

3 分割型プレキャスト覆工の耐荷力に関する実験的検討

戸田建設株式会社 正会員 ○巽 義知 今村新吾
西松建設株式会社 正会員 山本悟 非会員 守田貴昭
ジオスター株式会社 正会員 駄原剛弘 谷口哲憲
国立研究開発法人土木研究所 正会員 小泉 悠 菊地浩貴

1. はじめに

山岳トンネルにおける標準部の覆工コンクリートには、設計厚 30cm、一軸圧縮強度 18N/mm² の現場打ち無筋コンクリート（以下、従来覆工）が一般的に採用されている。従来覆工は、各種の品質向上対策が行われているが、目地部でのうき・はく離や漏水等の不具合発生は完全には防ぎきれていない。また、狭隘な空間での打設作業が生じることや脱型までに時間を要する等、生産性を向上させるには限度がある。それら課題を抜本的に解決するため、筆者らのグループは、新たな覆工構造としてプレキャスト覆工（以下、PCa 覆工）に着目して具体の構造を開発中であり¹⁾、(国研) 土木研究所との共同研究で PCa 覆工の現場適用に必要な耐荷性能の検証を進めている。PCa 覆工の耐荷性能は従来覆工と同等以上であることが必要と考えられ、その検証は継手を含めた構造全体の耐荷力で評価するのが合理的と考えられる²⁾。本報告では、開発中の PCa 覆工について、実大規模の覆工載荷実験を行い、その結果と過去に実施した従来覆工の実験結果³⁾とを比較し、同等以上の耐荷性能を把握した結果を報告する。

2. 載荷実験概要

実験装置および供試体の概要を図-1 に示す。実験装置には最大荷重 2000kN の油圧ジャッキ 17 台が 10° ピッチで反力壁に設置されている。各ジャッキは荷重制御、変位制御、バネ化制御での載荷が可能である。実験手順は、従来覆工の実験³⁾と同様に、まず予備載荷として全ジャッキ荷重制御で 40kN まで載荷し、供試体に軸力を導入した。その後、本載荷として、天端からのゆるみ土圧を想定し、80、90、100° 位置のジャッキを 5:8:5 の比で内空側へ段階的に強制変位させた。このとき載荷以外のジャッキはバネ化制御とし、地山側への変形のみを一定のバネ定数で拘束することで地山を模擬した。なお、バネ定数は約 400kN/mm（地山等級 D I 相当）とした。計測項目は、各ジャッキの反力、ストローク量、供試体内外面と上面のひずみ量等とした。また、各段階の載荷後に目視で供試体表面のひび割れ状況等の観察・記録を行った。

3. PCa 覆工の概要

本実験で用いた PCa 覆工の供試体は、厚さ 17cm、呼び強度 50N/mm² の鉄筋コンクリートである（図-1, 2）。形状は上半部分の想定で半円形とした。3 分割の構成で、継手の位置は、従来覆工の実験³⁾で曲げモーメントが最大となり、覆工の応力への影響が大きいと考えられる 110° と、そこから 90° ずらした 20° とした。継手はボルト接合であり（図-3）、ボルトは手締め程度の力（ボルト軸力 20kN 導入程度）で締め付けた。供試体の物性値を従来覆工のもの³⁾を含めて表-1 に示す。なお、表中の物性値は別途作成した円柱供試体での試験結果である。一軸圧縮強度と呼び強度の比は両実験とも 1.4 程度であった。

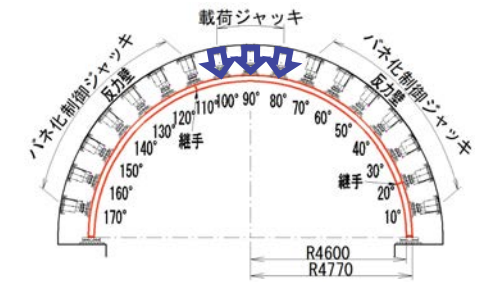


図-1 実験装置および供試体概要図

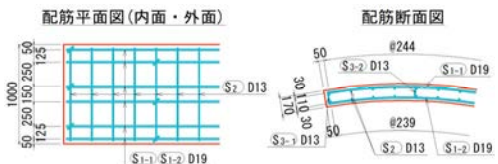


図-2 配筋図

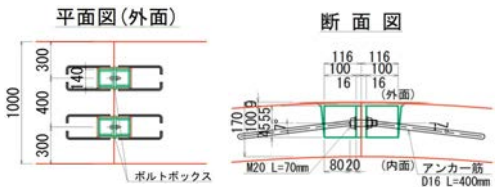


図-3 継手詳細図

表-1 供試体の物性値

項目	単位	case1 (従来覆工)	case2 (PCa覆工)
覆工厚	mm	300	170
呼び強度	N/mm ²	18	50
一軸圧縮強度	N/mm ²	25.4	68.0
一軸圧縮強度／呼び強度		1.4	1.4
引張強度	N/mm ²	-	3.88
弾性係数	N/mm ²	19307	36480
ポアソン比	-	0.15	0.19

キーワード：山岳トンネル、覆工コンクリート、プレキャスト、耐荷力

連絡先 〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-9-1RBM 東八重洲ビル 6F 戸田建設(株)技術研究所 TEL:03-3535-2641

