

延性破壊条件を考慮した3次元弾塑性有限要素法による厚板せん断過程のシミュレーション

発表内容

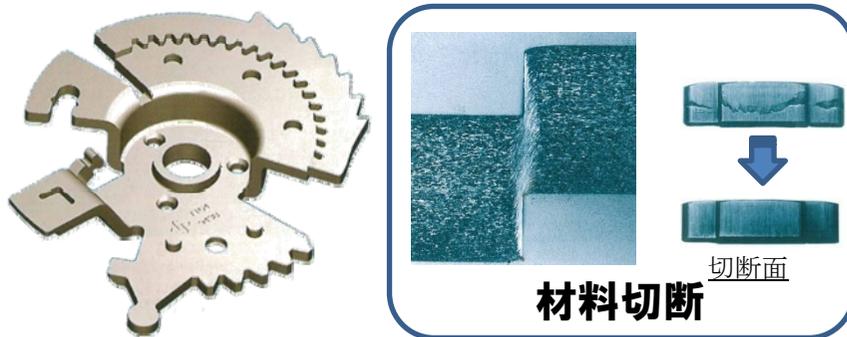
- 背景、目的
- 単軸引張シミュレーションによる材料定数の同定
- せん断過程シミュレーション
- まとめ

発表内容

- 背景、目的
- 単軸引張シミュレーションによる材料定数の同定
- せん断過程シミュレーション
- まとめ

せん断加工とそのシミュレーション技術の重要性増大

- 低コスト化: 切削、焼結、ダイキャスト等からファインブランキングへの工法置換



断面性状の
制御と予測

- 軽量化: 高張力鋼板の適用拡大



プレス成形時のブ
ランク端ワレ(伸
びフランジワレ)の
制御と予測

弾塑性FEM活用のメリットとポイント

- 有限変形への対応
- 静水圧応力成分の算出・・・延性破壊条件式への対応
- スプリングバックの影響考慮
- 破壊発生時の高度な非線形挙動への対応・・・静的陽解法

せん断シミュレーションの技術要素

技術要素	本研究で用いた手法
定式	Updated Lagrangian
解法	静的陽解法
有限要素	六面体1次、四面体2次要素
破壊クライテリア	Cockroft-Lathamによる延性破壊条件
パラメータ同定	引張試験シミュレーション
材料モデル	Swift硬化モデル等
リメッシュ	アスペクト比による判定、粗密制御
リマッピング	影響球の定義と積分点間距離で重みづけ
要素の切り離し	破壊要素を消滅(剛性ゼロ化)

弾塑性FEM活用のメリットとポイント

- 有限変形への対応
- 静水圧応力成分の算出・・・延性破壊条件式への対応
- スプリングバックの影響考慮
- **破壊発生時の高度な非線形挙動への対応・・・静的陽解法**

せん断シミュレーションの技術要素

技術要素	本研究で用いた手法
定式	Updated Lagrangian
解法	静的陽解法
有限要素	六面体1次、四面体2次要素
破壊クライテリア	Johnson-Cookモデルによる延性破壊条件
パラメータ同定	引張試験シミュレーション
材料モデル	Swift硬化モデル等
リメッシュ	アスペクト比による判定、粗密制御
リマッピング	影響球の定義と積分点間距離で重みづけ
要素の切り離し	破壊要素を消滅(剛性ゼロ化)

