

軽量化のためのアルミ合金と高張力鋼板の接合

板材	引張強さMPa	比重	比強度MPa	融点℃
アルミ合金板 A5052	260	2.7	96	600
高張力鋼板 SPFC590	590	7.8	76	1500
超高張力鋼板 SPFC980	980	7.8	125	1500
軟鋼板	270	7.8	35	1500

アルミニウム合金板の部分採用化

高張力鋼板とアルミニウム合金の複合化

溶接が困難

塑性接合

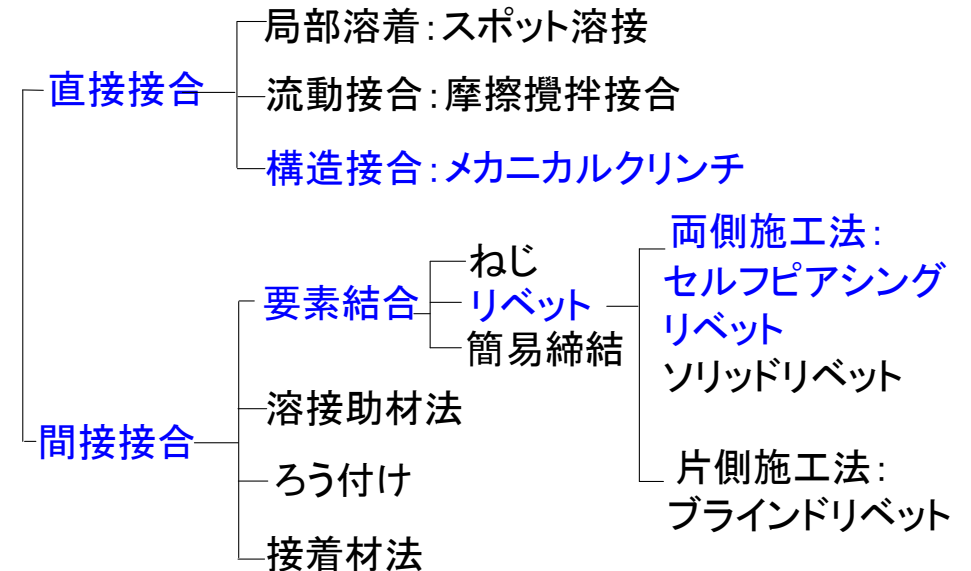
高張力鋼板とアルミニウム合金板の異種金属塑性接合

- 安部 洋平(豊橋技術科学大学)
- 加藤 亨(ポップリベットファスナー)
- 森 謙一郎(豊橋技術科学大学)

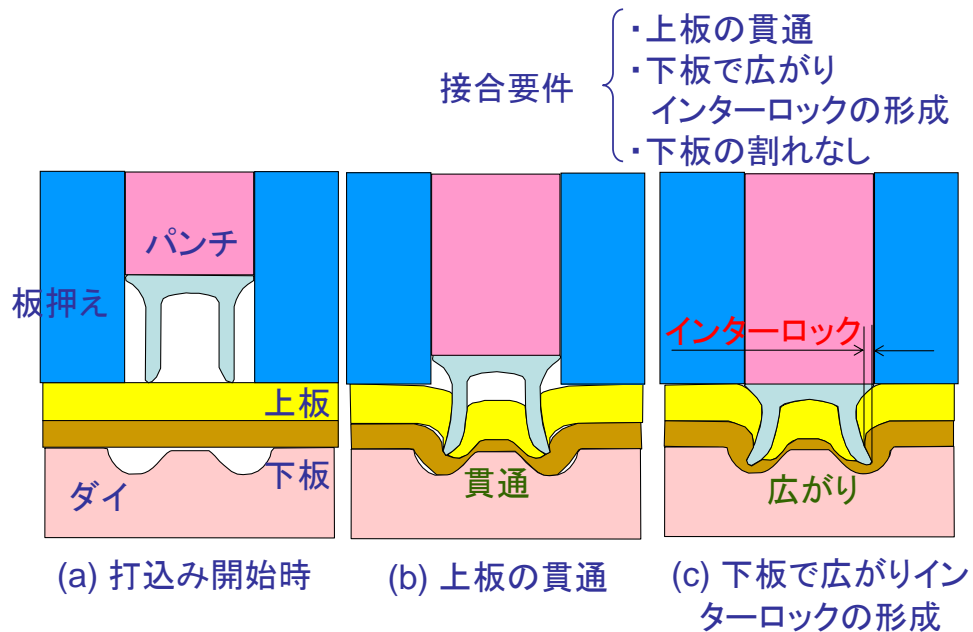
目次

1. セルフピアシングリベットによる接合
  - 1.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 1.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 1.3 接合強度
  - 1.4 多層板接合
2. メカニカルクリンチによる接合
  - 2.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 2.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 2.3 接合強度

