

問題 3-1 温度スイッチの設計 (KUSCO 最適設計コンペ 1998 年)

図 1 のような温度スイッチの設計を行う。線膨張係数の違う 2 種類の材料を組み合わせ、モデルを作成する。z 軸方向上側に線膨張係数の小さい材料 1、下側に線膨張係数の大きい材料 2 を配置すれば、全体の温度が上昇するとモデルは z 軸正方向に変形をおこす。与えられた変形をおこし、かつ応力と固有振動数の制約を満足するコストが安い温度スイッチを設計する。

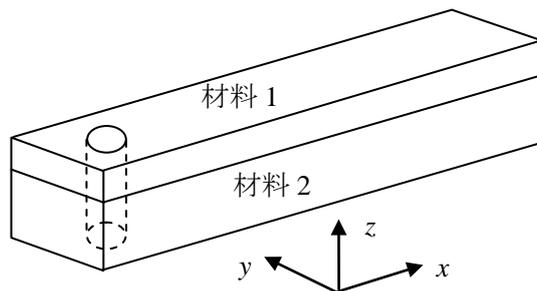


図 1 温度スイッチ

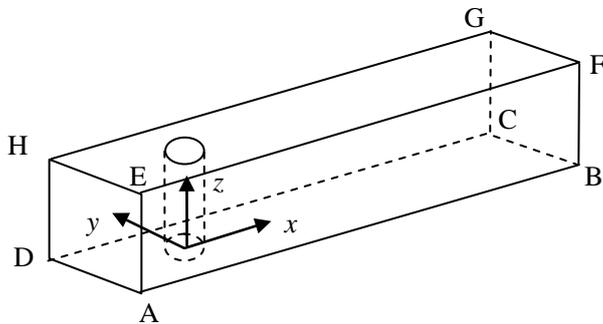


図 2 温度スイッチの寸法と拘束条件

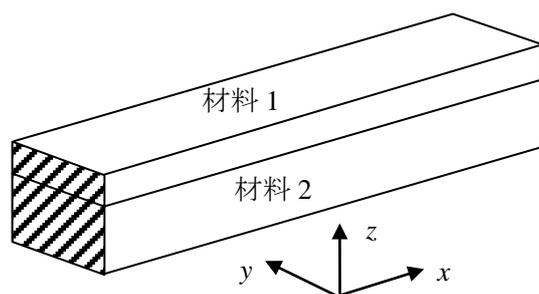
図 2 のように、 $(0, 0, 0)$ を中心とする xy 平面内の円 R (半径: 0.5) があり、設計されたモデルに円 R を $+z$ 方向に全貫通カットさせており、モデルは円柱面上で完全固定されているものとする。モデルは点 $A(-1, -2, 0)$ 、点 $B(20, -2, 0)$ 、点 $C(20, 2, 0)$ 、点 $D(-1, 2, 0)$ 、点 $E(-1, -2, 2)$ 、点 $F(20, -2, 2)$ 、点 $G(20, 2, 2)$ 、点 $H(-1, 2, 2)$ で構成される直方体の内にならざるおさまっていないといけない。また、中空の構造にはできない。貫通孔をあけることは認められる。材料物性値及びコストは以下のとおりである。

	質量密度	コスト/単位質量	ヤング率	ポアソン比	熱膨張係数
材料 1	$2 \times 10^{-8} \text{ Nsec}^2/\text{mm}^4$	1×10^7	100GPa	0.3	4×10^{-6}
材料 2	$8 \times 10^{-9} \text{ Nsec}^2/\text{mm}^4$	3×10^7	80GPa	0.3	3×10^{-5}

温度条件は参照温度・初期温度が 0°C 、モデル温度は 200°C とする。

設計の制約条件は、 z 方向の最大変位 1mm 以上、フォンミーゼス相当応力 1200MPa 以下、第一次固有振動数 500Hz 以上とする。

- (1) 図3のように、両材料が直方体であり、左端の斜線の部分が剛な壁に固定された片持ち梁とした場合、最適な材料1と材料2の厚さを材料力学の梁の理論より見積もれ。



- (2) 静的応力解析、モード解析を行うことにより、最適な形状を考察せよ。

解説)

温度スイッチの最適設計 解説

使えそうな理論式は見つからなかった。

この問題では3個の制約条件があるが、何がもっとも問題になるかを考える。

応力集中があるようなモデルにはならないと思われるし、常識的な設計をすれば固有振動数が異常に低くなることは一般にはないので、最大変位を大きくすることが肝のように考えられる。

問題は $x-z$ 平面内の Z 方向変位であるから、 y 方向の寸法の影響はないので後で考えることにして、 $x-z$ 平面内の形状に注目する。熱応力によって片持ち梁に分布荷重が作用するような変形をされると思われるので、変位を大きくするためには x 方向寸法は大きくしたほうがよさそうである。

最初のモデルとしては、許容範囲一杯で、材料1、材料2の z 方向寸法を各1mmにして熱応力解析をおこなう。結果の最大変位は0.8mm前後になり制約条件を満たさない。変位を大きくするには剛性を下げればよいので、材料1と材料2は同一形状を保って、 z 方向寸法を下げていけば変位は大きくなって、変位の制約は満たすようになるだろう。ただし、応力も大きくなる。

次に、材料1と材料2の $x-z$ 面内の寸法をいろいろ変化させて、変位と応力の制約条件を満たしてコスト最小の形状をさがしていく。根元と先端の寸法が同じでなくてもよいし、長さも同一でなくてもよい。単位質量当りの単価が違うので、体積最小や質量最小がかならずしもコスト最小ではないことに注意。これで、 $x-z$ 面内の形状は大略きまるだろう。ただし、変位と応力の制約を満たすだけであれば、 y 方向がきわめて薄いモデルが最適になるが、それを禁止するために、固有振動数に関する制約がある。 Y 方向の寸法は多分固有振動数で決まるだろう。

ヒント：

変形は片持ち梁形であるので、先端の変形には根本部の y 軸周りの回転が効く。

単純な形状なので、要素を粗くしがちであるが、変位を精度よく計算するために、要素はあまり粗くしないように。

問題 3-2 反力を受ける部品の設計 (KUSCO 最適設計コンペ 2002 年)

図 1 のように、ジャッキの反力を本体に伝達する部品を考える。ジャッキの反力は受圧面 P に作用している。受圧面 P は斜線でハッチされているように、yz 平面内の円形表面で、その中心は(0, 0, 50mm)、半径は 40mm である。受圧面 P には x 方向に 50000N の荷重が作用している。

部品は本体上の長方形表面 ABCD の内部の適当な領域で固着されています。図のような部品を設計した場合は灰色領域が固着領域であり、領域内は x, y, z すべての方向に拘束されているものとする。A, B, C, D の座標は A (-100, -60, 0), B (100, -60, 0), C (100, 60, 0), D (-100, 60, 0) とする (単位は mm)。受け入れ面 P を -x 方向に押し出した円柱状の空間にはジャッキがあるので、モデルは置けない。中空構造にしてはいけない。z < 0 の空間にはモデルは置けないものとする。

