

第10回 福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会 議事録

日時 平成29年11月7日(火) 10:30 ~ 16:00

場所 福岡市交通局 4F 大会議室

議事等

- 1 道路陥没部やトンネル坑内の現在の状況について
- 2 地質調査結果について
- 3 再掘削工法について
- 4 地盤改良について

(事務局)

定刻となりましたので、第10回福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会を開催させていただきます。本日進行を務めさせていただきます、福岡市交通局建設課建設推進係長の原でございます。どうぞ、よろしく申し上げます。

初めに、福岡市交通局理事の山本より、ご挨拶を申し上げます。よろしく申し上げます。

(山本理事)

おはようございます。山本でございます。本日は、樗木委員長をはじめ、委員の皆様におかれましては、大変お忙しい中、10月4日に引き続き、また、午前中の開催にもかかわらず、ご出席いただき、誠にありがとうございます。まず、工事につきましては、アンダーピニング区間や中間駅工区におきましては、安全を第一に今、取り組んでいるところでございます。

さて、明日11月8日で道路陥没事故から1年を迎えます。本日10時から行われました市長の定例記者会見におきましても、市長はこの事故に触れまして、陥没事故を起こしたお詫びと安全を最優先で、一歩ずつ着実に七隈線延伸事業を進めてまいりますという旨の発言をされたと聞き及んでいるところでございます。

本日は、ナトム区間における地質調査の結果報告を行うとともに、これまで本委員会でもいただいたご意見を踏まえて検討いたしました再掘削工法や地盤改良などにつきまして、ご討議をいただき、とりまとめをお願いしたいと思っております。そのうえで、交通局で再掘削工法等を決定し、着実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たします。

(事務局)

山本理事，ありがとうございます。

本日，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，これを持ちましてご紹介に代えさせていただきますが，本日，東京地下鉄株式会社常務・鉄道本部長の野焼委員，東京都交通局建設工務部長の野崎委員におかれましては，ご都合により，欠席となっております。

また，福岡大学の佐藤委員におかれましては，少し遅れる旨のご連絡をいただいております。

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。報道機関の皆様におかれましては，ご退出をお願いします。なお，本日の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，どうぞよろしく願いいたします。

次に，資料の確認をさせていただきます。資料の不足等がございましたら，恐れ入りますが，お知らせをお願いします。

本日のスケジュールでございますが，午前中に 2 件の報告と，1 件の討議事項の説明までを行い，昼休みをはさみまして，午後から 1 件の討議事項の資料の説明と，討議事項の 2 件をあわせての議論をお願いしたいと思っております。最後に本日のとりまとめをお願いし，終了させていただきたいと考えております。

それでは，これからの進行は榑木委員長をお願いしたいと思います。委員長よろしく願いいたします。

(委員長)

みなさん，おはようございます。ご承知のように，ちょうど 1 年の節目を迎えることになりました。その間色んなことありましたけども，特に私どもの委員会としては，第三者委員会が終わった後を受けて，本格的な再開に向けての地質調査。それを踏まえた工事の再開のあり方。これを慎重に討議してまいりました。その討議の過程で，ほぼ 1 ヶ月に 1 回くらい何らかの形で，皆様方にご迷惑をかけてきたのではないかと思います。そういう意味では多大に皆様方に迷惑をかけ，ご苦勞をかけてきたこの委員会が，今日を迎えたということですが，議題として，後であがっておりますように，大方の方向付けがなされるという節目の時にになりましたので，皆様方には大変申し訳ないのですが，今日は少し時間がかかっても，一気に整理をするというほうがいいのではないかなという考え方で，今日はこうして午前中から開催させていただき，午後も多分 4 時か 5 時くらいまでかかるのではないかと思います。大変恐縮ですが，ご協力をいただければと思います。

午前中の方は，これまた地質調査の結果を整理した最終形を皆さん方で見いただく

ということが主要な議題でございます。それからもう一つは、午後からの大事な議題である、再掘削の考え方、工法についての比較検討の整理をさせていただいて、一つの方向を出そうというのが大きな議題の一つ。それからもう一つがこれからの再開にあたってどうしても避けて通れない、ずばり強化、これをどう確実に、そして安全なものにするかという視点で、検討をしていただいて、一つの方向を出していただくという、この二つが午後の会議の主要なものになります。この二つがやはり何と言っても大事なところになりますので、時間をそちらの方にかけてでもやらなければいけないというように思います。そういう意味では、午前中は少しリラックスして、これも3回目になりますから、皆さん方のご意見を聞きながらやっていただき、午後は少し苦勞されると思いますが、頭を働かせて頑張っていただければ大変ありがたいということをお願いしまして議事に入らせていただきます。どうぞよろしくお願ひいたします。それでは、最初に道路陥没部やトンネル工事の現在の状況を、この1ヶ月の変化を中心に簡単に報告していただければと思います。それでは説明をお願いします。

(大成JV)

説明をさせていただきます。

資料は、報告資料の1になります。

現在の状況ですけれども、まず2ページにこれまでの時系列をまとめてございます。先程、理事のご挨拶にもありましたように、去年11月8日の陥没以降、このようなフローを取りまして、先月10月4日の委員会開催に続いて本日11月7日が第10回の委員会開催となっております。

3ページです。これは先月ご報告させていただいた内容と変わっておりません。黒いところがトンネル掘削済みの領域、白いところがこれから掘削する必要があるところということになっております。

4ページ以降が計測データです。4ページ、5ページにトンネル周辺の地下水の状況を示しています。5ページの経時変化が載ってございますが、これについては先月のご報告以来、特に大きな変動はございません。

6ページ及び7ページが地表面沈下の計測状況でございます。これについても地下水同様に、この1ヶ月特に大きな変動は見られていないということで、計測の結果からは現在は安定している状況にあると考えています。簡単ですけれども、現在の状況報告については以上でございます。

(委員長)

何かご質問はございますか。

この1ヶ月経っても大きな変化はない。従来からの傾向がそのまま続いているということではよろしいですか。それではそういう状況を踏まえた上で、次に移らせていただきます

す。

地質調査の結果でございます。これについてご説明をお願いします。

(大成JV)

引き続きご説明いたします。

資料は、報告資料の2でございます。これまで6月以降、地質調査を実施してまいりました。2ページに今回行った地質調査の目的をまとめてございます。

主に今回の地質調査は、道路陥没影響範囲の形状の把握、調査の精度向上を目的に実施してまいりました。

5, 6ページに地質調査の項目を示しています。当初計画していた項目から委員会でご討議ご指導いただいたものを反映し、調査の充実を図って最終的にこのような項目を実施いたしました。

結果ですが、まず道路陥没形状の範囲の想定を7～9ページに記載しております。この3ページは前回委員会資料から変更ありません。7ページに示したように道路陥没中心からおおよそトンネル横断方向に対して約11.6m、縦断方向に対しては約6m、図面で緑色の破線で示しているところですが、ここのトンネル上部でD2層を確認できなかった領域があるということが分かっております。

8, 9ページには崩落影響範囲の縦断図及び横断図を示しております。大断面部の地盤改良を考えるうえで、このような崩落影響範囲を念頭に検討を進めてまいりました。以下、地下水の流動の調査結果等を載せております。

15ページからは各層の工学的な評価について説明をいたします。まず15ページから25ページは、D2層いわゆる強風化頁岩層と呼ばれる層に対する工学的評価です。D2層はトンネル上部に位置しており、設計上は止水及び強度というものを期待している層です。

16ページは、このD2層に対する変形係数についてまとめたものを記載しております。一番左には孔内水平載荷試験等で得られた変形係数、なかほどには分布、右にはヒストグラムを載せております。前回もご説明しましたが、特に変形係数はD2層の中でもDc2層でいえば7,800から211,700kN/m²、Ds2層でいえば10,100から399,300kN/m²と非常に広い範囲でばらつきがあるということが今回の調査でわかりました。

17ページですが、これは強度定数いわゆる粘着力cと内部摩擦角φに対する評価です。ここでも同様にDc及びDsに分けてそれぞれ分布を示しております。Dc層に着目するとcは0～39.3kN/m²、内部摩擦角で見ると28.2°から43.9°というばらつきがありました。Ds層についても同様のばらつきを確認しております。

18ページについては、ひとくちにD2層といっても様々な性状があることも確認できました。ここには特に、道路陥没部、大断面トンネル部付近で撮られたコアの写真を並べております。

19 ページに物性と性状の比較をしています。例えば、一番上段ですと、変形係数が一番小さかった $7,800\text{kN/m}^2$ という値は、非常に破碎された区間から得られたものであり、非常に大きな変形係数 $399,300\text{kN/m}^2$ というのは D_s の中でも礫質のところから得られたものであり、性状や値が非常にばらついているということ把握しております。

20 ページに、道路陥没部付近で得られました変形係数のばらつきにつきまして平面図に落としています。各丸い点がボーリング孔を示しており、黄土色で着色しているところが D_s 、ピンク色で着色しているのが D_c です。大断面トンネル上部の概ね北側には D_s が、南側には D_c が分布していることが分かります。

次に透水係数に関する試験結果です。22 ページ以降に示しております。透水係数は概ね $1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ を中心として、おおよそ 1 オーダー程度に分布しているということが把握できました。

23 ページ及び 24 ページは大断面トンネル部、および標準～3連トンネル部のどこでそういう値が得られたかということを示しております。

25 ページに今説明した内容をまとめております。 D_2 層には性状にも大きなばらつきがあるということが分かりました。写真で見られますように、例えばリモナイト脈が濃集するようなもの、せん断割れ目が発達するようなもの、礫が混じっているようなもの等がありました。また、変形係数やせん断強度の値にもばらつきがあることが分かりました。同様に透水性についても $1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ を中心に、1 オーダー程度に分布しているという結果が分かりました。以上が今回得られた調査の D_2 層に対する工学的評価です。

次に、標準Ⅱ型区間から博多駅側に向かって分布している炭質頁岩層の工学的評価について、26 ページから 31 ページにまとめています。

26 ページ上段には地質縦断図、下の方には横断図を示していますが、これが現在、地質調査や切羽観察結果を踏まえ作成しました地質の三次元モデルを縦断、横断で示したものです。グレーで示しているのが炭質頁岩層の分布になります。おおよそ、3連トンネル部で言いますと、天端付近に分布していることが把握できています。

27 ページにコアの性状の写真を載せています。こちらも D_2 層と同様に様々な性状があり、炭化が進んでいるもの、進んでいないもの、破碎されているものということで、非常に性状もばらついていることが確認できています。

28 ページには変形係数を、下の方には強度定数を、29 ページには透水性をまとめています。これも D_2 層と同様に非常にばらつきがあるということを確認しております。

まとめたものが 31 ページになります。この炭質頁岩層は大断面トンネルからは確認はできていません。切羽でも出てきませんでした。3次元的な分布については、標準Ⅱ型から博多駅側に分布していることが分かっています。変形係数、強度定数、透水性については、各々ここに記載したようなばらつきがあることを確認しておりますし、コアの性状につましても、性状の変化が激しい層であることが特徴であります。

続いて、大断面トンネル部ですけれども、32 ページには陥没後、道路再開に向けて

施工した流動化処理土層の工学的評価を示します。

33, 34 ページにはその下の再堆積物領域いわゆる緩い砂層に対する評価を示しております。

35, 36 ページはその下位の博多粘土層に対する評価をまとめてございます。

特に緩い砂層, 33, 34 ページに載せています層は, 今後地盤改良の対象になる層でございまして, 特に 34 ページの右下に示しました粒度分布とういものが地盤改良を考える上でファクターになってくると考えております。また, 同様に博多粘土層についても, 今後, 地盤改良を実施していく対象となる地層になる訳ですけれども, ここでも粒度分布を記載しました 36 ページの円グラフ, これが一つの地盤改良工法を選定するうえでの要素となってくるであろうと考えております。

地質調査の最後に, これまでトンネルを掘ってきた切羽の情報と今回行いました地質情報を並べたものを 38 ページ以降に示しております。

38 ページには先ほど示しました上段の方に地質縦断面図, 下段の方には各トンネルの横断面図並びに地質を示しております。まず, 道路陥没部, 大断面部付近ですけれども 39 ページに載せてございます。

39 ページは崩落孔中心線で切った横断面図に対して, 上側には切羽の写真 2 枚, 下側には得られた調査結果のコア写真並びに簡易柱状図を示しております。こちらの特徴としましては, 炭質頁岩は分布しないことをコア及び切羽の状況から確認しております。同様に 40 ページは崩落孔中心から前後 3 m 付近にあります断面について, コア写真, 並びに今回得られました地質調査の断面図を載せてございます。ここでも同様に, 炭質頁岩は存在していないことを確認しております。

41 ページには標準 I 型付近の状況, 42 ページには標準 II 型付近の状況を示しています。特に 42 ページに示しました標準 II 型ですけれども, ここから炭質頁岩の出現が始まっております。左上に示します 158 基の切羽, 左上この茶色い色が炭質頁岩の始まりでした。そこから博多駅側に掘削を進めるにあたって, 上の方から黄色い D2 層, 中央部には炭質頁岩の Dh 層, 下側に頁岩層が分布します。また, 博多駅に近づくに従って, この炭質頁岩及び強風化頁岩層が徐々に上のほうに移動していくというような分布が見られました。

43, 44 ページは, 博多駅側に進んだ 3 連 I 型から II 型にかけての区間の切羽の写真および調査結果でございます。炭質頁岩層は, おおよそトンネル上半部に出現したことで, 下の方に比較的健全な岩盤が分布しているという状況を確認しております。

最後 45 ページになりますけれども, ここは一部切羽の破砕が見られて, 切羽の安定性が悪かった区間の状況です。基数でいきますと 255 基~265 基というあたりなのですが, 天端にあった炭質頁岩層が一部破砕されておまして, 切羽の自立が少し悪かったという状況でした。真ん中にはトンネルの横断面図, 上側にはトンネルの平面図, 縦断面図を示しています。これらの状況は, 今回の地質調査結果のボーリングでも破砕さ

れた炭質頁岩層を確認しております。

報告資料2についての説明は以上となります。

続きまして、ここまでが調査結果についての簡単なまとめなのですが、これら調査結果を受けて、どういう代表物性値を採用していったかという説明までをさせていただきます。資料の方は、参考資料になります。

今からご説明させていただくのは、この参考資料のうち、参考1と書かれているものから参考3と書かれているものについて、ご説明をいたします。すなわちD2層の代表的な物性値、続いて炭質頁岩層Dh層の代表的な物性値、最後に博多駅工区の静止土圧、これは解析的検証において非常に大きなファクターになる静止土圧係数の評価というものの三つを説明します。

まず、D2層に関してですが、参考1の2ページには、今回得られたデータを一覧表で示しています。表の横の方向に各エリア、青いところに大断面部、オレンジのところに標準部、緑のところに3連部で得られたデータを載せています。縦軸は岩種によって分けておりまして、一番上段がDc2、中段にDs2、下段に礫質のDs2という3つの岩種で分けております。

