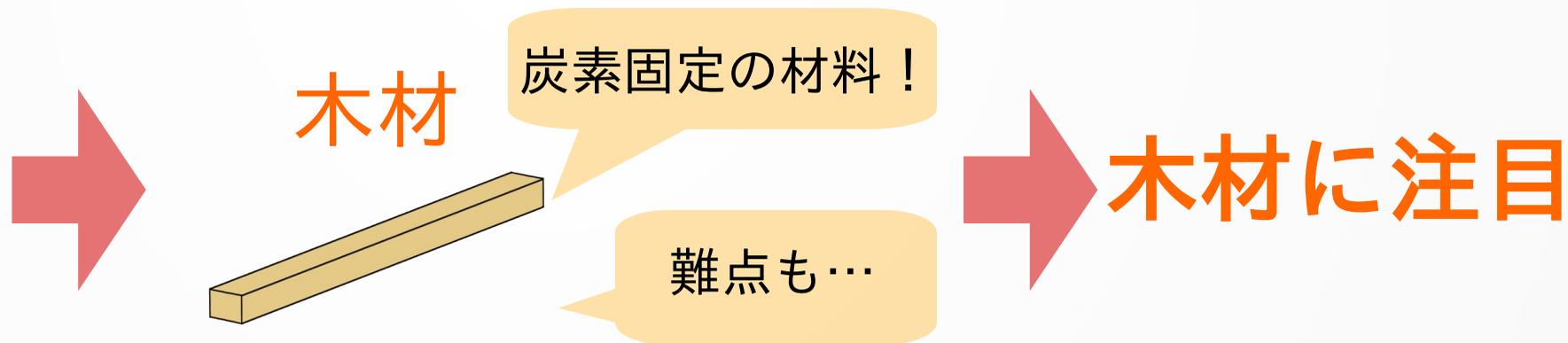
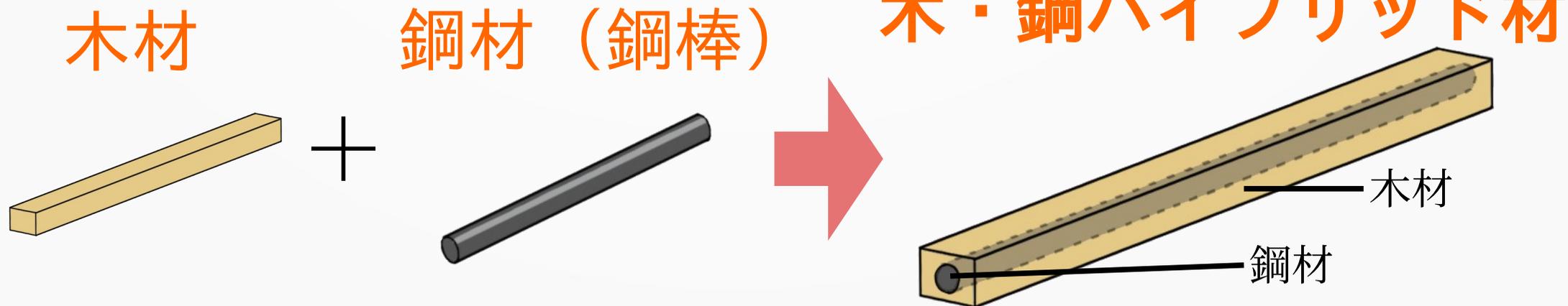


節を考慮した木・鋼ハイブリッド材の数値解析

環境構造工学分野 君島真美



難点を補うために…



節を考慮した木・鋼ハイブリッド材の数値解析

環境構造工学分野 君島真美



目

本研究の目的

木・鋼ハイブリッド材の解析を行う

材



解析の前に…



節から破壊

木材にとって難点
節の性能が知りたい

節から壊れやすい



節の解析が必要！

木・鋼ハイブリッド材の解析より先に

節の挙動を
解析で再現する

解析の前に…



よく見ると**節の周り**から破壊している

なぜ？



節の周り…柔らかい

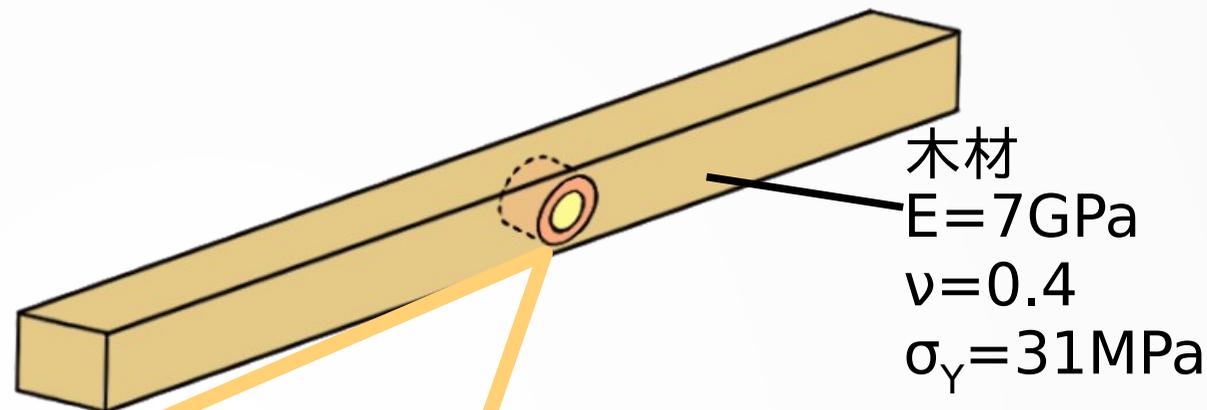
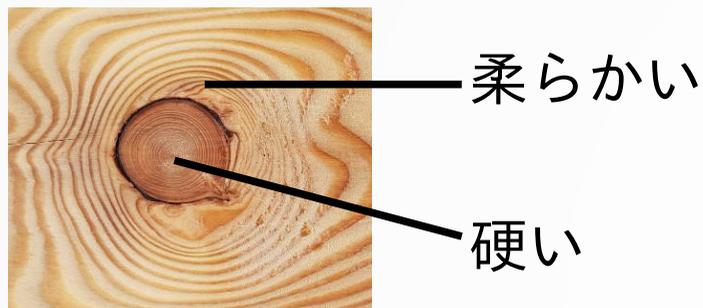
節…硬い

この性質を利用して、
なるべく簡単に数値解析をしたい

数値解析モデル 圧縮



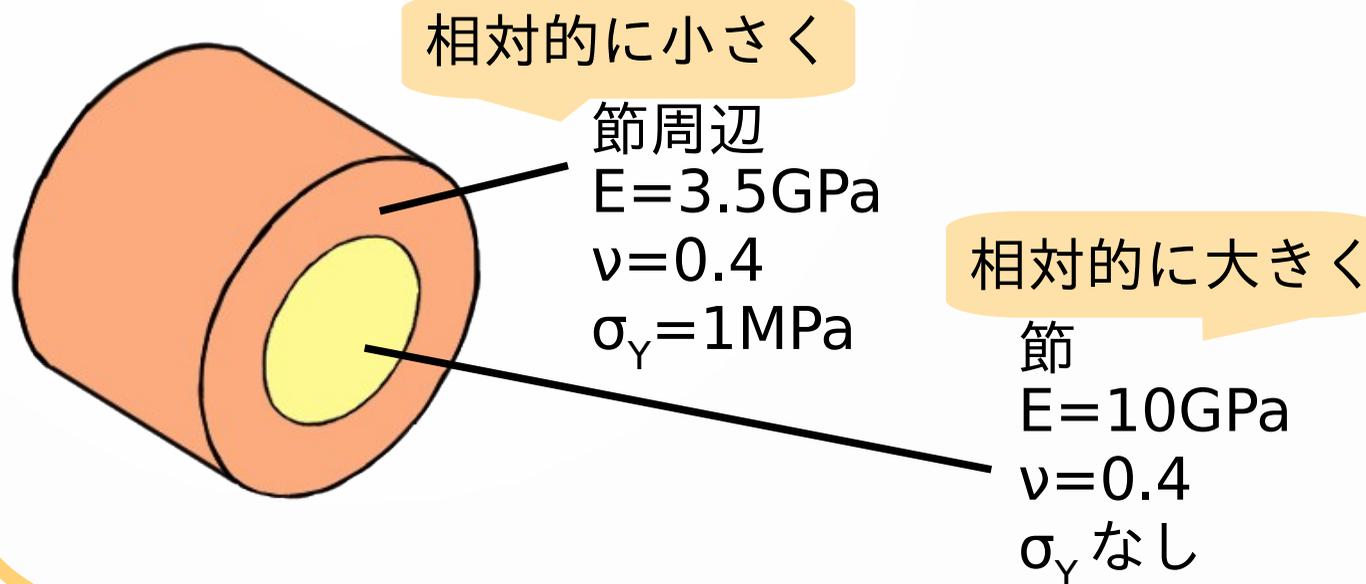
どうやって解析で節を再現する？



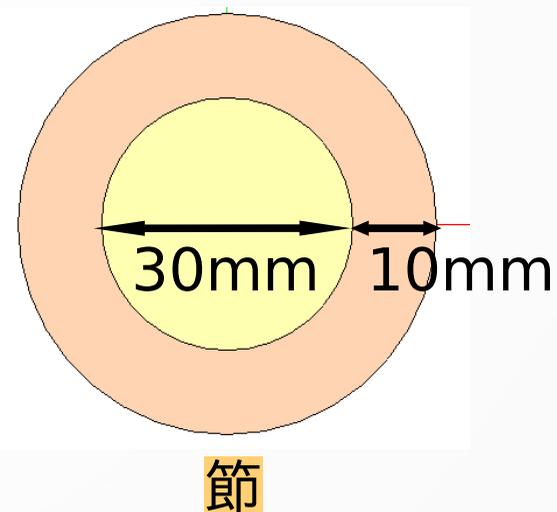
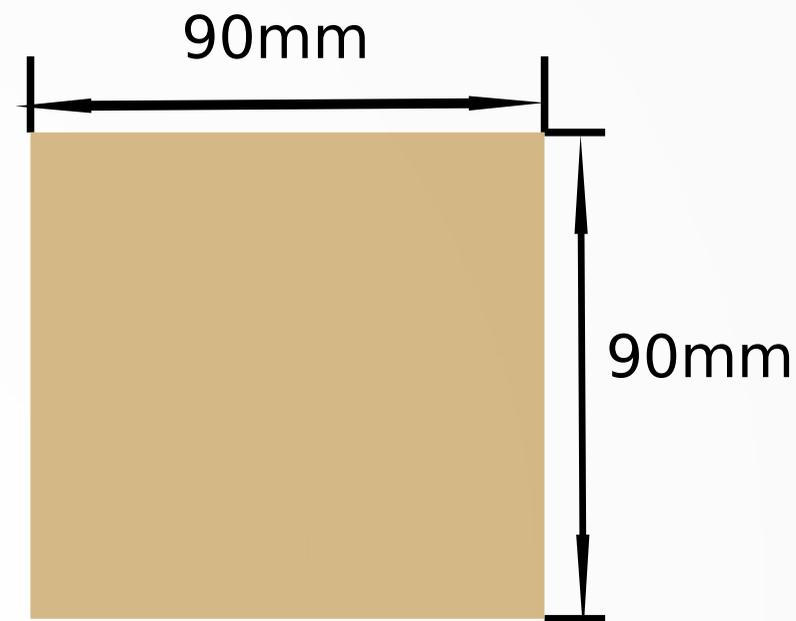
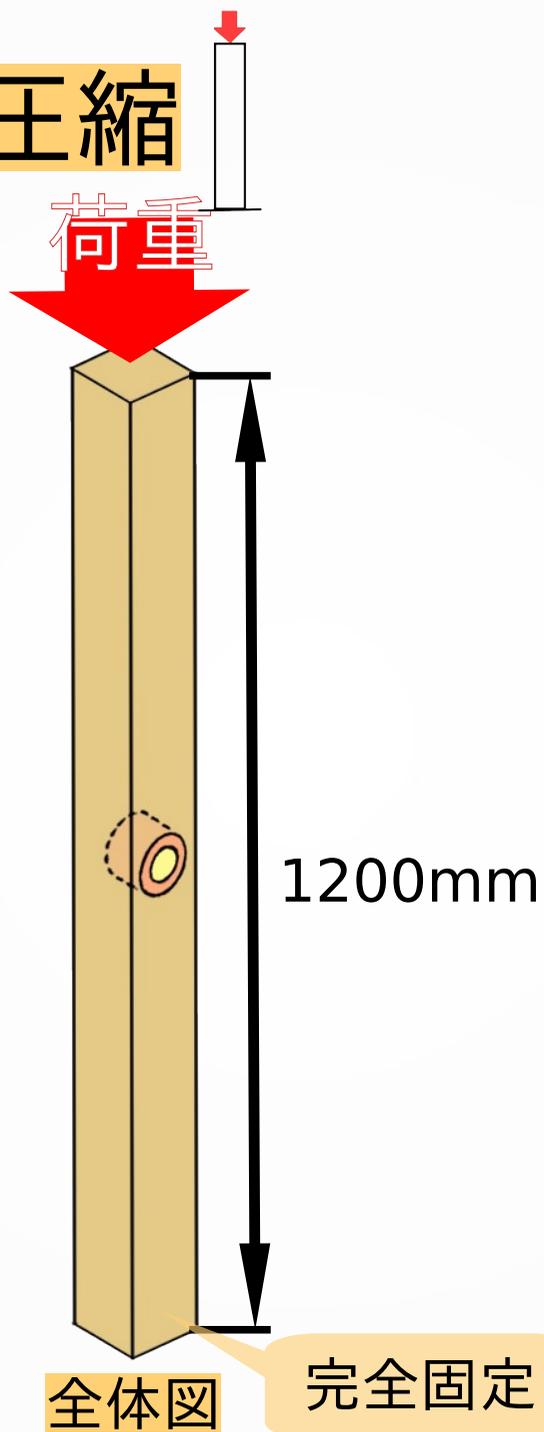
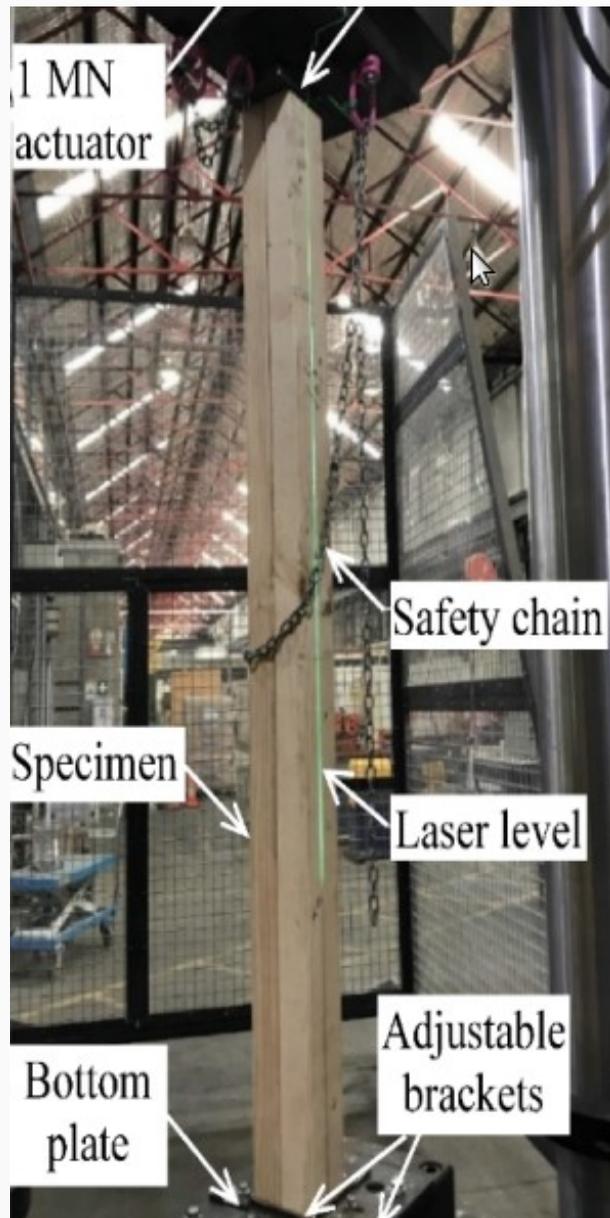
形は**円柱形**で再現

