



入門講座

鉄を知る-1

実用鉄鋼材料—その種類と用途

和田 要
Kaname Wada

新居浜工業高等専門学校
機械工学科 教授

Commercial Steels—Types and Applications

1 はじめに

図1は、巨大橋の一つ横浜ベイブリッジである。ここで使われている材料が、鉄鋼材料であることは周知のことである。しかし、鉄鋼材料とはいってもステンレスではないこともまた周知のことといっていいただろう。ステンレスでないとして、この鉄鋼材料は例えば車のボンネットの材料や、あるいは工作用ドリルと同じ類のものだろうか。答はノーで、互いに異なる鋼材、異なる鋼種として認識されている。実用の鉄鋼材料には性質・性能の異なる膨大な数の鋼種があり、明確に区別して使用されているのである。性質を決める主な要因は、成分(合金元素の種類と含有量)と組織(断面でみられるミクロ的模様)であり、中でも一貫して重要な成分は炭焼きの炭と同じ炭素(カーボン)である。合金元素として、おもに炭素のみに依存しているものを「炭素鋼」といい、炭素含有率の高低により、「高炭素鋼」、

「低炭素鋼」とよんでいる。炭素以外に他の特殊な合金元素を含んでいるものは「合金鋼」とよばれる。

なお鉄鋼の種類と用途に関しては、「経済性の原理」とでも呼ぶべきものがある。すなわち、特定の用途に対しては、その用途に必要な性能をみだす鋼種の中で最も安価なものを使用するということである。普通、特定の性質・性能が高くなると価格は上がってくる。橋の支柱や桁にステンレスを使っても、支柱や桁の性能は十分満たされるが、耐食性という性質を極度に高められたステンレスでは費用がバカ高くなる。それゆえ橋の支柱や桁を造る用途にはステンレスという鋼種は出てこないのである。この点をはじめに知っておくべきである。

2 構造物に使われる鋼材

図1にみられた橋は、縦、横、斜め方向に幾種類もの部材が溶接やボルトによって繋がれ、組み上げられた構築物である。いくつもの部材を組み立てて一つのものに作り上げたものを一般に「構造物」とよんでいる。この見方でいくと、ビルの鉄骨、船舶、鉄道車両、組み立てられた機械なども広く構造物とよべるものである。

構造物に使われる鋼材は、鉄鋼のもつ最大の特徴である大きな強さを生かして使用されるものであって、そのなかには強さをそのまま利用して、建築、橋といった「一般の構造物」に使われるものと、強さとともに粘きを与えられて、おもに「機械の構造物の部品」に使われるものがあり、さらには特定の役に立つ性質を意図的に与えられて「特殊な用途」に使われるものがある。

2.1 一般の構造用鋼材

ビルの骨組みなどとなる構造物には、とりあえずある程度の強度が保証されていけばよいとして、[一般構造用圧延



図1 巨大橋梁の一つ：横浜ベイブリッジ

鋼材(SS)]が使われる。ここで[]を使用したのは、これが日本工業規格(JIS)にある名称であることを示している(以下同じ)。また()はJISで用いられている鋼種の記号である。JISでの名称はとかく長くてゴツゴツしたものばかりである。したがって鋼種記号、この場合だとSSをとってSS材とよぶことが多い。このSS材は引張り強さでさらに4種類に区分されている。JISなどの規格では、一般に各鋼種について成分値が規定されている。ところでSS材の場合、成分としては有害元素である燐と硫黄を制限しているに過ぎない。したがって強度は炭素を適当に高くしておくことで確保できる。製品の形状にはいろいろあるが、鉄骨建築物には断面の形状がHの形をした「H形鋼」が大量に使われている。

SS材の溶接性を改善した鋼材に[溶接構造用圧延鋼材(SM)]がある。一般に溶接した場合、溶接部の近傍では焼入れされた状態に近くなり、硬化して溶接割れをおこやすくなる。そこで焼入れ硬化が大きくなりすぎないように、炭素を0.20%以下に規制して、さらに強度確保のためにマンガン含有率を高くしている。

