

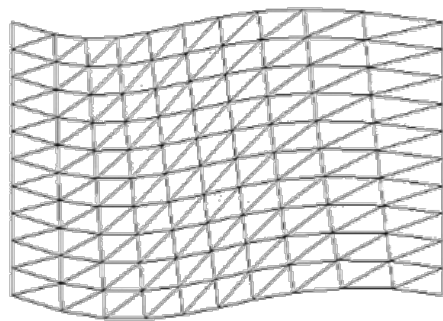
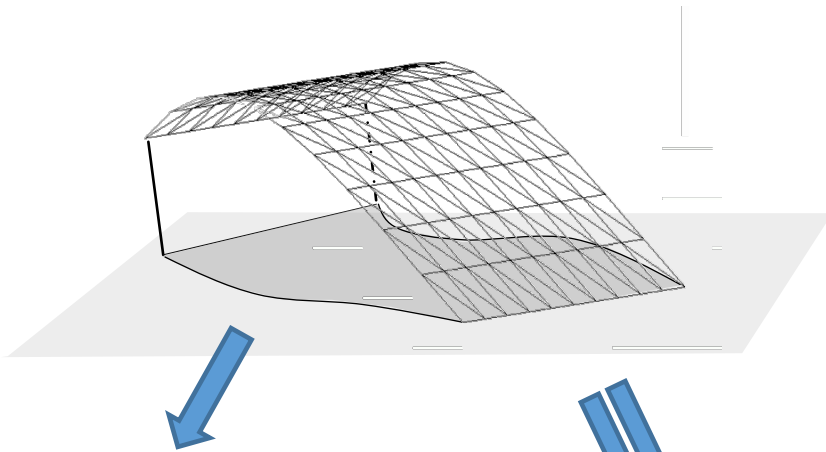


可展面を用いた膜構造の 釣り合い曲面形状生成法

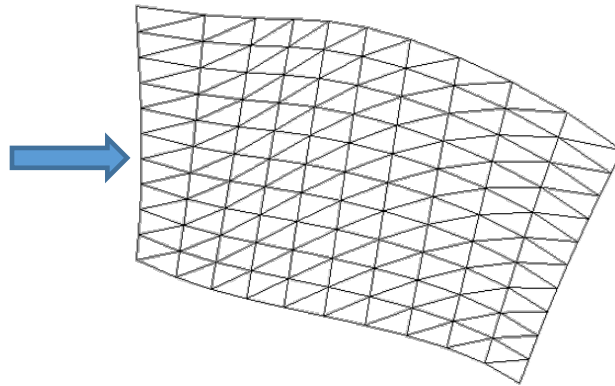
○ 崔 京蘭 京都大学大学院工学研究科

大崎 純 京都大学大学院工学研究科

2. 可展面の平面への展開



投影図



展開図

$$\begin{cases} \min_{\mathbf{Q}} F(\mathbf{Q}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 \omega_{ij} \cdot (l_{ij} - l_{ij}^0)^2 \\ s.t. \quad x_k^0 \leq x_k \leq x_k^l \\ \quad y_k^0 \leq y_k \leq y_k^l \quad (k=1, 2, \dots, m) \end{cases}$$

\mathbf{Q} : 設計変数

$F(\mathbf{Q})$: 辺長差二乗の重み付き和

l_{ij} : 展開図の三角形辺長

l_{ij}^0 : 可展面の三角形辺長

ω_{ij} : 重み

(x_k^0, y_k^0) : 下限 (x_k^l, y_k^l) : 上限

3. 裁断図の形成

希望している一様応力 $\sigma_0 = \{\sigma_x^e, \sigma_y^e, 0\}$ \longrightarrow $\sigma = D\varepsilon$

$\varepsilon_0 = \{\varepsilon_x^e, \varepsilon_y^e, \gamma_{xy}^e\}$ \longleftarrow

$x_p = x(1 - \varepsilon_x)$
 $y_p = y(1 - \varepsilon_y)$

(x, y) : 無応力状態での裁断図すべての節点座標

(x_p, y_p) : 希望している一定応力を導入して修正したすべての節点座標

4. 膜構造の形成

ここで裁断図を基本として可展面構造の膜要素差異による膜要素のひずみエネルギーを最小化することで安定化した釣り合い膜構造形態を決める。

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_Q E(P) = \frac{1}{2} \int_v (\boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{D} \boldsymbol{\varepsilon}) dV \\ s.t. \quad x_k^0 \leq x_k \leq x_k^l \\ \quad y_k^0 \leq y_k \leq y_k^l \\ \quad z_k^0 \leq z_k \leq z_k^l \quad (k = 1, 2, \dots, m) \end{array} \right.$$

