

III-217 支保状態の違いによるトンネルの挙動に関する模型実験

東急建設技術研究所 正会員 ○広井恵二
面 風 哲
前田強司

I. はじめに

NATMは、最近では国内においても、山岳トンネルのみでなく市街地トンネル等においても使用されようという状況にあり、その適用範囲をひろげつつある。しかし、NATMは理論的概念と施工実績が先行し、基本的な要件となるNATM支保材であるロックボルト、薄肉覆工等の支保効果について不明な点も多い。

本実験では、固結度の低い地山と想定し、いくつかの支保状態の模型実験を行い、冬支保状態における周辺地山の挙動のデータを得るとともに、さらにロックボルト、薄肉覆工の支保効果について実験的解明を試みた。

II. 実験概要

今回の実験では、ロックボルトおよび薄肉覆工の支保効果を解明するために、表-1に示すような4種類の支保状態について実験を行った。

1. 使用材料

a) 地山：地山相等部は、固結度の低い地山を想定しベントナイトモルタル（C：B：F：S＝1：67：13.3：21）で作成した。地山モルタルの強度特性を表-1に示す。ここで、C：セメント、B：ベントナイト、F：フライアッシュ、S：砂

b) ロックボルト：ロックボルトはφ3mmの鉄線を使用した。ロックボルトの定着部は、エポキシ樹脂で標準砂を接着し、地山との付着が良くなるように配慮している。ベアリングアレットの形状は10×10mmである。

c) ライニング：セメントモルタルを使用し型枠で厚さ5mm、内径300mmの円筒を作成した。圧縮強度は300～350kg/cm²、弾性係数は1.3×10⁵～1.5×10⁵kg/cm²であった。

2. 実験装置

実験は、図-1に示す装置を使用して行った。載荷装置は、平面直交方向に100tジャッキを2台設置し、PC鋼棒で互いの載荷板（1000×300mm）に反力をとる構造とした。トンネル軸方向は拘束板により変形を拘束し平面みずみ状態としている。トンネル模型の寸法は、直径6mの円形トンネルを想定し、縮尺を1/20とし、直径30cm、軸方向30cmである。

表-1 実験の種類と地山特性

NO	支 保 状 態	軸圧縮強度 σ _u (kg/cm ²)	弾性係数 E _{so} (kg/cm ²)	粘着力 C(kg/cm ²)	内部摩擦角 φ(°)
1	無支保	2.60	357	0.93	19.1
2	ロックボルトのみ	2.92	512	1.10	18.2
3	ライニングのみ	2.20	194	0.89	10.5
4	ロックボルト+ライニング	1.68	234	0.68	7.4

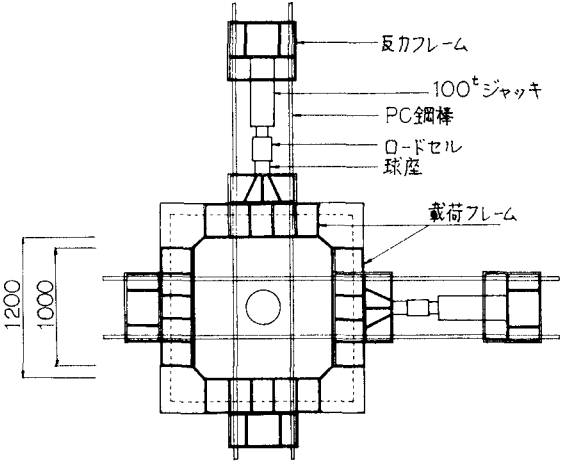


図-1 載荷装置

Ⅲ. 実験結果と考察

トンネルの内空変位率と載荷荷重の関係を図-2に、周辺地山の破壊状況と塑性範囲Rを図-3に示す。

内空変位率は、無支保とロックボルト支保の場合、地山の軸圧縮強度 σ_{cd} の $\frac{1}{2}$ 位までは弾性的な挙動を示し、以後急激に増大した。しかし塑性域発生後のロックボルト支保の内空変位は、ロックボルトの効果のため無支保の場合に比べて少なくなっている。ライニング支保の場合、内空変位率は、破壊時においても0.7%と小さな値であり、破壊時までライニングの剛性で地山を支保していたという傾向を示している。ライニング+ロックボルト支保の場合、ライニングの破壊まで内空変位率はわずかだったが、一部のロックボルトはライニングより大きく変形し、アレートとライニングの間に隙間が生じ、ロックボルトの効果が発揮されなかったため、ライニングの破壊後、変位は急速に進行した。ライニングの変形とロックボルトの変形を合わせる工夫が必要と思われる。

