

(株)熊谷組 技術研究所 大塚 本天  
 同上 上野 正高  
 同上 石垣 和男

1. まえがき

従来、支保工の設計にはアロクター&ホワイトの手法が、またライニングの設計では、電算を用いてライニングを骨組構造物と考えて解析が行なわれてきた。支保工の設計にアロクター&ホワイトの手法が現在も用いられている理由は、計算値と実験値が良く合っていること、また数値計算ではモデル化が十分に成し得ないためであった。一方、ライニングの設計においては、地山の評価が充分に行なえず、今までは、各節点に集中結合するバネで評価したり、変形に比列する分佈反力を考えるウィンクラーの仮定など用いられてきた。しかし、これらの数値計算の結果では、ライニングを連続体として解析したとき、インバート付きのもの、インバートなしのものより、内力(断面力)が大きくなるという現象とは反する結果が得られる。そこで、本報告は、電算を用いて支保工解析するためのモデル化と、地山とライニングを一体と考えたライニングの設計法について提案をするものである。

2. 支保工のモデル化と数値計算結果

トンネル掘削後、支保工建込みの際、支保工と地山の間にアロッキングが行なわれ、このアロッキングを通して地圧が支保工に伝達される。この支保工の設計法としてのアロクター&ホワイトの方法は、ゆるみ高さを仮定してこの工荷重を主動土圧とし、支保工の構造を地山と支保工がアロッキングにより、ピン結合された静定構造として、構造の安全を保つために力の作用線がこぶ点を通るように受働土圧が発生すると仮定した考え方である。(Fig-1参照)したが、モデル化にあたっては、支保工、アロッキング、地山の結合条件としては、ピン結合が満足されるなければならない。また地山からの荷重の伝達、支保の変形による、もたらされる地山の反力は、すべてアロッキングによるのみ伝達される。これらのことを考慮してFig-2に示したようなモデルを考えた。計算手法としては、モデルに荷重を作用させ、アロッキング部材が引張の場合(モデルの破線部分)には、主動土圧の作用点としてアロッキング部材及び支点を取りのぞかれる。アロッキング部材が圧縮の場合は、受働土圧点として、支保をアロッキングが拘束していることになる。アロッキングに作用する荷重は、あくまで軸力だけであることから、荷重の作用方向は、支保の半径方向のみである。拘束反力についても同様である。以上のことを踏えて、試算してみると、アロッキング部材を考える範囲はFig-2のように、スプリングラインより反時計方向に45°前後の範囲で充分であることが認められた。アロクター&ホワイトの手法との比較の意味で、同一条件で数値解析を行、た時の結果をFig-3に示す。実線で結んだものがアロクター&ホワイトの手法で得られたものであり、各ポイントで数値計算の結果である。これによると、きわめて結果が一致しておりモデル化が充分満足のいくものであることが分かる。尚、地山は支点として表現されており、地山自体の性質は何んも加味されていない。

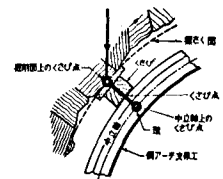


Fig-1 地山と支保工との力の伝達

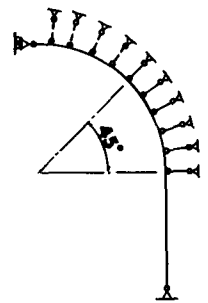


Fig-2 支保工モデル

### 3. ライニングのモデル化と数値計算結果

従来のライニング及び吹付けコンクリートの設計には、部材の変形に対して地山の拘束力がバネとして反力を与えるものとして行なわれている。この時、バネの意味を考えるとバネは、軸方向の反力に対して作用するが、曲げやせん断に対しては全く作用していないことから支保と地山はスリッパ状態となる。しかし実際の地山とライニングの間には、かなりの摩擦やせん断が期待でき単純バネだけでは評価が不十分と思われる。したがって、これらの条件を満足するモデルとしてFig-4のようなものと考えた。①はライニング部材、②は、地山とライニングの結合部材(この部材を通じて荷重が伝達)、③は、地山部材(ここに荷重を作用させる)である。この時、結合部材の長さLは、次式より決定される。

