

# III-383 粒状体地山における ロックボルトの作用効果（4）

東京都立大学 学生員 立石 記透  
東京都立大学 正員 今田 徹

## 1. 概要

全面接着型のロックボルトは、硬岩においてだけでなく軟岩においても優れた支保効果のあることが経験的に明らかにされつつあるが、軟岩や土砂におけるロックボルトの作用機構・設計手法は明確ではない。トンネルの天端および側壁部に設けられたロックボルトの挙動や、側圧係数1の平面応力状態での粒状体地山におけるロックボルトの挙動についてはすでに報告した<sup>1)</sup>。今回は、ロックボルトを埋設した粒状体地山を用いた模型実験と、ロックボルトの作用を模擬した有限要素法による解析を行い、両者の比較・検討を行ったので報告する。

## 2. 実験方法

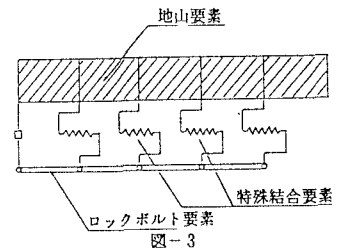
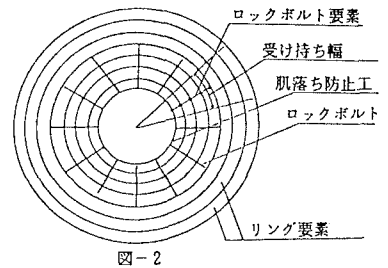
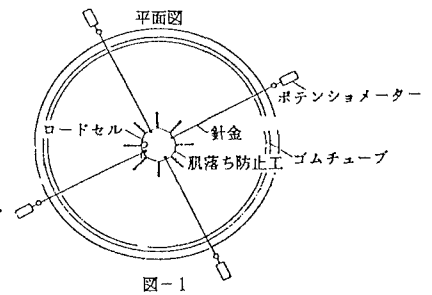
実験装置及び実験方法は基本的に昨年度と同様である。今回、実験装置の上面の亚克力板に埋め込んだ4本のパイプ通した針金をトンネル壁面の内空側にあて、容器外のポテンシオメーターでトンネルの内壁の変位を測定できるようにした（図-1）。実験は、トンネル掘削後に外圧を0から2.0kgf/cm<sup>2</sup>まで徐々に上げ、同時にロックボルト軸力とトンネル内壁変位を測定した。また、ロックボルトのピッチ：Pは25mm, 15mmとし、両者において長さ：LをL/Pが5から崩壊するまで短くしていった。

## 3. ロックボルトを含む円形リングの安定計算

計算は、円形リングにロックボルトを配置した一次元有限要素モデルで行った。一次元化するためには、ロックボルトの効果を平均化して取り扱う必要があり図-2のような解析モデルとした。ロックボルトに発生する軸力は地山とロックボルトの変位の差によって生じる。したがって、計算によってロックボルトの効果を検討するためには、地山の降伏後の挙動を考慮した手法を用いる必要がある。本計算ではCoulombの降伏基準を適用し、ロックボルトと地山との力のやり取りにおいて図-3のようなモデルを想定し行った。

## 4. 実験結果・計算結果および考察

代表的な実験・計算の結果を図-4に示す。外圧-ボルト軸力の関係は実験・計算ともにリニヤに増加している。外圧-壁面変位の関係も同様であるが、実験で外圧0～0.5kgf/cm<sup>2</sup>の間が曲線になるのは、ロックボルトが働くのにやや大きめの変位が必要な為であると思われる。これより、トンネル壁面に十分な変位があれば、ロックボルトの入っている塑性域に或る厚みのリングが形成され、これが弾性的に挙動するものと考えられ、この状態は外圧を増加させていっても、L/Pで定まる一定の状態になると考えられる。また、実験値と計算値の傾きの違いは、計算においてボルトピッチ2.5についてはロックボルトの効果を過少評価し、ピッチ1.5については過大評価していることになる。この原因は、外圧-壁面変位のグラフの曲線部分の計