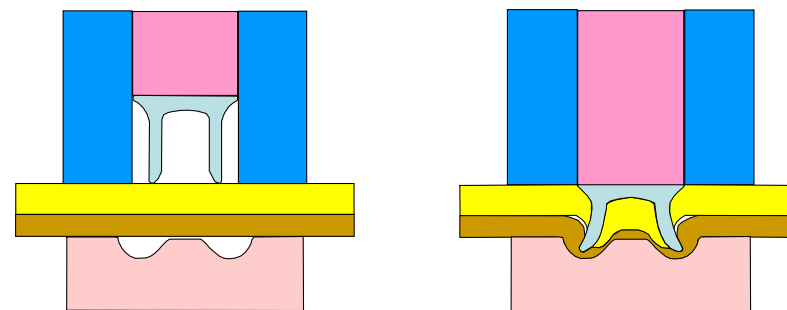
接合法の分類



## セルフピアシングリベットによる接合

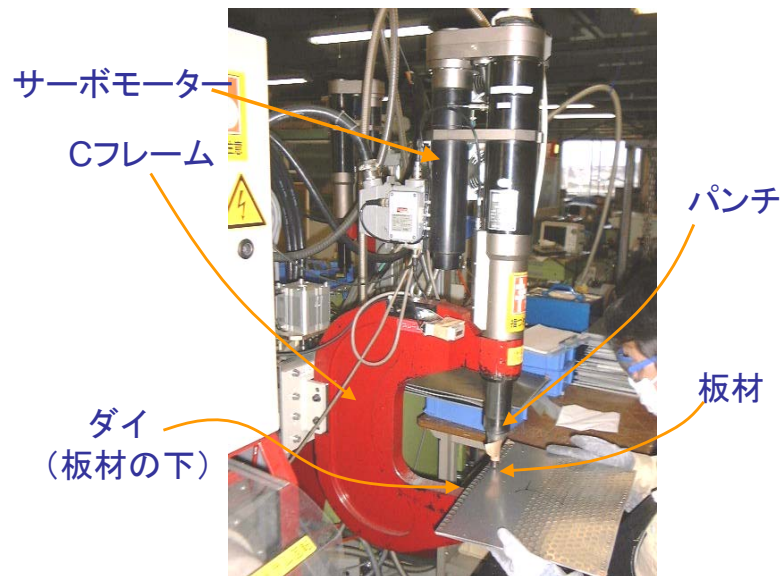


## セルフピアシングリベットの特徵

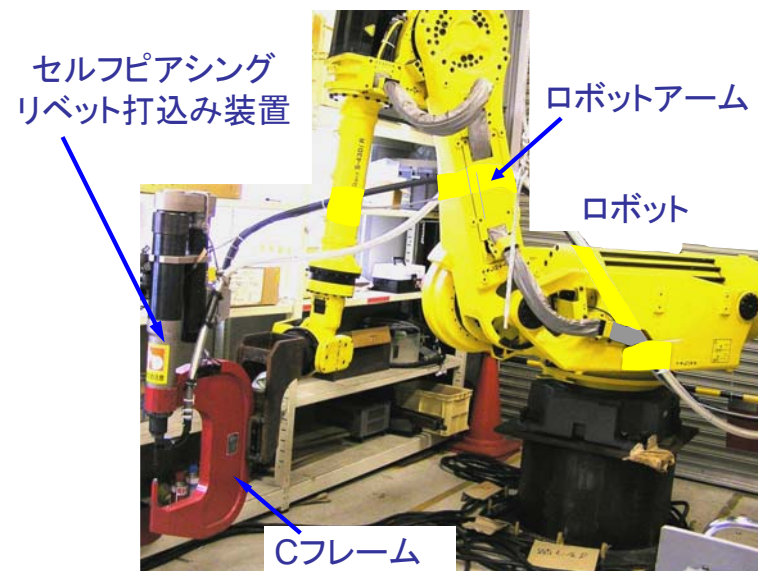


- ・冷間加工で塑性接合 → 母材への熱影響無し
- ・母材に直接打込む → 事前の穴あけ不要
- ・融点の異なる異種金属の接合が可能
- ・多層板接合が可能

## セルフピアシングリベットの接合装置



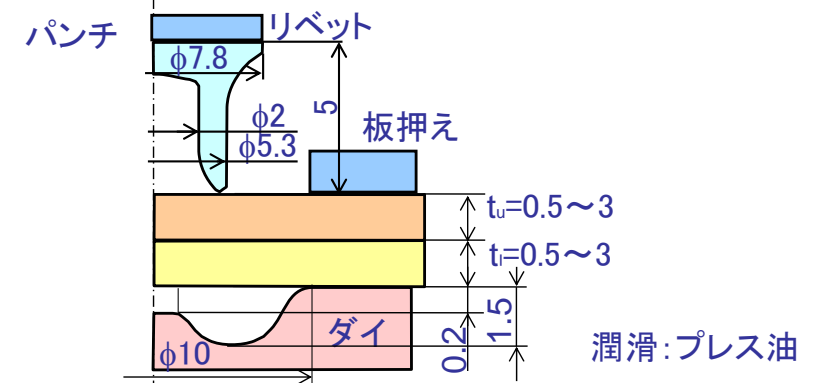
## セルフピアシングリベットの接合ロボット



## 目次

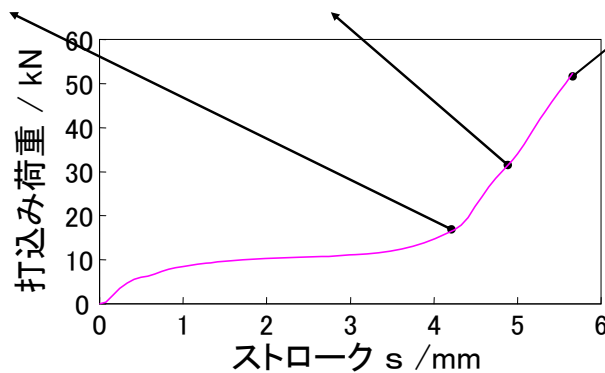
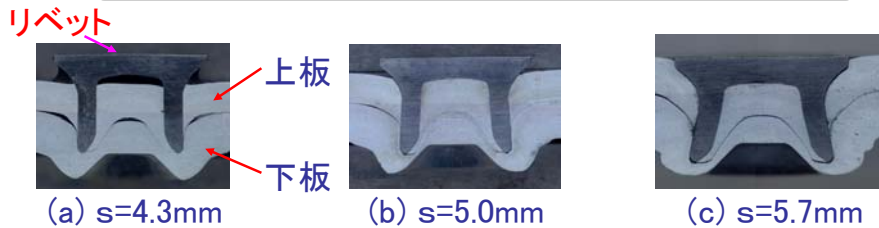
1. セルフピアシングリベットによる接合
  - 1.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 1.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 1.3 接合強度
  - 1.4 多層板接合
2. メカニカルクリンチによる接合
  - 2.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 2.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 2.3 接合強度

## 接合条件

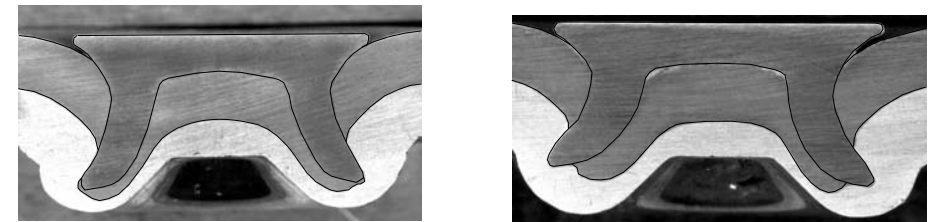


材種	板厚/mm	降伏応力/MPa	引張強さ/MPa	伸び/%
A5052-H34	1.5	211	258	10
SPFC440	1.4	344	453	33
SPFC590	1.4	390	548	22
SPFC980	1.4	801	991	18
リベット	-	1850	1955	-

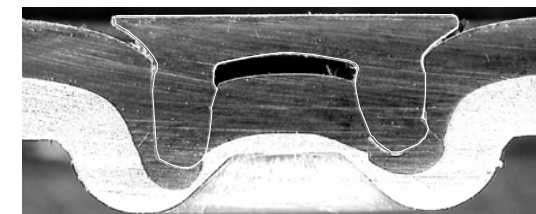
接合挙動と打込み荷重 (上板アルミ合金:  
 $t_u=1.5\text{mm}$ , 下板アルミ合金: $t_l=2.0\text{mm}$ )



## 上板高張力鋼板と 下板アルミニウム合金板の接合

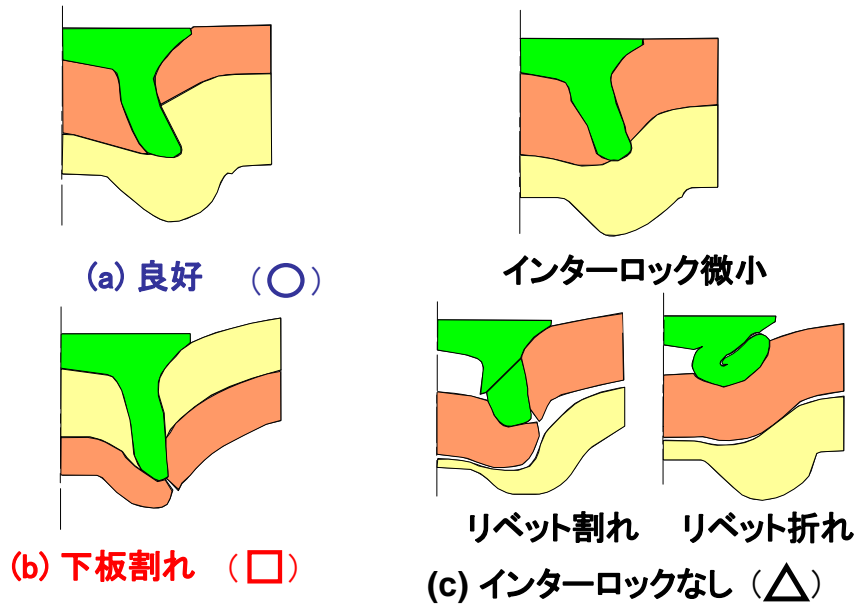


SPFC440-A5052, ( $t_u=1.4\text{mm}$ ,  $t_l=1.5\text{mm}$ ) SPFC590-A5052, ( $t_u=1.4\text{mm}$ ,  $t_l=1.5\text{mm}$ )

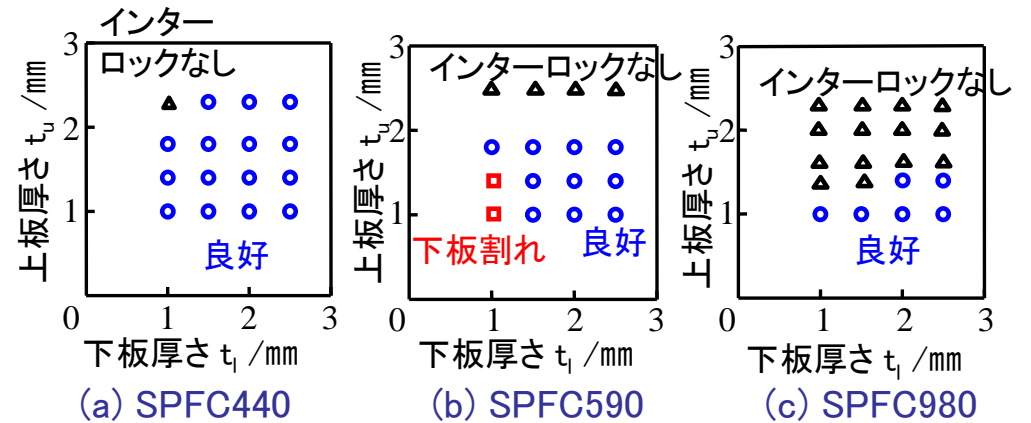


SPFC980-A5052, ( $t_u=1.4\text{mm}$ ,  $t_l=1.5\text{mm}$ )

