

2 階建て土砂トンネルの下半掘削における

仮受け杭工による沈下抑制効果

EFFECT OF TEMPORARY SUPPORT PILES ON SURFACE SETTLEMENT UNDER EXCAVATING THE LOWER HALF OF DOUBLE-TIRE STRUCTURE NATM TUNNEL IN UNCONSOLIDATED GRAVEL

春山 和彦¹⁾・下山 稔²⁾・田中 耕一³⁾・平 和男⁴⁾・奥本 現⁵⁾

Kazuhiko HARUYAMA, Minoru SHIMOYAMA, Kouichi TANAKA, Kazuo TAIRA and Gen OKUMOTO

Ome-Tunnel, which has a maximum excavation cross-section of 260m², is the first highway tunnel having an egg-shaped double-tire structure to be excavated by NATM in Japan. In order to excavate the large cross-section tunnel, various auxiliary methods such as long steel fore piling, horizontal-jet-grouting, foot piles and temporary support piles have been applied. Prior to excavating the lower half, temporary support piles were placed to support the upper half lining structure and restrain settlement.

Key Words : double-tire structure, gravel layer, surface settlement, temporary support piles

1. はじめに

近年、都市部の土被りの浅い未固結地山における大断面 NATM 工事が増加している。首都圏中央連絡自動車道青梅トンネル北工事は、道路直下の粘土混じり礫層中に最大掘削断面積 260m²の国内最初の 2 階建て NATM トンネルを土被り 7~8m で施工する工事である（写真-1）。掘削は 4 段ベンチに分割して行い、上部 2 段の掘削が終了した後、スラブ及び上半アーチのコンクリートを打設し、その後下半掘削を行って、下部覆工を逆巻きで打設する上半先行工法を採用した。

下半掘削においては、地表面の沈下量をいかに抑制するかがポイントとなった。当初は上半覆工をチューブに見立て、上半覆工下をすかし掘りする形で下半掘削を行う計画であったが、地表面沈下や、工事進捗に及ぼす施工空間の狭隘さの影響等を総合的に判断し、上半覆工自重を仮受け杭で負担し、その下で下半掘削及び覆工作業

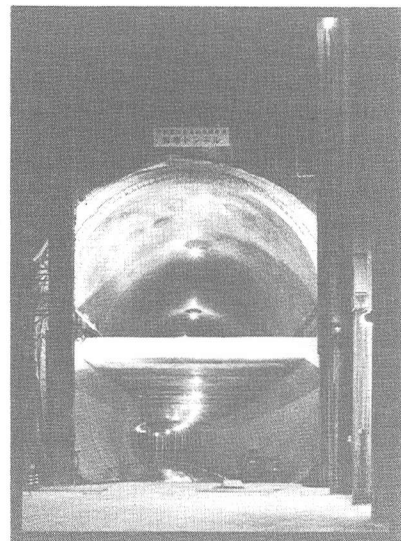


写真-1

-
- 1) 日本道路公団東京建設局 八王子工事事務所 青梅北工事区 工事長
 - 2) 日本道路公団東京建設局 八王子工事事務所 青梅北工事区
 - 3) 正会員 鹿島建設(株) 土木設計本部 プロジェクト設計部 地盤基礎 Gr. 設計長
 - 4) 正会員 鹿島建設(株) 東京支店 圏央道青梅トンネル J V 工事(事) 所長
 - 5) 正会員 鹿島建設(株) 東京支店 圏央道青梅トンネル J V 工事(事) 工事課長代理

を行うように計画を変更した。その結果、当初予定した以上の工事進捗をあげる事に成功したのに加え、地表面の沈下量も想定量を下回るものであり、非常に良好な成果を得たため、施工実績に基づいて仮受け杭の効果について報告する。

2. 基本計画

青梅トンネルは我が国初めての NATM による上下二層構造の道路トンネルであり^{1)・2)}、土被りの浅い未固結地山を掘削する事から、先受け工や水平ジェットグラウト工、フットパイル工等様々な補助工法を用いて施工している事は既に報告した通りである^{3)・4)・5)・6)}。

下半掘削を行うに当たり、当初計画の通り上半覆工をチューブ状の屋根と考え、その下を掘削する方法では下記のような問題が予想された。

- ① 上半覆工を支点間距離 30m の梁として計画しているが、下半掘削作業において梁下の支承が無くなる事により、上部覆工のたわみが累積し、地表面沈下量が増加する恐れがある。
- ② 施工面から考えると 30m という作業スペースは非常に狭隘であり、この間で掘削・防水シート展張・鉄筋組み立て・コンクリート打設という一連の作業をこなすのは困難を極め、進捗に大きな影響をきたす。

