

集成材の材料定数と数値モデル化

05124 橋本 崇史

集成材 + 鋼板挿入など
新しい構造の提案



性能の照査の必要性



コンピュータ上で数値モデル化



材料定数が必要

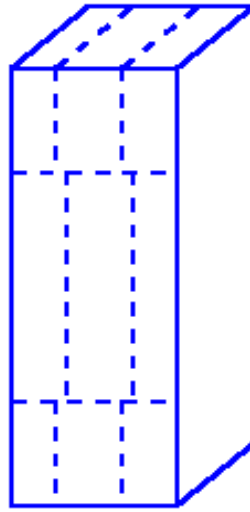
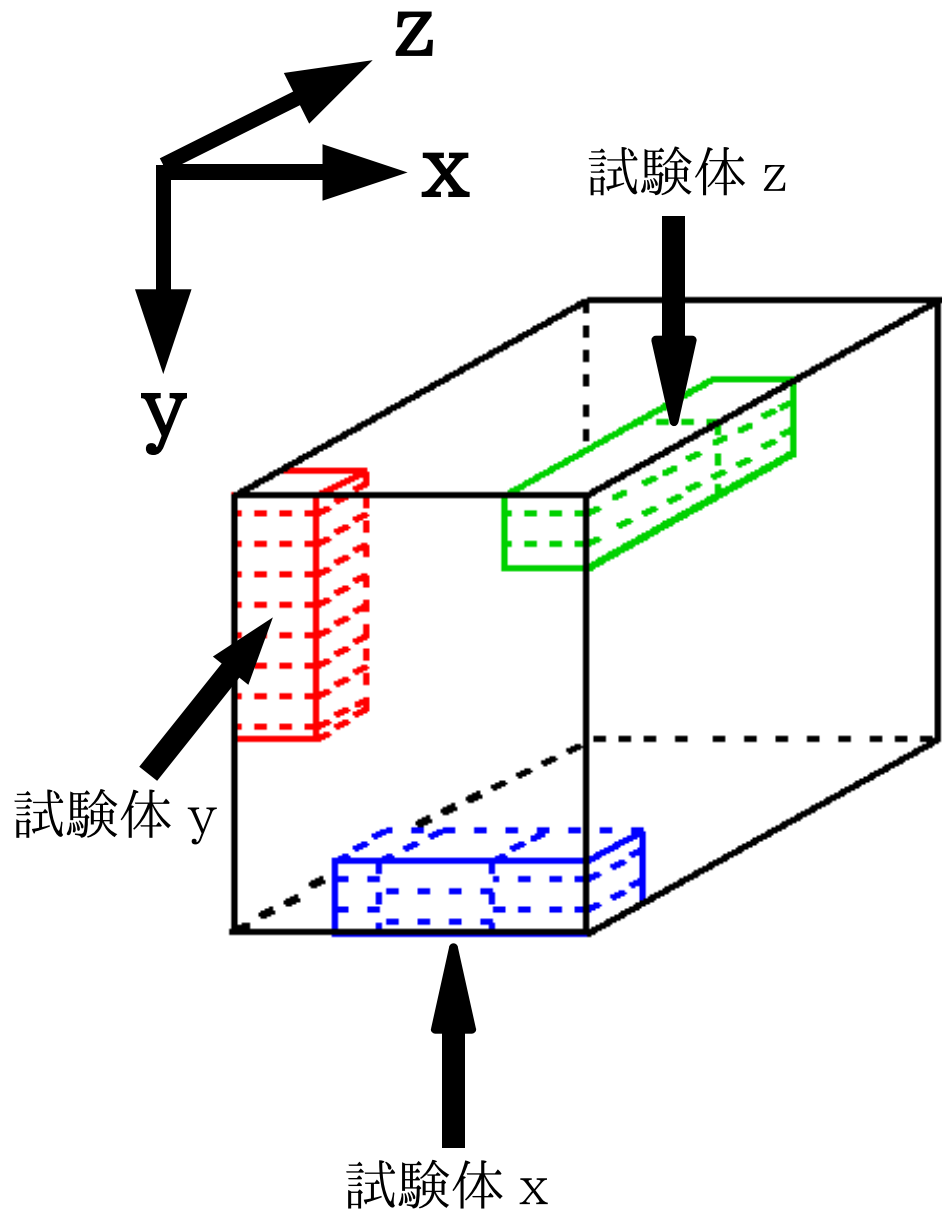


木材は異方性

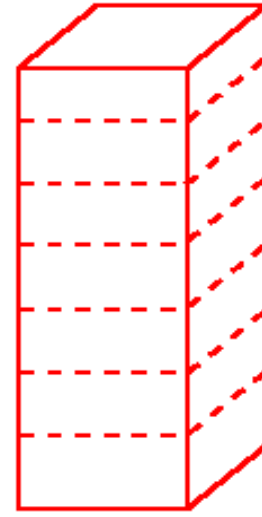


異方性を考慮して
材料定数を測定できないか?

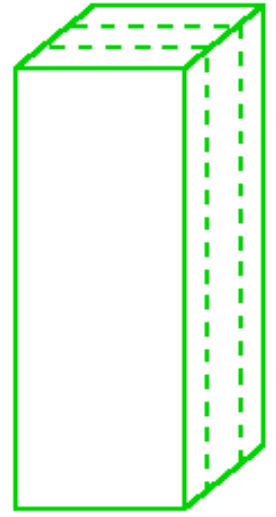




x 軸



y 軸



z 軸



試験方法



圧縮試験機



ひずみゲージ

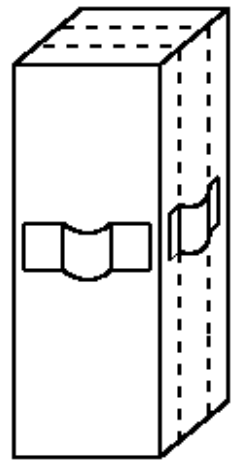
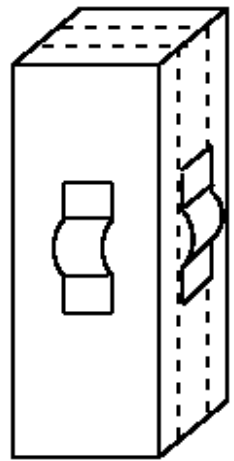
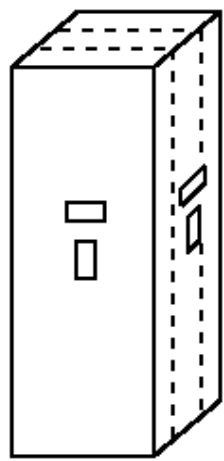


(縦)

