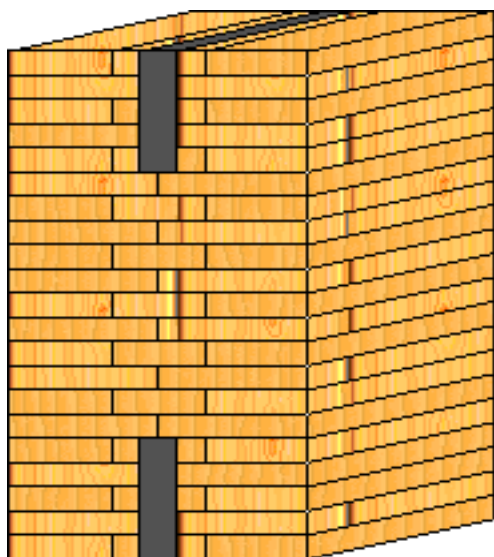


鋼板挿入集成材梁におけるせん断変形評価

秋田大学 川原 将



木橋
環境や景観への配慮
ランドマーク性
強度がない

集成材を鋼板で補剛

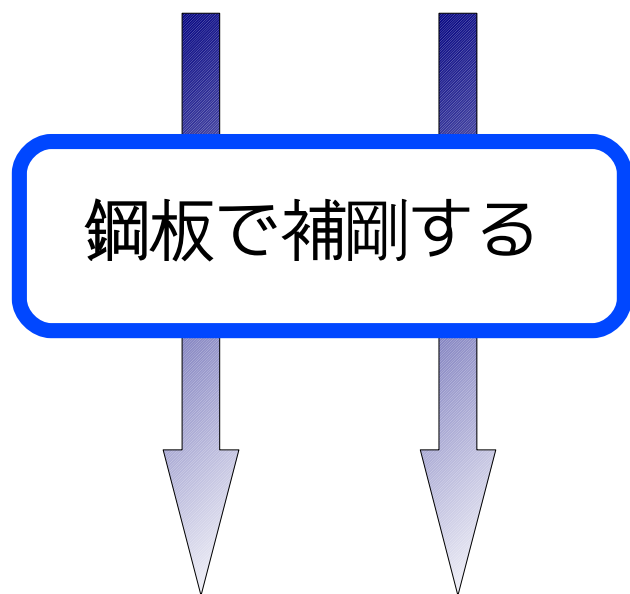
強度面が上がる
長スパンの道路橋も可能

ただ鋼板挿入集成材には
問題がある

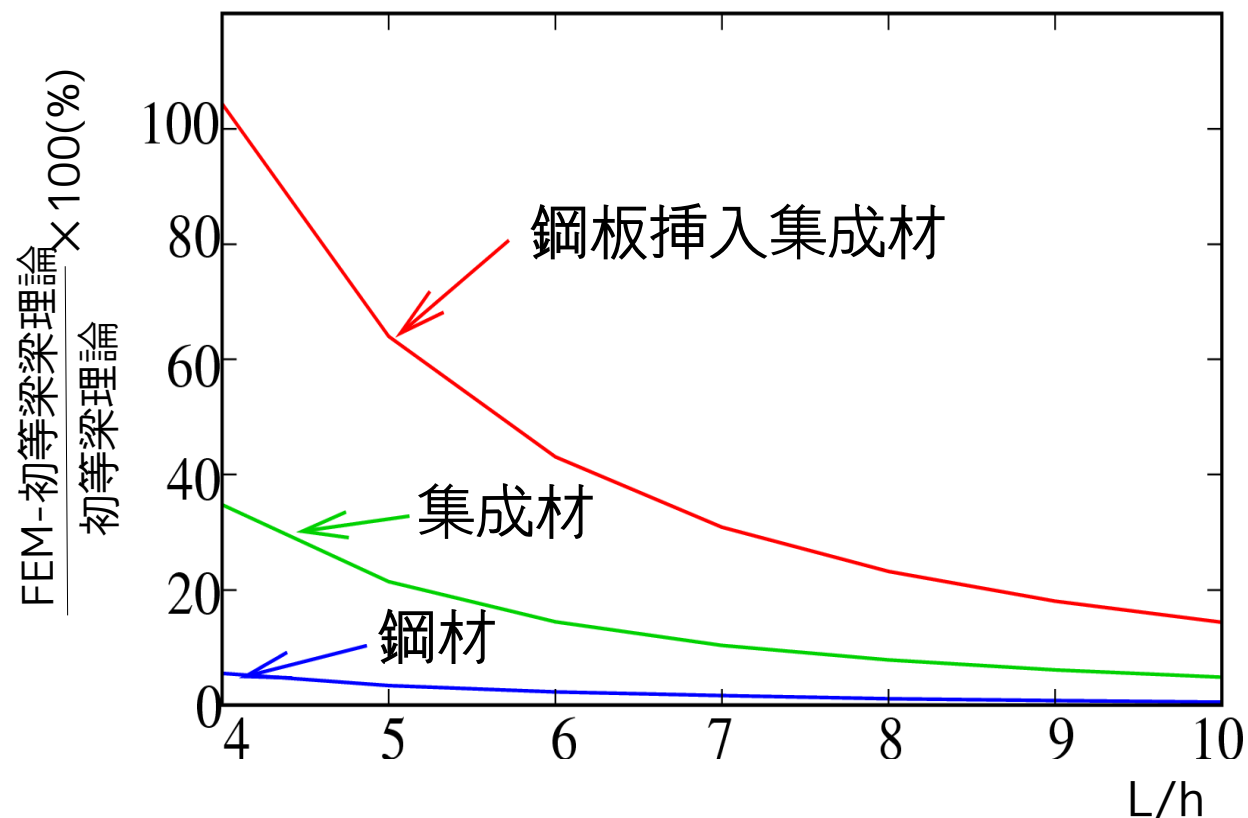
鋼板挿入集成材はせん断変形しやすい

木材のたわみ式

$$U = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{PL}{kGA}$$

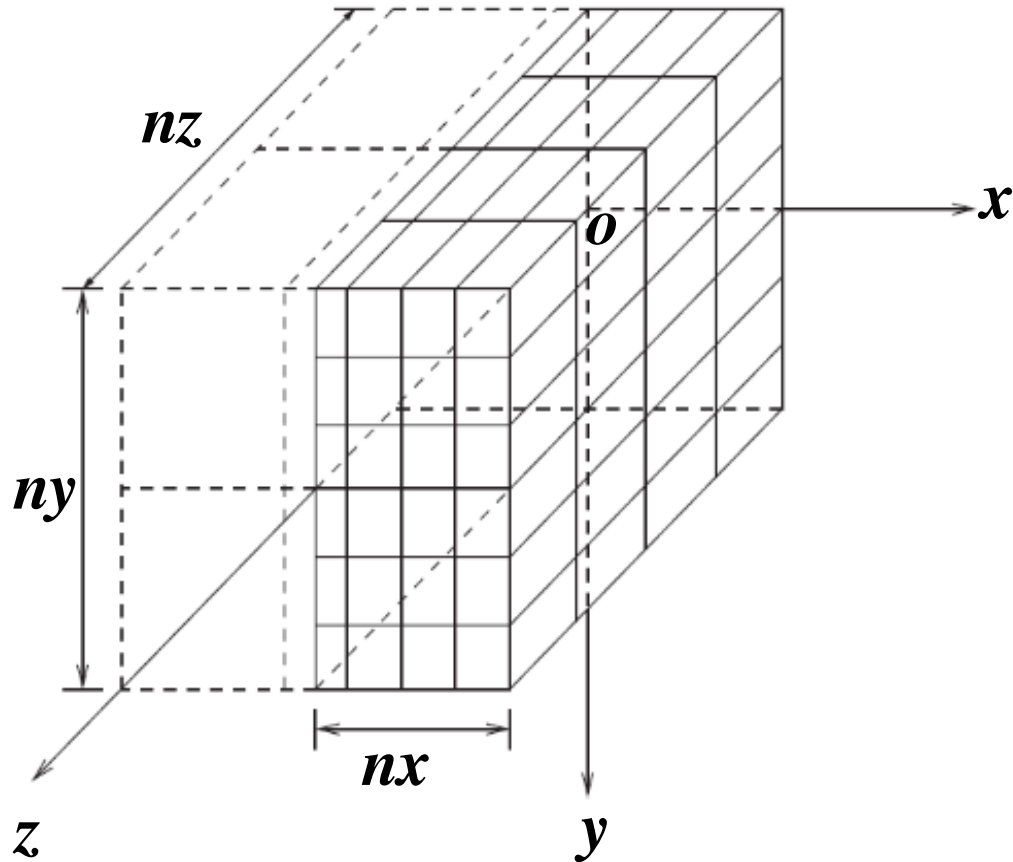


曲げ剛性 EI せん断の剛性 GA



せん断変形の影響を明らかにする

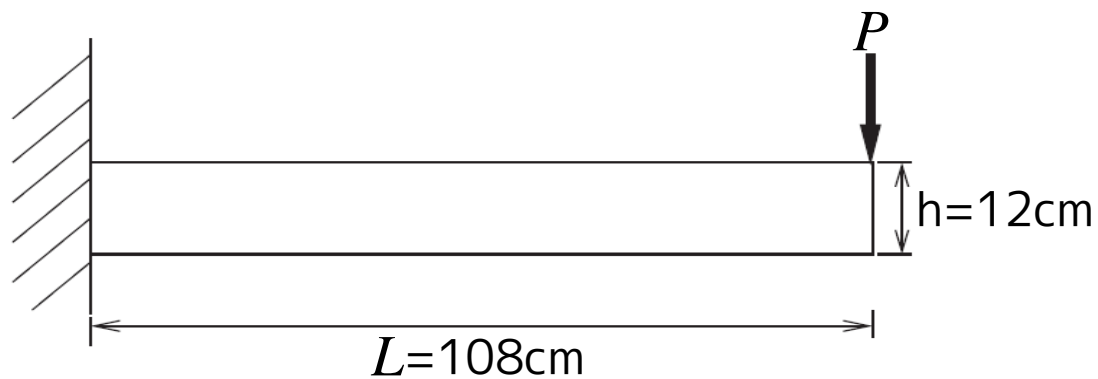
そこで有限要素解析



有限要素解析ツールは
オープンソース Calculixを用いる

要素数節約のため 半解析
境界条件は 片持ち梁
