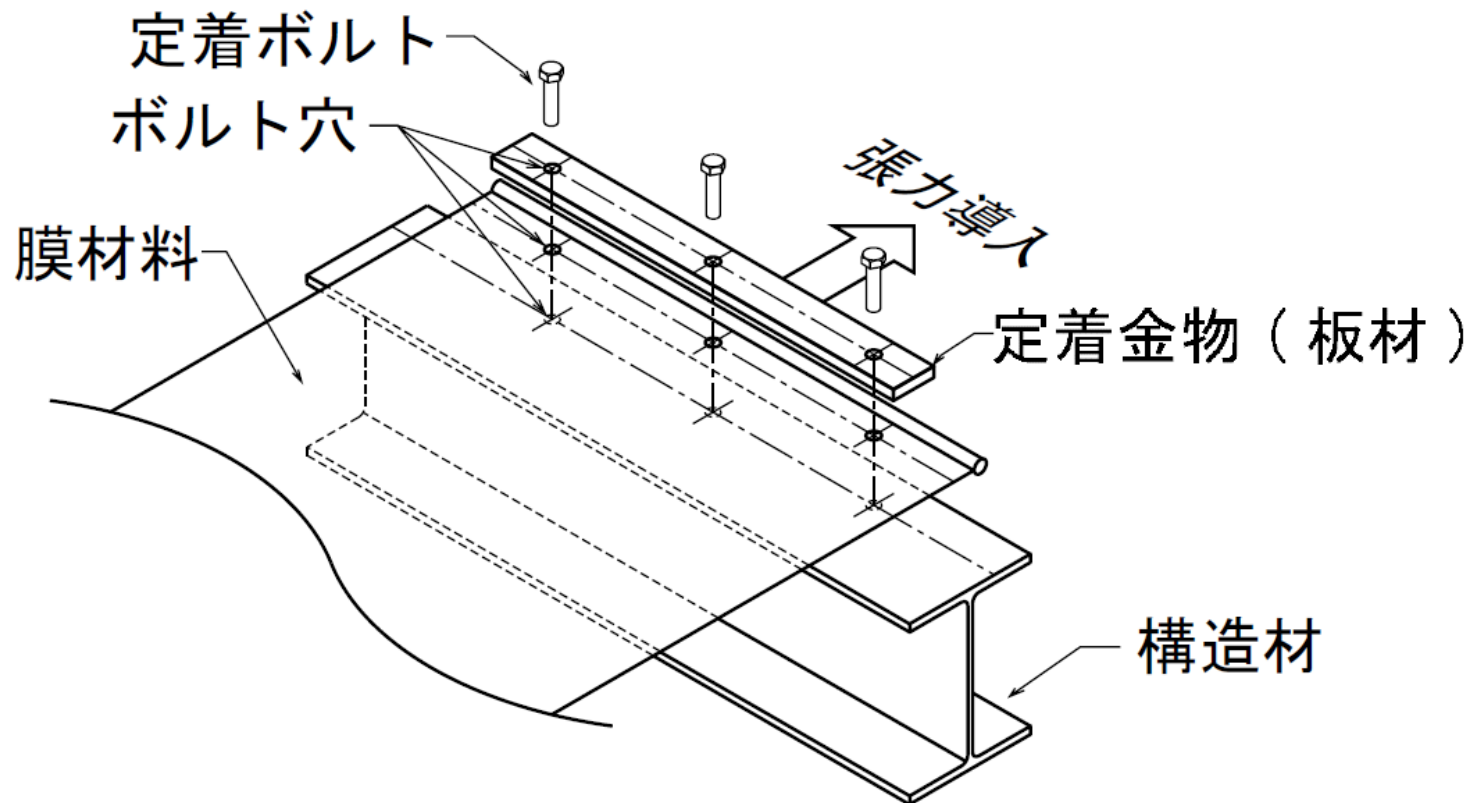


# 骨組膜構造物の定着部拘束力 最大化のための形状最適化

京都大学大学院	中嶋 拓
広島大学大学院	大崎 純
太陽工業株式会社	藤原 淳
太陽工業株式会社	武田 文義

