

膜構造物の初期設計支援システムに関する基礎的研究 －システムコンセプトと試作システムの開発－



鹿児島大学 理工学研究科 建築学専攻
建築計算工学 本間研究室
矢山 正大

1. はじめに



1.1 張力構造の特徴



アリアンツ・アリーナ
(ドイツ・ミュンヘン)

ミレニアム・ドーム
(イギリス・ロンドン)

デンバー国際空港
(アメリカ・デンバー)

モントリオール万博・ドイツ館
(ドイツ・モントリオール)

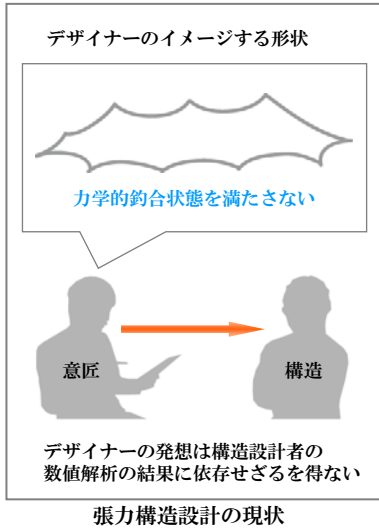
- ◆ 軽量で柱が少ないため大空間を合理的に構成できる
- ◆ 透光性があり、開放的な空間を構成できる
- ◆ 初期状態が形状不確定な状態で存在するため特殊な解析法を必要とする



応力-変形解析の前に初期形状解析や裁断図解析等、
張力構造特有の解析を行ない、初期設計形状を得る必要がある

1. はじめに

1.2 研究背景・目的



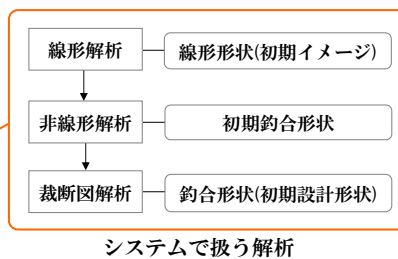
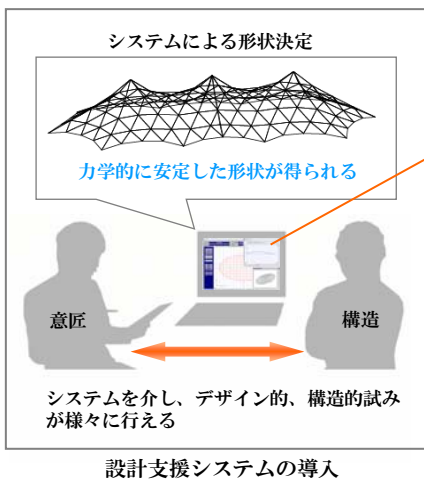
設計の流れは一方通行的
(意匠デザイン→構造設計→形状決定)
決定される設計形状は初期イメージと異なる

研究目的
「張力構造の形状決定段階における
設計支援システムの構築」

2. システムコンセプト

基本コンセプト

「張力構造の設計形状決定に関わる各解析を統一的に扱う」



初期イメージに近く、かつ力学的に安定した設計形状が得られる

3. システム概要

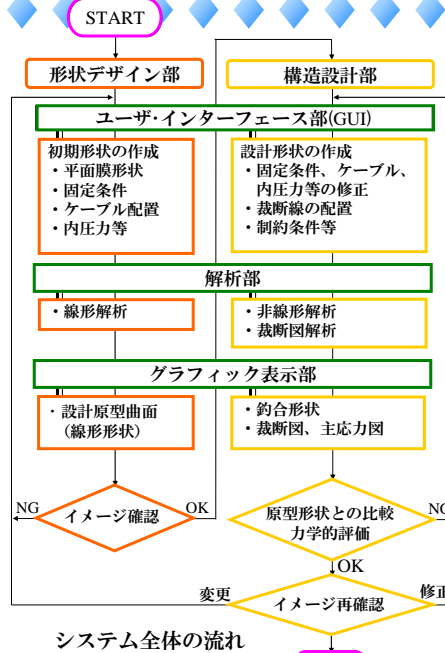
システム構成

- ◆ 形状デザイン部
イメージの形状化
- ◆ 構造設計部
初期形状を基に構造設計

開発言語

Visual Basic6.0
ユーザー・インターフェース部
グラフィック表示部

Fortran
解析部



膜構造物の初期設計支援システムに関する基礎的研究 -システムコンセプトと試作システムの開発-

4. 解析理論

座標値を未知量とした有限要素法

仮想仕事の原理より平衡方程式を導く

$$\mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{f}, \lambda) = \int_{\Omega} \mathbf{B}^*(\mathbf{X})^T \boldsymbol{\tau}(\mathbf{X}) d\Omega - \delta \mathbf{X}^T \lambda \mathbf{f} = \mathbf{0} \quad (1)$$

