

I - 4 ナノ硬度計を使った亜鉛めっきが鋼の力学的特性に与える影響の検討

日本電炉（株） 正 員 ○今野 貴史
岩手大学工学部 正 員 宮本 裕
岩手県工業技術センター 桑嶋 孝幸

1. まえがき

鋼構造物の防錆対策として溶融亜鉛めっきがある。溶融亜鉛めっきは耐食性に優れ、メンテナンスフリーという特徴があり、衝撃や摩擦などで剥離することも少なく、亜鉛めっきした後も塗装が可能など様々な利点があることから建築・土木の様々な分野で採用されている。

鋼材に溶融亜鉛めっきを施した場合、通常の鋼材の力学的特性に影響を与えることはないが、TMCP 鋼等の一部の高張力鋼では座屈耐力が向上することが一般的によく知られている。このような鋼材の溶融亜鉛めっき後の座屈耐力向上については既往の研究も多く、鈴木等¹⁾ はめっきをする際の加熱により降伏応力度が上昇することを定性的に確認している。また、ヨーロッパ鋼構造協会連合が想定している座屈強度曲線²⁾ によれば、鋼管を熱間成形した場合、冷間成形に比べ座屈耐力が上昇することを示している。三上等³⁾ は実鉄塔の鋼管部材については、溶融亜鉛めっきによって座屈耐力が 10%程度向上することを確認している。溶融亜鉛めっきを施した高張力の TMCP 鋼の座屈耐力が向上する理由はこれまでに明らかとなっていないが、熱処理と硬さの変化に影響を受けていると考えられる。鋼材は溶融亜鉛の中に入ると、鉄-亜鉛の合金層を作りながらめっき層を形成していく。本研究は、溶融亜鉛めっきした高張力鋼の力学的特性に影響を与える要因として鉄-亜鉛合金層の硬さに着目した。熱処理の影響を受けずに合金層の硬さのみを測定するため、通常鋼材 (SS400) を素材として超微小硬さ試験機（以下、ナノ硬度計という）を用いて測定を行い、考察を加えたので報告する。

2. ナノ硬度計硬さ試験

合金層の強度を調査するため、溶融亜鉛めっき時の鉄-亜鉛合金層の硬さ試験を実施した。今回の試験装置は写真-1 に示す岩手県工業技術センター所有のナノ硬度計（株式会社エリオックス社製・ENT-1100）を使用した。この試験機はめっき層のような薄膜や微小領域の硬さが測定可能である。また、設定荷重が $9.8 \times 10^{-6} \text{N} \sim 0.98 \text{N}$ であり、ビッカース硬さ試験機の荷重 (9.8N $\sim$ 98N) に比べて非常に小さく、100 μm 程度のめっき層に対しても荷重が強すぎることなく、鉄-亜鉛合金層のみの硬さを測定できる。なお、このナノ硬度計はビッカース硬さ試験機と異なり、硬さを圧子の押し込み深さで判定する装置である。

試験体は写真-2 に示す通常の溶融亜鉛めっき材 (SS400/板厚 6mm)、鉄-亜鉛合金層が異常発達したヤケ材 (SS400/板厚 6mm)、鋳物めっき材 (FCD450/板厚 6mm) の 3 種類を使用した。めっき層（合金層）断面および鋼材の硬さを測定するため、試料は断面が見えるようにめっき材を切断し、樹脂に埋め込み、研磨を行い、計測面を滑らかにした状態で測定を行う。試験荷重を 10mN としてめっき層断面および鋼材部で負荷一除荷試験を行い、数値を計測した。

