

テーラードブランク材の成形に関する研究（第3報）
溶接ビード条件が深絞り成形性に与える影響と FEM 解析

森下勇樹，安部重毅，釜屋昭彦

Study of forming for Tailored-Blanks (3rdReport)
Effects of weld bead conditions for deep drawability and FEM analysis

MORISHITA Yuki, ABE Shigeki, and KAMAYA Akihiko

The application of tailored blanks to autobody parts has been developed rapidly. However, it is known that formability of tailored blanks is inferior to that of one sheet. In this paper, change in the limiting drawing ratio (LDR) of deep drawability on tailored blank were examined experimentally as a function of weld bead location in cylindrical and square shell deep drawing. In addition, press simulation analysis for different strength tailored blank was analyzed tailored blank model were composed high tensile, mild steel, and weld bead. Considered location of weld bead in tailored blank, it is possible to form as well as one sheet. It is necessary to take a mechanical properties and size factor of the weld bead to obtain high precision result from press simulation.

キーワード：テーラードブランク材，TIG 溶接，深絞り成形，LDR，DR，FEM

1 緒 言

自動車車体へのテーラードブランク(以下TBと略称)技術の適用は急速に普及している。TB技術の溶接方法はレーザー溶接，マッシュシーム溶接が主流であるが，中小企業では多大な設備費が必要なことから導入は困難である。本研究では汎用性の高いTIG溶接法でTB化を検討し，板面内の溶接ビード条件が深絞り成形性に与える影響を検討した。過去のTB材の研究報告^{1) 2) 3)}では薄板の基礎成形試験で成形性を評価しているが，各種TB材の溶接ビード位置は金型の中心位置で，複雑な形状を有する自動車部品のように，溶接ビードがダイフェースの任意の位置で成形性を評価した研究報告例はごくわずかである。本研究ではTIG，レーザー，マッシュシーム溶接したTB材の引張特性を比較し，同材質TB材では円筒・角筒成形により溶接ビード位置が深絞り成形性の限界絞り比(LDR)に与える影響を検討した。異材質TB材の円筒絞り成形では高張力鋼板，冷間圧延鋼板，および溶接ビードの変形特性について調査し，さらに動的陽解法にもとづくFEM解析(PAM-STAMP)を実施し，溶接ビードの物性およびビード幅を考慮した解析を行い，実成形との成形精度を比較検討した。

2 実験方法

表1にTB材に使用した冷間圧延鋼板SPCC270MPa級，自動車用加工性冷間圧延高張力鋼板SPFC590MPa級，および自動車プレス材料であるAl5182の機械的性質を示す。表2にブランクの組合せとTIG溶接条件^{4) 5)}を示す。ブランクの組合せは純粹に溶接ビードの存在と溶接ビード位置がTB材のLDRに及ぼす影響と，素板のLDRとを比較するため同材質同厚材を接合し，異材質TB材については引張強さの強度比が約2倍のSPFCとSPCCを接合した。表3と図1は円筒・角筒成形の金型形状とダイフェース上の溶接ビードの配置状態を示す。金型中心位置から溶接ビードまでの距離をLとして10mmピッチごとに移動させ，その都度深絞り成形を行った。なお，しわ押え力は40kNである。

表1 板材の機械的性質

板材	板厚 (mm)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	n 値	r 値
SPCC	0.8	330	45	0.19	1.63
SPFC	0.8	576	29	0.19	0.97
SPCC	1.0	296	51	0.24	1.51
Al5182	1.0	279	29	0.29	0.77

表2 ブランク材のTIG溶接条件

TB材	ブランクの組合せ	溶接電源	電流 (A)	溶接速度 (m/min)
同材質	SPCC t1.0	DSPC	280	2.4
	Al5182 t1.0	AC	120	1.0
異材質	SPCC t0.8 -SPFC t0.8	DSPC	200	2.4

表3 円筒成形・角筒成形の金型開状

深絞り形状・大きさ (mm)		円筒成形	角筒成形
パンチ	サイズ	100	100
	パンチ肩R	8	8
	コーナR		20
ダイ	サイズ	102.6	102.6
	ダイ肩R	8	8
	コーナR		21.3

