

東京都立大学 正員 今田 徹
、 野々上 良男

1. はじめに

ロックボルトは硬岩や中硬岩のみでなく、軟岩や土砂トンネルにも広く使用されるようになってきている。硬岩、中硬岩のロックボルトの設計法に関しては経験的な側面が強いが、ある程度の目安がある。しかし、土砂や軟岩の場合の設計は現状においてその考え方が明確でない。そこで地山を鉛粒を用いて模擬し、土砂トンネルにロックボルトを用いた場合のロックボルトの挙動を求める実験を行ってきている。トンネルの天端に設けられたロックボルトの挙動については昨年度報告し、安定を保つために必要な長さや建込み間隔の関係およびロックボルトに生ずる軸力について検討した。本報告はこれに続くものであり、側壁部に設けられたロックボルトの挙動に着目した実験から、この部分のロックボルトの設計の考え方について検討するものである。

2. 実験方法

実験は図-1に示すアクリル製の箱に地山として $\phi=2\text{mm}$ の鉛粒を詰め、底部から20cmのところに中心を持つ径10cmのトンネルを設けることにより行った。すなわち、図-2に示すようにロックボルトと肌落ち防止工からなる支保構造を箱を横にした状態で所定の位置に据付け、トンネルの内側を含めて箱を鉛粒で満し、次に前面アクリル板で蓋をした後直立させる。この状態がトンネルの掘削前の状態となる。前面アクリル板にはトンネル部にトンネル径より若干小さな孔が設けられており、この部分の蓋を外すことによって鉛粒を取出し、トンネルを掘削する。安定が得られない場合は鉛粒を取出す過程でトンネルは崩壊する。安定が得られた場合はロードセルによりロックボルトの軸力を測定する。ロックボルトには径3.1mmの装飾用のチェーンをエポキシ樹脂で曲がらない様に固定して用いた。肌落ち防止工は厚さ0.5mmのアルミ板を短冊状にしたものを用い、肌落ち防止工がリングとして働き地山を支持することかない様にした。従って、この実験では、地山はロックボルトの作用によってのみ支持されることになる。ロックボルトの軸力は水平に設けられたもの、および斜45°方向に設けられたものについて、それぞれ別々の実験で測定した。実験はロックボルトのピッチ:Pを20mmと25mmにし、長さ:LをL/pから5程度から順次短かくして崩壊が生ずるまで行った。

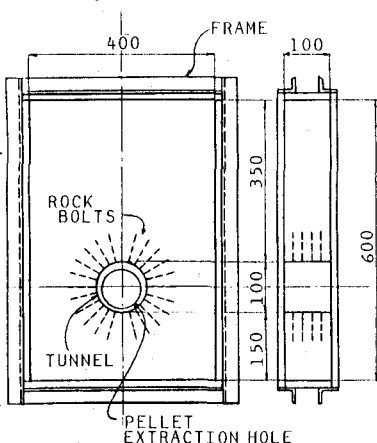


図-1 実験装置

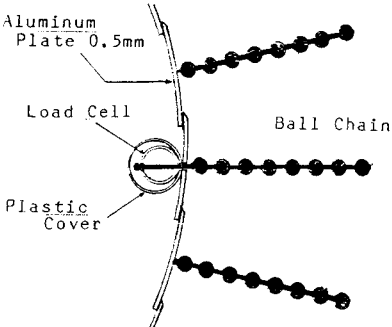


図-2 ロックボルト詳細

3. 実験結果

実験から得られたロックボルトの軸力をL/pとの関係で図-3に示す。得られた軸力の値はバラツキが大きく、一定の傾向を見いだすことはできない。L/pに關係しないと考えて平均軸力を求めてみると、 $P=20\text{mm}$ の時の水平350gN/本、斜45°方向325gN/本、 $P=25\text{mm}$ の時、水平方向580gN/本、斜45°方向480gN/本となる。斜45°方向の値が若干小さいが、バラツキを考慮すると明確ではない。水平方向のロックボルトの軸力を肌落ち防止工の土圧に換算すると $P=20\text{mm}$ の場合が43gN/cm²、 $P=25\text{mm}$ の場合が88gN/cm²となり、ほぼ同程度の値である。側壁位置におけるランキンによる主働土圧を計算してみると91gN/cm²となり、肌落ち防止工に作用する土圧と殆んど同じ値となる。ロッ

クボルトの長さを短くして行くと崩壊が生ずるが、崩壊はすべて天端から生じており、測定の対象とした側壁部あるいは斜め45°の位置から崩壊することはなかった。図-3中に示した曲線は天端部のロックボルトの軸力を昨年度報告した結果から求めたもので左端の点で不安定となることを示している。実験結果はこれと良く一致している。最も注目すべきことはロックボルトの軸力が天端部と側壁部あるいは斜め方向とは大きく異なることである。明らかに天端と側壁部ではロックボルトは異なる機構で作用していると考えなければならない。