\mathbf{X} : 安定後の座標ベクトル, \mathbf{f} : 荷重モードベクトル, λ : 荷重パラメータ
 \mathbf{B}^* : ひずみ増分-変位増分関係行列式, $\boldsymbol{\tau}$: 応力, Ω : 解析領域, $\mathbf{0}$: 零ベクトル

膜要素の離散化平衡方程式

$$\frac{1}{4S_e} (\mathbf{Q}^T \mathbf{X}_e) \mathbf{D}_e \left[\frac{1}{8S_e^2} (\mathbf{X}_e^T \mathbf{Q} \mathbf{X}_e) + \mathbf{C}_e \right] - \lambda \mathbf{f}_e = \mathbf{0} \quad (2)$$

S_e : 要素面積, \mathbf{D}_e : 構成関係行列

接線剛性行列

$$\mathbf{K}_{te} = \mathbf{K}_{Ge} + \mathbf{K}_{Se} = \frac{1}{4S_e} \mathbf{Q}^T \boldsymbol{\tau}_e + \frac{1}{16S_e^3} (\mathbf{Q}^T \mathbf{X}_e) \mathbf{D}_e (\mathbf{X}_e^T \mathbf{Q}) \quad (3)$$

\mathbf{K}_{Ge} : 幾何剛性行列, \mathbf{K}_{Se} : 線形+大変位剛性行列

最適化手法を用いた裁断図解析

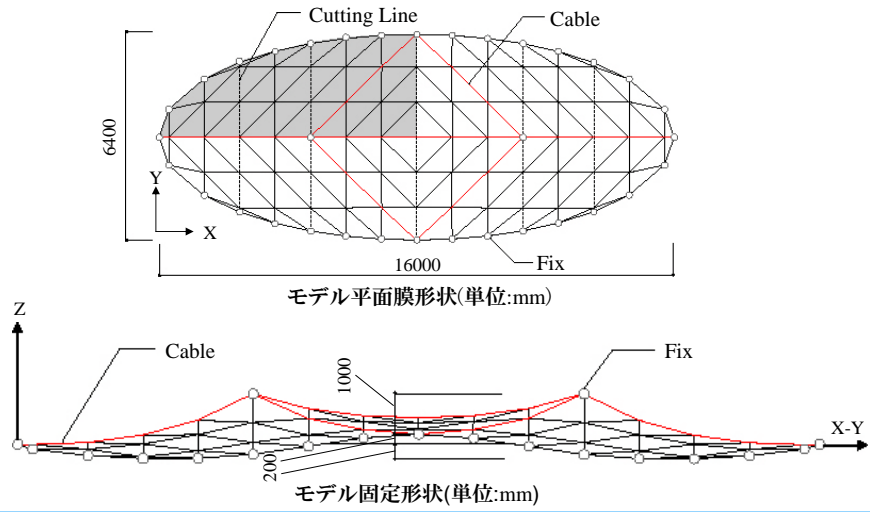
逐次2次計画法(SQP法)により応力指定問題を扱う

膜構造物の初期設計支援システムに関する基礎的研究 -システムコンセプトと試作システムの開発-

5. 試作システム ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆

5.1 試作システム起動

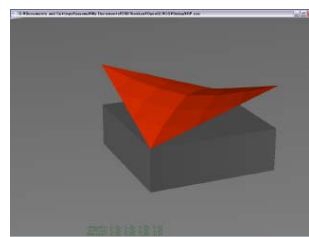
◆ サスペンション膜モデル設計シミュレーション



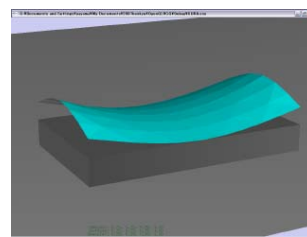
膜構造物の初期設計支援システムに関する基礎的研究 -システムコンセプトと試作システムの開発-

5. 試作システム ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆

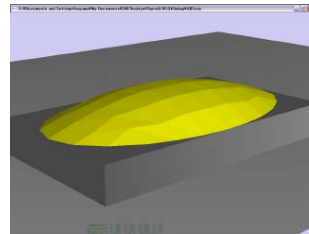
5.2 CGによる形状確認



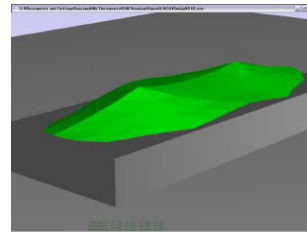
HP曲面モデル



鞍型曲面モデル



空気膜モデル



サスペンション膜モデル

膜構造物の初期設計支援システムに関する基礎的研究 -システムコンセプトと試作システムの開発-