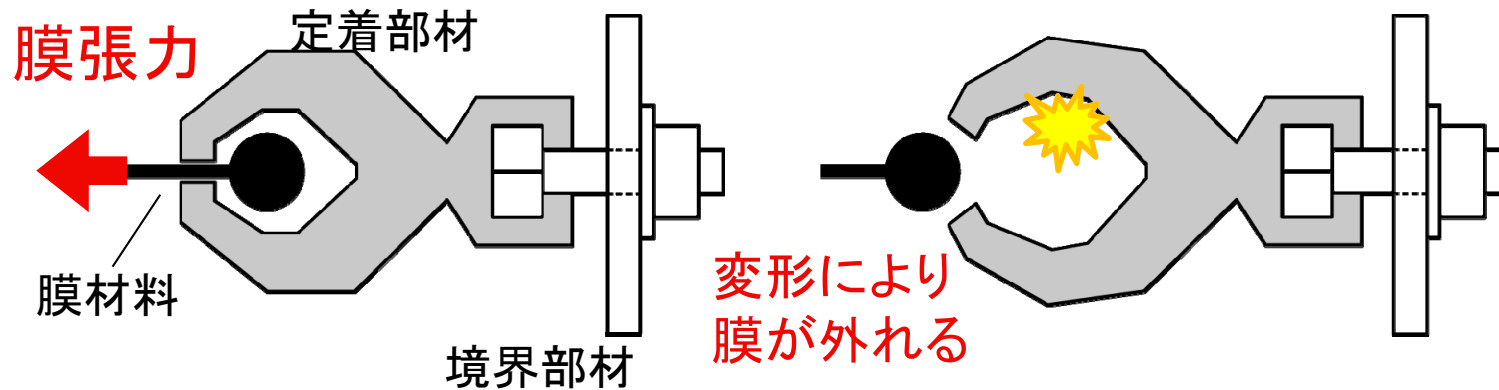
# 研究背景と目的

- 膜構造物では、アルミを押し出し成型して形成される定着金物を介して、膜材料を境界骨組に接続
- 定着金物は大量に使用されるため、**部材レベルの最適化により生産コストを低減することが可能**