P : 膜構造設計変数である節点座標 $P(x, y, z)$

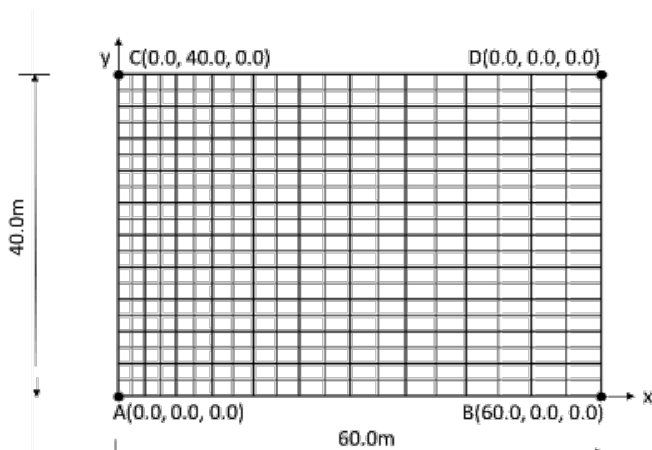
(x_k^0, y_k^0, z_k^0) : 設計変数下限

(x_k^l, y_k^l, z_k^l) : 設計変数上限

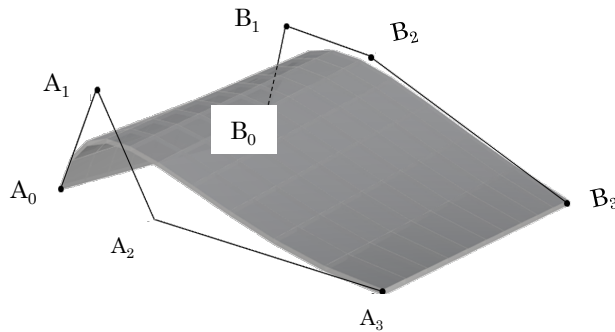
5. 数値計算例

崔京蘭, 大崎純, 中村奎吾, 可展面を接続した自由曲面シェル構造の形状最適化, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 82, No. 737, pp. 1137-1143, 2017.

