

曝露腐食による P C 鋼線の疲れ強さの低下

富 田 勝 信*
渡 辺 信 一*

1. 緒 言

一般に P C 鋼線は、ピアノ線材を用い、パテンテング処理を行なったのち伸線したもので、伸線加工の程度は要求された品質や材料の性質によって異なるが、全断面積減少率は 70~90% でかなりの強い冷間加工をうけているため、鋼線メーカーにおける仕上り表面はきわめて平滑である。しかし実際に現場作業において P C 鋼線を使用する場合は、コンクリートとの付着力を増加させるため、その表面をサビ付けさせたり、あるいは特に腐食させる目的でなくとも保管中に鋼線表面に腐食を生ずることが多い。また腐食以外でも、運搬中のスリきず、作業工具類の打撃による打きずや局所的な曲り、近接の溶接作業による熱影響なども P C 鋼線の表面に被害を与えるものと考えられる。

これらの被害を受けた場合の P C 鋼線の強度の低下、ことに疲れ強さの低下についてはまだ十分に研究されていないが、最近著者等が行なった腐食被害の試験結果について報告する。

2. 試験方法

(1) 試験片の寸法および腐食状況

試験に用いた P C 鋼線はすべて直径 7 mm・長さ 500 mm のものを用いた。表-1 に試験片の記号および試験片の腐食条件、表面状況、原線の静的強度等を示す。

表-1 の試験片 A グループは、当初の構内（東京都北多摩郡国分寺町）において昭和 37 年 6 月 6 日より曝露したもので、気象条件は立川農事試験所の記録によったものである。

試験片 B グループは、東海道本線・弁天島駅構内において、昭和 38 年 1 月 20 日より曝露したもので、砂浜にまくらぎをおき、その上に試験片をおいて、上からシートでおほったものである。

試験片 C グループは、当所の構内において昭和 38 年 11 月 24 日より曝露したもので、気象条件は A グループと同じ記録によった。

試験片 D-P は試作した P C 桁から採取したもので、P C 桁を製作後 3 ヶ月目に桁としての疲労試験を行な

表-1 試験片の表面状況と機械的性質

試験片 No.	試験片の処理	曝露条件			表面状況	供試材の機械的性質
		晴	雨*1	降水量 (mm)		
A-0	供試材のまま	—	—	—	サビなし	$\sigma_B=167 \text{ kg/mm}^2$
A-15	曝露15日	7	8	118.5	全面赤サビ、うすい	$\sigma_{0.2}=148 \text{ kg/mm}^2$
A-30	" 30日	11	19	240.0	同上	$\delta=6.0 \%$
A-60	" 60日	28	32	427.4	同上、こい	
B-30	曝露30日	—	—	—	一部うすい赤サビ	$\sigma_B=170 \text{ kg/mm}^2$
B-120	" 120日	—	—	—	全面赤サビ	$\sigma_{0.2}=156 \text{ kg/mm}^2$
C-0	供試材のまま*2	—	—	—	サビなし	$\sigma_B=174 \text{ kg/mm}^2$
C-15	曝露15日	9	6	67.0	全面赤サビ	$\sigma_{0.2}=162 \text{ kg/mm}^2$
D-0	供試材のまま	—	—	—	サビなし	$\sigma_B=164 \text{ kg/mm}^2$
D-P	P C 桁より採取	—	—	—	同上	$\sigma_{0.2}=143.3 \text{ kg/mm}^2$
						$\delta=6.5 \%$

*1...雨とは 24 時間降水量 0.1 mm 以上とす。

*2...ストレス レリーフを行なったもの。

い、試験終了後に桁を破壊し、P C 鋼線を取り出したもので、P C 鋼線としてかかっていた緊張力は 100 kg/mm² で、また試験片 D-O は D-P 鋼線の原線である。したがって、D-P 鋼線は実際作業による鋼線表面の腐食の影響を調べようとしたものであるが、表-1 にも示すように実際にはほとんどサビの発生は見られなかった。

(2) 使用試験機

1) 疲労試験

疲労試験は電磁共振形両振り曲げ疲労試験機を用いた。試験片の共振数は約 127 c/s で、疲れ限度決定のためのくり返し数は 10⁷ 回まで行なった。

2) 表面アラサの測定

鋼線の表面アラサの測定は、疲労試験に用いた試験片の中央部約 60 mm を酸洗後供試材とし、小坂式仕上面検査機を用いた。アラサは鋼線の長手方向に測定し、倍率は縦方向 1000 倍、横方向 40 倍を用い、アラサの表示は JIS B 0601 の表面アラサの表示法によった。なお試験片の酸洗は 5% 硫酸水溶液を 50°C に加熱し 2 分間浸漬したのちとりだし水洗した。