3ページですけれども、まず、大断面部付近の変形係数に対する代表的な物性値の考え方ですが、3ページ右側の平面図を見ていただきますと、先ほども少し触れましたが、概ねこのDs2層が優性に分布しており、北側からトンネル天端付近に分布していることがわかりました。従いまして、このDsで得られた物性値に着目して整理をしています。得られた変形係数は左Ds、黄色で囲んだ範囲の左のほうに表で示しております。得られた物性値そのものは18,900~55,200 kN/m²とばらつきがあるのですが、これを標準II型トンネル掘削完了後に逆解析したときの値87,000 kN/m²で相対化してみると、概ね今回得られた値は、逆解析で使っていた値の約32%付近に概ね分布するということがわかりました。従いまして、ここの大断面付近の変形係数としては、標準II型で使った逆解析の値の約32%、27,400 kN/m²というものを代表値として検討を行なっています。

4ページには強度定数に関する考えを示しています。c、φ、それぞれとられた値というものは非常にばらつきが多かったのですが、委員の方にご相談させていただく中で、土のせん断強度τで考慮することや、土被り相当の拘束圧に着目して下さいというご指導をいただき、c、φをτに直して土被り相当の拘束圧で割ったような指標で検討してみますと、概ね優勢に分布するDsといわれるところが0.8付近に分布するということが分かって参りました。そこで大断面付近の強度定数については、概ねこのτ÷σが0.8相当に位置するC-5のcが11.2 kN/m²、φ36.2°をまず代表値として選定しようと考えています。

5ページの方には透水性について分布を示しています。優勢に分布するDsについては概ね1×10⁻⁵cm/sec程度に分布しているということが確認できています。従いまして、

ここはリスクに応じて最大値及び最小値を使い分けて、これら透水性に関する代表物性値としようとして今考えております。

6 ページ及び7 ページ、8 ページは標準から3連トンネル部についての物性値に関する代表値の考え方を示しています。それぞれ代表値の選び方は大断面トンネルと同様の考え方で行っておりまして、変形係数については逆解析で使った時の値 87,000 で割った指標を見てみますと、概ね 55%以下の分布が非常に多くあるということに着目いたしまして、このグループの平均値が約 32%、これは偶然なのですけれども、大断面部と同じで逆解析の値の 32%を代表値としようとしております。

7 ページには強度定数について先ほどと同様にまとめました。せん断強度に直して拘束圧で割ると概ね 0.8 という辺りに分布しているということが分かりましたので、それに近い値これは S-2 から代表値をとって、 c' を 13.3 kN/m^2 、 ϕ を 35.2° という値を代表値に選んでいます。

8 ページに示しました透水性については、先ほど同様、最大値及び最小値をリスクに応じて使い分けるという考え方になっています。

9 ページにこれまで説明させていただいた内容をまとめています。この表は左が大断面、右側に標準部から3連部について各々変形係数、強度定数、透水性について代表値を赤字で、並びにその代表値を選んだ考え方を示しています。現在ここに書かれた代表値を持って、様々な検討をしているところでございます。ここで示しました代表値を見てみますと、10 ページの方になりますけれども、これは JR TT さんの岩級区分表で言いますと、おおよそ S の 2 番に相当するだろうと考えます。この結果は福岡市交通局岩級区分でいうと D2 層を N 値 50 以下と定義していることとほぼ整合している結果であることが分かりました。ここまでが D2 層の代表物性値の考え方です。

続いて、炭質頁岩層の代表物性値の考え方を、13~15 ページに示しています。

13 ページ、炭質頁岩層の変形係数ですけれども、表によると大きくばらついているのですが、中段の分布グラフを見ていただきますと、概ね 80,000 から 110,000 kN/m^2 あたりに得られた物性値のほとんどが分布していることがわかりました。これが主要な Dh 層を表す物性値の母集団なのであろうと考え、ここの下限値の 80,800 kN/m^2 を、代表値に選んでいます。

続いて、14 ページの強度定数についてなんですが、先ほどと同様、 τ と σ を使った指標を用いて整理をしています。但し、炭質頁岩が切羽に出た時の自立性が非常に悪かったという経験がございましたので、その経験をもとに c を 0 という物性値の集団を採用しようという評価をしており、物性としては N-2 の c' が 0 kN/m^2 、 ϕ' が 33.6 というものを採用しています。

15 ページの透水性については先ほど同様、最大最少をリスクのうちで使い分けるという考え方です。16 ページにまとめています。

大断面トンネル部は、炭質頁岩層は、層としては存在しないので、ここでは代表物性

値の設定はしていません。標準から3連については、赤字で示したような値並びに考え方を示しています。D2層とDh層を比較しますと、Dh層はD2層に比べて変形係数は少し大きいですが、 c 、 ϕ は小さいというのがDh層（炭質頁岩層）の特徴になろうかと思えます。

最後に参考3。静止土圧係数についてまとめています。静止土圧係数を評価するにあたって、 K_0 圧密試験と呼ばれる試験の実施を考えてみたらどうかというご指導をいただきました。そこで、博多粘土層およびD2層に対して計4ヶ所で K_0 圧密試験を行い、その結果を19ページに示しています。

20ページには、その結果を深度方向にプロットしたものを左側に示しており、右側の上には一覧表を示しています。この K_0 圧密試験から得られます静止土圧係数は、深度依存性が少しありそうな雰囲気が出てきますので、それらの関係性を整理しますと右下のグラフのように横軸に土被り、縦軸に静止土圧係数をとると、概ね $K_0=0.0211 \times H$ というような関係性が少しあるのかなと感じています。当然、土被り0では、静止土圧係数は0になってしまいますので、これは下限を設ける必要があるというのは想定をしております。これら試験で得られたデータを基に21ページに理論式や経験式から様々な算出を試みました。それが上のブルーで示した表でございます。これはD2層の側圧係数、静止土圧係数を推定したのですが、(1)は先ほどの式で想定すると0.37。2番目は、 K_0 圧密試験の値で0.38。(3)・(4)は理論式から求めるのですが、この ϕ' については、先ほどの有効応力状態の代表値をあてると0.36及び0.41というような値が推定されます。つまり、ここでは有効応力状態での静止土圧係数は、0.36から0.41にあるのだろうということが推定されますので、今回は0.4を代表値として、検討を進めている最中でございます。少し駆け足でしたが、以上が、地質調査結果ならびに、それから考えられる代表物性値に関する説明でございます。以上です。

(委員長)

以上の中で前半は、実際に現場でいろいろ調査をした結果をそのまま報告していただいたということですが、こちらについて、何かご質問等ございますか。ばらけたばらけていないとか、それは後段の方の整理の仕方につながるわけですけど、何かお気づきになった点、あるいは不明な点などありますでしょうか。これまで、前回、特にこのところは見ていただいております、後段の解釈に繋がるご意見が出ていたので、後段の説明に繋がったということですから。何かなければ、後段の方の見方について、ご質問等いただければと思います。

(委員)

D2層ですけど、今後、どういう形で取り扱っていくか、例えば、Ds2、Dc2を明確に分けながら考えていくのでしょうか。それともD2層を一つとして考えていくのか、

そこあたりは、どう考えて行けばいいのでしょうか。

(大成 J V)

今回、特徴的に D_s と D_c を比べると、D_s の方がやや物性が悪いということが分かってきましたので、現在は、一つの層でモデル化を始めていますけれども、今後は、それを D_s と D_c に分けてモデル化するという事を考えています。

(委員)

その場合、例えば、43 ページくらいに断面図がずっと出てくるのですが、D₂, Dh, C₂ とか C₁ とかありますが、ここの整合性をきちんと取られるようお願いします。

(委員長)

〇〇委員、どうですか。

(委員)

事前説明のときにも少し言ったのですが、物性値は、D₂ 層を二つに分けて評価されているので、この記述だと、どの範囲が s 層で、どの範囲が c 層っていうのが、分からない状況ですから、分かる範囲で、その厚さとか、その位置は明確にしておくことが必要かと思います。例えば、〇〇委員が言った 43 ページの断面図の中で、その D_{s2} 層がどれくらいの厚さでどの位置にあって、D_{c2} 層がどれくらいの厚さでどの位置を占めているのかというのも、施工などを考える上で重要な判断条件になると思うので、そのあたりは注意して、書いていただければいいと思います。

(委員長)

〇〇委員どうですか。何か前段の方でも結構ですよ。

(委員)

27 ページに Dh 層の工学的評価を記載されていますが、Dh 層の中でも炭化が進んでいるという話が出ているが、炭化が進んでいるとどうなっているのか何かわかっていますか。また、風化するっていうことについても何かそのあたりに繋がりがありますか。

(大成 J V)

コアの写真を見ていただくとわかるように、薄茶色から真っ黒になっていくにつれて炭化が進んでいて、炭化進度にばらつきがあると読んでいます。真っ黒になっている例えば S₃ のような写真では、コアの成形も非常に難しいような状況でした。今回代表物性値として Dh を評価したのですが、室内試験でコアにならない程度まで風化、炭化が

進んでいるものもありましたので、それは今後そういう状況を把握しながら物性値を再度見直していこうと考えています。

(委員長)

〇〇委員は石炭のほうについても勉強されたのではないですか。その中で、炭化の度合いは何で計測されていたのですか。いい炭とか悪い炭とかいうじゃないですか。色だけで大体判断できると思っていいですか。

(委員)

成分を調べておられるかどうかです。石炭としての成分というか、いわゆる力学的な特性にどう影響しているのか整理されているかを聞いています。

(委員)

D1層は存在しているのでしょうか。

(大成 J V)

D1層は存在しています。

(委員)

Ds1 と De1 に分けるのですか。モデル化の時にこの層はどのように分けるかに関わってくるので確認です。

(大成 J V)

砂岩の D1 層は今のところ確認されていません。

(委員)

この図面でいいということでしょうか。では D1 は、D1 層という扱いでよろしいでしょうか。

(大成 J V)

D2 層と C2 層の間の遷移体という位置付です。

(委員)

わかりました。

(委員長)

D2についてはよく考えてみると、D2層を形成する時の下の方は少し粘土化した層などが残っていて、上の方は風化が進んでいて細粒分が減って砂分が少し増えてきていると考えられますが、明確にここまでは、Ds2とかDc2とかという区分はしにくいですね。徐々に表面から変化するという考え方は一つあります。また、場所によっては不陸がありますからDs2層がかなりの厚さで占めるとか、あるいは逆にDs2層があまりないなど、代表値を考えるのはいいのですが、今後、パラメトリックに細かく詳細に危険側のチェックをしていこうとするときには、何を強く意識したパラメトリックの定数の話し方をするのか決めていく必要があります。専門家の〇〇委員どうでしょうか。

(委員)

先ほどDsとDcは分けると言われましたが、そのときに代表値としてはD2層としてこの値を使うのか、その場合はDsとDcは分けないのでしょうか。

(大成JV)

今回検討したモデルではDsを代表値として与えているが、今後はそのモデルを細分化してDsの代表値やDcの代表値を考えていく予定です。

(委員)

層の深さに対する割合で分けていくのがまともだと思います。それと代表値としているものにどれくらいふり幅を持たせるかを今後詳細に考えるべきだと思います。

(委員)

当初設計時のD2層と再調査したD2層の実測値がだいぶ違うと思っておりますが、特にN-4あたりで変形係数が小さいところで、掘削時に掘削面が肌落ちしたという話がありましたので、局所的に脆いところがあったのかなという印象ですけれども、物性値を決めたうえで、それよりも劣るところに対しての手当が非常に大事だと思います。

(委員長)

委員の方の意見を踏まえて、パラメトリックに不安定な状態にどこまでチェックをするか地質の専門家からの意見をもらいながら検討いただきたい。

(委員)

参考資料の中で、Gが使われていますが、Gはせん断弾性係数と誤解を与えるので、違う記号を使ったほうがよいと思います。それから、CのCは通常は小文字だと思います。次に、物性値の見方ですけれども、D2層が大断面トンネル部と標準トンネル部で比較した場合、結果だけを見ると、リスクを踏まえて、最大と最小で評価するという考

え方をしたときに、透水係数などは、大断面部よりも標準部の方が、幅が広い結果になっているというような認識をしてよろしいのでしょうか。それともう1点は、炭質層で、 c を 0 kN/m^2 にされているのですが、そうすると土被りがなかった場合には、その炭質層は自立しないという認識でよろしいのでしょうか。

(大成JV)

トンネルを掘ったときの経験からですね、炭質頁岩層の c は見込まない方が安全な検討であろうと思います。実際、切羽を開けると、Dh層は悪かったという経験がありますので、そういう意味で安全側ということで c は 0 kN/m^2 ということで今回評価しております。透水性につきましては委員のご指摘どおり、3連トンネル部の方が、少し透水性が大きいものもあったように思います。

(委員)

大断面部よりも3連トンネル部の方が、ばらつきが大きいということなので、そのあたりは設計や施工上注意しておかないといけないということですね。

(委員)

割れ目の影響じゃないかと思います。割れ目が結構大きくて、そのところのばらつきがそこにでているのではないかと思います。不連続性みたいなものです。

(委員長)

地質のところについては、以上でよろしいでしょうか。では、今日は長時間にわたるものですから、最後に全体をまとめるということが難しいと思っております。項目ごとに整理させていただいて、次の項目に移るといった形にしたいと思っております。それでは、前段につきましてはいくつか意見が出ましたが、全般的には調査結果ですから、修正ということはありませんので、最後に〇〇委員の方からありました、記号とかについては、誤解の無いように訂正をお願いします。後段の方はよくご意見をいただいたのですが、私なりにみなさんの意見を踏まえると、三つぐらいに整理できるのかなと思っておりますが、一つは、このトンネル工事で一番課題なのはD2層の扱いです。ここで受けてトンネルを掘っているようなところで、一番重要な地層を成しているということです。ここは必ずしも平均的ではなくて、局所的なことも変動の中にあるということ踏まえて力学的検討は進めたいと思います。そういう意味で、Dc2とかDs2層のイメージをご報告いただき、委員の方々からもご指摘をいただきました。したがって、標準的な検討+ α のところ、その適用の仕方を十分に的確にやって、より安全で安心してできるというようなことになるような、我々の整理に使わせていただければと思います。

二つ目は、Dh層につきましては確かに弱いところ、それほど炭化してなくて、な

んとかもっているというところ等、色々ありますが、それを特に炭化度で分けてどうのこうのという整理は難しいというところもあるので、平均の扱いを中心にして、そこに比べたら、ここら辺は少し柔らかいので、もう少しパラメトリック、ここは恣意的になるかもしれないけど、そういう判断をしながら、低めの値を、危険がある値を採用したパラメトリックに検討するというようなことで整理するしかないと思います。それからもう一つはやっぱり、変形係数、それから c や ϕ 、あるいは K の定数の相互関係について、あまりおかしくないようにしてほしい。危険だと判断できて 0 に置くのであれば、クラックが確かにここら辺で発達していて、そうなっているようであるなど、多少確認しながら、全体の整合が取れている必要があり、定数がバラバラに判断されているというのが、やや気になるころではあります。全体的には、例えば K がいくらだったら普通は c がいくらぐらいとか、何か常識がないでしょうか。そういったところ、流れを少し頭の隅に置きながら、パラメトリックを動かす時に注意したらいいのではないかと思います。そうすれば、事故前の色んな検討に比べたら、非常に繊細な、詳細な検討にもなりますし、安全側の検討になっていくのではないかと、私としても理解できるということを申し添えて、議題 1 については、まとめにさせていただきたいと思いますが、よろしいでしょうか。ではそういうことにさせていただきます。

