

杭基礎構造物の施工が近接トンネルに与える影響

数値解析 モデル実験

千葉工業大学 学生会員 ○初谷樹弥
同 国際会員 鈴木誠
清水建設 国際会員 杉山博一
地域地盤環境研究所 国際会員 中井照夫

1. はじめに

現在、地下開発の増加から地下構造物の挙動を把握することが重要である。特に地下トンネルに関しては、トンネル上部に施工される基礎構造物の影響評価が問題となっている¹⁾。既存の研究では、直接基礎構造物施工に伴うトンネルセグメントへの影響を有限要素法解析とモデル実験から評価してきたが、それらはトンネル掘削の影響を考慮したものではなかった²⁾。そこで本研究では、トンネル掘削を考慮した条件で、杭基礎構造物の施工によって生じる近接トンネルのセグメントと周辺地盤への影響を把握することを目的とする。

2. 評価方法

2次元モデル実験と弾塑性有限要素法を用いて、杭基礎構造物の载荷とそれに伴うセグメントとその周辺地盤の挙動を把握するとともに、モデル実験と数値解析の結果から数値解析の妥当性を評価する。本研究では実験装置の都合上トンネル掘削を模擬できないため、掘削を考慮しない場合と掘削を考慮した場合の2種類の解析を行い、モデル実験と同条件である掘削を考慮しない初期地盤応力からの解析と実験から数値解析の妥当性を評価し、掘削を考慮した地盤応力からの解析から(図では(ex)と表示)セグメントと周辺地盤への影響を評価する。

モデル実験ではトンネル直径 $B=100.0\text{mm}$ 、厚さ 0.5mm の真鍮を用いた円筒でセグメントを模擬し、円筒の内側外側に 30° 毎に設置したひずみゲージからセグメント内外のひずみを計測してセグメントの挙動評価をする。周辺地盤の挙動評価は PIV 解析を用いる。杭基礎構造物を杭長 100.0mm 、厚さ 5.0mm の杭基礎を使用し、トンネルの中心から杭基礎の中心までの水平方向離隔距離 H と、杭の先端からトンネル天端までの鉛直方向離隔距離 D_p を変化させてそれぞれのケースで検討する。なお、杭基礎中心に与える载荷荷重は極限支持力の $1/3$ を与える。

数値解析では Subloading tij model³⁾を組み込んだ弾塑性有限要素法プログラム(FEMtij-2D)を用いて、実験と同条件の掘削を考慮しない解析、および掘削を考慮した解析の2種類の解析を行う。解析におけるトンネル掘削はトンネル内の要素削除と、ビーム要素を用いたセグメントの要素生成を用いて再現している。トンネル掘削による影響を明確にするため、応力開放率は地盤の崩壊しない限界の値であった 70% として掘削している。杭基礎構造物荷重は実験と同様に極限支持力の $1/3$ を節点荷重で与えている。

3. 周辺地盤の挙動評価

図-1 は水平離隔距離 $H=0$ 、鉛直離隔距離 $D_p=1.0B$ での実験値と、掘削なしと掘削あり(ex)の解析値を地盤内せん断ひずみ分布図で比較したものになる。図より群杭の内側と外側で影響に違いがあることがわかる。内側では影響が小さく外側では影響が大きく出ていることがそれぞれ確認できる。これは2本の杭が1本の杭として作用する群杭効果によるものだと考えられる。掘削ありの図から、トンネル掘削時にトンネル周りの地盤の応力が減少していることにより、せん断ひずみが大きく発生することがわかった。

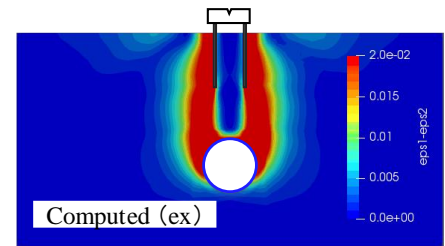
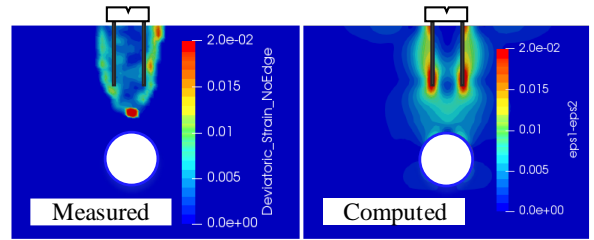


