

大阪大学工学部 三野 泰宏 大阪大学大学院 学生員 福村 友宏
大阪大学工学部 正会員 ○大西 弘志 大阪大学工学部 フェロー 松井 繁之

1. はじめに 現在供用されている多くの土木構造物では、その周辺環境に存在するさまざまな要因によって劣化が引き起こされており、このことが大きな問題となっている。劣化が発生していることが問題となっている部材として、吊橋や斜張橋、P C構造で使用されているケーブル部材を挙げることができる。この、ケーブル部材に関する多くの調査報告¹⁾によると、ケーブル部材で発生している劣化損傷の多くが腐食によるものであることが指摘されている。しかし、今までに行われてきたケーブル部材の腐食に関する研究²⁾では、腐食による断面積の変化に関する調査は行われているものの、その形状の特性に関して調査したものはなく、このことに関する研究を行うことが必要である。そこで、本研究では、塩乾湿複合サイクル試験機を用いて人為的に腐食させたP C鋼材を用意し、腐食生成物を除去した後のP C鋼材の表面形状を詳細に調査した後、曲げ疲労試験を行うことで、腐食損傷によるP C鋼材の表面形状の変化とそれに伴う曲げ疲労強度の変化との間にどのような関係があるのかを調査した。また、腐食損傷によるP C鋼材の表面形状の変化と引張強度との関係を調べるための引張試験も行った。

2. 実験概要 本研究で供試体として用意されたP C鋼材は①30年間供用された橋梁から採取されたP C鋼材、②防食のために亜鉛めっきをされたP C鋼材、③通常のP C鋼材の3種類であり、供試体の寸法は引張試験用供試体で全長300mm、腐食区間100mm、疲労試験用供試体で全長100mm、腐食区間40mmである。また、これらの供試体の直径は5mmと7mmであった。これらの供試体を塩乾湿複合サイクル試験機（スガ試験機製 ISO-3-CY-R）で腐食させた時の腐食環境の設定を表-1に示す。この試験環境は最も厳しい腐食環境といわれる海洋における飛沫帯を再現するものである。本研究では腐食環境を付加する単位として表-1に示した環境20サイクルを用いて実験を行い、腐食環境の付加量がわかりやすくなるようにした。腐食環境付加量ごとの供試体数量を表-2に示す。腐食させた鋼材に薬品を用いて腐食生成物を除去した後、レーザー変位計（KEYENCE 製 LK2000）を用いた表面凹凸測定システムを用いて供試体腐食部分の表面を調査した。なお、このシステムではステッピングモータを使用したガイドアクチュエータにレーザー変位計を取り付けることで、P C鋼材の詳細な表面形状を把握することを可能にしている。以上の作業を経た後、シェンク式振り曲げ疲労試験機（三精工業製）を用いて曲げ疲労試験を行った。この試験機の性能は繰り返し速さ約60Hz、最大繰り返しモーメント $\pm 2\text{kgf}\cdot\text{m}$ である。この試験機を用いて、まず疲労試験可能な最大曲げモーメントと疲労限にあたる曲げモーメントを求め、これらの中間にあたる値において、適宜疲労試験を行なった。

表-1 腐食実験環境

状態	温度	湿度	時間
塩水噴霧	35℃	98%	4時間
乾燥状態	60℃	0%	2時間
湿潤状態	50℃	—	2時間

※使用した塩水の濃度は5%

表-2 腐食環境サイクルと供試体数

鋼材		腐食環境サイクル						
		0	20	40	60	80	100	120
実橋採取	7mm	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3
	5mm	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3
亜鉛めっき	7mm	16/3	16/3		16/3		16/3	
	5mm	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3
通常	7mm	16/3	16/3		16/3		16/3	
	5mm	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3	20/3

※表中の分数表記は（疲労供試体数）／（引張供試体数）を示す。

3. 実験結果 腐食環境付加時における供試体の残存重量から求めた残存直径の径時変化を図-1に、表面凹凸測定システムの測定結果より得られた最大腐食ピット深さの径時変化を図-2に示す。図-1より亜鉛めっきを施した鋼材においては腐食がまったく発生しておらず、亜鉛めっき処理による防食が本実験の腐食環境においては有効であったことがわかる。また、その他の供試体では腐食環境付加40サイクルを経過した後、腐食が急激に進行している。その進行の状況を見ると実橋採取鋼材（7mm）、通常鋼材の7mm、5mmの順で腐食進行速度が大きくなっている。これは、供試体の直径や通常鋼材と実橋から採取された鋼材とでは初期における表面の状態が異なっていたことが影響したものであると考えられる。また、図-2を見ると、最大腐食ピットの深さは通常の7mmで0.2mm、通常の5mmで0.25mmに達した時点で増加が見られなくなったが、実橋採取鋼材ではこのような傾向は見られなかった。この傾向と図-1での結果より、実橋採取鋼材では局部腐食による孔食、通常鋼材の7mmでは均一腐食の傾向が卓越し、通常鋼材の5mmではその複合が発生したものと考えられる。図-3に今回の実験で行なった曲げ疲労試験の結果の一例を示す。この図の縦軸には最大曲げ応力が発生する供試体の上・下端における応力の全振幅を $\Delta\sigma/\sigma_y$ で表示している

