

## 先受工の打設角度に関する遠心力载荷模型実験

独立行政法人 土木研究所 正会員 森本 智  
 同上 真下 英人  
 清水建設(株)（元土木研究所主任研究員） 蒲田 浩久

### 1. はじめに

ロックボルトは、一般的にトンネル断面に対して放射状に打設するが、核残し等の掘削工法を採用する場合、作業上の制約から十分な長さのボルトを打設できないために、トンネル進行方向に対して斜めに打設（斜めボルト）して、支保効果と先受工としての天端安定効果を期待することがある。これまで著者ら<sup>1)</sup>は、土砂地山を対象にした遠心力载荷模型実験により、天端付近に打設された斜めボルトは、配置や長さを適切に設定することにより、直ボルトと同程度の支保効果があることを明らかにしてきた。しかし、斜めボルトに先受工としての天端安定効果を期待する場合の最適なボルト長さや打設角度については未だ不明な点が多く、より合理的な設計法の確立が必要である。本研究では、先受工の打設角度が天端崩落の抑制効果に及ぼす影響を明らかにすることを目的として遠心力载荷模型実験を行った。

### 2. 実験方法

図-1 に実験装置概要図を示す。実験装置は、内寸 140 × 500 × 400(mm)の模型容器に、アクリル製の半円筒の支保模型と、トンネル掘削を模擬するアクリル製の半円柱（D=80mm）のトンネル模型が設置してある。実験は、模型地山に先受工（ロックボルト）とトンネル模型を設置し、所定の遠心加速度（30g）まで遠心载荷を行い、その状態でトンネル掘削模擬装置を引き抜いて0.1Dの素掘区間を設け応力解放を行い、そのときの地山安定状態を確認した。模型地山は、不飽和状態にして少量の粘着力を確保した豊浦砂を2cm毎に締め固めて作成した。表-1 に物性値を示す。なお、土被り比H/D（H:トンネル土被り，D:トンネル径）は1とした。

先受工は、表面に砂を付着させた径が1.6mmのりん青銅を用い、地山作成後に模型容器側板を一旦取り外し、トンネル模擬装置を引き抜き、地山を素掘状態にして、所定の位置に挿入した。先受工の端部は長さ0.1Dのかかりしるを設けている。

図-2 に先受工の配置図を示す。実験ケースは、打設範囲を60°に固定して、先受工の長さL（20,40,80mm）、斜め打設角度（0,10,15,45°）、横断方向ピッチ（7.5,15°）を変化させたケースを行った。

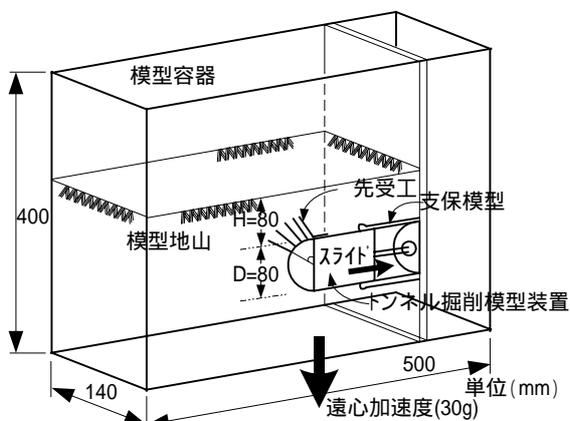


図-1 実験装置概要図

表-1 実験材料の物性値

地山材料 (豊浦砂)	単位体積重量 : t(kN/m <sup>3</sup> )	14.0
	含水比 : w(%)	6.5
	粘着力 : c(kPa)	4.6
	内部摩擦角 : (deg)	34.5

c<sub>v</sub> は一面せん断試験より求めた。  
 (垂直応力 2.9 ~ 14.7kN/m<sup>2</sup>)

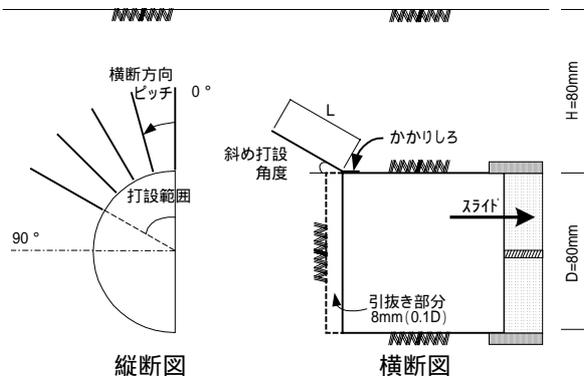


図-2 先受工配置図

キーワード トンネル，先受工，遠心力载荷模型実験

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ<sup>2)</sup> (トンレ) TEL.029-879-6791