4. 考察

自重が支配的な要素となる天端と場の応力が支配的となる側壁では機構が異なるのは当然と考えることができる。側壁部のロックボルトの作用を図-4に示すようにモデル化して考えてみることにする。すなわち、側壁部のロックボルトを含み、そのロックボルトと隣接するロックボルトの中間で区切った単位の厚さの地山部分ABCDを考えこの中の地山部分Cでその水平方向の力の釣合いを求め、ロックボルト先端部の地山に作用する応力 P_0 を境界条件として、ロックボルトが地山に与える内圧としての圧力 P_b を計算すると $P_b = P_0 \cdot \left(\frac{R_i}{R_o + L_b} \right)^a$, $a = \left\{ - \frac{2 \cdot \mu_b}{25 \cdot \pi \cdot \sigma} - 1 \right\}$ が得られる。計算にあたっては、ロックボルトがある部分の地山は降伏状態にあるものとし、その降伏条件は $\sigma_r = 3$ によって表わされ、ロックボルトの引抜きにより地山に与える剪断力は $\tau_b = \mu_b \cdot \sigma_r \cdot dr$ (μ_b : ロックボルトの周長, μ_b : ロックボルトと地山との摩擦係数) で与えられると考えた。また、簡単のために応力状態は軸対称応力で近似できるものとした。一方、ロックボルトの引抜き力 W_b は

$$W_b = \frac{\mu_b \cdot \sigma_r \cdot P_b}{R_i^{a+1} \theta (a+1)} \left[(R_o + L_b)^{a+1} - R_i^{a+1} \right] \text{ となる。}$$

地山部分ABCDが安定であるためには、 W_b は P_b にロックボルトの支持する地山面積を掛けたものより大きくななければならないから、安定を得るために必要なロックボルトの長さが必要。式の形から明らかのようにこの限界のロックボルトの長さは場の応力 P_0 に関係せず、地山の条件とロックボルトの引き抜き特性にのみ関係する量である。これを限界ロックボルト長 (CRL) と呼ぶことにし、本実験の場合のCRLを求めると、 $P = 25 \text{ mm}$ の場合 $L/b = 0.87$ $P = 20 \text{ mm}$ の場合 $L/b = 0.85$ となる。従って、実験では側壁部から不安定になるといえることが起る前に天端部が崩壊する結果となることがわかる。側壁部のロックボルトは天端におけるものとは異なる機構で働いて天端と側壁部ではロックボルトの設計の考え方を変えなければならないことを明らかにすることができた。なお、実験にあたっては中嶋慎一君 (現五洋建設) の手を煩わせた。ここに謝意を表する。

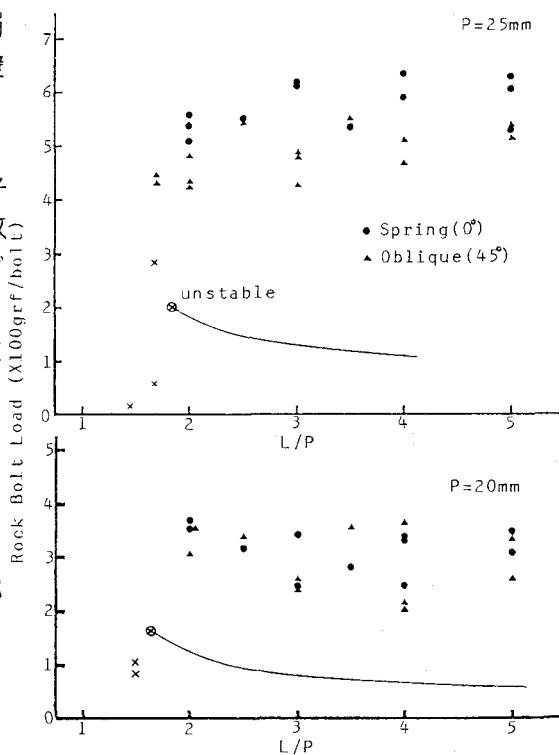


図-3 実験結果

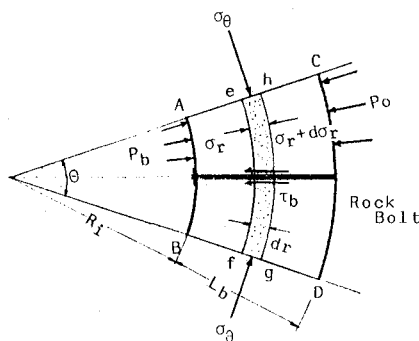


図-4 ロックボルト作用モデル