

塩水噴霧したPC鋼より線の腐食性状および力学的性質

西日本旅客鉄道(株) 正会員 修士(工学) ○近藤 拓也
 (株)レールテック 田中 廣行
 住友電工スチールワイヤー(株) 正会員 市来 隆志
 京都大学大学院 正会員 工学博士 宮川 豊章

Abstract : A mechanical characteristics was experimentally investigated on the corroding PC strands. The corrosion of the PC strands used 3% salt water. The period was exposed for 1, 2, 3 and 6 months respectively. The corrosion of the PC strands showed the tendency that the quantity of corrosion of the wick line increases with the quantity of corrosion of the siding. Moreover, tensile strength has decreased with an increase in corrosion. However, when the quantity of corrosion grew, the necessity for considering a decrease in the wick line was shown.

Key words : PC strands, corrosion, tensile strength

1. はじめに

長大橋梁で多く使用されているポストテンション方式PC桁では、予め設けられたダクト内のシースにPC鋼より線を挿入し、PC桁にプレストレスを導入した後、空隙部にグラウトを充填する。しかし、ポストテンション方式PCが多く採用されはじめた1970年代頃に建設されたものでは、ブリーディングの発生や、先流れ現象等により、シース内にグラウトが充填されていない状況が確認される場合がある。これらの箇所では、PC鋼材の腐食を防止する必要があるため、PC鋼材の腐食状況を確認のうえ、適切な処置を行う必要がある。

非破壊検査技術が進んだ現在においても、コンクリート中におけるPC鋼材の腐食度判定は、コア削孔等の上、目視で行うことが最も確実であるとされる。使用されるPC鋼材がPC鋼棒もしくはPC鋼線の場合、表面を除錆の上、ある程度の残存性能の推定が可能であることが各種研究から明らかとなっている¹⁾。PC鋼より線では、Postonら²⁾やTrejoら³⁾が力学的性質と腐食程度の関係についての報告を行っている。しかし、いずれの報告も、PC鋼より線の外観評価から力学的性質を推定しており、腐食がPC鋼より線全体の挙動に与える影響を把握するためには、それぞれ素線の腐食状況と照らし合わせて検討を行う必要があると考えられる。

本論文では、1, 2, 3, 6か月間塩水噴霧を行い促進腐食させたPC鋼より線について、素線に解体して腐食性状を確認するとともに、引張試験を実施し素線の腐食性状とPC鋼より線の力学的性質との関係について述べる。

2. 試験方法

2.1 試験条件および試験供試体

腐食は、図-1に示す35℃一定条件下の容器内で、質量濃度3%の塩水を1, 2, 3および6か月間噴霧することで実

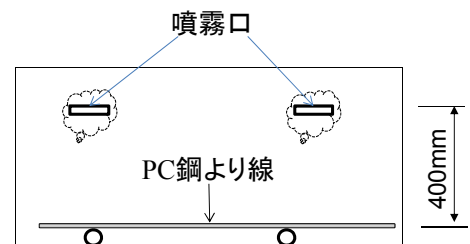


図-1 塩水噴霧環境

表-1 PC 鋼より線諸元

記号	SWPR7BL
呼び名	7本より12.7mm
最大引張力	192kN
伸び	7.3%
よりの長さ	14.6倍
径差(芯線-側線)	0.120mm

施した。試験に供するPC鋼より線はSWPR7BL ($\phi = 12.7\text{mm}$) とし、供試体長さは800mmおよび1500mmの2種類とした。また、それぞれの噴霧期間で、800mm供試体は2本、1500mm供試体は3本とした。試験に用いた供試体PC鋼より線の諸元を表-1に示す。

2.2 試験方法

2.2.1 質量減少量の測定

800mm供試体を用い、JCI-SC1「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」に基づき除錆を行った後、各素線の質量を測定した。質量測定は電子天秤(感量: 0.01g)を用い測定した。

2.2.2 直径測定

質量測定終了後、マイクロメータ(精度: 0.01mm)を用いて、800mm供試体の中央200mm区間について、5mm間隔で直径測定を行った。なお、1断面につき直交する2方向で直径測定を行った。

