

III-103

土砂地山のトンネルにおける脚部補強効果

東洋建設(株)鳴尾研究所 正会員 丸山 敦司

正会員 三宅 達夫

正会員 赤本 弘文

正会員 和田 眞郷

1. まえがき

NATMが山岳トンネル工法の標準工法として位置づけられてから約10年になろうとしている。最近では都市部のトンネルのような軟弱な土砂地山の工事にまでNATMはその適用範囲を広げてきている。軟弱な土砂地山の工事では支持力や地盤剛性が不足し、トンネル支保の脚部の変位が大きくなりアーチ部周辺地山のゆるみ領域が拡大する恐れがある。そのため、現在各種の補助工法が開発され、実際の現場で適用されている。

我々はトンネル脚部周辺に直径100～300mm程度の小口径杭を打設し脚部を補強する補助工法に着目し、補強効果の研究を行っている。本報告は補強効果確認の目的で実施した遠心力载荷装置を用いたの予備実験と、有限要素解析の報告である。

2. 遠心模型実験

実験に使用した試料容器は幅600mm×奥行150mm×深さ400mmで前後に厚み32mmのレキサンシートを用いた剛性容器である。実験試料は豊浦標準砂($e_{max}=0.942$, $e_{min}=0.616$)を用いた。模型地盤は地盤の変形を測定するためのターゲットを埋込むために何層かに分けて多重ふりい法により水平な乾燥地盤を作成し、途中でトンネル模型と小口径杭の模型を設置した。トンネル模型は肉厚2.5mm×内径160mmのステンレスのパイプを半割にしたものと厚み0.1mmのアルミ箔を半径82.5mmの半円にしたものを用いた。小口径杭模型は径3mmの真鍮棒を長さ60mmに切って作成し、トンネル模型との接続を容易にするため溝を切ったレールに取り付けた。トンネル模型と小口径杭模型の概略図を図-1に示す。

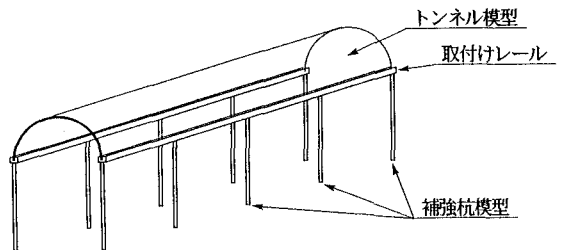


図-1 トンネル模型概略図

表-1 遠心模型実験一覧

実験ケース	トンネルの材質	地盤乾燥密度 (gf/cm^3)	補強杭	備 考
1	ステンレス	1.529	無	
2	ステンレス	1.567	有	
3	アルミ	1.604	無	遠心加速度39Gで破壊
4	アルミ	1.592	有	遠心加速度98Gで破壊

実験は遠心加速度を段階的に上げていく方法で行い、それぞれの段階で撮影した写真よりトンネル模型脚部の動きを観察した。実験ケースの一覧を表-1に示す。

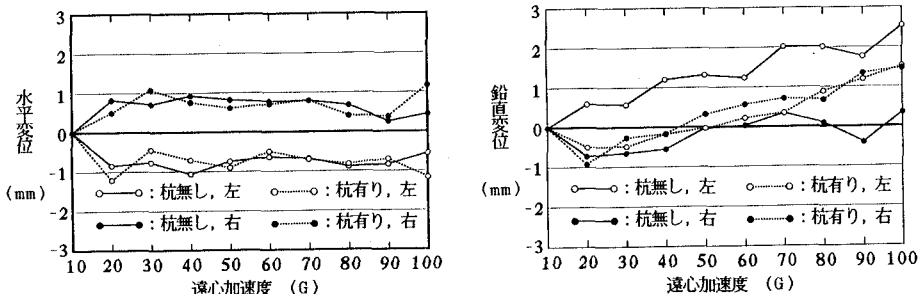


図-3 トンネル脚部の変位量(ケース-1, ケース-2)

