

近年、自動車ボディは軽量化のため高強度または軽量な材料を適材適所に用いるマルチマテリアル化が進められている。マルチマテリアル化されたボディでは異なる金属同士を接合する必要があるが、この接合方法として機械的接合(Self Piercing Rivet(SPR)、Flow Drill Screw(FDS[®])など)が多く用いられている。本稿では前報¹⁾に続き、機械的接合部に関連したCAE技術を紹介する。

一般に自動車の衝突CAEは計算コスト低減のため、ボディ全体はシェル要素、点接合部(スポット溶接やSPRなど)はビーム要素や簡易化したソリッド要素が用いられている。その材料特性としては剛性や破断特性を入力できるモデルが開発され、汎用CAEソフトに実装されている²⁾。この材料モデルのパラメータを求めるためには接合部の強度特性を取得する必要があるが、一般的な強度試験の他にU字型試験片による強度試験が提案されている³⁾。

本稿ではSPR接合部に対して一般的な接合部の強度試験とU字型試験片による強度試験での変形挙動を比較し、U字型試験片の特徴を確認した。また実部品を想定した多点接合試験体⁴⁾による強度試験とFEMを行い、簡易モデルを用いたFEM精度の確認を行った。



技術本部
計算科学センター
なかしま しんご
中島 伸吾

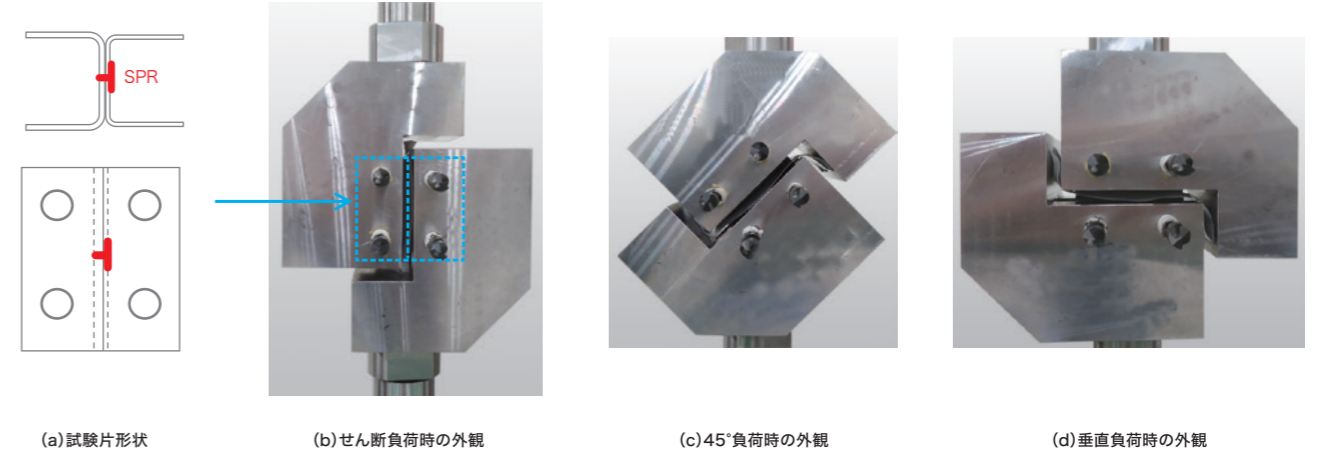


技術本部
計算科学センター
ゆきしげ りょうへい
幸重 良平

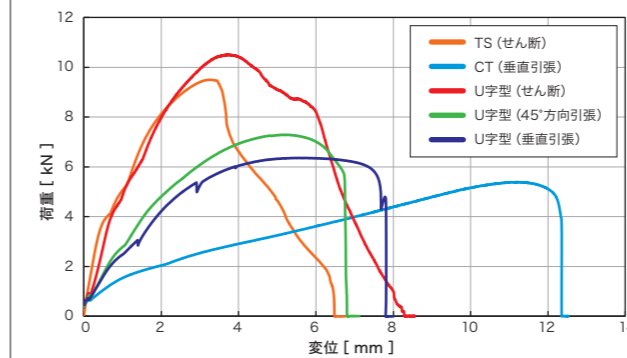


技術本部
材料ソリューション事業部
材料評価技術部
はらだ のりひさ
原田 典恒

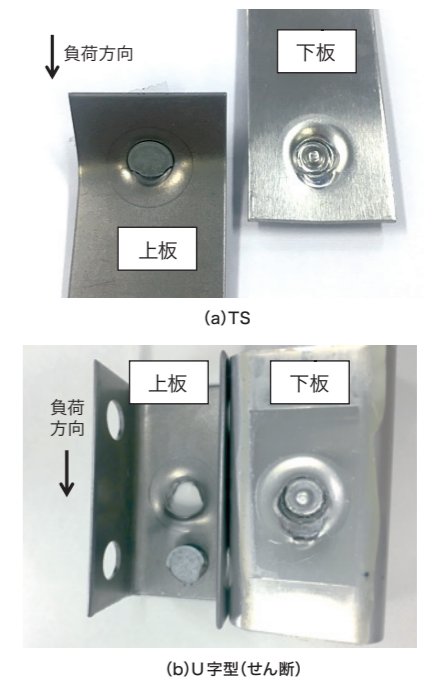
第3図 U字型試験片形状および治具取付時の外観



