

2022年度 修士論文発表会

# Virtual Element Method の 実構造物への適用に向けた基礎的検討

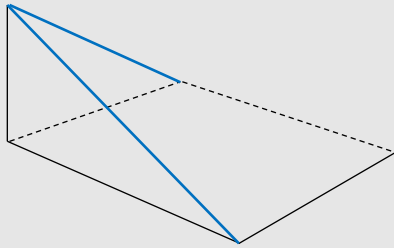
Fundamental study for application of  
Virtual Element Method to actual structures

構造強度学研究室

藤本竜太

## Virtual Element Method (VEM) とは？

要素内部で変位の内挿関数を定める必要がない計算力学手法



↳ 多角形要素が使えるたり  
高次化が容易だったり・・・

**FEMを一般化した手法として世界が注目！**

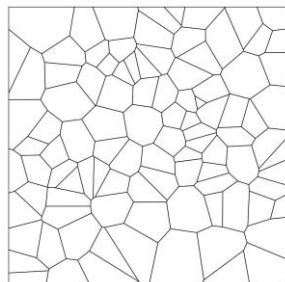
### VEMの歴史

2013	VEMの誕生
2014	線形問題
2016	接触問題
2017	幾何学的非線形問題 非線形材料問題 トポロジー最適化問題
2018	破壊力学問題
2020	座屈解析

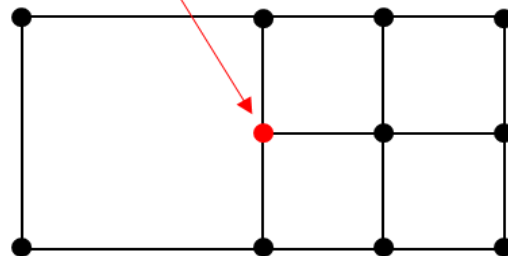
しかし 現在、構造解析で広く使われているのはFEM

VEMを普及させるために、FEMよりも便利に使えることを示す

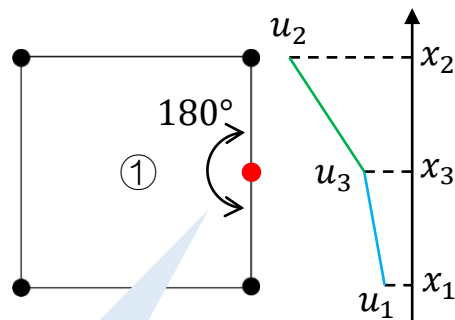
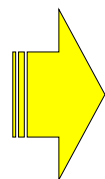
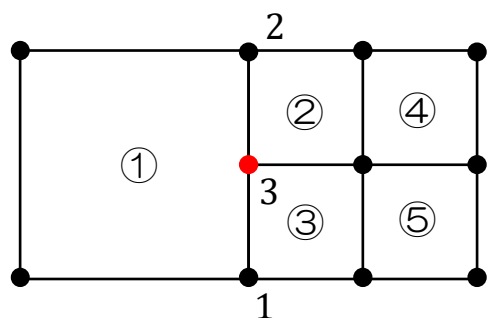
⇒ VEMの最大の特徴である多角形要素の活用に着目