2.2.3 引張試験

引張試験はJIS G 3536「PC鋼線およびPC鋼より線」に準拠し、1500mm供試体を用いて実施した。なおつかみ間隔は1100mmとした。測定項目は荷重および伸びとした。伸びはつかみ部分の変位量に対するつかみ間隔の割合とした。

3. 試験結果

3.1 外観状況

塩水噴霧を行ったPC鋼より線について、噴霧2か月および6か月の外観状況を図-2、素線に分解後の状況を図-3に示す。

PC鋼より線の外観からは、塩水噴霧期間の増加に伴い、腐食量が増加している状況が確認できる。また、解体後の素線は、芯線では表面にさびが一樣に発生している状況が確認できる。側線では、PC鋼より線の外観と同様に、層状に重なったさびが確認できる。

3.2 質量減少量

800mm供試体の各噴霧期間における、素線解体後の腐食減少量および各側線腐食減少量の標準偏差を図-4に示す。なお、それぞれの腐食減少量は、塩水噴霧した供試体を、2.2.1に基づく方法で処理した塩水噴霧を実施していない供試体質量から差し引いて算出した。側線の腐食減少量は噴霧期間の増加とともに増加する傾向を示したが、芯線の増加傾向は側線ほどではなかった。また、6本の側線の腐食減少量のばらつきは腐食減少量の増加に関わらずほぼ一定の値を示した。このことから、各側線による腐食量のばらつきは小さいものと考えられる。

3.3 直径減少量

芯線および側線の直径減少量の経時変化を図-5に示す。なお、直径減少量の算定は、2.2.1に基づく方

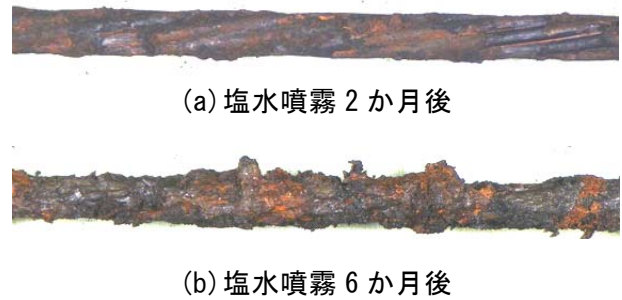


図-2 塩水噴霧後のPC鋼より線外観状況



図-3 塩水噴霧終了後の素線の外観状況
(上: 芯線, 下: 側線の1本)

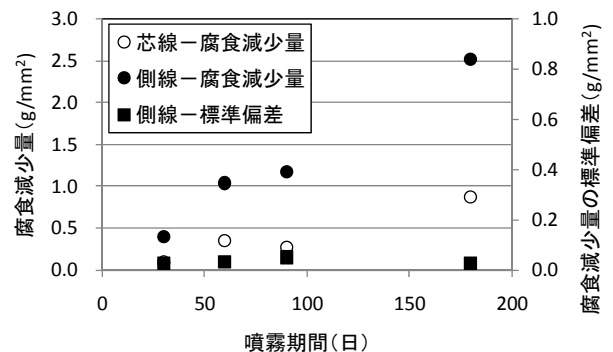


図-4 素線の腐食減少量の経時変化

法で処理した塩水噴霧供試体の素線直径について、同時期に塩水噴霧を実施していない供試体を、2.2.1に基づく方法で処理した後に測定した素線径の平均値から差し引く方法で求めた。また各塩水散布期間につき1本のPC鋼より線での結果を示しており、側線標準偏差については、各側線の直径減少量の標準偏差の平均値としている。芯線は塩水噴霧期間が増加し断面減少量が増加するが、外観と同様にほぼ一様に腐食している状況が標準偏差からも確認できる。

3.4 PC鋼より線の引張試験

(1) 引張試験結果

塩水噴霧の有無で比較した1500mmPC鋼より線を用いて行った引張試験時の引張荷重-伸びの関係を図-6に示す。なお、塩水噴霧供試体は6か月のものとした。弾性挙動時のヤング係数は、塩水噴霧の有無で大きな相違は認められなかったが、塩水噴霧供試体は弾性挙動時に破断した様子が分かる。

