

鋼製段差継手セグメントを使用した供用中の鉄道トンネルの内部補強工事

清水建設株式会社土木横浜支店 正会員 ○神保 誠二
 横浜高速鉄道株式会社工務部施設課 杉山 伸康
 日本シビックコンサルタント株式会社 正会員 蘭 康則

1. はじめに

トンネル補強工事は、みなとみらい線のシールドトンネルにおいて一部に変状が確認されたことをうけ、トンネル上部の土地利用計画による上載荷重の増加ならびに首都直下型地震に備えるための恒久的な対策工事である。補強工事は、高圧噴射攪拌工法による外部補強工と、変状の大きい区間に対する鋼製段差継手セグメントによる内部補強工からなっている。本報告はこれらの補強対策工のうち、鋼製段差継手セグメントを使用した内部補強工について述べる。

2. 工事概要

本補強工事は、平成24年9月から平成27年3月までの2年半にわたって施工した。供用中のトンネル内部に鋼製段差継手セグメントを組み立て、トンネル構造物と鋼製段差継手セグメントとの間で応力を伝達する目的である、脚部コンクリートおよび裏込モルタルを打設するものである。

3. 内部補強工概要

将来的な地上改変によって作用すると想定される荷重からトンネルを防護する目的で、外部補強工を実施した。一方、現状では安全性は確保しているものの、変状が大きい一部区間では、より高い安全性を確保するための内部補強工を実施した。内部補強工の目的は、トンネルの覆工が終局状態に達する荷重（終局荷重）が現況荷重に対して安全率 $F_s=1.5$ を確保する補強を行うことである。補強構造は、既設トンネル覆工の内側にさらに覆工体を設置して二重リング構造とし、二重リングの全体で安全率 1.5 を確保する構造である。内部補強工の設計荷重は、現況荷重が工事開始前のトンネル変形量から $P=137\text{kN/m}^2$ と推定されたことから、 $P=70\text{kN/m}^2$ とされた。

4. 施工方法検討

コンクリート構造物による内部補強は、限られた線路閉鎖時間内の施工で打継ぎ目に不具合が発生する懸念がある。このため、一様な品質が期待できる二次製品である、鋼製段差継手セグメントを使用した施工方法を採用した。このセグメントは、セグメント継手が階段状になっており、一方のセグメント継手が凸の形状を、他方のセグメント継手が凹の形状を有し、それぞれが嵌合することにより隣接するリングとイモ継ぎにならず、かつ高い剛性が得られるという特徴がある。（写真-1）

内部補強の形状は、1ピースの幅が225mmである鋼製段差継手セグメントを4ピース並べたものを1段とし、それをトンネル周方向に33段組み合わせることで、幅900mmの補強部材1リングとなる構造とした。シールドトンネルを構成する既設覆工幅（1,200mm）の中央部分に配置して補強する構造として設計した。

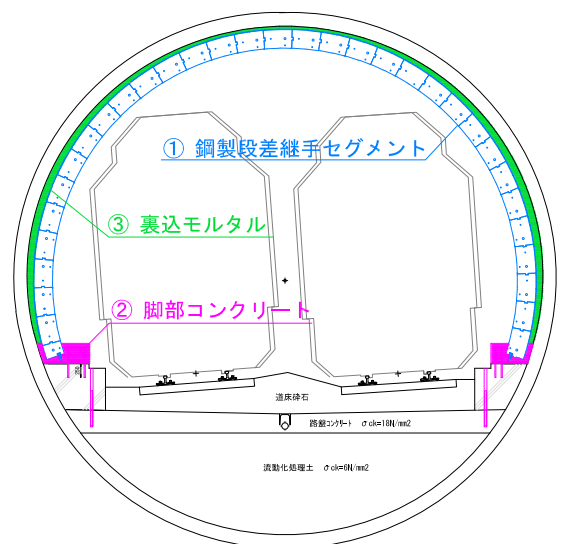


図-1 内部補強工断面図

5. 工場検査および組立試験施工

鋼製段差継手セグメントを本工事に適用するに際し、強度・剛性および組立形状が要求性能を満たしている事を確認するため、工場検査を実施した。強度および剛性については、仮組したセグメントに設計荷重相当を載荷し、弾性変形範囲内であること、目標とするたわみ量以内であることを確認した。組立形状試験は1リング33段の仮組

キーワード 鋼製段差継手セグメント、営業線地下鉄トンネル、補強工事、試験施工、外部補強

連絡先 〒231-0041 神奈川県横浜市中区吉田町 65 番地の 7 清水建設土木横浜支店土木部 045-253-2280

を行い、寸法誤差が管理基準値内であることを確認した。

また、計画している仮設備および特殊機械による施工の実現性を確認するため、実物大の模擬トンネルを作成して組立試験を実施した。その結果、改善点はあるものの、1リングの組立が可能であることが確認できた。

6. セグメント組立工

組立方法は、最下段部に1段分を組み立ててそれをジャッキにて持ち上げ、その下にさらに1段分組み立てて持ち上げるという手順でリングの両脚からせり上げ、天頂部で閉合する方法を採用した。閉合する前の過程では、組み立てたセグメントが自立しない不安定な状態となる。このため、既設トンネルにアンカーを打設して組立途中のセグメントの落下を防止するガイドレールを設置し、レール上に沿わせて組立を行った。

トンネル内でのセグメントの組立は、線路閉鎖時間内の約180分間の間で施工を行った。この間に足場の組立解体、資材の運搬、片付けおよび跡確認を行うため、セグメント組立の実作業時間は約100分間であった。1日の作業では平均して、両脚からそれぞれ4段の組立を行った。33段分の組立および閉合作業、ジャッキなどの仮設物の移動を含めたサイクルタイムは、1リングあたり6日程度であった。

7. 脚部コンクリート工

鋼製段差継手セグメントの脚部と既設トンネルとの界面には、水平方向の応力を伝達する脚部コンクリートを打設した。セグメントからの水平分力は、最下段のピースに設置したボルト鋼材を介して伝達し、既設トンネルに打設したあと施工アンカー、鉄筋、および無収縮モルタルにて既設トンネルと閉合させる構造とした。

8. 裏込モルタル工

既設トンネルと鋼製段差継手セグメントの間には、無収縮モルタルを充填した。営業線内での施工となるため、大量のモルタルの漏れや、営業時間内の滴下を発生させることはできない。このため、使用した材料には、高いチクソトロピー性を有する空隙充填用グラウト材を採用した。この材料は通常の無収縮グラウトのように自然に流れることはなく、ポンプ等の圧力が作用するときだけ流動するという特性を持つ。漏れが発生した場合でも、ポンプの吐出を停止すれば漏れはとまり、打設完了後に漏れ出す事もないという材料である。

選定材料の適合性、およびモルタル充填の実現性を確認するため、組立試験を実施した模擬トンネルにて、充填試験を行った。その結果、一部ポンプ吐出中の棲枠からの漏れがあったものの、天端部までの充填を確実に行うことが確認できた。また、頂部と側部とに2分割して充填することが有効であることも確認できた。

トンネル内での充填作業は、ペール缶およびハンドミキサーにて混練を行い、モルタルポンプにて圧送した。充填試験で漏れが生じた棲枠部は、サポート材で補強を行い、トンネル内に大きな漏れを発生させることなく、無事充填が完了できた。

9. まとめ

供用中の鉄道トンネル内で、鋼製段差継手セグメントを使用した内部補強工事を行った。その結果、限られた線路閉鎖時間内に、列車の運行支障を生ずることなく、補強工事を完了することができた。



写真-1 鋼製段差継手セグメント



写真-2 セグメント組立状況