

PC 梁の曲げ耐荷性能および耐衝撃性能に鋼材腐食が及ぼす影響に関する基礎検討

九州大学大学院 学生会員 ○梶原 淳史
九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. 目的

コンクリート中の鋼材腐食は錆等の腐食生成物による体積膨張に起因する周辺コンクリートのひび割れや鋼材自体の有効断面積の減少といった損傷を生じさせ、その損傷は耐荷性能や破壊挙動に影響を及ぼす。RC 梁を対象とした著者らの研究によると、その鋼材腐食は同じ腐食レベルでも静的耐荷性能と耐衝撃性能に与える影響は異なることを明らかとしてきた¹⁾。本研究では、プレテンション PC 梁を対象に鋼材腐食を考慮した FEM 解析を実施することで、鋼材腐食が PC 梁の静的耐荷性能及び耐衝撃性能に与える影響について基礎検討を行った。

2. 鋼材腐食による損傷のモデル化

鋼材腐食による損傷として、まず、鋼材に腐食生成物層を設けることとする。この腐食生成物層の層厚 t は腐食率 η に応じて大きくなり、終局腐食率 η_{cr} (付着切れが起きる腐食率) に達すると、腐食生成物層の要素を除去することで付着切れを再現することとした。腐食生成物層の材料特性に関する研究はいくつかあるが、ここでは、事前に数値実験を行い、弾性係数を健全部の $1/1000$ とした。また、周辺コンクリートには予め腐食率に応じた膨張圧を作用させることで腐食ひび割れを生じさせることとした。その際、腐食率と膨張圧の関係は既往の研究の成果を参考とした。以上をまとめて、図-1 に鋼材腐食モデル化の概要を記す。

3. プレテンション PC 梁の耐荷性能評価のための解析

3.1 プレテンション PC 梁のモデル化

図-2 にメッシュ図を示す。また、静的解析で各材料に仮定した材料特性を表-1、単軸換算の応力-ひずみ関係を図-3 に示す。コンクリートは六面体ソリッド要素で作成し、降伏条件は線形 Drucker-Prager に従うものとし、引張側には線形引張軟化を考慮した。ひび割れ発生後のせん断保持率は 0.125 を仮定した。また、引張側主鉄筋および PC 鋼材は六面体ソリッド要素、圧縮側主

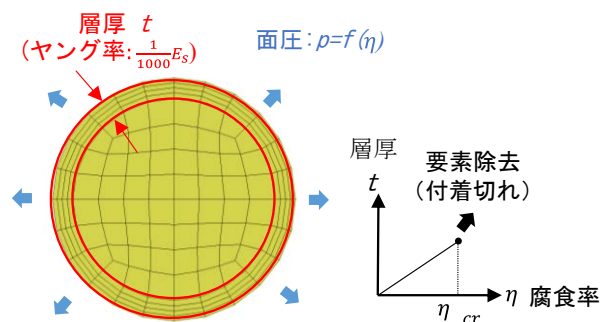
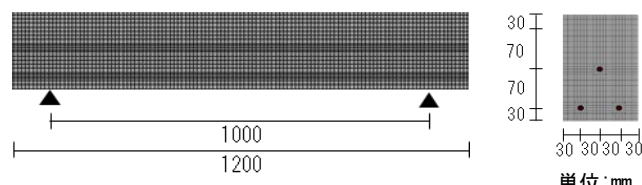
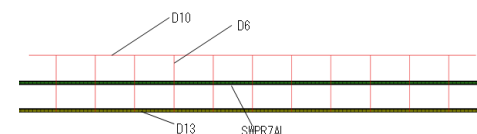


図-1 鋼材腐食モデル化の概要



(a) 全体図

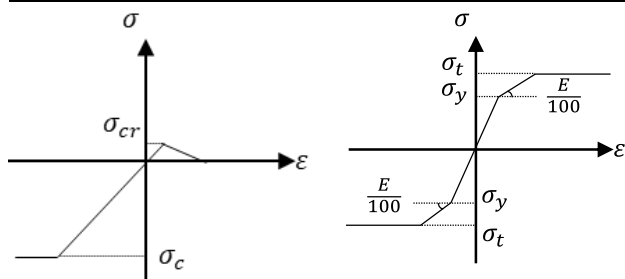


(b) 配筋図

図-2 メッシュ図

表-1 材料特性

	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
コンクリート	32.0	0.2	49.1 (圧縮強度)	4.9
鉄筋 D13	188	0.3	353	523
鉄筋 D10,6	185		336	506
PC 鋼材 SWPR7AL φ9.3	191		1463	1721



(a) コンクリート

(b) 鉄筋および PC 鋼材

図-3 応力-ひずみ関係

キーワード プレテンション PC 梁, 鋼材腐食, 耐荷性能, FEM

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1102 号室構造解析学研究室 TEL 092-802-337

鉄筋およびせん断補強筋はトラス要素で作成し、降伏条件は von-Mises に従う等方硬化型の弾塑性とした。なお、衝撃解析ではコンクリートについても降伏条件を von-Mises に従う等方硬化型の弾塑性として定義している。