柔らかさ、硬さは
ヤング率を変化させて再現

弾塑性と**線形弾性**を
組み合わせてモデル化

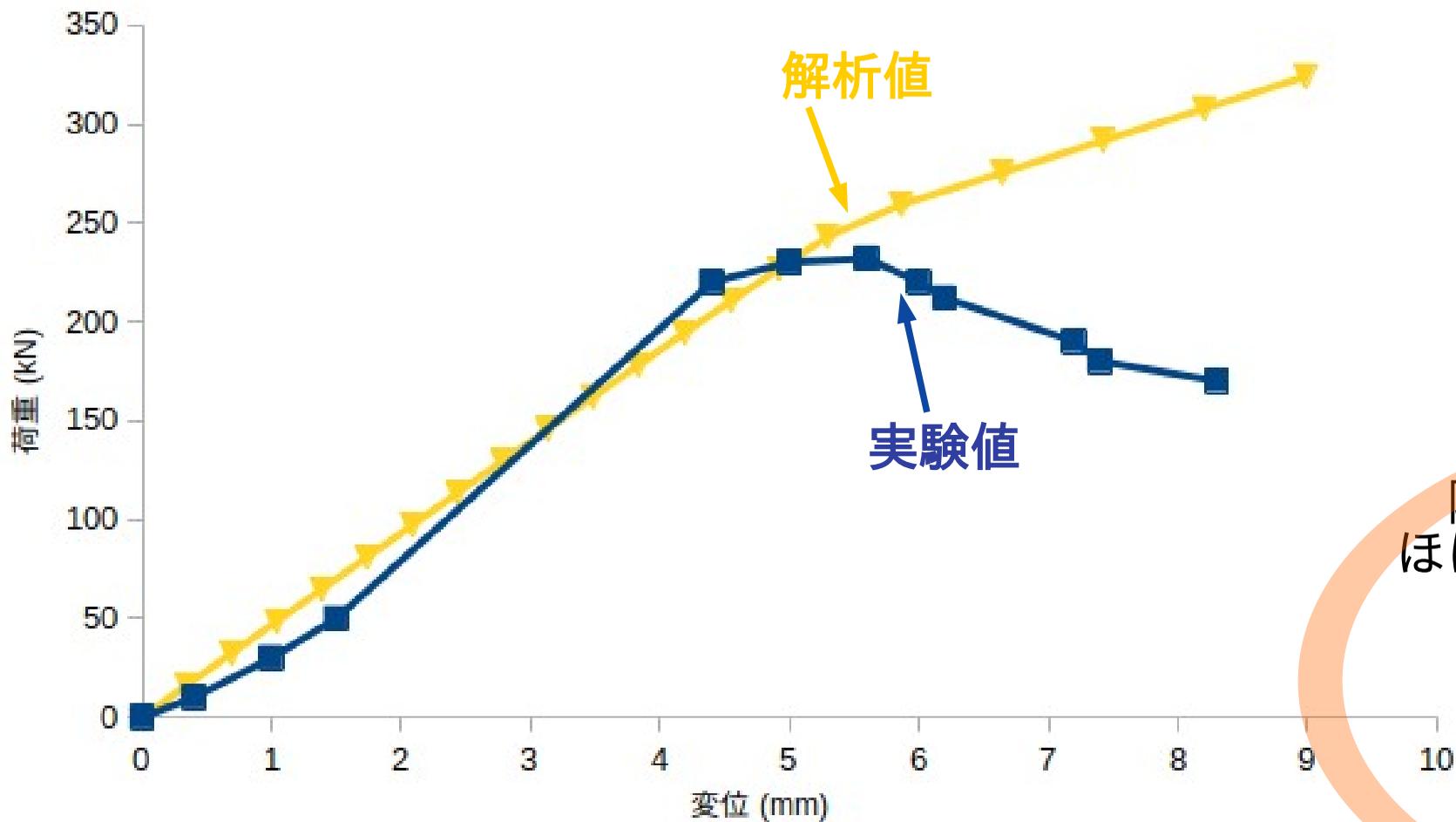
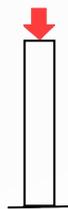


数値解析モデル 圧縮



数値解析結果 圧縮

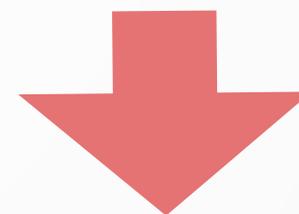
圧縮実験と解析の結果を比較



荷重と鉛直方向変位の関係



降伏前の部分を実験値と
ほぼ合わせることができた！

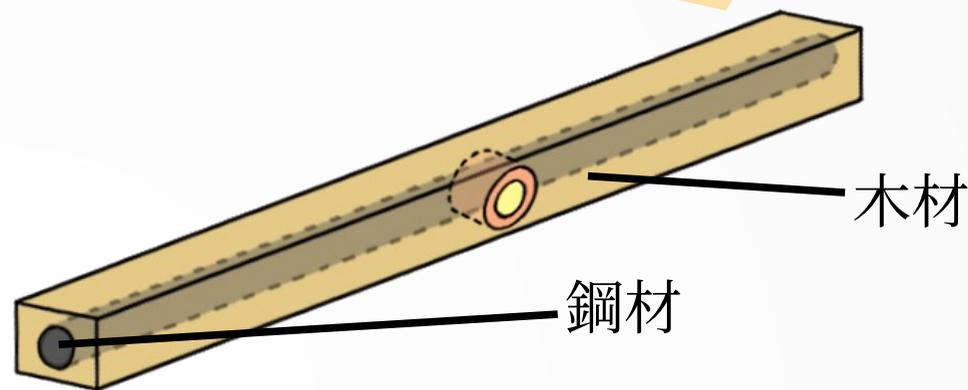
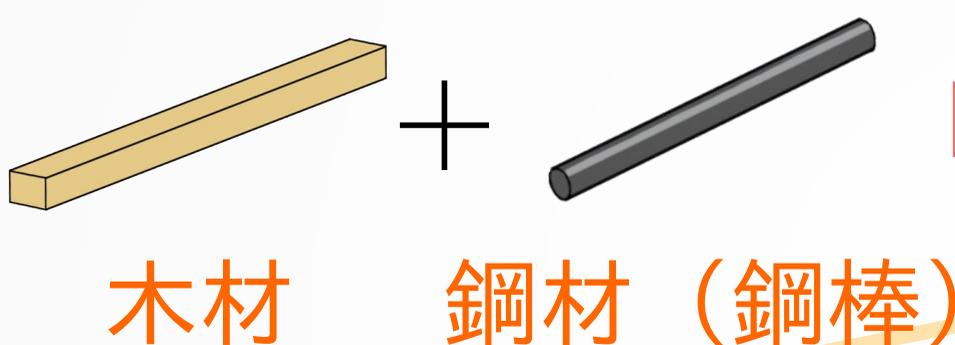


節を再現することが
できている

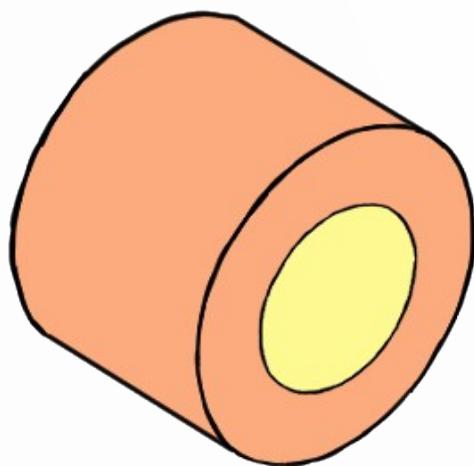
木・鋼ハイブリッド材

節があることを想定(無垢材)

木・鋼ハイブリッド材とは？



木・鋼ハイブリッド材



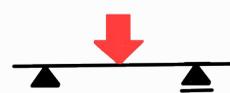
モデルに節を適用

節がある部材の挙動は？

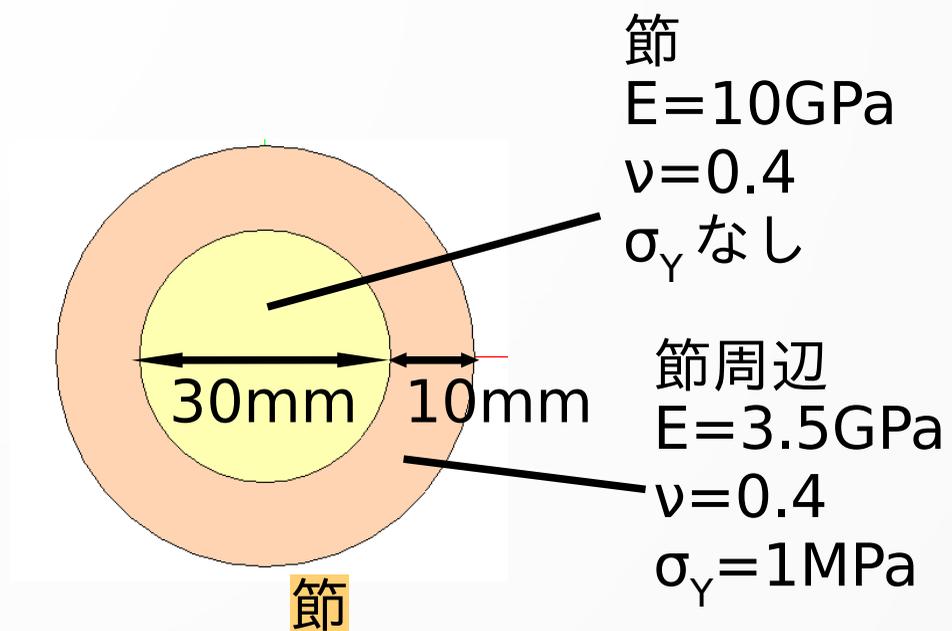
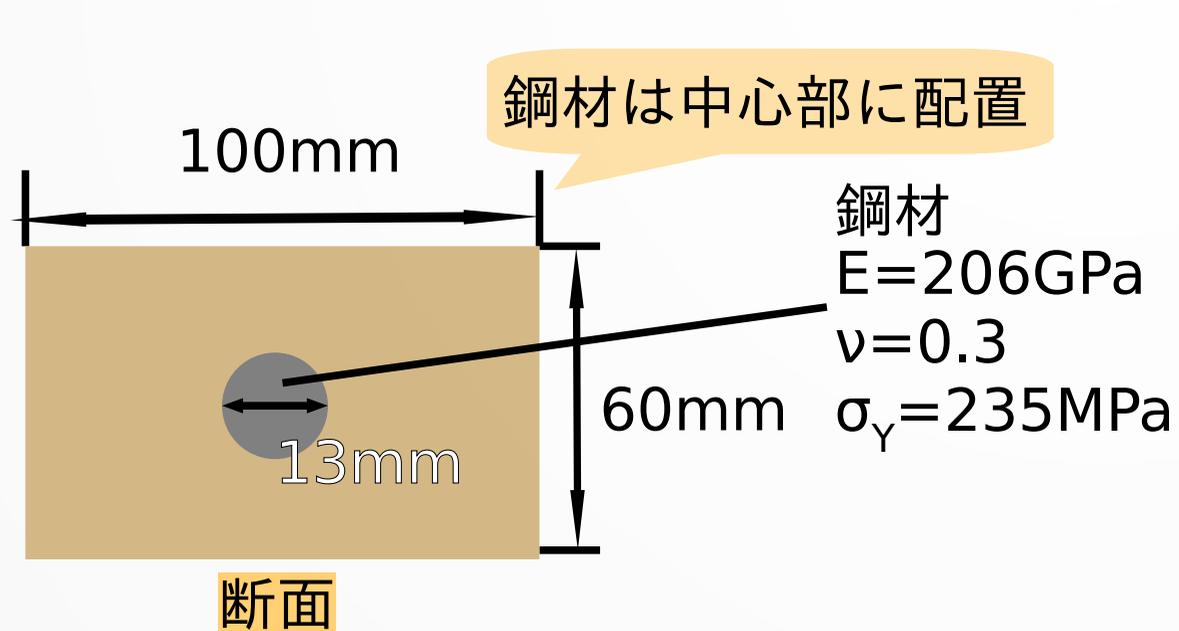
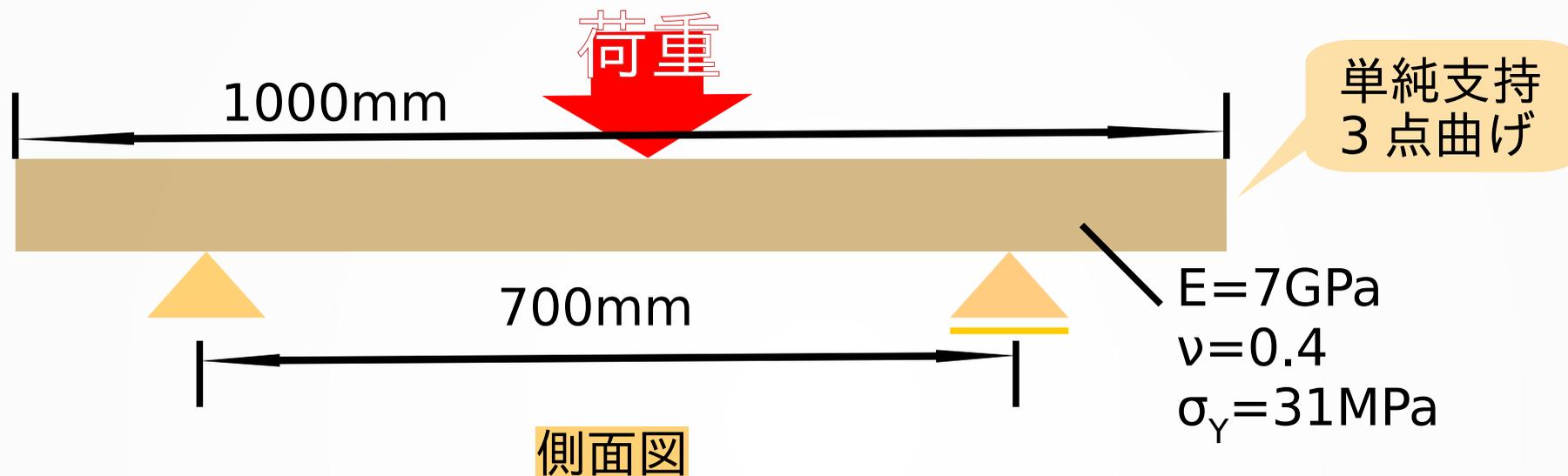
鋼材を入れるとどのような影響が？

