

砥石の選定指針(その1):一般砥粒砥石編

福島 正人 (株式会社ノリタケカンパニーリミテド)

1. 適切な砥石を選択する意義

これまでの砥粒加工基礎講座では、砥石構造に着目し、解説を進めてきた。その知識を元に、本稿ではより実践的な一般砥粒砥石の選定指針について解説する。

選定指針について解説する前に、なぜ適切な砥石を選択する必要があるのか、その意義について説明したい。砥石は研削時の負荷によって、砥粒の破碎や脱落が生じ、新たな切れ刃が創成される「自生発刃」を繰り返す工具である。その自生発刃を適度に促した状態で研削をすることが砥石使用上、常に重要であり、そのためには適した構造を有する砥石を選択する必要がある。使用砥石の選択を誤ると、適度な自生発刃が行われず、目こぼれ形や目つぶれ形・目詰まり形の研削形態となる(図1)。目こぼれ形の形態で研削をすると、形状崩れや表面粗さの悪化を引き起こしやすく、目つぶれ形・目詰まり形の形態では研削焼けやびびりが発生しやすい。昨今、ワーク種類の多様化や高精度化が進んでいる背景もあり、研削対象に対して適切な砥石を使用することの重要性がより増していると、筆者は感じている。

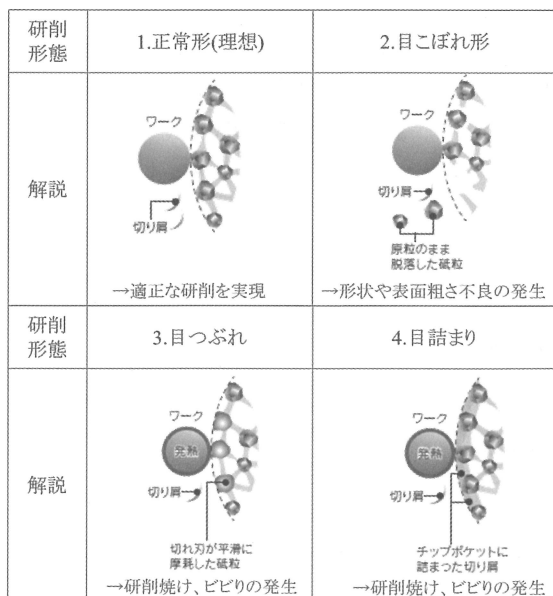


図1 研削作用の4形態

2. 選定指針の基礎(砥石の5因子からの選定)

砥石は①砥粒, ②粒度, ③結合度, ④組織, ⑤結合剤(ボンド)の5因子より構成されており(表1), それら因子をどのように決定するか, おおよその指針を本項で示す。

表1 砥石の5因子の一例

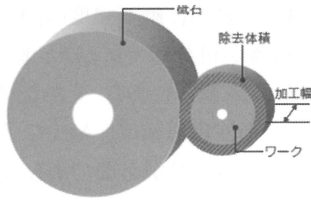
| 砥粒 | 粒度 | 結合度 | 組織 | ボンド |
|----|-----|-----|----|-----|
| WA | 100 | J | 8 | V |

2.1 砥粒の選定指針

砥粒は「ワーク材質」により、選択することが基本である。一般砥粒砥石で使用される砥粒は、酸化アルミニウム(Al_2O_3)を主成分としたアルミナ質砥粒(A系砥粒)と、炭化ケイ素(SiC)を主成分とした炭化ケイ素質砥粒(C系砥粒)の二種類であり、それらを使い分ける。ワーク材質は、一般的に鉄を主成分とする鉄系材料とそうでない非鉄系材料、金属でない非金属材料へ分類できる。鉄系材料の代表例は鉄鋼材や鋳鉄材であり、非鉄系材料は超硬やアルミニウム、非金属材料はガラスやゴムがある。選定指針であるが、鉄系材料の研削はA系砥粒を選択し、非鉄系材料および非金属材料の研削はC系砥粒を選択することが基本である。前者の理由は、鉄系材料をC系砥粒で研削すると、材料中の鉄(Fe)と砥粒中の炭素(C)が化学反応し、砥粒中の炭素(C)が材料中の鉄(Fe)へ拡散することで、砥粒が目つぶれし、切れ味不足に陥りやすいためである。後者の理由は、非鉄系材料および非金属材料は比較的硬いものが多く存在するため、A系砥粒より硬度が高いC系砥粒を選択する。

