山岳トンネルにおけるプレキャスト覆工の変形挙動に関する実験的検討

清水建設株式会社　正会員　○吉武 謙二　鹿島 竜之介
（一社）日本建設機械施工協会　施工技術総合研究所　正会員　真下 英人　井野 裕輝
株式会社 IHI 建材工業　夏目 岳洋

１．はじめに

山岳トンネルにおける生産性向上を目的に分割型プレキャスト覆工の開発を行っている[1]. 本プレキャスト覆工（以下，PCa 覆工）は，トンネル上半 1 リングが 6 つのピースにより構成され，継手にはシールドトンネルで実績のあるワンパス型（ピース間：くさび継手，リング間：ピン挿入型継手）を採用している．一般的に山岳トンネルの覆工は，無筋コンクリート構造であり，新たな構造を採用するに当たっては，耐荷性能や耐久性など覆工に求められる性能の確保が必要となる．そこで，本研究では，開発した PCa 覆工が有する耐荷力や破壊に至る変形挙動を明らかにするために実物大の供試体を用いた載荷実験を実施した．

２．実験概要

供試体は 2 車線の道路トンネルをモデル化した内径 10.60m，高さ 1m の半円形であり，6 ピースの PCa 覆工から構成されている．覆工厚さは継手部で 200mm，一般部で 140mm であり，D13@125mm の複鉄筋構造である（**写真 1**）．載荷はジャッキを 0 から 180°まで 10°間隔に底面から 30cm と 70cm の高さに 2 台設置し，底面はテフロンシートで摩擦を低減した状態で実施した（**写真 2**）．載荷方法は，予備載荷により若干の軸力を導入した後，荷重制御により天端部の 80°から 100°の 6 本のジャッキに等荷重を，さらに 70°,110°の 4 本のジャッキに 80°から 100°の半分の等荷重を与えた．供試体の脚部は，回転および半径方向の滑動が可能で，接線方向は変形を拘束した．計測項目は，載荷荷重，供試体の変位，コンクリートおよび鉄筋ひずみ，継手の目開き，ひび割れ発生状況とした．供試体の載荷時の圧縮強度は 68.9N/mm^2 であった．

３．実験結果と考察

実験終了時の供試体側面のひび割れの状況を**図 1** に，90°ジャッキの平均荷重と変位の関係を**図 2** に示す．ひび割れは 100kN/本付近から覆工内面 85°，95°付近，250kN/本付近から覆工外面 65°，115°付近に縦方向のものが顕著となり，最終的に 350kN/本のときに 95°から 100°付近の部材厚さが薄くなった一般部のコンクリートが圧壊し，構造全体の破壊に至った．なお，ジャッキの載荷荷重 10kN/本は，１本当たりの載荷面積（A＝0.47m^2）を考慮して分布荷重に換算すると 21.5kN/m^2 となり，約 1m 分の土被り高さに相当する．最大荷重時の天端変位量は 48mm であり，トンネル半径に対する変形率は約 0.9%であった．なお，ジャッキ 1 本当たりのバネ定数は位置によって異なり，14～360kN/m であった．構造全体の破壊直前における覆工表面のコンクリートひずみ分布を**図 3** に示す．外面のひずみは，天端