4. 実験結果

過去に実施の従来覆工の実験³⁾を case1, 今回実施の PCa 覆工の実験を case2 として結果を以下に示す. 図-4 に荷重(載荷ジャッキの合計値)と天端部の変位の関係を示す. 最大荷重は, case1 が約 2400kN に対し, case2 は約 2500kN であり, case1 と同等以上の耐荷力を示した. 最大荷重までの過程では, 両ケースとも最大の 3 割以下の荷重で天端内面, 肩部外面の順に引張りひび割れが発生し, また, 同様の割合で変位にほぼ比例して荷重が増加した. 荷重が増加すると case1 は天端外面, 肩部内面の順に圧縮破壊が生じ最大荷重に達した(荷重の低下が確認された時点で除荷). 一方, case2 は, 天端外面は圧縮破壊せずに, 荷重が第 1 ピークに達して左側肩部の 110°継手部内面が圧縮破壊し, さらに荷重が増加して第 2 ピークに達した後, 110°継手部付近の全面が破壊した(写真-1). case1 の最大荷重時と case2 の第 1 ピーク時のひずみ分布を図-5 に示す. 両ケースとも, 天端外面, 肩部内面に -1000μ 超の圧縮ひずみが, 内外反対面に 1000μ 超の引張りひずみが生じ, 他の部分は -500μ 前後の圧縮ひずみが生じた. 肩部内面を詳細に見ると, case1 では両側でほぼ均等に -3500μ 前後の圧縮ひずみが生じたのに対し, case2 では右側肩部が約 -3000μ , 左側肩部が約 -2000μ と左右差が生じ, 継手がある左側肩部の方が小さい値を示した. 継手部分がヒンジに近い状態となり, 付近の曲げ圧縮ひずみが減少したことが考えられる. ただし, 左側肩部内面は, -2000μ を超過して, 前述の通り, 圧縮破壊が生じ, さらに荷重が加わると, 左側肩部全面が破壊した.

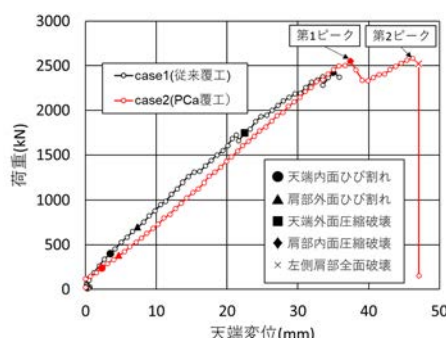


図-4 荷重変位関係



写真-1 110° 付近破壊状況

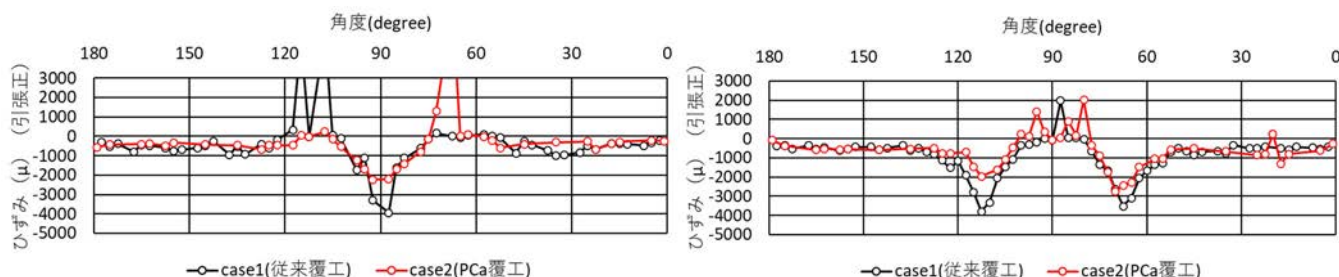


図-5 ひずみ分布 (左: 外面 右: 内面)

5. まとめ

PCa 覆工の載荷実験では, 従来覆工で曲げモーメントが最大となる部分に継手を配置し, 覆工の応力への影響が大きいと考えられる条件として実験を行った. その結果, 筆者らのグループで開発中の 3 分割型の PCa 覆工は従来覆工と同等以上の構造全体の耐荷力を示した. 山岳トンネルにおける標準部の覆工への適用の可能性を示したと考える. 最大荷重までの過程では, 圧縮破壊する順序や, ひずみ分布において従来覆工との違いが確認された. ひずみ分布については, PCa 覆工の内面は左右差が生じ, 継手がない右側肩部は約 -3000μ の, 継手がある左側肩部は約 -2000μ の圧縮ひずみとなった. 継手部分がヒンジに近い状態となり, 付近の曲げ圧縮ひずみが減少したことが考えられた. ただし, 左側肩部内面は -2000μ を超過して圧縮破壊が生じ, さらに荷重が加わると左側肩部全面が破壊して構造全体の耐荷力は失われた. 継手部の回転バネ定数や, 破壊に至るメカニズム等は今後明らかにしていきたい.

参考文献

- 1) 佐藤幸三, 石山宏二, 我彦聡志, 岡井崇彦, 浅野均, 中林雅昭, 山田勉, 請川誠, 小高武: 山岳トンネル覆工コンクリートのプレキャスト化, 第 74 回年次学術講演会, VI-424, 2019.9
- 2) 菊地浩貴, 日下敦, 砂金伸治, 佐々木亨, 巽義知: 山岳トンネルにおける覆工の耐荷性能の評価手法の提案, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.78, No.2, p.I1-I15, 2022.
- 3) 石村利明, 砂金伸治, 日下敦: 炭素繊維シートを鋼材により固定した場合のトンネル補強効果に関する実験的検討, 第 72 回年次学術講演会, III-383, 2017.9