ビルの高層化にみられるように、構造物は大型化しているが、それに伴って構造物自体の軽量化傾向が強くなっている。そこで強度がより高く溶接性の優れた鋼材、というニーズにこたえたのが「高張力鋼(ハイテン)」である。この鋼材では炭素はやはり0.2%以下であるが、強度確保のために、成分としてはシリコン、マンガンのほかに少量のニッケル、クローム、バナジウム、モリブデン、ニオブなどが添加されている。さらに、強度とともに粘さ、すなわち靱性を確保するため、多くは焼入れ焼もどしの調質が行われる。調質されたハイテンは、大型石油タンク、ガスタンク、压力容器、海洋構造物、橋梁、建築、土木建築機械などに使われている。

このほか、何種類かの合金元素を添加して、腐食の進行を抑えたタイプの鋼種がある。すなわちアメリカで開発された「Cor-Ten鋼」をはじめとする「耐候性鋼」とよばれているものである。

2.2 機械の構造用鋼材

自動車のボンネットを開けてみても中には数多くの部品が使われている。一般に機械の構造部品に多用されているものとしてまず第一にあげられるのが、[機械構造用炭素鋼鋼材(SC)]である。SC材では炭素含有率が0.07%から0.61%の間をこまかく区分されて、23種類もの鋼種が規定されている。具体的な記号は、S35CやS38Cなどの形で使用されるが、数字の35等は炭素の代表値(この場合は0.35%)を示している。炭素量が狭い範囲内におさまっていること

が保証され、性質のばらつきなどの少ないものが選定できることになる。この鋼種からは、各種機械に使われるワッシャー、ギヤー、チェーンなどが造られ、車では、クランクシャフト、カムシャフト、タイミングチェーン、ピストンロッドそのほか多数の部品に使われる。

SC材よりも強度と靱性の高い鋼材が望まれる時には、合金鋼が使われる。すなわち、炭素を0.25-0.50%とし、そのほかにクローム、ニッケル、モリブデンなどを添加して焼入れ性を高め、焼入れ焼もどしにより組織を制御し、強さとともに靱性をも高めたものとして使用されるので、「強靱鋼」ともよばれる。この種の鋼種としては、クロームを約1%として焼入れ性を高めた[クロム鋼鋼材(SCr)]、さらにこれにニッケルを1-3.5%添加した[ニッケルクロム鋼鋼材(SNC)]がある。さらにこれらでみられる焼もどし脆性をおさえるために、それぞれに若干のモリブデンを加えた[クロムモリブデン鋼鋼材(SCM)]、[ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材(SNCM)]がある。強靱鋼では焼入れ性は特に重視される特性値であるが、そのばらつきの範囲を保証した鋼種があり、「H鋼」とよばれている。これらの鋼材は、それぞれがさらに数種類の鋼種に分かれているが、H鋼にはSCr435HやSCM420Hなどのように鋼種記号の最後にHが付けられ、区別されている。強靱鋼は軸、歯車、ボルト、ナットその他の強靱性を要する機械部品に使われる。

機械構造用鋼材には合金鋼をも含めて、そのなかに炭素が0.25%以下と低く抑えられている鋼種が数種類ずつある。これらは後で表層のみ炭素を高くして表層の硬度を高めて使うためである。これらは「肌焼鋼」とよばれている。SC材の場合であればS20CKなどのように最後にKが付いたものである。表層に炭素を高めるには、浸炭剤とともに加熱する方法がとられる。肌焼鋼は表面の損傷や磨耗が問題となる歯車、軸類に使われる。

2.3 特殊な用途の鋼材

(1) 切削加工がしやすい鋼材

工作機械で部品を作るときには、鋼材の最大の特徴である強度を多少犠牲にしても、切削加工性のいい鋼材を使いたくなる場合がある。この目的のために開発されたのが「快削鋼」である。これは、所定の成分に硫黄、鉛、カルシウム、セレン、テルルまたはビスマスといった元素を少量添加したものである。JISの[硫黄及び硫黄複合快削鋼鋼材(SUM)]では、硫黄の範囲は0.08-0.35%となっている。鋼のなかで硫黄はマンガンの硫化物になっているが、それが切り屑を寸断するのに有効なのである。快削鋼は、強さや靱性をあまり必要としないところで、時計、楽器、自動車の小物部品、電気通信機器、計測器、事務機械、