岩城らは実橋から撤去したPC鋼線を用いて腐食量とヤング係数残存率の関係について調査を行い、腐食の進行とともにヤング係数が低下することを報告している¹⁾が、今回の測定では大きなヤング係数の低下は認められなかった。これは、素線単位では断面減少により局所的な伸びが増加するが、他の素線による応力負担により、伸びが抑えられたものと考えられる。サンプルを増やし、引き続き検討を行いたい。

噴霧期間毎のPC鋼より線引張試験時の最大荷重推移を図-7に示す。なお、ここにおける最大荷重は、引張試験時においていずれか1本の素線が破断した時の荷重を示している。暴露期間の増加とともに最大荷重が減少する傾向が見られた。また、各PC鋼より線で同一暴露期間での最大荷重のばらつきはあまり見られなかった。

(2) 最大荷重と腐食量の関係

PC鋼より線の質量減少率と最大荷重の関係を図-8に示す。なお、ここでの質量減少率は3.2で述べた800mm供試体を用いた質量減少率を使用した。

質量減少とともに最大荷重が変化している様子が確認できる。また、質量減少率と最大荷重の関係について線形回帰を行うと、非常に高い相関性を示した。

平均直径減少率と最大荷重の関係を図-9に示す。なお、ここでの平均直径減少率は、3.3で述べた800mm供試体を用いた直径減少量について、各素線で測定した直径減少量の平均値を用いた。平均直径減少量についても質量減少率と同様、直径の減少とともに最大荷重の

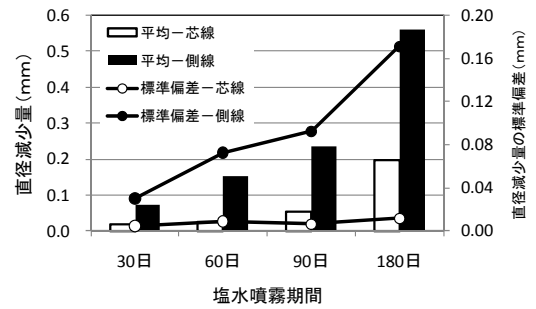


図-5 素線の直径減少量の経時変化

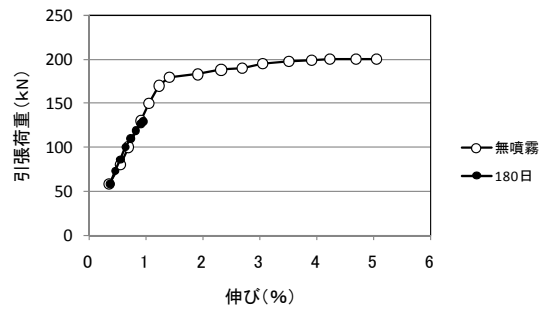


図-6 PC鋼より線の引張荷重-伸び関係

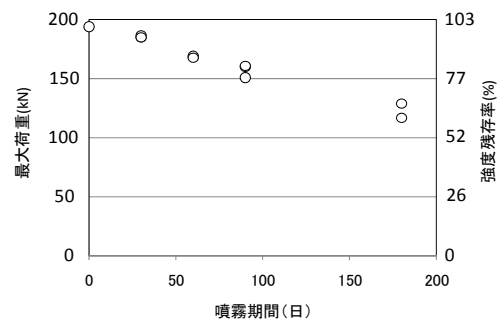


図-7 PC鋼より線の暴露期間

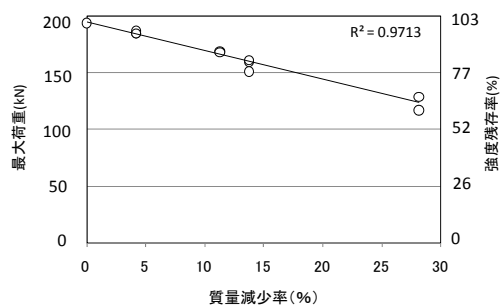


図-8 PC鋼より線の最大荷重と質量減少率の関係

低下が確認できた。また、平均直径減少率と最大荷重の関係について線形回帰を行うと、非常に高い相関が確認できた。

(3)PC鋼より線残存荷重の評価方法について

実構造物におけるPC鋼より線の腐食に関する性能評価は、鉄筋のように部分的にサンプル採取を行うことは難しいため、外観観察による評価を行うことが基本となる。外観観察では芯線の評価を行うことは難しいため、側線の状況から各種評価を行うこととなる。そのため、芯線の腐食考慮有無の違いが引張強度の残存量評価に与える影響について評価を行った。