本研究で着目した項目

- 静的陽解法弾塑性有限要素法による3次元せん断解析手法を構築する
- S-Sカーブと延性破壊パラメータの同定法を検討し、せん断解析結果への影響を検証する

発表内容

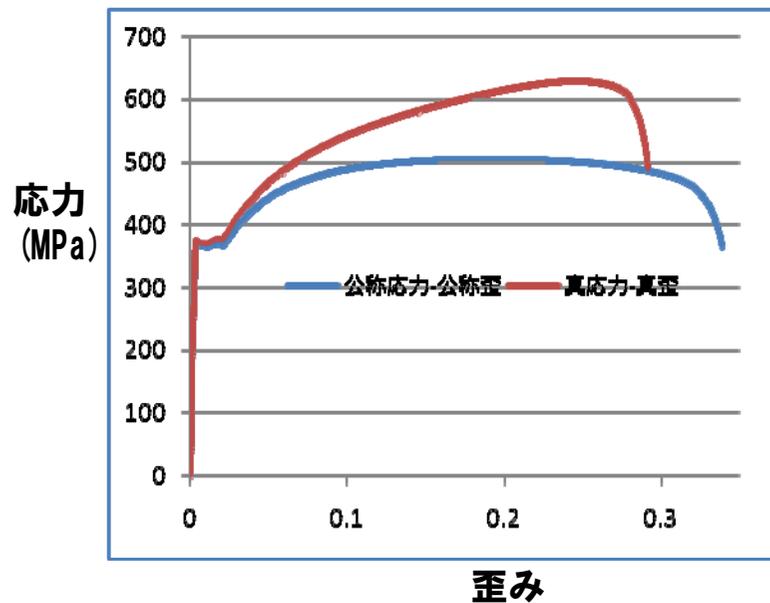
- 背景、目的
- **単軸引張シミュレーションによる材料定数の同定**
- せん断過程シミュレーション
- まとめ

単軸引張試験と祖とシミュレーションにより、S-Sカーブと延性破壊パラメータを同定

・材料: SCM415, $t_0=6\text{mm}$



破断後の試験片(JIS5号試験片)



引張試験結果(応力-ひずみ線図)