次は、本来は昼からの検討の方がよいのですけれども、時間の都合もございまして、再掘削工法について、ご理解を十分にいただいて議論をした方がいいということから、今交通局が考えている再掘削工法において、前回は、非開削工法でやりましょうということを一応絞り込んでおります。その事の説明を中心にして考えたときに、人工岩盤掘削と、新技術などを活用する特殊シールドの二つが考えられるということで、その辺の詳細な詰めをしたものを今日説明していただいて、最終的な工法をどうするかという絞り込みをしていきたいと思っております。それでは交通局から説明をお願いします。

(交通局)

それでは、「3. 再掘削工法について」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。説明内容として二つの項目がございます。一つ目が工法選定にあたって、二つ目が工法比較でございます。一枚めくっていただき、工法選定検討のフローについて説明いたします。前回 10 月 4 日の技術専門委員会で、開削工法については、再度、リスク等を整理した結果、採用が困難であることを改めて確認いただいております。非開削工法については、確実に地盤改良を行えば、人工岩盤掘削が有利との意見をいただきましたが、特殊シールドについても施工手順を整理し、さらに議論を深めるべきとの意見が出されており、今回の委員会で討議し、最終的にとりまとめをいただくこととされております。

今回の討議では、赤枠で示しておりますとおり、地盤改良の検討とあわせて実施した解析結果も踏まえ、工法選定について討議をいただくこととしております。なお、FEM

解析で基本的な工法の成立性を確認しておりますが、選定した工法に関する詳細検討を実施していく必要があるため、赤枠の下にその旨を記載しております。右側に記載しておりますとおり、工法の選定にあたっては安全性を最優先としつつ、市民生活への影響も考慮することが重要であると考えております。

2ページをご覧ください。現場条件としまして、左側に陥没形状とトンネルの位置関係を示しております。埋土と緩い砂層の間には、大部分で換算一軸強度が1MPaを超える流動化処理土があります。この流動化処理土につきまして、前々回の8月31日の技術専門委員会で流動化処理土は仮設的なものと捉えており、永久に使うかどうかについては、検討が必要とのご意見をいただいておりますので、このご意見に対する考え方を説明させていただきます。

まず、今回の地盤改良やその後の再掘削時において、流動化処理土に期待している効果を整理しますと、一定の強度を有した固まりとして路面から伝わる荷重を下に伝える、路体としての機能は見込んでおりますが、橋梁のコンクリート床版のように、両端が支点となりスパン中央部には支がない荷重状態にも耐えられるような構造部材としての効果は見込まないこととしております。また、今後実施していく地盤改良やその後の再掘削においても、流動化処理土下端付近に空洞を造ることは許容すべきではなく、万一空洞が発生した場合は速やかに充填することを基本と考えております。

このため、仮に流動化処理土の強度が数十年後に低下した場合であっても、路体としての必要な圧縮変形や流動変形を起こさないという機能が維持されることは、これまでの使用実績から確認されておりますので、長期的に残置することについては、工学的な面からの問題はないと認識しております。右側に記載の地下埋設物敷設状況につきましては、図面のとおり、下水管が4本ありますが、このうち径が1.5m以上の管が3本あります。その他にも、水道、ガス、電気、通信等の地下埋設物が輻輳して埋設されています。

3ページをご覧ください。このページでは大断面トンネルの陥没前時点での支保工設置状況を説明いたします。大断面トンネル区間の掘削方法は導坑先進掘削方法を採用しており、左の平面図の青線で示しております導坑掘削施工済の約10mの区間と、緑線で示しております切上げ施工済の約5mの区間があります。

右側の断面図上側に記載しておりますとおり、導坑掘削時には、赤色で着色している箇所を支保工や補助工法として、長尺鋼管先受工やサイドパイル等を施工しており、切上げ掘削時には、下の断面図に記載しておりますとおり、支保工や上部の長尺鋼管先受工を実施しております。

4ページをご覧ください。この比較表は、大断面トンネル区間を再掘削する際に想定される工法を安全性や市民生活への影響面から比較したものとなっております。非開削工法を2案示しており、その右側には、参考として開削工法も記載しております。このページでは、それぞれの案の施工概要と特色についてご説明し、施工ステップや安全性については、5ページ以降の具体的な資料を用いて説明をさせていただきます。

人工岩盤掘削の施工概要は、地上から地盤改良を行い、人工岩盤を形成して横穴式に地中を掘り進み、トンネルを造る手順となります。なお、人工岩盤掘削という名称につきましては、トンネルの上部を人工的に岩盤にすることで、この人工岩盤の下を掘削した際に、人工岩盤自体がトンネルの屋根として機能させつつ、周辺の地盤がトンネルを支えようとする保持力も利用する考え方としており、ナトム工法との概念と異なることから、ナトム工法とは異なる名称を用いております。

5 ページに具体的な施工ステップを示しております。

まず、ステップ 1 で地盤改良や地上から施工するトンネル坑内崩落孔付近の充填、上部埋土層の水抜き後、トンネル坑内の水抜きを行います。

次にステップ 2 で、大断面トンネル内に堆積している土砂が流動化しないよう、また、標準から 3 連トンネルで安全な施工環境を確保するために必要となる隔壁を設置し、大断面トンネル内の充填等の改良を行います。

ステップ 3 では、手順としては通常のナトムと同様となりますが、必要な補助工法や計測管理等を行い、十分な安全性を確保しながら 1 サイクル毎に掘削、支保工設置を行います。

ステップ 4 の、鉄筋コンクリート構造による躯体を構築し、施工完了となります。

6 ページをご覧ください。人工岩盤掘削のリスクとその対策についてご説明します。右上の凡例に記載しておりますとおり、リスクの小さいものを緑色、大きいものを赤茶色とし、中間を黄色で区分しています。この資料でのリスクの大小は、発生した場合の損害の大きさを評価しているものではなく、対応策によってリスク発生の確率を大幅に低下できるかといった視点や、発生する損害自体を許容できる範囲に収めることが可能であるかといった視点から評価を行っております。左上に記載しております a 及び b については、トンネル掘削時に周辺地山が変位した場合、周辺建物や地下埋設物に影響を与える可能性を記載しております。黒枠囲みの対応策欄に記載のとおり、地質調査結果を踏まえ、事前に実施する変位解析で概ねの変位量を算定することや、掘削時の変位が建物に対して有害な値とならないよう補助工法を計画すること、地下埋設物の移設や防護を行うことで対応が可能であると考えられることから、3 段階評価の中でもっともリスクの低い評価としております。左下に記載しております、c については、高い地下水位に対する止水対策が不十分な場合、トンネル坑内に地下水が流入する可能性を記載しております。これにつきましても、黒枠囲みの対応策欄に記載のとおり、トンネル上部の地盤改良の外周部に側部から地盤改良体に水が浸透することを防ぐ遮水壁等を設置し、平面と側面の二重のバリアによってリスクを大幅に低下させることが可能と考えております。d については、雨水幹線や障害物等の影響により未改良部ができた場合、トンネル掘削時に上部の地盤が緩み、水や土砂が流入する可能性を記載しております。この対応策としまして、c と同様の遮水壁等の設置に加え、地盤改良を組み合わせることによって発生の可能性を低下させることが可能であると考えております。

7ページをご覧ください。このページでは特殊シールドの概要や施工ステップを記載しております。黄色の枠内には、当該区間では通常のシールド工法による施工が不可能である理由を記載しております。今回想定している特殊シールドについて、ページ下部の青線枠内をご覧ください。左側、拡大平面図と右側、A-A・F-F・K-Kの3断面を見比べながらご覧ください。拡大平面図の中間駅側から博多駅側に向かって、先行の円形シールドトンネルを施工します。黄色で着色した箇所が、後行のシールドトンネルの掘削時に干渉する範囲になっております。先行シールドが到達した後、平面図内にピンク色で描いておりますシールドマシンをトンネル内でUターンさせ、中間駅側に向かって掘削を進めてまいります。最初に掘削するK-K断面では、断面図のとおり、二つの円形シールドトンネルが3分の1程度、重なり合っていることから、黄色で着色した範囲のセグメントを削りながら掘り進めます。更に中間駅側へ掘り進めるなかで、徐々に二つのトンネルが離れて行き、F-F断面では4分の1程度の重なり合い、更に中間駅側へ行くとA-A断面で二つのトンネルが干渉しない位置関係となります。

通常のシールドでは、A-A断面にあるように、二つの円形トンネルが干渉しない位置関係にあります。特殊シールドは、F-F断面やK-K断面の様に、二つの円形トンネルが重なり合うことが特徴となっています。

次に、特殊シールドの施工ステップでございます。

ステップ1・2では、先ほどの人工岩盤掘削と同様、地盤改良、水抜きを行い、安全性確保のため、陥没した大断面トンネル内部を充填いたします。

ステップ3では、既にナトム工法で設置している先進導坑の鉄製の支保工が、ステップ5・6で施工するシールドトンネルの掘削に支障となることから、事前に除去いたします。

ステップ4では、ステップ7の施工で必要となるパイプルーフを事前に設置します。

ステップ5では、先行の円形シールドトンネルを掘削し、掘削したトンネルを保持するためのセグメントの一部を、後から施工するシールドトンネルの掘削の際に、機械で削り取ることができる材質としています。

ステップ6では、後行の円形シールドトンネルを掘削しますが、その際にはステップ5で設置した削り取ることが可能な部分を、シールドマシンで削りながら、二つのトンネルが重なり合うように施工します。

最後にステップ7で、列車が走行できるスペースを確保するため、二つの円形シールドトンネルが一体となるよう、切り開き・接続をします。1ページ飛ばしまして、9ページをご覧ください。

前回の委員会で、特殊シールドの施工手順を整理し、議論を深めるべきとのご意見をいただいておりますので、より具体的な手順についてご説明をさせていただきます。

まず、ステップ1は陥没部の地盤改良とトンネル内の水抜きが完了した状態を示しています。

ステップ2で、隔壁構築や大断面トンネル内の充填や地盤改良を行います。この地盤改良は後のステップ3、4で支保工を切断する際にトンネル上部の荷重を受替える役割があるため、十分に施工しておく必要があります。

ステップ3では、シールド掘進時に支障となるトンネル支保工13基を予め鋼管推進工で切断撤去する作業を行います。撤去に使用する鋼管を残置すると、シールド掘進に支障となるため、掘進、管内充填、鋼管撤去の繰り返し作業を施工する鋼管の本数分実施する必要があります。リスクの欄に記載しておりますとおり、支保工切断によってトンネルが変形し、水や土砂が流入する可能性や鋼管の引抜時に地山が緩み、トンネルの変形や連鎖的な湧水が発生する可能性があります。

ステップ4では、シールド切上げ時にトンネル上部の荷重を支えるためのパイプルーフを鋼管推進工で設置する工程となりますが、設置済みの支保工に干渉する位置へのパイプルーフ施工となるため、地山が緩み、水や土砂が流入する可能性があります。また、パイプルーフの施工は、隔壁よりも博多駅側に施工機械を配置し、大断面側に向けて鋼管推進を行うこととなりますが、この際、施工上必要な上部の空間が確保できない場合、標準I型トンネルの上部の切上げが必要となる場合があります。

ステップ5では、先行するシールドの掘進を行います。残っていた異物の影響でシールド掘進が不可能となった場合、シールドを停止させ、人力による撤去を行う作業が必要になります。

ステップ6では、シールドトンネル内に切上げ時の補強材として機能させる鋼材を設置するとともに、後行トンネル掘進時に安全にセグメントを削り取れるよう、流動化処理土で充填を行います。

ステップ7では、黄色く着色した設置済みの切削可能なセグメントをUターンさせた後行シールドマシンで削りながら、二つのトンネルが重なり合うよう施工します。このステップでも、残っていた異物の影響でシールド掘進が不可能となった場合は、シールドを停止させ、人力による撤去を行う作業が必要になります。

ステップ8では、中柱を設置するための前処理としてセグメントを取り外すことができるよう、後行トンネル内に補強材として鋼材を設置します。

ステップ9では、パイプルーフで囲まれた空間の土砂を掘削し、横断方向の枕桁として、アーチ支保工を設置します。

ステップ10では、左右のセグメントと上桁を接続する作業を行います。

ステップ11では、左右のセグメント間の下部の掘削を行います。

ステップ12では、セグメント下部の切上げを行い、左右のセグメントと下桁を接続する作業を行います。

ステップ13では、先行シールド内に充填した流動化処理土を撤去します。

ステップ14では、中柱設置に支障するセグメントを撤去します。

ステップ15では、鉄筋コンクリート製の中柱を設置し、柱の強度が出た段階で補強

材の撤去を行います。以上が特殊シールド工法の詳細な施工ステップとなります。黄色枠内に記載しておりますとおり、ステップ3及び4でリスクを伴う作業を繰り返し実施する必要があります。

1 ページ戻っていただき、8 ページをご覧ください。特殊シールドのリスクとその対策についてご説明します。ab のリスクと対応策につきましては、先ほどご説明しました人工岩盤掘削と同じ内容となっています。c のリスクにつきましても同様ですが、対策については記載のとおり、密閉型のシールドマシンを使用することや隔壁設置によって地下水流入のリスクの低減を図ることが可能であると考えております。左下の d . トンネル上部の荷重を支えるトンネル支保工の切断によりトンネルが変形した場合、水や土砂が流入する。につきましては、地質調査結果を踏まえ、事前に実施する変位解析で概ねの変位量を把握すること、坑内充填を十分な強度で確実に実施することで影響を抑制する等の対応策があると考えております。

e. 支保工撤去のための鋼管推進工施工において、鋼管引抜時に地山が緩んだ場合、トンネルの変形や連鎖的な湧水が発生する。につきましては、d と同様の対応策を想定しております。

f. 雨水幹線や障害物の影響により未改良部ができた場合、シールド切開きのためのパイプルーフ施工時にトンネル上部の地盤が緩みトンネルが変形し、水や土砂が流入する。の対応策につきましては、人工岩盤掘削のリスク d への対応策と同様の記載となっております。

g. シールド掘進範囲に障害物があった場合、シールド掘進を一旦止め、人力撤去等が生じる。につきましては、崩落孔を通してトンネル内に障害物が入っている可能性があることが想定されるため記載しております。この場合の対応策としまして、シールド掘進を止め、人力により障害物を撤去することが想定されます。なお、この現場での当該作業には安全上のリスクを伴うと考えています。

