



コーナ一部を有する熱可塑性CFRP構造物の 強度設計に関する研究

Structural Design of CFRTP Focused on the Strength of Curved Section



平成25年2月

東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻

37116313 後藤壮滋

指導教員 高橋淳 教授



発表内容

- 研究背景
- 湾曲部特性評価実験
 - ・ L型試験片引っ張り試験概要
 - ・ 実験結果
 - ・ 応力算出結果と考察
- 理論の改良
 - ・ モデル化
 - ・ モデルの妥当性
- 構造物への適用
 - ・ 強度設計
 - ・ 剛性設計
- 結論

2



発表内容

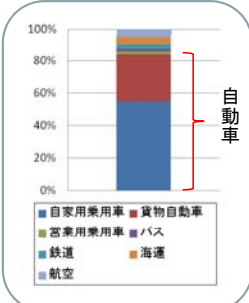
- 研究背景
- 湾曲部特性評価実験
 - ・ L型試験片引っ張り試験概要
 - ・ 実験結果
 - ・ 応力算出結果と考察
- 理論の改良
 - ・ モデル化
 - ・ モデルの妥当性
- 構造物への適用
 - ・ 強度設計
 - ・ 剛性設計
- 結論

3

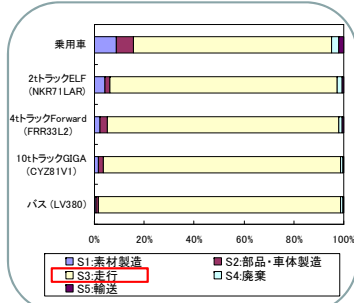


研究背景

エネルギー消費量内訳(2010)
(日本の運輸部門)



ステージ別エネルギー消費量LCA



超軽量車の開発により、自動車のエネルギー消費量とCO₂を大幅削減

4

研究背景

CFRTP
炭素繊維 + 樹脂 (熱可塑性)
(Polypropylene)
・生産速度が速い ・コストが低い
量産車向き

CFRTP車の設計・普及

CFRTPの基礎物性の把握
3点曲げ試験 引っ張り試験

5

研究の目的

湾曲部

接合部フランジ 荷重 接合面

設計のためには適切な強度評価が必要である

目的

1. 湾曲部におけるCFRTPの強度の測定手法を提案する
2. 材料の湾曲部物性を基にCFRTPの湾曲部の設計方法を提案する

6

発表内容

- 研究背景
- 湾曲部特性評価実験
 - ・ L型試験片引っ張り試験概要
 - ・ 実験結果
 - ・ 応力算出結果と考察
- 理論の改良
 - ・ モデル化
 - ・ モデルの妥当性
- 構造物への適用
 - ・ 強度設計
 - ・ 剛性設計
- 結論

7

湾曲部特性評価実験

L型試験片引張試験

テープ・中間基材

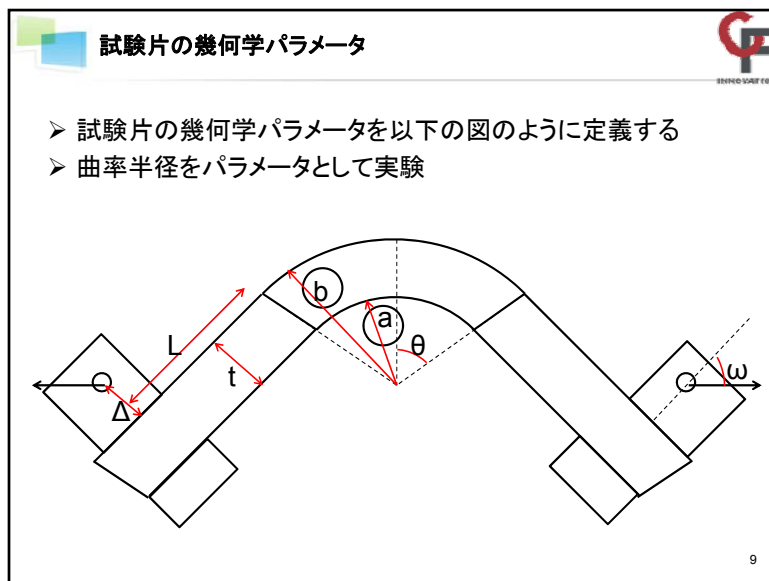
成形

湾曲形状基材 (L型試験片)

