

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：33919

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860065

研究課題名（和文）トンネル掘削時脚部補強パイル工の地盤沈下抑制メカニズムの解明とその設計基準の提案

研究課題名（英文）Control of Ground Subsidence Using Foot Reinforcement Piles During Shallow NATM Tunnel Excavation on Unconsolidated Ground

研究代表者

崔 瑛 (CUI YING)

名城大学・理工学部・助教

研究者番号：60583797

研究成果の概要（和文）：

本研究では、模型実験と模型実験に対する数値解析、実現場の施工条件を取り入れた数値解析を行い、未固結地山に小土被りトンネルを掘削する際、脚部補強パイル工の地盤・トンネル沈下抑制効果について検討し、長さ・設置位置・設置角度など主要なパラメータがその効果に及ぼす影響と、そのメカニズムについて議論した。また、現場で脚部補強パイル工と数多く併用されている事前地山改良工の効果について検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

A simplified model experiment and numerical analyses have been carried out to investigate the effect of the foot reinforcement pile on preventing settlements of ground and tunnel, that occurring in shallow NATM tunnel excavation. Specifically, the influence of the length, installation position and the installation angle of the piles were discussed in this study. Moreover, the effect of pre-ground improvement method, which used together with foot reinforcement pile in the actually field, has also been discussed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,240,000	372,000	1,612,000
2011 年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：地盤工学

キーワード：トンネル掘削・地盤沈下・脚部補強パイル・未固結地山・小土被り

1. 研究開始当初の背景

従来、未固結地山に小土被りトンネルを建設する際、開削工法やシールド工法が使用さ

れてきたが、近年では支保パターンが多様化や様々な補助工法の開発により、NATM(New Austrian Tunneling Method)が頻繁に採用され

るようになっている。しかしながら、NATMによる未固結地山での小土被りトンネルの掘削には、地表面沈下、切羽の安定性、地下水への影響などの問題が存在する。その中、現場では地盤沈下対策として脚部補強パイル工が使用され、それらが沈下抑制効果を発揮しているという報告がなされている。しかしながら、どのような地形・地質にどのような脚部補強パイル工が適するのかが、脚部補強パイル工をどの程度施工すればどの程度の効果が期待できるかといった定量化された判断指標については、未だ十分な知見が確立されておらず、その使用は試行錯誤的、経験的であるのが現状である。

また、実現場で脚部補強パイル工のほとんどは、地山改良工法など他補助工法と併用されている。脚部補強パイル工が多数採用された東北新幹線や北陸新幹線の延伸工事区間では、未固結地山において小土被りトンネルを建設する際、地盤沈下を防ぐため、トンネルを掘削する前に地上からトンネル周辺部分を改良してから(以下地盤改良工と称する)掘削を行った。このように地山改良工法と併用する場合においても、脚部補強パイル工の地盤沈下抑制効果の変化とそのメカニズムを解明する必要がある。

多様な地形に対応でき、また経済的であることから、未固結地山でのNATMを用いたトンネル掘削は、さらに増加するものと考えられる。安全面、経済面でも優れたトンネルを施工するため、また上で脚部補強パイル工の汎用性を高めるためには、信頼性の高い設計・施工基準を確立する必要がある。

2. 研究の目的

多様な地形に対応でき、また経済的である理由から、NATMを用いたトンネル掘削事例が増加しつつある。NATMを用いた未固結地山での小土被りトンネルの掘削には、地表面沈下、切羽の安定性、地下水への影響などの問題が存在する。その中、現場では地盤沈下対策として様々な脚部補強パイル工が使用され、それらが沈下抑制効果を発揮しているという報告がなされている。しかしながら、脚部補強パイル工はその作用メカニズムが十分解明されておらず、その使用は試行錯誤的、経験的であるのが現状であり、統一的な設計基準の提案が急務となっている。これらの背景から、本研究では脚部補強パイル工の地盤沈下抑制効果について、その有効性・メカニズムを検証し、弾塑性理論に基づいた設計方法の提案を目的とする。

3. 研究の方法

先述の研究目的を達成するため、①模型実験による脚部補強パイル工の地盤沈下抑制効果の確認、②数値解析による実施工におい

ての脚部補強パイル工の効果の確認、③模型実験による地山改良工法と併用する場合、脚部補強パイル工の地盤沈下抑制効果の把握、④数値解析による実現場において地山改良工法と併用時脚部補強パイル工の効果の確認、⑤設計基準の提案などの計画で研究を進める。

①②により、脚部補強パイル工を単独に使用する場合の地盤沈下抑制効果と各パラメータの影響およびそのメカニズムを明確にする。③④により、他補助工法と併用する場合、脚部補強パイル工の効果の変化とその原因を明らかにする。⑤では、上述の研究結果および今までの研究成果をまとめ、現場での計測データと参考し、現場で適用可能な脚部補強パイル工の設計基準の提案を行う。

