

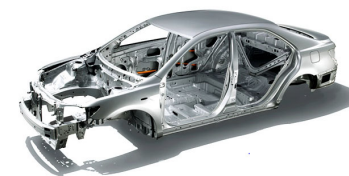
異方性がA5022-O板の穴広げ成形シミュレーションに与える影響

静岡大学院総合科学技術研究科
工学専攻機械工学コース
吉田研究室 石川裕紀

1

○研究背景

自動車のフレーム・外板パネル



軽量化の観点から
鋼板⇒アルミニウム合金板

アルミニウム合金板は鋼板に比べ、成形性に劣る

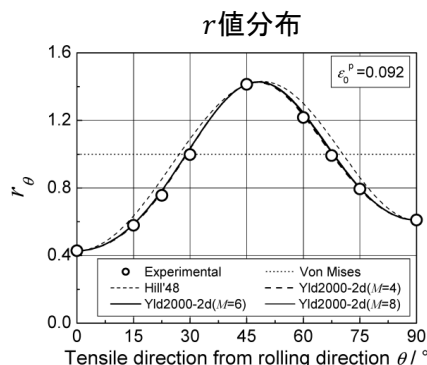
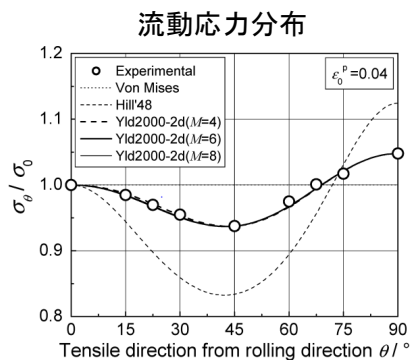


成形シミュレーションを用い、プレス工程における変形挙動や成形不具合を事前に予測することが重要

2

○異方性降伏関数

供試材: 590MPa級冷延鋼板



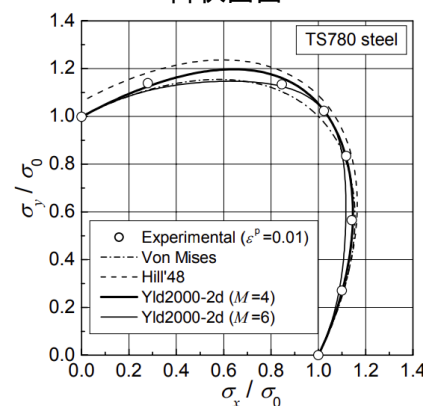
適切な異方性降伏関数を使用することで、
材料の異方性を精度よく再現することが可能

橋本一真, 桑原利彦, 飯塚栄治, Jeong-Whan YOON, 鉄と鋼 Tetsu-to-Hagané Vol. 96 (2010) No. 9

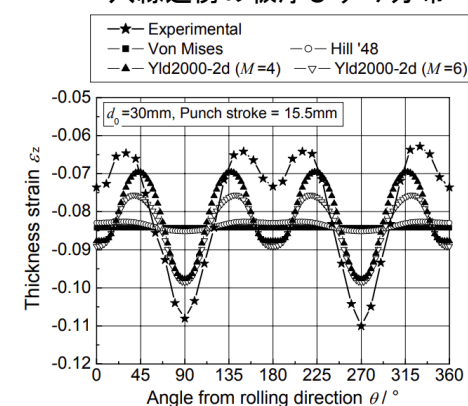
3

○穴広げ成形シミュレーション

降伏曲面



穴縁近傍の板厚ひずみ分布

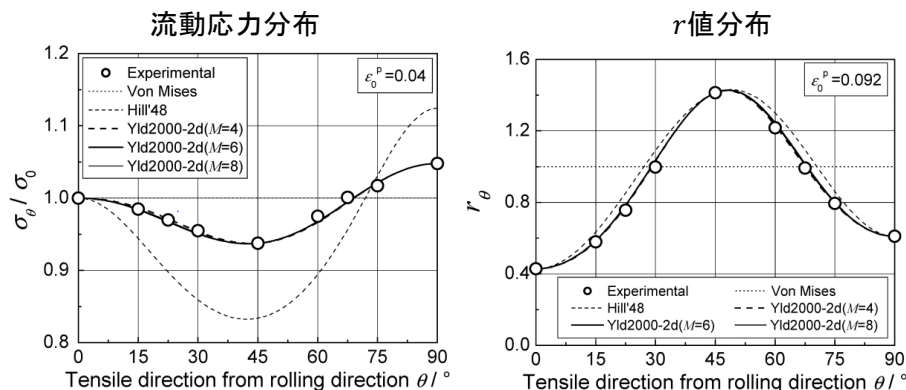


成形不具合の予測精度を高めるためには、
塑性変形挙動を精度よく再現した材料モデルが必要

桑原利彦, 橋本一真, 飯塚栄治, YOON Jeong-Whan: Journal of the JSTP, vol. 50, no. 585 (2009), 925-930

4

○穴広げ成形シミュレーション



成形シミュレーションにおける
材料特性値の個々の重要度を比較

橋本一真, 桑原利彦, 飯塚栄治, Jeong-Whan YOON, 鉄と鋼 Tetsu-to-Hagané Vol. 96 (2010) No. 9

5

○研究目的

流動応力およびR値のどちらの異方性が穴広げ成形シミュレーションの解析精度に影響を及ぼすか調査

- 供試材A5022-O材に対し, 単軸および二軸応力下における材料特性値を測定
- 得られた材料特性値をもとに, 材料モデルを作成
- 異方性(流動応力, R値)の強度を変化させた材料モデルを作成
- 穴広げ試験と成形シミュレーションを行い, 実験値と解析値の比較