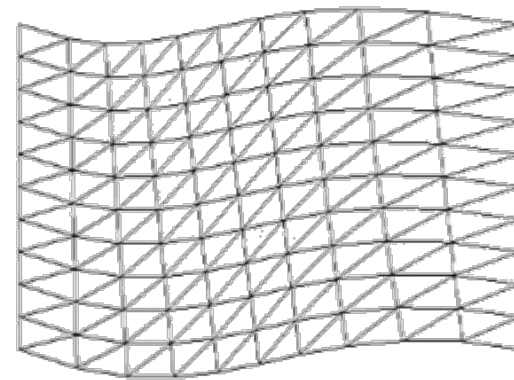
・ 単純なモデル



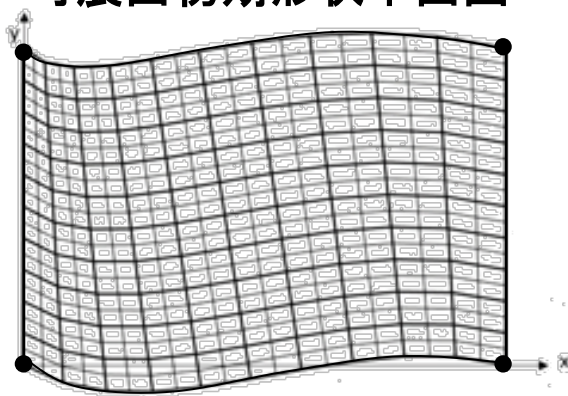
可展面初期形状平面図



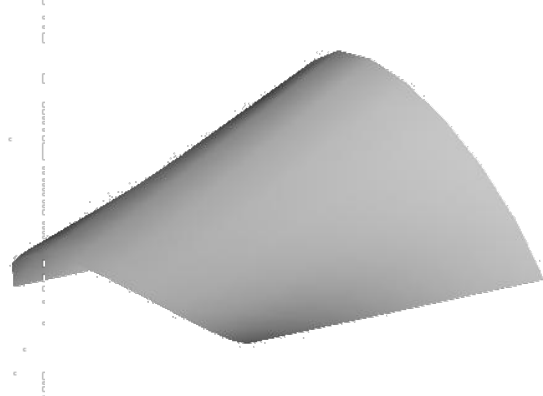
可展面初期形状斜投影図



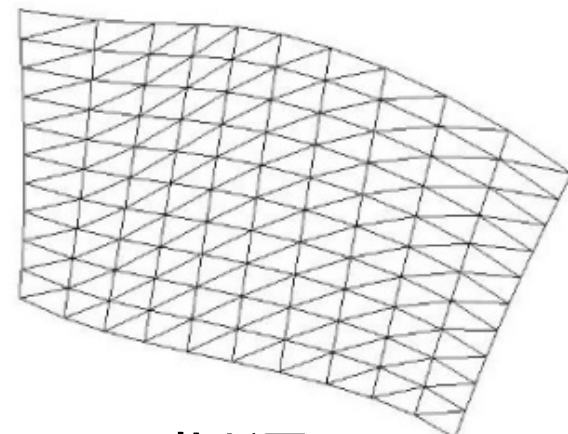
可展面投影図



可展面最適形状平面図



可展面最適形状斜投影図



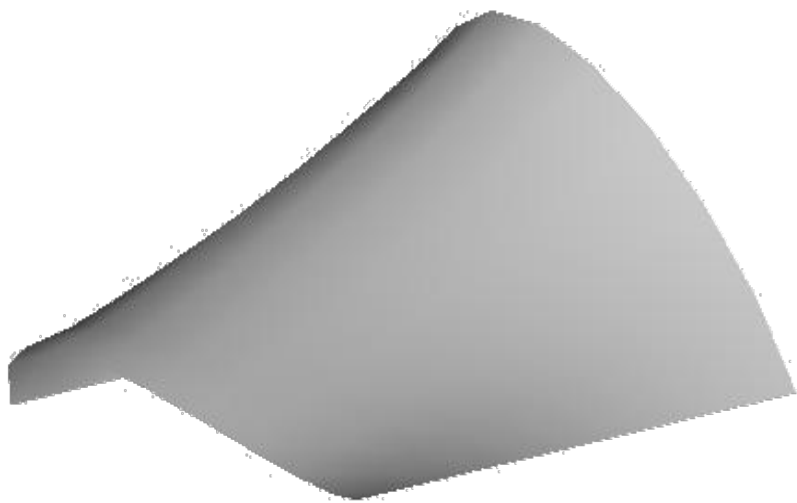
裁断図

- 単純なモデル

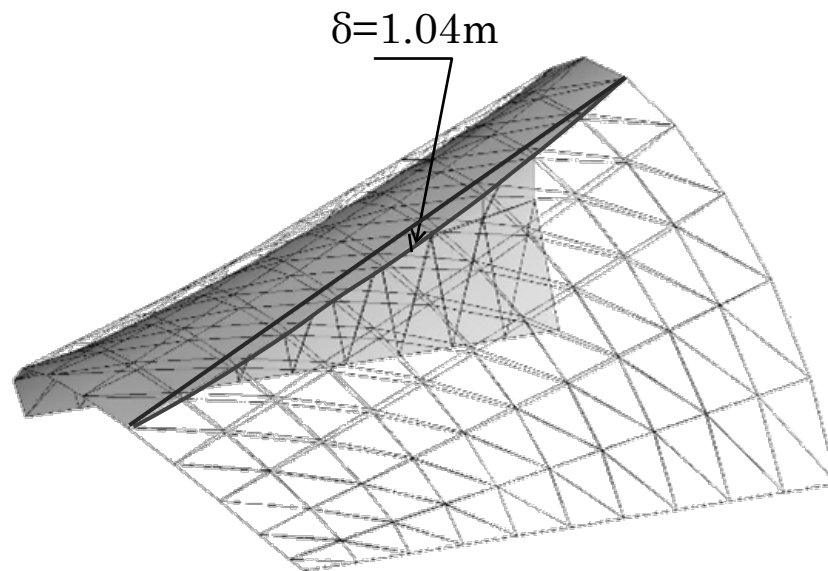
弾性係数	$E_x=243\text{kN/m}$	$E_y=227\text{ kN/m}$
ポアソン比	$V_{xy}=0.55$	$V_{yx}=0.51$
せん断剛性	$G_{xy}=76.84\text{ kN/m}$	$G_{yx}=76.84\text{ kN/m}$