①層間剥離 ②引張破壊 ③圧縮破壊

σ_t σ_c

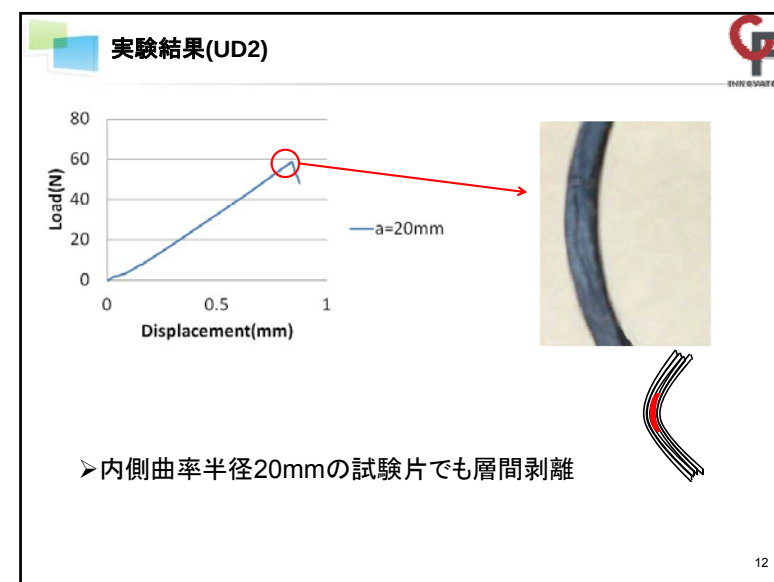
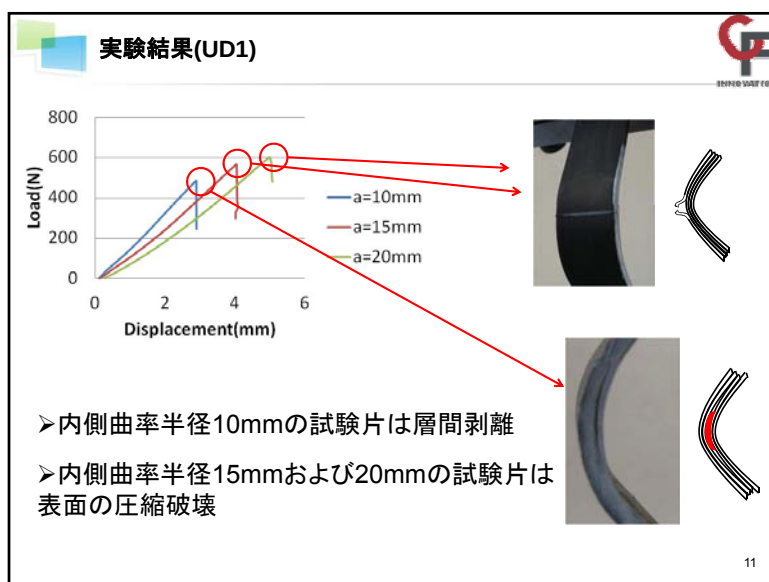
8

