

トンネル下方まで根入れした垂直縫地ボルトの補強効果

東京都立大学大学院 正会員 土門 剛
 (株)大林組 正会員 丹沢淳一
 東京都立大学大学院 正会員 西村和夫

1.はじめに

トンネル坑口部は一般に土被りが小さいためトンネル掘削において十分注意を要する箇所である。特に地質の悪い坑口部では周辺環境に及ぼす悪影響が懸念される。こうした悪影響を未然に防ぐための対策補助工法の一つとして垂直縫地ボルト工法がある。本工法は、トンネル掘削に先行して施工できることに加え地上で作業できることから、施工性、経済性、安全性に優れた工法であるといえる。しかし、本補助工法による切羽安定性の向上、トンネル作用土圧の軽減、または地表面沈下の抑制といった有効性は、これまでの現場実績で確認されている。

そこで本工法に対する定量的で合理的な設計モデル提案のため、過去数年にわたって模型実験を実施してきた。本報告では、ボルト打設範囲を広げる代わりにトンネル側壁部下方にまでボルトを根入れすることにより、根入れ効果を期待した垂直縫地ボルトの補強効果について模型実験により検証する。

2.実験概要

地山は、長さ100mm、直径1.6mmおよび3.0mmのアルミ棒を重量比3:2で混合したアルミ棒積層体とし、縫地ボルトモデルにはボールチェーンを使用する(写真-1)。トンネル模型幅Wはテフロンシートを含め100mm、ボルトはトンネル模型の下端からさらに22mm下まで根入れする(図-1)。トンネル掘削は、トンネル周面に巻き付けておいた22枚のテフロンシート(厚さ0.2~0.3mm、計6.1mm)を順次抜き取ることによって内空変位を与えて模擬する。シートを一枚抜き取るごとに、実験槽底板全幅に配置したロードセルで荷重を計測し、さらに画像解析により地山挙動を地山内変位ベクトル及び最大せん断ひずみ分布として表す。実験ケースは表-1の通り、無補強1ケースと根入れの有無によるボルト打設ケース4ケースの合計5ケースを実施した。なお今回の実験では、補強間隔をいずれも10mmとした。



写真-1 地山および縫地ボルトモデル

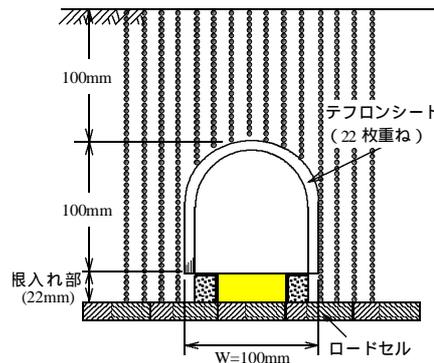


図-1 実験模型

表-1 実験ケース

ケース	補強	根入れ	補強幅
A	無	-	-
B	有	無	1.7W
C	有	無	1.9W
D	有	有	1.7W
E	有	有	1.9W

3.実験結果

3.1 トンネル作用荷重の軽減効果

図-2は実験ケースA、BおよびDの内空変位にともなうトンネル作用荷重の軽減の様子を表している。横軸に内空変位 u をトンネル幅 W で除した内空変位率 (%) を、縦軸はトンネル作用荷重 p を初期荷重 p_0 で除した基準化荷重 (p/p_0) を表している。

トンネル荷重はケースAが基準化荷重0.5程度で最低値に達すると、その後徐々に増加する。これに対して、補強ケースBおよびDはともに荷重の軽減がみられ、さらにケースAのような荷重の上昇もみられない。また補強ケースBとDを比較すると根入れをしたケースでは荷重の軽減効果が大きくな

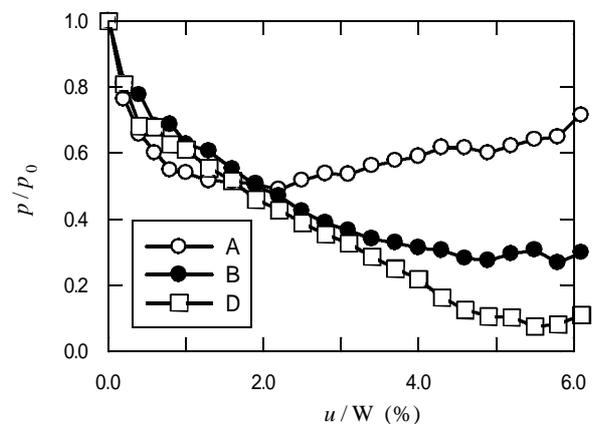


図-2 トンネル作用荷重の変化

キーワード：垂直縫地ボルト，山岳トンネル，根入れ効果，補強効果

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1 TEL 0426-77-2790 FAX 0426-77-2772