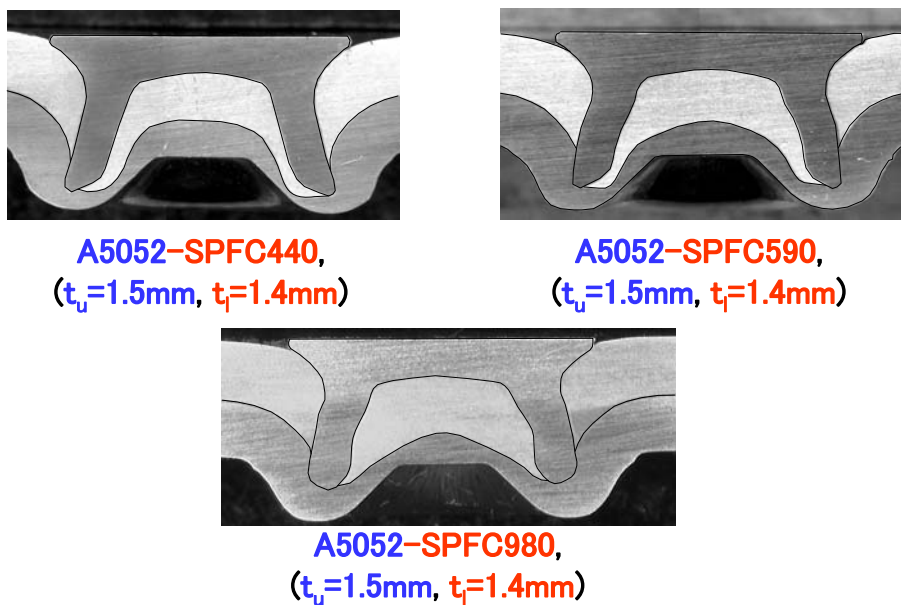
## アルミ合金板と高張力鋼板の接合分類



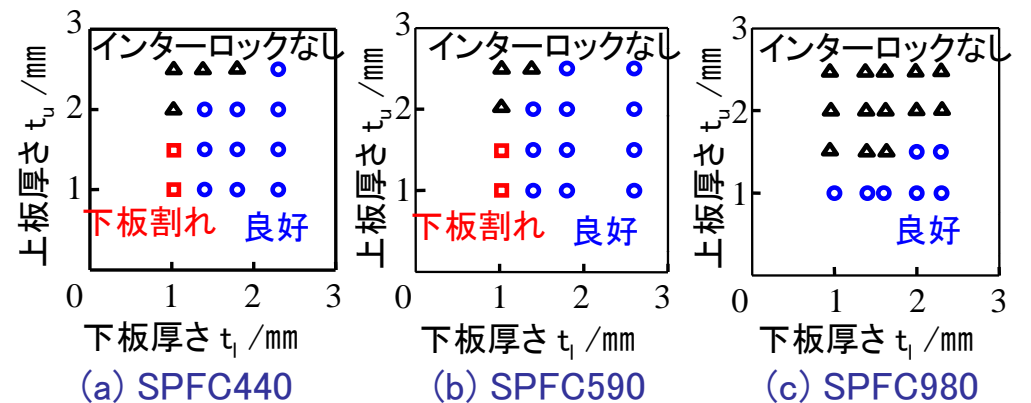
## 実験による上板高張力鋼板-下板アルミ合金板の接合範囲



## 上板アルミニウム合金板と下板高張力鋼板の接合



## 実験による上板アルミニウム合金板-下板高張力鋼板の接合範囲



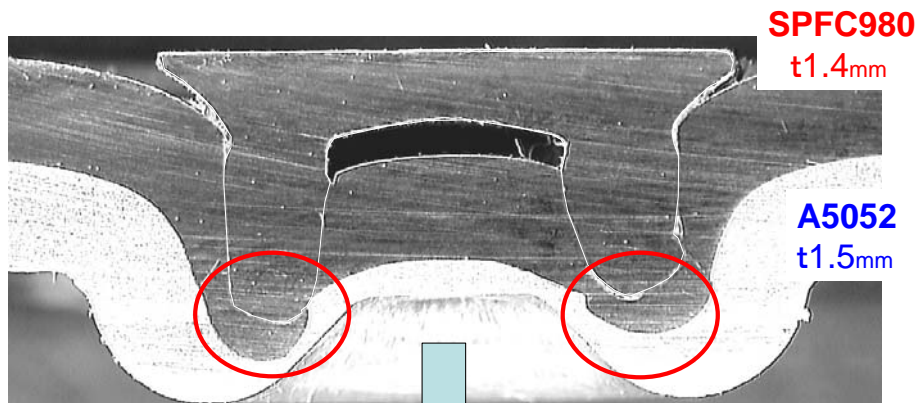
## 結 言

- ・高張力鋼板の強度の増加とともに接合性は低下する.
- ・上板高張力鋼板ではリベットが上板を貫通できず分離となりやすい.
- ・下板高張力鋼板の接合では板材強度の影響が少ない
- ・下板厚さが大きい範囲で接合性が高い.

## 目 次

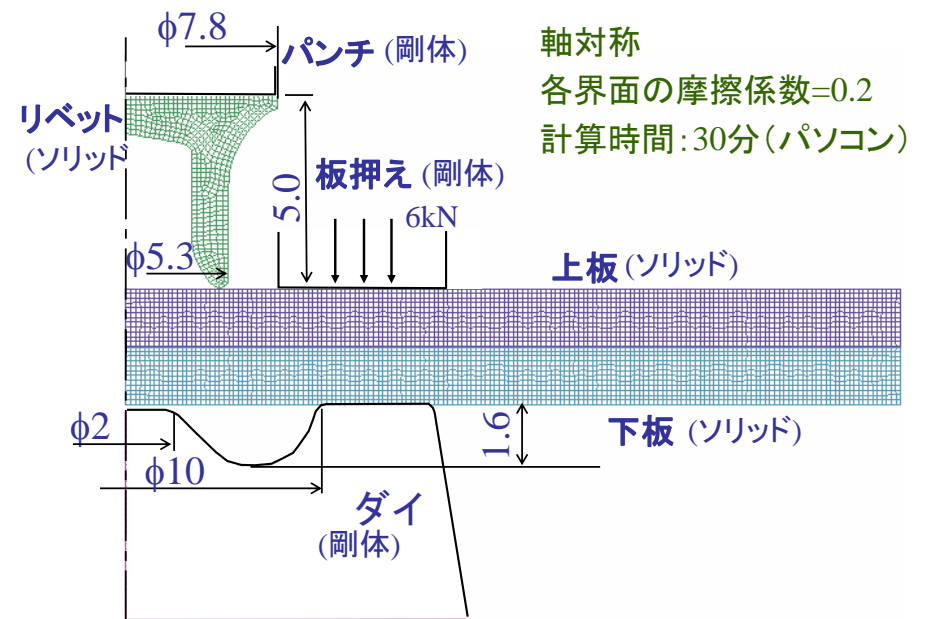
1. セルフピアシングリベットによる接合
  - 1.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 1.2 **ダイ形状改善による接合性の向上**
  - 1.3 接合強度
  - 1.4 多層板接合
2. メカニカルクリンチによる接合
  - 2.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 2.2 **ダイ形状改善による接合性の向上**
  - 2.3 接合強度

## SPFC980板接合時の不良



計算による原因の把握

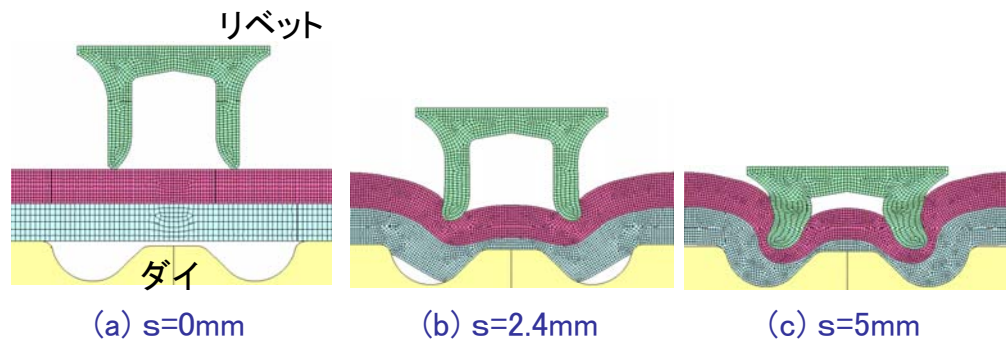
## LS-DYNAによる計算条件



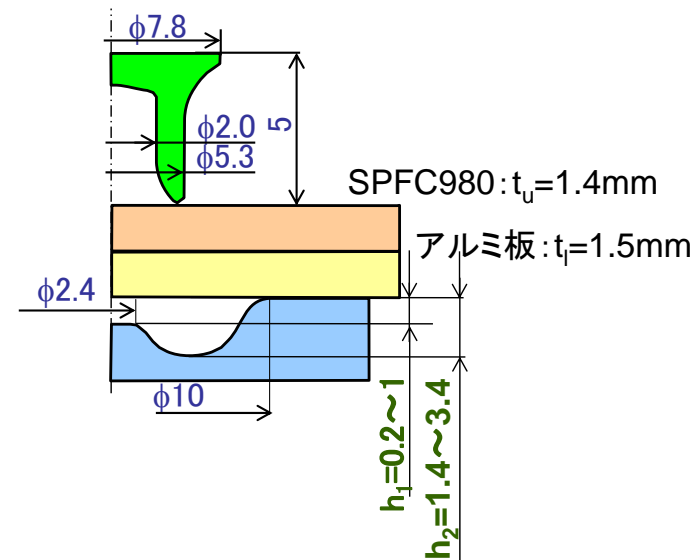


## 計算によるSPFC980板接合時の変形挙動

(上板 SPFC980:  $t_u=1.4\text{mm}$ , 下板 アルミ板:  $t_f=1.5\text{mm}$ )

