

ねじの腐食寿命予測と試験方法の検討（Ⅴ）

1. まえがき

近年、持続可能な社会を築いていくために、資源・エネルギーの消費を控え、さらに環境に配慮したモノづくりと、コスト低減と安全設計のために、金属製の材料や表面処理材料をはじめとする多くの構造物や部材について耐用年数の予測が求められている。

建築構造物の屋根や外壁などを締結する重要な役割をもつ、ねじ・ファスナーなどの金物についても、10年や20年といった長期間にわたるメンテナンスに関する情報の提供が大切である。さらに、企業活動のグローバル化により、自社の提供した締結材が製品に付随して諸外国の異なる環境で使用される状況も想定される。したがって、国内外にむけても製品の実曝露環境下における寿命予測に関する情報の提供も必要である。

従来から、耐食性の一般的な評価として、百年近い歴史をもつ塩水噴霧試験がよく知られている。しかしながら、塩水噴霧試験は品質管理としては優れているが、実環境との相関性に課題のあることが知られており¹⁾、顧客が求める寿命予測を行うことは難しい。

このような現状から、自動車部品の表面処理の評価を中心に、多くの屋内腐食促進試験方法と装置が開発されてきた^{2)、3)、4)、5)}。

これらの方法で、定常的にねじやファスナー部品の耐食性の評価を行うには企業にとって大きな負担となる。そこで、関西ねじ協同組合では、ねじやファスナーなどの締結材の実環境での寿命予測を行うため、平成14年から活動の一環として表面処理グループを立ち上げ、平成16年から、国内外8か所(国内6か所、国外2ヶ所)で屋外曝露試験を行いながら相関性の高い腐食促進試験方法の試験条件の検討を開始した。その結果、国内沿岸部の屋外曝露試験結果と相関性の優れた試験条件⁶⁾(FCK法、特許取得:第4471897)を見出すと共に、国外では腐食挙動が異なることを報告した。

2. 研究目的

本年度は次の項目を検討題目とした。

- 1) 屋外曝露試験の継続
- 2) 国内の市場に流通している商品をFCK法で耐食性の評価
- 3) FCK法のPR

3. 実験方法

(1) 屋外曝露試験

1) 試験片

屋外曝露試験を行った試験片の種類と材質および表面処理の一覧表を表1に示す。

試験片の内、A～Hは平成16年度から曝露(重慶は平成17年)、I～Tは平成18年度より試験を開始し現在に至る。屋外曝露中の試験片の種類を表1に示す。

表 1 試験片の種類

種類	ドリルねじ			六角ボルト
ねじの材質	SWCH18A	SUS410 系	SUS304 系	SWCH10R
表面処理	A:ユニクロ 5 μ m	D:パシベート 1		F:3価クロメート 5 μ m
	B:ユニクロ 12 μ m	E:パシベート 2		G:ユニクロ 5 μ m
	C:ユニクロ 20 μ m			H:溶融亜鉛 20 μ m
	I:クロムフリー 複合皮膜処理 I	P:すずめっき	S:SUS305J1 パシベート	
	J:クロムフリー 複合皮膜処理 II	Q:複合皮膜処理 1	T:XM7 パシベート	
	K:複合皮膜処理 1	R:複合皮膜処理 2		
	L:複合皮膜処理 2			
	M:ふっ素樹脂			
	N:アクリル樹脂			
	O:水溶性樹脂			

2) 屋外曝露場所

本年度から御前崎および宮古島の曝露を終了し、次の地点で引続き暴露試験を実施している。曝露場所と試験の開始時期を表2に示す。

表 2 曝露場所と試験開始

場所	所在と環境	曝露開始
名古屋 1	名古屋市南区 都市部、 周辺住宅地	平成 16 年 2 月
〃 2	〃 工業地帯、 1 より南 2km	〃
大阪 1	大阪市東成区 都市部	〃
〃 2	〃 都市部、 1 より南 1.5km	〃
重慶 1	重慶市環境科学研究所、都市部	平成 17 年 2 月
重慶 2	江津市、西南工業技術研究所 曝露場、1 より南西 20km	平成 18 年 2 月