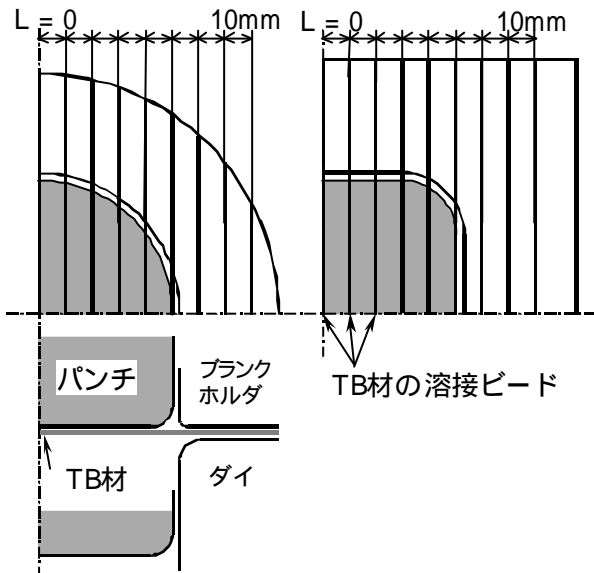


図1 深絞り用金型形状とTB材の溶接ビード配置状態

3 実験結果と考察

3.1 TIG溶接したTB材の引張特性

図2はTIG溶接したTB材を溶接ビードと平行方向と垂直方向の2方向で引張試験を行い、母材およびレーザ溶接とマッシュシーム溶接したTB材の引張強さと伸びを比較した^{1) 2) 3)}。図2(a)に示すSPCCのTB材の引張強さは2方向とも母材より高い値を示したが、伸びは著しく低下し平行方向では母材の1/2程度で延性に乏しい結果となった。溶接方法の違いによる比較では、TIG溶

接の平行方向の引張強さはレーザ、マッシュシーム溶接より30~40MPa程度高く、垂直方向の引張強さは同程度の結果となった。TIG溶接の伸びは母材と比べて著しく低下するが、レーザ、マッシュシーム溶接の場合は若干低下する程度である。溶接断面の光学顕微鏡組織観察と図3のビッカース硬さ試験^{2) 3) 4)}よりTB材の引張特性は、溶接ビードの硬化現象、ビード幅、および引張方向に大きく依存すると考えられる。図2(b)はAl5182のTB材の引張特性である。母材はO材であるため溶接後も引張強さは2方向とも強度変化は生じていないが、溶接ビードと垂直方向の伸びは歪が溶接部または熱影響部に集中するため著しく低下し延性の乏しさが問題となる。

