第Ⅴ部門　　苛性ソーダ環境下における応力腐食割れに関する実験的検討

神戸大学大学院工学研究科　学生員　○黒柳　拓海　　神戸大学工学部　松浦　歩咲
神戸大学大学院工学研究科　正会員　森川　英典　　神鋼鋼線工業（株）　前畑　俊男

１．研究背景・目的

近年，凍結防止剤使用環境下の既設 PC 道路橋において PC 鋼線の破断といった損傷事例が報告されている．また，その破断した PC 鋼線の一部には長手方向に亀裂が進展しているような特徴的な破断面が確認されている．これに対し既往研究[1)]では，硝酸アンモニウム水溶液を用いた応力腐食割れ試験を実施し，切り欠きにより局部腐食を模擬した PC 鋼線の長手方向への脆性的に破断することを確認した．しかし，実橋梁のシース内に高濃度の硝酸アンモニウム水溶液が存在することは考えにくい．そこで，本研究では，実橋梁で考えられる苛性ソーダ水溶液に着目し，苛性ソーダ(NaOH)水溶液環境下で PC 鋼線において長手方向への滑り破面を有する応力腐食割れが発生する可能性について検討した．

２．実験概要

PC 鋼線は φ7mm の B 種(JIS G 3536)を用い，電食加工によって**図-1** のような切欠きを施した．ここで，B：幅(㎜)，L：長さ(mm)，D：深さ(mm)，ρ：曲率半径(mm)とする．作成した切欠きを有する PC 鋼線を用いて 110℃-35wt%の苛性ソーダ水溶液に浸漬した状態で漸増荷重を作用した．応力腐食割れが生じやすくするための添加剤として PbO を選定した．荷重条件と切欠き寸法の値を**表-1** に示す．

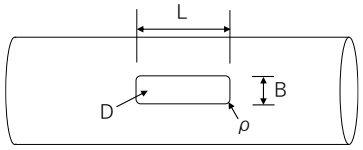

図-1　切欠き加工した PC 鋼線図

供試体 a，b においては曲率半径の計測を実施していない．実験から得た各 PC 鋼線の破断時間と破面の横滑り長さを用いて各パラメータ間との関係を分析した．また，破面の亀裂起点部と進展部においてデジタルマイクロスコープを使い，破面観察を行った．そこで得られた破面形状に関するデータを用いて，破面凹凸発生頻度および破面における波高高低差(距離約 0.34 ㎛当たりの高低差)というパラメータを定義し，破面の定量評価を実施した．

表-1　各 PC 鋼線の切欠き寸法および荷重条件

供試体番号	初期荷重 (kN)	漸増荷重 (kN/日)	長さL (mm)	幅B (mm)	深さD (mm)	曲率半径ρ (mm)
a	0	5	5.50	3.40	1.00	—
b			5.50	3.50	1.00	—
No.1	20	3	7.50	4.23	1.40	2.80
No.2			6.50	3.27	0.90	3.09
No.3			6.50	4.73	1.60	2.11
No.4			7.40	4.45	1.44	1.88
No.5			7.87	4.88	1.44	1.80
No.6			8.16	4.62	1.59	2.10

３．実験結果および考察

各供試体における中心地点の滑り長さを**表-2** に示す．供試体 a，b においては滑り長さの計測を実施していない．供試体 a，b において長手方向に滑ったような破面が確認されたものの，十分な横滑り長さが得られない結果となった(**写真-1**)．

表-2　各供試体における滑り長さ

供試体番号	滑り長さ (mm)
No.1	10.439
No.2	4.025
No.3	3.822
No.4	0.483
No.5	0.548
No.6	3.21

より実環境に近づけるべく荷重条件を見直し，供試体 No.1～3 の計 3 体で試験を実施したところ，供試体 No.1 において他供試体と比べて約 2.5 倍といった十分な横滑り長さを確認することができた(**写真-2**)．結果を踏まえ，供試体 No.1 の切欠き寸法を目標に，供試体 No.4～6 に電食切欠きを施し，試験を実施したが十分な横滑り長さを得ることができなかった．供試体 No.4，5 に関しては，1mm にも満たない極めて短い滑り長さという結果に至った．すべての供試体において破断の起点は切欠き曲線範囲で発生していたことや 3 体の中で供試体 No.6 が最も滑り長さが長かったことから，切欠き寸法だけでなく切欠き部に発生する応力集中に関係する曲率半径も影響していると考え，さらなる試験を検討することが

Takumi KUROYANAGI, Hidenori MORIKAWA, Ayusa MATUURA and Toshio MAEHATA
morikawa@kobe-u.ac.jp

必要である．また，供試体 No.1 においては，試験期間中に連休が入り，一定期間，荷重を漸増できず，破断直前での荷重が一定になったため，このような荷重条件をも考慮しながら，実験を行うことが今後必要と考えられる．