$$S_1 = P/k \quad (\text{ばねの時}) \quad S_2 = PL/AE \quad (\text{結合部材の時})$$

$S_1, S_2$ : 沈下量,  $P$ : 荷重 ( $\text{kg/cm}^2$ ),  $P'$ : 結合部材に作用する力 ( $\text{kg}$ ),  $A$ : 部材の面積,  $L$ : 部材長,  $E$ : 部材の弾性係数,  $k$ : 地盤反力係数

$$S_1 = S_2, \quad P = P'/A \quad \therefore \quad E = kL$$

従来のバネの評価とFig-4のモデルについて、同一条件でインバート付きとなしの二つについて解析した結果をFig-5, 6に示す。また最大モーメントについて比較したものをTable-1に示す。これによると、地山の評価としてバネを用いたものは、部材長が長くなるとインバート付きがないものよりも不利となると言え、現実と相反する結果が得られる。これに対し、Fig-4のモデルのものは、逆の結果となり現実の現象に合致している。また②の結合部材の剛性を考慮することにより、かなり複雑な支保と地山の挙動についても調べられ、より現実の地山とライニングの相互作用について調べられると思われる。この点に着目してスプリングラインの上下で地山の剛性を変化させ、変化させないものと比較したものがFig-7である。破線が剛性をスプリングの上で下のものの1/2としたものである。これによると地山の地層の相違や、異方性にも充分対処し得ることが分かる。結果は、定性的には現実と合致したものであるが、定量的には正しい評価が成されているかどうか不明であり、今後計測等を通じて、モデル化の正しい評価を行っていく必要があると思われる。

Max Moment  
Table-1

種別 手法	インバートなし	インバート付
従来のモデル	19.2	21.3
新モデル	13.9	11.8

(TM)

#### 参考文献

- アーストーンネルの設計・施工; 宮下和夫著(山海堂)
- トンネル工学; 樗木武著(共立出版)
- トンネル工学; 工塚本武著(朝倉書店)

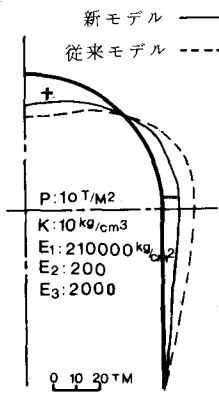


Fig-5 曲げモーメント図

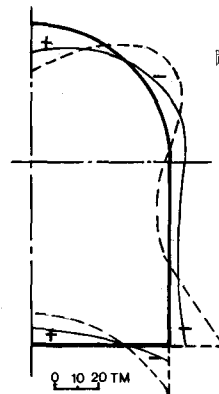


Fig-6 曲げモーメント図

#### 剛性比の違いによる結果

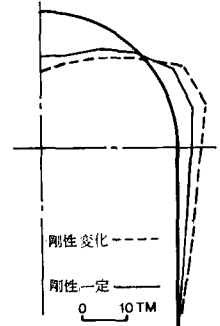


Fig-7 曲げモーメント図

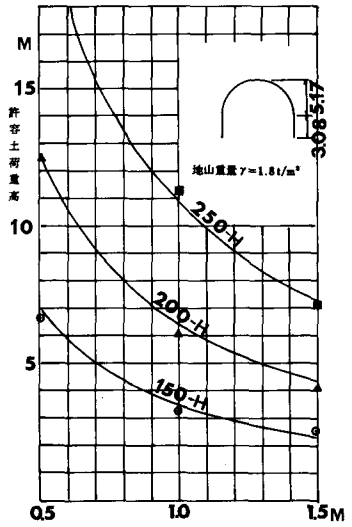


Fig-3 支保工ビッチ

ブロクター & ホワイトの計算値とモデルとの比較

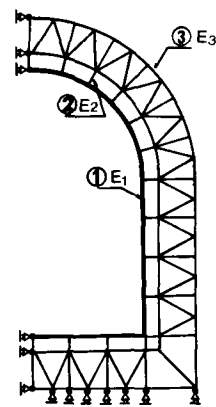


Fig-4 ライニングモデル