

基礎地盤コンサルタント(株) 正員 西 垣 好 彦
 京都大学工学部 正員 大 西 有 三
 日本鉄道建設公団東京支社 藤 本 朝 光

最近、トンネル掘削工法としてNATMが多く実施されるようになってきた。その場合のトンネル内空変位や地表面沈下などをあらかじめ予測して、施工管理を行なう必要があり、その予測手法にいくつかのものがある。その内でもFEM解析が多く報告されているが、それらの多くは切羽の進行や施工過程を考慮できない解析法である。しかし、トンネル掘削時の地山の挙動は切羽の進行および施工過程の影響を受ける。切羽の進行の影響についてはクリープ関数に置き換える方法¹⁾²⁾を代表としていくつかの手法がある。本報告は前述の両者を現行の2次元プログラムをそのまま利用することが可能な簡便な方法として開発した要素重積法³⁾の概要について述べ、それを用いた解析例を紹介するものである。

1 要素重積法の概要

トンネル掘削時の挙動を支配する要因にはいくつか挙げられるが、特に重要と思われるものとして、a)切羽の進行による切羽支保能力の変化、b)支保の建込み時期、c)トンネルの掘削順序およびd)岩盤の非線形特性と時間依存性などがある。a)については従来からFEM解析に取り入れられてきたが、

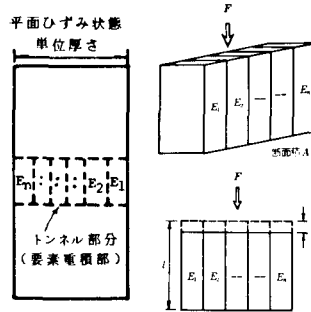


図-1 要素重積法の概念

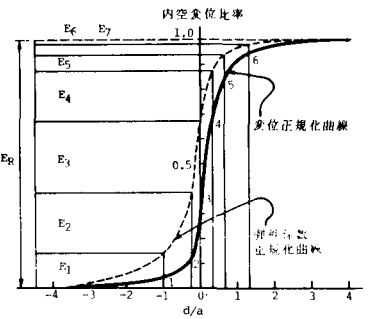


図-2 正規化曲線

a)~c)についてはトンネル掘削の2次元問題であり、2次元解析を行なうには経済的問題から実施されてこなかった。要素重積法は2次元有限要素法により上記a)~c)の問題を擬似的に解析する手法で、有限要素法において節点を共有する要素の数を増加させても剛性マトリックスの大きさは変化しないという利点を生かし、従来平面ひずみ状態では要素は単位幅当り1個を設定したのに対し、掘削すべき面に何層もの要素を積み重ねることにあり、切羽の進行、支保の建込み、掘削順序等をシミュレートする方法である。すなわち、掘削面を図-1(a)のように多層の要素で重積しているものと仮想することにより、図-1(b)のようにすべての層で実際の1個の要素を表現し、切羽の位置を考えたトンネル軸方向の掘削過程は、通常の2次元掘削計算と同様、積み重なった要素を施工順序に従って順次除去することにより表現できる。掘削完了状態はすべての重積要素を除去した時となる。

要素重積法の基本となる考え方は、掘削過程のシミュレーションに用いる弾性係数の配分をあらかじめ決定されている内空変位と σ_a の値との関係から求めることである。トンネル内空変位の推移と σ_a の関係は弾性計算や過去の実測例を参照して、最終内空変化を基準値1として正規化した曲線は図-2のようになる。実際は変位に対する正規化曲線であるが、弾性係数の正規化曲線は2次元問題であるためにこれとは等しくならず、変位正規化曲線を得るためには図-2の点線を用いる必要がある。

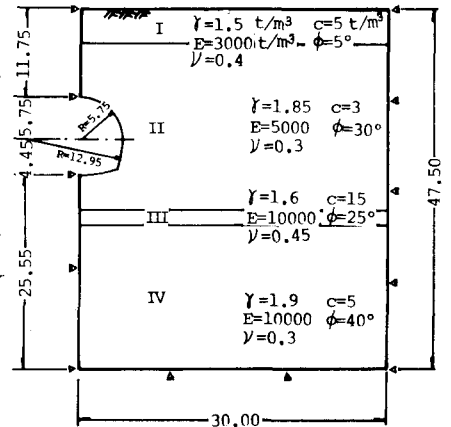


図-3 解析モデル

2. 解析例

図-3に示した解析モデルについて、3段ベンチ掘削を実施した場合の解析を行った。要素重積法の解析には掘削要素を5分割し、その掘削途中で吹付けコンクリートの施工およびその弾性係数の増加を行なっている。その解析手順は図-4(a)のように実施した。その結果、地表面沈下およびトンネル天端の沈下は図-4(b)のように掘削過程との関係で求められる。2次元

