CAEソフトウェアと連携したリンク機構の形状最適化の実現

351304070　小島　雄一郎

論文要旨

リンク結合された複数の剛体からなる構造をリンク機構という．リンク機構の運動は各剛体の運動方程式と運動制約条件から構成された微分代数方程式の初期値問題としてモデル化される．畔上研究室では，この初期値問題が定義された剛体の形状最適化問題に対する解法が示され，自作のプログラムによりクランク機構の最適形状に対する数値例が示された．本研究では，初期値問題のソルバーを汎用 CAE ソフトウェアに置き換え，様々なリンク機構に対してリンク機構の形状最適化が行えるようにすることを目的とした．

問題設定は次のようである．$\mathcal{L}$ をリンクに付けられた番号の集合とする．$l \in \mathcal{L}$ に対して $\Omega_{0l} \subset \mathbb{R}^2$ を各リンクの初期領域とする．$\boldsymbol{\phi}_l : \Omega_{0l} \to \mathbb{R}^2$ を領域変動として，$\boldsymbol{\phi} = \{\boldsymbol{\phi}_l\}_{l\in\mathcal{L}}$ とかく．また，$(0, t_{\mathrm{T}})$ を時間とする．リンク $l \in \mathcal{L}$ の剛体運動を $\boldsymbol{q}_l(t) = (\boldsymbol{x}_{\mathrm{G}l}(t) - \boldsymbol{x}_{\mathrm{G}l}(0), \theta_l(t))^{\mathrm{T}}$ とおく．ただし，$\boldsymbol{x}_{\mathrm{G}l} : (0, t_{\mathrm{T}}) \to \mathbb{R}^2$ と $\theta_l : (0, t_{\mathrm{T}}) \to \mathbb{R}$ を重心位置と回転とする．さらに，$\boldsymbol{q} = \left(\boldsymbol{q}_1^{\mathrm{T}}, \cdots, \boldsymbol{q}_{|\mathcal{L}|}^{\mathrm{T}}\right)^{\mathrm{T}}$ を全体系の剛体運動とする．主問題は次のように定義された．$\boldsymbol{\phi}$ が与えられたとき，

$$\boldsymbol{M}(\boldsymbol{\phi})\,\ddot{\boldsymbol{q}} = \boldsymbol{s}(\boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{q}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{p}) \text{ and } \boldsymbol{\psi}(\boldsymbol{q}) = \boldsymbol{0} \quad \text{in } (0, t_{\mathrm{T}}), \quad \boldsymbol{q}(0) = \boldsymbol{q}_0 \text{ and } \dot{\boldsymbol{q}}(0) = \boldsymbol{q}_1$$

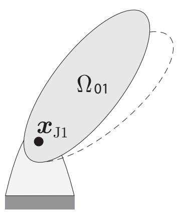
を満たす $\boldsymbol{q}$ を求めよ．ただし，$\boldsymbol{M} \in \mathbb{R}^{|\mathcal{L}|\times|\mathcal{L}|}$ を一般化質量，$\boldsymbol{s}$ を境界力 $\boldsymbol{p}$ と体積力 $\boldsymbol{b}$ による一般化外力，$\boldsymbol{\psi}(\boldsymbol{q}) = \boldsymbol{0}$ を運動制約とする．目的関数 f_0 と制約関数 f_1 を

$$f_0(\boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{y}) = -\int_0^{t_{\mathrm{T}}} \boldsymbol{s}(\boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{q}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{p}_{\mathrm{N}}) \cdot \dot{\boldsymbol{q}}\, \mathrm{d}t, \quad f_1(\boldsymbol{\phi}) = c_1 - \sum_{i\in\mathcal{L}} \int_{\Omega_l(\boldsymbol{\phi}_l)} \mathrm{d}x$$

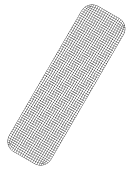
とおいた．ただし，c_1 は領域の大きさの上限値を表す正の実数である．

本研究により，次の結果が得られた．

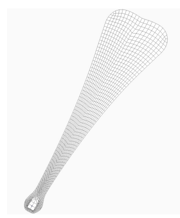
- CAE ソフトウェアと連携して，評価関数 f_0 と f_1 の $\boldsymbol{\phi}$ に対する微分を求め，H^1 勾配法で形状を更新していくプログラムを作成した．
- 重力下の単振子に対して，重心が振り子の先端に移動するような形状更新が得られた．また，クランク機構に対して，先行研究と同様の結果が得られた．



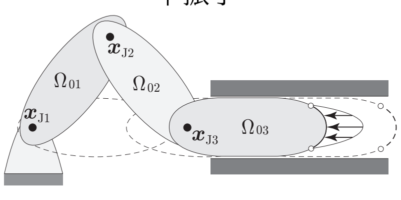
単振子



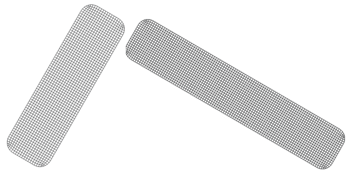
初期形状 Ω_{01}



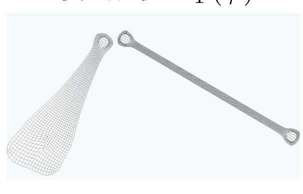
最適形状 $\Omega_1(\boldsymbol{\phi})$



クランク機構



初期形状 Ω_{01}



最適形状 $\Omega_1(\boldsymbol{\phi}) \cup \Omega_2(\boldsymbol{\phi})$