図-1 周辺地盤せん断ひずみ分布図
($H=0, D_p=1.0B$)

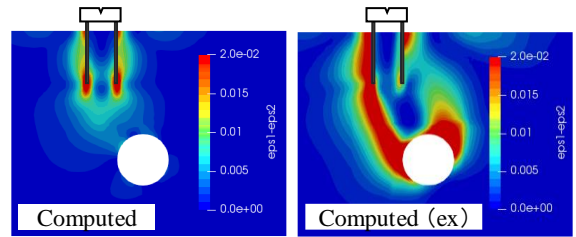


図-2 せん断ひずみ分布図
($H=0.8B, D_p=1.0B$)

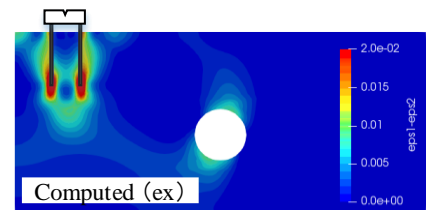


図-3 せん断ひずみ分布図
($H=3.0B, D_p=0.5B$)

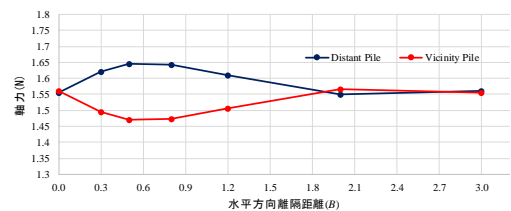


図-4 杭の軸力分布

図-2は $H=0.8B$ $D_p=1.0B$ での掘削なしと掘削あり(ex)のせん断ひずみを比較している。トンネル近傍杭、遠方杭周辺の影響に違いを確認できる。これもトンネル掘削時のトンネル周りの地盤の応力減少から、杭基礎を載荷した際に鉛直方向にかかる応力を遠方杭が受け持つことで2本の杭に差が生じたと考える。一方、掘削なしの図では2本の杭周辺地盤のせん断ひずみ分布に差がないことが確認できる。

図-3は $H=3.0B$ $D_p=0.5B$ での掘削を考慮した場合の解析値である。図から2本の杭がほぼ左右対称に地盤に影響を与えていることがわかる。このことから $H=3.0B$ 程の水平離隔距離があれば、杭基礎の載荷が地盤の挙動に及ぼす影響はトンネル掘削の有無によらない。

図-4は掘削ありの解析において、杭基礎を載荷した時のトンネル近傍杭、遠方杭に生じる軸力と水平離隔距離 H の関係を示したグラフである。図から $H=0$ の場合では当然の結果として2本の杭に均等な軸力が生じ、 H が大きくなる(杭の位置が離れる)に従い遠方杭の軸力が増加し近傍杭で減少する。この差は $H=0.6B$ あたりで一番大きくなり、それ以上では差が小さくなっていき、 $H=2B$ では両方の杭の軸力はほぼ同じとなる。これらの結果から、離隔距離にもよるが、トンネル近傍では掘削をしたトンネルの影響を受け遠方杭に軸力が偏ることがわかる。

4. トンネルセグメントの挙動評価

図-5は杭基礎載荷時のセグメント内側外側に生じるひずみの分布図であり、左図は $H=0.8B$ $D_p=0.5B$ 、右図は $H=0$ $D_p=0.5B$ での比較になる。引張りを正、圧縮を負で表し。実験値をプロット、解析値を実線で表している。図から水平離隔距離の差によって挙動の違いを確認できる。また、セグメント上部が大きくつぶれるように変形している。一方、セグメント下部の変形は小さいことが確認でき、これはセグメントの剛性の低さによるものと考えられる。実験値と解析値は同様な値を示し、解析値は杭基礎とトンネルの離隔距離によりトンネルの変形が異なることをよく表している。

図-6はトンネル掘削なしと掘削あり(ex)を比較した解析値のセグメント内外のひずみ分布図であり、左図を $H=0.8B$ $D_p=0.5B$ 、右図を $H=0$ $D_p=0.5B$ での比較になる。掘削あり(ex)を実線、掘削なしを点線で表している。図からトンネル掘削のありとなしでも杭基礎載荷時のセグメントへの影響の差は非常に小さく、ほぼ同様な変形が確認できる。