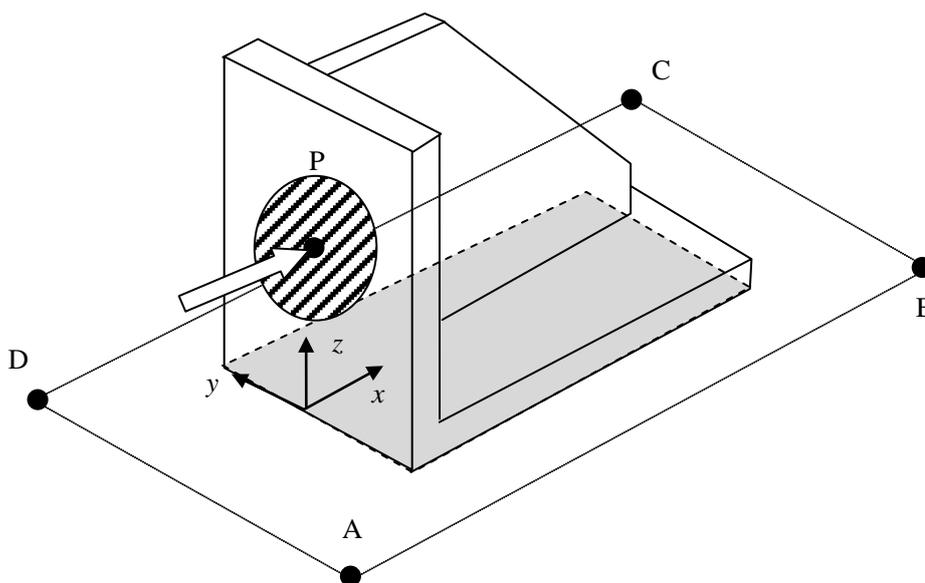


図 1

設計上の制約条件として、ミーゼス相当応力は 150MPa 以下、受圧面の x 方向変位は 0.2mm 以下とする。材料は鉄鋼として、ヤング率 200GPa, ポアソン比 0.3 とする。

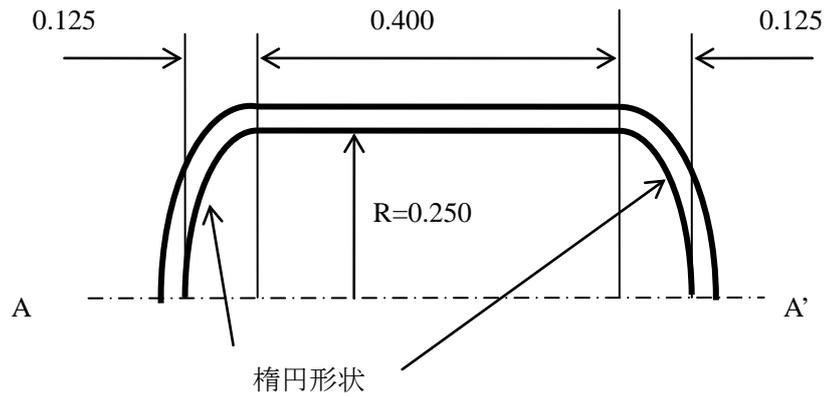
最小コストの形状を求めよ。コストは次式で計算するものとする。固着領域の制約は溶接部を意味している。

$$\text{コスト} = \text{部品の体積}(\text{mm}^3)/500 + \text{固着領域の面積}(\text{mm}^2)/10$$

(略解)

問題 3-3 圧力容器の蓋の設計 (KUSCO 最適設計コンペ 2003 年)

図1の図形をA-A'の周りに360度回転させて出来る蓋つき円筒型の圧力容器の最小重量設計を行う。容器の内側の寸法を保持したまま、厚さを変更して容器の応力が許容値以下に収まる最小重量の設計を行え。内圧は2.5MPa, ヤング率を205GPa, ポアソン比を0.33, 質量密度を7850kg/m³とし、ミーゼス相当応力の最大値を300MPa以下に抑えよ。



(略解)

問題 3-4 板金ブラケットの設計 (KUSCO 最適設計コンペ 2004 年)

図 1 のような板金ブラケットの最小重量設計を行う。図法は三角法で、長さの単位は mm である。A 部の直径 22mm の内側面が完全拘束され、B 部のピン先端の円形面に 300N の荷重が作用している。ブラケットの板厚および形状は自由だが、C~F のハッチした領域には存在してはいけない。

A 部および B 部は、板厚をのぞいて設計変更禁止である。A 部に接した F 部は板厚の変化と共に移動する。

ブラケットは板金加工で製作されることを前提とする。したがって、A, B 部も含み板厚は一定で、厚さは自由である。中空など板金加工にそぐわない構造や、別に他のものを溶接することはできない。板金の端面には凹凸がなく、板金表裏面の稜線を結ぶ直線成分の連続で面を構成するものとする。また同稜線への面取り、R 面取りの追加は不可とする。下記の注意を参照。

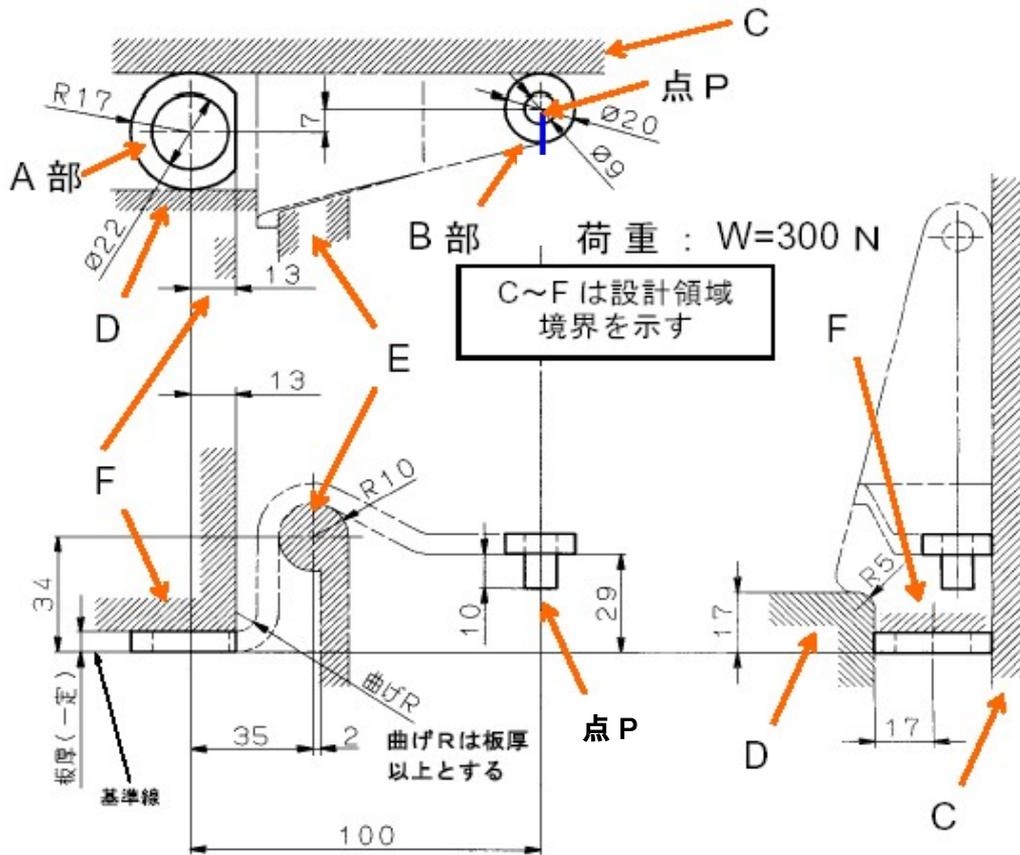
- ・その他、常識的に一般の板金加工にそぐわない構造は不可とします。
- ・曲げ内側半径は板厚以上とします。