鉄系材料を研削するためのA系砥粒はそのラインナップも豊富であり、材料の特性や研削条件によって、より細かく選択することが可能である。代表的なA系砥粒はA, WA, PA, 単結晶砥粒, セラミック砥粒がある。汎用的なA砥粒やWA砥粒は軽研削, PA砥粒は普通研削, 単結晶砥粒は高能率研削, セラミック砥粒は高能率かつ高寿命な研削へ適用する。またその他にも各砥石メーカーで独自のA系砥粒を取り揃えている。参考として円筒プランジ研削の研削能率 Z^2 の算出を示す(図2)。このような指標を算出し、砥石メーカーへ相談するとより適切な砥粒選択を行うことできる。また、具体的なワーク材質に対する砥粒の選択例を示すので、合わせて参考にしてほしい³⁾(表2)。

* 株式会社ノリタケカンパニーリミテド: 〒451-8501 愛知県名古屋市中西区則武新町三丁目1番36号



$$\text{研削能率 } Z' [\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}] = \frac{\text{ワークの除去体積}[\text{mm}^3]}{\text{加工幅}[\text{mm}] \times \text{加工時間}[\text{s}]}$$

図2 円筒プランジ研削における研削能率 Z' の算出方法

表2 ワーク材質に対する砥粒の選定目安例

| ワーク材質 | 研削条件 | 一般砥粒 |
|------------------------------|----------|--------|
| 炭素鋼(S-C) [生材・調質材] | 普通研削 | A |
| 合金鋼(SCr,SCM,SNM) [生材・調質材] | 軽研削 | WA |
| | 普通研削 | PA |
| | 高能率研削 | 単結晶系 |
| 工具鋼(SK,SKD,SKH) [焼入材] | 普通研削 | PA |
| | 高能率高寿命 | セラミック系 |
| 鋳物(FC,FCD) | 軽研削 | GC |
| | 普通研削 | PA |
| | 高能率研削 | 単結晶系 |
| | 高能率高寿命研削 | セラミック系 |
| 超硬、アルミ | 普通研削 | GC |
| 石材、ゴム | 普通研削 | GC |

2.2 粒度の選定指針

粒度は「要求表面粗さ」より、選択することが基本である。表面粗さの要求が厳しくない粗研削は、その分ワークの除去体積が多くなるため、研削力に優れる砥粒径の大きな砥粒、すなわち粗粒を選択する。一方、要求表面粗さが厳しい仕上げ研削には砥粒径の小さい細粒を選択する。表3に焼入鋼材を円筒研削した場合の一般的な要求表面粗さに対する粒度の選定目安を示す。なお平面研削は、円筒研削より表面粗さが細くなる傾向にあるため、表3よりも粗い粒度が選定可能である。

表3 要求表面粗さに対する粒度の選定目安 (焼入鋼材を円筒研削した場合)

| 要求表面粗さ(Rzjis) | 粒度 |
|---------------|-----------|
| 12μm | ~#54 |
| 6.3μm | #54~#60 |
| 3.2μm | #60~#80 |
| 1.6μm | #100~#120 |
| 0.8μm | #150~#180 |

2.3 結合度の選定指針

結合度は「研削方式」より、選択することが基本である。研削方式により、研削時の接触弧長さが変化するため、それに応じて結合度を調整する。代表的な研削方式として円筒研削、

平面研削、内面研削があるが、接触弧長さが短い円筒研削では、比較的硬い結合度を選択し、それよりも接触弧長さが長くなる平面研削では研削焼けなどを防止するため、円筒研削よりも軟らかい結合度を選択する(図3)。なお、最も接触弧長さが長くなる内面研削は、他の研削方式と比べ砥石径が極端に小さいという特徴も重なり、さまざまなトラブルが発生しやすい。よって選択する結合度の範囲も軟らかい領域から硬い領域までと広がる。代表的な研削方式に対する結合度選択の目安を示すので参考にしてほしい⁴⁾(表4)。