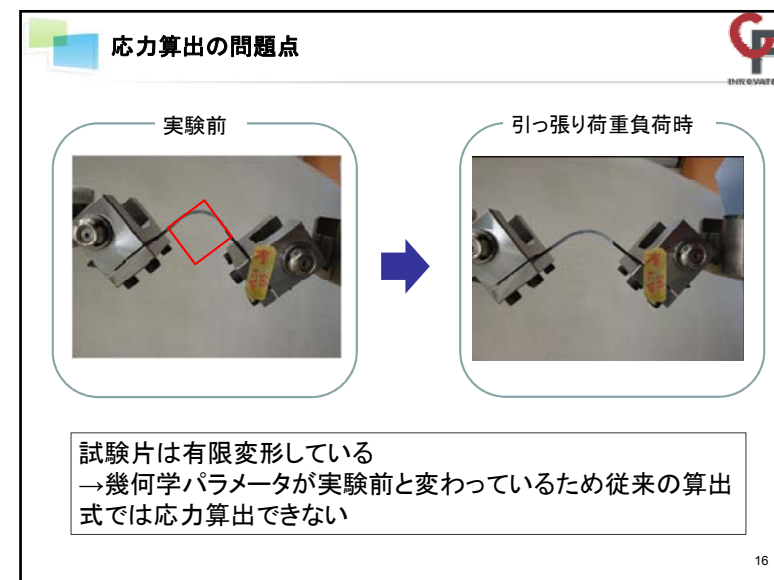
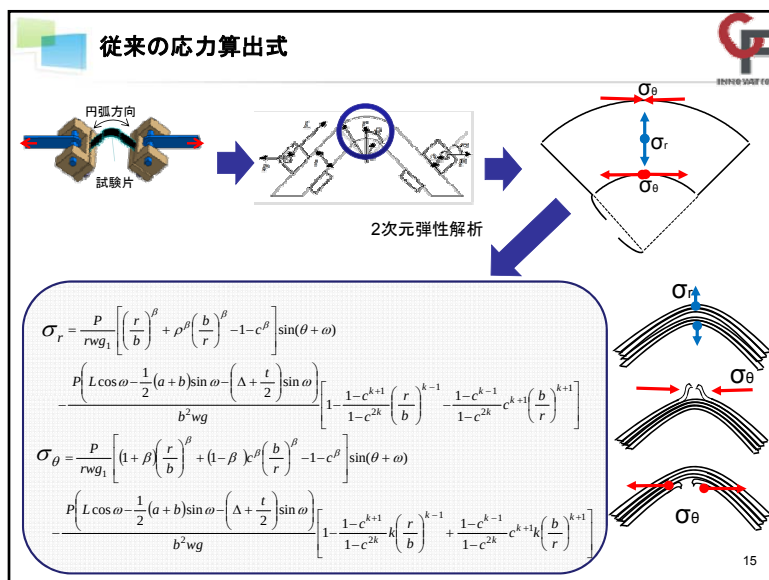
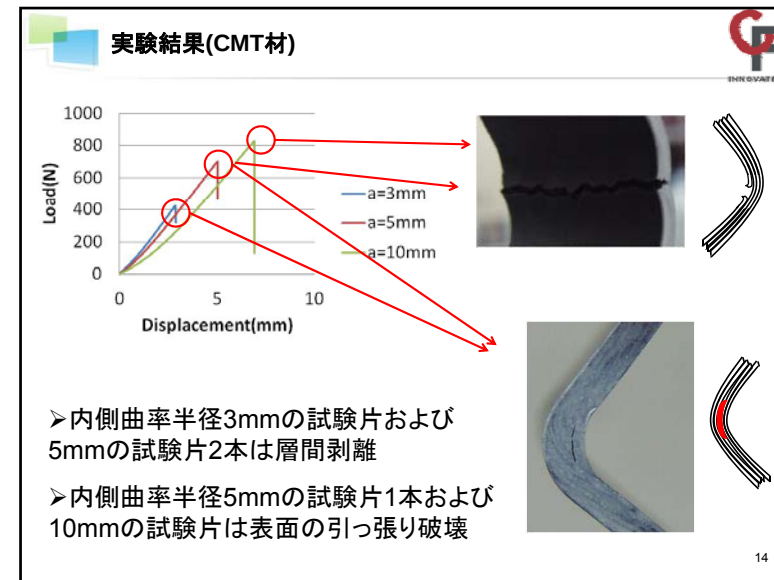
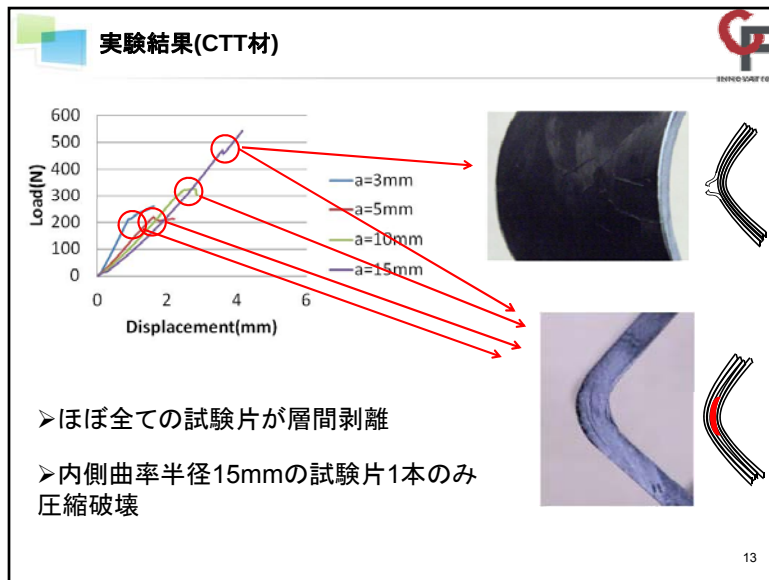


