

補強対策工の選定要素として、トンネル内の断面が狭隘で、建築限界にあまり余裕がないことがあった。さらに、曲線区間において幅員が0.6m拡幅され、その摺付け区間に位置していることや平面線形の曲率が比較的小さくなっていた。このため、当初、対策工としては陥没帯充填工および緩み域の地山注入工を想定した。しかし、地山注入工は全体工事費が高く、工事の実施にあたっては足場工や架設モノレールなどの仮設備の設置・撤去が追加で必要となると考えられたため、補強対策工法の見直しが行われた。

追加検討された補強対策工は、トンネル内からの薄肉の補強対策工で、冬期間における雪荷重を含めた緩み荷重がトンネルに作用してもトンネル本体に対する影響を与えない考え方に基づいて、薄肉鋼製補強工および部分薄肉化PCL工法の2つの工法が新たに比較検討された。

比較検討は各工法の長所・短所のほか、施工時の一般車両に対する影響、経済性（工事費、維持管理費）、安全性、仮設計画などに対して実施された。その結果、部分薄肉化PCL工法は他工法に対して歩道（内空）の縮小度合は最も大きくなるが経済性では最も優れ、また、歩道縮小の問題においても当該トンネルは歩道の利用者は稀であること、トンネル付近にあるスノーシェッドには監査路はあるが歩道は設置されていないことなどから工法選定上大きな問題ではないと判断され、部分薄肉化PCL工法が選定された。

3. 部分薄肉化PCL工法の概要

「部分薄肉化PCL工法」は、従来からトンネルの補強対策等で用いられている「PCL工法」を基本に、内空断面に余裕がないトンネルに対する補強対策として土木研究所とPCL協会4社との共同研究により改良・開発されたものである。

PCL工法および部分薄肉化PCL工法の概要を以下に示す。

3.1 PCL工法

PCL（Precast Concrete Lining）工法は図-4に示すように、頂部継手部1ヶ所および側壁との接続部左右2ヶ所にヒンジ構造を有する構造である。具体的には、トンネルのスプリングラインを

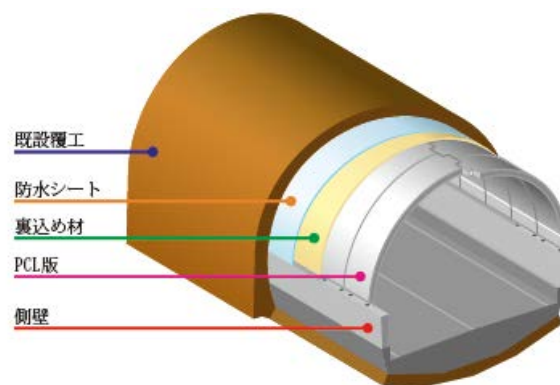


図-4 PCL工法基本構造図

基準として、下半部を現場打ちコンクリートの側壁とし、上半部を覆工コンクリートの内面に漏水防止処置として防水シートを貼り付けた後、2分割を基本としてPCL版を架設する。次に防水シートとPCL版の空隙部にエアモルタルなどの裏込め材を注入して完成となる。PCL工法は、の主な特徴としては以下がある。

- (1) PCL版は厳密な品質管理のもとで工場生産される高品質な製品である。
- (2) 専用の架設機械を使用することにより、工期が短縮する。
- (3) 一時的な車線規制を伴うものの交通解放下での施工が可能である。
- (4) 既設トンネルとの取合いは側壁部のみであり、準備工事が比較的容易である。

3.2 部分薄肉化PCL工法

変状の見られるトンネルには建築年次が古く内空断面に余裕がない場合がある。このような条件で圧縮力に効果のある補強工法の一つとして円弧上のプレキャストコンクリート版を設置するPCL工法を採用しても盤下げを行ってトンネル肩部の建築限界を確保することが必要となる場合がある。そのような制約があっても年々老朽化が進むトンネルを適切に維持管理するための補強技術対策として開発されたのが部分薄肉化PCL工法である。本工法は、図-5に示すように、特に内空断面に余裕がなく、補強後の断面では建築限界が確保できない場合を想定し、当該部分（主にトンネル肩部）に超高強度繊維補強コンクリートを用いて部分薄肉したプレキャストコンクリート覆工版であり、既設路面の盤下げをすることなく建築限界を確保して補強することが可能な工法である。