* 国鉄鉄道技術研究所 金属材料研究室

3. 試験結果

(1) 疲労試験

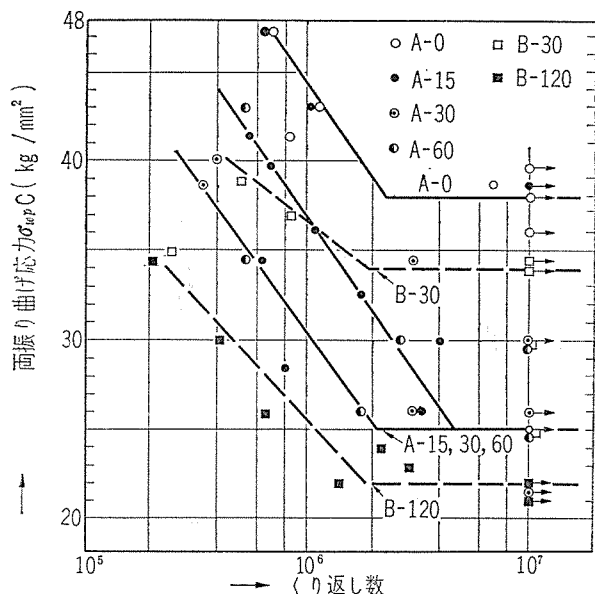
両振り曲げ疲労試験および表面アラサ測定の結果を表-2に示す。また疲労試験の応力-くり返し数線図を図-1, 2に示す。

表-2 試験結果

試験片 No.	両振り曲げ 疲れ限度		σ_{wp}/σ_B^* (%)	表面アラサ (μ)
	(kg/mm ²)	比		
A-0	38	1.00	22.8	1
A-15	25	0.66	15.0	7
A-30	25	0.66	15.0	13
A-60	25	0.66	15.0	13
B-30	34	1.00	20.0	3
B-120	22	0.65	12.9	35
C-0	37	1.00	21.3	2
C-15	28	0.76	16.1	5
D-O	32~34	1.00	19.5~20.7	7~10
D-P	32~34	1.00	19.5~20.7	7~10

注：両振り曲げ疲れ限度と各グループの原線の引張強さとの比(%)

図-1 試験片 A-B の応力くり返し数線図

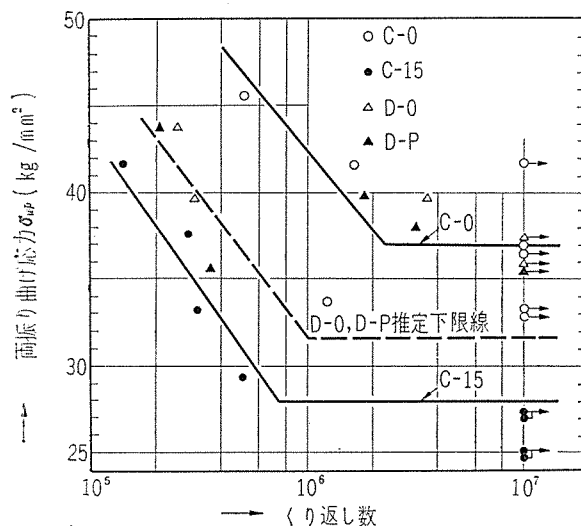


試験結果に明らかなように、鋼線の全面にわたって赤サビが発生すると、その疲れ限度は腐食前の疲れ限度に比し約 25~35% 低下し、曝露期間の長短にはあまり影響されないことがわかった。

試験片Dグループの疲れ限度は試験片数が不足なので図-2には推定範囲で示したものであるが、これによるとDグループにおける両鋼線の疲れ限度の差はほとんどないものと考えてよい。

(2) 表面アラサ

図-2 試験片 C, D の応力-くり返し数線図



鋼線表面のアラサ測定の結果を図-3に、また表面の腐食状況を写真-1に示した。

鋼線表面のアラサは、供試状態のままでは 1~2 μ で平滑であり、仕上げ加工法における精密研削級に相当する。

ただし、試験片Dグループの両線は、サビの発生がないにもかかわらず他のサビのない鋼線と比し表面アラサがやや大であった。また図-3における試験片Dグループのアラサ測定結果は1コイルの鋼線中のアラサの差異を示したものと考えた方がよい。