ミシン、など多岐にわたって使用されている。

(2) 鋼材を加工する鋼材

鋼材を切ったり、曲げたりするときに使われる鋼材は工具鋼である。最も必要な特性は硬いことである。そのための最も簡単な手法は炭素含有率を高めることである。そこでまず「炭素工具鋼鋼材(SK)」が登場する。炭素をおよそ共析組成(0.8%)以上の高い値としたものである。これは組やすり、刻印、ねじ切りダイス、かみそりなどに使われている。炭素工具鋼よりも焼入れ性を高くし、さらに耐磨耗性を高め、焼もどし抵抗をもたせたのが、「合金工具鋼鋼材(SKS、SKD、SKT)」である。これより、各種切削工具をはじめ、耐衝撃工具、冷間金型、熱間金型などが造られる。

加工の中でも切削となると、さらに耐磨耗性、焼もどし抵抗をあげるためにタングステンが添加され(0.5~4.0%)、これよりドリル、バイト、丸のこ、帯のこなどが造られる。切削用の特殊なものとして、高速での切削に耐えうるよう設計された鋼材がある。「高速度工具鋼鋼材(SKH)」がそれである。代表的成分系は炭素が0.8%程度で、タングステン、クロム、バナジウムがそれぞれ18,4,1%添加されている18-4-1型である。

このほかにも、車や鉄道車両などで「ばね」として使われる(3)「ばね鋼鋼材(SUP)」、ころがり軸受けの軌道輪、転動体に使われる(4)「高炭素クロム軸受鋼鋼材(SUJ)」(炭素約1%、クロム0.9~1.6%)や、鉄道線路で使用される(5)「レール」など、それぞれに個性豊かな鋼材がある。

《ブレイク》 SS、SKなどJISの鋼種記号について

最初のSは共通してSteel(鋼)を意味している。SSの2番目のSはStructure(構造)、SMのMはMarine(海洋)であって、溶接性が船体で問題となったなごりをとどめている。SUJ、SUPなどのUはUse(用途)で特殊用途の意味をもたせており、これらはすべて英語からとられている。ところがSKでのKはKogu(工具)から、さらにはS20CKでのKになるとKokyu(高級)からとられているといった具合で、必ずしも統一されてはいない。

3 圧力容器に使われる鋼材

大きな圧力のかかる状態で使われる鉄鋼材料として、「圧力容器用鋼」がある。使用温度はマイナス250℃以下の超低温から800℃の高温域までである。

およそマイナス10℃から350℃を使用温度とする場合には、溶接性のよい炭素鋼が使われている。そのうち「高压ガス容器用鋼板および鋼帯(SG)」として規定されているものは、一般にLPガス、アセチレン、その他各種ガスの高压

ガスを充填する小型容器、すなわちガスシリンダーに使われる。

およそマイナス10℃以下の温度で使用される鋼材は、「低温用鋼」とよばれている。通常の炭素鋼では低温で靱性が急激に低下する遷移現象があり、これへの対応策が必要となる。鋼材の靱性を向上させるのに最も有効な合金元素はニッケル(Ni)である。ニッケル添加量は細かく区分されているが、多く用いられているのは、「3.5%Ni鋼」と「9%Ni鋼」である。オーステナイト系ステンレス鋼は、結晶構造が面心立方格子であるため、非常な低温(マイナス200℃以下)まで使用できる。これらの低温用鋼は各種冷凍乾燥装置、ガスの液化装置、液化ガスの容器・輸送装置、各種低温処理装置、超伝導装置などに使われる(図2)。

およそ400℃以上の温度で使用されるものは、「高温用鋼」である。この温度域では通常の引張り強さといった特性値のほかに、クリープ特性(時間とともにずると変形が進行する特性)を考慮しなければならない。まず使用条件があまり厳しくないところには炭素鋼を使うことができる。ただし炭素鋼以上のクリープ強さを必要とするものには、他の合金元素の助けを借りなければならない。合金元素の中でもモリブデン(Mo)はクリープ強さにたいして極めて有効である。JISには「ボイラーおよび圧力容器用マンガモリブデン鋼およびマンガモリブデンニッケル鋼鋼板(SBV)」がある。これはモリブデンを0.5%程度添加したもの、またはさらにニッケルを0.4~1.0%添加したものであって、ボイラーに広範に使われている。