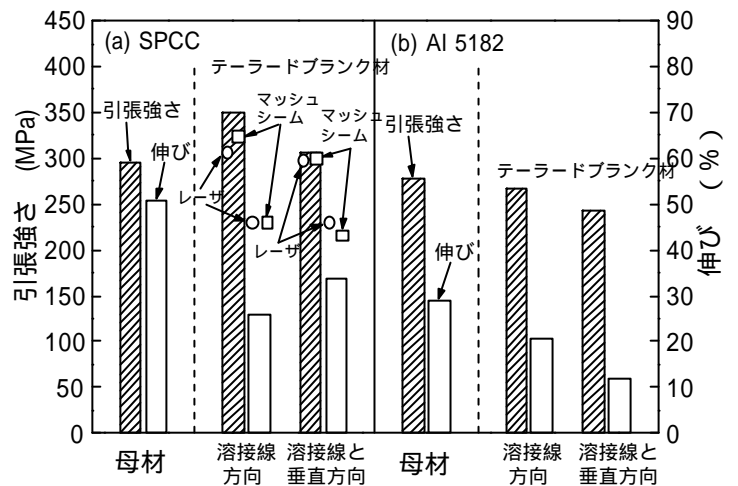


図2 TIG溶接したTB材の引張特性

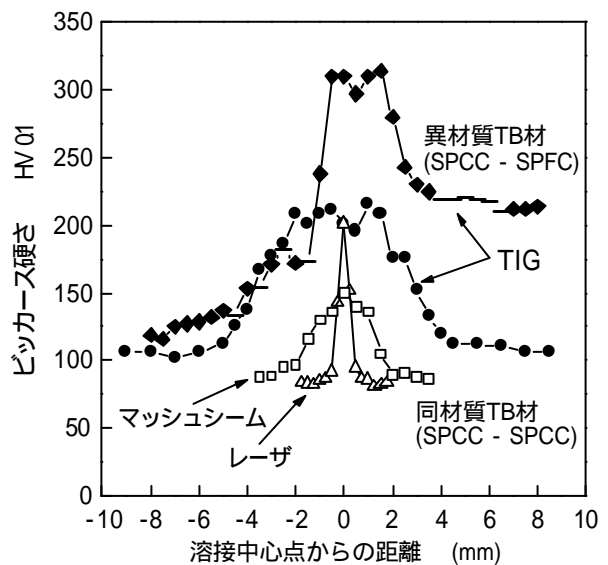


図3 溶接部の硬さ分布

3.2 溶接ビード位置が LDR に及ぼす影響

同材質 TB 材の円筒・角筒成形による深絞り成形性について、溶接ビード位置が LDR に及ぼす影響を図 4, 5 に示し、各成形パネルとその破断様式を図 6, 7 に示す。L=0~20mm, すなわち溶接ビードが金型中心付近の時、LDR はほとんど変化していないが、L=50mm, すなわち溶接ビードがダイ R 付近では顕著に LDR が変化する。図 4 の円筒絞り成形の L=0, 10mm では SPCC, AI とも素板の LDR と比較して 0.05 だけ低下した。AI は L が増加すると単調に LDR は減少するが、SPCC は L=40, 50mm では素板と同じ LDR を示した。図 6 に示すように L=50mm のとき溶接ビードの流入は完全に軸方向ではなく周方向にも流入する。ポンチ肩部のビードに与えられる歪は L=0mm の時のように完全な溶接ビード方向ではなく、歪みはポンチ底の母材と側壁の母材に分

散したため破断に至らなかったと考えられる。L=60mm では、溶接ビードは完全にダイフェース上でブランクホールドされるため、溶接ビードには周方向への圧縮応力が作用し、絞りに対して大きな変形抵抗となり、LDR を減少させたものと考えられる。

角筒成形の場合、SPCC AI の TB 材ともに L=0~20mm まで素板と同じ LDR を維持する。L が増加すると SPCC, AI ともに LDR は減少しはじめ、AI の L=50mm ではほとんど絞ることができない。SPCC は L=60mm の時、絞り比(DR) 2.00 で壁割れが発生し、DR1.95 の極小値を示した後、回復する傾向を示す。L=0~20mm, すなわち溶接ビードが角筒直辺部に位置するとき、溶接ビードの変形様式は絞り方向への単なる曲げ・曲げ戻し変形だけで複雑な変形を伴わない。しかし L=30mm では溶接ビードは角筒コーナ部に位置す

