

# スチールハウス用表面処理鋼材の寿命評価

## The Life Prediction of Coated Steel Frames for Steel-Framed Houses

松本雅充/Masamitsu Matsumoto・総合技術研究所 化学研究部 副主任研究員

山本誠志/Masashi Yamamoto・(元)鋼板事業部 薄板建材部 参事

濱田伸一/Shin-ichi Hamada・鋼板事業部 薄板建材部 スチールハウス技術グループ

### 要 約

住宅の構造用材として、高耐久で信頼性の高い表面処理軽量形鋼は、今後とも伸びるものと思われる。21世紀に向け、住宅性能要求がシビアになる中で、用材寿命の明確な判断技術は、欠くことのできない分野である。めっき皮膜の屋内での腐食速度を正確に推定・定量し、寿命を予測する技術確立が重要になる。そこで、腐食促進試験、模擬容器腐食試験およびモニターハウス試験を行い、スチールハウス用鋼材の寿命評価を試みた。本報告では、スチールハウス用鋼材の寿命評価技術に関する研究成果のエッセンスをわかりやすくまとめる。

### Synopsis

It is expected that the use of light-gauge steel shapes as building structure will be expanding in the 21<sup>st</sup> century. As high performance for building is required, the life prediction technology for building materials is an indispensable field. The establishment of the life prediction technology for coatings, which is to evaluate and measure indoor corrosion rates precisely, is important. Therefore, a cyclic corrosion test, sheltered exposure tests and monitor houses tests were investigated in order to evaluate the life of steel frames for Steel-Framed Houses. In this report, the essence of the research is reported concerned with the method of the life prediction of coated steels for Steel-Framed Houses.

## 1. 緒 言

スチールハウスは、木造ツーバイフォー(2×4)住宅の枠材を、木材から板厚1mm前後の亜鉛系めっき鋼板を成形した軽量形鋼に置き換えた住宅である。スチールハウスは、米国や豪州では、30年程度の実績を有しているが、耐久性に関するデータは公開されていない。

スチールハウスの耐久性は、主にめっき鋼板の耐屋内腐食性に依存する。木造でも屋内閉空間の腐りが極めて構造強度を劣化させている例がクローズアップされており、構造体内強度診断技術の重要性がここにある。屋外環境での腐食は、腐食因子である飛来塩類の付着と降雨や夜露・相対湿度の変化による濡れ渴きにより進行する。また、この場合、飛来塩類は、降雨により洗い流されるため、特別な場合を除き、過度の蓄積はないと考えられる。一方、屋内環境における腐食は、飛来塩類が付着し、相対湿度の変化に伴う乾湿繰返しにより進行する。この場合、雨による洗浄作用がないことが屋内腐食の特徴であり、環境によっては、塩類の過度の蓄積も予想され高い腐食速度が懸念され

る。しかしながら、従来日本においても、屋内腐食の腐食速度を詳細に検討した報告はあまり認められない。

そこで、スチールハウス躯体の耐久寿命評価を行うべく、社鋼材倶楽部を事務局に鉄鋼6社が参加して研究に着手した。本報告では、スチールハウス用鋼材の寿命評価技術に関する研究成果のエッセンスをわかりやすくまとめる。

## 2. 研究方法

まず、軽量形鋼とドリリングタッピンねじ(以下、ドリルねじ)のめっき仕様の設定を目標に、腐食促進試験<sup>1)~4)</sup>を実施した。腐食促進試験に供試した鋼板とドリルねじを第1表に示す。これらのめっき鋼板を150×100mmに切断し、2枚合わせにして2本のドリルねじにて締結し試験片とした。腐食促進試験は、自動車技術会で規格化されているJASO M 609(第1図)を採用した。耐食性は、試験片表面における白錆および赤錆発生による外観変化を、経時的に目視観察することにより評価した。