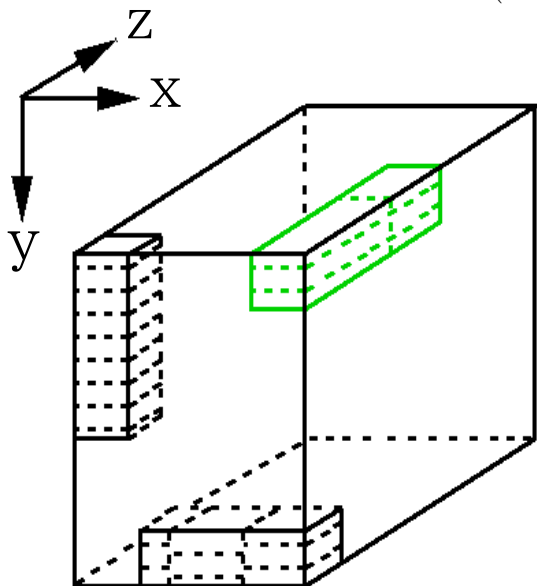
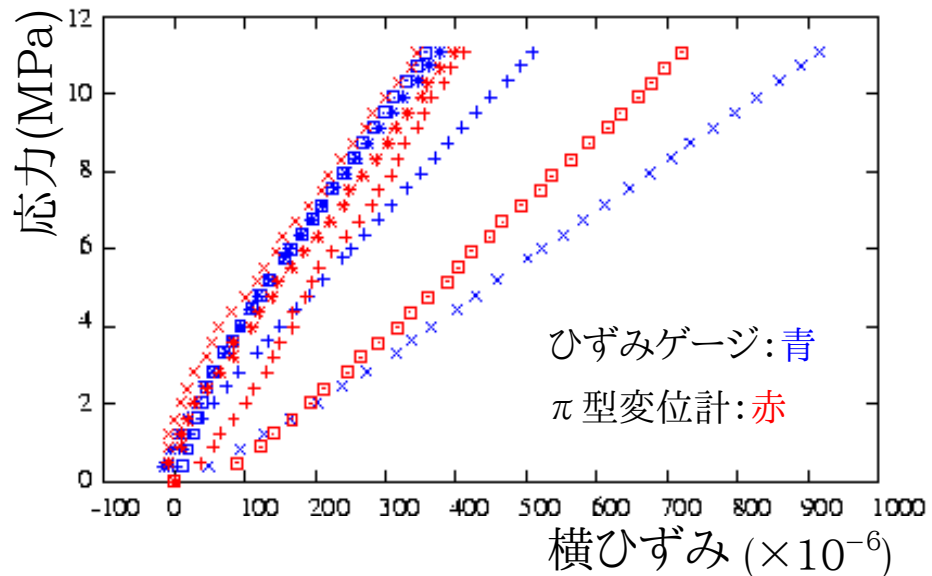
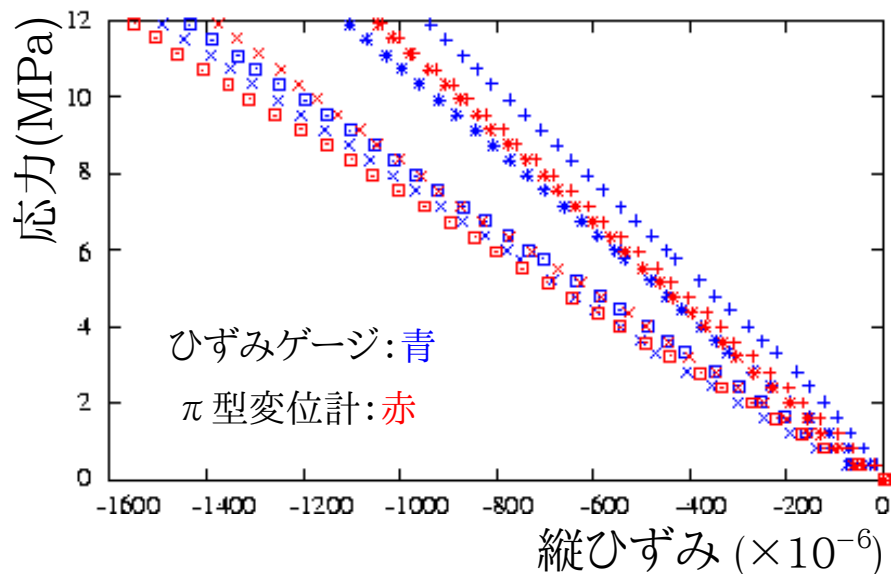
π 型変位計



(横)



実験結果 (z 軸)