注意：板金側面と端面の交差境界線上の一点（接点）での接線に対して、接点を通り接線に垂直な面上の板金の断面において側面と端面は互いに直交しているものとします。実際の板金加工では垂直打ち抜き後にプレス加工すると板金の端面は必ずしも垂直とならず複雑な変形をしますが、正確な表現は不可能なのでこの注意のように統一する。

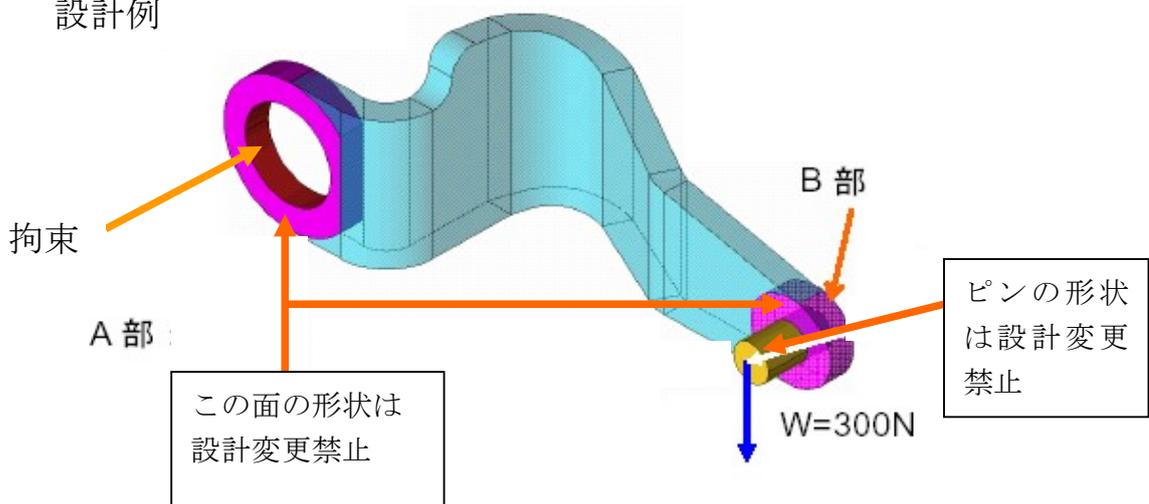
ピン部も計算モデルに含める。ピンは B 部に完全に埋め込まれていてブラケット部と一体とする。材料はブラケット部と同一とします。

荷重面の荷重方向変位の絶対値 0.5mm 以下とし、最大のミーゼス相当応力を 140MPa とする。ただし、A 部および B 部内の局所応力は対象としない。

ヤング率を 206GPa, ポアソン比を 0.3、質量密度を $7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ とする。



設計例



(略解)

問題 3-5 チャンネルの曲げねじり問題 (KUSCO 最適設計コンペ 2005 年)

図 1 のような板厚 3mm の鋼板で作成された断面がコの字型の部品がある。下部が完全拘束され、上面に等分布荷重 (荷重合計 4.9 kN) が負荷されている。ヤング率を $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比を 0.3 とする。