3) 観察方法:従来と同様、国内の曝露地点では3ヶ月毎に頭部を目視観察する。

国外は1~2回/年程度とし、必要に応じて観察回数を増やす。腐食の程度は顧客からのクレームを考慮して、目視によりねじ頭部に一部でも赤さびが認められる時間(これを赤さび発生時間と称する)と本数(例1本:1/5)を記録し、同時に写真撮影を行った。

(2) 市場流通品の耐食性の評価

市場に流通している、ねじ・ナット等の試験用部材の提供を受け、その耐食性を評価した。

1) 試験片

表3 試験片の種類と表面処理

No	分類	サイズ	材質	表面処理	熱処理
1	ドリルねじ Ⅲ	M4×13	SUS410	ニッケル亜鉛合金+コーティング	真空窒化
2	フランジ付きナット	M6	SWCH10R	ノンクロム亜鉛系複合被膜	なし
3	なべドリル	M4×13	SWCH18A	ノンクロム亜鉛系複合被膜+コーティング	浸炭
4	六角ナット	M6	SUSXM-7	パシベート処理	
5	六角ナット	M8	SUS316L	パシベート処理	
6	ドリルねじ	M4×25	SUS410	ノンクロム亜鉛系複合被膜+コーティング	真空熱処理
7	ドリルねじ	M6.3×55	SUS410	亜鉛系複合被膜+複合焼き付け処理	真空熱処理
8	段付きボルト	8×10.5	SCM435	ノンクロム亜鉛系複合被膜	調質熱処理
9	4TPW(ワッシャー)	8×16	SWCH10R	ノンクロム亜鉛系複合被膜	なし
10	ドリルねじ		SUS410	酸化着色	真空熱処理
11	ドリルねじ	4.8×16	SWCH18A	ニッケル合金メッキ+コーティング	
12	ドリルねじ	4.8×16	SWCH18A	ニッケル合金メッキ+コーティング	
13	パイプ式 ターンバックル	M16×100	STKM13A	溶融亜鉛めっき(HDZ35 めっき厚 50 μ)	なし
14	六角ボルト 4.8	M16×50	WRCH10R	溶融亜鉛めっき(HDZ35 めっき厚 50 μ)	なし
15	六角ボルト 4.8	M10×50	鋼	フッ素樹脂被膜	なし
16	六角ボルト 4.9	M10×50	鋼	高分子複合被膜	なし
17	六角ボルト 10.9	M30×200	SCM	亜鉛系複合被膜	10.9
18	六角ボルト 10.10	M36×140	SCM	溶融亜鉛メッキ	10.9
19	トルクスボルト	M8×10	SCM435	亜鉛フレーク被膜着色	調質
20	六角フランジボルト	M10×8	SCM435	ノンクロム亜鉛系複合処理+コーティング	なし
23	六角穴付ボルト 10.9	M6×25	SCM435	三価クロメート5 μ m	調質熱処理
24	ドリルねじ	M4.2×41	SWCH18A	黒色ノンクロムアルミ系複合被膜	浸炭焼入れ焼戻し
25	ドリルねじ	M3.5×38	SUS410	亜鉛系複合被膜	真空焼入れ
26	ドリルねじ	M5×55	SWCH18A	ノンクロムアルミ系複合被膜	浸炭焼入れ焼戻し
27	ドリルねじ	5×25	SUS410 系	パシベート処理+ワックス	
28	六角ボルト	M6×50	SUS304J3	パシベート	
29	六角フランジボルト	1/4-20×2"	SUS316L	パシベート	
30	ハイローネジ	M4.2×32	鋼	アルミ系複合被膜処理	浸炭焼入れ
31	ハイローネジ	M5.3×25	鋼	アルミ系複合被膜処理	浸炭焼入れ
32	六角ボルト	M16×80	SS400	溶融亜鉛メッキ	なし
33	六角ボルト	M16×80	SS400	カチオン電着塗装	なし
34	六角ボルト	M16×80	SWCH33K	溶融亜鉛錫合金メッキ	

