

# 材料技術における 最近の話題 (II)

## ——鉄鋼材料編——



第一研究部 材料研究課 平口 與志継

### 1. はじめに

前号で、材料技術の持つ2つの側面として、技術革新の核としての材料技術と、材料の運用利用技術としての材料技術があることを述べた<sup>1)</sup>。

今回は、最近の経済情勢に鑑みて、後者の立場から鉄鋼材料について話題を提供したい。

表1は、材料の強度を尺度として軸方向同一強度の価格を比較したものである。(材料の強度は通常「引張り強さ」で表わされ、引張り負荷を受けている材料が引き裂かれることなしに耐え得る最大応力のことで、単位断面積当りの力(kg/mm<sup>2</sup>)で示される。) この表から、他材料に比べ鉄鋼材料の強度コスト上の優位性が明らかである。セメントや材料も安価であるが、強度が低いため体積が大きくならざるを得ず、セメントの場合は重量もかなり増えることになる。ガラス繊維は最も安価ではあるが、そのままでは構造材料としては使えず、GFRPの形にする必要があり、その結果、高価な材料となってしまう。

もちろん、材料は、強さだけで使用されるものではなく、耐食性、耐熱性あるいは軽量性など、多様な機能を要求されて使われるものであるから、多面的な比較の必要が有ることは言うまでもない。いずれにしても、ユーザーとしては、安価な材料を有効利用するに越したことはない。図1に材料の製造エネルギーコストを示してあるが、これか

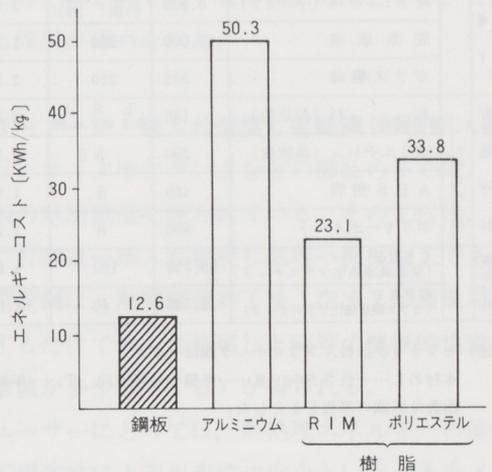


図1 材料別単位重量あたりエネルギーコスト比較

らも鋼材の経済性が理解される。以下に、鉄鋼材料について有効で経済的な利用技術について紹介したい。

### 2. 自動車業界の材料利用技術の動向

2つのオイルショックを契機に、省エネ・省資源が叫ばれ、各自動車メーカーはその対応を迫られた。具体的な対応策として取られたものは、エンジン燃焼効率の向上と車輛の軽量化である。軽量化の手段としては