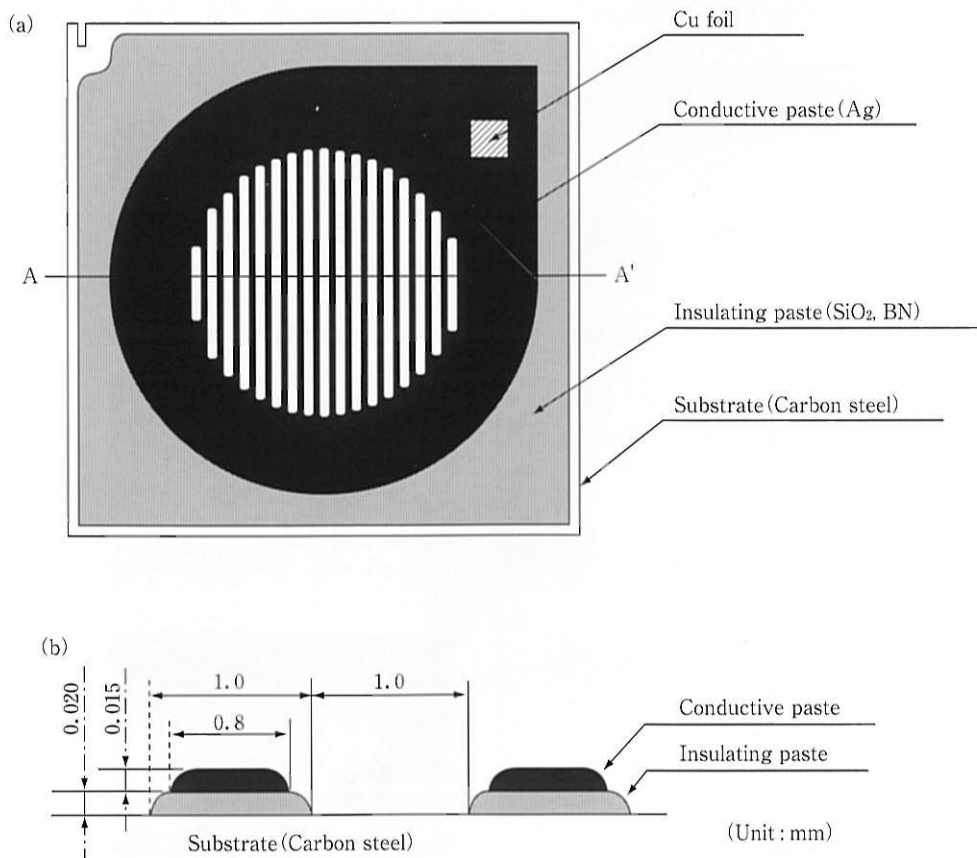
次に、躯体(屋内・壁体内)のめっき皮膜の腐食速度を定

第1表 供試材  
Table 1 Specimens

	Coatings	Coating symbol	Coating Th. ( $\mu\text{m}$ )	Size (mm)
Steel sheets	Zn coating	Z18	17	$150 \times 70$ $t=1.0$
		Z22	22	
		Z27	27	
	Zn-5%Al coating	Y12	14	
		Y18	19	
	55%Al-Zn coating	AZ90 AZ150	17 27	
Screws	Zn coating	—	5	$4.8\text{mm } \phi$ 25mm
		—	8	
		—	20	
	Zn-Ni coating	—	8	
	Anti-corrosive coating	—	10	
	Zn-rich paint	—	20	

0	2	4	6	8hr
Salt spray 35℃ 5%NaCl 2 h	Dry 60℃ 20~30%RH 4 h	Wet 50℃ >95%RH 2 h		8hr/cyc

第1図 腐食促進試験(JASO M 609)  
Fig.1 Cyclic corrosion test(JASO M 609)



第2図 ACM センサの概略図(a)平面図, (b)A-A'断面図  
Fig.2 Schematic illustration of the ACM sensor (a)Planeview, (b)Enlarged view of cross section along the line A-A'



写真1 模擬容器腐食試験の実施状況(静岡県清水市)  
Photo 1 Sheltered exposure test (In Shimizu)

量するために、模擬容器腐食試験<sup>5)~7)</sup>(写真1)を行った。特に、海塩相当付着量と腐食速度との関係(検量線)を明確化することを目的としている。模擬容器とは、種々の屋内環境を模擬するため、種々の材料(コンクリート, ALC, 針葉樹合板, ふっ素樹脂塗装鋼板, プラスチック)にて作製した内容積=約 $500 \times 300 \times 300\text{mm}$ の容器であり、外気導入のため、2垂直面に $10\text{mm } \phi$ の穴が3個ずつ明けられている。これらの模擬容器を、静岡県清水市の東京商船大学・清水臨海実験実習所に設置した。容器内には、腐食速度測定用試験片と、環境評価用 ACM(Atmospheric Corrosion Monitoring)センサ<sup>8)</sup>(第2図)および温・湿度