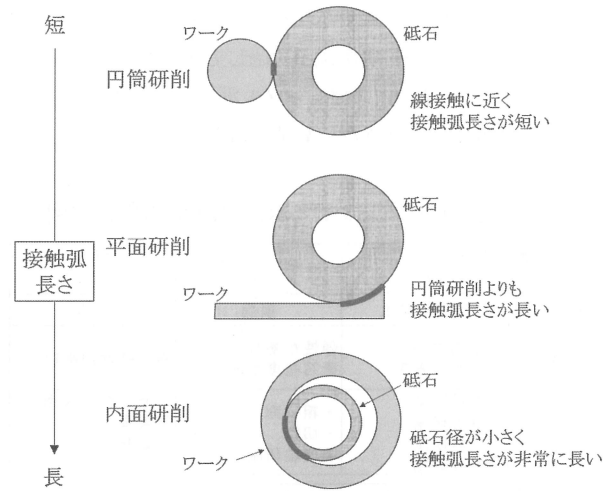


図3 円筒、平面、内面研削の接触弧長さのイメージ

表4 代表的な研削方式に対する結合度の選定目安例

| 加工方式 | 結合度 | | | | | | |
|------------|-----|---|---|---|---|---|---|
| | H | I | J | K | L | M | N |
| 円筒研削 | | | | ← | → | | |
| 平面研削 | ← | → | | | | | |
| 内面研削 | | ← | → | | | | → |
| センタレス | | | ← | → | | | |
| 切断、ギズ・バリ取り | | | | | | ← | → |

2.4 組織の選定指針

組織は、解決したいまたは予想されるトラブルの内容により、選択することが基本である。例えば、研削焼けが発生するような場合は、砥石の切れ味を向上させるため、砥粒率を低くした粗組織なものを選択する。逆に砥石摩耗を抑制したい場合、耐用を向上させるため、普通組織を選択する(表5)。

表5 組織の選定目安例

| 組織 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------|--|----|----|----|--|----|----|
| 砥粒率(%) | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 |
| | ← 普通組織 → | | | | ← 疎組織 → | | |
| 適用例 | <ul style="list-style-type: none"> 砥石摩耗量の抑制 ワークの表面粗さ改善 | | | | <ul style="list-style-type: none"> 研削焼けの抑制 ワークの真円度改善 | | |

2.5 ボンドの選定指針

一般砥粒砥石に主に用いられる結合剤(ボンド)種類は、ビトリファイドボンド、レジノイドボンドの2種類である。

ビトリファイドボンドは長石、ケイ石、粘土を主成分とした陶磁器と同じ成分のものである。ビトリファイドボンドの特徴は、高温焼成にて製造されるため、砥石としても硬く、化学的な安定性が高い点である。よって、汎用的な研削から品質要求が高い仕上げ研削と幅広く用いられる。

レジノイドボンドは、主成分が樹脂であるため、弾性が高い点が特徴である。よって、研削時の衝撃を吸収できるので、研削能率が高い粗研削で用いられることが多い。

その他、センタレス研削用調整車として使用されるゴムボンドなども存在する(表 6)。なお、メタルボンドや電着は一般砥粒砥石には適用されないので本項では割愛する。

表 6 一般砥粒砥石におけるボンド種類と選定目安例

| ボンド種類 | ビトリファイド | レジノイド | ゴム |
|-------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 記号 | V | B | R |
| 主成分 | 長石、粘土 | 樹脂 | ゴム |
| 特徴 | 比較的硬い、 化学的に安定 | 弾性があり、 砥石強度が高い | 最も弾性が高い |
| 用途 | ・汎用研削 ・精密研削 ・工具研削 ・特殊研削 | ・粗研削 ・切断、バリ取り ・自由研削 | ・センタレス用 調整車 ・切断 |

| ボンド種類 | シリケート | マグネシニア |
|-------|--------------------|----------------------|
| 記号 | S | Mg |
| 主成分 | ケイ酸ソーダ | マグネシニア オキシクロライド |
| 特徴 | ケイ酸ソーダが 潤滑作用をする | 不燃性である |
| 用途 | ・ナイフ類の研削 | ・ナイフ類の研削 ・薄物の平面研削 |

