

載荷速度の違いによる促進腐食 PC 鋼線の力学的性能と破断性能

神戸大学大学院 学生会員 ○古川 篤史
神戸大学大学院 正 会 員 美濃 智広

神戸大学大学院 正 会 員 森川 英典
神鋼鋼線工業(株) 河村 睦

1. 研究の目的

凍結防止剤使用環境下のポストテンション方式の PC 道路橋において、定着部付近などにグラウトの充填不良部があると隙間から水や塩化物などの腐食促進物質が侵入し、写真-1 のように腐食が発生、進展する可能性がある。そして腐食劣化が進み、PC 鋼線に孔食が発生し、その断面減少部分で応力集中が起こることにより亀裂が進展し、脆性的に破断することが懸念されている。その際、鋼線束内の最も腐食が著しい PC 鋼線にて脆性破断が発生した場合、残りの PC 鋼線に負荷が動的に作用することが考えられる。そこで、促進腐食させた PC 鋼線の引張試験を、載荷速度を変化させて実施し、力学的性能について評価した。さらに、走査型電子顕微鏡 (SEM) による破面観察を行い、破断原因について考察した。



写真-1 既設 PC 道路橋の鋼線の腐食状況

2. 実験概要

本実験では、腐食が確認されている実橋内の PC 鋼線の状況により近づけるため、既往の研究¹⁾で行った促進腐食試験により得られた PC 鋼線を、さらに 3%濃度の塩水に浸漬し腐食させ、除錆しない状態で引張試験を行った。供試体長さは No.1～4, No.9～10, 健全、高ひずみ速度の健全 1, 2 が 425mm, No.5～8 が 520mm である。標点間距離をそれぞれ 325mm, 420mm として、引張試験を行った。

実橋条件下では断面の減少による応力の増加は引張試験よりもはるかに遅く進むため、それを実験室で再現することは困難であるが、引張試験機的能力の中でできるだけ載荷速度を遅くした場合(0.005mm/min)から、PC 鋼線に動的に負荷が作用することを想定した場合(1mm/sec)まで、載荷速度を段階的に速めた実験を行った。表-1 に PC 鋼線別の引張試験の載荷速度を表す。ここで、0.2%耐力+1mm というのは、0.2%耐力を過ぎてから試験変位 1mm 経過後を意味する。さらに、実験後の PC 鋼線の破断面について、SEM 観察にて破面解析を行った。

3. 実験結果および考察

載荷速度を変化させた引張試験の結果を表-2 に示す。腐食した鋼線との比較のために健全な PC 鋼線の引張試験も行った。表-2 の最下段に、健全 PC 鋼線 3 本の低ひずみ速度引張試験結果の平均値を示す。ここで質量減少率については、引張試験後の試験体を破面解析に用いるために、除錆せずに質量測定を行った。健全 PC 鋼線 3 本の低ひずみ速度引張試験結果の平均値に対する健全破断荷重残存率と質量減少率の関係を図-1

表-1 鋼線別載荷速度の分類

鋼線名	1～25kN	25kNから	0.2%耐力 +1mmから
No.1	1mm/min	0.005mm/min	1mm/min
No.2		0.05mm/min	
No.3			
No.4		0.6mm/min	
No.5			
No.6			
No.7			
No.8	1mm/sec		－
No.9	1mm/sec		
No.10			
高ひずみ健全1			
高ひずみ健全2			
健全	1mm/min	0.6mm/min	1mm/min

表-2 載荷速度を変化させた引張試験結果

鋼線名	0.2%耐力 (kN)	破断荷重 (kN)	質量減少率 (%)	破断伸び 低下率
No.1	49.90	57.10	8.92	43.5
No.2	54.29	61.61	4.25	31.9
No.3	51.33	58.08	9.47	34.8
No.4	47.23	51.95	13.83	58.0
No.5	40.80	44.62	—	59.5
No.6	42.57	46.61	20.78	52.9
No.7	50.78	52.83	—	57.1
No.8	—	47.02	9.90	73.3
No.9	56.07	61.05	7.13	64.6
No.10	59.83	61.82	6.04	57.9
高ひずみ健全1	61.11	67.95	—	36.3
高ひずみ健全2	59.83	67.76	—	23.7
健全	59.20	67.93	—	—

キーワード PC 鋼線, 促進腐食, 引張試験, 脆性破断, 破面解析

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-803-6027

に示す。No.1～7,9,10 の試験結果については、質量減少率の増加と破断荷重残存率の低下は、線形の相関関係が確認できた。一方、高ひずみ速度引張試験を行った No.8（質量減少率 9.90%）の試験結果については、他 PC 鋼線とは異なり脆性的に破断し、破断荷重残存率はより低下したことが確認できた。No.8 の亀裂は、局部腐食による孔食が基点となっていることから、応力集中の影響により脆性的な破断性状となったことが推察される。

破断伸び低下率と質量減少率の関係を図-2に示す。No.1～7の試験結果と比較して No.8～10 の試験結果は、破断伸び低下率がより増加する傾向が確認できた。また、健全 PC 鋼線についても、ひずみ速度を増加させると、破断伸びが低下する傾向が確認できた。