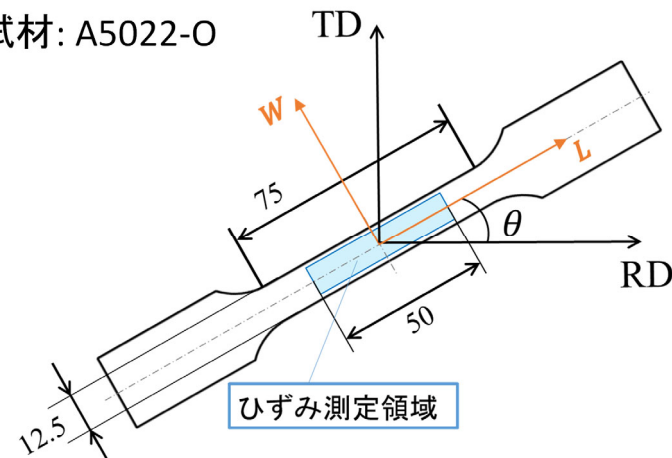
6

実験

7

単軸引張試験 実験方法

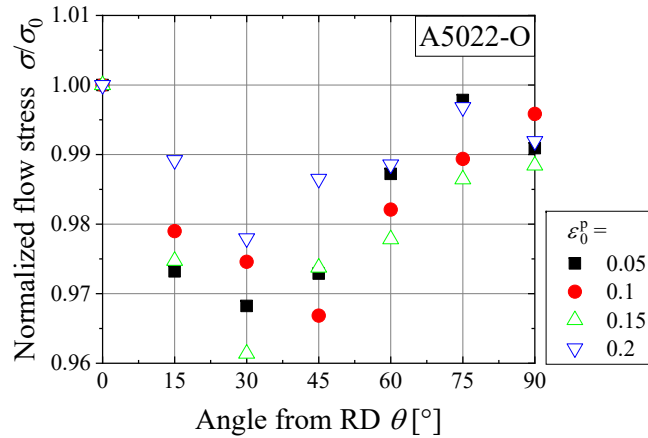
供試材: A5022-O



圧延方向からの角度 θ : $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$
再現性を確認するため, 各方向2回ずつ

8

○流動応力分布

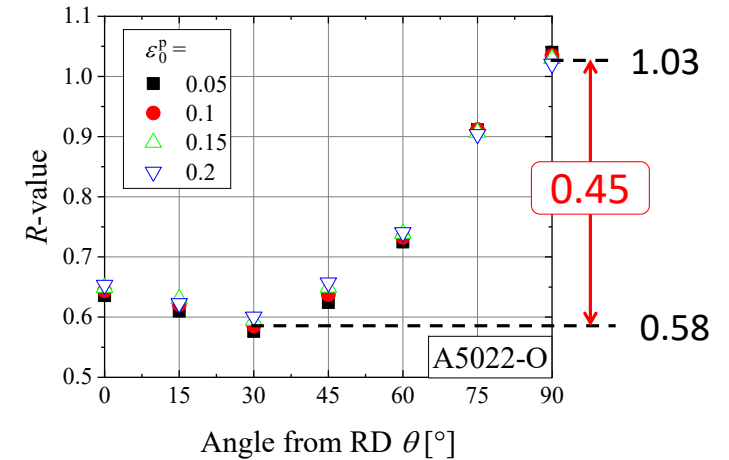


圧延方向($\theta = 0^\circ$)の応力で正規化
 $\theta = 0^\circ$ で最大, $\theta = 30\sim 45^\circ$ で最小
 ひずみの進展に伴って極大, 極小となる角度が変化