載荷方法は 等分布

解析モデル・材料定数



基本的な梁外形

軸長 $L=108\text{cm}$

桁幅 $b=6\text{cm}$

桁高 $h=12\text{cm}$

鋼板幅 $b_s=0.9\text{cm}$

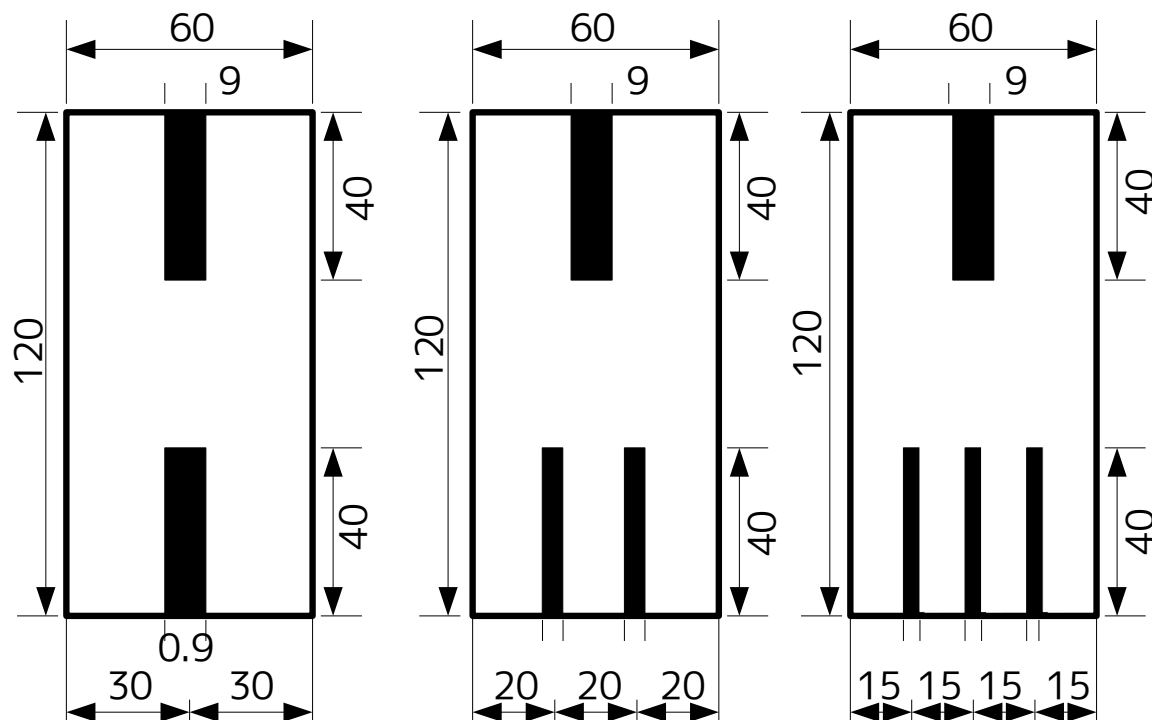
鋼板高さ $h_s=4\text{cm}$

鋼材(SS400)

ヤング率 $E=210\text{GPa}$

せん断弾性係数 $G=80.8\text{GPa}$

ポアソン比 $\nu=0.3$



集成材(E96.2材の公称値)

ヤング率 $E_z=9.43\text{GPa}$

ヤング率 $E_x=E_y=9.43\text{GPa}$

せん断弾性係数

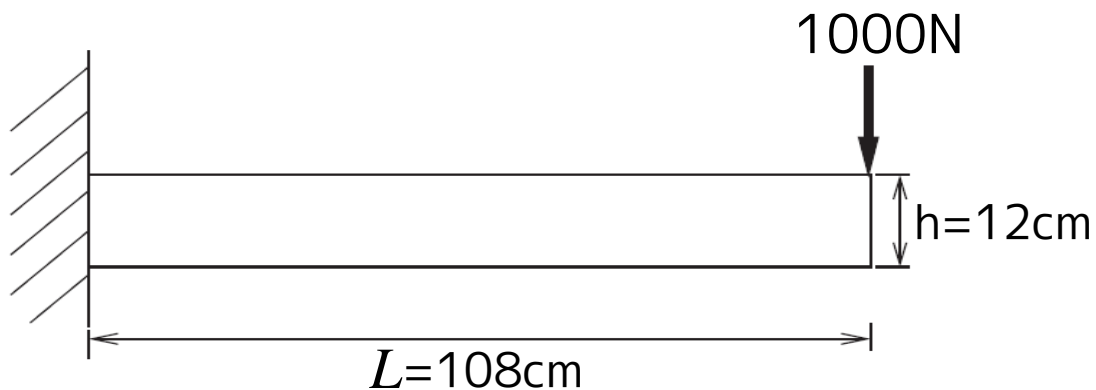
$G_{xy}=G_{xz}=G_{yz}=0.629\text{GPa}$

ポアソン比

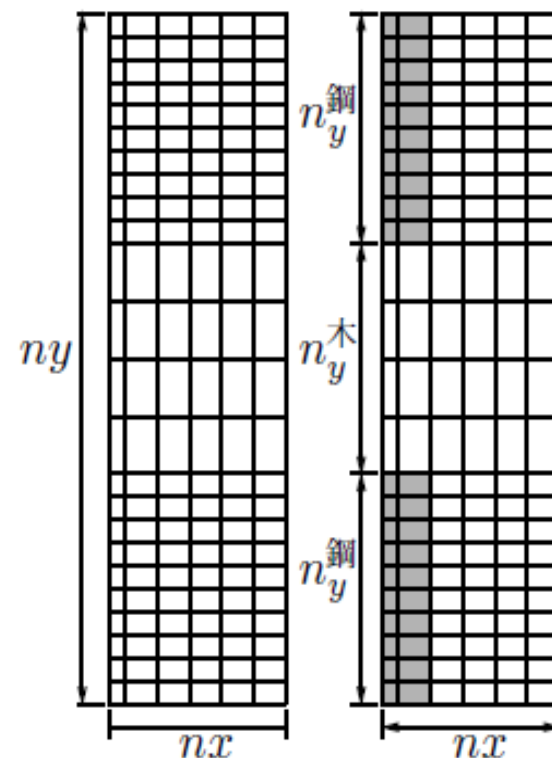
$\nu_{xy}=\nu_{xz}=\nu_{yx}=\nu_{yz}=0.016$