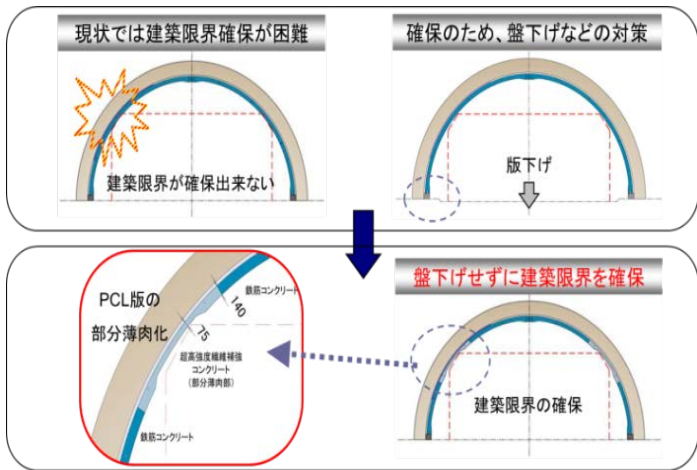


図-5 部分薄肉化PCL工法の概要

3.3 実験による性能確認

部分薄肉化PCL版の性能確認を目的として、土木研究所の実物大規模の覆工載荷試験装置を用いて覆工コンクリートの補強実験を行いその効果を確認した。覆工部に緩み荷重の作用を想定した載荷形式では、あらかじめ場所打ちコンクリート覆工に損傷を与えた後に、内側に部分薄肉化PCL版を設置して覆工との隙間に裏込め材を注入した状態で載荷試験を行った。その結果、部分薄肉化PCL版を設置した損傷覆工の耐荷力（最大荷重）は、損傷がない覆工の耐荷力が2,043kNであるのに対して1.93倍の3,945kNまで増加し、十分な補強効果があることを確認した（写真-1）。



写真-1 覆工載荷試験状況

4. 現場への適用

今回、田代トンネルにて施工された部分薄肉化PCL工法の適用概要を以下に示す。

4.1 部分薄肉化PCL版の仕様・工事概要

PCL版の断面決定にあたっては荷重条件を通

常のPCL版の自重、裏込め注入圧に加え、緩み荷重（雪荷重も含めて13.3m相当）を考慮した結果、標準部140mm、部分薄肉部75mmとした。また、補強区間は、図-6に示すような曲線区間となっているため、曲率に合わせてPCL版の形状・寸法を変化させた。図-7に補強区間断面の一例を示す。施工は図-8に示すフローに従って行った。