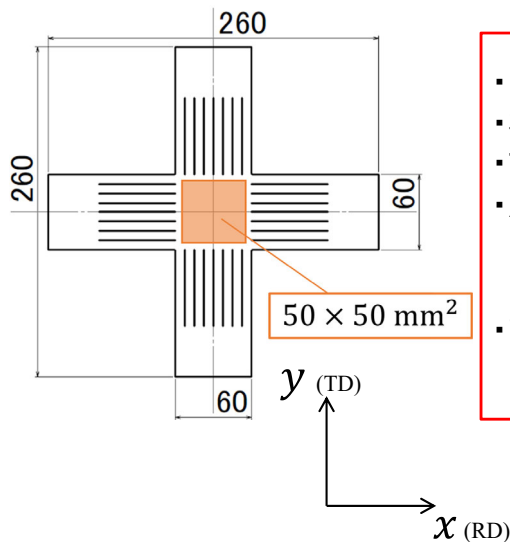
○R値分布

$$R = \frac{\varepsilon_w^p}{-(\varepsilon_l^p + \varepsilon_w^p)}$$

ε_l^p : 長手方向の対数塑性ひずみ
 ε_w^p : 幅方向の対数塑性ひずみ

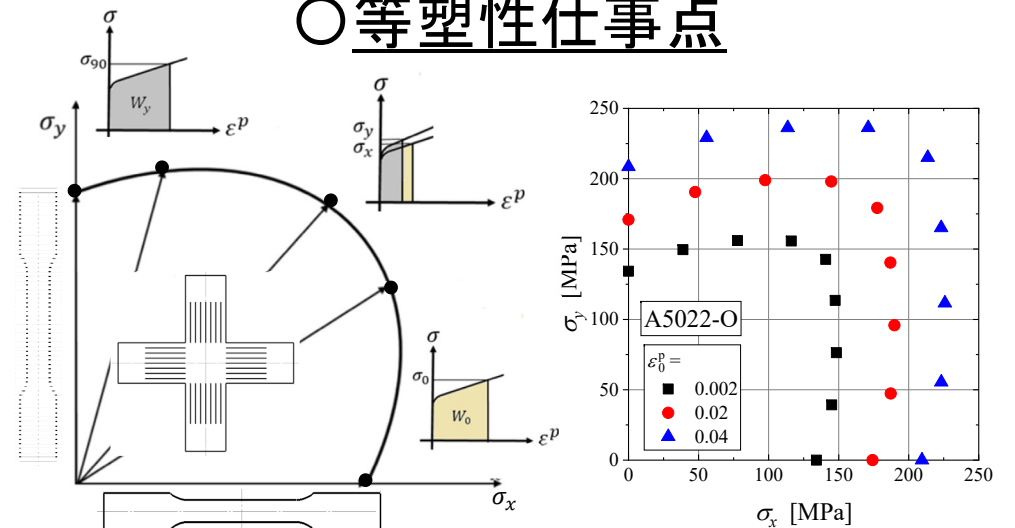


○二軸引張試験



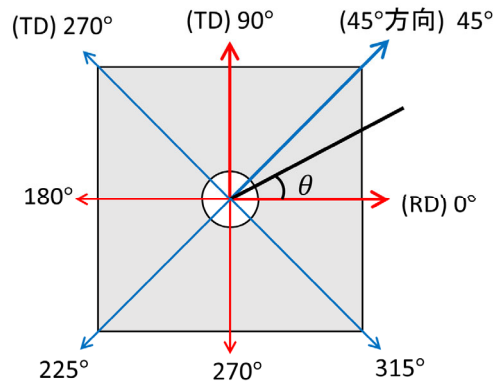
- ・国際計測器二軸引張試験機
- ・材料: A5022-O
- ・試験片形状: 十字型試験片
- ・ F_x (RD): F_y (TD) =
 4:1, 2:1, 4:3,
 1:1, 3:4, 1:2, 1:4の7経路
- ・ひずみの測定方法:
 デジタル画像相関法

○等塑性仕事点



対数塑性ひずみの増加に伴い,
 等塑性仕事点が内側に収縮する異方硬化挙動を示す

○穴広げ成形試験



穴広げ率: $\lambda = \frac{d-d_0}{d_0}$

d_0 : 試験前の穴径
 d : 試験後の穴径

パンチ
 パンチ径: 100 mm
 平頭パンチ

パンチ速度
 0.2 mm/s

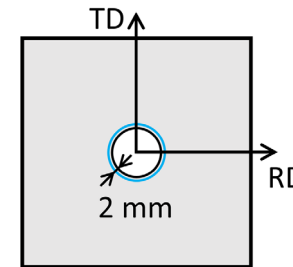
初期穴径
 30 mm(フライス加工)

穴広げ率 $\lambda = 10, 20, 30\%$
 で試験停止

13

○試験片の板厚測定箇所

・穴縁近傍の板厚



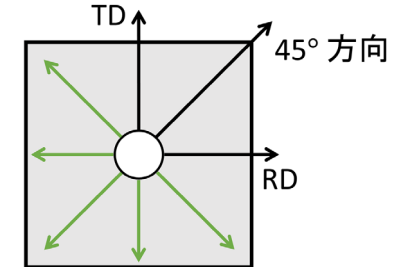
距離

穴縁近傍
 (穴縁から2 mm)

角度

圧延方向からの角度 $10^\circ, 45^\circ$
 間隔

・半径方向の板厚



距離

穴縁からの距離: S
 $2 < S < 24$: 2 mm間隔
 $24 < S < 60$: 4 mm間隔

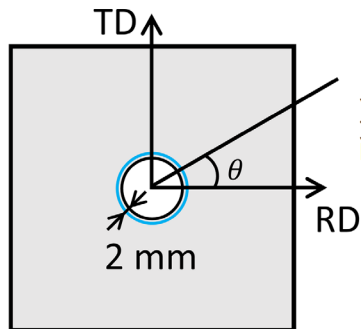
角度

RD, TD, 45° 方向

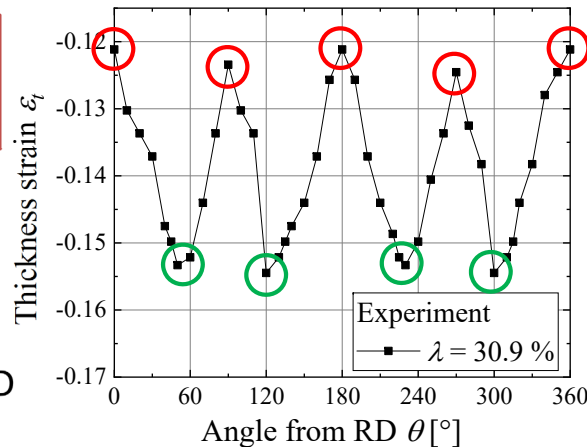
○穴縁近傍の板厚ひずみ分布

実験結果

- RD, TDで極大
- $45^\circ \sim 60^\circ$ 方向で極小
- $0^\circ \sim 90^\circ$ でおおよそ対称



穴縁近傍の板厚ひずみ分布

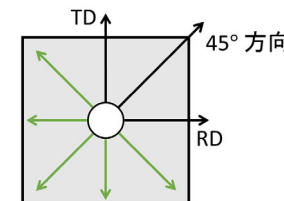


15

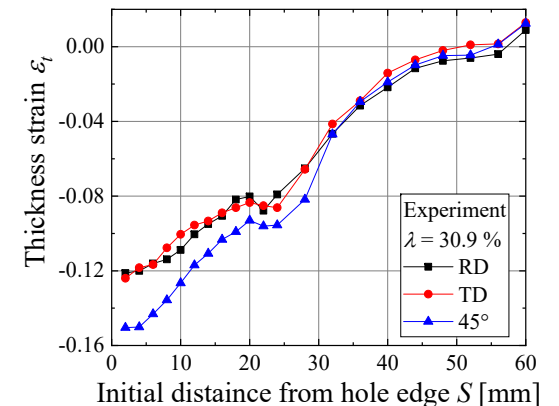
○半径方向の板厚ひずみ分布

実験結果

- 距離の増加に伴い、板厚ひずみの値は減少
- $2 < S < 24$ の範囲では、 45° 方向の減少率が大きい
- $S = 30$ 以降は角度によらず同様の減少率