- (1) 図 1 の構造は図 2 のように変形する。P 点の y 方向変位と z 方向変位を求め、それぞれ 50mm, 69mm となることを確認せよ。

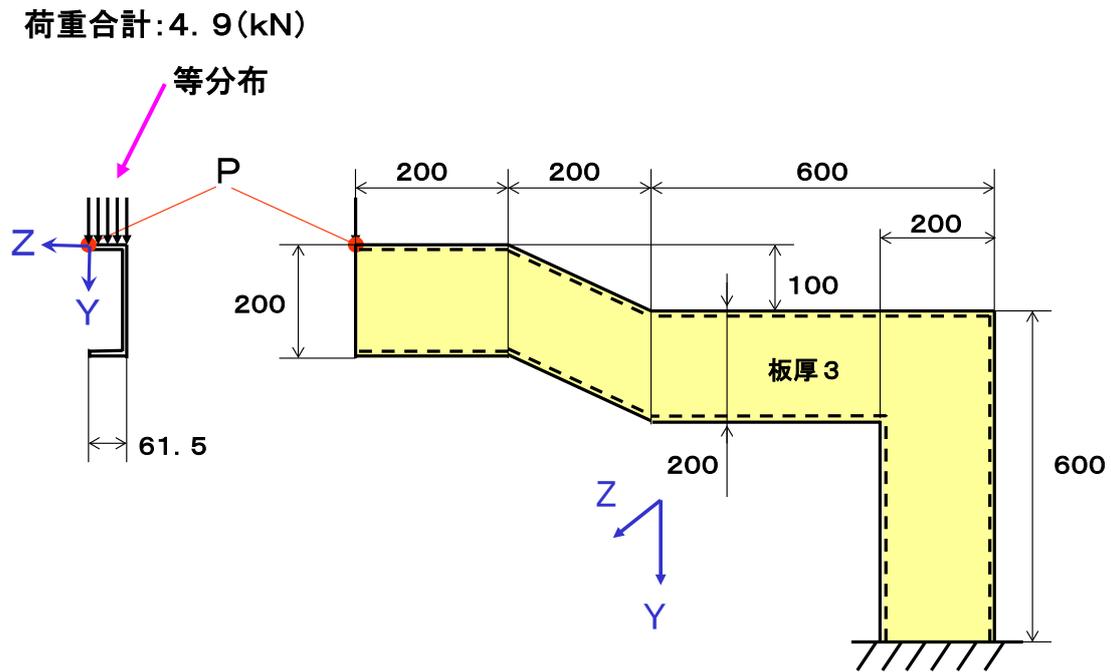


図 1 チャンネルの構造

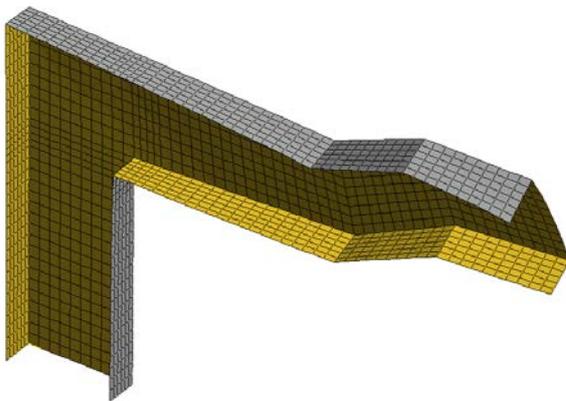


図 2 図 1 の構造の変形図

- (2) 帯板状の補強板を図3のような58.5×1810mmの厚さ3mmの帯板から垂直に切り出して、P点のy方向変位とz方向変位の絶対値がそれぞれ4mm, 1mm以下となるように、本構造を補強する。ただし、チャンネル内側にのみ補強板を追加できる。補強部材はz方向に垂直に配すること。補強版を隔壁として溶接し、開断面構造とし、閉断面となる構造にしてはいけない。補強板の曲げ加工や既存の面の面補強を行わないこと。変形が目標値を満足し、もっとも使用する補強素材が少ない構造を求めよ。

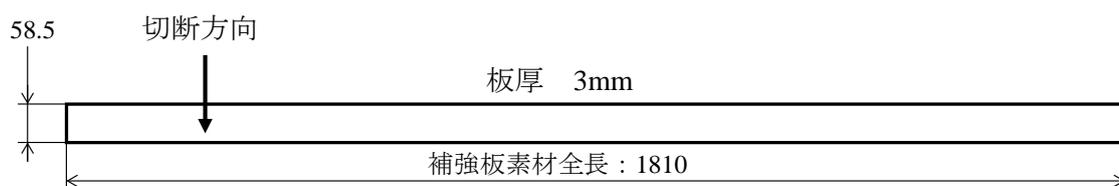


図3 補強板とその加工方法

略解)

曲げとねじりを同時に抑制するような補強を考える。基本的に根元を強くするのが効果的である。先端開口部をふさいでしまうと、ねじれが大きくなるので、注意。補強版は長いほうが効率的？

問題 3-6 フライホイールの設計 (KUSCO 最適設計コンペ 2007 年)

図 1 のようなフライホイール (回転軸が x 軸、半径方向が y 軸) の最小重量設計を行う。フライホイール本体の断面は $R \times B$ の領域 A の範囲に収まるものとする。ただし、 $R \leq 50\text{mm}$ 、 $B \leq 20\text{mm}$ とする。 $R \times B$ の領域 A の前後に $10\text{mm} \times 5\text{mm}$ の領域 B を二個取り付ける。これはシャフトとの結合部で、寸法は固定とする。領域 A の部分には穴をあけることは出来るが中空構造は不可とする。ヤング率を 200GPa 、ポアソン比を 0.3 、質量密度を 7.8mg/mm^3 とする。拘束条件は図 2 に示す。

フライホイールの回転数は $40,000\text{rpm}$ とし、 x 軸に関する慣性モーメントを $1.5[\text{N mm sec}^2]$ 以上、ミーゼス相当応力を 200MPa 以下、第一次固有振動数を 3500Hz 以上にする条件での最小重量構造を求めよ。

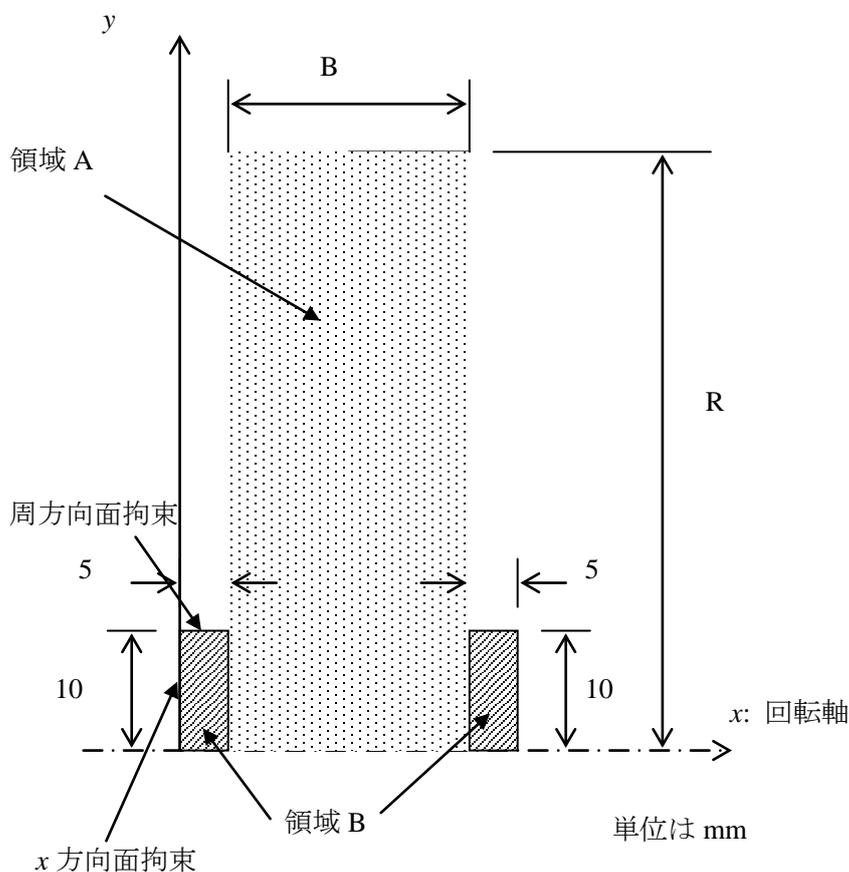


図 1 フライホイールの寸法

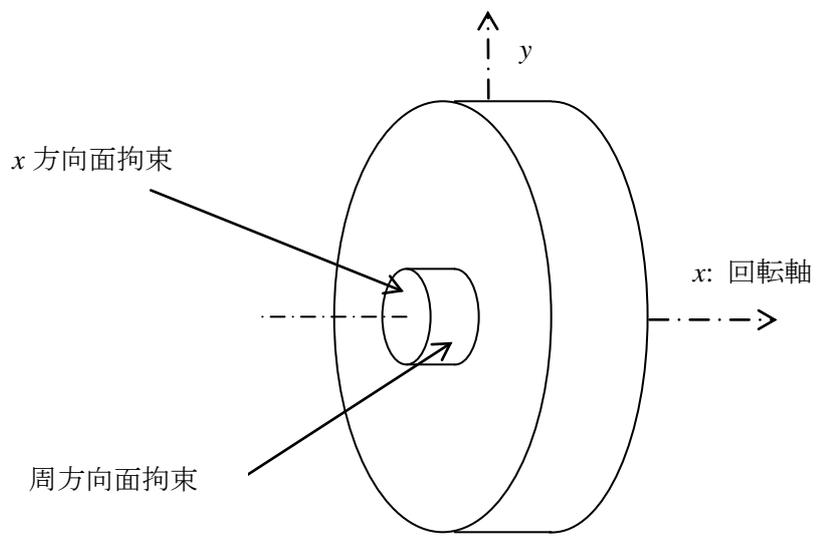


图 2 境界条件

問題 3-7 クランクの設計

図 1 のようなクランクの一端を固定し、他端に荷重を作用させる問題で、応力を許容値以下におさめるという条件下で、最小重量設計を行う。

クランクの形状は、 ϕ (直径) =16mm、高さ 8mm の円柱 A と、 ϕ (直径) =9mm、高さ 5mm の円柱 B がつながっている。つながっている部分は図 2 の直方体の灰色部分をはみ出さないこと。また、yz 平面に対しては対称とする。穴をあけることをできるが、中空構造は許されない。

