

第 8 章 接合金物の耐久性に関する検討

8.1 はじめに

8.1.1 背景

2009年に長期優良住宅の普及の促進に関する法律が施行された。この法律における基準は性能評価制度（住宅の品質確保促進等に関する法律）の劣化対策等級3をベースとしており、これらの技術的背景は主に昭和55年から実施された建設省総合技術開発プロジェクト「建築物の耐久性向上技術の開発」（以下、「耐久性総プロ」と呼ぶ）によるものである。一方、近年の木造住宅では、2000年の建築基準法改正で柱頭柱脚および筋かいの端部の接合金物仕様が明確に規定されるなど、接合金物類の重要性が高まってきている。しかしながら、耐久性総プロ当時はこれら金物類の構造上の位置づけが曖昧であったこともあり、金物類の表面処理については明確な基準化がなされてこなかった。

そこで本TGでは、長期優良住宅の接合金物耐久性基準やJIS基準に反映することを目的として、木造住宅における接合金物および接合金具の劣化特性を明らかにするための取組みを行う。

接合金物の耐久性を論じるには、「どのような環境でどの程度腐食が進行するのか」という腐食速度に関する情報と、「どの程度の腐食でどの程度の構造性能を有するか」という腐食時構造性能に関する情報が必要である（8.1.1）。

平成24年度は、平成23年度までに引き続き、保存処理木材との接触部位における接合金物類の腐食性に関する実験的検証として、屋外暴露実験、湿潤実験、高湿実験を継続実施するとともに、屋内暴露実験を開始することとした。また、築約60年の木造軸組構法住宅から抽出した部材における釘の引抜実験を実施し、釘が腐食した時の引抜性能を検証した。

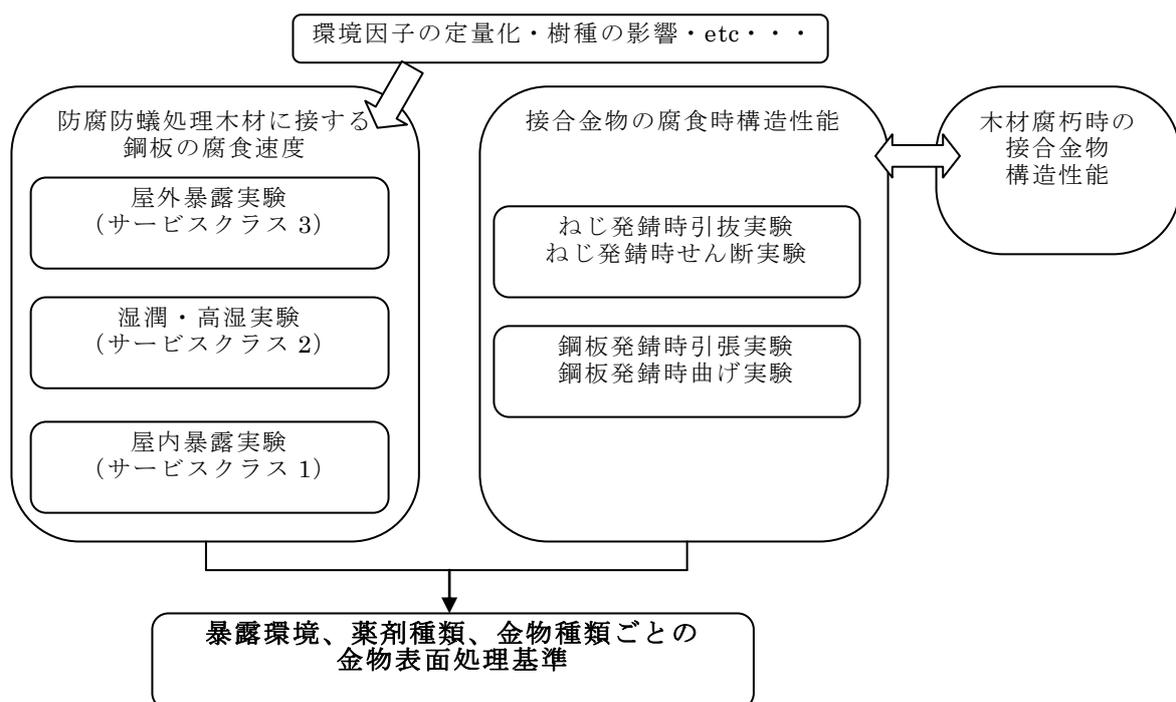


図 8.1.1 検討概要

8.1.2 平成23年度までの取組内容と成果

本 TG では平成23年度までに、主として下記の取組を行ってきた。

- ① 既往研究の文献調査による、接合金物類の腐食実態の整理
- ② 現在流通している防錆処理および防錆基準の整理
- ③ 海外における防錆基準の整理
- ④ 保存処理木材との接触安全性検証実験 屋外暴露実験
- ⑤ 保存処理木材との接触安全性検証実験 湿潤実験
- ⑥ 保存処理木材との接触安全性検証実験 高湿実験
- ⑦ 飛来海塩粒子量の測定

これらの取組から明らかになったことを概観すると以下のものである。

- ・ 一般的に、腐食の著しい個所は、部材境界面、含水率18%超の木材内¹⁾、含水率の高い他材料との接触部²⁾、ホウ酸等を含む防火処理木材との接触部³⁾、銅を含む防腐防蟻処理木材との接触部⁴⁾、床下等⁵⁾である。
- ・ 屋外と屋内の腐食速度の比率は1/8とされている⁶⁾。
- ・ 亜鉛めっきの限界状態はめっき付着量の90%が消失した時点とされている⁶⁾。
- ・ 釘の一面せん断耐力は発錆初期にいったん増加し、さらに錆が進行すると減少していく。
- ・ 合板耐力壁釘接合部の劣化時性能実験⁷⁾に基いて限界残存重量を設定し、高温高湿暴露による促進試験と木造住宅試験棟躯体内の環境測定結果をアイリングモデルに適用して寿命予測を行った結果、寿命は約230年と推定された⁸⁾。
- ・ 平成21年国土交通省告示第209号では、長期使用構造等とするための措置として、例えば、一般部に使用される厚さ2.3mm以上の鋼材の表面処理は、Z45もしくはZ60の溶融亜鉛めっきが必要とされている。
- ・ 現在流通している木造住宅接合金物の表面処理の中で最も高い同等性評価を受けているものは、プレめっき鋼板ではZn+Mg合金めっき(HDZ55同等)Ep-Fe/Zn8/CM2Cである。
- ・ Eurocode5では、接合金物類の形態および寸法ごと、使用環境ごとに防錆処理基準を定めている。
- ・ Eurocode5における接合金物類の使用環境はサービスクラス1~3に分類されている⁹⁾。サービスクラス1は「屋内のような乾燥した環境」、サービスクラス2は「直接雨に曝されない屋外環境あるいは多湿な屋内環境」、サービスクラス3は「直接雨に曝される屋外環境」である。

特に保存処理木材との接触安全性検証実験では以下の知見が得られた。

- ・ ACQ、CUAZ-2、CUAZ-3の腐食性が高い傾向が見られた。
- ・ その他加圧注入材、バイマツ未処理材の腐食性も高い傾向が見られた。
- ・ 屋外暴露実験において、表面処理薬剤の腐食性は低い傾向であった。
- ・ 湿潤実験、高湿実験においては、鋼板表面処理の種類によっては、表面処理薬剤に対してもある程度腐食が進行した。屋外暴露実験においては、表面処理薬剤が溶脱している可能性がある

- 電気亜鉛めっき＋有機皮膜、Z27＋カチオン電着塗装の防錆性が高い傾向が見られた。
- 横浜、つくば、宇治はほぼ同じ傾向であった。旭川は現在のところ腐食性が低い傾向であった。

8.2 保存処理木材との接触時安全性検証実験

8.2.1 実験概要

実験は、既往の研究⁴⁾を参考として、各種保存処理木材に各種表面処理鋼板を取り付けた状態で屋外暴露および高湿空間暴露し、数ヶ月おきに接触面の発錆状況を観察評価することによって行った。屋外暴露実験は神奈川、つくば、京都、旭川の4箇所で実施した。なお、高湿空間暴露については以下の2種の実験を実施した。すなわち、底部に水を張ったコンテナ内に、鋼板を取り付けた木材の木口部分を浸すように設置し、コンテナを屋外暴露する実験（以下、「湿潤実験」と呼ぶ）と、鋼板をはさんだ木材を温湿度をコントロールしたデシケータ内に静置する実験（以下、「高湿実験」と呼ぶ）である。湿潤実験は神奈川で、高湿実験はつくばで実施した。なお、屋外暴露実験はEurocode5におけるサービスクラス3、湿潤実験および高湿実験はサービスクラス2に対応していると言える。また、温湿度および飛来海塩粒子量の測定を実施した。