半径方向の板厚ひずみ分布



16

穴広げ成形シミュレーション

17

○解析条件

試験片モデル

直交異方性を考慮し、
1/4の領域で解析

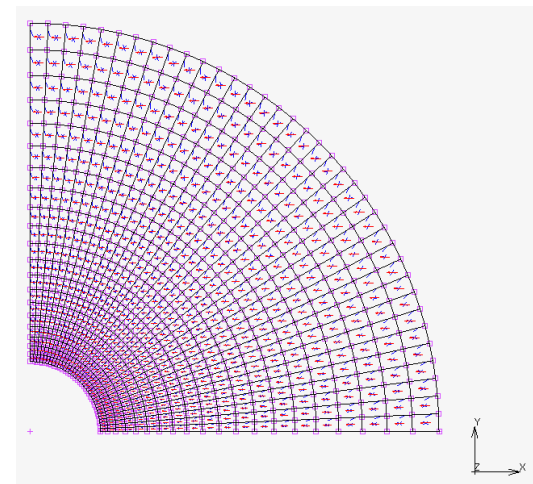
メッシュ分割
円周方向 36分割
半径方向 20分割

4節点シェル要素

摩擦なし

硬化則: Voceの式

$$\sigma = 386 - 256 \exp(-8.97 \varepsilon^p)$$



○解析条件

試験片モデル

直交異方性を考慮し、
1/4の領域で解析

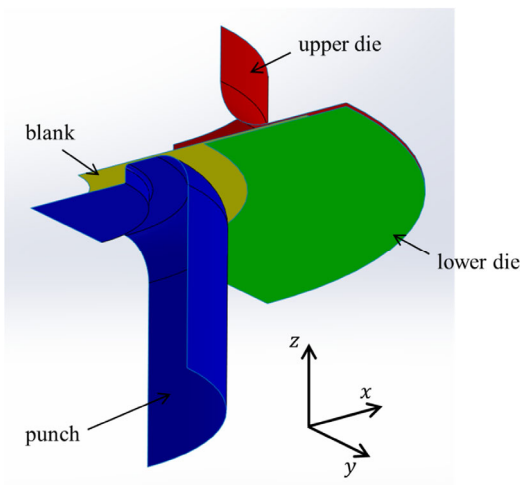
メッシュ分割
円周方向 36分割
半径方向 20分割

4節点シェル要素

摩擦なし

硬化則: Voceの式

$$\sigma = 386 - 256 \exp(-8.97 \varepsilon^p)$$



○Yld2004-18p

Yld2004-18p 異方性係数14個(平面応力状態)

入力データ(対数塑性ひずみ $\varepsilon_0^p = 0.04$)

単軸引張:

流動応力($\theta = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90^\circ$)

R値($\theta = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90^\circ$)

} 7方向

二軸引張:

流動応力($\sigma_x : \sigma_y = 1 : 1$)

塑性ひずみ速度比($\sigma_x : \sigma_y = 1 : 1$)