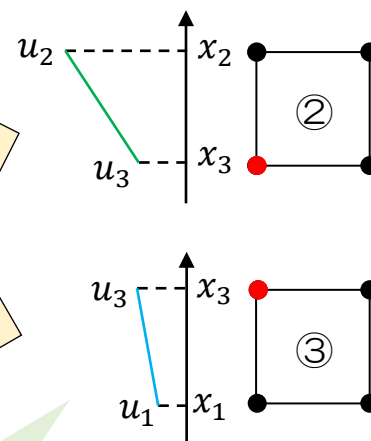
hanging node



## VEMでのhanging nodeの扱い



節点3を180°の角として五角形と認識される

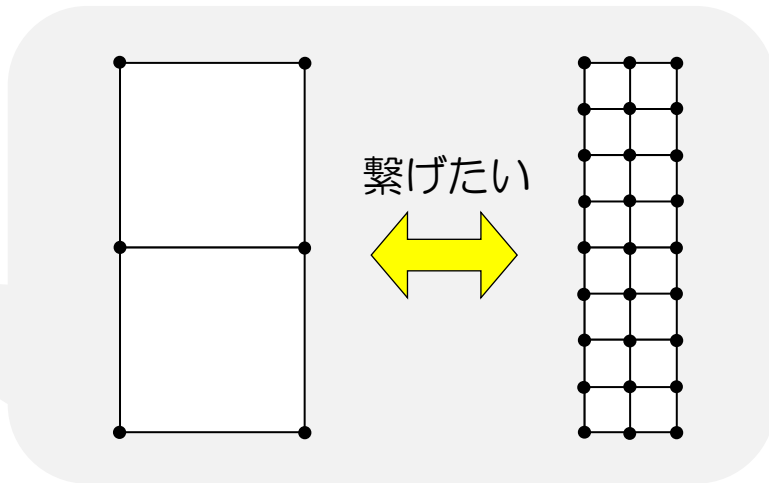
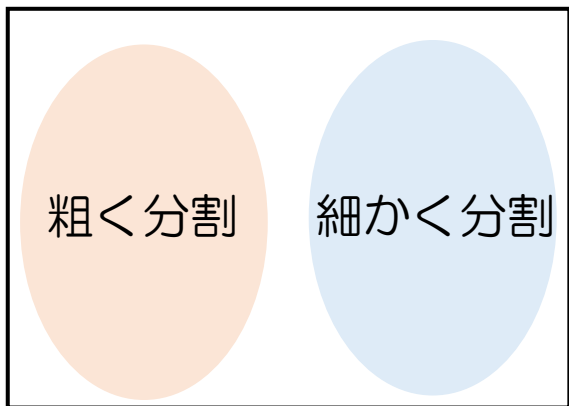


