の評価ができるようなものであれば、私は線的な検討でもいいのかなと思ったのですが、そのように横パイプの先端が安定しないようなところに入っている場合というのは、やはり面的な検討の方を投入された方が良くはないかと思った次第です。ですので、D2 層と Dh 層の分布というのが今は不確実なので、結局その評価の仕方について、前回の事故時は D2 層の厚さが予想より小さかったものであり、分布は非常に不安定だということを考えると、先ほど〇〇委員が言われた意見はごもっともだと思いました。

もう一ついいですか。11 頁のせん断ひずみが 0.7% 以下の範囲というのは、参考資料をベースに考えるのではなくて、これは D2 層や Dh 層のピーク強度の 3 分の 2 程度のときのひずみ、そこまでは圧縮方向に働きますので、壊れるときの変形がダイレタンシー状態にならないとき、つまりコントラクタンシー状態の方にあるときはですね、どちらかという透水性は下がる方向にあるという基準だと思います。だから、文献を平均するというのはちょっとまずいと思いますね。D2 層は試験をされていますよね、三軸試験とか。そのデータベースを基に、平均値を取られるとかを考えられた方がいいと思います。参考資料 18 頁の参考 3 というのは、ベントナイトが入っていますよね。混在しているやつが。これは、せん断ひずみが大きくなったとしても、透水性が上がらないということ、いかに証明するかということ念頭に置いた我々がやった実験だと思うので、あんまり参考にされない方がいいのかなと。逆に、その堆積軟岩とかは比較的

硬いので、硬い岩石でコントラクタンシー、ダイレタンシーがしっかり出るような岩石のイメージです。そうすると、今回は、これの中間くらいにあるので、ひよっとしたらもっと大きな値まで取れるのかもしれないというのが個人的見解です。いずれにせよ、三軸試験の結果をベースにピーク強度の3分の2ぐらいのところが一番コントラクタンシーが起こる状況なので、そこを境に考えるのが最も妥当な結果になるかと思います。

(交通局)

ありがとうございます。ピーク強度の3分の2でのチェックも行います。

(委員)

討議資料18頁の図について質問なのですが、縦方向のパイプルーフを3連トンネルⅡ型の方から打ち込んでいくときには、23mを掘りながら後ろから押し込んでいくかたちになるのですか。それとも、一気に23m打つわけではないですね。

(大成JV)

23mのところまで一気に打つのではなくて、1mから2mのものを溶接しながら継ぎ足して入れていくということです。ですので、トンネルを掘る前には、すでに23m分のパイプルーフが入っていることになります。

(委員)

では、横パイプルーフとはラップをほとんどしないということですか。

(交通局)

参考資料の28頁に縦方向と横方向がどのような位置関係にあるのかというのを載せておきまして、頁の上のほうに、3連トンネルⅠ型の縦と横が突合せになるところを示しております。中間駅側から縦方向のパイプルーフを23mほど施工し、途中から横方向に変わりますが、左右坑トンネルの高さを50cmほど下げたことから、断面図のように離隔が確保できるような位置関係となっています。重ね合わせとしましては、右の縦断面図に示しておりますように、1m程度はラップさせるようなことも考えております。

もう一つ変わるところとしましては、下の図、開削部に近い側ですが、こちらの状況としては、横方向パイプルーフの下を掘削してきて、途中から縦方向パイプルーフに変わるようなところなのですが、当然のことながら、掘削の前には横・縦どちらのパイプルーフも設置後に切羽が進んできます。位置関係としましては、同じ高さになってしまうのですが、横方向は左右に根入れがありまして、横方向から縦方向に変わるところは片持ちになってしまうのですが、前方には根入れがあるため、構造上の問題はないと認識しております。

(委員)

開削側から打つということではないということですね。

(交通局)

下の図は、トンネル掘削方向の逆方向から、つまり図の右側に位置する開削側から縦方向パイプルーフを施工した後、切羽が左から右に進んでくる位置関係になりますので、十分に根入れがある状態での掘削となります。

