

論文番号 I-1

題名 中央導坑先進工法を適用した場合の本坑挙動と導坑の設計指標に関する考察

発表者 大森 禎敏（五洋建設（株））

討議 1 数値解析結果について

質問者：いなし効果を解析で表現することはよく行われていることである一方で難しい部分もあると思います。また、一方でいなし効果を考える地山としては変形が大きな地山であることが多く、数値解析を行った場合には、切羽を分割すればするほど緩みが大きくなると考えられるが、今回、解析を行った結果の印象はどのようなものだったのか（鉄道総合技術研究所、野城様）。

発表者：ご指摘頂いたように私自身も導坑を適用することで、本坑切詰め掘削に先行して緩ませることでいなし効果が得られるものと考えていました。しかしながら、現場で得られた計測結果を分析すると必ずしもそうではない傾向が伺え、解析的に検証することとした。先ほど説明したように初期値山からの解析値を見ると導坑を掘削したことによる先行変位が大きくなるものの、本坑切羽前面では逆に変位や変形を抑制する鏡ボルトのような効果が得られると考えられた。これまでの施工事例や研究事例を見ても明確にいなし効果を表現できていると考えられるものが少ないことから、地山条件などの諸条件によっては導坑を適用してもいなし効果が必ず得られるとは限らないことが今回の検証によって分かったと考えている。

質問者：解析結果を見ると断面方向の変位や変形に着目しているが、トンネル縦断方向の変位や変形についてはどうなっているのか（鉄道総合技術研究所、野城様）。

発表者：解析的には求めることができるので、今後の検証課題にしたい。

討議 2 地盤モデルについて

質問者：大きな変形や変位取り扱うとなると今回の検証のように弾塑性モデルの使用が多いと思うが、それ以外の地盤モデルについて検討されているのか（鉄道総合技術研究所、野城様）。

発表者：現時点で、そのような検討は行っていない。切羽の崩落や崩壊といったメカニズムの検証については有限差分法ではなく、個別要素法などを適用すべきかと考えている。ただ今回の導坑のいなし効果については有限差分法での検証を基本としたい。芳ノ元トンネルでいなし効果が得られなかった要因として、本検証で示した導坑の大きさや支保剛性以外に、導坑の先進距離、導坑の形状や閉合の有無について検証して設計指標としてどうなるかを確認するつもりである。

論文番号 II-1

題名 シールドトンネル用開口を有する大深度円形立坑の構造解析手法の提案

発表者 山口 哲司 (株式会社熊谷組)

討議 1

質問者：C断面とD断面の解析結果が同じになる理由を教えてください。

発表者：主応力ベクトル図に示すように、開口前の主応力は水平方向であることが確認できる。

また、開口後においては、開口周りはアーチアクションによって開口に沿った方向が主応力方向となるが、C断面、D断面位置においては水平方向が主応力方向となる軸力が卓越した状態となる為、ほぼ同様の挙動になっているものと考えられる。

討議 2

質問者：欠円状態になってもリング効果があるのは何故か？ かまち梁の影響でしょうか？

発表者：かまち梁が無いモデルにおいても欠円状態でリング効果が確認できている為、かまち梁の影響では無いと考えられ、欠円状態でも円形による形状効果が残っている為であると考えられる。

質問者：開口前に開口部が持っていた応力は何処にいったのでしょうか？

発表者：今回の逐次解析は、それを確認する為に行ったものである。主応力ベクトル図に示すように、開口に沿ってかまち梁や底版に分散したものと考えられるが、今回は側壁をシェル要素でモデル化した為、プログラムの特性上、解放応力がどの程度の大きさになるか確認すること出来なかった。今後、側壁をソリッド要素でモデル化し、解放応力の大きさにその方向について確認したいと考えている。

討議 3

質問者：今回の提案モデルでは、立坑自重による影響はどのように考えているのでしょうか？

発表者：今回の解析では、側圧による影響のみに着目している為、自重は考慮していない。今後側圧による影響が整理できたら、自重による影響も考慮する予定である。

論文番号 II-2

題名 時系列解析法による比抵抗モニタリングを用いた薬液注入改良体の水みち末端位置の検出

発表者 清水 智明 (株式会社奥村組)

討議 1 トレーサーの流し方について

質問者：トレーサーで水みちの位置を確定するためには、水の流れを作る必要があるが、鏡切の場面に適用する場合、今回の実験結果をどのように適用するのか？

発表者：鏡切の時ではなく、事前に改良体内部にトレーサーを注水することを考えている。まだ、レイアウトなどをきちんと検討できていないわけではないが、改良体の背面側（立坑から遠い側）にトレーサーを漏水させるイメージである。

