

広島高速5号線トンネル施工管理委員会（第5回委員会）の議事録

- 1 日 時 令和5年6月16日（金） 13:00～14:45
- 2 場 所 ホテルチューリッヒ東方 2001
- 3 出席者 小山委員長
砂金委員、金折委員、日下委員、杉本委員、松本委員(web)、山本委員
- 4 傍聴者 16名（うち傍聴会場10名）
- 5 報 道 8社
（新 聞）中国新聞、毎日新聞、中建日報
（テレビ）NHK、RCC、広島テレビ、広島ホームテレビ、TSS
- 6 議事概要及び結果（○：委員、●：事務局）

（1）地表面変位の二次管理値到達に伴う変位要因の分析及び対策案の検討等（資料）

- 資料8ページの傾斜角に関連する確認と質問である。(社)日本建築学会の木造建築物の不同沈下障害と変形角(傾斜)の表は、多くの計測結果を統計的に整理したものであるため、判断基準として使用することは妥当と考えるが、今回の傾斜角が、第1期段階3/1000ラジアンはおろか初期段階1/1000ラジアン以下という結果であったことについて、住民の方の安全・安心の観点から伺いたい。事前調査時にもともと傾斜角を有していて、今回の調査結果の増分を足した結果、1/1000ラジアンか3/1000ラジアンかわからないが、そこに到達するケースもあるのではないかと考えられる。その際の対応はどのように考えているのか。

⇒●今回の緊急家屋調査は、1級レベル計測点UL1-6の地表面変位が二次管理値に到達したことによって建物の構造へ影響を及ぼす不同沈下障害の確認を行うため、事前調査結果と今回の調査結果による比較を行い確認した。その結果、建物の一体傾斜の増分ではあるが、基礎等にきれつが入り始めるしきい値である3/1000ラジアン以上の傾斜角増加は見られず、最大でも0.61/1000ラジアンという結果であった。ご質問の事前調査時にもともと傾斜角を有していて今回調査の結果3/1000ラジアンに到達するケースについては、今回の調査結果で一部の家屋において確認されているが、対象の方から生活上の支障があるというご意見は伺っていない。なお、トンネル掘削完了後地表面変位の収束を判断した段階において、事前調査を実施した家屋を対象に事後調査を行った上で、トンネル工事を要因として発生した家屋等の損傷を確認した場合、補修に要する費用を補償する対応は適切に行う。

⇒○了解。丁寧な対応をお願いしたい。

- 資料9ページについて、二点伺う。緊急家屋調査結果において、室内クロスの破れや土間部モルタルの亀裂の拡大等の変状を確認したとあるが、トンネル工事との関係についてどのような見解であるか。

⇒●このたびのUL1-6の地表面変位が二次管理値に到達したことに伴う影響として、(社)日本建築学会で示す木造建築物の不同沈下障害と変形角(傾斜)の第1期段階、

基礎等にきれつが入り始めるしきい値 3/1000 ラジアン以上の傾斜角増加は見られていない。一方で、今回確認されている室内クロスの破れや土間部モルタルの亀裂の拡大等の変状については、工事による影響等に対する意見を対象住民の方から詳細な聞き取り等を行いながら個別に対応を実施している。

⇒○了解。

もう一点は、午前中の住民代表の方の意見表明の場でもあったが、掘削中の騒音・振動等に対して住民の方から寄せられたご意見について、どのような対応を行ってきたのか。

⇒●振動・騒音については、地表面変位と同様に厳しい管理値を設けて掘削を行っており、これまでの掘削では一次管理値未満であるが、住民の方から、管理値未満であっても振動・騒音により生活に影響があるとの声を頂いている。振動・騒音への対策として、施工上、まずは、発生を抑制するためにマシンに装備したグリッパーを使用しており、掘進速度も遅い状態で掘削を行っている。また、騒音・振動が一次管理値未満であるが、工事中の騒音・振動が迷惑と感じられる住民の方には、広島駅周辺のマンスリーマンションや介護施設等をご提供させていただくなどの対応を行ってきたところである。ただ、マンスリーマンションや介護施設等の利用について、利用された方から生活状況との相違などの問題について伺っているので、引き続き丁寧な対応を行っていききたい。