2) 促進試験条件

試験片の耐食性は関西ねじ協同組合が開発した FCK 法で評価した。

試験条件

① $50 \pm 1^\circ\text{C} \times (\text{溶液噴霧} 16\text{Hr} + \text{乾燥} 8\text{Hr} \text{ 湿度 } 20 \sim 30\% \text{RH})$ を1日 (1サイクル) とする。

② 試験溶液

$0.0001\text{N}, \text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液 ($\text{pH} \approx 4$) + $0.5\text{wt}\% \text{NaCl}$ + $0.1\text{wt}\% \text{CaCl}_2$ 。 $\text{pH} \approx 4$ になるように調整する。

③ 溶液噴霧条件 (JIS Z2371 塩水噴霧試験方法に準拠)

④ 試験装置: スガ試験機(株)製、型式: ISO-3-CYR 型

⑤ 試験期間: 60日 (60サイクル)

⑥ 評価方法

ねじ5本を樹脂製の板 (アクリル板、 $70 \times 150 \times 3\text{t}$) に取り付け、装置に設置し、

土日祭日を除き、ほぼ毎日、乾燥時に試料の腐食状況を目視観察する。

赤錆が3/5となった時間を赤錆発生時間 (日) とした。白錆も参考のために記録した。

4. 試験結果と考察

1) 実曝露試験場の観察結果

A) 試験片: A~H

1) 国内曝露場所の観察結果を写真1に示す。

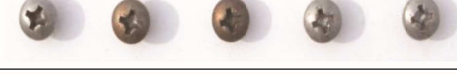
試料	大阪 1	名古屋 1
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		

写真1 屋外曝露 (国内) 84 カ月の腐食状況

写真1に示すように、曝露試験開始、7年を経ても大阪や名古屋のような都市部では、B,C および H など、亜鉛めっき厚み $12\mu\text{m}$ 以上のねじ頭部には赤錆の発生は見られない。しかし、Hを除き、首下のねじ部には一部に赤錆が見られた。国外(中国重慶)の屋外曝露観察結果を写真2に示す。

試料	腐食状況	試料	腐食状況
A		E	
B		F	
C		G	
D		H	

写真2 屋外曝露（国外・重慶）64 カ月の腐食状況 注）：2009.10 観察

写真2のように、重慶でも厚さ $20\mu\text{m}$ 以上の亜鉛めっきを施すと(C および H)、約5年間は赤錆の発生が起これないことが判った。また SUS410 は、日本では数カ月で赤錆が発生するが、重慶においては5年間曝露しても赤錆が生じていない。

B)試験片：I～T

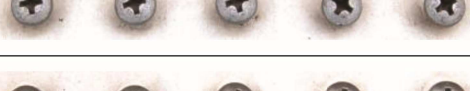
試料	腐食状況	試料	腐食状況
I		O	
J		P	
K		Q	
L		R	
M		S	
N		T	

写真3 屋外曝露（国外・重慶）44 ヶ月の腐食状況 注）：2009.10 観察

I～T 重慶での腐食状況を写真3に示す。重慶の環境下では、試験片 I.K および P のように無機系と思われる複合皮膜処理では耐食性が劣るが、有機系の複合皮膜処理は有効である。

