

III-284

立坑におけるロックボルトの
作用効果

大日本土木（株） 正会員 坂戸 哲也
都立大学 正会員 山本 稔
都立大学 正会員 西村 和夫

1. はじめに

地山の支保部材であるロックボルトは、トンネルだけでなく、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達立坑の掘削を想定し、立坑の円周方向応力（フープストレス）の大きさ及び施工上不完全な定着のロックボルトが1本あった場合の立坑への影響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

実験は図-1に示すように、円柱形の実験槽に、吹き付け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（ $\phi 6\text{mm}$ 、節 $\phi 10\text{mm}$ ）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、吹き付けコンクリートのリングとしての効果を除外して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共に、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。施工上不完全な定着のボルトは、引き抜き抵抗の差によって表現し、本実験においては、基本ボルトの引き抜き抵抗を100とした場合、不完全な定着のボルトとして、引き抜き抵抗63と10の2種類を用いた。

これらの立坑モデルを、土砂地山としての銅砂（ ϕ 約1～3mmの銅粒子）で埋設し、押えの銅砂を1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面の7モデル及び引き抜き抵抗不足の左右1モデルずつを二重構造とし、その間に超小型ロードセルを埋め込んで計測した。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、地表面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。円周方向応力は、図-2に示すような土圧計を作成し計測した。ボルトの長さは21cmから順次崩壊が生ずるまで短くしてゆき、その後3×3cmのアンカーヘッドを付け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。