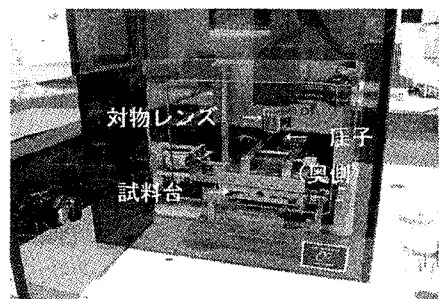


写真-1 超微小硬さ試験機（ナノ硬度計）

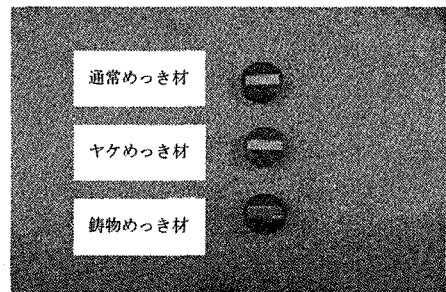


写真-2 試験体
（樹脂の内部に埋め込まれている）

3. 試験結果と考察

図-1 はめっき層断面の各測定位置の硬さと鋼材中心部の硬さを示している。縦軸はマルテンズ硬さ、横軸は鋼材とめっき層の境界からの距離である。図中の直線は各試験材料のめっき層の硬さ近似直線を示している。通常めっき材とヤケめっき材は同種の鋼材 (SS400) であり、図-1 から確認できるが、同じ硬さを持つと思われる。これに対して、鋳物めっき材の素材は SS400 鋼材よりも数値が大きく、硬いことが分かる。また、通常めっき材およびヤケめっき材は境界からめっき層表面側 (グラフ右側) に近づくにつれて硬さの数値が小さくなり、めっき層が徐々に軟らかくなっていることが分かる。一般的にめっき層は鉄-亜鉛合金で生成されている。しかし、めっき層表面に近づくほどめっき層内部の鉄分濃度が減っていくため、合金も軟らかくなるものと思われる。

また、図-1 よりヤケめっき材のめっき層の方が通常めっき材よりやや硬いという傾向が見られる。これは写真-3 と写真-4 に示す通常めっき材とヤケめっき材のめっき層断面組織が異なることから、各めっき層の鉄-亜鉛合金の組成も異なり、通常めっき材よりやや硬いヤケめっき材のめっき層には鉄分が多く含まれているためと考えられる。鋳物めっき材は他材料と比べて異なる傾向が見受けられた。硬さの減少傾向はあまり見られず、鋳物素材との近傍以外はほぼ同じ硬さを持つ合金組成をしているのではないかと考えられる。しかしながら、試験結果のばらつきとも考えられるため、今後の検討が必要である。

4. まとめ

ナノ硬度計によるめっき層断面・鋼材の測定結果から、熔融亜鉛めっきによって鋼材表面に生成するめっき層は、被めっき鋼材よりも軟らかく、その表面に近づくにつれて徐々に軟らかさを増すことが分かった。また、めっき層を形成する鉄-亜鉛合金は非常に相性が良く、剥離や亀裂を容易に生じない。したがって、めっきされた鋼材に軸圧縮・曲げ座屈耐力を加えた場合、鋼材より柔軟なめっき層がその力にある程度追従し、合金層の相性の良さも併せて鋼材自身の亀裂発生を遅らせるのではないかと考えられる。これにより、座屈耐力等を含めた鋼材の力学的特性の向上に影響を与えると推測される。

参考文献

- 1) 鈴木敏郎、佐藤亘宏、深澤隆：熔融亜鉛めっき鋼管の圧縮変形状に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集第 420 号、pp51-61、1991
- 2) 日本建築学会：鋼構造座屈設計指針、pp28-29、1996
- 3) 三上康朗、本郷栄次郎、中村秀治、藤井真人：送電用鉄塔に用いる鋼管の軸圧縮・曲げ座屈耐力に及ぼす熔融亜鉛めっきの影響について、構造工学論文集 Vol. 50A、pp73-81、2004

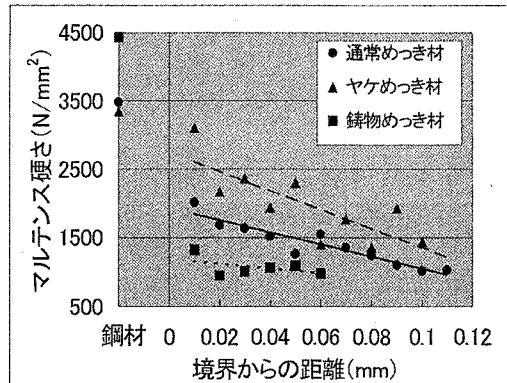


図-1 めっき層断面の硬さ測定結果

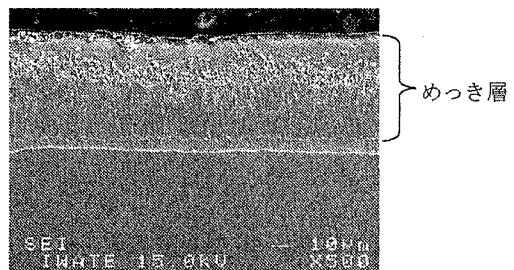


写真-3 通常めっき材の断面組織

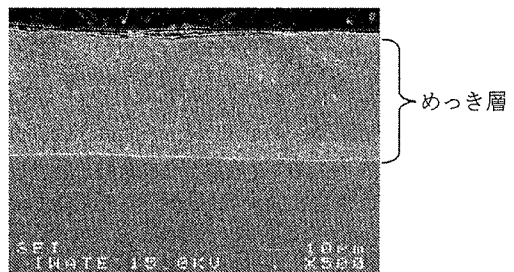


写真-4 ヤケめっき材の断面組織