

鉄骨造建築物における鋼材の腐食傾向

近藤 照夫
(技術研究所)

§ 1. はじめに

一般に、鉄骨造建築物の鉄骨に耐火被覆材を施工する場合には、防錆塗装を施すか否かが問題とされている。この問題に対して工事全般からみると、主として以下の2点を検討する必要があると考えられる。

(1)鉄骨に防錆塗装を施さない場合には、建築物や耐火被覆材の内部雰囲気における鋼材の腐食傾向を明らかにしなければならない。その結果、鋼材腐食量が構造的に問題とならない程度であれば、防錆塗装の省略が可能となる。しかし、構造的な問題となるような腐食の進行が認められれば、効果的な防錆措置を施さなければならない。

(2)鉄骨に防錆塗装を施した場合には、耐火被覆材に含まれるアルカリ成分（成形板の場合は接着剤の水ガラス、吹付岩綿の場合は結合材のセメント）と防錆塗膜中の油脂分とが反応する。その結果、鉄骨と耐火被覆材との付着が損なわれ、被覆材の剝離を生ずることがある。また、実際の火災時に加熱を受けると、塗膜が熱劣化を生じて、早期に耐火被覆材が剝落する可能性も考えられる¹⁾²⁾。したがって、このような問題を生じない防錆処理の適用を検討しなければならない。

以上のような背景から、東京都内における鉄骨造建築物の実態調査および実際の竣工前後の鉄骨造建築物における鋼材の腐食実験、湿度条件や被覆材の種類を変化させた鋼材の腐食実験を実施した。それらの結果から、鉄骨造建築物における鋼材の腐食傾向について検討した内容を報告する。

§ 2. 実態調査による検討

東京都内の主要な鉄骨造建築物（当社施工）を対象として、耐火被覆材の付着性状と耐火被覆を施された鉄骨の腐食状況に着目して、それらの経時変化を確認するた

め2～3回の経時的な実態調査をした。

2.1 調査方法

調査対象とした建築物は、表一1に示すような6件の鉄骨造建築物である。

調査箇所は機械室や電気シャフト（EPS）などで、内装仕上げが施されておらず、建築物の使用上調査しても支障のない場所を選定した。また、経時変化を把握するために、2回目以降の調査では前回調査時の耐火被覆材の修復の影響を避けて、同一場所ではなく可能な限りその近傍とした。ただし、用途変更や改修などにより近傍の調査が不可能な場合には、同一階の類似条件の場所を調査対象とした。

調査項目は、以下のとおりである。

①耐火被覆材の付着状況および剝落状況の目視観察

建 物 名	所 在 地	竣 工 年 月	耐 火 被 覆 仕 様	鉄 骨 塗 装 仕 様
Aビル	千代田区 大手町	昭 46. 8	石綿成形板	無 塗 装
Bビル	千代田区 大手町	昭 46. 9	石綿成形板	JIS K 5621 一般用さび止め ペイント
Cビル	中 央 区 橋	昭 48.11	乾式吹付岩綿	JIS K 5621 一般用さび止め ペイント
Dビル	港 本 区 木	昭 48. 6	柱：けい酸カルシウム成形板、 石綿成形板 梁：石綿成形板	JIS K 5621 一般用さび止め ペイント
Eビル	渋谷区 谷	昭 50. 7	湿式吹付岩綿	外周部： JIS K 5622 鉛丹さび止め ペイント 内部：無塗装
Fビル	江 東 区 中 島	昭 47. 9	・特殊石綿セメント 成形けい酸カルシウム板 ・けい酸カルシウム 成形板	JIS K 5621 一般用さび止め ペイント

表一1 実態調査の対象とした鉄骨造建築物の概要

- ②耐火被覆材を切り取って露出した塗膜表面や鉄骨表面の目視および指触観察
- ③切り取った耐火被覆材および露出した鉄骨表面におけるフェノールフタレイン溶液による呈色反応の観察
- ④塗膜がある場合には、基盤目セロテープ剝離による塗膜付着性や凝集力の確認

2.2 調査結果および考察

6件の建築物における調査結果³⁾⁴⁾を要約すると表-2に示すとおりであり、代表的な状況を写真-1～写真-3に示す。

2.2.1 耐火被覆材の付着性

本調査結果の範囲で判断すると、JIS K 5621の一般用さび止めペイントを塗装した鉄骨に、水ガラス系接着剤を用いて石棉成形板を貼り付ける組み合わせでは付着力が不十分となり、剥落しやすいという問題が指摘される。水ガラス系接着剤は、10年以上経過してもフェノールフタレイン溶液でわずかに呈色する部分もあり、未硬化時には強いアルカリ性を示すため、一般用さび止めペイントの塗膜を侵して成形板耐火被覆材との十分な付着力を確保できないと考えられる。