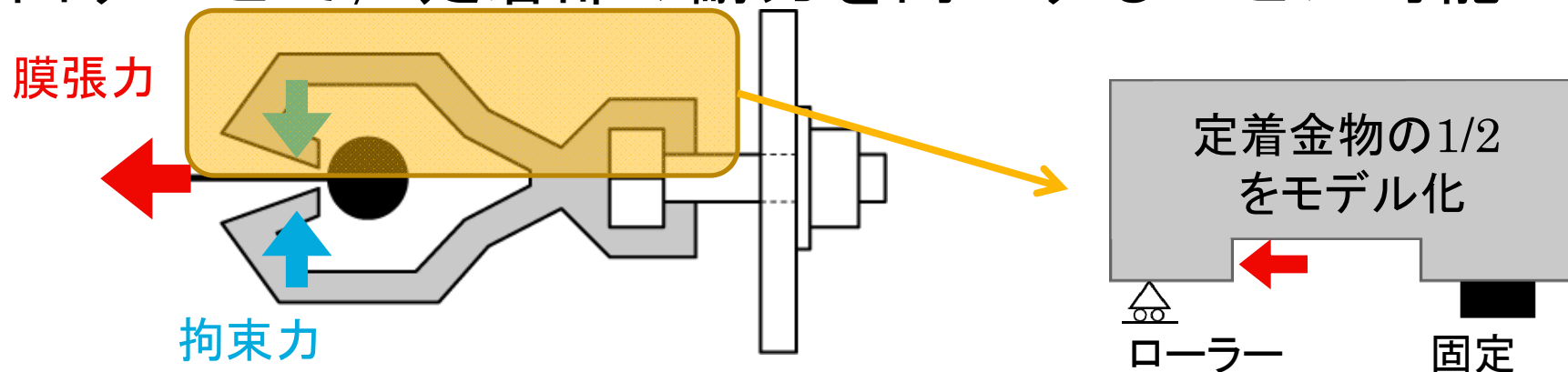


# 研究背景と目的

- 膜張力の増大による定着金物の変形
- →膜や定着金物の破断に至る前に膜が外れる

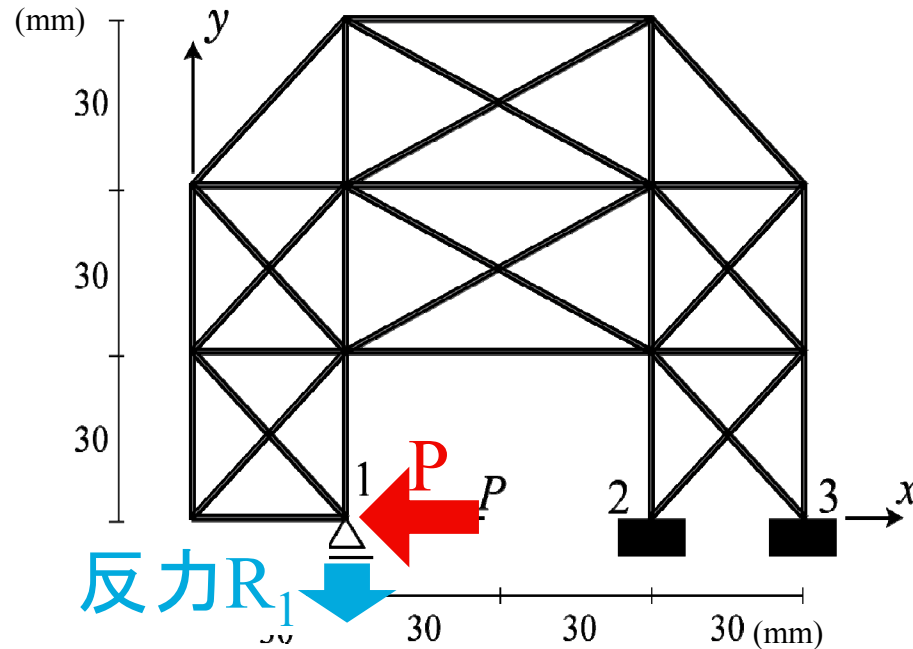


- 膜張力によって拘束力が増大するような形状を見出すことで、定着部の耐力を向上することが可能



# 骨組モデル (タイプ 1)

— 応力制約 —



- グラウンドストラクチャ法
  - 不要な部材を除去する手法
- 梁部材は節点・交差点で剛接合
- 節点1に荷重(膜張力)  $P=500\text{N}$

minimize

$$V(\mathbf{A})$$

--- 全部材体積

subject to