鋼線を曝露すると、数日の雨天または7~10日位の露のしめりによって全面的に赤サビを発生し、そのうち点々と腐食が選択的に発達して表面に凹凸が目立ってくる。

図-3 (a) 試験片の表面アラサ

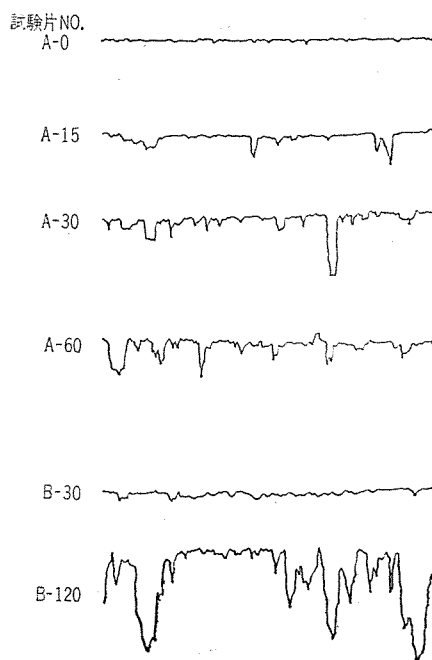
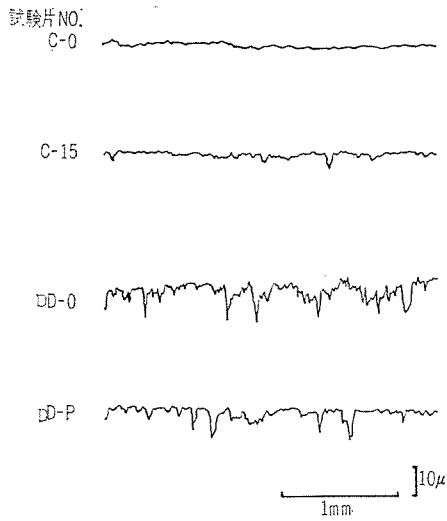


図-3 (b) 試験片の表面アラサ (縦...×1000, 横...×40)



る。

図-3 の表面アラサは腐食によって発生した赤サビを軽度の酸洗によって除去したもので、曲線の凹凸は点状に腐食した鋼線の表面状況を示し、曝露日数が増加するにしたがって曲線の凹凸の数と凹凸の上下の差が増大している。

写真-1 (a) 試験片の表面状況

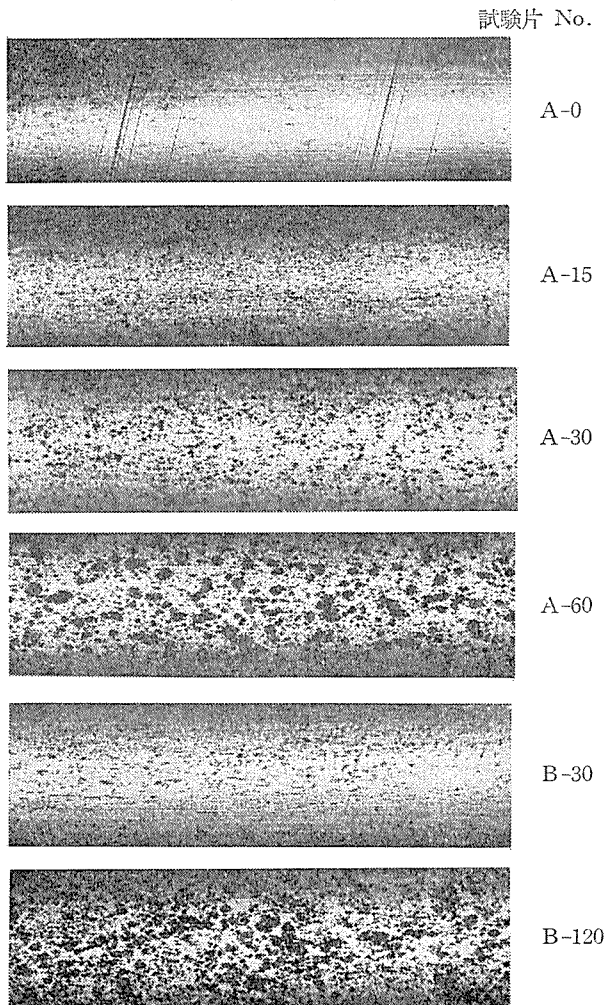
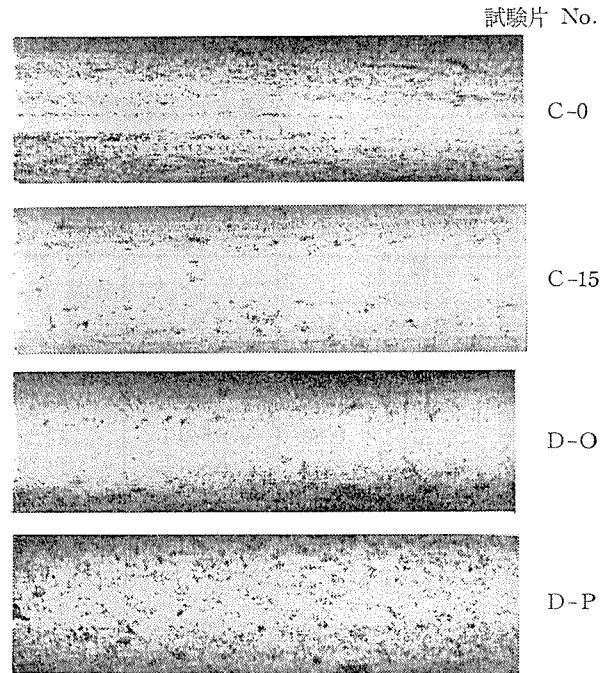