くびれ発生(最大荷重点)より小ひずみ域で Swiftフィッティング実施

材料種類	Swiftの式			r値
	K	n	ϵ_0	
SCM415	822.1822	0.1805	0.012761	0.75

単軸引張解析モデル

■ 解析モデル

◆ 6面体1次

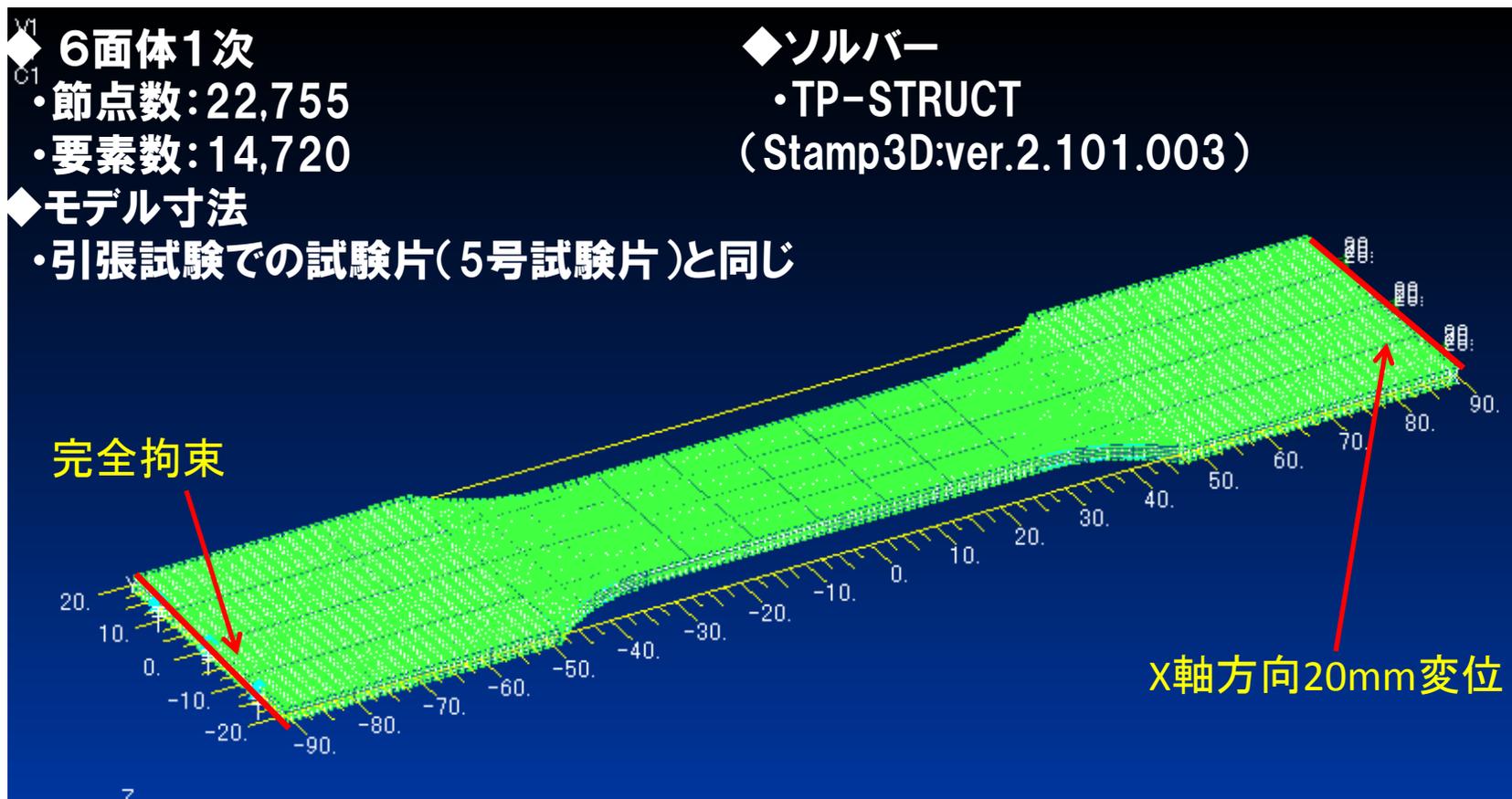