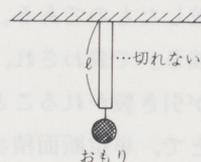
I) FF化による鋼材使用量の低減

II) 高張力鋼板も含めた高強度材の使用によるゲージダウン

表1 軸方向同一強度における経済性

|                  |                  | 重量当り<br>価<br>(円/kg)     | 強 度<br>(kg/mm) | 密 度<br>(kg/ℓ)         | 比強度<br>(10.6mm) | 比強度換算価格<br>(重量当り価格÷比強度)<br>(円/kg・10.6mm) | 軸 方 向 同 一 強 度      |                          |                           | 備 考<br>(価格基準)           |                              |
|------------------|------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|-----------------|--|--------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|
|                  |                  |                         |                |                       |                 |  | 価格指数               | 体積指数                     | 重量指数                      |                         |                              |
| 金<br>属           | 鉄                | 厚 板 (SS41)              | 91             | 41                    | 7.9             | 5.2                                      | 18                 | 1                        | 1                         | 1                       | 59.10末建値                     |
|                  |                  | 薄 板 (SPCC)              | 100            | 28                    | 7.9             | 3.5                                      | 28                 | 1.56                     | 1.46                      | 1.46                    |                              |
|                  | 薄 板 (HT45kg)     | 109                     | 45             | 7.9                   | 5.7             | 19                                       | 1.06               | 0.91                     | 0.91                      |                         |                              |
|                  | 鋼                | 棒 鋼 (19mm異形)            | 59             | 41                    | 7.9             | 5.2                                      | 12                 | 0.65                     | 1                         | 1                       | 59.10市況 (鉄鋼新聞)               |
| ステンレス (304)      |                  | 480                     | 60             | 7.9                   | 7.6             | 63                                       | 3.50               | 0.68                     | 0.68                      | 59.10末市況<br>(積算資料2.0mm) |                              |
| 材<br>料           | アル<br>ミ          | アルミ合金 (A5052)           | 810            | 28                    | 2.7             | 10.4                                     | 79                 | 4.43                     | 1.46                      | 0.50                    | 59.10市況<br>(日刊金属特報<br>1.0mm) |
|                  |                  | " (A6061)               | 1,120          | 30                    | 2.7             | 11.1                                     | 101                | 5.61                     | 1.46                      | 0.47                    |                              |
|                  | そ<br>の<br>他      | 銅 合 金                   | 685            | 25                    | 8.9             | 2.8                                      | 244                | 13.56                    | 1.64                      | 1.86                    | 59.10市況<br>(日刊金属特報2.0mm)     |
|                  |                  | チタン合金                   | 8,720          | 95                    | 4.5             | 21.1                                     | 413                | 22.94                    | 0.43                      | 0.25                    | アメリカン・メタルマ<br>ーケット(チタン協会)    |
| 無<br>機<br>材<br>料 | セ<br>メ<br>ン<br>ト | セメント (生コン)              | 5              | 圧縮 (1.8)<br>引張 0.2    | 2.3             | (0.8)<br>0.09                            | (7)<br>60          | 圧縮(0.4)<br>引張 3.33       | (22.78)<br>205.0          | (6.50)<br>57.78         | 59.10末市況(日経)                 |
|                  |                  | セラミックス (アルミナ)           | 5,500          | 圧縮 (350)<br>引張 39     | 3.9             | (89.7)<br>10.0                           | (61)<br>550        | 圧縮(3.39)<br>引張 30.55     | (0.12)<br>1.05            | (0.06)<br>0.52          | 野村総研                         |
|                  |                  | 炭素繊維                    | 13,000         | 360                   | 1.74            | 206.9                                    | 63                 | 3.5                      | 0.11                      | 0.03                    | 59.10末市況(日経)                 |
|                  |                  | ガラス繊維                   | 532            | 250                   | 2.5             | 100.0                                    | 5                  | 0.28                     | 0.16                      | 0.05                    | 窯業統計 59.7                    |
| 有<br>機<br>材<br>料 | ア<br>ク<br>リ<br>ル | 木 材 (杉正角)               | 180            | L R T<br>5.7 0.7 0.26 | 0.32            | L R T<br>12.8 2.2 0.8                    | L R T<br>10 83 223 | L R T<br>0.55 4.60 12.40 | L R T<br>1.19 58.57 157.7 | L R T<br>0.29 2.36 6.50 | 59.10末市況(日経)                 |
|                  |                  | ポリエチレン (高密度)            | 290            | 3 5                   | 0.95            | 3.2                                      | 91                 | 5.05                     | 13.67                     | 1.62                    | "                            |
|                  |                  | A B S 樹脂                | 460            | 5                     | 1.04            | 4.8                                      | 96                 | 5.33                     | 8.20                      | 1.08                    | "                            |
|                  |                  | ポリカーボネート                | 890            | 6                     | 1.20            | 5.0                                      | 178                | 9.89                     | 6.83                      | 1.04                    | "                            |
| 複<br>合<br>材<br>料 | G<br>F<br>R<br>P | CFRP<br>(炭素繊維強化プラスチック)  | 18,750         | 150                   | 1.6             | 93.8                                     | 200                | 11.10                    | 0.27                      | 0.06                    | "                            |
|                  |                  | GFRP<br>(ガラス繊維強化プラスチック) | 1,138          | 40                    | 1.8             | 22.2                                     | 51                 | 2.83                     | 1.03                      | 0.23                    | プラスチック製品統計<br>月報59.7         |