建築物	耐火被覆材の種類	耐火被覆材との適合性		鉄骨の腐食状況	
		さび止めペイントの種類	無塗装		
Aビル	成	×	—	○	全面緻密なさびに覆われており、経年的な進行はない
Bビル	形	×	—	—	フランジ下端や小口に局部的な発錆はあるが大部分の塗膜下は黒皮である
Dビル		△	—	—	低層部では軽微な塗膜下腐食は見られるが、経年的な進行はない
Fビル	板	△	—	—	塗膜下には黒皮が見られ、腐食は認められない
Cビル	吹	○	—	—	塗膜下は黒皮であり、腐食は認められない
Eビル	付	—	○	○	塗膜下に斑点状の発錆はあるが、経年的な進行はほとんどない

(注) ○: 良好, △: 塗膜凝集力が低下, ×: 不適, —: 該当なし

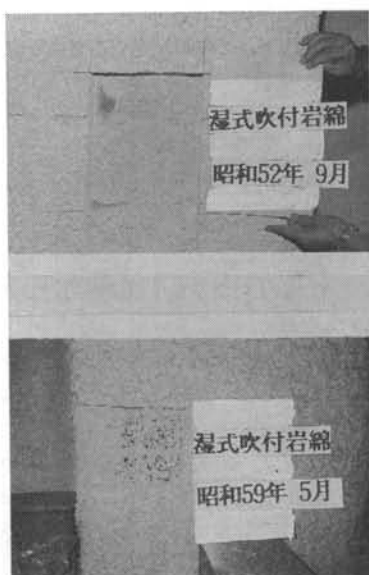
表-2 実態調査結果の要約



写真-1 Aビルの鉄骨の状態



写真-2 Dビルの鉄骨の状態



写真—3 Eピルの鉄骨の状態

したがって、成形板を水ガラス系接着剤で貼り付ける場合には接着剤のみに頼らず、釘やカスガイのような補強金物を併用して機械的に固定して剝落を防止する必要があると判断できる。また、納まり上も補強金物を取り付けやすいような配慮が肝要である。

一方、吹付耐火被覆材は総持ち状態となって付着しているため、一般的には付着力が十分に確保されていない状況にあっても、剝落等の問題は生じにくいと考えられる。しかし、フランジ下端などに2度吹きするような場合には、層間の付着力を十分確保できるような施工上の配慮が必要である。

また、調査件数が湿式吹付け・乾式吹付け各々1件ではあるが、セメントと石膏を結合材とする吹付耐火被覆材は、成形板接着用の水ガラスと比べると施工後短期間でフェノールフタレイン溶液による呈色が認められなくなり、アルカリ性の低下が早い。したがって、塗膜への影響は少ないと考えられる。

一方、鉄骨表面に塗装が施されていない場合には、耐火被覆材のアルカリ性成分で侵される塗膜が存在しない。したがって、鉄骨が腐食して極端な浮きさび（腐食生成物の層状剝離）が生じない限り、耐火被覆材の付着力は十分確保できると判断できる。

2.2.2 耐火被覆材中における鉄骨の腐食

当該調査の対象とした鉄骨造建築物は用途が主として事務所（1件は駐車場）であるため、建築物が竣工した後は空調が行なわれ温度および湿度が制御されているのが一般的である。しかし、今回の調査対象は機械室等

あり、一般事務室や居室よりは空調が不十分である。それにもかかわらず、鉄骨が無塗装であっても全面緻密なさびに覆われており、調査箇所により発錆程度に多少の差は見られるが、経時的な進行はほとんどないと判断される。また、塗装が施された鉄骨においても塗膜下に局部的な発錆は認められたが、経時的な進行はないと推定される。

これらの調査によって認められたさびは、いずれもごく表面的なものであり、特に構造上問題である鋼材の断面欠損となるような腐食量ではないといえる。

以上のことから、調査時に鉄骨表面に認められる軽微なさびは、耐火被覆材が施工される前に主として発生したものと推定される。特に、建築物が竣工して空調が行なわれ温・湿度が制御されたり、直接水に濡れたりしなければ鉄骨の腐食はほとんど進行しないと考えられる。

§ 3. 実験による検討

重量測定をした軟鋼試験片を、施工中の鉄骨造建築物内機械室の鉄骨梁フランジ上に設置して、鉄骨と同時に試験片を湿式吹付岩綿耐火被覆材内部に埋め込んだ。また、同様な試験片を各種の耐火被覆材あるいはポリマーセメントペーストで被覆して試験体を作り、当社技術研究所建築物の天井裏および一定の温・湿度に制御した環境中に設置した。

一定期間経過した時点で定期的に各5枚の試験片を取り出し、腐食生成物を化学的に除去した後、重量測定をして実験開始時に測定された重量との差を腐食量として捉えた。また、腐食傾向と環境因子との関係を検討するため、竣工前後の建築物内機械室および当社技術研究所建築物の天井裏において、温度と湿度を実測した。