⇒○引き続き丁寧な対応を行うとの話があったが、掘進の再開を検討するにあたり、今後の騒音・振動への対応についてどのように考えているのか。

⇒●工事での騒音・振動を抑制する対応として、施工業者とも協議を行っているが、施工における対策はこれ以上困難と考えている。住民の方から、管理値未満であっても生活に影響があると声を頂いていることについては、施工中の仮住居への移動が可能な対応を設けているが、仮住居も生活に影響があるとの声もいただいている。しかし、振動・騒音を全く発生させずに、工事を進めることも物理的に難しい状況である。そのような状況の中で住民の皆様の声を聞きながら、丁寧な対応を行っていききたい。

⇒○了解。

様々な取り組みを行っている一方で、午前中の意見表明であったとおり、切実なご意見を住民の方々がご持ちであることから、物理的な対応を可能な限り実施いただきたいが、難しい場合は、情報提供のあり方や住民の方々との話し合いであるとか、引き続き対応いただきたい。

○ 資料9ページにある、牛田地区のトンネル掘削完了後の地表面変位の収束の判断は、いつ、どのように行うことになるのか。

⇒●牛田地区のトンネル掘削完了後の地表面変位の収束判断にあたり、地表面変位の計測は、牛田地区のトンネル掘削の期間及びその後の一定期間行う。その一定の期間の終期については施工管理委員会の意見をふまえて、当公社において判断したいと考えている。

⇒○了解。

- 資料 14 ページに関連し、改めて切羽圧の設定方法を伺いたい。
- ⇒●切羽圧の設定については、地下水位の低下を防止する観点から、静水圧を基準としてその値を下回らないように計画しており、これまで山間部においてはこの設定の考え方で管理している。一方で、牛田地区の住宅地区間については、沈下発生リスクを極力回避するために、切羽圧は静水圧より極力高めに設定をした方が沈下の抑制が可能という観点で設定している。しかし制限なく切羽圧を上げるとはできないため、泥水が地上に噴出しない圧力として、掘削影響範囲内の最小土被り厚に泥水比重 1.10 を掛けた圧力を上限として管理している。
- ⇒○住宅地区間で、UL1-6 からの距離が+30~40mあたりにおいて、切羽圧の設定が土被り厚ベースから静水圧ベースに変更しているが、その理由は何か。
- ⇒●このタイミングで、静水圧ベースに変更した理由は、牛田地区住宅地区間では土被り厚ベースで管理することとしていたが、UL1-6 の地表面が隆起傾向になり、その状態が継続したことから、この隆起傾向の抑制対策として、切羽圧を、静水圧+0.02 MPa の静水圧ベースとし、低い管理値に変更し、臨時対応した。
- ⇒○了解。
- 資料 21・22 ページの、近傍の地盤状況について、花崗岩での亀裂の存在等は、ある程度想定されていることであると思うが、UL1-6 近傍の特別な特性になるのか。
- ⇒●変位要因の分析の一つとして、UL1-6 近傍の地盤状況との関連性について改めて精査を行った。一点目として、トンネル直上付近の地表面の状況は、住宅地区間の前半は概ね盛土域、UL1-6 付近以降は切土域で切盛境の付近に位置しており、地表付近には地質縦断図にもあるとおり、DH~DL 級の風化花崗岩が露頭していることが確認されている。二点目として、トンネル掘削断面の上部には、亀裂の存在が確認できる。三点目として、旧地形としては、近傍の盛土部では複数の沢筋が合流しており、水の集まりやすい地形であったことが確認されている。これらの状況から、UL1-6 の地点は周辺の地盤状況と比べて、泥水の過度な浸透により亀裂や土粒子間隙に泥水の細粒分が浸入しやすい状況にあり、結果として地下水位が一時的に上昇し、それに伴い、隆起、地盤変状の影響を受けやすい状況であったと、推察している。
- ⇒○少し補足する。本工事に出てくる白亜紀の花崗岩を考えると、節理や亀裂も、同一の方向・間隔など規則的に生じているものではないと考えるのが妥当かと思う。従って、節理と亀裂の性状をふまえ、肌落ち等に留意しながら、今後の掘進を進めていくことが大切になってくると思う。
- ⇒●了解。
- ⇒○UL1-6 の近傍については説明があり、承知したが、今後の掘進区間では、亀裂等の存在はどのような特徴があるのか。
- ⇒●資料 31 ページのとおり、今後の掘進区間では、地表面は、直近約 50mは UL1-6 近傍と同様に切盛境の周辺に位置し、その後約 50mは切土域に入ってくる。トンネ