この問題を排除するため、下半掘削に先立ってトンネル内で仮受け杭を施工し、上部覆工自重を仮受け杭で支持しながら下半掘削を行うように計画を変更した(図-1)⁷⁾。

仮受け杭の採用に当たり、次の考えに基づいて設計を行った⁸⁾。

- ① トンネル上載土被り荷重は、既設補助工法である先受け工から水平ジェットグラウト工を経てフットパイル工に至る一連のアーチ構造で、周辺地山に伝播されている。
- ② 仮受け杭は、上半覆工自重のみを負担する。

この設計思想を成立させるためには、上半覆工下地盤の開放に伴って生じた上部地山の緩み荷重が、上半覆工自重以外に杭に作用する事を回避する必用があった。このため、杭に予め上半覆工自重相当のプレロードを導入し、下半掘削後に上半覆工の沈下を抑制すると同時に、周辺地山の変状を押さえる事によって、想

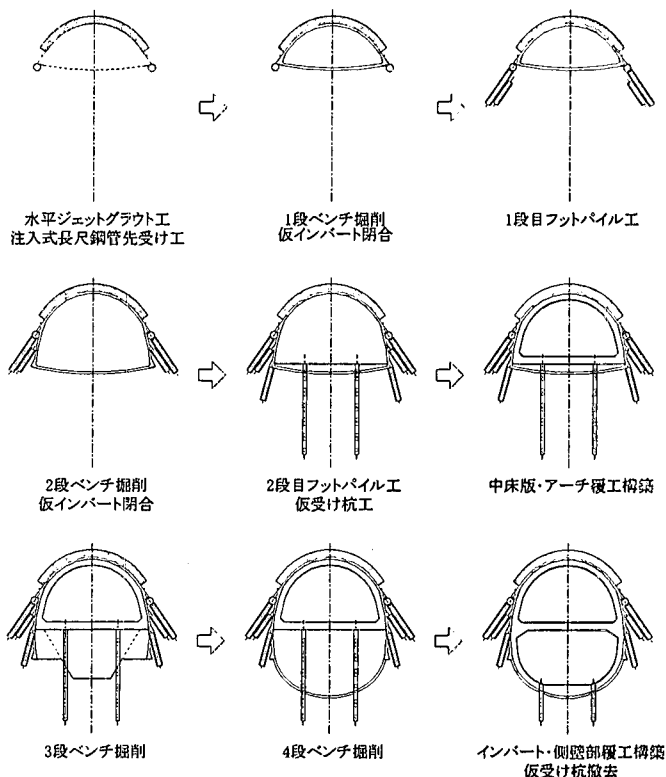


図-1 下半掘削作業ステップ

定外の荷重を杭に負担させないように計画した。

3. 試験施工

前述条件を満足して仮受け杭を施工するためには、以下項目を確認する必要があった。

- ① 1・2 段目掘削と同時進行作業となり、掘削作業用重機の通行を確保する必要があるため、2 段目掘削盤上に一車線を残した状態で施工が可能である事。
- ② 上半覆工自重を負担するだけの支持力が得られる事。

これらをクリアにするために、坑内同条件にて試験施工を実施した。試験施工は本施工と同一の地盤・施工方法で実施し、支持力及び荷重に対する沈下量を測定した。その結果、杭の極限支持力は7,000kN 程度得られる事が確認できた。また、荷重と沈下量の関係については、上半覆工自重として杭が負担するべき2,200～2,500kN/本程度の荷重に対してはほぼ線形的な挙動を示す事から（図-2）、1mm/100kN 程度の弾性変形が生じると予想された。

試験施工により、

- ① 坑内の実施工条件下で、十分施工可能である。
- ② 必要な支持力が確保できる。
- ③ 想定荷重に対し、杭は弾性的な変形を示す。

といった事項が確認され、仮受け杭案が下半掘削の施工方法として十分可能であり、かつ有効であると判断して採用に踏み切った（写真-2）。

4. 施工方法

杭の施工には、移動が可能なようにクローラクレーンのボディ上に搭載した全旋回掘削機を使用した（写真-3）。地下水位が高いため、湧水による孔壁崩壊を防止する目的でφ1,000mm のケーシング