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

要素分割・たわみの収束性

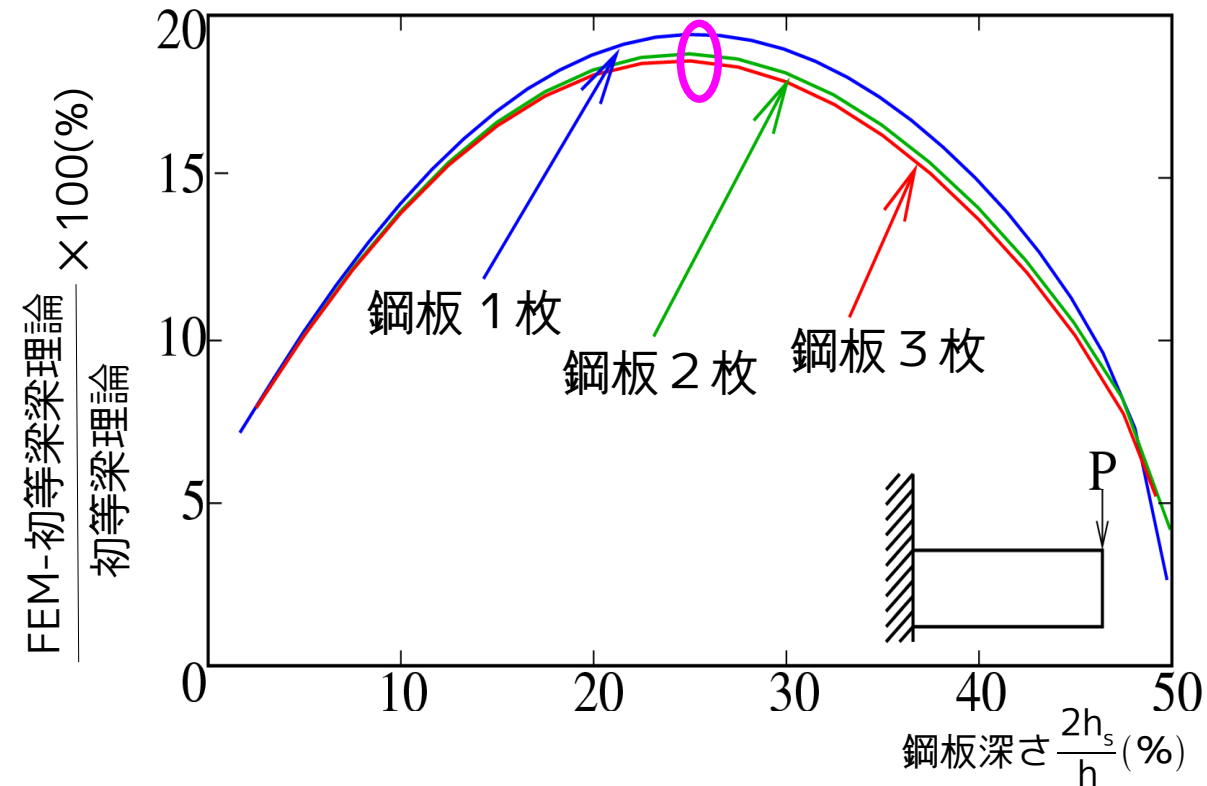


6×24×120 の分割



分割数 $n_x, \frac{n_y}{2}, \frac{n_z}{10}$	集成材のたわみ v (cm)			たわみ v (cm)	
	$n_x \times 24 \times 120$	$6 \times n_y \times 120$	$6 \times 24 \times n_z$	鋼材の y 要素 n_{ys}	鋼材間の集成材 y 要素 n_{yw}
1		0.540300	0.516701	0.148984	
2	0.546705	0.544060	0.538121	0.149369	0.149508
3	0.546844	0.545271	0.542565	0.149469	0.149853
4	0.546897	0.545842	0.544287	0.149492	0.150020
5	0.546923	0.546179	0.545178	0.149508	0.150111
6	0.546937	0.546403	0.545719	0.149517	0.150167
7		0.546561	0.546085	0.149522	0.150202
8		0.546678	0.546349	0.149526	0.150226
9		0.546768	0.546549		
10		0.546837	0.546707		
11		0.546893	0.546833		
12		0.546937	0.546937		

たわみに占めるせん断変形

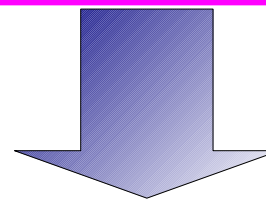


初等梁理論とFEM解の相対誤差

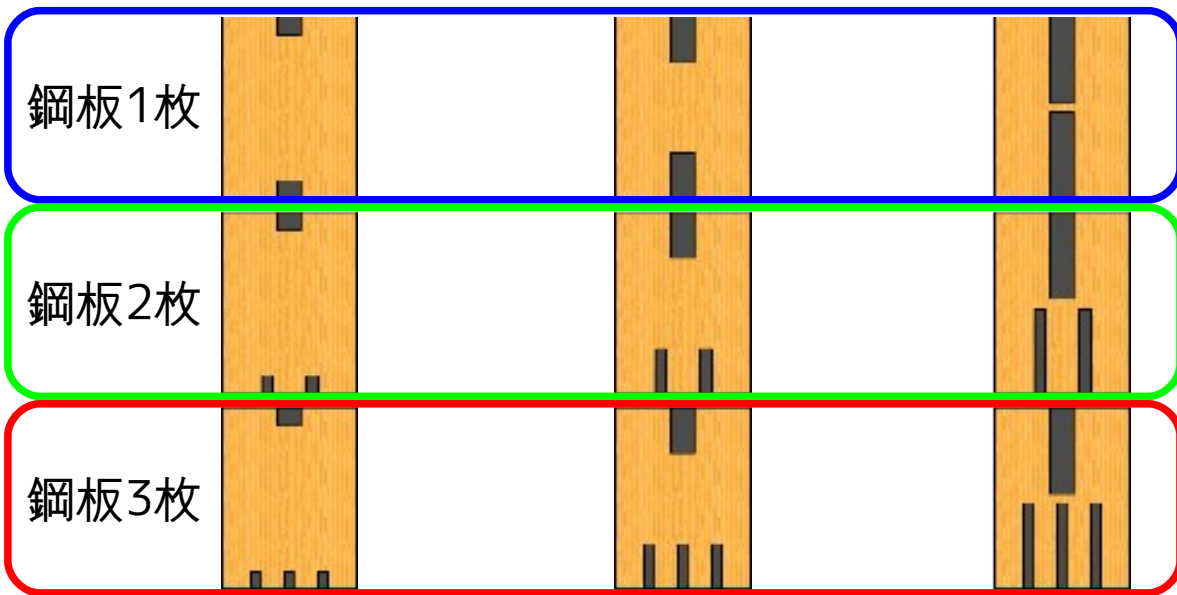
$$U = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$U = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{PL}{kGA}$$

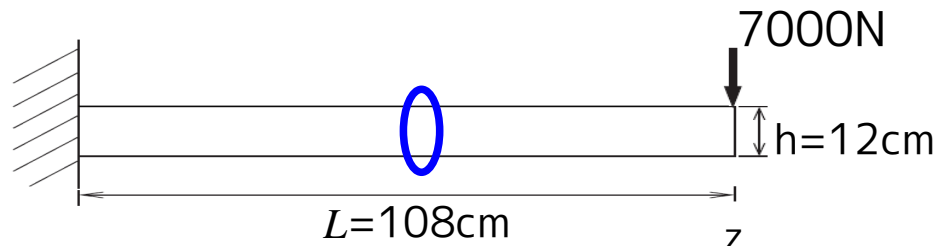
鋼板深さ25%以上が望ましい



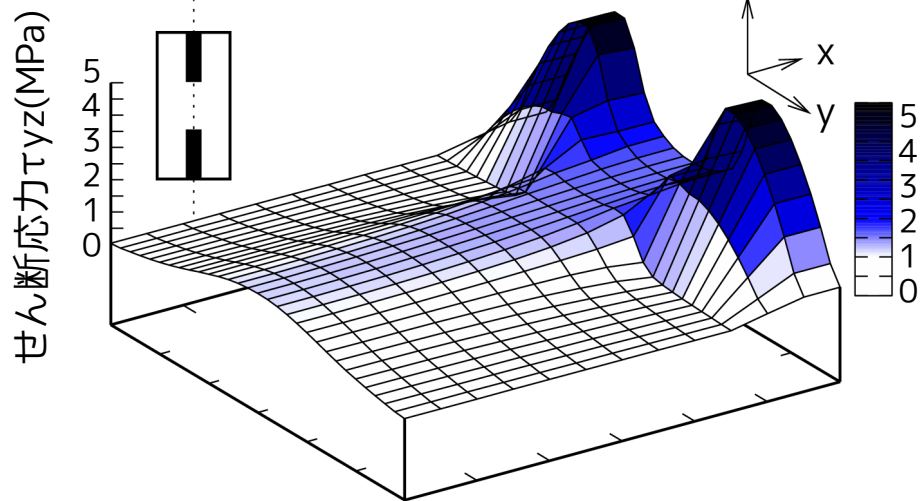
せん断変形の大きい25%
付近のせん断応力は?



