

# 砥石の構造(その2):砥粒の種類とその適性

## 《一般砥粒編》

椎葉 遼策 (昭和電工株式会社)

### 1. 研削材(一般砥粒)の歴史

研削材は、その主成分によって酸化アルミニウム( $Al_2O_3$ )系と炭化ケイ素(SiC)系の2種類に大別される。

酸化アルミニウム系は1891年に、アメリカ人のチャールズ・B・ジャコブスによって発明された。炭化ケイ素系は同じく1891年にアメリカ人のエドワード・G・アチソンによって発明された。この両物質とも、極めて硬度が高く、機械文明の発展と共に研磨材、研削材、耐火材としての需要が増大していった。アメリカ市場では炭化ケイ素系砥粒の製造のために発電事業が興されたが、日本市場においてはアメリカと対照的で、発電会社の余剰電力の消費対策として炭化ケイ素系砥粒の製造を始めたのが、研削材の企業化の始まりである。

### 2. 砥粒の特性

#### 2.1 研削砥石が求める砥粒の特性

砥石による研削加工において、砥粒に求められる特性は、「硬度」「破碎性」「熱的特性」の大きく分けて3つある。

「硬度」は被削材との硬度差により、切れ味や表面精度に大きく影響を及ぼす。硬度差が小さいと刃先が鈍化してしまい加工不能となる。

「破碎性」は研削中の砥粒粉砕による刃先の再生に影響する。自生発刃が活発だと鋭い切れ味が持続し、研削抵抗が小さく、研削温度も低くなる。しかし破碎によって寿命が短くなるという相反関係にある。また「破碎性」と対置する概念として「靱性」がある。破碎しにくい砥粒は靱性が強く、重研削でとくに効果を発揮する。反面、中仕上げや仕上げ、精密研磨などの軽研削では破碎性の大きな砥粒の方が効果を発揮する<sup>1)</sup>。

「熱的特性」は、発生する熱に対して研削特性に影響がないことが重要である。研削時に発生する熱を逃がすための高い熱伝導率、熱の高低差で亀裂を生じない耐熱衝撃性、高温時の硬度、高温時の化学的安定性が求められる<sup>2)</sup>。

#### 2.2 酸化アルミニウム系砥粒

酸化アルミニウム系砥粒の製造方法は2種類が存在する。ボーキサイトからなる主原料を電気炉で熔融し、凝固させてインゴットを精製する。それを粉砕・整粒してできるのが、A砥粒と呼ばれる褐色アルミナ質研削材である。もう1種はバイヤ法

で生成したアルミナを電気炉で溶かして再結晶させてインゴットを精製し、粉砕・整粒したものが、WA砥粒と呼ばれる白色アルミナ質研削材である。このようにA砥粒とWA砥粒は製造方法こそ似ているが、原料の観点から根本的に異なるものとなっている。

A砥粒は酸化チタニウムなどの不純物を少量含むために全体的に褐色を帯びている。砥石焼成時に微量の酸化チタンが溶出して砥粒の亀裂を塞ぎ、破壊起点が少なくなるため、WA砥粒に比べて靱性が高い。A砥粒は砥粒切込み深さが小さいときは摩耗により安定な平坦型切れ刃が急増するが、多少大きめの砥粒切込み深さが加えられる場合には破碎により自生発刃が生じて良好な研削状態を実現できる。摩耗進行状況に合わせて砥粒切込み深さを適度に上げると破碎と摩耗のバランスを保つことができる<sup>3)</sup>。一般鋼材の自由研削、生鋼材などやわらかい鋼材の精密研削に使用される。

WA砥粒はA砥粒よりもアルミナの純度が高いため、白色で硬度と破碎性も高いので切れ味が良いのが特徴である。鋭利な切れ刃ほど破碎しやすく、破碎により切れ刃が鈍化するため、破碎が頻繁に発生する状態は避ける必要があるが、微小切込みで破碎が抑えられる場合は、硬度と破碎性の高さが利点となる<sup>3)</sup>。合金鋼、工具鋼および焼入れ鋼などの軽研削から精密軽研削作業まで幅広い分野で使用される。

