

第 14 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 11 月 7 日（木） 14 時 00 分から

場所 JR 博多シティ 9 階 会議室 2

議事等

- 七隈線延伸事業の進捗状況について（報告）
- トンネル坑内土砂撤去と大断面トンネル部の再掘削について（報告）
- 3 連トンネル部の掘削計画について（報告）

（事務局）

ただいまより、第 14 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。始めに、福岡市交通事業管理者よりご挨拶を申し上げます。

（交通事業管理者）

本日は委員長をはじめ、委員の皆様、大変お忙しい中ご出席賜り誠にありがとうございます。また皆様におかれましては、福岡市政、特に地下鉄事業に格別の協力を賜っており、この場を借りまして厚く御礼申し上げます。

さて、七隈線延伸事業につきましては、後ほど、詳細な進捗状況をご報告させていただきますが、去る 9 月の末にナトム大断面トンネル部の再掘削を無事完了することができたところでございます。これまで、様々な観点からご討議をいただき、大変貴重なご意見、ご指導をいただいております委員の皆様には改めて感謝申し上げます次第でございます。

また、明 11 月 8 日には、事故発生から丸 3 年を迎えるということになります。私も改めて事故の反省に立ち返り、安全安心を何より最優先に事業に取り組んでいかなければならないということで新たに決意しているところでございます。

本日の委員会におきましても、委員の皆様より忌憚のないご意見を賜りたいと思っておりますので、その点、重ねてお願い申し上げます。簡単ではございますが、開会の挨拶とさせていただきます。どうぞよろしく願いいたします。

（事務局）

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、九州大学の安福様、福岡大学の佐藤様、東京地下鉄株式会社の野焼様、東京都

交通局の谷本様，以上4名の委員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，どうぞよろしくをお願いいたします。

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のお願い，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種類となっております。

続きまして，本日の報告資料としまして，A3横綴りの報告資料1，報告資料2，報告資料3，また，報告資料の補足説明資料としまして，参考資料1，参考資料2，以上でございます。資料の不足等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まして，最後に本日の取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，よろしくをお願いいたします。

(委員長)

それでは，早速議事に入っていきます。大断面トンネル部も無事掘削が完了し，これから覆工コンクリートを打設していく段階となっております，これで一つの区切りが出来たと感じています。また，3連トンネル部等については，これまで議論いただいたものを踏まえながら，準備を進めてもらっていますが，左右坑掘削はこれからということになりますので，本日は，後段が主たる議論になり，前段は報告が中心ということになりますので，よろしく申し上げます。

それでは，議事次第の3つの議題について議論を順次進めていきたいと思っております。まず1つ目が，地下鉄七隈線延伸事業の進捗状況についての報告ということで，事務局より説明をお願いします。

(交通局)

それでは，報告資料1の七隈線延伸事業の進捗状況につきまして，資料に基づき説明いたします。

まず，1頁をご覧ください。

本頁は，全体スケジュールと土木工事の概要を表しています。前回の委員会時点から，特に内容が変わっていないため，詳細な説明を割愛しますが，2022年度，令和4年度の開業を目指して，順調に事業進捗を図っているところです。

次に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しています。工事の進捗状況として、まず、駅舎部につきましては、縦断図及び断面図に灰色で着色した部分が既にコンクリート打設が終わっている箇所になります。平面図に3BLと記している3ブロックを除き、ほぼ躯体の構築が完了しているところです。また、図面左側に示した中間駅から既設の天神南駅に向かう単線シールド区間につきましては、東行線の掘進が本年の7月末に完了するとともに、引き続き、西行線につきましても、今週火曜日の11月5日に無事発進しています。また、図面右側に示した中間駅から博多駅工区のナトム大断面部でUターンを予定している単線シールド区間につきましては、11月中旬の発進に向けて、地上での防音ハウスの設置やマシンの発進準備を進めています。

3頁をお願いします。

先ほど説明しました中間駅西・東工区の進捗状況を写真で表しています。

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、はかた駅前通りの道路中央を占用して工事を進めており、上段右は、駅舎本体と並行して進めております出入口の施工状況を表しております。

また、下段左は、掘進が完了した西工区の東行線シールドトンネルのインバートコンクリートが完了した写真、下段中央は、西工区の西行線シールドマシンを内部から撮影した写真、下段右は、東工区のシールドマシンの準備状況を表しています。

4頁をお願いします。

博多駅工区のナトム区間の進捗状況を平面図と断面図で表しています。

工事の進捗状況としましては、大断面トンネル部、及び標準トンネル部Ⅰ型、Ⅱ型の掘削がすべて完了し、現在、3連部の中央坑を含め、構築工事を進めているところです。

なお、大断面部につきましては、図上にピンク色で示すとおり、全てのインバート構築が完了し、現在は、上部の覆工のための防水工事を施工しており、今日時点で防水工事はすべて完了しています。

また、図では表していませんが、標準Ⅰ型の一部につきましても、インバート構築が進んでおり、今後は標準Ⅱ型も含め、順次進めていきます。

3連部につきましては、今後の左右坑のパイプルーフの施工に先立ち、中央坑の構築を3連Ⅱ型の部分より進めているところです。

5頁をお願いします。

博多駅工区の開削・アンダーピニング区間の進捗状況を平面図と断面図で表していません。

アンダーピニング区間につきましては、平面図の右上に示します、既設地下鉄空港線の軌道下部や、平面図の左下に示します、ナトム区間と接続する地下車路部の仮受工事を行っているところであり、仮受完了本数としては、本日時点で 252 本、全体の 292 本のうちの約 86%が完了しています。

今後も各構造物の変位を注意深く監視しながら、慎重に工事を進めていきます。

また、仮受が完了した JR 地下街部等につきましては、順次、路下掘削を実施し、既に床付けが完了した区間から、設備工事の接地極敷設等を進めています。

年内にはすべての掘削を完了し、以後、躯体工事に着手する予定としています。

最後に、6 頁をお願い致します。

博多駅工区の進捗状況を写真で表しています。

上段左は、ナトム区間の防音ハウス、上段中央は、大断面部における棲部への防水シートが敷設が完了した状況、上段右側は、3 連部の中央坑構築に伴う資材搬入状況を表しています。

また、下段左は、住吉通りの道路占用状況、下段中央は、地下鉄空港線の仮受状況、下段右側は、JR 地下街下の路下掘削状況を表しています。

以上、簡単ですが、工事の進捗状況についての説明を終わります。

(委員長)

今の説明を受けて、質問や意見などないでしょうか。

それでは、私から 1 つだけ質問します。中間駅東工区の東行線のシールド発進がいつ頃で、ナトム大断面部への到達がいつ頃といったような、おおよそのスケジュールは分かっていますか。

(交通局)

中間駅東工区のシールドについては、現在、発進の準備をしております、今後の予定としましては、11 月の中旬、今月 12 日ぐらいのシールド発進を予定しています。

また、大断面部に到達する時期については、2 月下旬から 3 月上旬ぐらいを予定しています。また、ナトムの大断面部の覆工の構築が 1 月末には終わる見込みですので、そこが完成した後、安全にシールドを到達させたいと考えています。

(委員長)

今年度中にはそこまで終わるといふことでよいですか。

(交通局)

今年度中には、到達できると考えています。

(委員長)

