

Ⅲ-424 ロックボルトを用いた立坑の 支保工に作用する水平土圧

都立大学 正会員 西村 和夫
都立大学 正会員 山本 稔

1. はじめに

ロックボルトは、トンネルの支保部材として軟岩や土砂地山でも有効性が認められているが、近年では、さらに進んで切り取り斜面の安定など他の方面でも積極的に利用されるようになってきた。ここでは、土砂地山におけるシールド発進立坑の掘削を想定し、立坑をロックボルトと吹付コンクリートを用いて支保する場合、その支保工に作用する水平土圧の考え方を、粒状体模型地盤における小型室内模型実験を介して考察するものである。

2. 実験概要と実験結果

実験は図-1に示すように、円柱形の実験槽に、吹付コンクリートをモデル化したアクリル樹脂製矩形プレート（高さ70mm、幅120mm）と、ロックボルトをモデル化した節の付いたベークライト製パイプ（ ϕ 6mm、節 ϕ 10mm）を剛接させたモデルを六角に配置し、これを7段積み重ねたものを立坑モデルとして行った。このモデルでは、吹付コンクリートのリングとしての効果を除外してロックボルトの作用効果を明確に発揮させるため、六角の各角には変形余地を残して隣同士のプレートが接触しないようにするとともに、上下のプレート間にはボールベアリングを挿入して上下間の摩擦を取り除いた。そのため、吹付コンクリートのモデルとしての矩形プレートは、ボルト一本の分担面積の土圧を受ける受圧板としてのみ働き、この土圧をボルトに伝達する。したがって、土圧はボルトの作用効果のみで支持されなければならない。

この立坑モデルを、土砂地山としての銅砂（ ϕ 約1～3mmの銅粒子）で埋設し、押さえの銅砂を一段ごとに逐次取り除くことで立坑を掘削する。土圧の計測は、立坑モデルの6面の矩形プレートのうち1面は二重構造とし、その間に超小型ロードセルを埋め込んで計測した。またボルトの軸力計測はひずみゲージによって行った。変形は、立坑掘削面の水平変位を掘削軸に沿って配置した変位計で、地表沈下を地表面上に配置した変位計でそれぞれ読み取った。ボルト長さは28cmから順次崩壊が生ずるまで短くしてゆき、その後、2×2cmのアンカーヘッドを付けてボルトの引抜耐力を向上させて再び崩壊が生ずるまでボルトを短くして実験を続けた。

水平全土圧に関する実験結果を図-4に示す。アンカーヘッドの無いボルトでは最大変位が大きくなるにつれて作用する全土圧はランキンの主動土圧を越えて連続的に下がり、約

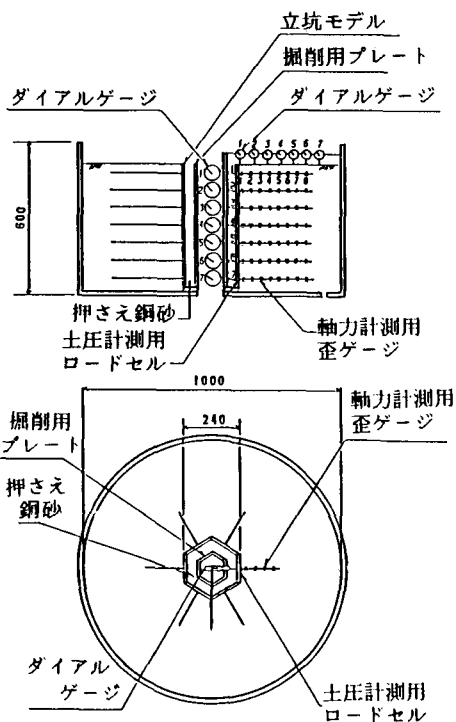
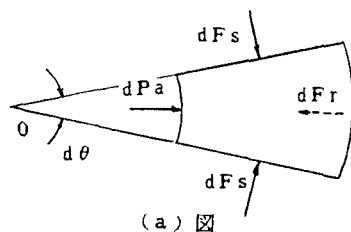
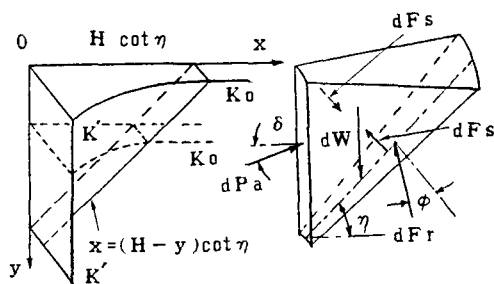


