

III-357 砂地盤における切羽ボルトの効果

東京都立大学 正員 今田 徹
同 安食 稔也

1、概要

トンネルの掘削において切羽の自立性の良否は、施工の難易を決定する基本的な要素である。能率的な施工を行うためには積極的に自立性を改善し、大きな断面で掘削することが望ましい。このための対策としてロックボルトを切羽に打設するいわゆる切羽ボルトが多く用いられるようになってきている。切羽ボルトの効果については経験的に知られているものの定量的な知見は乏しい。そこで、切羽ボルトの効果と作用機構を解明するため、土被の小さい砂質地山のトンネルを対象とした模型実験を行ったので、その結果について報告する。

2、実験方法

掘削前の切羽には静止土圧が作用しており、掘削によってこれが解放される。切羽に作用する土圧が主動土圧以下になれば、切羽は不安定になりトンネルの掘削は困難となる。切羽ボルトの効果は切羽に作用する土圧が切羽ボルトによってどのような影響を受けるかを測定することによって調べることが出来るものと考えられる。実験は図-1に示す装置を用いて行った。実験箱の下部から高さの約1/3のところにトンネルを模擬した切羽の大きさが10 x 10 cmの鋼製の枠を設け、先端に受圧板を設置して切羽の土圧を測定した。受圧板にはロードセルが組み込まれており、掘削を模擬するため後退させることが出来るようになっている。地山材料として鉛の散弾を用い、実験箱を横にした状態で $\phi=3$

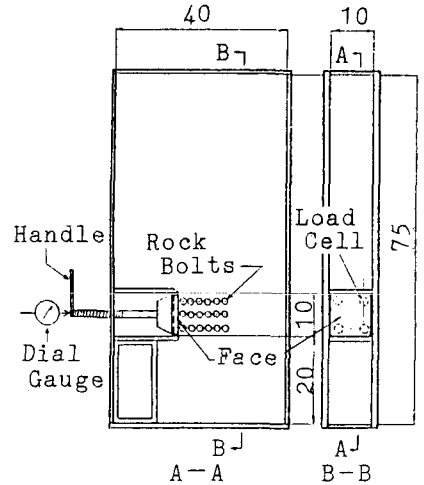


図-1

mmのボールチェーンのロックボルトを設置しながら地山材料を詰め、詰め終わった段階で実験箱を立て初期状態とした。この状態から受圧板を段階的に後退させ、それに伴う土圧の変化を測定した。受圧板とロックボルトは接触しているだけで、切羽ボルトとしてはベアリングプレートがない状態となっている。実験は長さが10、8、6、4、2cmのロックボルトを、9、16、36、100本切羽に一樣に配置した場合と高さ5、3、3、2、5cmで棚状に配置した場合について行った。棚状に配置した場合のロックボルトの長さは10cmで、横方向の間隔は1cmと2cmとした。

3、実験結果

代表的な実験結果を図-2に示す。いずれの場合も初期状態から受圧板を後退させると土圧は急激に減少し、一定値に収束する傾向を示している。初期状態で切羽に作用する荷重（土圧）は10kgf程度であり、ロックボルトの量によって大きな影

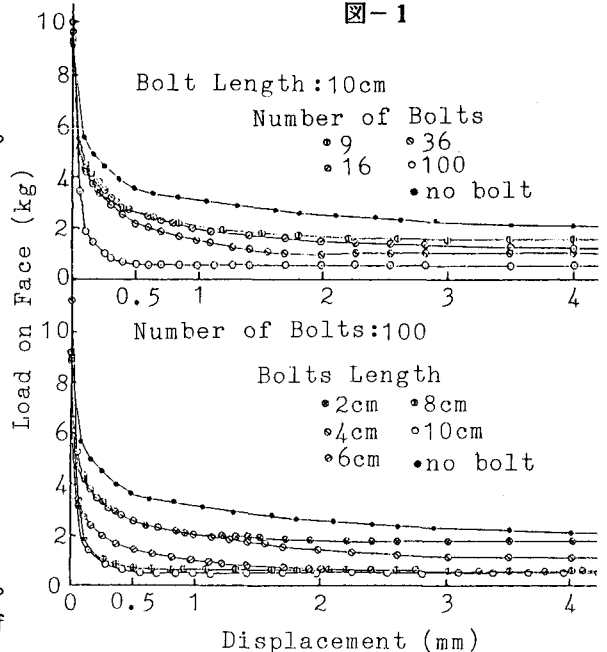


図-2

響は受けない。変位が大きくなったときの荷重は主動土圧に相当する荷重すなわち切羽の崩壊を防ぐために必要な最小の切羽荷重であるが、この値はロックボルトの量によって異なり、ロックボルトの量が多くなると小さくなり、最も量の多い10cm、100本の場合には、ロックボルトのない場合の1/4程度にまで減少している。図-3は、この荷重（収束荷重： P_u ）をロックボルトの量との関係で示したもので、効果を上げるためには間隔を細かくし、また、ある程度の長さを必要とすることがわかる。

