

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○奥 兼治
 神戸大学工学部 正会員 芥川真一
 広島工業大学 正会員 櫻井春輔

1 はじめに

トンネル坑口部あるいは土被りの小さい箇所においては、トンネルの掘削が進むにしたがって、その結果としてトンネル支保に作用する土圧の増加、地表面や天端の沈下などの一連の問題が生じやすい。これらの現象への対策工の一つとして、垂直縫地ボルト工法がある。しかしその作用機構はいまだ説明されておらず、それを説明する為に多くの実験が行われてきた。既往の垂直縫地ボルトに関する実験からボルトには主に軸力がかかっているということ、補強幅、補強密度はそれぞれトンネル径の1.6倍、0.1倍が最適である事がわかっている^{1), 2)}。以上をふまえ、本研究では、第1にボルトモデルがせん断力に対してどのような挙動を示すかを、ボルトモデルを変えて実験を行い、考察すること、第2に補強本数を減らすことによって、変位量などがどのような影響を受けるかを調べることを目的として実験を行ったので、その概要を報告する。

2 実験の概要

本研究における実験は、阿部ら³⁾と同様の装置で、エアバッグ式のものを用いた。なおトンネルモデルは直径 15cm の円形であり、土被りは 1 D に限定して実験を行った。従来の研究ではボルトのモデルとしてせん断耐力のほとんどない、主に軸力のみで耐えるボールチェーン(洗面台や風呂の蛇口の線をつなぐチェーン)を使用してきた。そこで本実験では、ボルトモデルの曲げ剛性による効果を調べるために、ボルトモデルとして直径約 3mm のビーズ(手芸用のもの)を①ピアノ線(せん断力に対抗できる)②テグス(釣りのようなもの、せん断力に対抗できない)、に通したものの二種類を使用した。それは同じ形状のビーズを使用することによりボルトと地山との摩擦は同一であるが、ボルトの曲げ剛性を異なるものにするためである。

本実験での計測項目は、以下の四点である。

- ・レーザー変位計による地表面沈下量(微小変形)
- ・レーザー変位計による天端沈下量(微小変形)
- ・画像計測ソフトによる標点の測定(目視可能な変形)
- ・圧力制御装置による地山崩壊時のエアバッグ圧力

まず全ての基本となる無支保での実験を行い、次にボルトモデルのせん断耐力によって挙動がどのように変化するかを調べるため、ボルトモデルを変えて実験を行った。実験に用いるボルトのモデルとしてはまず①ピアノ線と、②テグスにビーズを通したものをを用い、それらの違いを調べた。全補強の補強幅はトンネル径の 1.6 倍(24cm)である。それは既往の実験結果によるもので、本実験の装置を用いてもほぼ同様の結果が得られたことからこの補強幅にしている。その全補強の模式図を図-1 に示す。また補強間隔(ピッチ)は、同様に従来の研究より 1.5cm (=0.1D)とした。そしてボルトの本数を減らした補強パターンとしてシアバンドのみに補強、というケースで実験を行った。それは、すべり面が発達するのを防ぐことを目的としている。シアバンドの補強のしかたは、全補強のトンネル直上のボルトモデル(11 セット)を省いた左右 3 セットずつ計 6 セットである。シアバンドの補強の模式図を、図-2 に示す。次に、地表面に対して垂直ではなく、すべり面が発達するのを防ぐような場所にボルトを挿入するという補強パターンで実験を行った。具体的には、ピアノ線のボルトモデルを図-3、図-4 のように挿入した。また、各実験ケースを、すべり面補強、複合補強と呼ぶ。

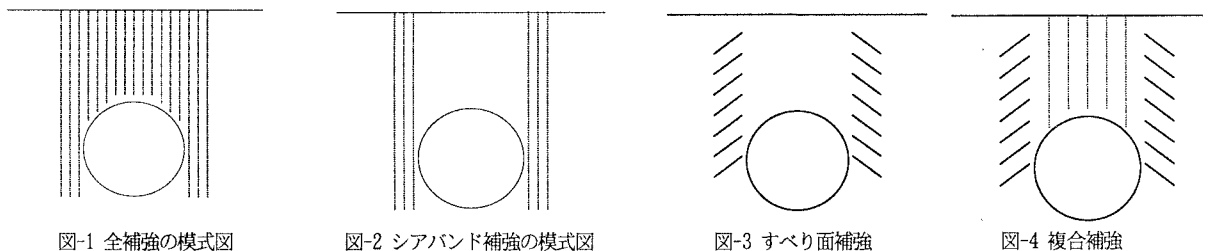


図-1 全補強の模式図

図-2 シアバンド補強の模式図

図-3 すべり面補強

図-4 複合補強

3 実験結果と考察

各実験における崩壊圧(レギュレーターを用いて空気圧を一定にしても変位が止まらないときの圧力)を表-1に示す。

表-1 各実験ケースにおける崩壊圧

	全補強	シアバンド補強	すべり面補強	複合補強	無支保
ピアノ線	5.5	9	10.5	9	12
テグス	5.5	11			

以下に、各実験ケースにおけるセンター(トンネルクラウン直上)の沈下量と天端の沈下量のグラフを比較対象ごとに示し、考察を加える。

ピアノ線全補強とテグス全補強を比較したところ、崩壊圧、沈下量に違いは見受けられない。ところが無支保と比べると崩壊圧が低下し、沈下量は減少していて、かなりの補強効果が出ていることがわかる。この結果からは、ボルトモデルの曲げ剛性、せん断剛性はあまり影響が無いように思われる。