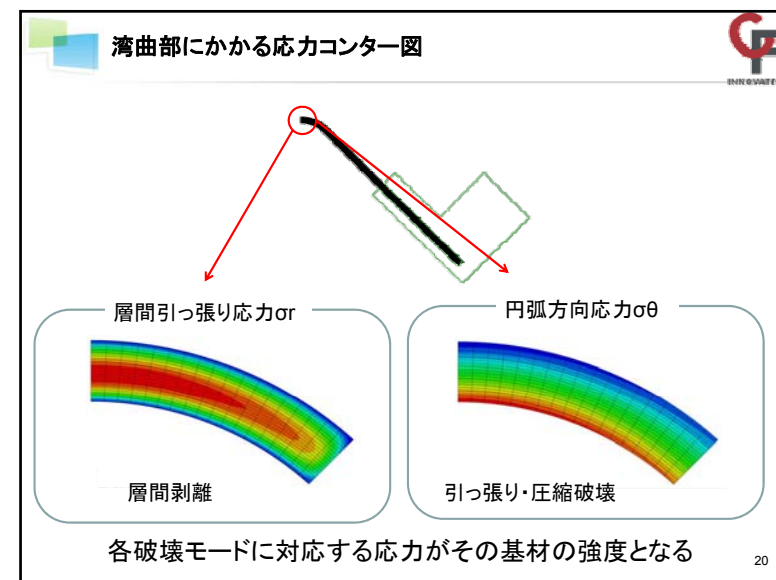
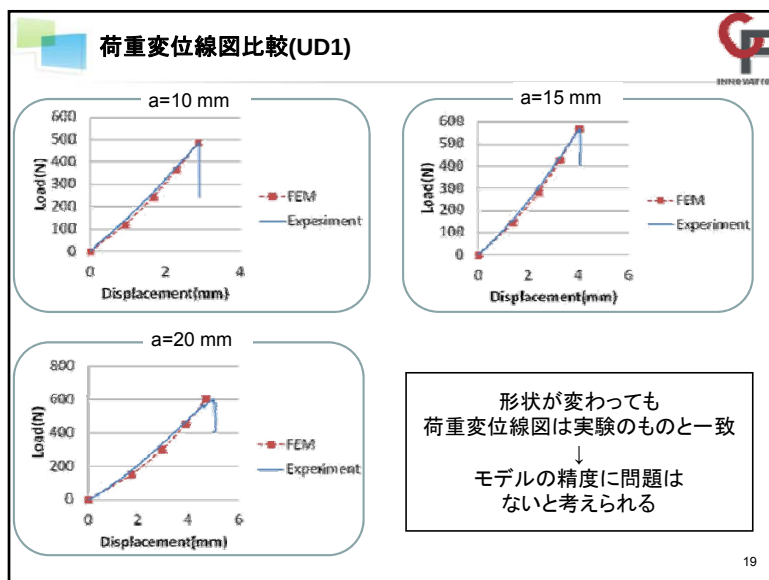
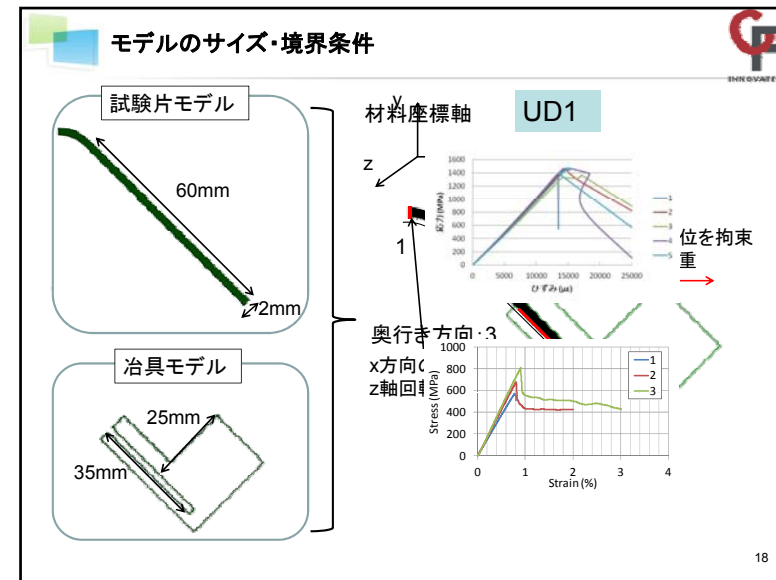
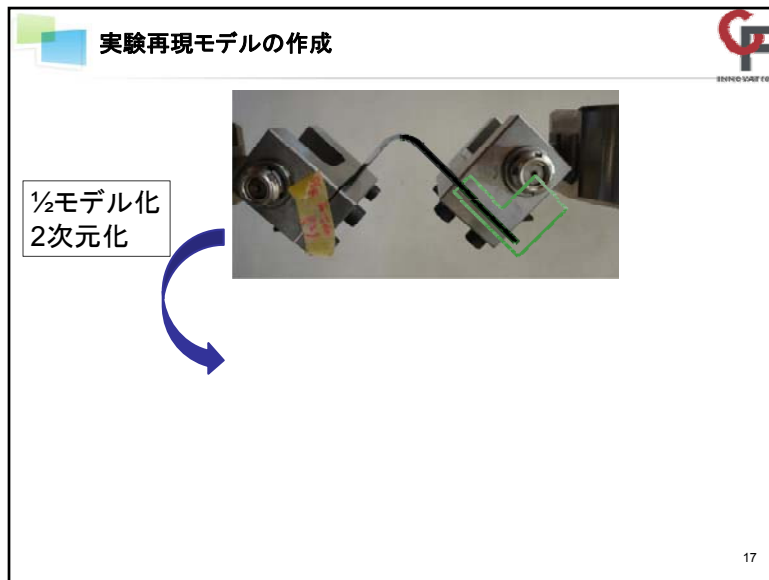
実験に使う基材