- ・節点数: 22,755
- ・要素数: 14,720

◆ モデル寸法

- ・引張試験での試験片(5号試験片)と同じ

◆ ソルバー

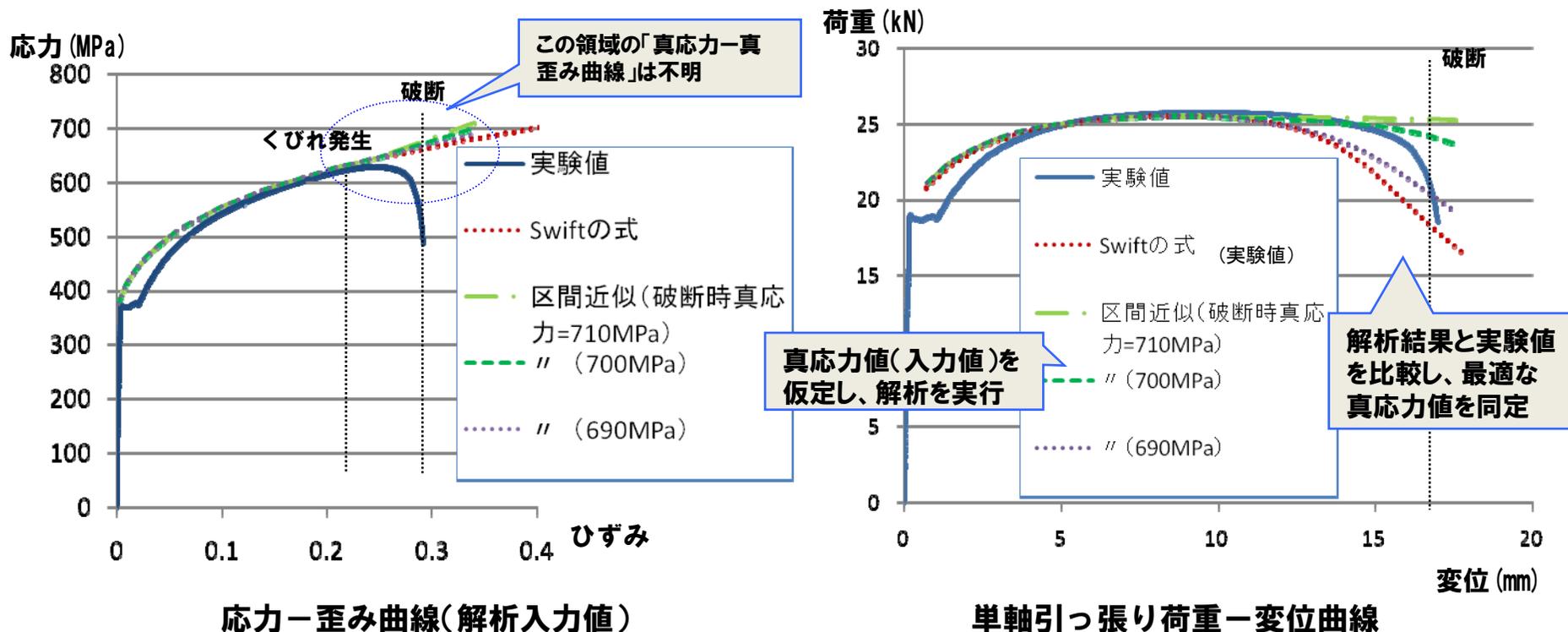
- ・TP-STRUCT
(Stamp3D:ver.2.101.003)