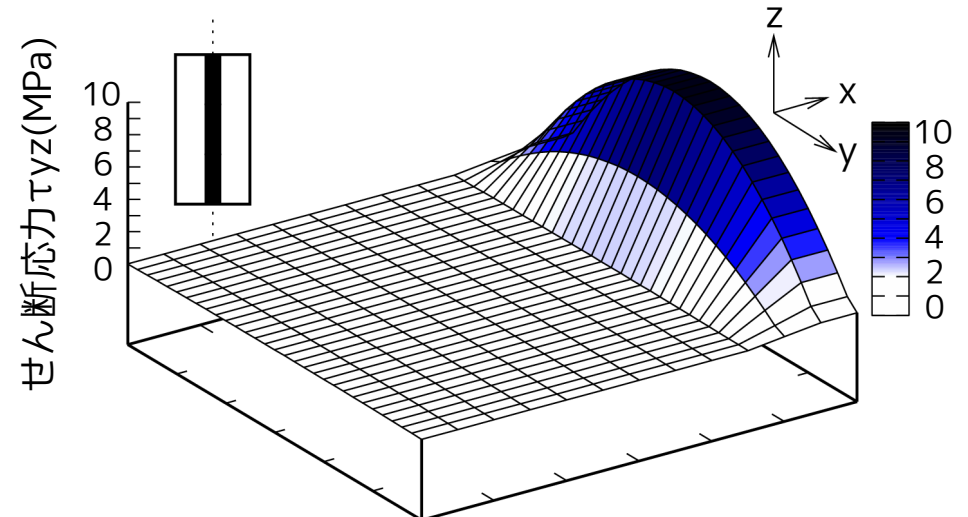
片持ち梁中央部断面のせん断応力分布



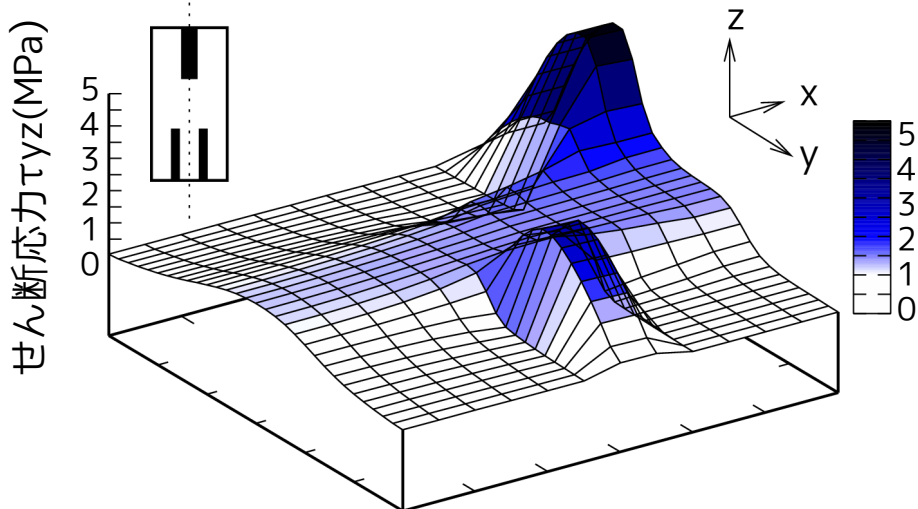
- ・ 集成材の引張強度に達するような荷重を載荷
- ・ 集成材のせん断強度3MPa
- ・ 中立軸付近は1.5~1.8MPa



