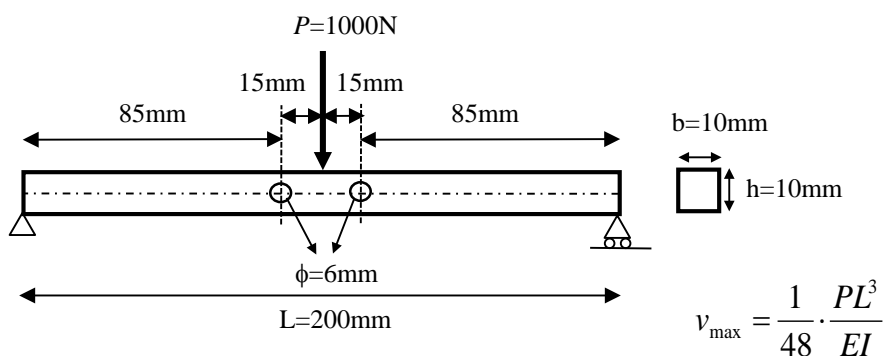


## 有限要素法 試験 5 の練習問題 有限要素法の実践的知識

問題)

下図にあるように梁に直径 6mm の円孔が開けられた構造に関して有限要素法解析を行う。材料は SB450 でヤング率 200GPa、ポアソン比 0.3、降伏応力 250MPa、引張強さ 450MPa とする。



$$I(\text{断面二次モーメント}) = bh^3 / 12$$

問 1) 図 1 に変形図とメッシュ図を示す (1/2 モデル)。応力を評価するための最も適切なメッシュを(A)~(C)の中から選べ

問 2) 本問題の解析物理モデルとして最も正しいものを選べ

- ① 平面ひずみモデル ② 平面応力モデル ③ 軸対称モデル

問 3) 最大変位量を材料力学より単位系も含め見積もれ (円孔は無視してよい)。図の右の中央に集中荷重を受ける単純支持梁の式を使っても良い。

※有限要素法の解は、材料力学の解とほぼ一致する (数%程度の違い)。

問 4) 解析結果の応力  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\sigma_1$  (第一主応力),  $\sigma_2$  (第二主応力),  $\sigma_{\text{Mises}}$  のコンター図を図 2 に示す。応力が大きい○で示した部分の値も示してある。

円孔部が降伏しないように設計する場合、安全率を 3 とし、荷重  $P$  の上限値を求めよ。

問 5) 荷重の負荷と除荷が繰り返される時の、円孔部の高サイクル疲労の疲労限度設計を行え。疲労き裂はどこから発生するかと、荷重の上限値を求めよ。安全率は 3 とせよ。図 3 に両振りの SN 線図を示すので、平均応力の修正を行うこと。

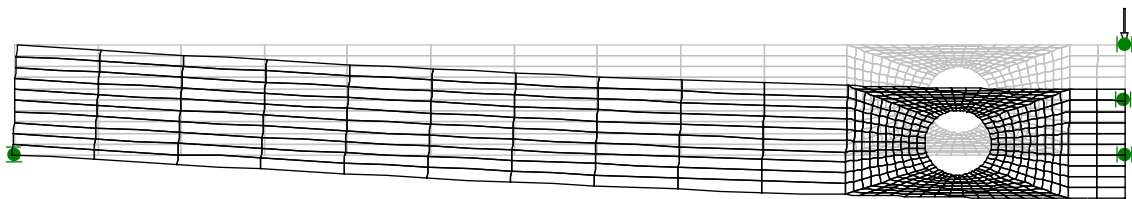
問 6) 円孔の位置を上下・左右の位置に変更が出来る場合、どの位置に円孔を移動すると良いか、理由を含めて答えよ。ただし、降伏と疲労との両方を防ぐことを考える。

問 7) 本梁構造の最大たわみ量を 1.0mm とする、たわみ限界設計を行う。すなわち、たわみは 1.0mm を超えないものとして、静的破壊に対して安全裕度を高くする。下記の材料のうち最も適当なものを検討せよ。ただし、材料表面に存在する初期き裂長を  $a_c = 30.0 \times 10^{-6} [\text{m}]$  と仮定し、負荷応力  $\sigma$  と応力拡大係数  $K_{\text{IC}}$  を関連づける以下の式の係数  $C$  は 1 と近似する。