ここまで来れば、かなり安全に施工できますが、いくら安全といっても、油断大敵ですので、慎重にしっかり詰めの工事をよろしくお願ひしたいと思います。

他に、意見はありませんか。

それでは、以上で進捗状況に関する報告は終わりとし、次に移りたいと思います。

では、次に2つ目の議題でございますが、トンネル坑内土砂撤去と大断面トンネル部の再掘削についての報告ということで、事務局より説明をお願いします。

(交通局)

それではトンネル坑内土砂撤去と大断面トンネル部の再掘削について完了の報告をいたします。

2頁をご覧ください。

まず、ナトムトンネルにおける周辺環境の地下水や地表面沈下など、現在の状況を説明します。

進捗状況については、先に説明したとおり、大断面部と標準Ⅰ型、Ⅱ型は、全断面の掘削が完了し、現在構築を進めており、掘削は残すところ、断面図で白抜きとなっている3連トンネルの左右坑だけとなっています。

それから、右下の黄色のハッチング部分に記載しているとおり、トンネル坑内の土砂撤去が完了し、撤去土量は当初推定とさほど変わらず約6,200 m³でした。また、掘削の進捗は先ほどの説明のとおりで、この間、トンネル周辺の地表面沈下や層別沈下などの各種計測を実施してきましたが、問題がなく完了しています。

3頁をご覧ください。

ここでは、地下水位について状況を説明いたします。

上段のグラフは土砂部水位を表しており、降雨量に連動する範囲で変動しているだけで、大きな変化はありません。青い棒グラフは降雨量を表しており、降雨時に土砂部の地下水位は少し上昇するような挙動を示しますが、それ以外に大きな変動はないということです。

中段のグラフは岩盤部水頭を表しており、1月18日のトンネル坑内の水抜き開始から4月4日の水抜き完了までの期間、グラフの右端のほうの黒い2本の縦破線のとおり、岩盤部の水頭が低下していますが、水抜きを完了してからは安定している状況が見てとれます。また、4月25日から9月26日までの期間は、トンネル坑内の土砂撤去や再掘削などを行ってきましたが、顕著な変動は見られませんでした。

このことから、土砂部と岩盤部の地下水位はこれまでの各種施工により、つながることなく、分離している状況が保たれていると考えられます。

それと、岩盤部水頭のグラフの一番下に描かれている朱色のグラフですが、これはナトムトンネルの中央部分にある 23E-4 という観測井戸の水頭のことです。以前は他の観測井戸の水頭とほぼ同様の挙動をみせていましたが、その後、ちょっと下のほうに離れていく挙動をみせていましたので、おそらくこれは、博多駅側に隣接して施工しているアンダーピニングの仮受杭設置に伴う削孔が原因ではないかと推測し、周辺の環境に影響を及ぼさないか、これまで計測状況を注視してきたところですが、その後の調査で、計器が故障していることがわかり、計器交換後に改めて計測すると、黄色のハッチで指し示す位置まで水頭があがり、概ねその水頭を保つことがわかりましたので、現在は、引き続き、計測状況を注視しているところでございます。

この件につきましては、これまでいろいろと議論していただきましたが、結果、計器の故障ということで、ご迷惑おかけしました。

4 頁をご覧ください。

ここでは、地表面沈下の状況を示しています。履歴としては、右下に凡例で示しておりますが、トンネル坑内の水抜き後となる緑のラインと、9 月末現在のオレンジのラインについては、大きな差が生じていません。このことから、土砂撤去から大断面部の再掘削完了までの間に大きな変化は生じていないということが分かります。あとで別途報告しますが、一部、沈下量が増えている箇所もありますので、今後も計測結果を注視し続けていきたいと思っています。

5 頁をご覧ください。

ここでは、特に大断面部の地表面沈下について、再掘削を開始してから、地表面沈下や地中の層別沈下がどれくらい増えたのかを示しています。左図の青丸が、地表面沈下の計測測点、右表が、左図の各通りの中央の点における沈下量を示しており、計測の結果、-1 通りの-3.7mm が最大でした。解析の結果では、20 数 mm という値もありましたが、一次管理値と比較しても小さな値となっていることがわかります。

また、層別沈下につきましては、赤い点で示しておりますけれども、4 点のうち、D2 層の変位を知るために上端と下端を計測している D-3 と D-4、この値に注目すると、-1.2mm から-0.2mm という値で、ほぼ動きがありませんでした。

以上が、ナトムトンネル周辺環境等の現在の状況でございました。

7 頁をご覧ください。

トンネル坑内に流入した土砂については、平成 31 年 4 月 25 日より撤去を開始し、令和元年 9 月 30 日に完了しました。トンネル坑内の土砂堆積状況については、右上の平面図や、左下の各縦断図に茶色のハッチングで示している通りです。

8 頁をご覧ください。

ここでは、土砂の性状などを述べています。

堆積していた土砂は主に砂質土で、左の写真のように、とても均一に見えるものでした。また、大断面部の崩落孔から遠いところでは、細粒分が 1m 程度堆積していたこともわかっています。

また、土砂は緩く堆積していて、大断面部の先進導坑や標準Ⅰ型、Ⅱ型のトンネルの上部には、約 1m の空間が存在していたことがわかっています。一方で、土壌の試験もしており、全体で 7 地点ほど土壌試験を行い、堆積土に環境上の問題がないことを確認しています。

9 頁をご覧ください。

ここでは、土砂撤去時のトンネル坑内の状況について二つほど報告します。

まず一つ目は、崩落孔の形状寸法です。これまでの土質調査によって、D2 層が存在するところでは、崩落を起こしていないだろうとの考えから、その形状寸法につきましては、左の平面図に桃色の楕円の形で示すとおり、トンネル横断方向に 11m、縦断方向に 3.6m 程度の範囲内ではないかと予測していました。

しかしながら、トンネル坑内の土砂を撤去し、トンネル坑内から確認した大断面部の坑内の天端の地盤改良体ができただけの跡を、崩落孔の形状と同一とすると、その形状は、下図に示します赤い細長い範囲のとおり、トンネル横断方向に約 4.5m、縦断方向に約 0.9m となり、すなわち鋼製支保工一間分の範囲であったのではないかと考えられます。

なお、崩落孔の周囲につきましては、トンネル坑内の地盤改良については高圧噴射攪拌工法を採用したため、改良に際に D2 層を削り取ったのかもしれないため、もう少し小さかった可能性もあります。

さらに二つ目にわかったことは、一次覆工の健全性です。吹付コンクリートと鋼製支保鋼を点検したところ、崩落孔の周囲も含めて欠損や変形は認められず、漏水もなかったことから、一次覆工の健全性は保たれていると考えています。

以上が土砂撤去についての完了報告です。

11 頁をご覧ください。

7 月 12 日から開始した大断面の再掘削は 9 月 26 日に完了しました。再掘削はトンネル上部に人工岩盤を形成し、水抜き、土砂撤去を行った後に施工したわけですが、掘削の際には左の図に示しますように、細かく加背割りし、つまり細分化して、右上段の写真のように鋼製支柱を設置するなど補助工法を用いながら、かつ各種計測も継続しつつ作業を進めた結果、右下段のように掘削が完了しています。