別冊の参考資料の 36 ページをご覧ください。今回の事前説明の中で人工岩盤掘削と特殊シールドにつきまして、リスクを表形式にまとめ、それぞれの想定リスクの発生しやすさ等について比較を行うべきというご意見をいただきましたので、整理をさせていただきます。一番左側の想定される事象の欄には、先ほどご説明しております討議資料 1 の 4 ページの表記載の想定されるリスクから、両工法に共通し起こりうる事項として水の流入、土砂の流入や地表面沈下、地下埋設物への影響、周辺建物への影響の 4 項目を抜き出しまして、さらにこれらの事象の程度、規模内容や大小で分けし、それぞれの事象が発生する可能性の大小について比較を行っております。可能性の大小を判定する際の考え方については、各欄の括弧内に理由を記載しております。見渡していただきますと、人工岩盤掘削の列と特殊シールドの列がございますが、特殊シールドの方は、事前処理の段階と、シールド機が掘る段階とそれぞれを記載しております。左上の黄色枠内に描いておりますが、事象毎に発生する可能性については、両工法間で有意

な差はみられませんが、リスクを伴う作業の項目数、頻度を比較すると、特殊シールドによる施工のほうがやや多いことが確認できます。

討議事項1の総括としまして、4ページの比較表、6ページの人工岩盤掘削のリスク、8、9ページの特殊シールドのリスクや施工方法ならびに先ほどご説明しましたリスク比較を踏まえていただき、再掘削工法の選定についてご討議いただきますようお願いいたします。ご説明は以上となります。

(委員長)

討議は昼から行います。

(事務局)

午前中の討議は以上とさせていただきます。

～昼休憩～

(事務局)

時間となりましたので、委員会の方を再開させていただきます。樗木委員長よろしくお願いたします。

(委員長)

午後の部を再開したいと思います。午前中に再掘削工法の手順を中心に、どういう懸念事項があるかという話をさせていただきました。後でそれは討議いたしますが、やはりこれと密接に関連する地盤改良の話も絡んできますので、地盤改良についてこの後ご説明いただき、その上で再掘削工法、地盤改良について、十分に時間をかけて討議したいと思います。

それでは地盤改良について、ご説明をお願いします。

(大成JV)

地盤改良についてご説明をさせていただきます。資料は討議資料の2というものと、後段で地盤改良に係る解析的検討の結果を説明させていただきますので、それは参考資料の方で、参考の4から5のあたりで説明をいたします。

まず、討議資料2、地盤改良についての2ページです。ここには今後色んな検討を進めていく中での考え方を整理しています。上段に黄色いところのハッチングがございますけれども、まず陥没事故前は、岩盤(D2層)の厚さや強度をある程度見込んだ設計を行ない、補助工法を加えながら慎重に施工しておりました。ところが先ほど午前中にご説明させていただいたように、地質調査の結果、まず崩落孔を中心に横断方向11.6

m, 縦断方向 6 m 以内に, D2 層が確認できないエリアがあるということを確認しています。また, 各々 D2 層を始め, 物性には不均質性が非常にあるということと, 標準や 3 連トンネル側には炭質頁岩が分布しているということが主に分かっております。これらを鑑みて, これから行っていこうとする坑内の水抜き, あるいは再掘削というものに対して大きく三つのリスクを考えています。

一つ目は地下水リスク, これはいわゆる上部未固結滞水層の地下水が坑内にまた流入して陥没事故のようなものを起こしてしまうという地下水リスクがあげられます。

二つ目には力学的な不安定化リスク, これはトンネル周辺の地山, 特に天端が力学的に不安定化するというリスクが考えられます。

三つ目は 1, 2 に伴って既設構造物に影響が及ぶ, 大きくこういう三つのリスクがこれから行う施工に対して想定されます。特に大断面部ですけれども, このようなリスクに対してどのような方針で臨んでいくかということですのでけれども, 基本的には地盤改良体で支持・止水を行って, D2 層の支持・止水機能を補完していくという考え方に従ってこれから検討を進めていきます。さらに坑内充填工や土砂部の地下水位の低下によってリスク低減を図ってまいります。

4 ページですけれども, 前回委員会と同じフローですが, これから説明する検討内容については, 上段の赤破線で示した水抜き・土砂撤去時の検討について, これからは大断面部の説明を行います。

6 ページをお願いします。道路陥没付近の地盤改良を検討するにあたって, どのような工法を選定するかまとめています。上段には地質調査結果を踏まえてわかったトンネルの地質縦断図及び横断図, 下側には横軸に各地盤改良工法, 縦軸には地盤改良の対象となる地盤をとって, 各々マトリックスで特徴を示しております。ここで着目したいのは, まず博多粘土上部層と呼ばれる dHs2 層と言われる地層です。これは D2 層のすぐ上に分布しておりまして, 細粒分含有率が約 20% であることが特徴です。このため例えば薬液注入工だとなかなか浸透しにくいという室内試験結果がございます。続いて緩い砂層といわれる, これは崩落に伴って上部土砂層が再堆積した層ですが, この特徴は細粒分含有率が非常にばらついている, 具体的には 5~20% でばらついているとともに, 異物が混入している。このため, 高圧噴射攪拌工の選定に際しては, 異物を非常に懸念する必要がある。現在の評価では, 高圧噴射攪拌工を採用するにあたって, チェックボーリングにより確実にチェックを行って, 追加薬液注入を併用することで採用可能であると評価しています。一番右端に検討結果を記載していますが, 大断面部の崩落部の地盤改良工法としては, 高圧噴射攪拌工をベースに考えていくべきであろうと, さらに異物が混入する緩い砂層では追加薬液注入を併用する考えに至っております。今想定している施工手順の案を右のフロー図に示しており, 崩落影響範囲に高圧噴射攪拌工をベースとした地盤改良を行い, その後薬液注入工をし, トンネル上部いわゆる D2 層が未確認の崩落部分の地盤改良を行います。その後さらに坑内の充填や水位の低下を経たの

ちにトンネル坑内の水抜きを行うことを考えています。

7ページをお願いします。地盤改良の範囲について検討した結果を示しております。左には平面図、右上に縦断図、右下に横断図、また左下に検討コンセプトを簡単に示しております。まず①高圧噴射攪拌工をベースに考えていきます。②東西方向の地下水の浸入を防ぐことを目的に地下水位以浅 G.L. - 3 m まで高圧噴射を立ち上げていく。③南北方向、これは平面図を少し見ていただきたいのですが、南北方向に少しグレーのハッチングが掛ってございますが、右下横断部を見ていただくと、この範囲については高圧噴射攪拌工法を流動化処理土の下端までしっかり当てていくということを想定していますけれども、途中、緩い砂層という部分を通ります。先程申しましたように、ここに異物が混入しておりますので、ここに対する地盤改良効果と不確実性というのが、どうしても内在してしまう。それに対して、薬液注入工をその外側に当てて、地下水リスクを低減することで全体としての地盤改良効果を高めていこうという考えに至っています。さらに、縦断図でトンネル下端から赤い破線が伸びていますが、今回、改良する範囲は、トンネルの将来掘削する先端から、いわゆる影響範囲 $45^\circ + \phi/2$ であげた範囲までを改良範囲として考えています。そして、全体的にですが、異物が混入する緩い砂層では地盤改良の不確実性に伴うリスクを低減するという考え方から、高圧噴射を当てるというだけではなくて、その都度、効果確認ボーリングを実施して、未改良部については、その都度注入を実施し、いわゆるリスクの低減を随時図っていくという考え方に至っています。ここまでは、大断面部の地盤改良工法の選定および範囲について説明をいたしました。ここで設定した地盤改良について、解析的な検討を行いましたので、続いて説明をいたします。

9ページをお願いします。9ページには解析的な検討を行った断面を A, B, C と 3 断面示しています。これら、断面に対する解析的検討の結果は、参考資料に載せてございます。参考資料 25 ページからをあわせてご覧ください。この地盤改良を実施した後に、先程のフローに従えば、坑内の充填や土砂部の地下水の低下というものに引き続き、坑内の水抜きというものをしていくわけですが、討議資料 2 の 10 ページに、水抜きという行為がどのようなインパクトを地山および支保工に対して与えるのか考え方を整理しております。まず、左上の図面ですけれども、これはいわゆるモールの応力円に破壊包絡線を書いたものです。坑内の水抜き行為は、周辺の地山の間隙水圧が低下し、有効応力が増加します。このためにこの絵で示しますように、黒い応力状態から青い応力状態に移動する為に局所安全率が回復するという行為になります。一方、②の方、トンネルの支保工に対しては、右の図面ですけれども、そもそも今、坑内水圧がかかっておいて、支保工を助けているのですが、この助けが無くなって、支保に荷重が増加するという行為になります。すなわち、坑内の水抜き行為は、周辺地山に対しては、楽になる方向、支保に対しては厳しくなる方向に動くという行為であります。このような整理を念頭に置きながら、参考資料 25 ページの解析結果をご覧くださいのだけれど

も、この解析結果で、上段の地山の評価という部分には、解析結果の局所安全率を載せてございます。左から水抜き前、中に水抜き後、ここの二つに着目ください。

さらに三つ目には、掘削完了とういものも評価しております。一番下段にはコメントを記載しております。まず、一番左の坑内水抜き前、現状においては、現在このような状態で1年近く経過しております。冒頭に現在の状況でも説明させていただきましたが、各種計測結果に大きな挙動変化はなく、安定していると考えています。次に水抜き後というところですが、ここは大断面の103基でいわゆる鋼製支保工を設置していない所で地山になります。ただ、局所安全率が少し回復していることが確認できると思います。最後に掘削完了のところには、支保の評価を加えていますが、発生する応力は吹付けコンクリートであれば設計基準強度以下でありますし、鋼製支保工であれば降伏強度以下であることを計算上で確認しております。同様の検討を崩落孔中心線からプラスマイナス約3mで検討した断面が26ページ及び27ページに示してございます。これらの結果は、今説明させていただいた内容とほぼ同様でございます。坑内水抜き前においては、1年近くこの状況で経過しておりますが、各種計測結果に大きな変化はなく、安定していると考えております。更に水を抜くことで地山に対しては、局所安全率は回復し、支保工関係の荷重は増加するが、各々、設計基準強度、降伏強度には達しないという予測をしております。27ページも同様の結果を入れています。これがFEMを用いた浸透流と力学的解析の結果ですけれども、それらに加え討議資料の11、12ページは、数値解析だけではなくて、例えば11ページですと地盤改良体そのものの安定性に対して、押し抜きせん断や曲げ、浸透破壊に対するチェックを簡易的な数式から行った結果、ここに示すような安全率を確保できると考えています。さらに12ページには、D2層の安全性について、左側は浸透破壊に対する安全率を示しております。右側はトンネル変形に伴う安定性や残留水圧に対する検討は、FEMの結果から問題ないと予想しております。

最後に13ページになりますけれども、支保工そのものに対するチェックになりますけれども、これは先ほどのFEMをもって設計基準強度や降伏応力には達しないというチェックをⅧ番で行っています。最後に負圧の検討というのがございますけれども、水を抜いていく過程で、どうしても本坑トンネルと連絡坑トンネルの断面の違いにより、およそ3m程度の負圧が発生する恐れがあることに対して、先ほどのFEMのモデルを用いチェックを行っています。その結果、13ページに示しますように負圧を考慮するしないにおいて、各々発生する応力が示してありますが、いずれも設計基準強度、降伏強度以下であることを確認しております。ここまで、水抜きに対して、地盤改良工法をあてることによって、それぞれ数値解析を行ってきたが、これらと併せて、14ページに示したような坑内の充填工や地下水の低下工を併せて実施する事で冒頭申しました地下水リスク、力学的リスク、構造物への影響リスクの低減を図っていく方法を考えております。

次に 16 ページ以降ですけれども、水抜きを行う際の標準～3 連部について、検討をまとめたものでございます。

16 ページから 18 ページについて、まず現在の状態を整理しています。

16 ページは今回の調査で得られた地質モデルを使ってトンネル縦断図および横断図を記載しています。17 ページはリスクと検討コンセプトと題しまして、水抜きに向かってどのような考え方で臨むのかということをもとめています。それと、下の図ですけれども、特徴的に、標準～3 連部においては、横断図で見られるように、トンネル上部に地下車路という構造物がございまして、地上からのアプローチがそもそも難しいという範囲があるということ、平面図上に赤字で記載しています。

18 ページ、これは 3 連トンネルの現状についてまとめています。左下の横断図を見ていただけますように、中央坑は掘り終わった状態で、周辺にはロックボルトや AGF、これは天端部ですけれども、地盤の補強を行っております。当然、トンネルは鋼製支保工と吹きつけコンクリートで巻きたてられて、支保が完了した状態であるとともに、インバートのコンクリートが打ち終わっており、いわゆる断面閉合が終わった状態にあります。更にもう構築が始まっていたので、下の連続梁や柱のコンクリートが打ち終わりに、上部の型枠を張った状態であります。

19 ページには、これら標準～3 連部について、先ほど大断面部でチェックしてまいりました項目のうち、地盤改良体を除く 5 項目についてチェックを行った結果を示しています。上段の方にはリスクが三つ書いてございますが、このリスク要因としては、いわゆる残留水圧、水頭差、つまり坑内の水抜きに際して、トンネル内の圧力と、周辺の岩盤の水圧が大きく差がついてしまうということに起因したリスクに対するチェックです。リスク 1 では支保工背面に水圧が残るということに対して、吹き付けコンクリートは透水性が支配的になるんですけれども、岩盤の透水性の 10 分の 1 と仮定して、解析的に検討した結果においても、発生応力は設計基準強度ならびに降伏強度以下であるということが確認できました。リスク 2、リスク 3 については、後ほど参考資料で示したいと思います。下段の方、リスク 4、浸透破壊については、簡易な計算ですけれども、標準トンネルⅡ型、3 連トンネルⅠ型及びⅡ型において、各々、ここで示したような安全率を確保できるというように考えています。リスク 5 は負圧に対する検討は先ほど同様の結果でございます。

20 ページに、リスクに対する検討結果を示しましたが、そもそもリスクに対してどのような対応方針で臨むのかということに記載してまとめております。まず、上段ですけれども、リスクの発生要因が残留水圧や水頭差が発生することに起因してございますので、そもそもそういうリスク、水頭差を生じさせないということを基本にしたいと考えています。その対策としては、簡単に申しますと、ゆっくり水を抜いていくことで、トンネル内外に大きな水圧差を発生させない。これを、具体的に言いますと、報告資料 2 の 30 ページに少し書いておりますが、トンネルを掘削したときに、周辺の岩盤がお

およそ 50 日で 17.5m 低下したという経験がございました。すなわち、このスピードであれば周辺の岩盤は圧力が低下するスピードで追いつくことができるということを経験してございますので、水抜きにあたっては、このスピードを一つの指標として、今後検討していくことを考えています。あと下段の方には、浸透破壊に対して、負圧に対して、それぞれリスク対応方針と対策を記載しています。基本的に負圧に対しては、エア供給口を設けて、そういうことが極力生じないような状況を作ろうとしています。

最後に参考資料の方を見ていただいて、坑内の水抜きに関して、どのようなインパクトがあるのかということを解析的に検証した結果をまとめています。

30 ページは標準Ⅱ型の結果です。先ほどと同様の結果ですが、坑内水抜き前、水抜き後と比較すると、周辺地山は安全率が回復する方向に向かいます。一方、支保については、発生応力が増加するのですけれども、いずれにおいても、設計基準強度および降伏基準強度以下であることを確認しております。

31 ページ並びに 32 ページには、3 連トンネルⅠ型およびⅡ型について、同様の検討結果を示しております。結果についても、同様の結果を確認することができました。