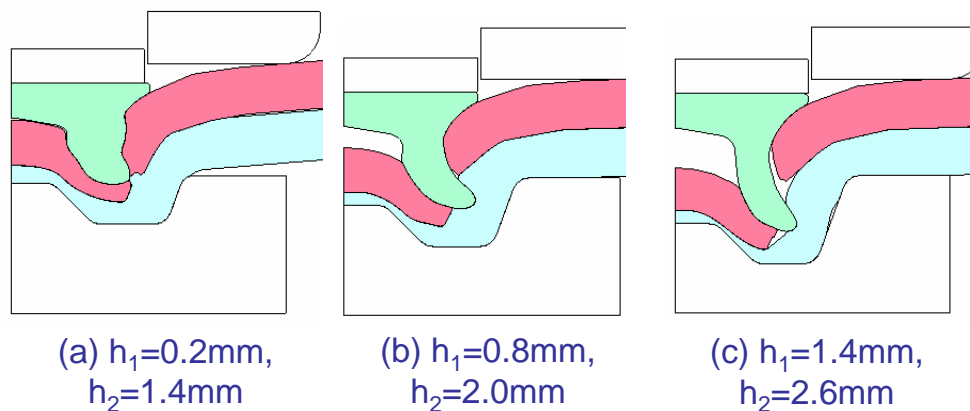


## 上板貫通におよぼすダイ形状の影響

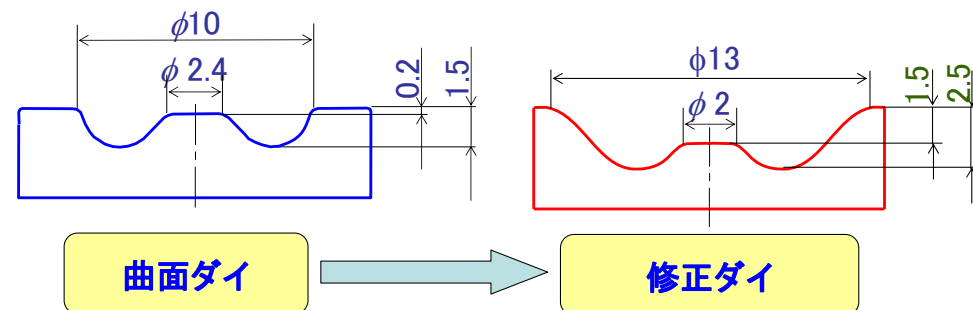


## 計算による上板貫通におよぼすダイ形状の影響

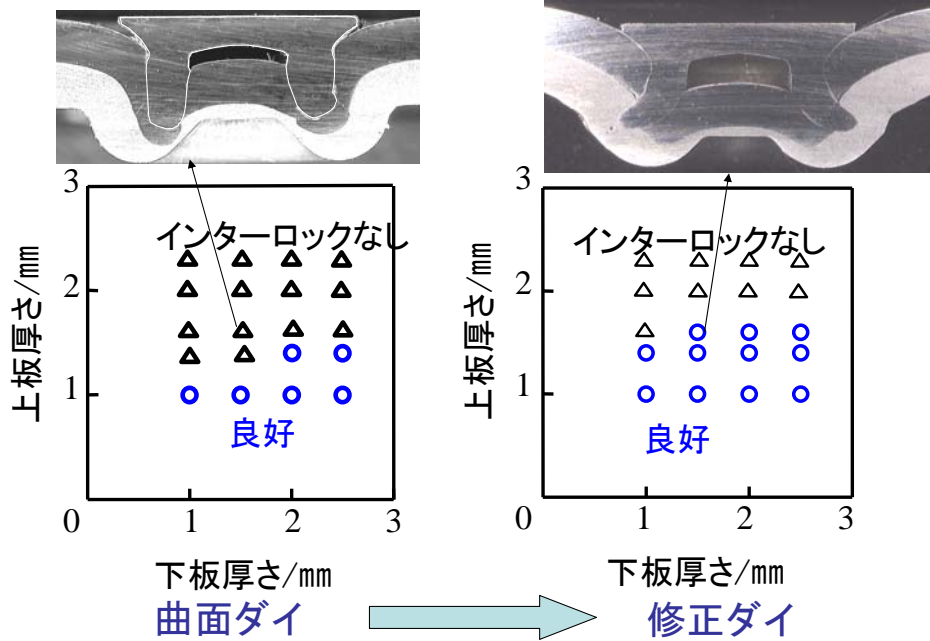
(上板 SPFC980:  $t_u=1.4\text{mm}$ , 下板 アルミ板:  $t_f=1.5\text{mm}$ )



## SPFC980板接合用のダイの考案



実験による修正ダイを用いた  
SPFC980-A5052の接合範囲



結 言

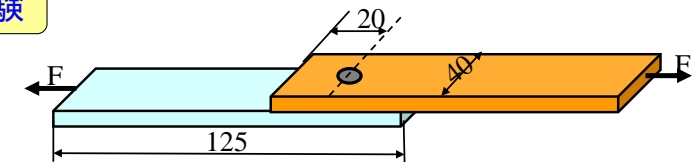
- ・超高張力鋼板とアルミニウム合金板の接合では、ダイ形状を最適化することによって接合範囲を広げることができる。

目 次

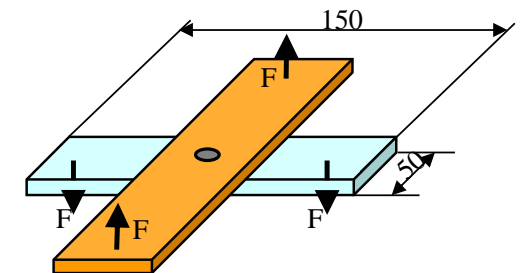
1. セルフピアシングリベットによる接合
  - 1.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 1.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 1.3 接合強度
  - 1.4 多層板接合
2. メカニカルクリンチによる接合
  - 2.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 2.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 2.3 接合強度

高張力鋼板とアルミニウム合金板の接合強度

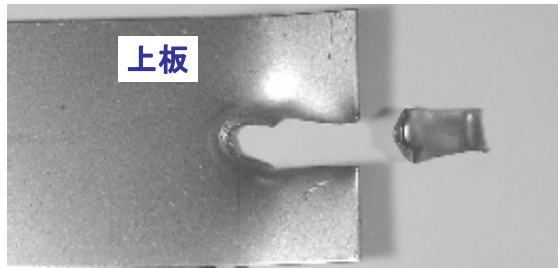
引張せん断試験  
JIS-Z-3136



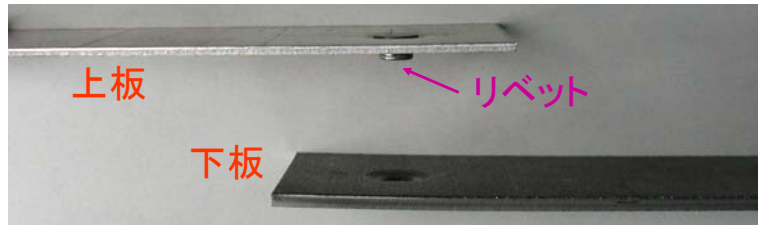
十字引張試験  
JIS-Z-3137



## 引張せん断試験における破壊挙動

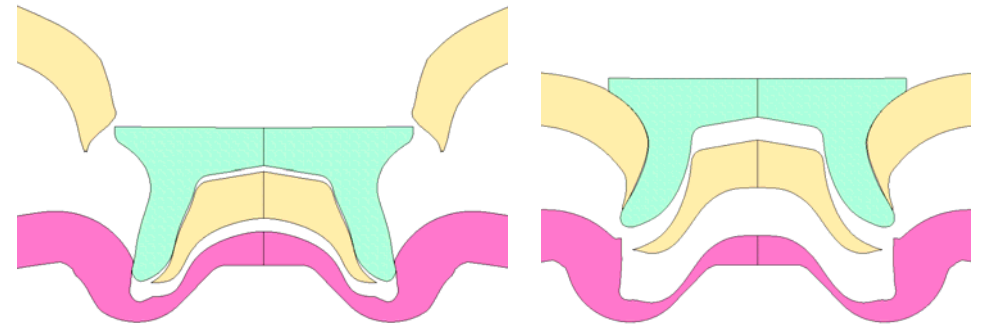


(a) 上板破壊, 3.3kN  
(A5052,  $t_u=1.5\text{mm}$ , SPCC,  $t_l=1.5\text{mm}$ )



(b) 下板破壊, 2.4kN  
(A5052,  $t_u=1.5\text{mm}$ , SPFC980,  $t_l=2.3\text{mm}$ )

## リベット接合後の十字引張試験強度と破壊状態



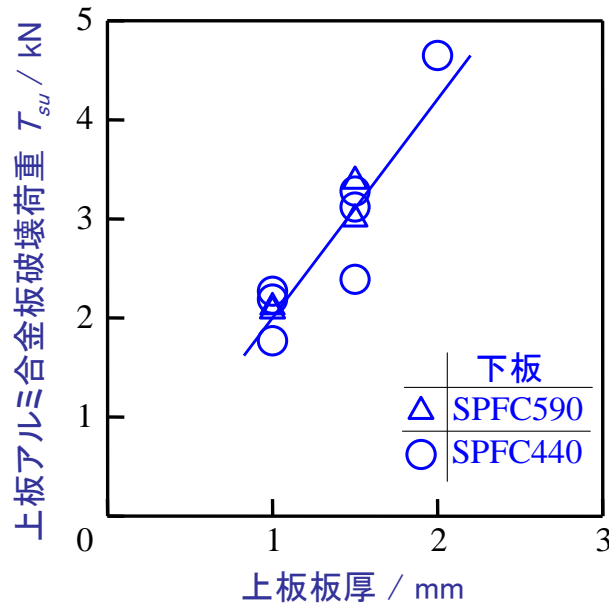
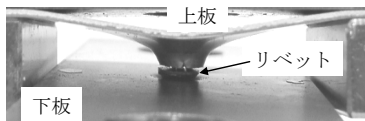
(a)  $T_{su}$ による上板破壊

(b)  $T_{sl}$ による下板破壊

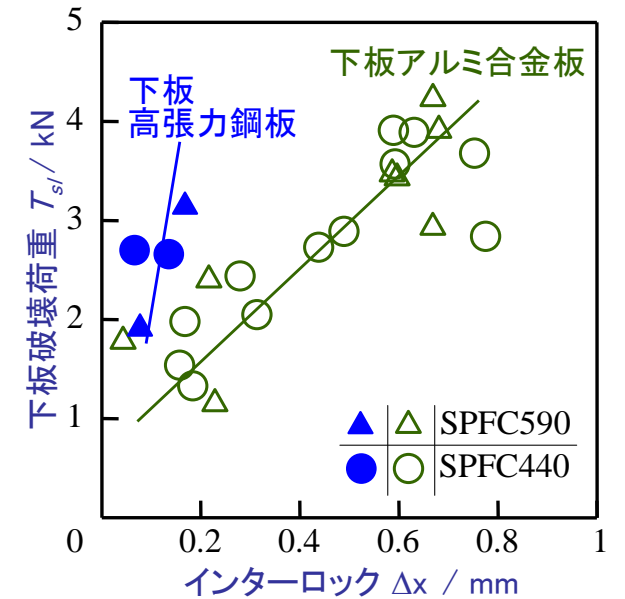
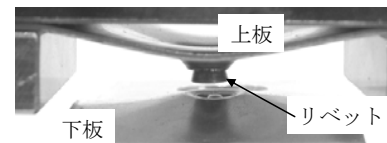
(上板破壊強度  $T_{su}$ ) < (下板破壊強度  $T_{sl}$ ) → 上板破壊