3. 安全面からの選定指針

前項では一般砥粒砥石の5因子からの選定指針について解説したが、その指針に沿って砥石を選択しても、その砥石が必要な安全基準を満たさない場合、使用することができない。ご存知の方も多いと思うが、砥石は高速で回転させ使用するものであり、回転中に破損した際は重大な事故につながる恐れがある。便利な工具である一方で、そのような危険性を持つため、本項では安全面からの選定指針について簡単に記載する。

砥石の安全基準は項目も多く、その内容も複雑なため、詳細は本稿では記載しないが、確認すべきポイントは、使用したい周速度(使用周速度)が最高使用周速度以内であるか否かという点である。最高使用周速度とは、砥石メーカーが実際に砥石を破壊し、一定の安全係数で除した「安全に使用可能な保証周速度」である⁵⁾。砥石は使用周速度が速くなるほど、研削能力が向上する一方で、遠心力の影響により破損リスクが高くなる。よって使用周速度は、最高使用周速度以内でな

ければならない(図 4)。一般的に砥石強度は、粒度が粗い、結合度が軟らかい、組織が粗組織であるほど弱くなり、先の最高使用周速度が低くなる傾向にある。そのような砥石を選択する場合、想定している使用周速度に対して、最高使用周速度が下回ることがないように注意が必要である。使用する砥石の最高使用周速度は、砥石上の表記や検査票等で確認する必要がある。

その他、使用周速度による砥石形状の制限、砥石形状による使用面の制限など、安全上、種々の制限を受けるため、使用する砥石の適切な使用方法は、砥石メーカーへ確認することを推奨する。

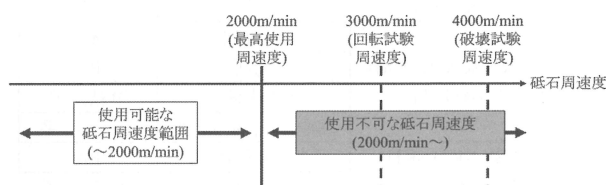


図 4 最高使用周速 2000m/min における各周速度のイメージ

4. 具体的な事例紹介

本項では、筆者らがユーザより相談を受けることの多い事例を研削方式、およびワーク材質の観点から紹介する。

4.1 アンギュラ円筒研削における砥石選定

アンギュラ円筒研削は砥石を傾斜させ、斜め方向に切込みワーク外周と端面部を同時に研削する方式である(図 5)。アンギュラ円筒研削は自動車部品、軸受け部品など様々な分野で適用されている。この方式のメリットは、研削時間を短縮できることである。一方デメリットは、ワーク端面部に研削焼けが発生しやすい点である。その理由は、砥石とワーク端面部の接触面積が広いためであり、それにより、研削熱が研削部から発散しにくく、また十分な研削油の供給が難しい。よって、砥石選定は、研削焼けの抑制に重点を置く必要がある。選定例は以下である。

- 砥粒: A系砥粒を選択
 - 粒度: 比較的粗粒を選択(#60~80)
 - 結合度: 軟かい領域を選択
 - 組織: 粗組織を選択
 - ボンド: ビトリファイドを選択
- (選定例: WA 60 G 10 V)