隣接要素との変位の連続性は保たれる

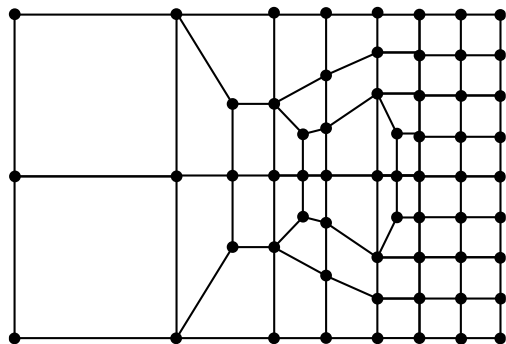
VEMでは hanging node を扱うことができる！

↳ どういう使い方ができるか？

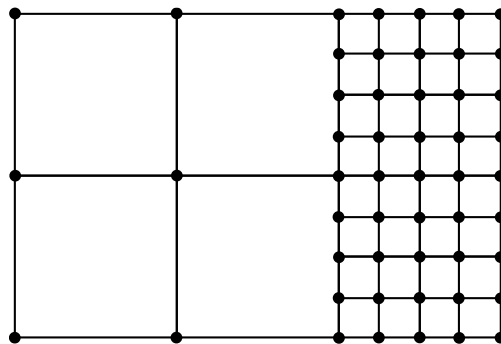
解析領域



FEM



VEM



解析精度は？

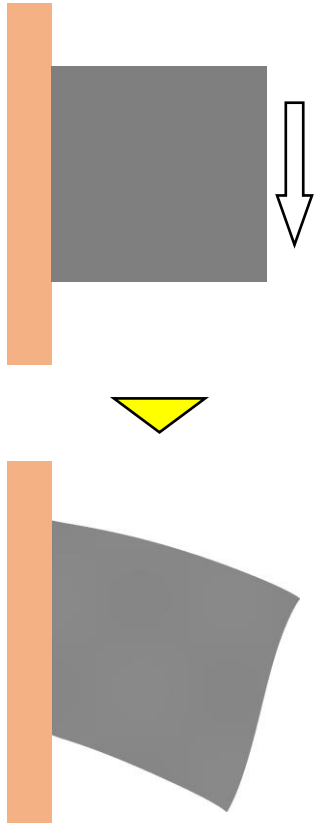
どれくらいの大さの要素まで繋げれるの？

大きさの違う要素を直接つなげることができる！

⇒ hanging nodeをもつ要素の解析精度について調べる

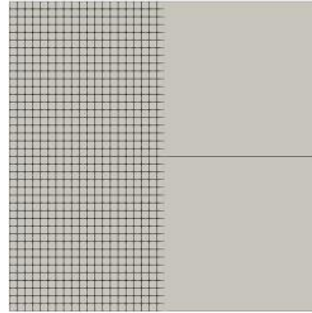
# 検証①：hanging nodeでの変形について 4/12

対象