写真2 モニターハウス(長野県長野市)  
Photo 2 Monitor house (In Nagano)

センサを設置した。試験片(80×80mm)は、第1表と同一のZ27, Y18およびAZ150で、腐食促進のため、関東ローム(10g/m<sup>2</sup>)および海塩(0~10g/m<sup>2</sup>)を付着物としてあらかじめ付着させて供試材とした。

更に、寿命評価の精度向上のため、実際に人が居住しているスチールハウス(写真2は当社担当のモニターハウス)の種々の部位(屋外軒下、外壁内下部ランナー上、台所床下、風呂場外壁内および風呂場天井裏(写真3))に、暴露試験片、ACM センサおよび温・湿度センサを設置して、長期モニタリング試験<sup>9)</sup>を行っている。このモニターハウス試験で得られたセンサ出力に、模擬容器腐食試験で得ら

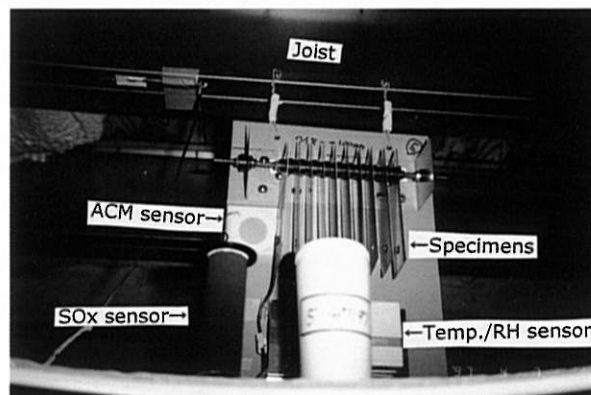


写真3 試験片およびセンサ設置例(風呂場天井裏)  
Photo 3 Example of exposed specimens and sensors  
(Among the beams above the bath room)

れた検量線を適用し、腐食速度を推定して寿命評価を行う。また、暴露試験片の腐食速度<sup>10)</sup>からも寿命の検証を行う。

### 3. 実験結果および考察

#### 3-1 腐食促進試験

腐食促進試験後の試験片の外観を写真4に、評価結果を第3図に示す。その結果、耐食性は、めっき皮膜の厚さが増すと向上した。また、めっき皮膜の種類により耐食性が異なることが判明し、純亜鉛より合金めっきや塗装の耐食性が高かった。次に、腐食促進試験(60サイクル