3.1 実験方法

3.1.1 試験片・被覆材の種類および設置場所

1) 試験片

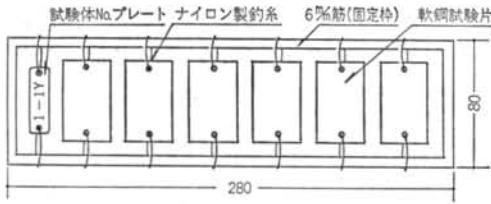
実験に用いた試験片は一般構造用圧延鋼材（SS 41）で、寸法は $30 \times 50 \times t 1.0\text{mm}$ であり、図—1に示すような枠に各測定期間ごとの試験片をセットして固定した。

2) 被覆材の種類と設置場所

試験片を設置した場所と試験片を被覆した材料の組み合わせは、表—3に示すとおりである。

3.1.2 測定期間

腐食量を測定する期間は軟鋼試験片を設置した後、6カ月、1年、2年、3年、5年とした。ただし、竣工前



(注) 試験片5枚は重量測定用、1枚は表面観察用である。

図一 鋼材腐食実験の試験片固定方法

実験場所	設置部位 または条件	被覆材の種類	設定被覆厚さ(mm)	記号
竣工前後の鉄 骨造建築物 RH35~65% 気温20~27℃	6階機械室 大梁下フランジ	湿式吹付岩綿	45	6F
	16階機械室 大梁下フランジ		35	16F
	26階機械室 大梁下フランジ		25	26F
当社 技術研究所*	本館3階会議室 天井裏 RH46~70% 気温20~27.5℃	湿式吹付岩綿	25	A-1
		乾式吹付岩綿	25	B
		けい酸カルシウム 成形板	25	C
		被覆なし	0	D
	ポリマーセメント ペースト被覆	アクリルエ マルシ ョン混入セメ ントペースト 1.0	E-1	
		SBRラテ ックス混入 セメントペ ースト 1.0	F	
		エチレン酢 ビエマルシ ョン混入セ メントペ ースト1.0	G	
	実験室内 RH98%デシケ ータ中 (室温放置)	湿式吹付岩綿	25	A-2
		アクリルエマル ション混入セメ ントペースト	1.0	E-2
	RH80%室内 気温20±3℃	湿式吹付岩綿	25	A-3
アクリルエマル ション混入セメ ントペースト		1.0	E-3	
RH60%室内 気温20±3℃	湿式吹付岩綿	25	A-4	
	アクリルエマル ション混入セメ ントペースト	1.0	E-4	

*) 耐火被覆材は、図一に示した枠材とともに試験片を被覆した試験体とし、ポリマーセメントペーストは試験片のみを被覆して試験体とした。

試験体は木枠を作り、立てかけるように設置した。

表一 試験片の設置場所と被覆材の種類

後の建築物における実験では、6階部分が後付けダクトの設置により0.5、1、2年の測定が不可能となり、当社技術研究所での実験では期間3年までの測定とした。

3.1.3 測定項目と測定方法

1) 表面状態の観察

取り出した試験片の表面状態、および腐食生成物を除去した後の表面状態を目視観察した。

2) 腐食量の測定

(a) 軟鋼試験片は以下のような手順で前処理した後、重量を測定した。

(i) エメリー紙 #2000 まで鏡面研磨

(ii) 四塩化炭素 (CCl₄) に浸漬して脱脂洗浄

(iii) 硫酸デシケータ中で真空乾燥

(b) 設定した測定期間が経過した試験片は以下のような手順で処理した後、重量を測定した。

(i) 軟鋼試験片を傷つけない程度に、被覆材料をカッターナイフで除去

(ii) 濃塩酸に SnCl₂ 50 g/l, SbCl₂ 20 g/l を添加した溶液中で、腐食生成物が完全に除去されるまで洗浄

(iii) 蒸留水に浸漬して洗浄

(iv) メタノールに浸漬して洗浄

(v) 四塩化炭素に浸漬して洗浄

(vi) 硫酸デシケータ中で真空乾燥

なお、被覆材料を除去した時点で全く腐食が認められない試験片については、以後の処理は行わず腐食量を0とした。

(c) 試験前後の重量減少から、上記の処理操作のみによって生じる重量減少をブランクとして差し引いた値を腐食量とした。同一測定期間において、各5枚の試験片で腐食量を求めた。

3) 温度・湿度の測定

試験片を設置した竣工前後の建築物の機械室、および当社技術研究所の天井裏内部で試験体の横に温湿度自動記録計を設置して、気温と相対湿度を1~1.5年の間測定した。

施工中の建築物では記録計の保守が難しく(紛失や故障の発生)、実際にデータ採取ができたのは竣工直前の昭和54年12月からであり、竣工後の昭和56年5月までの1.5年間の測定を継続した。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 試験片の表面状態