クリープ強さをさらに高めたものとして「ボイラおよび圧力容器用クロモモリブデン鋼鋼板(SCMV)」があり、その中でSCMV4(クロム約2.3%、モリブデン約1%)は高温用フェライト系鋼の中では最もよいクリープ特性を示すと

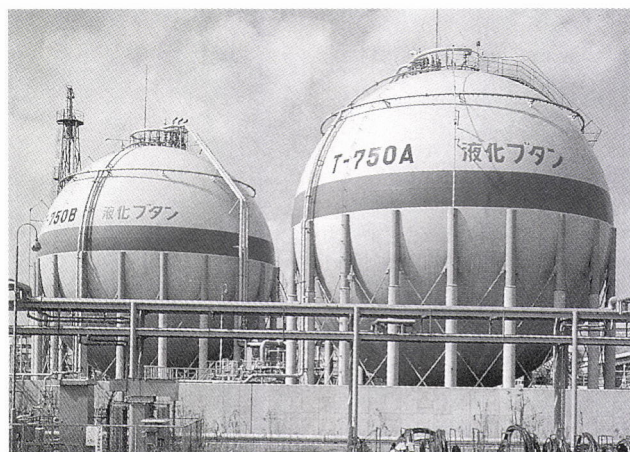


図2 球形タンク

ともに、クロムがあるため耐酸化性もすぐれている。使用温度がもっとも高くなって700℃前後になると、後述する18-8ステンレス鋼がもっぱら使われる。

4 薄い板状の製品

薄い板状の製品にはまず第一に鉄鋼のブロックを加熱して圧延したままの熱延鋼板がある。第二にはこの熱延鋼板をさらに室温で圧延した冷延鋼板がある。

4.1 熱延鋼板(板厚はおおよそ1.0~25mm)

用途として、鋼管や冷延鋼板の素材として使われるほか、そのまま構造部材や機械部品、容器製作などに向けられる。ほとんどがコイル(トイレットペーパーのようにぐるぐる巻き付けた形状)で出荷される。

加工用軟鋼板としては、[熱間圧延軟鋼板および鋼帯(SPH)]があり、炭素、マンガンを低めにして伸び値を上げるとともに、加工時のクラックの発生につながる硫化マンガンの生成を抑えたものである。ここで現れた“鋼帯”という聞きなれない言葉は、上に述べたコイルのことである。このような熱延鋼板は冷延製品ほど表面品質あるいは加工性への要求が厳しくないもの、あるいは冷間圧延では造りにくい厚みのものに適用され、自動車でいえばホイールリム、ホイールディスク、ドアヒンジ、ブレーキ、クラッチカバーなど、電気機器でいえばモータ台座、コンプレッサカバーなどに使われる(図3)。

なお自動車のフレーム用に使われるのが[自動車構造用熱間圧延鋼板および鋼帯(SAPH)]である。最近では、フェライト相に硬質のマルテンサイト相をもつ2相組織高張力鋼の出現により、従来の鋼種では困難であった複雑な加工にも耐えることができるようになった。

4.2 冷延鋼板(板の厚みはおおよそ0.15~3.20mmの間)

冷延鋼板は熱延鋼板を酸洗して表面のスケールを取り除いたあと室温で圧延し、そのあと焼きなまして造られる。めっき、ぶりきの原板になるのも、この冷延鋼板である。

JIS規格には[冷間圧延鋼板および鋼帯(SPC)]があり、主な用途としては冷蔵庫のドア、鋼製家具、電気器具、洗濯機脱水槽、車のドアインナー、サイドメンバー、ホイールキャップ、ガソリントank、オイルパンなどがある。いずれもプレスなどの加工を施されるので、成分的には合金元素の少ない極軟鋼であり、材料特性としては降伏点とランクフォード値(深絞り性の指標)が重要となる。特に固溶炭素を極端に低く(0.002%以下)すると深絞り性が向上する。そこで近年、少量のチタンやニオブを添加して固溶炭