(委員)

横パイプルーフの長さは解析結果より、全て7mなのですか。

(交通局)

今の計画では全て7mと考えております。しかしながら、実際に削孔を進めていくなかで、一気に全ての削孔を連続して行うわけではなく、1m毎にトンネル方向に施工箇所を移しながら行うわけですが、地盤状態が良くない場合には、根入れ長を延長するといった方法や、線的なパイプルーフの施工を予定していた箇所を面的な施工へ変更するなど、横方向パイプルーフは臨機応変な対応がとりやすいという特徴もありますので、現場で地盤状況を確認しながら、より安全な施工となるようにしていきたいと考えています。

(委員)

さっき〇〇委員からもご指摘がありましたけれど、右坑の最後の27mのところは、すごく複雑になっていますが、特にこうしたほうが良い理由があるのでしょうか。

(交通局)

絵的にはすごく複雑になっているように見えますが、例えば、横方向の面的施工を行う約10mの区間は、破碎されていることを踏まえており、この箇所については、計算結果というよりも、実績を踏まえ施工方法を決めています。

今回提示した図はあくまでも基本ということになるのですが、計測等を行って、想定と異なる地盤等が確認された場合には、より安全な施工に変えていくということも考えています。

(委員)

そこは現場の条件を重視して進めていくことが大切ですね。例えば湧水や発生土砂の状況ですとか、先ほど〇〇委員が言われた鋼管の先端がどこに入っているかなど、現場の条件を一つ一つ詳細に見て、柔軟な対応を行うことは、線的な施工では特に必要なこ

とだと思えます。その点で言うと、318mmの鋼管を200mmの離隔で入れていくというのですが、例えば線的施工を行っている箇所です。途中で面的施工に変えるということになると、離隔が200mmしかないですね。ですから、柔軟に工法を変更するということがあれば、あとから、真ん中に追加施工できるようなピッチにするとか、鋼管の寸法について、もちろん強度も関係ありますが、しっかり考えたほうがよろしいかと思えます。318mmを3本入れて、これはまずいとなったときに、その間の部分に入れるということは実際問題できないのではないかと思います。できるような準備をしたうえで、現場の条件を把握しながら、柔軟に面的施工に変えていくとか、しっかりと考えられた方がいいのではないかと思います。万が一もありますから、そこは臨機に対応する姿勢が必要だし、その時の準備をしっかりするために鋼管の径をもう少し考えられた方がいいのではないかと思います。いかがでしょうか。

(委員長)

例えば、200mmの離隔があるわけだから、200mmの鋼管を用意したほうがよろしいということですかね。それとも、318mmの鋼管径にあわせて、離隔を確保したほうがよいということですか。

(交通局)

そのことに関して、参考資料26頁でご説明します。

横方向のパイプルーフを施工する際に手順ですが、②でまずA-1のところに鋼管を打ちまして、その後、②'でA-1から1mほど離れたA-2のところに318mmの鋼管を打ちます。線的と面的の判断時期は、③'を施工した後、④の施工段階で必要となり、B-1をA-1の隣に打つのか、200mm空けるのかという選択が必要になります。この図では面的に打つ場合を記載していますので、A-1の隣に打っていますが、地質状況から判断して、間を空けても問題ないだろうという時には、A-1との間に200mm間を空けることで、1mピッチで施工されている鋼製支保工と干渉しない位置関係が確保できると考えています。また、一旦200mm隙間を開けた施工を行った状態で、追加施工で面にする必要が生じた時の打ち方としましては、鋼管サイズが小さいのを用意する方法もありますし、同じ径をやや上の位置に打つ方法もあると考えています。これらについて切羽が来る前に一通り施工を終えておく必要がありますので、削孔した状況の話ですとか、地質状況の確認等を行うことで、安全に施工していきたいと考えています。

(委員長)

