

102-20115106 自動車車体修理における超高張力鋼板の切削性研究*

松下 正明¹⁾ 道旗 繁樹²⁾ 出町 孝治³⁾

A Research of Spot Weld drilling Performance for Ultra High Tensile Strength Steel in a Body Repair

Masaaki Matsushita Shigeki Michihata Kouji Demachi

Ultra High Tensile Strength Steel Sheets has been adopted for automobile bodies for the purpose of weight-lightening and collision safety. However, higher strength of the steel sheets makes it more difficult to drill welded spot points. Such inefficient workability increase repair times. This paper reports new knowledge concerning the performance of spot drilling based on the experimental design method.

KEY WORDS: (Standardized) materials, high-tensile steel, repair (Free) Spot Welding, Spot Cutter [F2]

1. 背景と目的

近年、自動車の環境性能に対する高い要求が世界的に求められている。日本においては政府が 2020 年までに 1990 年比で 25%の温室効果ガスの排出量を削減する目標を掲げている⁽¹⁾。このように、温室効果ガス排出量の低減は全世界において重要な課題であり、環境への対策は今後拡大していく傾向にある。

これらの環境性能向上のためには、エンジン高効率化やH V・EV化などのパワートレインの改善と車体の軽量化が燃費向上に大きく影響を及ぼすため、エンジン、サスペンション部品から艤装部品に至るまで様々な部位で構造や材質の変化が多く見られる。近年の軽量化対策として、車体の内板骨格部には 980MPa 級高張力鋼板の採用、ボルト系外板パネルにはアルミニウムの採用が増え始めた。2010 年に発表された新型モデルのうち約 40%の車種に超高張力鋼板が採用され、2007 年以降増加傾向にある。このように、自動車の車体構造においては、軽量・高強度な高張力鋼板の採用拡大が進み、環境性能の向上に寄与すると共に衝突時の衝撃から乗員の安全性を確保するための目的においても、高張力鋼板は重要な役割を果たしている。

しかし、そのような高張力鋼板を採用した自動車が交通事故に遭い、車体の修理が必要になると高張力鋼板の強度の高さが逆に修理性(Reparability)の悪化へとつながる可能性がある。日本の保険データ⁽²⁾によれば、事故車修理の保険金支払額は 1 兆円を優に超えており、その修理性が社会的損失に与える影響は無視できないレベルにあると考えられる。

過去、高張力鋼板のスポット溶接部を正常に切削できている場合の作業時間については調査されている⁽³⁾。しかし、実

*2011 年 5 月 18 日自動車技術会春季学術講演会において発表
1)・2)・3) (株)自研センター(272-0001 千葉県市川市二俣 678-28)

際の高張力鋼板に関わる修理作業を想定した場合、スポットカッタの切削性が早期に低下してしまうと切削時間が増加する。また磨耗したスポットカッタは研磨済のものへ交換しなければならないため、修理性に影響を与える場合があると考えられる。

以上の背景の下、980MPa 級高張力鋼板によるスポット溶接部の切削性低下を改善することを目的とし、この研究で得られた切削性能向上に繋がる刃先形状の知見について報告する。なお、車体修理に用いるハンドドリル作業を前提とし、一般的に車体修理に用いられるハイス材で 2 枚の切れ刃を有す製品を対象とする(超硬材、3 枚以上の切れ刃を有するものを除く)。

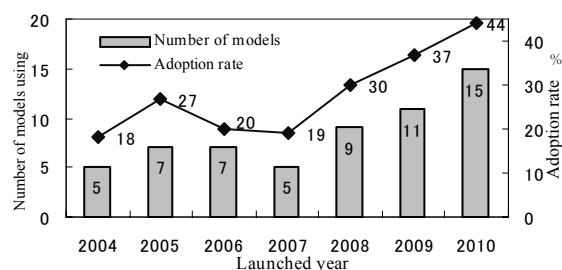


Fig.1 Number of Models in Japanese Car Passenger with High Strength Steel (over 780MPa) in Japan