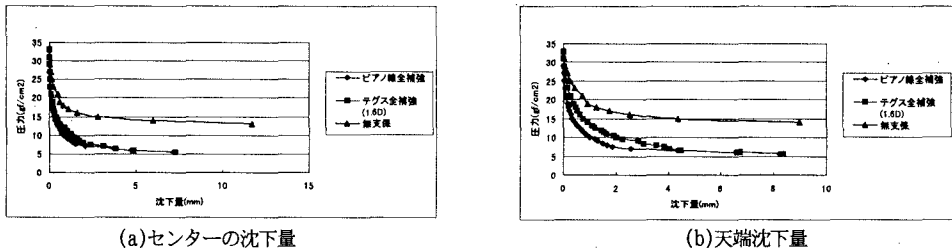


図-5 ピانو線全補強、テグス全補強、無支保の沈下量比較

ピアノ線シアバンド補強とテグスシアバンド補強とは、共に無支保と比べて補強効果が出ているが、ピアノ線シアバンド補強の方が崩壊圧も低く、補強効果があると言えるが、全補強と比べるとピアノ線シアバンド補強でも全補強より沈下量が多い。また先に考察したことと合わせると、補強パターンが十分であればボルトモデルによる変化は特にはないが、不十分であればピアノ線のようにせん断に対して働くものの方が効果があることがわかる。

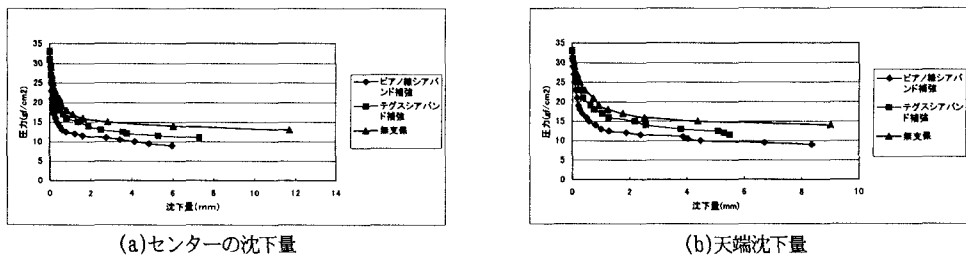


図-6 ピانو線シアバンド補強、テグスシアバンド補強、無支保の沈下量比較

すべり面補強は、同じ場所にボルトを挿入したシアバンド補強より崩壊圧が高く、沈下量も大きい。また複合補強も、全補強より崩壊圧が高く、沈下量も大きい。以上のことからすべり面が発達するのを直接防ぐような補強の方法のうちでも今回行った実験ケースに限っては、補強効果が十分では無いことがわかる。

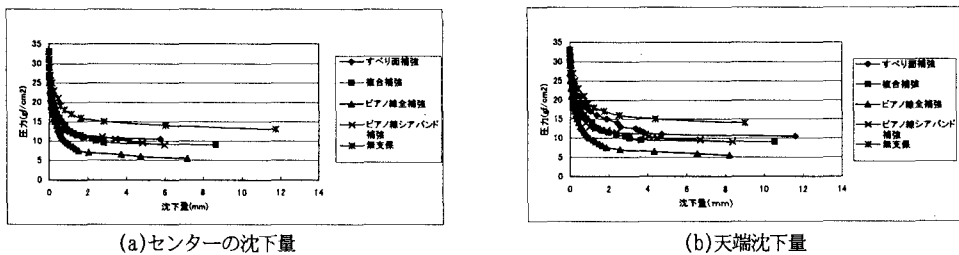


図-7 すべり面補強、複合補強、ピアノ線全補強、ピアノ線シアバンド補強の沈下量比較

4 結論

本研究においては、以下のことが分かった。

曲げ剛性、補強範囲に関する四ケースの実験（ピアノ線全補強、テグス全補強、ピアノ線シアバンド補強、テグスシアバンド補強）の結果から、垂直縫地では、ボルトモデルの補強範囲が十分であれば曲げ剛性による変化は特に認められないが、補強範囲が不十分であれば曲げ剛性が補強効果に影響を与える。

補強形式に関する二ケースの実験（すべり面補強、複合補強）の結果から、これらの2ケースは思ったほどの成果を上げることができなかった。

今後の課題としては、個々のボルトにどのような力がかかっているかを計測し、そのボルト一本一本の役割を解明することで、その役割に応じたボルトの本数や剛性などを決定し、より効果的で合理的なボルトの挿入パターンを明らかにすることが重要である。

参考文献

- 1) 樋田道昭：垂直縫地ボルト工で補強したトンネルの挙動と解析に関する研究，修士論文，東京都立大学大学院工学研究科，1998.3
- 2) 西岡和也：垂直縫地ボルトの作用効果について，卒業論文，東京都立大学工学部土木工学科，1997.3
- 3) 阿部泰典：トンネルのゆるみ土圧に関するモデル実験と解析，関西支部年次学術講演会Ⅲ-27，1998.5