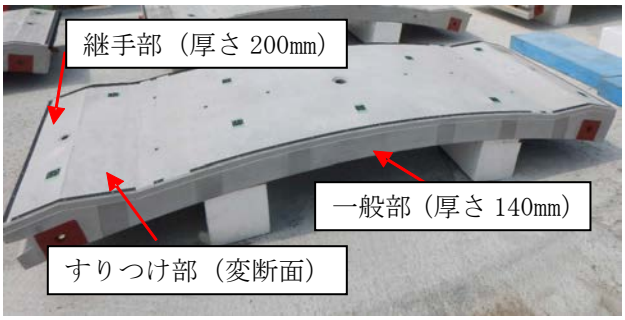

写真 1 覆工 PCa 外観

写真 2 載荷実験状況

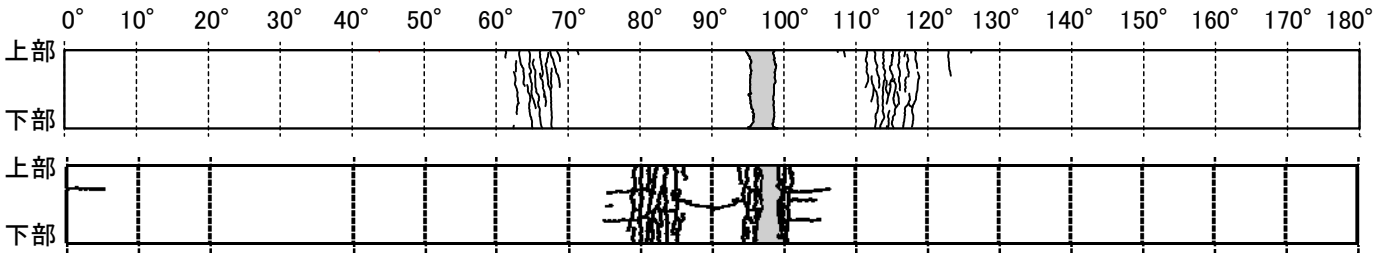

図 1 実験終了時のひび割れ状況（上：外面，下：内面）

キーワード：プレキャスト，覆工コンクリート，山岳トンネル，実物大実験
連絡先　：〒135-8530　東京都江東区越中島三丁目 4-17　TEL　03-3820-5504

© Japan Society of Civil Engineers

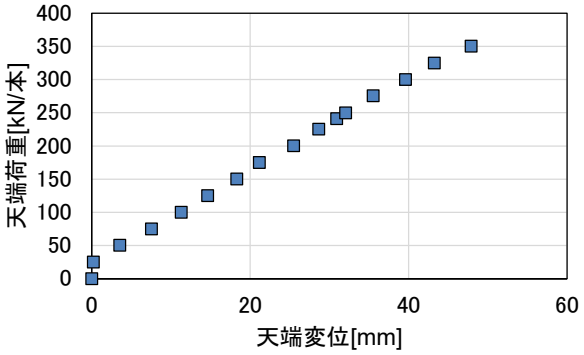

図 2 90° ジャッキの平均荷重と変位関係

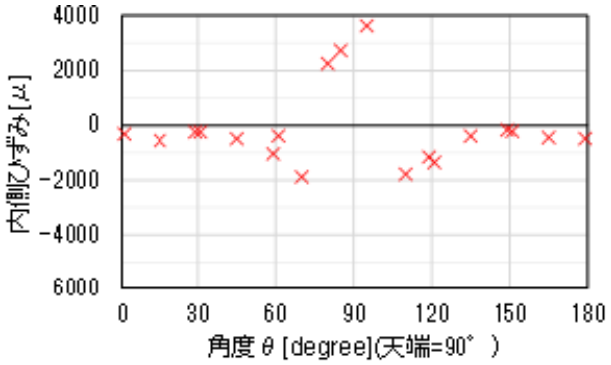

図 3(b) コンクリートひずみ分布(内面)

を挟んだ 80°～85°付近と 95°～100°付近にそれぞれ 3,000μ 程度，5,000μ 程度の圧縮ひずみの集中領域が発生している．天端部の 90°付近は部材厚さが大きいため，天端から少しずれた位置の厚さが薄い断面にひずみの集中領域が発生したものと考えられる．一方，内面のひずみは，70°，110°付近に 2,000μ 程度の圧縮ひずみの集中領域が発生している．**図 4** に 100°における覆工コンクリートの外面のひずみと荷重との関係を示す．圧縮強度が 68.9N/mm^2 のコンクリートの終局ひずみ 2,870μ に達したときの荷重値は 250kN/本であり，終局ひずみ到達後，構造全体の破壊に至るまで若干の余裕がある．なお，100°における鉄筋ひずみは，内面側が引張，外面側が圧縮で，最大荷重時は，内面側が 2,500μ，外面側が 3,000μ，降伏ひずみの 1,945μ に達した時の荷重値は，外面側が 300kN/本，内面側が 250kN/本であった．天端部の継手の目開き量と荷重との関係を**図 5** に示す．継手部の目開きは外面側では閉じ，内面側で荷重の小さい段階で若干開くが，その後はほぼ一定となっており，比較的大きな曲げ剛性を有する挙動を示した．なお，継手部アンカー筋には，最大で 500μ 程度の圧縮ひずみが発生した．以上のことから，PCa 覆工は，天端部からの荷重の作用により天端部付近で内側に，肩部付近で外側に凸となる曲げモーメントが発生し，最終的に圧縮軸力下における曲げ圧縮破壊により，構造全体の破壊に至ったものと考えられる．なお，これ