それは現場を見て、追加することはあり得るということですね。

(交通局)

ちょっと補足があります。

中央坑を掘削しているという実績を踏まえて、という話もありましたので、そのときとの比較を申し上げておきたいのですが、中央坑トンネルの上にありますD岩級の厚さが3.5mから4.5mありました。左右坑の場合、概ね2mほど厚くなっていますので、寸法的な面で有利になってきていると思います。

掘削面積ですけれども、中央坑の上半下半インバートを入れまして、一番小さいところで約50m²ほどありました。左右坑は全部入れて、片側で約35m²というくらいでやや小さめになる。これも若干条件はよくなってきたかなと思います。

補助工法につきましては、中央坑はAGFでしたけども、左右坑は径が約200mmから300mmのパイプルーフということで、今のところ隙間は大きくて200mm程度です。これもパイプ剛性が上がっているという状況です。

トータルで見ると、中央坑を掘った時よりも、補助工法の状況を考えても安全度は上がっているという状況です。

先ほど委員の皆様からご提案のありました、削孔した時の水の出方や、先端の支持が十分かなど、その辺は現場条件を見ながら補助工法を臨機応変に変えながらやっていく必要があるのかなと思います。

(委員長)

現場が少し進んでみないと分からないという印象ではありますけれども。

(委員)

掘削自体は素掘りする訳ではなくて、ドリルみたいな機械で掘削し、排土する訳ですよ。D2層が柔らかいか風化が進んでいるかなどは、出てきた排土だけではたぶん分からないと思います。そこが、現場を見ながらやれるって言うところと違うと思います。性質が違う岩石が出てきたら分かります。例えば、同じD2層の中で原因究明の検討委員会の時に問題になったのは、ある部分は風化が著しい、著しくない部分が混在しているということだったので、そういった部分に当たった時に、果たして出てきた排土で現場の状況を見ることができるのかというところ。それができるならいいと思いますが、排土を見ても私は予測できないと思います。その点はどう考えますか。

(交通局)

排土の話以外にも、計測機器のことを考えておきまして、今回、一定の仮定で計算していますが、そもそもどういう応力の仮定かというのがあります。鋼製支保にB計測などでどういう荷重がかかっているかというのは、今回の断面でも最初に3連トンネルに入った付近にも計測機器を設けて、その妥当性というのを確認したいと思っています。

それと、地中の動きというのは、層別沈下ですとか、大断面のところでは切羽の前方に押出量を測るといったこともやっていたので、そういった計測の工夫をすることで、前方の地盤が非常に弱いところがないかといったところを確認しながらやっていきたいと思います。

また、中央坑につきましては切羽観察も一面ずつありますので、そういったものを活用しながら施工を進めていきたいと考えています。

(委員)

結局、ローカルな部分に変なところがあっても気づかない訳です。連続体であれば変位計とか応力の現象というものが切羽とかに反応が出てくるはずですけども、パイプルーフは掘る前に入れるわけですよ。ですので、掘った時に変位等が出たからといって、パイプルーフをまた打つということはできないですよ。そういう局所的な部分があるというのが、この岩石のいやらしいところで、全部均質な岩石であれば今言われたやりかたでいいと思いますが、そういう変なところにぶつかった時、観測している段階では間に合わないと思います。だから事前により安全な側に考えないといけないのではないかと思います。パイプルーフを差せば終わりというわけではないと思います。

(委員長)

だから、最初から全部面的にやっていくべきということですか。

(委員)

そうです。

(委員長)

その考えはどうか。ここでは線的と面的があり、面的の時の欠点は、地盤の中に状況が違うものずらっと並べるから、特に横パイプルーフの図を見たらわかるように、下の部分の不安定さがかえって増してしまう可能性はある。そっちの心配もあるわけです。線的に少し開けておいて連続性を持たせながら、1 mずつしか前進していかないですが、その区間さえ持ってくれたらいいという発想もあると思います。特にこの下の部分が一番心配ですね。