各供試体における亀裂起点部における凹凸発生頻度の計算結果を図-2 に示す．ここでの凹凸発生頻度の単位は，観測したデータ数に対する凹凸数が占める割合を示す[%]とする．すべての供試体において，破面にリバーパターンという長手方向への放射状模様がみられるにもかかわらず，軸直角方向より軸方向の発生頻度が大幅に高くなるという結果が得られた．横滑り長さが最も長い供試体 No.1 では約 13%，横滑り長さが微小であった供試体 No.4，5 では約 6%と，供試体の数が限られているものの，滑り長さが微小であった供試体においては，軸方向の凹凸発生頻度が小さくなることがわかった．つまり，応力腐食割れにおける波面の滑り長さと凹凸の数に関係があると推察される．亀裂進展部においても同じような兆候が得られた．また，凹凸発生頻度に加え，各供試体破面における波高高低差に着目し，破面評価を実施した．破面における波高高低差について整理したグラフを図-3，4 に示す．ここでは，全供試体において酷似した傾向がみられたため供試体 No.1 のみを示すこととする．軸方向においては，0～0.1 ㎛程度の微小な凹凸が確認することができた．一方，軸直角方向では，0～0.6 ㎛，最大で約 4 ㎛の凹凸が確認され，軸方向に比べて凹凸の大きさの範囲が大きいという結果が得られた．また，波高高低差の平均を比較すると，全供試体において軸方向より軸直角方向が大幅に大きくなる結果となった．また，標準偏差においても，同様の結果が得られた．

結果から，軸方向においては，目視では確認しがたい微小な凹凸が多数存在していることがわかった．

写真-1　供試体 a

写真-2　供試体 b

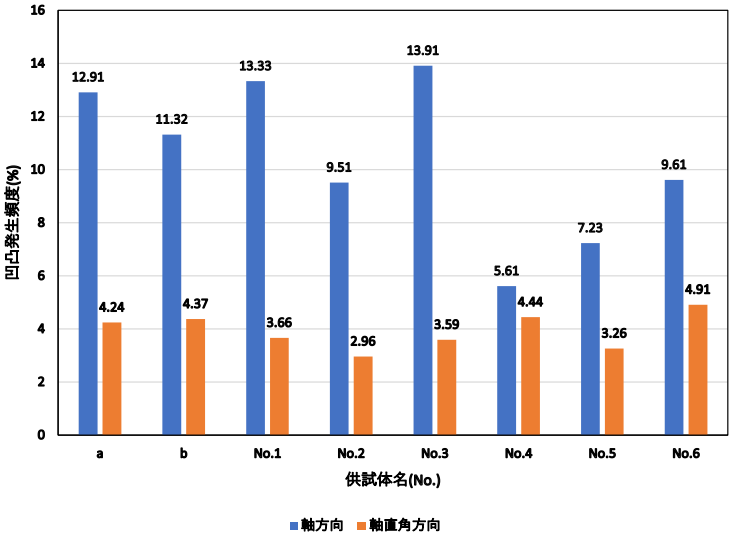

図-2　各供試体における凹凸発生頻度

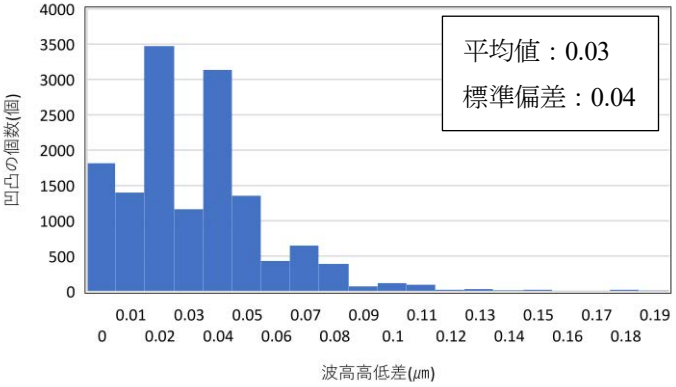

図-3　供試体 No.1 破面における波高高低差(軸方向)

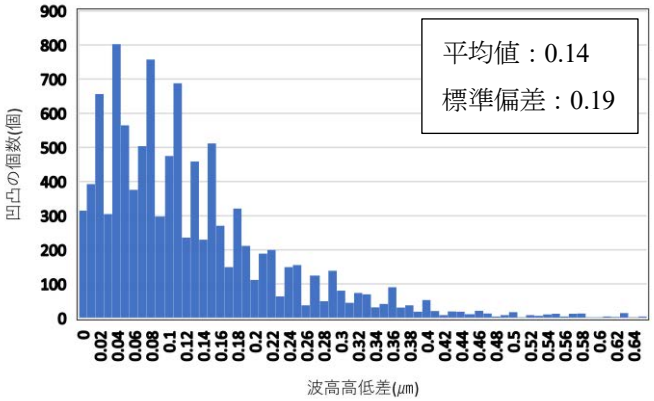

図-4　供試体 No.1 破面における波高高低差(軸直角方向)

４．まとめ

長手方向への滑り破断を有する応力腐食割れは、苛性ソーダ水溶液環境化で起こる可能性がある．また，破面の凹凸は，軸方向には微小な凹凸が多数発生し，軸直角方向は，比較的大きな凹凸が発生することがわかった．

参考文献

1)　美濃智広：塩害劣化した既設 PC 道路橋の構造安全性評価および維持管理の信頼性向上に関する研究，神戸大学博士論文，pp.99-150，2016