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 無対策時

図-3は 無対策時の天端崩壊写真および天端崩落図である。遠心加速度 30g の状態でトンネル掘削模擬装置を引き抜くと、切羽の崩壊とともに、地表面まで達する天端崩落が発生した。

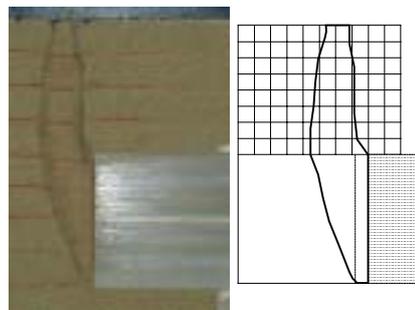


図-3 天端崩落写真および同崩落図(無対策)

#### (2) 先受工打設時

図-4は、先受工を長さ、横断方向ピッチ、打設角度などを变化させて打設した場合の、崩落図をまとめたものである。

まず、打設角度  $=0^\circ$  (以下、水平先受工と呼ぶ)、 $=15^\circ$  の場合(a),(h)について見てみると、先受工長  $L=40\text{mm}$  の場合(a)は、切羽は崩壊しているものの、天端は打設した先受工を境にして崩落は発生せず、天端崩落の抑制効果が見られた。一方、 $L=20\text{mm}$  の場合(h)は、無対策時と同様な地表面まで達する崩落が発生しており、天端崩落を抑制するには先受工には一定以上の長さが必要であることがわかる。

次に、 $L=40\text{mm}$ 、 $=15^\circ$  で打設角度 を变化させた場合(a),(b),(c),(d)について見てみると、 $=10^\circ$  の場合(b)は、切羽は崩壊したが、天端崩落の抑制効果が見られた。しかし、 $=15^\circ$  以上の場合(c),(d)では、先受工を巻き込んだ大規模な天端の崩落が見られた。

そこで、 $=15^\circ$  で、横断ピッチ を半分にした場合(e)と、先受工長を2倍にした場合(g)について見てみると、横断ピッチを半分にすることや、先受工長を2倍にすることにより、切羽は崩壊は発生するものの、天端崩落の抑制効果が見られた。しかし、 $=45^\circ$  の場合は、先受工の打設ピッチを半分にしても天端崩落の抑制効果は期待できない結果となっている。

なお、天端の崩落を抑制した全てのパターンに共通することとして、先受工を境に崩落は抑制されており、先受工の先端は切羽崩壊後も地山の奥まで打設された状態であることから、地山側と支保側に設けたかかりしりを支点に天端崩落を抑制していると考えられる。

以上の結果より、無対策時には切羽の崩壊とともに天端の崩落が見られる場合、天端周辺に打設される先受工は、水平方向に対して  $15^\circ$  程度の打設角度であれば天端崩落の抑制効果が期待できるが、打設角度が  $45^\circ$  にもなると効果はほとんど期待できないものと考えられる。

#### 4. まとめ

天端部周辺に打設される先受工に関して、打設角度による影響を明らかにすることを目的とした遠心力载荷模型実験を行った。その結果、水平方向に対して  $15^\circ$  程度の打設角度であれば天端崩落の抑制効果が期待できるが、打設角度が  $45^\circ$  にもなると効果はほとんど期待できないことが明らかとなった。

ただし、今回の実験では土被りが薄く、未固結な土砂地山という限られた地山条件での結果であるため、今後、他の条件についても検討を行う予定である。

#### 参考文献

1) 鈴木, 真下, 高根, 藤井: 土砂地山におけるロックボルトの効果に関する遠心力模型実験, トンネル工学研究論文・報告集第9巻, P143-148, 1999/11

打設角度	$=0^\circ$	$=10^\circ$	$=15^\circ$	$=45^\circ$
先受工長 横断ピッチ	$=0^\circ$	$=10^\circ$	$=15^\circ$	$=45^\circ$
$L=40\text{mm}$ $=15^\circ$	(a)	(b)	(c)	(d)
$L=40\text{mm}$ $=7.5^\circ$			(e)	(f)
$L=80\text{mm}$ $=15^\circ$			(g)	
$L=20\text{mm}$ $=15^\circ$	(h)			

図-4 天端崩落図(先受工設置時)