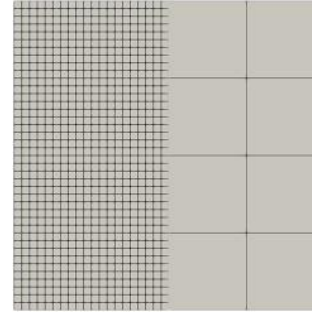


解析モデル

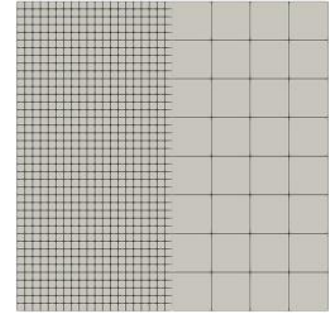
要素数：802



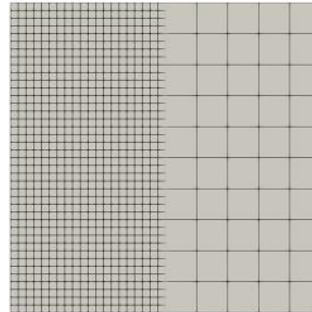
要素数：808



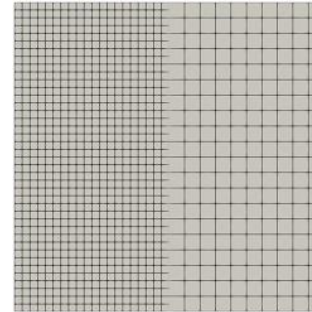
要素数：832



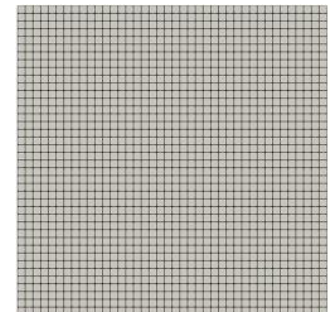
要素数：850



要素数：1000

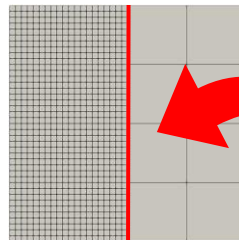


要素数：1600



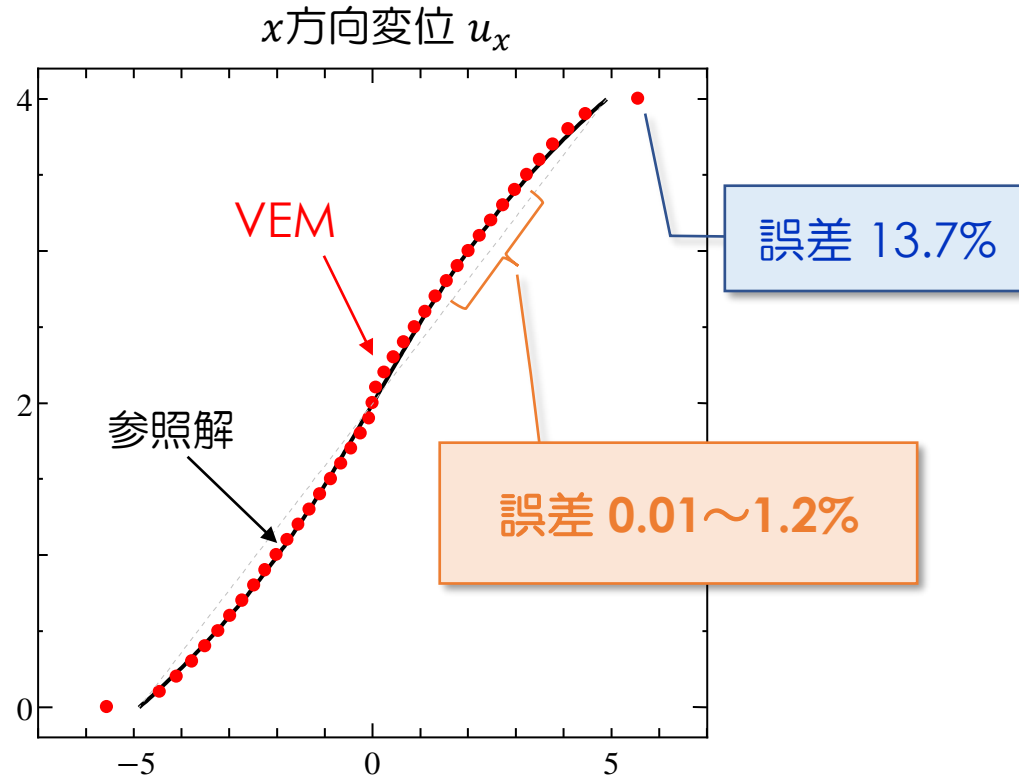
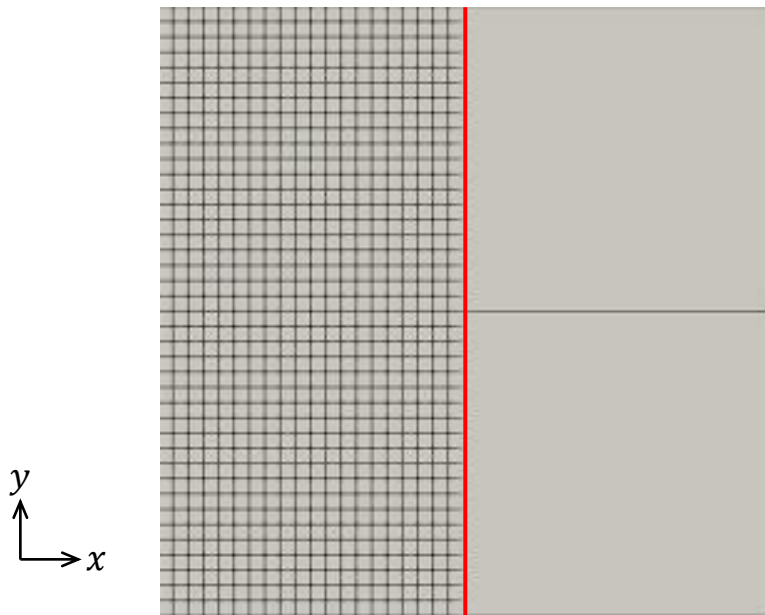
参照解

