

神戸大学大学院	学生会員	○久保田晶
鹿島建設(株)	正会員	阿部泰典
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

NATM 工法のトンネル上半掘削に際して、支保工脚部の沈下を抑制することが地山の変形を抑えるのにつながる。その点に注目して、現在、多くの脚部補強工法が考案、施工されている。それらの補助工法はそれぞれ効果を確認することができるが、厳しい条件下では沈下抑制効果を発揮できない場合がある。そこで、より高い沈下抑制効果を期待されてサイロット工法、IDS 工法¹⁾、New PLS²⁾工法などが考案、施工されている。本研究ではまず既存の工法の効果について確認し、問題点を調べる。次にその問題点を克服し得る新工法を提案し、その効果を検証する。

2 既存の工法の効果の確認

本研究における実験は櫻井³⁾らと同様の装置で、アルミ棒積層体においてエアバックを用いて圧力制御を行い、トンネル掘削をモデル化した。なお、トンネルモデルは直径 (D) 15cm の半円で、土被り 1D で実験を行った。覆工の入ったケースについては、塩化ビニールの外径 15cm、厚さ 0.6cm のモデルを用いた。本実験では、天端沈下・地表面沈下・脚部沈下をレーザー変位計により、地山全体の挙動を画像計測ソフトによって、また、内空変位を、トンネル径が小さくなる方を正として、ノギスを用いて計測した。

まず、すべての基本となる無支保 (Case1) と塩化ビニールを用いた半円覆工 (Case2) の 2 つのケースについて実験を行い結果を比較する。半円覆工を写真 - 1、写真 - 2 に示す。次に既存の工法のウイングリブ (Case3) と脚部改良 (Case4) の 2 つに注目し実験を行い、Case2 と比較する。Case3, Case4 をそれぞれ写真 - 3、写真 - 4 に示す。



写真 - 1 半円覆工



写真 - 2 地山挿入時

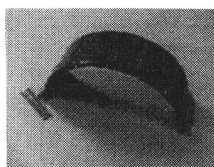


写真 - 3 脚部拡張

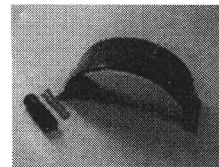


写真 - 4 脚部改良

まず Case1, Case2 の地表面沈下と天端沈下を図 - 1、図 - 2 に示す。

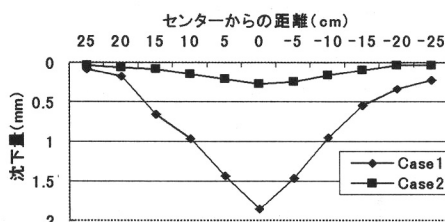


図 - 1 地表面沈下

図 - 1 を見ると沈下範囲については Case1, Case2 ともにトンネルセンターから 25cm あたりまでと思われる。沈下量については覆工の効果で抑制できているのがわかる。図 - 2 についても覆工の効果で沈下を抑制できているのがわかる。

次に Case2 の脚部沈下を図 - 3 に示す。これを見るとグラフの形状が天端沈下曲線と良く似ており、また、沈下量もほぼ等しいことがわかる。このことは、覆工が入ったトンネルの場合、覆工脚部の沈下がそのまま天端の沈下につながっていることを表わしていると思われ、無支保の場合と異なる。

Case3, Case4 の天端沈下の値を、比較のため Case2 とおなじグラフにプロットしたものを図 - 4 に、Case2, Case3, Case4 の内空変位を表 - 1 に示す。

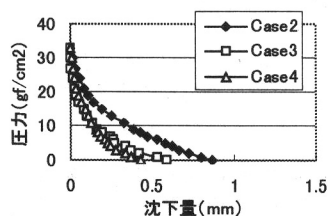


図 - 4 天端沈下比較

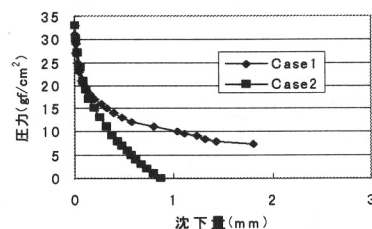


図 - 2 天端沈下

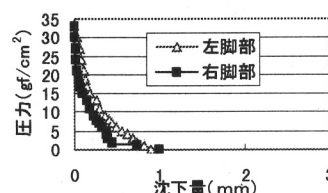


図 - 3 脚部沈下

表 - 1 内空変位

	Case2	Case3	Case4
内空変位量 (mm)	0.52	0.46	0.46

図-4を見ると、Case2と比較するとCase3、Case4いずれも沈下量を抑制できており、脚部を拡張した効果や改良体を入れた効果を発揮できているといえる。次に表-1を見ると、3ケースともほぼ同じ変位量を示しており、また方向としては脚部が閉じる方向つまり内空が小さくなる方向に変形している。このことから、Case3とCase4について沈下抑制効果はあるものの内空変位を抑制することはできていないことがわかる。

