

神戸大学大学院 学生会員 ○古川 篤史  
神戸大学大学院 学生会員 戸田 想介

神戸大学大学院 正 会 員 森川 英典  
神戸大学大学院 正 会 員 美濃 智広  
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、破断面を走査型電子顕微鏡（SEM）にて観察を行い、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に、既往の研究<sup>1)</sup>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。鋼線長は①～④、健全が 425mm、⑤～⑧が 520mm、標点間距離をそれぞれ 325mm、420mm として、引張試験を行った。

実橋内の条件下では断面の減少による荷重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、耐力+1mm というのは、耐力を過ぎてから試験変位 1mm 経過後という意味である。さらに、実験後の PC 鋼線の破断面について、SEM にて破面解析を行った。

表-1 鋼線別載荷速度の分類

| 鋼線名 | 1～25kN  | 25kNから      | 0.2%耐力<br>+1mmから |
|-----|---------|-------------|------------------|
| ①   | 1mm/min | 0.005mm/min | 1mm/min          |
| ②   |         | 0.05mm/min  |                  |
| ③   |         |             |                  |
| ④   |         |             |                  |
| ⑤   |         |             |                  |
| ⑥   |         | 0.6mm/min   |                  |
| ⑦   |         |             |                  |
| ⑧   | 1mm/sec |             | －                |
| 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<br>(kN) | 破断荷重<br>(kN) | 質量減少率<br>(%) | 破断伸び<br>低下率 |
|-----|----------------|--------------|--------------|-------------|
| ①   | 49.90          | 57.10        | 8.92         | 43.5        |
| ②   | 54.29          | 61.61        | 4.25         | 31.9        |
| ③   | 51.33          | 58.08        | 9.47         | 34.8        |
| ④   | 47.23          | 51.95        | 13.83        | 58.0        |
| ⑤   | 40.80          | 44.62        | –            | 59.5        |
| ⑥   | 42.57          | 46.61        | 20.78        | 52.9        |
| ⑦   | 50.78          | 52.83        | –            | 57.1        |
| ⑧   | –              | 47.02        | 9.90         | 73.3        |
| 健全  | 59.20          | 67.93        | –            | –           |

## 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 には健全な PC 鋼線 3 本の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。破断荷重残存率と質量減少率の関係を図-1 に、破断伸び低下率と質量減少率の関係を図-2 に示す。載荷速

度を 0.005～0.6mm/min とした①～⑦シリーズ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および破断伸び低下率の増加には明確な相関関係が確認できた。

一方、载荷速度を 1mm/sec の⑧と①～⑦シリーズを比較して、⑧については他 PC 鋼線とは異なり、脆性的に破断した。その結果、①～⑦のシリーズと比較して破断荷重残存率はより低下し、破断伸び低下率はより増加する傾向が確認できた。

ここで、健全な鋼線(写真-2)について SEM を用いた破面解析を行ったところ、(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(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(c)の赤い四角部分付近を拡大した写真が(d)であるが延性破面のディンプル破面であることが分かる。ディンプルは金属材料中に介在物が存在するとき引張応力を受けた際、介在物の周りに空隙を生じ、それが隣接する介在物の周りにも生じた空隙と連結していった痕跡である。この空隙を生じる現象が繰り返されることで破壊に至る大きな塑性変形をとる延性破断に特徴的な破面がディンプル破面である。

次に载荷速度の速い鋼線⑧(写真-3)について、鋼線は耐力に達する前に破断している。まず(b)をみると健全の時と異なりあまり絞りを生じずに破断していることが分かる。また(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のが(d)であるが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および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。

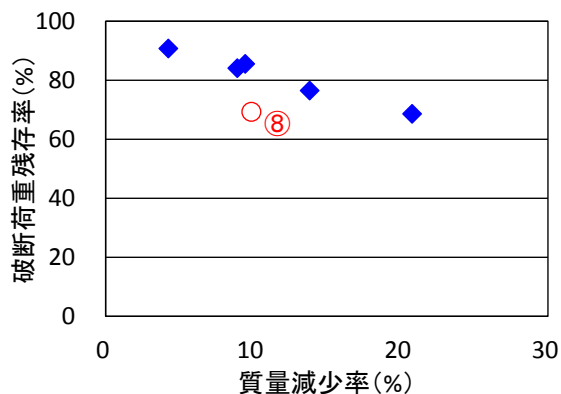


図-1 破断荷重残存率と質量減少率の関係

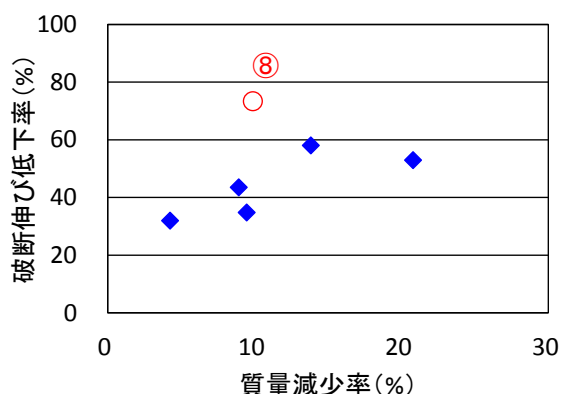


図-2 破断伸び低下率と質量減少率の関係

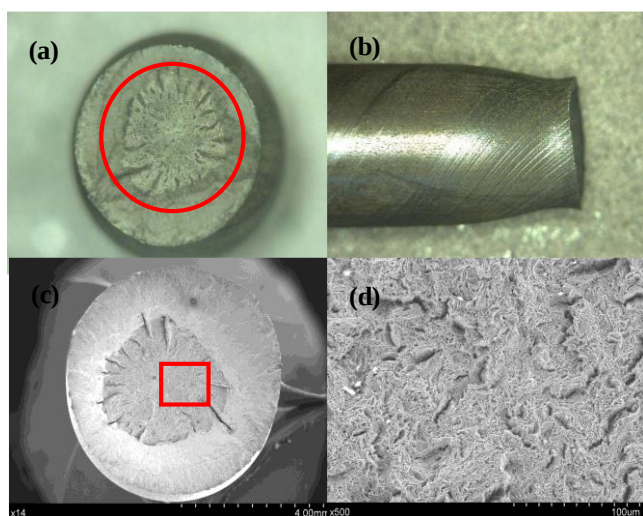


写真-2 健全な鋼線の破断面

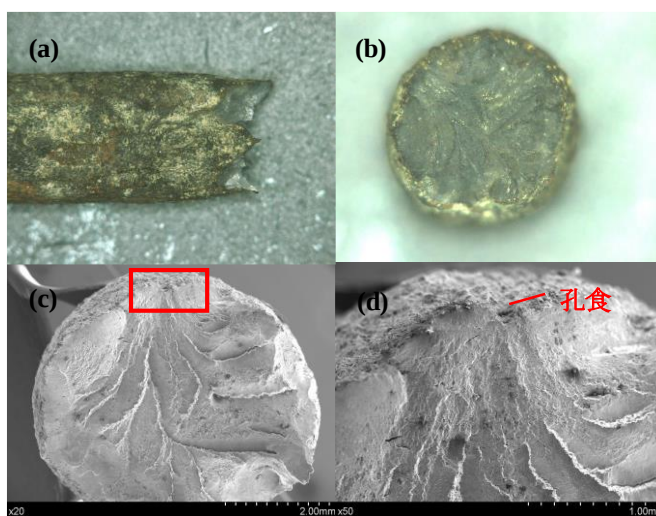


写真-3 载荷速度を速めた鋼線⑧の破断面

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集, vol.34,No.1,pp1054-1059,2012