

III-226 斜面下トンネルの縫地ボルト効果に関する遠心力模型実験

建設省土木研究所 正会員 ○真下 英人
建設省土木研究所 石村 利明

1. はじめに

土被りが小さい、あるいは地形が傾斜している等の条件を持つトンネル坑口付近では、補助工法として縫地ボルトが採用される機会が多い。筆者らは、この縫地ボルトの効果に関して、前報では1Gの重力場で砂箱を用いた模型実験を行ない、ボルトの打設方向、間隔、長さの影響を調べた。本報では、さらに高応力場での実験として、遠心力を利用した模型実験を行なったので、その結果について報告する。

2. 実験方法

実験に用いた遠心力装置は、有効半径が1.15m、最大加速¹2.8Gで、試験容器の内寸は幅50cm、高さ40cm、奥行き12.8cmである（図-1）。実験は水が充填された外径D=5cm、厚さ0.02cmのゴムチューブを地山作製時に予め埋め込んで置き、遠心力により載荷した後、水を抜くことによりトンネル掘削をシミュレートした。なお、抜き出した水は容器に取り付けたメスシリンダーに導き、排出量からトンネル収縮量 δ を求めた。また、地山に標点を埋めておき、掘削時に写真撮影を行ない、地山の変位を求めた。

地山の形状は、土被りHとトンネル外径Dとの比 $H/D = 1$ 、傾斜角 30° の斜面とした。地山には気乾状態にある豊浦標準

砂を用いており、平均相対密度は $Dr = 80\%$ であった。ボルトには、幅2mm、厚さ0.1mmのアルミ板（EA=1434kgf、EI=4.78kgf・cm²）の表面に砂を付着させたものを用い、ボルトの長さ $L = 5$ 、10cm、打設間隔 $d = 1.25$ cm、2.5cm、打設方向 $\theta = 30^\circ$ 、 90° 、 120° と変化させた。なお、実験は加速度80Gの状態で行なっており、トンネル外径は原型に換算すると4mに相当することになる。また、模型のボルトは、原型に換算するとEAについては $\phi 25$ mmの棒鋼に、EIについては $\phi 66$ mmの棒鋼に相当することになる。

3. 実験結果

図-2(a)はボルトが無い場合の地山の変位分布を、図-2(b)は変位分布から求めた主ひずみ分布を示したものであり、トンネル収縮量 δ とトンネル外径Dとの比率 $\epsilon = \delta/D = 9.5\%$ （以降の図面も同様）の時の結果である。変位分布から、トンネル直上から山側では広範囲にわたって地山が動いているのが認められ、主ひずみ分布にはひずみの卓越した2本の線状領域が認められる。このひずみの卓越した領域に囲まれた部分の土塊がトンネルに作用するものと考えらるならば、トンネルに偏土圧が作用することになる。なお、各収縮量毎の主ひずみ分布を求めた結果では、 $\epsilon = 4\%$ 程度でこのようなひずみの卓越した領域が現われ始めた。

図-3は、 $L = 5$ cmのボルトを $d = 2.5$ cmで鉛直に打設した場合の変位分布であり、図-4(a),(b)は打設間隔をさらに密にした場合の変位分布、主ひずみ分布である。いずれも変位分布、主ひずみ分布ともボルトが無い場合とほとんど変化がなく、効果は認められない。また、ボルト長を10cmにして密に打設した場合もあまり顕著な効果が認められなかった。このように、ボルトを鉛直に打設した場合にはボルトの数を増しても、長さを長くしてもその効果はほとんど認められない。これは、ボルトを鉛直に打設した場合には、ボルトの打設方向と地山の

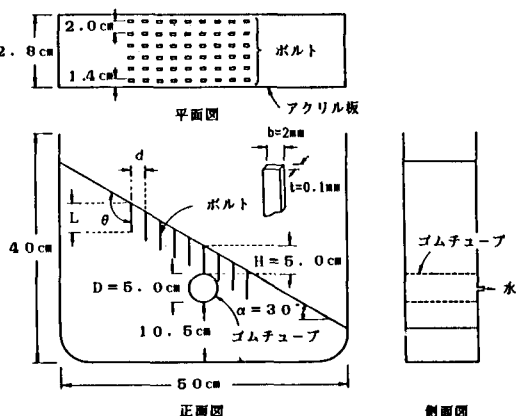


図-1 実験装置概要図

としてボルトの引張抵抗を期待する考えもあるが、 $\varepsilon = 9$ 、5 % の場合には地山がかなりの変形を起こしており、引張抵抗はあまり発揮されていないように思われる。

図-5は、 $L = 5 \text{ cm}$ のボルトを $d = 2.5 \text{ cm}$ で地面に垂直に打設した場合の変位分布であり、図-6(a),(b)は打設間隔をさらに密にした場合の変位分布、主ひずみ分布である。

打設間隔が疎の場合には効果はほとんど認められないが、密の場合には山側の変位領域が減少し、主ひずみ分布も山側に発生していたひずみの卓越した領域が消失する等の効果が見られる。これは、地面に垂直に打設した場合は、ボルトの打設方向と地山の変位方向が比較的大きな角度で交差するため、ボルト数が増えた場合に大きなせん断抵抗が発揮されたためと思われる。なお、打設間隔が疎でボルト長を10cmにした場合については、効果は顕著には認められなかった。

図-7(a),(b)は $L = 5 \text{ cm}$ のボルトを $d = 2.5 \text{ cm}$ で水平に打設した場合の変位分布、主ひずみ分布である。この場合も山側の変位領域が減少し、山側に発生していたひずみの卓越した領域が消失するのが認められる。また、実験終了後の観察では地表面の沈下量が大幅に減少しているのが認められており、今回の実験では最も効率の良い配置となっている。実験終了後、取り出したボルトにはかなりの残留曲げ変形が認められており、やはりボルトのせん断抵抗が発揮されて効果が現われたものと思われる。もっとも、今回の実験に用いたボルトのEIは原型に換算すると非常に大きいものとなっており、今後EIに対する詳細な検討が必要である。

4. まとめ

1). 被りが薄い斜面下にトンネルを掘削した場合には、ひずみが卓越した2本の線状領域が現われ、偏土圧がトンネルに作用することになる。

2). 縫地ボルトの効果は、ボルトの打設方向、間隔、長さによって異なるが、ボルトを鉛直に打設した場合には間隔を密にしても、長くしても効果は認められない。水平に打設した場合、あるいは地面に垂直に密に打設した場合には効果が見られるが、適用に当たっては曲げ剛性に対する十分な検討が必要である

参考文献

1). 真下、石村、"斜面下トンネルにおける縫地ボルト効果に関する模型実験" 土木学会第41回年次学術講演会

