

III-243 ロックボルトによるトンネルの支保機構について

都立大学工学部 正員 ○ 山 本 稔
日産基礎工業 正員 露 木 延 夫

1. はじめに

すでに実施した落し戸の実験を通じてロックボルトの作用効果がブロック化効果によって説明しうることを明らかにすることができた。ブロック化効果とは、ロックボルトの自己つり合い作用によってロックボルト回りの地山を一体化する力学的現象に与えた作用効果である。トンネルの支保機構をロックボルトのブロック化効果で説明するには、(1)掘削面に打設したロックボルトが個個に脱落しないようにブロック化効果を発揮すると同時に(2)トンネル周辺の領域は土圧を支持して究極的には安定するという2つの条件を満たさなければならない。筆者がここにブロック化効果を提唱するのは、トンネルの支保機構をロックボルトの作用効果に基づき一貫して説明しようとする意図から第1の基本的条件のみならず、ブロック化効果の直接的応用として第2の条件を満たすようなたかも石積み構造と同様に考えてトンネルの安定を論ずるのに利用しようとする試みも含んでいる。

次に実験とその解析を通じて筆者の意図を明らかにしたいと考える。

2. アーチ形トンネルの模型実験

図-1のように、砂箱の底板に明けた穴に円形アーチの落し戸をはめ込み、それをガイドにしてトンネル模型を形成した後砂箱に砂を詰め、落し戸を降下して実験を行なった。トンネル模型は、厚さ3mmのプラスチック板からなる矩形パネルをトンネルの横断方向に6枚、縦断方向に5枚づつ敷き並べ、支間90cm、ライズ26cm、中心角120°の折線状アーチを形成するとともに各パネルの中央にはφ6.2×18cmの総ネジボルトを取付けたものである。各パネルは吹付けコンクリートに相当するが、パネルを通じて応力が伝達しないようすき間を設け、ボルトの作用効果が明確に現われるようにした。なお、実験はボルトにアンカーヘッドを付けた場合やボルトを使用しない場合についても行なった。

実験結果は図-2に示す通りである。パネルにボルトを取付けない場合には、実験結果は従来の落し戸の実験と同じであり、わずかの降下変位によってゆるみ土圧に達することは明らかである。これに対してパネルに長さ18cmのボルトを配設した場合には、アンカーヘッドの有無にかかわらずトンネルは自立している。そして、アンカーヘッドの取付けによってボルトの定着力を大きくすれば、トンネルは小さい変位で早期に自立することができるといえる。

このような現象をブロック化効果によって説明すれば次の通りである。まず始めに、各パネルに作用する土圧はボルトの自己つり合い作用によって地山に還元される。このとき、パネルに作用する最小土圧はパネル幅に当たる幅18cmの落し戸のゆるみ土圧であるから、ボルトの定着力をこれより大きくすれば、ボルト回りの地山はパネルとともに一体化し、ブロック化効果が発現する。次にブロック化効果によって一体化した各部分は石積みアーチと同様にせり持つが、これによって地山が塑性流動しないならば、トンネルは安定し自立する。この説明によれば、ボルトの定着力を大きくすることによってパネルは一層大きな土圧を支持できることになるから、トンネルの変位は減少し、小さい変位で自立することになる。実験結果は明らかにこれを裏付けている。

3. 模型実験の理論的考察

上述の解釈に従いブロック化効果によってトンネルの支保機構を説明するため、モデルとして図-3の多ヒンジ

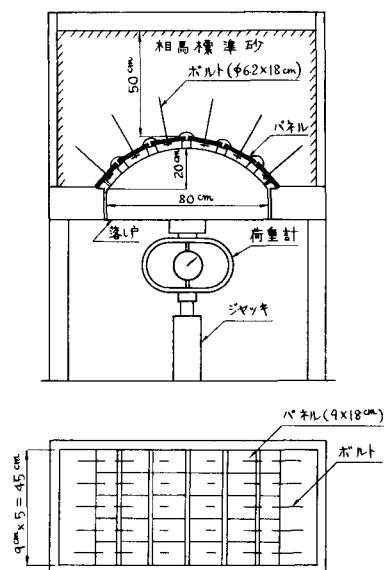


図-1 実験装置

アーチを用いる。問題を簡単にするため、多ヒンジアーチの安定だけを取扱うことにすれば、アーチを構成する構要素としてはボルトによって確実にブロック化された部分を当てるのが適当と考え、その目安としてボルトの中央を横切りパネル面に平行な線を軸とする直方体を用いることにする。構造計算は「多ヒンジ系セグメントリングの設計計算法」(山本稔他, 土木学会論文集150号昭43.2.)に準じて行なう。そして、計算結果を利用し、個々のボルトのブロック化効果の発現ならびに各要素の塑性流動条件について吟味する。図-4は、ボルトにアンカーヘッドを付けない実験を対象としてモールクーロンのすべり限界線から塑性流動の有無を吟味したものである。この実験例は図-2からも推察できるように、トンネルが安定する下限に近いから、図はその奥状を概略説明できるものと考え。