その点を考慮して、計算はしてもらっているわけですよ。だから、そのように考えるとも面的も100%いいかわからないし、要するに、どっちを基本にするかということを考えて頂いて、皆様のご意見を今日は賜っておきたいと思います。ただ、面的か線形的かというより、いわゆる地盤との関係で相互作用の中でどう理解するかという問題と、それから、ただガッと抑えるために全面に受けを作るという概念と、この二つの今分かれ目に来ているわけですよ。

私はどちらかというと、線的に入れるほうが、ある程度基本かなとの思いがありました。その前提として、中央坑をしっかり固めてしまっているというものがありますね。その部分に鋼管を固定させているという点もありますし。中央のほうのアーチも中間柱もそれから吹付けコンクリートも残しながら左右坑を掘るわけですよ。2段階で分けて、上と下で分けて掘っていくという、これはかなり慎重にやっているという手立てにはなると思います。

(委員)

だけど、横方向を拡幅する場合は、どっちにしても下の部分は削り落とすわけですよ。支保工のところは。

(委員長)

落ちてしまう可能性のほうが強い。

(委員)

だから、逆にパイプーフで上の天端の部分を受ける考えもある。

(委員長)

落ちるとというのが、狭い範囲で留まるのか、広範囲になるのか、そこが心配ですよ。もう、全て落ちてむき出しになるというのを覚悟でやろうという考え方ですか。

(委員)

最悪の場合でも、そっちのほうが安全だと思います。

(委員長)

どうですかその辺は。じゃあどうぞ。

(委員)

その話と関係するかどうかちょっと分かりませんが、FEMを計算されているときに応力解放率を色々決められていまして、応力解放率の決め方で数値が変わると思います。もし、その値が変わったら、パイプーフの諸元とか配置に影響が出るのですか。それとも、この応力解放率というのがある程度決まったような、ほぼそんなに大きくブレはないものなのかその辺を教えてください。

(交通局)

応力解放率に影響する話としましては、通常の本掘削でいきますと、鋼製支保と

か吹付コンクリートの施工前に、どれだけ解放して、施工後にどれだけ荷重がかかるかというのが基本です。

今回のパイプルーフは、切羽が来るかなり前に先に、全部天井を造ってしまうという手順が特徴となっています。通常のストム掘削では、補助工法を行わない場合、一般的に40%の解放率、AGFのような先受け工がある場合は一般的に20%の解放率で計算します。鋼製支保等にかかる荷重は、これらの率で切羽の応力が解放された後にかかることとなりますが、パイプルーフは切羽がくる相当前から設置していますので、パイプルーフが受け持つ荷重は、鋼製支保等設置前の段階で20%の解放した段階の荷重と、設置後に80%解放した段階の荷重の合計となります。鋼製支保等設置前の段階で解放率を40%とし、その後60%解放する場合も前後で合計した荷重がかかりますから、大きな違いは生じないと考えています。

(委員)

パイプルーフの諸元には影響しないということですか。

(交通局)

全く影響しないわけではありませんが、切羽が到達した段階で40%緩むと仮定した場合は、この時点でパイプルーフに比較的荷重がかかります。これを20%緩むと仮定した場合、この段階では、そこまで荷重はかかりませんが、その後に吹付コンクリートや鋼製支保工を設置しますので、残りの60%又は80%を緩ませる際、パイプルーフと吹付コンクリートと鋼製支保で増加する荷重を受け持つこととなりますが、パイプルーフの剛性が高いことから、トータルで見るとパイプルーフが受け持つ荷重に大きな差が生じないと考えています。

(委員)

〇〇委員が言われたように、解析はあくまでも完成形でやっているのだから、設置するときはどうなのかというのが非常に心配なところではあります。だから、応力解放率も途中で変わってくるのではないかと、ほかの影響も出てくるのではないかとというようなことをちょっと心配しています。こういうやわらかい地盤に入れていくということで、地盤を乱すということも当然ありますので、そのことをどれくらい考えているのかということです。最終的には全部面的に入れば面的のほうが安全かなとは思いますが、その辺が少し判断し兼ねるところです。