4. 考察

P_u に達するまでに必要とする切羽の変位（ δ_u ）は、図-2からわかるようにロックボルトの量が多くなると小さくなる。 P_u が作用する機構を考えると、図-4に示すような緩み領域が生じ、緩み領域内の土塊が周辺地山に対し限界釣合状態となり、 P_u はこの土塊の安定を得るのに必要な力と考えることができる。ロックボルトがない状態について図のモデルで P_u を計算すると2.26kgfとなり、実験から得られる値とほぼ一致する。ロックボルトを設けた場合 δ_u が小さくなるということは緩み領域が減少していることを示している。 δ_u と P_u との関係をプロットすると図-5のようになりばらつきはあるがほぼ比例関係にある。緩み土塊の大きさは図-4の幅Bで代表させることができるものと考えられ、ロックボルトを入れることの効果はBの減少となって現れ、切羽の荷重が小さくなるものとみなすことができる。Bの減少を図-6のように、すなわち、ロックボルトの存在によって実質的な切羽の高さが分割されるものとして分割された切羽に作用する荷重 P_d を計算すると

$$P_d = S(0.5\gamma S + P_o) \tan^2(0.25\pi - 0.5\phi)$$

$$P_o = P_{o-1} + \gamma S - (2kP_{d-1} \tan \phi) / B$$

がえられる。ここで、 P_o は分割された切羽上端に働く鉛直方向の土圧で、 P_{o-1} はそれより1つ上の P_o である。最上部の分割の P_o はテルザギのトンネル土圧の式を準用することができる。計算の結果を測定値とともに図-7に示す。一様にロックボルトを配置した場合、ロックボルトの少ないときは差があるが、モデルに合わせるため棚状に配置した場合は計算値に近い値となっている。

以上のように、切羽ボルトは粘着力のない地山においても緩み領域を小さくして切羽の安定性を高めることが、ある程度定量的に把握できた。また、緩み領域が小さくなる機構をロックボルトにより切羽が分割されるものと仮定し P_u を計算すると実験値に近い値がえられた。本実験は、複雑な3次元現象である切羽の安定問題を2次元問題としてモデル化し、また、切羽に設置された板で土圧をうけるようになっているので、実際への適用については更に検討が必要である。実験にあたっては金井和彦君（現大豊建設）の手を煩わせた。ここに謝意を表する。

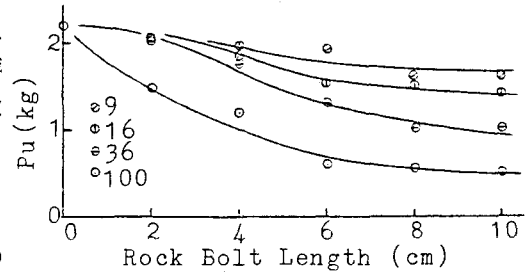


図-3

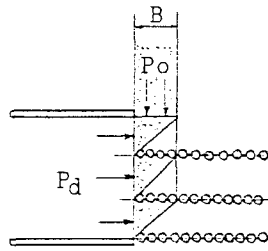


図-6

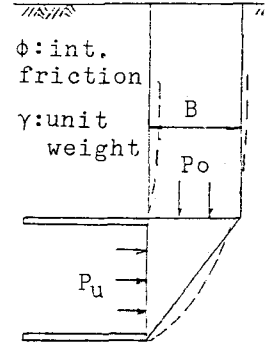


図-4

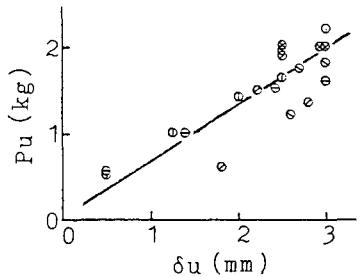


図-5

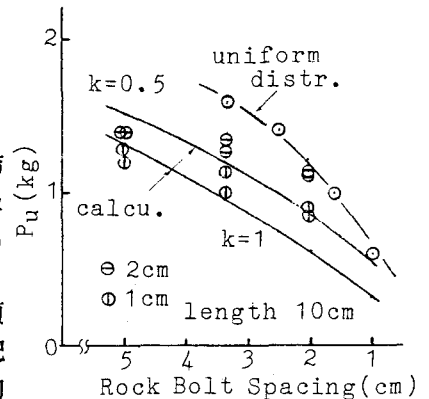


図-7