

III-30 新離散化モデルによる、シールドトンネル切羽の安定解析

大林組 ○正 徳永正博

東大生研 正 竹内則雄, 川井忠彦

1. はじめに

平面歪状態のシールドトンネル切羽の安定解析に対する解は、既に村山^{*1)}により与えられている。この村山による解は、トンネル切羽前面のすべり面を対数らせん曲線で仮定し、その上部の破壊領域を落し床理論により導びき、前面部と、その上部がアーチ状に複合的に破壊するとしている。そして、その破壊に対して抵抗するためにはシールドマシンを、いゝの推進力で推せばよいからという解を与えている。

ここでは、川井^{*2)}により提案された新離散化モデル^{*3)} (Rigid Body Spring Model、以下RBSMと略す)が、地山の破壊解析に良好な結果を与えるということから、これを切羽安定解析に適用したので、その結果を報告する。

2. 解析の概要及び条件

RBSMは連続領域を有限個の剛体に分割し、剛体と剛体の間に連続的に分布する鉛直バネとせん断バネとを配した離散化モデルである。したがって連続体の挙動は、バネの変形・応力で表現され、剛体間にすべりや、剥離が生じる。これは連続体の破壊を表現する上で非常に有利である。本文では破壊条件としてモール・クーロニ式を用い、弾塑性解析を行なった。

モデルの要素分割は、村山の解により決定されるすべり線に基づいて行ない、予想すべり線の外側には、すべり線が発生しないという仮定と、計算時間を節約する意味で、メッシュサイズを大きくしてある(図-1)。

解析対象は平面歪状態と仮定し、シールド径7m、土盛り高さ12m、節点数64、要素数112、スプリング数151である。地盤条件は、せん断抵抗角 $\phi=30^\circ$ 、粘着力 $c=0.4\text{tf/m}^2$ 、単位体積重量 $\gamma=1.4\text{tf/m}^3$ 、 $k_0=0.4$ 、弾性係数 $E=1000\text{tf/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.35$ である。

3. 解析手順

解析は次のステップにより行なった。

(1) 初期状態におけるスプリング応力の算定

これは、図-1のトンネル切羽を完全に拘束した状態で、自重と土により計算される。

(2) 切羽の拘束の撤去

これにより、切羽の拘束に作用していた力が、外力(解放力)として働くと、切羽前面の土が破壊を始める。破壊進展の追跡は、山田の方法にしたがい、バネを1個ずつ降伏させとめる、切羽前面の土が全体的に剛体変形を起こすまで続ける。

(3) シールド掘進機の最小推進力の算定

ステップ(2)の計算結果より、この切羽が全体破壊を起こすのに要する力が、切羽解放力に対するある割合で求められる(切羽解放力 $\times\alpha$)。したがって切羽をよこさえるためには、少なくとも次式によるシールド反力が必要になる。

$$\text{切羽の安定を保つのに要するシールド反力} = \text{切羽解放力} \times (1-\alpha) \quad \cdots (1)$$

4. 解析結果及び考察

解析の結果、50回目の繰返しで完全破壊に到達した。この時の必要シールド反力を(1)式により計算すれば、13.5tfとなる。同じ条件で村山により提案された方法を用いれば、17.8tfとなり、その比率は、