$$|\sigma_i| \leq \bar{\sigma}$$

--- 各部材の材端縁応力

$$R_1 \geq \bar{R}$$

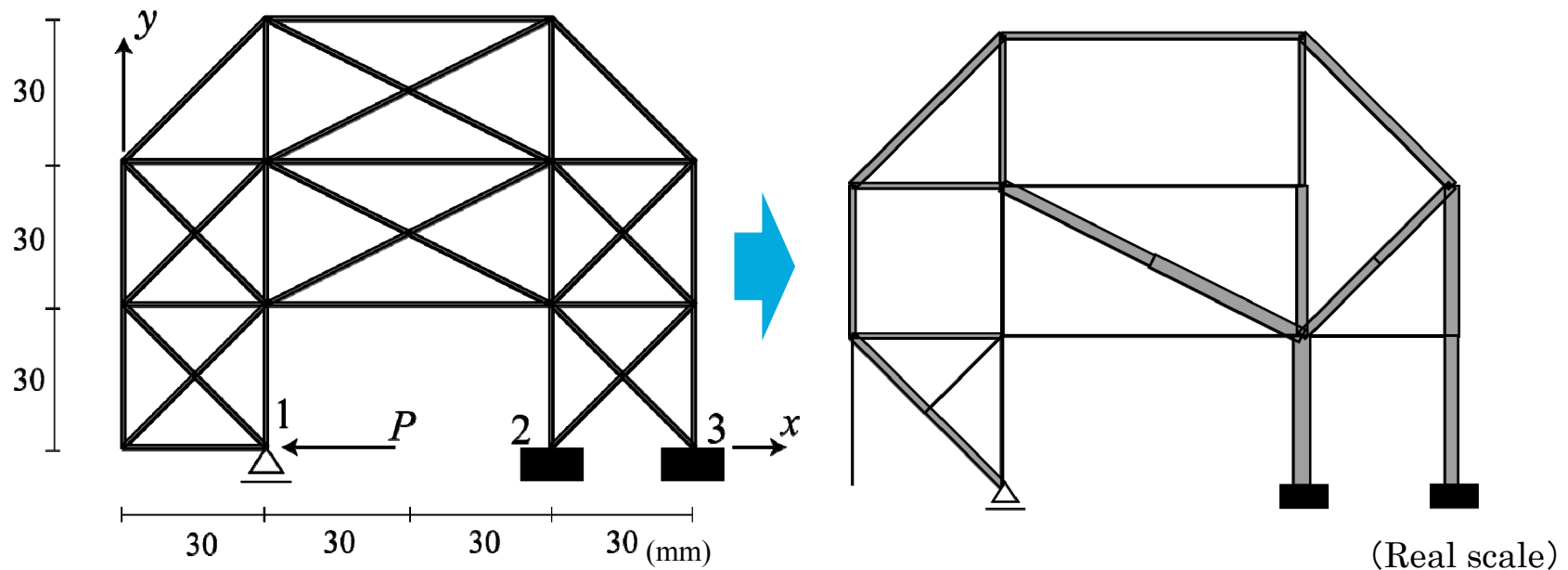
--- 膜を抑える力  $\bar{R}=200\text{ N}$

$$\mathbf{A}^L \leq \mathbf{A} \leq \mathbf{A}^U$$

--- 変数 = 各部材の断面積

# 骨組モデル (タイプ 1) – 応力制約 –

- 最適化によって反力の方向が異なる解が得られる
- 部材数は**それほど減少していない**

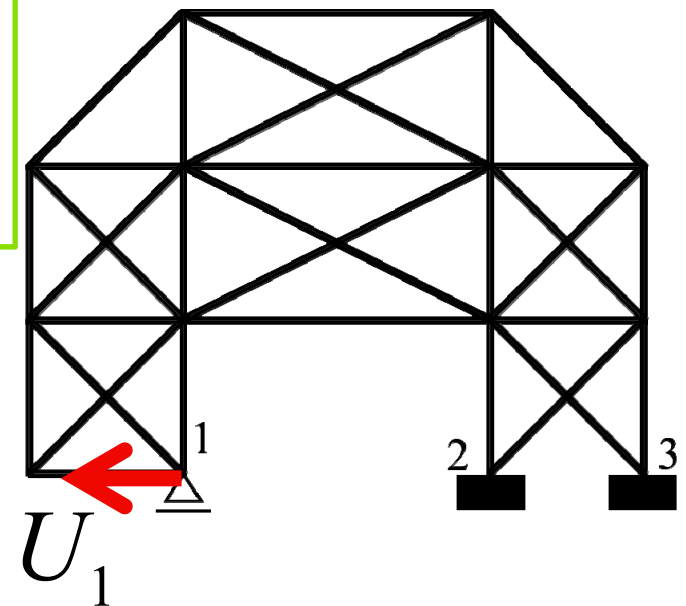


	初期解	最適解
R1	-137.7(N)	200.0(N)