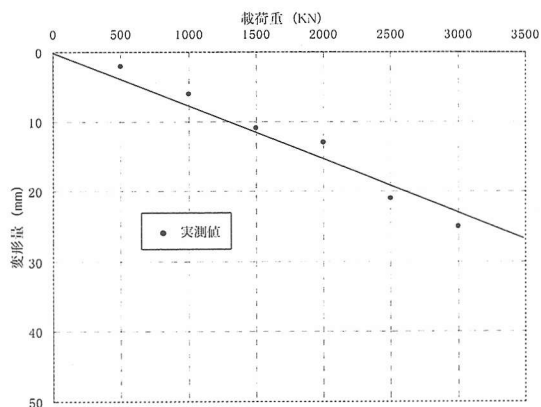


図-2 載荷重と変形量の関係

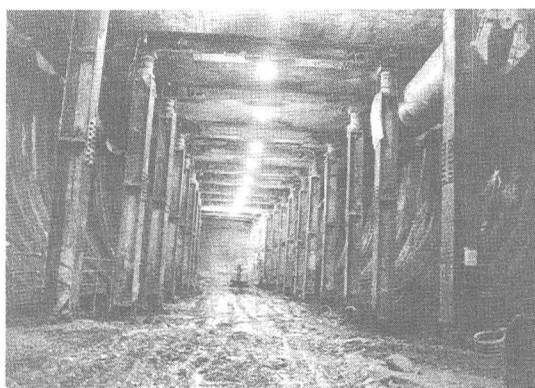


写真-2

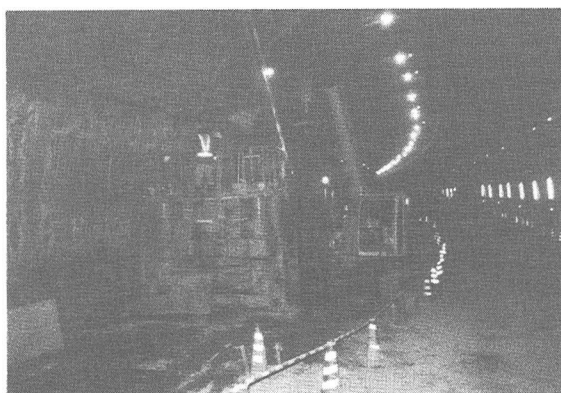


写真-3

削孔を行い、その中に H-500×500 の杭材を建て込んだ後、4 段ベンチ掘削盤までモルタルによる先端根固めを行った。

杭の打設ピッチはトンネル軸方向に 4.5m、軸直角方向に 7.0m であり、1 スパン 9m の上半覆工自重を 4 本の杭で支持している。坑内は狭く、高さにも制限があるため、杭体である H-500×500 については $L=3.0\text{m}$ を最長とし、4 本をボルトで接合しながら建て込んだ。

設計的には先端支持力と周面摩擦力を考慮した通常の考え方を採用し、かつ施工誤差として生じると考えられる、鉛直建て込み精度 1/200 の偏心に対する座屈を考慮した。

また、下半掘削時に切羽前方の地下水位をウェルポイント排水にて低減する事を目的としてケーシングと杭体の間隙にスクリーン管を建て込み、フィルター材として杭周辺を碎石（最大径 40mm）で充填した（図-3）。

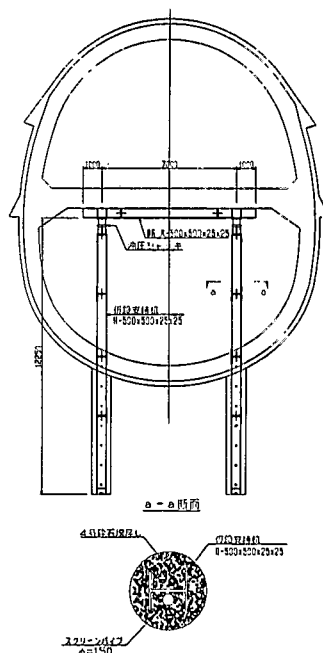


図-3 仮受け杭形状寸法

5. プレロードの導入

試験施工の結果から、杭が負担すると想定される 2,200~2,500kN/本の荷重に対し 20mm 程度の沈下が予想された。よって、杭に上半覆工自重が作用する前にこの荷重に相当するプレロードを導入し、沈下量の抑制を図った⁹⁾。

