

ナノ硬度計を用いた溶融亜鉛めっき鋼材の力学的特性に関する一考察

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
岩手大学工学部	正 員	岩崎 正二
岩手大学工学部	正 員	出戸 秀明

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、亜鉛めっきした後で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。

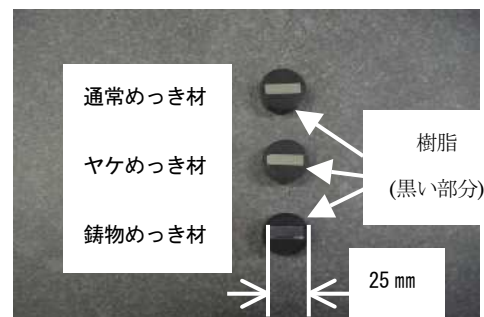
鋼材に溶融亜鉛めっきを施した場合、通常の鋼材の力学的特性に影響を与えることはないが、TMCP 鋼等の一部の高張力鋼では座屈耐力が向上することが一般的によく知られている。鋼材の溶融亜鉛めっき後の座屈耐力向上については既往の研究も多く、鈴木等¹⁾ はめっきをする際の加熱により降伏応力度が上昇することを定性的に確認しており、ヨーロッパ鋼構造協会連合が想定している座屈強度曲線²⁾ によれば、鋼管を熱間成形した場合、冷間成形に比べ座屈耐力が上昇することを示している。三上等³⁾ は実鉄塔の鋼管部材については、溶融亜鉛めっきによって座屈耐力が 10% 程度向上することを確認している。溶融亜鉛めっきを施した高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-亜鉛合金層（以下、合金層という）を形成する。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合金層の硬さに着目した。今回は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

合金層の硬さを調査するため、ナノ硬度計を用いて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（株式会社エリオニクス社製・ENT-1100）を使用した。この試験機は合金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～98N）に比べて非常に小さく、100 μm 程度の膜厚の合金層に対しても荷重が強すぎることなく、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）、合金層が異常発達したヤケめっき材（SS400/板厚 6mm）、材質による比較用の鋳物めっき材（FCD450/板厚 6mm）の 3 種類を使用した。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試験を行う。試験荷重を 10mN として合金層断面および素材に対して負荷-除荷試験を行った。



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)

キーワード 溶融亜鉛めっき、ナノ硬度計、座屈耐力、マルテンズ硬さ

連絡先 岩手県花巻市北湯口第18地割26-17 東北ガルバセンター TEL 0198-27-5501 FAX 0198-27-5502

3. 試験結果と考察

図-1 は合金層断面の各測定位置と鋼材中心部のマルテンズ硬さを示している。縦軸はマルテンズ硬さ、横軸は鋼材と合金層の境界からの距離である。図中の直線は各試験材料の合金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（FCD450）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亜鉛めっき表面側（グラフ右側）に近づくにつれて硬さの数値が小さくなり、合金層が徐々に軟らかくなっていることが分かる。一般的に合金層は鉄-亜鉛合金で形成されている。鋼材側から亜鉛めっき表面に近づくほど合金層内部の鉄分濃度は減少していく。したがって、鉄-亜鉛合金も鉄分の減少に伴って軟らかくなるものと思われる。これは、写真-3 に示す圧痕跡の大きさからも分かる。

また、図-1 よりヤケめっき材の合金層の方が通常めっき材のそれよりもやや硬いという傾向が見受けられる。これは写真-4 に示すように通常めっき材とヤケめっき材の合金層の断面組織は異なるため、鉄-亜鉛合金の組成も異なる。ヤケめっき材の合金層には鉄分が多く含まれているため、通常めっき材に比べて硬くなる傾向があると考えられる。これらに対し、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。境界からの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

ナノ硬度計による合金層断面・鋼材の硬さ測定結果から、溶融亜鉛めっきによって鋼材表面に生成する合金層は、被めっき鋼材よりも軟らかく、亜鉛めっき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、合金層を形成する鉄-亜鉛合金は非常に相性が良いために剥離や亀裂を容易に生じない。したがって、溶融亜鉛めっき処理した高張力鋼に軸圧縮・曲げ座屈耐力を加えた場合、鋼材より柔軟な合金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ことが座屈耐力含めた力学的特性の向上に及ぼす影響の一因ではないかと推測される。今後、高張力鋼を用いた硬さ試験を行う予定である。

参考文献

- 1) 鈴木敏郎、佐藤亘宏、深澤隆：溶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溶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

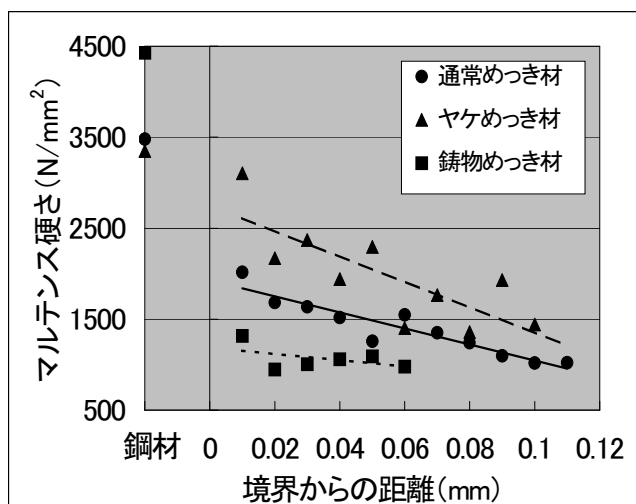


図-1 合金層断面の硬さ測定結果



写真-3 硬さ試験後の合金層の圧痕跡

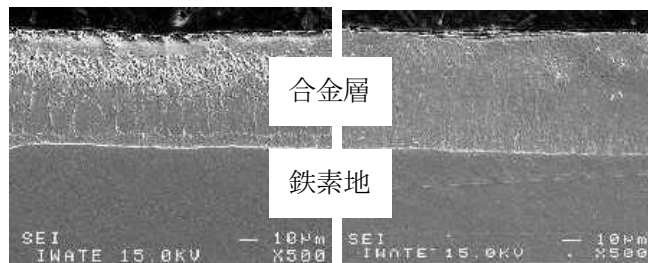


写真-4 合金層の断面組織

(左：通常めっき材、右：ヤケめっき材)