# 骨組モデル (タイプ 1) —変位制約—

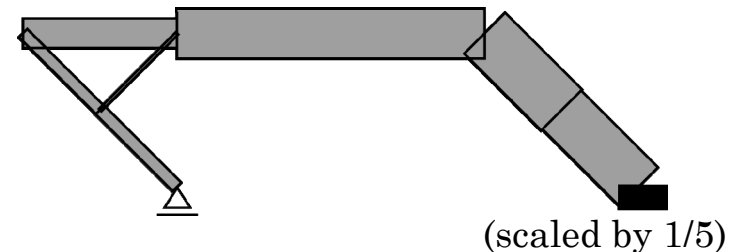
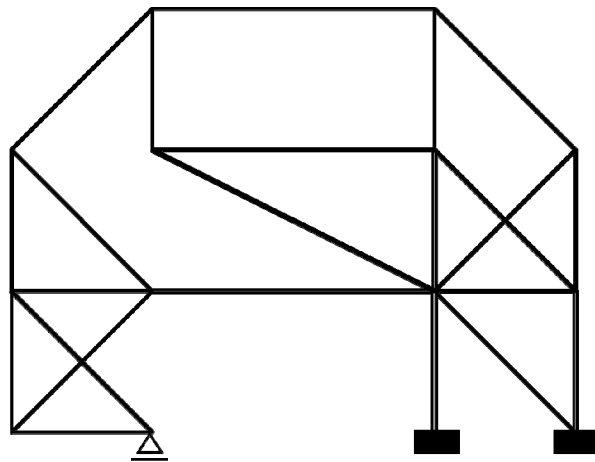
- 応力制約ではなく, **変位制約**のもとで最適化  
 $\bar{U}$  : 節点1のx軸方向変位  $U_1$  ( $< 0$ )に制約

$$\begin{array}{ll} \text{minimize} & V(A) \\ \text{subject to} & U_1 \geq \bar{U} \\ & R_1 \geq \bar{R} \\ & A^L \leq A \leq A^U \end{array}$$



# 骨組モデル (タイプ 1) —変位制約—

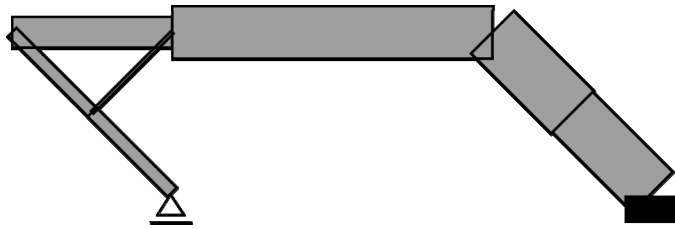
- 変位制約を厳しくすることで最適解の**部材数を低減できる**
- 変位制約の上限値：**明瞭なトポロジー**を得るための人為的なパラメータ



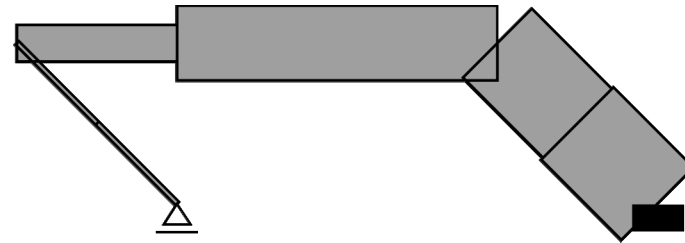
$\bar{U}$	-0.1 (mm)	-0.01 (mm)
V	$1.678 \times 10^4$ (mm <sup>3</sup> )	$6.759 \times 10^4$ (mm <sup>3</sup> )