目標応力 3.0KN/m^2

	最小値	最大値	平均値
σ_x	1.012	9.621	4.387
σ_y	0.127	8.724	2.892

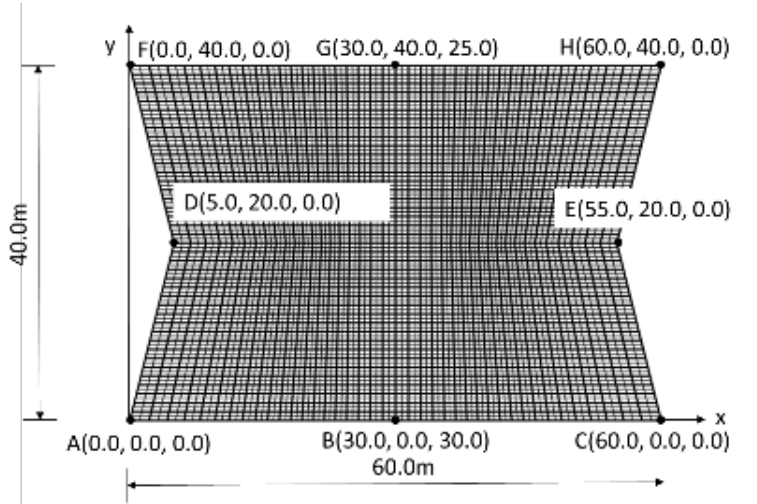


膜構造斜投影図

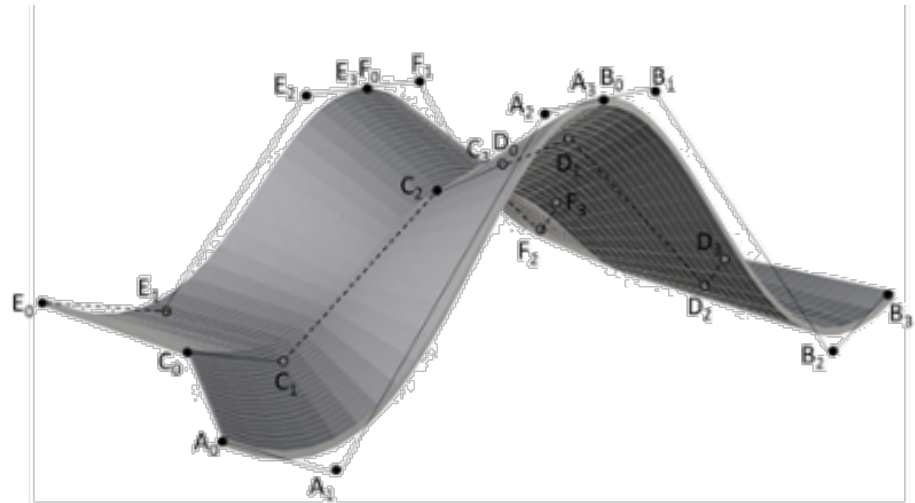


可展面と膜構造の比較

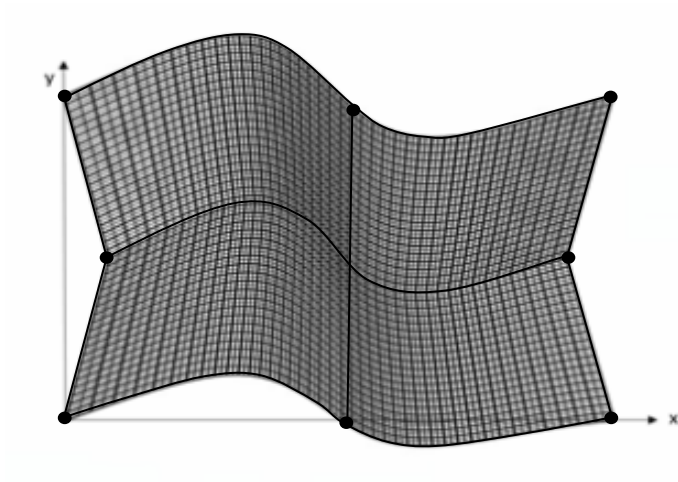
- 複雑なモデル



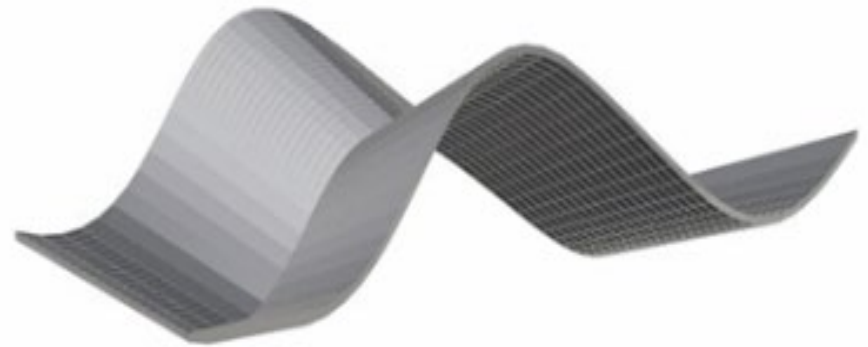
初期形状平面図



初期形状斜投影図



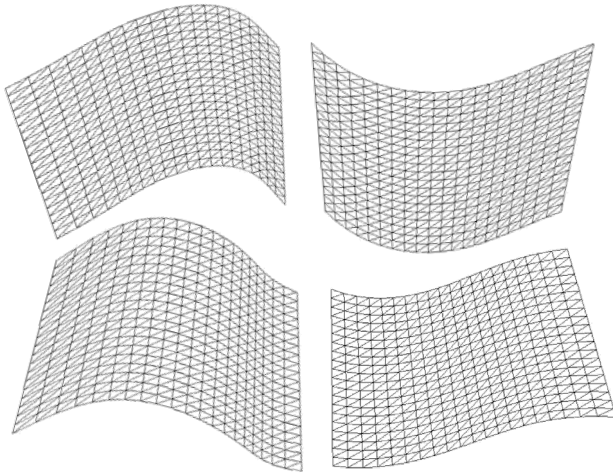
最適形状平面図



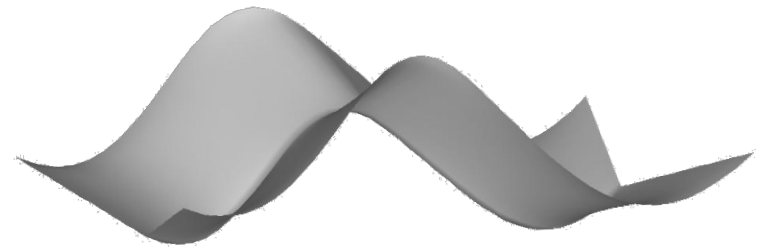
