

都立大工学部 正員 山本 稔
佐藤工業㈱ 正員 ○大野 一昭

1 まえがき

ロックボルトは従来の鋼製支保工のようにトンネルの内側から支持する支保工とは異なり、地山のもつ強度を利用して支持するものである。またロックボルトはトンネルの掘削断面形状の変化及び地質の変化に対して柔軟に対応できること、覆工を行う場合には覆工の弱点となるような材料は含まないことなど多く特徴を持っている。しかし、ロックボルトの基本問題の一つである作用効果については数多くの理論が発表されているが、十分に説明しうるものはない。そこで、この報告はロックボルトの作用効果の本質がロックボルトの自己つり合い作用による岩盤のブロック化にあるとし、これを「ブロック化効果」と呼び、落し戸の実験及び解析により、ロックボルトの作用効果を定量的に説明しようと考え、落し戸の寸法とボルトの作用機構について実験したものである。

2 落し戸の実験

実験装置の概略は図-1に示す。実験方法は、最初に実験槽の底部に総ネジを切り、てあるボルトを取り付けた落し戸を設ける。砂（豊洲標準砂）をふいを通し一様に詰め、ジャッキによって落し戸を降下させて、その時の落し戸の反力をロードセルによって、降下変位をダイヤルゲージによって測定する。また、ボルトの下端には張力計を取付けて、張力を測定する。そして、落し戸巾は12、15、18"の3種類とし、それぞれボルト長を変えて約18ケース実験を行った。

実験結果は図-2～5に示す。図-2はボルトなしの場合でゆるみ土圧を示す。落し戸のわずかな降下変位によってゆるみ土圧に達する。これは落し戸巾を一边とする正三角形領域の砂の重量とほぼ一致する。図-3はボルトを取付けた場合で、ボルト長を長くすると落し戸の反力は小さくなる。そして、落し戸巾の3～3.5倍のボルト長で自立する。さらに長くすると自立時の降下変位は小さくなる。これらの現象をブロック化効果によって説明すると、落し戸に作用する土圧はボルトの自己つり合い作用によってボルトを通じて地山へ還元される。このとき、ゆるみ土圧よりボルトの定着力を大きくすれば、ボルト回りの地山は落し戸と共に一体化し、ブロック化効果が発現し、ボルトは脱落しないようになる。また図-4において、ボルトの受持荷重が0のときのボルト長は直接領域の高さを示し、落し戸巾12"のとき、 $H_1=12"$ 、18"のとき、 $H_2=$

図-1 実験装置

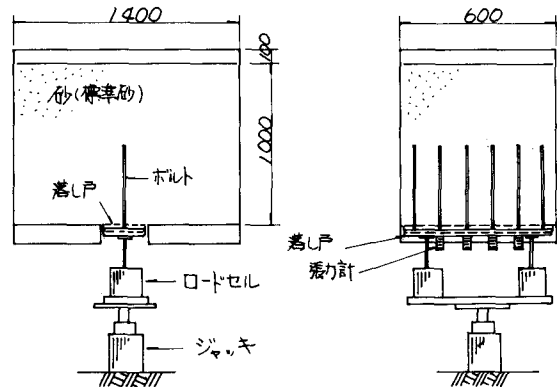
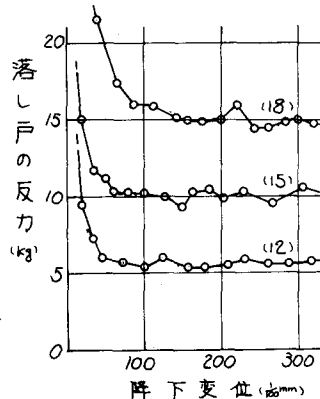
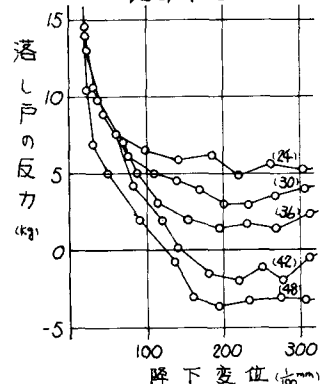