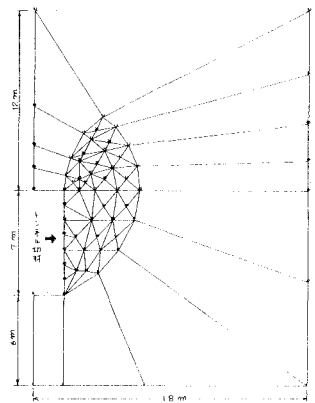


図-1. 要素分割図

1.32 となる。図-2 には切羽を全面解放した時の破壊すべり線の進展を示している。又、図-3 には要素の変形状態を示す。これによれば、すべりは切羽の下端から徐々に発生し、細かい破壊線を形成しながら上部に進行し、シールドフードの高さまで全般的に広がる。更に破壊は上部に進みアーチ部を形成しようとするが、その前にシールド前面の土塊が全体破壊を起こし計算を終了する。これより予想されることは、切羽前面とその上部の土は、一体として破壊を起こさうがない、ということである。すなわち、破壊はシールド前面の土に起り、それがフード部の高さまで進み、この部分が完全破壊した後、その上部の土が漸次的な破壊と始めるのではないかと考えられる。したがってシールド前面の土の破壊を阻止すれば切羽の破壊は防げるものと予想される。このことを前提として、アーチ部の破壊がないものとして材力の式により必要シールド反力を求めると、12.32t という値となり、RBSMによる値との比は0.91となる。これは、RBSMによる解が、アーチ部の破壊もある程度含んでいることを考慮すれば妥当な値だと思われる。

今回の計算では、RBSMのシールドトンネル切羽の破壊に対する適用性と調べるために簡単なモデルで行なったが、破壊のメカニズムがある程度つかめたものと思える。しかしフード部より上のアーチ状の破壊がここではまだ求まってはいない。これは理論的には、落しデによる破壊パターンをとるものと予想され、落しデと複合させた解析が必要となると考えられる。

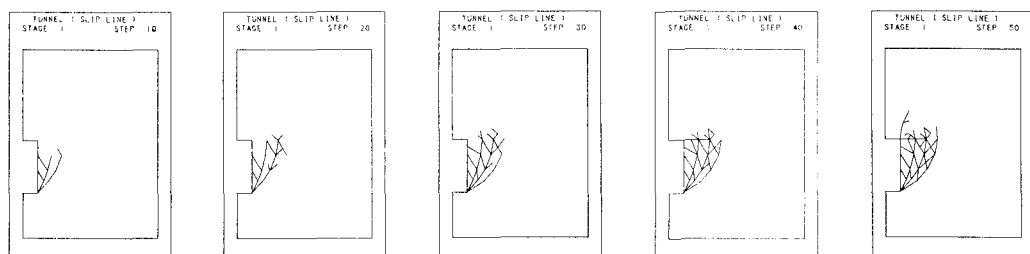


図-2. すべり線図

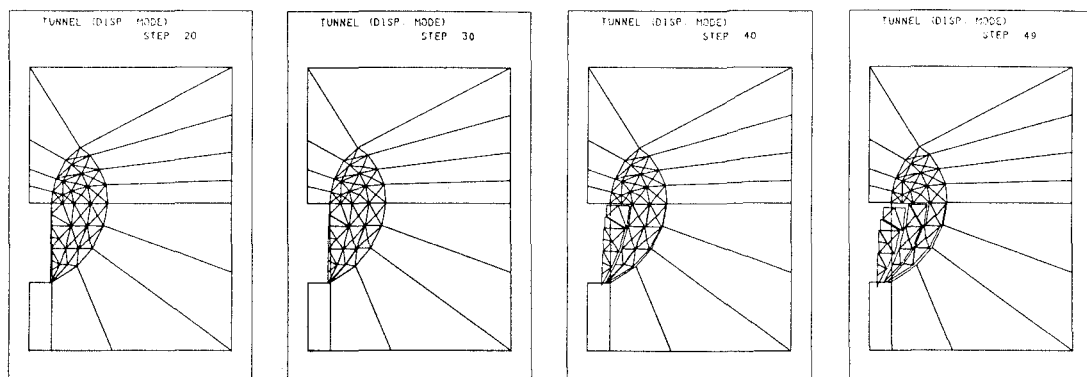


図-3. 変位モード図

参考文献

1. 村山朝郎：トンネル工法，第3回トンネル工学シンポジウム，PP1-16（1966）
2. 川井忠彦：物理モデルによる連続体力学諸問題の解析，生研セミナーテキスト（1980）
3. 竹内・桑田・川井：新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析（その5），生産研究，Vol.33，NO.5 PP.20-23（1981）