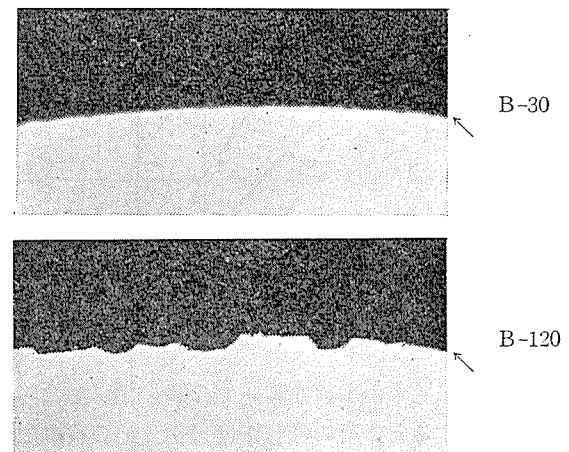
写真-1 (b) 試験片の表面状況



また写真-1 も試験片の表面の状況を示すものであるが、図-3 とくらべるとわかるように曝露日数が増すにつれ点状腐食(写真の黒い部分)の数も面積も増加していることがわかる。

写真-2 は今回の試験で最も曝露日数の長い試験片 B-120 とその原線に近い B-30 の鋼線の横断面表面部を拡大したもので、曝露日数が増えると点状腐食の部分は増加するが、その凹状の底部はかえって大きな曲率の形状となって腐食されている。

写真-2 試験片 B の表面腐食孔の断面



注: 矢印は鋼線の表面を示し白い部分は鋼線

前述の疲労試験の結果で曝露日数が増してもその疲れ限度はほとんど変化なく一定値を示しているが、これは初期に発生した数少ない鋭角的な点状腐食孔と相当曝露日数を経過した数の多い鈍角の点状腐食孔とが鋼線の疲労に対する切欠き効果としては同程度に作用していることを示している。

4. 考 察

(1) サビのない P C 鋼線の疲れ限度

P C 鋼線の疲れ限度としては、先に著者等の電磁共振形両振り曲げ疲労試験機による 7φ 鋼線の試験結果を本誌の資料¹⁾として発表した²⁾が、それによると、サビのない状態の両振り曲げ疲れ限度は 33~38 kg/mm² であった。今回の試験でもサビのない試験片 A-O, C-O, D-O, D-P の両振り曲げ疲れ限度は 32~38 kg/mm² で前回の試験結果とほぼ同じ値を示した。

このように疲れ限度にバラツキがあるのは、同程度の引張り強さを有する P C 鋼線でも、その表面状況、この場合は鋼線の引抜加工面のアラサにより、その疲れ限度に 32~38 kg/mm² 程度の差が生じたものと考えてよい。

(2) サビのある P C 鋼線の疲れ限度

図-4 は今回の試験結果を、横軸に表面アラサ、縦軸に疲れ限度をとって、サビによる表面アラサの増加と疲れ限度の降下を示したもので、図中のバネ鋼第 3 種による両振りねじり疲労試験の結果は表-3 の注にその試験概要を示す。

