

離隔の小さいトンネル同士の近接施工を想定した影響予測解析手法の検討

公益財団法人鉄道総合技術研究所

正会員 ○三輪陽彦, 仲山貴司, 清水達貴, 牛田貴士

1. 研究の目的

都市部の地下空間は過密化が進み、トンネル同士が交差する近接工事が増加している。トンネル同士の離隔が新設トンネル径以下となる超近接工事（図1）では、技術基準等¹⁾において特別な検討が必要とされており、著者らはトンネルを3次元でモデル化しつつ、地盤を介した相互影響をばねで表現することで計算コストを抑えた新しい影響予測解析手法²⁾を提案している。本稿では実施工条件を想定して解析を実施した結果について報告する。

2. 近接施工時の影響検討手法のモデル化

著者らは降下床実験の結果²⁾（図2、図3）から、超近接施工時は中間地盤の塑性化挙動の影響が顕著であることを明らかにし、ばねを用いて地盤の塑性化挙動を考慮する方法を提案している。

具体的には図4のように、新設トンネル側方に仮想の地盤面を設け、この地盤面に向かう安定計算を実施する。ここで、安定計算には斜面近傍の基礎の設計方法³⁾を応用した。これは、斜面近傍の極限支持力が平地上よりも小さくなることに着目し、次式のように、斜面近傍の極限支持力と平地上の極限支持力の比を求め、これを地盤反力係数の補正係数とする経験則である。

$$\text{地盤反力係数の補正係数} = \frac{\text{斜面近傍の極限支持力}}{\text{平地上の極限支持力}}$$

斜面近傍の極限支持力が平地上よりも小さくなるのは、図5に示すように、平地上では地表面に向かう基礎下方からのすべり面が斜面に向かうことによるためである。この極限支持力は直線ED内の任意の点Fを通るすべり面ABCFの極限釣合い状態を上界の定理を用いて解くことにより求まる。曲線ABCFは基礎直下の角度 ω から幾何学的に定まるものである。

3. 実施工条件下を想定した影響解析

新たに提案した解析モデルを用いて、実施工条件下を想定した影響予測解析を実施した。設定した超

キーワード トンネル 超近接施工 影響解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 構造物技術研究部 トンネル TEL 042-573-7266

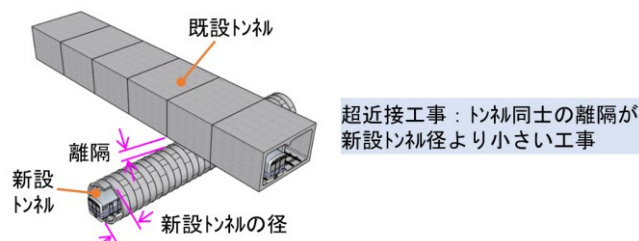


図1 超近接工事の例



図2 降下床実験の状況

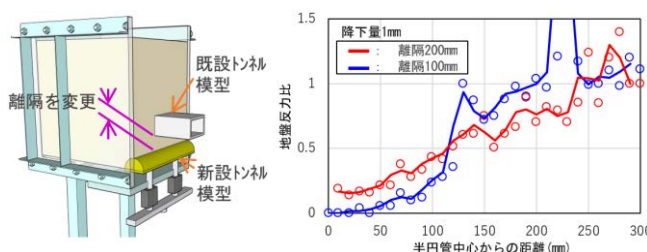


図3 降下床降下前後の地盤反力比の分布²⁾

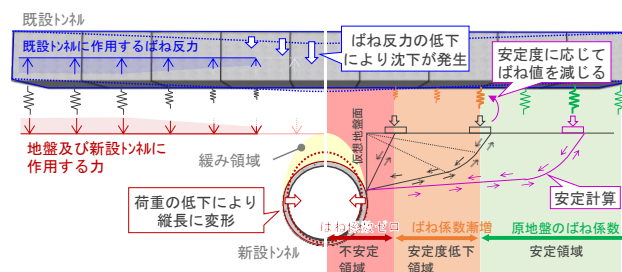


図4 超近接施工時のばね係数の算出方法

近接施工の条件を図6に示す。N値30の単一粘性土地盤内に存在する既設の開削トンネル（1層2径間）に対して、離隔3.5mで直径6.9mのシールドトンネル（単線）を直交して施工する条件とした。

影響予測解析に用いた解析モデルを図7に示す。トンネル本体について、既設トンネルは床版、側壁および縦桁をシェル要素、中柱をビーム要素でモデル化した。また、新設トンネルはセグメントをシェル要素、継手をばね要素でモデル化した。部材特性は線形弾性とし、シールドトンネルの回転ばねは鉄道構造物等設計標準⁴⁾に基づき設定した。地盤についてはばねでモデル化し、提案している算出手法を用いてばね値を低減した値を用いた。