また、Q～T のように素地が SUS410 系のねじは、このような環境下においても優れた耐食性を示している。

2) 屋内加速腐食試験 (FCK 法) と実曝露試験との相関性

A～T の試験片について FCK 法と屋外曝露試験との相関性の再評価を曝露地点ごとに行った。

その結果、FCK 法の実曝露試験との単相関性は、より一層向上した。

国内の曝露地点を、都市部および海岸部に分類して評価した結果を図1, 2に示す。

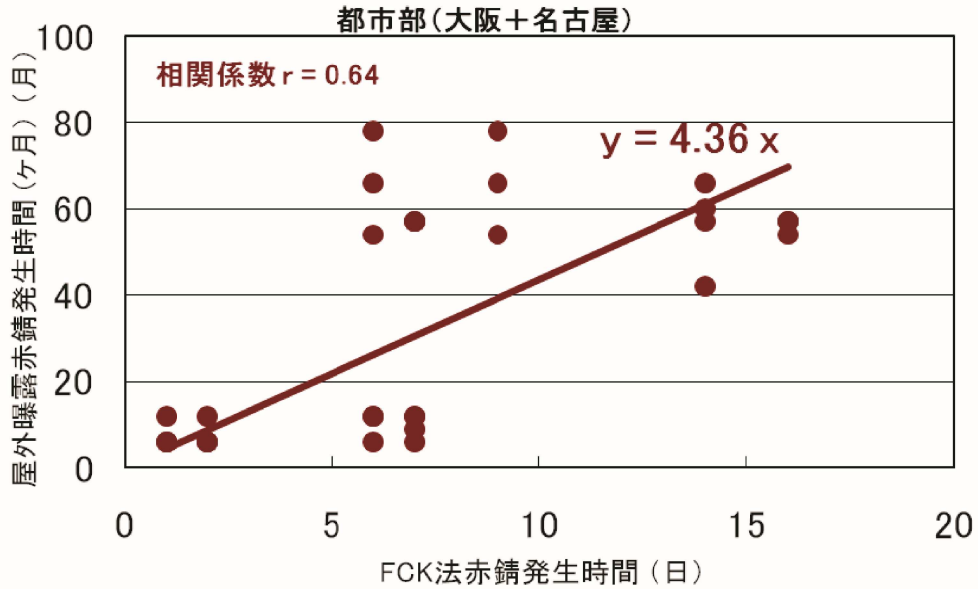


図1 FCK 法と都市部との相関性

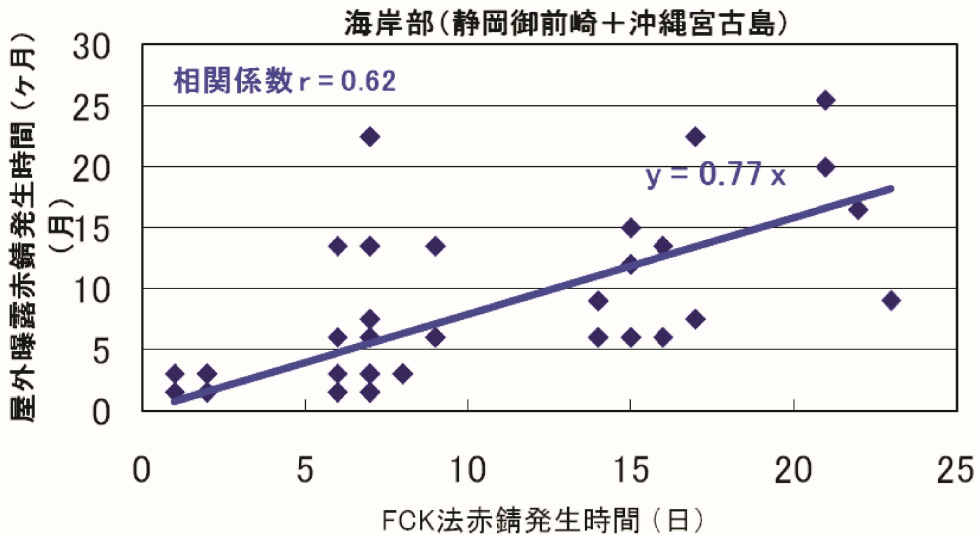


図2 FCK 法と海岸部との相関性

3) 市場流通品の FCK 法による耐食性の評価

表 4 FCK 法による試験結果 (試験時間 : 60 日間)