	UD1	UD2	CTT材	CMT材
樹脂	変性PP	無変性PP	変性PP	変性PP
界面接着性	高い	低い	高い	高い
Vf	約50%	約50%	約50%	約20%
繊維形態	一方向	一方向	面内擬似等方	面内等方
内側曲率半径	10,15,20mm	20mm	3,5,10,15mm	3,5,10mm
模式図				

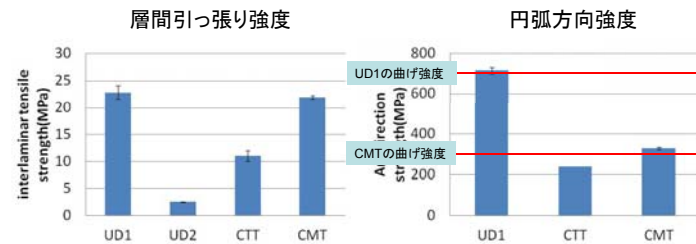
10







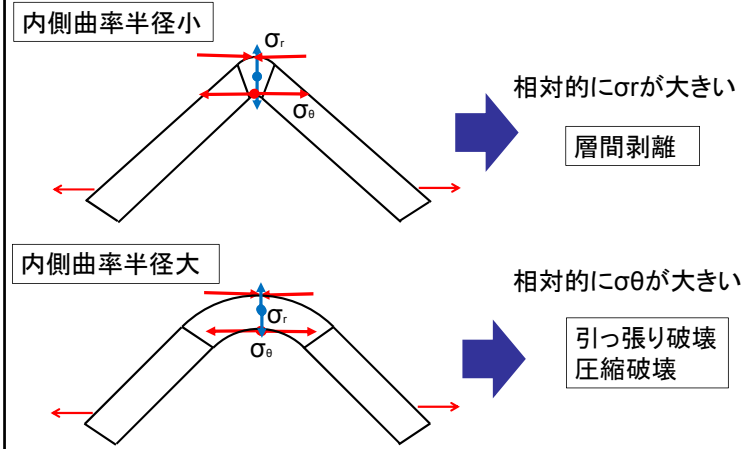
各基材強度算出結果



- UD1、CTTは円弧方向強度に対する層間引っ張り強度の値が低い
 - 層間剥離しやすい
- CMTは円弧方向強度に対する層間引っ張り強度の値が高い
 - 層間剥離にくい
- 円弧方向強度はほぼ3点曲げの結果と等しい

21

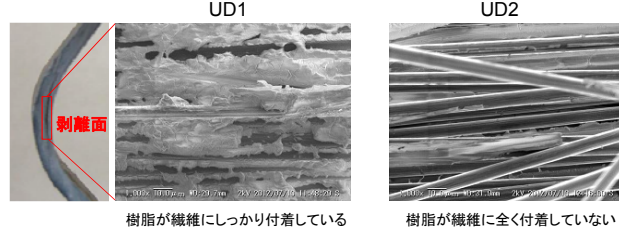
考察(破壊モード)



22

考察(界面接着性の影響)

剥離破面のSEM観察



- 界面接着強度が高い材料は界面で簡単に剥離せず層間引っ張り強度が高くなり、低い材料は界面で容易に剥離し強度も低くなる
 - 層間引っ張り強度は界面接着性の影響を受ける
 - 層間剥離しない湾曲部を設計可能にするためには、界面接着強度の向上が不可欠

23

発表内容

- 研究背景
- 湾曲部特性評価実験
 - L型試験片引っ張り試験概要
 - 実験結果
 - 応力算出結果と考察
- 理論の改良
 - モデル化
 - モデルの妥当性
- 構造物への適用
 - 強度設計
 - 剛性設計
- 結論

24

変化する幾何学パラメータ

- Δ は変化しない、 L と t は変化が微小であるとして、以下の4つを変数とする
- 変形後の文字には'をつけて表す

25

有限変形のモデル化

- 試験片を中央の線で仮定
- この線の有限変形の仕方を考える

26

幾何学パラメータ補正式

変形前
変形後

仮定

- 円弧は常に腕と接する
- 腕は一直線である
- Aから治具の根元(BおよびB')までの長さは等しい

$$\omega' = \frac{\pi}{2} - \theta'$$

$$R = R' \tan \theta'$$

$$(R + L) \sin \omega + \left(\Delta + \frac{t}{2} \right) \cos \omega + \frac{\delta}{2} = (R + L) \sin \omega' + \left(\Delta + \frac{t}{2} \right) \cos \omega'$$