} 等二軸のみ

入力値と予測値の2乗誤差が最小になるように最適化

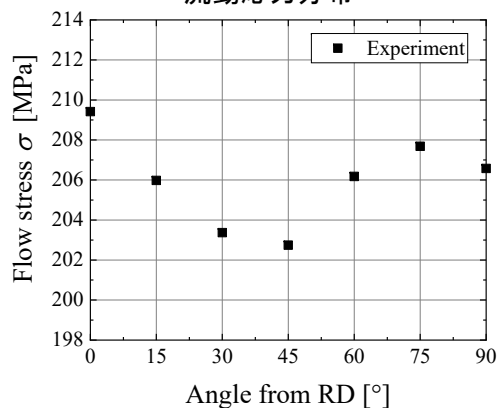
20

○Yld2004-18p

Yld2004-18p

単軸引張の流動応力, R 値の異方性を強めた
架空材料モデルを作成

流動応力分布



1. 流動応力分布の平均値をとる
2. 実験値と平均値の差を2倍した分布を作成
3. R 値分布でも同様の分布作成

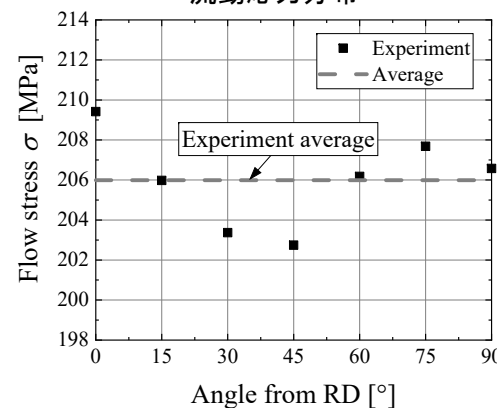
21

○Yld2004-18p

Yld2004-18p

単軸引張の流動応力, R 値の異方性を強めた
架空材料モデルを作成

流動応力分布



1. 流動応力分布の平均値をとる
2. 実験値と平均値の差を2倍した分布を作成
3. R 値分布でも同様の分布作成

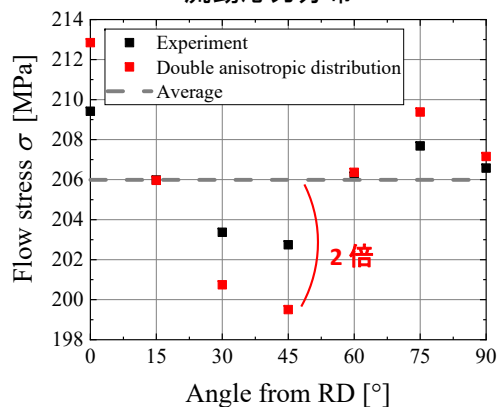
22

○Yld2004-18p

Yld2004-18p

単軸引張の流動応力, R 値の異方性を強めた
架空材料モデルを作成

流動応力分布



1. 流動応力分布の平均値をとる
2. 実験値と平均値の差を2倍した分布を作成
3. R 値分布でも同様の分布作成

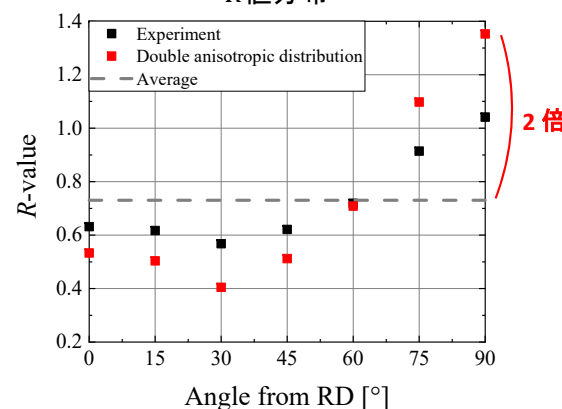
23

○Yld2004-18p

Yld2004-18p

単軸引張の流動応力, R 値の異方性の強度を変化させた
架空材料モデルを作成

R 値分布



1. 流動応力分布の平均値をとる
2. 実験値と平均値の差を2倍した分布を作成
3. R 値分布でも同様の分布作成

24

○材料モデル

Yld2004-18p

	流動応力	R値	
①	実験値	実験値	基準
②	等方性	実験値	
③	実験値	等方性	
④	異方性 強	実験値	