12 頁をご覧ください。

ここでは、掘削手順と施工の状況を詳しく記載しています。左から右に掘削の順番を表しており、グレーでハッチングしたところが掘削範囲となります。まず、頂設導坑の掘削、それから鋼製支柱を設置し、上半の切掘げを行いまして、3番目に下半の左右を掘削、そのあと鋼製支柱を撤去し、下半の中央部の掘削を行って、インバートを掘削し、完了となっています。

下の黄色いハッチ部分では、掘削中にわかったことを記載しています。上半掘削中の切羽に、炭質頁岩が認められましたが、薄いレンズ状で連続性は認められませんでした。また、同じく上半掘削中に、写真右側の切羽には一部破碎した箇所が認められましたが、掘削の際に、各種計測値の大きな変化は認められませんでした。さらに、湧水については、右端の写真を見るとわかりますように、滲み程度でした。

13 頁をご覧ください。

ここでは、右上の縦断図で示していますが、大断面部の中央で実施した B 計測の結果を報告します。B 計測の項目として、鋼製支保工の応力や、吹付コンクリートの応力、ロックボルトの軸力、トンネル天端を支えるための鋼製支柱の応力、以上 4 つの項目で計測しています。

下表には、上段に各施工段階を、下段に各段階における最大値を青い数字で示しています。表の右側に、赤字で一次管理値を示していますが、それと比較しても実測値はかなり小さい数値でした。鋼製支柱の撤去が大きなポイントになりましたが、トンネル天端から伝わってくる力の大きさについては、このような数値を確認して安全に撤去を行うことができました。

以上が再掘削についての報告となります。

最後の 14 頁に、総合的評価としてまとめを行っています。

これまで、大断面トンネルの再掘削を行うために人工岩盤の形成や、水抜き、土砂撤去を行ってきたわけですが、その都度、考えられるリスク対策を検討・実施し、D2 層の遮水性の確保や、地表面沈下や D2 層の変位を抑制することで、トンネル及び周辺の問題となる影響を与えないように進めてきました。

大断面トンネル部についても、下の方に示すように、地下水や切羽の安定、地表面沈下の対策として、青文字で示す各種対策を実施し、その結果、トンネル内への目立った湧水のない、切羽が安定した状態で、掘削を進めることができ、地表面沈下や D2 層の変位を一次管理値以内に抑制しながら、再掘削を完了しています。

以上の結果から、当委員会で検討を行い、実施しました再掘削のための対策につきましては、十分な効果があったと評価できると記載しています。

2 つ目の報告事項につきましては、以上で説明を終わります。

(委員長)

説明ありがとうございました。

それでは、今の説明で最後のまとめについて、皆様のご了解をいただければと思います。今回は事務局なりのまとめとして書いていますが、いずれにしましても、これまで色々と苦悩し、様々な検討を進める中で地盤改良、水抜き、土砂撤去、再掘削というプロセスを経て、無事、今日に至ったという報告になっています。これについての質問や意見をいただければと思います。

あえて気になったことを先に言いますが、崩落の状況がどうなっていたかについて、どう結論付けるかという点については、皆様のご意見を十分に伺っておきたいと思っています。いかがでございましょうか。

3頁の水抜き時における地下水の変化について、このとき一番問題だったのは先程説明があったように、これまで23E-4が、周辺の他の水圧あるいは水頭の観測値に比べて非常に低かったことですね。それをどう理解するかということで、近くで杭施工のために深く掘っているから、その影響が出ているのではないかという意見もあって、ややそのような議論が集中したときもありました。しかし、よくよくチェックしてみたら、計器の誤作動があったとの結論に至ったということで、私たちもミスリードをせず、ほっとしているという印象です。記憶に留めておくべき、今後の参考になりそうな事案だと思います。

以前、別の計測点でおかしな値が示されることがありましたよね。その際は、この値だけがおかしいということで、途中から除外して考えるようにしました。地下では、すべて信用できるデータを得られるとは限らないので、そのあたりをどう補うかというような意味合いで一つの教訓になるのではないかなとだけ申し上げておきます。

他にご意見はありますか。

(委員)

9頁における崩落孔の寸法ですが、もともと11m×3.6mといていたものが、実は4.5m×0.9mと思ったより小さかったことに関して、何か考察はありますか。当時の崩壊のスピードからすると、思ったより小さかったのかなとか、あるいは、これくらいの大きさであれば、もう少し、こういう対応をしておけば、それ以上の崩壊を防げたのではないかといった、そのような考察があれば教えて頂きたい。

(委員長)

難しいかもしれないが、考えられる範囲で結構です。

(交通局)

大断面部につきましては、今後の再掘削を行うための物性値を取るため、かなり多く

のボーリングを行っており、その時にD2層はどのような位置にあるのか、調べながら崩落孔の大きさを探っておりましたが、中心部につきましては、やはり直接ボーリングすることにすごく不安があったため、近づくことがなかなかできずに、確認できた範囲での想定寸法をこれまで示しておりました。

あと、今回の崩落孔の大きさが妥当なのかということで、確かに約6,200m³の土砂が、あの2,3時間で、中に落ちていくのかといった意見もあるかと思えます。定性的にしかな言えませんが、高い地下水があり、砂混じりのすごく流動性の高い土砂が、流れ落ちていったと考えると、それもあり得るのではないかとは思っています。

(委員)

わかりました。写真ではわかりにくいのですが、改良体を真下から見るとやっぱりそういう形状が残っていたということによろしいでしょうか。

(交通局)

そうです。

(委員)

わかりました。ありがとうございました。

(委員長)

〇〇委員に意見を伺います。この崩落孔をデータでどこまで判断できるかなど、一言でもいいので、意見をください。あとでまとめるときに、参考にしたいと思えます。

(委員)

崩落孔の形状寸法については、思ったより小さかったということと、上の部分が土砂部なので、思ったよりも広範囲に広がっているなといった印象を受けました。逆に言えばこれぐらい小さいということは、皆さんに知らせておいたほうが良いのではないのでしょうか。被害がすごく大きくて、世間の人達の中には、上にこんな大きな穴があいているっていうことは、地下にも大きな穴があいているのではないかと思っている人がたくさんいると思います。だから逆に、実はこれぐらいの大きさだったというのは、どこかでお知らせしたほうがいいのかという気がしました。

(委員長)

公表のほうは、交通局にまかせましょう。

このような見方ができるよ、ということは、参考にしたいと思えます。

(委員)

地盤が砂のところっていうのは、陥没すると、これぐらい広がるのだと思いました。

(委員長)

ちょっと付け加えますと、私も感じるのは、崩落孔の0.9mというのは、支保工の間隔以内のサイズですね。ということは、支保工はどの部分も問題なかったということですね。ある一か所だけ、最先端の所の一部だけが、どさっと落ちてしまったというのが陥没発生メカニズムとして考えられるわけです。そういう意味で、上から落ちてきた土石や剥落した吹付けコンクリートの影響を受けて、支保工が曲がっていたとか、あるいは、AGFみたいなパイプ類が少し曲がってぶら下がっているといったことが、意外と思ったよりは無かったという見方ができるのではないかと思います。

ただ、底が抜けたときに、この穴の大きさで、そう長い時間をかけずにこれだけの土砂が落ち込んだというのは、かなり水と砂地が混ざったときの流動性が高いということから、土石流に近いような感じの印象を私は受けますね。そういう意味では、今後の監視体制をどうするかとか、いろいろな調査を事前にやることなど、これからも反省点を踏まえながら、検討を続けてもらえればと思います。