木材にとって
影響が大きいから

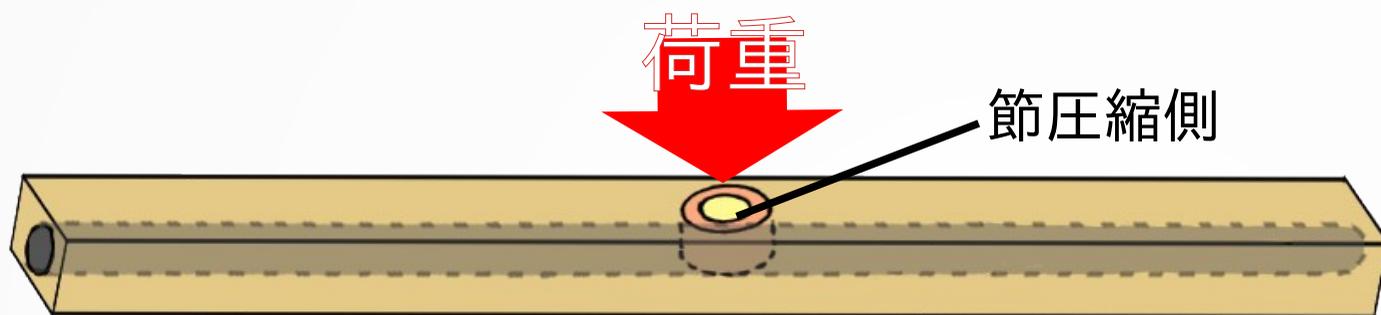
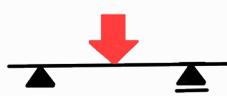
数値解析モデル 曲げ



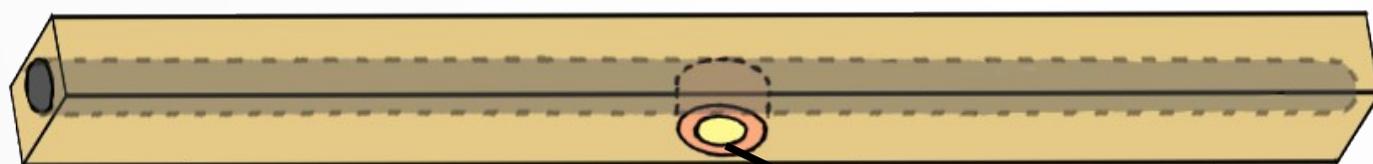
使用ソフト…
有限解析要素 「Salome-meca2019」



数値解析モデル 曲げ



側面図

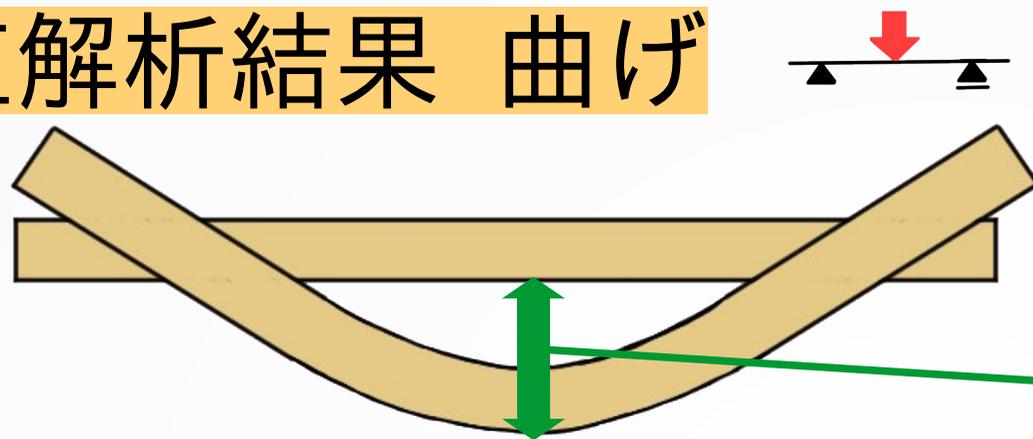


節は曲げ応力最大の中央に配置

材料	節
木	なし
木	圧縮側
木	引張側
木+鋼	なし
木+鋼	圧縮側
木+鋼	引張側

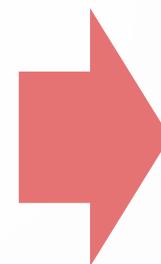
鋼材や節の有無、位置によって解析ケースを作成

数値解析結果 曲げ

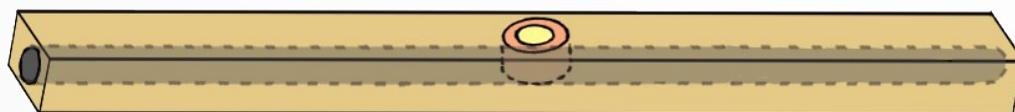


変位を比較

材料	節	
木	なし	木, 節なし... 12.63mm 木, 節あり... 13.58mm
木	圧縮側	
木	引張側	
木+鋼	なし	木+鋼, 節なし... 12.14mm 木+鋼, 節あり... 13.04mm
木+鋼	圧縮側	
木+鋼	引張側	

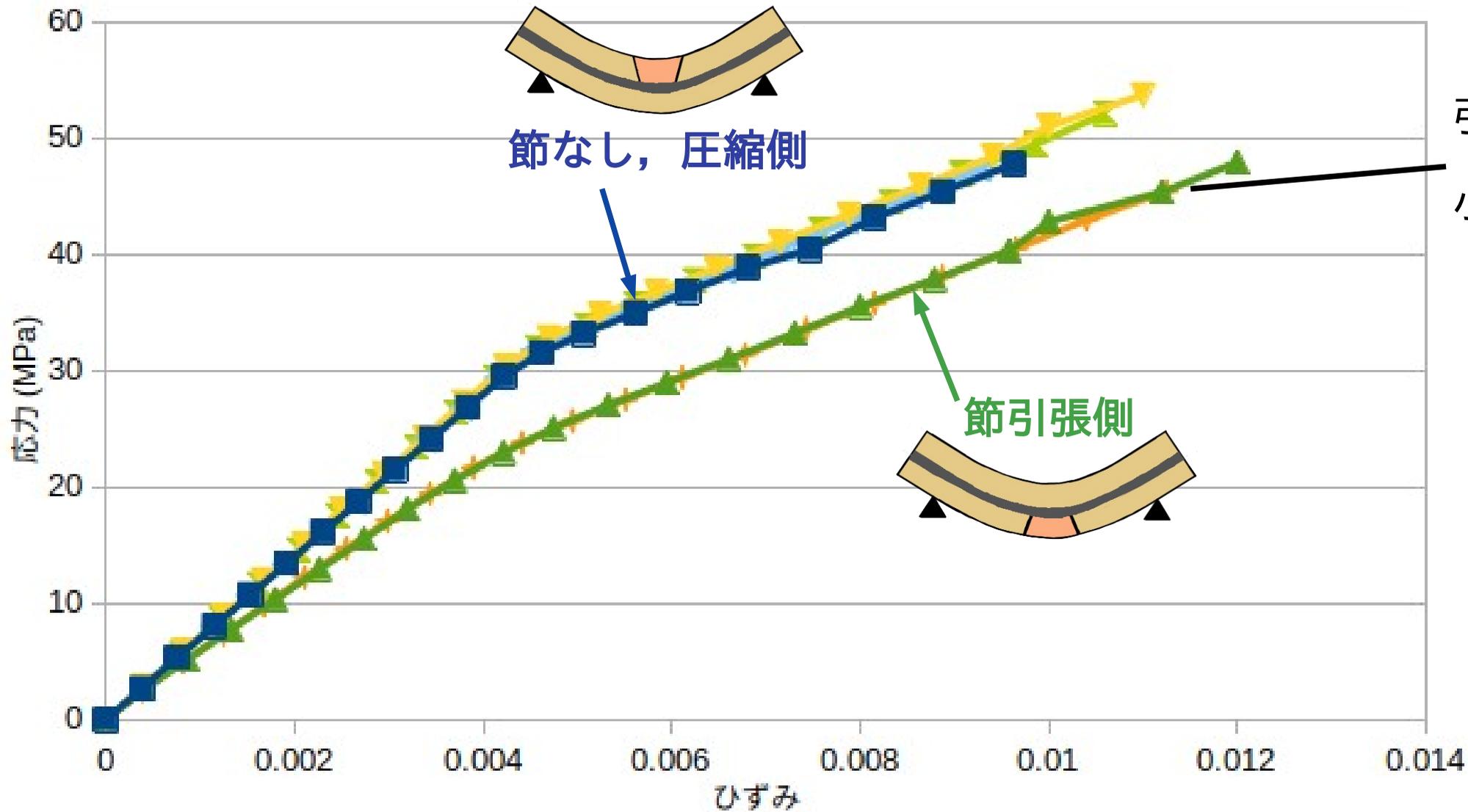
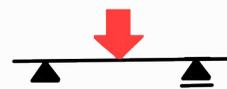


- ・ 鋼材の有無で約 4% 変位が変化
- ・ 節の有無で約 7% 変位が変化



鋼材が中心部にあるため、節の影響の方が大きくなっている

数値解析結果 曲げ



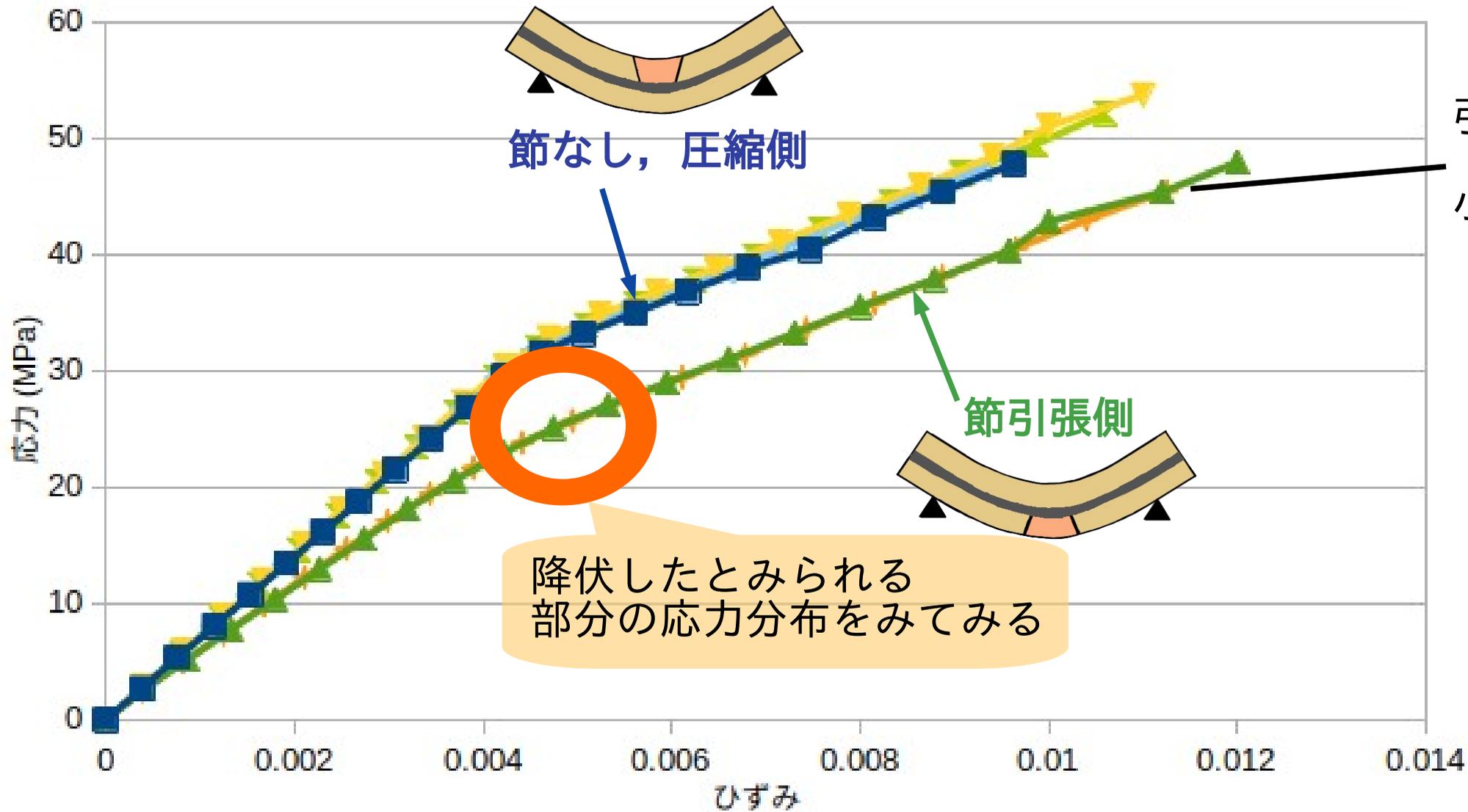
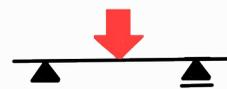
節なし, 圧縮側