が、この値を求めるために使用した $\Delta\sigma$ は腐食による断面欠損の影響を考慮に入れて算定したものであったにもかかわらず、図に示されたとおり、腐食環境を全く付加しなかったものと120 サイクル付加したものとではその寿命に10 倍程度の開きがあることがわかった。これは、 $\Delta\sigma/\sigma_y$ を算定する際に考慮した断面欠損が平均の断面欠損量にあたる断面積の残存量だけであったことが原因であると考えられる。この現象は図-4 に示した引張強度についても言えることであり、これらのことから腐食鋼材の残存強度を考慮するためには残存断面積のみを考慮することは危険であるといえる。以上のことを踏まえて、本研究では腐食鋼材の残存強度・寿命をよりよく把握するためのパラメータとして最大腐食ピット深さについて検討を加えることにした。その結果の一例を図-5、6 に示す。これらの図をみると、最大腐食ピット深さのほうが残存断面積よりも供試体寿命との間によりよい相関がある事が明らかである。また、引張強度についても同様の結論を得ることができた。

4. 結論 以上のことから、腐食したケーブルの曲げ疲労強度・引張強度を考えるためには残存断面積だけでなく、腐食によって局所的に発生するピットの深さを考慮することが重要であることがわかった。

参考文献 1)海洋佳境調査会：長大橋の維持管理調査研究報告書（昭和 58 年度海外技術調査）、1984.3
2)三田村、中井、渡邊、杉井：橋梁用ケーブルの最近の話題と展望、土木学会論文集、No.444、VI-16、pp97-106、1992.3

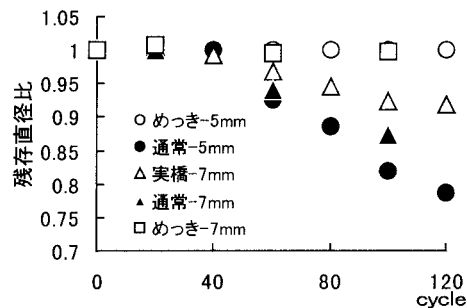


図-1 残存直径の径時変化

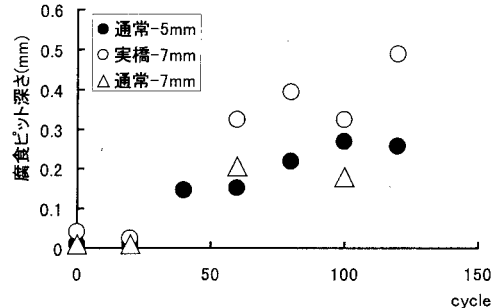


図-2 最大腐食ピット深さの径時変化

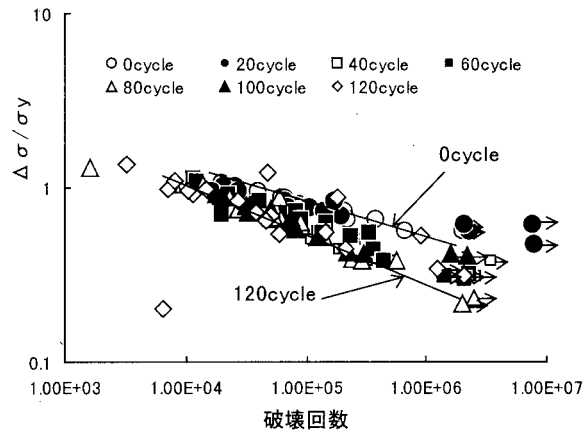


図-3 S-N曲線

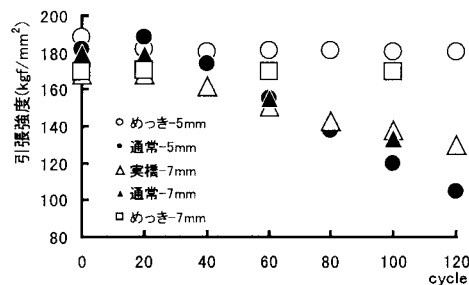


図-4 見かけの引張強度の径時変化

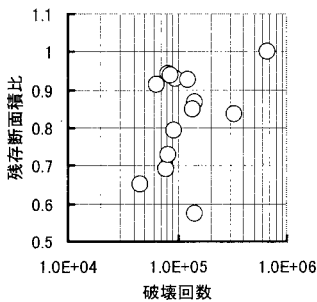


図-5 残存断面積比と破壊回数の関係

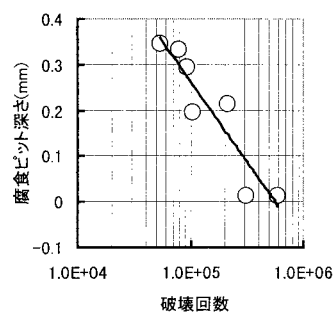


図-6 腐食ピット深さと破壊回数の関係