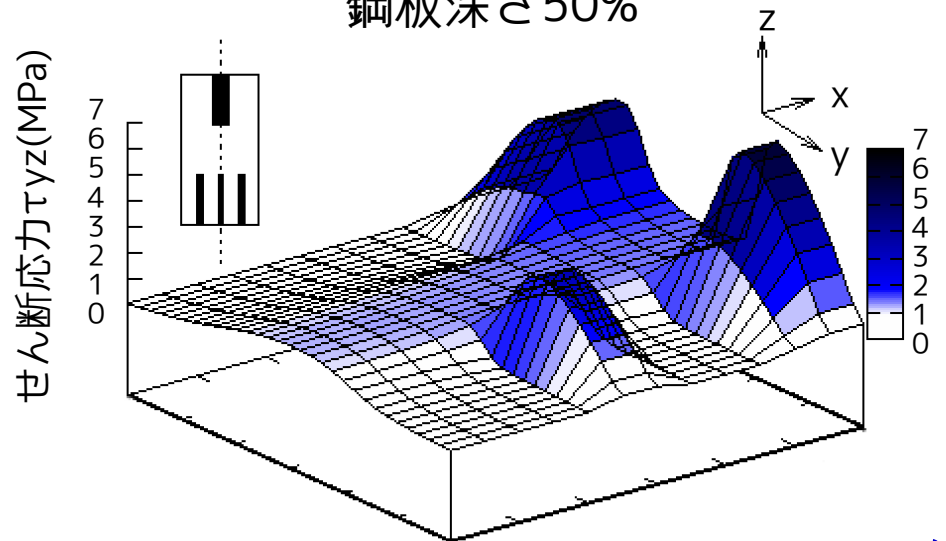
鋼板1枚



鋼板深さ50%

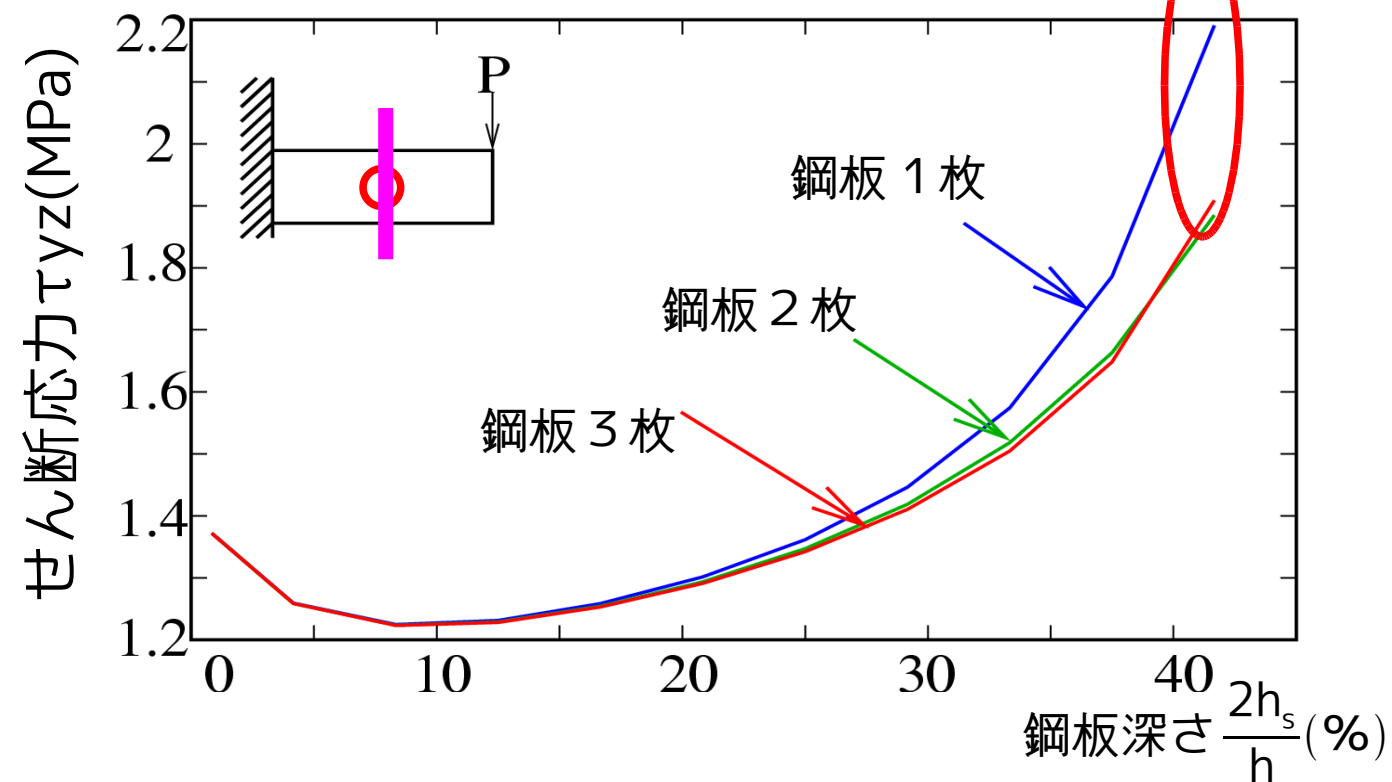


鋼板2枚

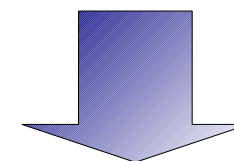


鋼板3枚

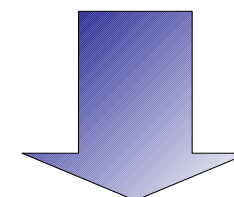
鋼板深さを変化させると・・・



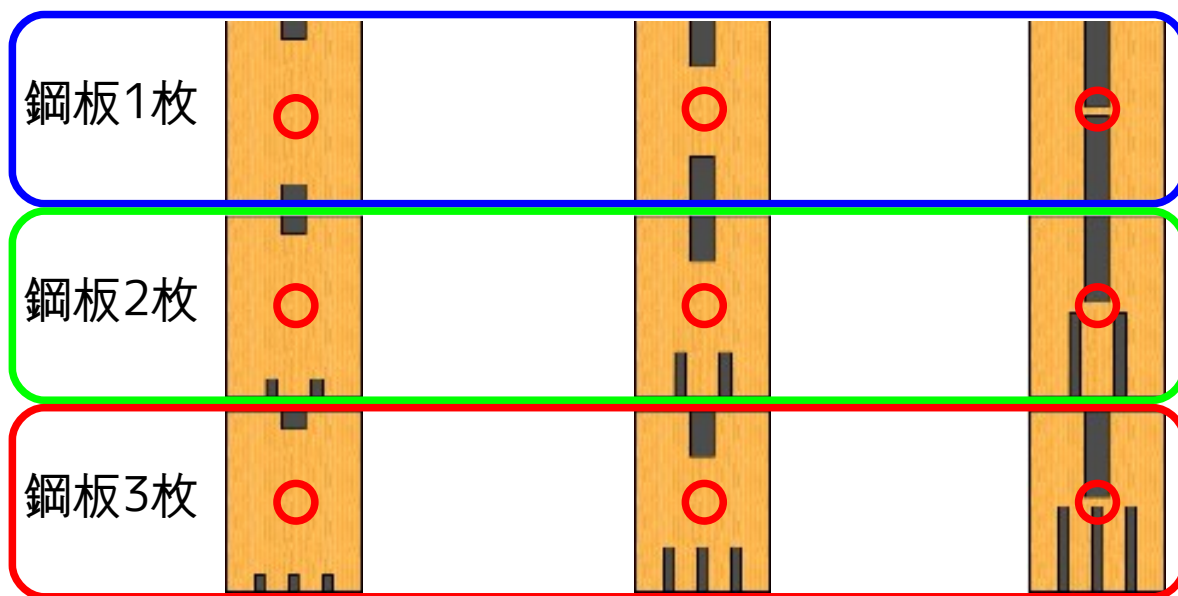
14%程度の差



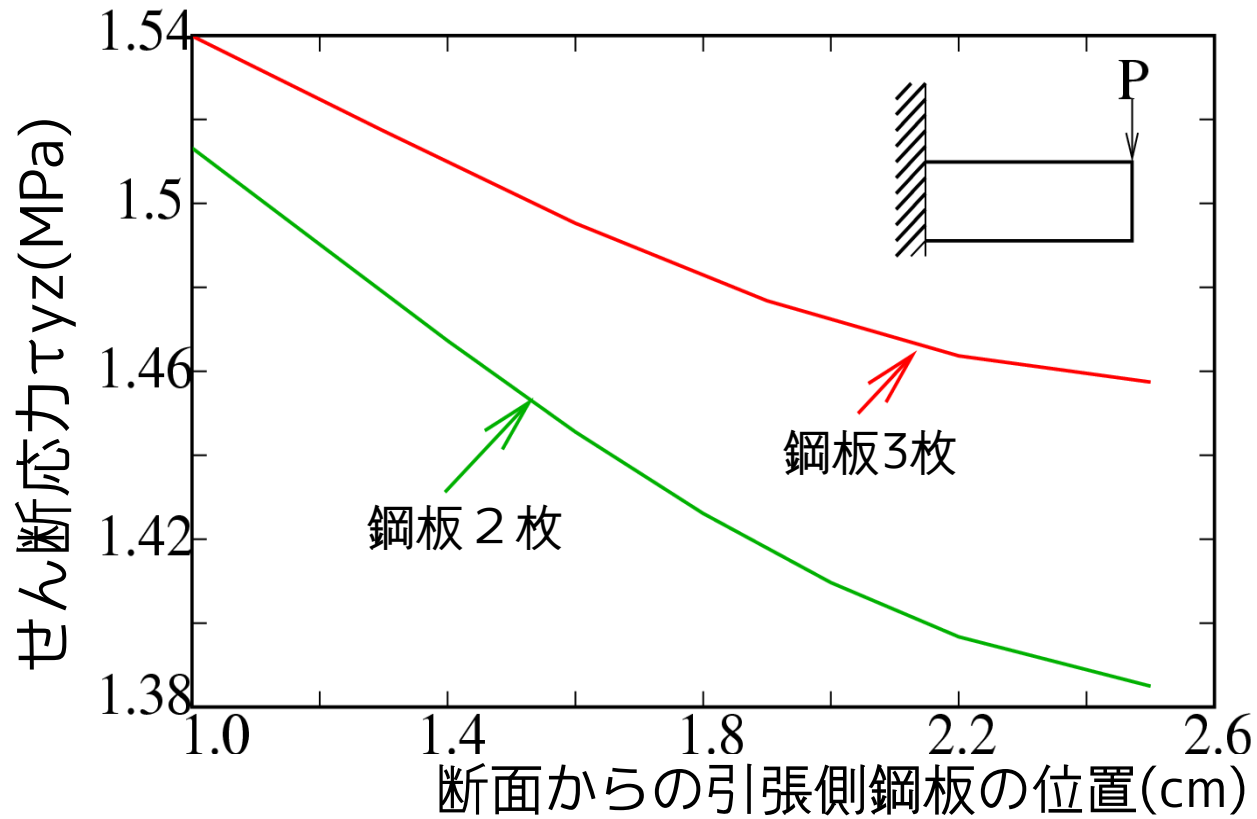
引張側を分割したほうが良い



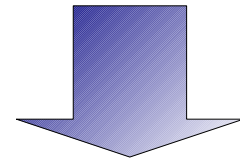
引張側鋼板の位置を変化させたらどうなるか?