節引張側

引張側に節がある
ケースでは
小さい応力で降伏

応力-ひずみ曲線

数値解析結果 曲げ



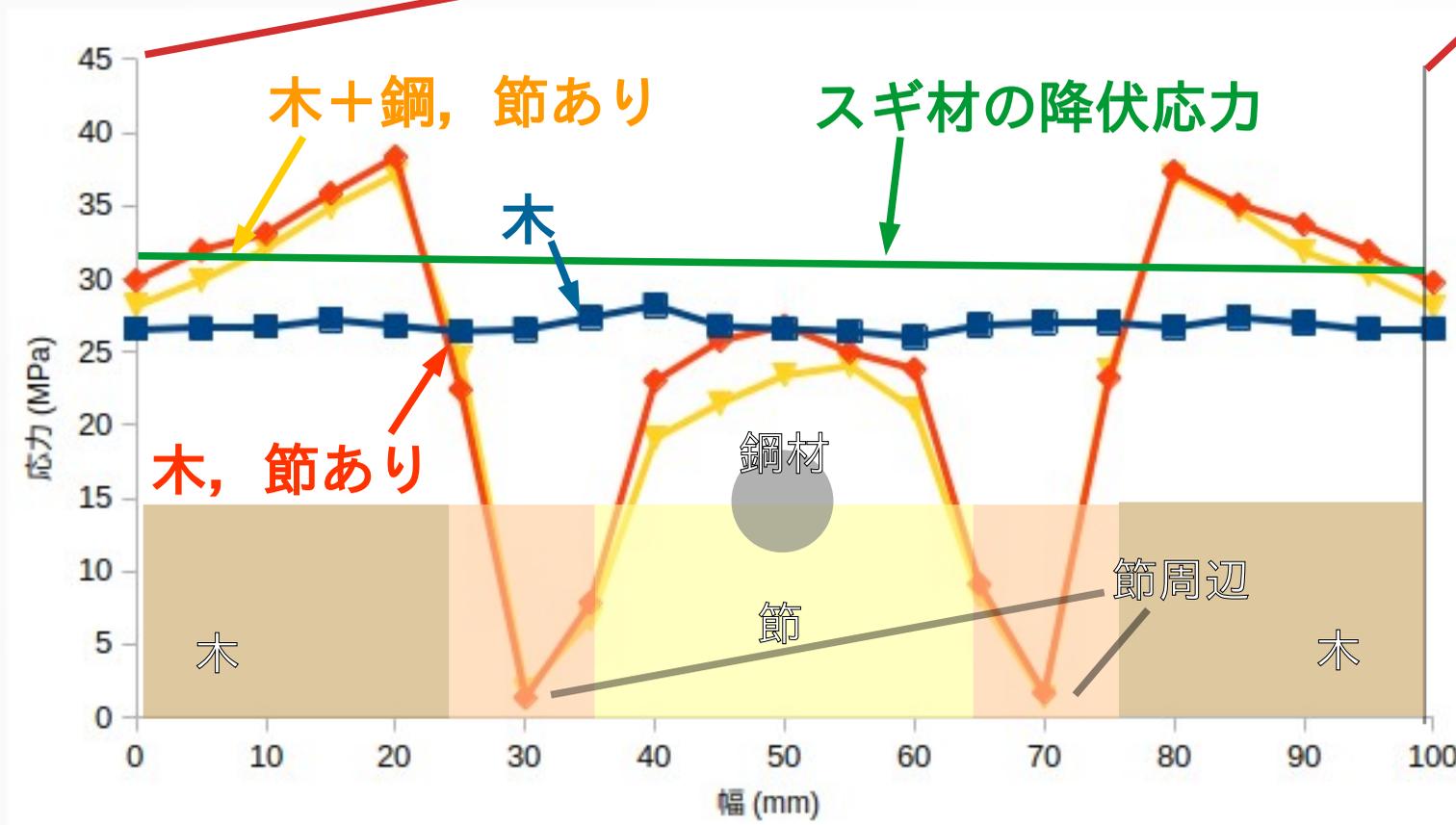
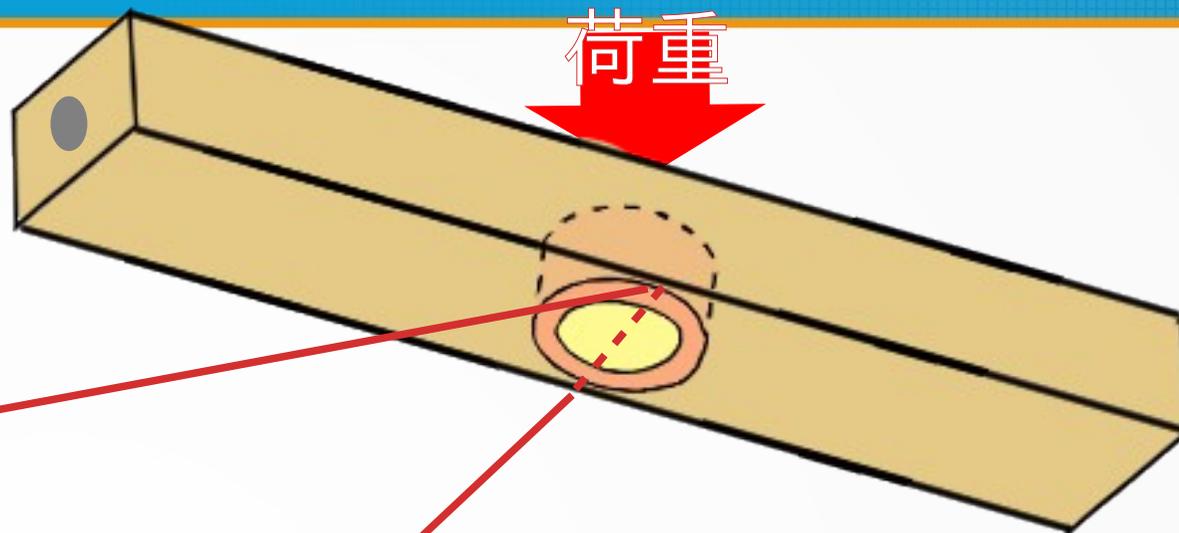
引張側に節がある
ケースでは
小さい応力で降伏

応力-ひずみ曲線

数値解析結果 曲げ



拡大

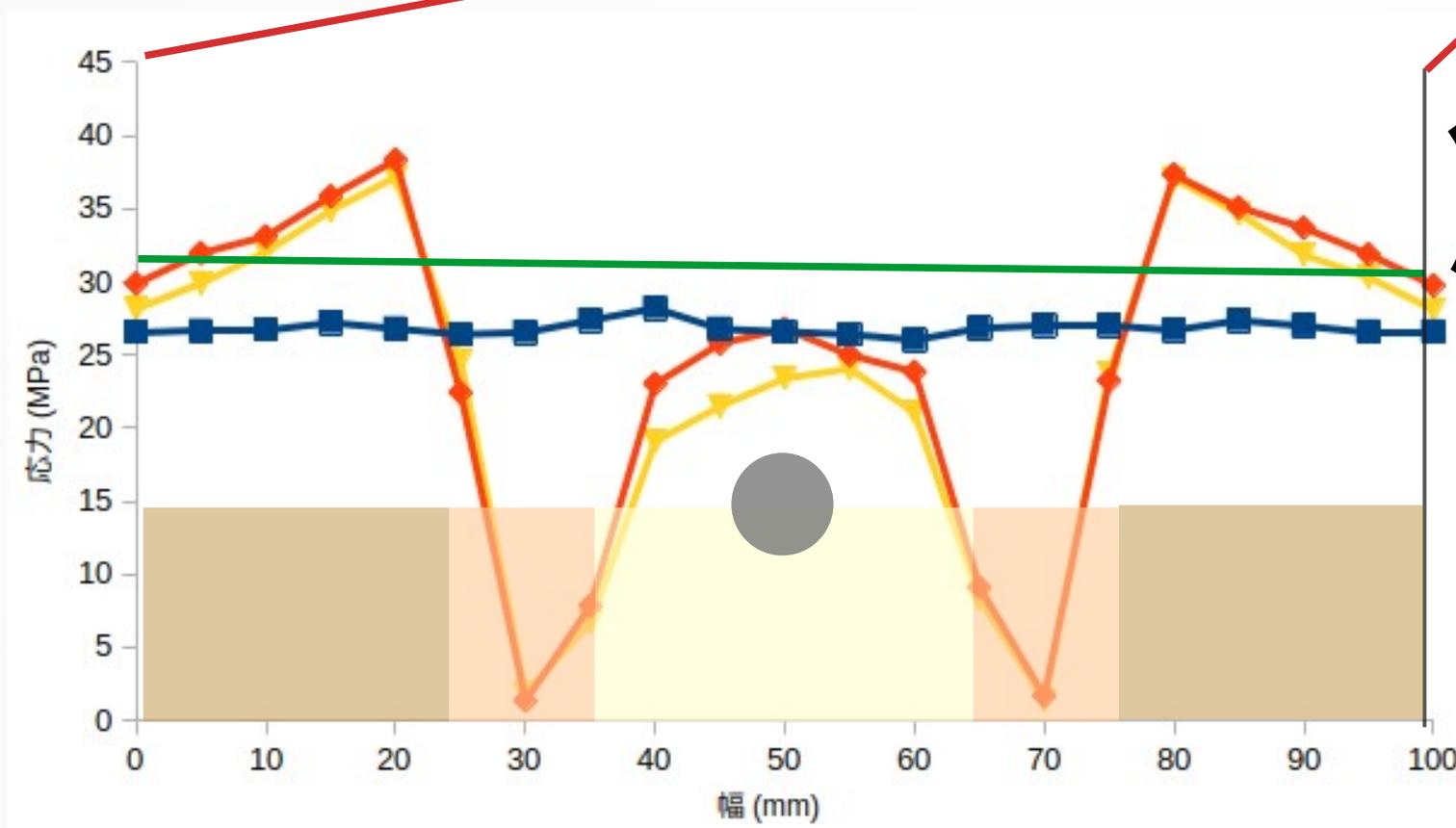
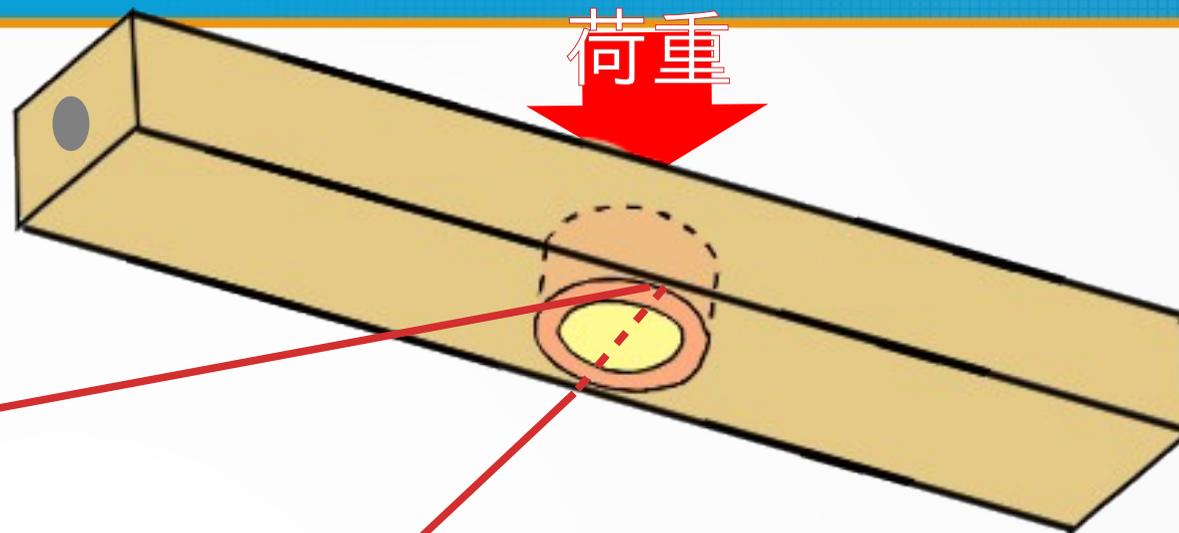