ひずみゲージ、 π 型変位計



共に、ばらつき大



圧縮によって試験体が偏心

ロッド型変位計による測定

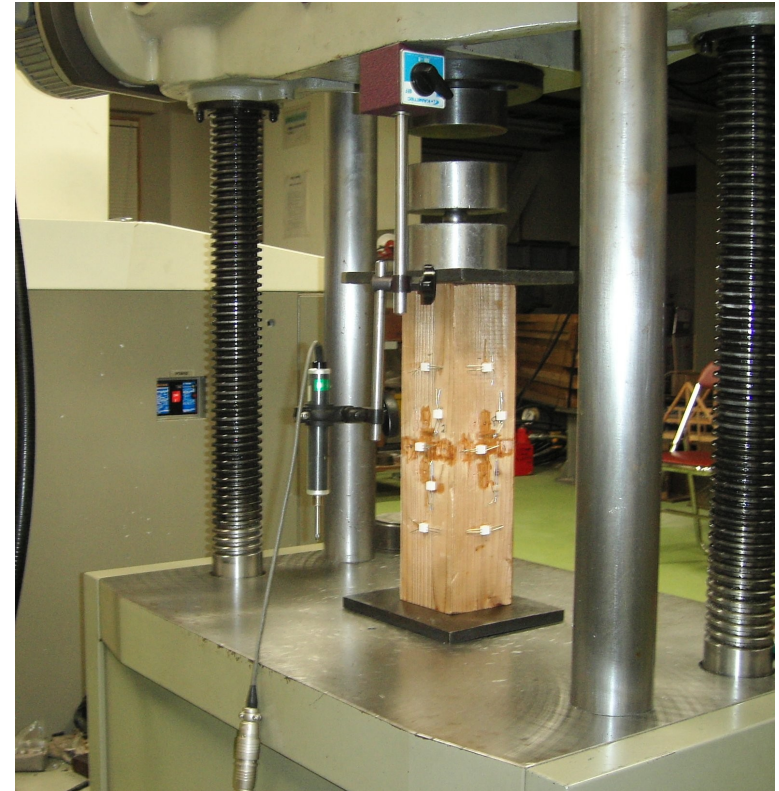
表面のひずみがばらつく



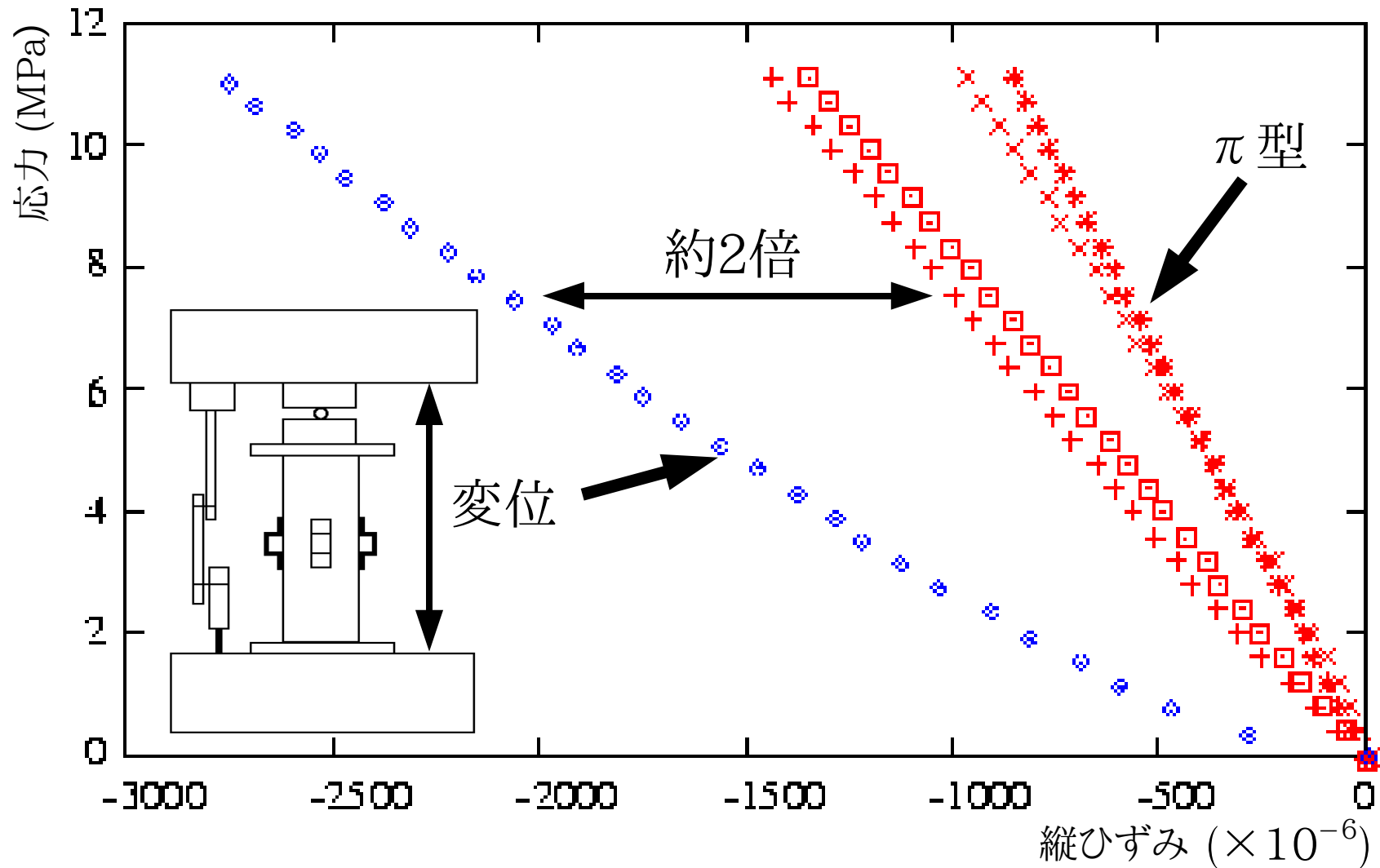
ロッド型変位計



試験体全体の変位を測定

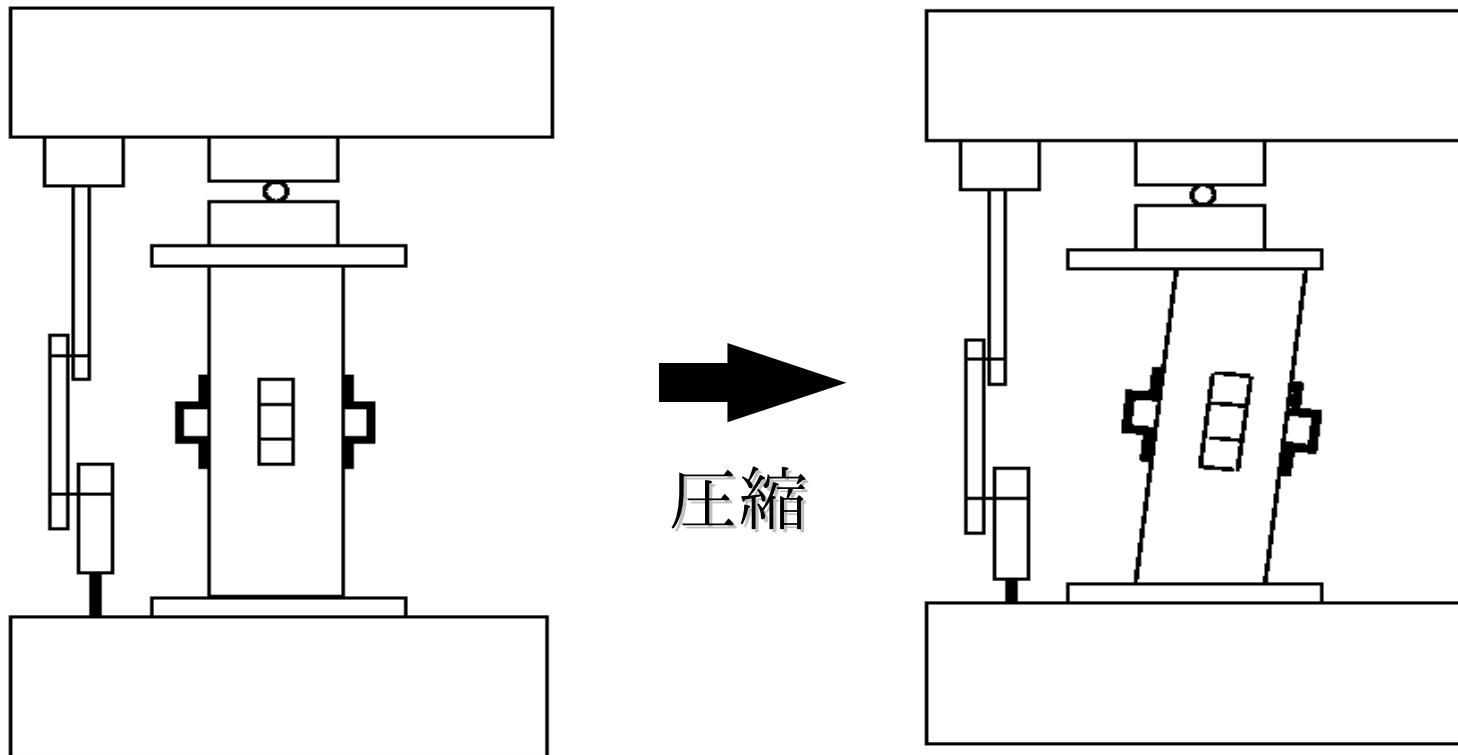


ロッド型変位計での測定結果 (z 軸)



クロスヘッドと台座の間の変位がすごく大きい!!