# 骨組モデル (タイプ 1)

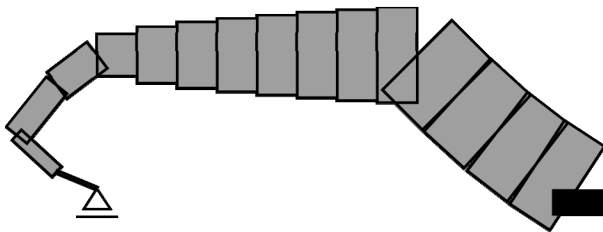
1. 変位制約下で最適化



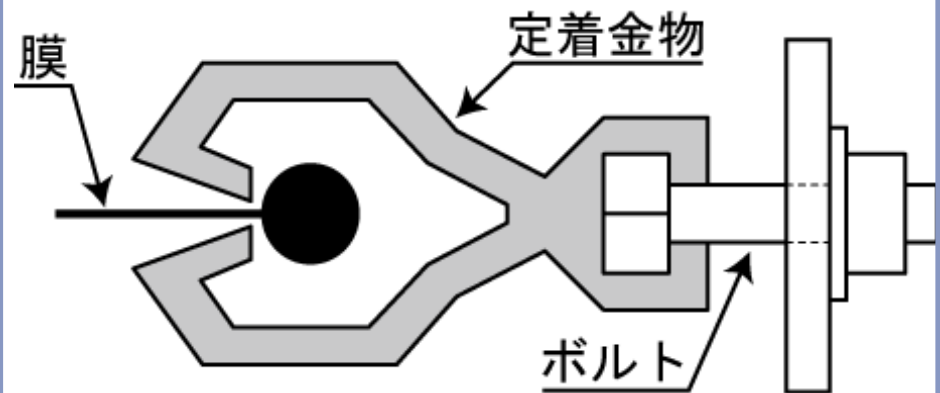
2. 得られた解について応力制約下で再度最適化



3. 部材を細分割, 部材断面積および鉛直方向の節点座標を変数として最適化



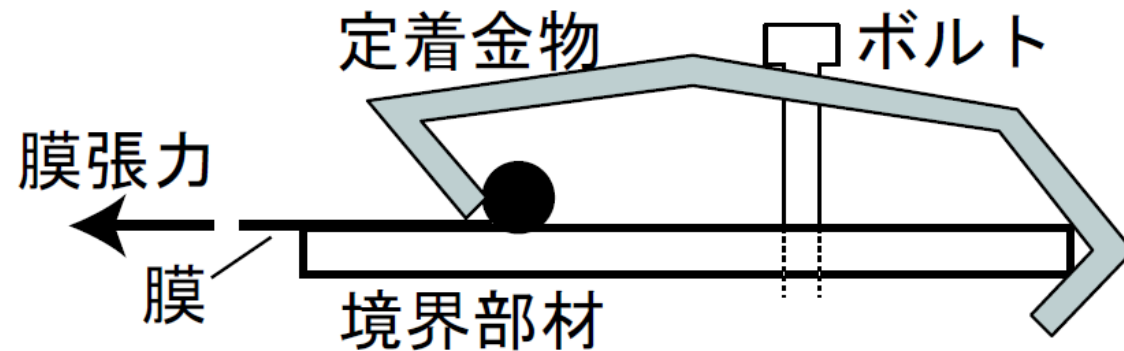
4. 取り付け金具模式図





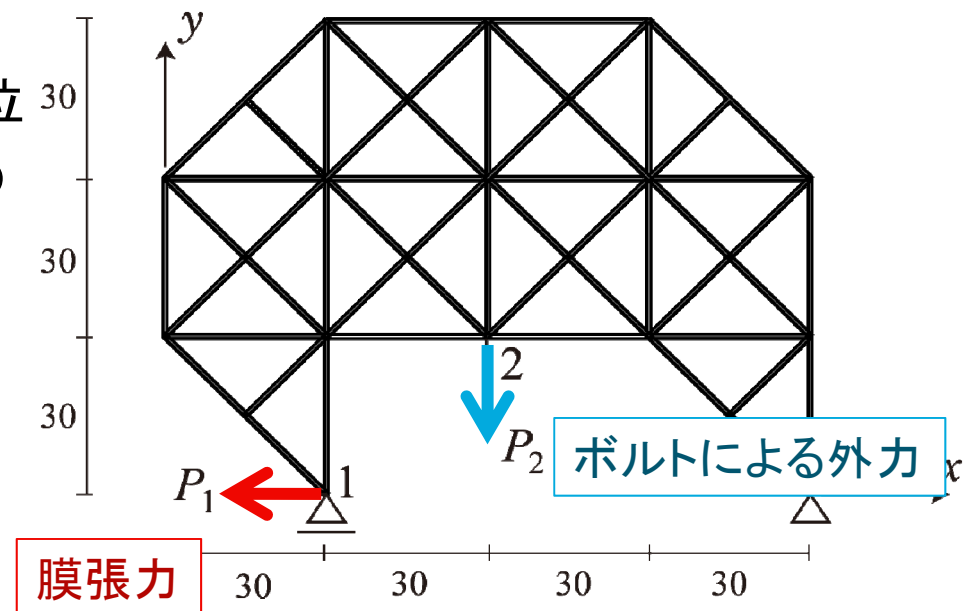