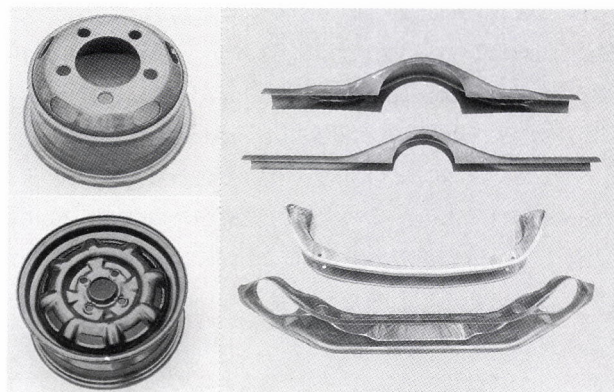


図3 熱延鋼板からのいろいろな製品

素と結合させ、固溶炭素を徹底的に低くする手法が用いられている。これらは「チタンサルク」、「ニオブサルク」とよばれて出荷されている。

これらのほかに、近年はたとえば自動車であってもその軽量化のため強度の高い「高張力冷延鋼板」や、「焼付け硬化鋼板」なども開発されている。

5 線材

線材は熱間で圧延機を通し、細い棒の形に圧延し、コイル状に巻かれて出荷される。直径はおおよそ5~38mmである。これが二次加工メーカーに渡り、さまざまな用途に向けた形状に仕上げられて販売される。

家庭でも目にすることのある釘、金網、針金などには、[軟鋼線材(SWRM)]が使われる。これは炭素が0.25%以下の低炭素鋼である。各種ワイヤロープや各種の線ばね、スプリングなどは、炭素が高い(0.24~0.86%) [硬鋼線材(SWRH)]から造られる。[ピアノ線材(SWRS)]は高い品質要求のばね、PC鋼線、楽器用ピアノ線、スチールタイヤコードなどに使われるもので、不純物元素を低く抑えた高炭素鋼である。現在工業的に生産されている鋼材の中で、最も高い強度をもつものである。特にスチールコードの場合には、パテンティングと伸線加工を繰り返して0.3mm程度の極細線にまで細くしたもので、これはタイヤやコンベアーベルトの補強材として使われている。

6 錆びない? 鋼材、ステンレス鋼

鉄鋼の弱点の一つは錆びることである。これに対し、当然錆びない組成の鉄鋼、すなわちステンレス鋼の探索が行われてきた。電磁気で有名なファラディも1820年代初期にクロム含有鉄の錆び発生について研究したことがある。しかし、クロムの添加量を増やしていき、12%以上のクロム

になると腐食量が急激に低下することが見出されたのは今世紀初頭(1912~1913年)のことであった。JISでは「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯(SUS)」があり、そのなかにSUS201からSUS631まで59種類もの鋼種が規定されている。ステンレスは12%以上のクロムを含むことをベースとしている鋼材である。このとき、表面が水和オキシ酸化物を主体とした薄い膜でおおわれ、これにより鉄鋼本体が保護されるのであって、あたかも錆びないかのようにみえるのである。

ステンレスは成分的に見ると、クロムのみを主要合金元素とするクロム系と、さらにニッケルをも主要合金元素として含有するクロム・ニッケル系の二つの系統に分けられる。

6.1 クロム系

クロム12~18%で、炭素を0.10%以下におさえた一連の鋼種は、フェライト系とよばれるものである。組織がフェライトであるためである。耐食性はクロムが増えるとともに向上し、代表的鋼種である18クロム(クロム約17%以上)は耐食性、成形加工性がすぐれている。それゆえ、家庭用電気、ガス器具部品、厨房用品、自動車外装部品などに使われている(図4)。

つぎにクロムを12~18%とし、炭素をやや高めにしたマルテンサイト系がある。炭素を高めにしたため、焼きが入るようになり、焼きを入れると組織がマルテンサイトとなって、高い強度と硬さが得られるのである。比較的弱い腐食環境下でよい耐食性を示す。代表的鋼種は13クロム鋼である。硬くて加工性はいいとはいえないが、高強度で、耐熱性を必要とするボルト、ナットからポンプ、シャフト、ノズル、弁棒、タービンブレードなどに使われる。