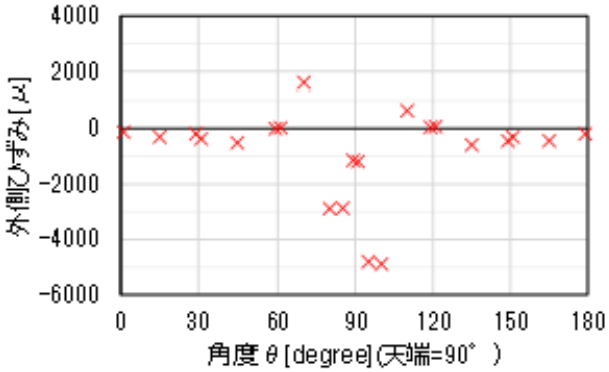

図 3(a) コンクリートひずみ分布(外面)

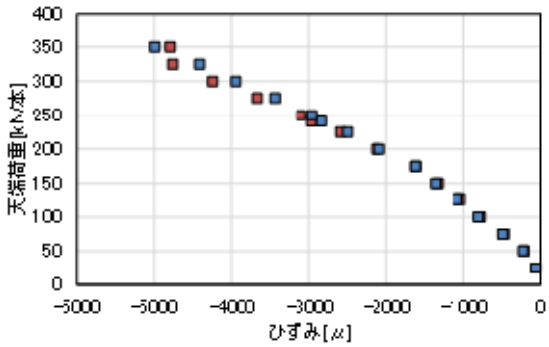

図 4 コンクリートひずみと荷重の関係（100° 外面）

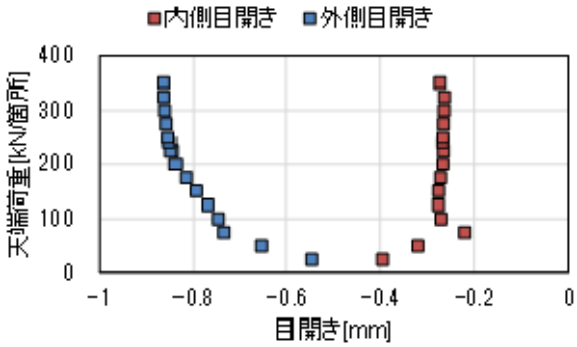

図 5 天端部継手の目開きと荷重の関係

らの曲げ挙動は別途実施したファイバーモデルを用いた非線形解析により，概ね再現されている．

4．まとめ

本研究では，天端から緩み荷重が作用した場合の継手部を含む PCa 覆工の挙動を把握することを目的として実大規模の載荷実験を行い，以下の知見を得た．

・天端部に荷重が作用した場合，今回，実験を行った条件では 350kN/本のときに，天端付近の一般部における曲げ圧縮破壊により構造全体の破壊が発生した．

・天端部の継手は，目開きは微小で，アンカー筋も圧縮状態であり，比較的大きな曲げ剛性を有する挙動を示した．

参考文献

1)真下英人，井野裕輝，鹿島竜之介，夏目岳洋：数値解析による山岳トンネルにおけるプレキャスト覆工の耐荷力の評価，第 30 回トンネル工学研究発表会，I-41，2020

© Japan Society of Civil Engineers