

PC まくらぎの静的曲げ試験の再現解析

鉄道総研 正会員 ○後藤 恵一
 鉄道総研 正会員 箕浦 慎太郎

鉄道総研 正会員 渡辺 勉
 鉄道総研 正会員 池田 学

1. 目的

バラスト軌道の重要な構成要素の一つにプレストレストコンクリートまくらぎ（以下、PC まくらぎ）がある。PC まくらぎの設計耐用年数は一般に 50 年程度とされているが、営業線では既に耐用年数を超えているものもでてきており、現状および将来における耐力評価手法の確立が求められている。本研究では数値解析による PC まくらぎの耐力評価手法の確立を目的に、新品 PC まくらぎの曲げ試験の再現解析を実施することで数値解析の精度を検証した。

2. 対象 PC まくらぎと曲げ試験の概要

検討対象とした JIS に規定される 3 号プレテンション式 PC まくらぎ（以下、3PR）と 3 号ポストテンション式 PC まくらぎ（以下、3PO）の概要を図 1 および図 2 に示す。両者は形状寸法が同一で、使用鋼材とその配置、緊張方式が異なる。なお、3PO に使用される PC 鋼棒はアンボンドタイプである。図 3 に JIS に規定される PC まくらぎの曲げ強さ（ひび割れ発生荷重、破壊荷重）に関する試験概要を示す。曲げ試験には、レール位置で実施する正曲げ試験（図 3）と、PC まくらぎを上下反転させた状態でまくらぎ中央位置で実施する負曲げ試験があるが、本検討では両者を対象とした。試験には新品の PC まくらぎを用いた。

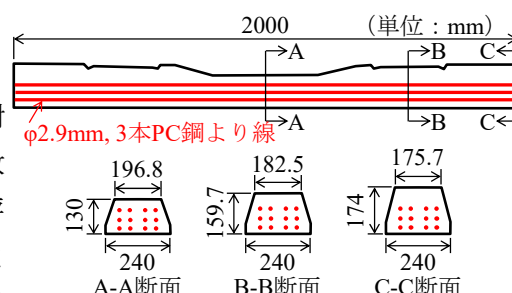


図 1 PC まくらぎ (3PR) の概要

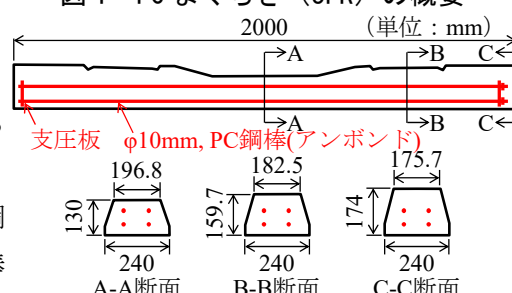


図 2 PC まくらぎ (3PO) の概要



図 3 静的曲げ試験の概要（正曲げ試験）

3. 曲げ試験の再現解析

(1) 解析方法

図 4 に 3PR および 3PO の正曲げ試験に関する解析モデルを示す。解析モデルは、PC まくらぎを構成するコンクリート、PC 鋼材（PC 鋼より線、PC 鋼棒）、スターラップまたは支圧板、曲げ試験表現用の荷重受けおよび支点から構成し、構造の対称性を考慮した 1/2 モデルとした。コンクリート、荷重受けおよび支点は 8 節点ソリッド要素で、PC 鋼材およびスターラップは梁要素で、支圧板はシェル要素でモデル化した。コンクリートと PC 鋼材間の付着については、3PR では完全付着モデルを、3PO では PC 鋼棒の軸方向の付着・すべりを考慮したモデルを用いた。PC 鋼材の緊張力は各 PC 鋼材要素に初期引張応力を与えることで表現した。

表 1 に本解析で用いた材料諸元を示す。コンクリートの材料定数はテストピースの一軸圧縮強度値から換算し、PC 鋼材の材料定数はミルシートから読み取った。図 5 に用いた材料モデルを示す。