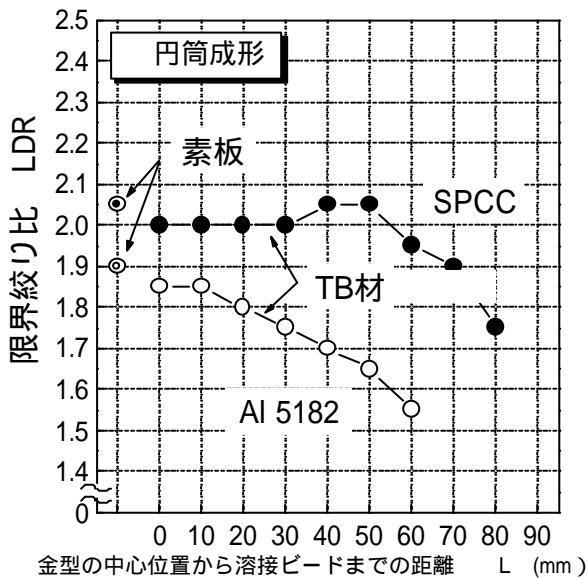


図 4 円筒成形による溶接ビード位置が LDR に及ぼす影響

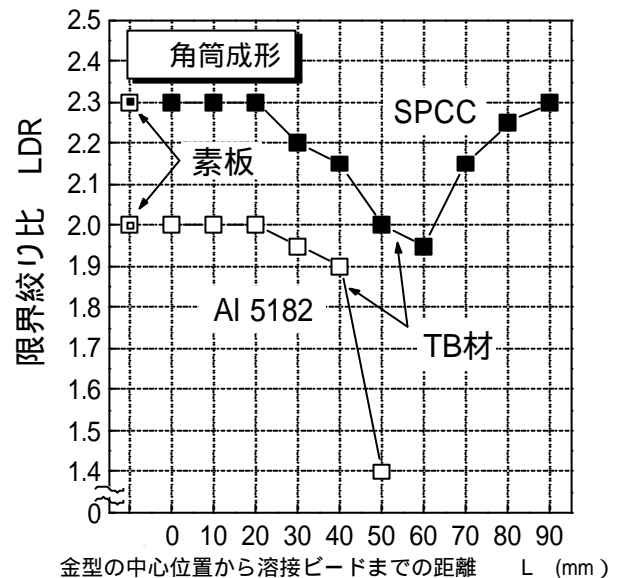


図 5 角筒成形による溶接ビード位置が LDR に及ぼす影響

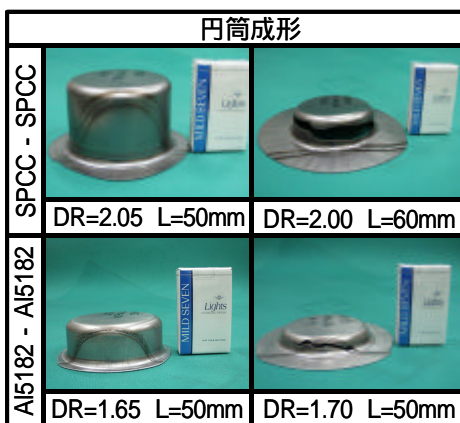


図 6 円筒成形パネルと破断様式

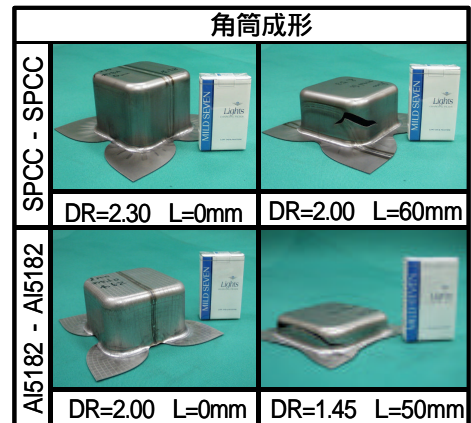


図 7 角筒成形パネルと破断様式

る。従ってコーナ部での材料流入には速度差によるせん断変形が加わり、溶接ビードあるいは溶接ビード周辺の母材には絞り応力のほかにせん断応力が作用していると考えられ、LDRを減少させる、あるいは成形後期のコーナ部に壁割れが発生すると考えられる。AIについても同様な傾向を示し、LDRの減少はSPCCと同様にL 30mmで生じる。

3.3 異材質 TB 材の変形特性

図8はSPFCとSPCCを接合した異材質TB材の円筒深絞り成形によるフランジ部の変形形状と、PAM-STAMPによるシミュレーション解析結果を比較する。解析は図9に示すようにSPCC、SPFC、および幅5mm平行部長さ60mmに切り出した溶接ビードについて引張試験を行い、真応力-真ひずみ線図に変換し、スイフトの式から表4に示すパラメータを作成して計算した。異材質TB材は素板の時と大きく異なりフランジ形状はいびつである。SPFCのフランジがSPCC側へ材料流入する量はポンチストロークに伴い増加し、ポンチストローク48mmの時、周方向への溶接ビード変位量は約9mmに達した。溶接ビード自体は高強度・低延性のためSPFC、SPCCを絞り方向に引張り込んだ形状となった。その傾向はシミュレーションによる解析結果からも分かる。また解析で溶接ビードの材料物性と幅を全く無視した場合についても検討したところ実成形と大きく結果は異なり、TB材に存在する溶接ビードの材料物性とビード幅の設定が解析結果に与える影響は大きいことが分かった。