繊維方向は荷重レンジが繊維直角方向の2~30倍



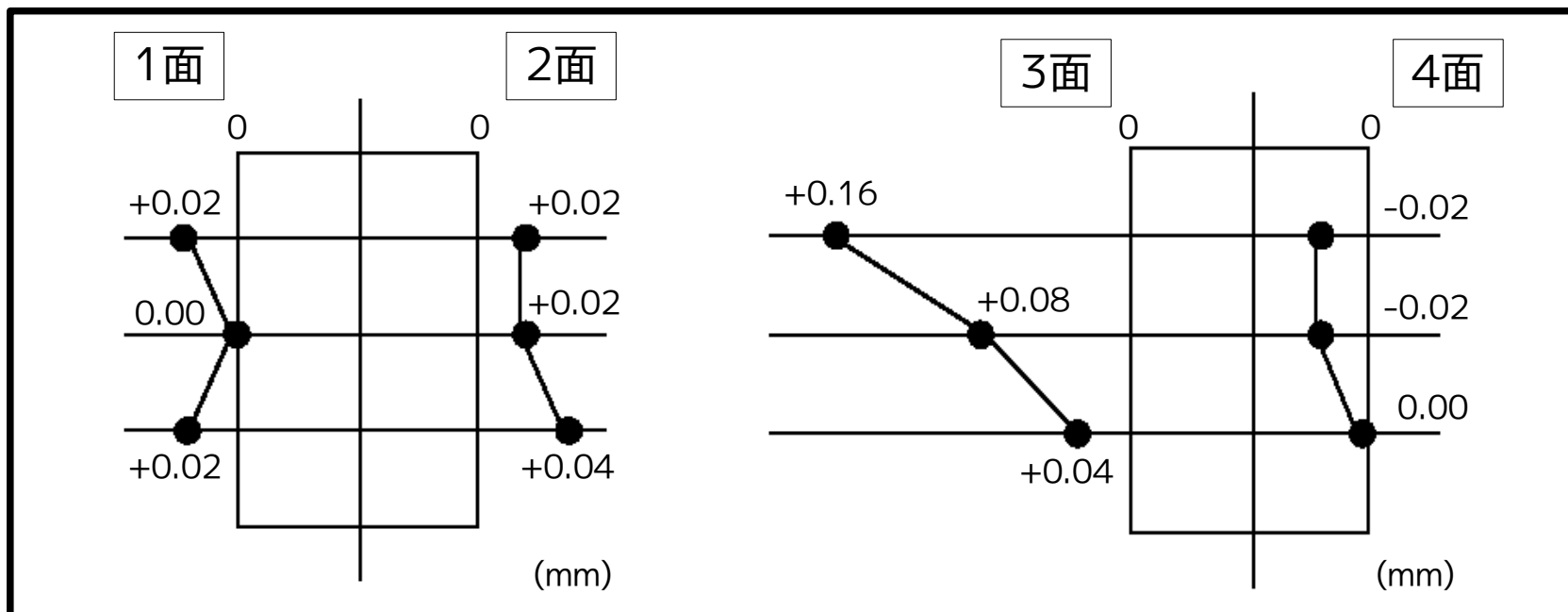
せん断変形が大きく生じているためでは？

せん断変形の影響

ロッド型変位計を横に3本設置



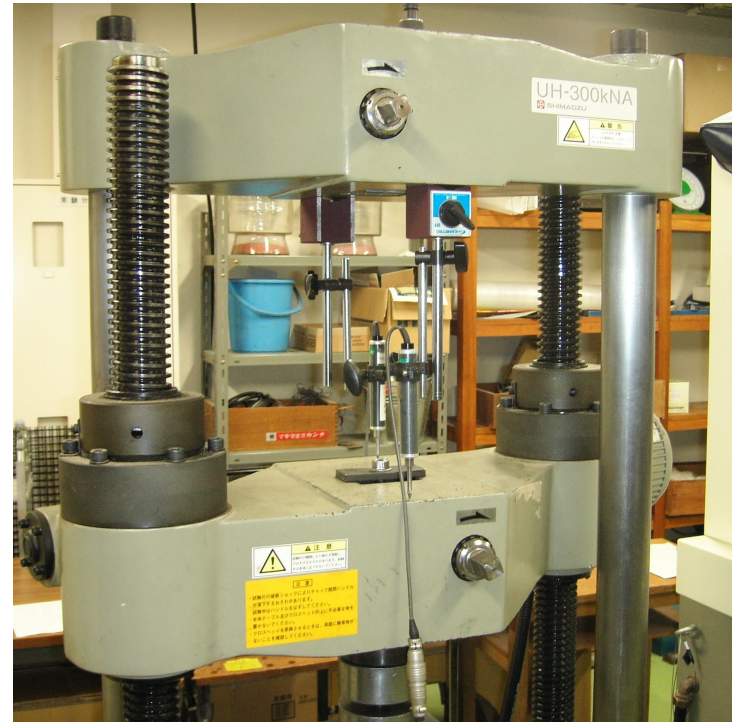
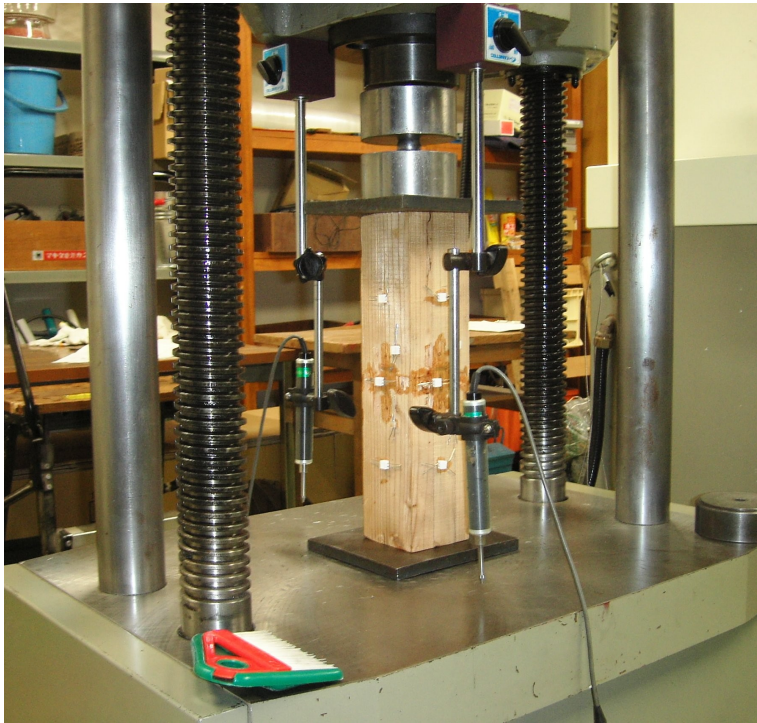
側面の変位を調べる



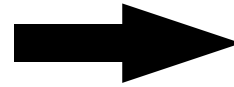
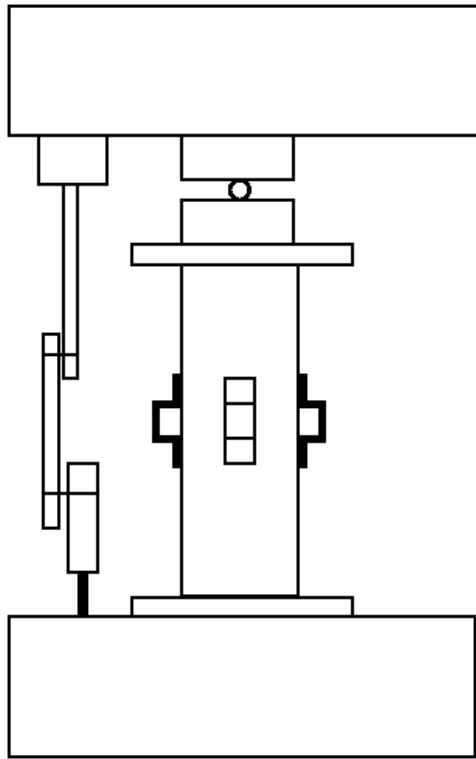
せん断変形の影響は無し