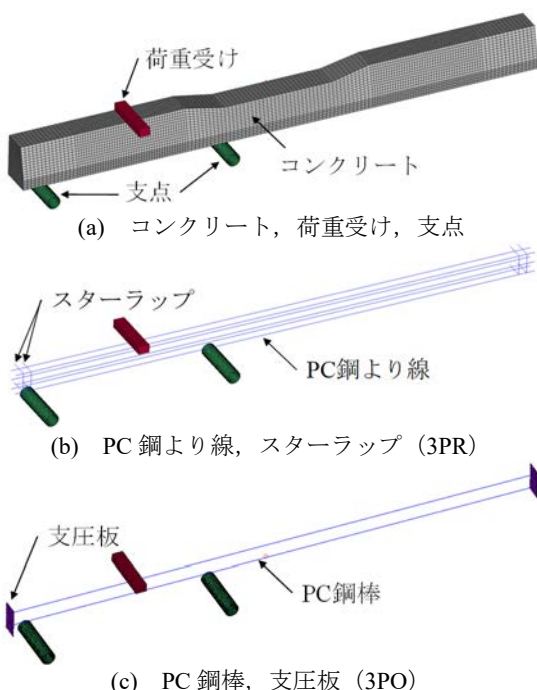


図 4 曲げ試験の解析モデル例（正曲げ）

キーワード プレストレストコンクリート、数値解析、曲げ耐力、ひび割れ、破壊、付着・すべり

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

(公財) 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 構造力学研究室 TEL042-573-7290

表 1 本解析で用いた材料諸元

	材料	弾性係数 E (GPa)	ポアソン 比	圧縮強度 f_c (MPa)	引張強度 f_t (MPa)
3 P R	コンクリート	35.0	0.20	60.0	3.53
	PC 鋼より線 ($\phi 2.9\text{mm} \times 3$ 本)	200.0	0.30	降伏 σ_y : 1500.0 最大 σ_u : 1998.0	
	スターラップ	200.0	0.30	弾性体	
3 P O	コンクリート	34.7	0.20	58.4	3.46
	PC 鋼棒 ($\phi 10\text{mm}$)	200.0	0.30	降伏 σ_y : 1200.0 最大 σ_u : 1451.5	
	支圧板	200.0	0.30	弾性体	

コンクリートは圧縮破壊および引張軟化を表現可能なモデルを、PC 鋼材はミルシートを再現するモデルとした。スターラップと支圧板は弾性体を、荷重受けと支点は剛体を仮定した。本解析には Ansys LS-DYNA (R10.1)を用いた。

(2) 解析結果

図 6 に正曲げ試験における試験結果と解析結果の比較を示す。図から、3PR と 3PO の両者において、解析結果が試験結果におけるひび割れ発生に伴う剛性低下、最大荷重、その後の荷重低下および破壊といった各特徴を踏まえた上で、荷重と変位の関係を高精度に再現できていることが確認できる。また、試験結果において 3PO は 3PR と比較してひび割れ発生後の剛性低下が大きい点、最大荷重については 3PR と同程度である点など、緊張方式の違いによる特徴についても数値解析により適切に表現できていることが分かる。図 7 には 3PR の負曲げ試験における試験結果と解析結果の比較を示す。試験結果は同一のまくらぎに対して荷重レベルを引き上げながら載荷と除荷を 3 サイクル実施した結果である。図から、負曲げ試験においても解析結果が試験結果を精度良く再現できていることが確認できる。なお、曲げ耐力（最大荷重）の観点では、緊張方式 (3PR, 3PO) や載荷位置 (レール位置, まくらぎ中央位置)に関わらず、数値解析が試験結果との誤差 2%程度で評価可能であることが分かる。