もう一つだけ言えば、9頁の赤い円が、下から見た時の穴の大きさで、ピンクの円が、上からボーリングを行い、所定位置にD2層があるかないかなど、そういうことで判断していった穴の大きさですね。だから当初の方が、大きめの影響範囲を想定して、それを基にして地中を固めていったわけです。そういう意味では、我々は、地盤改良をして人工岩盤を造るのに、穴を少し大きめにみて、施工したということで、安全な工事につながったわけです。

(委員長)

だからそういう意味では、地盤改良範囲の決定は、かなり慎重に見えたけれど、まずトンネル上部を固めて、その後下まで改良したというこのプロセスは、よかったのではないかなと思います。上から一気に下まで突っ込むなんて馬鹿なことをやれば、穴を開けてしまうわけですから。そういう施工の慎重さというのは、今回非常に我々にとってはプラス側に働いたのではないかなと思います。

それでは、時間もありませんので、14頁の確認をしたい。要は水抜き、土砂撤去、再掘削と重要なプロセスを経てきたその流れと、その流れの中で実施したことの効果をどうみるかということ、今は先ほどの議論も少しこれに関わってきますが、そういうものを総括して、全体的、総合的にみればよかったということになりますが、部分的でも反省すべき点があれば、ここに遠慮なく書いた方がいいのかなとも思います。その点で何かございませんか。

これは良いのか悪いのかちょっとわかりませんが、今回、負圧を心配しましたよね。

そもそも、こういう地山で心配すべきことだったのか。けれど、ここでは負圧の設定をして、結果としてうまくいった。当然考えるところではありますが、ここは検証なしの評価になるのではないかなという意味でちょっとお聞きしたいですね。あとは大体検証のある評価になっているように感じますが、どうですか。

(交通局)

負圧が生じますと、トンネルの天端が下がろうとすることがあるかもしれません。水を抜いていった時の層別沈下計や地表面沈下に大きなマイナスの沈下が現れなかったということが、間接的には負圧にならなかったと言えるのだらうと思います。

(委員長)

土砂を撤去した後、壁を確認すると、3連側に向けて高圧噴射の溶液が流れたあとがついていたことなどをみると、空隙か空気がそこにあって、溶液が流れ込んでいったということですから、やっぱり負圧の可能性があるという点は十分検証の材料にすべきところであったわけで、むしろ我々はそういうところも心配しながらやったということですね。いずれにしても、ただ、効果というところは何か検証ができて効果なので、そこら辺は少し見落としがあるかもしれない。もう一度確認してほしいという意味で、一例として話しました。あとはよかったと思いますが、どうですか。

(交通局)

負圧関係で一つあります。負圧の影響を考慮し、エア供給孔を設け、立坑から水を抜き始めていきますと、トンネル奥の坑内側の水位が下がらなかったことから、負圧対策用に設けていた穴を使って、ポンプを入れ、坑内奥側からも水を引き上げることができたということで、スムーズに工事進捗を図る上でも、当初想定していなかった活用ができたと言えます。

(委員長)

それはそうですね。あとは、大体ここに書いてある通りでいいのではと思いますが、どうですか。

(委員)

大断面部のことになるかどうかわかりませんが、AGFの効果というのがどうなのかという議論があったと思いますが、アンダーピニングのほうからAGFの管が出ているので、AGFの注入材がどういう風に地層に入っていたのか、その地層を見たら明確にわかると思いますし、今後、AGFの検証みたいなこともできるのではないかと思います。

(委員長)

補助工法のあり方が、我々にとっては正しい選択であったかというところにつながるような意見です。これについては、現場の方からいろいろな意見があるのではないかと思います。いかがですか。

(大成 JV)

AGFについては、事故当時の調査委員会からでも、注入の効果に脈状に入ったのではないかと、また、鋼管のレイアウト等々に関してのご指摘もありました。

確かに、開削部の方から注入に対する効果がこれから見えてまいりますので、そういう観察をしつつですね、本当にあぁいった粘性土のところにAGFの注入材、改良効果がどの程度あるかが検証できるかと思えます。

(委員長)

基本的には難しいですね。Dh層、炭質頁岩のところでも入る溶液があるのかなというのが、そもそもの問題じゃないかと思えます。ただ、AGFの使い方として、どういう岩層に使えるかというのを勉強して、使える場所と使えない場所の見分けの仕方を工夫する際の参考にしたらいいと思えます。

他に何かありますか。

(大成 JV)

今回のAGFについては、前回と違って端末を切らないタイプに変えたということと、大きな意味ではピッチ、当初450mmピッチだったのを300mmに変えてやりました。

前回と違うところもありますが、前回の注入量くらいは入るだろうと想定していたのですが、実際、300mmピッチに細かくすると、想定したより注入が入らなかった。要するに、圧が上がってこれ以上入らないところまで今回は入れています。そのような意味で、ピッチに関しても、本当に450mmを越える地山に対してよかったのか、また、圧力管理等、そういったところも含めて、今後いろいろ考えていくところはあるのかなと施工してみて感じました。

(委員長)

それでは、全体について何か意見はありますか。

(委員)

3頁の地下水位の件ですが、23E-4の分は、故障でこうなったと言うことは分かったのですが、全体的に観ると、二つのグループの岩盤部水頭を表す線があって、もともと違うということが前のデータと合っているのかということですが、大丈夫なのでしょう

か。福岡市の中で博多駅から近い所と、海側に行く方で、岩盤の水位が変わるのか変わらないのか、何かその様なものがあるのでしょうか。

(大成 JV)

大きく2つに分かれていますと思いますが、一番下の赤い線は、トンネルの掘削した面に観測井戸が近い箇所が低くなっています。残りの箇所は、観測井戸とトンネル掘削面との距離に応じて比例ではないですが、ある程度の勾配みたいなものを持っていて、掘削面から離れると水位が高いまま保持されるというような状態になっています。

この後、水を抜いた後、掘削を進めていった時に、大断面でいいますと、掘っていった時に近づいていくと、また、その水位が下がるみたいな感じがありましたので、岩盤層の水位に関しては、掘削面に依存しているということが明確に表れていると思っています。

(委員長)

今まで議論がいくつか出ましたから、若干修正はあるかもしれませんが、大方は、今の説明をご理解いただいたうえで、13頁や14頁の一覧表については、これをベースに整理していくということをご確認いただきたいと思いますが、よろしいでしょうか。

我々の方でも見直しをしています。ご意見がある場合は、事務局へ言っていただいて、それもあわせた上でこれを整理したいと思います。

以上、そういった取扱いさせていただきます。よろしく願いいたします。

これで、議題の1、2は終わりますが、ここで10分ほど休憩をいれまして、残りの時間で後段の3を議論するというにしたいと思っています。

(事務局)

それでは、一旦休憩を入れたいと思います。再開は15時15分からとなりますので、よろしく願いいたします。



～10分間の休憩～



(事務局)

それでは時間になりましたので、委員会を再開いたします。委員長宜しく願いいたします。

(委員長)

それでは、3番目の議題です。3連トンネル部の掘削計画ということについて、これまでも2回ほど検討してきましたが、今回が最終的な取りまとめになるということですので、しっかりとご意見いただきたいと思います。よろしくお願いします。

それでは、まず事務局から説明をお願いします。

(交通局)