図4 厨房にあふれるステンレスの製品

6.2 クロム・ニッケル系

クロム系では、硫酸や塩酸のような非酸化性の酸に対しては耐食性が劣る。そこで非酸化性の酸に対しても耐えられるようなものとして見出されたのがクロム・ニッケル系である。クロムが12~26%、ニッケルが6~22%含まれるものとして実用化されている。代表的な鋼種で、日常的にもよく遭遇するのは18-8(クロム約18%、ニッケル約8%)である。「じゅうはち、はち」で通用していて、特に多用されているステンレス鋼といえる。ニッケルが加えられているため組織はオーステナイトであり、結晶構造は面心立方格子であって、非磁性である。ナイフ、フォークなどを買う時に、磁石につかないことで18-8だと判断できることがよく知られている。用途としては高級なナイフ、フォーク類から、LNGの貯蔵輸送、液体酸素、窒素の製造装置といった低温用機器まで広く利用されている。

クロムとニッケルの量を調整して、オーステナイトとフェライトの二相が共存するようにしたオーステナイト・フェライト系(二相ステンレス)では、また別の特徴がある。その特長は強い腐食環境下での耐食性である。それゆえ、海水冷却の覆水器用管、排煙脱硫などの公害機器、各種化学工業用装置、機器などに使われる。ただし使用される温度はおおむね400℃以下である。

以上のものとは一味ちがったステンレス鋼に、析出硬化型ステンレス鋼がある。これはアルミニウム、チタン、ニオブ、銅、モリブデンなどを添加し、ステンレス鋼の中で、析出物を作り、強度を最大限高めたものである。強度が大でありながら、成形性、溶接性、耐食性はマルテンサイト系よりもすぐれており、航空機、ロケット、耐食ばね、シャフト、ポンプ、バルブなどに使用されている。

7 電磁鋼

鉄鋼がその強さ以外の別の機能を生かして使用される一つの例が電磁鋼である。そもそも純鉄の磁氣的性質はそのままでも磁心材料として使える特性をもっている。しかし、交流で磁化した場合には渦電流が生じ、鉄損とよばれる損失をもたらす。損失低減のための膨大な研究の結果、シリコン添加の効果などが見出され、今日の電磁鋼につながった。

電磁鋼板は、「方向性電磁鋼板」と「無方向性電磁鋼板」に分けられる。ともに約3%、またはそれ以下のシリコンが添加されている。方向性電磁鋼板は、圧延方向に平行に特定の結晶軸が揃えられており、圧延方向に極めて磁化しやすい性質を持っている。無方向性電磁鋼板では結晶の向きはランダムであって、特定の方向を向いているわけでは

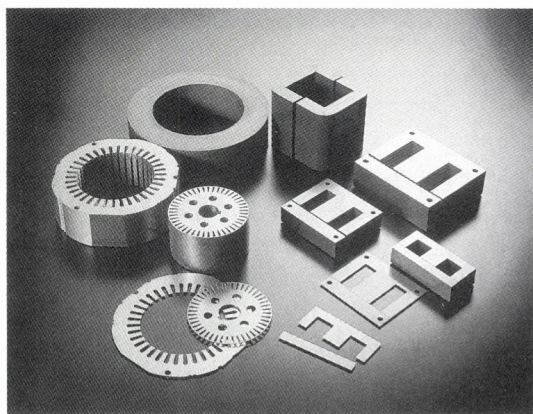


図5 電磁鋼の製品

ない。電磁鋼の製造技術は、わが国が特に進んでおり、その成果は世界に向けて輸出されている。用途としては、変圧器などの静止機器には方向性電磁鋼板が、また発電機、電動機など回転機には無方向性電磁鋼板が使われている(図5)。

8 おわりに

以上、実用鉄鋼材料の種類と用途について述べた。ただ、少ない紙数では、とうていすべてを網羅することはできず、主な鋼種、用途にしぼって述べざるをえなかった。とはいえ、鉄鋼材料が社会のいたるところで使われ、がっちりと現代社会を支えていることは理解していただけたと思う。興味をもたれた人は、さらに詳しい参考書等²⁾をひもといていただきたい。

付記：本稿での図はすべて新日本製鐵(株)のご厚意により、同社のパンフレットから引用させていただいた。

参考文献

- 1) 大和久重雄：JIS鉄鋼材料学入門，大河出版，(1979)
 - 2) 易しくは、和田 要：スチールの科学，裳華房，(1993) など。
- 詳しくは、田村今男ほか：鉄鋼材料学，朝倉書店，(1981)
宮川大海：機械技術者のための鉄鋼材料学，朝倉書店，(1982) など。

(1999年2月2日受付)