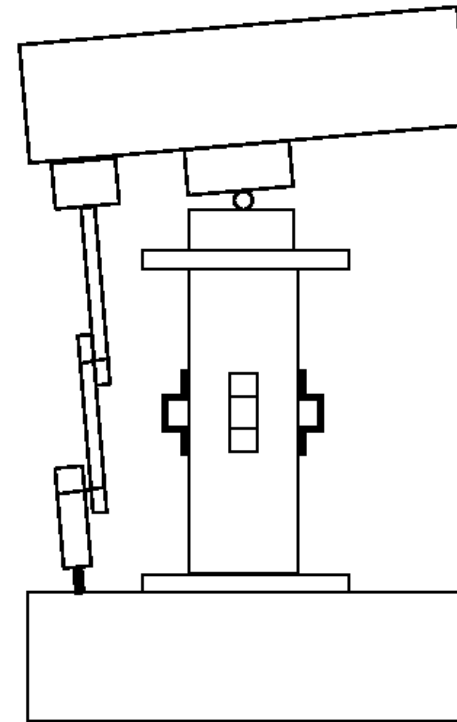
なぜ、クロスヘッドと台座の変位に影響が？



クロスヘッド上部の前後にロッド型変位計を設置してみる



圧縮



試験体を挟むと



クロスヘッドが傾むいている

表面のひずみ



影響・・・なし

試験体全体のひずみ

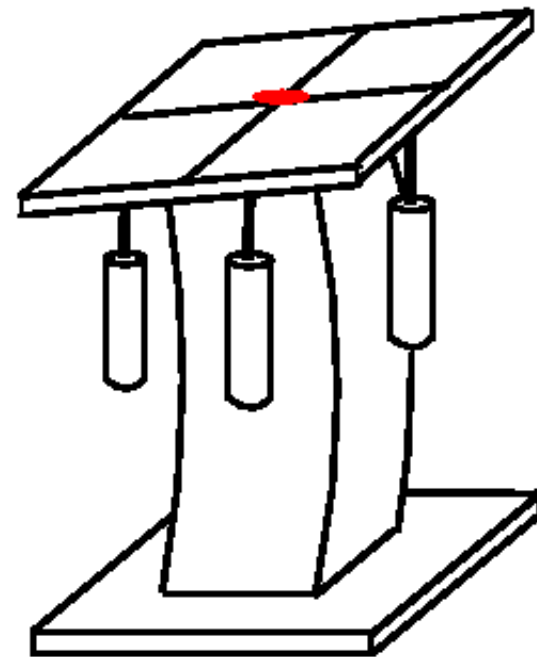
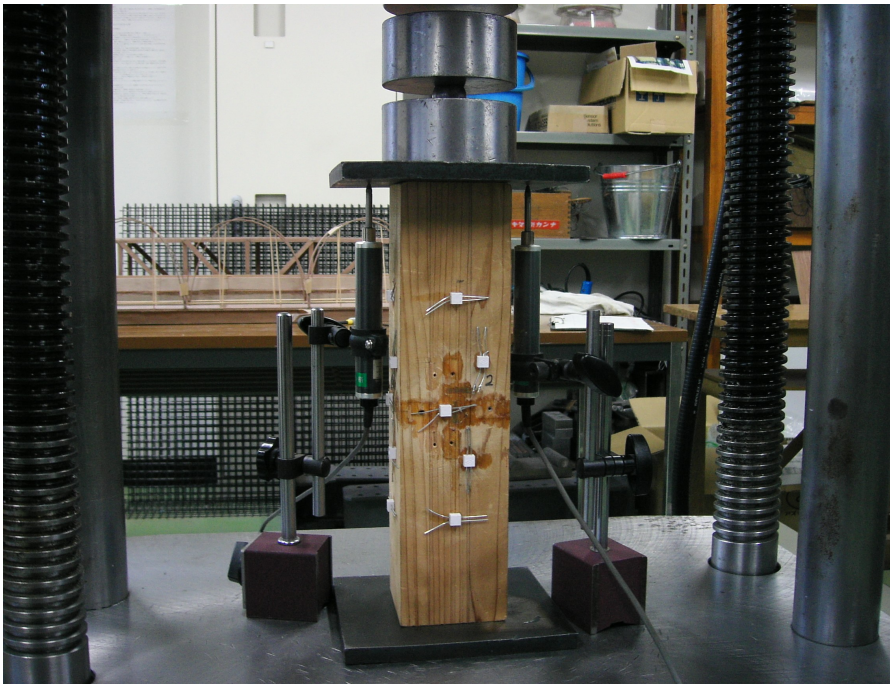


影響・・・大

クロスヘッドの影響を排除するため



鉄板と台座の間で変位を測定

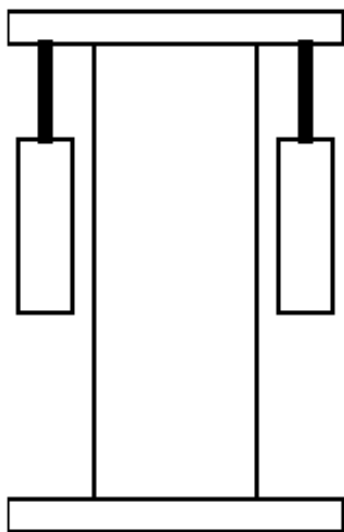


4面の変位を平均



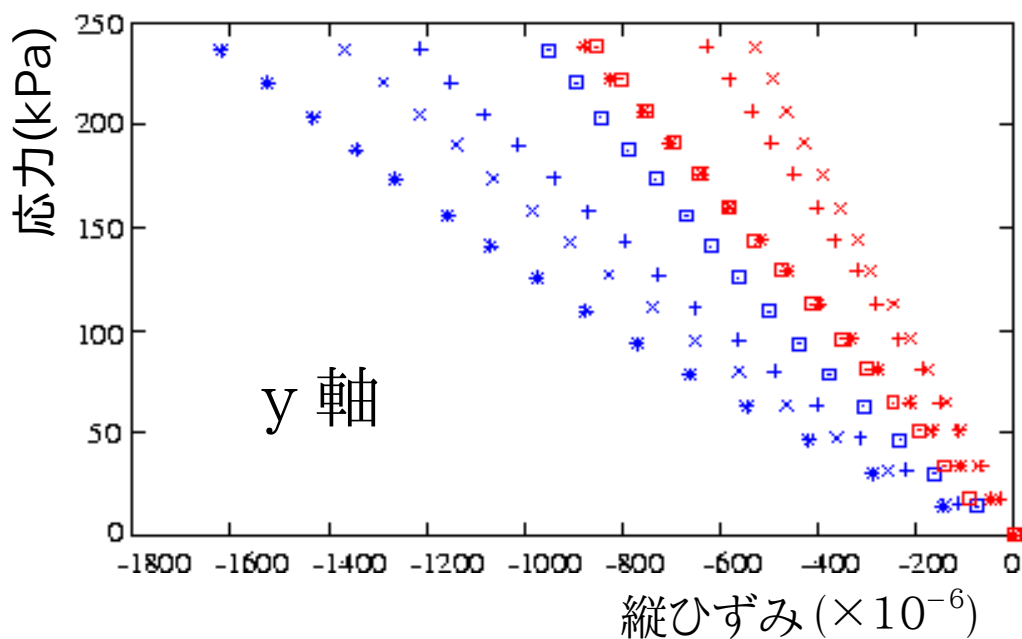
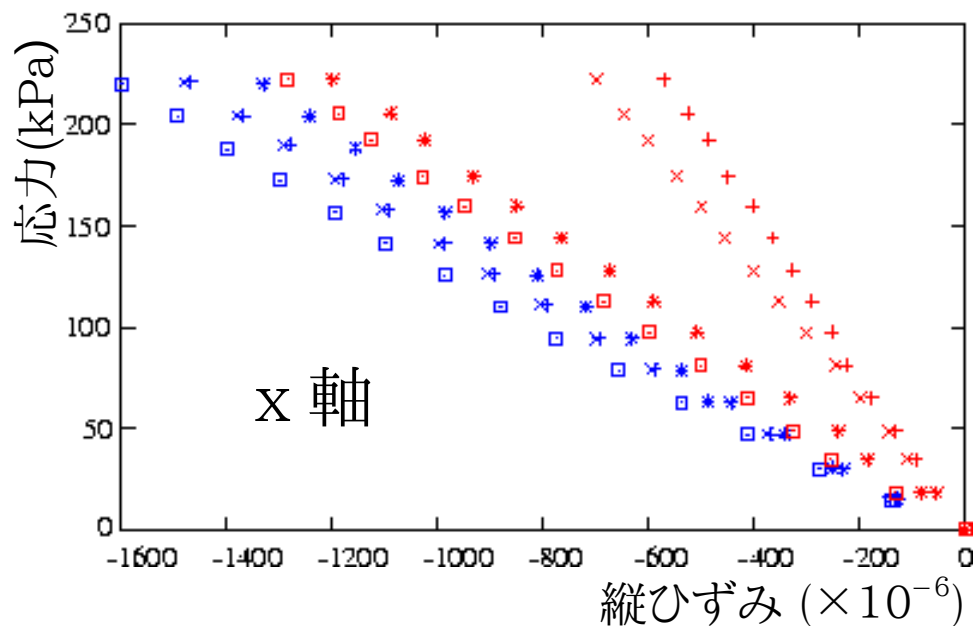
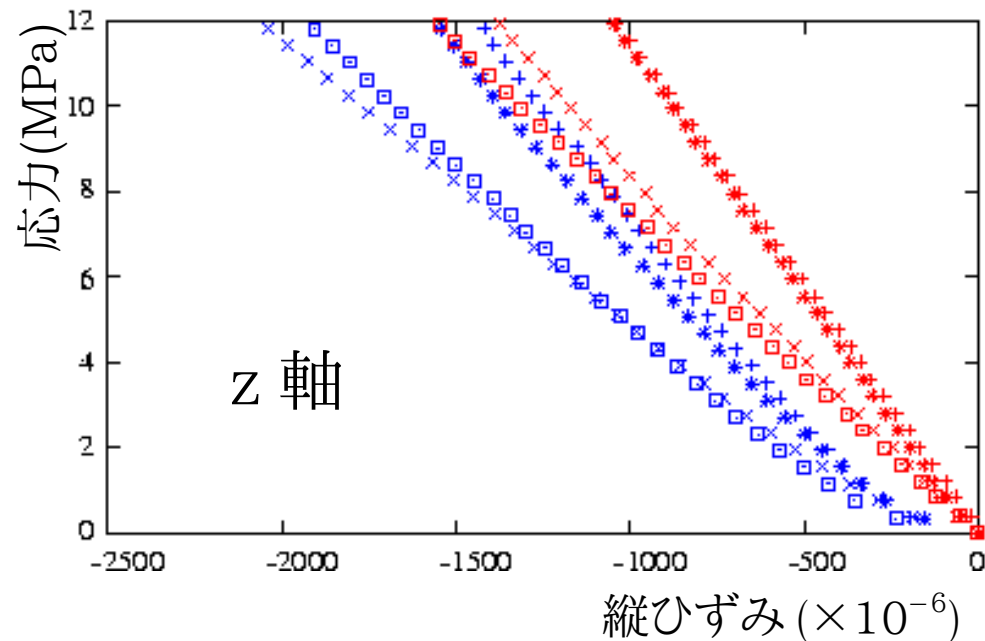
試験体中心部の変位