「3連トンネル部の掘削計画について」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。

説明内容としては、前回委員会からの検討深度化、深度化詳細内容、検討結果のまとめでございます。

表紙の次に中表紙がございますので、具体的内容につきましては、2頁をご覧ください。

前回委員会では、地下水に対する抵抗性等を評価し面的パイプルーフと線的パイプルーフの基本配置を確認しています。今回は、より安全に施工するために、新たな視点等も加えて、詳細に検討を進めてきました。

中ほどの表をご覧ください。3項目の視点で追加や見直しを行っており、左側の「掘削時の鋼管隙間部の緩み」につきましては、隙間のある線的パイプルーフを使用した場合、パイプルーフ鋼管の隙間に生じる緩み高さを考慮し、緩んでいない範囲で必要D2層の厚みを確保する考え方を新たに追加しています。

中央の「浸透破壊の照査」につきましては、前回の委員会では、D2層のせん断ひずみが一定の値以下の範囲は、D2層の難透水性が維持できると評価しておりましたが、前回委員会でご出されたご意見を踏まえ、D2層のピーク強度の3分の2未満の力が作用している範囲では、その際に発生するひずみ量からD2層の難透水性が維持できていると仮定し、照査を実施するよう見直しをしています。

右側の「破碎範囲の設定」につきましては、3連トンネル部の中央坑施工時の状況をより詳細に確認し、岩被りの厚さによる評価を行わず、破碎が想定される範囲では、地下水に対する抵抗性を期待しない観点で範囲の見直しを行っています。

表の下「パイプルーフ長の設定」につきましては、面的横方向パイプルーフの範囲では、地山部分の鋼管長さに1m程度差をつけた千鳥配置とすることで、鋼管と岩盤の定着表面積の拡大等による一体性の向上が期待できることから、より安全に施工することを目的とした見直しを検討しています。

4頁をご覧ください。

2頁でご説明しました各項目について、それぞれ具体的にご説明します。

まず、鋼管隙間部の緩みについて、中央下側の断面図にパイプルーフ鋼管の断面を示しております。パイプルーフ鋼管の下部を掘削した場合、パイプルーフ鋼管の間の地盤に緩みが生じることとなりますが、この緩みの影響範囲の求め方として、緩み土圧の計算式を用いて算定したところ、黒色の破線で示しているように、パイプルーフ鋼管の上に約0.4mまで広がる結果が得られたことから、設計上の掘削断面の天端から上方向に約0.9mの範囲は地盤の緩みによってD2層の難透水性が期待できないものとして扱うこととしました。

5頁をご覧ください。

浸透破壊の照査としまして、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、言い換えますと、掘削時の地盤の緩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。

2頁でご説明しましたとおり、今回の検討では、D2層のピーク強度の3分の2未満の力が作用している範囲を青色に、ピーク強度の3分の2以上の力が作用している範囲を黄緑色で表現しています。

左の図は縦方向パイプルーフによる施工で右坑掘削直後の解析結果を示しています。右坑の天端から上に約2.6mの範囲は黄緑色になっていることから、この部分のD2層は難透水性が得られないと評価し、さらに上の部分にあるD2層の厚みで土砂層から作用する水圧に耐えられるのかを評価することになります。

右側には、横方向パイプルーフによる施工で左坑掘削直後の解析結果を示しています。左坑の天端から上に約0.5mの範囲は黄緑色になっていることから、この部分を含めずに、さらに上の部分にあるD2層の厚みで土砂層から作用する水圧に耐えられるのかを評価することになります。

今回お示ししている図は、FEM解析の各ステップを図化したものの中から難透水性が不安定となる範囲、黄緑色の範囲が最大となるステップを抜き出したものとなっています。頁下の赤色のコメント欄に記載しております通り、横方向パイプルーフでは約0.5mという結果が得られましたが、前頁の解析結果では約0.9mの結果が得られていることから、より安全となるよう、約0.9mの値を採用することとしています。

6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、前頁までの検討結果から、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2.6m、横方向パイプルーフの場合は約0.5mとなることを赤枠内に記載しています。

その下の限界動水勾配より算出したD2層厚の欄には、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 を用い、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 4.6m、横方向パイプルーフの場合は約 2.9m 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 層の変形係数は平成 29 年 11 月の技術専門委員会で設定した代表値 $27,840\text{kN/m}^2$ の約 2 分の 1 の値となる $15,000\text{kN/m}^2$ に低減した値を使用した計算も行っています。

今回は、一番左側に記載のケースで、必要 D2 層被りが最も大きな値となっており、縦方向パイプルーフの場合は約 6.2m、横方向パイプルーフの場合は約 4.5m 以上の D2 層の被りを確保できる範囲では、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することが可能である結果が得られました。

7 頁をご覧ください。

この頁は、前回委員会でお示した資料と同様のまとめ方をしたのですが、赤文字の A のところ、十分な D2 層被りの箇所には、5 頁までの検討結果を記載しています。赤文字の B のところ、十分な C2 層被りの箇所につきましては、前回委員会から変更がないため、本日は説明を割愛させていただいております。詳細につきましては、参考資料 2 の 15 頁を後ほどご参照ください。

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 1m 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ると言えます。2 段目の C2 層が 1m 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に分けることができます。

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 4.5m 以上 6.2m 未満で C2 層が 1m 未満となっていることから、表の青色の組合せとなり、左から 2 番目の区間では、D2 層が 4.5m 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、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。

8 頁をご覧ください。

施工実績による破碎範囲の設定としまして、中央坑掘削時の切羽状況をより詳細、確認し、破碎が想定される範囲では、岩被りの厚さによる評価を行わず、地下水に対する抵抗性を期待しないこととしています。

具体的には、平面図右側に赤く着色しております想定破碎範囲として、前回委員会で

は約 10m を想定していましたが、より安全側の検討となるよう詳細に施工実績を確認した結果、約 20m の範囲は難透水性を期待しない設計とすることとしました。

また、※印で注釈を記載しているとおり、トンネル坑内の水抜き前後で 3 連トンネル区間の地表面の沈下量は約 1.7mm から 3.4mm の幅がありましたが、この沈下量の増加がやや大きかった箇所では掘削を行う際は、より慎重な施工を行っていく必要があると認識しています。

9 頁をご覧ください。

パイプルーフ鋼管の配置を工夫することによって、岩盤との一体性の向上等による安全な施工を目指し、検討の深度化を図りました。

左側の千鳥配置の有効性の欄をご覧ください。パイプルーフ鋼管の先端を揃える場合のイメージ図を平面図の上側に、1m 程度交互に長さを変えて施工する場合のイメージ図をその下に示しています。赤色の点線で示しておりますように、定着面積の拡大が図れることから、一定の効果が期待できると考えています。

また、断面図には、パイプルーフ鋼管の先端を 1m 程度交互にずらすことで、荷重や滑り面の分散を図ることとなり、より安全な施工につながることを期待できると考えています。

資料の右側には、パイプルーフ鋼管の長さを 6m と 7m の交互配置とした場合のパイプルーフ鋼管に作用する応力が許容値以内となっているのかについて計算した結果を示しています。曲げモーメントやせん断力によって発生する応力が許容値以内であることが確認できました。