拘束条件は円柱 A の-z 側の $\phi=16\text{mm}$ の円形面を完全拘束し、円柱 B の+z 側の $\phi=9\text{mm}$ の円形面に、x 方向に 800N の荷重を作用させる。ヤング率を 200GPa、ポアソン比を 0.3、質量密度を 7.8 mg/mm^3 とする。

円柱 A 部を除いて、フォンミーゼス相当応力が 100MPa 以下になる最小重量構造を求めよ。

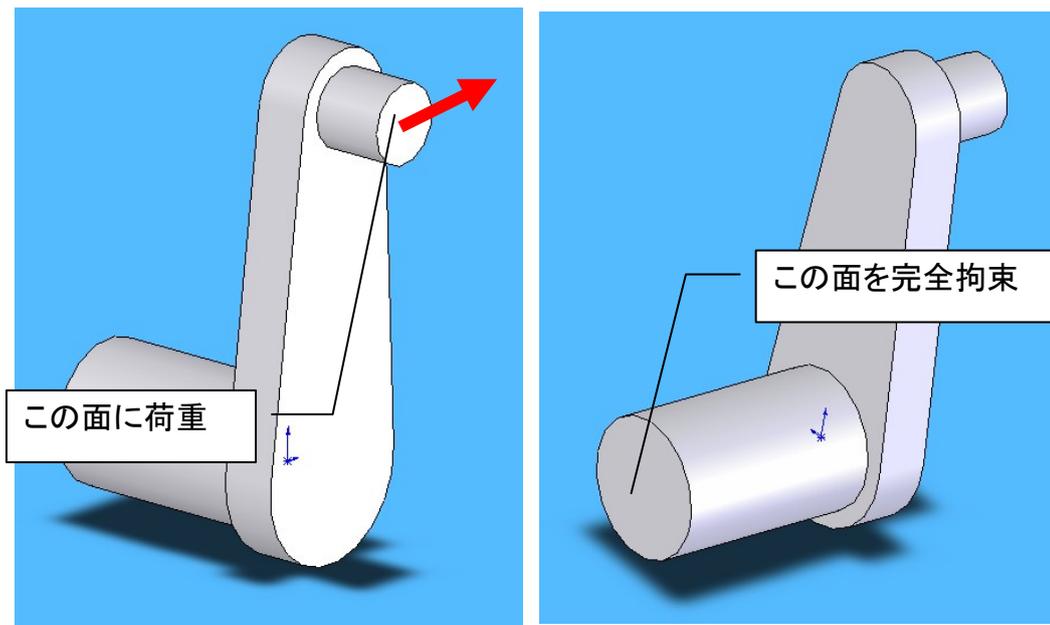


図 1 クランクの構造

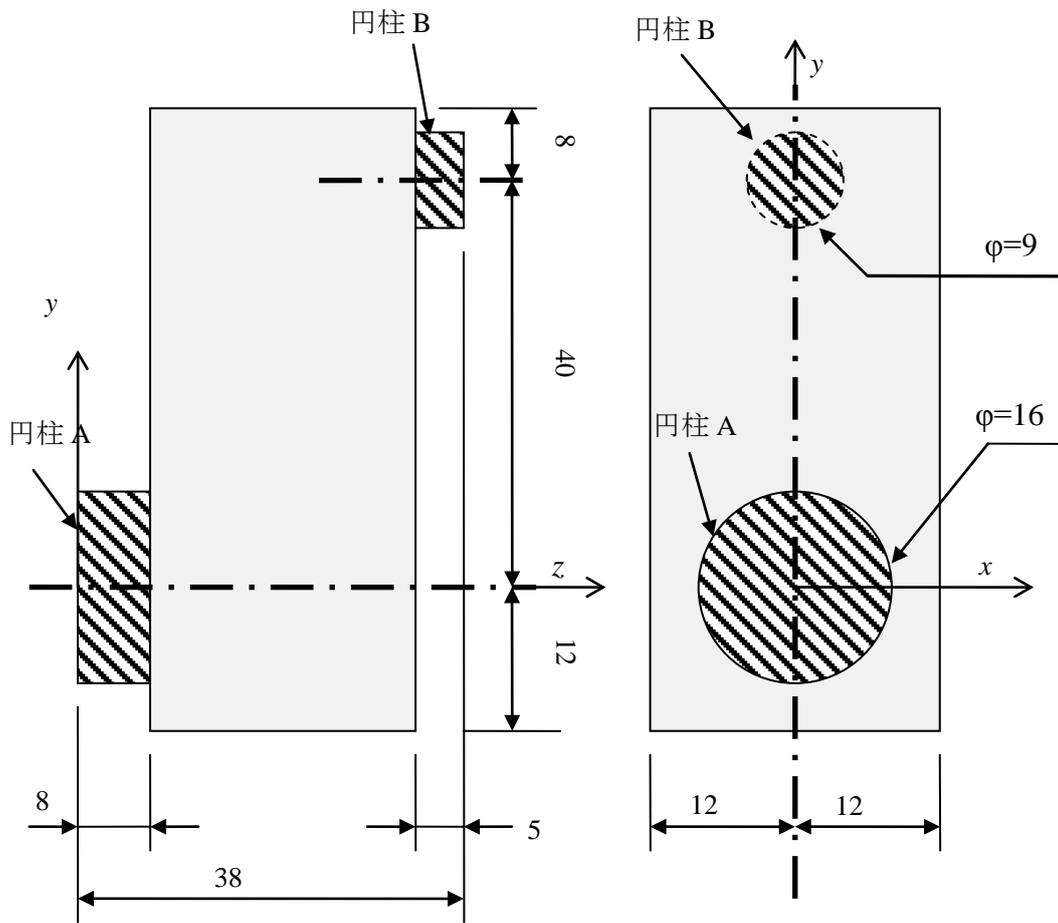


図2 クランクの寸法

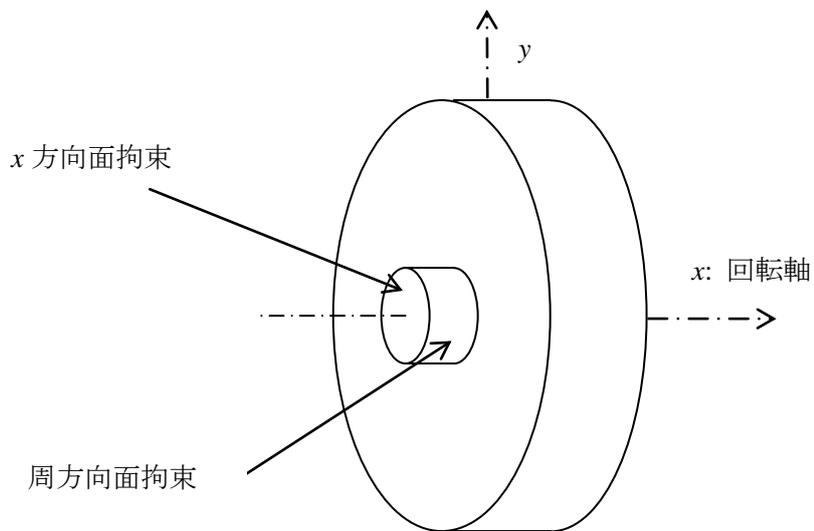


図2 境界条件

(略解)