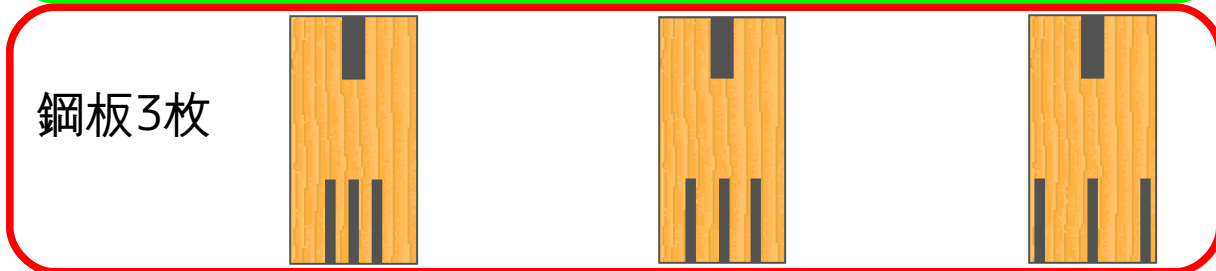
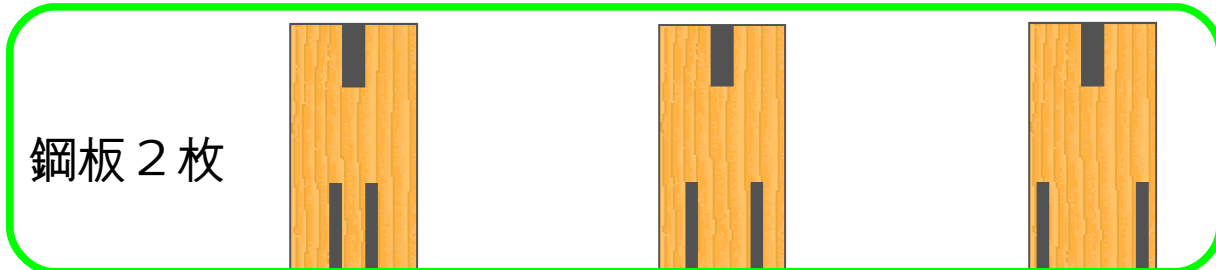
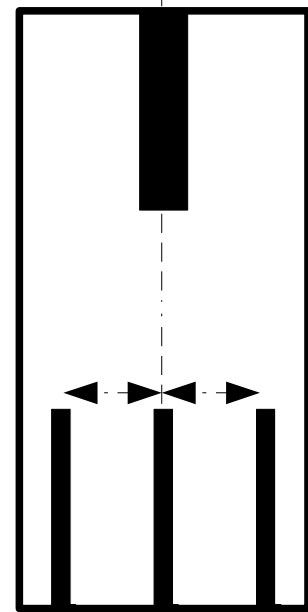
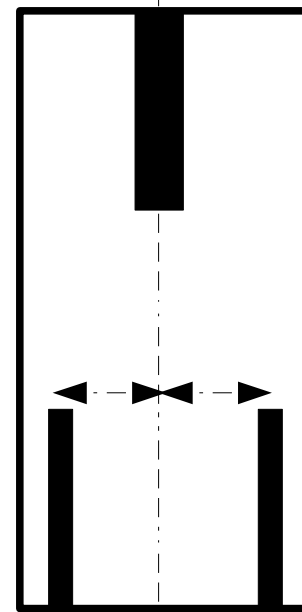
引張側の鋼板位置を変えたら??



鋼板 2枚は9%減少
鋼板 3枚は5%程度減少

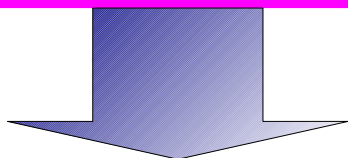


ズラした 2枚が良い

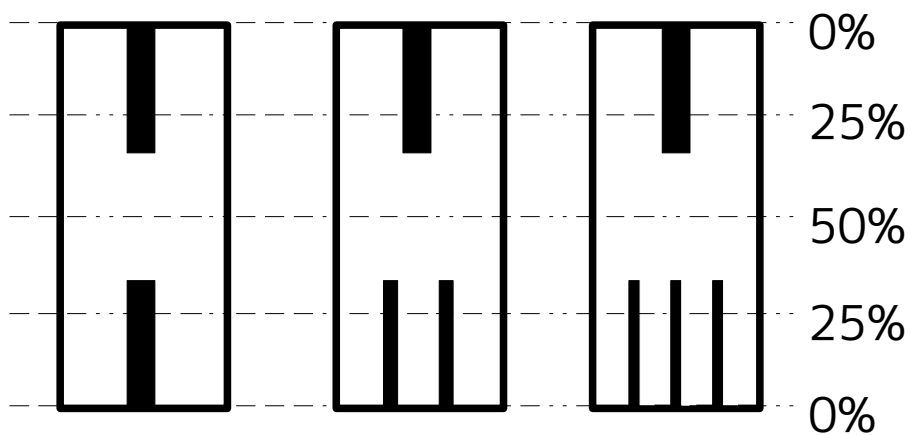


まとめ

鋼板を補剛する場合
曲げ剛性を強く持たせられる

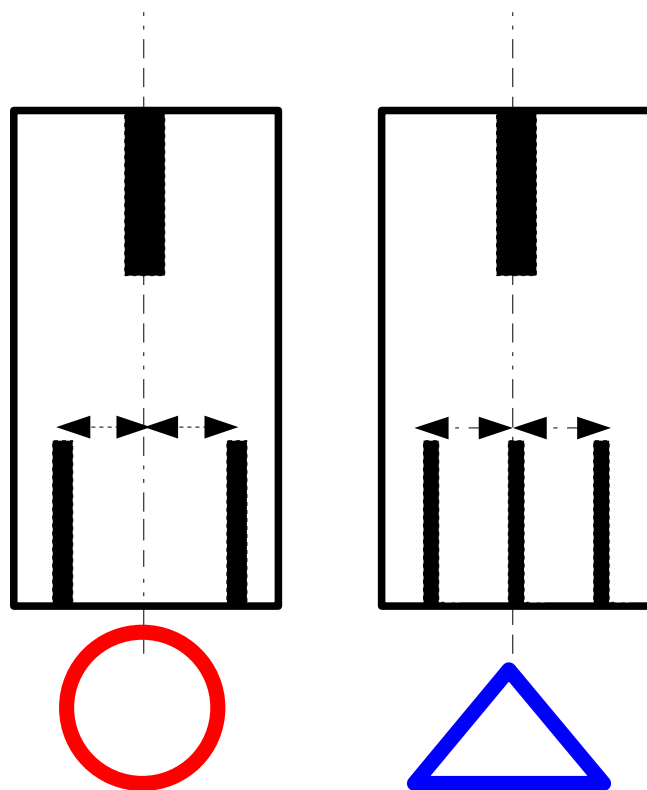


せん断変形の影響大



対策

鋼板は25%以上深く
補剛するときはズラした方がよい



目次

1: 集成材の補剛

鋼板挿入集成材におけるせん断変形評価
 環境構造工学講座
 05116 川原 祥

木造
 環境や景観への配慮
 ランクアップ性
 強度がない

集成材を鋼板で補剛

強度面が上がる
 長スパンの道路橋も可能

たゞ鋼板挿入集成材には
 問題がある

2: 補剛による問題点

鋼板挿入集成材はせん断変形しやすい

木材のたわみ式

$$U = \frac{PL^3}{6EI} - \frac{PL}{KGA}$$

鋼板挿入集成材
 集成材
 鋼材

曲げ剛性 EI せん断の剛性 GA

せん断変形の影響を明らかにする

3: 有限要素解析について

そこで有限要素解析

有限要素解析ツールは
 オープンソース Calcixを用いる

要素数節約のため 半解析
 境界条件は 片持ち梁
 載荷方法は 等分布

目次

4: 解析モデルについて

解析モデル・材料定数

基本形要素形
 総長 L=108cm
 板厚 h=4cm
 板間 h=12cm
 鋼板厚 t=4cm
 鋼板高 h_s=4cm

鋼材 (SS400)
 ヤング率 E=210GPa
 せん断弾性係数 G=80GPa
 ポアソン比 ν=0.3

集成材 (9枚の公称厚)
 ヤング率 E_c=9.45GPa
 ヤング率 E_s=E_c=9.45GPa
 せん断弾性係数 G_c=G_s=0.929GPa
 G_u=G_s=G_c=0.929GPa
 ポアソン比 ν_c=ν_s=ν_u=0.016
 ν_s=ν_u=0.4

5: 要素分割の話

要素分割・たわみの収束性

6×24×120の分割

要素数	最大たわみ (mm)	最大せん断力 (kN)	最大せん断応力 (MPa)
1	1.00000	0.00000	0.00000
2	0.50000	0.00000	0.00000
3	0.33333	0.00000	0.00000
4	0.25000	0.00000	0.00000
5	0.19200	0.00000	0.00000
6	0.15000	0.00000	0.00000
7	0.12000	0.00000	0.00000
8	0.10000	0.00000	0.00000
9	0.08571	0.00000	0.00000
10	0.07692	0.00000	0.00000
11	0.07059	0.00000	0.00000
12	0.06571	0.00000	0.00000

6: たわみに占めるせん断変形

たわみに占めるせん断変形

初等梁理論とFEM解のせん断変形

$$U = \frac{PL^3}{6EI}$$

$$U = \frac{PL}{6EI} - \frac{PL}{6EI} \frac{PL}{GA}$$

鋼板深さ25%以上が望ましい

せん断変形の大きい25%付近のせん断応力は?