1) 建築物の耐火被覆材内部における腐食

湿式吹付岩綿耐火被覆材の内部から取り出した軟鋼試験片の表面状態は、設置した場所や測定期間には関係な

く以下のような傾向が見られる。

(1)鉄骨に設置した際に上面となっていた部分は、耐火被覆材が全面に付着しており容易には剝離できない。これらの耐火被覆材を物理的に削り取ると、試験片表面積の1/2ないしはほぼ全面にわたって表面的な赤さびが発生している。また、腐食未発生の部分では研磨による鏡面状態が失われている。

(2)設置した際に下面となっていた部分は、試験片固定用の糸を通した孔周辺および端部周辺に赤さびの発生が集中している。それらの赤さび発生は、表面積の1/5ないし1/3程度にとどまっているが、厚く盛り上がっている。また、腐食未発生部分は研磨による鏡面状態をとどめている。

代表的な試験片の表面状態を、写真—4～写真—5に示す。

上述のような試験片の表面状態から判断すると、上面では耐火被覆材が軟鋼試験片に密着した状態となり、比較的緻密なさびで安定化しやすい傾向にあると推定される。一方、下面については試験片固定の目的で枠を取り付けたり、鉄骨のフランジ上に置いたため耐火被覆材が軟鋼試験片に全面的には密着しておらず、厚く盛り上がったさびとなり保護皮膜には成りにくい傾向があると推定される。しかし、実際の鉄骨では一般に耐火被覆材が全面に密着した状態となるため、試験片の上面に見られるような全面腐食で緻密なさびが安定化する傾向にあると判断できる。

2)環境および被覆材を変化させた場合の腐食

試験片の設置条件と被覆材の種類による腐食状態に対する影響は大きいですが、測定期間による影響はごく限られた条件の場合のみに認められる。

鋼材腐食について全体的な傾向を考察すると、以下のとおりである。

(1)竣工後の建築物（当社技術研究所）の天井裏に設置した試験片では、湿式吹付岩綿の耐火被覆材を施した場合のみに試験片固定用の糸を通した孔周辺および端部周辺に軽微な赤さびの発生が見られる。腐食が未発生部分は研磨による鏡面状態をとどめている。この場合の試験片作製は両面から被覆材を吹き付けているため、試験片の表・裏面における腐食状態には差が認められない。また、この湿式吹付岩綿以外の被覆材を施した試験片および被覆材を施していない試験片には全く腐食が見られず、研磨による鏡面状態をとどめている。

(2)RH 98%のデシケータ中に設置した試験片では、湿式吹付岩綿の耐火被覆材を施したものが全面に厚く盛り上がったさびに覆われ、期間の経過とともに腐食量が増



写真—4 竣工前後の鉄骨造建築物における試験片の表面状態 (1)



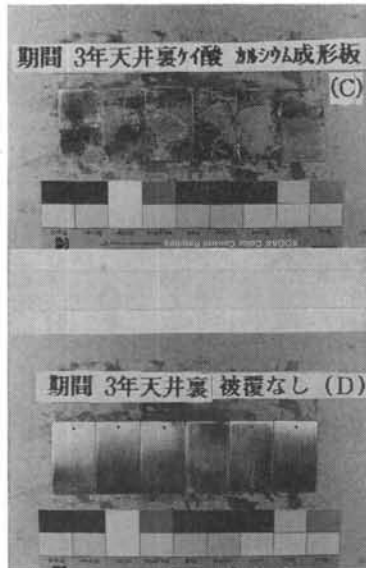
写真—5 竣工前後の鉄骨造建築物における試験片の表面状態 (2)

加していく傾向が見られる。RH 80%になるとRH 98%より腐食量は減少するが、ほぼ同様な全面腐食の進行が見られる。さらに、RH 60%では天井裏における腐食状況とほとんど同様である。

(3)ポリマーセメントペーストで被覆した試験片では、RH 98%の場合には研磨による鏡面状態がわずかに曇る程度であり、腐食は全く見られない。RH 80%、RH 60%



写真一六 湿式吹付岩綿内部の試験片表面状態



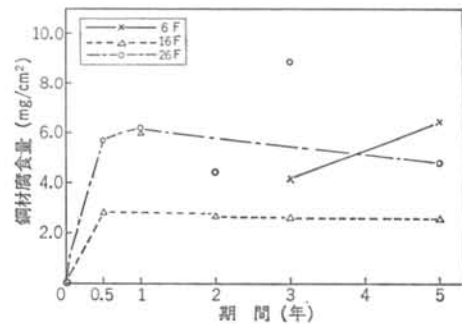
写真一七 被覆材を変化させた場合の試験片表面状態
%では試験片の表面状態に全く変化が見られず、研磨による鏡面状態をそのままとめている。

これらの試験片の代表的な表面状態を、写真一六～写真一八に示す。

以上のような状況から判断すると、実験を実施した建築物の天井裏はRH60%程度であり、鋼材を露出させておいても腐食することはない。湿式吹付岩綿を施すと、加工によって活性化された部分のみが施工直後の保有水分で局部的に腐食するといえる。さらに、湿度が上昇し