直列構造と見なせるので、先端の部分から設計していく。曲げ・ねじりモーメントを考える。

問題 3-8 板金機構部品の設計

板金ものの機構部品の最小重量設計を行う。3個のジョイント穴の位置と径が決まっており、これに荷重を加えたときの応力を決められた値以下にするのを条件に、最小質量の形状を決定する。図1に三個の穴の位置と径を示す。穴の位置と径は変更できない。穴Aのz座標が穴B、Cと異なることに注意する。穴の位置と径以外の形状は自由であるが、以下の制約がある。

- ・板金もののため板厚は一定
- ・一般の板金加工で可能な形状が許される
- ・1枚の板から板金加工で製作できるものとする。リブを溶接することはできない。たとえば、折り曲げ、エンボス、穴が可能とする。
- ・板厚は 以下の寸法から選ぶ 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.3, 2.6, 2.9, 3.2 mm

荷重条件は図1上に示した。3つの荷重は完全につりあっている。ヤング率を 200GPa、ポアソン比を 0.3、質量密度を $7.8 \times 10^{-9} \text{ Nsec}^2/\text{mm}^4$ とする。ミーゼス相当応力が 80MPa 以下である条件での最小重量の構造を求めよ。

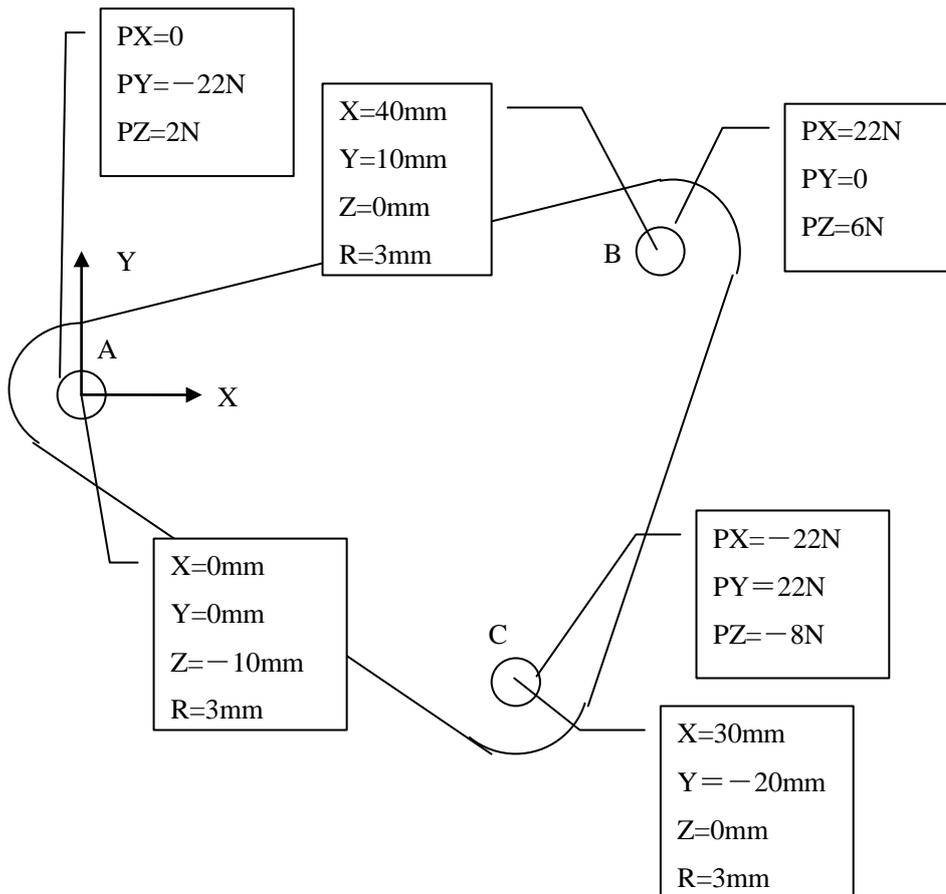


図1 機構部品の構造

(略解)

問題 3-9 回転円板の設計（第 6 回家電商品における C A E 活用研究会 2011 年）

図 1 は、内径 $\Phi 25$ mm、外径 $\Phi 200$ mm、厚さ 5mm の回転円板で、外周に高さ 12 mm、幅 7.5 mm のフランジ部と、平板部に直径 $\Phi 50$ mm の 4 個の円孔を有している。この円板が、その中心軸 O のまわりに回転数 3000 rpm で回転する。解析では内径の円筒面を完全拘束せよ。

ヤング率は 200GPa、ポアソン比が 0.27、比重を 7.86 g/cm^3 とする。

- (1) 図 1 の形状に対して、有限要素法の計算を行い、ミーゼス相当応力の最大値、中心軸 O まわりの慣性モーメントを計算せよ。
- (2) 図 2 は、(1) と同じ拘束領域と新規の設計領域を示したものである。次の制約条件を満たす回転円板の軽量化設計を行え。

- 制約条件 ① 中心軸 O に対する慣性モーメントは (1) 以上であること
 ② ミーゼス相当応力は (1) 以下であること
 ③ 一次共振点の周波数は、100Hz 以上であること