目次

7: せん断応力分布

片持ち梁中央断面のせん断応力分布

集成材の引張強度に達する
 ような位置を載荷
 集成材のせん断強度3MPa
 中央軸付近は1.5~1.8MPa

目次

8: 鋼板深さ変化のせん断応力

鋼板深さを変化させると・・・

14%程度の差
 引張側を分割した
 ほうが良い

引張側を分割したほうが良い
 引張側を分割したほうが良い
 安全な設計ができるか?

目次

9: 引張側鋼板の位置の変化

引張側の鋼板位置を変えたら??

鋼板2枚は5%減少
 鋼板3枚は5%増減減少
 スラした2枚が良い

目次

10: まとめ

まとめ

鋼板を補剛する場合
 曲げ剛性を強く持たせられる

対策
 鋼板は25%以上深く
 補剛するときはスラした
 方がよい

せん断変形の影響大

0%
 25%
 50%
 75%
 100%

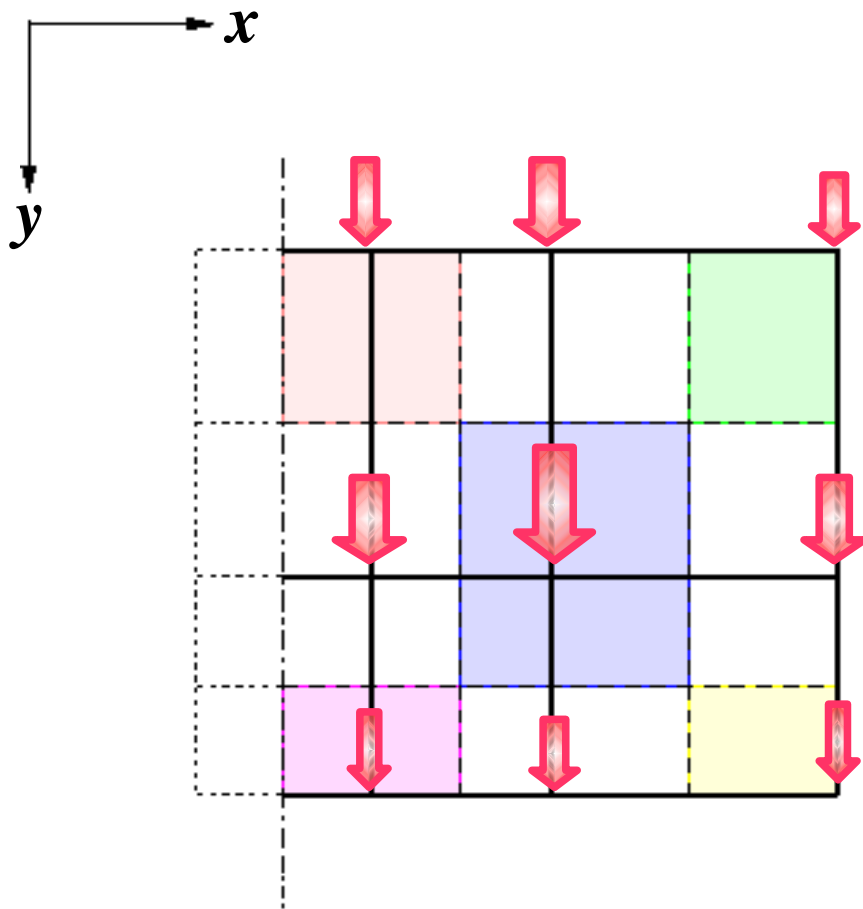
目次

$$\frac{P_{\text{全}}}{A} = p$$

接点付近の要素面積 $\times p$

Calculix

拘束条件があるところでは
載荷できない



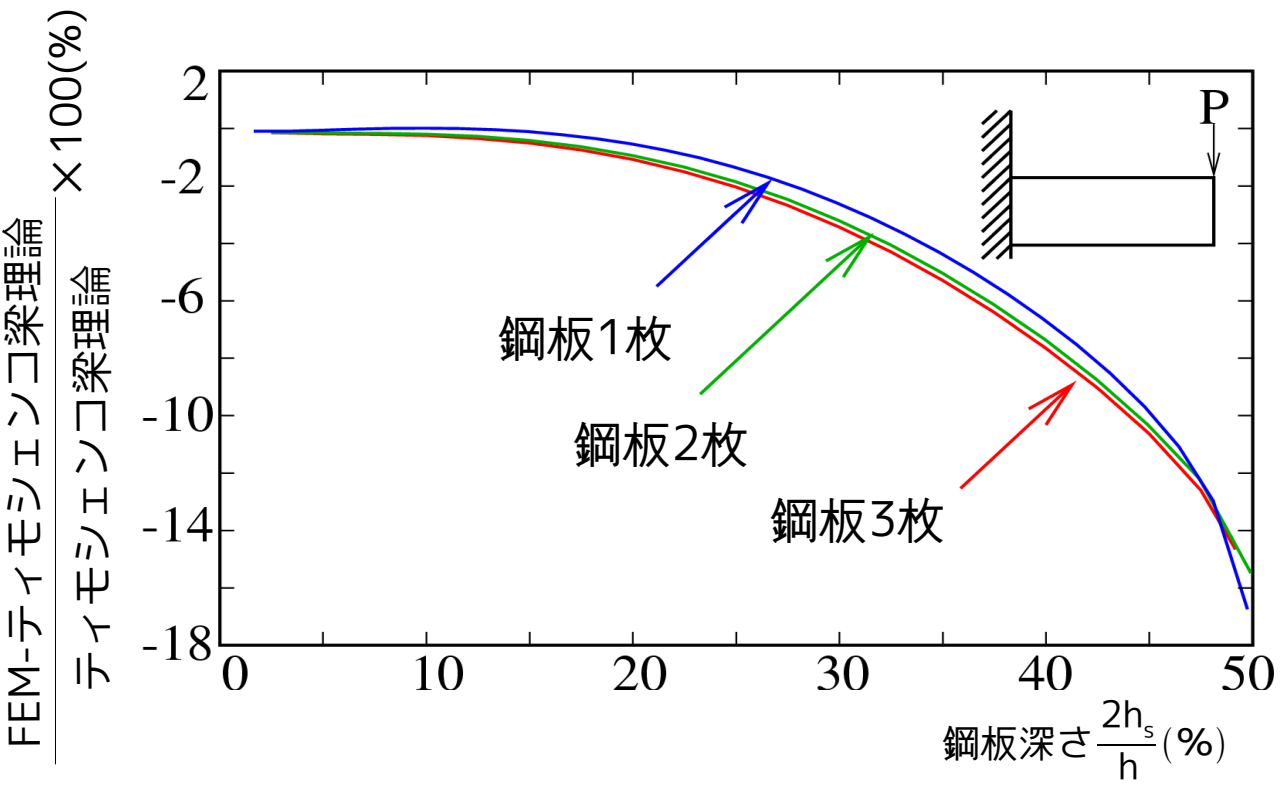
面積比に対して荷重をかける。

集成材の材料定数

直交異方性である集成材を
ひずみ応力関係式から導く

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

