

III-365

補助工法を施したトンネルの疑似三次元FEM解析について

フジタ工業(株) 正員 ○田口善文 波田光敏
同 上 正員 香川和夫 鎌田正孝

1. まえがき

土被りの薄い洪積砂層等におけるNATMの施工において、地表沈下の抑制、切羽の安定性の向上のために各種の補助工法を用いることが多い。これらの補助工法の効果を数値解析的に検討する場合、切羽付近は三次元問題となり、補助工法を施したトンネルの三次元解析は非常に複雑で多大の労力を要する。そこで、二次元平面ひずみ状態を仮定したトンネル縦断方向断面に三次元効果と等価なバネを設けることによりこの問題を二次元化し、補助工法を設置した時の地表沈下および切羽の安定性を検討したので報告する。

2. 等価バネ要素を用いた疑似三次元モデル

図-1に三次元モデルと二次元平面ひずみモデルの相違を示す。三次元モデルと二次元モデルを等価にするためには図-1(a)に示す斜線部の土塊の効果を二次元モデルに取り込む必要がある。そこで、図-1(b)に示すように二次元モデルの各要素の節点に三次元解と等価にするバネ要素を設

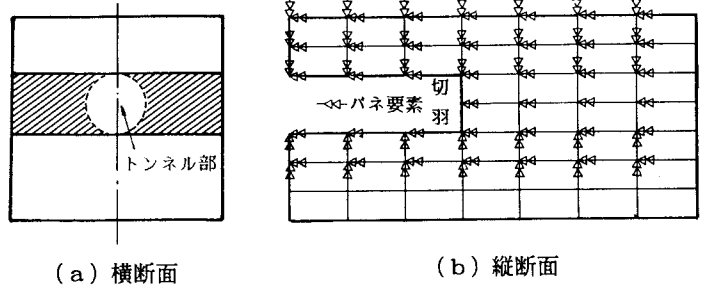


図-1 三次元と二次元モデルの相違

けた。このバネは水平バネと垂直バネよりなり、一方は固定端である。バネ定数 k_v 、 k_h は三次元弾性素掘り解析により求めた各節点の変位を逆解析することにより得られる。その結果、当モデルと三次元解析の変位および応力はほぼ一致する。¹⁾

3. 解析モデルと解析手順

この手法を用いて補助工を施したトンネルの疑似三次元解析を行った。図-2に解析したトンネルの断面および寸法を示す。この断面はトンネル径 $D=10\text{m}$ 、土被り $1D$ の円孔トンネルと等価な二次元モデルであり、各節点には円孔トンネルの三次元素掘り解析により求めた変位量を逆解析して得られた等価なバネが入っている。図中には地山の物性値も併示する。この断面に対し、支保工および補助工を設置して逐次掘削解析を行い、切羽の進行に伴

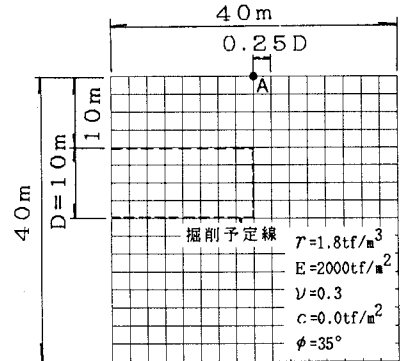


図-2 解析断面

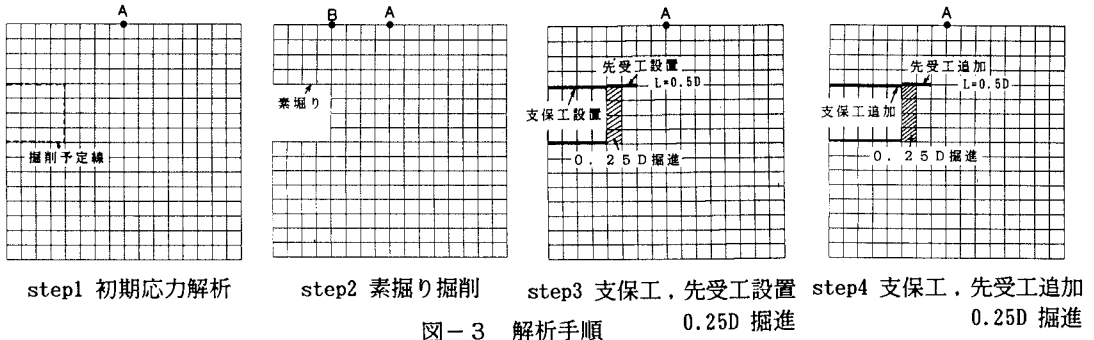


図-3 解析手順

う基準点A（図中に示す）の沈下特性を求めた。解析手順は図-3に示すように、①初期応力解析 ②B点まで素掘り掘削 ③支保工（吹付コン、鋼製支保工）および先受工設置、その後0.25D掘進 ④支保工および先受工追加（ $\ell=0.25$ D分）、その後0.25D掘進 ⑤以下同様に逐次支保工および先受工を追加し、掘削を0.25D毎進めた。支保工はトラス要素でモデル化し、補助工は先受工を想定したので曲げを考慮できる梁要素でモデル化した。また、支保は剛なものとして仮定したので支保工自身の変形はほぼゼロである。