形状検討に当たって、内径 $\Phi 25$ mm、高さ 5 mm の円筒拘束面は変更できないが、貫通穴である必要は無い。また、最小板厚は、1 mm とする。

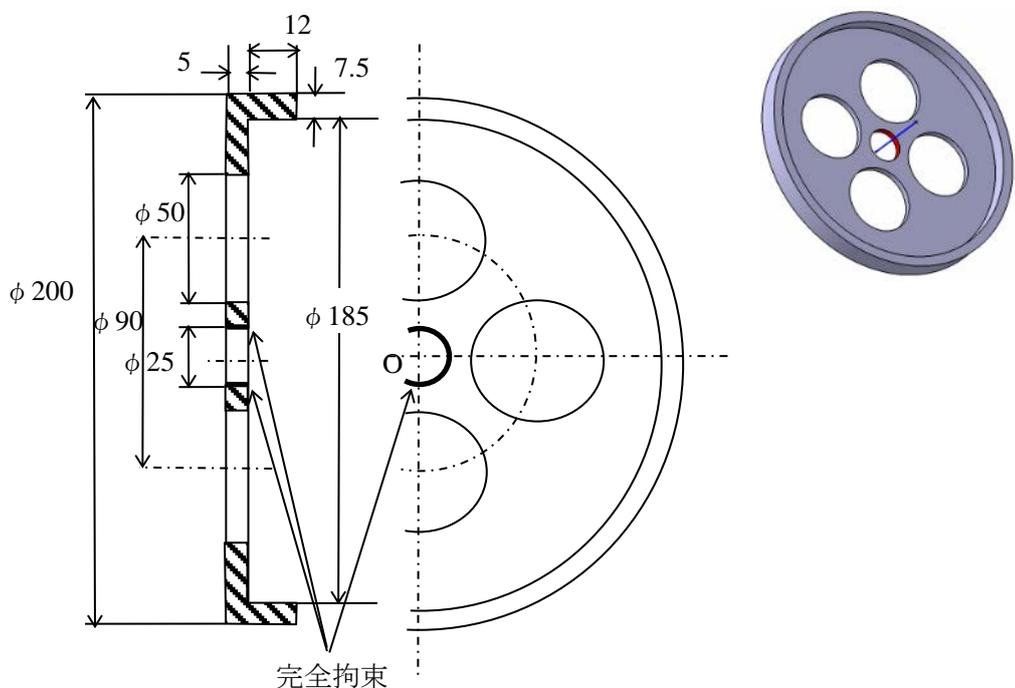


図 1 回転円板の寸法

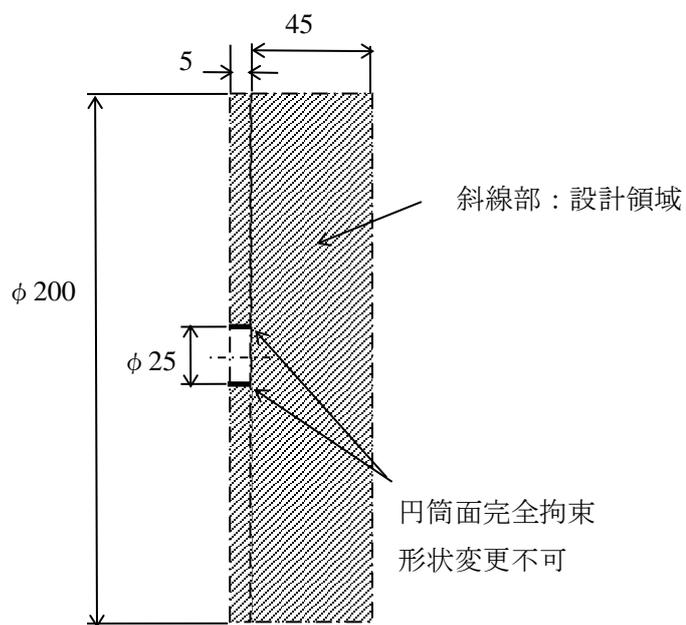


図2 設計領域

(略解)

問題 3-10 五角形の部品の設計（第7回家電商品におけるCAE活用研究会 2012年）

図1は、板厚 5.0mm で、直径 30 mm の貫通孔を有する、一片の長さが 100 mm の正五角形のエンプラ製の部品である。質量は約 115g であり、材料特性は縦弾性係数： $E=4.0$ GPa、ポアソン比： $\nu=0.35$ 、比重：1.4 とする。端面 A が完全拘束され、貫通孔外周の直径 40 mm の領域 B に圧力 $P=0.05$ MPa が作用している。

- (1) 最大応力値、および、端点 C, D, E の面に垂直方向（図1では-z方向）の変位量を求めよ。

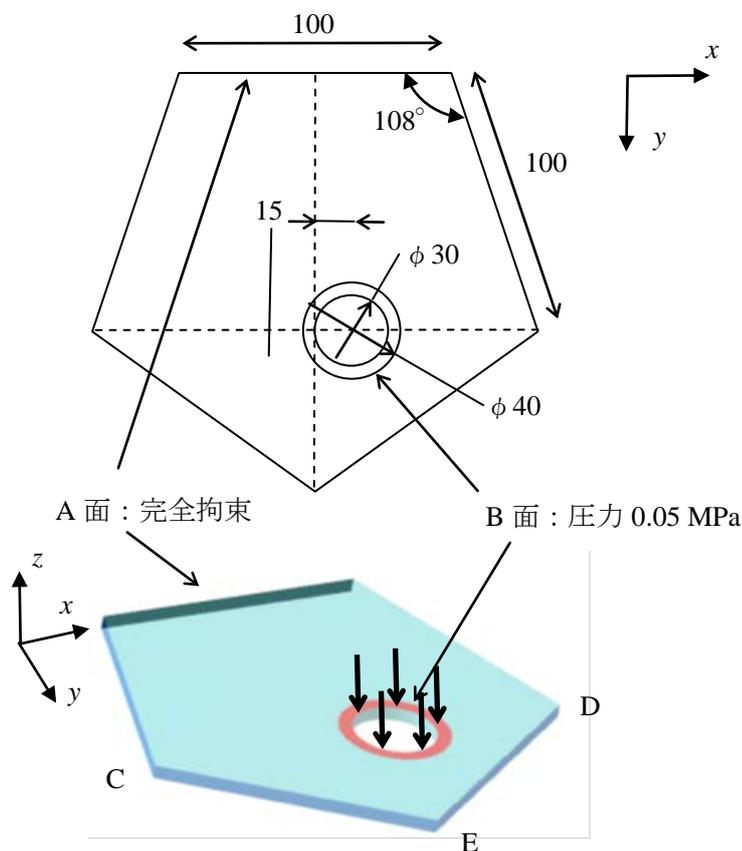


図1 部品の寸法

- (2) 図2の斜線の部分は設計可能領域を示しており、図1の外形形状および貫通孔と領域 B については変更できないが、最小板厚 5.0mm 以外の制約はないこと。z 方向に対する高さ制限は、各面より 5mm 以内であれば、上下共に自由に形状配置が可能であり、貫通孔も自由に配置できる。さらに、領域 B に相対する下面についても制約はないものとする。(1)と同一条件の下で、制約条件を満足する形状を設計する。制約条件は、端点 C と D の-z方向の変位量差を 0.3mm 以下にすることと、部材に