S-Sカーブの同定

拡散くびれ発生以降の真応力-真ひずみ関係を多点プロット(区間直線近似で推定)

- ・くびれ発生までは、Swiftの式同等でプロット
- ・くびれ発生後は、破断時の真応力を推定



解析で
同定

破断時の真応力を700MPaとした場合に
最もよく実際の単軸引張荷重と一致

延性破壊パラメータの同定

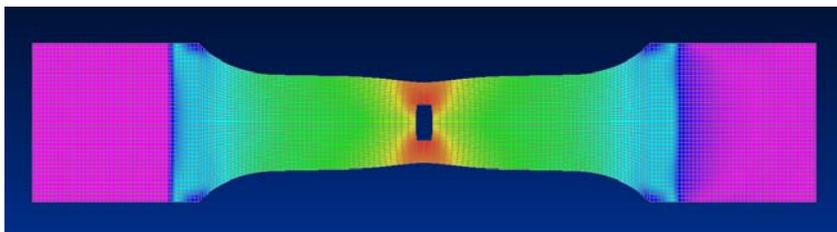
Cockcroft-Lathamの式の材料定数 (C) の同定

実験結果に最も一致するC値を
シミュレーションにより探索



C値: 200、450、500で解析

C=500 の場合に最もよく一致する

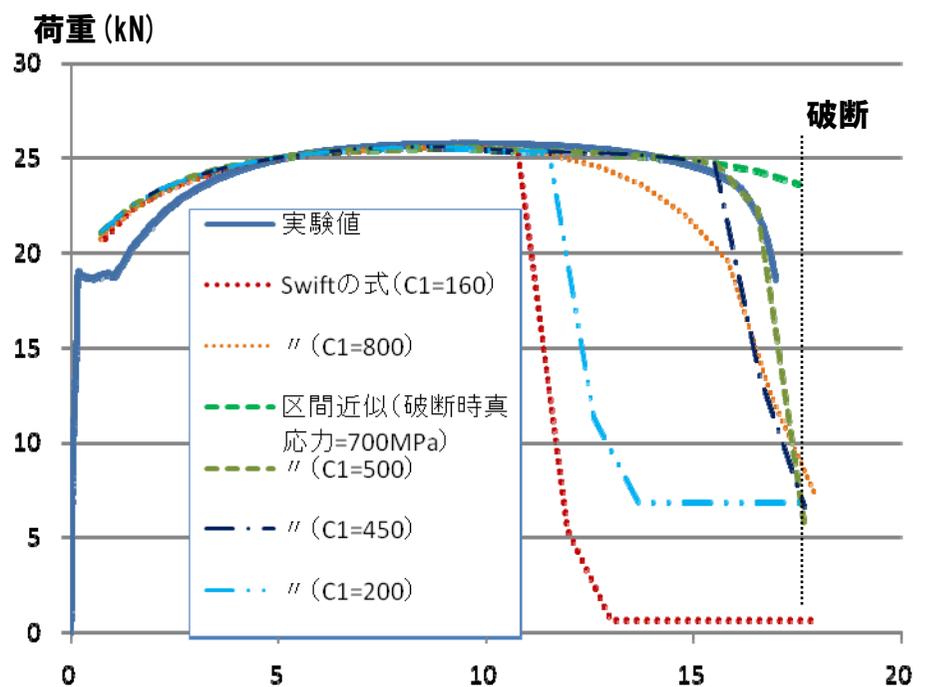


破断時の相当応力分布(C=500)

Cockcroft-Lathamの式

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \sigma_{\max} d\bar{\epsilon} = C$$

σ_{\max} 最大垂直応力
 C 材料パラメータ



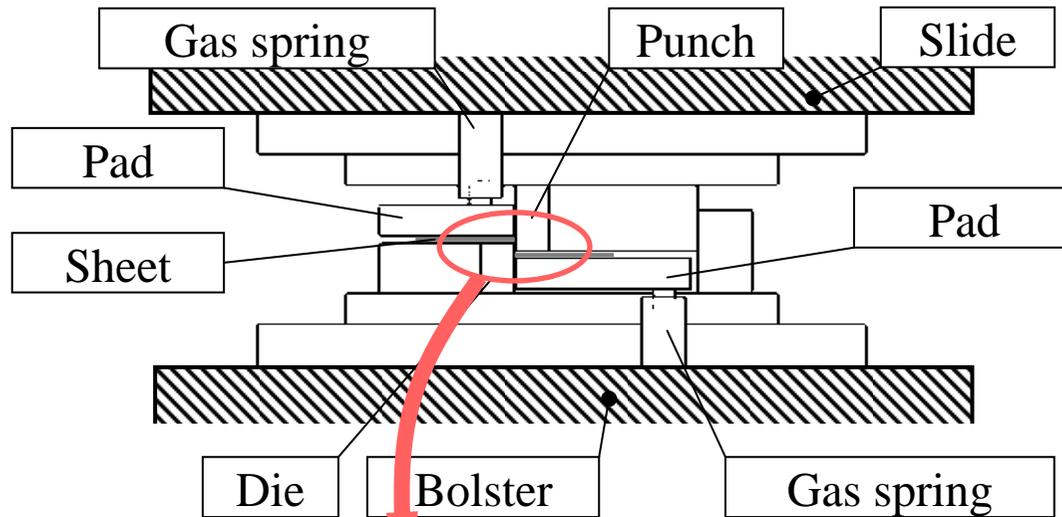
荷重—変位曲線 (延性破壊考慮) 変位 (mm)