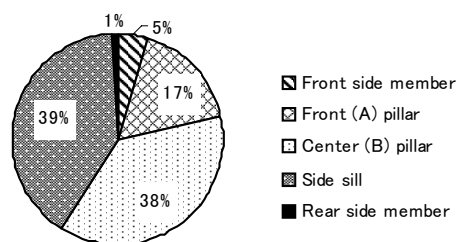


Fig.2 Adoption Ratio of High Strength Steel by Car Body Part

2. 高張力鋼板の採用状況とその修理

2.1. 主な高張力鋼板採用部位

現在、市販されている国産乗用車では、様々な強度の高張力鋼板が骨格部を中心に採用されている。カーメーカ発行のボデー修理書等の公開されている情報を基に、780MPa 級以上の高張力鋼板の採用推移を図1、採用部位を図2にまとめたものである。このように780MPa 級以上の高張力鋼板は、センタピラーやサイドシルなどの客室空間を確保する部位への採用例が多いことが分かる。

2.2. 高張力鋼板採用部位の修理作業

自動車の車体を構成する部品は、溶接で接合される溶接系部品と溶接以外（ボルトなど）で締結されるボルト系部品に分けることができる。前者はサイドメンバ、リヤフェンダ、フロアパンなどの内板骨格部が該当し、後者はバンパラインホースメント、ボンネット、ドアパネルなどが該当する。本報で対象とする溶接部品は、一般的にスポット溶接で接合されている。この部品が衝突により損傷を受けた場合、その程度が小さい場合には板金修正で形状を復元するなどの修理作業が可能であるが、程度が大きくなると部品の取替が必要となり、損傷した部品を取外した後に新品部品を取付けるという作業手順になる。この部品の取替作業においては、図3に示すようにスポット溶接部（ナゲット部）をスポットカッターで円形穴状に切削することで、下板を傷付けずに損傷部品を取外すことができる。通常のドリルは先端が尖った山形形状で貫通穴の加工に適しているのに対し、スポットカッターは先端が水平でローソクのような形状をしている。このスポット溶接部の切削作業において鋼板強度が増すことで切削が困難となり、取外し作業に影響が現れることが多い。また、切れ刃（刃先）が磨耗し切削性能が低下したスポットカッターは図4に示すシャープナーで研磨することで再利用が可能になるが、一般的に強度の高い鋼板であるほど切削性能が早期に悪化し、研磨回数が増加する傾向となる。

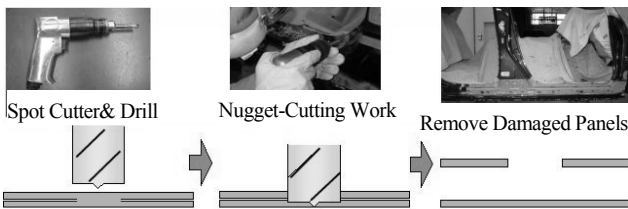


Fig.3 Procedure of Nugget-Cutting Work Using a Spot Cutter to Remove Damaged Panels

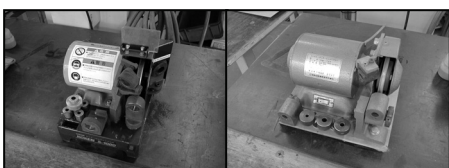


Fig.4 Sharpener of Spot Cutter

3. 市販品のスポットカッター切削性能

3.1. 実験方法

車体の溶接系部品の取外し作業は、スポットカッターを装着したハンドドリルによる手作業で取外される。車体の修理作業においては、作業者の慣れや技量、作業姿勢や腕力などがスポットカッターの切削点数に影響し、切削性能の持続性に関わる要因は複雑且つ多岐にわたると考えられる。そのため、スポットカッターの性能を調査するにあたり切削性能に与える人的要因を排除するため、図5に示すボール盤を用いて980MPa 級高張力鋼板（ビッカース硬さ試験：440HV）の切削性能試験を行った。試験は各作業者の車体修理作業時の加圧力と回転数を予め測定し、その平均値を試験における条件とした。その値を表1に示す。また、スポット溶接部1点当たりの切削時間を15秒以内と定めた。この理由として作業者が25kgの加圧力を15秒以上維持することが体力的に困難なことから、この時間とした。