11 頁をご覧ください。

今回実施した検討の深度化を踏まえたパイプルーフの配置計画についてご説明いたします。

資料の見方としまして、凡例に示しております通り、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。7 頁でご説明しました面的・線的パイプルーフと、8 頁でご説明しました想定破砕範囲を重ね合わせた結果、ご覧のとおり、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。

前回委員会で整理した配置計画につきましては、参考資料 2 の 20 頁に示しています。前回と今回を比較すると、D2 層の難透水性が不安定になると想定される範囲を約 0.7m 厚くし、評価することとなったため、今回のほうが面的に施工する範囲が増えています。

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緩みを考慮し、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、今回お示したパイプルーフの配置で施工計画を作成しています。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た計測に加え、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。

説明は以上となります。

(委員長)

基本的には、補助工法としてパイプルーフを使うということです。そのパイプルーフの施工方法として、縦断方向のものと、3連トンネルの中央坑を有効に使いながら行う横方向のものとの2種類の形式があるということと、それに加えて、パイプルーフの長さをどうするかという話ですね、そして、最終的な配置計画は11頁のとおり、かなりの範囲が面的になりますけども、そういう補助工法を採用していきたいという事務局や現場からの提案ですから、そのあたりを中心に言っていただければと思います。

今ほどの説明を聞いて、そういう考え方でいいかどうか、あるいはその考え方に従って、こういうプロセスの検討の結果や解釈に誤りがないか等、確認してもらいながら、質問等頂ければと思いますが、いかがでしょうか。

(委員)

まず、4頁ですが、この緩み高さの計算で、黒い点線が入っていますが、これは、鋼管と鋼管の間を空洞と考えたという式ですか。

(交通局)

その通りです。

(委員)

それでいいのでしょうか。空洞の部分に緩み高さの幅が生じて、その隣の空洞のところに緩み高さの幅が生じて、両方の山が交わるような部分が緩み高さとして設定されるべきではないですか。緩み領域というのは、中に空洞であるわけではないですし、しかもここでは、隣両方は変形しないという前提条件ですよ。

(交通局)

私の回答で誤解を与えているようですのでご説明します。中央に記載している茶色の断面図の中の白く塗っているところは、鋼管内部にセメントミルク等を充填する計画と

しており、この白い部分は緩まない想定をしています。この鋼管と鋼管の間の茶色の部分が左右坑掘削時に緩んでしまうという想定で検討をしています。

(委員)

それでは、その時の緩みの径はいくらで計算しているのでしょうか。

(交通局)

ここでは、 $2 \cdot B1 = 500\text{mm}$ と記載しておりますので、緩みの径は 500mm よりもやや小さな直径の円で計算をしております。

(委員)

この表示は誤解を生むので、ちょっと表示を書き直してもらいたい。

(交通局)

誤解のない表示を検討します。

(委員)

鋼管と鋼管の間に点線で丸を書くとか、ここが 500mm の空洞ですよ、だからこの緩みがこうありますという書き方をした方がいいと思います。

(委員長)

鋼管の中は詰め物をしますよね。だから、鋼管の中は、がっしりとした造りになるわけですね。

(委員)

正確に言うと、実際は鋼管を打つと鋼管の周辺はまた緩むわけですから、 100% 緩みがないということはないので、本当は 500mm で足りるのかどうかというのは、微妙なところではあります。

それから、次の5頁ですが、難透水性が不安定となる領域である 2.6m という高さを出すときに、解析上、緑の範囲のメッシュサイズに依存すると思いますので、その解が 2.6m だったからと言って、きっちり 2.6m としていることで、 2.6m のうちの小数点以下が効いているのはちょっとどうかと思いました。要するに、メッシュの中で積分しているからその部分がちょっとはみ出して 2.6m になっているということではないかと思います。だから、メッシュサイズを変えると、ひよつとしたら 2.7m とか 2.4m になってしまうのではないのでしょうか。

(交通局)

解析上、ご指摘のようなケースがあることを認識はしておりますが、今回の検討では、結論として、D2層の厚みがあるから線的パイプルーフを使うという結果になっていないことから、ある程度割り切った考え方で示させていただいております。

(委員)

その考えもわかりますが、そのまま2.6mという数値を使って表示すると、解析がよくわかってない人が書いているなという感じがしますし、外部からそのような指摘を受ける可能性がありますので、あまり明確に記載しないとか、メッシュサイズに依存するということを付け加えて書いておく必要があると思います。もしくは、2.6mを越えて、一要素先まで安全側を見て伸ばしておくという手もあります。どの方法を用いるべきか判断は難しいですが。

使わないからいいという考えもあるかもしれませんが、ここで一律2.6mと書いているのはちょっとどうなのかなと思います。結局、面的な検討のところ、この2.6mという数値が意味をもたなくなっているというのは理解できますが、表示する以上、この資料が出たときに、あまり断定的な数値が出ると良くないと思います。

(委員長)

これはどうですか。このような複雑な要素分割は、計算するとき、それに見合うぐらい小さくしているのではないですか。そして、それが2.6mぐらいのところ、落ち着いているという意味合いなのでしょう。

(交通局)

FEM解析の際の要素の大きさについては、使用する解析ソフトによって、設定できる節点数に上限があるなど制約があります。前回の委員会資料で同様の分割数で説明をさせていただいておりますので、ご理解をいただきたいと考えています。

(委員)

積分要素の積分の式が違ったら、これが2.6mから2.7mに変わるわけじゃないですか。それはプログラムの特性に依存しているということではないですか。

(委員長)

有効桁数、有効数字をどう言うかという話になる。2mから3mと表示するかどうかと、いった話なので、これをあまり掘り下げてもどうかと思います。

(委員)

記述する際に、約を付けておくべきと思います。

(交通局)

6頁の説明文には約2.6mの記載がありますが、ご指摘のとおり、5頁の図には記載がありませんでした。その点を修正させていただきます。ありがとうございます。

(委員)

それから、それを7頁の縦断面に適用する際に、今まではD2層を、Dh層等が全く混在はしていない単一層として考えているわけですよね。では、そういう単一層でD2層だけがある場合の計算と、例えば下にDh層みたいな柔らかい層が挟んだ場合の計算との違いの整理は、本当にこれでいいのかという点がちょっと疑問として残ります。要するに、それよりも安全側に見ているならいいけれど、そういうわけではないですよね。そこをどう考えるかというのは、明確なところが必要かなと思います。

(交通局)

今回の解析では、地質調査の結果から整理したD2層とDh層の変形係数を用いて解析用の地層モデルを作成していますが、その際、地質調査の結果から整理したDh層の変形係数が、D2層の変形係数よりも大きい値であったことから、炭質頁岩の部分をD2層の変形係数に落として解析をしています。よってご指摘の部分につきましては、より安全側の検討となっているものと考えています。

(委員)

その場合のDh層は、ほぼ無いとするか、もしくは空洞と考えるべきではないですか。

(交通局)

そこまでは低減させず、D2層と同等の変形係数を有していると仮定して検討しています。

(委員)

二次元の計算を三次元の中に略断面として投影するというかたちになるので、やっぱりその点について、きちんとロジックを組んでおかないと、あとから突っ込まれたときにはかなり厳しい評価になるのでは無いかと思います。

それともう一つ、9頁の千鳥配置ですが、これで定着の表面積を確保すると言うのはちょっと違うと思います。二次元断面で見ているから、 $45^\circ + \phi/2$ で計算できるという話であって、これで本当に定着面が拡大し、すべり面が分散するのでしょうか。

