

建築木質材における釘および部材接合金物の表面劣化による 腐食溶出物が及ぼす木表層部への外観影響

DB17231 中菌 慎太

1. はじめに

日本には多くの森林資源があり、その多くが木材としての利用適齢期を迎えている。そのため、耐火木造などの開発に加え、持続可能な資源である木材を利用し、循環型社会を形成する目的で都市木造として中規模公共建築に木造を利用する機運が高まっている。しかし、木材は腐朽、蟻害など様々な不具合の要因を持つ材料である。不具合のひとつである鉄汚染¹⁾は、木材と鉄、水の3つの共存によって容易に引き起こされる現象にも関わらず、鉄汚染に関する研究²⁾は未だ少ないのが現状である。鉄汚染の防止としてシュウ酸(COOH-COOH)、次亜リン酸H3PO2などの酸が使用されるが、接合として利用する金物の腐食を促進する可能性³⁾があるため、完全な鉄汚染と腐食への対策は未だ確立されていない。

そこで、本研究では木材と鉄の化学的性質から両者の共存によって引き起こされる不具合を調査し、水の含有による木材中のpH変化が不具合に影響するかを調べる。そして、鉄や防食処理を施された釘との接触状態の違いにより外観影響に変化が生じるかを検討する。また、この結果を踏まえ、既存の材料が付与する機能を利用してこれらの外観影響への対策が可能かを検討する。

2. 研究の流れ

本研究の流れを図1に示す。実験1,2では板目の木材から試験体を切り出し、心材と辺材として使用する。使用する釘は無処理の他、防錆処理が施されたものを使用し、表面処理によって鉄汚染が抑制されるかどうかの検討も行う。辺材と心材を含水させる水量とpHの変化量を調べ、含水率ごとの放出するpHの想定を行う。これによって水分量と発生pHの関係を把握する。実験3では木材と釘を組み合わせた部材から、木材の浸水が原因で錆汁の流出、及び鉄汚染が発生するという状況を仮定し、この状況から引き起こされる汚染の長さや面積、明度減少などの試験を行う。この実験の結果を踏まえた対策として、実験4では実環境を想定した試験を行う。実験3と同じ状況下で既存の建築に利用される石膏ボードや木材用保護塗料などが有する防水、調湿などの機能を試験体に付与することでこれらの汚染を防止、または抑制できるかどうかの検討を行う。

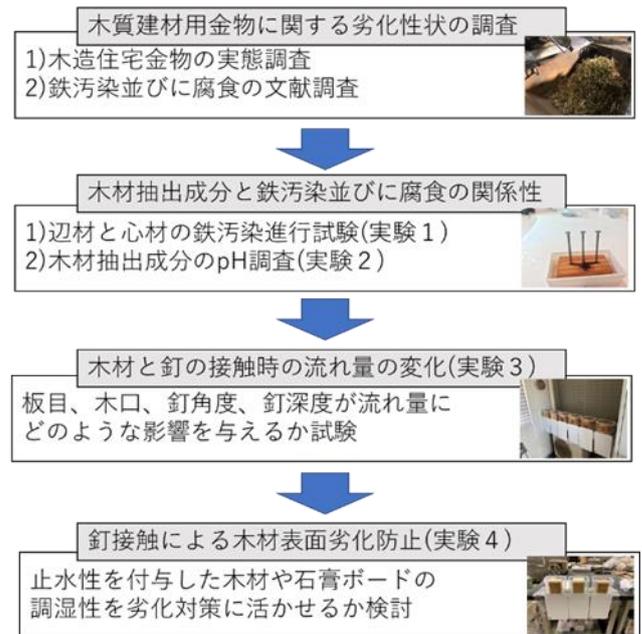


図1 研究の流れ



a) 製釘工程

b) ローリング工程



c) 釘による鉄汚染

d) 美術品の鉄汚染

写真1 N釘の製造と鉄汚染の影響

3. 木質建材用金物に関する劣化性状の調査

3.1 木造住宅金物の実態調査

釘の製造現場の実態を調査し、木質建築用金物の防錆処理や研究に関するヒアリング調査を行う。この結果、以下のことが判明した。

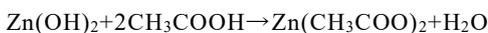
釘や金属接合金物と木材が接触する際、水に濡れることで鉄汚染が発生する。鉄汚染は写真1のように発生し、木材の美観を著しく損ねる。JIS規格の標準的な釘として鉄製のN釘が用いられる。ただし、N釘や溶融亜鉛めっきを施すNZ釘は、木酸で腐食するため長期利用の視点からは不適である。ステンレス釘は耐食性が高いが、コストも高くなるため、今でもN釘が主流である。そのため、製造現場では溶融亜鉛やクロメート処理などを施し、コストを抑えつつ、耐食性の改善をはかっている。