実験に使用したスポットカッターは、車体修理の溶接系部品取外し用として2010年6月時点で日本において広く市販されている製品を用いた。

3.2. スポットカッターの切削性能試験の調査結果

13製品のスポットカッターの切削性能を調査した。その結果、図6に示すように切削点数にバラツキが認められた。また、一点当たりの切削時間においても時間が短い製品や長い製品があり、同様なバラツキがあった。

鋼板強度の増加は切削性能を悪化させると考えられるが、その他にスポットカッターの刃先形状の違いといった商品固有の特性などが影響を与えたと考えられる。

参考として、440MPa 級高張力鋼板の切削点数は、20点程度の切削が可能でしたが、980MPa 級高張力鋼板と比較すると切削点数が大幅に減少し、作業性が低下したことを確認した。

Table.1 Test Conditions

Cutting pressure	25kg
Revolution	1500r. p. m

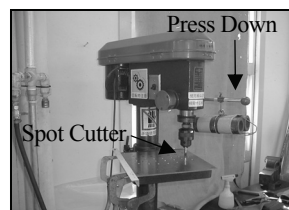


Fig.5 Drilling Machine

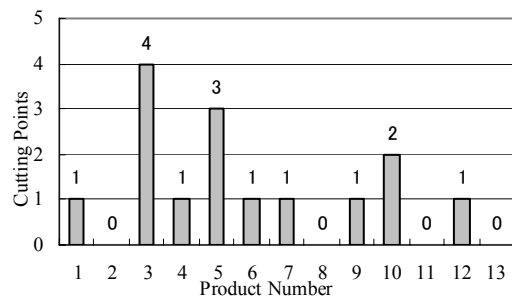


Fig.6 Comparison of the Performance among Tested Spot Cutter

4. スポットカッタの改良

4.1. 影響因子の選択

スポットカッタの先端は図7に示すように、中心部に突起状のチゼル部、水平面に切れ刃部を有する形状である。チゼル部は求心性をもたせラジアル方向のブレを抑え、切れ刃部は下板を傷付けずに上板のみの切削が可能である。

スポット溶接部の切削過程では、チゼル部の切削量は少ないが、切削抵抗の約50%⁽⁴⁾が集中している。したがって図8に示すチゼルエッジ長さを短くすることで、切削抵抗が軽減し寿命および求心性が向上する。このチゼルエッジ長さを短くし、切削抵抗を改善することをシンニングと言う。しかし、シンニングを過度に施すと、チゼル部の強度が減少し早期に磨耗する。ハンドドリル作業では求心性が低下し、スポットカッタ先端に振れが生じる。よって、チゼル部の形状が切削性能に影響を与えると考えられる。

前記3.2.の実験で性能比較したスポットカッタのうち、切削点数が多い3製品の刃先形状(未使用)を測定顕微鏡で測定し、商品固有の刃先仕様を比較調査した。その結果、図8・9・10に示すチゼル角、チゼルエッジ高さ、チゼル径、チゼルエッジ長さに刃先仕様の違いを確認した。だが、チゼル径はチゼル角とチゼルエッジ高さから決まる要素のため、切削性能に影響を与える因子からチゼル径を除いた3項目に絞った。

