実験を振り返って*

花 崎 伸 作^{*1}

Think Back to Experiments

Shinsaku HANASAKI^{*2}

^{*2} 2-15 Ikagaminami-machi, Hirakata-shi, Osaka, 573-0053 Japan

Key Words: Observation at Experiment, Value of Experiment, Experimental Results against Common Knowledge, Doubt against Common Knowledge, Experimental Proof of Theory, Free Observation of Phenomenon

1. 初期の実験に関して

著者の研究歴は、1963年大阪大学大学院に進学し、指導教官の長谷川嘉雄先生(故人)から“ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)の切削(丸のこ切断)”の研究テーマを与えられたときに始まる。普及し始めたGFRPは、板材のこのによる耳取で切断開始時には所要動力は過大でなく切りくず排出も良好であったが、切れ刃の摩耗により短時間で切断困難な状態になった。なぜそうなるかを明らかにすることが研究の目的であった。実験に着手してそれまでの常識では説明できない新しい現象にひかれ、また、他所にはない実験装置を作る興味、面白さにもひかれ、切削の研究に打ち込むことになった。

GFRPの切削実験には、平織りガラス繊維強化フェノール樹脂板と比較材料としてアルミナ粒子4%を分散させた綿布強化フェノール樹脂板を使い、丸のこをモデル化したフライス切削のメカニズムと工具摩耗を調べた。工具摩耗の状態を常識の範囲で説明できるアルミナ粒子分散材に対して、GFRPの切削では常識の範囲で説明できない現象がいくつも現れた。最も目立ったのが工具摩耗の切削速度依存性であった。切削速度が速くなるとともに指数関数的に工具逃げ面摩耗幅が増加した。これは金属切削の常識からすると熱的な摩耗である。切削温度を測定したが、実験の範囲内で

は熱的な摩耗が生じる温度ではなく、工具摩耗が機械的な摩耗特性のアルミナ粒子分散材の方が切削温度が高かった。

2. 観察から力学モデル

工具摩耗形状の観察からガラス繊維の曲げ剛性の影響が考えられ、ガラス繊維の曲げ剛性とガラス繊維を固めている樹脂の粘弾性の組合せ効果を力学モデルとした理論解析で、工具摩耗が機械的な摩耗でありながら強い切削速度依存性の生じるメカニズムを説明することができた。しかし、あくまで熱的な摩耗であるとの強い意見があり、別の観点から熱的な摩耗でないことを証明するための実験をいくつも行った。すなわち、ガラス短繊維とガラスビーズを同じ含有率で含む2種類のプラスチックの切削で、切削主分力(発熱量、温度上昇)が同レベルであるのに、ビーズ含有材では特定の切削条件範囲以外は工具摩耗にガラス繊維強化材のような強い切削速度依存性がないこと、摩耗部断面形状が温度の高い摩耗部後半部で出張っている(摩耗が少ない)こと、GFRPを加熱切削すると工具摩耗が軽減されるのに対して水溶性切削液で湿式(冷却)切削すると工具摩耗が増加することなど、これらの結果(ビーズ含有材の特定切削条件範囲内での結果以外)は理論解析の結果で説明できた。その後、工具摩耗について強い切削速度依存性だけでなく常識の範囲では説明できない他の実験結果を併せて検討し、理論解析を広くまとめた形にして強い切削速度依存性だけでなく送り速度もしくは切り込みの影響(ガラス繊維の方向によって影響が異なる)も説明できた。この理論は後に行った実験でGFRPと同様の材料構造でありながら工具摩耗特性が異なるように見えるCFRP切削

* 原稿受付 2004年12月24日。

^{*1} 正員、大阪大学名誉教授(〒573-0053 枚方市伊賀賀南町2-15)。

[著者略歴] 1940年4月5日生まれ、主として機械工作、特にGFRP等繊維強化複合材料の切削、プラスチックの成形加工、金属切削・研削、ツイストドリルによる穴あけの研究に従事、2004年3月まで大阪大学、現在無所属。

