

ゆるみ領域に打設するロックボルトの支保効果に関する実験的研究

独立行政法人 土木研究所 正 ○森本 智
 同 上 正 真下 英人
 同 上 正 蒲田 浩久

1. はじめに

新設トンネルと同様に既設トンネルの補修・補強や断面拡大などのトンネル改築工事においても、ロックボルトをその支保として利用する機会が多い。しかしながら新設トンネルと異なり既設トンネルの周辺（特に天端部）がゆるんでいる場合が多く、どの程度の長さのロックボルトを打設する必要があるのか明らかにされていない。本研究では、落戸模型を用いてゆるみ域が既に発生している場合のロックボルトの効果を把握した。

2. 実験方法

実験では無対策状態で一旦ある程度落戸を降下させ地山にゆるみを与える。その後、その地山にロックボルトを打設して再度降下させることでゆるみ域でのロックボルトの効果を検証した。図-1に実験装置を示す。矩形の落戸模型(B:300×D:100×T:250(mm))は、地山作成後にロックボルトが打設出来るよう側部に開口部を設けてある。模型地山は土被り 3D で乾燥状態にある珪砂 4 号($\gamma=15.7\text{kN/m}^3$)を使用し、密度が一定となるように 10cm の高さから自由落下させて作成した。ロックボルトは $\phi=1.6\text{mm}$ のリン青銅丸棒に定着力を確保するため表面に砂を付着させたものを使用し、縦断方向 8 列 (30mm 間隔) 横断方向 5 列 (18mm 間隔) を配置し、長さは 0.5D, 1.0D, 1.5D, 2.0D とした。落戸模型は速度 0.25mm/min で 20mm 降下させた。実験ケースは①地山作成後に打設する降下前打設ケース、②落戸を 5mm 降下させた後にロックボルトを打設する降下後打設ケースとした。

3. 実験結果

3.1. 降下前打設のロックボルトの効果

図-2 に無対策と降下前打設の落戸の降下量と荷重の関係を示す。無対策での落戸模型にかかる荷重は降下開始後すぐに減少を始め、降下量約 3mm 以降はほぼ一定した値を示した。図-3 に写真より求めた無対策での落戸の降下量と模型中央での各深さ(H:落戸からの距離(cm))の沈下量の関係を示す。なお、この図で傾きが 45° に近い場合は、地山が落戸と共下がりをしていることを意味している。砂は降下量 4mm 付近から、落戸と共下がりしようとする領域(H=0~10cm)とアーチ効果により自立しようとする地表面側の領域(H=17.5~30cm)に分かれていくことがわかる。また、図-3 の降下開始前と 20mm 降下後を重ね合わせた写真からも幅 10cm 高さ 12.5cm 程度の三角形の共下がり領域が確認された。なお、ゆるみ域の定義は明確にされていないが、本実験においてはこの共下がり領域がゆるみ領域に相当するものとする。

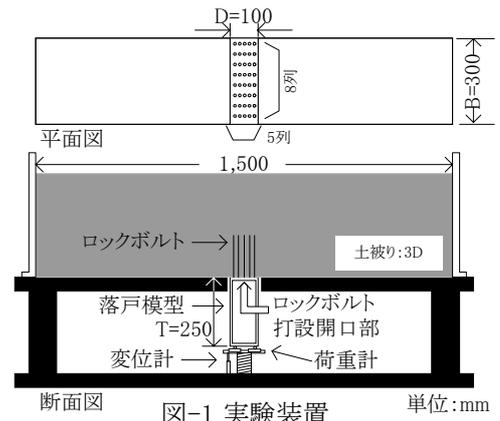


図-1 実験装置

単位:mm

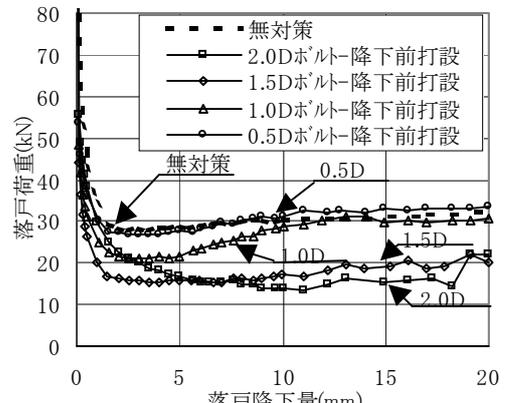


図-2 荷重-変位図 (降下前打設)

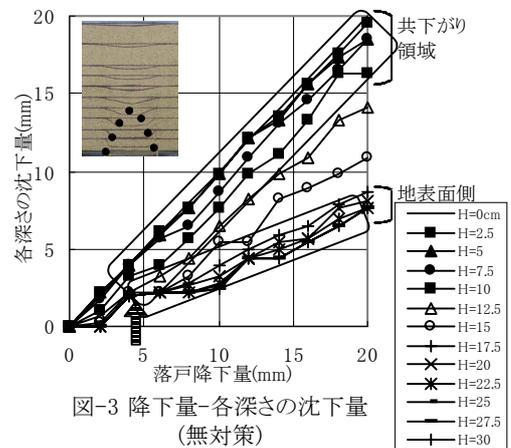


図-3 降下量-各深さの沈下量 (無対策)

キーワード：山岳トンネル ロックボルト ゆるみ域
 連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 TEL0298-79-6791