ここで、健全な PC 鋼線(写真-2)について SEM を用いた破面解析を行った。写真-2 (a)をみると中心から放射状に破壊が広がっていることが分かる。また写真-2 (b)をみると破断部分が典型的なカップアンドコーン型である。また写真-2 (c)の拡大写真 (d)をみると延性破面のディンプル破面であることが分かる。

次に载荷速度の速い（1mm/sec）PC 鋼線 No.8 の破面を写真-3に示す。PC 鋼線は耐力に達する前に破断している。まず写真-3(b)をみると健全時と比較してあまり絞りを生じずに破断していることが分かる。また写真-3 (c)をみるとこれも健全の時と異なり、中心から放射状に広がらずに端の部分から扇形に広がっている。その部分を拡大した写真-3 (d)をみるとここに局部腐食による孔食が存在し、それにより応力集中を生じ破断の起点になったことが分かる。

4. まとめ

载荷速度を変化させた引張試験を行った。载荷速度を通常の引張試験より速くした場合、局部腐食を有する PC 鋼線は局部腐食箇所を起点とした脆性破断を引き起こす可能性がある。また、腐食を有する PC 鋼線は、質量減少率の増加に伴い、破断荷重残存率が低下し、破断伸び低下率が増加する傾向が確認できるが、脆性破断を起こした場合、破断荷重残存率はさらに低下し、破断伸び低下率もさらに増加することが確認できた。

参考文献：1)白川,森川,福田,河村：局部腐食を考慮した PC 鋼線における応力腐食割れの破断性状に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，vol.34,No.1,pp1054-1059,2012

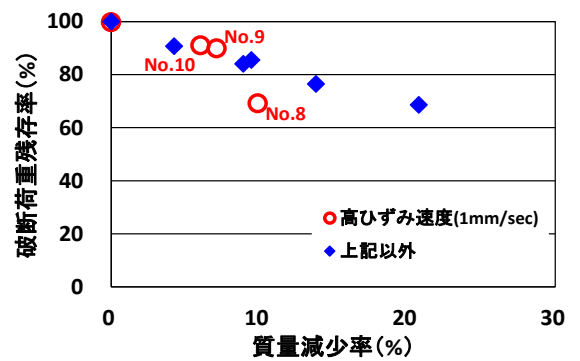


図-1 破断荷重残存率と質量減少率の関係

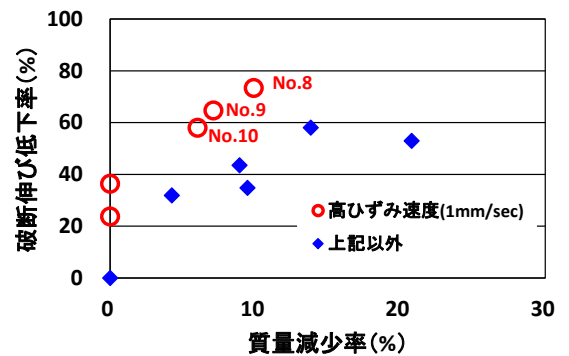


図-2 破断伸び低下率と質量減少率の関係

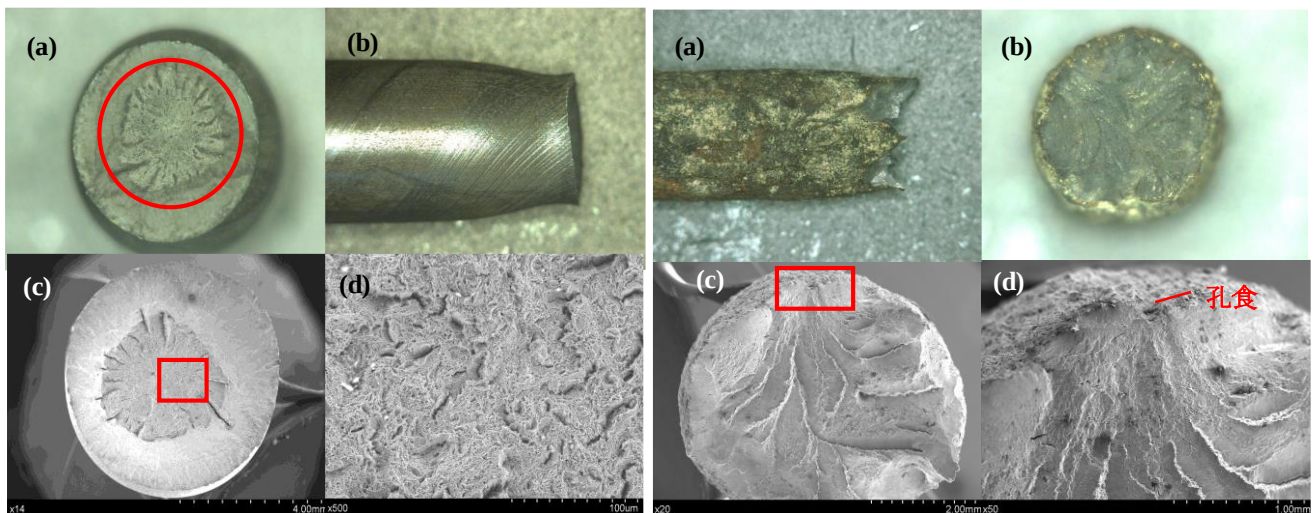


写真-2 健全な鋼線の破断面

写真-3 载荷速度を速めた鋼線 No. 8 の破断面