全ての杭頭に 5,000kN 油圧ジャッキを装着し、各杭毎の導入荷重が別々に調節可能な構造になっている。プレロードは覆工 1 シフト（9m）毎に導入し、杭の設計負担荷重 2,200~2,500kN/本に対し、順次 0→1,100~1,250kN（50%）→2,200~2,500kN（100%）の 2 段階施工とした。導入に当たっては下記条件を遵守した。

- ① プレロードを作用させるシフトにおける上部覆工コンクリートが設計基準強度に達している。
- ② 大背掘削を行う際、切羽前方 1 シフト目には 100%、前方 2 シフト目には 50% のプレロードを導入する。

6. 計測結果

(1) 地表面沈下量・中床版沈下量

自動計測の結果、下半掘削の影響による地表面沈下及び中床版沈下量の増分は 0~1mm であり（図-4）、計画段階においてフレーム解析の結果に基づいて想定した管理基準値である相対沈下量 5mm を下回る結果となった。

これは、仮受け杭が想定通り上半覆工自重またはそれ以下の荷重しか負担していない事を表している。原因としては、3 段ベンチ掘削盤下 1m まで施工したフットパイ

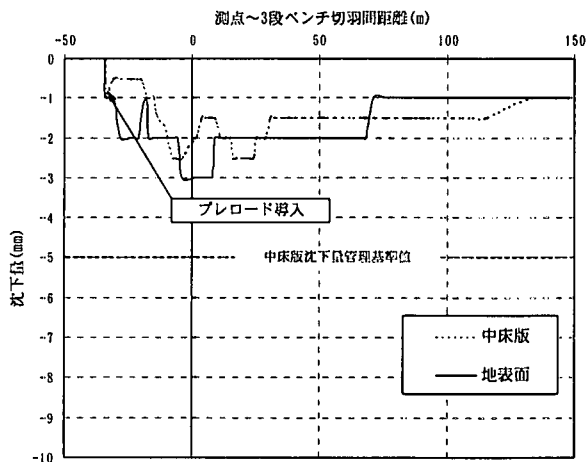


図-4 中床版・地表面沈下量と切羽距離の関係

ルが有効に作用し、中床版両端部の土平部分に堅固な地盤を維持した事がと考えられる。

(2) 内空変位量

内空変位量は3・4段ベンチ掘削時に増加したが、インバートの閉合と同時に漸近的な挙動を示し、最大10mm程度で収束している(図-5)。これは、トンネル形状に違いがあっても、インバート閉合が変位抑制に対して大きな効果を発揮する事を表している。

(3) 仮設支持杭の軸力

上部覆工打設からプレロード導入前までに杭に作用する荷重は500～1,000kN/本程度であり、覆工自重の半分以下となっている。自重100%相当のプレロード導入後は、下半掘削によって負担荷重が若干増加したものの、インバート閉合後はほとんど増加していない(図-6)。

これは地表面沈下の計測結果とも整合性がとれており、計画通り上載土被り荷重は補助工法として施工した先受け工、水平ジェットグラウト工及びフットパイル工を介して支持層に伝播され、杭では上部覆工自重を負担している事を表している。また、下半掘削において切羽からインバート閉合までの距離を3シフト(27m)程度と短く押さえるように施工パターンを工夫し(図-7)、周辺地山の変位を最小限にとどめた事も沈下抑制につながったと考えられる。