(注) セラミックスは粉、プラスチック類はレジン  
木材のL……長さ方向、R……年輪の半径方向、T……年輪の接線方向  
指数は鉄鋼の厚板を1とした。



### III) アルミニウムやプラスチックなどの軽量材の使用

などが行なわれた。この中で、I)とII)は、軽量化を目的とした手段であったが、同時に原価の低減にもなり一石二鳥の対策であった。特に、外装パネルを中心として多く用いられた高張力鋼板は、重量軽減能/価格の高いきわめて経済的な材料であり、プラスチックやアルミニウムへ材料転換する場合の様なドラチックな軽量化は期待できないまでも、鋼板の使用比率(表2)の高い自動車では、相当メリットが出たものと考えられる。二輪車では鋼板の使用比率がきわめて少ないため、単なる置き換えでは軽量化や経済的効果が少なかったが、車体フレーム用の高張力鋼管を開発する

ことでこれらの目的を達成することができた。

又、部品加工面では、

- I) 熱処理の見直し (浸炭焼入れ → 高周波焼入れ)
- II) 冷間鍛造によるチップレス加工化
- III) 省Mo鋼の採用
- IV) 快削鋼の採用

などの対策が取られた。これらは全て生産性の向上にもつながるものであり、鋼材の使用比率の高い二輪車メーカーとしては、自動車以上にその効果が期待される。

従って、これから先は鋼材に的を絞って話を進めたい。

表2 自動車原材料の使用比率 (重量%)

| 原材料   | 鉄鋼材料 |      |      | アルミニウム | 樹脂  | その他  |
|-------|------|------|------|--------|-----|------|
|       | 鋼材   | 鋼板   | 鋼管   |        |     |      |
| 大型二輪車 | 21.4 | 20.8 | 17.4 | 18.5   | 2.9 | 19.0 |
| 乗用車   | 16.0 | 59.4 | 2.3  | 2.6    | 3.6 | 16.1 |

### 3. 経済性を追求した鋼の利用について

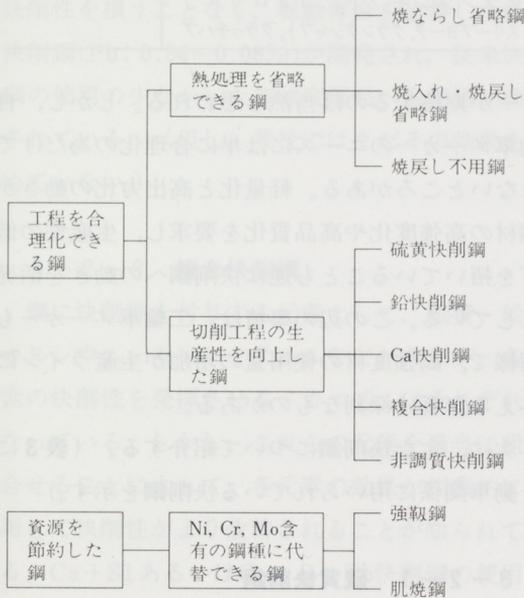


図2 主な経済的鋼種の分類

#### 3-1 熱処理を省略できる鋼の利用

いずれの業種であれ、製造会社にとって製造原価の低減は常に追い続けなければならない課題である。そのために、生産の合理化が常に唱えられ、さまざまな対策が考え出され実行に移されてきている。こうした中で、熱処理工程の省略はエネルギー節減だけでなく工程の省略による生産性の向上にもつながるため、部品の原価低減に対する効果は大きく、各製造会社のニーズはかなり強い。

