

## 未固結砂層における長尺鏡ボルトの補強効果に関する模型実験

近畿大学工業高等専門学校 専攻科 ○田中貴士  
同 上 正会員 田口善文

### 1. はじめに

都市域の未固結砂層を掘削する都市 NATM トンネルにおいては、切羽を安定させ、地表沈下を抑制することが重要な課題である。このために各種の補助工法が併用されているが、最近では先受工と併用し、鏡ボルト工を長尺施工する方法が先行変位抑制や沈下抑制対策として極めて有効な工法となっている<sup>1)</sup>。このような中で切羽安定効果については模型実験や数値解析的なアプローチが実施され、その検証がなされてきている<sup>2)~5)</sup>。しかし、鏡ボルト工の打設範囲や打設密度等に関する設計方法は確立されておらず、過去の実績を基に施工されているのが現状である。本報告では、標準砂を用いた単純化した2次元縦断方向の模型実験により、長尺鏡ボルト工の間隔を変化させて、その影響度合いや切羽安定効果を検討した。

### 2. 実験概要

模型実験装置を図-1に示す。トンネルに相当する部分は、実際のトンネル断面を中心で切った切羽高さ15cm、奥行き15cmの矩形の2次元断面モデルとした。実際のトンネルの円形3次元断面を2次元モデルにした理由は、実験がやりやすく、断面形状が単純で解析しやすいためである。今回の実験では鏡ボルト工も平板状とし、厚さ0.2mmのケント紙でモデル化し、トンネル切羽面に所定の間隔で設置した。

実験はトンネル切羽面を引抜くことで掘削を再現し、所定の引抜量に達した際に、切羽に作用する荷重および地表沈下を測定した。鏡ボルト模型(ケント紙)の長さは本実験では15cmであり、トンネル切羽の高さをH(15cm)とすると1.0Hに固定した。鏡ボルトの切羽面設置間隔を7.5cm(1段)、5cm(3段)、3cm(5段)と変化させ、その影響を検討した。表-1に実験ケースを示す。

模型地山は空気乾燥状態にある豊浦標準砂を高さ60cmの位置で一定の寸法の出口から自由落下させ、土被り厚さ30cm(2.0H)まで砂を投入し作成した。切羽に作用する荷重は切羽面の裏側にロードセルを組み込み、引抜きに伴う荷重の変化を測定した。地表面の沈下測定には変位計を使用し、切羽直上を基準に切羽前方に10cm間隔で5箇所設置した。

### 3. 実験結果

図-3、図-4に鏡ボルトが無い場合と鏡ボルト5段の場合のトンネル引抜量15mm(0.1H)までの引抜きに伴う地表沈下量の差異を示す。測定点は切羽直上および切羽直上面から前方10cm、20cm、30cm、40cmの地表面であ

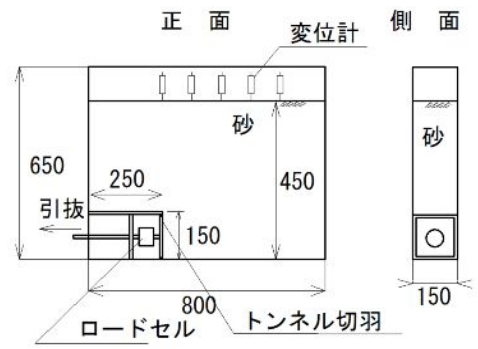


図-1 模型実験装置

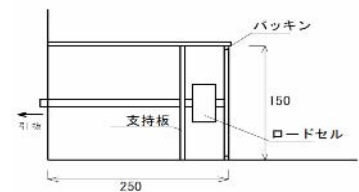


図-2 切羽部拡大図

表-1 実験ケース

実験No.	鏡ボルト	
	密度(間隔)	長さ
1	無し	15cm(1.0H)
2	1段(7.5cm)	
3	3段(5.0cm)	
4	5段(3.0cm)	

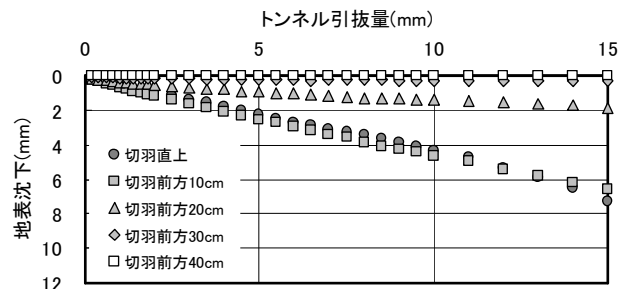


図-3 地表沈下曲線(鏡ボルト無し)

る。鏡ボルトが無い場合、切羽直上地点と切羽前方 10cm の地点の地表沈下が大きくなっており、この引抜き範囲までは沈下が直線的に増加している。切羽から 30cm、40cm 前方の位置では沈下量が小さく、トンネル切羽の引抜き量が大きくなって沈下は一定値を示している。一方、図-4 の鏡ボルトが 5 段の場合は、図-3 の鏡ボルト無しの場合より地表沈下が抑制されており、トンネル引抜き最初の部分では沈下が半分程度になっている。

