

PC 橋脚梁内の PC 鋼棒の腐食による力学性能の変化

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○竹内 照造

豊田工業高等専門学校 正会員 川西 直樹 名古屋工業大学大学院 正会員 後藤 芳顯

1. はじめに：既設のポストテンション方式の PC 構造物はグラウト充填不良に起因した PC 鋼棒の腐食による力学性能の低下が近年問題視されている．図 1 のような橋脚梁内の PC 鋼棒に腐食欠損が生じる場合，その力学性能評価を数値計算により正確に予測するためには，主に次のような項目について検討する必要があると考えられる．

- 1) PC 鋼棒の立体配置による立体モデルの必要性の有無，2) 腐食する PC 鋼棒の腐食箇所とその量の影響，3) PC 鋼棒の腐食履歴の影響

本研究ではこれらの項目についてそれぞれ検討し，的確な評価を行うための実用的な手法を提示する．

2. 解析ステップ：表 1 には 3 つの検討項目ケースそれぞれについての

載荷ステップを示す．これらのステップは建設過程を反映するため，前死荷重載荷（STEP1）後，PC 鋼棒に温度変化により設計プレストレスを導入（STEP2）する．続いて STEP3 では後死荷重を載荷する．腐食履歴を考慮する場合，STEP4 において，死荷重載荷状態で PC 鋼棒の断面を徐々に減少させる．この解析手法は著者らが鋼材の腐食履歴を考慮するために開発したものである¹⁾．腐食履歴を考慮しない場合は，解析初期の段階で腐食欠損した断面積を初期断面積として PC 鋼棒に考慮する．なお，PC 鋼棒の腐食程度を表現するために断面減少率 β （腐食した PC 鋼棒の断面積 / 初期の PC 鋼棒の断面積）を導入する．

3. 力学性能に及ぼすモデル化の影響：一般に設計で用いられる平面および立体はり要素モデルによる解析結果の精度を 3 次元ソリッド要素モデルの結果と比較することで検討する．モデル化の様子をそれぞれ図 2～4 に示す．単軸のコンクリート構成則は文献 2) に示されるモデルに準ずる．3 次元ソリッド要素についてはこれを塑性理論をもとに多軸応力（Concrete damaged plasticity model³⁾）に拡張して利用する．PC 鋼棒は断面左側上部の PC 鋼棒群（12 本）が梁と柱の交差部から 1m の範囲が腐食し，断面減少率 $\beta = 0.5$ となる場合について検討する．図 5 には 3 つのモデルによる $\beta = 0, 0.5$ の場合の荷重変位曲線を示す． $\beta = 0$ と $\beta = 0.5$ の場合についてそれぞれ比較すると，平面はり要素モデルでは他のモデルに比べ PC 鋼棒の腐食による耐力の低下量が少ないことが分かる．これは平面はり要素モデルでは鉛直方向の変形のみしか考慮できず，水