27

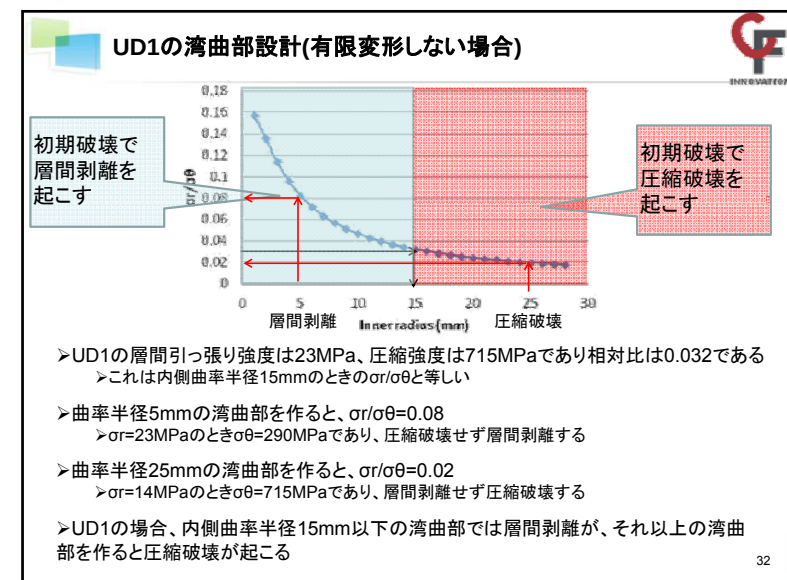
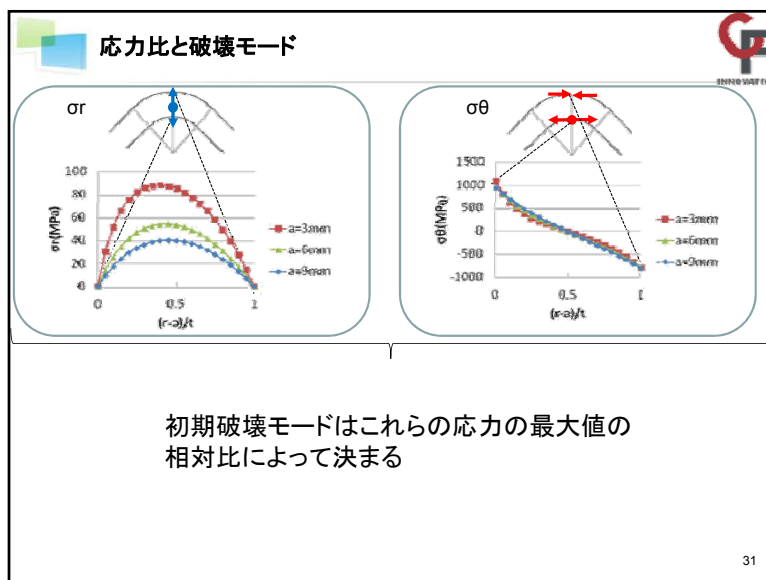