載荷線下部の軸方向応力分布

数値解析結果 曲げ



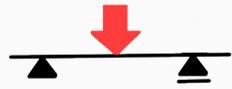
拡大



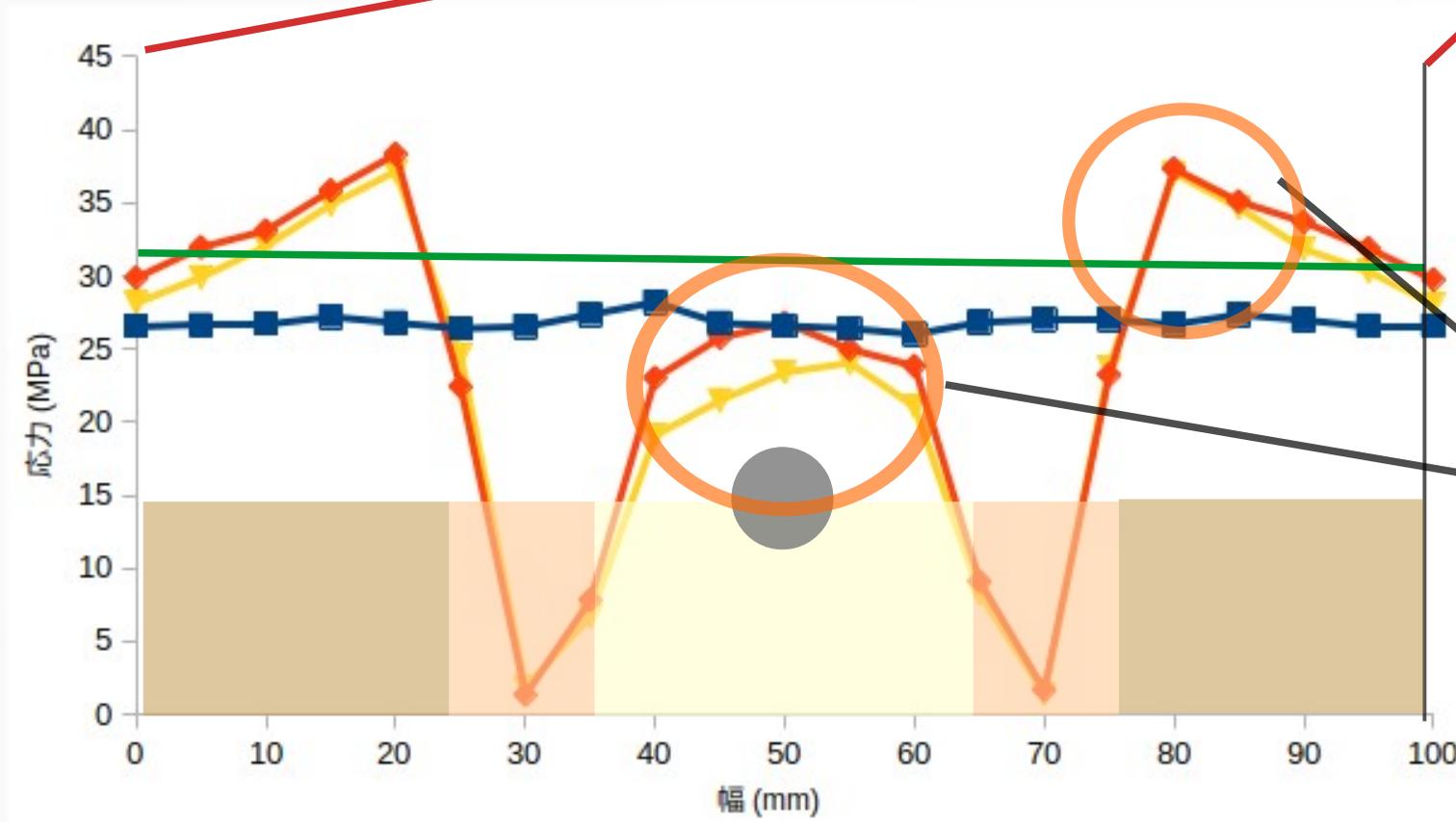
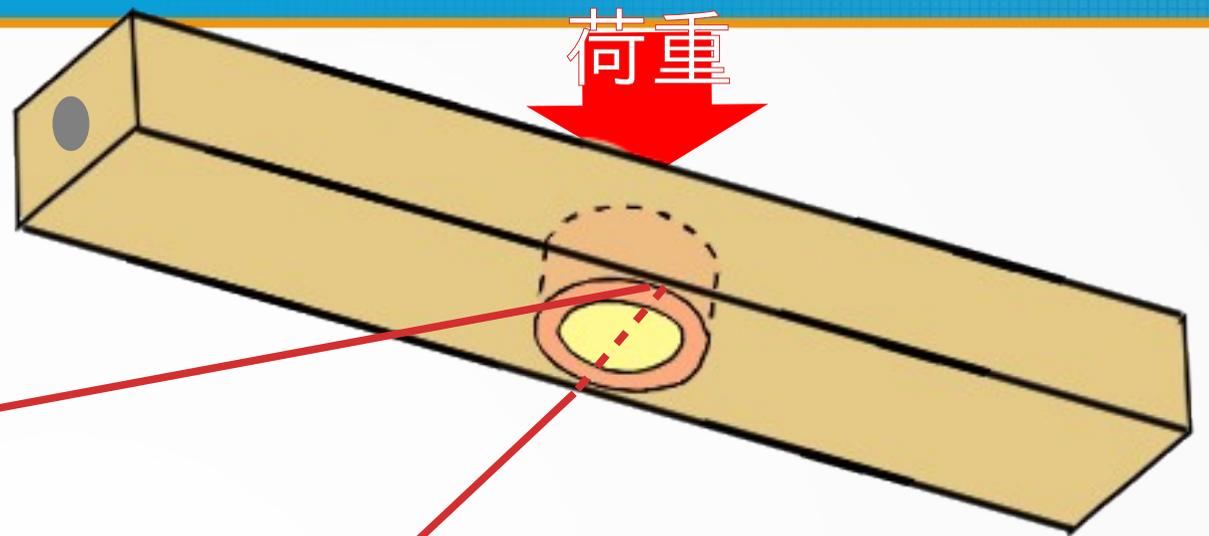
節ありのものは一部降伏点を超えて塑性域に入っている

載荷線下部の軸方向応力分布

数値解析結果 曲げ



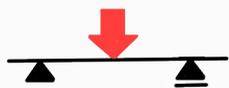
拡大



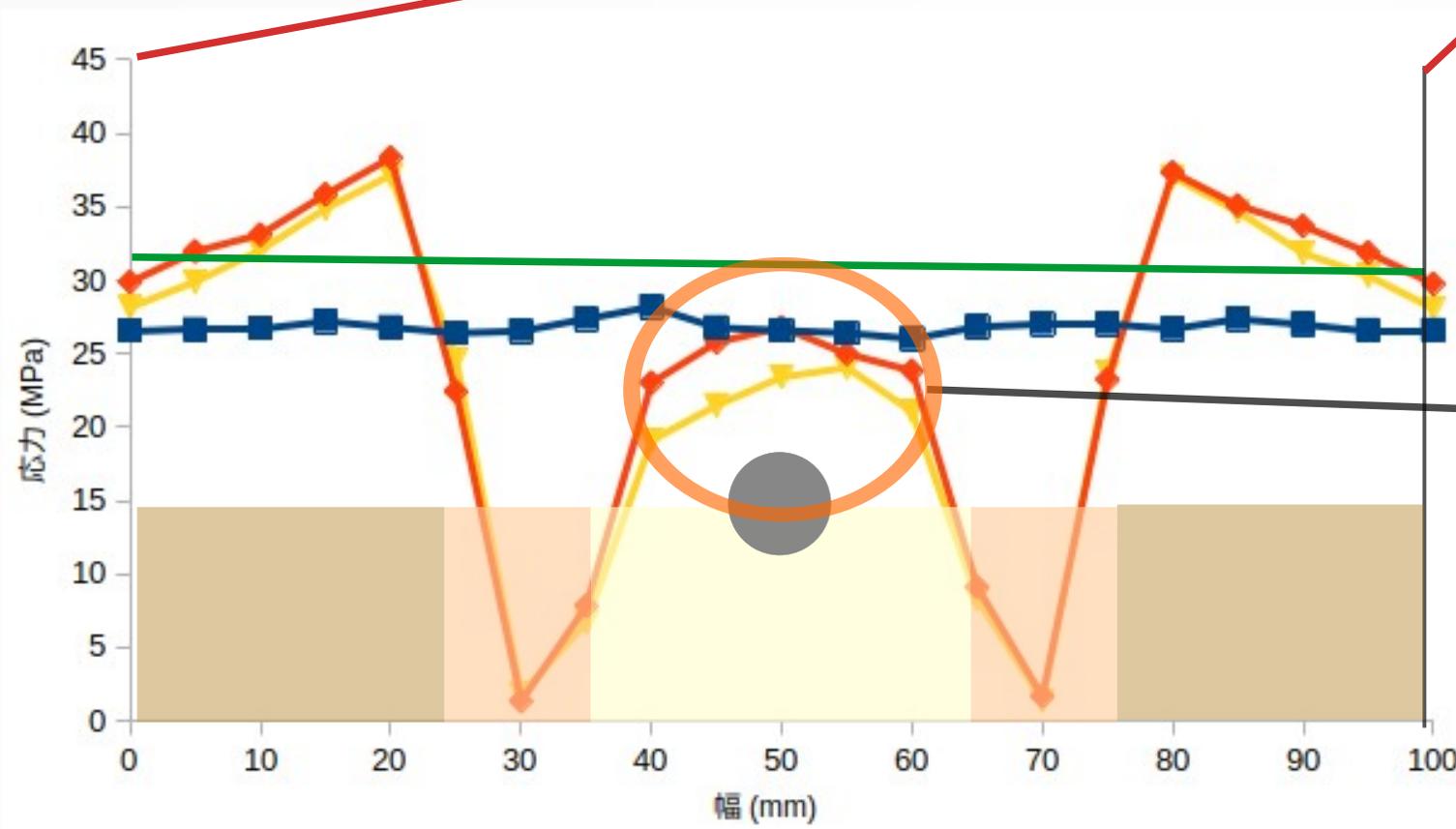
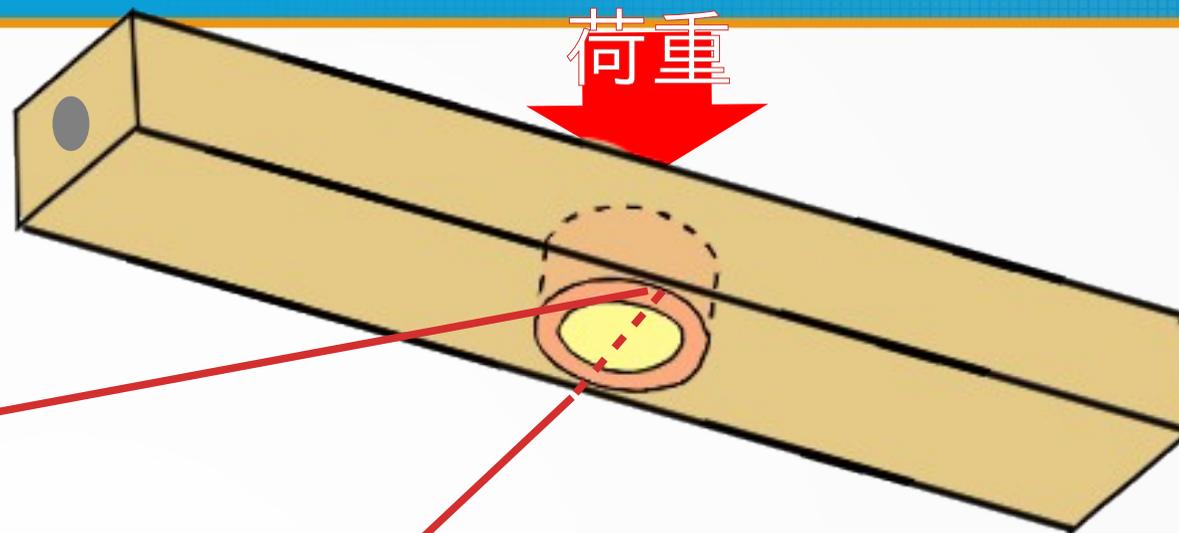
節とその周辺に
応力集中している