# 骨組モデル (タイプ 2)

- ボルトにより鉛直方向外力を作用させ、**膜引込み量を調整できるモデル**



- 骨組モデル(タイプ2)

- $U_1^{(1)}$ : P1 に対する節点1の水平変位
- $U_1^{(2)}$ : P1 とP2を作用させたときの節点1の水平変位



# 骨組モデル (タイプ 2) –変位制約–

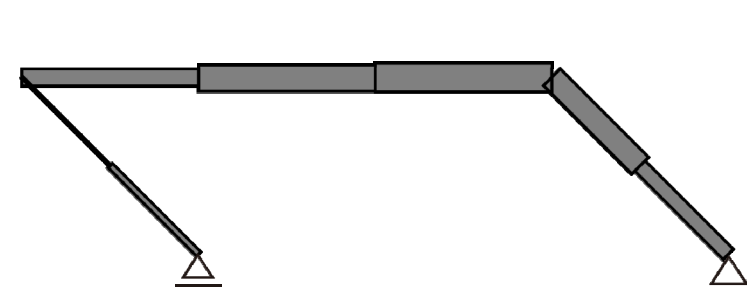
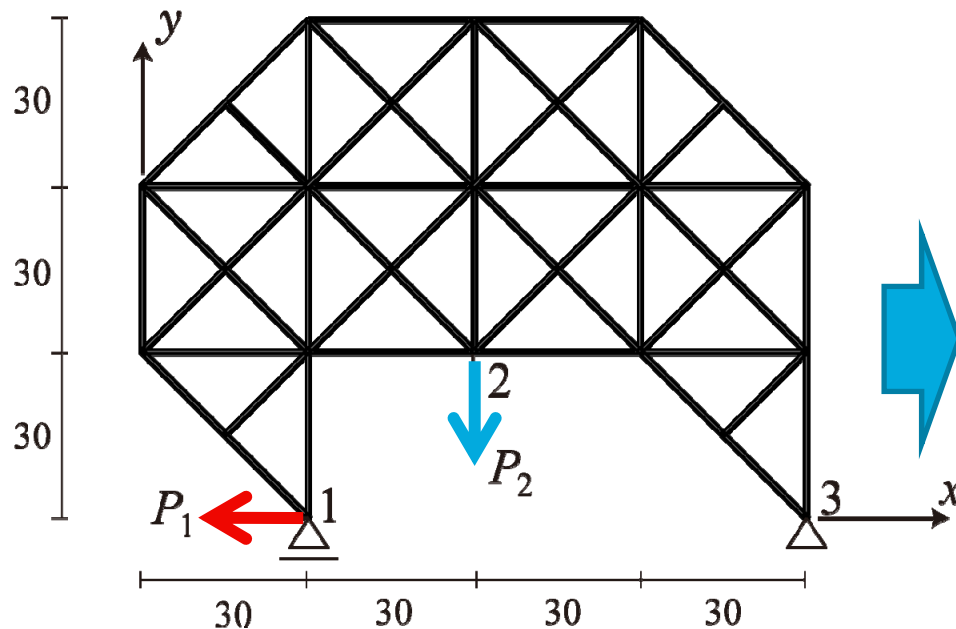
- 変位制約下で最適化→部材の少ないトポロジー

