

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数値解析的検討

(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 ○井野 裕輝, 真下 英人
清水建設株式会社 正会員 吉武 謙二, 鹿島 竜之介
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。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の継手（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。これまで山岳トンネルの覆工は，一般的に無筋のコンクリート構造が採用されており，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 覆工の耐荷力を評価する手法として，数値解析手法の適用性を検証することを目的として実物大載荷実験を対象にした数値解析を行った。

2. 解析概要

PCa 覆工を構成する 1 ピースを図-1 に示す。実物大実験では，6 ピースで構成される幅 10.74m，高さ 1m の供試体を使用した。数値解析には，ファイバーモデルによる非線形解析手法を用いた。モデルは一般部と継手部で厚さが異なるため，各断面の図心軸が図-2 に示す幅 10.74m，高さ 5.37m の単心円である。PCa 覆工は水平より $\theta=30^{\circ}$ ， 60° ， 90° ， 120° ， 150° の位置にピース間のくさび継手を有する構造である。ピース間のくさび継手は線形の回転ばねとしてモデル化し，回転ばね定数 k_{θ} は継手曲げ試験結果等の値を参考に 60° ， 120° の位置で $5 \times 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$ ，その他は $10^5 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$ とした。

材料の物性値は，各試験方法の結果を用いた。鉄筋の降伏強度 (f_{yd}) は 389 N/mm^2 であり，コンクリートの圧縮強度 (f'_{ck}) は 68.9 N/mm^2 であった。それぞれの構成則は図-3 に示す。コンクリートはコンクリート標準示方書に準拠した 2 次放物線とし，鉄筋はバイリニア型とした。地盤ばねを模擬したジャッキのばね定数は，実験結果を基に表-1 のように設定した。

載荷は 80° ， 90° ， 100° の位置において半径方向の等荷重を与え，さらに 70° 及び 110° 位置において $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 位置の半分の等荷重を半径方向に与えた。

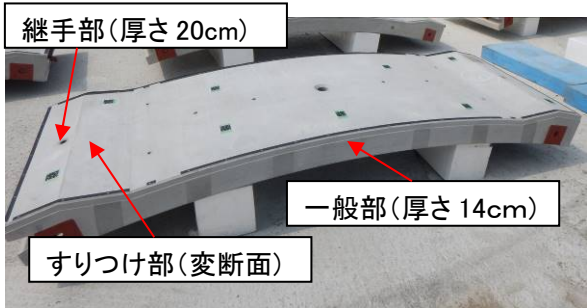


図-1 PCa 覆工

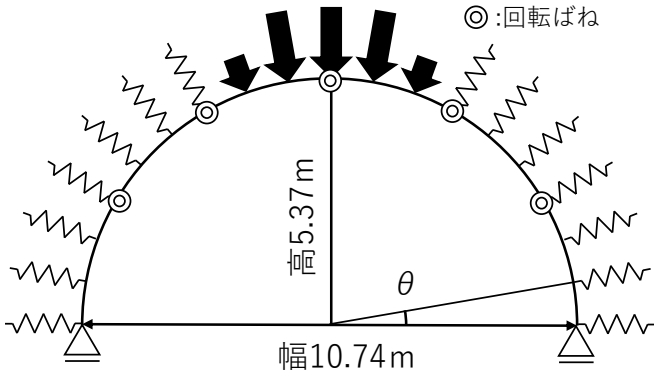
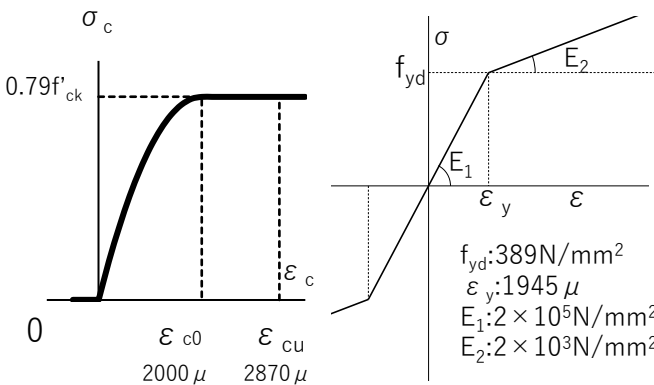


図-2 解析モデル



(a)コンクリート (b)鉄筋

図-3 材料構成則

表-1 各位置のジャッキのばね定数

角度 [°]	0 180	10 170	20 160	30 150	40 140	50 130	60 120
ばね定数 [MN/m]	50	80	105	360	290	45	14

キーワード 山岳トンネル，プレキャスト

連絡先 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3145 (一社)日本建設機械施工協会施工技術総合研究所 TEL 0545-35-0212