載荷線下部の軸方向応力分布

数値解析結果 曲げ



拡大

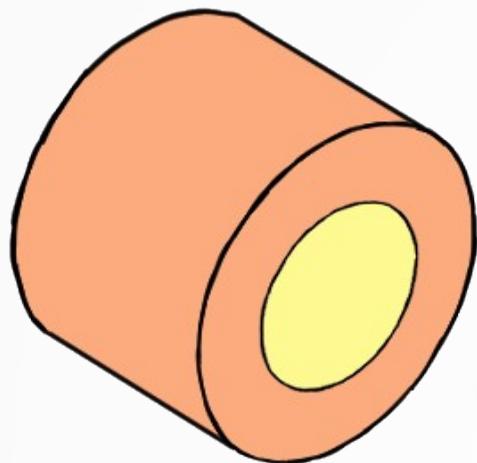


鋼材ありのほうが
応力が小さい

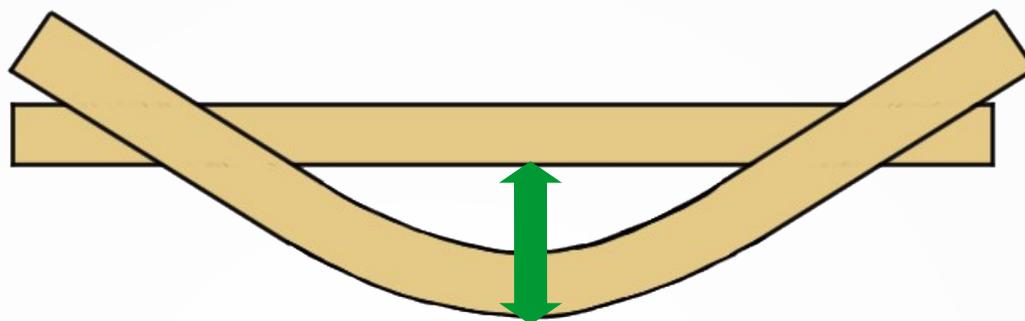
鋼材を配置する優位性

載荷線下部の軸方向応力分布

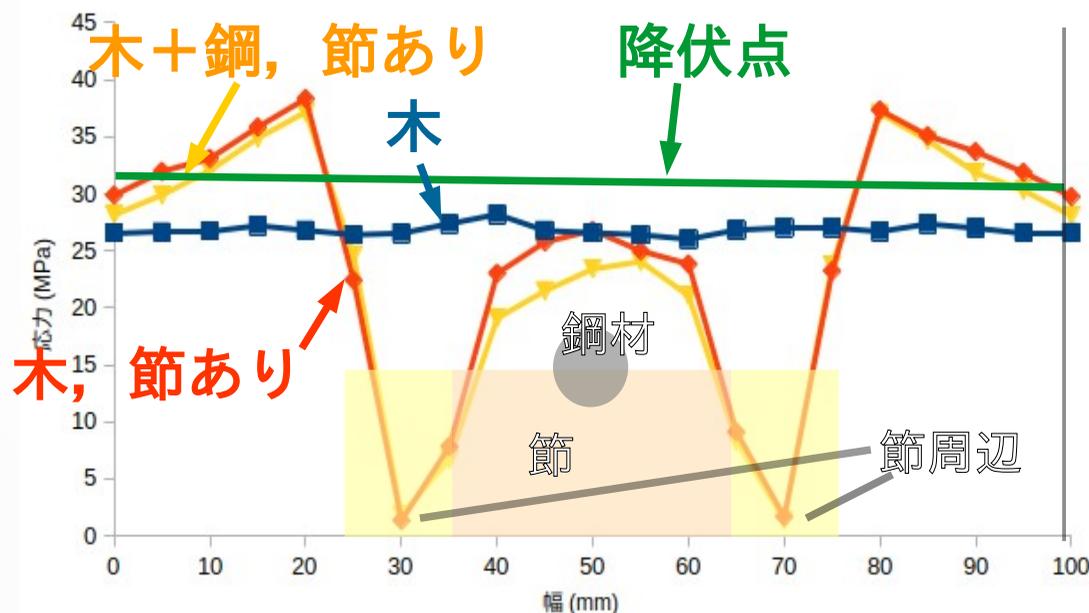
まとめと今後の課題



解析で節を再現できた



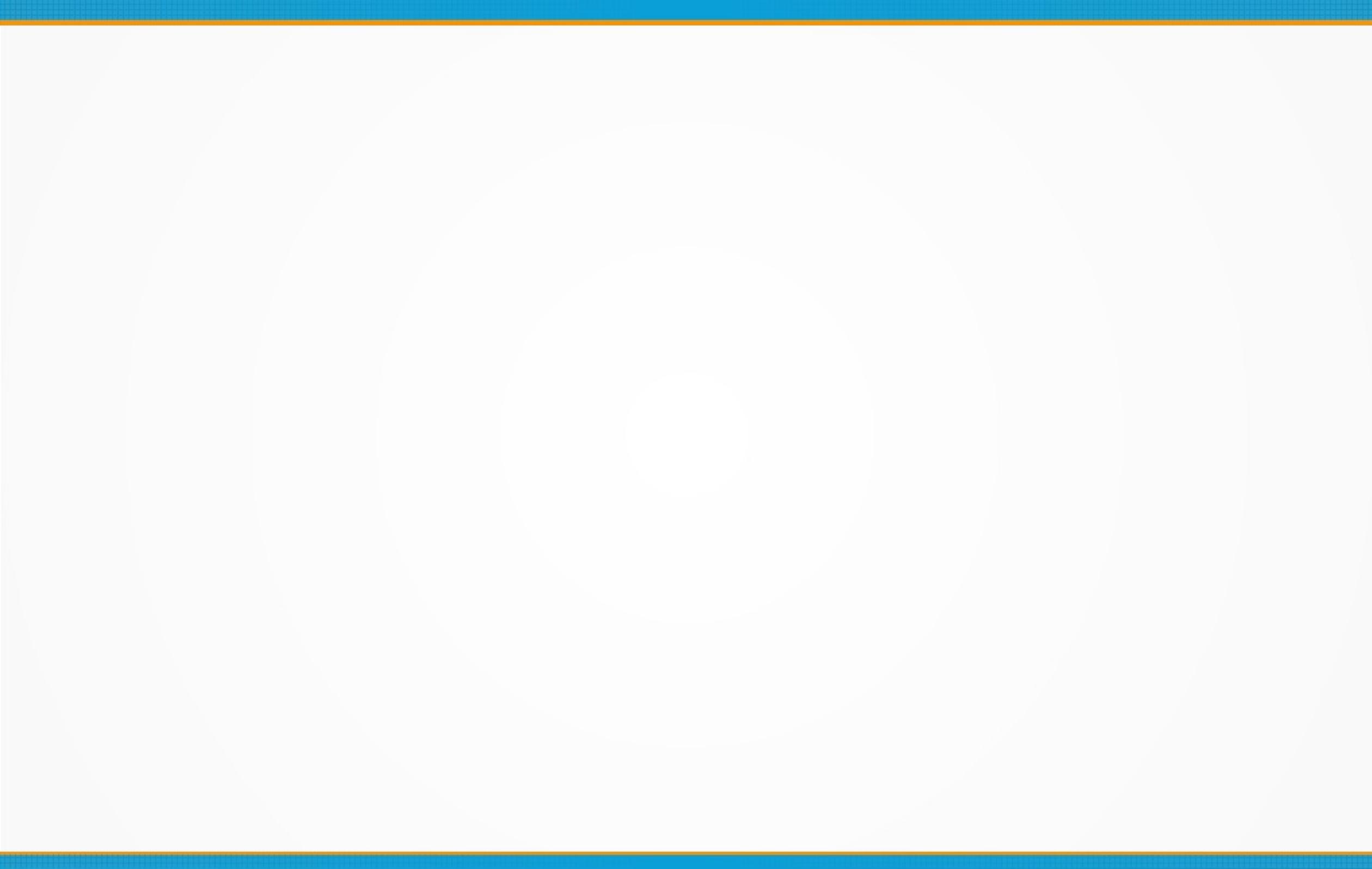
節の有無で変位に約7%の変化を確認



節の存在が応力に大きく影響することがわかった

今後の課題

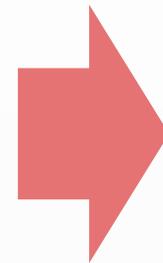
曲げ剛性を強くするために、鋼材の大きさや位置を変えるなどして、木・鋼ハイブリッド材の実用化をより現実的なものにしていきたい。



集成材



集成材
・ 木材の構造物で多く使われている
・ 木を等級分けして、
節をなるべく取り除いた木材を使っている



・ 節がある部分の木材が無駄になっている
・ 木材利用の観点からも、
木材を無駄にせず使いたい

曲げ実験



ハイブリッド材の曲げ実験も行ったが、
うまく出来なかった
木材のみを解析した値より変位が大きくなった...