(委員長)

これは実際に施工しなければいけないわけですから、こういう意見もあった、ああいふ意見もあった、というわけにはいかないのです。一応どちらかを基本にするというこ

とになるのですが、少なくとも縦パイプは全面に入れていても、どっちにしても構わないわけですね。掘っていくことの関係で馴染み性が良いわけですから。問題は横パイプルーフですね、片持ち構造になっているので。そこをもたせるために、スリット形状とするのか、全面にするのか。もちろん鋼管の大きさも変えると話は別ですが、天井の空間で施工するなどの施工性を考えると難しいですよ。

線的な対策から面的な対策に変えることもあるかもしれませんが、左右抗を掘るときは、補助的な対策として鋼管を仮柱で支えながら掘削し、コンクリートを吹き付けしたのちに仮柱を撤去すればよいので、パイプルーフだけに頼らなくてもよいのではないかとともに思います。

(委員)

意見として、参考資料 25 頁の⑤と⑥の図ですが、掘削をする時点で、アーチ状ではなく、台形状に掘っていくように見えますが、これはグラウンドアーチ形成によるナトム掘削では無い様に思います。こういう形でパイプルーフに頼って掘っていくのであれば、線路方向に掘削を進めていくのではなく、線路直角方向に少しずつ切り広げていくという方法もあるのではないかと思います。この時、パイプルーフのひずみ、変位などを計測し、計算値と比較することで、パイプルーフが想定どおりに地盤を支持しているか確認しながら施工することも可能かと思えます。

(委員長)

そういう提案もあるということで承っておきます。

(交通局)

先ほどの〇〇委員からのご意見につきまして、参考資料 25 頁のピンク色で示している範囲は、落ちるリスクを計算上で想定しているものですが、決して最初から落としてしまおうとは考えていません。基本的には地山をアーチ状に残し、できるだけ地盤の安定を確保しながら掘っていきたいと考えています。

(委員長)

ということで、そろそろ結論を得たいと思います。いかがでしょうか。

線的と面的に意見が分かれていますけども、危険なところは面的な発想はしっかり持ってくださいということは言えるわけですね。それがどの範囲かということは、現場の掘った時のD2層やDh層の状況とよく見比べながら考えていくしかないということですね。その時の対応策として、線的から面的に変えるということも場合によってはありえるかもしれませんが、それ以外にも、先ほど意見があったように、先に仮柱を立てておくとか、あとから対策ができるようにしておくとか、いろんな整理しておくこと

で、面的に変えることももちろんできるので。

最終的には柔軟に対応して決めて下さい、ということをお任せするということになるのではないかと思います。いろいろな懸念はあったけれど、どちらが良いというまでは言い切れなかったというのが正直なところですから、そういう結論しか出せませんね。その時に、試験的でやれる方法があるならそういう方法もやって、面的にやらなければいけない判断をすとか、そういうところでしょうか。

もともと中央坑は少し崩れた所もあったがなんとか掘れたという状況もありますので、その辺を加味しながら、慎重にあたらなければならない、ここでいくら議論しても平行線でまとまりませんので、私は基本的に心配な所は面的に少し余分にさせていただいて、しなくていい所はやらなくても構いませんと、これは現場状況の判断だと、そう思いますが、そういうことでよろしいでしょうか。

〇〇委員や〇〇委員からの意見はありませんか。こういう経験されることは少ないと思いますが、ここは現場の判断が大事になるわけですね。もし試験的にやれるのであればやっていただいて、それを見て皆さんで考えるということもできるのですが、そういう余裕がなければ仕方ないなど、現場で頑張ってもらうしかないということになりますね。よろしいですか。

(各委員)

はい。

(委員長)