また、実験に用いるスポットカッタは図6において最も切削点数の多い製品No.3を選定し表2に示す。因子と水準の組

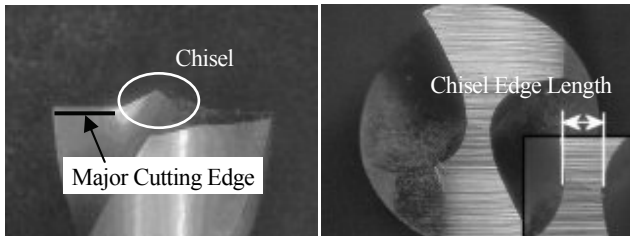


Fig.7 Chisel and Major Cutting Edge Fig.8 Chisel Edge Length

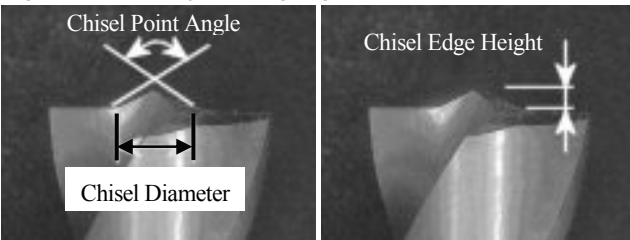


Fig.9 Chisel Point Angle and Chisel Diameter Fig.10 Chisel Edge Height

Table.2 Test Conditions

	Design of Experiments		
	Factor and Level		
	Chisel Point Angle(°)	Chisel Edge Height(mm)	Chisel Edge Length(mm)
Modified Product No.1	100	0.7	0.2
Modified Product No.2	100	1.0	0.5
Modified Product No.3	130	0.7	0.5
Modified Product No.4	130	1.0	0.2

合せとなる試料を作製し、それぞれの切削点数および一点当たりの切削時間を調べた。なお、試料の寸法公差は水準値の±10%以内と定めた。

4.2. 実験結果

実験は前記3.1.と同様にボール盤を用いて、同条件(980MPa級高張力鋼板:440HV,加圧力25kg,回転数1500r.p.m,スポット溶接部一点当たりの切削時間を15秒以内)で実施した。

実験結果を表3に示し、分散分析表を表4に示す。チゼル角およびチゼル高さが影響度の高い因子であることを確認した。また、切削点数と一点当たりの切削時間の測定結果を図11に示す。この実験計画法による刃先形状の性能比較では、チゼル角を広く(修正品No.3,4)することが、切削点数の向上(約7倍)と一点当たりの切削時間の短縮(1/2)が図れたことが判る。さらに切削時間も安定した結果であった。

4.3. 他条件への適用

もっとも切削性能が高かった修正品No.4仕様を用い他メーカーのスポットカッタおよび実車作業を想定したハンドドリル作業についても同様な効果の有無を確認した。

他メーカーのスポットカッタの結果を図12,ハンドドリル作業の結果を図13に示す。この結果からチゼル角を広くする効果は、製品や作業条件が異なっても切削点数の改善に有効であることも確認した。

Table.3 Number of Maximum Cut Points by Each Tested Drill

	First	Second	Third	Average
Modified Product No.1	0	0	0	0
Modified Product No.2	4	12	7	7.7
Modified Product No.3	13	21	13	15.7
Modified Product No.4	22	25	19	22.0

Table.4 Analysis of Variance Table

	Chisel Point Angle	Chisel Edge Height	Chisel Edge Length	Repeat	Error
Sum of squares	675	147	1.3	60	33.2
Degrees of freedom	1	1	1	2	6
Mean square	675	147	1.3	30.1	5.53
Fo	122.1**	26.6**	0.2	—	—