ロッド型変位計と π 型変位計での測定結果

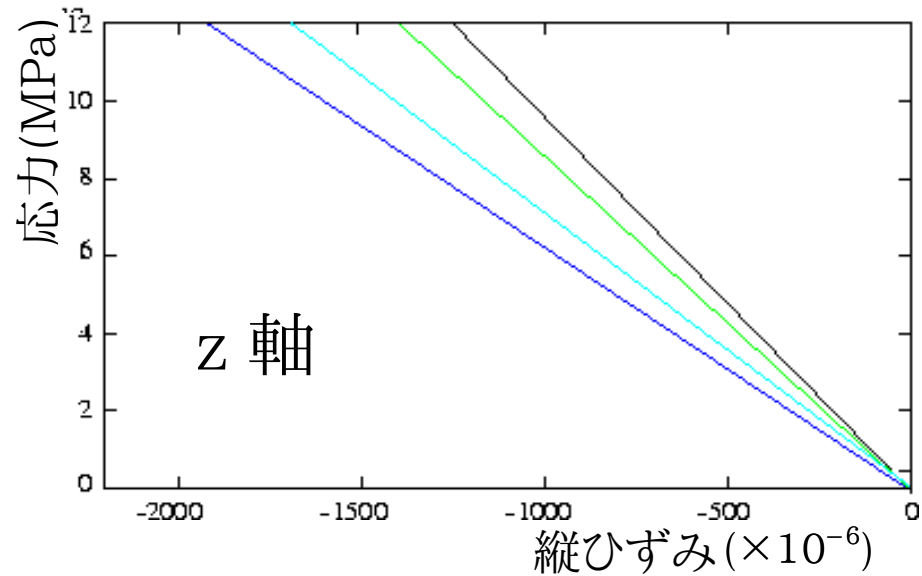
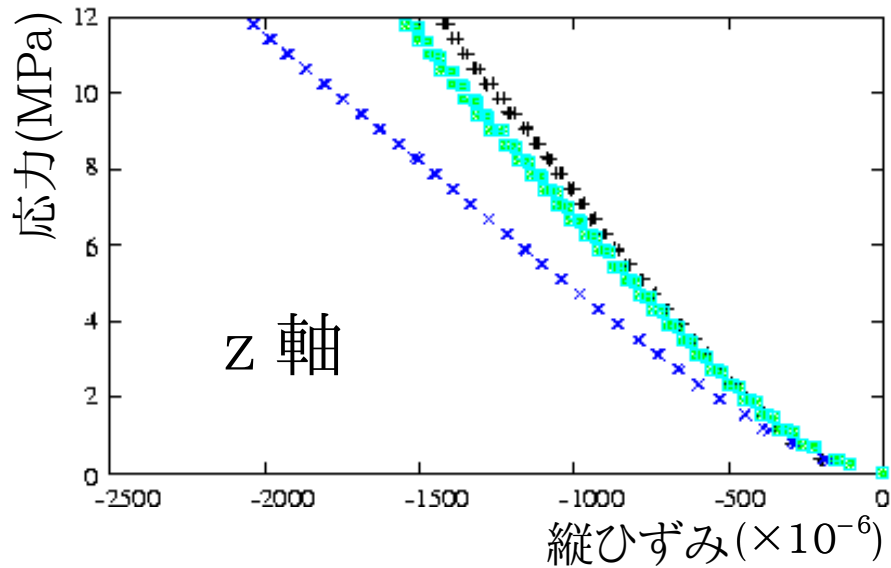


ロッド型 : 青

π 型 : 赤



ヤング率を求める



$$\sigma = E \varepsilon$$

応力-ひずみ曲線を線形回帰



ヤング率を求める

	ひずみゲージ(GPa)	π 型変位計 (GPa)	ロッド型変位計(GPa)	公称値(GPa)
E_x	0.815,	0.280,	0.147,	-
E_y	0.329,	0.268,	0.211,	-
E_z	9.814,	9.580,	7.942,	7.5