施工までもう少し時間があるでしょうから、先ほど意見をいただいたように、色んなことを考えて、データを見ながら、現場と突き合わせながら、安全性の詰めをしていただいて、パラメトリックな検討をすることもありうるかもしれませんが、そういうことを踏まえてやっていただきたいという注意を付けて、ここに提案されたものを基本にして、そこから進むということです。それから、どこまで面的の範囲を拡げるかについてはこれからの検討だということで、現場で一生懸命考えていただければ有り難いと思いますが、よろしいでしょうか。ではそうことにさせていただきます。

それから最後に、大断面のところ、皆さんが心配されているところもございましたので、これから陥没したところに進んでいく、それに対して留意すべきことがあれば、この際ですから助言いただければと思います。

(委員)

どういう改良体ができているのかよく分かりませんので、おそらく探りながら慎重にやられるかと思いますが、どういう撤去の仕方をするのか、どのように土砂とその改良

体を取り除いていくのかということについて、考えがあれば教えていただきたいと思います。

(交通局)

今、改良体の手前で土砂が斜めに、土圧がかかっている状態です。改良体の1 mくらい手前に土砂の法肩があって、抑えているような形をします。

改良体の向こう側がどうなっているのかわからないので、その位置から土砂を取らずに、まず、水平ボーリングで改良体の向こう側に水があるのかないのか等を調べまして、圧力がかかっていないのであれば、そのまま土砂をとっていき、改良体は掘削できますので、ブレーカー等でやっていきます。もし水圧がかかっているなら、水抜きや、水が滞水しているのであれば、ある程度充填して固める等の対応策を検討して、それを受注者と話し合っただけで、土砂の撤去を行って改良体を崩していく、というような、探りで奥のほうの状態を見て、安全な方法を決めて進めて行くというようなやり方でやってまいります。

(委員長)

それと大断面のところの掘り方については、今までは、小断面といいますか、まず真ん中を小さく掘る方法だったのですが、前回の委員会で掘り方を変えることについて討議をしまして、真ん中と3連トンネルのような、3つのブロックに分けて、それから横を掘っていくという、慎重な分割掘削にするということまでは決めています。

ただし、あの高圧噴射の改良体で陥没のところを下から支えている形をしているものですから、そこがしっかりあるかどうかを、これから先の水平ボーリング等で確認していかないといけないと思います。掘削をするとき、奥に圧力がかかった水があった場合というのは心配な点ですね。その可能性は十分考えられる。その近くのボーリングK-1では地下水に圧力がかかっているでしょう。あのトンネルから見れば、トンネル天端より高いところに、本来の水頭圧の高さがあるということですね。それと連絡坑のところにはK-2のボーリングがあって、これはトンネルと同じくらいかな。だから、水に圧力がかかっていないか、探りを入れながらきちんと確認をしていくということですね。また、もし可能であれば、水平ボーリング等で探りを入れたついでに、水を抜くという方法も考えられる訳ですよ。そして、水位を低下させると、中柱みたいに支えているものに、横から圧力が掛かることは大分少なくなってくる。だから、土砂を撤去するとともに、掘削作業に切り替わるといえるのではないかと。そう言う意味では、事前の調査を必ずすることは、土砂撤去をしたり、その先を進めたりしていくこと的前提条件になるのではかというお話ですね。それでよろしいですか。

(交通局)

報告資料2「トンネル坑内水抜き・土砂撤去について」の4頁を見ていただいてもよろしいですか。

ここに岩盤水頭とトンネルの関係を示した資料がございます。一番下にトンネルの縦断図がありまして、立坑部の右側に大断面の部分がありますが、ここに赤で示しているK-2、これが大断面トンネルの中ほどに水頭があるということです。

それからK-1について、これは大断面トンネルの北側になりますが、大断面トンネルの天端の上に水頭があるということで、ある程度の水圧はかかっていると推測されます。委員長がおっしゃいますように、そこは探りながら、監視しながら進めていくことになると思います。