3.2 木材の鉄汚染発生メカニズム

既往の研究¹⁾では、鉄汚染は木材中のリグニンやタンニンのフェノール成分が水H₂Oと鉄イオンFe³⁺の化合物形成によって発生するとされる。汚染発生の際、紫色のジベンゾカテキン鉄酸[FeH₂O(C₆H₄O₂)₂]Hなど¹⁾に相当する塩が生成され、これにより木材は暗青色に変色する。

3.3 木材による鉄の腐食促進メカニズム

木材は水と接触することによって、酢酸CH₃COOHなどの有機酸を放出する。この有機酸が釘の防錆被膜を破壊する。例えば溶融亜鉛めっきZn(OH)₂の場合は以下のような反応が起こる。



保護皮膜の破壊後、鉄は水H₂Oと酸素O₂により腐食する。また、鉄は低いpHの環境下で腐食が促進されるため、木材によって腐食は促進されるといえる。

4. 木材抽出成分と鉄汚染並びに腐食の関係性

4.1 心材と辺材の鉄汚染進行試験(実験1)

4.1.1 実験計画

使用材料を表1に、要因と水準を表2に、実験方法を表3に示す。木材を含水させ、釘との接触時に発生する鉄汚染を確認し、質量変化率から含水率を調べ、pH変化率と含水率の関係とそれが汚染に及ぼす影響を調べる。

4.1.2 実験結果

写真2に鉄汚染を確認した1日目からの鉄汚染の進行のようすを示す。鉄汚染は1日目から発生し、腐食よりも早い段階で生じていた。無処理釘の他に、溶融亜鉛めっき、ユニクロめっきのいずれも鉄汚染が生じた。

図2に実験結果を示す。心材は含水率が高くなり、心材のpHは低く表示された。逆に、含水率の低かった辺材はpHが心材よりも高く表示された。以上の結果から、含水率とpHの関係性が示唆された。

4.2 木材抽出成分のpH調査(実験2)

4.2.1 実験計画

図3に試験体の概要図を示す。木材水比の異なる大中小の3タイプの容器を用意し、木材の含水によるpHの変化挙動を調べる。また、心材、辺材を利用することにより、心材と辺材とでpHが変化するかを調査する。pHの変化量の推移から木材吸水時の科学的挙動を考察する。

表1 使用材料(研究2,3)

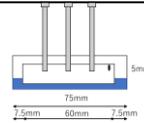
	木材		釘	
	樹種	寸法 (縦×横×長さ mm)	防錆処理	長さ (mm)
実験1	スギ	30×60×13	無処理 溶融亜鉛めっき ユニクロめっき	45
実験2	スギ	15×15×15	使用しない	
実験3 実験4	スギ	90×90×90	無処理 溶融亜鉛めっき ユニクロめっき ステンレス釘	45

備考) ユニクロめっき: 溶融亜鉛メッキにクロム酸塩の保護膜をつけたもの

表2 実験要因と水準(研究2,3)

	要因	水準
実験1	使用木材	心材, 辺材
	防錆処理	無処理, 溶融亜鉛めっき, ユニクロめっき
	測定項目	質量変化, pH変化
	測定期間	30分, 1時間, 3時間, 1日, 1週, 2週, 3週
実験2	使用木材	心材, 辺材
	容器サイズ	大, 中, 小
	測定期間	30分, 1時間, 3時間, 6時間, 毎朝(21日)
実験3	打込み面	板目, 木口
	防錆処理	無処理, 溶融亜鉛めっき, ユニクロめっき, ステンレス釘
	打込み角度	45°(先端上向き), 0°, -45°(先端下向き)
	打込み深度	45mm(完全打込み), 2.5mm, 5mm
	測定項目	含水率, 流れ量(長さ基準), 画像解析, 明度変化
実験4	劣化防止措	石膏ボード半面, 石膏ボード全面, 塗料の塗布
	測定項目	含水率, 画像解析, 明度変化
	測定期間	0分, 15分, 30分, 1時間, 3時間, 6時間, 24時間, 毎朝(21日間)
	測定期間	0分, 15分, 30分, 1時間, 3時間, 6時間, 及び毎日(14日間)

