

III-B 62

現場計測に基づく長尺フォアパイルの挙動について

大成建設（株） ○青木俊彦
（株）東横エルメス 中里貫一

1. はじめに

トンネルが大断面化、都市化するにしたい地表面沈下等掘削に伴う変形を抑制する目的で長尺先受工が採用されている。長尺先受工には、フォアパイルによる梁としての効果と人工アーチ形成の効果が期待されており、実測値からの逆算値によるみかけ弾性係数による評価¹⁾や、アルミ棒等を用いた2次元横断面の模型実験²⁾、地表面沈下の現場計測結果^{3) 4)}等によりその効果が報告されている。その設計はパイプルーフト工に準拠し、切羽掘削に対して地山内に仮想支点を考慮した梁として行なわれているが、打設範囲、配置等と沈下抑制効果等については配慮されていない。本文は、200m区間（8m x 25シフト）において土被り7m程度の土砂地山に対して実施された長尺フォアパイルについて、梁としての効果に着目して、その挙動計測結果をまとめたものである。長尺フォアパイル施工パターンを図-1に示す。

2. 計測結果および考察

よび考察

当該区間は沖積層（N値10以下）が卓越して大きな沈下を生じたA区間と洪積砂礫層（N値10～20程度）が卓越するB区間に大別される。鋼管応力の計測は各々の代表断面にて実施された。なお、土被りは殆ど一定で、地表面沈下計測は5mピッチで実施した。

（1）地表面沈下：各シフトごとの増分沈下の分布を図-2に示す。B区間に比べ、A区間においておよそ4倍の増分沈下が発生していること、切羽前方の沈下モード（影響範囲）が大きいことがわかる。なお、A B区間共に各シフトの増分沈下量は最終沈下量のおよそ1/3であった。

（2）切羽通過時の挙動：切羽通過時のフォアパイル鋼管の挙動を表現するために、梁を仮定した簡易モデル（図-3）に基づく計算結果と実測値の比較を行なった。図-4には、各切羽掘削時の鋼管曲げモーメントの増分を切羽との位置関係で整理して示す。掘削に伴い切羽付近において鋼管応力が交番し、切羽奥にて鋼管が地山に支えられていることを示すモーメントの反転（仮想支点）が認められる。また特徴的に、B区間に比べA区間において仮想支点位置が深く、発生曲げモーメント大きくなっている。この傾向は、沈下分布モードと良く一致している。図-5には、仮想支点までの距離と増分曲げモーメントおよび増分沈下の関係を示している。A、B区間の特徴を仮想支点距離を考慮することによりよく表現できており、フォアパイルが切羽掘削時に梁として土圧を支持していることがわかる。与えた荷重は全土被り荷重の45%であり、地盤バネに

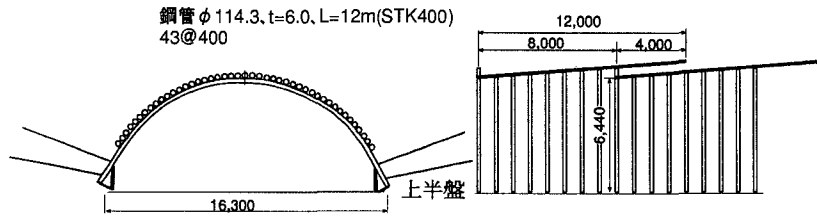


図-1 長尺フォアパイル施工パターン

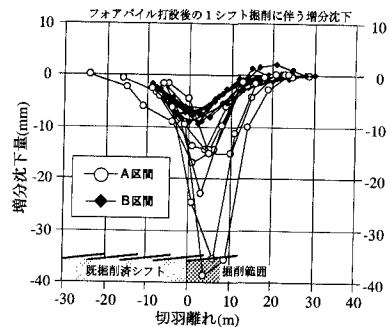


図-2 各シフトごとの増分沈下分布

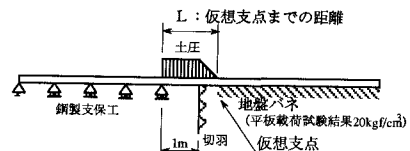


図-3 長尺フォアパイル鋼管モデル

と良く一致している。図-5には、仮想支点までの距離と増分曲げモーメントおよび増分沈下の関係を示している。A、B区間の特徴を仮想支点距離を考慮することによりよく表現できており、フォアパイルが切羽掘削時に梁として土圧を支持していることがわかる。与えた荷重は全土被り荷重の45%であり、地盤バネに

は平板載荷試験結果を用いた。なお、当該工事においては、初期の変位増分をさらに抑制するためにブルーフレックス工を上半アーチ支保工上部と脚部に実施しているが、これに伴うフォアパイル応力の変動は認められなかった。