そのようなニーズに答えて、鉄鋼メーカーが開発した熱処理を省略できる新鋼種の紹介と具体的なメリットについてのべる。

#### 3-1-1 焼ならし省略鋼

通常の鋼は、熱間圧延後一度常温まで冷却され、再び加熱されて焼ならし、焼なましあるいは焼入れ焼戻しといった熱処理を施して所要の性質を与えられる。焼ならし省略鋼は、熱間圧延時の加熱温度と冷却条件を制御することにより、圧延のまま焼ならし処理材と同等の性質を発揮する鋼材である。この鋼材は、鉄鋼メーカー側の省エネ対策として開発された鋼種であるが、ユーザー側のメリットとしては、購入原価の低減がある。例えば、S45C焼ならし鋼から、S45C焼ならし省略鋼に替えると約7円/kgの原価低減となる。社内でも採用が認められた。

#### 3-1-2 焼入れ焼戻し省略鋼(非調質強じん鋼)

コンロッドやクランクなどの部品の多くは、炭素鋼の熱間鍛造で作られている。その工程は、熱間型打鍛造→焼入れ焼戻し処理→機械加工である。非調質鋼は、熱間鍛造終了後、空冷又は衝風冷却をするだけで焼入れ焼戻しと同等の機械的性質(衝撃値が多少低下する)が得られる。

ユーザーにとっては、熱処理エネルギーの節減と工程省略による生産性の向上という大きなメリットがあるが、衝撃値の評価の点で社内導入が遅れている。

#### 3-1-3 焼戻し不用鋼(テンパーフリー材)

焼入れ時の加熱条件及び加熱後の冷却条件をコントロールすることにより、焼戻し処理を省略できる鋼種である。現在、社内ではディスクブレーキ用に従来のSUS420J2、SUS420J1の代替として導入が進められており、熱処理コストの低減が図られている。その他の効果として、Cr炭化物の析出が少ないことによる耐食性及び衝撃靱性の向上がある。

#### 3-2 切削工程の生産性を向上させる鋼の利用

図3に示した様に、快削鋼の国内生産高は昭和

表3 自動車に用いられている主な快削鋼と使用例

| 分類        | 適用鋼種別            | 車種       | 主な適用部品例                   | 使用比率(%) |
|-----------|------------------|----------|---------------------------|---------|
| Pb        | 構造用炭素鋼<br>構造用合金鋼 | 二輪車, 四輪車 | 歯車, シャフトを含むE/G及び車体        | 79.8    |
| Pb+S1     | S48C             | 二輪車, 四輪車 | コンロッド                     | 16.4    |
| S1        | S48C             | 二輪車, 四輪車 | クランクシャフト, コンロッド           |         |
|           | SCr22H           | 四輪車      | ミッションギヤの一部                |         |
|           | SUH36            | 二輪車, 四輪車 | エンジンバルブ                   |         |
| S2        | S48C             | 二輪車, 四輪車 | コンロッド, 自動変速機              |         |
| Sa        | S53C             | 四輪車      | スリーブヨーク                   | 3.8     |
| Ca+S1     | SCM22H           | 四輪車      | メインシャフト                   |         |
|           | S48C             | 四輪車      | クランクシャフト                  |         |
| Ca+Pb+S1  | S48C             | 四輪車, 二輪車 | クランクシャフト, コンロッド           |         |
| Ca+低Pb+S1 | S48C             | 四輪車, 二輪車 | スリーブヨーク, クランクシャフト, クラッチハブ |         |