表3 実験項目及び実験方法

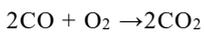
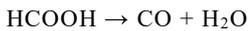
	項目	名称・方法
実験1	実験名略記	鉄汚染試験
	試験体略記	木材:心材(s), 辺材(h)釘:無処理(A), 溶融亜鉛めっき(B), ユニクロめっき(C) SA, SB...と表記
	試験体作成	150mm×150mm×13mmのスギ材(防錆処理なし)から試験体を抽出し、s, hに分類釘を5mm打ち、質量測定75mm×40mm×22mmの容器に3mm注水後、試験体投入 
	含水率(%)	試験体組立時の質量W ₀ と測定時の質量Wを用いて(W-W ₀)/Wで算出
実験2	pH	pHメーターを用いて測定 測定は1週から
	実験名略記	pH試験
	試験体略記	容器:大(L), 中(M), 小(S) 木材:心材(s), 辺材(h) Ls1, Ms1, Ss1...と表記
実験3	試験体作成	図3a)のL, M, S容器にそれぞれs, hの木材を容器に投入 浮上防止に重りを設置, 水を容器の縁まで入れ, 測定毎に水を追加, 蒸発防止にラップをする
	pH	pHメーターを用いて測定
	実験名略記	汚染量測定試験
	試験体略記	項目:板目(P), 木口(M), 釘角度(A), 釘深度(D) 釘:無処理(n), 溶融亜鉛めっき(c), ユニクロめっき(z), ステンレス(s) A, Dはnのみ使用のため省略, 角度および深度を記入 Pnc, Mn, A0, D45のように表記
	含水率(%)	含水率計を用いて測定(%)
実験4	流れ量(mm)	釘下部から錆の流れた下端までの長さを測定
	画像解析(mm ²)	流れ量測定時に写真を撮影 LIA for Win32を用いて画像を解析
	明度測定	L*a*b*表色系の色差計により測定 試行回数は3とし、平均値を数値とする
	実験名略記	汚染抑制試験
	試験体略記	項目:石膏ボード半面(Ah), 石膏ボード全面(Az) アクリル保護塗料(B)
含水率(%)	含水率計を用いて測定	
画像解析(mm ²)	流れ量測定時に写真を撮影 LIA for Win32を用いて画像を解析	
明度測定	L*a*b*表色系の色差計により測定 試行回数は3とし、平均値を数値とする	

4.2.2 実験結果

図4に実験結果を示す。図中青がS、黄がM、赤がL、濃色がs、淡色がhを示す。1日目までは全ての試験体のpHが減少し、4日目までで中性に近づいた。その後、大きな材ほど低いpHに定常化した。これは大きな試料に顕著で、小と中との間には差がほぼないものも見られた。また、心材と辺材の間に差は見られなかった。この結果より、含水できる量が大きいほど、水が木材の内部に浸透し、有機酸成分が多く溶出されるため、pHが低下した酸性状態が継続する可能性があることがわかった。

4.2.3 木材成分による有機酸放出の考察

木材を構成するリグニンなどが水によって溶出し、酢酸やギ酸などが生成される⁴⁾。ギ酸の生成後は一酸化炭素、水が生成され、一酸化炭素も酸素により中和される。



溶出した酸はこうして中和されるが、木材が酸性成分を水分と共に取り込むため、一部の酸は木材中に残存する。これにより、含水量が同一の際は酸の強さは木材の大きさによって決定される。また、水が下部のみの実験1で多く含水した心材はpHの低下が顕著であり、両者が水を多く含んだ実験2ではpHの差異が見られなかったことから、心材と辺材共に水を多く含むと木材成分がより溶出され、その成分を原因とした有機酸によって釘の腐食や木材表層部の汚染につながる事が考察される。

ただし、リグニンは高分子原子でありOH-は他の成分と比べ少なく、木材が含水のみで強い酸を示す可能性は低い。しかしながら、劣化を促進させる程度には酸性を示し、かつ酸性を一定の間保持することがわかった。

5. 木材と釘の接触時の流れの変化 (実験3)

5.1 流れ変化試験の概要

図5に概要図を示す。木材と釘を組み合わせた材が周囲の浸水により含水する状況を仮定した試験体を作成し、試験体の表面が要因・水準の違いからどう汚染するかを検討する。錆汁の流出長さを確認するため、試験体下部には白板を取付け、長さ測定の際は板の下端を最下点とする。画像解析の対象は測定範囲内における錆汁・鉄汚染・及び含水による暗色への変化が著しいものの3種とする。また、明度の測定は2週、4週及び6週に行う。