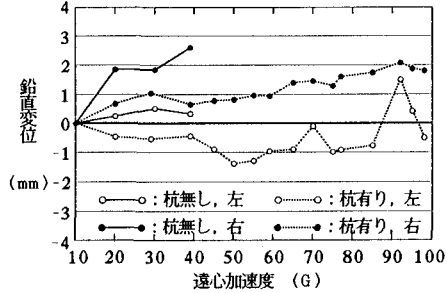
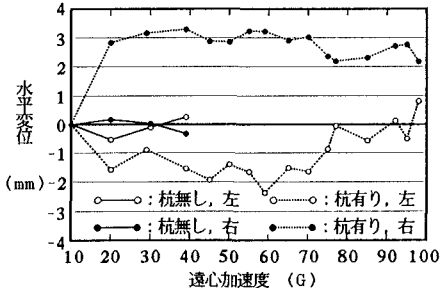


図-4 トンネル脚部の変位量（ケース-3，ケース-4）

図-2にケース-1とケース-2の，また図-3にケース-3とケース-4のトンネル脚部の水平方向変位と鉛直方向変位を各遠心加速度に対し模型値で表した。変位の初期値は遠心加速度10gの時の位置をとった。それぞれの変位の方法は、鉛直変位は下向きを、水平変位は外向きを正方向としている。トンネル模型にステンレスを用いたケース-1とケース-2の場合、水平変位、鉛直変位ともにばらつきはあるものの両者に大きな差は認められない。一方、トンネル模型にアルミ箔を用いたケース-3とケース-4の場合、補強杭のない場合の方が水平変位は小さく抑えられているものの、遠心加速度が、39Gで破壊に至っている。以上より、トンネル模型の剛性が小さい場合には補強杭の効果が認められた。

3. 有限要素解析

有限要素解析での検討断面は遠心模型実験における100g時を対象とし、これを図-4に示した。シミュレート方法は、始めにトンネル内部の要素を除去して掘削を表現し、その後、地表面に段階的に荷重をかける方法で行った。解析ケースの一覧を表-2に示す。図-5および図-6にはそれぞれ、荷重増加に伴うトンネル脚部の鉛直変位量および水平変位量を示した。水平変位量の正方向は、トンネル外側に向かってとっている。同図から、補強杭のある場合の方が変位量が小さくなり、補助工法の効果があることが確認できる。

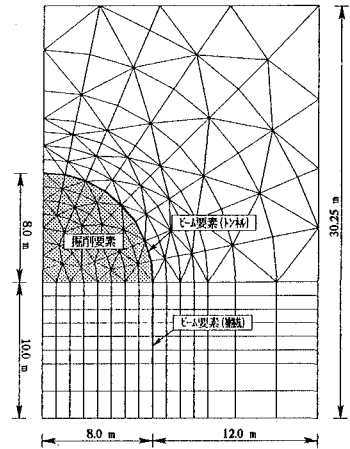


図-4 解析断面図

表-2 解析ケース一覧

解析ケース	ビーム要素の剛性 (トンネル部)	地盤の内部摩擦角	補強杭
A	高	30°	無
B	高	30°	有
C	低	30°	無
D	低	30°	有

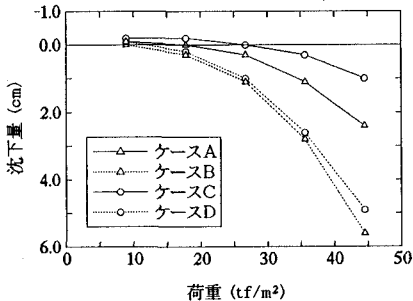


図-5 トンネル脚部の鉛直変位

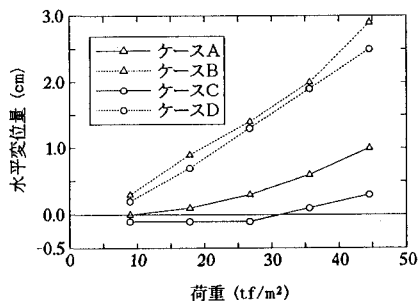


図-6 トンネル脚部の水平変位

4. まとめ

遠心模型実験から、トンネルの剛性が大きい場合には補強杭による効果は見られなかった。トンネルの剛性が小さい場合には、補強杭の効果が認められた。有限要素解析からは、補強杭は定性的には変形を抑止する効果があるといえる。今後、実験手法および解析手法を改良し、補強杭の効果を把握したいと考える。