生じる最大ミーゼス相当応力を 200MPa 以下にすることと、最小板厚を 5.0mm とし、金型抜き方向は、 z 方向のみとすることである。

端点 E の $-z$ 方向の変位を出来るだけ大きく（配点 60..点）した軽量構造（配点 40 点）を求めよ。

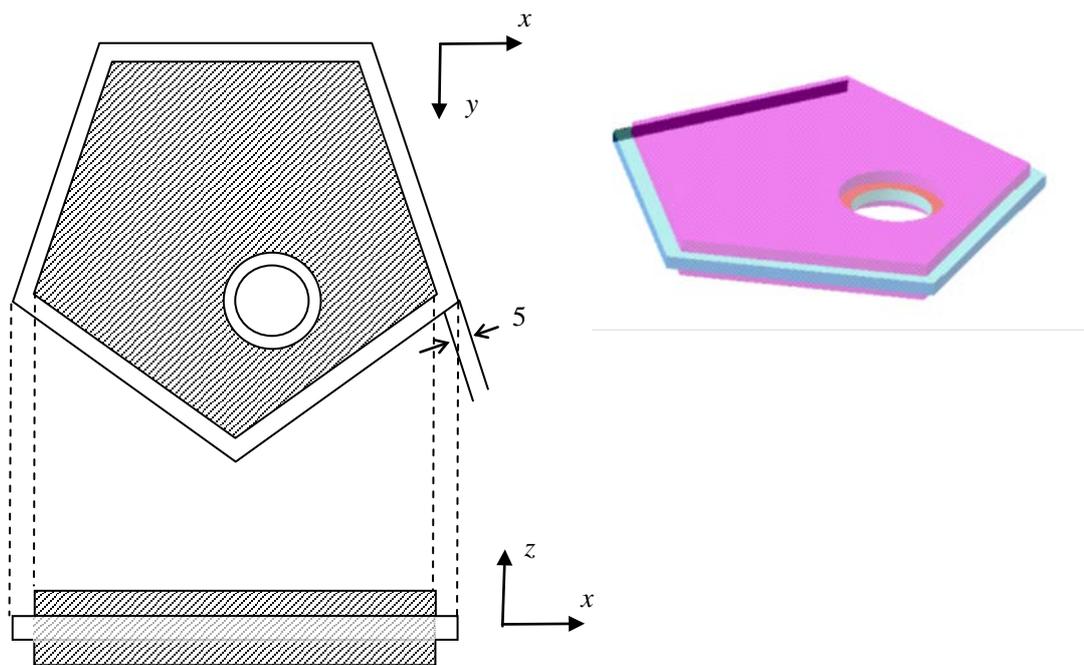


図2 設計可能領域

略解)

拘束近傍の応力特異点に注意する(あまりメッシュを切りすぎない)。Dの変位は約 1.6mm となる。

変形を多くするには、拘束面と荷重面を直接接続しないことがポイント。左右の変位の差をなくように工夫する。荷重面と前縁とをいかに接続するかがポイント

問題 3-1-1 樹脂製蓋のリブ補強設計（家電商品における CAE 活用研究会より）

図 1 は、内圧のかかる容器の蓋の役目をする部品であり、ヒンジの穴を軸に回転することで開閉する。今、蓋を閉じた状態を想定して、ヒンジの端面を x 方向拘束、ヒンジの穴部を半径方向拘束（回転自由の境界条件）、ヒンジと逆側の面を z 方向拘束する。容器裏面に 15kPa の圧力がかかる。ヤング率を 1700MPa 、ポアソン比を 0.4 とせよ。

- (1) 本構造の最大変形量と最大応力値（主応力）を求めよ
- (2) 本構造を補強版によって補強する。補強版は厚さ方向と平行に配置する。また、中央部の $\phi 80\text{mm}$ の内側には補強版を設置することは出来ない。最大変位が 2.3mm 以下、最大応力が 22MPa 以下で、最も体積が最小の補強構造を求めよ。補強版の位置、数、高さ、板厚（ 1mm 以上、 2.5mm 以下）は変更可能とする。

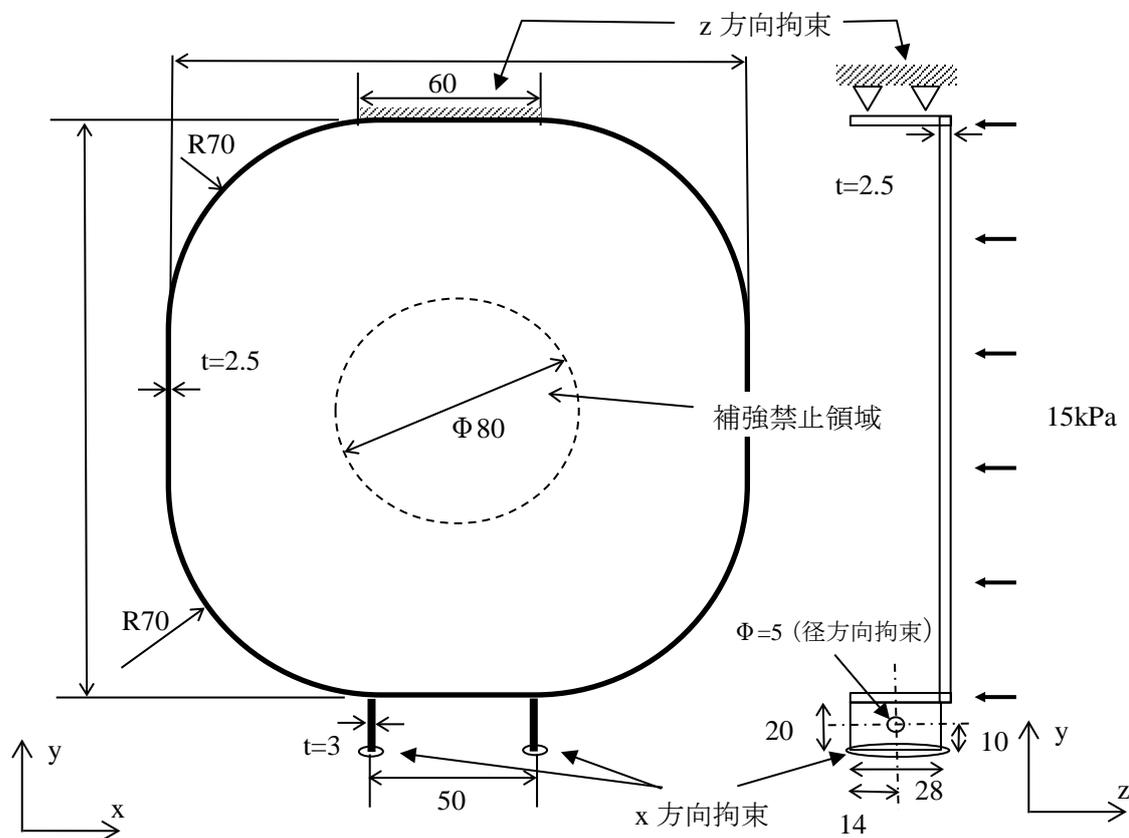


図 1 樹脂製蓋の寸法

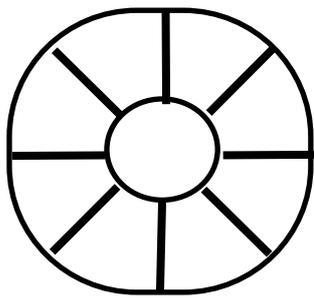


図2 補強の例