5.2 実験結果

図6に実験結果を示す。含水率は10~20%の範囲で微増した。釘角度の試験体は9日目に錆汁が板の下端まで流れ、以降は測定可能な最大値となった。このように、錆汁は鉄汚染より長い範囲に影響を及ぼし、挙動も鉄汚染とは異なるため、表面劣化の影響度を検討する上では劣化長さより劣化範囲を検討すべきだといえる。画像解析結果をc),d)に示す。木口は水の行き来が板目に比べて多く、含水による変色や錆汁など鉄汚染以外の汚染も見

られた。そのため、木口は板目と比べ汚染範囲が大きくなった。板目の場合、汚染が見られないものもあり、それは屋外の日向に置かれた試験体に多かった。

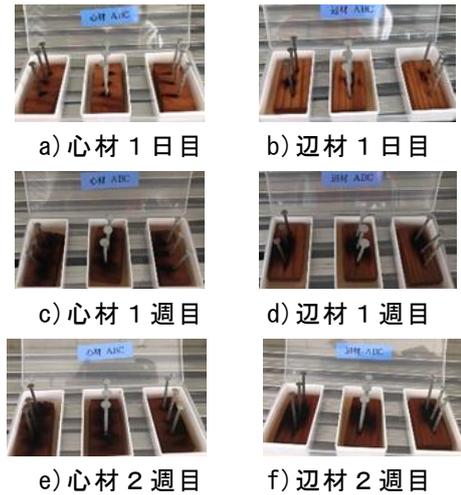
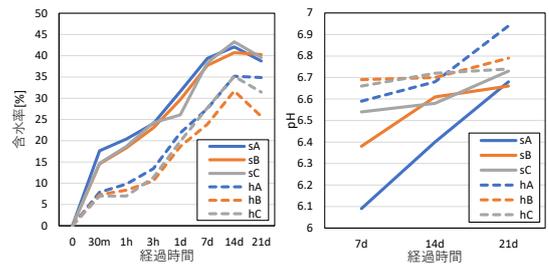


写真2 試験体の鉄汚染進行のようす



a) 含水率と経過時間 b) pHと経過時間

図2 含水率とpHの関係性 (実験1)

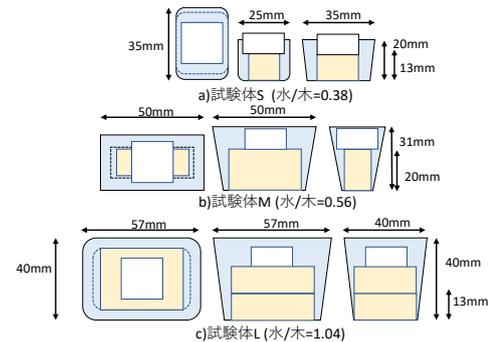


図3 含水容積を変えた(LMS)pH調査試料(実験2)

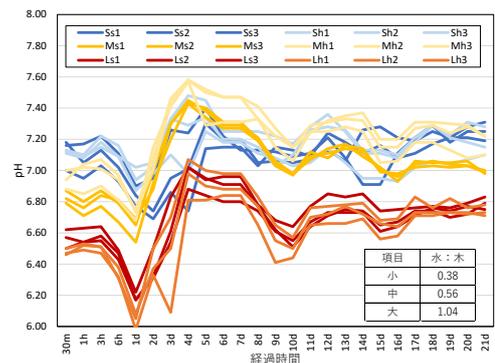
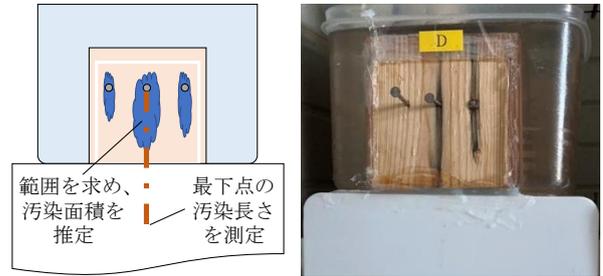


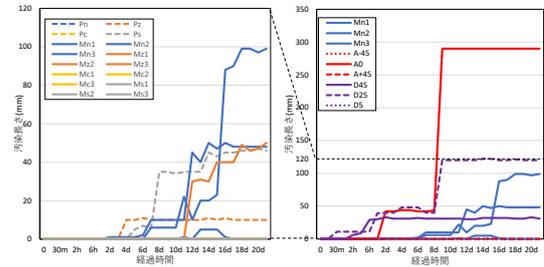
図4 含水の差によるpH調査結果 (実験2)