今回数値解析にあたっては、先ほど午前中に説明しました代表値を用いた検討結果でございますので、午前中にもご指導いただきました、パラメトリックスタディなどを引き続き行いまして、更なるリスクの低減や検討漏れがないように取り組んでいきたいと考えております。説明は以上になります。

(委員長)

以上を今からの検討の指標として、再掘削工法という 3 本の指標、と 4 番目の地盤改良という 4 本の指標を見合わせながら、全体としてどのような掘削を進めていったらいいか、そのための目標として、何をやったらいいのかを議論しながら、留意点、注意点、あるいは改良等のご意見があれば、それを出していただいて議論するというところでございます。

それで、資料が膨大になっているということと、皆様方の議論がある程度共通認識のもと進めていかないと、議論が多岐にわたり漠たるものになり易いということもございまして、少しポイントになりそうなところを整理したいと思います。人工岩盤掘削というのは、この現場の場合、一番上に流動化処理土が施工されております。これはコンクリートの塊ですから一種の岩盤的な要素を持ちます。それから、一番下には、トンネルの底の方にはしっかりした岩盤があり、その間に D2 層だとかあるいは土砂層がはさまっているという状態がこの現場の地質の大まかな状況です。それで、これをどの様に安全に掘るかという概念、例えば、要するに下まで岩盤だけは固めをしっかりやって、そこで岩盤掘削工法であるナトムを適用してやっていく、と言うのが議論点です。だから、その間の弱いところをどうやって固めるか、地盤改良をどうやるか説明があったという認識でいいのかなと思います。

ただし、これをやるに当たっては、前処理が必要だと言う事になりますね。それは水を一度抜かないといけないと言うときの坑内の水抜き時の全体の安定性、それから崩落孔に穴が開いていますので、そこをどうやって補強して下に支えを造るか、これが前処理として前提にある。上の岩盤だけ固めればよいというだけではなさそうだなと言うことです。

それから二つ目が、坑内の水抜き時とこの場合ナトムで基本的には計画どおり大断面掘削を行うので、その両者での安定性の確保を行う時の重要なポイントは、その間にあるトンネルの天端にある D2 層は穴が開いて不連続になっているわけですが、極力そこは補って D2 層の強化と安定化を目指すべきであろうというのが前処理として必要な事ではないかなと思うということが論点かと思えます。

それから、留意点として大断面でそのまま掘っていくので、一番先端の所で、中間駅側に鏡面を補強したものを当然造ると思いますが、鏡をシールドが来るまで維持して、そして、突き抜けて中で転回させて戻すという作業ですので、それがきちんとやれるような鏡面の補強をある程度計画しておかなければいけない。

上層の岩盤部の地下水ですが、上層の水が下に落ちては危険だなと、できるだけきめ細かな処理によって上からの水がトンネルの中に入ってくることを避けながら、防止しながらやらなければならない。

大断面のナトムと言うことで、断面を細かく分けてやるかによっても違いますが、仮に、これだけガチガチに固めれば大断面工法で半断面造って、また下を掘削してなどやれるのではないかと。それが全長で行われるということですから、今、大断面で掘っていない所も含めて D2 層には十分注意して行かなければならない。

特殊シールドについては、中間駅から到着したシールドを活用して、大断面トンネル区間を突き抜けて、そして折り返し、最初は眼鏡型のトンネルですが、それがだんだん絞られて楕円形にかわっていくというトンネルを掘削するという工法になります。これは当たり前です。その重要な前処理としては、人工岩盤掘削と同じ理屈ですが、崩落内トンネルの補強が、できれば排水時に必要となります。それから先行してパイロットトンネルを掘っていますので、その支保工の撤去がどれくらい必要になるのか、ほとんど全部撤去せざるをえないというのがあるということと、やはり先行したトンネルのサイドパイルをある程度切断するか、撤去するかしなければならない、先行したトンネルを安定的にそのまま残してやれるという作業ではないということです。

概ね全長にわたってトンネルを埋戻ししながら少しずつ掘り返していくということが、前処理の仕方、大まかな流れとなるのかなと。勿論細かく考えると違うところがあるかもしれませんが。それから留意点は、先行トンネルの全長に支保撤去時ほとんど抜きますので、結局は安全の確保が問題ですね。密閉型シールドですので、異物がもしシールドの前面部分まで落ちてきていけば事前処理をしなくてはならない、事前処理をするということは大断面の所も少し手直しをして掘っておかないといけないこともありま

す。それからシールドを絞り込んで、だんだん楕円形にしていって、まずは突っ込んでいって、奥からまた戻ってこないといけない。楕円が当分の間あって、討議資料1の7ページで黄色マークがついている間が、上り下りのシールドが重なるところ、その真ん中に柱をたてて、横にまた梁をつくるために、一時欠損空間がでてくる。そのことがちょっと危険性を伴うということと、その上もパイプルーフを打つ際は上に当たるから、天井のところの小断面のトンネルの支保工が撤去しないといけなくなります。そんなところを考えると、複雑なステップを踏むことと、そういう一時的な欠損が、短い期間とはいえ出てくるというようなこともありえます。これに対してどういうふうに処置するか、あるいはどう安全にするか、この留意点というのも、人工岩盤掘削でないというところの一つの大きなポイントにもなります。

また、新技術は垂直方向にカットしていった事例はあるが、水平方向にカットして偏平なトンネルを施工した事例はない。それを導入するには、作業する人が現場で慣れているかどうか、このことが大きな問題にはならないか。また、上には埋設物があり、現場での処理として、適した使用かとういことにおいては、問題が残るのではないか。私の理解では人工岩盤工法だと、既に施工を経験済みの工法だ、天端のD2層の安定について十分に注意し上半切広げを慎重に行う必要がある、というのがこちらの工法の我々なりの解釈になっていくのかなと思います。一方、シールド工法の方は人工岩盤に比較し、やや小断面トンネルの掘削となるが、一つが先行トンネルのほぼ全面撤去と支保の撤去となり複雑な施工が必要になります。

二つ目が、支保工やAGFの変形の可能性がある中でシールドマシンの前処置を考えると断面上半の掘削が部分的に求められる可能性がある。結局、シールドといいながら大断面の上半を掘ったところであるがその処置は上までやらなければならないということが起こりうるということです。不安定な施工、未経験の工事で導入には、事前調査試験確認が必要ということです。以上のことを事前に問題提起したところで、最初に3の再掘削工法について午前中に説明していただきました。その工法とそれに伴う懸念事項でどんなことが起こりうるかと。これで見落としがあったり、判断や評価に間違いがあったりしてはいけませんし、あるいは施工手順なんかでも工夫したらもっといいやり方があるのではないかと、アイデアがあるかと思しますので、まずはこちらの議論から先にさせていただければと思います。まずはご感想ということでお聞きしたのですが、全体としてこういう議論の流れを作っているものか、〇〇委員たちにこの辺のことを感想でいいので、それを受けて少し掘り下げたいと思います。

(委員)

地盤改良というのが一番重要なファクターで、交通局にお聞きしたいのが人工岩盤掘削における地盤改良とシールド工法による地盤改良について、同じくらいのグレードが必要であると考えられているのかということと、人工岩盤掘削であれば地盤改良が完璧

にできたという前提で掘るという形になりますが、シールドの場合その辺がある程度カバーできると考えられるのか。

それと、先行して特殊シールドの場合の前処理をする上でのパイプルーフ、おそらくパイプルーフの中に入って障害物を撤去するという形をとると思いますが、そのときの水対策に関する考え方はどうなのか。

さらにはシールドで施工する場合、万が一障害物があった場合、到達側はこのくらいの距離でしたら無理やり突っ込んでくることのできるのでしょうか、再掘進をかけた側で万が一チャンバー内に絡まったり、スクリーコンベアーが支障した場合に処置する方法があるのかどうか。支障物がなければ地上から凍結をすとか無理やり高圧噴射をして出ていく場合もあるのですけれど、そういうことまで想定しなければならないのかどうか懸念されます。

いずれにしても特殊シールド工法は施工ステップ数がとても多いので、それだけ施工ステップごとに様々なリスクを考える必要があるのかなというのが感想です。

(交通局)

まず、地盤改良についてグレードで違いが出るのかということについてですが、今回共通でトンネル内の水抜き・土砂撤去までは同じステップを踏みますので、その際に必要となる地盤改良の強度設定としては1 MN/m²を与えFEM解析を行っております。強度について補足しますと人工岩盤掘削では最後の掘削終了のステップまで水抜きで必要と思われる1 MN/m²で設定した改良で解きましたところ、概ね安全性があるという解析結果が出ております。その中では同じものになるかと考えております。範囲については浸透破壊させないように設定しているため、同じ条件で解いております。範囲について補足しますと、討議資料2の7ページの右側に縦断図で示しております大断面部から45° +φ/2 であげた範囲でしております。人工岩盤掘削であれば当然この範囲ですが、特殊シールドにおきましても事前にパイプルーフを入れまして撤去しますので、概ねこの範囲と変わらない範囲が必要と考えており、差がないものと考えております。特殊シールドで行ったときのパイプルーフで、例えば水が出たときなどの対策ですが、事前に上部を改良しまして土砂層からの水を来ないように対策したうえで、先に水抜きもいたしますので、水はやや出るとは思われますが、少なくとも土砂層から繋がった水はこないということを確認した後での施工となります。このため、非常に不安定となるような大量の水というのはパイプルーフで施工する際も、地盤改良がきちんと効いている限りは発生しないというふうに考えております。

障害物があった際の、特にUターンした後、中間駅に向かっていく際のシールドの対策の件ですが、これはまだよく詰めないといけないところではありますけれども、シールド掘進を一旦止め、水があるようでしたら、切羽の安定が保てるような補足の薬液注入等を行い、人が入って撤去するのが一つの考え方としてございます。

(委員長)

ついでに、高圧噴射の造り方と信頼がおける強度、 1 MN/m^2 や 3 MN/m^2 だと設定できるのかできないのか、そのあたりの情報で、どっちやっても結局同じことで、こうやった方が一番やりやすいとか、そのような説明ができませんか。施工が同じことをやるのだったら、同じでやった方がいいということもあるだろうし、そうじゃなければ岩盤掘削工法でここまで弱めていいとか、そういう意味で聞いたかったのですが。これの簡単な説明をした上で、どうやって固めるかというところを教えてください。全体のグレードの問題としての論議をしなければいけないと思います。

(大成JV)

それでは、地盤改良工法として、薬液注入、高圧噴射の2種類の工法が資料の中にもございますので、簡単にご説明をしますと、薬液注入工というのは、現地盤をそのままの状態にして、粒子間に溶液型の薬剤、または溶液にセメントを混ぜた薬剤を浸透させて止水性や強度の増進を図るのが薬液注入です。今回の地盤を考えますと、粒度の分布が場所によって非常に異なっています。今回、こういう崩落した地盤ですので、どうしても薬液注入というのは一定の圧で地盤に浸透をかけようとするので、弱いところ弱いところにどんどん逃げていくのが薬液注入工法です。そういった意味でも室内試験であったように、当該地盤にいくらしっかり薬液注入をしたとしても、確実にそれが改良できたかどうかなかなか判断が難しいことがございます。

一方、高圧噴射攪拌工法というのは、薬液注入のように現地盤をそのままにする訳ではなくて、地盤に強制的に空気圧、それから水、それとセメント系の固化材を一定の圧でロッドを回転させながら、現地盤を切っていくようなイメージになります。ですから、少なくとも現地盤をそのままにしておいた状態で固めていく薬液注入とは違って、ある程度の強制力をもって地盤の中に固化体をつくっていく工法でございます。

今回、高圧噴射で計画しようとする、一本の削孔径が、いろんな埋設がある関係で径が変わってくると思うのですが、3mから4m、こういったものを組み合わせながら、埋設物をかわしながら面的に改良をかけていくと、今回の資料の中でも、ガラ等があつて影になる部分というのは、当然リスクとしてあるのですが、よくある欠損で一列うつような造成とは違って、全方向から改良をかけていく工法です。

この改良径は、どういったファクターで決まってくるかというと、回転させている時間を調整します。簡単に言うと30分回転させるのと10分回転させるのと、それによって地盤を切っていく回数を増やせば大きくなる、減らせば小さくなるというものです。カタログ上ある回転数が決まっているわけですが、現実的には現地のチェックボーリングをかけて、想定した径が確実にできているか確認しながら範囲を広げていく手順をとることになると思います。

そういった意味で薬液注入ってというのは、きれいに改良ができて約1 MN/m²、高圧噴射は置換させるので3 MN/m²程度設計強度になりますので、高いレベルで改良できる高圧噴射が確実だろうと考えております。

(委員長)

1 MN/m²とか3 MN/m²とか、それほど動かすにしても、コントロールされるものなのか、それとも工法によって、弱くてよければ1 MN/m²に抑えて、高めの場合は3 MN/m²とか調整できるのでしょうか。

(大成 J V)

それはできません。送り込む固化材の配合が一定ですので、それでも3 MN/m²というのは、ある程度ばらつきを考えた数字で、今回の工事で、開削側で同様の工法で施工していますが、実際にコアを取って強度試験をかけると、5 MN/m²程度までばらつく、3 MN/m²というのは比較的lowめの設計の数字であります。

(委員長)

そうするとグレードを付けてやるというのは、不可能だから、一定のものをつくっていくしかない。

(委員)

グレードってというのは、信頼性をどこまで高めるかという意味でのグレードで、シールドであれば、密閉型ですから、ある程度は許容できるのかなということです。

今、おっしゃられた薬液注入はこういった形で、幅の厚いものの支持を期待する改良体は無理だろうと思うので、高圧噴射だろうと思います。後は、いかにちゃんと施工できるか、ラップができるかということだろうと、障害物もありますし、洪積粘土との取り合いで、連続しにくいところになるだろうと思いますので、施工計画上でどこまでその辺をきっちりできるかということかなと思います。

(委員)

色々お話を伺いまして、少し注意が必要と考えていますのは、陥没部のところでD2層をどうするかということです。まず、人工岩盤掘削というのは、ナトムでまた掘削をするということになります。我々もナトムで工事をする場合に注意していることとしては、地山から水が出てこないように、あるいは水がないようにすることと、もう一つはグラウンドアーチが地山に形成されるようにすることに注意を払っています。

グラウンドアーチが形成されていない状態では、そのまま土圧が支保工に直接かかることになります。ナトムの支保工というのは、在来工法、昔の矢板工法のように支保工

で踏ん張り支持するという考えではないため、支保工に過大な力が加わると壊れてしまう心配が出てきますので、グラウンドアーチがしっかり形成されるかということが、重要だと思います。崩落した箇所の改良がうまくできるかどうか、特に D2 層については崩落の影響でかなりダメージを受けているのではないかと思いますので、このあたりが実際どういう状況となっているかについて、これまでボーリングをして調べていただいているのですが、存置された支保工がもしかしたらつぶれているということも考えると、D2 層も健全で無いものとして考えないといけないと思います。崩落した箇所には上から落ちてきた色んなガラなどが、ただ詰まっているだけというようなところが存在している可能性もありますので、そういったところを確実に改良しないといけないということに十分注意していただきたいと思います。