写真一八 ポリマーセメントペーストを被覆した試験片の表面状態



図一 竣工前後の建築物における鋼材腐食量の経時変化
ていくと、腐食が著しく進行する傾向が認められる。また、ポリマーセメントペーストによる被覆は、湿度が上昇しても優れた防食効果を示すと判断できる。

3.2.2 建築物の内部における軟鋼の腐食傾向

1) 竣工前後の建築物の耐火被覆材内部における腐食

設置場所ごとの各測定期間における軟鋼試験片の腐食による重量減少を試験片表面積 (30 cm²) で除して、単位面積当たりの腐食量に換算した。それらの平均値を縦軸に、測定期間を横軸にして腐食量の経時変化をプロットしたのが図一であり、施工初期に急激な腐食の進行が見られる。しかし、時間の経過とともに増加していく傾向はないようである。

腐食量が測定期間と相関性をもつ否かを検定する目的で相関係数を求めると、16階の場合で $r_{16}=0.0830$, 26階の場合で $r_{26}=0.411$ となる。 $r(23, 0.01)=0.505$, r

(23, 0.05)=0.396 であり, 16階の場合は腐食量と測定期間との間に相関性はないが, 26階の場合には危険率5%で相関があることになる。

測定場所が6階の場合には0.5, 1, 2年のデータが得られていないため, 6, 16, 26階の測定期間3年と5年のデータを用いて, 二元配置による分散分析を実施した。その計算結果は表一4に示すとおりである。

また, 16, 26階における全期間の測定データを用いて二元配置による分散分析を実施した計算結果を表一5に示す。

6, 16, 26階の3, 5年のデータでみると, 設置場所および測定期間と設置場所の交互作用は1%有意となったが, 測定期間は5%有意にはならなかった。一方, 16, 26階の全期間のデータでみると, 両要因およびそれらの交互作用が1%有意となった。これらのことから, 16階より26階の方が腐食量が多いといえる。また, 測定期間の要因は1%有意となっているが, これは図一2に見られるように測定期間ごとのばらつきがあることを示しており, 期間の経過とともに腐食量が増加していく傾向はないと判断される。

各設置場所(被覆厚さ)ごとに腐食量の95%信頼限界を求めると, 表一6に示すとおりである。これらの値は, 昭和50年代に東京周辺で実測された屋外暴露鋼材の年間腐食量³⁾の1/9~1/3に相当しており, 鋼材の断面欠損となるような値ではない。

また, 被覆厚さの最も薄い26階の腐食量が最も多く, 次に被覆厚さの最も厚い6階の腐食量が多く, 16階の腐食量が最も少なくなっている。これは, 6階の測定数が少ないために6階の実験結果の誤差が大きくなったものであり, 本来は被覆厚さが薄い方が酸素(空気)の透過量が多く, 腐食量が増大すると考えられる。

さらに, 実測被覆厚さと鋼材腐食量との関係を図示すると図一3のとおりであり, 被覆厚さが増えるに従い腐食量が少なくなる傾向が見られる。両者の相関係数を求めると $|r|=0.801$ となり, $r(23, 0.01)=0.505$ であるため高度に有意であり, 両者の関係についての実験式は以下のとおりである。

$$y=13.7 \exp(-0.025x)$$

ここで, y : 腐食量(mg/cm²)

x : 被覆厚さ(mm)

2)環境および被覆材を変化させた場合の腐食

外観上で腐食が認められたのは, 天井裏(A-1), RH 98%(A-2), RH 80%(A-3), RH 60%(A-4)のすべての湿度条件において, 湿式吹付岩綿耐火被覆材を施した軟鋼試験片のみである。測定された腐食量が0となった

要因	S	ϕ	V	F_0	F(0.05)	F(0.01)
測定期間(A)	2.523	1	2.523	1.476	4.22	7.84
設置場所(B)	90.825	2	45.412	26.570**	3.41	5.63
交互作用(A×B)	52.142	2	26.071	15.254**	3.41	5.63
誤差	41.02	24	1.709			
計	186.51	29				

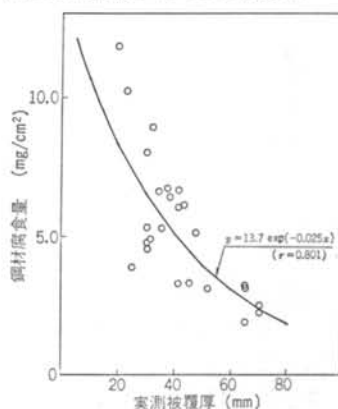
表一4 設置場所(6, 16, 26階)と測定期間(3, 5年)による腐食量変化に関する分散分析(1)

要因	S	ϕ	V	F_0	F(0.05)	F(0.01)
測定期間(A)	54.557	4	13.639	4.348**	2.61	3.83
設置場所(B)	85.543	1	85.543	27.268**	4.08	7.31
交互作用(A×B)	50.621	4	12.655	4.034**	2.61	3.83
誤差	125.484	40	3.137			
計	316.205	49				