降下前にロックボルトを打設することで、共下がり領域ができる前に打設した場合のロックボルトの効果を確認する。図-2より、0.5Dは無対策に対して荷重低減効果は得られなかった。1.0Dは、降下量5mm程度までは荷重低減効果がみられるが、その後、効果は徐々に減少し、最終的には無対策と同じ荷重に戻った。一方、1.5D, 2.0Dは、1.0Dに比べ荷重低減効果が大きく、ほぼ同じ荷重低減効果を示し、最終降下量20mmまでその効果が持続した。このメカニズムについてみる。1.0D, 1.5Dの場合の落戸の降下量と各層の沈下量の関係を図-4(1.0D), 図-5(1.5D)に示す。1.0Dについては図-4より、無対策に比べ効果のある降下量5mm付近まで地山が一体化しているが、その後、無対策と同程度の高さ(12.5cm)の共下がり領域が形成されているのがわかる。一方、1.5Dについては図-5より、共下がり領域が形成される現象は最後までみられず、地山が一体化していることがわかる。これらより、ロックボルトを打設することで地山が一体化し、荷重低減効果が得られると考えられる。また、共下がり領域高さ程度の長さのロックボルトでは、初期(降下量の小さい)段階では効果があるものの、降下量が大きくなると効果はなくなり、無対策と同規模の共下がり領域が最終的に形成されてしまうことがわかった。

3.2. 降下後打設のロックボルトの効果

既設トンネルの改築に際しては、ロックボルトはゆるみ域内で止めた方が良いのか、ゆるみ域内を越えて安定した地山まで打設した方が良いのが課題になる。ここでは、無対策の場合に共下がり領域が形成される5mmまで降下させた後にロックボルトを打設する実験を行った。図-6に落戸降下量と荷重の関係を示す。共下がり領域内にとどまる程度の長さの1.0Dでは降下前打設と同様に荷重低減効果が小さく、最終的には無対策時と同程度の荷重になる。一方、共下がり領域よりも長い1.5D, 2.0Dは降下前打設時とほぼ同程度の荷重低減効果を示した。なお、ロックボルト打設直後に荷重が上昇するのは、一度形成されたアーチ効果がロックボルトを打設することによって破壊されることによるものだと考えられる。

以上のことから、共下がり領域よりある程度長いロックボルトを打設することで、共下がり領域が出来る前に打設したロックボルトと同程度の効果が期待できることがわかった。

4. まとめ

落戸実験では、降下に伴い地山は落戸上の三角形状の共下がり領域と地表面側の領域に分かれるが、この共下がり領域が形成される前にロックボルトを打設しても形成された後に打設しても、共下がり領域よりある程度長いロックボルトを打設した場合は共下がり領域の発生の有無に関係なく同程度の荷重低減効果があることがわかった。

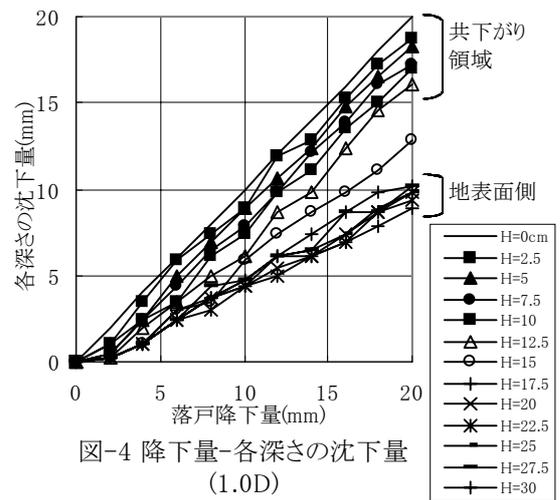


図-4 降下量-各深さの沈下量 (1.0D)

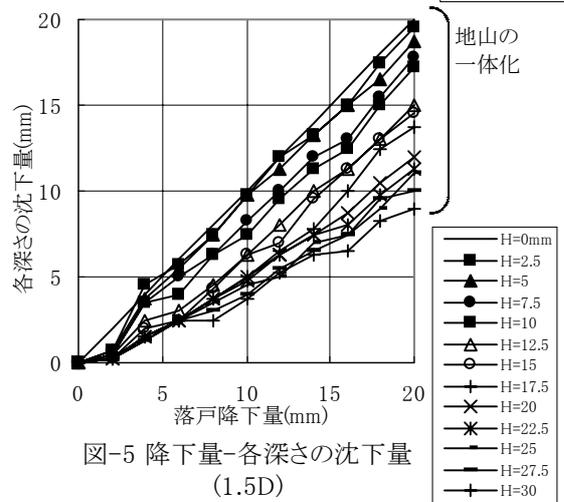


図-5 降下量-各深さの沈下量 (1.5D)

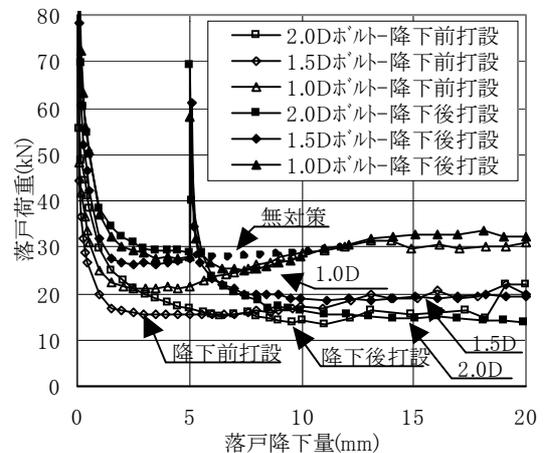


図-6 荷重-変位図 (降下後打設)