平成24年度はこれに加え、Eurocode5におけるサービスクラス1に対応する実験として、屋内暴露実験を開始した。概要を図8.2.1に、試験条件、試験地、観察スケジュールをそれぞれ表8.2.1～3に示す。



屋外暴露実験



湿潤実験



高湿実験



屋内暴露実験

図 8.2.1 実験概要

表 8.2.1 試験条件

| 試験種別 | 温度 | 湿度 | 備考 |
|------|------|--------|--------|
| 屋外暴露 | なりゆき | なりゆき | 雨がかりあり |
| 湿潤 | なりゆき | 100%RH | 木材端部浸水 |
| 高湿 | 40℃ | 約96%RH | |
| 屋内暴露 | なりゆき | 約75%RH | |

表 8.2.2 試験地一覧

| 試験場所 | | 試験内容 |
|------|------------------|-------------|
| 横浜 | 関東学院大学工学本館屋上 | 屋外暴露実験・湿潤実験 |
| つくば | 住友林業株式会社 筑波研究所屋上 | 屋外暴露実験・高湿実験 |
| 宇治 | 京都大学生存圏研究所 | 屋外暴露実験 |
| 旭川 | 北海道立総合研究機構 林産試験場 | 屋外暴露実験 |
| 春日井 | 中部大学18号館屋内 | 屋内暴露実験 |

表 8.2.3 観察スケジュール

| 試験地 | 試験種別 | start | 8週目観察 | 12週目観察 | 24週目観察 | 1年目観察 | 1.5年目観察 | 2年目観察 |
|---------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 横浜 | 屋外・湿潤 | 2010/10/20 | 2010/12/15 | 2011/01/12 | 2011/04/14 | 2011/10/20 | 2012/06/01 | 2012/08/22 |
| つくば | 屋外 | 2010/10/18 | 2010/12/08 | 2011/01/06 | 2011/04/04 | 2011/10/18 | 2012/05/26 | 2012/08/31 |
| 宇治 | 屋外 | 2010/10/26 | 2010/12/22 | 2011/01/23 | 2011/04/23 | 2011/11/16 | 2012/07/06 | 2012/09/14 |
| 旭川 | 屋外 | 2010/11/12 | 2011/01/07 | 2011/02/10 | 2011/04/28 | 2011/11/18 | 2012/06/02 | 2012/08/20 |
| つくば(高湿) | 高湿 | 2010/12/10 | 2011/02/04 | 2011/03/07 | 2011/06/22 | 2011/12/09 | 2012/06/02 | 2012/10/12 |
| 春日井 | 屋内 | 2012/09/14 | - | 2012/12/14 | | | | |

8.2.2 試験体仕様

木材の保存処理仕様を 8.2.4 に、鋼板の表面処理仕様を表 8.2.5 に示す。山田の研究¹⁾においては、屋外暴露実験および湿潤実験では加圧注入処理剤が、高湿実験では表面処理剤が用いられているが、本実験では加圧注入処理剤および表面処理剤を同時に屋外暴露実験および湿潤実験に供することとした。試験体種類は山田の研究を参考に、以下の木材保存処理仕様を追加した。すなわち、樹種による腐食性の違いを検証するためのベイマツ未処理材、有効成分が同一である表面処理剤において、油剤か乳剤かによる腐食性の違いを検証するための、エトフェンプロックスを有効成分とする油剤および乳剤、および海外で広く使用されているホウ酸処理材である。また同様に、以下の鋼板表面処理仕様を追加した。すなわち、鉄骨造における長期使用構造基準（平成 21 年国土交通省告示第 209 号、長期使用構造等とするための措置）における 2.3mm 以上の鋼板に要求される Z60 および両面付着量 450g/m²の溶融亜鉛めっき（HDZ23 と呼ぶ）、近年注目されている複合処理 2 種、および防錆処理の技術評価で同等性指標として用いられることの多い HDZ35 である。また、高湿実験では、試験装置容積の制約から、これらのうちから数種類ずつを抜粋して実施することとした。抜粋するに当たり、木材保存処理では既往の研究から腐食性が高いと思われるものと低いと思われるものおよび追加仕様、鋼板表面処理では既往の研究から防錆性が高いと思われる複合処理および一般的でありベンチマークとなる亜鉛めっきを選択することとした。なお、Zn5Cr6 は膜厚 5 μm、6 価クロメート処理の電気亜鉛めっきを表す。屋内暴露実験では、鋼板仕様としてさらに、複合処理 1 種、ステンレス 2 種を追加した。

屋外暴露実験および湿潤実験においては、試験体木材に対し、鋼板試験体をねじ留めした。試験体作製時および観察後の再取付時のねじ留めは全て熟練工が行った。ねじは異種金属接触腐食を避けるため、できる限り同種の表面処理のものを用意した。亜鉛めっき鋼板（Z27、Z60）および Zn+Mg 合金めっき鋼板に用いるねじは極力付着量の多い電気亜鉛めっきとして Zn20Cr6 を用いた。溶融亜鉛めっき（HDZ-A、HDZ23、HDZ35）ではねじのビット穴に液だまりが生じてしまうため、同様に Zn20Cr6 のねじを用いた。Z27+カチオン電着塗装に関しては上記と同様 Zn20Cr6+カチオン電着塗装のねじを用いた。鋼板とねじの組み合わせを表 8.2.6 に示す。

高湿実験および屋内暴露実験においては、試験体木材で鋼板をはさみ、輪ゴムでくくった。

試験体の繰り返し数は 3 とした。

HDZ23 を木材に接触させない状態で試験に供し、これを標準試験体とした。

屋外暴露実験、湿潤実験、高湿実験および屋内暴露実験の試験体図をそれぞれ図 8.2.2～4 に示す。

表 8.2.4 木材保存処理仕様

| 表記記号 | 名称 | 区分 |
|------|--------------|------|
| 1 | AAC | 加圧注入 |
| 2 | SAAC | 加圧注入 |
| 3 | BAAC | 加圧注入 |
| 4 | ACQ | 加圧注入 |
| 5 | CUAZ-2 | 加圧注入 |
| 6 | CUAZ-3 | 加圧注入 |
| 7 | AZN | 加圧注入 |
| 8 | ナフテン酸銅 | 表面処理 |
| 9 | チアトキシサムほか | 表面処理 |
| 10 | ジノテフランほか | 表面処理 |
| 11 | ビフェントリンほか | 表面処理 |
| 12 | エトフェンプロックス乳剤 | 表面処理 |
| 13 | エトフェンプロックス油剤 | 表面処理 |
| 14 | ホウ酸 | 加圧注入 |
| 15 | 未処理材(ベイマツ) | 未処理材 |
| 16 | 未処理材(ベイツガ) | 未処理材 |

表 8.2.5 鋼板表面処理仕様

| 表記記号 | 名称 | 区分 |
|------|---------------|---------|
| A | Zn5Cr6 | 亜鉛めっき |
| B | Zn8Cr6 | |
| C | Zn5Cr3 | |
| D | Zn8Cr3 | |
| E | Z27 | |
| F | HDZ-A | |
| G | HDZ23 | |
| H | Z60 | |
| I | HDZ35 | |
| J | Zn+Al焼付塗装1 | 亜鉛合金めっき |
| K | Zn+Al焼付塗装2 | |
| L | Zn+Sn合金めっき | |
| M | Zn+Mg合金めっき1 | |
| N | Zn+Mg合金めっき2 | |
| O | 電気亜鉛めっき+被膜1 | 複合処理 |
| P | 電気亜鉛めっき+被膜2 | |
| Q | 電気亜鉛めっき+被膜3 | |
| R | Z27+カチオン電着塗装 | |
| S | Zn+Al焼付塗装+被膜4 | ステンレス |
| T | SUS304 | |
| U | SUS430 | |

