

東京都立大学 正員 今田 徹

1. はじめに

ロックボルトは、堅岩のみならず土砂トンネルにも使用される例が多くなっているが、実績の豊富な堅岩の場合と違って、土砂トンネルの場合はその設計に対する考え方が必ずしも明らかにされていない。そこで、鉛粒を地山として用いた簡単な模型実験を行ない、粒状体地山においてはトンネルの安定を得るためには、ロックボルトの間隔が大きくなるとロックボルトの長さ L と間隔 P の比 L/P を大きくすることが必要であることを先に報告した¹⁾。この機構をさらに解明するため、ロックボルトの軸力を測定し、安定時の軸力がロックボルトの長さと同間隔によってどのように変化するかを検討したので以下に報告する。

2. 実験方法

実験は図-1に示す高さ60cm、幅40cm、奥行き10cmのアングルで補強された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のところにロックボルトで補強された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トンネルの構成要素を箱を寝かせ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。この状態でトンネルは掘削前の状態になる。掘削は前面アクリル板のトンネル部に設けた小孔を外し、鉛粒を徐々に抜き取ることにより行う。ロックボルトの長さが十分であればトンネルの形状は保たれ、不十分であれば掘削の途中で崩壊する。ロックボルトには径1mmの金針に $\phi=2\text{mm}$ のガラス玉を接着したものを用い、肌落ち防止工には厚さ0.5mmのアルミ板を短冊状にしたものを用いた。短冊状にしたのは、肌落ち防止工がリングとして働きの地山を支持することがないようにするためである。従って、この実験ではロックボルトの効果のみによってトンネルの安定が保たれる場合を想定して実験を行っていることになる。ロックボルトの軸力の測定は、この実験において最もクリティカルな状況を示すと思われる天端中央の1列のボルトについて行った。測定は天端中央の各ボルトにワイヤストレインゲージ式の小型のロードセルを取付け、掘削の途中の段階を含めて、掘削完了時の軸力を測定した。実験は、ロックボルトの間隔 $P=15, 20, 25\text{mm}$ の3種類について、長さ L を L/P が5程度になる長さから徐々に短くし、安定が得られなくなる長さになるまで行った。

3. 実験結果

実験の結果を図-3に示す。横軸はロックボルトの長さを L/P で示し、縦軸はロックボルト1本あたりの軸力である。バラツキが比較的大きくなっているが、これは鉛粒の詰め方や、箱を直立させた時の状態を常に一定に保つことが必ずしもできなかったためであると考えられ、この実験ではある程度さげられないものと考えなければならず、むしろ、ばらつくものであると認識する必要がある。ロックボルトの長さと同間隔の関係を見ると、ロックボルトの長さが短くなると軸力が増加する傾向が認められる。ロックボルトの長さが長ければ地山を拘

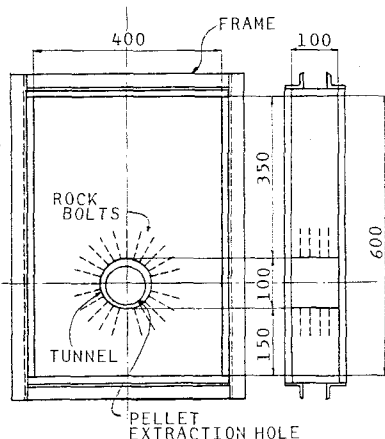


図-1 実験装置

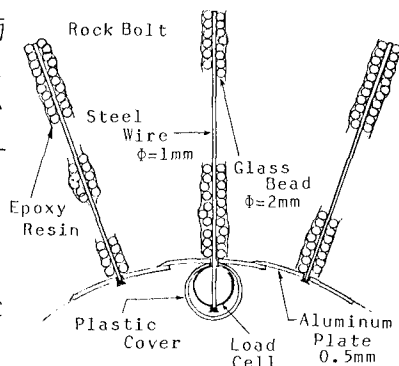


図-2 ロックボルト詳細

1) 今田 徹 「粒状体地山におけるロックボルトの長さ同間隔の関係」 第37回年次学術講演会講演要録集 3 土木学会

束する効果が大きいので、軸力は大きくなるものと考えがちであるが、実験の結果は全く逆の結果となっている。次に、安定を保つのに必要な最低の L/p と P との関係は $P=15\text{mm}$ の時 $L/p=1.2$, $P=20\text{mm}$ の時 $L/p=1.3$, $P=20\text{mm}$ の時 $L/p=1.4$ 程度となっており、 P が大きくなると安定を保つに必要な L/p は大きくなる傾向にある。これは、前回報告の結果と同じであるが、値は小さくなっている。前回と今回ではロックボルト、肌落ち防止工に差があり、今回の方がしっかりしているためこのようになったものと考えられる。