要素数40,000  
NX Nastran



hanging node で  
せん断変形が表せるのか？

要素のサイズ比が20のモデル



大きさが極端に違う要素をつなげてても  
**hanging node**ではせん断変形を精度よく再現できる！

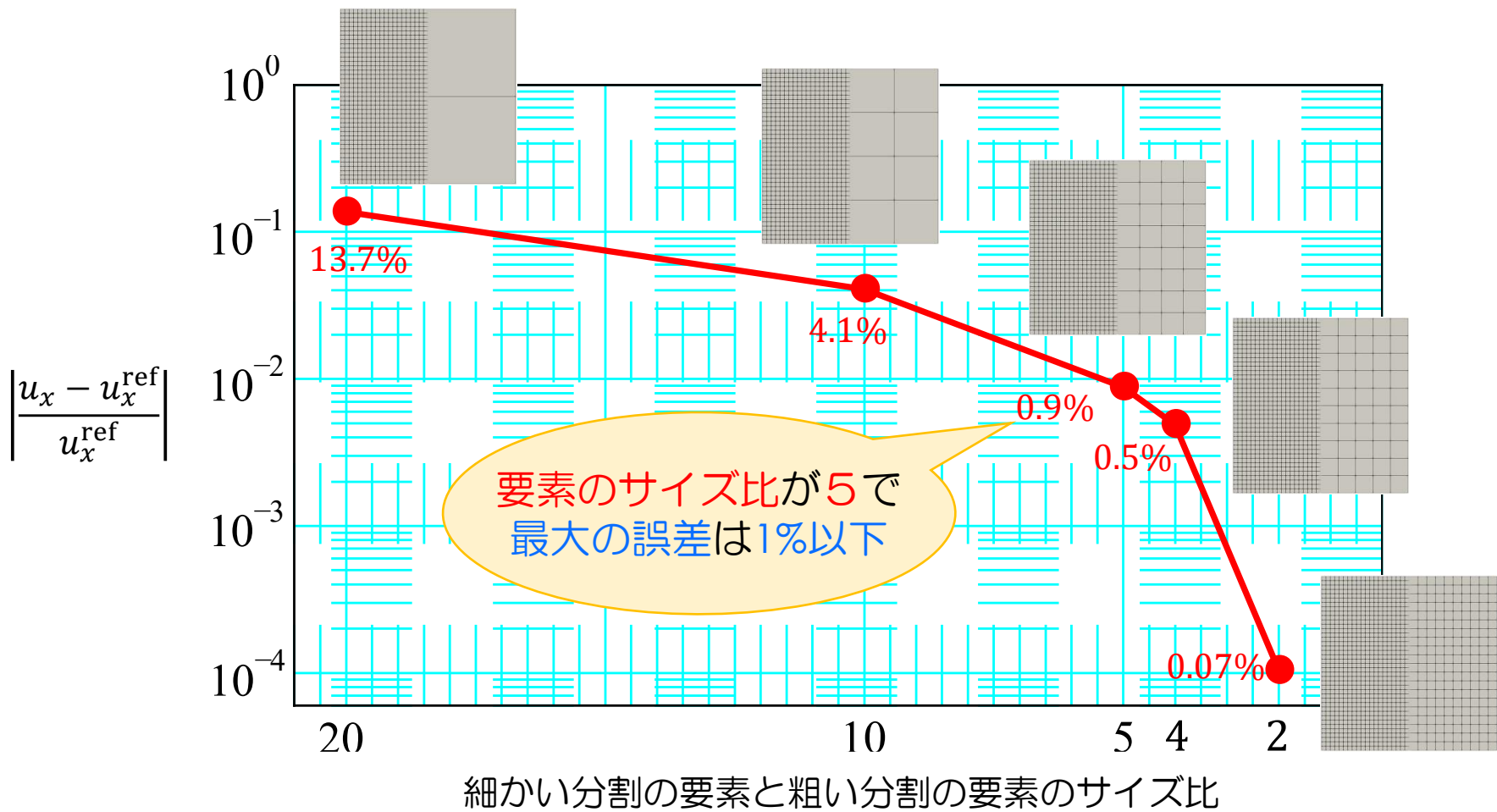


次ページ



誤差の大きい角部での、誤差の収束をしてみる

# 検証①：適切な要素のサイズ比は？



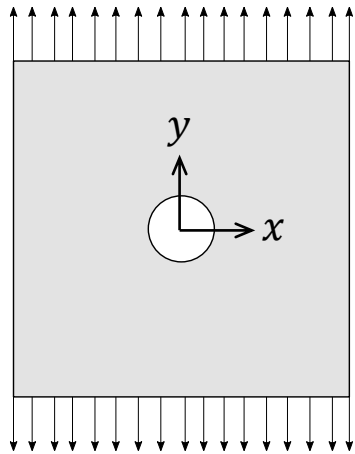
大きさの異なる要素を直接つなげる場合

適切な要素のサイズ比は **5** 程度まで

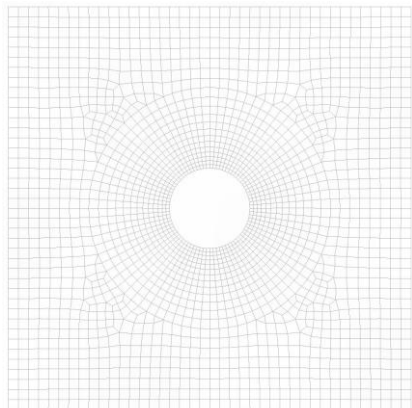


# 検証②：応力の精度について

対象



参照解



NX Nastranによる解

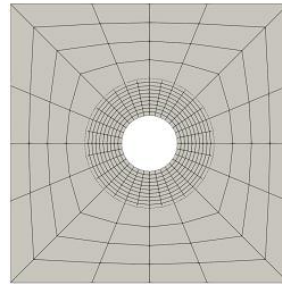
小 ——— 細かい分割領域の範囲 ——— 大

少

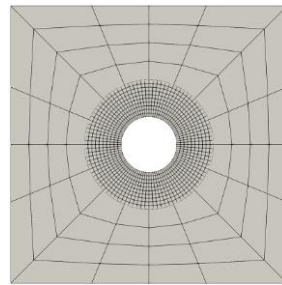
周方向の分割数

多

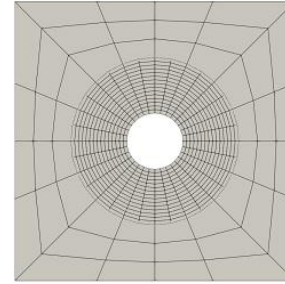
A



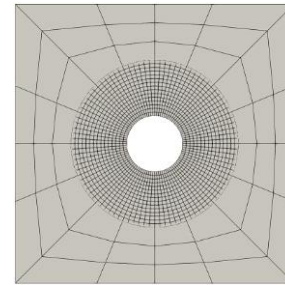
⋮



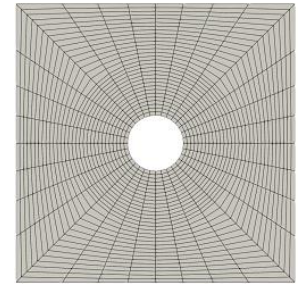
B



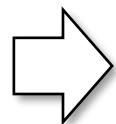
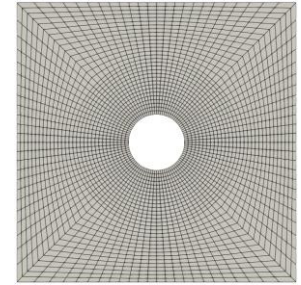
⋮