また、その周辺についても崩落の衝撃で D2 層も含めその下の頁岩の健全な箇所もダメージを受け亀裂が発生している可能性がありますので、あわせて注意を払っていただきたいと思います。

特殊シールド工法の話ですが、現状で地盤を支えている支保工を全部撤去してしまうと地盤が沈下する可能性もあるということは非常に心配なところですので、もしこういう工法を採用するのであれば、今の坑内の土砂を置き換える改良をより確実にやらないと、沈下が起こり周辺に緩みを誘発させるという心配もでてくるかと思えます。これにより水みちを招くようなことになる可能性もあり心配なところです。

(委員長)

D2 層の扱いとそれからシールド工法の問題点についてお願いします。

(交通局)

まず、人工岩盤掘削の掘り方としてはナトムと同じですので水が出てこないように気をつけるべきというところは、まさにおっしゃるとおりだと思います。そういったところは人工岩盤掘削が採用になる場合には留意していく必要があると認識しております。

それから、グラウンドアーチを形成するというところも、同様でして、崩落孔ができたところの D2 層のうち、現状は完全に穴が開いたところは、D2 層が無くなって緩い砂が入っていると想定しております。解析につきましても、緩い砂のままで上の改良体が持つかというパターンと、緩い砂のところを改良いたしますので、最低限の改良強度である 1 MN/m^2 が取れているというパターンで、グラウンドアーチがどうなっているかということについて二通りの解析を行っております。解析結果と致しましても、上部の地盤改良体が塑性域にはなっていないことを確認しております。いずれにいたしましても、グラウンドアーチを形成するという点に留意し、更に検討を進めていく必要があると認識しております。

周辺地盤におきましても、亀裂や傷みが生じているところがある可能性がありますの

で、物性値をパラメトリックに低下させて解析などをするとともに、計測管理をきちんと行い、より安全に施工していけるように注意を払う必要があると考えております。

シールドにつきましても、鋼製支保工が約 10m に渡って支障となる箇所がありますので、支障区間の撤去が必要となります。午前中のご説明でもありましたが、やはり坑内の充填を強度のあるものにしないと、ご指摘のように大きな緩みが生じ、水みちがでけるといったこともあるかと思えます。これにつきましても、シールド工法になる場合はそういった充填をしっかりとる必要があると考えております。

(委員)

ありがとうございました。

最初のグラウンドアーチを形成させるため確実な改良をということに関して、高圧噴射攪拌工法では、先ほどから何度もお話があったように、陰になったところは造成されないという欠点があります。

特に、D2 層がもし崩れてバラバラになっていたとしても、その裏側には改良体は回っていない可能性がありますし、地山に緩みが出て亀裂が入っただけというところもあるかもしれませんが、改良効果をボーリングで確認をしたとしても岩があり大丈夫ということになり、確実な改良ができているかは十分分からないということもあり得ますので、緩んだ箇所を薬液注入で補足的に改良していくという方法も改良をより確実にするために検討をお願いしたいと思います。

(委員長)

たしかに工法が噴射ですから、石があるとか、鉄パイプがあるとか、その後ろ側には回らない、後ろ側が改良されない。だから配列をどうしていくか、この改良体の造り方が大事になります。この辺は少し小さめですけど、用心しながら密にやって行って千鳥とか、ラップさせながら三角形とか、そういった工夫をしないと難しいかなと思います。そのことと、今おっしゃったように、後で試験的によく見ながら薬液注入をすることで、改良範囲内に例えば空隙があったとしても、注入で極力密にして水を止めるというようなことをやるのかどうか、色々なことを考えていただいて、欠損部が非常に注意すべきところだろうというような意味だと思うので、この指摘を十分吟味して、計画を立てていただきたいということだと思います。〇〇委員の方は、ほかに全般的なことを含めてでも結構ですので、ご意見をお願いします。

(委員)

前段でお二人からお話があったのと同意見でございまして、特殊シールドの感想から申し上げますと、ステップ数が非常に多くて、また、注意する点も多いということで非常に難しい、本当にどうなのかなという感想を持っております。

人工岩盤掘削につきましても先ほどからお話があるように、改良体の信頼性をどう担保していくのかというところで、一点気になっておりますのが、地盤改良体の下端は地盤と一体化させるために岩着させるということで、D2層の上層に行くというイメージでしょうけれども、D2層に果たしてどこまで期待できるのかというところもちょっとあるので、そこはさらに詳しく考える必要があるのかなということと、先ほどからお話がありますけれども、いろんな障害物の陰の部分の確認をどうするのかと、チェックボーリングというお話ですけれども、そのチェックボーリングの取り方も、施工の計画の時と一体として考えていかないといけないだろうなと思いますので、そのあたりは十分ご検討いただきたいと思いますと思っている次第です。以上です。

(委員長)

今の意見にお答えすることはございますか。

(交通局)

D2層をどこまで期待するかというところですが、解析上の話としましては、D2層の代表の物性値を与え、更には地盤改良ではD2層は改良されていない前提で計算しております。バラツキ等もありますので、リスクのチェックというのはしていかないといけないと思っておりますが、基本は今のD2層をさらに何かで固めていくというよりも、把握できているD2層の強度は、極力生かしていくというスタンスでの考え方になっております。

それと、チェックボーリングについては、おっしゃられたとおりでして、どこをチェックすべきかという、施工計画もございまして、あとは仮に高圧噴射攪拌工が全然繋がっていないとなるとそこを境に崩れることとなりますので、障害物の陰が残っていたとしまして、部分的となるような高圧噴射攪拌工の配置計画が重要になってくると思います。仮に陰ができたとしても部分的であれば、確認できしだいそこは注入するという対策によって、确实、安全な施工ができるようにしていく必要があると認識しております。

(委員長)

基本的に、このケースの場合は、ここに楕円が入っているわけで、ある種の大きさの楕円が入っていて、その上にこういう岩盤を造って、支えようという発想ですから、支持はこのところにあるのですよね、この両サイド、あるいは向こうもそうだけど、壊れていないところのこの層のところ、このD2層というのは高圧噴射攪拌工法で改良できない状況で、これ自体を強化するというのは基本的にはできないですよ。D2層そのものと、問題はですねここいくら強化してもここに間が空いたら、水が漏れてきたとか、そういうことが起こっちゃ困るわけです。だから本当はここここは密に接着し

ているというか、きちんと埋まっているということがこの場合課題となってくると、だから穴が開いたものを上から蓋をして、その周りで支えているわけで、要するに蓋みたいなものですから。確実にぐるりと周りでできるかどうか、高圧噴射攪拌工法について聞いたら、下の方は、地盤の強度が強ければ、幅が狭いまま回転するわけです。いわゆるレコード盤みたいなものが、回転して徐々に上がってくるわけです。このところをどうやって密に D2 層との間で不連続を起こさないようにするのか。支えが基点になっているわけですから。そこを丁寧に、入念に施工できるかどうか。可能だと私は聞いたのですが、どうでしょうか。

(大成 J V)

D2 層上面との取り合いについては、今回実施した地質調査をもう一度正確に面的に高さを捉えて、どの程度地盤改良体とラップさせるか、ロッド先端を何 cm D2 層に貫入させて吹き始めるかというところだと思います。現在の想定では 30~50cm 程度。そうかと言って D2 層自体の健全なものを痛めるわけにはいかないで、その辺は慎重に計画を進めたいと思います。ある程度 30~50cm 程度はロッド先端を D2 層まで入れて、D2 層も時間をしっかりかければ、ある程度切れますので、上部は D2 層が比較的弱いので、その辺が密着するように、しっかり施工計画を考えていきたいと考えております。

(委員長)

検討をしっかりとやるということですね。それがひとつと、崩落孔の処理です。地質調査は D2 層上面の高さで止めていました。崩落孔付近の高圧噴射攪拌工法での改良範囲を下げてやれば、穴を埋められると期待していますが、いかがでしょうか。

(大成 J V)

今、模式的にトンネル上部に緑のゾーン、いわゆる陥没穴の改良をしているイメージの絵をつけていますが、現実的には下端まで突っ込んで、下から改良を上げてくることになろうかと思えます。そういった意味でトンネル内は、ある程度かなり薬液が逃げるとは思いますが、ある程度突っ込んでトンネルの中を固めながら陥没穴を埋めて上部の改良体と一体化を図るという方法を現在は想定しております。

(委員長)

基本概念は下から支えようというわけですね。そのようにこっちはなっていくのではないかと思います。ある程度現実的に分ってきましたので、こちらの委員の方で意見はないでしょうか。

(委員)

特殊シールドの場合ですけど、チャンネルシティ側から来るシールドマシンはもう発注されているかもしれませんが、そのマシンで同じ特殊シールドはできると考えてよろしいでしょうか。

(大成 J V)

現在そのように考えています。

(委員)

そもそもシールドマシンが反転するために、大断面にしていたのですよね。それは、この新しいやり方でもできるのでしょうか。

(大成 J V)

標準Ⅱ型ぐらいまでは、引き戻さなければならないのですが、現在使おうとしているマシンは多少部分的にばらすところも出てくるかと思いますが、回転自体は可能だという検証は終わらせております。

(委員)

そう考えると、人工岩盤掘削をする時も、断面形状を若干小さくする、アーチの話もありますけれども、断面形状や大きさを再検討していただいて、アーチがとれるようなもの、また、全部改良するのであれば、加背割も含めて、少し補助工法を加えた人工岩盤掘削の方法を示していただくと非常に分かりやすいと思います。より安全にリスクが小さくなるような、掘り方になると思いますし、今まで落とした工法でまた掘ろうとしているので、落とさないようにこういう注意をしたというのが大事だと思います。それをやることによって、どのようなリスクがあるのかを全部潰したうえで、人工岩盤掘削にするのであれば、そういう方向でやっていただきたいと思います。

(委員長)

今のように、加背割にも色々な工夫があるということが一つと、支保工が 90cm 間隔でアーチを造って掘っていた訳ですね、こっちから 103 基まで、そして落ちた訳で、だから今度は用心して、手前の方はそれでもいいかもしれないけど、103 基近くになると、その半分ぐらいの 50cm とか、そういう間隔で掘っていくという進み方も少し、丁寧に丁寧に手前からやっていくという考え方も出てくる。その際には、吹付コンクリートが 20cm ぐらいで計画されているのを、前はそうだったのを今度は 30cm ぐらいでやるとか、103 基、落ちたところの前後ぐらいは慎重な施工法があり得る。その一端として、加背割の話だとかあって検討してくださいということだと思います。

(交通局)

今の〇〇委員のご指摘とご質問の件で補足説明がございました。

大断面部は元々シールドをUターンさせるために大きくしているという理由と、線形的に中間駅に行けば行くほど、シールドの間が広がりまして、最終的に必要となる鉄道の内空の空間として、線路と線路の間が広がる関係で、両サイドの幅の余裕が現状でも余裕が少ない状態でございます。しかしながら、扁平しているというところがございますので、できるだけこの断面を小さくできるように、人工岩盤掘削で掘ったときのトンネルの幅を小さくするように検討は行っていきたいと思っております。現在の解析のチェックの中では、今の断面で解かせていただいて、安全性を確認しているという状況でございます。

それと、加背割につきましても、ご指摘のとおり比較検討が必要であると認識しております。

(委員長)

他に何かありますか。

(委員)

特殊シールドのところのリスクのcのあたりですけど、これ本当にシールドで密閉型のシールドになるのでしょうか。横にパイプーフとか入れて、鋼管を入れる訳じゃないですか、そうすると、地下水が下がってしまう状態になるのではないかと思っておりますが、これはどのように考えられておりますでしょうか。

(交通局)

シールドの機能としては、密閉型のシールドですが、おっしゃいますように事前に作業する際には、上に地盤改良を行っておりますし、一度水は抜きますので、その状態ではもちろんトンネル内の水位は下がっております。しかしながら、安定したシールド掘削を行う上では、土圧バランスを取ることが大事になりますので、特殊シールドで行く場合の基本的な考え方は密閉して土圧バランスを取りやすいような形で大断面部に入る、すなわちこの隔壁の密閉性がむしろ重要になる工法ではないかと認識しております。

(委員)

隔壁の方はちゃんとそのバランスをとれるのかというのが非常に心配なところであり、それであるならば本当に8ページのところのcの密閉タイプのシールド工法を採用することでリスクの低減という話と少し合わないような気がするのの一つと、いくつかのリスクの中で考えられていて、変位量を把握することでリスクが下がるのでしょうか。分かった時点ではもう遅いのではないかと思うのですが、それらのリスクの考え方自体

に対して少し見積りが甘いような気がします。

(交通局)

まず、密閉タイプと少し合わないのではというところですが、ここの記載は、地下水位の対策としての一つの考え方でございまして、むしろ地下水位の対策を十分に考慮すると、ここの隔壁の構造はこのイメージ図にかいているようなタイプではなくて、もっと頑丈なものが必要になるという見方をしていただきたいと思っております。

もう一つの変位量解析を行えば安全というわけではないことは認識しております、通常の設計の考えでいきますと、有害な変位を与えるようなことが分かっている工法につきましては当然採用ができない、もしくは大幅な補助工法ですとか、変位を発生させない対策をするということから記載しており、この解析を行えばリスクは小であるという意味ではありません。当然必要な設計のレベルの許容値内に収めるという、予測上ではございますけれどもそういうステップを踏むので、基本的にはリスクそのものを小さくできるという考え方で記載をさせていただいております。

(委員)

もう一つですけれども、この崩落部において、D2層自体に本当に期待する設計概念を残すのでしょうか。個人的に言わせてもらえれば、D2層はほぼないものと考えて施工をやった方が基本的には正しい考え方ではないのかと思います。ただどうしてもこの中でD2層を期待しているようなことが見えるので、それは違うような気がしています。両サイド前後を含めて崩落部全体のところの大断面のところについては、D2層というものはほとんどないものと考えて、高圧噴射とか攪拌等を入れながらやっていくという工法の方が良い気がします。そうするとその前提条件が違ってくるので、リスクのところ辺りも全部考え方が変わると思います。

(委員長)

どこまで支えるかという問題になってくるわけです。横断方向は建物があってあれ以上広げられないわけです。だからあの範囲でどこが支えになるのかということです。当然隅っこのところのトンネルがないところを掘っていけたら良いのですが、でもトンネルがあり、そして破れている。ですから破れた外側で支えを見つけなければいけない。それが無いというのであれば、それは圧密沈下か圧縮沈下か知らないが、弱い層としては存在する。それを少しでも改良していき、支持層とするにはどうしたら良いのかというところの考え方について何かあればお願いします。

(委員)

先ほど言われたように、D2層がないと考えればもうトンネルの中自体を崩落した部

分の大断面の部分をせめて改良したほうがいいと思います。

(委員長)

それが中柱と私は言って少し限定しましたが、本当は大断面のところを埋めても良い。隔壁を造った後、その後水平注入で全部注入することが可能なので、破れたところからもっと先まで含めてできるだけ固めてしまって欲しいと、それがこの岩盤工法の基本基軸ではないのかと思います。

(委員)