これは、すべて $45^\circ + \phi/2$ という角度は、二次元で断面切って奥行きがずっとある場合、つまり金太郎飴の状態であればそのとおりですが、こういうデコボコがあったらひょっとしたら角度自体も変わるかもしれないし、本当に荷重が分散せず、すべり面が分散するというので、本当に安定する方向に働くのかというのはちょっと分からないです。

(交通局)

ご指摘のとおり、一般的な設計では見かけない考え方をしているところがございます。

9頁の下の図のすべり面については、図に示していますとおり、綺麗にずれて発生するとは考えていませんが、全てを揃えてしまう場合は、滑ろうとする力が同じ個所に働いてしまう傾向があると考えられます。それを1m程度ずらすことによって一箇所に荷重をかけないという効果は期待できるのではないかと考えています。

上の平面図につきましては、記載どおりに定着表面積が拡大するとは考えていませんが、千鳥配置とすることで、効果はわずかであるかもしれませんが、一体性の向上が図れるものと考えています。

(委員)

ですが、ある時には鋼管と鋼管の間が緩むと言っていて、強度が下がる訳ですよ。それで、本当に一体性の向上が図れるのですか。ここが緩むと考えて、最初から地山としての荷重を期待しない方が結果的に安全側ではないかなと思います。

(委員長)

今の議論に絡むことですが、どの程度の長さが基準になるのでしょうか。6.0mの長さが基準で、7.0mを一つおきに置いてより強化するという解釈なのか、7.0mが基準で、摩擦といった抵抗力を持たせるためにギザギザにすると、少し手前に削るという見方をするのか、どちらの見方が正しいかというのを確認したいですね。

それさえはっきりすれば、今回の方法で安全だと私は理解しますが、いかがでしょうか。

(委員)

パイプルーフ自体にこのようなせん断力が作用するというよりも、片持ちの支えの部分に作用すると思います。そうすると、そこのすべりを考えるよりも、長さをきちんと伸ばしておいた方が片持ちの支持としてはしっかりと定着して支持するのではないかと私は思います。

(委員長)

もともと、6.0mの長さが安全を考慮して決まったものであるならば、それを基準にまず考えて、それをずらりと並べればよい。やや不安材料が残るということで、より安全にするために7.0mも交互に入れるという考え方なのか、6.0mと7.0mのどっちを基準に考えるべきなのか、それを確認したい。

(交通局)

パイプルーフの長さとしては、前回の技術専門委員会で、6.0m、7.0m、8.0mの案を示しており、6.0mの場合は、片持ち梁のような傾向が出ているということをご説明しています。6.0mの場合に鋼管に作用する力がどの程度なのかを解析する方法として、FEM解析によるものとフレーム解析によるものの二通りがあり、FEM解析による結果を見ると、片持ち梁の傾向は出ていませんが、もう一方のフレーム解析による簡易な計算結果によると、やや片持ちの傾向が出ていることを前回の技術専門委員会でご説明しています。

3連トンネル部のパイプルーフは、浸透破壊のリスクに対して、掘削天端上部に人工的に強固な天井を造ることで対策を取ろうという発想で計画しているものであり、掘削時の切羽の安定を図ることを主たる目的で設置しているものではありません。

これらの考え方から、パイプルーフの先端部分に集中的に荷重をかけるよりも分散させたほうが、より安全ではないかとの考えから、今回の方法を提案しています。

(委員長)

基本的にはどの長さが必要なのかをはっきりさせたほうがよい。その上で、より安全策を練っていく。現場で試験的に実施するなど、先端部の安定性について、なにか感触を掴む方法は無いのでしょうか。

(交通局)

参考資料2の23頁において、試験施工を実施することや、どのようなデータを取るのかを示しています。一番下の赤ハッチングの欄に記載しているとおり、最初にパイプルーフを施工する区間を試験施工区間とし、パイプルーフ削孔時には、削孔速度や排土土質、例えば、炭質頁岩層を削孔した場合は黒い水が出ることなどの確認しながら、データを整理するとともに、左右坑の掘削時にも、各種計測を実施するよう計画しています。

(交通局)

ちょっと説明させてもらっていいですか。

今回の検討で、結果として面的が増えてきた訳ですが、面的にすれば、線的より全て

優位かというそうではなくて、定着のさせ方としては、線的の串状にした方がいいということで、両方の良いところをとってこういう形にしたというのが設計思想です。

それともう一点、掘るときは、図に示しているようなすべり面ができる状態にいきなりなるのではなく、切羽が前方にかなり進んだ時に、この状態になることが考えられるわけですが、実際には一間ずつ、1m ずつ掘っては、一次覆工を施しながらトンネルを掘り進めるわけですから、地山が解放されている瞬間は、縦方向の変形で支配されているわけです。切羽が進んで横方向の変形が支配する頃には、一次覆工が施されており、横方向の変形への備えは完了しています。また、パイプルーフの役割ですが、地山は弾性体としては一定の自立性があるわけですが、地山の強度のばらつきを念頭に局所的な弱部からの浸透破壊に抵抗するための対策として、こういう形にしています。一間毎に掘削すれば、基本的には大丈夫ということをご提案しております。

(委員)

炭質頁岩は、固いところもあるけども、非常に柔らかくて、もう粘土化しているところもありますよね。そこに入っていくと思うと、何か途中で残してしまった部分が剥がれやすくなってしまったり、弱い部分が残っていた場合に、本当に摩擦抵抗が期待できるのかとか、そう思うと弱いところだからこそ、場所によって、崩壊の仕方も違うので、全体で受けるような方法がよろしいのではないかと思います。そこに定着させるということを考えたときに、短い範囲の中でものを残してしまうと、そこが壊れやすいところになってしまうという考え方もあると思います。

(委員長)

そういう可能性もあるということですね。

(交通局)

全体の地山として、弾性体としては基本的にこれがなくても支持できるという話です。浸透破壊的な解析から見たときに、弾性変形内であっても、ある程度緩ませると亀裂が入って、そしてそこが水みちになっていく可能性があるから、その緩み具合のところに剛性がある鋼管を多く入れて、岩盤がたわまないようにしようという趣旨です。基本的には、パイプルーフが無くても弾性体としてのトンネル自体はもつわけで、剛性の面があれば、局所的な弱部が点在する D2 層や Dh 層に備えられるという考えです。

(委員長)

既に3連部の真ん中を掘っているから、安全なのかもしれないけれど、まあ用心するに越したことはないと思います。今のようなことを踏まえた上で、パイプルーフを入れている時に感触がわかるのではないかなと思うので、それに注視することですね。

また、今日は説明しなかったけれど、細かく分けて掘って行って吹付をして、1m 進んではまた同じことをやっていきますよという、その手順との組み合わせの中で、これでいけるかどうかというのを現場で最終確認されていくといいのではないかと思います。

(交通局)

隣接する開削部から見た地質について申しますと、切羽が吹付なしで直に立っている状況があり、その中に一部炭質頁岩があって、部分的に柔らかいところや、脆いところがあるかなという状況です。

また、本日議論していただいている補助工法的前提条件となります3連トンネル上部の岩盤の厚みですが、中央坑が4m くらいで、左右坑は天端がやや低くなりますので6m くらいの厚みになり、全体的には厚みが増えているという状況です。慎重にやるのは当然なのですが、施工条件的には若干いい面も出てきていると考えています。