C

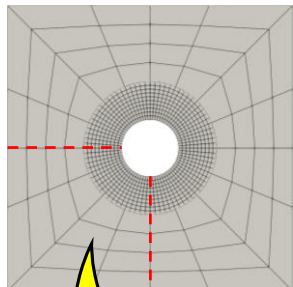


⋮



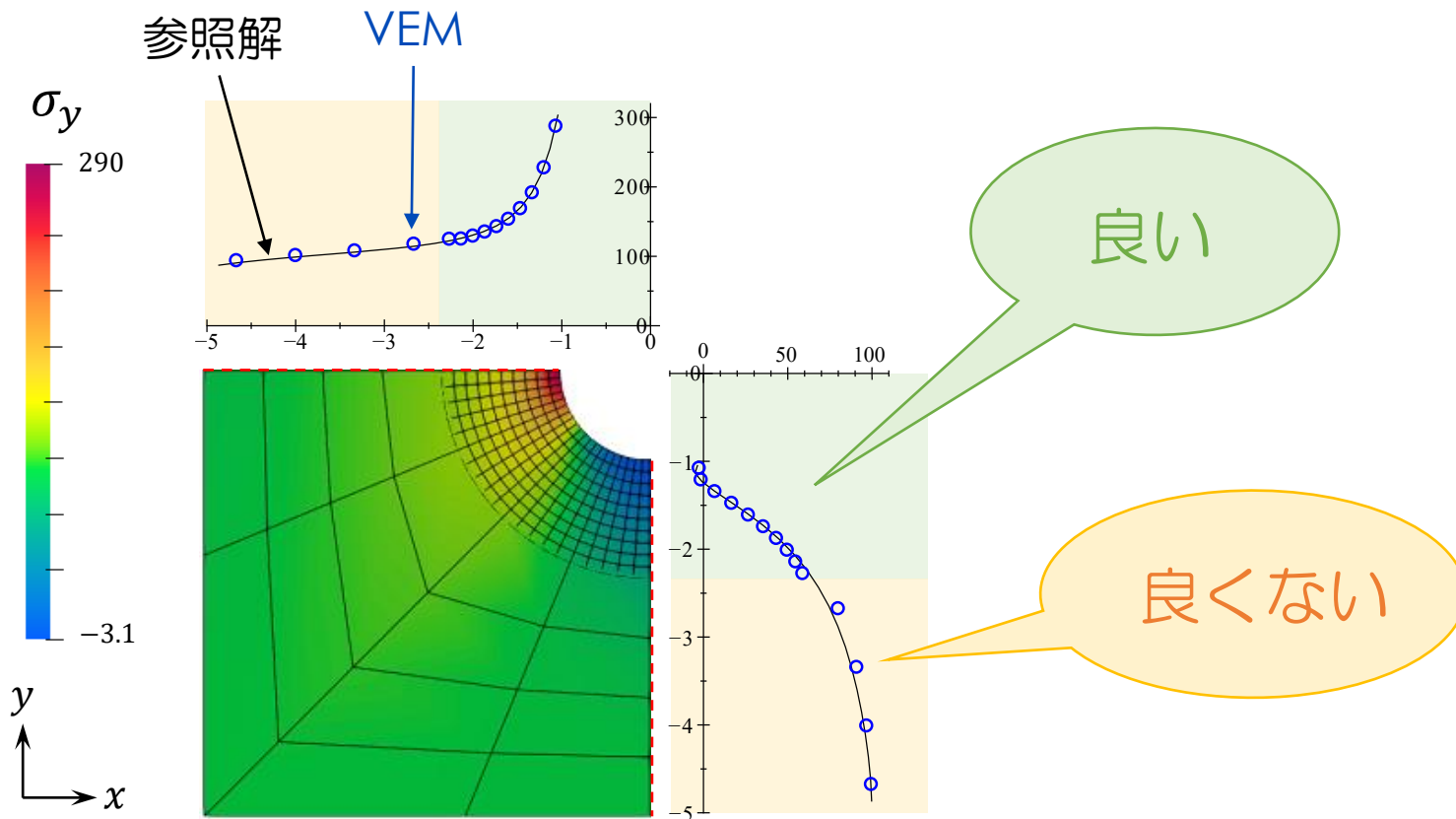
大ききの違う要素を繋げたモデルで得られる応力の精度に問題はないのか？





周方向に80分割したモデルA（要素数：864）

⇔ 参照解の要素数：2,212

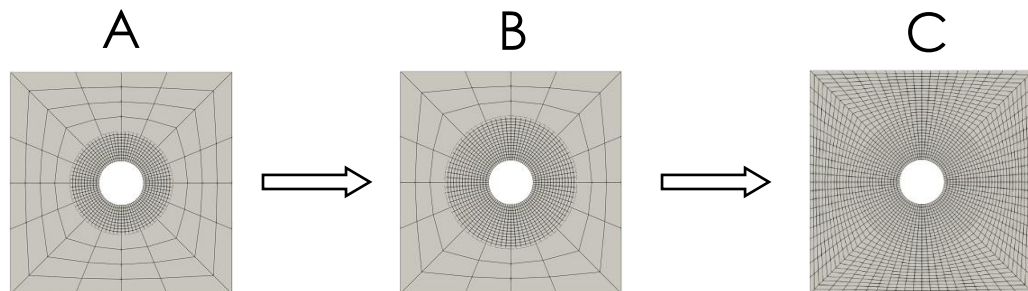


細かい分割領域では参照解と重なる応力値が得られた！

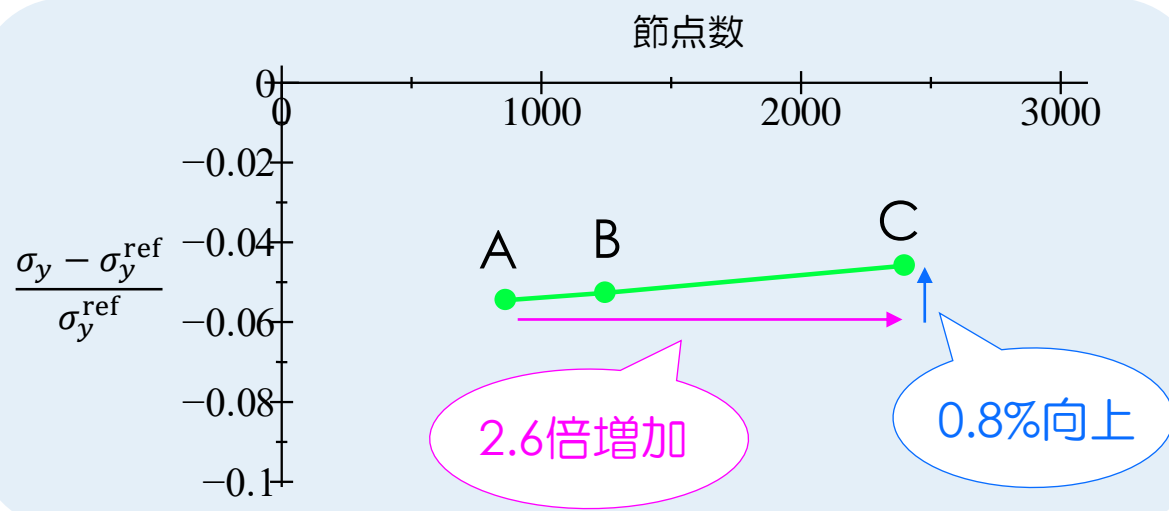
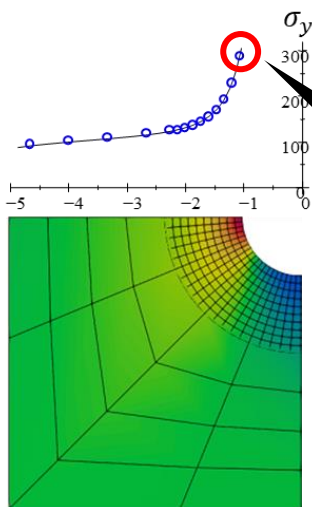


# 検証②：細かく分割する領域を広げると？ 9/12

細かく分割する領域を広げたときの解析精度は？



周方向の分割数は同じモデルの  $\sigma_y$  の最大値の精度を比較