そういったところをもっと前面に出した方がいいと思います。3 MN/m²に固めるとするのは岩盤の区分で言えば、軟岩にしても相当弱い軟岩です。全然固くないと思います。はっきり言わせていただいて、トンネルの中を固めてしまいD2層には期待せず、その中で、比較的柔らかいものしか当初造れないかもしれないが、人工の岩盤を造っておいて、ナトムで掘りなおすとすれば、上の方をどうのこうのという話にはならないと思います。

(委員長)

〇〇委員、今の意見に関連してお願いします。

(委員)

説明が有りましたが、上部を造るために下までつっこんで、先進導坑の部分も含めて改良をあげるとおっしゃっていたが、そうすることで切羽が今は小さい断面だけど、切羽が高圧噴射攪拌工法による改良体で固まった状態になると思います。それを前提にして、計画を立てられるべきじゃないかと思います。だいぶ安定感が違うと思います。

(委員長)

それを前提にして突っ込むと繰り返し言っています。だから何本突っ込んだらいいかというのも問題です。断面全部を埋め尽くすほどに突っ込むものなのか、どこかのところで突っ込むものなのかということになります。

(委員)

昔、開放型の矩形シールドを施工したことがありますが、その時も同じ大成さんで、補助工法で切羽を高圧噴射で固めたら、ブレイカーを使わないといけなくらい岩盤になった。しかし、そういった状態のほうが安心じゃないかと思います。

(委員長)

1 MN/m² か 3 MN/m² か分かりませんが、高圧噴射をそのまま下までおろしてやって、何本か入れて、断面全体にある程度いれてしまう、だから発想は同じになります。

(委員)

そういったことを言ってもらえると助かります。

(委員長)

高圧噴射攪拌工法が支えになるようにある程度奥行きも 103 基を基準として手前と奥まで入れるということを十分考えるべきというのが主張です。

(委員)

入れるのを前提とした、再掘削工法を考えないといけないのではないのでしょうか。

(委員長)

ここの補修という概念が、誤解を招いている気もしますね。入れて、下までおろしてしまうという思想でよいのではないかと思います。全体が緑で支えられてしまうし、岩盤の中に行くようなものだから、これはナトムの得意とするところです。これまでの工法で大断面を掘っていくことは十分可能だと思います。

(委員)

そのときには D2 層には期待していないということになるわけでしょうか。

(委員長)

期待しても期待しなくても同じだということです。

(交通局)

ご指摘ありがとうございます。検討の経緯ですが、元々下をきちんと支えれば、上をそこまで頑丈にしなくてもという思想はありまして、仮に下がきちんと出来ていない時をベースに考え、下が緩い状態でも成立する地盤改良、水を抜くときにはその状態になる可能性があります。まずは上の D2 層を現状の強度で解いて地盤改良体が成立しているかを確認したうえで、委員の方々がおっしゃいますように、より安全となるように切羽を自立させるという意味でも中をきちんと固めることで、より安全な施工に繋がると考えております。

(委員)

姿勢が違うと思います。

(委員長)

計算をまずはやるためにやっているのですが、そのうえで不安定な状態がどのようにでるのかというのをやったうえで、全部やりましょうという結果になって、結果論は一緒に、本当の意味で上から下まで岩盤にしたうえで、掘削をやりますよという思想になってくるということを言っていますが、基本概念のところはその箇所を少し加え込んだらいいのではないかとというのが〇〇委員の意見だと思います。

(委員)

再掘削の工法を考えるのであって、上を固めるのは当然だと思います。それはもう皆了解していて、上だけで支えるのではないという発想をしたほうがいいと思います。D2層をどう考えるかというところの変換が必要なんじゃないかと思っています。

(委員長)

それでは、まとめるときにその辺を整理したいと思います。

(委員)

そうした場合、強さだけを期待するのではなくて、やはり水を通さないという止水効果を考えなければいけないと思います。そうした場合に、下から固めていって上を造るのか、どういう順番で造っていくのかというのが、とても重要になると思います。実際には、最終の状態にするために、どういう順番でやっていくのが、リスクを最小化する上で合理的なのかというのを少し教えてください。

(大成 J V)

今、想定している順番は、まず D2 層より上の流動化処理土との間、こちらを高圧噴射で固めようと考えています。

(委員)

まず上を固めるのですか。

(大成 J V)

まず、上を固めます。トンネルの中におろすためには、トンネルの中にそれ以上水や土砂が流入してこないような状態をまず作りたい。そういう意味で、流動化処理土下端と D2 層の間の緑のゾーンをまず造り上げて、その後、いわゆる蓋みたいな状態で、最後の薬液注入をあてて、全体的な止水性を保つ。その後、陥没部上部から削孔して、トンネル内と穴の部分の改良をあてにいくというのが、今想定している手順です。

(委員)

つまり、陥没部については下部から上部に向けて改良体を作っていくということですね。その時に、きわめて不均質というか、色んなものが中に入っているわけですが、そういう場合に、先ほどお話もあつたのですが、圧力を管理して上手く改良体ができるのかどうかの判断を適切にできるのでしょうか。注意深く進める必要があると思います。

(大成 J V)

薬液注入と少し違うのは、ロッドから一定の突出圧で、ずっと回転しながら地盤を切り刻んでいくので、基本的には、ほとんど回転数と突出量をセットすると、自動的にステップアップし、順に上に上がってきます。ただ、逃げている、逃げていないというのは、ほぼ改良体と同量の排泥が地上に上がってくる原理になっているので、完全置き換えではないのですが、そういった意味でどこかに逃げれば、排泥が上がってこないとか、そういったことも指標にしながら施工の方は管理していきます。

(委員)

そして、最終的にはチェックボーリングをして、確認するという意味でしょうか。

(大成 J V)

基本的に、チェックボーリングは一番ラップの弱そうなところを狙って、あとは、実際に地中にある程度、どこにどういったものが落ちたというのは写真から想定がついていますので、そういうラップの重ね部分と障害のありそうなところ、こういったところを計画的に見ていきたいと考えております。

(委員)

周囲に建物とかがありますので、注入系というか噴射系のものって、福岡空港でもそうですし、大分空港でもそうですけど、管理が適切でなければ隆起を起こしたり、ゆるみができたりといったことが結構あります。ですから、そのあたりを本当に慎重にやらないと、施工の途中で影響がかなり出たり、想定していない形でおこったりすることがあるので、そこは是非気をつけていただきたいと思います。

(大成 J V)

今回はですね、そういった懸念もございまして、外周部の高圧噴射につきましては、揺動式といいまして、360度回転するタイプではなくて、ある程度自由に、今回外周部であれば180度回転させながら、いわゆる民地側ではなくて、陥没孔に向けて180度

回すような工法を、外周部にまず先行して打って、それで逃げないような形をとりながら、中に中にということを今計画しているところです。

(委員)

押すようなケースもあるし、引っ張り込むようなケースも出てくるのでしょうか。

(委員長)

半分回転というのもでき、何割回転ということもできるわけです。要するに、180度全部、360度回転させるわけではないのですよね。そこら辺はコントロールして、影響が民地側に及ばないように噴射をするわけでしょうか。

(大成 J V)

とにかく、民地に影響が出たり、薬剤が逃げたりすることがないように細心の注意を払って進めていきたいと思います。

(委員長)

いずれにしても、用心して施工してください。ただ、良いところは、下から順々に自動制御で上がっていくそうですね。

(大成 J V)

そうです。

(委員長)

引っ張り上げるのではなく、自動的に回転しながらですか。

(大成 J V)

機械が、いわゆるタイマーみたいなものを持っていて、ある一定の時間を回転して、所定の径が切れたという想定のもと、上に上がってくるのですけども、ただ、やっぱり、その想定がいわゆる固い地盤、思ったより固い地盤で径が小さいということがよくあるトラブルです。

(委員)

そうだと思います。改良の準備段階として元々パイプを挿入する際に、例えば、周囲の地盤に変状を与えるといった、問題が起こったりします。準備段階においても最新の注意が必要だと思います。

(大成 J V)

今回は標準的な造成機のマシンだと、掘る力がどうしても弱いので、別途、障害を掘れる、いわゆるパーカッションという専用の削孔機を用意する予定であります。

(委員長)

やはり、一筋縄ではいかないということだけは、よく現場の方には知ってもらいたいということ。よく理解して、〇〇委員らが言った以上の注意をするような気持ちでやらなければいけないのではないかと思います。それでは、〇〇委員どうぞお願いします。

(委員)

今、〇〇委員もご指摘されたように、この高圧噴射攪拌工法は、削孔した後に噴射してくるということは、その物が地盤の中に入っていくのですよね。だから、どこかを膨らませてしまうというか、そういう影響があるのではないかというので、十分に注意しなければいけないということです。それから、トンネルの中にも入れていくということになると、トンネルの中に、もし空洞があったら施工上良くないでしょうから、これはトンネルのある範囲を仕切るということによろしいでしょうか。

(大成 J V)

そうですね。結果的には、大断面のところのアプローチ部と、いわゆる標準から3連に向かうところが、仕切れているような状態を想定しています。それが、今の高圧噴射で、ある程度、下が固まってしまえば、特段、止水壁だとか、ということでは無くなるのかもしれないですけど、それはちょっと慎重に水と土砂を取りながら、その仕切りたい付近まで来た状態で何を造るかということ判断していきたいと思います。

(委員)

あと、地盤改良の9ページで、先ほど〇〇委員からご指摘がありましたように、陥没した箇所のD2層の改良は、わかるのですけれども、例えば、B-B断面・C-C断面はD2層が残った状態になっているというのは、これは残さないというか、どのように改良していくと考えたらよろしいのでしょうか。

(委員長)

小断面のところでしょうか。

(委員)

陥没していないところには、D2層が残っています。このD2層はどうするのでしょうかということですか。

(大成 J V)

現状では、陥没箇所以外の部分については、あえて D2 層に対して、改良をかけようということではなくて、いわゆる接着面に留意して、一定のラップ長をとり、ある程度貫入させながら、接合面をしっかり造っていきたいと今は考えております。

(委員)

そういう時は、周りからの水圧の影響をきちんと把握して、破壊、崩壊が起こらないようにしなければいけません。これが崩壊すると、この元々の崩落事故の原因のようなところがあるので、これは絶対にやってはいけないことだと思います。

(大成 J V)

今は、改良後のチェックボーリング的な話ばかりでしたが、現実的にはやっぱり、観測井みたいなものを設けて、ある程度水を抜いてみて、地下水が入ってきてないというようなことを確認した一連のチェックが終わって、水抜きという行為に移っていくと考えております。

(委員)

あと、大断面以外の所でも同じですが、トンネル部分が水没しているのですが、吹付コンクリートと鋼製支保工などの既存の構造物があります。それが健全であるというのをどこかで信じてやろうとすると、危ないと思うので、そこを十分注意しなければならないと思います。

(大成 J V)

決して今、計算で OK だったから現状で 100%OK だと思っているわけではなく、これは委員長からもご指導いただいたところがあるのですが、早期の段階でなんとかカメラを中に入れて、地下水を下げた段階で支保工や吹付をチェックしながら段階的に下げていくようなことを、現在検討を進めております。

(委員長)

要するに〇〇委員もおっしゃったように、その時にカメラを入れられれば一番いいのですが、それができないかということを生懸命検討していただいています。それで、水位が天端より少し下がったら、監視カメラ等ですぐ天井のところの様子が見られればそれが一番いいのですね。そういう施工上の工夫ができるならとお願いして、それを検討していただいているようなので、確かにおっしゃる通りと思います。

ついでに出ましたから、3連トンネルの方で他に注意すること、留意することござい

ませんか。標準断面の近くまでは Dh 層はないですね、標準トンネルから 3 連トンネルに Dh 層、いわゆる炭質頁岩が出てきて、事故の前にこれが沈下を起こして地表面が沈下したので、管理基準を変更したところです。それが今度は少し膨れ上がっています。そしてまた水を抜くわけです。そうすると、圧縮沈下か圧密沈下か分かりませんが沈下が起こる。地表面沈下の管理基準は 50mm で、現在は 40 数 mm ですので、10mm くらいしか今の管理基準から余裕がない。そしてまた水を抜いたら当然下がってきますから 50mm に近づく、そして 50mm を超えるかもしれない。その時にこれを危険とみるのか、それとも少し余裕があるとみるのか、その辺の考え方が一つあると思います。土圧係数の話も出てくるけど、この場合は幸いにもアーチ支保工と AGF ボルトを打ち込んで、水平方向もボルトを打ち込んで、ある程度時間がたってから陥没が起こっている。だから吹付コンクリートそのものは固まっている可能性は十分ある。水抜きしたらすぐにさっきのような隔壁をどこかにつくって、こっちの方に入ってもらって支えをするか、よければそのまま本巻きをするか、そういうような概念でここは整理されていると思う。問題は横を掘るとき必ずでてくる。そのときボルトとか、長尺の先受工できっちり止められるようにするとかが必要になると思います。

水抜きはとりあえず何とかするのではないかと思います。これをどう固まっているかとみるかが問題です。破れたから上から補強して地盤改良するという話を一所懸命している。標準断面は少なくともそこまでしなくてもいいのではないかと思います。ただし、標準断面から先に Dh 層が出てきます。

(委員)

参考資料 30 ページの解析において、標準トンネル II 型の検討結果がありますが、坑内水抜き後というのは委員長がおっしゃったような状況を想定した解析になっていると考えてよろしいでしょうか。例えば 40~50mm くらい Dh 層が沈下する可能性があるということを踏まえた解析になっているのでしょうか。

(大成 J V)

基本的には今回得られた低めの物性値を入れて解析しておりますので、そのような状況を想定した解析結果です。

(委員)

解析上は、結構水を抜くことで安定した結果となっているのは理解できます。お聞きしたいのは水抜き前のところで、インバートのところ上が真っ赤になっています。これは、どんな解析をしているのでしょうか。外力としては自重だけでしょうか。

(大成 J V)

外力としては、掘削時は掘削解放力が入ります。あと排水時には、浸透力のような形でそちらも入ってきます。下が赤くなっているのは、トンネルを掘削しますとアーチアクションが働いてくるのですが、これインバートの部分は、まだ掘っていないのですが、これが平らになっていますので、どうしてもこの部分の応力が抜けるような状態になり赤くなっているのですが、ここはいずれにしても最終的にはインバートを掘って、もう少し丸みを帯びた安定した形状で最終的にはできますので問題はありません。

(委員)

現状がこれなのでしょうか。これだと下部はもう解析結果としては、壊れているという結果になっていると見たらよいのでしょうか。

(委員長)

圧力で下から押し上げられると。でもそれは起こるかもしれないですね。どうでしょうか。

(委員)

弾性解析の結果ですので、この辺りが弱い部分だっというのを認識するっていうことが大切なのでしょうか。

(委員長)

ここは造ってもう既にコンクリート打ってあるから。本当は計算でこんなもの出るのでしょうか。

(大成 J V)

水抜き前の間隙水圧がある状態ですので、破壊基準線の方に近づくような形になっています。水抜き後になるとそこが回復していますのは、間隙水圧がなくなって、有効応力が増えて安定するという事になっています。

(委員長)