3 新工法の提案

以上の結果から、既存の補助工法は上半掘削時の脚部に実際に生じる実際の変位ベクトルのうち、鉛直下向きの成分に対しては、ある程度効果を発揮するものの水平でトンネル内側への変位抑制効果については期待できない。そこで地山上部の変形を受け止めることで伝わってきた荷重を、より広範囲に分散し、また脚部付近に発生する変位の水平成分を遮断し、地盤のせん断破壊を早期に抑止する工法を提案する。その工法の概要図を図-5に示す。上半の掘削と同時に脚部も掘削し、H鋼を挿入し、コンクリートを打設して脚部構造体を構築し、その後上半支保と連結する。

実験に用いた塩化ビニールのモデル(Case5)を写真-5に示す。また、覆工の剛性の低い場合として塩化ビニールの代わりに画用紙を用いて半円覆工(Case6)と新工法(Case7)についても実験を行った。

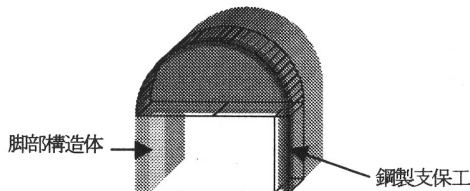


図-5 新工法概要図



写真-5

次に天端沈下の比較を図-6に、内空変位を表-2に示す。

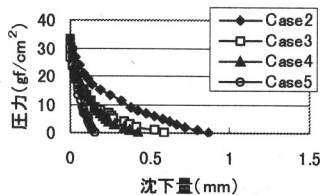


図-6 天端沈下比較

表-2 内空変位

	Case2	Case3	Case4	Case5
内空変位量 (mm)	0.52	0.46	0.46	0.04

図-6を見ると、Case5が大幅に沈下を抑制できていることがわかる。具体的には、Case2と比較してCase3が約70%、Case4が約50%に沈下を抑制できているのに対して、Case5はCase2の約20%まで沈下を抑制できている。次に、表-2を見るとCase5の内空変位量だけが他の3ケースと比較してかなり小さくなっており、内空変位を抑制することに成功している。この原因としては、Case5は下半地盤が未掘削のため地盤自体がインバートと同じような効果を発揮したものと思われる。

ここからは剛性が低く、薄肉にした画用紙を用いたケースについて検討する。Case6とCase7の天端沈下についてもCase2(半円覆工)を加えて図-7に示す。

これを見るとCase6は薄肉にしたため脚部に、より応力が集中し、Case2に比べ非常に大きな値になっている。しかしCase7については薄肉になっているにもかかわらず、Case2と変わらない沈下量になっている。このことから新工法の覆工の形状によって、覆工が水平方向の変位を遮断し、地山のせん断破壊を抑止しているため、沈下抑制効果が確認できる。

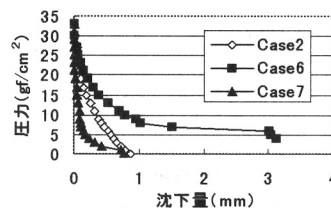


図-7 天端沈下比較

4 結論

- 1) 半円覆工の効果により沈下量を大幅に抑制できるが、無支保のケースにはない脚部沈下が発生した。
- 2) 既存の脚部補強工法(ウィングリブ、脚部改良)との比較を行った。その結果から、既存の工法の脚部沈下抑制効果を確認できた。しかし内空変位については抑制効果が低かった。
- 3) より高い沈下抑制効果と内空変位抑制を目的として、すでに考案、施工されている工法からヒントを得て、地山の本来持つ耐力をより効果的に活用する新工法を提案し、その効果をモデル実験によって検証した。

得られた結果として以下の2つが挙げられる。

- ① 既存の工法は沈下抑制効果の面では期待できるが内空変位については効果を確認できなかった。
- ② 新工法は地山にインバートの働きをさせ、非常に高い沈下抑制効果および内空変位抑制効果を発揮する。

新工法は安全性、合理性、経済性に大きく貢献することが可能であり、本研究では、より良い施工法の可能性を示したといえる。しかし、この新工法を実際の施工に適用するには、施工ステップについてより詳しく検討し、3次元空間における新工法の効果を検証する必要がある。

参考文献 1) 櫻井春輔：都市トンネルの実際 合理的な設計・施工法を目指して、鹿島出版会、pp.170-184、1998。2) 藤下幸三、本村均、寺内伸：New PLS 工法を用いた大断面トンネル工事における動態観測、地質と調査、通巻66号、第4号、pp.20-26、1995。3) 櫻井春輔ら：土被りの浅いトンネルの力学的挙動に関するモデル実験、土木学会論文集 Vol.487、pp.271-274、1994。