4. 研究成果

(1) H22年度

H22年度は主に、パイルを水平方向に設置するサイドパイル工を対象に、実際のトンネル掘削過程を模擬する数値解析を行った。図1に解析の対象領域を示す。

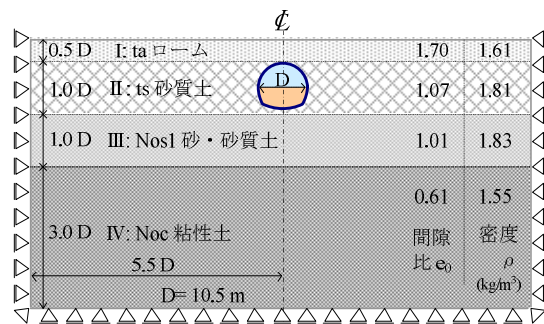


図1 解析領域

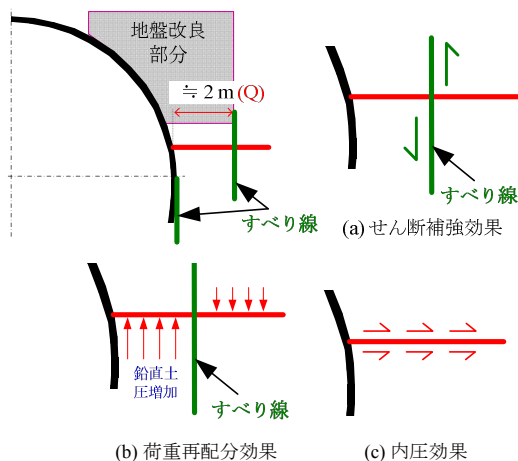


図2 サイドパイル工の効果

具体的には、地山改良工法との併用の有無の両パターンに対し、パイルの長さ、設置位置などが地盤およびトンネルの沈下に及ぼす影響について検討した。その結果、サイド

パイ工の効果はトンネル掘削により生じるすべり線の位置に大きく関連することが分かった。地山改良の有無にかかわらず、サイドパイ工は覆工からすべり線までの距離より長くなると、せん断補強効果および荷重再配分効果を発揮し(図2)、地盤およびトンネルの沈下を抑制することができる。また、図3に示すように、パイ工が長くなるほどその効果は大きくなり、一定の長さに達するとその効果は頭打ちになる結果が得られた。

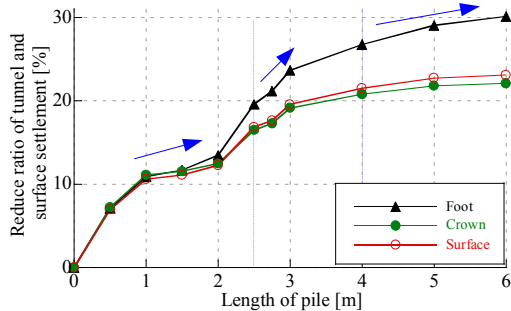


図3 長さが沈下抑制効果に及ぼす影響(改良あり)

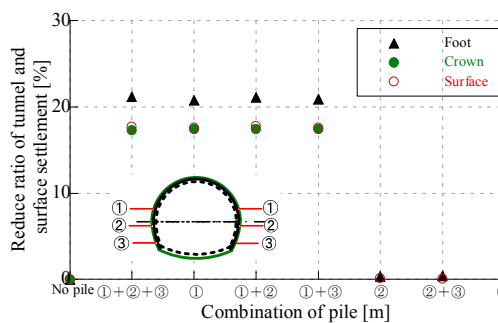


図4 設置位置による各沈下量の差異(改良あり)

設置位置に対する検討結果では、図4に示すようにサイドパイ工の設置による地盤とトンネルの沈下抑制効果のほとんどは、上半掘削時に設置するパイ工により得られることが分かった。すなわち、下半に設置するサイドパイ工はほとんど効果を発揮せず、設置する必要がないと判断できる。これは、トンネル掘削により発生する沈下の大部分が上半掘削時に発生するためであると考えられる。

また、地山改良工と併用する場合と比べ、単独に使用するほうがより大きい地盤沈下抑制効果が得られることが分かった。これは、地山改良工を併用しない場合、非常に大きい地盤とトンネルの沈下が発生するため、相対的に効果が大きくなったような結果になったと考えられる。