3. 実験結果と考察

壁面土圧の結果の1例を図-3に示す。これはボルト長が15cm・抵

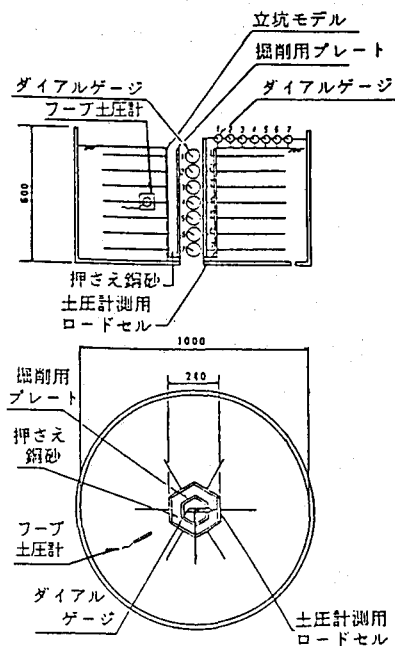


図-1 実験装置の概要

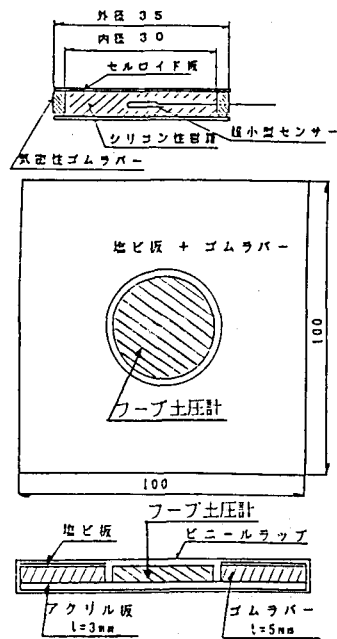


図-2 フープ土圧計

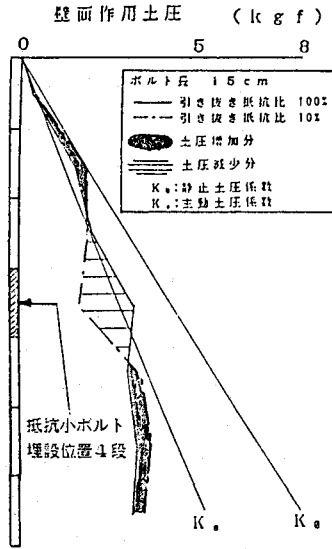


図-3 壁面作用土圧

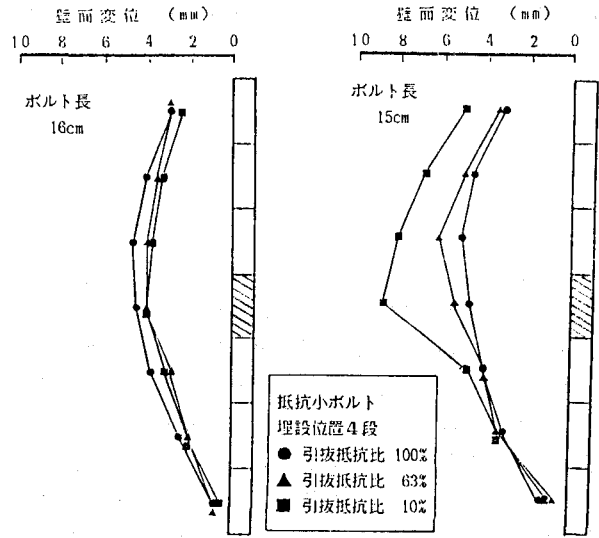


図-4 壁面変位

抗小ボルトを4段に入れたときの掘削完了時の土圧分布をボルトの抵抗比100と10で比較したものである。これより引き抜き抵抗が小さいロックボルトの土圧減少分は、そのモデルの上下の広範囲に分配され立坑は安定する。図-4に示す変位の結果より、抵抗小ボルトによる変位への影響はボルト長が15cmから顕著となることがわかる。引き抜き抵抗100の限界ボルト長が14cmであったので、限界ボルト長の $16 \div 14 = 1.14$ 倍のボルト長を取ると、つまり回りのボルトに多少の引き抜き抵抗の余裕があると、引き抜き抵抗不足のボルトが1本あっても変位には影響を与えずに立坑は安定する。以上のことは、ロック

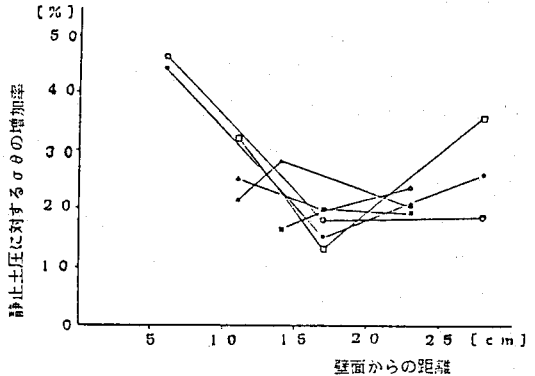


図-5 ボルト長16cm・埋設位置4段の時の円周方向応力

ボルトを用いて、立坑を施工する上で大きな利点であると思われる。次に円周方向応力 σ_θ を壁面からの距離をパラメータとして、ボルト長16cm・埋設位置4段の場合の測定結果を図-5に示す。これより、 σ_θ は壁面付近で最大となり、壁面からの距離と共にその増加は小さくなる。実験全体を通じて σ_θ は、掘削前に比較して最大50%程度増加し、また側圧係数 k は0.4程度であるから、掘削前の鉛直応力 σ_z を1とし、 $\sigma_\theta \cdot \sigma_r$ には、 $k\sigma_z = \sigma_\theta = \sigma_r$ の関係が成立しているとする、掘削完了時には $\sigma_z = 1 : 1.5 \times 0.4 \times \sigma_z = 0.6 > \sigma_\theta > 0.4 \times \sigma_z = 0.4 : 0.4 \times \sigma_z = 0.4 > \sigma_r$ となるから、立坑においては常に $\sigma_z > \sigma_\theta > \sigma_r$ となり、鉛直応力 σ_z が最大主応力・円周方向応力 σ_θ が中間主応力・半径方向応力 σ_r が最小主応力となることが実験的に確かめられた。本実験は深さ直径比が大きく、 σ_θ の影響は無視できないと考えられ、設計において中間主応力 σ_θ を考慮した解析が必要であろう。

5. おわりに

ロックボルトを用いた立坑の施工は、以上のように不完全な定着が1本あっても土圧の再配分によって立坑は安定し、この工法のリスクの少なさを示している。今後は円周方向応力の測定結果を踏まえて、解析及び設計法に検討を加えたい。

- 参考 1) 西村, 山本; "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", JSCE年講 41-III-424
 文献 2) 織戸, 関野, 西村; "ロックボルトを用いた模型立坑の掘削実験", JSCE年講 41-III-413