7. まとめ

本編に示した通り、下半掘削に先立って仮受け杭に上部覆工自重相当のプレロードを導入する事により、上部覆工及び地表面の変状を最小限に抑制する事がで

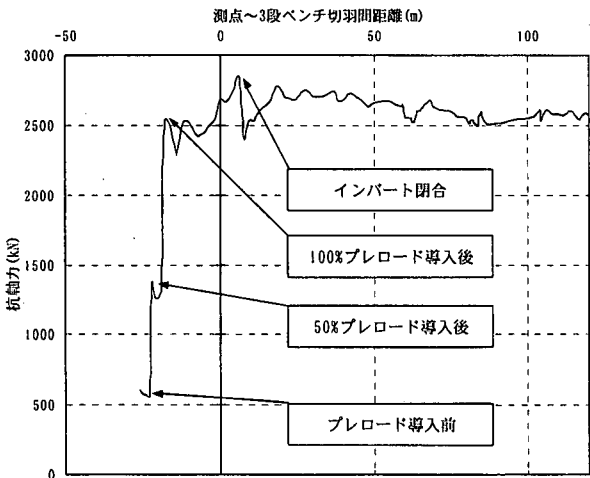


図-6 杭軸力と切羽距離の関係

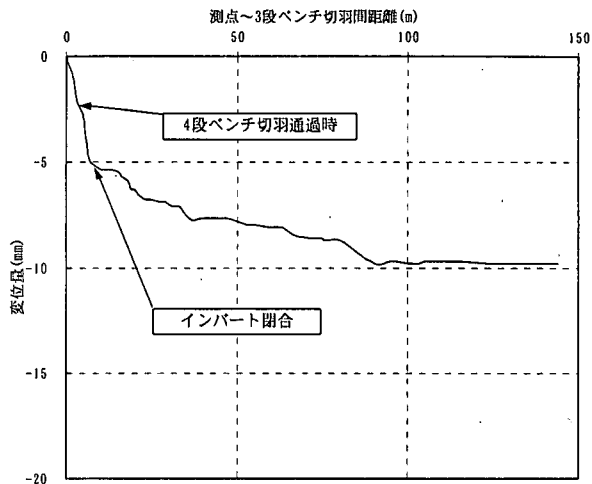


図-5 内空変位量と切羽距離の関係

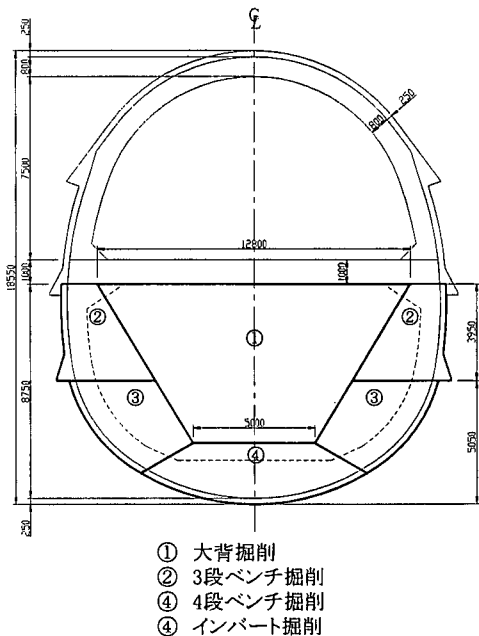


図-7 下半掘削加背割り図

きた。この結果、杭に予想外の大きな緩み土圧が作用する事も無く、想定以上の沈下抑制結果を得る事に成功した。これは、先受け工から水平ジェットグラウト工、フットパイル工による一連の補助工法で形成された地盤のアーチアクション効果によってトンネル上載土被り荷重が保持されており、仮受け杭がトンネル下半掘削において地表面沈下抑制に大きな効果を発揮する事を物語っている。

トンネルの中に仮受け杭を施工するという発想は、従来の山岳土木におけるトンネル施工には無かったものである。しかし、近年の NATM によるトンネル施工、特に当青梅トンネルに代表される都市型の NATM トンネルにおいては様々な補助工法を駆使しており、山岳土木と都市土木の融合体とも言うべき技術のボーダレス化を顕著にしている。環境的な観点からも、今後も類似施工の増加が予想されるため、更なる技術的開発と慎重な工法検討が必要である。

参考文献

- 1) 藤村・山野・原田・須藤：国内初の2層道路トンネル 首都圏中央連絡自動車道青梅トンネル，トンネルと地下，第9巻，9号，1998
- 2) 藤村・山野・原田・加藤：市街地道路直下の二層道路トンネルの施工，土と基礎，47-7，1999
- 3) 藤村・下山・中村・信田・平・奥本：道路直下における大断面土砂トンネルの施工（その1），第55回土木学会年次学術講演会，2000
- 4) 藤村・田中・萩原・渡辺：道路直下における大断面土砂トンネルの施工（その2），第55回土木学会年次学術講演会，2000
- 5) 藤村・並川・森川・日比谷・芥川：道路直下における大断面土砂トンネルの施工（その3），第55回土木学会年次学術講演会，2000
- 6) 春山・下山・信田・平・奥本：大断面土砂トンネルにおける水平ジェットグラウト工の沈下抑制効果，第10回トンネル工学研究発表会，2000
- 7) 春山・下山・信田・平・奥本：道路直下における大断面土砂トンネルの施工（その4），第56回土木学会年次学術講演会，2001
- 8) 春山・下山・田中・伊藤：道路直下における大断面土砂トンネルの施工（その5），第56回土木学会年次学術講演会，2001
- 9) 春山・下山・米沢・中村・金子：道路直下における大断面土砂トンネルの施工（その6），第56回土木学会年次学術講演会，2001