** 1% Significance Level

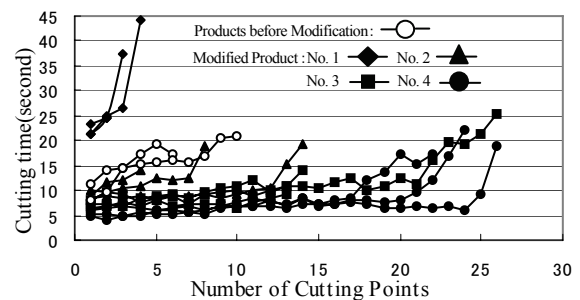


Fig.11 Relationship between Number of Cutting Points and Cutting Time

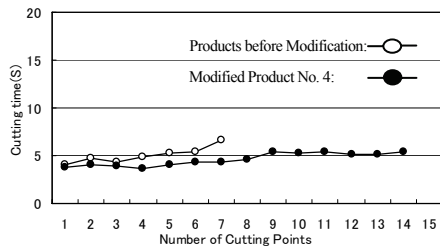


Fig. 12 Number of Maximum Cut Points other Product Using Drilling Machine

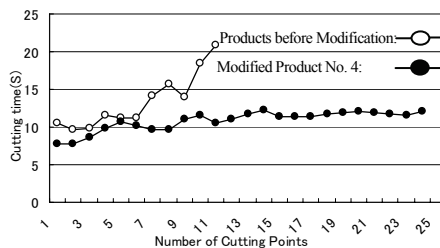


Fig. 13 Number of Maximum Cut Points Using the Hand Drill

5. 考 察

前節でも述べたが、ドリルは切削抵抗の約半分をチゼル部が受けていると言われている。その抵抗を軽減するためにシンニングの加工を施しチゼル部の抵抗を低減⁽⁴⁾させている。また、スポットカッタも同様にチゼル部にシンニング加工を施して低減を図っているが、980MPa級高張力鋼板の切削ではスポット溶接部の硬度が高くシンニング加工だけでは期待される効果が得られなかった。現に切れなくなったスポットカッタの症状として“チゼル部の切れ込みは良いが、切れ刃が接触し始めると異音が発生し切削スピードが激減する”ことを切削点数調査の実験から確認した。

図14に示す通常のドリルは切れ刃部が直線的な山形の刃で切削抵抗の変化が少ないのに対し、スポットカッタは求心性をもたせた位置決め用のチゼル（先端）部と切れ刃部の交点には図15に示す角度変化がある。その角度変化部に切削抵抗が集中し、図16に示す刃先が早期に磨耗したことで切削が不能に至ったと判断した。

このことからチゼル角を広くすることは切れ刃の切削抵抗の集中を抑えることができ、切削点数が向上したものと推測する。

6. まとめ

980MPa級高張力鋼板によるスポット溶接部の切削性改善を目的とし、スポットカッタの切削性研究を実施した。その結果、以下の知見が得られた。

- チゼル角を広く(130°)することで、切削点数の向上に繋がった。

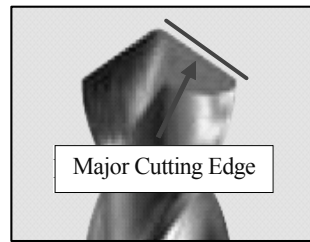


Fig. 14 Major Cutting Edge of Drill

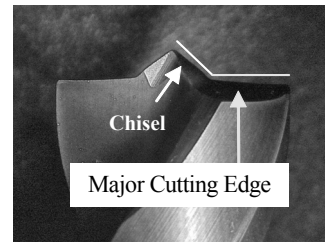


Fig. 15 Changed Angle

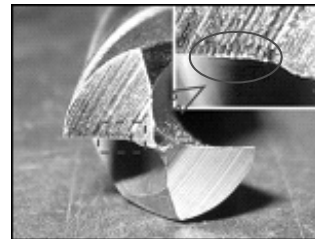


Fig. 16 Worn Phase of Major Cutting Edge

- チゼル角を広く(130°)することで、修正前品（メーカー提供状態）のスポットカッタに比べ切削点数が約7倍増加し、切削時間が約1/2に減少することを確認した。参考として、980MPa級高張力鋼板のスポット溶接部では、一点当たりの作業時間が43秒から10秒に短縮し、約75%の削減となった。
- 以上より、チゼル角は切削性能に影響を与える大きな因子であると推測される。

本研究では、スポットカッタの刃先形状を任意の寸法に調整が可能な特殊な研磨機を用いたことで、仕様の異なるサンプルを作製することができた。しかし、自動車車体整備業界に普及している研磨機は調整機能を持たず、刃先形状が一様な仕様となる。今後の検討課題として、車体整備業界に普及している研磨機において、刃先形状の仕様変更の可否およびその効果の有無について確認することが重要である。また、効果的なチゼル角の範囲についても明確にする必要があると考える。

参 考 文 献

- http://www.marklines.com/ja/, 自動車情報プラットフォーム, マークラインズ株式会社 (参照 2010/05/25)
- 自動車保険の概況 平成 21 年度 (平成 20 年度データ), 損害保険料率算出機構, 2010.
- 藤田光伸, 池田浩和: 自動車車体修理における高張力鋼板の修理性調査, 自動車技術会前刷集, No. 157-10, p. 5-8(2010)
- ドリル・リーマ加工マニュアル (株) 大河出版