5.3 釘打込み時の表層部汚染の考察

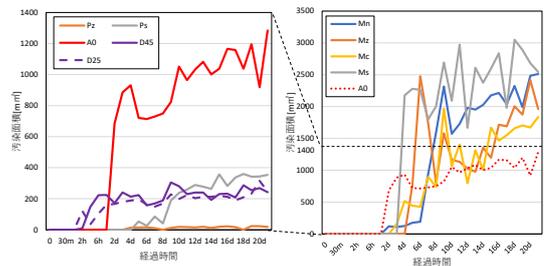
木口は水の移動が多く、鉄汚染以外の汚染も多く見られた。板目は、日向側に静置した釘は鉄汚染が少なかった。板目で汚染が著しいのは日陰静置の角度(A)と深度(D)であった。Aは、角度なしのA0が上向きのA45や下向きのA-45より汚染した。板目試験体は下木口面から吸水する関係上、A45は最下が内部より酸素と接触する表面となり、鉄の腐食が汚染原因の溶出より優先され、汚染が起きにくい。A-45は汚染が内部で反応し、表面化しにくい。これらの反応差から、A0が最も汚染しやすいと考えられる。Dでは、浅い打ち込みのD5は通常のD45よりも木材との接触が少なく、汚染も少なかった。以上から、打ち込み面の水移動と接触が表層部汚染の原因になることが示唆された。



a) 試験体概要図 b) D・21日目
図5 流れ量変化試験の概要(実験3)



a) 打ち込み方向の汚染長さ b) D, A との汚染長さ比較



c) 板目の汚染量増加 d) 木口の汚染量増加
図6 流れ量変化試験の結果(実験3)

6. 接合金物の表層部汚染への対策(実験4)

6.1 試験概要

接合金物の表層部への外観影響を対策するため、それぞれ石膏ボードの調湿性と、アクリル保護塗料の止水性を付与した試験体を作成し、含水率と汚染量を比較した。

6.2 試験結果

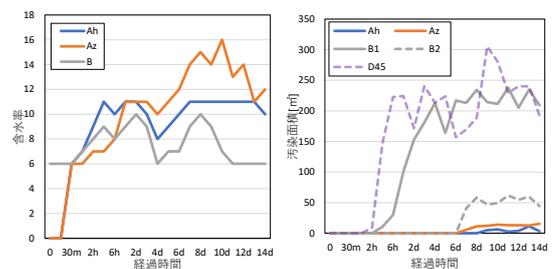
図7に試験結果を示す。アクリル保護塗料(B)を用いた場合、含水率は石膏ボード(Ah, Az)によるものに比べて低く観測された。しかし、B1の汚染は無対策時であるD45と同程度の汚染が確認された。これは、アクリル保護塗料の止水性により、含水量が少なくなったものの、その分水分が移動する経路が釘の打ち込み部分に限定され、木材が放出する成分の影響を受けやすくなったためと考えられる。石膏ボードを用いた試験体では、無対策時と同等の含水率が観測されたが、汚染の発生開始時期が遅くなり、汚染範囲も少なかった。これは石膏ボードが木材からの溶出水分を吸収したことによって、釘打ち込み部分の水分及び酸が減少し、汚染が抑制されたのだと考えられる。

7. まとめ

- 1) 含水により心材及び辺材は同様に汚染される。
- 2) 有機酸の量は木材含水量や、含水する木材量に影響する。
- 3) 放出される有機酸は徐々に中和されるが、一部の有機酸は木材内部に取り込まれる。
- 4) 防錆被膜と木表層部の汚染には相関は見られなかった。
- 5) 表層部汚染は釘の打ち込み角度や深度にも影響する。
- 6) 表層部汚染は付近の水移動の影響が示唆された。
- 7) 石膏ボードなど、木材付近の湿度を抑えることで金物の表面劣化や木材表層部の汚染を抑制できる可能性がある。

謝辞

本研究を進めるに当たり、KN 村田産業株式会社の皆様には建材用金物の製造現場の見学の機会を頂くと共に、有益な資料を提供頂きました。ここに感謝の意を表します。



a) 経過時間と含水率変化 b) 汚染範囲の比較
図7 汚染対策試験の結果(実験4)

参考文献

- 1) 武南勝美：木材の化学汚染について,材料/日本材料学会[編], 1967.10 pp784-789
- 2) 中野隆太,他：鉄汚染時の釘接合部に関する研究,日本建築学会学術梗概論文集,2019.10 pp519-524
- 3) 松浦力：木材の鉄汚染防止,広島東部工業研究技術センター研究発表,2003.8 pp66-69
- 4) 五十嵐剛,他：住環境における酢酸及びギ酸の発生源に関する調査,東京都健康安全研究センター研究年報,2019.3 pp221-230