(上板破壊強度  $T_{su}$ ) > (下板破壊強度  $T_{sl}$ ) → 下板破壊

## 実験による十字引張試験における上板破壊荷重

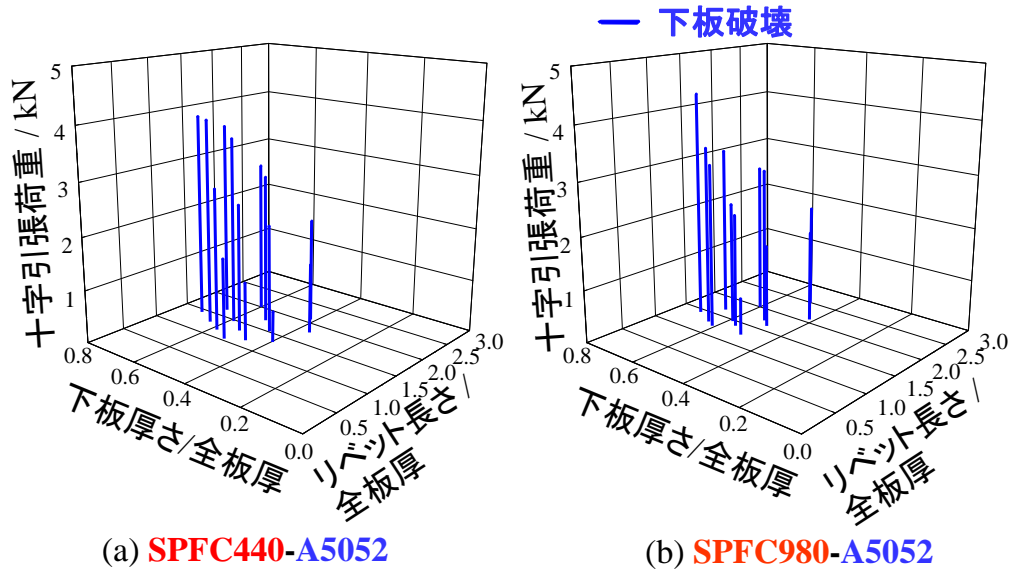


## 実験による十字引張試験における下板破壊荷重

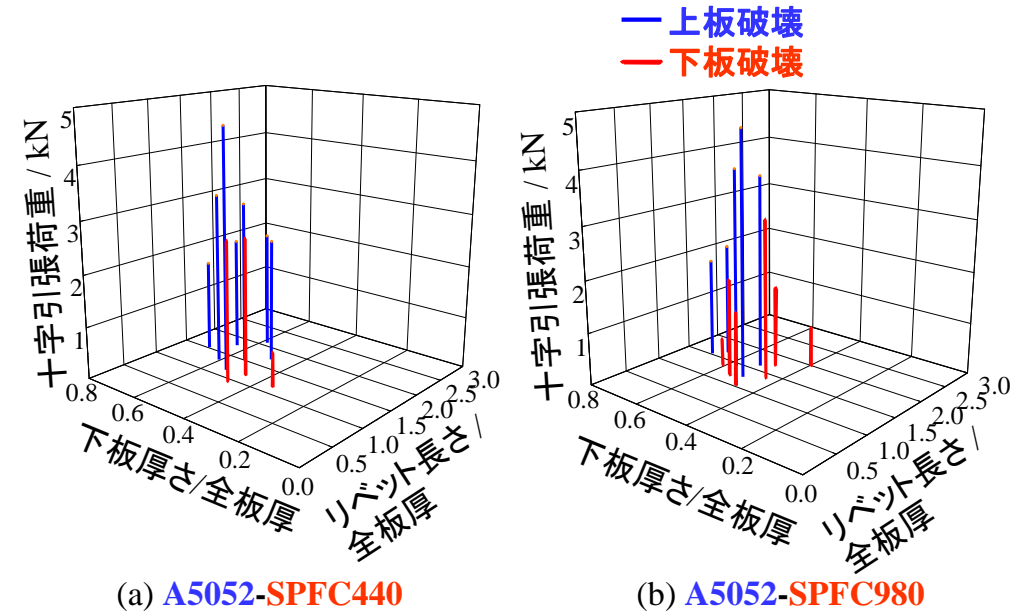




## 実験による十字引張試験結果 (SPFC-A5052)



## 実験による十字引張試験結果 (A5052-SPFC)



## 結 言

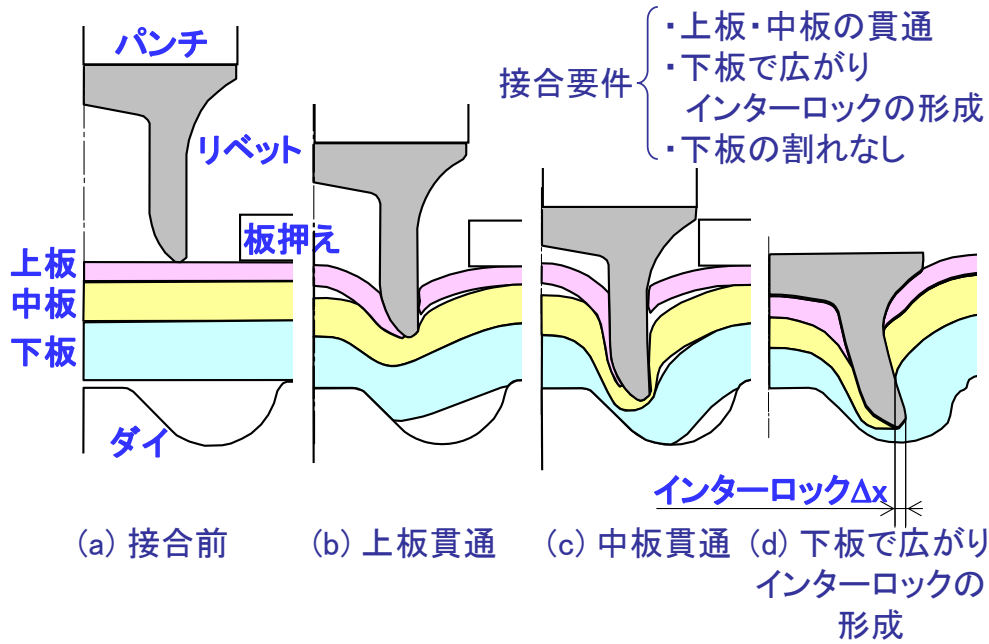
十字引張試験において

- ・上板破壊と下板破壊が観察され、それぞれ板強度と厚さ、板強度とインターロックに影響される。
- ・上板高張力鋼板と下板アルミ合金板の接合強度は、アルミ合金板の破壊となりアルミ合金板の強度となる。
- ・上板アルミ合金板と下板高張力鋼板の接合強度は、アルミ合金板の破壊となりやすい。

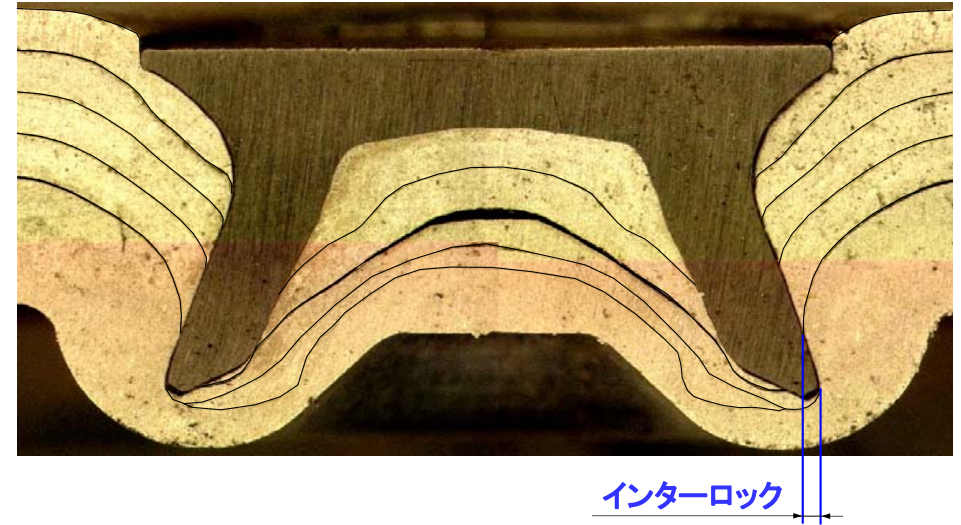
## 目 次

1. セルフピアシングリベットによる接合
  - 1.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 1.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 1.3 接合強度
  - 1.4 多層板接合
2. メカニカルクリンチによる接合
  - 2.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 2.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 2.3 接合強度