解析結果の一例として、図8に変形図を示す。新設トンネルでは水平内空が縮小し、鉛直内空が拡大する縦つぶれの変形、既設トンネルでは躯体が沈下する挙動を示していることがわかる。既設トンネルの縦断方向において、算出した発生断面力から一般的な配筋・コンクリート強度のもとで鉄筋にかかる応力を求め、許容応力度と比較した結果を図9に示す。想定した条件下においては、下床版の一部で許容応力度を超過する結果を得ることができた。

このような3次元モデルを用いた弾塑性解析について、地盤を要素でモデル化した場合には、メッシュ数が増大し、計算時間とコストを要する。地盤の挙動をばねでモデル化することで、新設・既設トンネルそれぞれを個別でモデル化しての解析が実施でき、計算時間および所要コストの削減効果が期待される。

4. まとめ

超近接施工時に適用する新たな影響予測解析手法について、実施条件下を想定した影響解析を実施し、許容応力度法による応力度の確認ができることを示した。今後は地盤条件・交差離隔等の変更によるパラメータスタディを実施し、地盤改良等の対策要否について更なる検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル，平成2007。
- 2) 三輪陽彦ほか：降下床実験によるトンネルの超近接施工の影響検討，地下空間シンポジウム論文・報告集，Vol.28，pp35~39,2022。
- 3) 木村孟ほか：砂中の浅基礎の支持力に関する研究，土木学会論文報告集，Vol.319，pp.97-104，1982。
- 4) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（トンネル・シールド編），2022.5

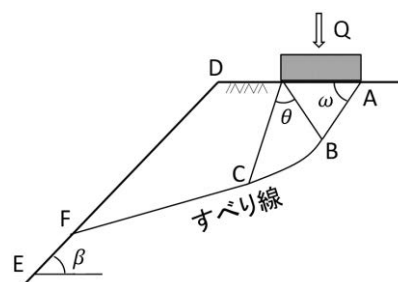


図5 斜面近傍の基礎の極限釣合法の模式図

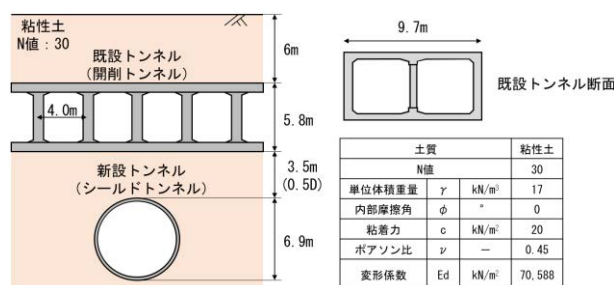


図6 想定した超近接施工の条件

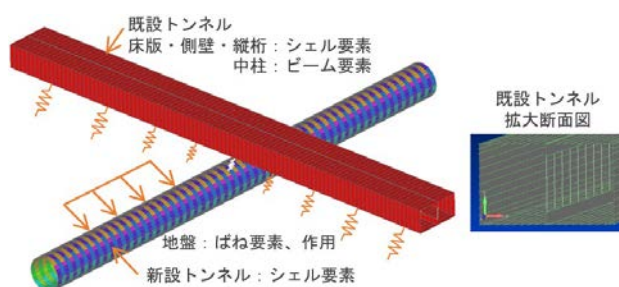


図7 解析モデル

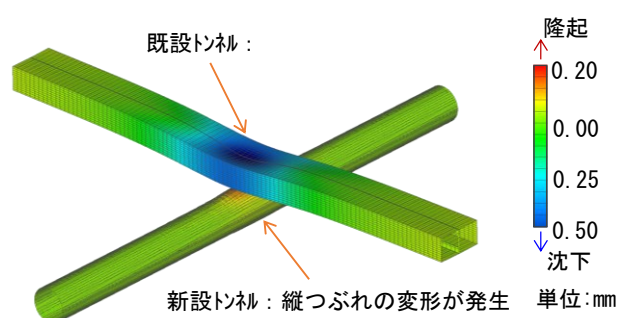


図8 解析結果（変形図）の一例

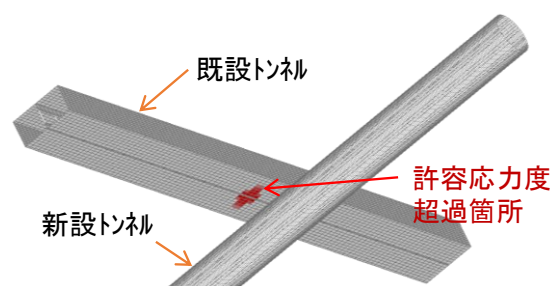


図9 提案手法での許容応力度超過箇所