表-3 曝露腐食によるバネ鋼の疲れ限度の低下

試験片 No.	曝露期間 (31.9.1) より)	曝露条件			表面アラサ (μ)	疲れ限度 (kg/mm ²)	
		晴	雨	降水量 (mm)		(kg/mm ²)	比
S-0	なし	—	—	—	1	42	1.00
S-30	1 ヲ月	12	18	195.5	35	25	0.60
S-60	2 ヲ月	25	36	499.9	75	19	0.45
S-120	4 ヲ月	71	51	580.1	75	19	0.45
S-180	6 ヲ月	117	64	676.6	150	19	0.45
S-270	9 ヲ月	172	101	1036.6	—	19	0.45
S-360	12 ヲ月	218	147	1548.0	—	19	0.45

注：1) 試験材：バネ鋼第 3 種、2) 試験機：倉石・久野式くり返しねじり疲れ試験機、3) 試験片寸法：平行部 14 mm、直径 5 mm、4) 試験片熱処理：850°C 油焼入 470°C×30 分焼もどし。カタサ $H_R C=41 \pm 0.5$ 。5) 曝露場所：鉄道技術研究所浜松町分所構内。6) 気象条件：中央气象台報告による。

図-4 表面アラサと疲れ限度

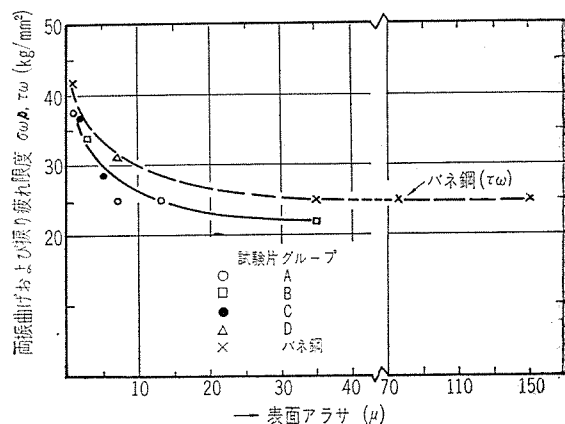
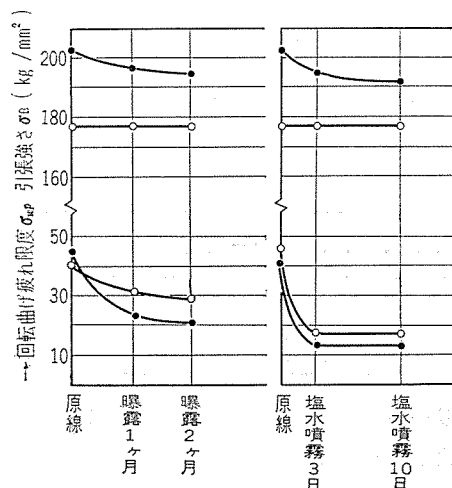


図-4 によると、表面アラサ 10 μ, 曝露 15 日間程度のかかり軽度と思われるサビの発生によっても、その疲れ限度は急激に低下し、原線の疲れ限度の約 65~75% になる。以後、サビの程度が増して表面アラサが増加しても疲れ限度には大きな変化は認められない。これは前項でも述べたように腐食によって生じた腐食孔の形状が疲れ強さに影響をおよぼさないように変化するためである。またバネ鋼による試験結果もほとんど同じ傾向を示しているが、鋼材の成分および熱処理法からみて P C 鋼線として使用されるオイルテンパード線および熱処理 P C 鋼棒に相当するので参考とされたい。

図-5 に示される試験結果³⁾は、2.9 mm および 5 mm P C 鋼線を用いて、曝露 2 ヲ月および塩水噴霧 10 日間まで腐食させた試験片を High-Robertson 式回転曲げ疲労試験機によってくり返し数 10⁶ 回まで疲労試験した結果と引張り強さの試験結果を示したものである。図-5 によると引張り強さの低下は最大でも 5% 程度であるにもかかわらず、疲れ限度は初期の腐食によって急激に降下し、以後あまり変化しないことがわかる。なお 図-5 で注意しなければならないことは、引張り強さおよび疲れ限度の腐食による低下は太線より細線の方にいちじるしく影響をおよぼすことである。また塩水噴霧による腐食の場合は、きわめて短期間に疲れ限度が激しく低下しているが、これは今回の試験結果中海岸で曝露した試験片 B-120 が最低の疲れ限度を示したのとあわせ考えると、海岸での P C 鋼線に作用する腐食の影響は内陸部より激しいものと考えねばならない。

図-5 腐食による機械的性質の変化



(3) P C 鋼線の機械的性質におよぼす腐食の影響

P C 鋼線はその表面にサビの発生を完全に避けて使用されることは現状では不可能で、実際使用時において多少のサビが発生するのはやむをえない。サビが発生すると当然種々の機械的性質は低下の傾向をたどり、極端な