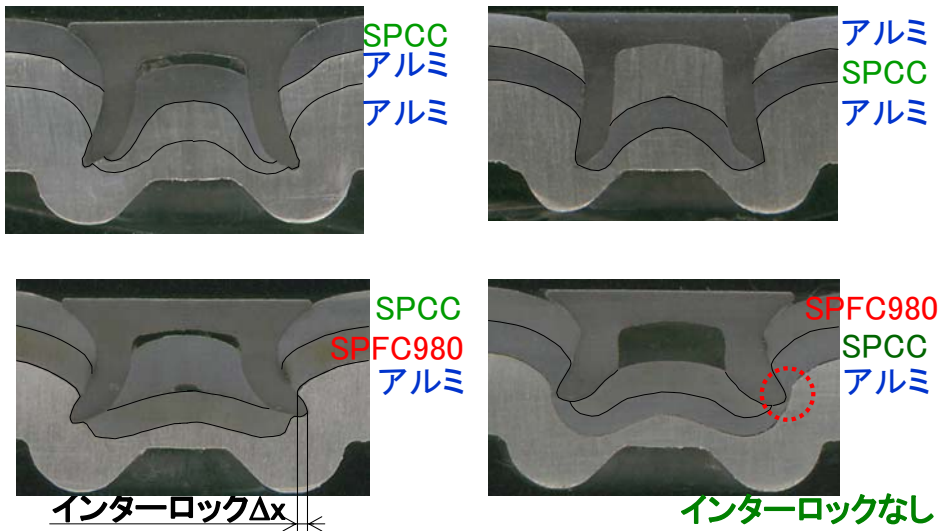
## セルフピアシングリベットによる3枚接合プロセス



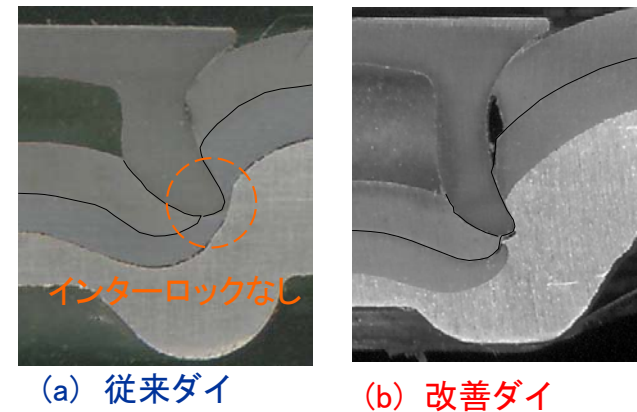
## アルミ合金板の5層接合 0.5mm×4枚, 下板1.5mm



## 高張力鋼板を含んだ鋼板とアルミ合金板の3枚接合 (上板, 中板=1mm, 下板=2.5mm)



## ダイ形状改善による超高張力鋼板を含んだ鋼板 とアルミ合金板の3枚接合 (上板SPFC980: 1.0mm, 中板SPCC: 1.0mm, 下板A5052: 2.5mm)



## 結 言

- ・セルフピアスリベットによって3枚以上の板材を接合できる。
- ・セルフピアスリベットによって超高張力鋼板とアルミニウム合金板を多層接合できる。
- ・高張力鋼板とアルミニウム合金板の多層接合においても、ダイ形状を最適化することによって接合範囲が広がる。

## 目 次

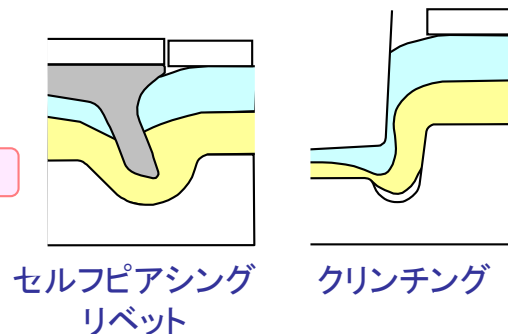
1. セルフピアシングリベットによる接合
  - 1.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 1.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 1.3 接合強度
  - 1.4 多層板接合
2. メカニカルクリンチによる接合
  - 2.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 2.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 2.3 接合強度

## セルフピアスリベッティングとメカニカルクリンチング

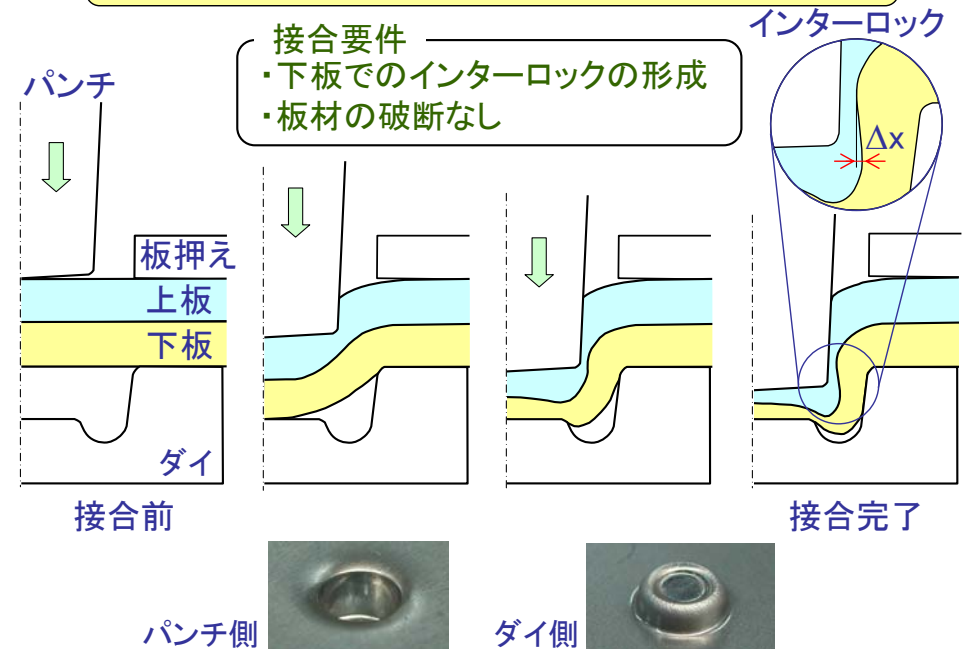
### 異種金属接合

- ・スポット溶接：困難
- ・リベット接合：コスト高

### メカニカルクリンチング接合



## メカニカルクリンチングの接合プロセス

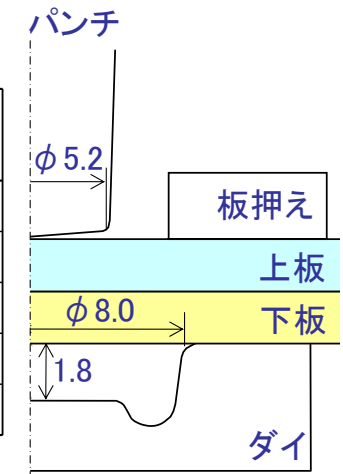


## 目次

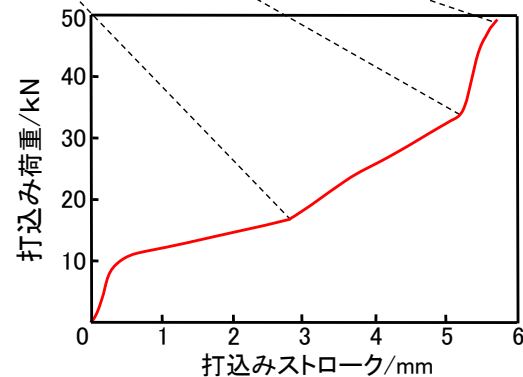
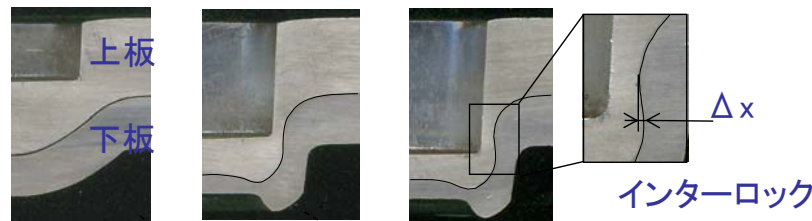
1. セルフピアシングリベットによる接合
  - 1.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 1.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 1.3 接合強度
  - 1.4 多層板接合
2. メカニカルクリンチによる接合
  - 2.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 2.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 2.3 接合強度

## 試験材料および工具形状

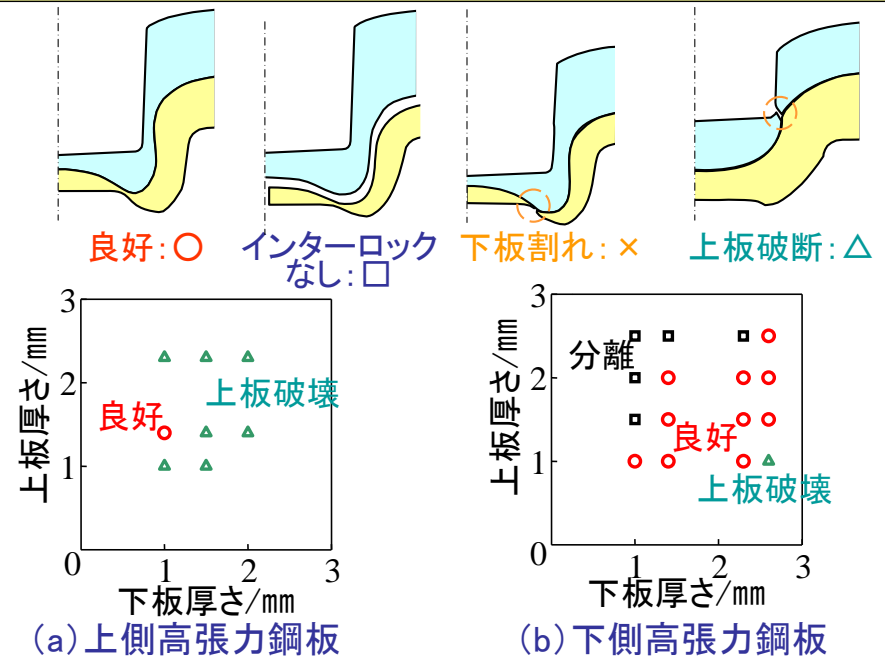
試験材料	板厚 /mm	伸び /%	引張強さ /MPa	硬さ /HV
A5052-H34	1.5	10	258	80
SPCC	1.6	34	315	107
SPFC440	1.4	33	453	138
SPFC590	1.4	22	548	170
SPFC780	1.4	20	769	228