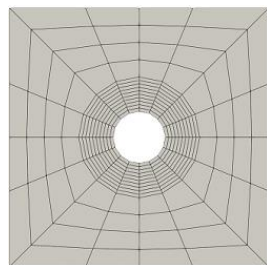


調べたい箇所だけ細かく分割しても精度の良い応力が得られた！

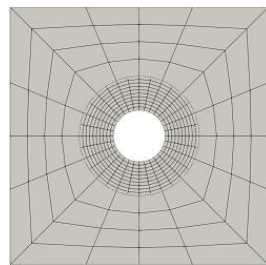
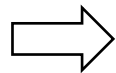


# 検証②：どのくらいのサイズ比が適切？

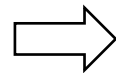
細かい分割領域を，範囲は一定で周方向の分割数を増やしたときの解析精度は？



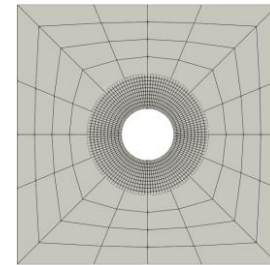
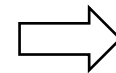
16分割



32分割

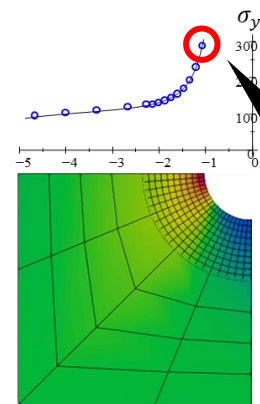


...