4. 考察

実験の結果を説明するには種々のモデルがあるものと考えられるが、ここでは天端のロックボルトを問題としており、この部分では重力の直接的な作用による荷重が支配的であると考えられるので、図-4のように模式化して検討することにした。すなわち、天端ボルトとその肌落ち防止工が関係する地山のブロック $abcd$ を考え、このブロックの釣合が、自重、上面の荷重 P_0 、側面の剪断抵抗、肌落ち防止工からの圧力 P_z 、およびロックボルトからの力によって保たれるものとする。少数なブロック $efgh$ の釣合を考え、 P_z を求めると

$$P_z = \frac{d_2}{d_1} (e^{d_2 Z} - 1) + P_0 e^{d_2 Z} \quad \text{----- (1)}$$

$d_2 = (\lambda_r S_r - 2\lambda_s) \cdot K/p$, $d_1 = (\gamma + C_r S_r/s - 2C_s/s)$ が得られる。また、ロックボルトの保持できる最大の軸力 R_b は、

$$R_b = C_r S_r Z + \lambda_r S_r K (e^{d_2 Z} - 1) \left(\frac{d_1}{d_2} + \frac{P_0}{d_2} \right) - \lambda_r S_r K \frac{d_2}{d_1} Z \quad \text{--- (2)}$$

となる。実際にロックボルトに作用する力は R_b ではないので、これを補正する係数として η を導入し、(1)式の S_r が ηS_r に減少したものとみなして、 P_z と R_b/p が等しくなるように η を調整することによりトンネルの安定時の P_z を求めることができる。図-3における曲線はこのようなして求めたもので、実験値の傾向を良く説明できるものと考えられる。ただし、実験の結果と合うパラメータはロックボルトの間隔が変化すると違った値を採用する必要があることが認められるが、地山材料の定数としてそう不当なものではない。この原因は今後検討しなければならないが、間隔が小さくなるとロックボルトの相対的な鋼性が大きくなり、模式化した以外の要素を考慮しなければならないことなどが考えられる。しかし、粒状体地山におけるロックボルトの挙動の1つ解釈になり得るとともに、設計の目安を手えることができるものと考えられる。なお、実験にあたっては宇田誠君(現鉄建建設)の手を煩わせた。ここに謝意を表す。

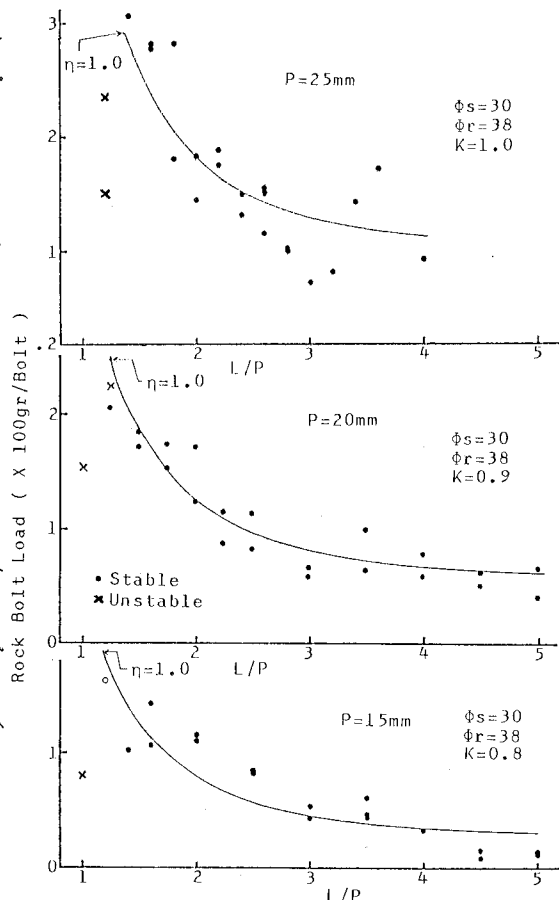


図-3 ロックボルト軸力と L/p の関係

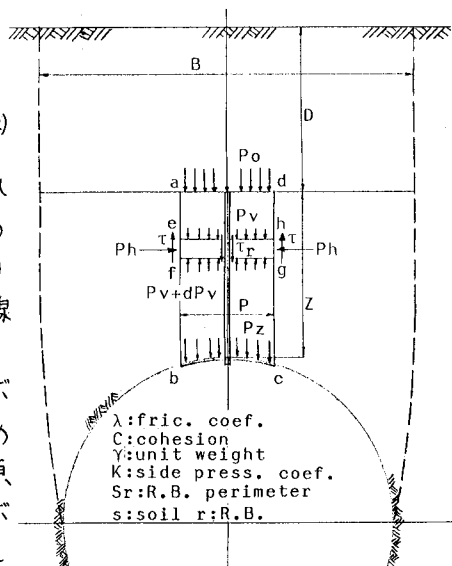


図-4 ロックボルト作用モデル