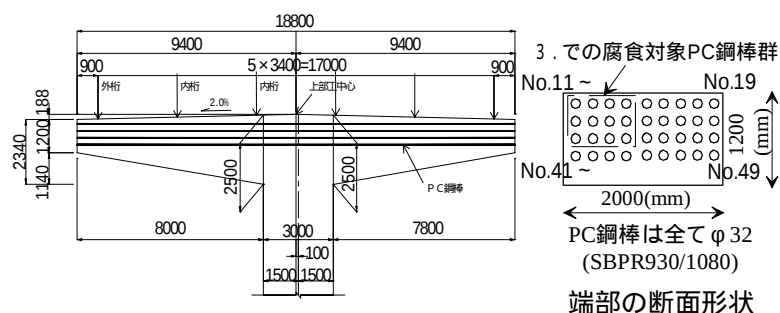


図 1 はりに PC 鋼棒を用いたコンクリート橋脚

表 1 解析ステップ

	STEP1	STEP2	STEP3	STEP4	STEP5	備考
建設当初	前死荷重 (梁死荷重) 90.7(kN/m)	1～4段目 PC 鋼棒 プレストレス導入 引張応力: 731.6(MPa) 温度荷重: -304.8()	後死荷重 (上部工死荷重) 外桁: 1143.1(kN) 内桁: 985.7(kN)	なし	活荷重載荷	(初期 PC 鋼棒断面積) = (設計値)
腐食履歴 考慮	前死荷重 (梁死荷重) 90.7(kN/m)	1～4段目 PC 鋼棒 プレストレス導入 引張応力: 731.6(MPa) 温度荷重: -304.8()	後死荷重 (上部工死荷重) 外桁: 1143.1(kN) 内桁: 985.7(kN)	PC 鋼棒の 腐食欠損過程	活荷重載荷	(初期 PC 鋼棒断面積) = (設計値)
腐食履歴 無視	前死荷重 (梁死荷重) 90.7(kN/m)	1～4段目 PC 鋼棒 プレストレス導入 引張応力: 731.6(MPa) 温度荷重: -304.8()	後死荷重 (上部工死荷重) 外桁: 1143.1(kN) 内桁: 985.7(kN)	なし	活荷重載荷	(初期 PC 鋼棒断面積) = (腐食欠損後の断面積)

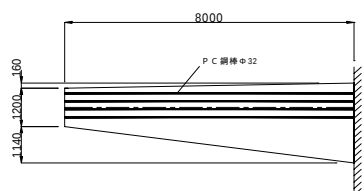


図 2 平面はり要素解析モデル

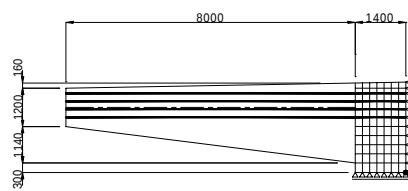


図 3 立体はり要素解析モデル

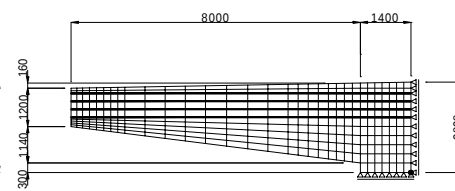


図 4 3次元ソリッド要素解析モデル

平方方向の荷重再配分の効果が無視されるためと考えられる．これらの結果から，以降の検討についてはソリッド要素モデルを用いて検討を行う．

4. PC 鋼棒の腐食形態と力学性能の変化：

PC 鋼棒は断面内全 PC 鋼棒（36 本）が腐食する場合を対象とする．各 PC 鋼棒の腐食形態としては，梁柱交差部から 1m の範囲が腐食する場合（部分腐食）と長さ方向に一樣腐食する場合について比較検討を行う．解析結果を図 6 に示す．一樣腐食および局部腐食について断面減少率 β の増加にともない耐荷力が低下している．一樣腐食した場合と局部腐食した場合の結果を比較すると， β が小さい場合は，部分腐食した場合の方が耐荷力は大きい．しかし， β が大きくなると，一樣腐食した場合の耐荷力との差が小さくなる．これらの結果から，梁つけ根部の PC 鋼棒の腐食欠損断面が多くなると耐荷力に及ぼす影響が大きいことが分かる．

5. PC 鋼棒の腐食履歴と力学性能：

ここでは，STEP3 の後に STEP4 で PC 鋼棒の腐食履歴を考慮した場合と，STEP1 の時点から腐食後の断面の PC 鋼棒を考慮した場合の比較を行う．後者の方法は，一般に PC 鋼棒腐食後の残存耐荷力の評価法として用いられる手法であり，PC 鋼棒の腐食履歴を無視したものである．PC 鋼棒は断面内全 PC 鋼棒（36 本）を腐食する場合を対象とする．解析結果として図 7 に荷重変位曲線を示す．PC 鋼棒の腐食履歴を考慮した場合と，無視した場合では PC 橋脚梁の力学特性に大きな差は生じておらず，今回の検討範囲では，腐食履歴を無視した評価方法でも残存耐力の評価としては問題ない．

6. まとめ：

本研究の結果をまとめると次のようになる．1)設計では平面はり要素モデルよりも立体はり要素モデルを用いることが適当である，2)PC 鋼棒が梁柱交差部で部分腐食すると耐力が急激に低下する，3)今回の検討範囲では PC 鋼棒の腐食履歴を考慮することの有無がはりの力学性能に及ぼす影響は小さい．

参考文献 1)後藤・川西：腐食や補修の影響を考慮した長期間の力学性能評価のための構造解析法の開発，土木学会論文集，No.689/I-57, 2001, 2)土木学会コンクリート委員会：コンクリート標準示方書 [耐震性能照査編]，土木学会，2002, 3) Lee & Fenves: Plastic-damaged model for cyclic loading of concrete structures, *J. Engrg. Mech.*, ASCE, Vol. 124, No. 8, 1998.