解析結果と実験結果の比較

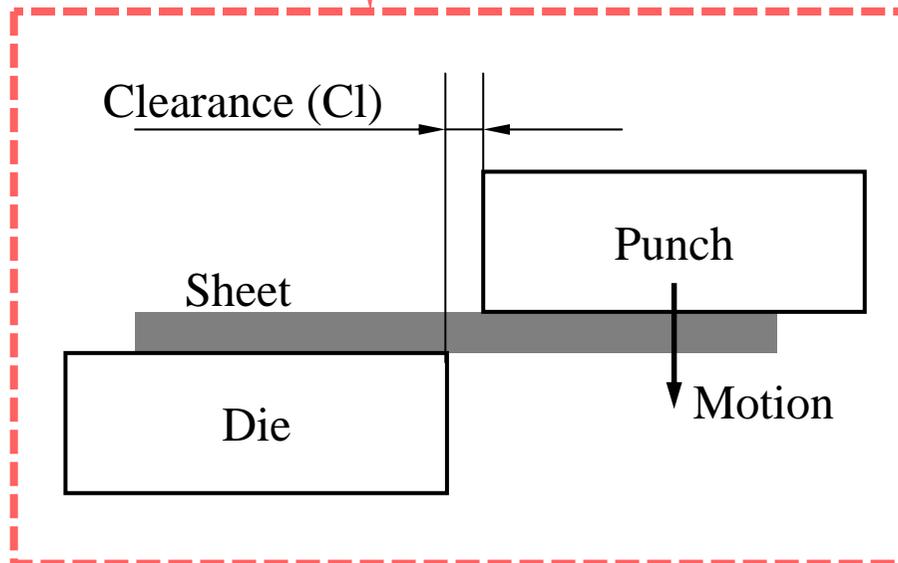
発表内容

- 背景、目的
- 単軸引張シミュレーションによる材料定数の同定
- **せん断過程シミュレーション**
- まとめ

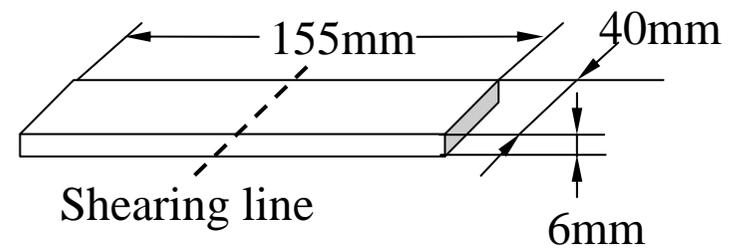
せん断実験条件



アミノ製50Tonサーボプレス



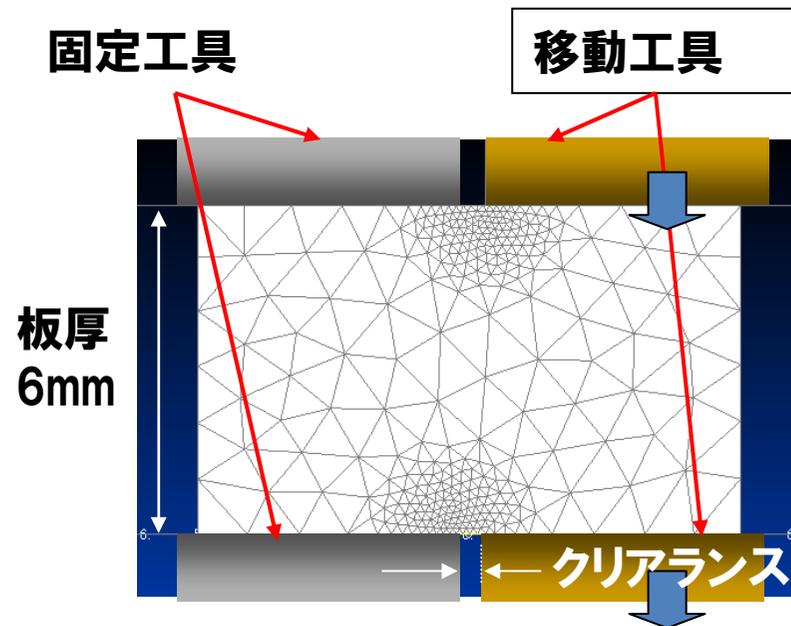
- 材質:SCM415
- 板厚6mm, 板幅40mm, 長手方向155mm
- クリアランス:10%t、1%t



材料寸法

せん断過程解析モデル

得られたS-Sカーブ(多点プロット区間直線近似)及び延性破壊パラメータ $C=500$ を用いてせん断解析実施
(比較対象としてSwift近似S-Sカーブ及び単軸引張試験から均一断面を仮定して機械的に延性破壊パラメータを同定したモデルに対する解析も実施)