ポアソン比を求める

x 軸

$$\nu_{zx} = -\frac{E_z \varepsilon_z}{E_x \varepsilon_x}$$

$$\nu_{yx} = -\frac{E_y \varepsilon_y}{E_x \varepsilon_x}$$

y 軸

$$\nu_{xy} = -\frac{E_x \varepsilon_x}{E_y \varepsilon_y}$$

$$\nu_{zy} = -\frac{E_z \varepsilon_z}{E_y \varepsilon_y}$$

z 軸

$$\nu_{xz} = -\frac{E_x \varepsilon_x}{E_z \varepsilon_z}$$

$$\nu_{yz} = -\frac{E_y \varepsilon_y}{E_z \varepsilon_z}$$

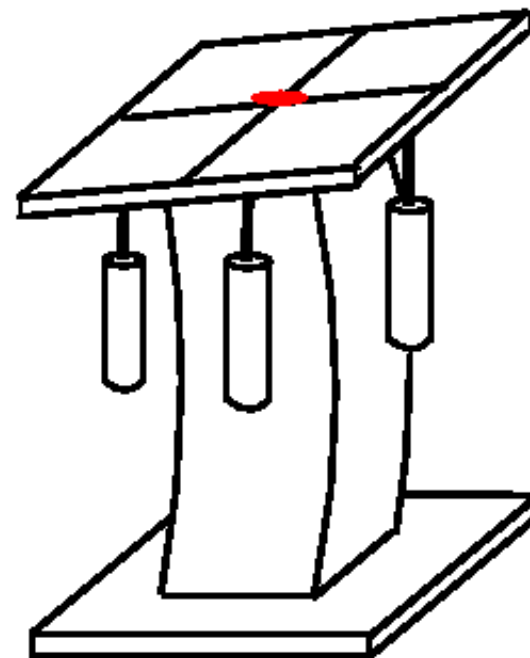
試験体	ポアソン比	
X	$\nu_{zx}=11.093,$	$\nu_{yx}=0.0541,$
Y	$\nu_{xy}=0.2632,$	$\nu_{zy}=2.2576,$
Z	$\nu_{xz}=0.00434,$	$\nu_{yz}=0.00921,$

ポアソン比の補正

鉄板の傾き → 偏心の割合

・ 補正計算

$$\epsilon_{\pi \text{横}} \times \left(\frac{\epsilon_{\pi \text{縦}}}{\epsilon_{\text{ロッド縦平均}}} \right)$$



試験体	ポアソン比	
x	$\nu_{zx}=4.846,$	$\nu_{yx}=0.0541,$
y	$\nu_{xy}=0.11449,$	$\nu_{zy}=1.50949,$
z	$\nu_{xz}=0.00296,$	$\nu_{xz}=0.00724,$

材料の異方性が曲げ挙動に与える影響

・5点曲げ载荷モデル

2cm×10cm×100cm

・材料定数

ヤング率

$$E_x = E_y = 0.4 \text{ (GPa)},$$

$$E_z = 10 \text{ (GPa)}$$

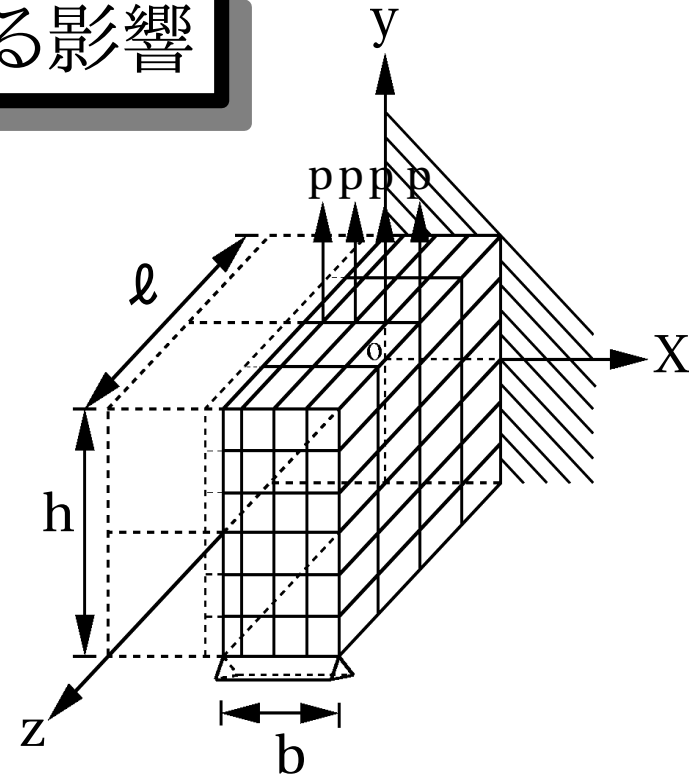
せん断弾性係数

$$G_{xy} = G_{xz} = G_{yz} = 0.7 \text{ (GPa)}$$

ポアソン比

$$\nu_{xy} = \nu_{xz} = \nu_{yx} = \nu_{yz} = 0.016$$

$$\nu_{zx} = \nu_{zy} = 0.4$$



・立体要素の有限要素法

要素数: 5×20×100

材料定数	たわみの誤差 (%)	材料定数	たわみの誤差 (%)
2E _x	0.00	0.5E _x	-0.01
2E _y	-2.25	0.5E _y	3.41
2E _z	-33.15	0.5E _z	65.72
2G _{xy}	0.00	0.5G _{xy}	0.00
2G _{xz}	-0.89	0.5G _{xz}	0.00
2G _{yz}	-15.46	0.5G _{yz}	29.48
$\nu_{yx}=0$	0.00	$\nu_{yx}=1$	-4.30
$\nu_{zx}=0$	0.01	$\nu_{zx}=1$	-0.01
$\nu_{zy}=0$	-0.21	$\nu_{zy}=1$	0.25

材料の異方性が座屈荷重へ与える影響

・片持ち梁モデル

5cm×25cm×1000cm

・材料定数

ヤング率

$$E_x = E_y = 0.4 (\text{GPa}),$$

$$E_z = 10 (\text{GPa})$$

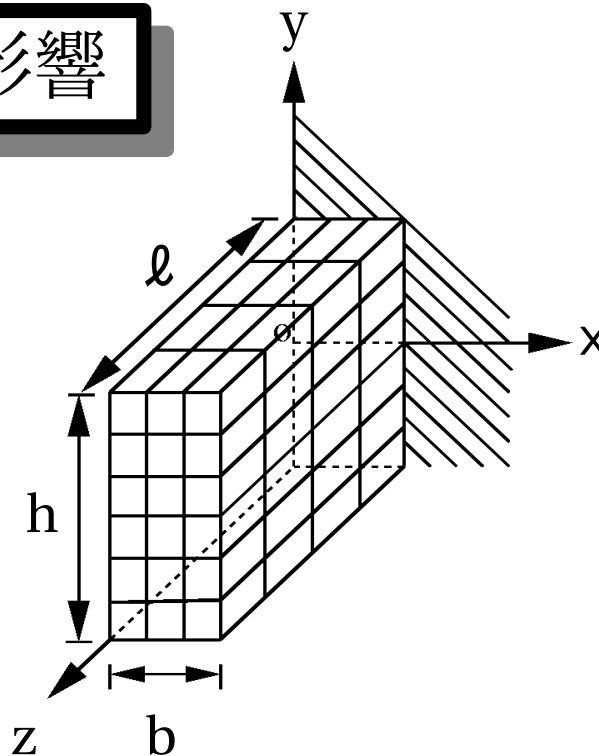
せん断弾性係数

$$G_{xy} = G_{xz} = G_{yz} = 0.7 (\text{GPa})$$

ポアソン比

$$\nu_{xy} = \nu_{xz} = \nu_{yx} = \nu_{yz} = 0.016$$

$$\nu_{zx} = \nu_{zy} = 0.4$$



材料定数	座屈荷重の誤差 (%)	材料定数	座屈荷重の誤差 (%)
2E _x	-0.01	0.5E _x	0.01
2E _y	-0.02	0.5E _y	0.07
2E _z	34.74	0.5E _z	-22.41
2G _{xy}	0.03	0.5G _{xy}	-0.02
2G _{xz}	13.30	0.5G _{xz}	-8.94
2G _{yz}	35.64	0.5G _{yz}	-26.71
$\nu_{yx}=0$	0.00	$\nu_{yx}=1$	0.08
$\nu_{zx}=0$	-0.01	$\nu_{zx}=1$	-0.01
$\nu_{zy}=0$	-0.04	$\nu_{zy}=1$	0.16