討議 2 水みちのサイズについて

質問者：現状の知見で、水みちのサイズはどれくらい細いものまで検知できるのか？

発表者：検知の成否は多様な条件により決まると考えている。今回の実験では、ある特定の条件下で適用可能の見通しが得られたことを示しているのみであり、条件変化に対する適用の可否を今後整理していく必要があると考えている。その上で、孔の太さがあまりに細かい場合には検知は難しいが、出水事故ということにはならないと思われるので、その意味で現状では cm オーダー乃至数十 cm オーダーの孔までを対象と考えればいいのではないかと考えている。

討議 3 電極の設置間隔について

質問者：実施工で設置する電極はどれくらいの間隔をイメージしているのか？

発表者：対象となる改良体の大きさに合わせる必要があるが、シールド工法（の発進到達防護）だとおよそ 10m のサイズかと考えており、その条件の下では、およそ 1m 程度の間隔で設置するのが適当と考えている。

質問者：それは解析と測定のいずれの性能により規定されるものか？

発表者：両方である。

論文番号 II-3

題名 送電用シールドトンネルに対する補強部材の耐荷性能の研究

発表者 佐藤 克晴（東京電力パワーグリッド株式会社）

討議 1 充填性が耐荷性能に与える影響について

質問者：施工時において、トンネル頂部等で充填材の充填がやりにくい箇所もあるかと考えられるが、充填性が耐荷性能に与える影響について見解を頂きたい。

発表者：埋設型枠は複雑な形状をしているため、施工時に充填不足が生じる可能性はあると考えている。実際に試験でも表面部材とかん合部材の間にはわずかな隙間が見られる箇所もあった（図-9 参照）。今回の研究では試験結果の最大荷重と、計算結果による最大荷重についての比較をしている（図-10 参照）。本研究では、埋設型枠の厚さの 1/2（厚さ 30mm のうち 15mm）を部材厚さとして考慮しないことで、試験結果は計算結果より大きくなることが確認できた。しかしながら、ご指摘の通り施工時の充填性の影響も考えられるため、実際に本補強工法を採用したトンネルでは埋設型枠の厚さ全て（30mm）を部材厚さとして考慮しないことで設計をした。

討議 2 今後の展望等について

質問者：さらなる改善点や今後の展望があれば教えて頂きたい。

発表者：今回の研究で実施した載荷試験は各ケース 1 供試体で試験を行っているため、試験ケースを増やすことで、より設計の精度を高めることができる可能性があると考えている。

論文番号 II-4

題名 断面修復をした送電用シールドトンネルの耐荷性能に関する研究

発表者 佐藤 克晴（東京電力パワーグリッド株式会社）

討議 1 断面修復材の付着力について

質問者：今回の試験は下向きに補修をしているが、実際のトンネルでは上向き（天端）や横向き（側壁）に補修するケースもある。施工する位置による付着力の影響については係数等で評価する必要もあると考えている（意見）。

発表者：ご意見の通り、補修する向きを変えることで今回の試験結果とは異なる傾向が見られる可能性はある。補修する向きによる付着力への影響を評価するために、補修する向きも考慮した載荷試験による検証も、今後の課題として挙げられる。

質問者：補修界面に水（漏水）等の浸透があると剥離が生じるので防ぐ必要がある。その評価をどのようにすべきか、鉄道の箱型トンネルにおいて過年度に検討をしたが、セグメントのような高強度のものに対しての影響も考える必要はある（意見）。

発表者：トンネル内の漏水による付着の影響はあると考えているため、断面修復前に確実に止水を行うことが重要と考えている。付着力の評価まではできていないため、今後の課題として当社としても検討していきたい。

討議 2 補修の深さについて

質問者：最下縁の鉄筋はスターラップだが、断面修復はスターラップが腐食し、かぶりコンクリートに浮き・剥離が生じた損傷段階での補修を想定したものか。主筋まではつりこむと曲げの考え方も変わるのではないか。

発表者：今回の試験では主鉄筋の図心位置までをはつり範囲としており、主鉄筋に軽微な腐食が生じたトンネルに対して断面修復を実施することも想定している。本研究で説明した断面修復は、劣化により多少の限界値の低下が生じたとしても、耐荷性能を満足している状態に対して実施することを前提としている。主鉄筋が大きく劣化し、耐荷性能の低下が著しいトンネルについては、抜本的な補強工法等の対策メニューを取ることになる。