3.2 解析ケース

プレテンション PC 梁は健全状態、PC 鋼材のみ腐食、引張側主鉄筋のみ腐食の計 3 ケースをモデル化した。解析のパラメータとして、腐食程度、腐食位置や導入緊張力が考えられるが、本原稿では、代表して、導入緊張力が 45kN で、腐食区間が支間中央部より左右 400mm の計 800mm、腐食率 η が 15.0% および 20.0% (ここで述べる腐食率とは断面減少率のことを指す) について解析を行った。なお、腐食率 20.0% は本解析における終局腐食率であり、コンクリートと鋼材の付着が損失した状態を再現したものである。静的解析では等曲げ区間を 200mm として強制変位を与えて解析を実施した。また、衝撃応答解析については質量 200kg の鋼製重錘を速度 3 m/s でスパン中央部に落下させた。

3.3 解析結果及び考察

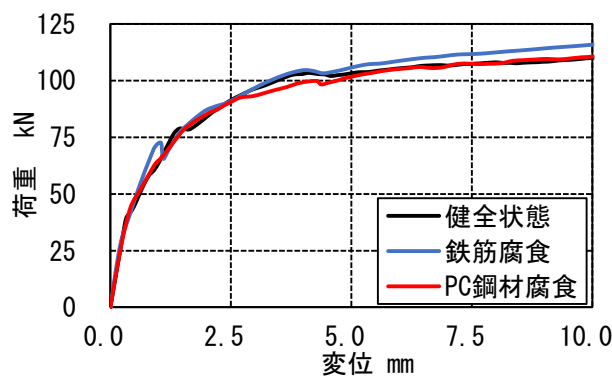
まず、図-4 に静的解析によって得られた荷重-変位関係を示す。腐食率 15.0% では静的耐荷性能の低下は確認できなかったが、腐食率 20.0% については引張側主鉄筋が腐食した場合、コンクリートひび割れ発生後の勾配の低下および降伏荷重の低下が確認できた。また、PC 鋼材が腐食した場合についても同様に静的耐荷性能の低下が確認できる。次に、図-5 に衝撃応答解析によって得られたスパン中央鉛直方向の変位応答を示す。こちらも腐食率 15.0% ではあまり変化は見られなかったが、腐食率 20.0% の時、健全状態と比較すると鋼材が腐食したケースでは最大変位が大きくなり、鉄筋腐食の場合は復元力、PC 鋼材腐食の場合は残留変位に変化が確認できた。

4. 結論および今後の展望

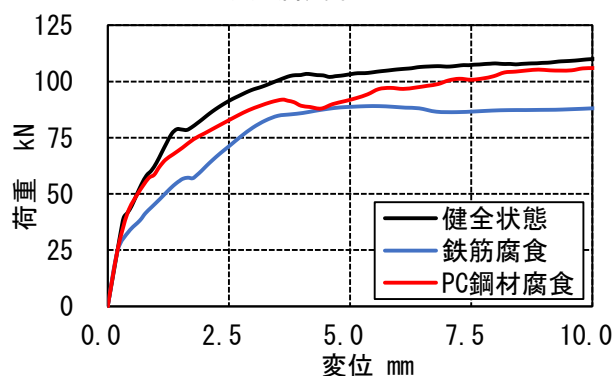
本研究では、鋼材腐食の生じたプレテンション PC 梁の静的および衝撃耐荷性能を鋼材腐食の損傷を考慮した FEM 解析により検討した。その結果、腐食率が著しい場合、腐食した鋼材による PC 梁の静的曲げ耐荷性能および耐衝撃性能に及ぼす影響が確認できた。今後、破壊挙動を詳細に検討するとともに、腐食程度や腐食位置、さらには導入緊張力といった解析上のパラメータの影響についても検討が必要であると言える。

参考文献

- 1) Impact resistance of RC beams with reinforcement corrosion: Experimental observation/ H. Tamai et al./Construction and Building Materials 263 (2020)

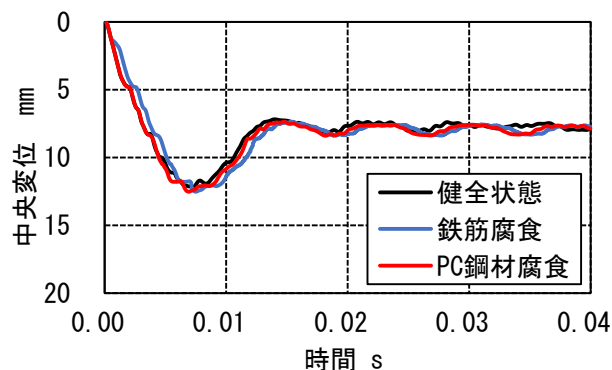


(a) 腐食率 15.0%

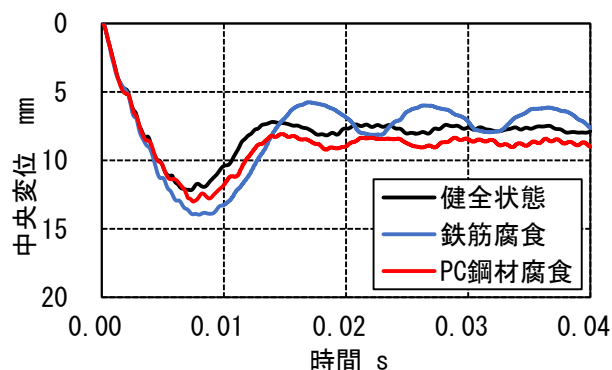


(b) 腐食率 20.0%

図-4 静的解析結果 荷重-変位関係



(a) 腐食率 15.0%



(b) 腐食率 20.0%

図-5 衝撃応答解析結果 変位応答