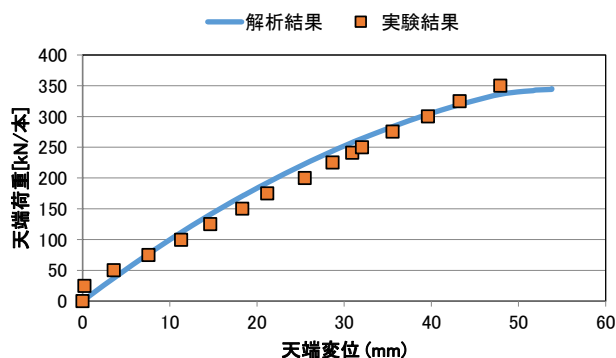


図-4 天端荷重・天端変位関係

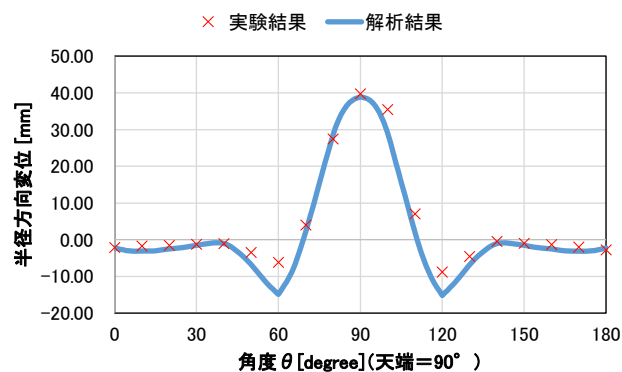


図-5 300kN/本時の変位分布

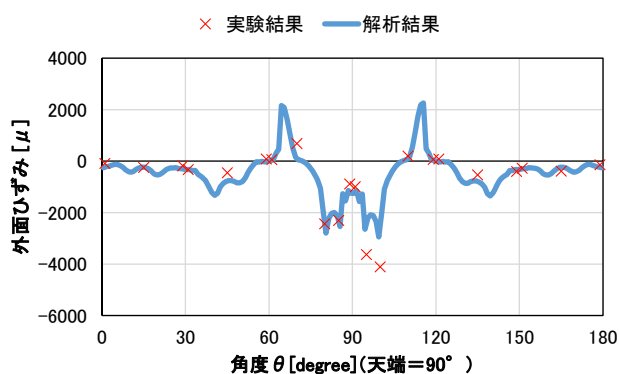


図-6(a) 300kN/本時の外面ひずみ分布

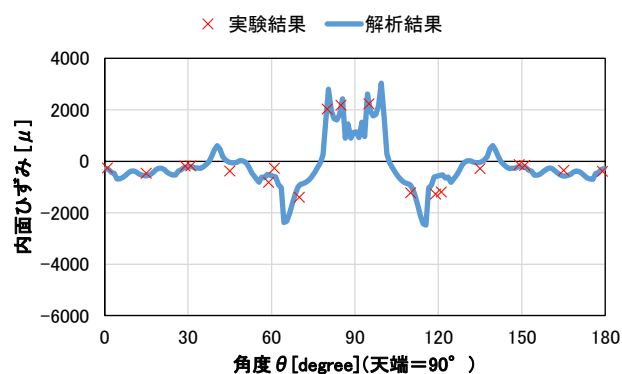


図-6(b) 300kN/本時の内面ひずみ分布

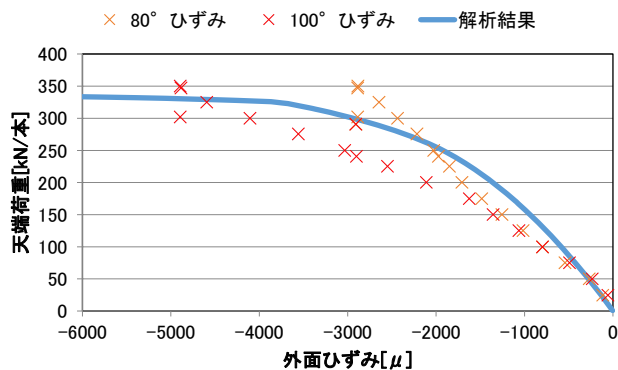


図-7 天端荷重・コンクリートひずみ関係

3. 解析結果と考察

図-4 に天端荷重と天端変位の関係を示す。なお、実物大載荷実験では、荷重は載荷位置において 2 本のジャッキにより与えており、天端荷重はジャッキ 1 本あたりの値を示している。実験結果は 350kN/本の荷重時点で構造全体の破壊に至っているが、解析結果は若干低い荷重で破壊している。しかし、おおよ 300kN/本までの変位関係はおおむね対応している。天端荷重が 300 kN/本時点における PCa 覆工の変位分布を図-5 に、コンクリートのひずみ分布を図-6 に示す。60° ～70° 間の正負が入れ替わる現象も含めて計測位置における変位を精度よく再現できていることが確認できる。外

面のひずみは天端を挟んだ 80° ～85° 付近と 95° ～100° 付近に集中領域が確認でき、内面のひずみは、60° ～70° と 110° ～120° 付近の集中領域付近のひずみの傾向もおおむね再現できている。80° , 100° 位置における覆工コンクリートの外面のひずみと荷重の関係を図-7 に示す。実験結果のバラつきはあるものの、おおむね再現できていることが確認できた。これらにより、構造全体の破壊直前までは解析と実験が一致していることが確認できた。

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 覆工の挙動の再現を目的に実大規模の供試体を用いた載荷実験結果を対象に再現解析を行った。その結果、ファイバーモデルを用いた非線形解析によって、PCa 覆工の変形挙動およびひずみの発生状況をおおむね再現できることが明らかとなった。

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力力の評価, 第 30 回トンネル工学研究発表会, I-41, 2020