また、WA砥粒に残存する $Na_2O$ は高温になると気化するため、砥粒強度が低下してしまう。そのため各砥粒メーカーは $Na_2O$ がなるべく低いWA砥粒の製造を目指している。

このようにWA砥粒は不純物や添加物に影響を受けやすいことを利用して、添加物を加えて特性をもたせた砥粒がPA砥粒である。PA砥粒はWA砥粒の製造工程で酸化クロムを添加し、硬度と靱性を向上させたピンク色の砥粒である。酸化クロムの含有率が増えると、砥粒の硬度は上昇するが、熱的特性が低下してしまう。そのためビトリファイド砥石には酸化クロムが低含有のPA砥粒を使うことが多い。合金鋼、特殊鋼の精密研削に使用される。

HA砥粒はボーキサイトもしくはアルミナを電気炉で溶かして固めたインゴットを、通常の粉砕とは異なる方法で個々の粒子が単一の結晶からなるように解砕した砥粒であり、粒の破壊の起点になる亀裂や不規則な集晶をもたない。各粒子は球形に近い正多面体をなしているため、WA砥粒より嵩比重が大きくなり、単位容積内の砥粒の数、つまり研削刃先が多い。そのため次の研削特性をもつ。

\* 昭和電工株式会社: 〒221-0024 神奈川県横浜市神奈川区恵比須町8番地

- (1) 砥粒が毀れ難いので、切刃の寿命が長い
- (2) 砥粒が毀れ難いので、硬度の高い被削物にもよく喰い込んで高い研削性能を発揮する
- (3) 切刃の持久度が長く、研削性能も高いので時間当たりの研削量が増し、研削比も高い

また、一般砥粒においては、粒度が細くなるにつれ純度も粒形も靱性も低下し、総じて品質低下する傾向にあるのを普通とするが、この砥粒は個々の粒子が単結晶であるために、その傾向がないことも特徴である<sup>4)</sup>。砥粒の破碎の挙動もWA 砥粒とは異なり、鈍い切れ刃が比較的破碎しやすく、鋭利な切れ刃が多く残るため、発熱も少なく良好な研削が続けられる<sup>3)</sup>。難削材の精密研削までこなすことができる。

酸化アルミニウム系砥粒の特徴は高温時の硬度が低下しにくいこと、金属との親和性が低いこと、熱膨張率が低いことである。切削点の温度は600℃～1200℃に達するが、酸化アルミニウム系砥粒は1000℃付近でも硬度が低下しにくいので、金属の軟化温度領域で切削ができるという利点がある<sup>2)</sup>。

表1 酸化アルミニウム系砥粒の硬さ、破碎性、化学成分<sup>5)6)</sup>

砥粒	ヌーブ硬さ	破碎性	化学成分%		
			AL2O3	TiO2	Cr2O+TiO2
A	2020	50	≥94.0	1.5~4.0	-
WA	2020	57	≥99.0	-	-
PA	2050	48	≥98.5	-	0.2~1.0
HA	2100	38	≥98.5	-	-

### 2.3 炭化ケイ素系砥粒

炭化ケイ素系砥粒であるC 砥粒とGC 砥粒は、天然の珪石やコークスを主原料としている。それらを電気炉で2000℃以上の高温で溶かし、結晶化させてできたSiC のインゴットを粉砕・整粒した砥粒である。これらは自然に存在していないもので、人類が新しく創り出した物質である。

一般にC 砥粒は不純物を多く含み、黒色を帯びている。一方で、GC 砥粒は純度が高く緑色を帯びている。より純度の高いGC の方が硬度は高く、破碎性も良いため、C は一般的な非鉄、非金属、鋳鉄などの精密研削、GC は超硬合金の研削に使用されることが多い。また、これらは研削砥石用途以外にラッピングや研磨布紙など幅広い用途で使用されている。