解析の結果も同図に併記したが、両者にかなりの差がみられ要素重積法の結果の方が沈下量が少ない。この両者の塑性領域は図-5に示したように差がみられる。すなわち、2次元解析結果ではトンネルクラウン上にかなり広い塑性領域が発生しているのに対し、要素重積法では切羽の支保能力のある間に吹付けコンクリートの施工を行ない、その後掘削を進めるので、クラウン部に塑性領域が発生するのは頂設部掘削時および上半吹付けまでのほんのわずかの間で、その後掘削が進行しても吹付けコンクリートによる支保され、塑性領域の進行が少なくなることがわかる。吹付けコンクリートの軸力は掘削完了時には要素重積法ではほぼ均等に170t/m²であるのに対し、2次元解析では頂設部に特に大きく300t/m²にもなるが、下半側壁でわずかな軸力が生じたり。これらの軸力は吹付けコンクリートの脚部から地盤に伝達されるため、脚部地盤の塑性領域は要素重積法の方が2次元解析よりわずかに大きくなっているのがみられる。これらの結果は前述のa)~c)を考えれば当然の結果であり、要素重積法の結果は施工過程を踏えた経時変化として求めるので、十分吟味された入力データの結果は施工管理に十分利用しえる。しかし、図-4で明らかのように2次元解析に比べ計算ステップが多くなるため、計算時間は2次元解析ほどではないが長くなる。

参考文献

- 1) Sakurai, S: Approximate Time-dependent Analysis of Tunnel Support Structure Considering Progress of Tunnel Face
Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., Vol.2 pp159-175, 1978
- 2) 吉村恒、土屋敬：システムロックボルト設計プログラムの開発 第13回岩盤力学に関するシンポジウム / 1980
- 3) 大西有三、岸本英明：トンネル切羽進行の影響を近似的に考慮した2次元有限要素解析 トンネルと地下 Vol.11 No.12

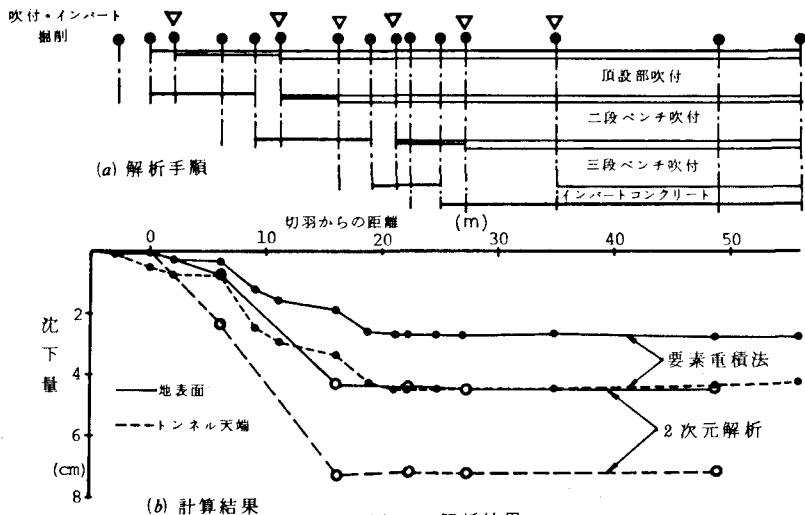


図-4 解析結果

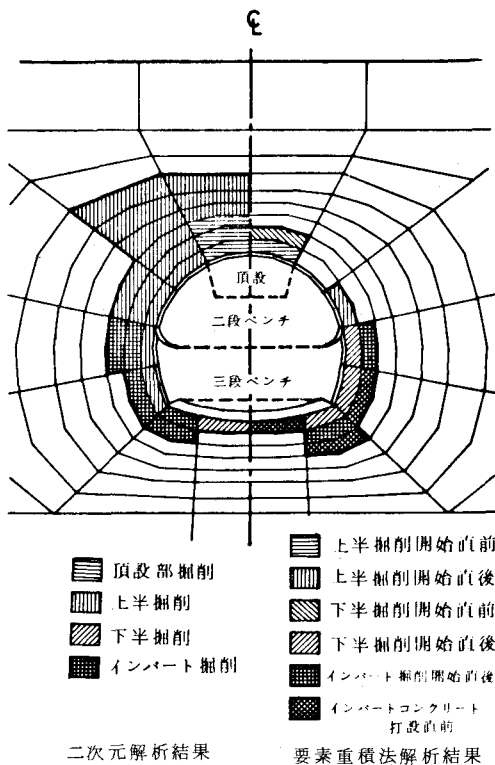


図-5 塑性領域図