図-1 実験装置の概要



(a) 図



(c) 図

(b) 図

図-2 土圧くさびモデル

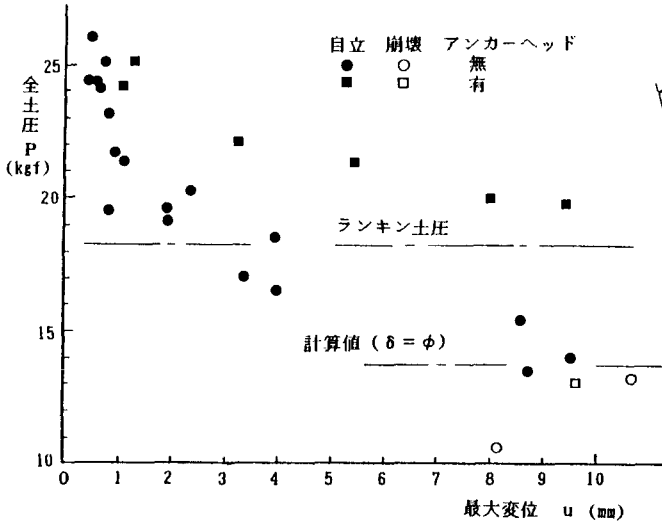


図-4 全土圧～最大変位図

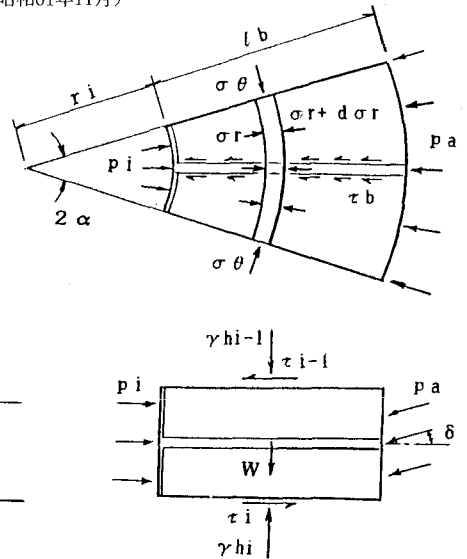


図-3 要素モデル

11～13kgf で崩壊に至る。一方、ヘッドが有る場合は無い場合に比較して大きい土圧を保持できるが、最後は前者と同程度の値となる。

3. 考察

ロックボルトを用いた支保の破壊パターンには2通りある。¹⁾ 1つは、ロックボルトに十分な引抜耐力があり、ボルト周辺の地山をマス化して一体的に挙動させて地山自身の強度を十分に発揮させ、地山の降伏によって破壊するものと、もう1つは、ボルトの引抜耐力が小さく、ボルトは地山をマス化できず、土圧を支えきれないで破壊するものである。ヘッドの付いた今回の結果は前者に近い挙動と考えられ、ヘッドの無い場合は後者の例と考えられる。このとき地山は単に内側から支持されているような挙動を示し、変位～土圧の関係は、いわゆる特性曲線に似たものを描くと考えて良いように思われる。

実験における限界土圧の算定に当たって、図-2の(a)、(b)に示す土圧くさびをボルト打設領域外に考える。側面に働く dFsには $K r h$ ($K_0 \leq K \leq K'$ 、(c)図)を仮定し、 η に対して極大となる P_a を求める。その P_a を、ボルト打設領域の要素モデル(図-3)の背面に分布荷重として載荷し、釣り合いからロックボルトが地山に与える内圧 P_i を求める。この時 $\sigma_\theta = \eta \sigma_r$ 、 $\eta = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$ 。この条件から逆に要素モデル外面 ($r = r_i + \ell b$)で K' が求められる。この K' と前に仮定した K' が一致するときの値が真値として計算したが、 P_a 、 P_i を求めるどちらの過程でも側方作用応力 $K r h$ と σ_θ や τ_i の効果が大き過ぎる傾向が見られた。結局、この実験では通常の平面モデルとしてのクーロン土圧 ($K=0$ 、 $\delta = \phi$)で P_a を求め、要素モデル内応力 σ_r が要素内で一定値 $P_a \cos \delta$ としたときの計算値が良く一致した。

これらの結果から、 σ_θ が最大主応力、 σ_r が最小主応力となるトンネルの場合とは異なり、 $r h$ が最大主応力である立坑では σ_θ の全土圧に対する影響は小さくなく、むしろロックボルトを用いた平面斜面の挙動に近いと見ることができるといえる。²⁾ なお、この解析に当たっては模型立坑を軸対称のモデルとして扱ったから、それに関する問題が残るのはやむをえない。

4. おわりに

ロックボルトを用いた立坑の安全率は、多ヒンジ理論³⁾で求めた σ_r と σ_θ の σ_r を σ_3 、また $r h$ を σ_1 としてモール・クーロンの破壊規準を適用して判定可能である。今後は、 σ_θ の作用を更に調査する。

参考 1) 山本; "ロックボルトの作用効果について", 土木学会論文報告集 No.277 1978.9 「1984.10

文献 2) 西村, 山本, 山崎;"比較的短いロックボルトによる斜面安定のメカニズム", JSCE年講Ⅲ-82,

3) 山本; "ロックボルトに関する一考察", トンネルと地下, vol.10, No.8 pp.7~14, 1979.8