討議 3 躯体表面から見えない損傷について

質問者：曲げもせん断も補修境界面に沿ってひび割れが進行するケースがあるとのことだが、補修実施後の点検時において、断面修復箇所の躯体表面から視認できる損傷と、視認できない内部の損傷では、損傷の程度が違うような状況も想定される。そのような状況に対し、維持管理をする上ではどのように対応すべきと考えるか。

発表者：表面から見えない劣化に対しては、現状では打音等により劣化箇所を特定することを考えている。将来的には、鉄筋腐食等を検知するセンサー類からの情報も得ながら判断することになると考えている。

論文番号 II-5

題名 シールドトンネルに対する限界状態設計法の適用の効果に関する一考察

発表者 阿南 健一（東電設計株式会社）

討議 1 修正慣用計算法の適用による継手の効果の考慮について

質問者：当時の設計は慣用計算法で実施されているとされていたが、継手の影響を考慮した修正慣用計算法で設計されていたらセグメント本体の断面力が大きくなり、安全性が確保された設計になっていたのではないかと（日本シビックコンサルタント，小泉様）。

発表者：ご指摘のとおり慣用計算法は継手の影響を考えると多少極端な計算であるとは考えられるが、当時の中小口径のセグメント設計では修正慣用計算法はほとんど用いられていなかったため適用していません。また、修正慣用計算法の η 、 ζ の設定も難しいと考えられ、はり-ばねモデル計算法の適用が良いと考えています。

討議 2 セグメント設計法に対する設計法の適用方法について

質問者：セグメント設計法として限界状態設計法を適用することは良いと考えている。一方、トンネル標準示方書に混用はいけないと書かれているが、セグメントはひび割れ幅照査で決定することが多くなっている。このため、セグメントは許容応力度法で設計し、ひび割れ幅照査も行う方法とすることで、すべて限界状態設計法で設計せずに、安全性を確保したセグメントを設計することも考えられるが、これに対する知見を伺いたい（日本シビックコンサルタント，小泉様）。

発表者：ご質問いただいた設計の考え方は、性能照査型設計法のような考え方になるのではないのでしょうか。例えば、使用限界状態の照査の応力制限値は弾性範囲内としているが、これを弾性範囲内となる許容応力度を用いて照査する方法として考えることもできると考えています。

討議 3 限界状態設計法の維持管理への適用方法について

質問者：維持管理への応用提案として、設計結果からあぶない箇所を抽出して監視し注意していくとしているが、逆に補修しやすい箇所に弱点を置く設計はできないかと（国土舘大学，津野様）。

発表者：そのような考えもあるとは思いますが、送電用トンネルの場合は収容物が決まっており、シールドトンネルでは弱点を維持管理しやすい箇所にするのは難しいと考えています。一方で、ケーブル背面など見逃されやすい箇所となるため、十分に観察するようにとの注意喚起に使い、見逃されにくい点検ができるのではないかと考えています。

討議4 セグメント設計に対する限界状態設計法について

質問者：(討議1～3に対する回答)

発表者：トンネル供用後の圧密による荷重変動は大きな変動であり，事業者として危惧していますが，このレベル感を他の事業者などと共有できておりませんでした．このため，当社が経験した変動荷重のレベル感を示したうえで，限界状態設計法の活用のご理解いただくために，本論文を事例として紹介しています．他事業者でも，このような事例があれば，ぜひ学会などで共有いただきたい（共同執筆者 東京電力パワーグリッド，吉本様）．

論文番号 III-1

題名 開削トンネル拡幅時の側壁撤去にともなう中床版変位抑制工の二次元解析法

発表者 牛田 貴士（鉄道総合技術研究所）

討議 1 中床版計測データについて

質問者：A 線側と比べて B 線側の中床版変位分布が滑らかでないのは、どういった理由か（東京地下鉄株式会社，小西様）？

発表者：B 線側には中床版開口があり，その位置では吊り部材の配置が異なっている．その影響が表れている．

討議 2 二次元解析法について

質問者：二次元解析でどのように三次元性を考慮しているのか（東京地下鉄株式会社，小西様）？

発表者：縦断方向梁を基本とした提案法であるが，吊り位置の影響を考慮するために横断方向梁を組み合わせた．

質問者：その影響が大きいという事か（東京地下鉄株式会社，小西様）？

発表者：横断方向断面でスパン端付近か，スパン中央付近か．そもそもスパン長がどの程度か，そういう横断方向の影響が大きい．

討議 3 吊り防護の施工について

質問者：B 線側で行われた吊り防護の仕様改善の具体例は（首都高速道路株式会社，森様）？

発表者：一例として，上床版の横断方向に配置している吊り部材は，H 鋼を 2 段重ねしたものである．その結合度を高めて梁剛性を向上させている．