ル掘削深さ付近は、上部に位置する CL～CM 級岩盤の RQD が多少大きく、UL1-6 近傍に比べて亀裂の存在が比較的減少する傾向にあると考えている。そのため、今後の掘進区間では、泥水の過度な浸透に起因する地表面の隆起はこれまでと比べて生じにくいと推察している。

⇒○ 今後は切土域に入り、亀裂の存在が減少し、結果として泥水の過度の浸透も減少する。それに加えて、今後の掘進区間については、亀裂・間隙への細粒分の浸入抑制に泥水の性状を変更するということで、対策を行うということであると、了解した。

○ 近傍の地盤状況、例えば、亀裂の存在等を把握していた状況のなかで、泥水圧あるいは裏込め注入圧を高めに設定した理由について伺いたい。

⇒● その点については、二次管理値 2.4 mm という厳しい値のもと施工管理を行い、現在、牛田地区の住宅地区間の施工を行っている。その施工にあたっては、地表面の沈下の抑制を考慮した施工計画としており、切羽圧については極力高めとなる土被り厚ベースで設定していた。裏込め注入圧は、マシンのテールボイドに対して裏込め材を確実に注入・充填するために、切羽圧に対して +0.2～0.4MPa を目標として管理しており、切羽圧を土被り厚ベースで高めとしたことに伴って、裏込め注入圧も結果的に高めの設定となったものである。この裏込め注入圧の設定を下げることは、逆にセグメントと地山の間の未充填・空隙残存のリスクに繋がると考え、採用せずに、掘削を行った。

⇒○ 了解。

○ 地表面の隆起ということであるが、これは牛田地区の着手前までに想定していたのか。

⇒● 一般的なシールド工事においては、掘削の影響によって隆起が生じることも考えられると思うが、本工事は岩盤の中を掘削するものであり、また住宅地区間ではカッター交換に伴う切羽開放作業も計画していたことから、沈下へのリスクを対策の主眼に置いて検討を行っていた。

⇒○ シールド掘削に伴う応力解放の影響と、切羽開放作業に伴う地下水位低下の影響の両面から地表面沈下の検証を行ってきたと思うが、資料 23 ページの今回の変位解析は、応力解放の影響は考慮しないという条件設定のもとで行っているのか。

⇒● そうである。今回の解析では、地盤中のマシン周りに静水圧よりも高めの泥水圧や裏込め注入圧をかけたときに、地盤中の水圧や地下水位の変動がどう地表面に影響するかを検証しており、第 4 回委員会で地下水位低下の影響を検証したときと同じ解析手法・モデルを使って検証を行っている。

⇒○ その場合、解析結果に影響を与える条件として、切羽圧より裏込め注入圧の方が大きいため、裏込め注入圧がかなり支配的になっているのではないかと思う。今後の対策案としての解析検証において、資料 29 ページに解析結果が示してある

が、裏込め注入圧の値を変えれば、もう少し違った結果がでてくるのではないかと考えるかどうか。

⇒●ご指摘のとおり、解析上、裏込め注入圧の影響は小さくないものと考えている。この裏込め注入圧の設定を、これまで切羽圧+0.2~0.4MPaとしており、これを下げるとは、地表面の隆起を抑えるための方策の一つとして考えることはできると思うが、一方では裏込め材がテールボイドに確実に充填されず空隙が残るリスクに繋がる可能性があると考えられるため、対策としては、泥水圧の低減および泥水性状の変更を主体とし、計測結果を注視して、対策工の効果を確認しながら掘削を進めていきたいと考えている。

⇒○了解。

○ 変位解析において、資料 23 ページの変位要因の分析では、泥水圧が静水圧+0.1MPa で、裏込め注入圧は静水圧+0.3MPa をかけている。一方、資料 28・29 ページの対策案の検討では、静水圧ベースの場合、泥水圧が静水圧+0.02MPa で、裏込め注入圧が静水圧+0.32MPa であり、対策案の方が裏込め注入圧の値が大きくなっているが、その理由は何か。また、それでも変位量の解析値は 2/3 程度に抑制されるということになっているが、そのあたりを改めて伺いたい。