赤錆発生 (日)	試料 No	分類	材質	表面処理	熱処理	試験後の 外観
認めず	1	ドリルねじ 皿	SUS410	ニッケル亜鉛合金＋コーティング	真空窒化	全面白錆
認めず	3	なべドリル	SWCH18A	ノンクロム亜鉛系複合被膜＋コーティング	浸炭	変化なし
認めず	6	ドリルねじ	SUS410	ノンクロム亜鉛系複合被膜＋コーティング	真空熱処理	変化なし
認めず	7	ドリルねじ	SUS410	亜鉛系複合被膜＋複合焼き付け処理	真空熱処理	変化なし
認めず	11	ドリルねじ	SWCH18A	ニッケル合金メッキ＋コーティング		全面白錆
認めず	12	ドリルねじ	SWCH18A	ニッケル合金メッキ＋コーティング		全面白錆
認めず	17	六角ボルト 10.9	SCM	亜鉛系複合被膜	10.9	変化なし
認めず	19	トルクスボルト	SCM435	亜鉛フレーク被膜着色	調質	全面白錆
認めず	20	六角フランジボルト	SCM435	ノンクロム亜鉛系複合処理＋コーティング	なし	変化なし
認めず	25	ドリルねじ	SUS410	亜鉛系複合被膜	真空焼入れ	全面白錆
認めず	27	ドリルねじ	SUS410 系	パシベート処理＋ワックス		変化なし
57	15	六角ボルト 4.8	鋼	フッ素樹脂被膜	なし	一部赤錆
55	16	六角ボルト 4.9	鋼	高分子複合被膜	なし	〃
44	26	ドリルねじ	SWCH18A	ノンクロムアルミ系複合被膜	浸炭焼入れ焼戻し	全面赤錆
33	24	ドリルねじ	SWCH18A	黒色ノンクロムアルミ系複合被膜	浸炭焼入れ焼戻し	〃
19	4	六角ナット	SUSXM-7	パシベート処理		〃
19	29	六角フランジボルト	SUS316L	パシベート		〃
14	8	段付きボルト	SCM435	ノンクロム亜鉛系複合被膜	調質熱処理	〃
14	9	4TPW(ワッシャー)	SWCH10R	ノンクロム亜鉛系複合被膜	なし	〃
12	2	フランジ付きナット	SWCH10R	ノンクロム亜鉛系複合被膜	なし	〃
12	10	ドリルねじ	SUS410	酸化着色	真空熱処理	〃
12	23	六角穴付ボルト 10.9	SCM435	三価クロメート5μ m	調質熱処理	〃
12	28	六角ボルト	SUS304J3	パシベート		〃
12	30	ハイローネジ	鋼	アルミ系複合被膜処理	浸炭焼入れ	〃
12	31	ハイローネジ	鋼	アルミ系複合被膜処理	浸炭焼入れ	〃
5	34	六角ボルト	SWCH33K	溶融亜鉛錫合金メッキ		〃
3	14	六角ボルト 4.8	WRCH10R	溶融亜鉛めっき(HDZ35 めっき厚 50μ)	なし	〃
3	32	六角ボルト	SS400	溶融亜鉛メッキ	なし	〃
2	5	六角ナット	SUS316L	パシベート処理		〃
2	13	パイプ式ターンバックル	STKM13A	溶融亜鉛めっき(HDZ35 めっき厚 50μ)	なし	〃
2	18	六角ボルト 10.10	SCM	溶融亜鉛メッキ	10.9	〃
1	33	六角ボルト	SS400	カチオン電着塗装	なし	〃

FCK 法で 60 日間、耐食性を評価した結果を表4に示す。表は、表面処理方法の開発研究への活用のため、耐食性の順位別にまとめた。また、各試験片でねじ頭部に 5 本中 3 本の赤錆が認められた時間を赤錆発生時間とした。さらに、参考のため試験後の試験片の外観も表示した。