図-7は掘削ありの解析値であり左図が $H=3.0B$ $D_p=0.5B$ 、右図が $H=0$ $D_p=1.5B$ である。どちらも杭基礎載荷の影響をほとんど受けておらず、ここに示した水平離隔距離や、鉛直離隔距離があれば杭基礎載荷はトンネルにほとんど影響を与えないことが判る。

5. まとめ

既設トンネル近くでの杭基礎載荷をする場合を想定し、載荷時の杭基礎自体への影響や既設トンネルにおよぼす影響について検討した。トンネル掘削を考慮しない場合、杭基礎構造物の載荷時に杭周辺地盤のせん断ひずみの大きい領域が杭基礎とトンネルの水平距離に拘わらず左右対称に発達する。トンネル掘削を考慮した場合、杭基礎構造物載荷時の周辺地盤のせん断ひずみ分布図は大きく異なり、杭基礎構造物載荷の杭の挙動にも影響を与える。また、水平方向離隔距離の違いにより、ある程度の水平離隔距離を保つことでトンネル掘削の影響を受けずに載荷できる。

トンネルセグメントの挙動評価について、セグメントの変形は杭基礎構造物との水平離隔距離、鉛直離隔距離に依存する。また、トンネル掘削を考慮することによるセグメントへの影響は周辺地盤に比べ非常に小さく、掘削を考慮しない場合と同様な挙動を示した。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室：大深度地下使用技術指針・同解説, 2001.
- 2) 檜山ら：上載荷重に伴うシールドトンネルへの影響, 第52回地盤工学会発表, (2017), 1609-1610.
- 3) Nakai, T. and Hinokio, M. : A simple elastoplastic normally and over consolidated soils with unified material parameters, Soils and Foundations, Vol. 44, No. 2, pp. 53-70, 2004..

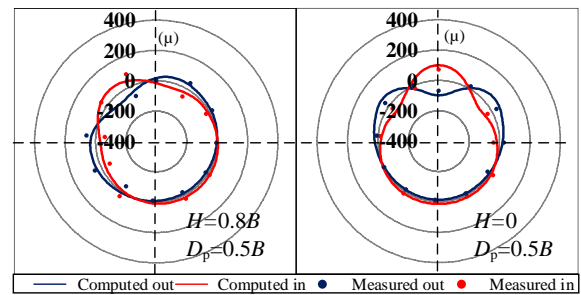


図-5 実験値と解析値の比較によるセグメント内外のひずみ分布図
(左図 $H=0.8B$, $D_p=0.5B$ 右図 $H=0$, $D_p=0.5B$)

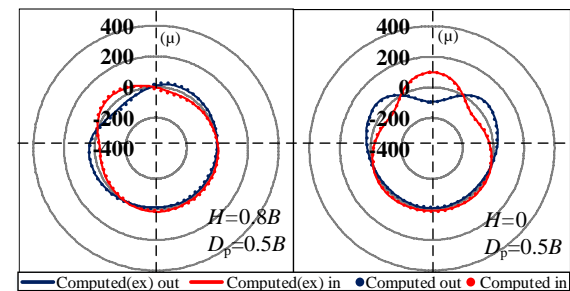


図-6 掘削のありと掘削なしの解析値の比較によるセグメント内外のひずみ分布図
(左図 $H=0.8B$, $D_p=0.5B$ 右図 $H=0$, $D_p=0.5B$)

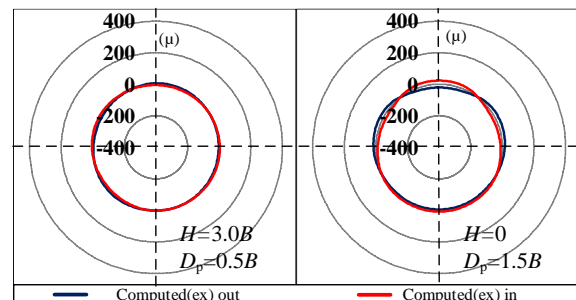


図-7 掘削ありのセグメント内外のひずみ分布図
(左図 $H=3.0B$, $D_p=0.5B$ 右図 $H=0$, $D_p=1.5B$)