第4図 各種継手の荷重変位線図



第5図 試験後の試験片外観

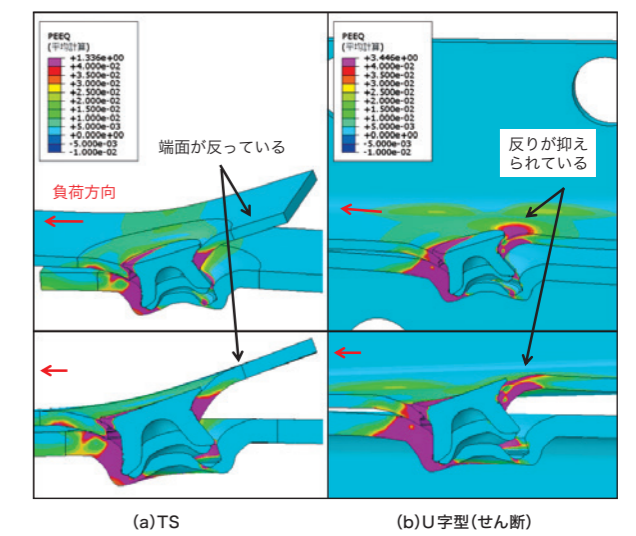


1.3 強度試験結果

各種強度試験結果のうち荷重変位線図を第4図に示す。接合部の破断形態はいずれも下板からSPRが抜けている(第5図参照)。TSとU字型(せん断)の荷重変位線図を比較するとU字型の方が強度が高い。またCTとU字型(垂直引張)のそれを比較するとU字型の方が強度が高く、最大変位量が小さい。この違いは変形状態が異なるためと考えられた。

次に、TS、U字型(せん断)試験に対してFEM(静的応力解析:3次元ソリッド要素)を行い、変形挙動の比較を行った。最大荷重付近での接合部の変形および相当塑性ひずみ分布図を第6図に示す。TSでは上板の端面が大きく反る変形を示す一方、U字型では上板の反りが抑えられている。またTSとU字型では上板の相当塑性ひずみ分布に差があることが分かる。試験初期には両者ともSPRにせん断負荷を与えているが、上板の塑性変形が進むに従いSPR接合部への力のかかり方に差が表れたと考えられる。

第6図 せん断試験のFEM 相当塑性ひずみ分布図



E-1 SPR 接合部の強度評価

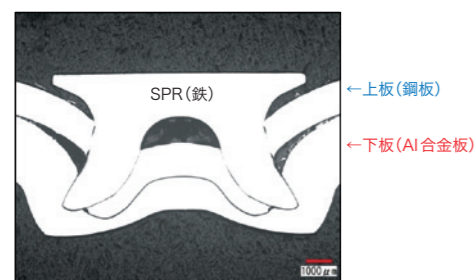
1.1 概要

スポット溶接やSPR接合などの点接合部の強度評価として、引張せん断継手(以下、TS)、十字継手(以下、CT)、L字継手(以下、LT)を用いた引張試験法が知られている。これらはせん断強度、垂直引張強度、剥離強度を求める代表的な試験法である。ここではSPR接合した上記TS、CT、LTの試験片およびU字型の試験片を作成して各種強度試験を行い、強度特性の取得と変形挙動の比較を行った。また多点接合した継手試験体を作成し、せん断試験を行った。