※網掛けは高温実験に供する試験体仕様

※S、T、Uは屋内暴露実験のみ

表 8.2.6 鋼板とねじの組み合わせ

| | | 鋼板の表面処理 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 表記記号 | 商品名 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
| ねじの表面処理 | A | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | D | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | |
| | E | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | G | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | I | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | J | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | |
| | K | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | |
| | L | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | |
| | N | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | O | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | |
| | P | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| | Q | | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - | Zn20Cr6 | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | | | |
| | - | Zn20Cr6+カチオン電着塗装 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

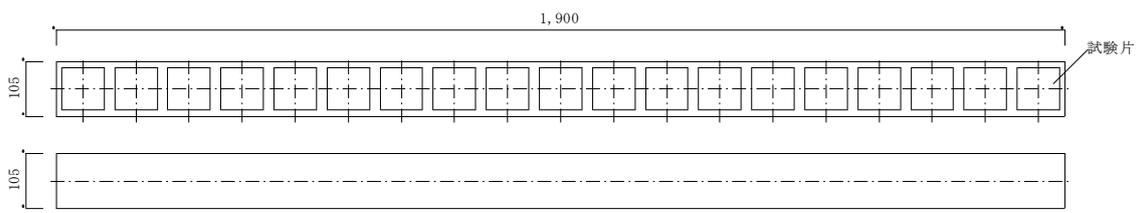


図 8.2.2 屋外暴露実験 試験体図

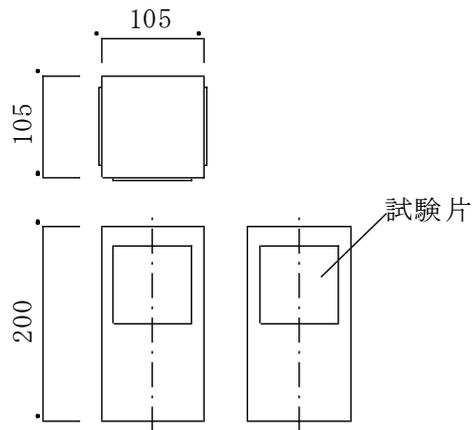


図 8.2.3 湿潤実験 試験体図

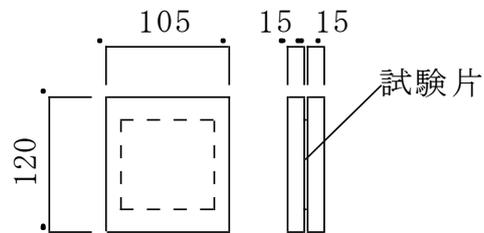


図 8.2.4 高湿実験・屋内暴露実験 試験体図

8.2.3 評価方法

試験体鋼板は定期的に試験体木材から取り外し、接触面の発錆状況を評価した。評価は既往の研究を参考として目視 5 段階評価で行った。評価基準を図 8.2.5 に示す。

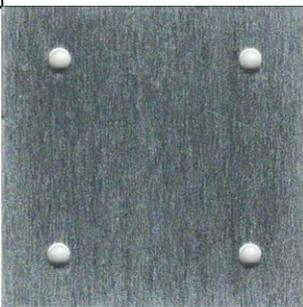
| 評価点 | 状態 | |
|-----|--------------|--|
| 1 | 変化なし |  |
| 2 | 変色、白錆発生 |  |
| 3 | 微量の赤錆発生 |  |
| 4 | 概ね30%以下の赤錆発生 |  |
| 5 | 概ね30%以上の赤錆発生 |  |

図 8.2.5 試験体発錆状況評価基準

8.2.4 目視評価結果

図 8.2.6～17 に評価結果を示す。評価は 8.2.3 の評価方法にしたがって行い、試験体数 3 体分の平均値を算出した。さらに評価結果 3.0 未満、3.0 以上 4.0 未満、4.0 以上に区分し、色分けして表示した。

屋内暴露実験では 3 か月目に観察評価を行った。その結果、ナフテン酸銅処理木材に接する Zn+Mg 合金めっき鋼板にわずかな赤錆が見られたほかは、殆ど変化が見られなかった。

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 3.3 | 4.0 | 4.7 | 4.3 | 3.0 | 3.3 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 4.3 | 2.0 | 2.0 |
| SAAC | 3.7 | 3.3 | 5.0 | 4.3 | 3.0 | 4.7 | 4.0 | 2.3 | 4.0 | 3.0 | 5.0 | 3.3 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 4.0 | 2.0 | 2.0 |
| BAAC | 3.3 | 3.7 | 4.7 | 4.7 | 3.7 | 4.3 | 3.3 | 2.0 | 3.3 | 3.7 | 4.3 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 5.0 | 2.0 | 2.0 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 4.7 | 4.0 | 4.7 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 4.7 | 3.3 | 5.0 | 2.7 | 2.0 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 2.7 | 2.0 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 2.3 | 2.0 |
| AZN | 2.3 | 2.3 | 4.0 | 3.3 | 2.3 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 3.3 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.5 |
| ナフテン酸銅 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.3 | 3.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 3.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 1.5 |
| チアマトキサムほか | 3.0 | 2.3 | 3.3 | 3.0 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 3.3 | 2.0 | 1.7 |
| ジノテフランほか | 2.3 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.5 |
| ビフェントリンほか | 2.3 | 2.0 | 4.0 | 2.7 | 2.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス油剤 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 1.5 | 1.5 |
| ホウ酸 | 2.7 | 1.8 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 1.5 | 1.5 |
| 未処理材(ベイマツ) | 3.3 | 2.7 | 4.3 | 3.3 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 1.5 |
| 未処理材(ベイツガ) | 3.0 | 2.0 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.5 |

図 8.2.6 評価結果（屋外暴露実験・横浜・1.5年目）

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 4.7 | 3.0 | 3.7 | 2.7 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | 5.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 4.3 | 2.3 | 2.0 |
| SAAC | 4.0 | 3.3 | 5.0 | 4.7 | 3.0 | 5.0 | 4.0 | 2.7 | 4.3 | 3.0 | 4.7 | 3.3 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 3.7 | 2.3 | 2.0 |
| BAAC | 4.0 | 3.7 | 4.7 | 4.7 | 3.7 | 4.7 | 3.3 | 3.0 | 3.3 | 3.7 | 4.3 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 3.7 | 5.0 | 2.7 | 2.0 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 4.3 | 4.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 4.7 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 1.8 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 1.5 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 1.5 |
| AZN | 2.7 | 2.7 | 4.3 | 3.7 | 2.3 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.5 |
| ナフテン酸銅 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 1.5 |
| チアマトキサムほか | 3.0 | 2.0 | 3.7 | 3.3 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 1.5 |
| ジノテフランほか | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.5 |
| ビフェントリンほか | 2.3 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 1.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 |
| エトフェンブロックス油剤 | 3.3 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 1.0 |
| ホウ酸 | 3.0 | 1.8 | 4.3 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 1.0 | 1.0 |
| 未処理材(ベイマツ) | 3.3 | 2.7 | 4.3 | 3.7 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 2.3 | 3.3 | 3.0 | 4.3 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 3.3 | 2.7 | 1.2 |
| 未処理材(ベイツガ) | 2.3 | 2.3 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.2 |

図 8.2.7 評価結果（屋外暴露実験・横浜・2年目）

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 4.0 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 4.0 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 2.7 | 2.3 | 3.7 | 3.0 | 3.7 | 1.5 | 1.0 |
| SAAC | 4.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 3.3 | 2.3 | 4.0 | 3.0 | 5.0 | 2.3 | 2.3 | 2.7 | 2.3 | 4.0 | 1.5 | 1.0 |
| BAAC | 3.3 | 2.3 | 4.0 | 4.3 | 2.7 | 4.7 | 3.3 | 2.3 | 3.3 | 3.3 | 4.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.3 | 1.5 | 1.0 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 1.5 | 1.2 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 2.0 | 1.5 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 2.0 | 1.5 |
| AZN | 2.7 | 2.7 | 4.7 | 3.7 | 3.3 | 3.7 | 2.7 | 2.3 | 2.7 | 3.3 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 3.7 | 1.5 | 1.0 |
| ナフテン酸銅 | 2.5 | 2.0 | 2.7 | 2.5 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 1.5 | 2.7 | 1.5 | 1.0 |
| チアトキサムほか | 2.3 | 2.0 | 4.0 | 3.7 | 2.0 | 3.7 | 2.0 | 1.8 | 2.7 | 2.7 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.3 | 1.5 | 1.3 |
| ジノテフランほか | 2.3 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.7 | 3.3 | 2.3 | 3.3 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.3 | 1.5 | 1.2 |
| ビフェントリンほか | 2.3 | 2.3 | 3.7 | 3.0 | 2.3 | 3.3 | 3.0 | 1.8 | 2.3 | 2.3 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 3.3 | 1.5 | 1.0 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 1.8 | 2.0 | 2.7 | 1.8 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.7 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 3.3 | 1.5 | 1.0 |
| エトフェンブロックス油剤 | 1.8 | 1.8 | 2.2 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 2.7 | 1.7 | 3.0 | 2.3 | 2.5 | 2.3 | 1.8 | 1.8 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |
| ホウ酸 | 1.8 | 1.8 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.3 | 1.5 | 1.0 |
| 未処理材(ペイマツ) | 4.3 | 4.0 | 5.0 | 4.0 | 3.3 | 4.3 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 4.3 | 5.0 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 2.5 | 4.3 | 2.0 | 1.3 |
| 未処理材(ペイツガ) | 2.3 | 2.0 | 3.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |

図 8.2.8 評価結果 (屋外暴露実験・つくば・1.5年目)

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 4.0 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 4.7 | 3.3 | 3.3 | 4.3 | 4.3 | 5.0 | 3.0 | 2.3 | 3.7 | 4.7 | 3.7 | 2.7 | 1.5 |
| SAAC | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 4.3 | 3.0 | 4.7 | 3.7 | 5.0 | 3.0 | 2.7 | 3.3 | 3.0 | 4.3 | 2.0 | 1.3 |
| BAAC | 3.3 | 3.0 | 4.3 | 4.3 | 3.0 | 5.0 | 3.7 | 3.0 | 4.3 | 3.7 | 5.0 | 3.0 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 4.3 | 2.7 | 1.5 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 1.7 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 1.5 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 1.5 |
| AZN | 3.0 | 3.0 | 5.0 | 3.7 | 3.3 | 5.0 | 3.3 | 2.3 | 3.3 | 3.7 | 3.7 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 4.3 | 2.3 | 1.5 |
| ナフテン酸銅 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 2.7 | 3.3 | 2.3 | 2.7 | 2.3 | 2.3 | 3.3 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 3.3 | 2.0 | 1.5 |
| チアトキサムほか | 3.0 | 3.0 | 5.0 | 3.7 | 2.7 | 4.3 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 3.3 | 3.0 | 1.7 |
| ジノテフランほか | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 2.7 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 3.3 | 2.3 | 1.7 |
| ビフェントリンほか | 2.7 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 2.3 | 3.7 | 3.3 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 3.7 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 2.3 | 2.3 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 3.3 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス油剤 | 2.3 | 2.3 | 3.3 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.5 |
| ホウ酸 | 3.0 | 2.7 | 3.7 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 1.5 |
| 未処理材(ペイマツ) | 4.7 | 4.3 | 5.0 | 4.0 | 4.0 | 5.0 | 4.0 | 3.7 | 3.3 | 4.3 | 5.0 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 4.7 | 3.0 | 1.8 |
| 未処理材(ペイツガ) | 2.7 | 2.0 | 3.3 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 |

図 8.2.9 評価結果 (屋外暴露実験・つくば・2年目)

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 3.3 | 4.3 | 4.7 | 5.0 | 3.3 | 4.7 | 3.0 | 2.3 | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 3.3 | 2.3 | 2.3 | 2.7 | 5.0 | 2.0 | 1.5 |
| SAAC | 3.3 | 3.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 4.3 | 2.7 | 4.0 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 4.3 | 2.0 | 1.5 |
| BAAC | 3.0 | 3.3 | 4.3 | 4.3 | 2.7 | 4.0 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 4.0 | 4.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 3.3 | 4.3 | 2.0 | 1.5 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 2.7 | 1.5 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 2.7 | 1.5 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 4.7 | 4.7 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 2.7 | 1.5 |
| AZN | 3.0 | 3.0 | 4.7 | 3.7 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 3.7 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.7 | 2.0 | 1.5 |
| ナフテン酸銅 | 2.3 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.5 |
| チアマトキサムほか | 2.3 | 3.0 | 3.3 | 2.7 | 2.3 | 4.7 | 3.3 | 3.0 | 4.3 | 3.0 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 3.7 | 2.0 | 1.5 |
| ジノテフランほか | 2.3 | 2.3 | 3.7 | 2.7 | 2.7 | 3.7 | 3.7 | 2.3 | 2.3 | 3.0 | 3.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.3 | 2.0 | 1.5 |
| ビフェントリンほか | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.3 | 2.0 | 5.0 | 3.3 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 1.7 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス油剤 | 2.0 | 1.7 | 3.7 | 2.3 | 2.7 | 3.3 | 2.7 | 2.3 | 2.7 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.5 |
| ホウ酸 | 1.5 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 1.5 |
| 未処理材(ベイマツ) | 4.3 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 4.0 | 4.3 | 5.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 4.7 | 2.0 | 1.5 |
| 未処理材(ベイツガ) | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.5 |

図 8.2.10 評価結果 (屋外暴露実験・宇治・1.5年目)

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 3.7 | 4.3 | 4.7 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 3.7 | 3.0 | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 3.3 | 2.3 | 2.3 | 3.3 | 5.0 | 2.3 | 2.0 |
| SAAC | 4.3 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 4.7 | 3.0 | 4.0 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 2.0 | 2.0 |
| BAAC | 4.0 | 4.0 | 4.7 | 4.7 | 3.7 | 5.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 4.3 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 3.3 | 4.3 | 2.7 | 2.0 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 1.7 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 1.7 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 1.7 |
| AZN | 3.7 | 3.7 | 4.7 | 4.0 | 3.0 | 4.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | 2.7 | 8.7 | 2.0 | 2.0 | 3.7 | 2.0 | 1.7 |
| ナフテン酸銅 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 1.5 |
| チアマトキサムほか | 2.7 | 3.3 | 4.0 | 4.0 | 2.7 | 4.7 | 3.3 | 3.0 | 4.3 | 3.0 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 1.5 |
| ジノテフランほか | 3.0 | 2.7 | 3.7 | 3.7 | 2.7 | 4.3 | 3.7 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.7 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 3.3 | 2.0 | 1.5 |
| ビフェントリンほか | 3.0 | 2.7 | 3.7 | 3.7 | 2.3 | 5.0 | 3.7 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 1.5 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 2.0 | 1.7 | 3.3 | 3.0 | 2.3 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス油剤 | 2.3 | 2.2 | 4.0 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 2.3 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.5 |
| ホウ酸 | 3.0 | 3.3 | 4.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.5 |
| 未処理材(ベイマツ) | 4.7 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 4.3 | 4.3 | 5.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 4.7 | 3.0 | 1.7 |
| 未処理材(ベイツガ) | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.5 |

図 8.2.11 評価結果 (屋外暴露実験・宇治・2年目)

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 3.0 | 3.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 2.3 | 3.7 | 2.0 | 1.5 |
| SAAC | 2.0 | 2.3 | 5.0 | 3.0 | 2.7 | 3.7 | 3.3 | 2.0 | 3.7 | 3.0 | 3.7 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 3.3 | 2.0 | 1.5 |
| BAAC | 3.7 | 4.0 | 4.7 | 3.3 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 3.7 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 5.0 | 2.0 | 1.5 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 2.3 | 1.5 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 2.7 | 1.5 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 3.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 2.7 | 1.5 |
| AZN | 2.7 | 2.0 | 4.7 | 2.7 | 2.3 | 3.7 | 3.0 | 2.0 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 4.3 | 2.0 | 1.5 |
| ナフテン酸銅 | 3.0 | 2.7 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 1.5 |
| チアマトキサムほか | 2.0 | 2.0 | 3.3 | 3.0 | 2.3 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.3 | 2.0 | 1.0 |
| ジノテフランほか | 2.7 | 2.7 | 3.3 | 3.0 | 2.3 | 3.3 | 2.7 | 2.3 | 3.3 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 1.5 |
| ビフェントリンほか | 2.0 | 2.7 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 3.3 | 3.0 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 1.3 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 2.0 | 2.7 | 4.7 | 3.3 | 2.0 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 1.2 |
| エトフェンブロックス油剤 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 |
| ホウ酸 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 1.0 |
| 未処理材(ベイマツ) | 3.3 | 3.3 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 3.7 | 2.7 | 2.7 | 3.3 | 3.3 | 4.3 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 4.3 | 2.7 | 1.2 |
| 未処理材(ベイツガ) | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.0 |