炭化ケイ素系砥粒は酸化アルミニウム系砥粒に比べて耐熱衝撃性が大きく、鋭く硬い刃先をもつ砥粒であるが、鉄鋼を研削研磨すれば、鉄鋼は炭素を吸収して砥石を急激に摩耗させる。そのため鉄鋼の研削に対しては酸化アルミニウム系や立方晶窒化ホウ素(CBN)が用いられる。また、炭化ケイ素砥粒と酸化アルミ系砥粒は、被削物の「引張強さ」に応じて研削能率が逆の性能を示す。引張強さが小さい材料、例えば、亜鉛、鋳物などは炭化ケイ素系の方が研削能率は高くなるが、反対に引張強さが大きな材料については酸化アルミニウム系の方が研削能率は高くなる<sup>5)</sup>。

表2 炭化ケイ素系砥粒の硬さ、破碎性、化学成分<sup>5)6)</sup>

砥粒	ヌーブ硬度	破碎性	化学成分%
			SiC
C	2700	64	≥96.0
GC	2700	70	≥98.0

### 2.4 その他の砥粒

被削物の難削材化や研削加工の効率化に伴い、熔融を用いない上述の砥粒以外にもさまざまな砥粒が誕生している。その1つとして挙げられるのが、SG 砥粒である。SG 砥粒は、Seeded Gel (シーデッド・ゲル) 製法の化学プロセスによって製造される。これは主原料をサブミクロンサイズの粒子から始め、乾燥、粉砕、焼成工程を経て砥粒とする。こうして製造された砥粒はアルミナ純度の高い、微結晶セラミック体となる。先述の熔融・粉砕して製造するWA などは砥粒1個内に含まれる結晶が1~数個であることに対し、アルミナ焼結砥粒は1個の砥粒の中には数十億個の粒子が存在する。そのため、研削工程では微結晶ごとに微少破碎や脱落を引き起こすので、砥粒の切れ刃の部分が平坦になり難く、良好な切れ刃が長く持続できる。たとえ平坦になっても、砥粒を構成している微細粒子の効果により、その平坦部の粗さは一般砥粒に比べて粗いので切れ味は低下するものの一般砥粒に比べれば、切れ味良好な状態といえる。さらに微粒子構成の特徴は砥粒の表面積の増大による砥粒保持力の向上を可能にし、その強じん性向上の効果と相まって、1つの砥粒切れ刃に作用し得る研削力の増大、研削能率の向上を可能にしている<sup>7)</sup>。高硬度・高靱性に加えて高耐熱性の特性を備えもち、主にステンレスや特殊鋼等の重研削の用途に使われている。

また、高精細表面技術でシャープなエッジをもつナノレベルの微細砥粒を三角形に成型した精密成型砥粒というものもある。鋭い切っ先を持つので被削物への貫入力が高く、かつシャープなエッジを維持しながら微細に消耗していくので高い研削能力をもつ<sup>8)</sup>。これらは熔融を用いないで化学的に合成されるのでセラミック砥粒と呼ばれる。

その他に、アルミナにジルコニア質原料を加えて熔融・凝固させ、粉砕したアルミナジルコニア砥粒というものもある。コランダム結晶とアルミナジルコニア共晶部分からなり、こちらも高硬度・高靱性・高耐熱性の特性を備えている。主に高炭素鋼やステンレスの重研削に使われている。

### 3. 参考文献

- 1) ダイヤモンドホイール・ダイヤモンド砥石・CBN 工具・CBN 砥石と研削研磨の情報サイト <https://www.toishi.info/> .
- 2) 澤武一:とことんやさしい切削工具の本, 日刊工業新聞社, (2015), 34,43.
- 3) 萩原親作, 帯川利之, 臼井英治: 各種砥粒材種の破碎特性とその評価, 精密工学会誌, 55,3, (1989) 551.
- 4) 岡井弘: 最近の研削砥石工業とその問題点, 窯業協会誌, 69, 12, (1961),474.
- 5) 梅野邦昭: 絵解き研削加工基礎のきそ, 日刊工業新聞社(2006) 69,72,73.
- 6) JIS R 6111:2005 人造研削材.
- 7) 北村福男, 五反田健二: SG アルミナ系砥石による鋼の高効率研削, 精密工学会誌, 58, 4, (1992),583.
- 8) スリーエムジャパン株式会社, 3M キュービトン II 製品とは [https://www.3mcompany.jp/3M/ja\\_JP/cubitronII-jp/](https://www.3mcompany.jp/3M/ja_JP/cubitronII-jp/).