図 8 および図 9 に 3PR と 3PO の正曲げ時のひび割れ発生状況の比較を示す。解析結果は最大荷重時の相当塑性ひずみのコンター図である。図より、主要なひび割れの発生本数やその進展傾向が類似していることが確認できる。また、最終的な破壊については試験結果と解析結果ともにコンクリートの圧壊により生じており、破壊形態についても数値解析により再現できていることを確認している。

4. まとめ

数値解析により緊張方式や載荷位置に関わらず PC まくらぎの曲げ試験結果（荷重と変位の関係）を高精度に再現可能であった。また、曲げ耐力は試験結果との誤差 2%程度で評価可能であった。今後は経年の影響を考慮した数値解析モデルを構築することで、現有耐力の評価や将来の耐力予測を行う予定である。

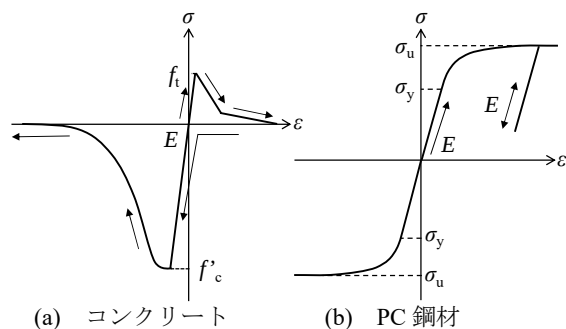


図 5 材料モデル

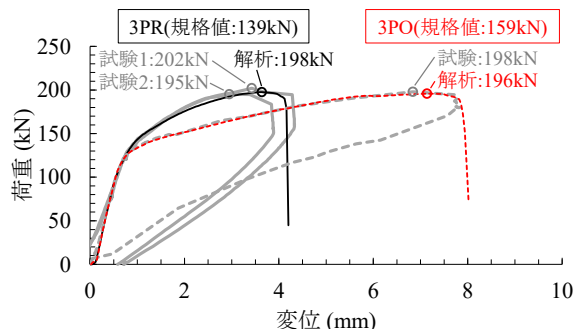


図 6 試験結果と解析結果の比較(正曲げ)

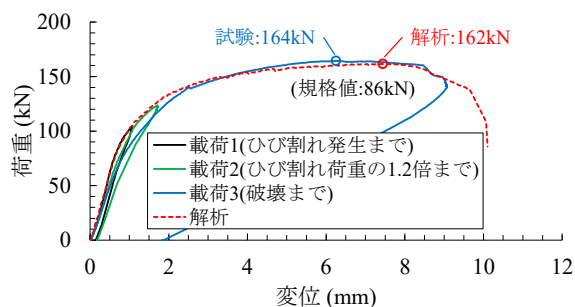
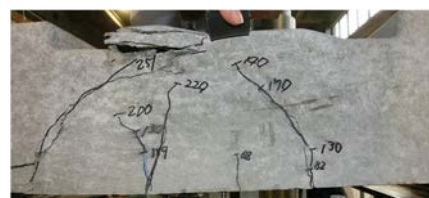
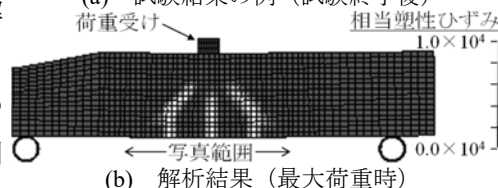


図 7 試験結果と解析結果の比較(3PR 負曲げ)



(a) 試験結果の例 (試験終了後)

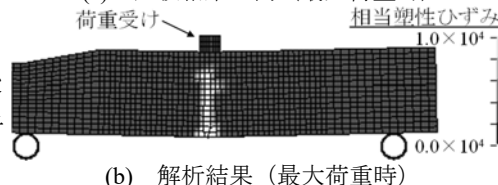


(b) 解析結果 (最大荷重時)

図 8 ひび割れ発生状況(3PR 正曲げ)



(a) 試験結果の例 (最大荷重時)



(b) 解析結果 (最大荷重時)

図 9 ひび割れ発生状況(3PO 正曲げ)