（3）切羽通過後の挙動：鋼管直下の掘削時には、曲げ応力が軸力に対して支配的に作用しているが、その後の次シフト以降の掘削に伴って増分沈下は観測されるものの、曲げ応力の増分はほとんど認められず、軸力が卓越する傾向が得られている（図-6）。これについては、下半-インバートの掘削に伴う沈下増分（载荷）にも、同じ様な傾向が得られている。また、図-4からも各切羽の掘削において、切羽通過後も増分沈下が認められるにも関わらず、切羽後方3mを過ぎると殆ど曲げモーメント増分が認められないことも一致する。これは、吹付コンクリートの硬化に伴って、長尺フォアパイルが支保工と一体化し、剛なシェル構造を形成することによって考えられる。圧縮方向の軸力増分は、切羽通過後の増分沈下の傾向と良く符合しており、鋼管の打設角度によるものと考えられる。

3. まとめ

（1）掘削直後に切羽に作用する土圧は、初期荷重を考慮して理論値の40～50%が適当と考えられており⁵⁾、今回の計算結果からも上限値を与えるものの鋼管に作用している土圧は全土被り荷重の45%程度であった。

（2）切羽掘削時にフォアパイルが梁として挙動し土圧を受け持つこと、地山の剛性の差異により切羽掘削時の鋼管曲げモーメントの現れる仮想支点の位置が異なることが確認された。仮想支点の位置は掘削基面より45度 $\times$ φ/2で想定される⁵⁾が、今回の仮想支点位置はA、B区間ともに設計時に想定された位置よりも1/3程度であった。仮想支点が近ければその地盤剛性は小さくても、十分沈下抑制効果が期待できる。

4. おわりに

先行変位の抑制を目的とした長尺フォアパイルの挙動について述べてきたが、切羽通過後は剛な上半シェルによって受け持たれた土圧のほとんどが上半支保工脚部に作用するため（計測結果から先端沈下のおよそ8割が脚部沈下）、効果的な脚部の荷重分担の低減方法、補強方法の採用が肝要と考えられる。

【参考文献】1) (社) 土質工学会関西支部：「都市トンネルにおけるNATMの設計・施工」、2) 足立他：「トンネル掘削における長尺先受工方の補助効果に関する模型実験」第28回土質工学研究発表会、3) 肥後他：「都市部における大断面トンネルの近接施工について」トンネル工学研究発表会1993年11月、4) 高橋他：「二次元縦断面解析による先受け工の検討」トンネル工学研究発表会1994年11月、5) 斉藤重治：「パイプルーフ工法・地盤」

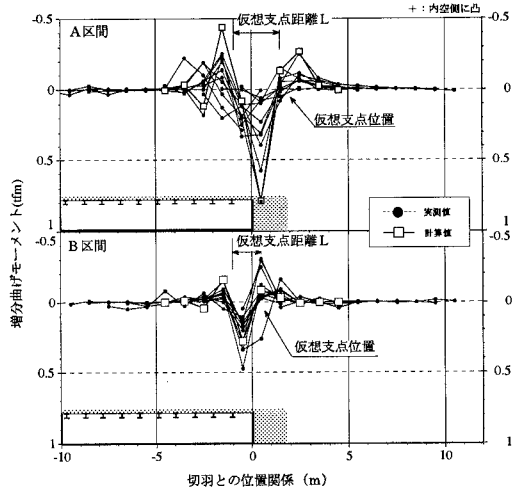


図-4 各切羽掘削時の鋼管発生曲げモーメントと切羽の位置関係

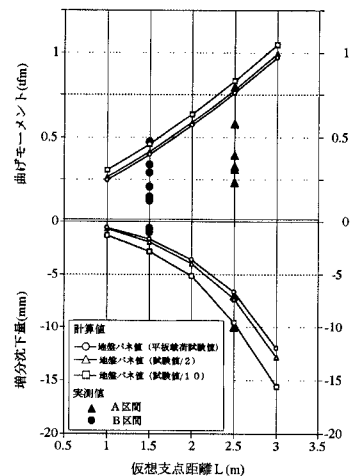


図-5 仮想支点距離と切羽掘削時の曲げモーメント-沈下増分量のとの関係

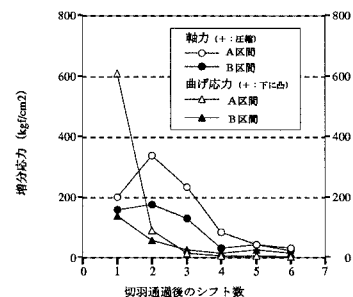


図-6 切羽通過後の鋼管発生応力