- 板厚6mm, 板幅1mm
- クリアランス:10%t、1%t
- 四面体2次
- 要素数:7,172
- 節点数:11,324
(リメッシュにより可変)
- ヤング率:210,000 (MPa)
- ポアソン比:0.3

- 材料:SCM415
- 破断時真応力:700MPaと推定
- 延性破壊条件式:Cockcroftの式
材料パラメータ $C=500$



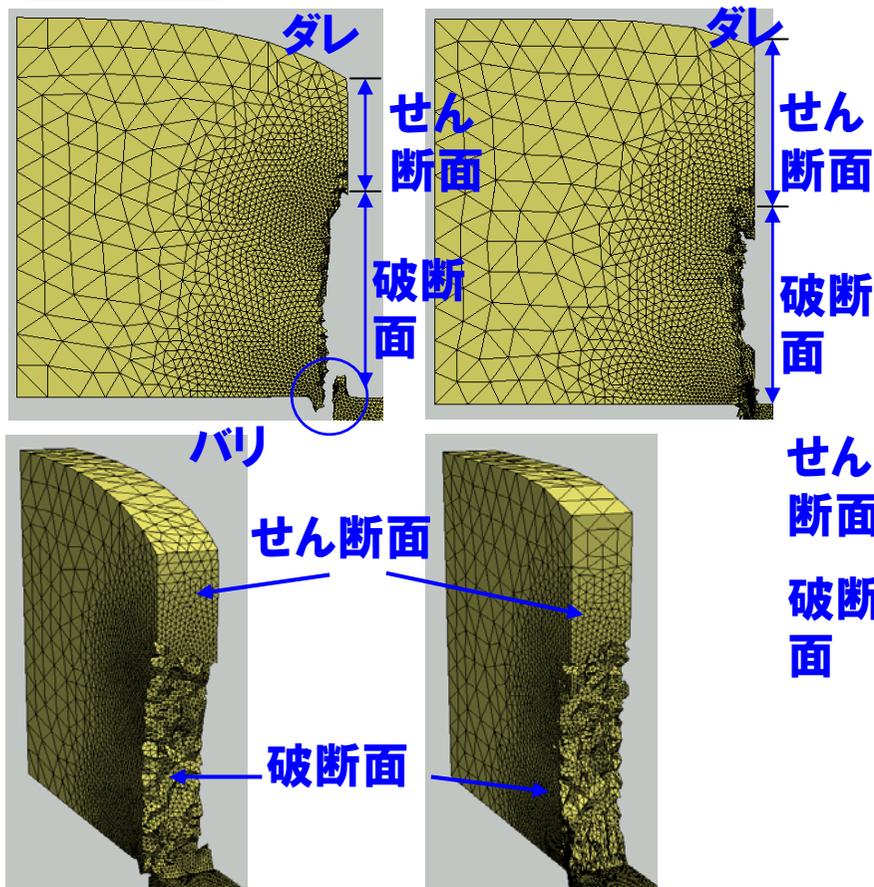
材料パラメータの妥当性を検証

解析結果及び実験結果

クリアランスの違いによるせん断面・破断面形状の差異を確認

クリアランス: 10%t
(0.6mm)

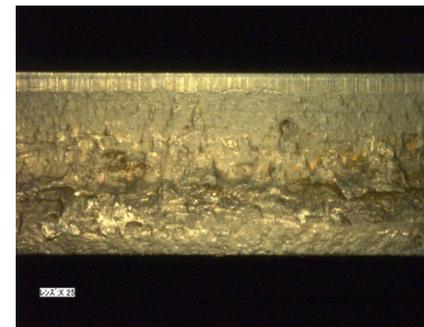
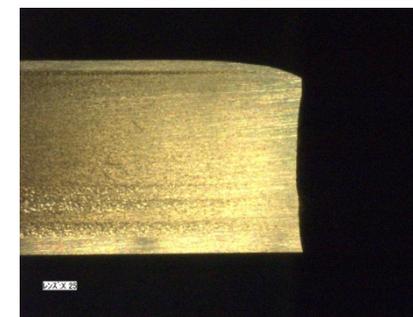
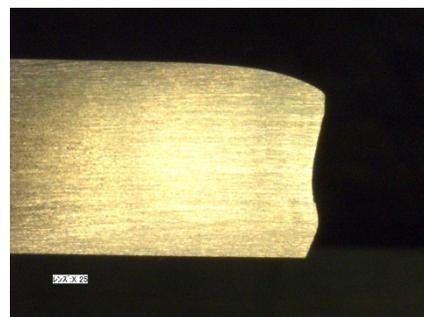
クリアランス: 1%t
(0.06mm)



