

III-266

土被りの薄いトンネルの掘削時における地山挙動解析

東京都西多摩建設事務所

熊谷光雄 増田幸三

フジタ工業(株)

川畑則雄 本川祥一

同 上

田口善文 香川和夫

1. はじめに

都市部における土被りの薄いトンネルにおいては、地表沈下を抑制し、切羽の安定性を向上させることが最大の課題である。一方、地山の挙動が複雑で数値解析による予測が困難であるという問題もある。本トンネルは非常にルーズな砂礫層の盛土地盤を4m程度の土被りで掘進するトンネルであるが、安全に掘削を進めるために、現場計測による施工管理を行なった。ここでは、一連の現場計測により得られた実測値をもとに、三次元FEM解析を用いて実測値と解析値の比較を行ない、今後のFEM解析の土被りの薄いトンネルへの適用性について検討した。また、切羽の押出し量の測定を行った結果について報告する。

2. トンネル概要

本トンネルは既設トンネルを拡幅する工事であり、図-1に示す掘削断面である。このトンネルの直上は道路となっており、土被りは約4mである。地山は盛土された砂礫層よりなり非常にルーズな土質である。このような地山に対し、既設トンネルおよび直上の道路の交通を遮断することなくトンネルを安全に掘削するために、地表沈下や支保工変位などの現場計測による施工管理を行なった。切羽の安定性の向上および地表沈下の抑制のために、パイプルーフ工を上半断面120°の範囲に施工し、切羽面およびパイプルーフの周囲約2mの範囲に薬液注入を実施した。施工方法は最初に上半上段部を掘削する。切羽を1m掘削した後、鋼製支保工(200H)を建込み、吹付けコンクリート进行し、次断面の掘削を行なった。

3. 解析モデル図

解析は、パイプルーフ等の効果を考慮するために三次元弾性FEM解析を実施した。現場の地形を考慮して要素分割は図-2のように行なった。(a)は三次元モデルの断面図であり、(b)は平面図である。奥行方向には1mごとの掘削解析が可能であるように1mピッチの要素分割とした。地表面沈下の測定ポイントを図中に示す。A2~A12は4~5m間隔である。解析に用いた地山の材料定数は先進導坑からサンプリングした大型三軸圧縮試験結果から、 $\gamma=1.9\text{tf/m}^3$ 、 $E=150\text{kgf/cm}^2$ 、 $\nu=0.4$ とした。また、薬液注入部分は不攪乱試料の大型三軸圧縮試験から、 $\gamma=1.9\text{tf/m}^3$ 、 $E=250\text{kgf/cm}^2$ 、 $\nu=0.4$ とした。パイプルーフは梁要素でモデル化した。パイプルーフは切羽円周方向に1m間隔で要素分割を行なったので1mあたりの剛性に換算した。換算したパイプルーフの $E=2.1 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ 、 $A=68\text{cm}^2$ 、 $I=990\text{cm}^4$ である。鋼製支保工はトラス

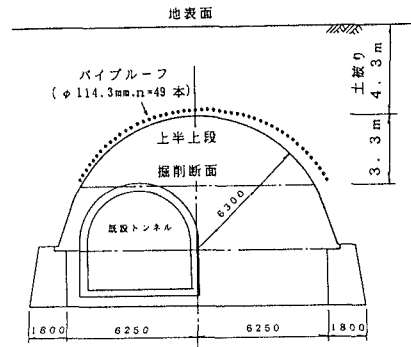


図-1 トンネル掘削断面

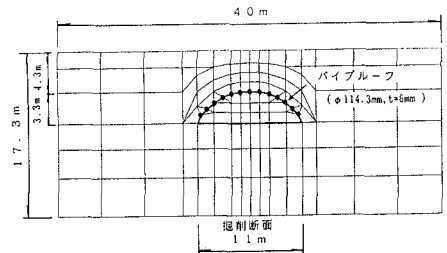


図-2 (a) 要素分割図(断面図)

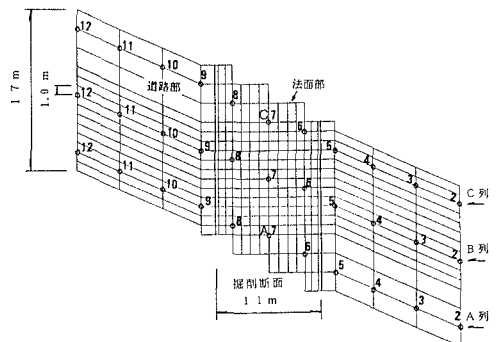


図-2 (b) 要素分割図(平面図)

要素でモデル化した。本トンネルにおいては200 Hの鋼製支保工が1 mピッチで施工されていることから、解析も1 m毎に支保工を設置した。解析手順は初期応力解析を実施した後、パイプルーフを設置し、1 mごとの逐次掘削解析を行なった。そして、1 m掘削後、鋼製支保工を設置し次の1 mを掘削した。