図-5、図-6 は、トンネル縦断方向の地表沈下曲線を示す。トンネルを引抜く前のトンネル切羽の位置を 0 として、切羽前方 10、20、30、40cm の位置の地表沈下を、鏡ボルト無し、1 段の場合、3 段の場合、5 段の場合で示している。図-5 はトンネル切羽面を 5mm(0.03H) 引抜いた時の地表沈下を、図-6 は 15mm(0.1H) 引抜いた時の地表沈下を示す。トンネル引抜き量 5mm の鏡ボルト工無しでは切羽直上から切羽前方 10cm の地点が大きく沈下しているが、鏡ボルト 5 段の場合ではその半分以下になっている。鏡ボルト 1 段、3 段の場合はその中間であり、本数が多い方が沈下抑制効果は大きくなっている。図-6 の引抜き量 15mm の場合にも鏡ボルト 5 段の場合は補強効果が高くなっている。さらにこれらの図から、地表沈下の影響範囲は切羽前方 20~30cm (1.3~2.0H) 程度であることが分かる。

図-7 に鏡ボルトの間隔の違いによる切羽に作用する荷重の差異を示す。図はトンネル引抜き前の初期荷重を 1 として、トンネル引抜き後の切羽荷重を無次元化している。全てのケースにおいて、0.2mm 程度の引抜きで切羽荷重は急激に減少し、初期荷重の 0~15% 程度に収束する。鏡ボルト 3 段、5 段の場合には、切羽荷重が小さくなっており、切羽安定効果が高くなる。また、鏡ボルトが 1 段設置の場合でも、切羽荷重は無補強の場合より小さくなっていることが分かる。

4. まとめ

標準砂を用いた 2 次元縦断方向の模型実験により、長尺鏡ボルト工の設置間隔を変化させて、地表沈下への影響度合いや切羽安定効果を検討した。その結果、鏡ボルト工の打設密度に応じて沈下抑制効果も高くなり、切羽に作用する荷重も小さくなることなどが分った。今後は、切羽荷重測定精度を向上させ、線状のボルト等を使った実験を行い、さらに検討を加える予定である。

参考文献：1) 地盤工学会：山岳トンネル工法の調査・設計から施工まで、pp140-141、2007  
 2) 土木学会：山岳トンネルにおける模型実験と数値解析の実務、pp83、2006  
 3) 田口、香川、相良、吉川：柔な薄肉プレライニングの先受け効果、土木学会論文集、No.645/III-50、2000.3、pp.125-135  
 4) 大前、久武、大野、片山：トンネル施工における鏡止めボルト・核残し工法の切羽安定効果の検討、土木学会 63 回年講、pp675-676、2008  
 5) 西村、土門、佐藤、徐：実験と解析による切羽ボルトの効果について、土木学会第 63 回年講、pp677-678、2008

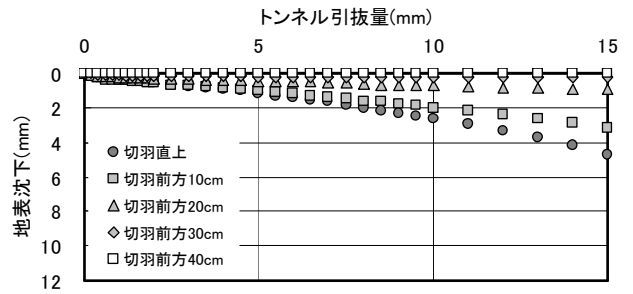


図-4 地表沈下曲線 (鏡ボルト 5 段)

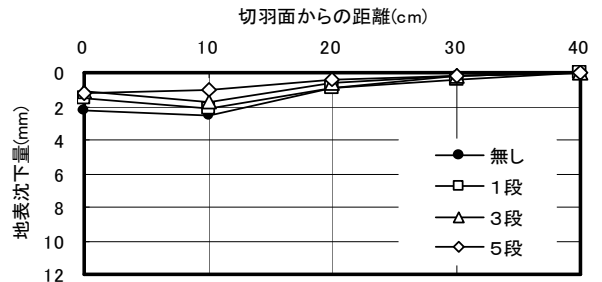


図-5 地表沈下曲線 (縦断方向、5mm 引抜き時)

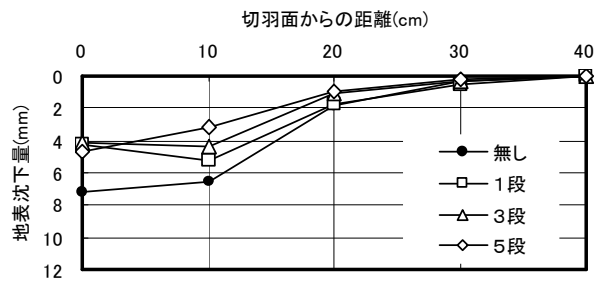


図-6 地表沈下曲線 (縦断方向、15mm 引抜き時)

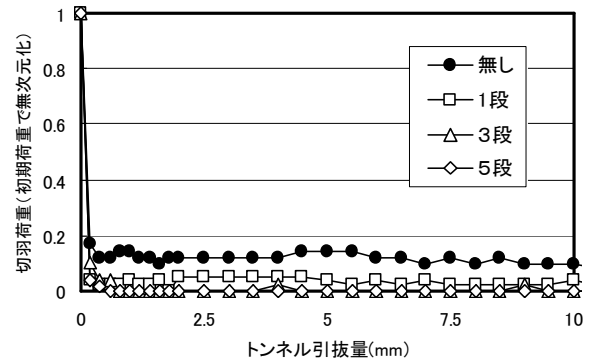


図-7 引抜きに伴う切羽に作用する荷重