表一5 設置場所(16, 26階)と測定期間(0.5~5年)による腐食量変化に関する分散分析(2)

設置場所(設定被覆厚)	腐食量(mg/cm ²)
6階(45mm)	5.28±1.18
16階(35mm)	3.34±0.94
26階(25mm)	5.96±0.87

表一6 設置場所(被覆厚さ)ごとの腐食量



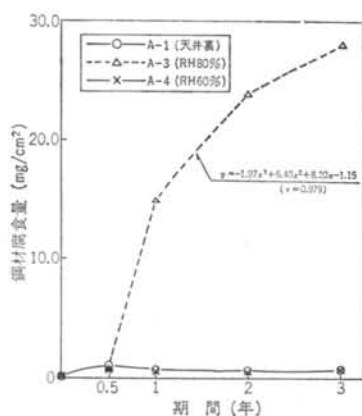
図一3 実測被覆厚さと鋼材腐食量との関係

条件の結果を除いて, 設置場所ごとの各測定期間における単位面積当たりの腐食量の平均値を縦軸に, 測定期間を横軸にして腐食量の経時変化をプロットしたのが, 図一4および図一5である。

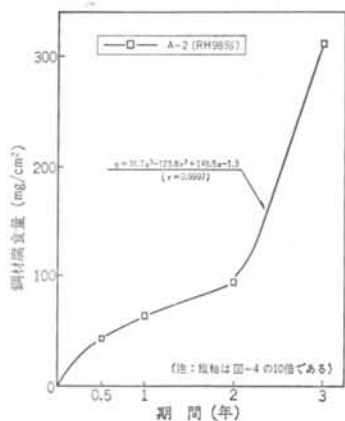
また, 測定期間3年の全試験体について実測した被覆厚さの平均値を, 表一7に示す。

表一7に示された湿式吹付岩綿の被覆厚さは, 1)で述べた竣工前後の建築物における実験での実測値の1/8~1/3程度の値である。

図一4, 図一5を見ると, 天井裏(A-1)とRH 60%(A-4)では初期にごくわずかな腐食が見られるものの,



図一四 各種湿度条件における湿式吹付岩綿内部の鋼材腐食量の経時変化



図一五 RH98%における湿式吹付岩綿内部の鋼材腐食量の経時変化

経時的な腐食の進行は認められない。一方、RH98%(A-2)とRH80%(A-3)では経時的な腐食の進行が見られる。特に、A-2では期間2年から3年にかけての増加が著しく、3年を経過した時点でのA-2における腐食量はA-3の11倍以上に達している。

A-2とA-3における腐食量の経時変化について相関係数を求めてみると、A-2の場合で $r_2=0.9997$ 、A-3の場合で $r_3=0.979$ となる $\phi=18$ 、危険率1%で検定すると $r(18, 0.01)=0.561$ となり、どちらも高度に有意であり、両者の実験式は以下のとおりとなる。

RH98%(A-2)の場合：

$$y = 36.7x^2 - 123.8x + 148.5 - 1.3$$

RH80%(A-3)の場合：

$$y = -1.97x^2 + 6.40x + 8.20 - 1.15$$

ここで、 y ：腐食量(mg/cm²)

x ：期間(年)

試験体の種類		被覆厚さ(mm)	
被覆材	設置環境	平均値	標準偏差
湿式岩綿	天井裏(A-1)	9.7	2.50
	RH98%(A-2)	9.6	1.93
	RH80%(A-3)	10.4	1.78
	RH60%(A-4)	7.5	1.68
乾式岩綿	天井裏(B)	29.3	4.62
けい酸カルシウム板	天井裏(C)	27.0	0.000
無	天井裏(D)	—	—
アクリルエマルション混入セメントペースト	天井裏(E-1)	1.18	0.114
	RH98%(E-2)	1.24	0.137
	RH80%(E-3)	1.16	0.194
	RH60%(E-4)	1.23	0.133
SBRラテックス混入セメントペースト	天井裏(F)	0.953	0.0948
エチレン酢ビエマルション混入セメントペースト	天井裏(G)	0.993	0.0597

表一七 測定期間3年の試験体における被覆厚さの平均値

要因	S	ϕ	V	F ₀	F(0.05)	F(0.01)
測定期間(A)	0.230	3	0.077	1.601	2.92	4.51
設置場所(B)	0.289	1	0.289	6.037*	4.17	7.56
交互作用(A×B)	0.205	3	0.068	1.427	2.92	4.51
誤差	1.532	32	0.048			
計	2.256	39				