⇒●その違いについては、資料 23 ページの解析は、UL1-6 で掘削を行っていた際の施工時の実績データを反映しており、泥水圧は土被り厚ベースによる施工で静水圧+0.1MPa 程度、裏込め注入圧は静水圧+0.3MPa 程度で、これは泥水圧でみれば+0.2MPa 程度であったことから、これを解析条件としている。一方、資料 28 ページの対策案の検討として、Case-A では、泥水圧は静水圧ベースとして静水圧+0.02MPa、裏込め注入圧は管理目標として、泥水圧+0.2~0.4MPa の中間値である泥水圧+0.3MPa を解析条件としており、ここに違いがある。これにより、裏込め注入圧の解析条件としては対策案の解析の方が 0.1MPa 大きくなっているが、泥水圧の解析条件は逆に 0.08MPa 小さくなっている。解析では、この泥水圧と裏込め注入圧の増減のバランスや、解析位置が異なることで地層構成や地下水位といった地盤条件の違いもあることから、結果的に最大変位部の変位量は 2/3 程度に抑えられるという結果になっている。

⇒○了解。

○ 今、解析と実測という話が出たが、資料において、地下水位変動は概ね一致していることはわかるが、地表面の変位については値に差が見られている。その要因についてはどのように考えているか。

⇒●地表面変位量の解析値と実測値との差異が見られるということについては、隆起要因として推察している地盤内の亀裂や土粒子間隙に泥水の細粒分や裏込め注入材が過度に浸入して詰まり、隆起がそのまま残留したこと、弾性変形でなく塑性変形となっていることが一つ考えられることや、解析条件はある位置で 3 日間圧力条件をキープした状態で解析した結果となっているが、実際現場ではシールドの掘進・移動に伴って変位、隆起が累積したと考えているが、その累積について

は解析では再現できないことから、解析と実績との差が生じていると考えている。

⇒○了解。解析において、再現性に限界があることは理解できるし、地下水位変動量の比較や、管理データ、周辺地盤状況等の検証の結果から、隆起要因の想定メカニズムとして可能性は否定できないと考える。

○ 資料 26 ページの変位要因の整理で、層別沈下計 US-5 が沈下していた場合においても、これまで公表している UL1-6 の評価値を上回ることはないと記載があるが、これはあくまで将来の推定であると思うが、その根拠となる考え方について説明をお願いします。

⇒●UL1-6 の挙動は、層別沈下計 US-5 の地中深部の不動点となるアンカーを設置しており、そこから地表面までの計測値と、地表面でのレベル測量において US-5 から UL1-6 の間を計測しており、その比高差から UL1-6 の標高を求めて確認している。ここで、層別沈下計が切羽開放時に一時的に US-5 の実際の挙動に追従していなかったとしても、地表面の US-5 と UL1-6 間の比高差はレベル測量を行っており、その結果は変わらない。仮に US-5 が沈下していた場合、UL1-6 の計測値も同様に沈下側にスライドして評価することとなり、現在公表している計測値、評価値から小さくなる可能性はあっても上回ることはなく、公表している隆起の計測値、評価値に対しては小さい側、安全側になると考えている。

⇒○了解。

関連して、今後も US-5 を使用することについて、その考え方を伺いたい。

⇒●資料 17 ページにおいて、UL1-6 と同様に US-5 を基準点として計測している 1 級レベル計測点 UL1-7・1-11 の事前計測開始時から現在までの長期的挙動を示している。この UL1-7・1-11 はトンネル掘削影響範囲の 45 度線の外に位置しているが、この 2 点において、579・587 リングの切羽開放時に UL1-6 と同様に一時的な隆起傾向を示しているものの、2022 年 11 月以降は基準線の変動幅内に戻っていることが分かる。また、資料 18 ページにおいて、トンネル掘削影響範囲の 45 度線の外に位置している UL1-7・1-11 を不動点と仮定し、それを基準とした UL1-6 の比高差の変動について整理している。その結果、ステージⅡのマシンが近づいてくる中で隆起傾向が見られてからの挙動は、US-5 を基準とした公表計測値と概ね一致していることと、ステージⅢの昨年 12 月の掘進停止以降の変動状況についても US-5 を基準とした公表計測値と概ね一致していることがみてとれる。今後 US-5 を使用することについて、他の計測点 UL1-6、UL1-7、UL1-11 のレベル計測の基準点として使用することは問題ないと考えているが、US-5 は切羽開放時の一時的な沈下に追従していない可能性があることから、US-5 の変位については、資料 32 ページのとおり、トンネル掘削影響範囲の 45 度線の外に位置している UB-1 を基準とした 1 級レベル計測を主体に行いながら、その変位に引き続き注視していきたいと考えている。