耐食性は素材の材質や熱処理に関係なく表面処理に依存していることがよくわかる。

再評価した都市部と海岸部の単相関式で赤錆発生を予測すると表5のようになる。

表 5 FCK 法による赤錆発生予測

赤錆発生(日)	都市部 (y=4. 36)	海岸部 (y=0. 77)
5	22 ヶ月	4 ヶ月
10	44 ヶ月	8 ヶ月
20	87 ヶ月	15 ヶ月
40	174 ヶ月	31 ヶ月
60	262 ヶ月	46 ヶ月

FCK 法で 60 日間赤錆や白錆の発生が認められない試験片は、今回のような都市地域では 20 年以上、また海岸地域では約 4 年近く腐食の可能性が少ないことになる。

さらに、この FCK 法は、屋外において金属材料が酸性雨雰囲気に曝されることを想定した加速腐食試験方法であるので、経済活動のグローバル化に伴う降雨の酸性化が進行している東南アジア、インド、中近東、アフリカ等の地域⁷⁾で使用されるねじの耐食性の予測にも適用できる可能性がある。

5. まとめ

以上の研究結果から次のような知見が得られた。

1) 屋外曝露試験を続けることにより、屋内促進腐食試験である FCK 法は実曝露との相関性は更に向上し、次のような関係式を得た。

都市部:Y=4.36X

海岸部:Y=0.77X

X:FCK 法試験時間(日) Y:屋外曝露における赤錆発生時間(ヶ月)

2) 市場に流通しているねじ等を FCK 法で評価したところ、都市部において 20 年間以上の耐食性が予想される試験片も存在した。

3) しかしながら、市場に供給されたねじは、多くの地域でも使用されており、それらの場所では相関性も異なることも予想される。そこで、信頼性をより一層高めるため FCK 法で得られた結果をもとに、使用地域の気象因子や環境因子を考慮した新たな寿命予測式を求める必要性も生じた。

引用文献

- 1) US Army Corrosion Summit (Round Robin test) 2002
- 2) 武藤 泉、杉本克久：材料と環境、47、p519(1998)
- 3) 西村俊弥、片山英樹、野田和彦、児玉俊明：材料と環境、49、p45(2000)
- 4) 木村 肇、大熊俊之：防錆管理、46、(11)、p1(2002)
- 5) 梶山浩志、藤田 栄、鷺山 勝：JFE 技報、12、(5)、p36(2006)
- 6) 関西ねじ協同組合 研究開発委員会表面処理グループ報告 (2009)
- 7) Johan Tidblad, : 17th International Corrosion Congress Paper No.2682(2008)

研究開発委員会メンバー表

	企業名	役職名	氏名
1	社団法人 日本防錆技術協会	関西支部 副支部長	佐藤 幸弘
2	株式会社コクブ	代表取締役	大場 康弘
3	フジテック株式会社	代表取締役	藤原 廣二
4	ケーエム精工株式会社	設計開発グループ長	竹田 聖
5	株式会社ヤマヒロ	品質保証室長	奥村 和久
6	ケーエム精工株式会社	代表取締役	北井 敬人
7	株式会社竹中製作所	表面処理事業部 部長	黒山 昭治
8	株式会社竹中製作所	表面処理事業部	中尾 拓磨
9	フジテック株式会社	品質保証部 部長	東野 宏治
10	株式会社丸エム製作所	品質保証部長	出羽 弘
11	三喜鉚螺株式会社	営業部長兼執行役員	岡本 昌之
12	株式会社ミヤガワ	技術部長	北野 克史
13	株式会社ミヤガワ	品質保証部 部長代理	芝本 和治
14	有限会社アールケイ興産	常務取締役	松田 敏雄
15	サカモト工業株式会社	品質保証部 課長	佐野 芳和
16	サカモト工業株式会社	設計開発部 係長	北野 広志
17	田中熱工株式会社	技術部 次長	四宮 尚士

(敬称略)

活動の記録

H22.7.8 : (社) 日本防錆技術協会第 30 回防錆防食技術発表大会

H22.10.26 : 国際会議、International Corrosion Engineering Conference 2010
(国際腐食防食技術会議 2010、Hanoi ベトナム)

H22.11.26 : (社) 日本防錆技術協会関西支部 講演会