(委員長)

兎にも角にもそういう注意をメモには入れておいて下さい。それから、他にはいいですか。

それと、もう一つ注意してほしいのは、あと10mぐらい奥の方は残っている訳でしょう。そこには小断面のトンネルがあって、そこから切り広げていく訳ですから、その時に、その土砂層と言うのは陥没したところとほぼ同じか、それより弱い、層厚も薄くなっている可能性がある訳ですよ。その上は改良体あるいは流動化処理土で改良されている訳ですが、ここはその上の岩盤のところ、薄くなっていて、強度が改良されているかわからない訳ですね。クラックには上の改良時に圧力をかけているので、ちょっとは入り込んでいて、多少は埋まっている可能性はあるので、それで水は抑えられているかもしれません。

Dh層の強度は変わらないかもしれないけれども、あるいは、さっき意見が出ていた、局所的な弱点があって、また落ちた時と同じようなことが無いとは限らないから、そういう意味では、残りの10mのところはやっぱり上のほうでもよく監視体制を作って慎重に行かなくちゃいけないのかな。常時監視ぐらいに切り替えて、しょっちゅう確認しながら掘って行くという事が、注意すべきことではないかと思えますけどね。

陥没箇所、穴のすぐ際のところは、どこまで強度が増したのか、高圧噴射は上まで上がって行っていけばいいけれど、そのすぐ横あたり、その辺りも要注意箇所ですから。可能であるならば、その際のところだけは、今、1m間隔ですべて支保工をやっていますが、その間ぐらいにももう1箇所入れていくぐらいの気持ちを持った方がいいのではないかと思います。すぐちょっと穴が空いた横辺りはどうなっているか分からない訳ですからね。

再開の時に、そこは注意してくださいということですね。よろしいでしょうかね。

(委員)

既にある地中変位計や傾斜計などにより周辺地盤の変位を計測しながら、掘削による地盤への影響がどこまでおよんでいるか十分確認しながら進めていただくとともに、重要だと思います。今ある計測機器が足りなければ、追加することが必要かと思えます。

(委員長)

よろしいですか。ほかに全体を通じて何か言い残すことがないように、この際言っておきたいことはありますか。

3連トンネルのほうはですね、中央坑の計測をしっかりとやってくださいと言いたいですが、内空変位だけじゃなくて、特に柱の間隔とか。

(交通局)

参考資料 30 頁をお願いいたします。

計測項目のうち、これまでの掘削作業時も計測してきた項目を、既に計測することが決定している項目の欄に記載しています。追加項目の欄をご覧いただきたいのですが、鋼管柱や RC 柱にどのくらいの荷重がかかっているのかを把握するための項目や、パイプルーフにどの程度荷重がかかっているのかについて把握するための計測、3 連駅接続部の構築がやや壁が薄い形でありますので、その壁が変位していないかといった視点で行う計測など、左右坑の掘削時にはこれらも計測しながら、安全に進めてまいりたいと考えています。

(委員長)

要するに、中央坑に寄りかかって掘削していくわけですね。しかも時期的に変圧を受ける可能性もあるので、これはしっかりこういうこともやってほしいという意味です。よろしいでしょうか。

それでは、今までのところをまとめて一応終わりにしたいと思えます。事務局からこの際、聞いておくことがあれば承っておきますが、いいですか。そうしましたら、本場にいろいろ議論いただきありがとうございます。

まず、現状のところ、水抜き土砂撤去の現段階については、既にいろいろ議論いただいたように、今は安定状態にあるということです。さらに、これから本坑のところに入ってきたときに、参考となるいろいろなことを、この際しっかり整理していただきたいということです。