表一八 天井裏(A-1)とRH60%(A-4)の腐食量変化に関する分散分析

設置場所	鋼材腐食量(mg/cm ²)
天井裏(A-1)	0.76±0.14
RH60%(A-4)	0.61±0.05

表一九 天井裏とRH60%における鋼材腐食量

天井裏(A-1)とRH60%(A-4)のデータを用いて、二元配置による分散分析を行なった計算結果を表一八に示す。

この結果によると、設置場所の要因が5%有意になり、天井裏とRH60%の環境では腐食量にわずかな差が生じたことになる。各々の環境における腐食量の95%信頼限界を求めると、表一九に示すとおりである。

表一九に示した腐食量の値から、天井裏はRH60%より少し湿度が高い状態にあると推定される。

また、表一六と表一九の値を比較すると、竣工前後の建築物における腐食量がRH60%の5.5~10倍程度、当社技術研究所の天井裏の4.4~7.8倍程度の値を示している。当社技術研究所における実験の方が被覆厚さが薄いにもかかわらず小さな腐食量を示しており、表一六に基づき先に考察した結果と矛盾している。この理由は、

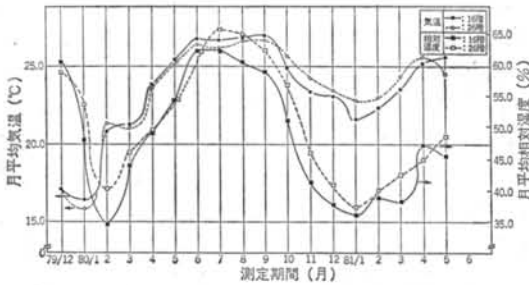


図-6 試験体を設置した竣工前後の建築物内機械室の気温と相対湿度

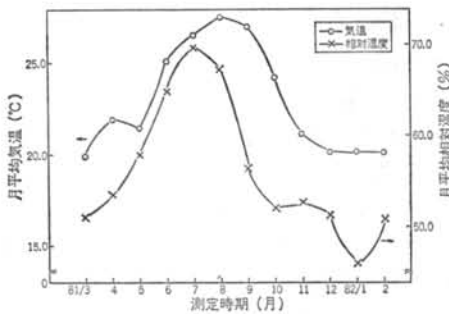


図-7 試験体を設置した建築物の天井裏における気温と相対湿度

竣工前後の建築物の方が当社技術研究所の天井裏より湿度が高いということではなく、前者の建築物では空調が行なわれていない施工中から実験を開始しており、その期間中に急速な腐食が発生したと考えられる。一方、当社技術研究所では既に建築物が竣工して空調をしている状態で実験を開始したため、湿式吹付岩綿の施工直後の保有水分のみでわずかな腐食が発生したと推定される。

以上の結果から、被覆材の保有水分が少ないか、被覆材が施されていないれば建築物竣工後の空調が実施されている雰囲気では鋼材は腐食しないといえる。そして、実際の建築物で鉄骨に見られる腐食は、建築物が竣工する前のごく短期間に発生したものと考えられる。また、ポリマーセメントペーストによる被覆を施せば、湿式吹付岩綿耐火被覆材の内部で鋼材が連続的に腐食していくようなRH80%以上の環境においても腐食は発生しにくく、高湿度環境における防食効果が期待できる。

3.2.3 環境の影響

1) 竣工前後の建築物における環境測定

試験片を設置した機械室内で測定された温・湿度の月別平均値を、図-6に示す。

実験対象とした竣工前後の当該建築物は昭和55年2月から空調運転を開始しており、運転開始後の温度は20～

27℃、相対湿度は35～65%程度の範囲を変動している。今回の実験では、施工中の気温や湿度については記録計の保守が難しく、測定できていない。しかし、施工中は屋外の気温、湿度および空気の汚染度に近似していると考えられる。したがって、屋外における測定結果⁵⁾を参考にすると、気温は空調運転時の室内より変動幅は大きい、夏季の平均気温はほとんど変わらないと推定される。一方、相対湿度については空調運転時の室内と比べると年間を通じて高くRH60%を下回ることはなく、夏季にはRH80～95%程度の高湿度となっていることが考えられる。

2) 当社技術研究所建築物における環境測定

A-1, B, C, D, E-1, F, Gの試験体を設置した当社技術研究所の天井裏で測定された気温と相対湿度の月別平均値を、図-7に示す。

設置場所とした当社技術研究所は昭和47年9月に竣工しており、実験期間中は8月の夏季休暇(5日間)と年末年始休暇(6日間)を除いて連続的に空調運転が停止されることはない。図-7の年間変動を見ると、気温は20～27.5℃、相対湿度は46～70%程度の範囲を示している。これらのデータと竣工前後の建築物機械室内における測定データ(図-6)とを比較すると、気温はほとんど変わらない。一方、相対湿度については当社技術研究所の方が5～10%程度高い値を示している。