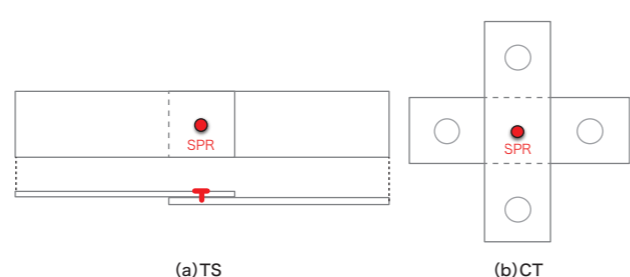
1.2 強度試験方法

今回作成したSPR接合部の断面形状を第1図に示す。上板は590MPa級鋼板(t1.2mm)、下板は6000系Al合金板(t2.0mm)を用いた。TS、CTの試験片形状を第2図、U字型試験片形状および試験外観を第3図に示す。U字型試験片は同じ治具により0°(せん断)、45°、90°(垂直引張)の3方向に負荷を与えた。

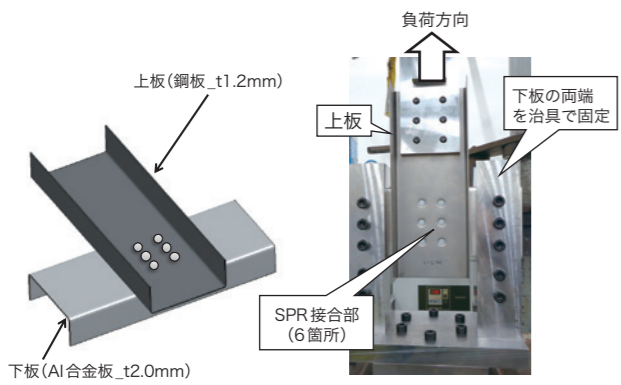
第1図 SPR接合部断面形状



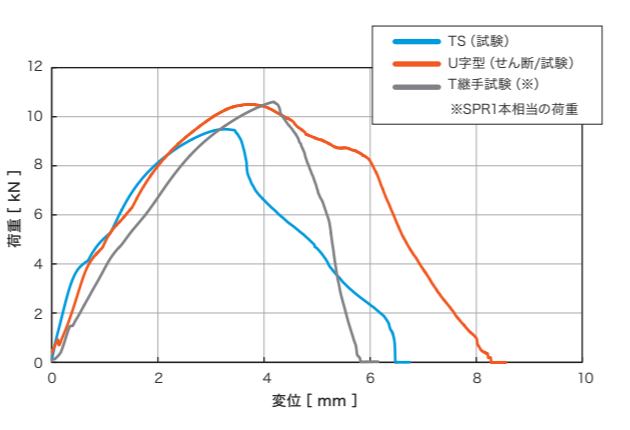
第2図 TS、CTの試験片形状



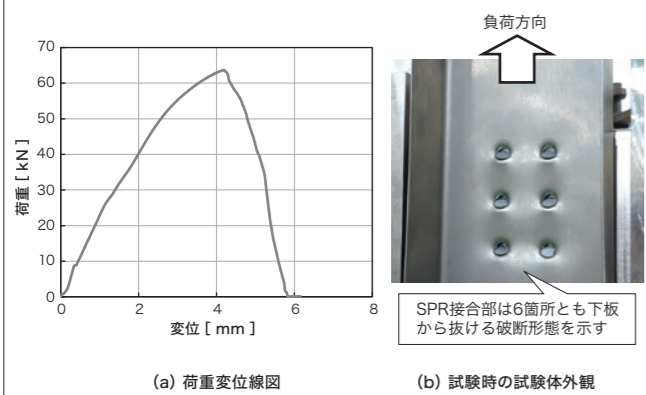
第7図 T字継手試験体の外観図



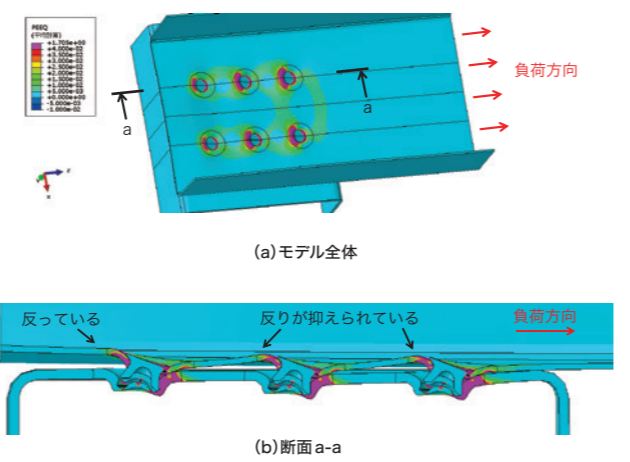
第9図 荷重変位線図の比較図



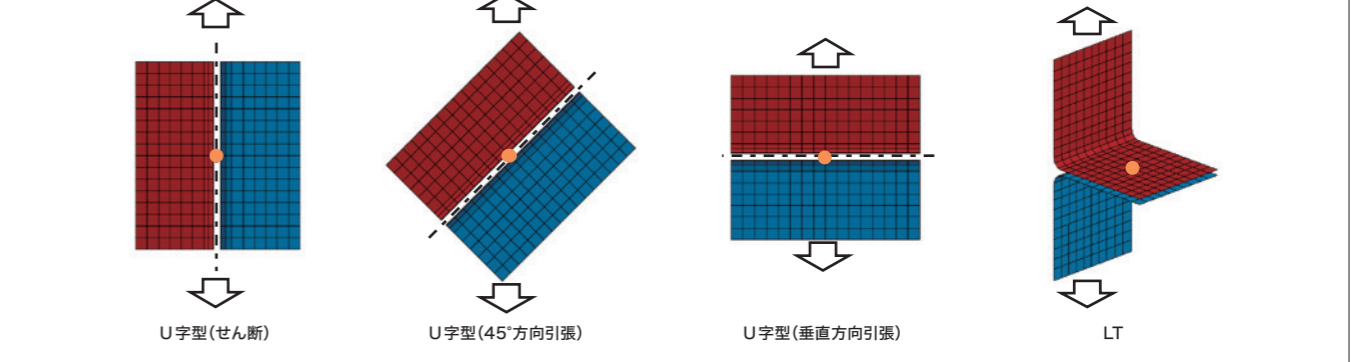
第8図 荷重変位線図および試験時の試験体外観



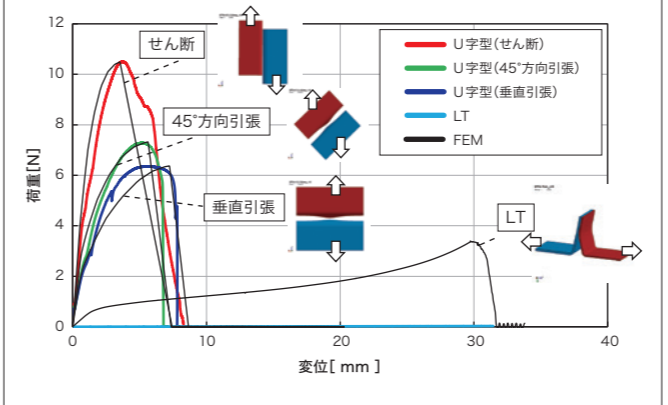
第10図 T継手試験体のFEM 相当塑性ひずみ分布図



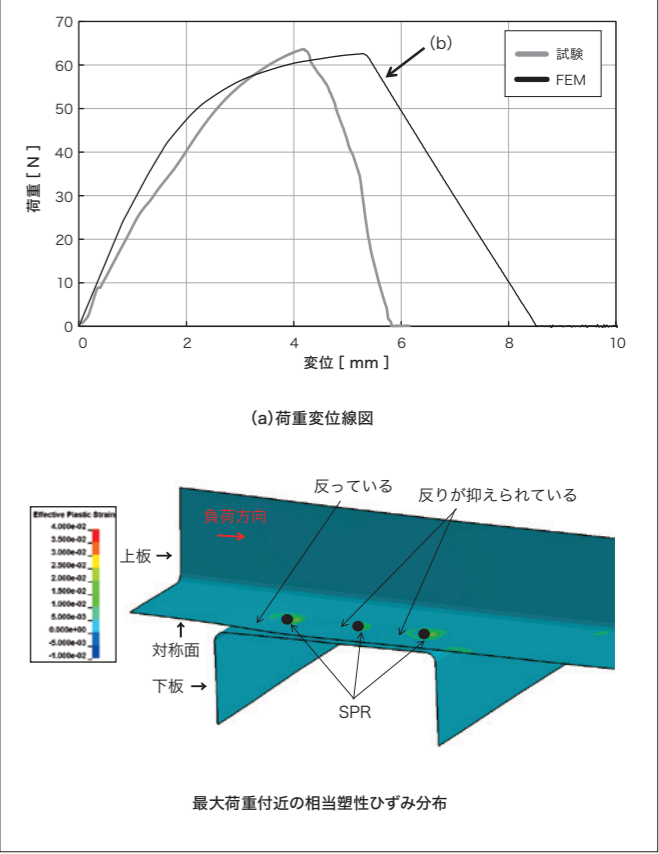
第11図 FEMモデル図



第12図 “SPR4”モデルによるパラメータ同定結果



第13図 T継手試験のFEM “SPR4”モデルの検証結果



1.4 T字継手試験体のせん断試験