最適形状斜投影図

- 複雑なモデル

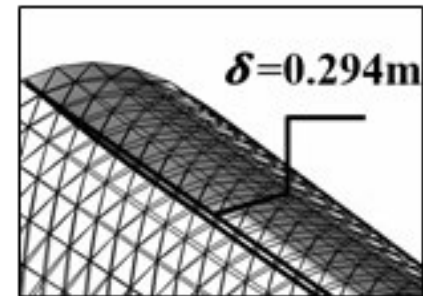
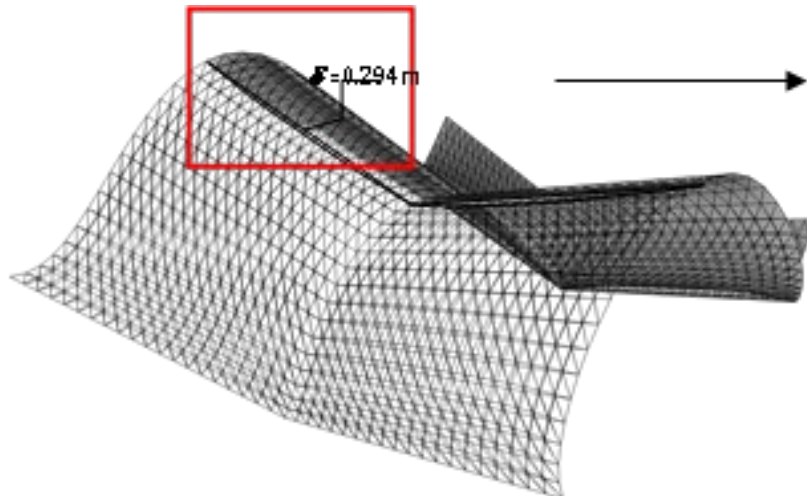
	最小値	最大値	平均値
σ_x	1.106	8.265	3.206
σ_y	0.599	7.400	2.589



裁断図



膜構造斜投影図



可展面と膜構造の比較

6. まとめ

- 可展面が持っている幾何学特性と力学合理性に着目して最適化を通じて合理的な可展面形状を求めた。
- 膜構造に転換する骨組み膜構造形態生成方法を提案。
- 合理的な可展面形態生成, 可展面から平面への投影, 可展面構造要素長さに近づくような最適化による裁断図の修正を実現。
- 希望張力による裁断図の縮小, ひずみエネルギー最小化などの操作を通じて安定化された釣り合い膜構造生成を実現した。