

III-B76

切羽安定対策工法に関する遠心力模型実験

建設省土木研究所 正 真下 英人
建設省土木研究所 正 鈴木 正彦
日本建設コンサルタント 藤巴 太郎
(元土木研究所部外研究員)

1. はじめに

山岳トンネル工法によりトンネルを掘削する場合には切羽安定の確保が重要であり、切羽が自立しない場合には鏡ボルト、先受工などの切羽安定対策工が用いられる。しかし、切羽安定対策工の採用にあたっては合理的な打設長、配置方法など未解明な点がいくつか残されている。このため、本報告では、鏡ボルトおよび先受工の効果を検討するための遠心力載荷模型実験を実施したのでその結果について報告する。

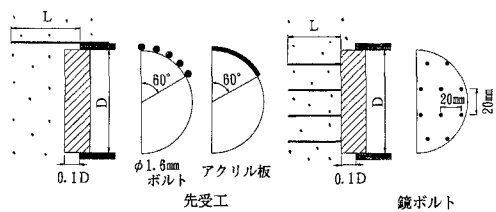
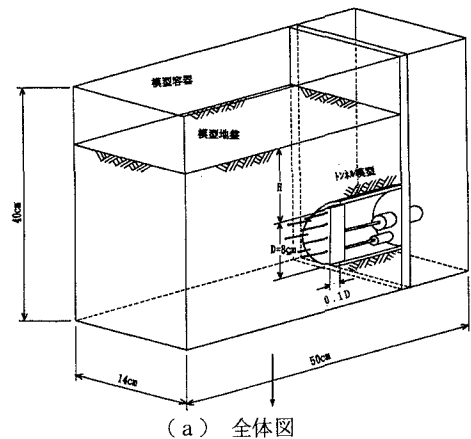
2. 実験方法

実験装置の概要を図-1に示す。実験には前回までの実験¹⁾と同様にアクリル製の半円筒（覆工）と切羽を押さえる半円形の押さえ板からなる径 $D=80\text{mm}$ のトンネル模型および前面が透明なアクリル板からなる砂箱を使用した。実験は鏡ボルトまたは先受工とトンネル模型が埋め込まれた模型地山を遠心力載荷し、所定の遠心加速度に達した段階でトンネル模型の押さえ板を引き抜いて切羽での応力解放を行い、その際の切羽の安定状態を調べた。地山材料には表-1に示す物性値を持つ豊浦標準砂を使用し、土被り比 H/D は1とした。鏡ボルトには $\phi 1.2\text{mm}$ の燐青銅を使用し、ボルトの長さを $0.25D, 0.5D, 1D, 1.5D$ と変化させ、さらに各長さについて打設位置を全断面、上半断面、下半断面と変化させた。先受工については $\phi 1.6\text{mm}$ の燐青銅を使用し、覆工からの長さを $0.25D, 0.5D, 1D, 1.5D$ と変化させ、さらに先受工の剛性の影響を調べるため、先受工に厚さ 2mm 、長さ $1.5D$ のアクリル板を使用した実験を追加した。

3. 実験結果および考察

図-2は、切羽安定対策工が無い場合の遠心加速度が $25g$ および $30g$ の時の砂箱壁面における切羽の崩壊状況を示したものである。今回対象とした地山は遠心加速度が $25g$ の時には切羽前方 $0.2D$ から $0.3D$ 程度までおよぶドーム状の滑りが発生し、さらに遠心加速度が $30g$ となった場合には地表面まで達する崩壊が発生する。

図-3は、鏡ボルトを打設した場合の切羽の崩壊状況を示したものであり、遠心加速度が $25g$ の時の実験結果である。切羽の安定に必要なボルトの長さについては、全断面に打設する場合は $0.5D$ 程度の長さ以上のボルトを切羽から前方に打設すれば切羽の崩壊を最小限に抑える効果が認められ、また、 $0.5D$ 以上あればボルトの長さを長くしてもあまり効果の向上は期待できない。一方、ボルトの長さが $0.25D$ の場合は天端より上方の崩壊高さが若干低くなる効果は認められるものの、切羽の安定性に



(b) 対策工詳細図
図-1 実験装置概要図

表-1 模型地山の物性値

単位体積重量 γ (gf/cm^3)	1.54
含水比 w (%)	6.5
粘着力 C_a (gf/cm^2)	47
内部摩擦角 ϕ_a (deg)	34.5

対する顕著な効果は認められない。これは、対策工が無い場合には切羽前方0.2Dから0.3D程度までの範囲におよぶ滑りが発生しており、ボルト長が0.25Dの場合には鏡ボルトが効果を発揮するために必要な定着長が確保できないためと考えられる。