っていることがわかる。

3.2 地表面沈下量抑制効果

図-3は内空変位率 6.0%時の地表面沈下を表している。本図から補強による地表面沈下量の減少は最大沈下量がわずかに減少しただけであることがわかる。沈下の形状は無補強 A がトンネル中心を最大に尖状の沈下形状を示している。これに対して補強ケースではいずれも鍋底型を呈しており、沈下の範囲は狭まるところかむしろ広がっている。これはボルトの存在によってボルト下方への引き込み作用が誘発された結果、沈下の影響範囲が無補強に比べて逆に広がったためと考えられる。また沈下勾配もその原因によって増加している部分もあることから、今回の補強パターンでは地表面沈下の根入れによる効果は得られなかったといえる。

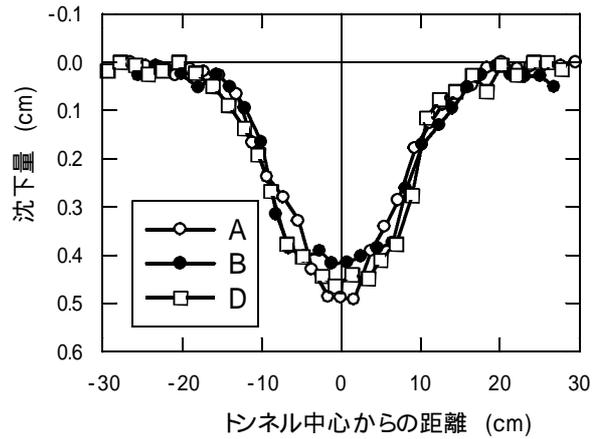


図-3 地表面沈下量

3.3 画像解析

図-4(a)および(b)はそれぞれ内空変位率 6.0%時のケース A および D の最大せん断ひずみ分布を示している。同図より無補強 A はひずみが大きい部分(赤色)が底盤から左右トンネル上部にまで及んでいるものの、ひずみの影響範囲はほぼその周辺に限られている。これに対してケースDは、ひずみが大きい赤色部分の減少はみられるが、その影響範囲が広がっていることがわかる。これは地山変形に伴う応力再配分がボルトの存在する領域内まで広がったことにより結果的に地山変形の分散がなされたと考えられる。また、無補強の場合と異なり、ケースDでは根入れによって側壁部下端のゆるみの存在も認められることから、補強領域全体の剛体的な沈下を許す結果となったとも考えられる。根入れの有無を最大ひずみ量で比較すると、無補強ケースが 49%であるのに対して補強ケースは 37 ~ 44%と若干軽減されている。

本報告では示していないが、補強幅 1.9W のケースはいずれも 1.7W に対してひずみの影響幅が広がってひずみが分散されることが確認されている。

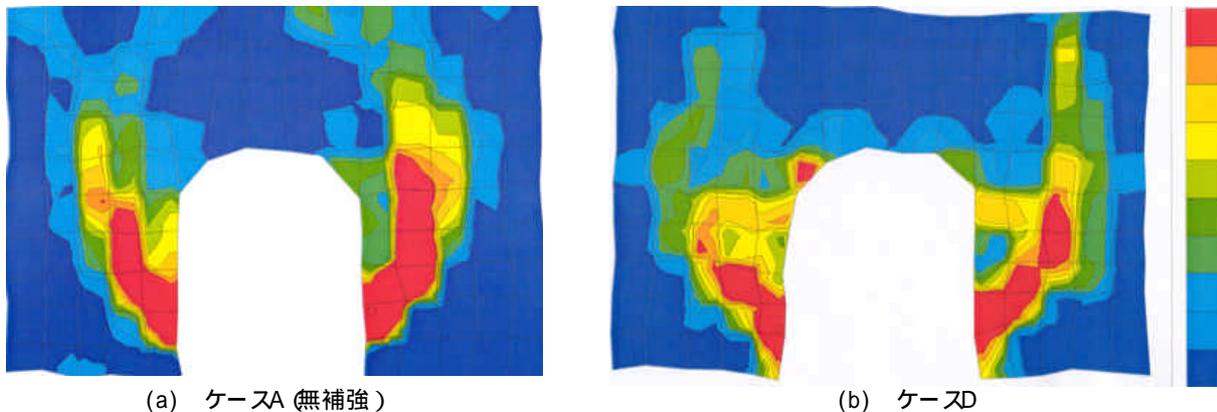


図-4 最大せん断ひずみ分布

4.おわりに

垂直縫地ボルトの有効性として荷重の軽減効果は得られたが、地表面沈下の抑止に関しては逆に沈下の範囲を広げる結果となった。今回採用した補強パターンは過去に上半掘削(上半にのみ緩みを与えた)を模擬した実験において、荷重および地表面沈下抑制に効果があったパターンである。下半掘削を考慮した今回の実験では、下半掘削時の緩みによる影響、特に低土被り地山では沈下の影響が大きいことが明らかとなった。上半だけでなく下半掘削時までの補強を期待するには、さらに補強幅を広げることが今後の課題として考慮しなければならない。

本研究では特に垂直縫地の根入れによる補強効果をあげたが、トンネル荷重軽減に関しては根入れによる補強効果は十分に発揮されたといえる。これは最大せん断ひずみ図に見られるようにトンネル両下端までその影響範囲が広がったためであると考えられる。

なお現在、実験結果を検証するために DEM による数値解析を実施している。