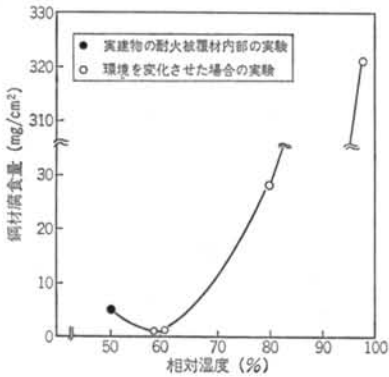
上記以外の試験体を設置した当社技術研究所の室内のうち、RH80%、60%の条件については気温も $20 \pm 3^\circ\text{C}$ に制御されている。一方、RH98%の条件は調湿したデシケータを実験室内に設置していたため相対湿度は保持されていたが、気温は室温と同様の範囲で変化しており、図-7に近似した変動傾向を示していたと推定される。

3) 相対湿度と鋼材腐食量との関係

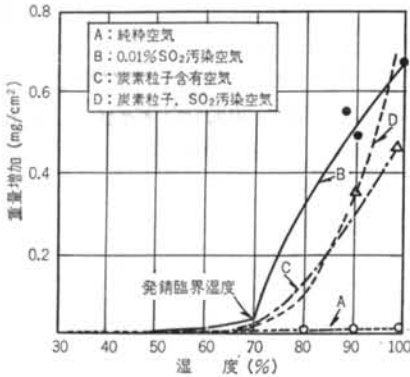
今回の実験における気温は20℃程度でほぼ一定しており、温度条件の違いが鋼材腐食量に及ぼす影響は小さいと考えられる。そこで、湿式吹付岩綿を施した試験体について、各実験条件の年間平均相対湿度と測定期間3年における鋼材腐食量との関係を図示すると、図-8のとおりである。

また、相対湿度と空気の汚染度が鋼材腐食に与える影響については、図-9のような関係が知られている⁹⁾。これによると、相対湿度が70%を越えると汚染された空気中での鋼材腐食量が増大していく傾向がある。また、清浄な空気中では相対湿度が70%以上になっても鋼材腐食量はほとんど増加しない。

今回の実験結果で得られた図-8は、図-9と類似した傾向を示している。しかし、当社技術研究所より相対



図一 8 相対湿度と3年間における湿式吹付岩綿内部の鋼材腐食量との関係



図一 9 相対湿度と汚染空気が鋼材腐食に与える影響⁴⁾

湿度が低い竣工前後の建築物の方が腐食量が多い結果となっており、上述の一般的な傾向と逆行している。これは、腐食量の経時変化が認められないことおよび当社技術研究所の天井裏では被覆材のない裸鋼材に全く腐食が認められないことから、3.2.2で推定したように測定さ

れた腐食は建築物の施工中で、空調がなされる前の高湿度で外気に曝されているときに発生したと考えられる。

以上のことから、実際の建築物で見られる鋼材の腐食は、建築物施工中の高湿度条件や一般汚染大気中に曝されているときに発生するといえる。また、建築物が竣工して空調運転が行なわれるか、相対湿度が70%以下に保たれる条件であれば、建築物の竣工後は鋼材の腐食は進行しないといえる。しかし、相対湿度が70%を越える条件においては、鋼材は連続的に著しく腐食していく。

§ 4. まとめ

鉄骨造建築物の実態調査および竣工前後の建築物や一定湿度環境における軟鋼試験片の腐食実験結果から、以下のようなことがいえる。

相対湿度が70%を越えて鋼材表面での結露が予想される環境（屋内プールの天井裏等隠蔽部分および水蒸気発生や酸洗工程の水素・酸性ガスの発生等が生じる工場建屋等）を除いて、建築物の竣工後における鋼材の腐食はほとんど進行することはない。したがって、施工中におけるさびの飛散によるカーテンウォール等仕上げ材への影響や、現場周辺の汚染等による問題が生じなければ、鋼材の防錆措置は省略することが可能であると判断できる。

謝辞 本研究に当たり、当社技術研究所熊谷敏男主席研究員には、実態調査のご指導や耐火被覆に関するご教示をいただいた。また、副所長丸一俊雄博士には本研究全体についてのご指導をいただいた。ここに記して、深くお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 藤松, 最上ほか: “乾式吹付耐火被覆材の付着性能について” 日本建築学会大会学術講演梗概集<構造系> (昭和52年) pp. 2139~2140
- 2) 藤井, 松崎: “吹付耐火被覆材の付着力に関する一実験(さび止め塗料の影響)” 同上(昭和56年) pp. 2389~2390
- 3) 近藤, 熊谷: “耐火被覆材(湿式吹付岩綿)内部における鋼材の腐食傾向” 同上(昭和57年) pp. 2331~2332
- 4) 近藤, 熊谷: “鉄骨造建築物の耐火被覆材内部における鋼材の腐食傾向(鉄骨造建築物の実態調査と腐食実験による検討)” 同上, A分冊(昭和60年) pp. 641~642
- 5) 近藤, 丸一: “最近の東京周辺における鋼材の腐食傾向” 同上<構造系>(昭和54年) pp. 333~334
- 6) 日本学術振興会編: “金属防蝕技術便覧” 日刊工業新聞社(1972年) p. 212