4. 三次元FEM解析結果

図-3は図-2に示す道路の沈下測定点に対して、切羽が道路センターから2 mまで掘進したときの実測値と解析値を比較したものである。図から、実測値と解析値を比較すると、トンネルセンターから右側では実測値のほうが大きく、左側では解析値のほうが大きい傾向にあるが、実測値と解析値はほぼ一致していることから沈下の三次元的な広がりが三次元FEM解析でも予測できるものと考えられる。図-4は道路の沈下測定点B7を基準点として、切羽の進行に伴う基準点B7の地表沈下の挙動を実測値と解析値で比較したものである。両者の傾向はほぼ一致しているが、先行沈下は解析値のほうが大きく、後続沈下は実測値のほうが大きい。そして、解析値のほうが早く収束する。

5. 切羽押し出し量の測定

切羽進行に伴う切羽前方地山の水平変位量(押し出し量)を測定し、切羽前方地山の挙動を解析した。地中変位を測定するために切羽の反対側から、ワイヤー式変位計を挿入した。図-5に地中変位計の設置位置を示す。変位計はトンネル掘削天端から1.8 m下方のトンネルセンター部に、No.1~No.5の5個を1 mピッチで設置した。図-6にNo.3~No.5の地中変位計の経時変化を示す。切羽が近づくに従い水平変位量が大きくなることが分かる。掘削を開始した時刻から水平変位が大きくなり、掘削完了直後に一定値になることから、クリップの変形はあまり生じず、掘削による応力開放の影響が大きいことが分かる。そして、切羽が変位計の位置まで到達したときの押し出し量は1.5~3.0 mm程度であり、また、切羽前方2.0 m程度まで地中変位が生じていることが分かる。パイプルーフおよび薬注の効果により、地山は弾性挙動を示し、押し出し量も比較的小さくなるものと考えられる。

6. まとめ

土被りの薄いトンネルの掘削時における地山挙動を三次元解析値と比較した結果、解析値は実測値とほぼ一致するが、沈下の収束が早い傾向にある。また、切羽の押し出し量を測定した結果、押し出し量は比較的小さく、補助工法の効果が大きいことが分った。

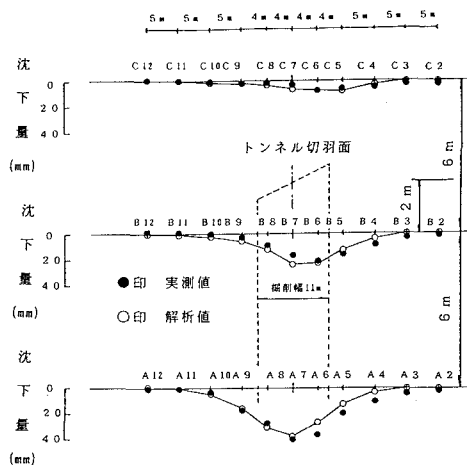


図-3 地表面沈下量の比較

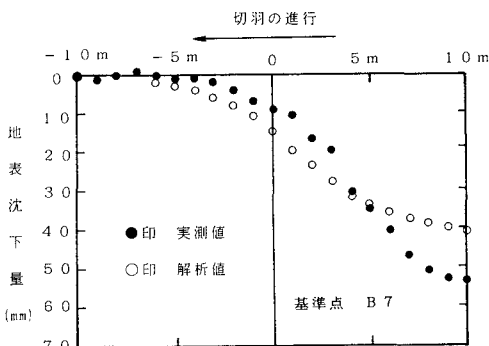


図-4 切羽進行に伴う地表沈下特性

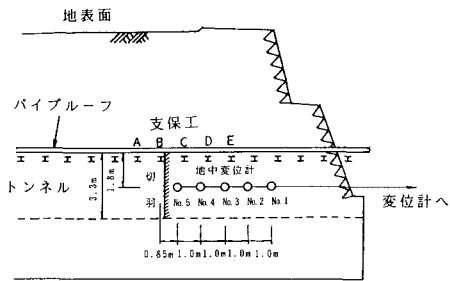


図-5 地中変位計設置位置

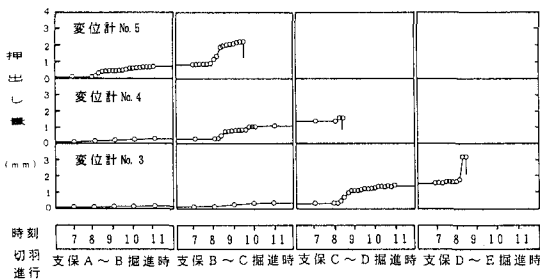


図-6 地中変位の経時変化