図 8.2.12 評価結果（屋外暴露実験・旭川・1.5年目）

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 3.0 | 3.7 | 5.0 | 4.3 | 3.3 | 4.3 | 3.3 | 2.7 | 3.7 | 3.0 | 4.3 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 3.7 | 2.0 | 1.5 |
| SAAC | 3.0 | 3.3 | 4.3 | 3.0 | 2.7 | 4.3 | 3.3 | 2.0 | 4.0 | 3.0 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 2.0 | 1.5 |
| BAAC | 3.7 | 4.0 | 4.7 | 4.3 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 2.7 | 3.7 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 5.0 | 2.0 | 1.5 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 2.7 | 1.7 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 2.7 | 1.5 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 3.0 | 1.5 |
| AZN | 2.7 | 2.0 | 4.3 | 2.7 | 2.7 | 4.3 | 4.0 | 2.0 | 3.7 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 4.0 | 2.0 | 1.5 |
| ナフテン酸銅 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 3.7 | 3.7 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 1.5 |
| チアマトキサムほか | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 3.0 | 2.0 | 1.5 |
| ジノテフランほか | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.3 | 4.0 | 3.0 | 2.3 | 3.3 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.7 | 2.3 | 1.5 |
| ビフェントリンほか | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 3.7 | 3.0 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.7 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 2.0 | 3.0 | 3.7 | 3.0 | 2.3 | 3.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 3.7 | 2.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス油剤 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.2 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 1.5 |
| ホウ酸 | 2.7 | 2.5 | 3.3 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.7 | 2.0 | 1.5 |
| 未処理材(ベイマツ) | 3.3 | 3.7 | 5.0 | 3.7 | 3.3 | 4.0 | 3.7 | 2.3 | 4.0 | 3.7 | 4.3 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 3.7 | 2.7 | 1.7 |
| 未処理材(ベイツガ) | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 |

図 8.2.13 評価結果（屋外暴露実験・旭川・2年目）

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 5.0 | 2.0 | 2.0 |
| SAAC | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 3.7 | 4.0 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 3.3 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 4.7 | 2.0 | 2.0 |
| BAAC | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 2.3 | 2.7 | 3.7 | 2.7 | 3.7 | 5.0 | 2.0 | 2.0 | 3.7 | 2.0 | 5.0 | 2.0 | 2.0 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 3.0 | 4.0 | 4.7 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 4.7 | 5.0 | 4.7 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 |
| AZN | 4.0 | 3.3 | 5.0 | 3.3 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 |
| ナフテン酸銅 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 5.0 | 2.0 | 2.0 |
| チアマトキサムほか | 4.7 | 4.7 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 2.3 | 3.0 | 3.7 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 2.3 | 4.7 | 2.3 | 2.0 |
| ジノテフランほか | 4.7 | 3.3 | 4.7 | 4.0 | 3.0 | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.3 | 3.3 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 |
| ビフェントリンほか | 4.7 | 3.7 | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 4.7 | 3.0 | 4.3 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 |
| エトフェンブロックス油剤 | 3.3 | 3.0 | 4.3 | 3.3 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.7 | 2.0 | 2.0 |
| ホウ酸 | 3.7 | 4.7 | 4.3 | 3.7 | 3.0 | 2.7 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 2.3 | 3.7 | 2.0 | 2.0 |
| 未処理材(ベイマツ) | 3.7 | 2.3 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.7 | 3.3 | 2.7 | 3.0 | 2.3 | 2.0 | 4.3 | 3.0 | 2.0 |
| 未処理材(ベイツガ) | 3.3 | 2.3 | 4.7 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 2.3 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 3.7 | 2.3 | 2.0 |

図 8.2.14 評価結果 (湿潤実験・1.5年目)

| | Zn5Cr6 | Zn8Cr6 | Zn5Cr3 | Zn8Cr3 | Z27 | HDZ-A | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | Zn+Al焼付塗装1 | Zn+Al焼付塗装2 | Zn+Sn合金めっき | Zn+Mg合金めっき1 | Zn+Mg合金めっき2 | 電気亜鉛めっき+皮膜1 | 電気亜鉛めっき+皮膜2 | 電気亜鉛めっき+皮膜3 | Z27+カチオン電着塗装 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| AAC | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 3.3 | 3.0 | 4.7 | 3.7 | 3.3 | 4.7 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 2.0 |
| SAAC | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 3.3 | 3.7 | 3.3 | 4.0 | 3.7 | 4.3 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 2.0 |
| BAAC | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 2.3 | 2.7 | 4.3 | 3.7 | 4.3 | 5.0 | 2.0 | 3.3 | 4.3 | 2.7 | 5.0 | 3.0 | 2.0 |
| ACQ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 3.0 | 3.0 |
| CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 |
| CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 |
| AZN | 5.0 | 4.3 | 5.0 | 4.7 | 4.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 2.3 | 2.0 |
| ナフテン酸銅 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.3 | 4.3 | 3.3 | 3.0 | 4.3 | 3.0 | 3.3 | 4.3 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 5.0 | 2.7 | 2.0 |
| チアマトキサムほか | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.7 | 4.0 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 2.3 | 3.0 | 4.0 | 2.7 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 5.0 | 2.7 | 2.0 |
| ジノテフランほか | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 4.7 | 4.0 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 3.3 | 1.8 | 2.0 |
| ビフェントリンほか | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 4.0 | 4.3 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 2.0 |
| エトフェンブロックス乳剤 | 4.7 | 4.3 | 5.0 | 4.0 | 3.7 | 3.0 | 3.7 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.7 | 2.7 | 2.0 |
| エトフェンブロックス油剤 | 3.7 | 3.3 | 4.7 | 4.0 | 3.7 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.7 | 2.7 | 2.0 |
| ホウ酸 | 4.7 | 5.0 | 4.7 | 4.7 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.3 | 3.0 | 2.7 | 4.3 | 3.0 | 2.0 |
| 未処理材(ベイマツ) | 5.0 | 2.0 | 4.3 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 3.0 | 2.0 |
| 未処理材(ベイツガ) | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 4.3 | 3.7 | 3.0 | 3.0 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.7 | 3.0 | 2.0 |

図 8.2.15 評価結果 (湿潤実験・2年目)

| | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | 電気亜鉛 めっき+皮 膜1 | 電気亜鉛 めっき+皮 膜2 | 電気亜鉛 めっき+皮 膜3 | Z27+カチ オン電着 塗装 |
|------------------|-------|-----|-------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| AAC | 3.3 | 2.7 | 3.7 | 3.0 | 5.0 | 1.7 | 2.0 |
| CUAZ-3 | 4.3 | 2.3 | 3.0 | 1.7 | 5.0 | 1.0 | 2.0 |
| ナフテン酸銅 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 |
| チアマトキサムほか | 2.7 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 5.0 | 1.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス 乳剤 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 4.3 | 1.0 | 2.0 |
| エトフェンブロックス 油剤 | 3.3 | 2.0 | 3.3 | 1.0 | 5.0 | 1.0 | 1.7 |
| ホウ酸 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 |
| 未処理材(ベイマツ) | 3.0 | 2.0 | 4.0 | 1.0 | 4.0 | 1.0 | 1.7 |
| 未処理材(ベイツガ) | 3.0 | 2.0 | 4.0 | 1.0 | 3.7 | 1.0 | 1.3 |

図 8.2.16 評価結果（高湿実験・1.5年目）

| | HDZ23 | Z60 | HDZ35 | 電気亜鉛 めっき+皮 膜1 | 電気亜鉛 めっき+皮 膜2 | 電気亜鉛 めっき+皮 膜3 | Z27+カチ オン電着 塗装 |
|------------------|-------|-----|-------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| AAC | 3.3 | 2.7 | 3.7 | 3.0 | 5.0 | 1.7 | 2.0 |
| CUAZ-3 | 4.3 | 2.3 | 3.0 | 1.7 | 5.0 | 1.0 | 2.0 |
| ナフテン酸銅 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 |
| チアマトキサムほか | 2.7 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 5.0 | 1.0 | 1.5 |
| エトフェンブロックス 乳剤 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 4.3 | 1.0 | 2.0 |
| エトフェンブロックス 油剤 | 3.3 | 2.0 | 3.3 | 1.0 | 5.0 | 1.0 | 1.7 |
| ホウ酸 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 |
| 未処理材(ベイマツ) | 3.0 | 2.0 | 4.0 | 1.0 | 4.0 | 1.0 | 1.7 |
| 未処理材(ベイツガ) | 3.0 | 2.0 | 4.0 | 1.0 | 3.7 | 1.0 | 1.3 |