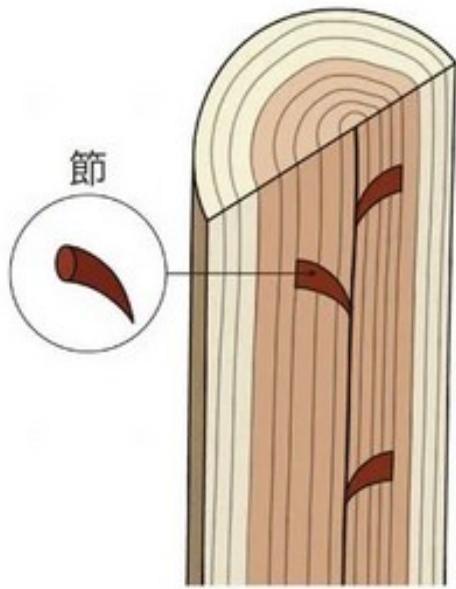
接着性能の問題？ 実験方法の問題？

改良する必要がある

節周辺から壊れるような挙動は見れた



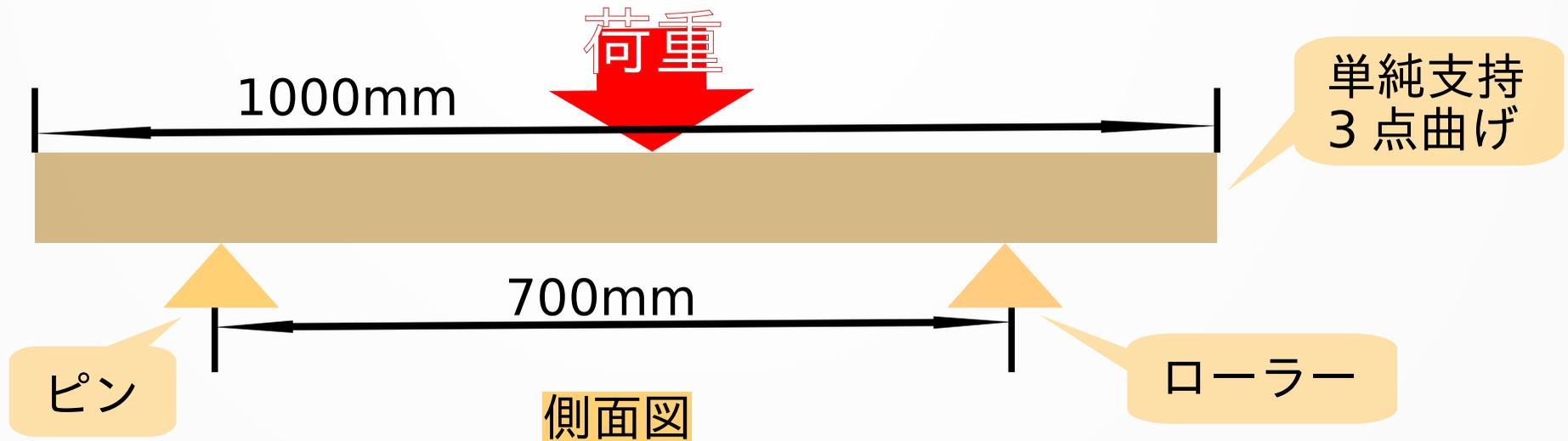
曲げ解析でも節を考慮する必要がある

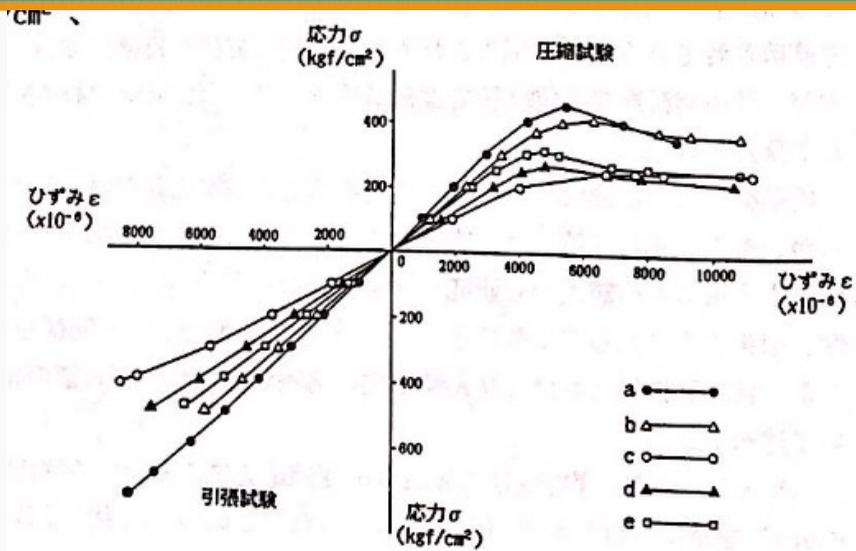


節は木材の中心から
生えてくる

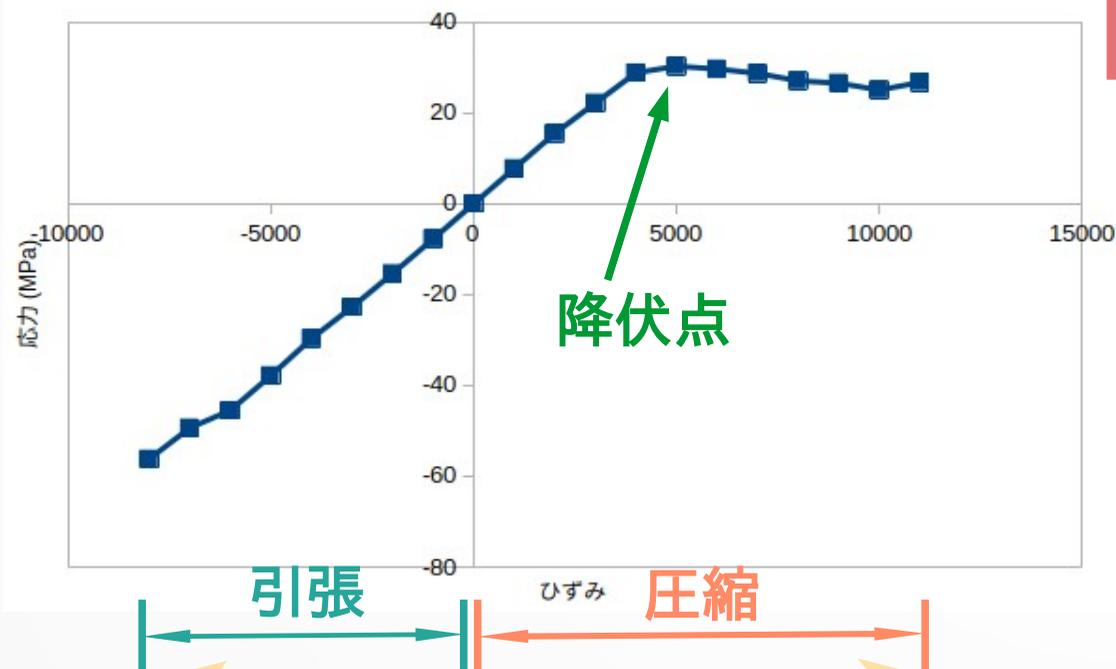


円柱形の節



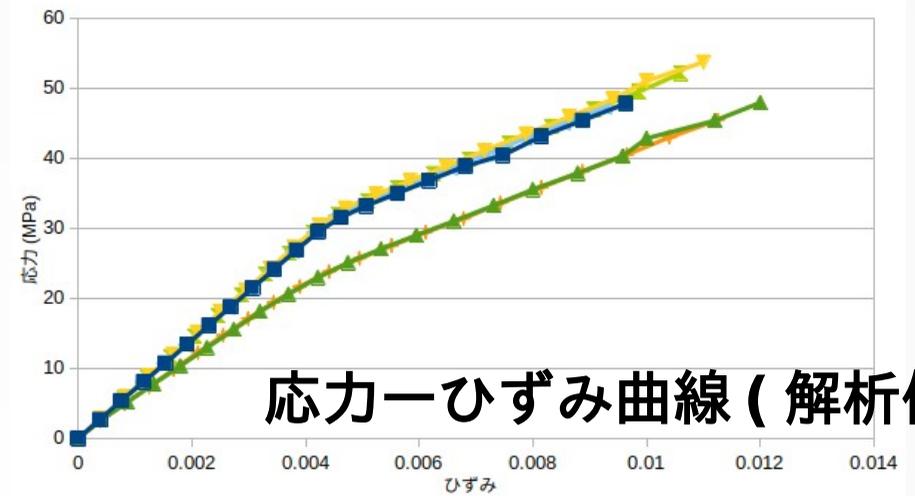


スギ材の応力-ひずみ曲線



千切れるように破壊

めり込むように破壊

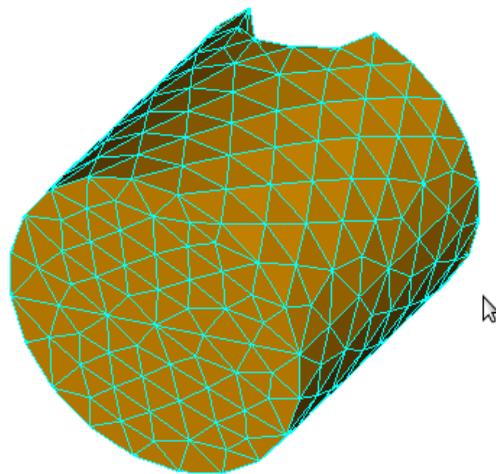
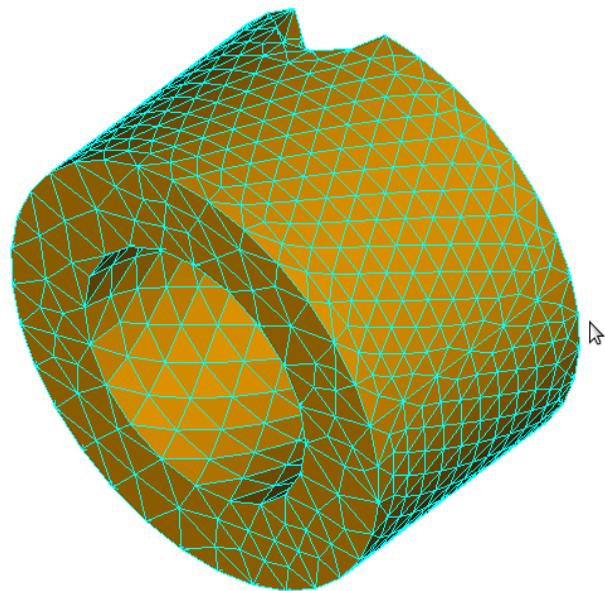
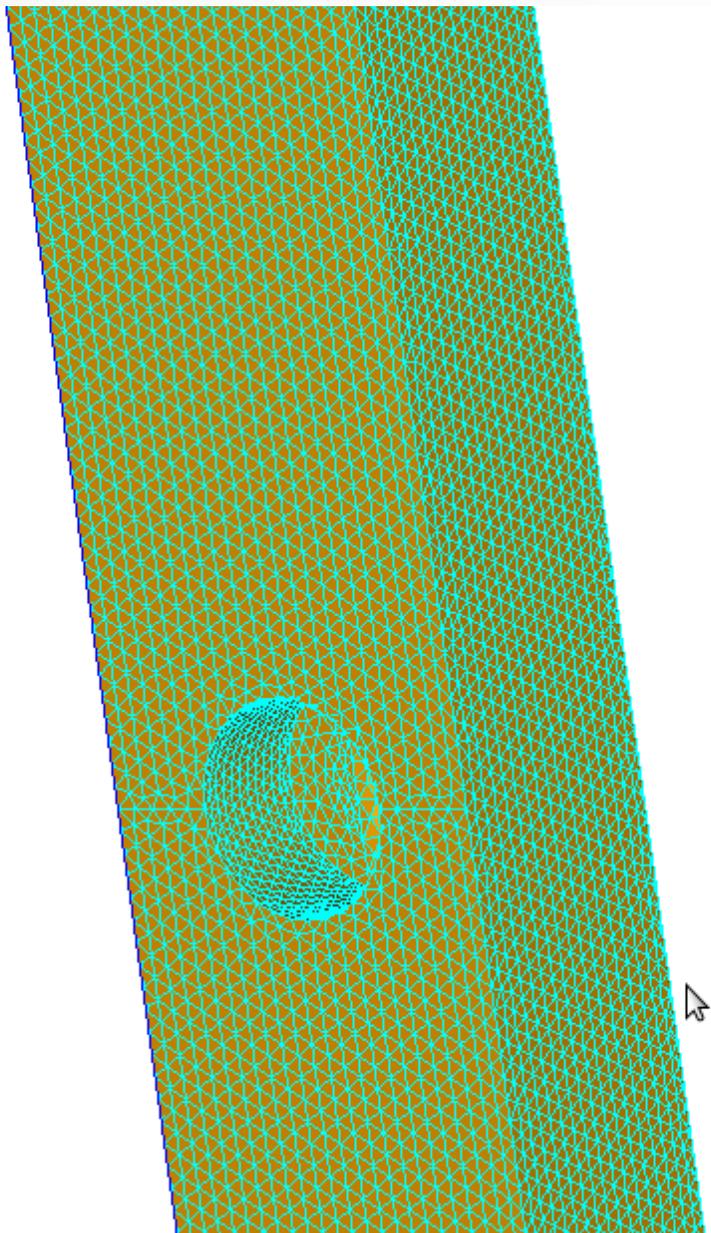


応力-ひずみ曲線 (解析値)

- ・ 解析では圧縮・引張応力の区別ができない (マイナスの値が入れない)
- ・ 解析で千切れるような破壊を再現できない

圧縮側の挙動を解析に入れた

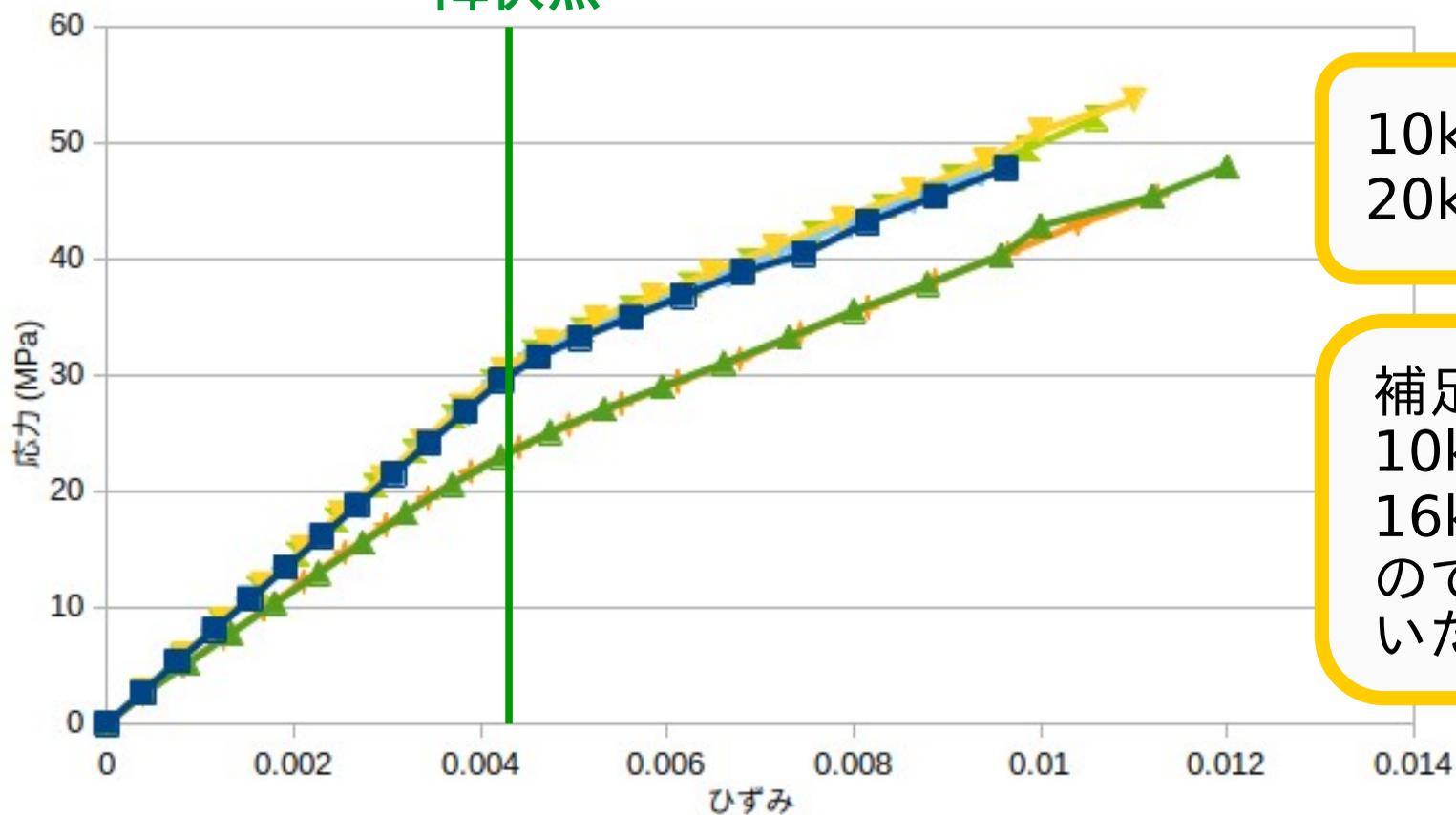
解析で引張側も圧縮破壊しているように見えるが、実際の木材の挙動では千切れるように破壊している



要素数は 25 万程度
私の使っていたパソコンで
解析できるギリギリの要素数を使っている

荷重

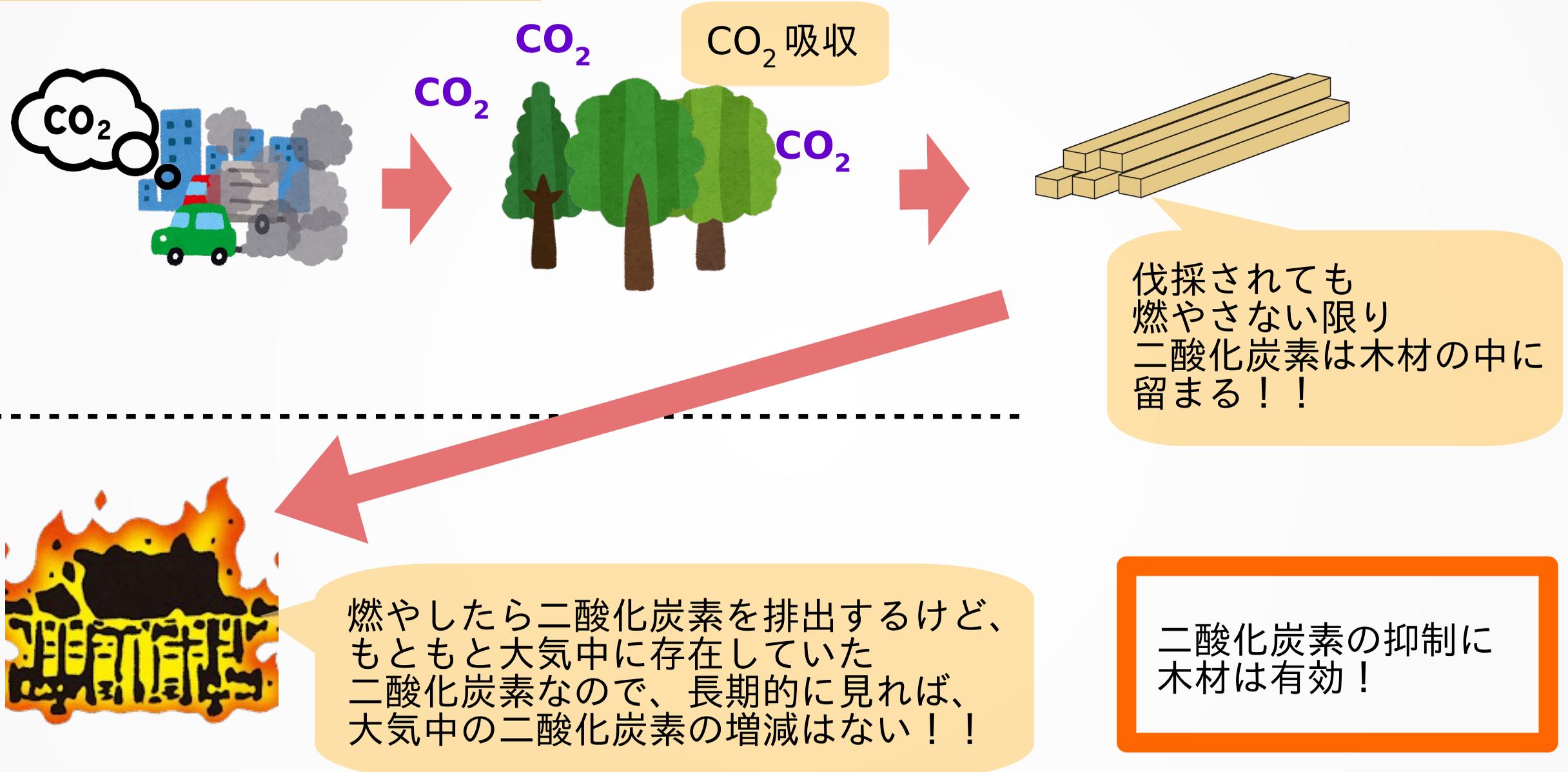
降伏点



10kN あたりで塑性域に達したので、20kN くらいまで荷重をかけてやめた

補足として、その後行った実験では10kN あたりで音が出始めて、16kN くらいで破壊していたので、おかしい値の荷重をかけていたわけではない

木材と二酸化炭素



めり込み応力

資料表 1.8 「製材の日本農林規格」 目視等級区分構造用製材および機械等級区分構造用製材,
「日本建築学会木質構造設計規準・同解説」 普通構造材の繊維に直角方向の特性値

樹種	基準材料強度 (N/mm ²)			基準許容応力度 (N/mm ²)				
	部分圧縮 (めり込み)		(ハ) 全面圧縮	部分圧縮 (めり込み)		(ハ) 全面圧縮		
	(イ) 材中間部	(ロ) 材端		(イ) 材中間部	(ロ) 材端			
針葉樹	I類	べいまつ, ダフリカからまつ	9.0	7.2	2.8	3.0	2.4	0.93
	II類	ひば, ひのき, べいひ	7.8	6.2	2.6	2.6	2.1	0.87
	III類	あかまつ, くろまつ, からまつ, つが, べいつが	7.8	6.2	2.4	2.6	2.1	0.80
	IV類	もみ, えぞまつ, とどまつ, べにまつ, すぎ, べいすぎ, スプルース	6.0	4.8	2.2	2.0	1.6	0.73
広葉樹	I類	かし	12.0	9.0	5.4	4.0	3.0	1.80
	II類	くり, なら, ふな, けやき, アピトン	10.8	8.1	4.2	3.6	2.7	1.40
	III類	ラワン	9.0	6.8	4.2	3.0	2.3	1.40