4. おわりに

新オーストリアトンネル工法と呼んでトンネルの支保にロックボルト工を活用するトンネル工法が膨張性地山に対してけん伝されているが、諸種の事情から設計と施工に困難がつきまわっているのが現状である。この研究は、ロックボルトの作用効果をブロック化効果として把握し、ロックボルト工を用いたトンネルの支保機構を一貫して説明し、経験を理論的に裏付けするとともに

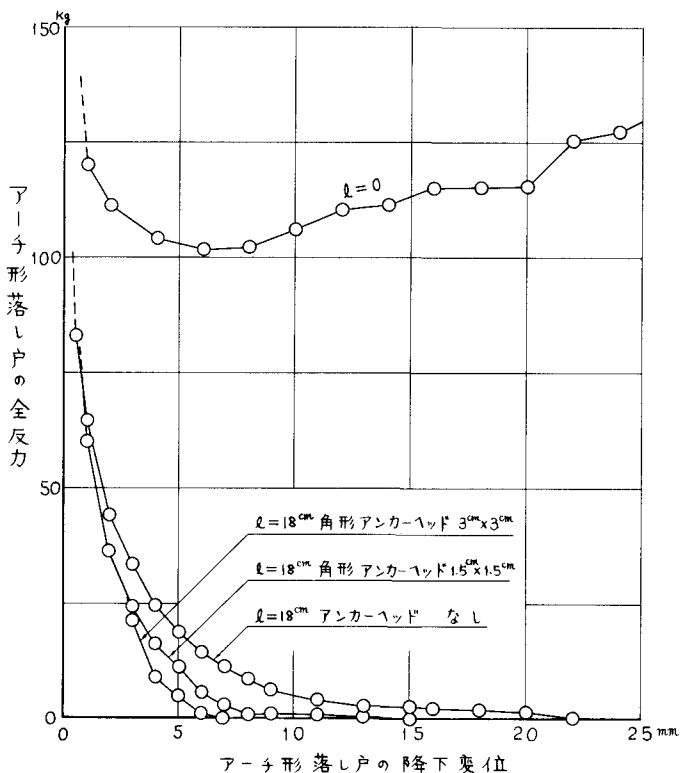


図-2 実験結果

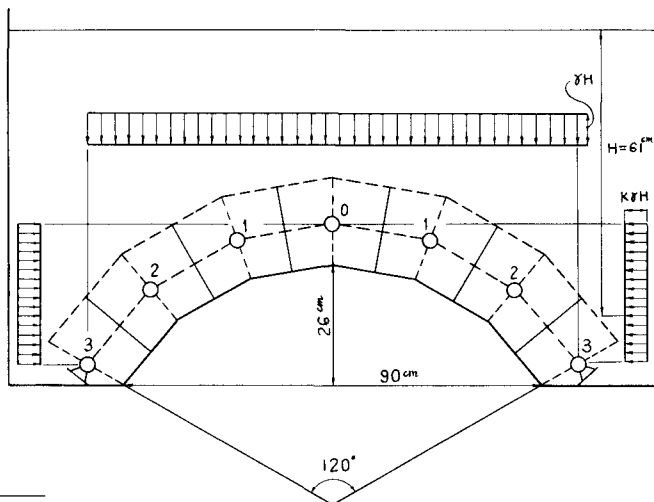


図-3 計算モデル

に設計と施工に反映することをねらった試みである。未だ実証例も少なく、予測の域を出ないが、これを契機としてロックボルト工の理論的検討が進み、トンネルの支保理論として確立することを始め、斜面安定などにも応用の途が開けることを期待している。終りに実験の協力者として筒井弘文君に厚くお礼申し上げる。

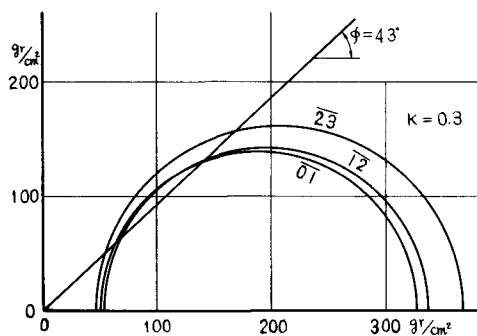


図-4 各要素の応力状態