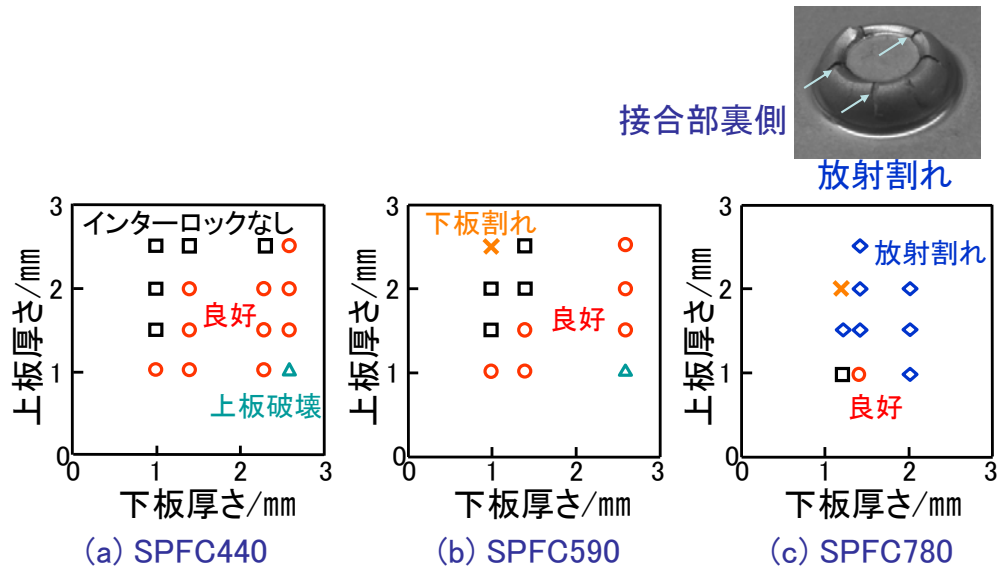
クリンチ接合の変形挙動と打込み荷重  
(上板 アルミ合金:3mm, 下板 SPCC:2mm)



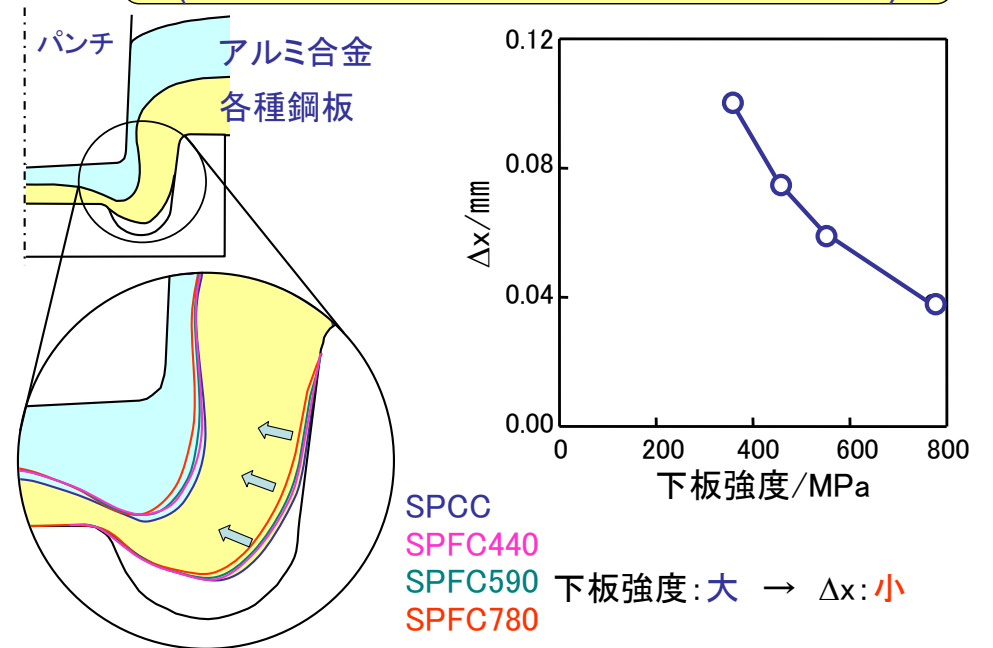
## 高張力鋼板の配置による接合性 (SPFC440)



## 実験による下板高張力鋼板の接合範囲



## 下板強度とインターロックの関係 (上板アルミ合金 1.5mm, 下板鋼板1.4mm)



## 結言

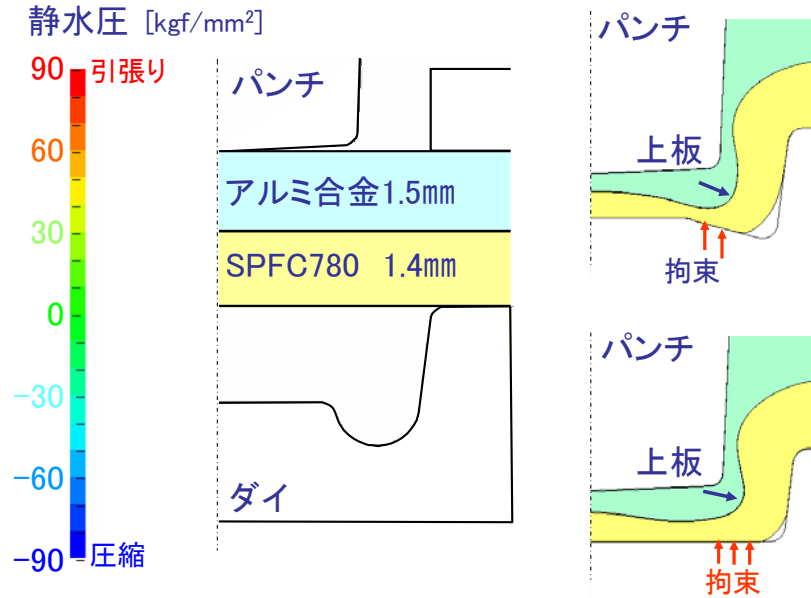
- ・ 上板が高張力鋼板の場合では高張力鋼板に割れが生じてしまい接合性が低い。
- ・ 延性の低い高張力鋼板は下側に配置することで接合が可能。
- ・ 従来ダイでは、上板にアルミ合金板、下板に590MPa材までの高張力鋼板の接合が可能。

## 目次

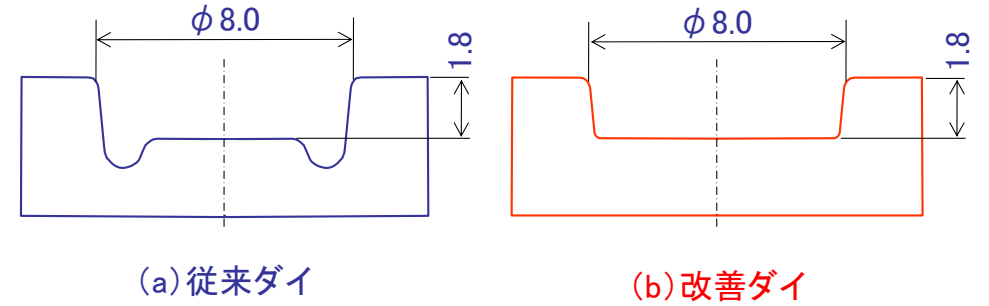
1. セルフピアシングリベットによる接合
  - 1.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 1.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 1.3 接合強度
  - 1.4 多層板接合
2. メカニカルクリンチによる接合
  - 2.1 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - 2.2 ダイ形状改善による接合性の向上
  - 2.3 接合強度