各素線の直径測定値を断面積に換算して求めた、断面積減少量と最大荷重の関係について、芯線断面積の考慮が与える影響について示したものを図-10に示す。芯線の影響を考慮しないもの(図-10中側線のみ)については、芯線の断面積は腐食なしの場合の断面積を用いた。断面積の減少が小さい初期については、芯線の腐食考慮有無で大きな差は表れなかったが、断面積減少率の増加とともに差が生じ始めた。これは、図-5に示すように腐食の進行に伴い芯線の断面減少量が大きくなったためであると考えられる。これらのことから、腐食によるPC鋼より線の残存引張強度を推定する際、腐食の程度によれば芯線の断面減少を考慮する必要があると言える。

4. まとめ

PC鋼より線を3%塩水で1~6か月間暴露した後に、腐食性状の調査および引張試験を行った。これらから得られた結果を下記に示す。

- (1) 塩水噴霧期間の増加とともに、芯線の腐食量が増加した。
- (2) 引張試験時の最大荷重と腐食量(断面減少量, 重量減少量)には、非常に高い相関が見られた。
- (3) 腐食による引張荷重を推定する場合、腐食量が増加すると芯線の影響を無視できない結果が見られた。

謝辞

本試験では、(株)中研コンサルタントに多大な協力を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 例えば岩城一郎ら; 著しい塩害を受けた道路橋PC桁内部のコンクリートおよび鋼材の物性評価, 土木学会論文集E, Vol. 66, No. 4, pp. 413-432, 2010. 11
- 2) Randall W. Poston, et.al: North American Strategies for Monitoring, Maintenance and Repair of Post-tensioning Tendons, Proceedings of the Second Workshop on Durability of post-tensioning tendons, pp.103-122, 2004.10
- 3) David Trejo, et.al: Parameters Influencing Corrosion and Tension Capacity of Post-Tensioning Strands, ACI Material Journal/March-April, pp144-153, 2009.3

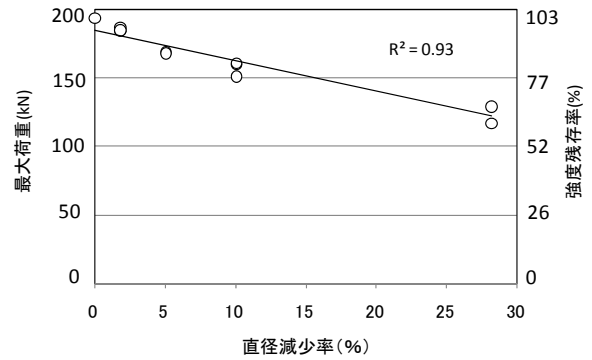
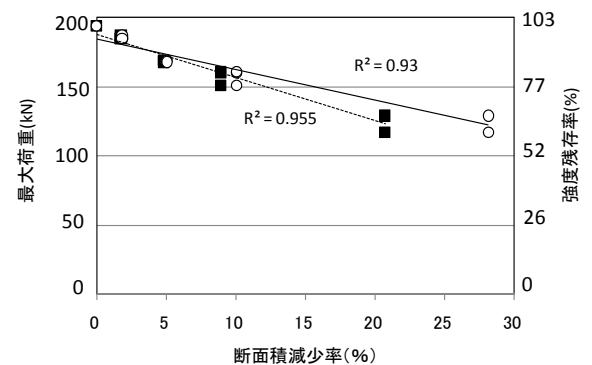


図-9 最大荷重と直径減少率の関係



○ 芯線+側線
■ 側線のみ

— 近似(芯線+側線)
... (側線のみ)

図-10 直径測定方法と最大荷重の関係