そのような意味では、報告資料 2 の 8 頁、水抜き報告のところ整理が終わっているわけですが、連絡坑が全部空いたところで、それをきちっと見たほうが、本坑のいろん

な状況を判断する際には、より役立つ情報になるわけですので、そういうことを意識してほしいという意味で、あえて申し上げておきたいと思います。

なお、それに付随して出てくるのは、構造物の点検を早めにやるように、特に天井だけでもするようにという話がありました。こういうことも込みでやってもらいたいなということがありました。

また、状況が安定しているとありましたが、言うまでもありませんが、この状況を普通と思って安心することがないように、緊張をもち続けていかなければなりません。このようなことが、水抜き、土砂撤去の注意的な論点で挙げられたということをお知らせしておきたいと思います。

そして、3連トンネルの掘削計画を中心に討議を行いました。少なくともパイプルーフで施工することについては、問題ないということによろしいですね。

また、トンネル断面の設計変更を行うことはよいですが、必ずしも安全側に働くとは限りませんので、その安全性への追及は詰めなければならないということです。そういう検討をしていくときに、データの取り方やパラメトリックな方法を活用して、安全性に問題がないことを確認することを、可能であれば行ってもらいたいという意見もありました。

今回、4つのパターンのパイプルーフの施工方法が提案されました。その4つの施工方法については、みなさん一致していただき、どの方法をどのように使い分けるかということで議論していただき、様々な意見がありました。

そうした中で、本日、事務局より提案を受けた内容を、今後の現場における検討のスタートラインとして、面的にするのか、線的にするのかを、現場の中で使い分けていただく。全面に面的に施工するのが安全側であるという意見もありましたが、線的に行うことも常に対比に浮かべながら、施工してもらうということです。

万が一のことに備えた対応についても、その体制作りを行っていたほうがよいという意見もありました。

これらの意見がありながらも、事務局の提案を基本的には、ベースとして認めるということになります。今後、詰めの作業に入っていただくこととなります。

次に、大断面トンネル部についても、ご意見をいただきましたが、土砂撤去、地盤改良を行った箇所、そして奥の水圧、この3つの項目を踏まえた上で施工手順を検討してもらうということ。また、事前に水平ボーリング等の調査を進めながら施工しましょうということ。

施工中の監視体制、特に陥没したところについては、必要以上に構えながら安全な施工を目指してほしいという意見があったということです。それから、同じような話で、3連トンネルのところでも監視体制で追加の監視という意見があったということで、頭

に入れておきたいと思います。

少し順序が前後してしまいましたが、意見が出てきた流れにあわせて説明しましたので、ご了承いただければと思います。

何よりも、慎重に施工していかなければいけないわけですから、大変でしょうが、現場の方は監視体制を整えて、また情報の共有を実施していただきたいと思います。もし、試験的にやろうという場合には、ここにいる委員の方々に個別に確認していただいても構いませんので、そのように進めていただければありがたいですね。今のところ、次回の委員会がいつ開催されるかわかりませんので、これから先の仕事を慎重に進めていただきたいと思います。

今日のところはここまでとさせていただきます。

(事務局)

皆様、ありがとうございました。閉会にあたりまして、交通局建設部長よりご挨拶をさせていただきます。よろしく申し上げます。

(建設部長)

委員長におかれましては、議事の進行並びに意見の取りまとめにご尽力いただきまして、心よりお礼申し上げます。また、委員の皆様におかれましては、長時間に渡り大変熱心にご議論いただきまして、誠にありがとうございました。

現在、実施しておりますトンネル坑内の土砂撤去が終わりますと、いよいよ大断面部及び3連トンネル部の掘削に入ってまいります。本日皆様からいただいたご意見等をしっかりと踏まえながら、さらに検討を進めまして、安全を最優先に事業を進めてまいりたいと考えております。

また、その他の工区につきましても、安全に留意しながら着実に進めてまいりたいと考えておりますので、委員の皆様におかれましては、引き続き、ご指導、ご助言をよろしく願いいたします。

それでは、これをもちまして、第13回福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会を閉会させていただきます。本日は誠にありがとうございました。