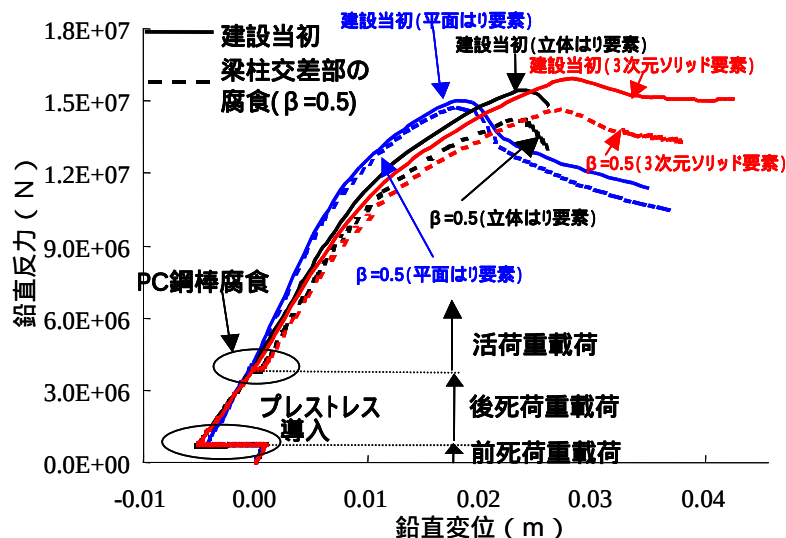


図 5 モデルの違いによる力学特性への影響

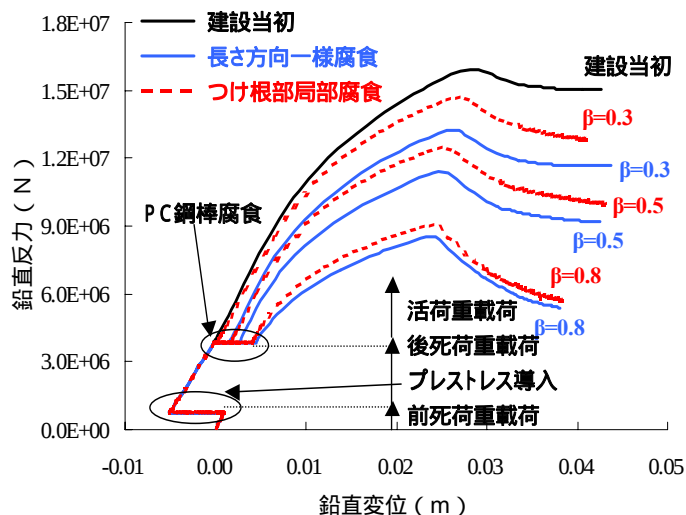


図 6 PC 鋼棒の腐食が橋脚梁の耐荷力に与える影響

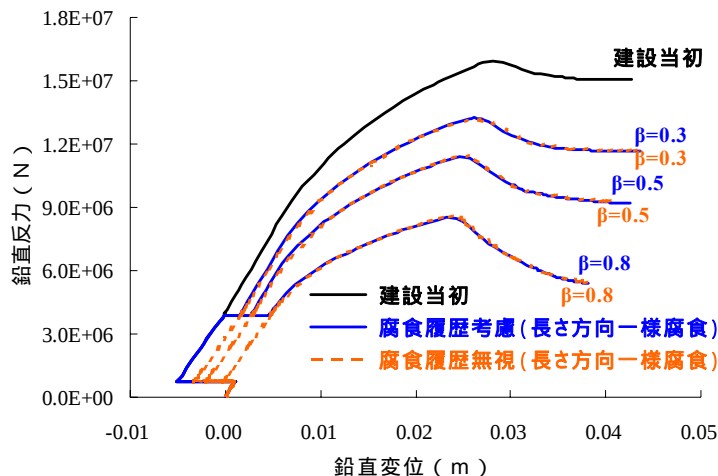


図 7 腐食履歴の考慮の有無が橋脚梁の耐荷力に与える影響