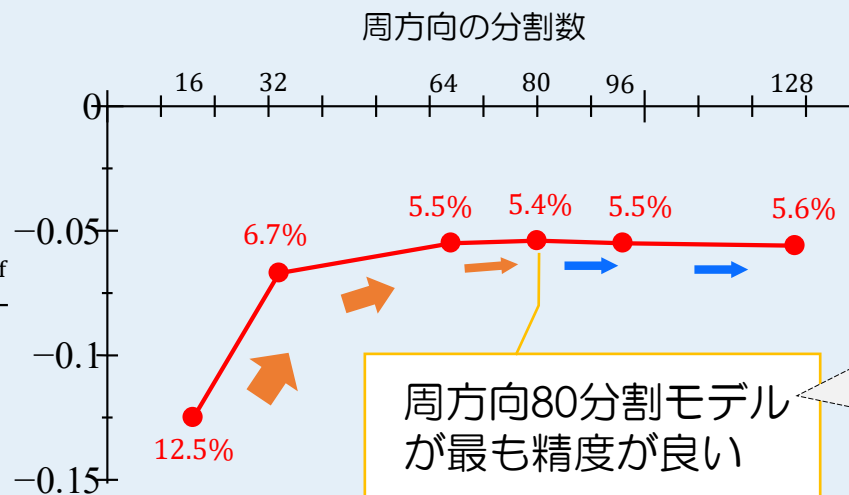


128分割

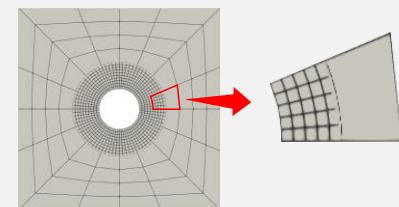
64, 80, 96分割



$$\frac{\sigma_y - \sigma_y^{\text{ref}}}{\sigma_y^{\text{ref}}}$$



周方向80分割モデルが最も精度が良い



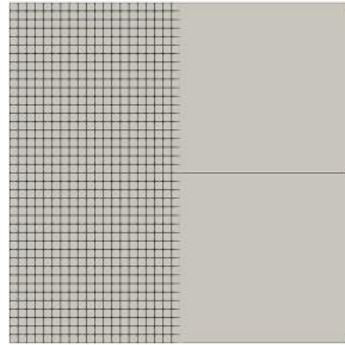
要素のサイズ比が5

大きさの異なる要素を直接つなげる場合

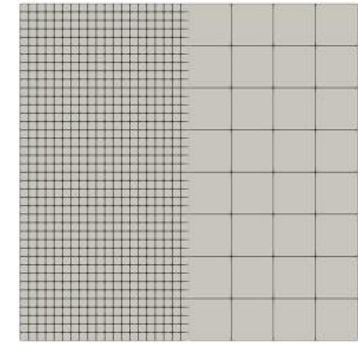
繋げる要素のサイズ比は **5** 程度までが適切



## 検証①

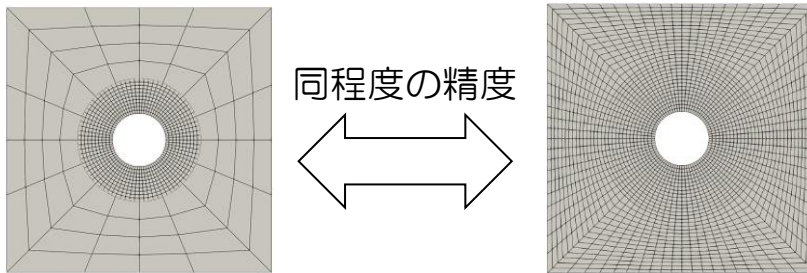


要素のサイズ比が20のモデルでも **hanging node** では **良い精度** で変形を再現できる

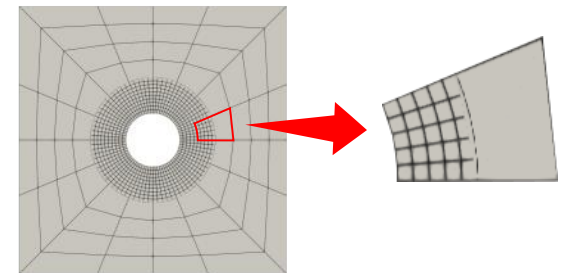


要素のサイズ比が **5** 程度までが **実用上も問題ない精度** で解析できる

## 検証②

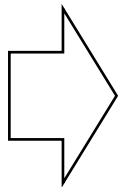


**局所的に細かく分割したモデル** で十分に **良い精度** の応力が得られる

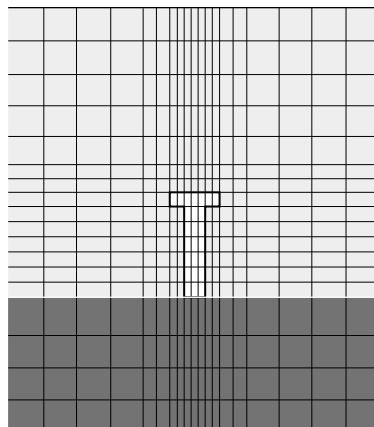


繋げる要素のサイズ比は **5** 程度までが適切

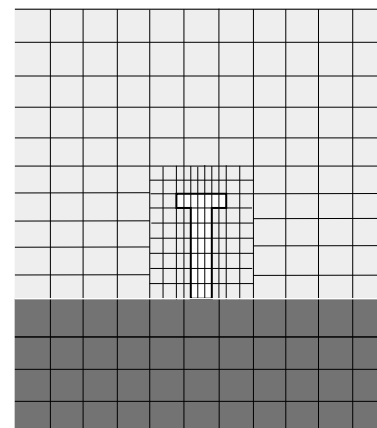
## 内部介在物をもつ構造



FEM



VEM



## 応力集中の生じる構造