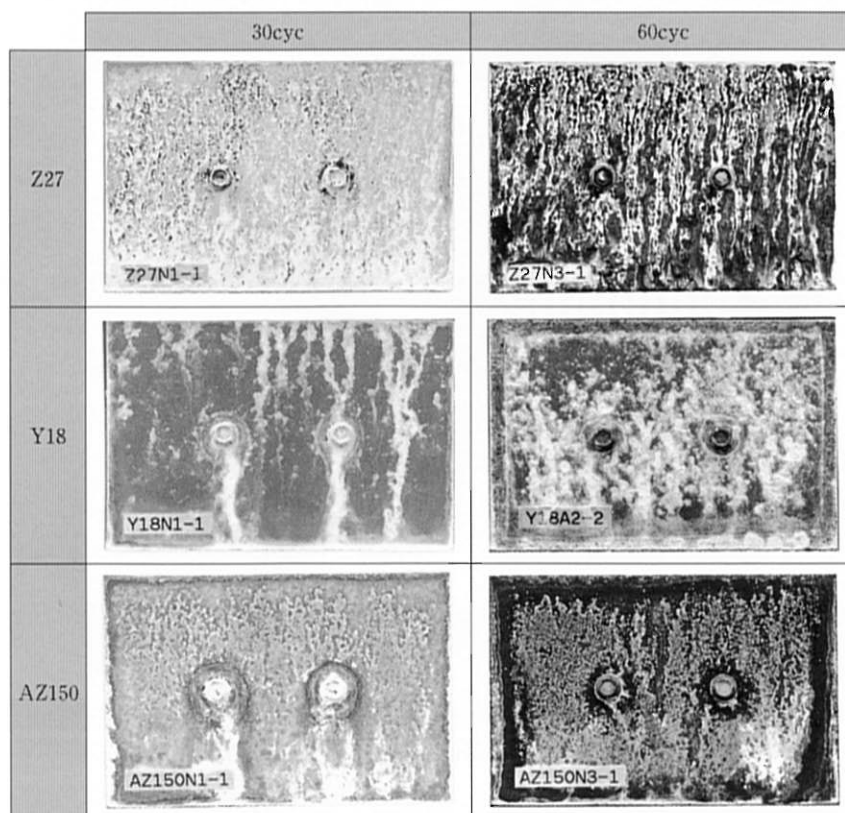
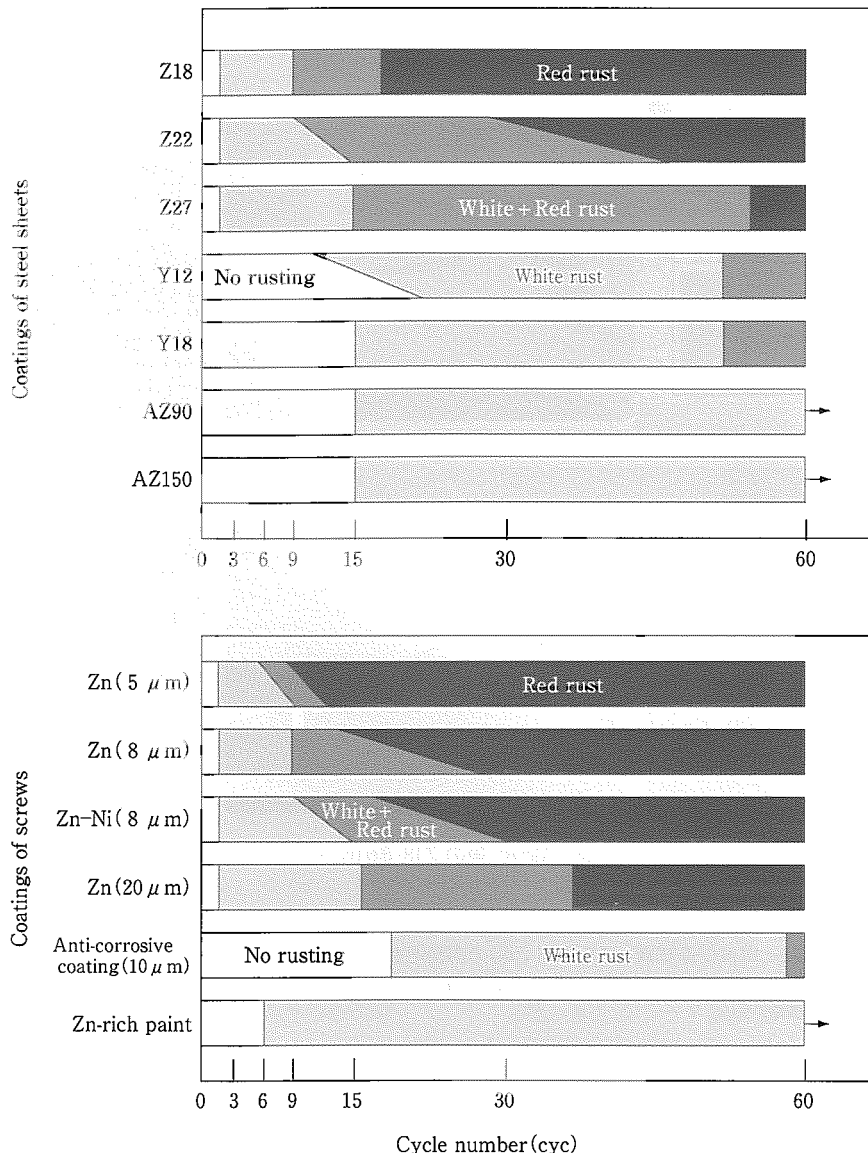


写真4 腐食促進試験後の試験片外観(JASO M 609)  
Photo 4 Appearance of specimens after CCT (JASO M 609)



第3図 腐食促進試験における鋼板とドリルねじの耐食性評価結果

Fig.3 Evaluation of the corrosion resistance of coatings for steel sheets and the screws during CCT (JASO M 609)

(cyc)後の接合部断面におけるEPMA分析を行った。写真5は、外観観察において非常に腐食の激しかったZ18と亜鉛8μmドリルねじの組合せの分析結果である。その結果、鋼板とドリルねじの接合部分では、めっき皮膜は腐食し腐食生成物になっているものの、母材鋼同士は腐食減肉なしに緊密に接触していた。せん断引張試験を行った結果、強度低下は認められなかった。これは、接合部への腐食因子である塩の浸入が抑制されたためと考えられる。