⇒○了解。的確に多重検証を行うこと。

○ 今、多重検証という話があったが、資料 26 ページの UL1-6 への影響を含め精査・検証との記載について、今後の見通しはどのように考えているか。

⇒●今後の見通しであるが、UL1-6 に掘削の影響が及ばなくなる地点までマシンが通過していった以降、その時の自然変動の状況も含めて検証したいと考えている。また、今後、実施する 1 級水準測量や掘削影響が US-5 の計測点に及ばなくなる地点までシールドマシンが進んだ時点で、US-5 の変位を確認できる試験を行うなど、引き続き精査、検証を行っていきたいと考えている。

⇒○了解。

○ 再確認であるが、US-5 が一時的な変動を捉えられていないという推定をふまえても、今後の対策、切羽の泥水圧を低減する等は、悪い方向にいかないということでよいか。

⇒●切羽圧の低減を行った場合でも、静水圧+0.02MPa で掘進管理を行うことから、地下水位を低下させることはなく、それに伴う地表面沈下も生じることはないと考えている。また、応力解放による地表面沈下についても、事前解析を行い、二次管理値を超過しないことを確認しているため、切羽圧を低減して掘削を行っても、二次管理値以内での施工は可能と考えている。

⇒○了解。

○ 切羽圧の変更が今回の対策となることについて、もう少し早く UL1-6 の隆起の傾向が見られた段階で、静水圧ベースに切り替えるという選択はなかったのか、その考えを伺いたい。

⇒●繰り返しの説明になるところがあるが、地表面変位の管理値について、二次管理値を 2.4 mm という値を設定・管理しており、住宅地区間での地表面の沈下の抑制の考えで施工計画をたて、掘削を進めてきた。特に牛田地区住宅地区間でのトンネル影響による地表面変位については、掘進後の応力解放による影響や、カッター交換に伴う切羽開放作業による地下水位低下の影響について事前解析を実施し、沈下という解析結果のもとで施工計画を立案していたことから、UL1-6 に隆起傾向が見られていたものの、沈下リスクの抑制を主眼に対応を行っていたのが実情である。

⇒○了解。これまでの議論や資料にも示されているように、一般論として、シールド掘削の影響として隆起する場合と沈下する場合、両者のリスクが考えられる。それに対して、隆起のリスクは、土被りの小さい軟弱地盤などでは想定されるものであり、今回の工事で想定することは難しかったかもしれないが、この度の事象をふまえながら慎重に評価を進めることが必要と考える。

○ 資料 33 ページのとおり、これまでの事前調査で、今後の住宅地区間での掘削において、破碎帯部の通過が想定されているが、その位置については、どのように把握していくのか。