図 8.2.17 評価結果（高湿実験・2年目）

8.2.5 画像解析による腐食量評価

これまでの腐食量評価は目視による5段階評価に基づいて行ってきた。目視による評価は簡便であるものの、再現性が低い可能性がある、熟練者がいなければ評価作業が実施できない等の不都合があるため、画像解析による腐食量評価を試みた。

まず、明らかに赤錆である30部位のRGB値を抽出し、R、G、Bそれぞれの平均値と標準偏差 σ を求めておく。求められた平均値 $\pm 2\sigma$ を赤錆のRGB範囲とした(表8.2.7)。次に、スキャンした鋼板画像を100×100ピクセルに縮小し、RGB値が前述したRGB範囲に含まれるピクセルを赤錆と考え、赤錆と判定されたピクセル数の比率を赤錆面積率とした。ただし、R値が小さく、GやB値が大ききものを認識しないよう、R/GおよびR/Bが1.1未満の場合は前述のRGB範囲に含まれても赤錆と判定しないこととした。

こうして赤錆と判定されたピクセルを抽出したものの一例を図8.2.18に示す。また、図8.2.19に目視評価結果と赤錆面積率との関係を示す。これより、目視評価は一定の精度を有することが確認できたが、目視評価4は赤錆面積を過小評価しがちであることが分かった。

一方、今回実施した画像解析方法では、赤みがかった色に変色した部分、鋼板に付着した木材片、鋼板の孔の影、黒色に近い赤錆等の判別が困難であるという課題が残った。

表 8.2.7 赤錆の RGB 範囲

| | 平均値 - 2 σ | 平均値 + 2 σ |
|---|------------------|------------------|
| R | 32 | 195 |
| G | 38 | 177 |
| B | 42 | 165 |

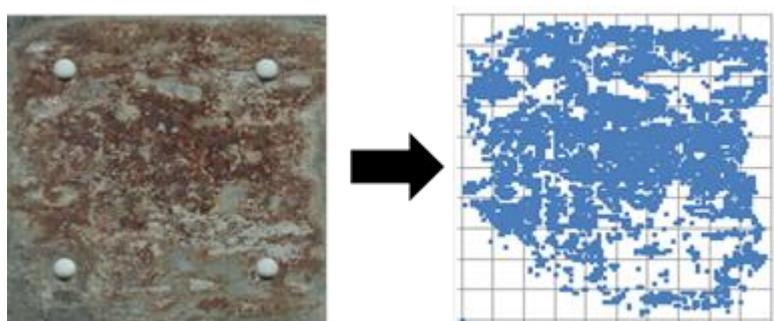


図 8.2.18 赤錆抽出の一例

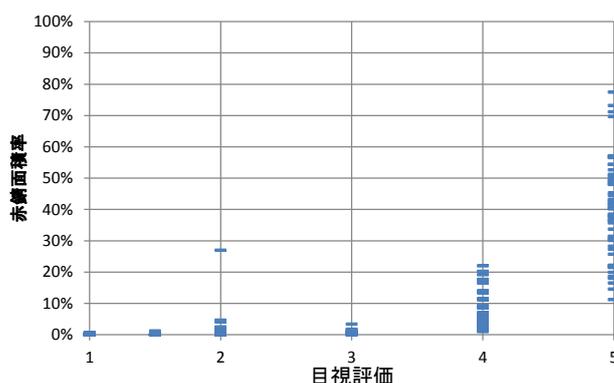


図 8.2.19 目視評価結果と赤錆面積率

8.2.6 飛来海塩粒子量の測定

2011年3月～2012年2月の12ヶ月にわたり、各屋外暴露実験値において飛来海塩粒子量の測定を実施した。測定はJIS Z2382:1998 大気環境の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定にしたがって行い、分析は日本ウェザリングテストセンターに依頼した。

表 8.2.8 に分析結果を、これをプロットしたグラフを図 8.2.20 に示す。

表 8.2.8 飛来海塩粒子量

| 横浜 | H23.3.1～ | H23.4.1～ | H23.4.28～ | H23.6.2～ | H23.7.1～ | H23.8.1～ | H23.9.1～ | H23.10.1～ | H23.11.1～ | H23.12.1～ | H24.1.1～ | H24.2.1～ |
|-------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|
| | H23.4.1 | H23.4.28 | H23.6.2 | H23.7.1 | H23.8.1 | H23.9.1 | H23.10.1 | H23.11.1 | H23.12.1 | H24.1.1 | H24.2.1 | H24.3.1 |
| 捕集日数 | 31 | 27 | 35 | 29 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 29 |
| 海塩粒子量 | 13.3 | 30.2 | 10.0 | 13.1 | 17.4 | 10.7 | 57.4 | 15.1 | 13.9 | 5.3 | 8.2 | 11.0 |
| 宇治 | H23.3.4～ | H23.4.1～ | H23.5.2～ | H23.6.1～ | H23.7.1～ | H23.8.1～ | H23.9.1～ | H23.9.30～ | H23.11.1～ | H23.12.1～ | H23.12.29～ | H24.2.2～ |
| | H23.4.1 | H23.5.2 | H23.6.1 | H23.7.1 | H23.8.1 | H23.9.1 | H23.9.30 | H23.11.1 | H23.12.1 | H23.12.29 | H24.2.2 | H24.3.1 |
| 捕集日数 | 28 | 31 | 30 | 30 | 31 | 31 | 29 | 32 | 30 | 28 | 35 | 28 |
| 海塩粒子量 | 3.1 | 2.7 | 1.4 | 1.3 | 0.9 | 1.4 | 2.6 | 2.4 | 2.5 | 1.5 | 2.0 | 2.2 |
| 旭川 | H23.3.4～ | H23.4.1～ | H23.5.1～ | H23.6.1～ | H23.7.1～ | H23.8.1～ | H23.9.1～ | H23.10.3～ | H23.11.1～ | H23.12.1～ | H23.12.29～ | H24.2.3～ |
| | H23.4.1 | H23.5.1 | H23.6.1 | H23.7.1 | H23.8.1 | H23.9.1 | H23.10.3 | H23.11.1 | H23.12.1 | H23.12.29 | H24.2.3 | H24.3.1 |
| 捕集日数 | 28 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 32 | 29 | 30 | 28 | 36 | 27 |
| 海塩粒子量 | 9.0 | 4.0 | 1.6 | 1.2 | 0.4 | 1.2 | 2.3 | 0.3 | 4.5 | 4.0 | 0.8 | 5.0 |
| つくば | H23.3.7～ | H23.4.1～ | H23.5.1～ | H23.6.1～ | H23.7.1～ | H23.8.1～ | H23.9.1～ | H23.10.1～ | H23.11.1～ | H23.12.1～ | H23.12.29～ | H24.2.2～ |
| | H23.4.1 | H23.5.1 | H23.6.1 | H23.7.1 | H23.8.1 | H23.9.1 | H23.10.1 | H23.11.1 | H23.12.1 | H23.12.29 | H24.2.2 | H24.3.1 |
| 捕集日数 | 25 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 28 | 35 | 28 |
| 海塩粒子量 | 1.2 | 2.9 | 1.9 | 1.0 | 1.7 | 1.5 | 2.7 | 1.6 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.9 |

※9/21に台風15号が関東上陸

海塩粒子量(mg・NaCl/m²・day)