次に、めっき皮膜の寿命推定を試みた(第2表)。スチールハウス躯体は、板厚が1mm前後と薄いことから、母材鋼の腐食しろは期待しない。すなわち、耐久性は、めっき皮膜の寿命で決まると考える<sup>11)</sup>。

本試験の解析では、赤錆発生をめっき寿命の目安とした。その結果、Z27、Y18およびAZ150のめっき皮膜寿命は、それぞれ約40、>60および>200cycであった。このとき腐食しためっき皮膜は、めっき付着量の90%であるとし、

腐食速度を推定した。その結果、それぞれ約3、<1.4、<0.4g/m<sup>2</sup>/cycとなった。

一方、亜鉛の屋外での腐食速度は、SO<sub>x</sub>の影響が懸念される工業地帯で40g/m<sup>2</sup>/yr<sup>11)</sup>、海洋性亜熱帯である沖縄で30g/m<sup>2</sup>/yr<sup>12)</sup>である。ここで、腐食促進試験と屋外での腐食速度の比率を計算すると、工業地帯、海洋性亜熱帯で、それぞれ0.075および0.1yr/cycとなった。この数値を利用し、Z27の寿命を見積るとそれぞれ、約3yrおよび4yrとなった。

更に屋内環境への拡大解釈を行う。亜鉛の屋内での腐食速度は、屋外での腐食速度の8.0倍<sup>11)</sup>であることから、それぞれ、24yrおよび32yrと推定された。同様の方法により、Y18およびAZ150の寿命推定結果も記した。ただし、Y18およびAZ150の屋外での腐食速度および屋内/屋外比は明確にされておらず、Z27での値を適用した。

