

塩害を受けた PC 橋から採取した腐食 PC 鋼材の力学特性に関する検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○竹内 祐樹

正会員 中村 英佑

正会員 村越 潤

正会員 木村 嘉富

1. はじめに

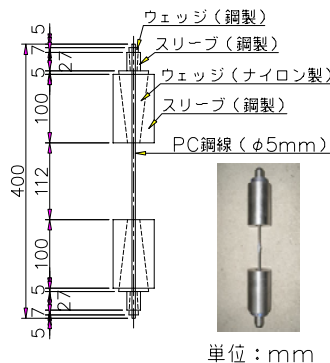
塩害を受けた PC 橋の耐荷性能を適切に評価するためには、腐食した PC 鋼材の力学特性を正確に把握しておくことが重要である。これまでも PC 橋から採取した PC 鋼材を用いて腐食 PC 鋼材の力学特性を明らかにするための試験¹⁾が行われてきたが、腐食による断面欠損の3次元的な分布と強度低下の関係や繰返し荷重が作用する場合の腐食 PC 鋼材の力学特性については検討されていない。本稿では、PC 橋から採取した PC 鋼材の3次元的な断面形状の計測と引張試験、疲労試験を実施し、腐食 PC 鋼材の力学特性について検討した。

2. 実験方法

試験片には、日本海沿岸で34年間の供用後に撤去されたポストテンション方式 PC 単純 T げた橋から採取した PC 鋼線(SWPR1 ϕ 5mm)¹⁾を用いた。いずれの試験片も、試験前に、JCI-SC1 に準拠して質量減少率を測定し、各試験片において目視で最も断面欠損が進んでいると思われる位置の断面径をノギスで測定した。

引張試験は、質量減少率 0~40%の PC 鋼線 27 本を用いて行った。試験片は長さ 330mm とし、文献 1)と同様の方法により荷重と試験片中央 100mm の区間の伸びを測定した。また、試験前に 3D スキャナを用いて PC 鋼線の断面形状を 0.6mm 間隔で計測し²⁾、除錆後の断面形状の分布を把握した。なお、評点外で破断すると思われる試験片については事前に対象から除外したが、27 本中 7 本は評点外で破断した。

疲労試験は、健全な PC 鋼線 10 本と腐食した PC 鋼線 14 本(質量減少率約 5%)を用いて行った。試験片は長さ 400mm とし、試験片のつかみ位置での破断を避けるため図-1 の鋼製とナイロン製の定着具を用いた。載荷条件は、振幅荷重の下限値を PC 鋼線の引張強度の約 0.6 倍 ($=960\text{N/mm}^2$)、応力振幅を 200~500N/mm²(健全 PC 鋼線の公称断面積換算)、載荷速度を 10kHz とした。試験片が破断するまで載荷することを基本としたが、一定の載荷回数で破断に至らなかった場合は疲労限として載荷を停止した。



単位: mm

図-1 疲労試験の定着具

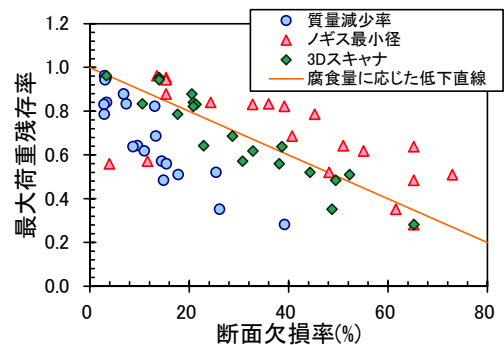


図-2 最大荷重残存率と断面欠損率

3. 実験結果および考察

引張試験の最大荷重残存率と断面欠損率の関係を図-2 に示す。本稿では、各指標の残存率を健全 PC 鋼線の平均値に対する腐食 PC 鋼線の試験値の比率で定義し、断面欠損率を 1)質量減少率に応じて平均的に断面が欠損したと仮定

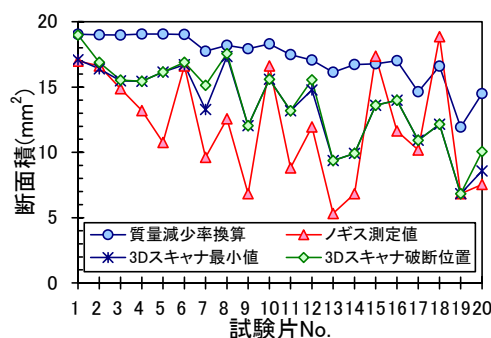


図-3 破断位置の断面積

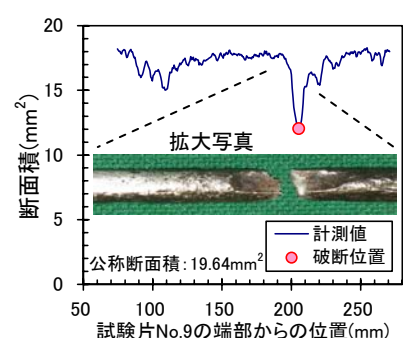


図-4 断面積分布と破断位置

キーワード 塩害, 腐食 PC 鋼材, 引張強度, 破断伸び, 疲労強度

連絡先 〒305-8516 つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター TEL029-879-6773