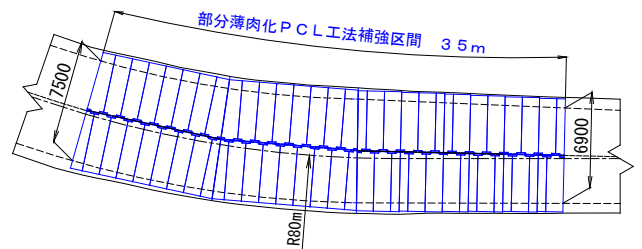


図-6 補強区間平面図

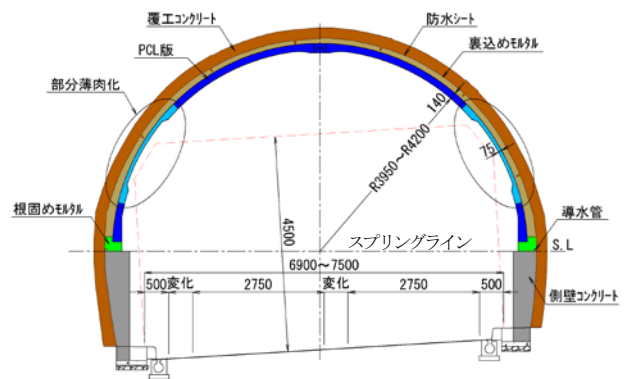


図-7 補強区間断面図

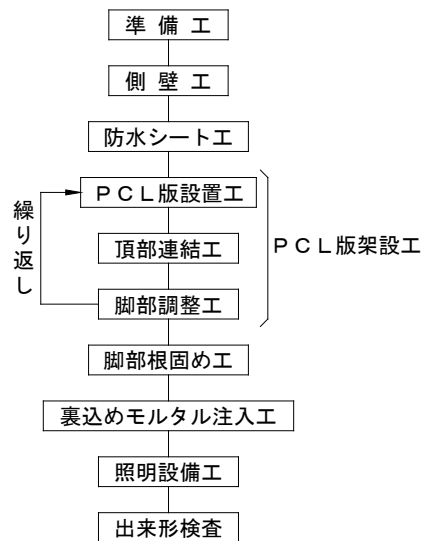


図-8 施工フロー

4.2 PCL版架設工

PCL版の架設方式はトンネル周辺の状況、PCL版の重量・数量、および経済性などを考慮

して自走式専用架設機械方式を採用した。施工条件は夜間作業（夜間全面通行止め、昼間全面交通開放）で実施した。その結果、PCL版の数量64枚（最大重量2.9t）の設置工の施工は9日間で完了することができた。

PCL版架設工の流れは下記のとおりである。

- (1) トンネル外の坑口付近でPCL版運搬車両から直接架設機械で荷取を行い所定の架設場所に移動する（写真-2, 写真-3）。
- (2) PCL版を所定の位置に設置する（写真-4）。
- (3) 頂部をボルトで連結する（写真-5）。
- (4) 脚部の高さ、幅員方向の位置などを調整して（写真-6）、PCL版と架設機械の連結を外す。
- (5) 連結金具で脚部を固定する（写真-7）。



写真-2 PCL版荷取り

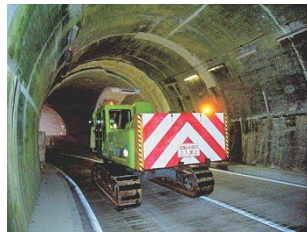


写真-3 トンネル内移動



写真-4 PCL版設置



写真-5 頂部連結



写真-6 脚部調整



写真-7 連結金具固定

5. まとめ

紹介した施工事例は建築限界に余裕がないこと、断面が拡幅していることに加え平面線形の曲率が小さい道路トンネルの補強をプレキャスト覆工版で行うという工事のため製造、施工において難しい工事になることが予想された。特に施工は夜間施工のため施工性の低下が心配されたが、全面通

行止めでの施工であったことや周辺の作業環境が比較的良好であったことも影響して、1日当たりトンネル延長で4.0m～5.0mのPCL版架設を行うことができた。また、出来形においても部分薄肉化PCL工法を採用したことで建築限界を確保することができた（写真-8）。施工から約3年が経過した現在においても、特段の変状等の発生は確認されていない。

本施工事例から部分薄肉化PCL工法は内空断面に余裕のないトンネル補強に対して有効な工法であることが確認できた。

最後に、本稿の執筆にあたり貴重な資料等を提供いただいた新潟県柏崎地域振興局地域整備部の関係各位に深甚の謝意を表します。



写真-8 部分薄肉化PCL工法工事完了

参考文献

- 1) PCL協会：PCL工法技術マニュアル、平成20年4月
- 2) (独)土木研究所つくば中央研究所基礎道路技術研究グループ、石川島建材工業株式会社、日本コンクリート工業株式会社、日本サミコン株式会社、ジオスター株式会社：部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法に関する共同研究報告書、平成18年3月

石村利明



(独)土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループトンネルチーム 総括主任研究員
Toshiaki Ishimura

夏目岳洋



PCL協会、技術部会技術委員
Takehiro Natsume