地山の破壊状況については、ロックボルト支保の場合、無支保の場合に比べロックボルトの効果のため破壊領域が小さくなっている。ライニング支保の場合、ライニングの剛性で支保していた σ_{cd} の2倍位の荷重が、ライニングの破壊とともに作用したため、無支保、ロックボルト支保に比較して破壊領域は大きい。ライニング+ロックボルト支保の場合、一部のロックボルトは内空に押し出され、その機能を十分にはたさなかったため、破壊領域は、ライニング支保の場合と同様に大きくなった。

Ⅳ. まとめ

今回の実験により、以下のことが明らかになった。

ライニング支保は、地山の変形を抑えるのには有効であるが、ライニングの破壊とともに地山の崩壊にいたる。ロックボルト支保は、今回の実験ではベアリングアレートが小さかったので内圧効果は少なかったと考えられるが、塑性後の地山の強度劣化性状を改善する傾向がある。また塑性地山内のロックボルトにもこの傾向があり、塑性流動を阻止する働きがみられる。ベアリングアレートの形状とロックボルトの支保効果は密接な関係がある。ライニングとロックボルトを併用する場合、それぞれの変形特性に差があるため、互いの支保能力を足し合わせるような支保効果を発揮させるには、変形特性を合わせるような工夫が必要と思われる。

Ⅴ. おわりに

本報告は、4つの実験の報告のみにとどまった。現在、ロックボルトの支保効果について、ボルトの本数、アレートの形状を変えて実験中であり、解析も併行して行っているので後日報告する予定である。

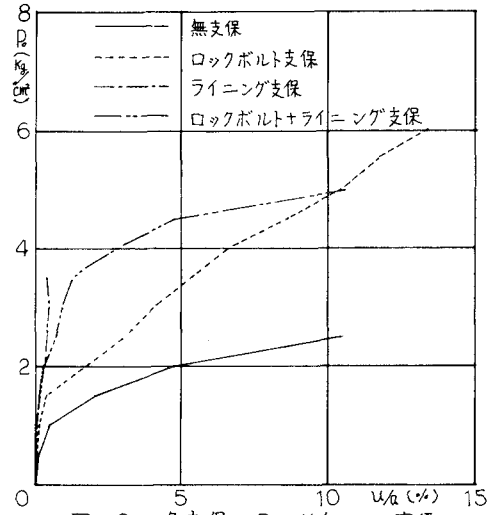


図-2 各支保のRと u/a との関係

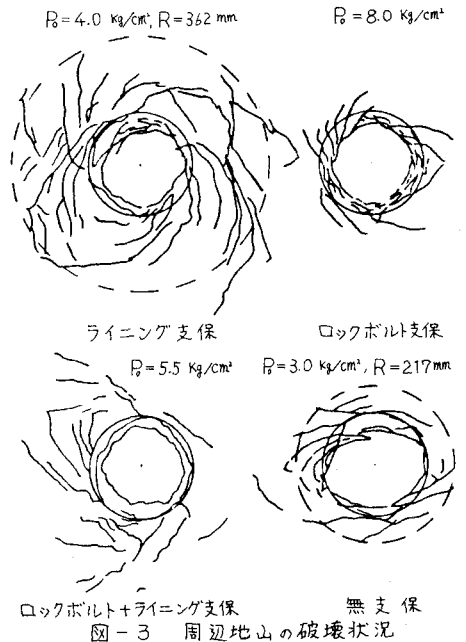


図-3 周辺地山の破壊状況