応力変化があったということでしょうか。

(委員)

標準Ⅱ型について、今度の新しい物性値でイニシャルの状態から掘削して、地表面沈下がどれくらいあるとかいう計算をされていますでしょうか。

(大成 J V)

その条件で計算をしています。一番上が標準Ⅱ型の掘削した時の変形図ですけれども、先程からちょっとあります**50mm**というのは、括弧が実測値で、解析値が括弧付いてないやつですけど、そういう意味では陥没前の解析はほぼ終わっています。その後、水抜きをすると解析上**10mm**くらい浮きます。実際この標準トンネルは**2mm**くらいしか浮いてないのですが、その後掘削をしていくと、これは今後の掘削の解析をすると、やはり元通りくらいの沈下に戻るということで、今**2～3mm**浮いているのが、水抜きすることで**2～3mm**増えるというような見解であります。

(委員)

50mmまで余裕代がないので、少し怖いと思います。内部構造が変わるわけではなく水が抜けるだけなので、同じくらい沈下が進むということはないと思います。水を抜くだけであり、応力再配分は全部できているので、そんなに大きな変化はないと思いますが、ここは少し何かケアをしておかないと、もしかしたら**50mm**を少し超えることがあるかもしれないと思います。

(委員長)

少しは超えても大丈夫と言えないのか。というのは、今は少なくとも安定している訳です。これからも更にどれくらい危険度が増すかという発想で、整理するというのも考えられないわけではない。その時に、**50mm**を超えても応力とか変位とか、そういうのがある程度収まるその間に手当てができればいいわけで、その辺の解釈の仕方と監視の仕方とか何かご意見はありますでしょうか。

(委員)

ガス管の位置を変更していますよね。

(交通局)

中圧管がございましたけれども、事故の前に管種変更して、対策を行っておりました。

(委員長)

陥没箇所のガス管は、現状では漏れるというのがない継ぎ目になっているとか。それからさらにどれくらい余裕があるかという発想で管理基準を決めるとか。不等沈下が起こった場合の一番のリスクはガス管だと思います。全体がじわじわと沈下しているのであれば、**10～20mm**追加されたとしてもガス管は大丈夫だと聞いています。

(委員)

標準Ⅰ型、Ⅱ型、3連のところのコンクリートの性状というのは水を抜いて中を確認

されると思いますが、先ほどの話だと逆水圧がかかって、そこら辺の点検は慎重にやっていたら事故のないようにしてもらいたいと思います。

(委員長)

備えとすれば横断方向の歩道があったところに、周りの水を抜くという思想もでてくるのです。水位を下げるということができれば問題ないのですが。今日は監視体制の説明はないのでしょうか。討議資料2の22ページあたりでしょうか。

(大成 J V)

討議資料2の22ページですが、本決まりではなくて、追加調査計画で実施したものに追加計測をした現状と想定している計測計画を加えた図です。平面図になっていますが、赤い丸と連絡坑の上にオレンジ色の丸を示していますが、赤の方は現在でも地表面沈下計測を継続している点でございます。オレンジの丸は排水時にはここも計測をするという考えを持っています。加えて第3者委員会からも、周辺の地下水の挙動を分析することで力学的な安定性を確認することと提言をうけておりますので、周辺に青い丸及び三角で示すように岩盤並びに土砂層の地下水位を計測するポイントを設けております。あわせてピンクの四角で囲ったところは、直接層別沈下計を入れて、排水時並びに再掘削時に地山の動きを直接的に計っていくように考えております。排水に関しては立坑の水質ですとか、水位なども確認いたしますし、カメラによる監視も考えております。実際に排水計画を検討していくうえでは、これからご指導いただいて、さらに計測の強化をすることで、より詳細なモニタリングにしていきたいと考えております。

(委員長)

問題はどこを中心にしてきちんと観測すべきか、観測の種類が表面と、層別沈下と地中と、それから地下水の上の層と下の層、この5項目が中心だと思うのですが、そのときに層別というのが一番欲しいのは Dh 層のところの変化になります。それが分かれば一番良いと思いますが、そのあたりはどうなりますでしょうか。

(大成 J V)

今、標準Ⅱ型から3連に向かってピンクの点が3点あるのですけれども、ここは層別沈下計を設置しており、D2層並びに炭質頁岩層、さらにその下の岩盤層等を計測する予定としております。

(委員長)

それならば大丈夫だと思います。他に観測で留意が必要な点はありますか。

カメラ監視の絵が資料にあります。水が抜けた後しかできないと思いますが、博多駅

側から水平にボーリングを掘り、カメラを入れて照明を当てて写真をとることはできますか。立坑を見れば分かるのですが、立坑は濁っているのですどこまで透明度があるか、一度簡単な計器で測れないのですか。レーザーみたいなものを使ってその反射率とかで、粒子がたくさん入っていれば反射率があがるとか。それか濁度計で測れるのでしょうか。

(委員)

濁水を透明にする薬剤はないのでしょうか。

(大成 J V)

凝集剤がありますが、立坑からどれだけ入れてきれいになるかというのはちょっと分かりません。

(委員)

水平方向の変位を気にしないといけないようなところはないのですか。これ全部、鉛直方向ですよね。傾斜計みたいなものを入れて、水平方向の変状を見るというか、そういったところは大丈夫でしょうか。

例えば、大断面のところの止水する裏側とか、そのあたりに一つ傾斜計みたいなものを入れて変状をモニタリングするとかどうでしょうか。

(大成 J V)

これから計測結果をブラッシュアップしていきたいので、ご意見を参考に検討いたします。

(委員)

地下車路のところの変位の計測で、傾斜計は残っているのでしょうか。そのあたりも記載しておいたほうが良いと思います。

(委員長)

傾斜計についても色々検討してどうなるか分かりませんが、考えられるのは傾斜計あるいは層別沈下の差ですから、そんな感じのことを留意点として指摘は受けましたから、注意して計画をしてください。

他に全体を通じて、今までの検討で私が何か言い漏れていることなどないでしょうか。

(交通局)

本日ご欠席されています、野崎委員と野焼委員に事前説明に行った際のコメントをこの場でご紹介いたします。

まず、〇〇委員からは、再掘削の工法、地盤改良につきましても、特に異論はないと、承知いたしましたというコメントをいただいております。

〇〇委員からは、再掘削の工法につきましては、総合的に判断し、人工岩盤掘削ということで異論はないと、それではよろしいでしょうというようなご意見をいただいております。地盤改良につきましては、範囲、方法について、異論はないとご意見をいただいておりますが、施工の手順について、どういったところから順番に入っていく、今目標としている改良の形にするのか、そのようなところはきちんと詰めてほしいと、そういったことをお願いしておきますというコメントをいただいております。

(委員長)

施工手順はそういった意味では今日は議論できなかったわけですが、一応こういう手順になるとおおよそのことは、前回事業者の方から出していただきました。今日は改めてそのことを議題にのせていませんので、これは基本的には事業者の方の責任になると、そういう言い方はおかしいけれども、そちらで決めることが基本だと思います。我々がこの場で細かく指示するとかではなく、注意しなさいとは言えるけど、何を先にやって何を後にやるかという話になると、細かな情報が必要になり、我々の方では難しいかなと思いますので、細かく突っ込む気はなく、留意事項と思ってよろしいですか。

(委員)

今まで人工岩盤掘削という言葉が出てきたのですが、工法の比較であるならば、やはりナトムとシールドだと思います。固めたものを本当に人工岩盤と言うのかとすごく疑問です。そんなに固いものではないので、例えば 10MN/m² ぐらいある軟岩ぐらいの固さのものを造るなら人工岩盤と言って良いのかもしれないですが、単なるこだわりなので一応言っておきます。直してほしいという話ではございません。

(委員長)

確かに、突き詰めればそういう議論が出てくると思います。しかし、すでにこれで公表をされており、今さらその言葉を変えて説明することはかえって混乱すると思います。また別の工法を提案しているのかと誤解を招く恐れがあります。

(委員)

そういう意味ではなくて、岩盤の専門家がいるのに、こういう事を平気で認めるのかという誤解を招きたくないということで、記録に残しておいてほしいということです。

(委員長)

分かりました。事務局は今のような議論でだいたい整理がつきますかね。

それで、最後に大事なことですけれども、今の地盤改良のことで、再掘削工法のことで、この委員会としての見解、それをまとめておかなければいけません。今日、多岐にわたって皆様方からご意見をいただきました。その一つひとつについては、留意点として記録に残していますし、議事録を読めば分かる状況ですので、そこまで細かくまとめということはありません。ただし、工法について、それから地盤改良のレイアウトについての大筋、そこについて皆様方にお諮りして、本委員会のまとめに代えさせていただきます。よろしいでしょうか。それでは、整理してみるとこれまで我々は非開削工法のなかで、人工岩盤工法と新シールド工法の2通りが非開削工法としてあるということを第3者委員会からの整理もあるし、我々もその二つを考えることで十分だと地質調査の結果考えたということです。その結果として、掘削については、それぞれ利点、欠点、難点があるのですが、まずは、岩盤掘削工法については、基本概念の捉え方で様々な意見があり、私はこのように考えてはどうかと思います。

一番の扱いは、D2層の考え方、D2層を支持層として考えるか、そこもすべてトンネル内部までの岩盤化を図って岩盤とするのか。表現が難しいがD2層を適切に評価し、人工岩盤下の大断面などで掘削することは、懸念諸事項に十分配慮し、且つ、監視体制の強化と判断の二重化を入りたい。原因究明の検討委員会では、夜間での作業中の事故ということもあって、監視体制が十分であったのか、空白の時間もあったのではないかといろいろな議論があったと聞いておりますし、事業者と監督者、交通局との連携プレイがすべての情報を共有している状況だったのか、インターネット等で情報をお互い見て、一日に1回か2回見て情報交換して進めて行くような体制づくりをすることを二重化という言葉で表現しますので、二重化を図りながら、施工できると考えられる。そういう結論になるのではないかと思います。要するに、D2層を適切に評価し、人工岩盤下の大断面をナトムで掘削することは、懸念諸事項を十分配慮し、且つ観測体制の強化と判断の二重化を図りながら施工できると考えられる。というのが人工岩盤掘削の我々としての評価です。

一方、新シールド工法については陥没地山の複雑な地盤構造と土砂層及び風化頁岩を含む頁岩層による地質、更には、眼鏡型となる区間の中間柱構築までの不安定である。そして新技術での未経験のもとでの本坑の施工は、確実性が求められる都市トンネルの事故が発生した現場における対策としての積極的な採用は難しいというのがここでのまとめになると思います。

大断面トンネル部の地盤改良については、高圧噴射攪拌工法をベースに薬液注入工法を併用するなど、改良工法や改良範囲を皆さまに確認していただきました。また、トンネル坑内の水抜きについては、作業をより安全に行うために、トンネル坑内の充填や、地下水位を低下させる補助工法を併用することについて確認をしていただきました。

標準トンネル及び3連トンネル部については、計測を行いながら慎重に水抜きを行う必要があるなど、いろいろな細かい注意点がございました。それを一つひとつ潰しながら緻

密な施工計画をたてて入念な施工に繋がるように格段の努力をお願いします。というのがこの委員会のコメントになると思います。そのような包括的な言葉でまとめてよろしいでしょうか。交通局はよろしいですか、今のようにメモを作って記者会見のときはそういう言い方をしてもらいたいというのが委員会での希望であり、結論です。

(委員)

最初の工法選定検討部分の中で二つのことを考えるといわれていますので、安全性と市民生活への影響、そういうキーワードをうまく入れた方がいいと思います。

(交通局)

今の流れを踏まえて、交通局の方で文案を作ります。

(委員長)

すぐにできますか。

(交通局)

今すぐは少し難しいです。

(委員一同)

一任いたします。

(委員長)

それでは、記者会見までの間に私がもう一度見て、最後を最初に持ってくるという趣旨は理解できましたのでそれを確認して、今日のまとめにすることだけご了解いただきたいと思います。

(委員一同)

はい。

(委員長)

ここまでは無理なスケジュールで皆様に集まっていただきましたが、やはり皆様も仕事しながら来られるわけで、ここばかり係わっているわけではないので、今後の進め方についてパターンを変えてやらなければいけないと思っており、交通局からその辺の考え方を示していただければと思います。開催時期は今後の進み方によって節目節目で、またご助言をこういった形になる場合もありますでしょうし、または現場が進んだ状態の中でご相談させていただきながら色々アプローチというか、相談の形があるかと思

いますけれども、いろんな形で事前にお伺いしながら、どういう形でご意見をいただく、ステージを造るかをご相談させていただきたいと思います。その時に東京・大阪から度々来られるのは大変だし、調整も大変となる。少し言い方は悪いですが、福岡県内の人が責任をもって、幹事的な役割で途中途中を見る等、例えば、坑内の水抜きが始まった時などは、来られる範囲でも良いのではないのでしょうか。全員が集まらなければいけないという事もないし、そういう事を織り交ぜながら、やっていただくとやりやすくなるのかなと思います。この3回は事前説明もお互い意見を交換して、2度やっているのと同じ理屈だし、より良くなると思ってやっているのだけれども、やはり負担が大きい。委員会として全員が集まる体制を取るとするのは難しい面があると思うので、実質効果があるような方法を工夫してください。

(交通局)

分かりました。ご相談させていただきながら進めてまいります。

(委員長)

今日のところはこれで終わります。事務局へマイクを返しますので宜しくお願いします。

(事務局)

委員長どうもありがとうございました。

閉会にあたりまして、福岡市交通事業管理者の阿部よりご挨拶をさせていただきます。阿部交通事業管理者宜しくお願いします。

(阿部交通事業管理者)

交通事業管理者の阿部でございます。会議の終わりにあたりまして、一言御礼のご挨拶を申し上げたいと存じます。

委員の皆様方におかれましては、本日長時間にわたり熱心なご討議を賜りまして誠にありがとうございます。また、5月以来、4回の会議を開催させていただきまして、ご多忙のお立場の中にご出席いただきましたことにつきましても併せて御礼を申し上げたいと存じます。とりまとめにご尽力いただいた樗木委員長にも心から御礼申し上げます。ありがとうございました。

道路陥没事故を起こしました七隈線延伸工事の博多駅工区ナトム区間。この工事を再び軌道に乗せていくという事のために、委員の皆さまにご意見・ご助言をお願いしていたところでございますけれども、本日、再掘削の方法と、これから始めてまいります地盤改良の範囲や手法について意見のとりまとめがなされたということをお聞きしております。深く感謝を申し上げます。

今後は、皆様方からいただいたご意見・ご助言をしっかりと踏まえながら安全を最優先に一步一步着実に事業を進めてまいりたいと考えております。

また、施工業者であります大成JV様と密接に連携協力して、多くの皆様のご期待に応えるべく全力を尽くしてまいりたいと思っておりますので、今後とも引き続きご指導を賜りますよう、よろしくお願いを申し上げます。

委員長からご指示がございましたご指導のいただき方につきましては、よくご協議させていただきまして、最善の方法を考えてまいりたいと思います。本日は誠にありがとうございました。

(事務局)

阿部交通事業管理者ありがとうございました。

以上をも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、誠にありがとうございました。