

斜め打ちボルトの効果に関する遠心力実験

独立行政法人土木研究所 正会員 長谷川 哲也
(交 流 研 究 員)

同 上 正会員 真下 英人

同 上 正会員 蒲田 浩久

1 はじめに

近年、既設トンネルの補強あるいは断面拡大など工事が実施されるケースが増えてきているが、いずれの場合にも新設に比べ狭い空間での施工となるため、特にロックボルトを打設する場合、人力施工や継ぎボルトなどが必要となるなど、非常に苦勞しているケースが多い。そのため、新設トンネルとは異なり天端部のロックボルトを省略（フォアポーリングを補助工法として採用している）したり、ロックボルトの斜め打ちを行ったりする事例が見られる。一方、ロックボルトの効果については、縫い付け効果、地山改良効果など概念的にはいくつか提案されているものの、未だ不明な点が多く、適切な長さ、配置などは明らかになっていない。以上のような現状から、より合理的なロックボルトの設計法の確立が求められている。

筆者らは、土被りが薄く、未固結な土砂地山を対象にした遠心力载荷実験により、天端部に直角に打設されたロックボルトが、地山（天端部）安定効果に大きく寄与する場合があることを確認しているが、本研究では、さらに天端部のロックボルトのトンネル進行方向に対する打設角度の影響を、同様な遠心力载荷実験を行うことで明らかにし、斜め打ちボルトの効果について調べた。

2 実験方法

実験には、図-1 に示すような内寸 $140 \times 500 \times 400$ で前面が透明なアクリル板からなる模型容器を使用した。模型容器には、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の径 $D=80\text{mm}$ のトンネル掘削模型装置が設置してある。実験は、模型地山に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($20g$)まで遠心载荷を行い、トンネル掘削模擬装置を引き抜いて応力解放を行い、 $1.0D$ の素掘区間を設け、その時の地山安定状態を確認した。模型地山は、豊浦標準砂を所定の単位体積重量となるように 2cm 毎に締め固めて作成し、土被り比 H/D (H :土被り高さ)は 1 とした。ロックボルトには地山との定着力確保のため表面に砂を付着させた $\phi 1.6\text{mm}$ のりん青銅を用いた。表-1 に実験材料の物性値、図-2 にロ

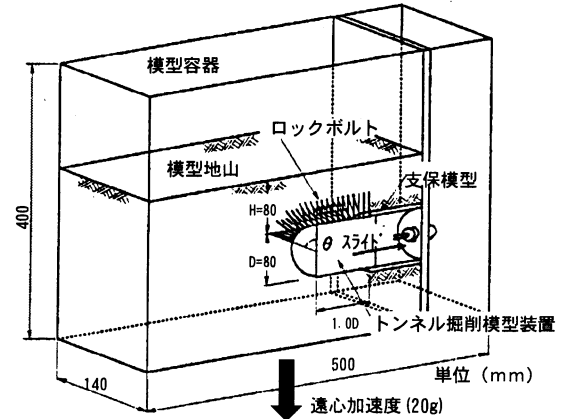


図-1 実験装置概要図

表-1 実験材料の物性値

地 山 材 料 (標 準 砂)	単位体積重量 γ_s (kN/m^3)	15.1
	含水比 w (%)	6.5
	粘着力 c (kPa)	4.6
	内部摩擦角 ϕ (deg)	34.5
ロックボルト (りん青銅丸棒)	弾性係数 E (kN/mm^2)	117.6
	断面積 A (mm^2)	2.0

c 、 ϕ は一面せん断試験(垂直応力 $2.9 \sim 14.7\text{kN/m}^2$)より求めた

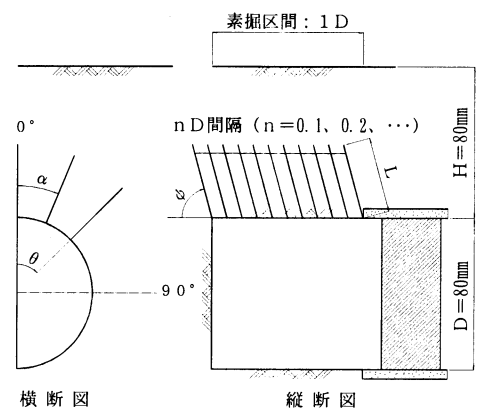


図-2 ロックボルト配置図

キーワード：トンネル ロックボルト 遠心力载荷実験

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 tel0298-79-6791

ックボルトの配置図を示す。実験は、打設範囲 θ を 45° に固定して、ロックボルトの長さ L （40, 20mm）、横断方向ピッチ α （ 22.5° 、 11.25° ）を変化させた3つの配置パターンについて、斜め打設角度 ψ を $90\sim 15^\circ$ まで変化させ、さらにそれぞれについて縦断方向のピッチを $0.1D$ と $0.2D$ としたケースについて行った。