以上の評価により、日本の環境におけるスチールハウス

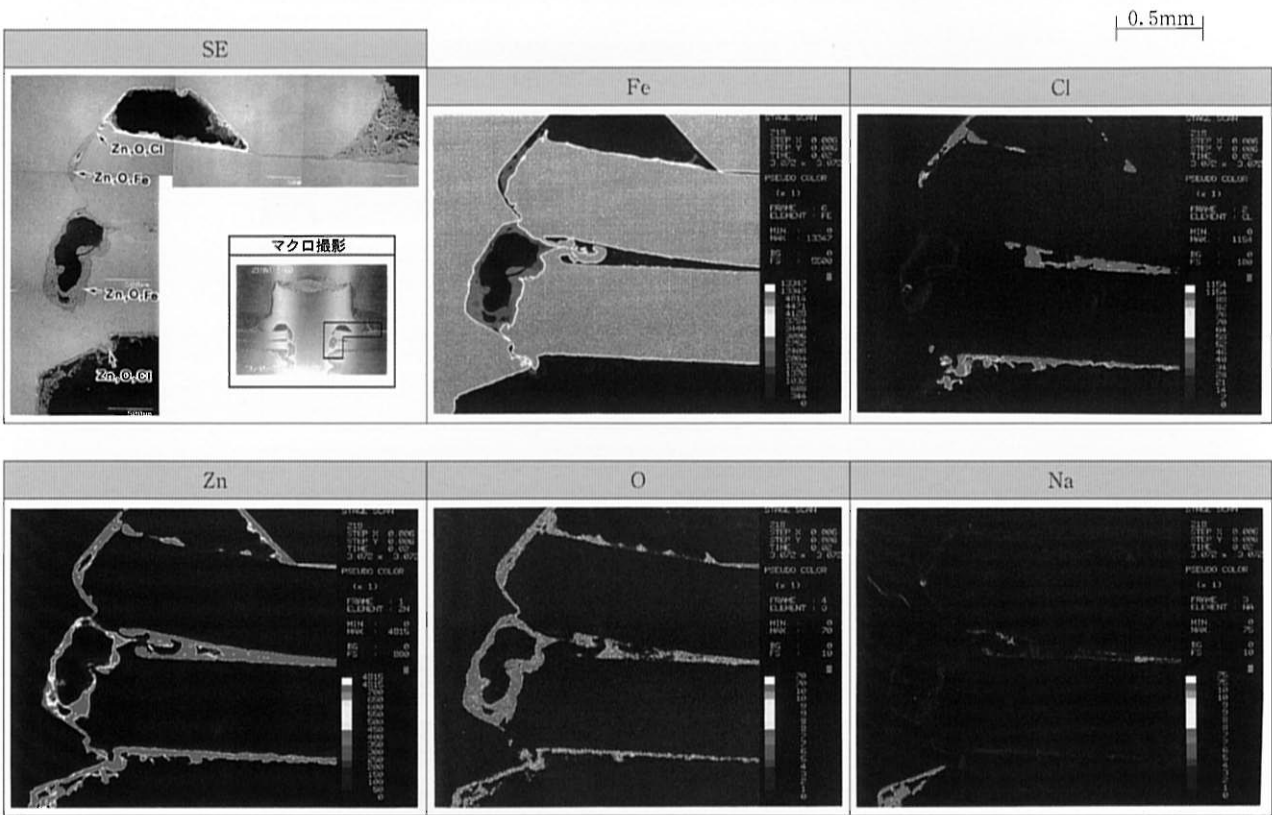


写真5 腐食促進試験(JASO M 609, 60cyc)後の Z18-8 $\mu$ m ドリルねじ接合断面の EPMA 分析  
Photo 5 Cross sectional EPMA mapping of joint Z18-8micron-screw after CCT (JASO M 609, 60cyc)

第2表 屋外暴露試験と腐食促進試験(JASO M 609)の腐食速度の比較による寿命評価  
Table 2 Life estimation of the coatings by comparison with the corrosion rates between outdoor exposure test and CCT (JASO M 609)

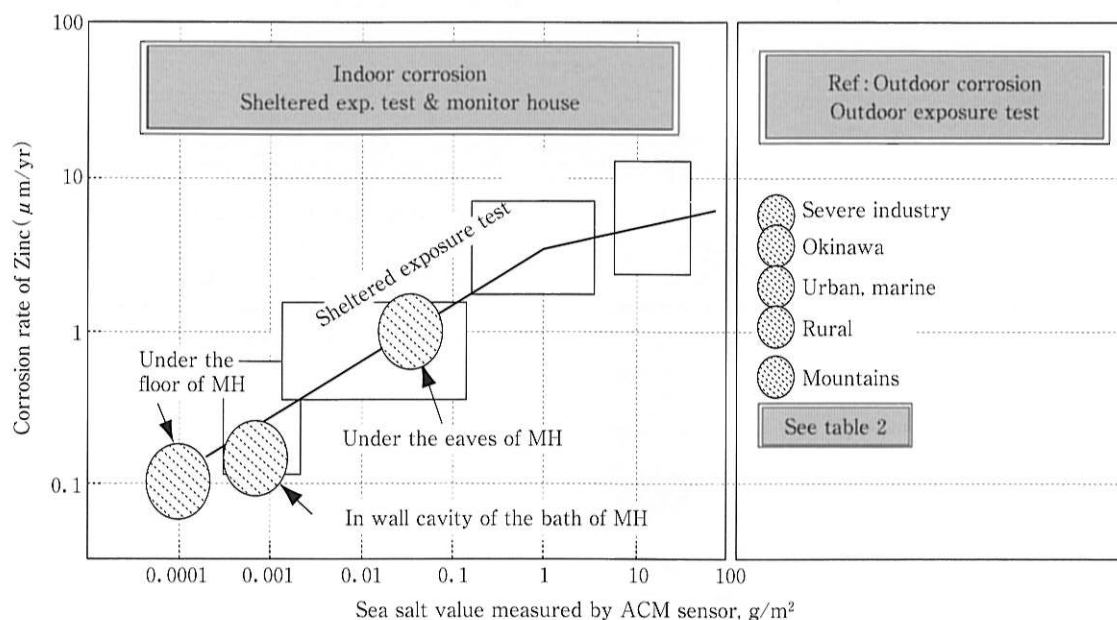
		Z27	Y18	AZ150				
C.W.(g/m <sup>2</sup> )		135	90	75				
C.W.×90%		120	80	67				
JASO	Life(cyc)	~40	>60	>200				
	Corrosion rate (g/m <sup>2</sup> /cyc)	~ 3	<1.4	<0.4				

規格としては、Z27相当の耐久性が必要条件とされ、ドリルねじの表面処理も Z27相当の電気亜鉛めっき20 $\mu$ mとされた。

3-2 模擬容器腐食試験

ACM センサは一種の濡れセンサで、その出力は表面の付着物の種類と量および相対湿度とで決まる。この関係を利用し、ACM センサの出力値と相対湿度とから、供試した環境の海塩相当付着量を決定する。海塩相当付着量は、