実部品を想定した多点接合部を有する試験体として、コ字型断面を持つ上板と下板をT字状に重ね、SPR6本で接合した継手試験体(以下、T字継手試験体)を作成した(第7図)。このT字継手試験体に対し、下板の両端を固定、上板を軸方向に引張り、せん断負荷を与えた。

試験結果のうち荷重変位線図と変形後の試験体外観を第8図に示す。最大荷重は約60,000N、SPR接合部は6か所ともSPRが下板から抜ける傾向を示した。SPR1本あたりの荷重と変位量

の関係とTS、U字型試験結果と比較した(第9図参照)。第9図より、T字継手の最大荷重およびその時の変位量はU字型(せん断)とほぼ同じであることがわかる。

次に、T継手試験体に対するFEM(静的応力解析：3次元ソリッド要素)を行った。最大荷重付近のSPR接合部の変形状態を第10図に示す。第10図(b)より、SPR接合部はU字型と同様に上板の反りが抑えられた変形状態を示し、また塑性ひずみはU字型に近い分布となっている。

このことからTSよりもU字型が実部品の接合部のせん断変形挙動を再現していることが確認できた。

2.3 簡易モデルを用いたT字継手試験体のFEM

2.2節でフィッティングしたモデルパラメータを用いてT字継手試験体のFEM(動的応力解析：シェル要素)を行った。得られた荷重変位線図と最大荷重時の相当塑性ひずみ分布図を第13図に示す。第13図(a)より最大荷重や最大荷重時の変位量は試験とFEMではほぼ一致しており、それ以降の挙動もほぼ再現できている。上板の相当塑性ひずみ分布を第10図と比較するとひずみ量が小さくなっているが、上板に用いた要素(第10図：ソリッド要素、第13図(b)：シェル要素)および要素サイズ(第10図：0.15mm、第13図(b)：2mm)の違いによるものと考えられる。