⑤	実験値	異方性 強	

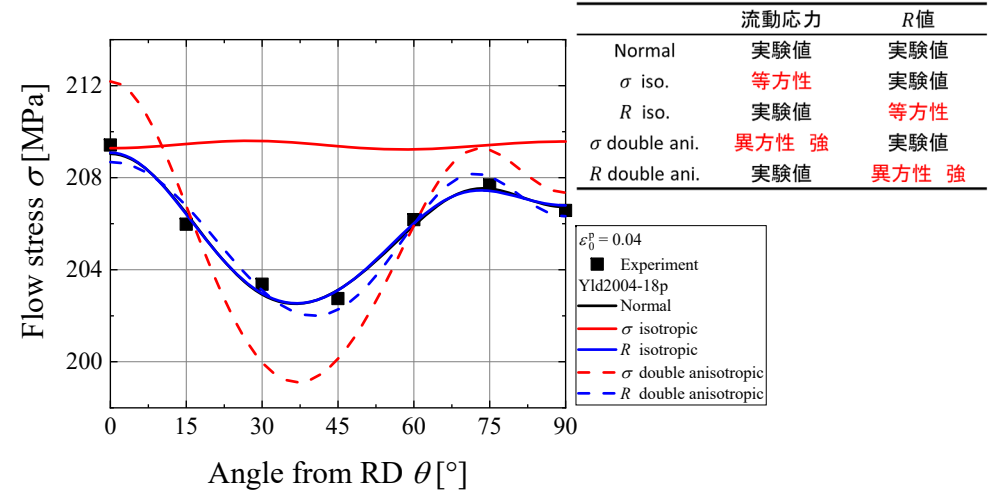


流動応力, R値が穴広げ成形シミュレーションの解析精度に与える影響を調査

25

○流動応力分布

Yld2004-18p

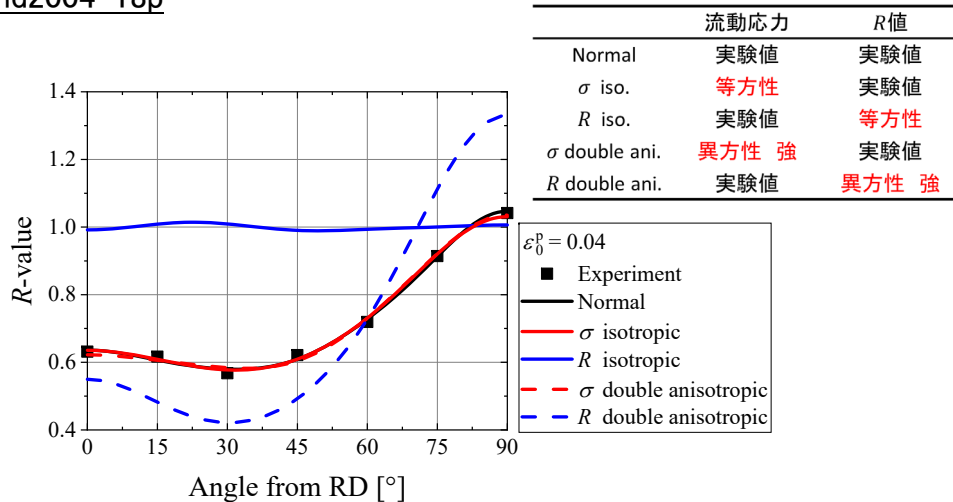


Yld2004-18pは入力値を精度よく再現

26

○R値分布

Yld2004-18p

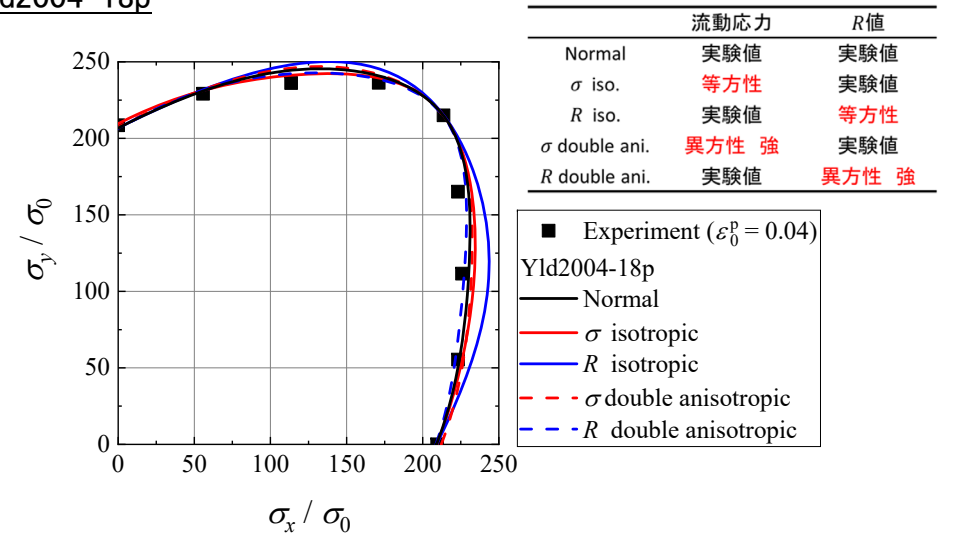


Yld2004-18pは入力値を精度よく再現

27

○降伏曲面

Yld2004-18p



R値を等方性としたモデルが外側に膨らむ

28

穴縁近傍の板厚ひずみ分布の解析結果

29

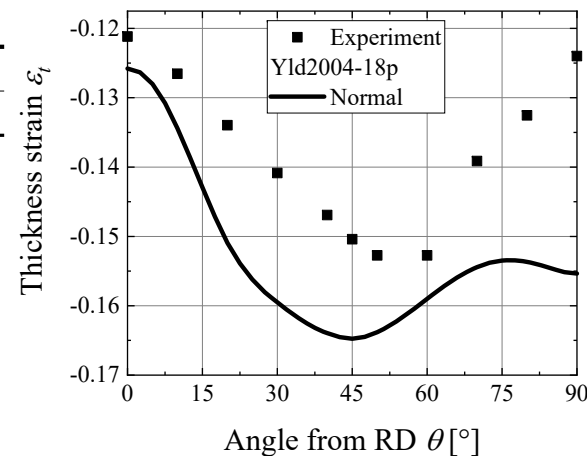
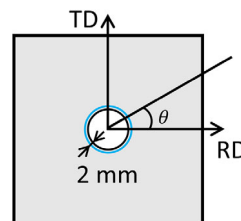
Shizuoka University

○穴縁近傍の板厚ひずみ分布

Yld2004-18p

流動応力	R値
実験値	実験値

➡ 以降, Normal



75°以降, 実験結果と逆の傾向
全体的に板厚ひずみを過大に評価

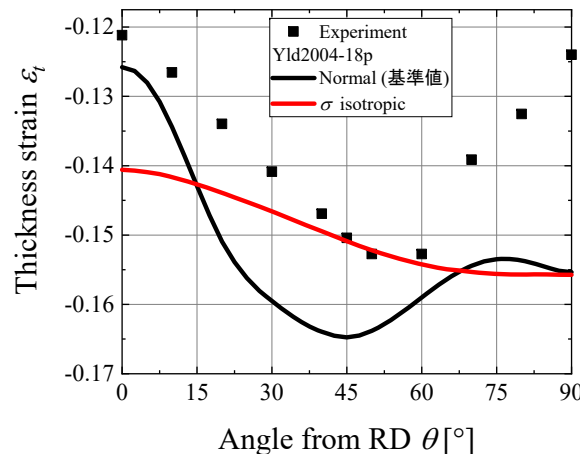
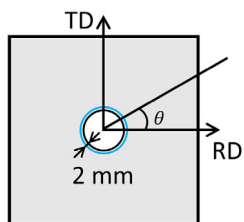
30

Shizuoka University

○穴縁近傍の板厚ひずみ分布

Yld2004-18p

流動応力	R値
等方性	実験値



0° から90° に向かって板厚ひずみが緩やかに増加

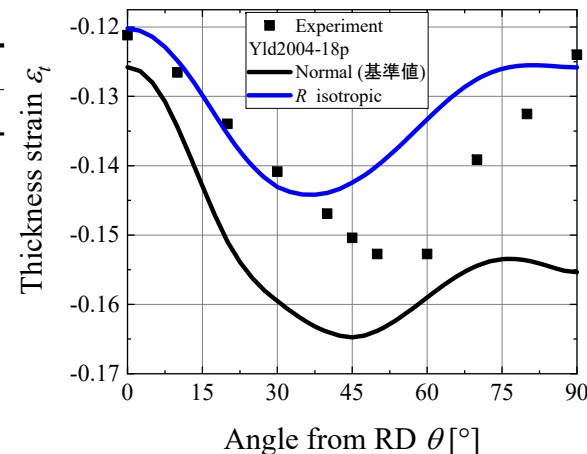
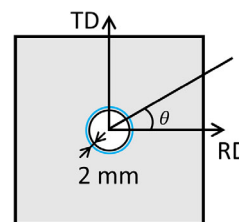
31