(2)H23 年度

H23 年度は、トンネルの掘削過程を模擬できる覆工模型を開発し、模型実験により脚部補強パイ工の効果について検討した。また、

実トンネルの掘削過程を模擬した数値解析を行い、脚部補強パイ工と頻繁に併用されている事前地山改良工の効果とそのメカニズムについて検討を行った。



写真1 トンネル掘削模擬装置

模型実験では、断面を縮小することでトンネル掘削による地盤の緩みを再現できるトンネル覆工模型を開発した。同模型をアルミ積層体による模擬地盤に設置した後、徐々にその断面を縮小させることでトンネルの掘削過程を再現し、脚部補強パイ工の長さ、設置位置、設置角度、材料剛性等が地盤およびトンネルの沈下に及ぼす影響について調べた。結果、脚部補強パイ工が長いほど、設置位置が低いほど、設置角度が大きいほど、材料剛性が大きいほど地盤とトンネルの沈下が大きく抑制されるという、数値解析と同じ傾向が確認できた。

一方、脚部補強パイ工は事前地山改良工と併用される場合が多く、脚部補強パイ工の設計方法を提案するためには、事前地山改良工の効果とそのメカニズムも明確にする必要がある。そこで本研究では、現場で実際に採用された様々な改良パターンの効果について検討し、改良深さ、改良幅等がその効果に及ぼす影響について調べた。結果、事前地山改良工は、周辺地盤の強度増加、せん断補強効果、荷重再配分効果等を発揮することで地盤沈下を抑制でき、その効果は改良深さと幅が増加するにつれ高くなることが分かった(図5)。さらに、同じ改良範囲を考慮した場合は、深さを増やすほうがより高い効果が得られるという結論を得た。

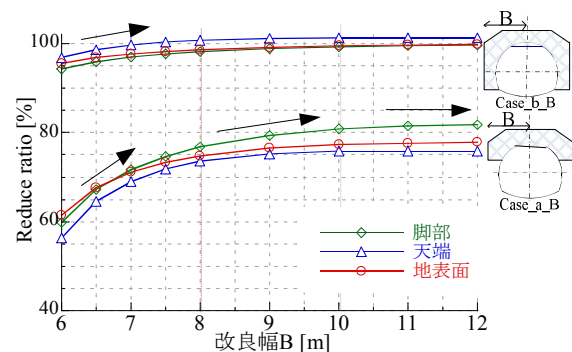


図5 改良幅が地盤・トンネル沈下に及ぼす影響

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Ying Cui, Kiyoshi Kishida, Makoto Kimura, Tomomi Iura and Masaichi Nonomura: Effect of Ground Improvement Method on Control of Ground Subsidence Occurring in Shallow NATM Tunnel Excavation, Proceedings of World Tunnel Congress 2012, 査読有, vol.38, 2012, 385-386.
- ② Yurie Hirasaka, Ying Cui, Kiyoshi Kishida and Makoto Kimura: Experimental Study on Mechanical Behavior of Shallow Overburden Tunnel in Improved ground, Proceedings of the 24th KKCNN Symposium on Civil Engineering, 査読無, vol.24, 407-410.
- ③ Ying Cui, Kiyoshi Kishida and Makoto Kimura: Surface settlement maintenance using FRSP during tunnel excavation, The 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 査読有, vol.14, 2011, p252.
- ④ Ying Cui, Kiyoshi Kishida and Makoto Kimura: Maintaining ground subsidence with FRSP during shallow overburden tunnel excavations, overburden tunnel excavations, The 13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, 査読有, vol.13, 2011, 1043-1048.
- ⑤ Ying Cui, Kiyoshi Kishida and Makoto Kimura: Analytical study on the control of ground subsidence arising from the tunnel excavation progress using foot reinforcement side pole, Proc. of The Twenty-Third KKCNN Symposium on Civil Engineering, 査読無, vol.23, 2010, 363-366.

[学会発表] (計 3 件)

- ① 崔瑛, 岸田潔, 木村亮, 野々村政一, 井浦智実: 未固結・小土被り地山でのトンネル掘削における適切な改良深さに関する解析, 第 66 回年次土木学会学術講演会, 松山市, 2011.9.7.
- ② 平坂友里恵, 水野雄大, 崔瑛, 岸田潔, 木村亮, 野々村政一, 井浦智実: 小土被りトンネル掘削における地盤改良効果の実験的検討, 第 46 回地盤工学会研究発表会講演集, 神戸市, 2011.7.6.
- ③ 崔瑛, 岸田潔, 木村亮, 野々村政一, 井浦智実: 小土被り地山でのトンネル掘削における適切な地山改良幅に関する解析的検討, 第 46 回地盤工学会研究発表会講演集, 神戸市, 2011.7.6.

[その他]

ホームページ等

<http://civil.meijo-u.ac.jp/lab/cui/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

崔 瑛 (CUI YING)

名城大学・理工学部・助教

研究者番号: 60583797