先ほど説明しましたとおり、今後、試験施工を考えていまして、パイプルーフを縦断的にやる箇所と横断的にやる箇所、両方含めて試験施工の区間を設けていますので、これで周辺地盤の動きや坑内の内空変位等のデータを整理し、その都度、長さの妥当性を判断して、検討しながら進めていきたいと思っています。

(委員長)

それがいいですね。試験施工してちゃんと確認しながら進めるということですね。○委員は現場の目から見てどうですか。先ほどの議論についてどう思いますか。

(委員)

開削の現場の炭質頁岩を含む頁岩層は、吹付なしで自立しており、すぐ下にまで近づくことができることから、岩自体は比較的安定していると思います。我々のトンネル現場の切羽でもなかなか無い状況です。この状況から、横方向のパイプルーフの位置付けの一つとして、掘削を進めるうえで切羽前方からの崩壊を防ぐための補助工法として考えることもできるかと思います。また、前回、横方向のパイプルーフの場合、ナトムグラウンドアーチの形成が阻害される可能性があり、パイプルーフ下の岩盤の剥落をどうするか、という課題についてお話しました。そこで提案ですが、参考資料の22頁に当初計画と現計画の比較が描いてあり、3連Ⅱ型のトンネルの下の方を見ると、当初計画ではAGFとしているところを現計画ではパイプルーフに変更しますが、ロックボルトに注目すると現計画では上半上側に空白部分があります。この部分にロックボルトを追加し、しっかり縫い付けることが剥落抑止対策として有効かと思いますので、検討お願いいたします。

(委員長)

試験施工の結果、その必要性があれば、そういうことも検討したほうがいいという話だと思いますが、よろしいでしょうか。

(交通局)

ご助言いただき、ありがとうございます。

(委員長)

〇〇委員、何かございますか。

(委員)

7頁の土質の縦断図では、C2層やD2層の被りとして、それぞれ1.5mや0.8mと書いてありますが、この値は、それぞれでボーリング調査をした結果になっているのでしょうか。いくつかのボーリングのデータをつなぎ合わせて作った縦断図上の値であるならば、途中が本当にこうなっているのかというのは、掘ってみないとわからないわけですよ。

掘ってみたときに、仮に確保されていない場合、その時、11頁のパイプルーフの配置計画をどう考えるのかというのを教えていただきたい。

(交通局)

ご指摘のとおり、7頁の作図は数値を記載しているところそれぞれにボーリングデータがあるわけではありません。この縦断図は、3連トンネル部の地上部から実施したボーリングデータをもとにモデル化したものですので、数値を記載している個所の層厚が確保されていない可能性も想定できます。

なお、中央坑よりも左右坑は2m程度低くなっていますので、中央坑掘削時に天端付近でC2層が確認できた箇所では、左右坑上部にもC2層が存在しているものとして設計ができるものと考えています。

実際の施工においては、C2層とD2層では、パイプルーフの削孔速度が違ってきますので、削孔箇所において、C2層が存在していないということが確認できれば、2本目を打つ段階で、鋼管の間に隙間をあけず、面的な横方向パイプルーフとして施工を進めていく考えとしています。

一旦想定したものが正しいという考えで進めるのではなく、必要な情報を収集しながら、より安全な施工になるよう検討していきたいと思います。

(交通局)

補足ですが、標準部から3連部区間で、この両サイドで4箇所ずつ、計8箇所でのボ

ーリングを実施した上で、三次元データとして作図していますので、通常の工事に比べると、精度的には高いものと認識しています。

(委員)

縦断方向には中央坑のデータがあるほか、追加のボーリングデータがあるということと、左右はそれほど大きく傾斜していないだろうということが追加ボーリングの結果でだいたい把握できているということですね。

(交通局)

中央坑のデータ及び左右坑から横断方向に離れた箇所についても、2箇所ずつ調査して確認しましたので、精度的には高いのではないかと考えています。

しかしながら、ご指摘のとおりジャストポイントのデータにはなっていません。

(委員)

今後、施工をみながら状況を判断していくということですね。ありがとうございます。

(委員長)

他に何か今の件についてありませんか。

(委員)

パイプルーフとパイプルーフの間は防水をするような施工を考えていますか。

(交通局)

パイプルーフ鋼管の中には、セメントミルクのようなものを充填する計画としており、鋼管の先端から地山と鋼管の隙間を伝って充填材が溢れ出ることを確認し、充填完了としますので、面的パイプルーフの区間では、鋼管と鋼管の間は充填材で一定の水を通さない塊ができるという考え方です。それ以上の止水対策は考えておりません。

(委員)

面的パイプルーフの区間では、それで止水を考えているということですね。

(交通局)

そのとおりです。

(委員)

ナトム掘削時のためにも、パイプルーフ施工時に水が出てくるかよく観察をしておい

てください。

(委員長)

よろしいですか。今までの議論を聞いていますと、やっぱり慎重な施工は必要で、そういう意味でも、今日出た意見の中で、ロックボルトの追加は考えられるのではないかと思います。〇〇委員が先ほどおっしゃったのは、中央坑よりも斜めから横の方にかけて空いたところですかね。ただ、そういうことをやる必要があるのかは今後、確認してもらえればと思います。

(委員)

パイプルーフと一番上段のロックボルトの間がかなり空いていますので、その空いている箇所に追加してみてもどうかと思います。

(委員長)

その空いている箇所を詰めるということですね。必要性があるかどうかは確認しなければなりません、そのような対策も考えられるということは参考にしてほしいということです。

それから、試験施工は、縦パイプルーフのほうは割と実績のある施工方法ですからいいとして、できることなら、横パイプルーフの場合については、しっかり定着するかどうか、例えばトルクの変化だとか、あるいは回転した時の進み具合とか観察できるように、試験施工の手順に加えてもらえればと思います。

また、施工中は〇〇委員の意見でもありましたように、観察に尽きるとしますので、少しでも水が漏れるところがあれば、そこを速効性のもので吹き付けするとか、変位がちよっと心配される場合は、途中で支えを入れて工夫するとか、そういったことも場合によっては必要だから、その準備だけは事前にやっておいた方がいいのではないのでしょうか。

あとは、パイプルーフの配置計画は、今日の提案を基本にして、先ほど意見のあったような注意すべき事項を施工中に確認しながら、慎重な施工をお願いしたいということでまとめたいと思いますが、これでよろしいですか。

ではそのようなまとめで、議題の3は終えることにしたいと思います。

以上で、本日の議題はすべて終えるということで、事務局に司会を戻したいと思います。

(事務局)

委員長、委員の皆様ありがとうございました。

それでは閉会にあたりまして、交通局理事よりご挨拶をさせていただきます。

(交通局理事)

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、大変熱心にご議論いただき、誠にありがとうございました。

本委員会でも進捗状況をご報告させていただきましたとおり、おかげさまで各工区順調に進んでおります。ただ、順調に進んでいる時こそ、我々は改めて気を引き締めて取り組んでいかなければならないと覚悟しているところでございます。

今後とも安全第一で着実に事業を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、ご助言をよろしくお願いいたします。

それでは、これをもちまして、第14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。

(事務局)

ありがとうございました。

以上を持ちまして、本日の技術専門委員会を終了させていただきます。本日は、長時間にわたりありがとうございました。