以上のことからU字型試験片およびLT試験片の引張試験を基に接合部の簡易モデルのパラメータを求めることで、T字継手の静的強度試験を精度よく再現できることが確認できた。最大荷重値や吸収エネルギー量を評価する静的強度や衝突CAEでは簡易モデルを用いることで計算コストを抑えつつ、十分な結果が得られるものと思われる。

E-2 FEMにおけるSPRの簡易モデル

2.1 概要

ここではSPR接合部の簡易モデル化として、LS-DYNAの*CONSTRAINED_INTERPOLATION_SPOTWELD, MODEL=2("SPR4")²⁾を対象に、1.3節で行った各種強度試験の結果からモデルパラメータを求め、T継手試験体のせん断試験のFEMを行った。

2.2 SPRの簡易モデル

SPR4モデルは、せん断や垂直引張など様々な方向に対する見かけの降伏挙動や損傷挙動をモデル化できる。モデルパラメータは、U字型試験片とLT試験片の試験に対するFEMを行い、試験結果を再現するようフィッティングした。各試験片のFEMモデルを第11図に、試験結果の荷重変位線図の比較を第12図に示す。

参考文献 *1) 清水ら：こべるにくす, Vol.26(2017)No.48, P9
*2) 株式会社JSOL: LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL VOLUME I
*3) R. Porcaro et al.: Int. J. of solids and Structures., Vol.43(2006), P5110
*4) N.-H.Hoang et al.: Int. J. of solids and Structures., Vol.49(2012), P3211