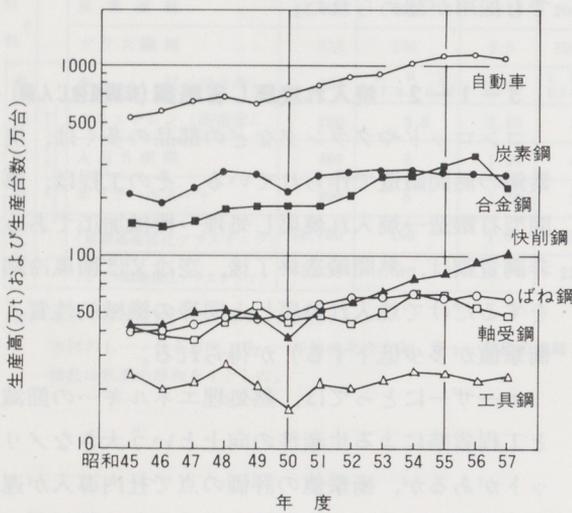


図3 特殊鋼の生産高および自動車生産台数  
 (鉄鋼統計月報: 19 (1970) 4~31 (1982) 3  
 機械統計月報: 22 (1970) 4~34 (1982) 3  
 (通商産業大臣官房調査統計部編))

47年の50万トンから、10年後の昭和57年には2倍の100万トンに達した。

快削鋼を使うメリットとして

- I) 切削スピードが向上する
- II) 刃具の寿命が延びる
- III) 切削屑の排出性が良いため工程の自動化がしやすい
- IV) 加工精度が安定する

などが上げられ、生産の合理化手段として各メー

カーが期待するのは当然と思われる。しかし、自動車メーカーのニーズには単に合理化の為だけではないところがある。軽量化と高出力化の動きが鋼材の高強度化や高品質化を要求し、生産性の低下を招いていることも逆に快削鋼への動きを活発にしている。この辺の事情は、二輪車メーカーも同様で、高強度材の使用量の増加が生産ラインに与える影響は深刻なものがある。

次に、主な快削鋼について紹介する。(表3に自動車関係に用いられている快削鋼を示す。)

### 3-2-1 硫黄快削鋼

快削性を向上させる添加元素のうちでもっとも一般的で安価な元素Sの添加により、活性のある非金属介在物としてMnSが作られる。これが、切削時に切屑を破断させるとともに、潤滑作用を発揮し工具寿命の延長をもたらしている。但しMnS介在物は、圧延方向に長く伸びて鋼中に存在するので、軸方向に直角に加わる力に弱く強度重視の利用には注意を要する。又、溶接をする部品には、MnSによる溶接割れを起しやすいので使用は好ましくない。この快削鋼には、Sの量によってS1 (0.04~0.07%)とS2 (0.08~0.12%)があり、我社では現在、S45CSIとS50CSIとが使われている。

### 3-2-2 鉛快削鋼

この快削鋼は、Pb粒が鋼中に微細に分散して存在し、これが切削時の摩擦熱により溶出し、潤滑作用を発揮し刃具寿命を延ばすと共に、切削屑の流れが良くなりカール状になるため、切削屑の処処性も良くしている。

一般に、鉛快削鋼は硫黄快削鋼より靱性に優れ、強度部品にも使用されているが、歯車や軸受のように高面圧を受ける部品には転動寿命が短いという欠点により使用が制限されている。しかし、快削性を損うことなく、転動寿命を改善した低鉛快削鋼(Pb: 0.04~0.08%)が開発され、従来快削鋼の使用の少なかった高強度部品へも使用が検討されている。(但し、我社ではまだその効果を認めていない。)

### 3-2-3 複合快削鋼

鋼に快削性を付与する元素として、硫黄・鉛・カルシウム・セレン・テルルなどがあるが、各元素の快削性を発揮させるメカニズムはそれぞれ異なっている。しかし、これらの元素を適当に組み合わせることによって、各元素の効果が相乗的に作用して快削性がより改善されることが知られている。Ca+S1あるいはCa+S+Pb快削鋼の使用量は増加の傾向にある。

表4 コンロッドにおける材料使用例

| メーカー<br>排気量クラス | H 社                        | S 社               |
|----------------|----------------------------|-------------------|
| 700cc          | S35C非調質<br>複合快削鋼<br>(S+Pb) |                   |
| 400cc          | S35C複合快削鋼<br>(S+Pb)        | S45C <sup>Ⓜ</sup> |
| 250cc          | S35C非調質<br>複合快削鋼<br>(S+Pb) |                   |
| 125cc<br>~50cc | SCM420<br>低Mo鋼             | SCM415            |