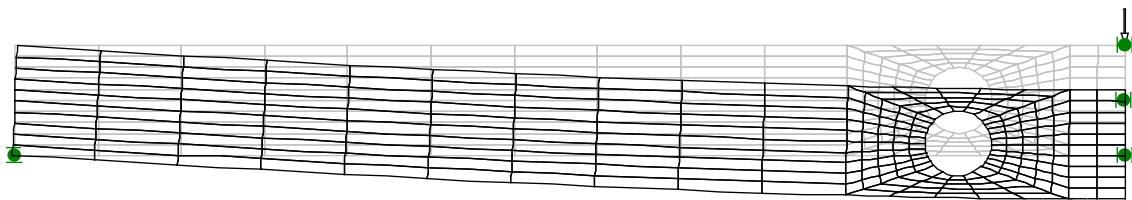
$$\sigma = \frac{CK_{IC}}{\sqrt{\pi a_c}} \quad ※ \sqrt{\pi a_c} = 0.01 [\sqrt{m}] \text{ としてよい}$$

※ヒント) 定量的な計算は必ずしも必要ない。定性的な比較でも OK

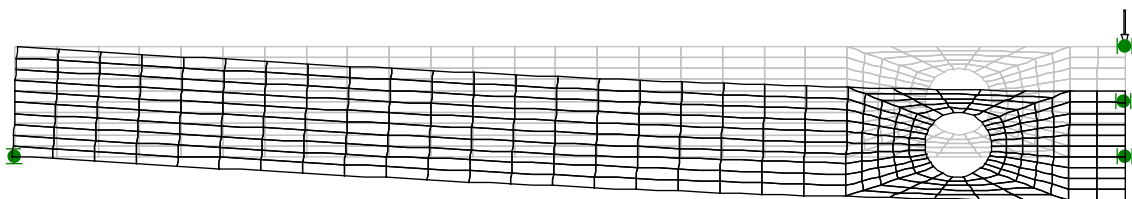
	ヤング率 E [GPa]	ポアソン比 $\nu$	強度 $\sigma_f$ [MPa]	破壊靱性 (臨界応力拡大係数) $K_{IC}$ [MPa · m <sup>1/2</sup> ]	相対コスト $C_R \rho$
鋼 (SB450)	200	0.3	250	100	20
CFRP	50	0.3	500	50	200
SiN (セラミックス)	300	0.3	5000*(圧縮)	4	200
エポキシ樹脂 (ポリマー)	2	0.49	80	1	10



(A)



(B)



(C)