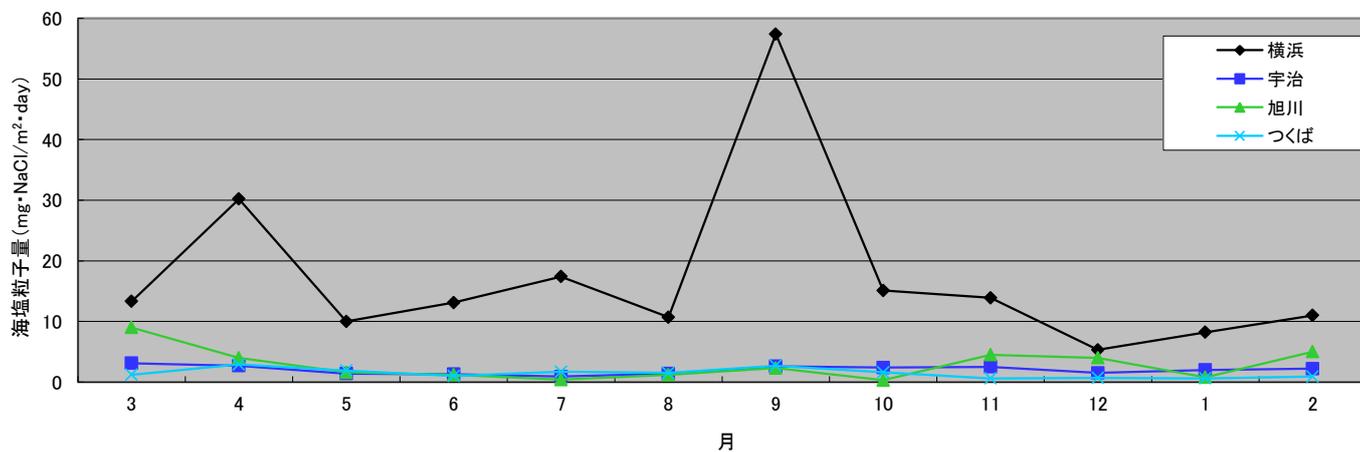


図 8.2.20 飛来海塩粒子量

8.2.7 考察

試験より得られた知見を以下に示す。

- ACQ、CUAZ-2、CUAZ-3の腐食性が高い傾向が見られた。
- その他加圧注入材、ベイマツ未処理材の腐食性も高い傾向が見られた。
- 屋外暴露実験において、表面処理薬剤の腐食性は低い傾向であった。
- 湿潤実験、高湿実験においては、鋼板表面処理の種類によっては、表面処理薬剤に対してもある程度腐食が進行した。屋外暴露実験においては、表面処理薬剤が溶脱している可能性がある
- 電気亜鉛めっき＋有機皮膜、Z27＋カチオン電着塗装の防錆性が高い傾向が見られた。
- 標準試験体（木材非接触）はいずれの試験地でも現段階では赤錆未発生であり、鉄骨造基準相当は現段階では不明である。
- 横浜、つくば、宇治はほぼ同じ傾向であった。
- 屋内暴露実験は屋外暴露実験、湿潤実験、高湿実験よりも腐食の進行が遅い。

8.2.8 試験体画像

鋼板試験体の発錆状況はスキャンニングによって記録した。一例として、横浜における 1.5 年目および 2 年目の試験体画像を図 8.2.21～26 に示す。



| 左 | 右 |
|-----------|-----------|
| 鋼板：Zn5Cr6 | 鋼板：Zn5Cr6 |
| 木材：CUAZ-2 | 木材：CUAZ-3 |

図 8.2.21 試験体画像（屋外暴露・横浜・1.5年目）



| 左 | 右 |
|-------------|-------------|
| 鋼板 : Zn5Cr6 | 鋼板 : Zn5Cr6 |
| 木材 : CUAZ-2 | 木材 : CUAZ-3 |

図 8.2.22 試験体画像（屋外暴露・横浜・2年目）



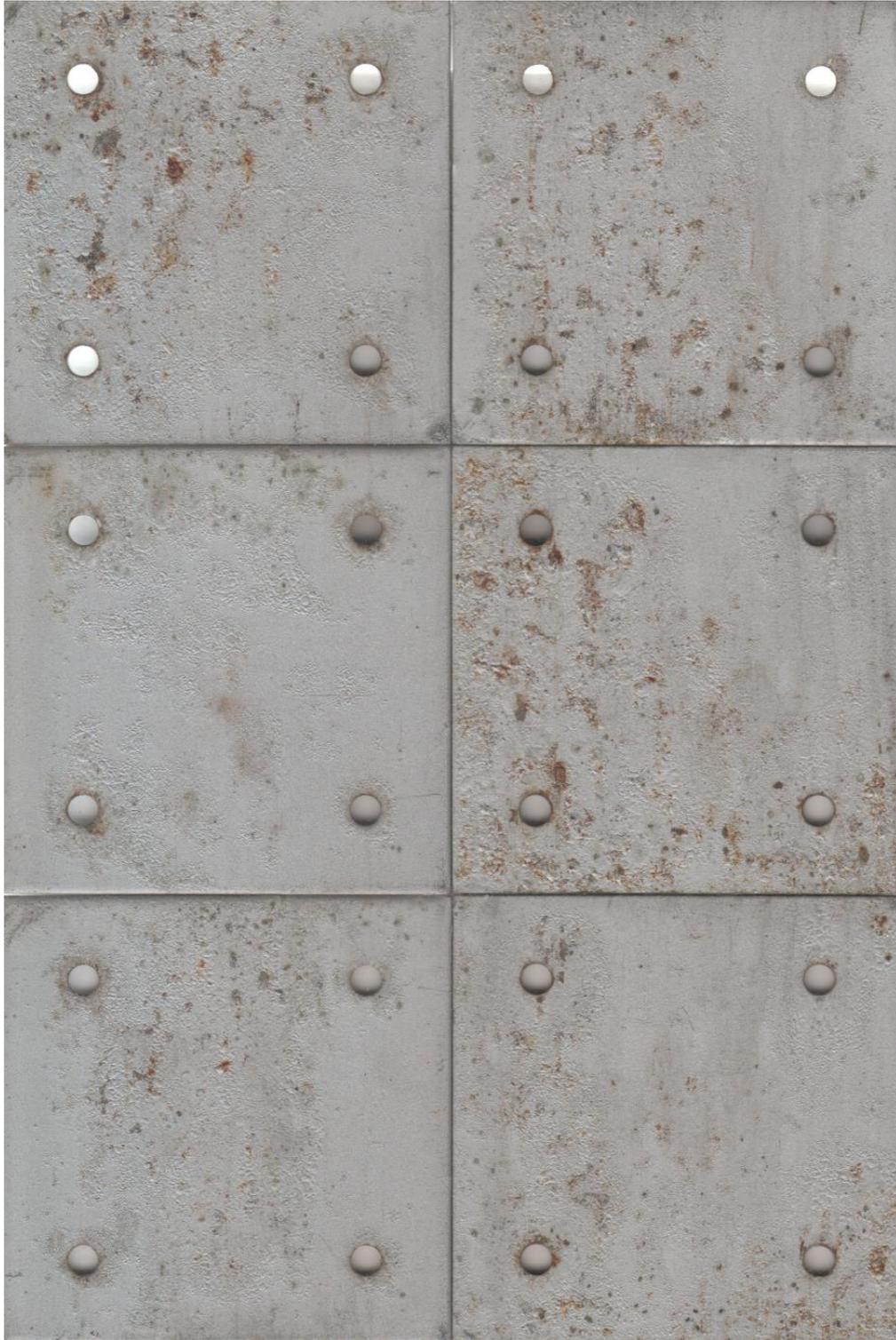
| 左 | 右 |
|-----------|-----------|
| 鋼板：HDZ23 | 鋼板：HDZ23 |
| 木材：CUAZ-2 | 木材：CUAZ-3 |

図 8.2.23 試験体画像（屋外暴露・横浜・1.5年目）



| 左 | 右 |
|-----------|-----------|
| 鋼板：HDZ23 | 鋼板：HDZ23 |
| 木材：CUAZ-2 | 木材：CUAZ-3 |

図 8.2.24 試験体画像（屋外暴露・横浜・2年目）



| 左 | 右 |
|---------------------|---------------------|
| 鋼板：電気亜鉛めっき +被膜 1 | 鋼板：電気亜鉛めっき +被膜 1 |
| 木材：CUAZ-2 | 木材：CUAZ-3 |

図 8.2.25 試験体画像（屋外暴露・横浜・1.5年目）



| 左 | 右 |
|---------------------|---------------------|
| 鋼板：電気亜鉛めっき +被膜 1 | 鋼板：電気亜鉛めっき +被膜 1 |
| 木材：CUAZ-2 | 木材：CUAZ-3 |

図 8.2.26 試験体画像（屋外暴露・横浜・2年目）

8.3 接合具発錆時の引抜耐力検証

発錆した釘の引抜性能検証、発錆した木ねじの引抜性能検証を実施した。釘は築60年の木造軸組構法住宅(高田馬場)から根太ごと採取したものである(図8.3.1)。釘の発錆度合いは今村らの劣化度評価基準(図8.3.2)¹⁰⁾に従って評価した。また、同一材に新品の釘を打ち込み、引抜性能を比較した。荷重変形曲線を図8.3.3~5に示す。その結果、釘が発生すると最大引抜耐力が上昇することが確認された(図8.3.6)。