・CalcuculiXで解析

要素数: 6×20×100

まとめ

集成材の異方性を考慮し、材料定数を測定出来ないか？

- ・ 3方向に切り出し圧縮試験

ひずみにばらつきが見られる → 試験体の偏心が原因
ヤング率 → スギ集成材の公称値に近い値
ポアソン比 → 実用に向かない値 ↔ 補正計算

- ・ 曲げ挙動、座屈挙動への異方性の影響

たわみ、座屈荷重の誤差

ポアソン比 → $\left(\begin{array}{l} \text{たわみ} \cdots \text{若干有り} \\ \text{座屈荷重} \cdots \text{ほとんど無し} \end{array} \right.$

集成材の材料定数と数値モデル化

05124 橋本 崇史

集成材 + 鋼板挿入など
新しい構造の提案

性能の照査の必要性

コンピュータ上で数値モデル化

材料定数が必要

木材は異方性 → 異方性を考慮して材料定数を測定できないか?

2 切り出し

3 試験方法

圧縮試験機

ひずみゲージ

π型変位計

4 試験結果

ひずみゲージ, π型変位計

共に、ばらつき大

5 ロッド

ロッド型変位計による測定

圧縮によって試験体が偏心

ひずみにばらつきが出る

試験体全体の変位を測定

平均のひずみ

1 はじめに

2 切り出し

3 試験方法

4 試験結果

5 ロッド

ロッド型変位計での測定結果 (z 軸)

クロスヘッドと台座の間の変位がすごく大きい

せん断変形の影響

縦横方向は荷重レンジが縦横直角方向の2~3倍

圧縮後、せん断変形が生じているのでは?

せん断変形の影響

ロッド型を3本立てて調べる

1面 2面 3面 4面

(mm)

せん断変形の影響は無し

なぜ、表面には出ずにクロスヘッドと台座の変位に影響が?

クロスヘッドの上部の前後にロッド型変位計を設置してみる

試験体を挟む → クロスヘッドが傾いている

表面のひずみ → 影響...なし

試験体全体のひずみ → 影響...大

6 ロッド結果1

7 せん断変形

8 せん断結果

9 クロス前後

10 クロス傾き

クロスヘッドの影響を排除するため

鉄板と台座の間で変位を測定

4面の変位を平均化 → 試験体中心部の変位が求められる

ロッド型変位計とπ型変位計でのひずみの測定結果

ロッド型: 赤

π型: 青

ヤング率を求める

応力ひずみ曲線を線形回帰 $\sigma = E \epsilon$ → ヤング率を求める

	ひずみゲージ (GPa)	π型変位計 (GPa)	ひずみゲージ (GPa)	ひずみゲージ (GPa)
鉄	0.015	0.030	0.147	-
鋼	0.026	0.066	0.031	-
鋼	0.014	0.030	0.045	0.075

ポアソン比を求める

鉄板の傾き → 傾きの割合

補正計算

$$\epsilon_x = \epsilon_y \left(\frac{E_y - E_x}{E_x - E_y} \right)$$

試験体	ポアソン比
x	$\nu_{xy} = 0.05$
y	$\nu_{yx} = 0.03$
z	$\nu_{zx} = 0.0026$

ポアソン比の補正

鉄板の傾き → 傾きの割合

補正計算

$$\epsilon_x = \epsilon_y \left(\frac{E_y - E_x}{E_x - E_y} \right)$$

試験体	ポアソン比
x	$\nu_{xy} = 0.05$
y	$\nu_{yx} = 0.03$
z	$\nu_{zx} = 0.0026$

11 ロッド2

12 ロッド結果2

13 ヤング率

14 ポアソン比

15 補正計算

材料の異方性が曲げ挙動に与える影響

5点曲げ載荷モデル

2cm x 10cm x 100cm

材料定数

ヤング率

$E_x = E_y = 0.4(2\text{GPa})$, $E_z = 10(2\text{GPa})$

ポアソン比

$\nu_{xy} = \nu_{yx} = \nu_{yz} = \nu_{zy} = 0.016$, $\nu_{xz} = \nu_{zx} = 0.4$

立体系素の有限要素法

要素数: 5x20x100

材料定数	ひずみ (mm)	材料定数	ひずみ (mm)
20	0.00	0.00	0.01
20	0.25	0.50	3.41
20	0.50	1.00	6.72
20	0.75	1.50	10.03
20	1.00	2.00	13.34
20	1.25	2.50	16.65
20	1.50	3.00	19.96
20	1.75	3.50	23.27
20	2.00	4.00	26.58
20	2.25	4.50	29.89
20	2.50	5.00	33.20
20	2.75	5.50	36.51
20	3.00	6.00	39.82
20	3.25	6.50	43.13
20	3.50	7.00	46.44
20	3.75	7.50	49.75
20	4.00	8.00	53.06
20	4.25	8.50	56.37
20	4.50	9.00	59.68
20	4.75	9.50	62.99
20	5.00	10.00	66.30

材料の異方性が座屈挙動へ与える影響

片持ち梁モデル

6cm x 25cm x 1000cm

材料定数

ヤング率

$E_x = E_y = 0.4(2\text{GPa})$, $E_z = 10(2\text{GPa})$

ポアソン比

$\nu_{xy} = \nu_{yx} = \nu_{yz} = \nu_{zy} = 0.016$, $\nu_{xz} = \nu_{zx} = 0.4$

立体系素の有限要素法

要素数: 6x20x100

材料定数	最大変位 (mm)	材料定数	最大変位 (mm)
0.00	0.00	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.07
0.00	0.00	0.00	0.26
0.00	0.00	0.00	0.52
0.00	0.00	0.00	0.78
0.00	0.00	0.00	1.04
0.00	0.00	0.00	1.30
0.00	0.00	0.00	1.56
0.00	0.00	0.00	1.82
0.00	0.00	0.00	2.08
0.00	0.00	0.00	2.34
0.00	0.00	0.00	2.60
0.00	0.00	0.00	2.86
0.00	0.00	0.00	3.12
0.00	0.00	0.00	3.38
0.00	0.00	0.00	3.64
0.00	0.00	0.00	3.90
0.00	0.00	0.00	4.16

まとめ

集成材の異方性を考慮し、材料定数を測定出来ないか?

3方向に切り出し圧縮試験を行った

ひずみゲージ, π型変位計, ロッド型変位計でひずみを測定

ひずみにばらつきが見られる → 試験体の偏心が原因

ヤング率 → スギ集成材の公称値に近い値

ポアソン比 → 実用に向かない値

曲げ、座屈挙動への影響

たわみ → 若干有り

座屈荷重 → ほとんどなし

偏心の影響を排除した実験が必要 → 引張試験など

16 曲げ挙動

17 座屈挙動

18 まとめ

・直交異方性材料のひずみ-応力関係

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & \frac{-\nu_{xy}}{E_x} & \frac{-\nu_{xz}}{E_x} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_{yx}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & \frac{-\nu_{yz}}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu_{zx}}{E_z} & \frac{-\nu_{zy}}{E_z} & \frac{1}{E_x} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \end{pmatrix}$$