3 実験結果と考察

無対策時には、図-3に示すように素掘区間全体に渡って、トンネル天端を底辺とした、地表面まで及ぶ三角錐状の崩落が発生した。

図-4は、天端部にロックボルトを、打設角度、長さ、配置間隔などを変化させて打設した場合の、天端崩壊状況結果をまとめたものであるが、(a)の $\psi=90^\circ$ （直ボルト）の結果を見ると、無対策時の結果に比べ天端崩壊は発生せず、天端部のロックボルトには、天端安定効果があることが分かる。

次に斜めに打設した場合の打設角度の影響について見てみると、全体に打設角度を小さくすると天端安定が悪くなるため、天端を安定させるためには、ある程度の角度が必要であると考えられる。この点について詳細に見てみると、 $\psi=75^\circ$ までは、すべての配置パターンにおいて、直ボルトとほぼ同程度の天端安定効果が得られることがわかる。さらに、(e)～(i)の結果から、ある長さ以上のボルトを密にして打設すれば、 $\psi=30^\circ$ 程度までは斜めにしても直ボルトと同程度の効果が発揮される場合がある。

また、斜めに打設した場合のボルト長および縦断方向のピッチの影響について見てみると、ボルト長だけ異なる(c)と(p)の結果から、天端安定効果を発揮するためには、ある程度の長さが必要であることが分かる。縦断方向のピッチについてはすべての配置パターンにおいて縦断方向の間隔を狭くすることで天端の安定性が向上していることから、縦断方向の間隔も重要なパラメータであることが分かる。

以上の結果を総合すると、ロックボルト打設により天端安定を図るにはトンネル壁面に打設するのが最も効果的であるが、作業空間などの関係上、直角にロックボルト打設できない場合には、ボルトを長くして斜めに打設することにより直ボルトと同程度の効果を確保できる場合があるものと考えられる。

4 まとめ

天端部のロックボルトに関して、トンネル進行方向の打設角度の影響を明らかにすることを目的とした遠心載荷実験を行なった。その結果、配置や長さを適切に設定することにより、斜め打ちボルトでも直ボルトと同程度の天端安定効果が期待できることが明らかになった。

ただし、今回は、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の結果であるため、今後、他の地山条件についても検討をする予定である。

[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

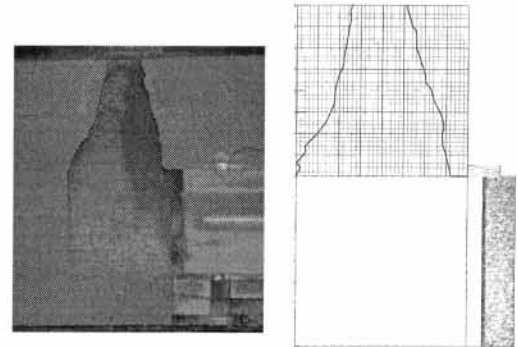


図-3 天端崩壊写真および同崩壊図（無対策）

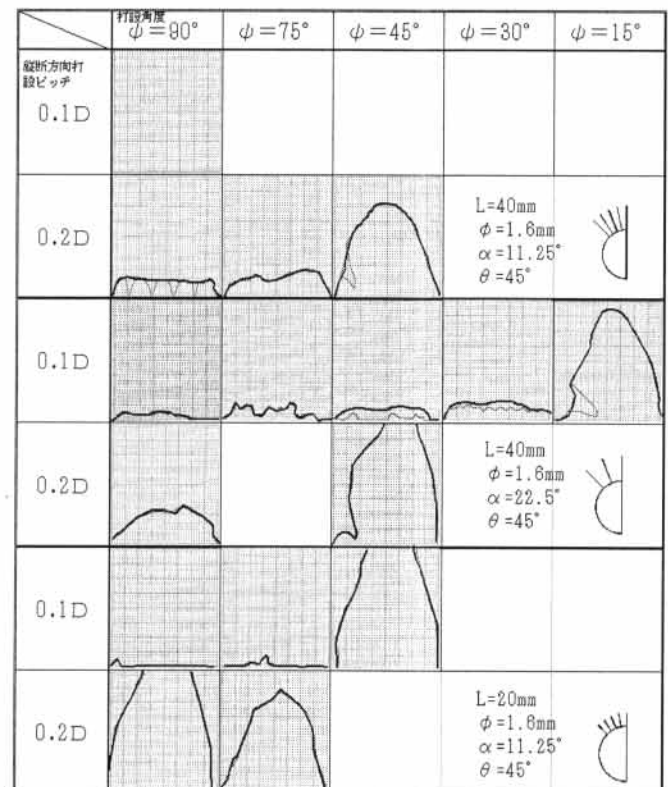


図-4 天端崩壊図（ロックボルト設置時）