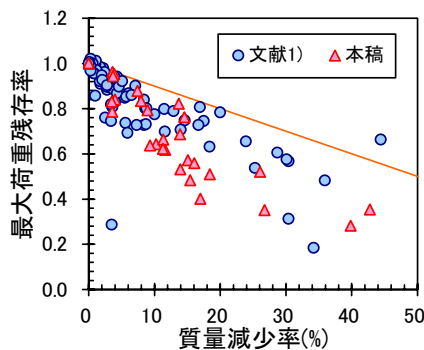


図-5 最大荷重残存率

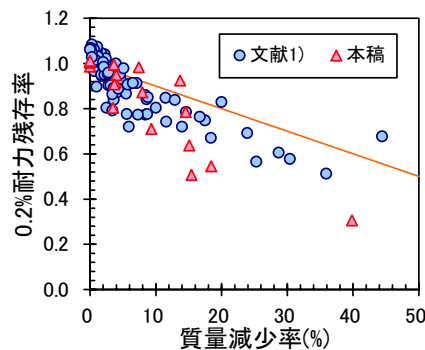


図-6 0.2%耐力残存率

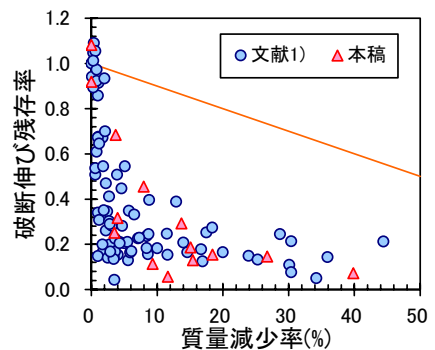


図-7 破断伸び残存率

した場合、2)ノギス測定による断面径を用いた場合、3)3D スキャナ計測による最小断面積を用いた場合について求めた。腐食量に応じた低下直線は、最大荷重残存率が断面欠損率に比例して低下すると仮定した場合の最大荷重残存率と断面欠損率の関係である。いずれの整理方法においても、最大荷重残存率は断面欠損率の増加とともに低下する傾向にあった。

また、3D スキャナ計測による破断位置の断面積と 1)～3)の整理方法で求めた断面積の関係を図-3、3D スキャナ計測から得た試験片の断面積の分布と破断位置の関係の一例を図-4 に示す。

大部分のPC 鋼線で3D スキャナ計測による最小断面積と破断位置の断面積が一致し、断面欠損の最も進展した位置で破断が生じたことがわかる。

最大荷重残存率と 1)～3)の整理方法で求めた断面欠損率の関係を比較すると、最大荷重残存率を最も適切に評価できているのは、断面形状を精密に計測可能な 3D スキャナを用いた場合であった。質量減少率を用いた場合は、PC 鋼線全体で平均的に断面が欠損していると仮定したため、局所的な欠損を適切に評価できなかったと考えられる。腐食量が大きくなるほど断面欠損分布のばらつきも大きくなり、腐食量に応じた低下直線からの乖離も大きくなったと推察される。また、ノギスの測定値を用いた場合は、質量減少率のような乖離はみられなかったが、測定誤差が含まれていたためにばらつきが大きくなったようである。

文献 1)と本稿の試験結果を図-5, 6, 7 に示す。最大荷重と 0.2%耐力は質量減少率の増加とともに徐々に低下したが、破断時の伸びは腐食が比較的軽微な PC 鋼線においても大幅に低下したことを再確認できる。

疲労試験で得られた S-N 線図を図-8 に示す。腐食 PC 鋼線の疲労強度は健全 PC 鋼線よりも低下する傾向にあった。ここでは腐食の有無にかかわらず健全 PC 鋼線の断面積から算出した応力振幅で繰返し载荷を行ったため、腐食により断面が減少した PC 鋼線では設定した応力振幅よりも大きな応力が作用していた可能性が高い。このため、図-8 には質量減少率とノギスの測定値を用いて応力振幅を補正した結果も併記したが、この影響を加味しても疲労強度の低下は明確であった。この原因は、疲労試験では繰返し载荷により断面欠損位置に応力が集中し、静的な引張試験よりも明確に強度低下が生じたためではないかと推察される。なお、質量減少率約 5%の腐食であれば、土木学会式³⁾による健全 PC 鋼線の疲労強度の計算値は安全側の評価となった。

4. まとめ

- (1)腐食 PC 鋼線は最小断面積位置で破断し、最大荷重は 3 次元計測による最小断面積で概ね適切に評価できた。
- (2)腐食 PC 鋼線の破断時の伸びは、最大荷重や 0.2%耐力に比べて低下が著しくなることを再確認した。
- (3)腐食 PC 鋼線の疲労強度は健全 PC 鋼線よりも低下したが、土木学会式の疲労強度よりも大きくなった。

参考文献 1)国土交通省土木研究所：塩害を受けた P C 橋の耐力評価に関する研究(Ⅲ)-塩害により損傷を受けた P C 鋼材の機械的性質-，土木研究所資料第 3810 号，2001。2)大屋戸ら：実構造物の調査結果に基づく腐食鉄筋の力学性状の評価，土木学会論文集部門 E，Vol.63，No.1，pp.143-155，2007。3)土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2008。

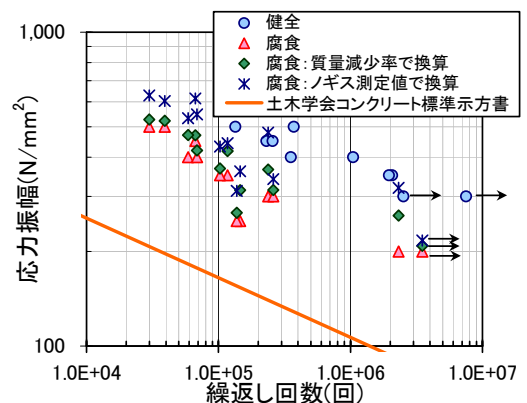


図-8 健全・腐食 PC 鋼線の S-N 線図