- ⇒●本工事では、全区間においてシールド機内から約 50m 掘進ごとにノンコア削孔での水平ボーリングによる前方探査を行い、地質および地下水の状況を把握しながら工事を進めている。破碎帯区間については、既存の地質調査結果から想定されている位置に対して、まず今ご説明したノンコア削孔による前方探査でその範囲の絞り込みを行い、その後、シールドマシンが進んだ段階でオールコア削孔を実施し、位置を決定していきたい。
- ⇒○オールコアで破碎帯の性状が分かってくると思うが、想定されている破碎帯部については、これまでの調査結果ではトンネルと交差していることも想定されているため、その方向や、オールコアの劣化状況について、留意して進めていくことが必要と考える。
- ⇒●了解。破碎帯については、オールコアの探査結果をふまえて方向や劣化状況を把握したうえで、掘削を進めていきたい。
- 午前中、住民代表の方からいろいろと意見をいただいております、その中に UL1-6 が隆起した現象について、なかなか理解しがたいという話があったが、もう一度事務局から説明を伺いたい。
- ⇒●UL1-6 の地点で、2.7 mm、2.8 mm 隆起したことについて、解析で隆起する結果が出ていることや、事前解析においても応力解放の影響や切羽開放時の地下水位低下の影響としてトンネル掘削により数 mm オーダーの地表面変位が発生することはあるものと考えている。今回は特に、シールドテール部周辺に作用する裏込め注入圧は、静水圧よりも 0.3MPa 程度、水頭にして約 30m 分の大きな圧力が作用しており、岩盤かつ 30m の土被りであるとしても、部分的に亀裂等を有していれば、その亀裂等から切羽圧や裏込め注入圧の影響を受けやすいことをふまえると、解析値と同等かそれ以上の変位を生じる可能性は十分にあると考えている。
- ⇒○了解。
- もう一つ、住民代表の方からいただいた意見において、騒音・振動について話があったが、事務局からその対応について再度説明を伺いたい。
- ⇒●振動・騒音については、地表面変位と同様に厳しい管理値を設け、これまでの計測結果では一次管理値未満で行ってきている一方で、住民の方から、管理値未満であっても振動・騒音により生活に影響があるとの声をいただいている。振動・騒音への対策として、施工上、発生を抑制するためにマシンに装備したグリッパの使用などの対策を行いながら掘進作業を進めてきたが、振動・騒音が全くしない施工は現実的に難しいなかで、引き続き、住民の皆様の状況を聴きながら、丁寧な対応に努めていきたい。

(2) 委員長議事の振り返り

緊急家屋調査結果について、事前調査以降の傾斜角の増分は、日本建築学会の木造建築物の不同沈下障害と変形角に示される、第1期段階、基礎等にきれつが入り始めるしきい値以上の傾斜角増加が見られた箇所がなかったことを確認した。なお、本工事では騒音・振動についても管理値を定めており、計測結果は全て一次管理値未満であったが、掘削作業中、騒音・振動等に対する意見が住民から寄せられていることから、住民生活への影響に留意しながら掘削を行うこと、建物事前調査との比較の結果、確認された室内クロスの破れや屋外モルタルの亀裂の拡大等の変状については、工事による建物への影響について、対象住民から詳細な聞き取りを行いながら個別に対応されているという報告があった。

次に、変位要因の分析について、地表面変位の変動状況、地盤状況との関連性、変位解析による検証について確認した。変位解析による検証では、切羽圧および裏込め注入圧によって、地盤内圧力が上昇し、また地下水位の上昇によって地盤の飽和領域が拡大して、地表面が隆起したものと考えられる。また、UL1-6 付近の地盤状況は、これまでの施工区間と比べて、泥水の過度な浸透により亀裂や土粒子間隙に泥水の細粒分や裏込め注入材が浸入しやすく、その細粒分等が詰まることで地表面の隆起が残留するとともに、シールドの移動に伴ってその影響が累積したものと考えられる。地表面変位の変動状況の検証については、UL1-6 計測の基準点である層別沈下計 US-5 が一時的な沈下に追随していない可能性もあるが、US-5 が一時的に沈下していた場合においても、これまで公表している UL1-6 の評価値を上回ることはないことを確認した。

対策案の検討について、変位要因の分析結果を踏まえ、対策案として、切羽圧の低減、泥水性状の変更、計測と効果確認、の三点について確認した。具体的には、切羽圧の低減については、破碎帯を除く区間では、切羽圧を静水圧ベースに下げて掘進管理すること、泥水性状の変更については、破碎帯部と同様のいわゆる濃い性状とすることを基本に、地表面変位の計測結果を注視しながら、傾向をふまえ、品質調整を行うこと、計測管理については、UB-1 を基準として行い、効果の確認はこの計測結果に基づくこととし、これらの対策等を講じたうえで、今回二次管理値に到達した UL1-6 および今後の掘進区間でトンネル直上付近の計測点の変位傾向を注視し、その効果を確認しながら掘進すること、という三点を確認しており、これらについては概ね妥当であると考えられる。

最後に、住宅地区間については、あと 100m 程度であるが、破碎帯区間も控えていることから、徹底した施工管理・掘進管理を行い、安全・安心対策協議会等において、引き続き地域の方ともコミュニケーションをとるとともに、住民から寄せられている騒音・振動については、住民生活への影響に留意しながら、安全・安心に工事を進めていきたい。

以上