図1 変形図とメッシュ図

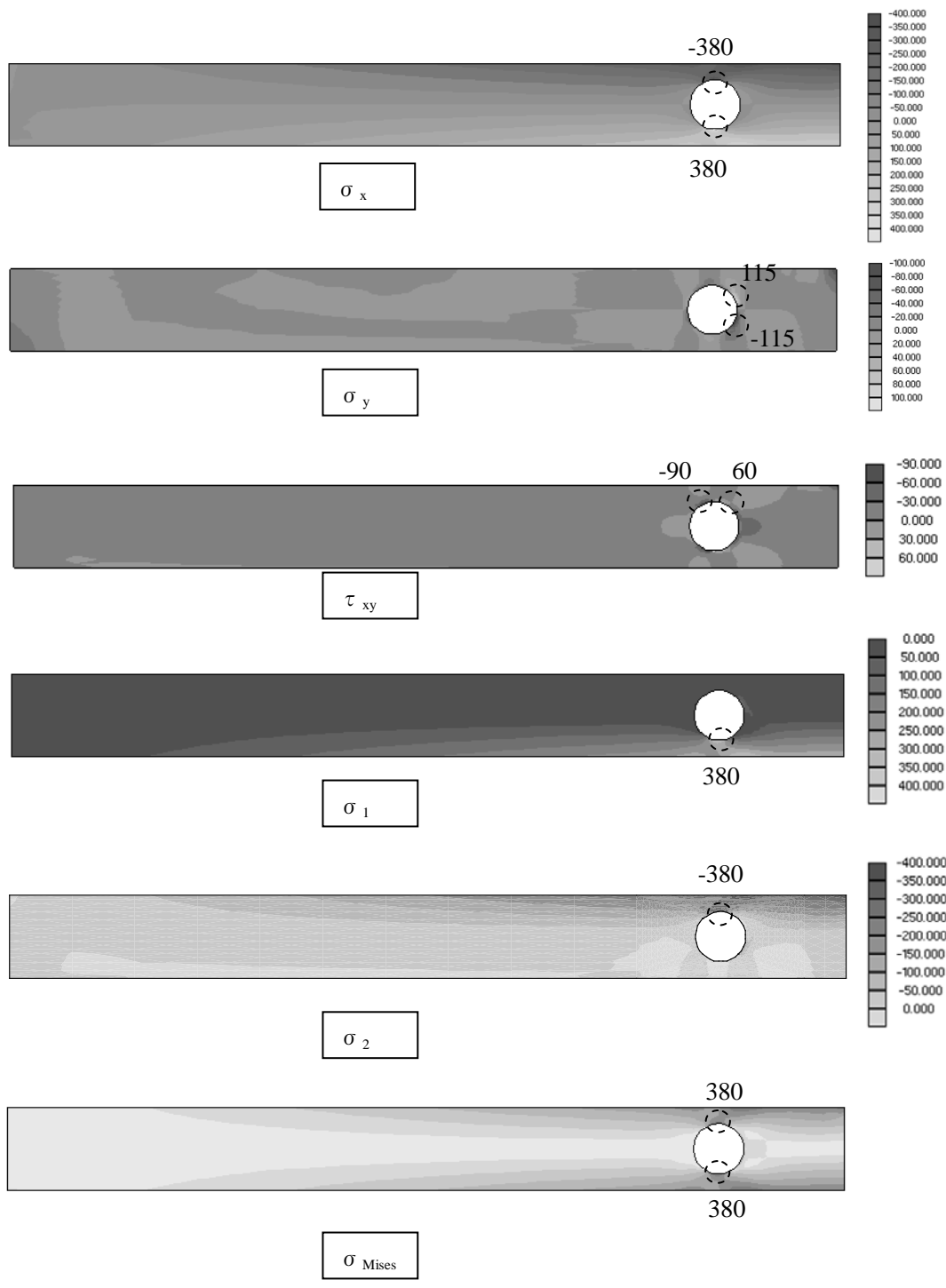


図2 応力コンター図 ※値は○の部分の最大値、単位は MPa

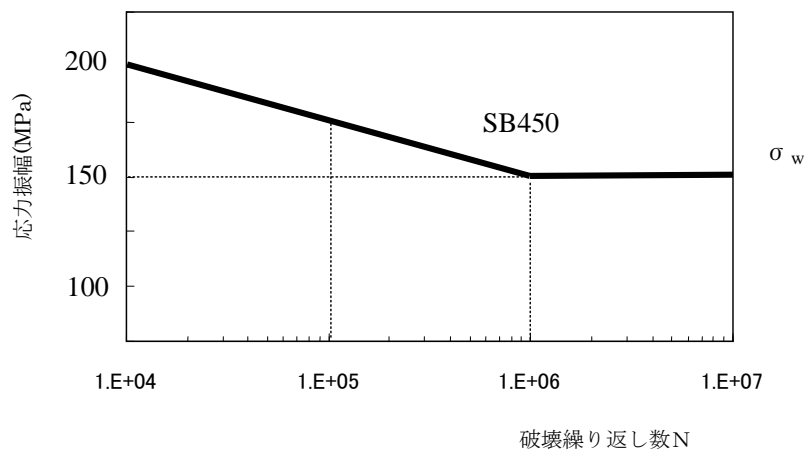


図 3 使用材料 (SB450) の両振り疲労試験の SN 線図

略解)

問 1) A

問 2) ②平面応力モデル

問 3)  $v=1 \text{ mm}$

問 4)  $P=1000*250/3/380=219 \text{ N}$

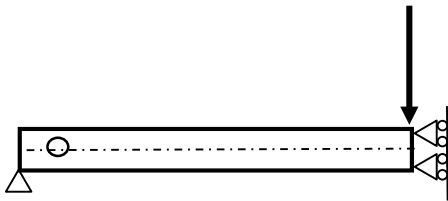
問 5) 高サイクル疲労のき裂は引張りの主応力が一番大きなところから進展するので、円孔下部から下に進む。

片振りの振幅はグッドマン線図 (実践有限要素法 p162 参照) の考え方により、最大応力は  $2\sigma_a=2*150*450/600=225 \text{ MPa}$  となる。臨界荷重は  $P=1000*75/380=197 \text{ N}$

問 6)

曲げ応力は梁中央で最大になるので、可能な限り端より離して、左側に移動させる。ただし、支持点からは適度に離れたほうが良い。

また、上下方向に関しては、最も応力が小さいのは中立面近くなので、現在の位置から動かさない方が良い。



問 7)

たわみ  $v=\text{const}$  なので  $v \sim P/E$  より、 $P \sim E$  となりヤング率に比例して応力が大きくなる。

・ 応力値は  $380 \text{ MPa} * \text{ヤング率} / \text{鋼のヤング率}$

・ 破壊靱性に対する臨界応力は  $\sigma = \frac{K_{IC}}{\sqrt{\pi a_c}} = \frac{K_{IC}}{0.01}$

これより、計算すると、鋼は降伏し、SiN は脆性破壊することがわかる。CFRP とエポキシは強度的には耐えうるが、CFRP は値段が高いため、樹脂が妥当。

#### ※指標による考え方

・ 破壊靱性に関しては、 $\sigma \sim E$  なので、指標  $M_1=K_{IC}/E$  で評価できる。SiN がポイントが低く、CFRP が高い

・ 降伏応力に関しては、 $\sigma \sim E$  なので、指標  $M_2=\sigma_f/E$  で評価できる。鋼がポイントが低い。

よって、CFRP と樹脂が候補として残る。