木ねじ(L30)はスギ製材に打ち込んだ後40℃100%RHに調整したデシケーター内に3週間程度静置することで劣化度2程度まで強制的に発錆させた。新品ねじの最大引抜耐力と発生後のねじの最大引抜耐力を比較したところ、殆ど差異は見られなかった(図8.3.7~8)。



図 8.3.1 採取した試験体

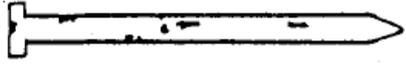
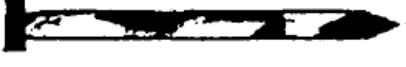
| 劣化度 | 基準 | 例 |
|-----|-----------------|--|
| 1 | 微小さび |  |
| 2 | 表面部分的さび、肉眼的損傷なし |  |
| 3 | 表面全面さび、内部健全 |  |
| 4 | 部分的損傷、原長維持 |  |
| 5 | 原形不明 |  |

図 8.3.2 釘の劣化度評価基準

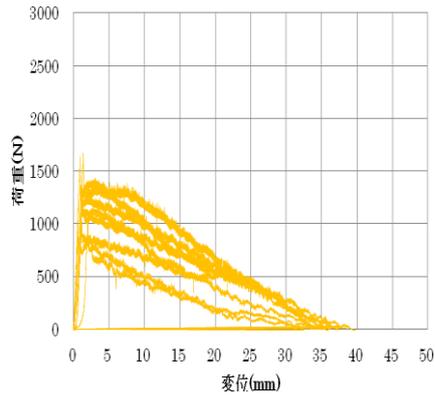


图 8.3.3 荷重变形曲线 (N65 新品)

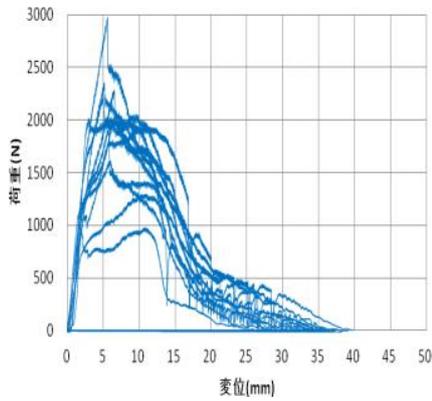


图 8.3.4 荷重变形曲线
(N65 劣化度 3.5)

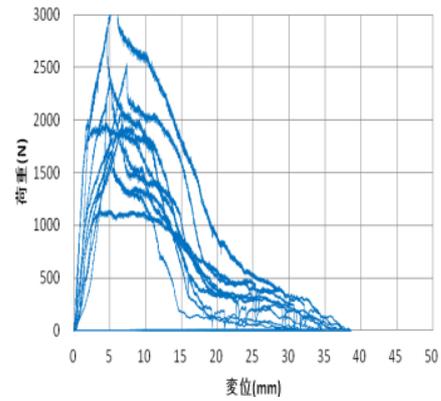


图 8.3.5 荷重变形曲线
(N65 劣化度 4)

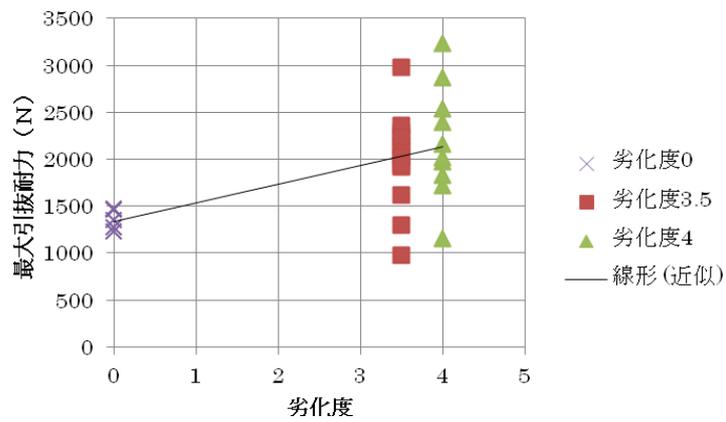


图 8.3.6 劣化度と最大引拔耐力

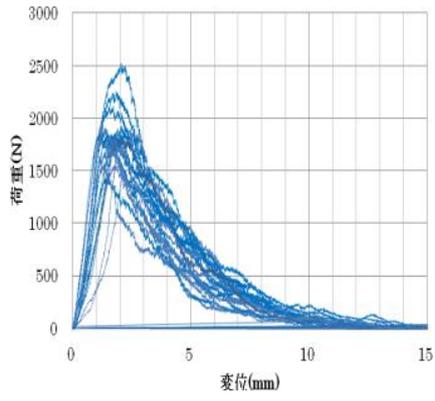


図 8.3.7 荷重変形曲線
(L30 木ねじ 新品)

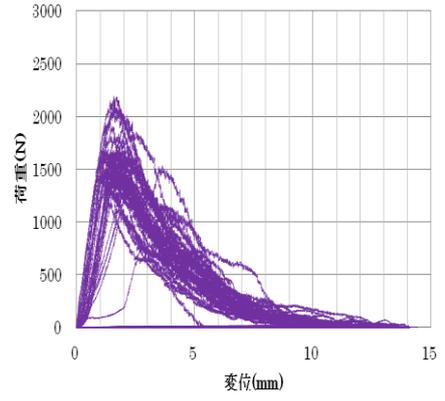


図 8.3.8 荷重変形曲線
(L30 木ねじ 劣化度 2)

8.4 結論と今後の課題

各種保存処理木材に各種表面処理鋼板を取り付け、屋外暴露および高湿空間暴露実験を行った結果、鋼板の腐食性の高い組み合わせとそうでない組み合わせが明らかとなった。ただし、これはあくまでも相対評価であり、絶対評価の目安となる標準試験体の赤錆発生には現段階では至っていない。今後引き続き観察を継続する必要がある。

また、屋外暴露実験と湿潤実験、高湿実験との比較により、屋外暴露実験における表面処理薬剤の溶脱の可能性が示唆された。今後、試験法の適否についても検討する可能性がある。

このほか、今後取り組むべき課題を以下に挙げる。

- ・ 屋内暴露実験と他環境での暴露実験との比較
- ・ 接合金物、接合具の発錆時性能検証（発錆クライテリアの設定）
- ・ 塩害に関する既往の知見の再整理
- ・ 発錆に対する樹種の影響の調査
- ・ 画像解析方法の改良

参考文献

- 1)Kubler,H. : Corrosion of Nails in Wood Construction Interfaces, Forest Products Journal,42,pp.47-49,1992.1
- 2)石本徳三郎、宮下優：鉄骨住宅部材の解体による腐食性状の調査と考察-軽量鉄骨系工業化住宅の耐久性に関する研究 -その1-,日本建築学会構造系論文集 第415号,pp.13-20,1990
- 3)Baker,A.J. : Corrosion of Metal in Wood Products, Durability of Building Materials and Components. ASTM STP 691,pp.981-993,1980
- 4)山田知明：木造住宅用接合金物の腐食に関する実験的研究,関東学院大学2008年度修士論文
- 5)神山幸弘、古野秀二郎：木造住宅における釘の腐食調査報告,日本建築学会大会学術講演梗概集(東海),pp.243-244,1976.1
- 6)建設大臣監房技術調査室：建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編Ⅱ 鉄骨造建築物の耐久性向上技術,技報堂出版,1986.9
- 7)石山央樹、腰原幹雄：釘接合部の劣化時せん断性能に関する実験的研究,日本建築学会構造系論文集,第646号,pp.2281-2289,2009.12
- 8)石山央樹、腰原幹雄、中野一郎、関真理子：アイリングモデルを利用した木造住宅における鉄釘の寿命予測,日本建築学会技術報告集,第33号,pp.453-456,2010.6
- 9)中島正夫：木造住宅用接合金物類の耐久品質をめぐる現状と課題,住宅と木材 Vol.34 No.397,pp.21-25,2011.1
- 10)今村浩人、木口実、大黒昭夫：木造家屋の外壁における釘の劣化からみた木材の劣化環境,林試研報,No.345,pp.101-149,1987