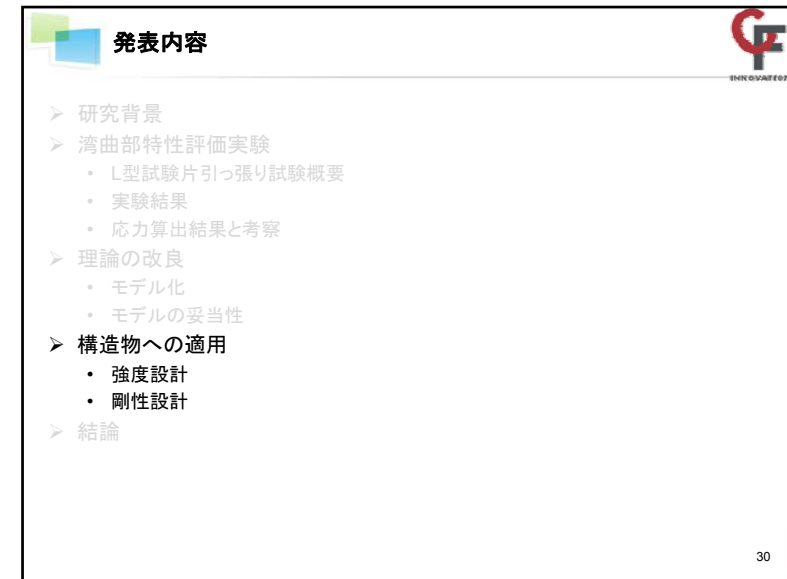
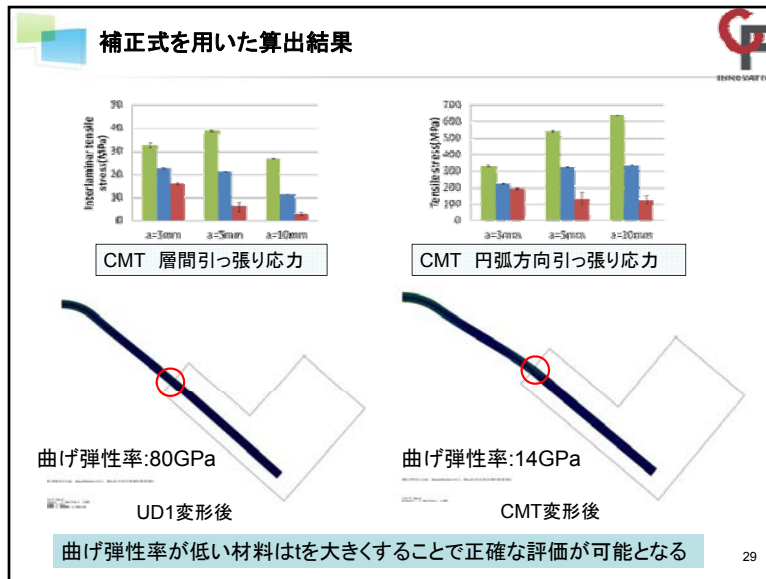
補正式を用いた算出結果