解析結果

クリアランス: 10%t
(0.6mm)

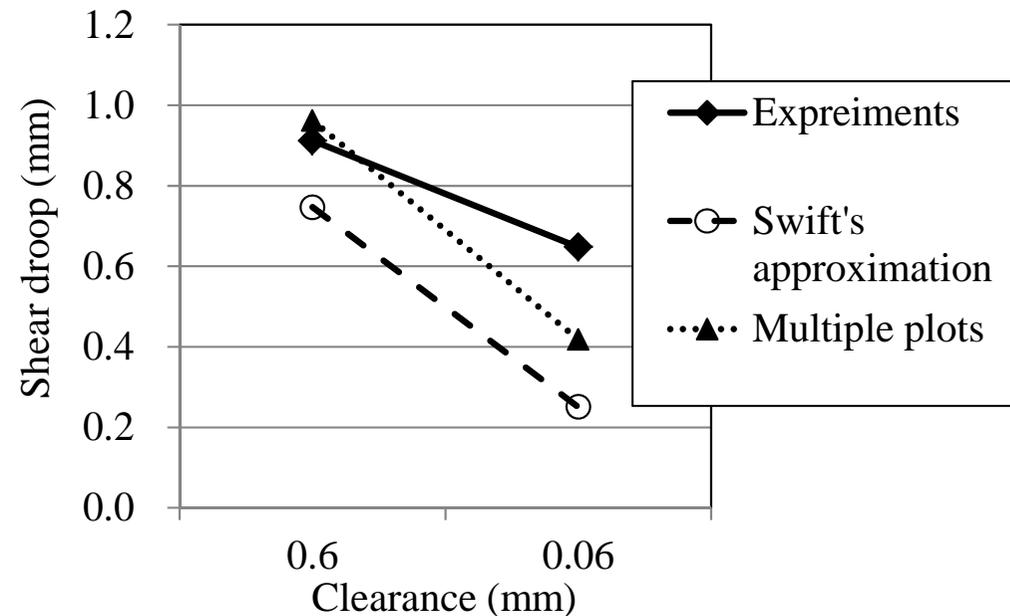
クリアランス: 1%t
(0.06mm)



実験結果

材料モデル違いによる影響の検討

材料モデル、クリアランスが
ダレ量に及ぼす影響



- 定性的に実験と一致
- S-Sカーブ多点近似の方が実験に近い

おおよそその変形形状は一致
→材料モデルの妥当性

発表内容

- 背景、目的
- 単軸引張シミュレーションによる材料定数の同定
- せん断過程シミュレーション
- **まとめ**

- 延性破壊を考慮したせん断過程のように、破壊発生による急激な剛性変化に伴う高度な非線形現象を弾塑性FEMで解析するに当たり、静的陽解法を採用するTP-STRUCTの頑健性が有効であることが示された。
- 局部伸び領域の応力-ひずみ曲線を推定し、単軸引張シミュレーションの荷重変化を実験と合わせ込むことにより、延性破壊パラメータを精度よく同定することができた。その結果せん断過程のFEM解析によるダレ量の予測が実験値に近くなることが確認できた。
- 今後は、せん断解析を構成する各種要素技術についての検討を進め、せん断面率予測の高精度化を目指す。