Shizuoka University

○穴縁近傍の板厚ひずみ分布

Yld2004-18p

流動応力	R値
実験値	等方性



基準のYld2004-18pと同様の傾向
実験結果に近づく

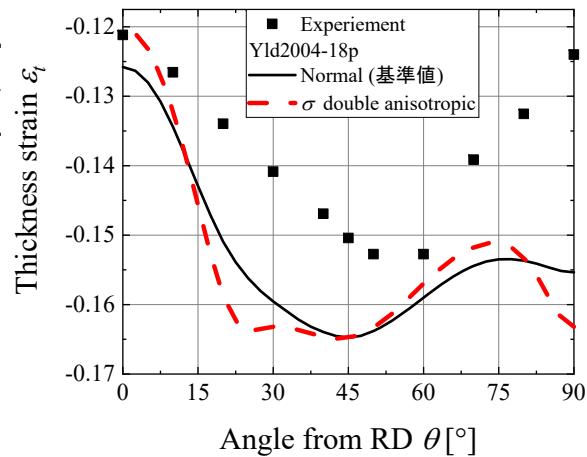
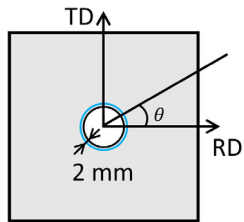
32

Shizuoka University

○穴縁近傍の板厚ひずみ分布

Yld2004-18p

流動応力	R値
異方性 強	実験値



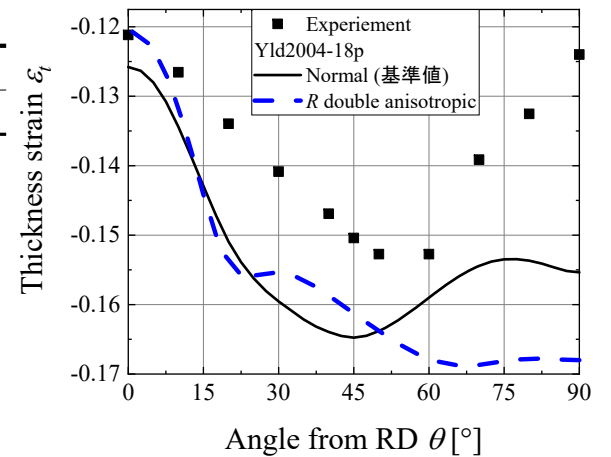
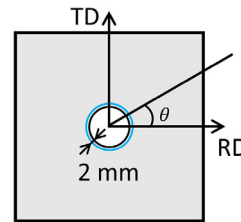
基準のYld2004-18pと同様の傾向
板厚ひずみの振幅を過大に評価