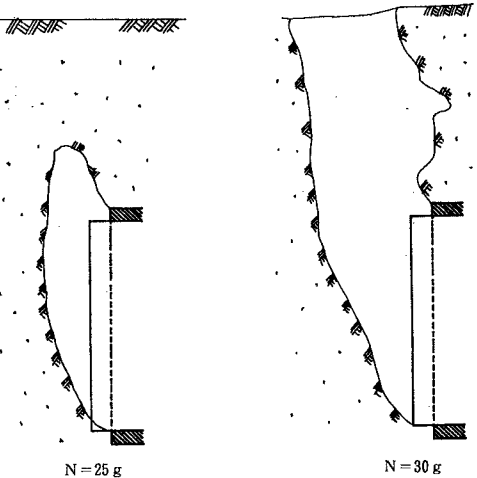
鏡ボルトの打設位置が切羽の安定効果に及ぼす影響については打設位置によって大きく異なり、下半断面に打設した場合は下半部において若干の安定効果が認められるものの打設しない場合と同様に天端の上方に至るドーム状の滑りが発生し、トンネル切羽の崩壊を抑制する効果は認められない。一方、上半断面に打設した場合は、下半部に滑りが発生するものの天端より上方に至る大きなドーム状の滑りは発生しなくなり、ボルト長によっては全断面打設した場合と同程度の効果が現れるケースも認められる。これは、上半断面に打設した場合は下半部に発生する滑りの発展を上半断面のボルトが抑制するのに対して、下半断面に打設した場合は下半部に発生していた滑りの抑制効果は期待できるものの、ボルトが無い上半断面の下端を始点とする新たなドーム状の滑りが発生し、トンネル天端よりも上方に至る崩壊が発生するためと考えられる。したがって、トンネル掘削後に鏡ボルトを打設して切羽の安定を図る場合は、下半部よりも上半部から先に早期に打設するのがより安全で合理的な施工になるものと考えられる。

図一4は、先受工を設置した場合の切羽の崩壊状況を示したものであり、遠心加速度が30gの時の実験結果である。何れの先受長の場合も対策工が無い場合に発生していた地表面にまで達する崩壊を先受工の位置で止める効果が明確に現れているが、切羽の崩壊に対する抑制効果は認められない。また、先受工としてアクリル板を使用した場合とボルトを使用した場合の崩壊状況の比較を図一5に示すが、アクリル板を使用した場合は円筒シェル構造となるにもかかわらず切羽の安定効果は認められない。これは、トンネル掘削により切羽前方に発生する緩み荷重を先受工が受け持ち、先受工の直下にある地山には緩み荷重が作用しない応力状態となっても、今回対象とした地山自体の自立性が悪く、実験を行った遠心加速度における限界自立高さが切羽の高さに近いことにより崩壊が発生するためと考えられる。

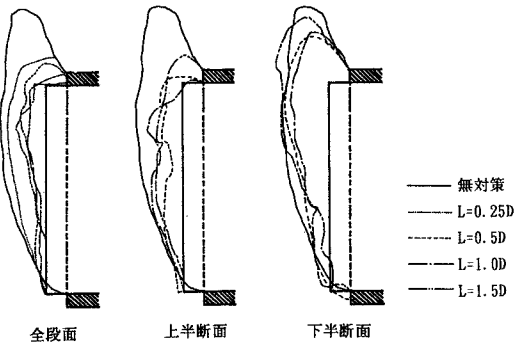
4. おわりに

今回の実験はある限られた地山条件のもとで行われたものであるが、大まかな鏡ボルト、先受工の効果が把握された。今後は地山の強度、ボルトの密度などの影響を調べるとともに、解析を進めていく予定である。

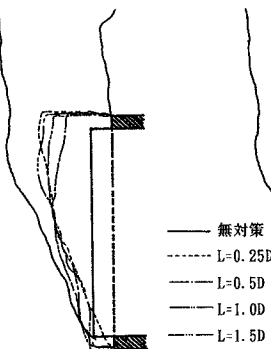
参考文献 1) 真下 英人・猪熊 明：トンネル切羽の安定性評価に関する遠心力模型実験、トンネル工学



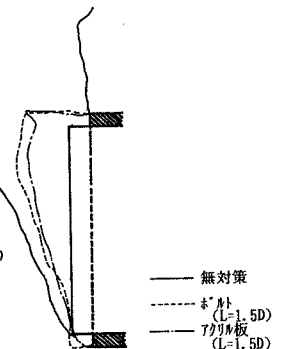
図一2 対策工無の場合の崩壊状況



図一3 鏡ボルト打設時の崩壊状況



図一4 先受工打設時の崩壊状況



図一5 アクリル板使用時の崩壊状況