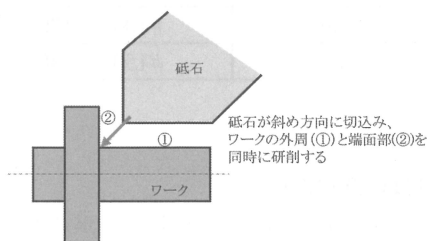


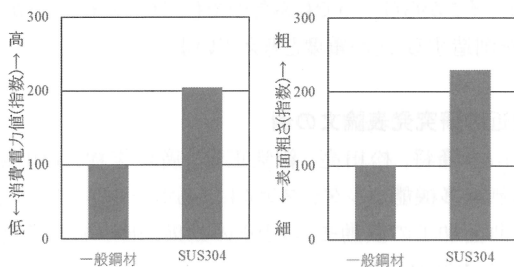
図 5 アンギュラ円筒研削の模式図

4.2 SUS304 の研削における砥石選定

SUS304 は鉄(74%), クロム(18%), ニッケル(8%)を主成分としたオーステナイト系ステンレス鋼の代表格であり、住宅の構造部材、鉄道車両、自動車部品とさまざまな分野で用いられている。ただし SUS304 は、一般鋼材に比べ研削が難しいとされる難削材へ分類される。SUS304 が難削材である主な理由は、伸び(延性)が大きい点と熱伝導率が低い点である。とくに延性に関して SUS304 は一般的な鋼材と比べ、約2倍の延性を持ち、研削時の砥石面への目づまりや切り屑の溶着、砥粒の異常脱落の発生等を引き起こす。結果として、砥石の切れ味不良やワーク精度不良といったトラブルを誘発しやすい⁶⁾(図6)。

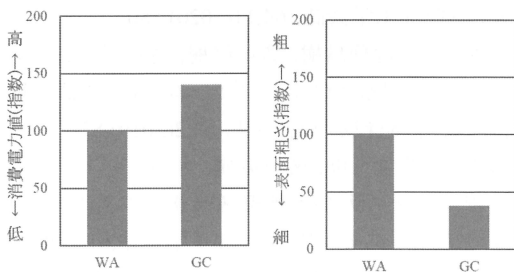
SUS304 における砥石選定のポイントは、砥粒選択である。先述のように、ワークの精度不良が発生しやすく、なかでも表面粗さが製品規格より外れるケースが多い。そのような場合、A系砥粒ではなく、あえてC系砥粒であるGC砥粒を選択する。SUS304 は鉄系材料ではあるが、クロムやニッケルを約26%含み、一般鋼材より鉄の占める割合が低いため、C系砥粒が選択可能である。SUS304 をGC砥粒で研削すると表面粗さを細かくすることが可能であるため、精度を重視する研削ではGC砥粒を選択する。一方でGC砥粒はA系砥粒に対し切れ味は劣るため、比較的粗研削においてはA系砥粒を選択する⁶⁾(図7)。これらをふまえた選定例は以下である。

- 砥粒： 粗研削→A系砥粒， 精度重視→GC砥粒
- 粒度： 表面粗さより選択
- 結合度： 研削方式より選択
- 組織： トラブル内容より選択
- ボンド： ビトリファイドボンドまたはレジノイドボ



*一般鋼材を100とした指数表記

図6 平面研削における一般鋼材とSUS304の研削性能比較



*WA砥粒を100とした指数表記

図7 平面研削におけるSUS304のA系砥粒(WA)とC系砥粒(GC)の研削性能比較

5. おわりに

本稿では、一般砥粒砥石の選定指針と事例紹介について述べてきた。あくまでも基本的な指針である。各砥石メーカーとも、さまざまな商品のラインナップがあるため、困りごとがあれば是非砥石メーカーへ相談してほしい。本稿が新たに研削に携わる技術者の方に少しでも役に立てられればと思う。

6. 参考文献

- 1) 杉野香奈絵:よくわかるツルーイング・ドレッシング, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2019, 2, 24.
- 2) 杉野香奈絵:研削の高能率化, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2019, 2, 4.
- 3) 櫻木真二郎:よくわかる砥粒とその選択, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2020, 3, 4.
- 4) 海野邦昭:絵とき「研削加工」基礎, 日刊工業新聞社, (2006) 89.
- 5) 中央労働災害防止協会:グライнда安全必携, 新日本印刷, (2017), 71.
- 6) 後藤直樹, 神谷泰弘:オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)に対する適正なビトリファイド一般砥石, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2020, 3, 24.