E-mail: hanasaki@mech.eng.osaka-u.ac.jp

時の工具摩耗特性も説明できた。

3. 実験の重要性

ある理論(考え)を実験で証明する場合、その理論がどこまで適用できるかを明確にした上で、証明するための実験は適用範囲内の広い条件で行う必要がある。この意味で、こだわる知識体系ができていない研究活動開始段階で、常識の範囲内では説明できない現象を示す実験に携わったことは幸いだったと考えている。広い条件とは観点を変えた見方と考えることもできる。一つの考えにこだわっていると「精度の高い証明実験」との意識から、無意識のうちに限定された狭い条件で証明実験を行ってしまうこともある。GFRPの切削に関する研究にはかなりの年数をかけ、また議論を行った結果として、「一つの実験で色々な面から現象を見る。一つの考えにこだわりすぎない」を体得することができた。

実験はシミュレーションと異なり、実験条件を間違えてもその実験条件では現実存在する現象を観察できる。そして、結果的に重要な実験結果を得ることもある。また、計画した実験の結果が予想通りにならないことも多い。実験条件を正確に認識して現象を把握することが大切である。金属切削でも一見常識に合わない現象(予想通りでない結果)にいくつも出会っている。

4. 実験結果と常識

ツイストドリルによる穴あけでは、初期に生成される円すいらせん形切りくずは、あけている穴の壁に接触していないと切りくず内の相互干渉以外は無拘束で自由な切りくず生成とされていた。ドリルの形状から主切れ刃外端は内端と比べすくい角が大きく、切削速度は速い。したがって、無拘束円すいらせん形切りくずの外端部は内端部に比べ切削比が大きいことになる。円すいらせん形切りくずの内・外端部の厚さ測定結果はこの考えに合っていた。この円すいらせん形切りくずを縦に二分するニック付きドリルの内側部、外側部切れ刃による円すいらせん形切りくずのピッチは

ニックなしドリルのピッチより大と小にならないなければならないが、両方とも大である。

別のドリル実験で、円すいらせん形切りくずの2ピッチ分の質量、外径、内径、ピッチを測定し、切削幅が切りくず幅に等しいとの仮定のもと、内・外端部の切削比を求めた。比較のため測定した慣用ドリルの円すいらせん形切りくず内端部の切削比は約1.0という大きな値であった。よく観察すると、穴あけ初期の円すいらせん形切りくずはドリル溝の強い拘束を受けている。これはその結果である。この結果から、測定されていた切りくず厚さは、外端部は問題なく通常の誤差の範囲の測定値であるが、内端部はのみ刃部から押し出された部分を測定したもので、測定対象に合わない部分であったと考えられる。円すいらせん形切りくずが拘束を受けているのであれば、ニック付きドリルの切りくず形状は納得できるものである。

主切れ刃近傍のみすくい角を0度にした心厚の厚いドリルで、ねじれたりボン状の切りくずが円すいらせん形切りくずに続いて発生した。この実験結果を基にモデル化した二次元切削実験でも一見常識に合わない結果を得た。狭いすくい面幅のすくい角0度工具による二次元切削で、切りくずのカールを抑制する板をすくい面と平行に設置する。これは切りくずの拘束であるから切りくずの排出を抑制するように見える。切りくず流出速度が遅くなればそれは切削比が小さくなったことである。切りくずカールの抑制を切りくず排出抑制につなげて考えると切削比は小さくなるはずである。しかし、カールの抑制状態によっては切削比が大きくなった。これは切りくずカール抑制によって切りくずが“てこ”の作用でせん断力を刃先部に集中する効果が生じるが、切りくずカール抑制状態によってはこの切りくず“てこ”の作用が切りくず排出抑制効果よりも大きくなるためである。

一見常識に合わない現象というのは、それを説明する論理の展開に飛躍があり、見落としている点があることだと考えられる。このことは「常識を疑え」という言葉につながっているとも考えられる。