緑:補正なし 青:FEM 赤:補正あり

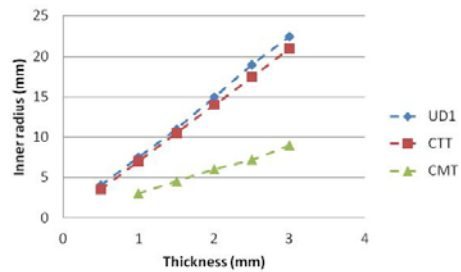
UD1 層間引っ張り **補正式は妥当である** 層間引っ張り応力

UD1 圧縮応力 UD2 圧縮応力 CTT 圧縮応力

28



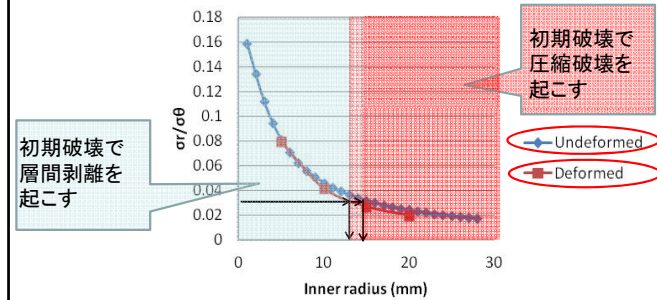
板厚による剥離しない曲率半径の変化



- 板厚を大きくすると、剥離しない曲率半径は大きくなる
- ほぼ比例関係なので、板厚が変わっても剥離しない曲率半径は簡単に予測できる

33

UD1の湾曲部設計(有限変形する場合)



- FEMで実験と同じように有限変形させて応力比を算出
- 有限変形した場合、層間剥離しない曲率半径は小さくなる
 - ・変形を考慮せず設計しても安全側の設計となる

34

発表内容

- 研究背景
- 湾曲部特性評価実験
 - ・ L型試験片引っ張り試験概要
 - ・ 実験結果
 - ・ 応力算出結果と考察
- 理論の改良
 - ・ モデル化
 - ・ モデルの妥当性
- 構造物への適用
 - ・ 強度設計
 - ・ 剛性設計
- 結論

35

結論

- 湾曲部分の破壊モードと強度
 - ・ 湾曲部の破壊モードは曲率半径で変化する
 - ・ 湾曲部の強度は材料や基材の特性(界面接着性、繊維強化形態など)による
- 応力算出方法
 - ・ L型試験片が有限変形するため従来の式では強度を過大評価してしまう
 - ・ FEMを用いるか本研究で提案した補正式により正しく評価できる
- 構造物の設計
 - ・ 湾曲部が層間剥離するかどうかは湾曲部にかかる応力の比と材料特性による
 - ・ 有限変形しない場合、剥離しない曲率半径は材料特性と従来の応力算出式を用いることで簡単に予測できる
 - ・ 有限変形する場合でも、変形しない場合を想定して設計すれば剥離しない

今後は、より複雑形状の構造物への応用が求められる

36