第4図 海塩相当付着量と亜鉛の腐食速度の関係

Fig.4 Relationship of sea salt value measured by ACM sensor and corrosion rate of zinc

付着物の種類を海塩に一元化した量で、実際に腐食反応に関与している付着物量を表すと考える。一方、同一環境にて定量した腐食速度とそのときの海塩相当付着量とから検量線を得る。1年間に及ぶモニタリング結果から得た海塩相当付着量と亜鉛の腐食速度の検量線を第4図に示す。その結果、海塩相当付着量 $=0.0001\sim 10\text{g/m}^2$ の間で、対数目盛でほぼ直線関係が得られた。このときの亜鉛の腐食速度は、ほぼ $0.1\sim 3\text{ }\mu\text{m/yr}$ に対応した。なお、海塩相当付着量 $=0.0001\text{g/m}^2$ および亜鉛の腐食速度 $=0.1\text{ }\mu\text{m/yr}$ は、測定の見出下限値である。

### 3-3 モニターハウス試験

モニタリング開始後約1年を経過した結果を第4図上に示す。その結果、屋外軒下では、海塩相当付着量は $0.03\text{g/m}^2$ 程度と比較的高く、腐食速度も $1\text{ }\mu\text{m/yr}$ と大きかった。それに対し、一方、壁体内や床下では、海塩相当付着量がそれぞれ $0.001, 0.0001\text{g/m}^2$ と小さく、腐食速度はともに約 $0.1\text{ }\mu\text{m/yr}$ と低かった。このことから、スチールハウスの躯体は、気密性の高い壁体構造内にあるため、海塩粒子の浸入量および付着量は少なく、また、相対湿度も低く抑制される環境であると考えられる。以上の結果から、屋内におけるZ27の寿命は、数十年以上であると推定された。一方、暴露試験片の腐食速度は、1年経過時点では極めて小さく、検出限界以下であった。参考のため、屋外の腐食速度は、 $0.5\sim 6\text{ }\mu\text{m/yr}$ 程度であり(第4図右側)、屋内のおよそ5倍以上であった。

## 4. 結 言

腐食促進試験、模擬容器腐食試験およびモニターハウス試験を行うことにより、スチールハウス躯体の耐久寿命評価を行ってきた。その結果、スチールハウス躯体の耐久寿命は、十分長いことが予測された。

今後、更なるデータ蓄積を行い、構造躯体内の劣化状況の予測技術を確立すべく、腐食パラメータの体系的整理とを行い、より正確な寿命評価に基づき、耐久性の保証を行い、スチールハウスの健全な普及に寄与して参りたい。



松本雅充/Masamitsu Matsumoto

総合技術研究所  
化学研究部 副主任研究員  
(問合せ先: 06(489)5728)

## 参考文献

- 1) 中村清徳, 野村広正, 山本誠志, 松本雅充, 辻川茂男: 日本建築学会学術講演梗概集, No.22211(1996), p.421
- 2) 山本誠志, 松本雅充, 中村清徳, 野村広正, 辻川茂男: 日本建築学会学術講演梗概集, No.22212(1996), p.423
- 3) 迫田章人, 松本雅充: 表面技術協会第94回講演大会要旨集, (1996), p.250
- 4) 迫田章人, 松本雅充: (株)日本鉄鋼協会, 住宅における鉄鋼材料の腐食と表面処理, (1997), p.29
- 5) 元田慎一, 鈴木揚之助, 篠原正, 辻川茂男: (株)腐食防食協会, 第111回腐食防食シンポジウム資料, (1996), p.1
- 6) 野村広正, 松本雅充, 戸崎秀男, 大道一夫, 辻川茂男: 日本建築学会学術講演梗概集, No.22432(1997), p.863
- 7) 辻川茂男: (株)日本鉄鋼協会, 住宅における鉄鋼材料の腐食と表面処理, (1997), p.1
- 8) 元田慎一ら: 材料と環境, 43(1994), p.550
- 9) 松本雅充, 野村広正, 鹿毛勇, 山本誠志, 辻川茂男: 日本建築学会学術講演梗概集[投稿中]
- 10) 松本雅充: (株)腐食防食協会, 第111回腐食防食シンポジウム資料, (1996), p.26
- 11) (財)国土開発技術研究センター: 鉄骨造構造物の耐久性向上技術(1986), p.73, 技報堂出版(株)
- 12) (株)自動車技術会: Technical Paper TP-91001(1991)