4 結 言

TB技術にTIG溶接法を適用しTB材の溶接ビード条件が深絞り成形性やシミュレーション解析結果に及ぼす影響について検討し、次のことを確認した。

(1) TIG溶接したTB材の引張特性は溶接ビードの硬化現象、硬化幅、および引張方向に大きく依存する。(2) TIG溶接したTB材は溶接ビード位置を十分考慮すれば素板と同じLDRを得ることも可能である。(3) TB材のシミュレーション解析で精度の良い計算結果を得るためには溶接ビードの物性と幅を材料モデルに取り入れることが必要である。

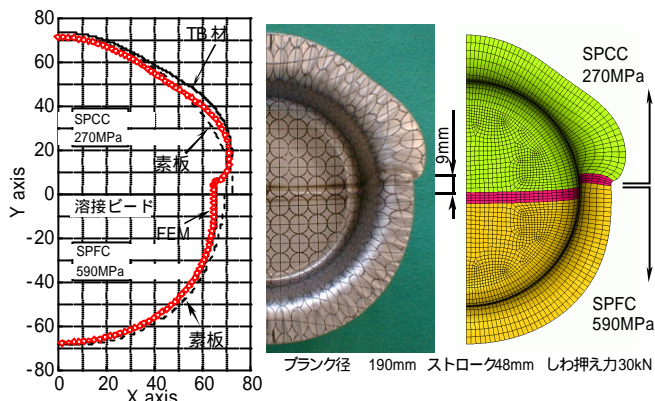


図8 異材質TB材の円筒成形によるフランジ変形形状とシミュレーション計算結果

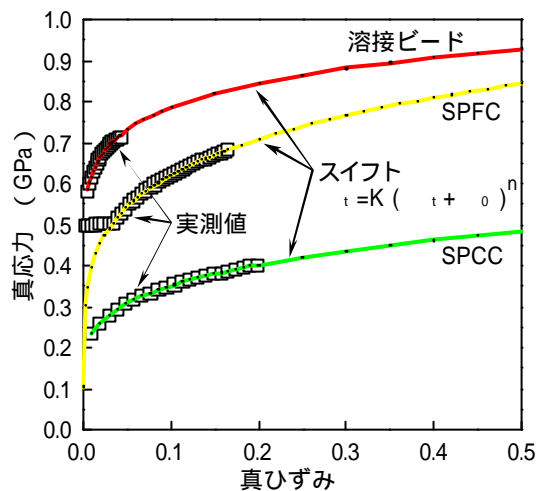


図9 SPCC、SPFC、および溶接ビードの真応力-真ひずみ線図

表4 シミュレーションパラメータ

モデル	SPCC	SPFC	溶接ビード
密度 (kg/mm ³)	7.8 × 10 ⁻⁶	7.8 × 10 ⁻⁶	7.8 × 10 ⁻⁶
ヤング率 (GPa)	206	206	206
ポアソン比	0.3	0.3	0.3
“K” (GPa)	0.5544	図9を参照	0.9995
“ε ₀ ”	4.042 × 10 ⁻⁴		10 ⁻⁶
“n”	0.2017		0.1046
r 0deg	1.706	0.821	0.325
r 45deg	1.443	1.037	
r 90deg	1.942	0.968	
摩擦係数	0.144	0.144	0.144

文 献

- 1) 池本公一：塑性と加工, **32**-370(1991), 1383.
- 2) 定村一洋：塑性と加工, **34**-391(1993), 917.
- 3) 夏目文章：塑性と加工, **38**-432(1997), 45.
- 4) 畑 徳宣, 森下勇樹：広島県西部工技研究報告, No.42 (1999), 9
- 5) 森下勇樹, 畑 徳宣, 釜屋昭彦：広島県西部工技研究報告, No.43 (2000), 9