図-2 ゆるみ土圧



() 内は落し戸巾 cm

図-3 ボルト長を変えた場合
落し戸巾12"



() 内はボルト長 cm

23°となり、落し戸中の約1.0~1.3となるようである。これは砂の語り方がルーズであったため($\gamma_d=1.5$ 程度)、少々高い値を示している。また、ボルトと砂のせん断抵抗力は図-4における回帰曲線の勾配であり、落し戸中が違ってもほぼ同様の傾向を示し、約0.33%である。この値はまともな行ったボルトの引抜き試験の約6割である。落し戸が自立した時のボルトの定着力つまりボルトの受持荷重は理論的にはゆるみ土圧+落し戸の自重であり、そのときのボルトの張力を測定することによって確認することができた。図-5において、落し戸中18°の場合、回帰曲線の勾配が変化するが、これは側壁効果あるいは砂のアーチアクションなどの影響であると思われる。

図-4 W_b とボルト長の関係

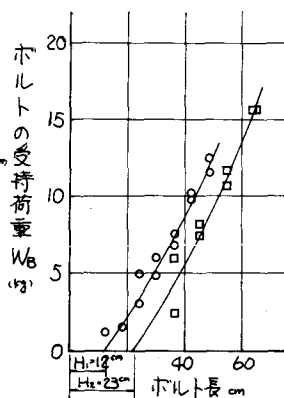
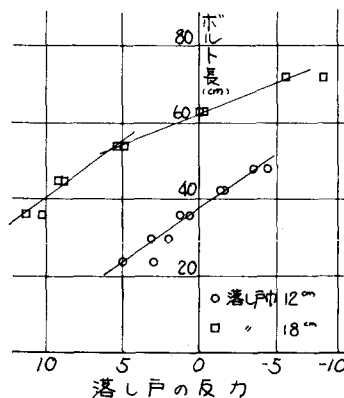
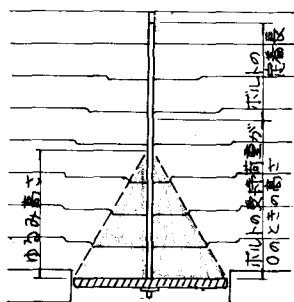


図-5 落し戸の反力とボルト長の関係



3 理論的考察

図-6 ボルトの自己つり合い作用



ボルトの自己つり合い作用について考察する。ゆるみ土圧は実験結果より、落し戸中を一边とする正三角形領域の砂の重量とすることができ、これに対し、図-4からボルトの受持荷重が0となる高さを推定すると落し戸中1.0~1.3倍となり、直接領域の高さと比較する。直接領域に入るボルト部分は回りの砂との相対変位がないため、ボルトの定着力は働かないことになる。ボルト長を間接領域に入るまで長くすると回りの砂との相対変位により、せん断抵抗が生ずることになり、これがボルトの定着力となる。したがって、ゆるみ土圧がボルトの存在によって影響を受けないと考えれば、このゆるみ土圧とつり合うだけのボルトの定着長をとれば、ブロー化効果を発揮して落し戸は自立することになる。さらに長くすれば、自立する降下変位は減少することがわかる。以上のように、ボルトの自己つり合い作用によってゆるみ土圧とボルトの定着力がつり合い、回りの地山と共に落し戸は一体化し、ブロー化効果が発揮する。

4 あとがき

落し戸の実験を追加し、ロックボルトの作用効果を説明する資料を備定することができた。しかし、これは1枚の落し戸の場合であり、複数枚の落し戸の場合ほか、またボルトの角度を変えてはどうかなどこれからの研究課題は多くあるので、一つ一つ実験及び解析を重ね研究を進めていく考えである。最後に終始実験に協力して下さった萩原孝美君に感謝いたします。

参考文献 ロックボルト工設計指針 高速道路調査会

膨張性地山における鉄道トンネルのNATMの適応性に関する文献資料の調査研究報告書
日本トンネル技術協会

“ロックボルトによるトンネルの支保機構について” 山本、露不 オ32回年次学術講演会

“ロックボルト工とその問題点” 伊藤 トンネルと地下 '77-11,12