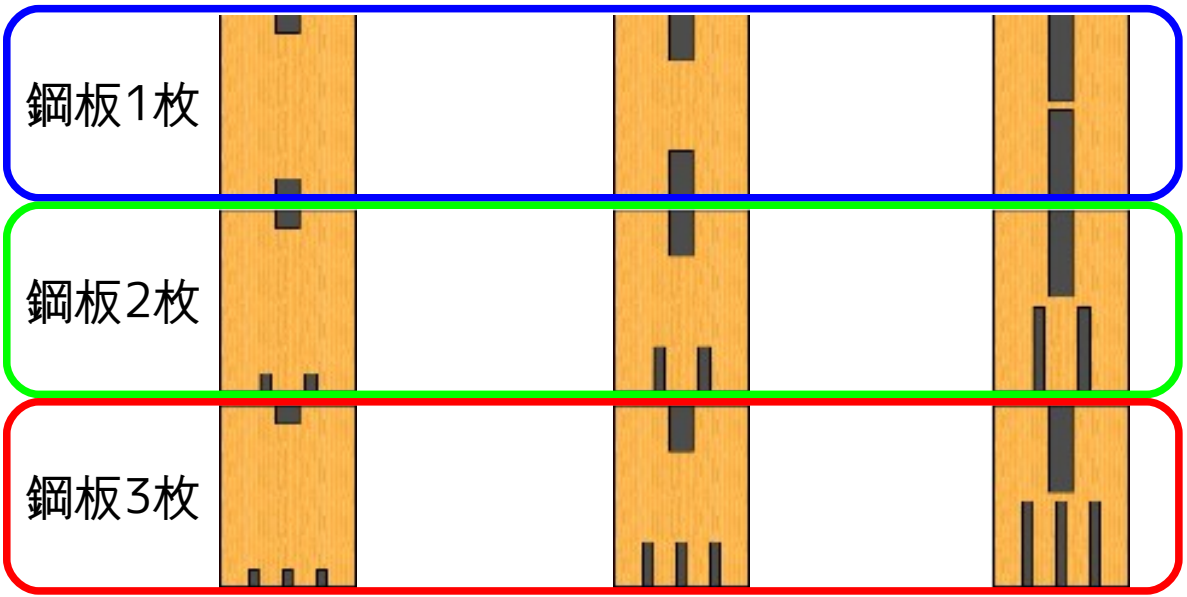
補剛時のせん断弾性係数



ティモシェンコ梁理論と
FEM解の相対誤差

$$U = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{PL}{kG_{\text{木}}A}$$

$$U = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{PL}{kGA}$$



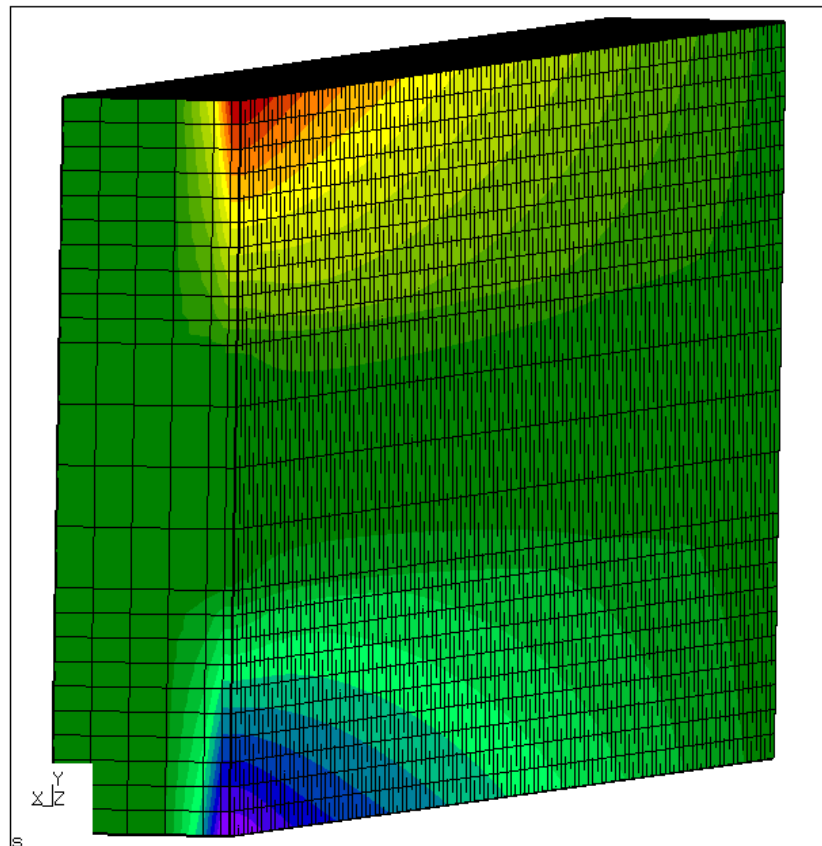
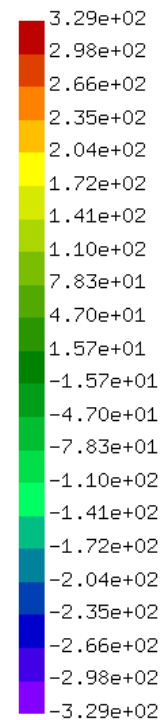
鋼板深さ20%程度でも
せん断弾性係数の違い
は2%と思われる。

集成材の引張強度に達するような荷重

片持ち梁のせん断応力

LC2:STRESS
Tim:1.000000
entity:SZZ

max: 3.29e+02
min: -3.29e+02

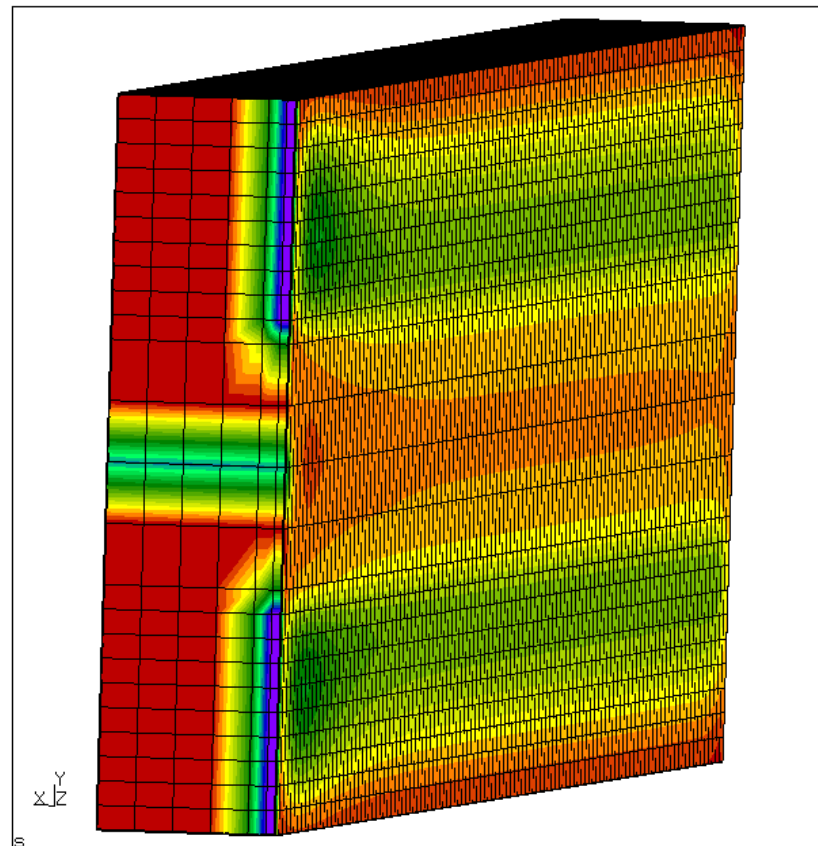
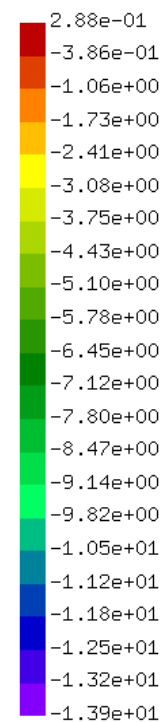


hgou11h9_0.frd

鋼材付近の集成材が
18MPaに近い値

LC2:STRESS
Tim:1.000000
entity:SYZ

max: 2.88e-01
min: -1.39e+01



hgou11h9_0.frd

中立軸付近の集成材が
せん断応力の集中を受ける