4. 解析結果

前述のようにして切羽の進行に伴う基準点Aの地表沈下特性を求めた。図-4は支保工の施工時期を変化させた時の地表沈下特性を示す。図中の●印は無支保の状態掘削を進めた場合であり、■印は掘削後直ちに剛な支保を切羽面まで施した場合、▲印は切羽より0.25D遅れて支保を施した場合である。図より支保の施工時期の差異により地表沈下は大きく変化することが分り、トンネルの解析に当っては支保の施工時期を正しく評価する必要がある。図-5は先受工（ $\ell=0.5$ D）を施した場合の地表沈下特性を示す。図中の○印は剛な支保が早く施された時の先受工無し（支保のみ）の場合であり、△印、□印は断面形状がそれぞれ異なる先受工を施した場合である。図より先受工の断面形状により地表沈下はかなり変化することが分る。また、図中の破線は先受工の $\ell=1.0$ D、一回の掘進長を0.5 Dとした場合であり、補強効果はかなり小さくなる。これは、一回の掘進長を長くした場合、梁としての先受工が大きな解放荷重を受ける結果、梁のたわみが大きくなるからと考えられる。このことから補助工法の解析に当っては一回の掘進長を正しく評価することが重要である。図-6に基準点Aまで掘進した時の切羽付近の地山の安全率のコンター図を示す。図から先受工を施したケースは切羽前上方の地山の安全率は高くなるが、切羽前面の $F_s \leq 1.0$ の塑性域が支保工のみのケースとほぼ同様であり、切羽自身の安定性はほとんど向上しない結果が得られた。

5. まとめ

疑似三次元モデルにより、補助工を施したトンネルの解析を行った結果、切羽の進行に伴う地表の沈下量は補助工無しの場合に比べて小さくなるが、支保の施工時期、補助工の断面形状、一回の掘進長の差異により大きく変化することが分った。実際のトンネルの解析に当っては、これらのことを解析に取入れて補助工法の効果を検討する必要がある。

【参考文献】 1) 田口、波田、香川、鎌田：等価バネ要素を用いたトンネル縦断方向の応力変形解析、第23回土質工学研究発表会、1988投稿中

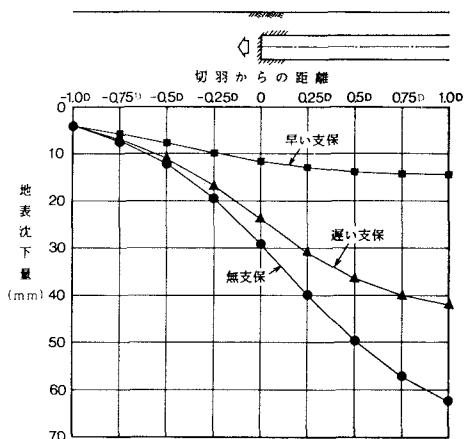


図-4 支保の施工時期の差異

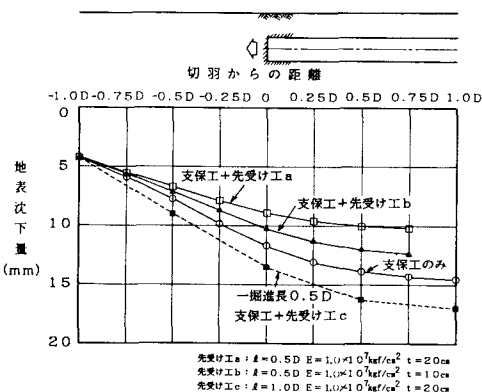
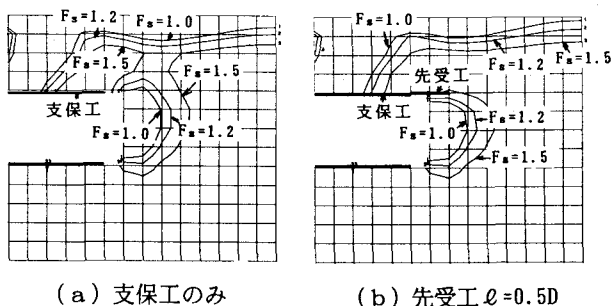


図-5 先受工を施した時の地表沈下



(a) 支保工のみ

(b) 先受工 $\ell=0.5$ D

図-6 地山の安全率のコンター図