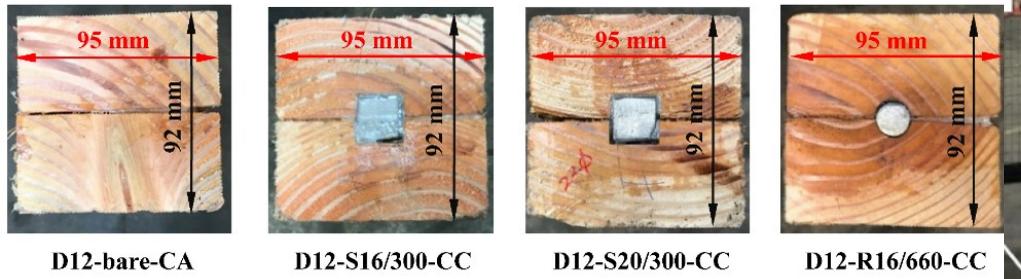
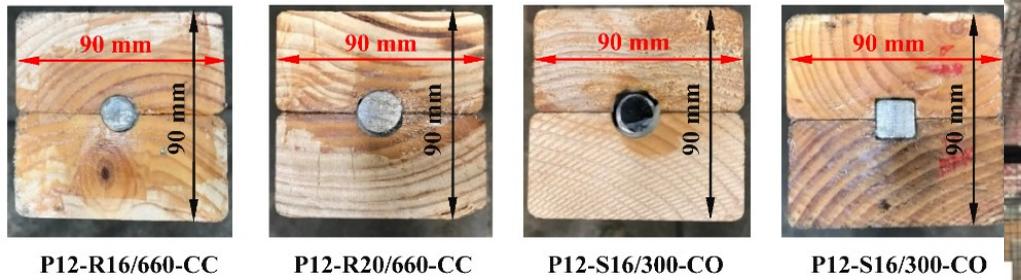
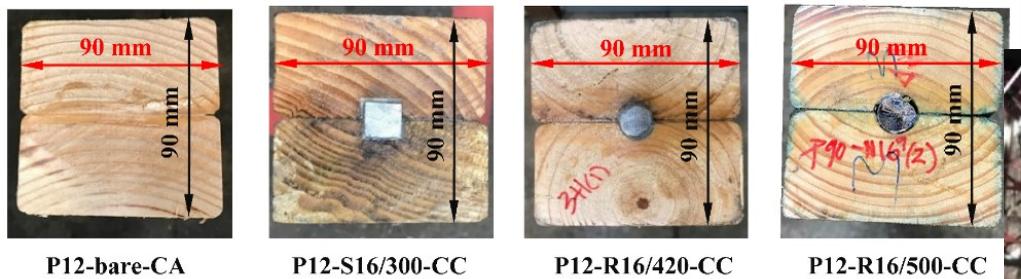
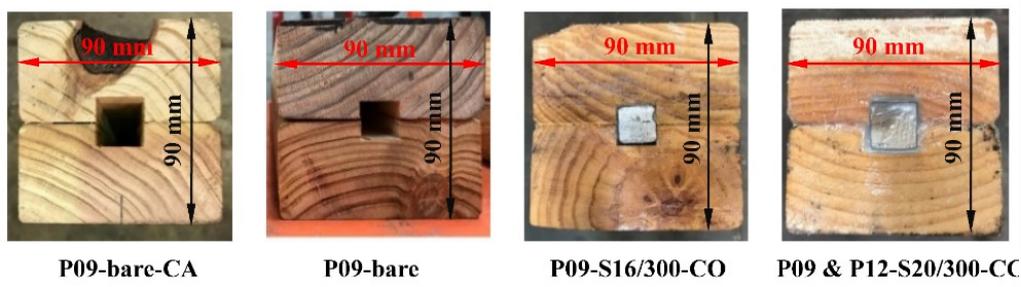
[注] 特性値の増減については、付図を参照のこと

許容めり込み応力…
めり込まないための
ギリギリの応力

スギの許容めり込み応力は
約 1.5 ~ 2MPa 程度となっ
ているので、節周辺の降伏
応力を $\sigma_Y = 1\text{MPa}$ とし
てめり込むように

めり込み応力程度にす
ることで圧縮や曲げを行
った際に、節周辺からめ
り込んで破壊していくよ
う解析で表現した

圧縮実験



鋼材の有無、鋼材の形状、接着剤の塗布範囲をパラメータとして考慮した実験
(無垢材を用いた)



一番強度に影響があったのは節

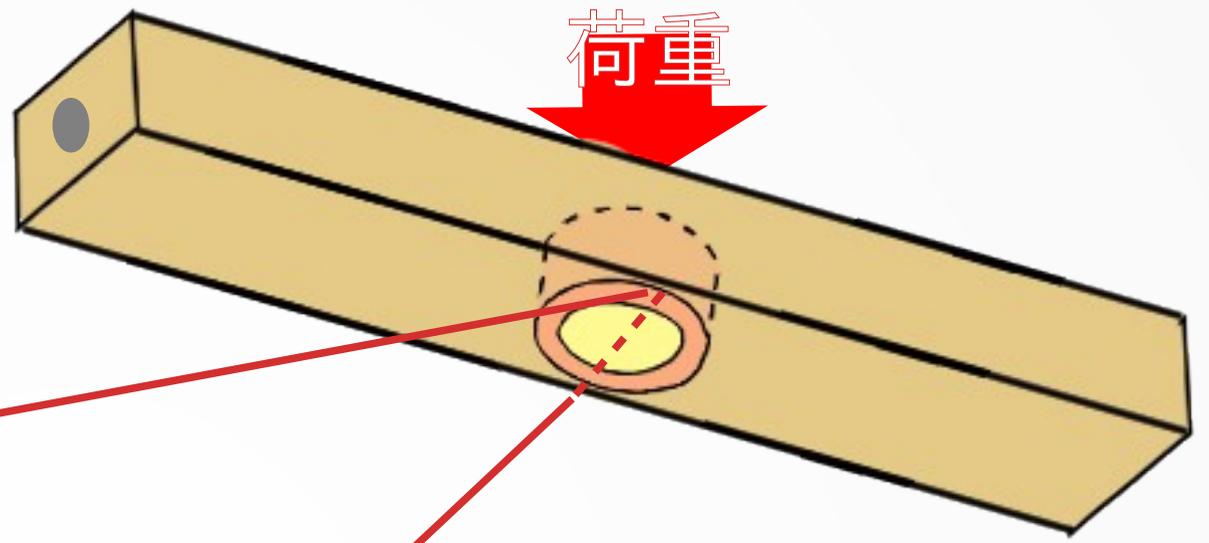


節の解析

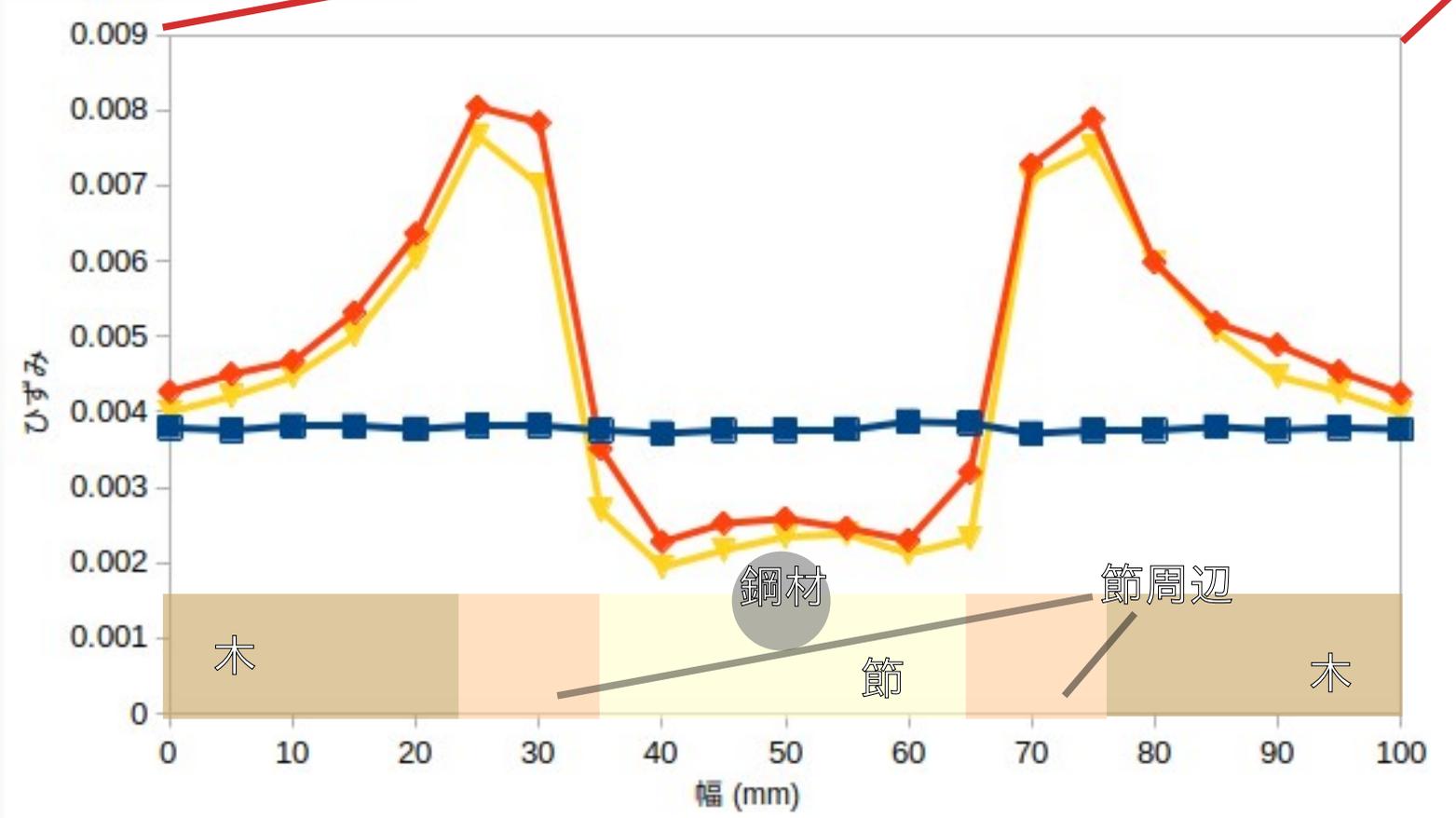
これまでには、節部分を欠損(穴)とみなして解析していたり、節部分の形や密度を変えて、全体の剛性や強度への影響を検証したりする研究が行われている

異方性を入れてない
→ 弾塑性解析では異方性を入れることができないため

載荷線下部の軸方向ひずみ



拡大

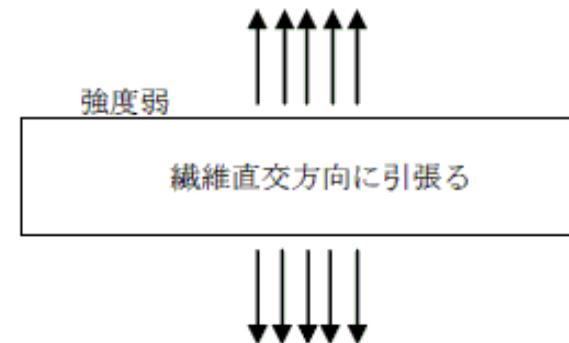
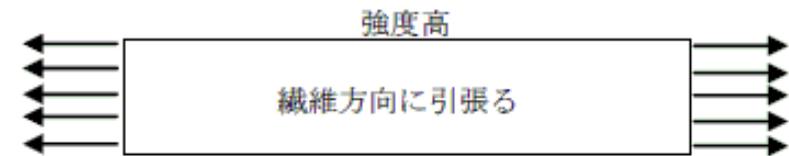


ヤング率の影響ででこぼこ
 ヤング率小さい (節周辺)
 → ひずみ大きい
 ヤング率大きい (節)
 → ひずみ小さい

節→木材の性質上硬くなっている
(木材は繊維からできている
節はその繊維が集まってギュツとなっている
ので硬い)

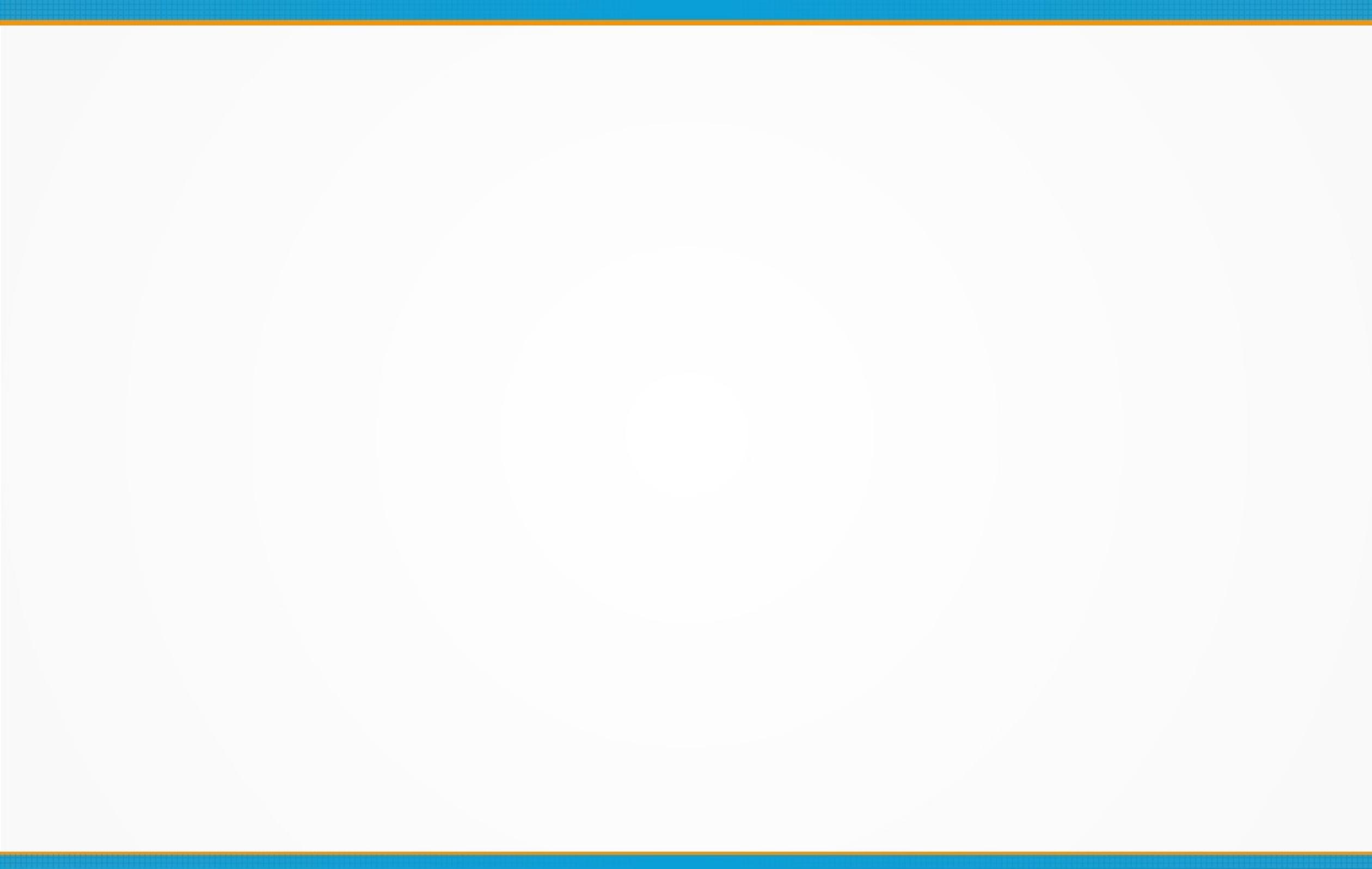
節周辺→木材の性質上柔らかい
(節の影響で繊維の異方性がバラバラになるので
繊維方向が定まらず柔らかい)

異方性…
方向毎に性質(強度や
ヤング率など)が異なる
材料



節及 び穴	集中節径比	20%以下であること。	30%以下であること。	40%以下であること。	50%以下であること。
	幅面の材縁部の 節径比	17%以下であること。	25%以下であること。	33%以下であること。	50%以下であること。

50% を超えてしまうと部材としては使われない、使うのが厳しい



圧縮解析→査読論文に通ったので自信をもって伝えることができる結果