算をモデル化できなかったことにあると思われる。しかし、トンネル崩壊に近づく  $L/P$  は、この計算のモデル化によって予測できた。それを次に示す。

$L/P$ -軸力、 $L/P$ -変位の関係を図-5に示す。 $L/P$ -軸力の関係は、実験では  $L/P$  が5から小さくなるに従い軸力が大きくなり  $L/P$  が3~2.5でピークとなる。計算では、 $L/P$  が2.5でピークとなり  $L/P$  が2.5以下で崩壊した。 $L/P$ -変位の関係は、軸力の場合と似て  $L/P$  が4より小さくなると変位が大きくなり2.5より小さくなると変位は少しずつ小さくなる。この実験結果は、計算結果からある程度説明できる。塑性領域の計算値(図-6)が示すように、トンネル周辺の塑性領域の幅は  $L/P$  が変わってもあまり変化しない。つまり、ロックボルトの長さが短くなり  $L/P$  が2.5になった時点でロックボルトの先端が弾性境界に残っている限界状態となり、この時ロックボルト軸力が最大になる。 $L/P$  が2.0より小さくなると、ロックボルトの保持力が得られず塑性領域が発達し、トンネル崩壊を招く。

以上のことから、トンネル壁面が変位する過程でロックボルトと地山との間の摩擦力によってロックボルトの軸力が保持され、これが肌落ち防止工として用いたプレートに支反力として与えられ、トンネル周辺に疑似弾性リングが形成されてトンネルが安定化することが明らかになった。必要とするロックボルトのピッチ・長さは、地山とロックボルト間の摩擦力によって決定されることになる。本実験は肌落ち防止工が完全なものであったが、実際の地山ではこのような条件を作ることは難しく、今後肌落ち防止工の与える影響を検討する必要がある。

以上、本研究では、ロックボルトを含む円形リングの安定計算によって実験の結果をある程度模擬することができた。実験にあたっては田原信芳君(現NTT)の手を煩わせた。ここに謝意を表する。

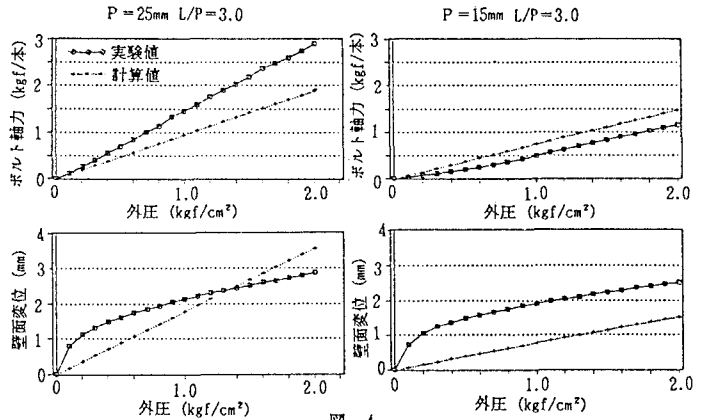


図-4

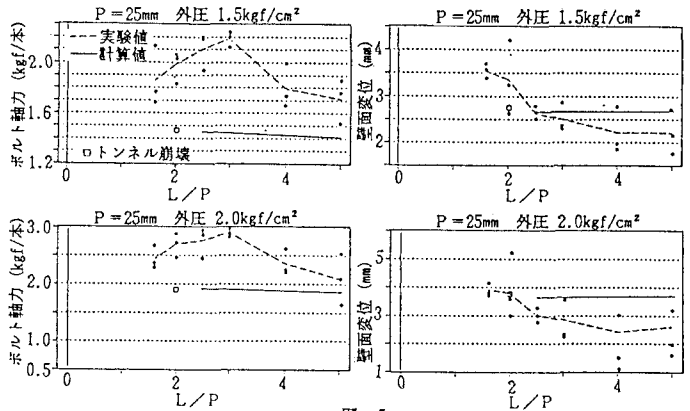


図-5

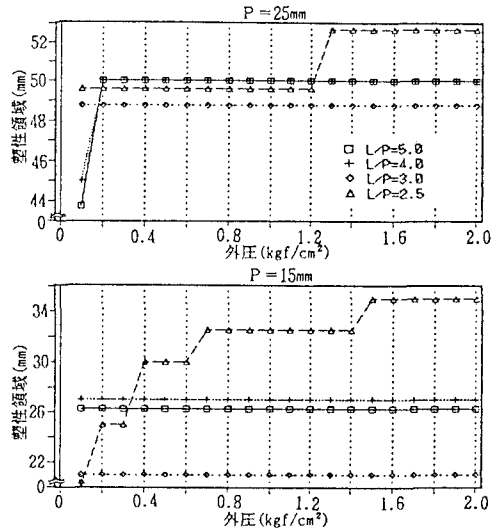


図-6

1) 参考文献:

- \* 複状体地山におけるロックボルトの軸力(1) \* 今田 1983.10 J.S.C.E 年報
- \* 複状体地山におけるロックボルトの軸力(2) \* 今田, 野々上 1984.10 J.S.C.E 年報
- \* 複状体地山におけるロックボルトの作用効果(3) \* 今田, 田原 1987.10 J.S.C.E 年報