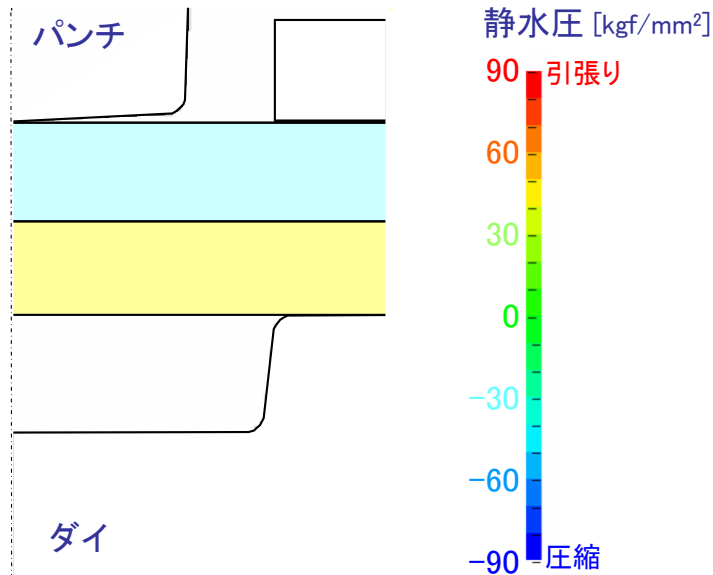
## 下板高張力鋼板における計算による放射割れ発生部の観察



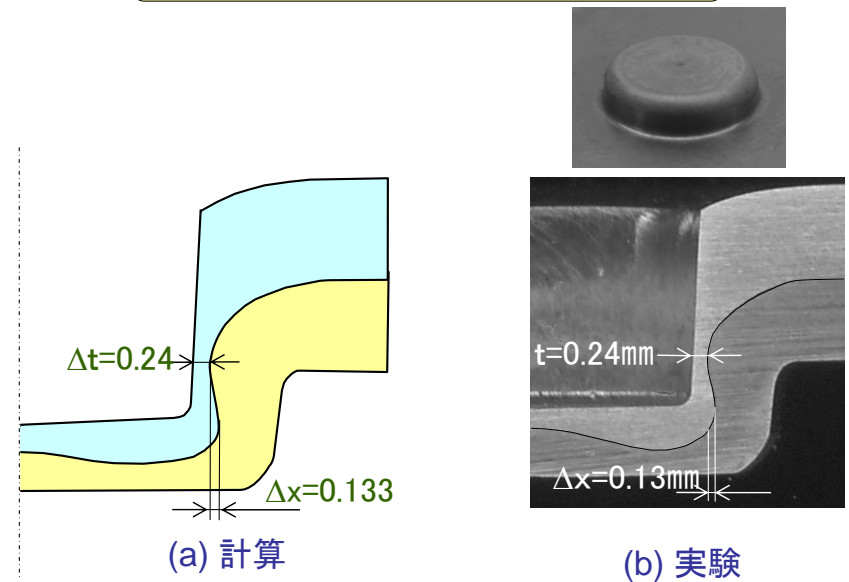
## 下板高張力鋼板用改善ダイ(上板アルミ合金1.5mm, 下板SPFC780 1.4mm)



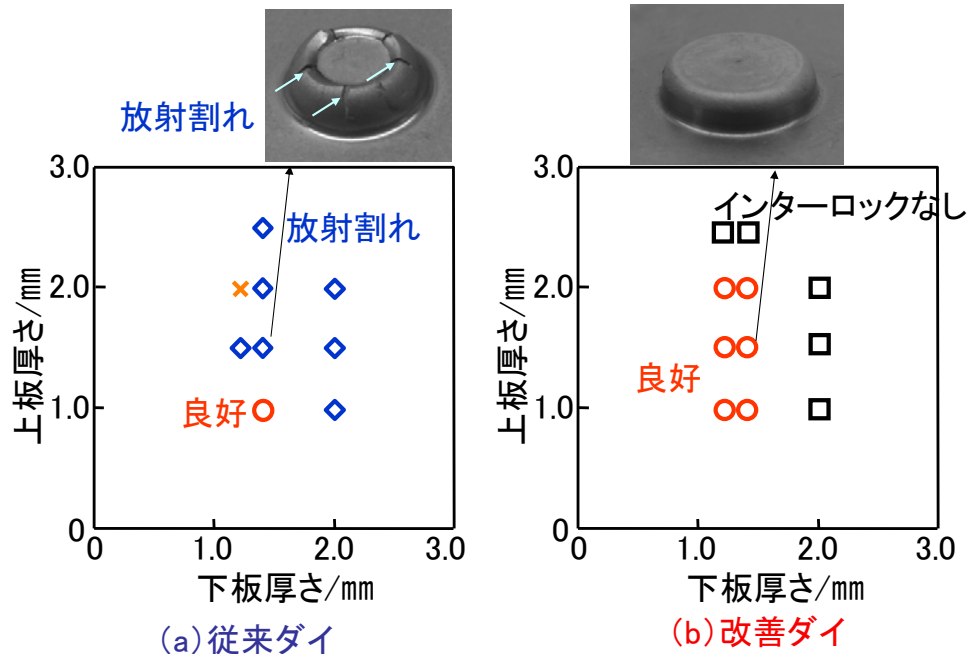
## 改善ダイによる変形挙動(上板 アルミ合金1.5mm, 下板 SPFC780 1.4mm)



## 改善ダイによる変形挙動



## 従来ダイと改善ダイの接合範囲の比較



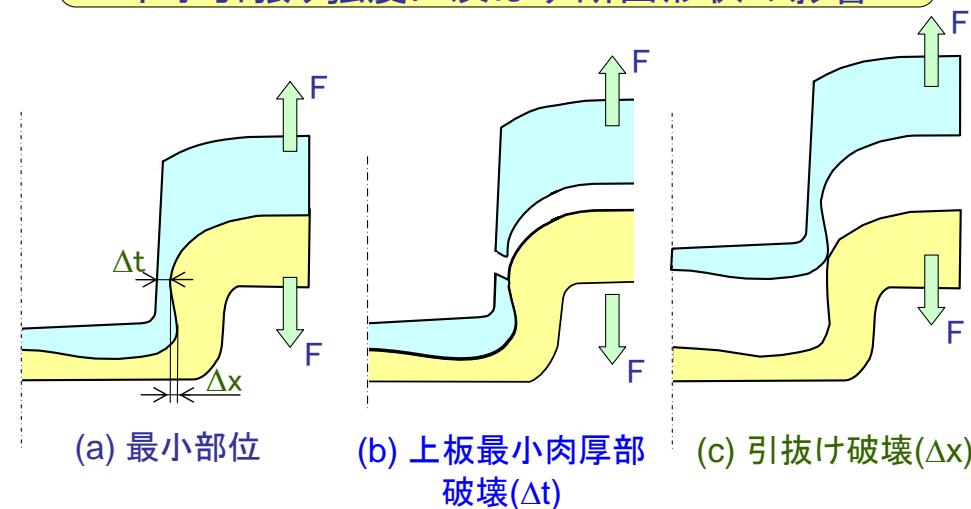
## 結言

- 下板高張力鋼板の接合において延性の低い780MPa材に対してダイ直径、深さを検討して放射割れを防止し接合性を向上できた。

## 目次

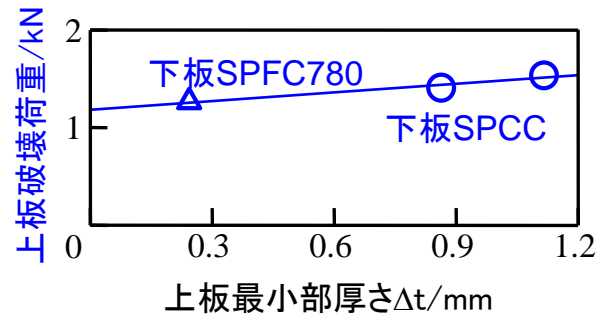
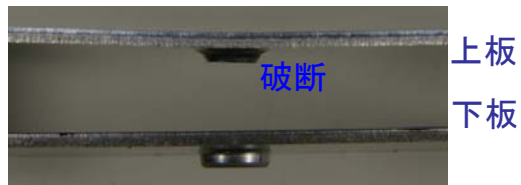
- セルフピアシングリベットによる接合
  - 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - ダイ形状改善による接合性の向上
  - 接合強度
  - 多層板接合
- メカニカルクリンチによる接合
  - 高張力鋼板とアルミ合金板の接合性
  - ダイ形状改善による接合性の向上
  - 接合強度

## 上板アルミ合金板と下板高張力鋼板における十字引張り強度に及ぼす断面形状の影響

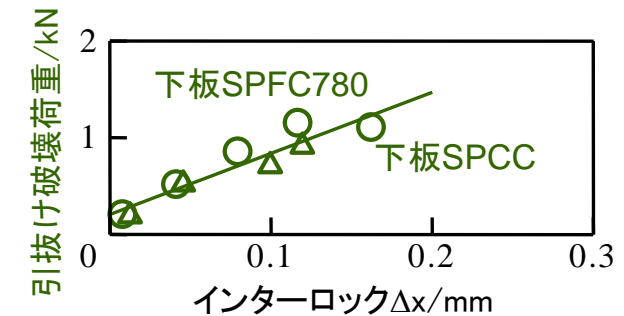


(上板最小肉厚部破壊荷重) < (引抜け荷重) → 上板最小肉厚部破壊  
 (上板最小肉厚部破壊荷重) > (引抜け荷重) → 引抜け破壊

### 実験による十字引張試験における 上板最小肉厚部破壊荷重



### 実験による十字引張試験における 引抜け破壊荷重



### 結 言

- ・ 下板高張力鋼板の十字引張り試験では、上板最小肉厚部または下板の抜けのいずれかの小さい方で破壊となる。
- ・ 上板最小肉厚部、下板の抜けはそれぞれ上板最小肉厚部厚さとインターロックに影響される。

### まとめ

#### セルフピアスリベットによる接合

- ・ 高張力鋼板とアルミ合金板を接合できる。
- ・ 従来ダイでは高張力鋼板の強度の増加とともに接合性は低下する。
- ・ 上板高張力鋼板ではリベットが上板を貫通できず分離となりやすい。
- ・ 下板厚さが大きい範囲で接合性が高い。
- ・ ダイ形状の最適化により超高張力鋼板とアルミ合金板を接合できる。
- ・ 3枚以上の多層板を接合できる。

#### メカニカルクリンチによる接合

- ・ 高張力鋼板とアルミ合金板を接合できる。
- ・ 上板高張力鋼板では割れが生じやすく接合性が低い。
- ・ ダイ形状の修正により上板アルミと合金板下板高張力鋼板を接合できる。