この他、非調質鋼を快削鋼化した非調質快削鋼も有り、コスト低減に有効なため、今後の使用量の増加が予想されている。

以上、熱処理省略鋼と快削鋼についてのべてきたが、二輪車メーカーにおける実際の使用例を表4と表5に示す。

### 3-3 資源を節約した鋼の利用

オイルショックを契機とした省資源ブームと昭和54年のMo価格の高騰は、低Mo鋼化やボロン鋼化などの省Mo鋼化を促進させた。

#### 3-3-1 省Mo強靱鋼(ボロン鋼)

微量のB添加により焼入性が向上するため、焼入れ焼戻しされる場合は、機械的性質が向上する。この特性を利用して、SCM435, 440, SCn440などの代替鋼としてコスト低減が期待できる。現在ボルト用にS45C, SCM440の代替として検討されている。

#### 3-3-2 省Mo肌焼鋼(低MoのCrMo鋼)

Moの減少は、浸炭焼入性の低下を招くとされているが、社内の検討結果では、靱性の低下への影響が大で、衝撃値、転動疲労強度が共に低下した。

表5 クランクにおける材料使用例

| メーカー<br>排気量クラス | H 社                               | S 社                    |
|----------------|-----------------------------------|------------------------|
| 750cc          | S45C <sup>Ⓜ</sup> 複合快削鋼<br>(S+Pb) |                        |
| 400cc          | ↑                                 | S45C <sup>Ⓜ</sup> 鉛快削鋼 |
| 250cc          |                                   |                        |
| 125cc<br>~50cc | S45C鉛快削鋼<br>S50C鉛快削鋼              | S55C <sup>Ⓜ</sup> 鉛快削鋼 |

この結果から、Cr-Mo鋼の代替を進める場合は、部品の要求機能を見極めて、転動部品や衝撃荷重の厳しい部品への使用は好ましくない。実際の使用例としては、某社の大型二輪車のミッションギアへの使用が確認されている。

#### 4. おわりに

“最近の話題”としては、新鮮味に欠けるネタではあるが、円高対応に迫られている今日、VA・VE活動の参考になればと思い紹介を試みた。新素材ブームに煽られて「鉄冷えの時代」と言われても、現実には鉄以外に、安価で、品質が安定し、データベースが豊富で、しかも使い勝手が良い材料は

見あたらない。「21世紀も鉄の時代」というのは確かであり、益々、鋼の特性をわきまえた有効的・経済的な利用技術に我々も積極的に取り組んでいきたいと考えている。

内容の乏しさ、文の拙さについては全て筆者の浅学によるところであり、皆様の卒直な御批判と御指導を期待します。

#### 引用資料

- 1) ヤマハ技報 №1, 1985-12
  - 2) “材料の強さと経済性” 新日鉄
  - 3) 自動車軽量化技術資料集成
  - 4) 金属 Vol.52 №9 1982
- 他

| 社名 | 材料      | 温度   |
|----|---------|------|
| S社 | 248C合金鋼 | 150℃ |
|    | 248C合金鋼 | 100℃ |
| S社 | 248C合金鋼 | 250℃ |
|    | 248C合金鋼 | 150℃ |
| S社 | 250C合金鋼 | 150℃ |
|    | 250C合金鋼 | 100℃ |

| 社名 | 材料      | 温度   |
|----|---------|------|
| S社 | 248C合金鋼 | 150℃ |
|    | 248C合金鋼 | 100℃ |
| S社 | 248C合金鋼 | 250℃ |
|    | 248C合金鋼 | 150℃ |
| S社 | 250C合金鋼 | 150℃ |
|    | 250C合金鋼 | 100℃ |