33

○穴縁近傍の板厚ひずみ分布

Yld2004-18p

流動応力	R値
実験値	異方性 強

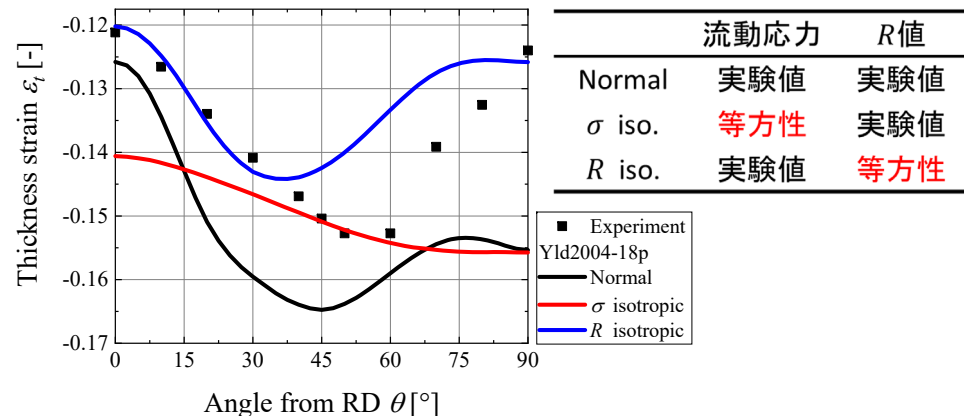


0° から90° に向かって板厚ひずみが急激に増加

34

○誤差率の計算

基準モデル(Normal)とsigma iso.およびR iso.の誤差を調査

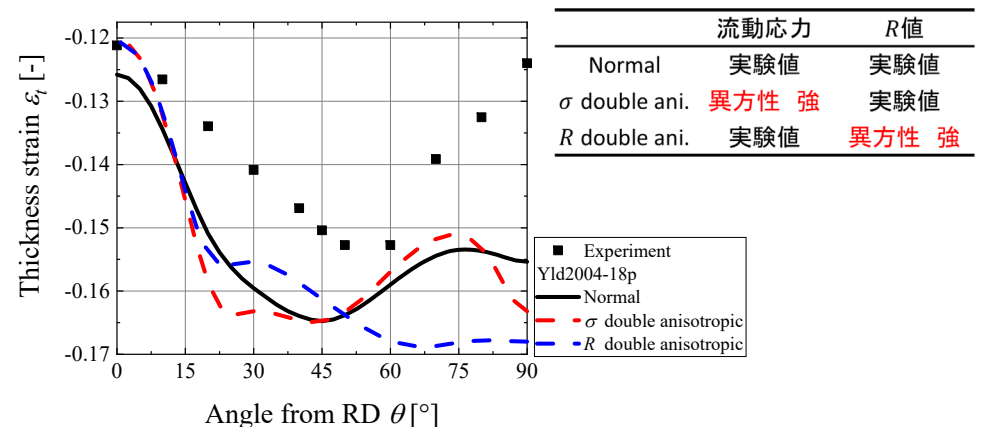


基準値(黒線, Normal)との誤差: R isotropic > sigma isotropic

35

○誤差率の計算

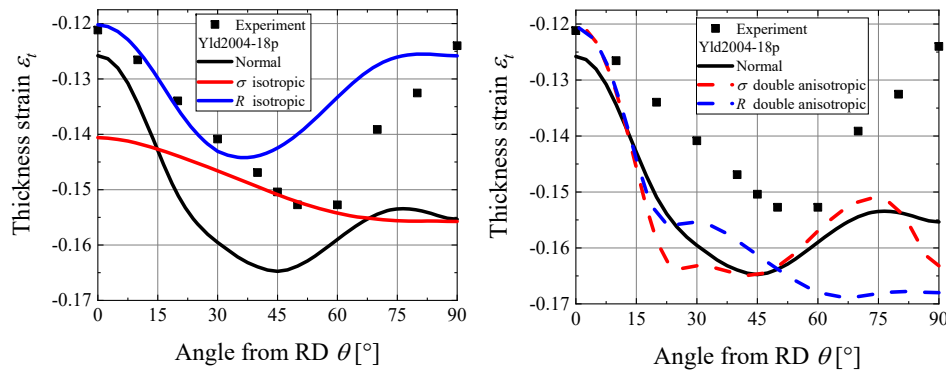
基準モデル(Normal)とsigma double ani.およびR double ani.の誤差を調査



基準値(黒線, Normal)との誤差: R double ani. > sigma double ani.

36

○穴縁近傍の板厚ひずみ分布



R値の異方性を変化させた方が、基準モデルに対する誤差は大きくなる



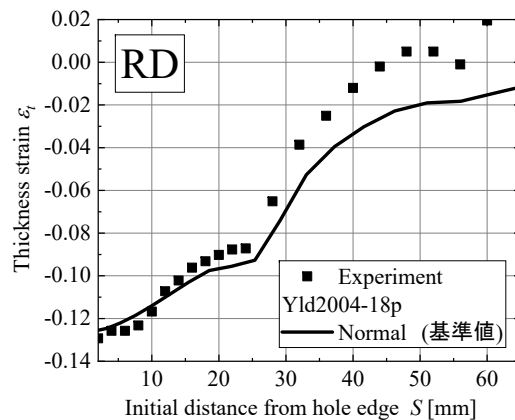
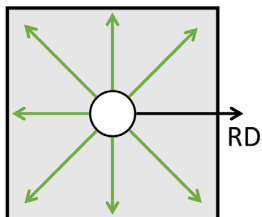
R値の影響が大きい

半径方向の板厚ひずみ分布の解析結果

○半径方向の板厚ひずみ分布

Yld2004-18p

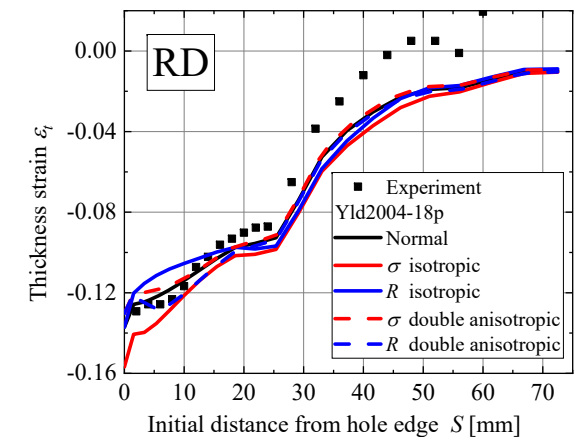
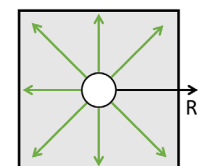
流動応力	R値
実験値	実験値



2 < S < 24の範囲では、実験値を精度よく再現
S = 24以降では、板厚ひずみを過大に評価

○半径方向の板厚ひずみ分布

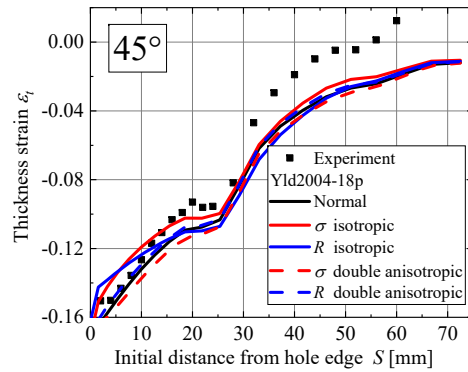
流動応力	R値
実験値	実験値
等方性	実験値
実験値	等方性
異方性 強	実験値
実験値	異方性 強



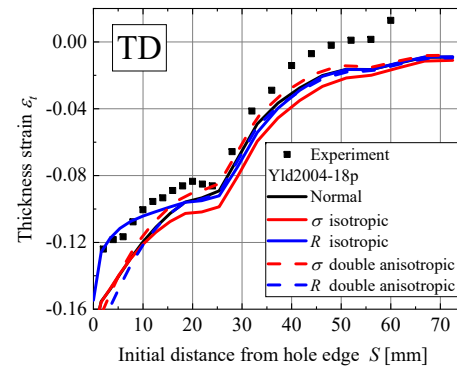
どの解析モデルにおいても、穴縁から離れた位置の板厚ひずみを再現できていない

○半径方向の板厚ひずみ分布

45° 方向



TD



45°, TDでも同様の傾向

○結論

- 実験値をもとにしたYld2004-18pは、穴縁近傍の板厚ひずみ分布の極大、極小となる角度を再現したが、全体的に板厚ひずみを過大に評価した
- 穴広げ成形シミュレーションにおいて、穴縁近傍の板厚ひずみ分布は流動応力よりもR値の影響を受ける
- 半径方向において、どの解析モデルにおいても、穴縁から離れた位置の板厚ひずみを再現することはできなかった