minimize  $V(A)$

subject to  $U_1^{(1)} \geq \bar{U}^{(1)} = -0.01$  (P1に対する節点1の水平変位)

$U_1^{(2)} \geq \bar{U}^{(2)} = 0.1$  (P1 と P2に対する節点1の水平変位)

$A^L \leq A \leq A^U$



Optimal (scaled by 1/10)

# 骨組モデル (タイプ 2) — 応力制約 —

- 部材を細分割し，鉛直方向節点座標を設計変数として**応力制約下**で最適化

minimize  $V(A, X)$

subject to  $U_1^{(1)} \geq \bar{U}^{(1)}$

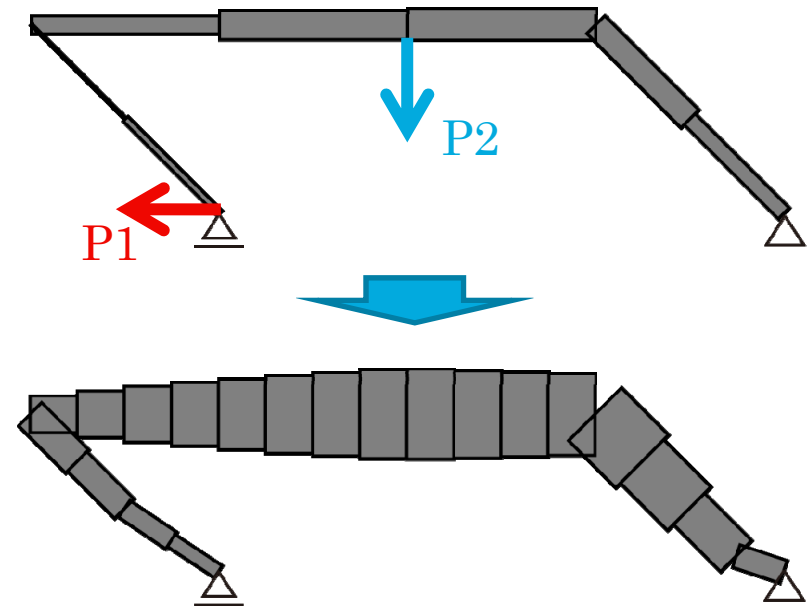
$U_1^{(2)} \geq \bar{U}^{(2)}$

$|\sigma_i^{(1)}| \leq \bar{\sigma}$

$|\sigma_i^{(2)}| \leq \bar{\sigma}$

$A^L \leq A \leq A^U$

$X^L \leq X \leq X^U$



(Real scale)

# 結

---

1. 膜張力によって膜を境界部材に圧着する力が増加する定着金物の形状を，骨組モデルのトポロジー・形状・断面積最適化によって求めることが可能であることを示した.
2. 骨組構造において，トラスのトポロジー最適化と同様に，応力制約を有する問題では，グランドストラクチャー法によって最適トポロジーを得ることができない．そのため，第1段階で変位を制約して部材の少ないトポロジーを得て，第2段階で応力制約を満たさせるような2段階の最適化手法を提案した.
3. ボルトで境界部材に押さえつけて定着される金物に対して，ボルトの締め付け力によって膜が引きこまれるような形状を，最適化によって求めた.