

詳細メッシュ合成に基づくメッシュモデルの丸め処理

3K-1

伊達 宏昭, 金井 理, 岸浪 建史

北海道大学大学院工学研究科

1. はじめに

本研究では、パラメタライゼーションを用いた局所的かつ高精度な詳細メッシュ合成による、表面に微細な形状を含む設計対象のメッシュモデリング手法を提案してきた^[1]。本報告では、提案した詳細メッシュ合成手法を拡張し、三角形メッシュモデルの工学的応用で重要となる、径、及び、幅の指定による局所的な丸めを実現する一手法を提案する。丸め部分の形状は詳細メッシュとして設計され、丸め処理は、既提案のメッシュ合成法と関数の拡張を用いて詳細メッシュを基本形状に合成することで実現される。

2. 詳細メッシュ合成手法

既提案の詳細メッシュ合成手法^[1]の概要を図 1 に示す。入力は、三角形メッシュモデル $M(M(P,K))$ 、頂点位置 $P = \{p_i \in R^3 | 1 \leq i \leq n\}$ 、位相 $K = V \cup E \cup F$ 、頂点 $i \in V$ 、稜線 $(i,j) \in E$ 、面分 $(i,j,k) \in F$ で表現された基本形状 M_B 、及び、詳細メッシュ M_D である。まず、 M_B, M_D に対し写像 ϕ_B, ϕ_D を用いて各々のパラメタライゼーション $G_B, G_D (G(Q,K'))$ 、頂点位置 $Q = \{q_i \in R^3 | 1 \leq i \leq m, m \leq n\}$ 、位相 $K' \subseteq K$ を得る。次に、パラメータ平面上で G_B と G_D の位相の合成を行い、最後に、基本形状の逆写像 ϕ_B^{-1} 、表面詳細の z 値分の法線方向オフセットを行う微小修正関数 $g \cdot \phi_D^{-1}$ を適用し詳細メッシュが合成された形状 M_C を得る。

3. 局所的な形状丸め手法

メッシュモデルに対する丸め処理は、細分割処理による方法^[2]、フィルタリング処理による方法^[3]が提案されている。しかし、これらの手法は指定した領域のみを局所的に丸めること、及び、丸め形状の制御が困難である。本研究では、メッシュモデルの工学的応用を考え、上述の課題を解決可能な、設計者により丸めの径及び幅を陽に指定できる丸め処理^[4](図 2)を実現する。

図 1 に詳細メッシュ合成手法を拡張した丸め処理の概要を示す。拡張点は、(1)丸めを実現する詳細メッシュの設計、(2)丸めの境界となるトリム線の導出、(3)丸

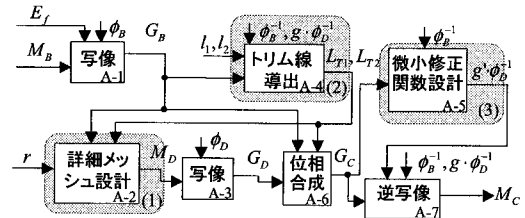


図1 詳細メッシュ合成手法と丸め処理への拡張点(灰色)

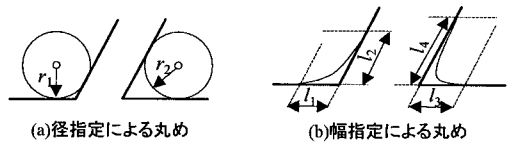


図2 本研究で取り扱う形状丸めの種類

めを実現する微小修正関数の構成と詳細メッシュの合成である。

3.1 径指定による丸め処理

入力にメッシュモデル M_B 、丸め径 r 、丸めの中心となる稜線系列 E_f である(図 3(a)左)。結果として、 E_f を挟む面分集合 S_1, S_2 の径分のオフセット面の交線(指導線)から距離 r となる丸め形状が得られる(図 3(d)左)。まず、 S_1, S_2 を既提案の手法により、 E_f がパラメータ平面で直線分(v 軸平行)となるように写像する(図 1, A-1、図 3(c)左)。**詳細メッシュ設計(図 3(b)左)**： S_1, S_2 に対応する G_B の領域に対し、絶対値が丸め径、符号が稜線の凹凸特性に対応した z 値を持つ詳細メッシュを設計する。

トリム線の導出(図 3(c)左)：既提案の手法で詳細メッシュを合成し、 S_1, S_2 の丸め径 r 分のオフセット面 O_1, O_2 を得る。 O_1, O_2 の交線計算を行い、得られた線分(指導線 L_i)を O_1, O_2 内の面分の重心座標を用いて表現し、パラメータ平面上で 2 本のトリム線の像 $\phi_B(L_{T1}), \phi_B(L_{T2})$ を得る。

詳細メッシュの合成(図 3(d)左)：トリム線の像に挟まれる領域の G_B, G_D を合成し、 G_C を得る。 G_C に対し逆写像 ϕ_B^{-1} を用いて幾何が基本形状と同一の形状 \tilde{M}_C を得る。次に、各頂点と指導線の距離が丸め径 r となるように、 \tilde{M}_C の頂点位置を指導線方向へ修正する。この修正を実現する微小修正関数を式(1)に示す。

$$g \cdot \phi_D^{-1}(\mathbf{q}_i) = (\|\mathbf{p}_r - \phi_B^{-1}(\mathbf{q}_i)\| - \phi_D^{-1}(\mathbf{q}_i)|_z) \mathbf{n}_i \quad (1)$$

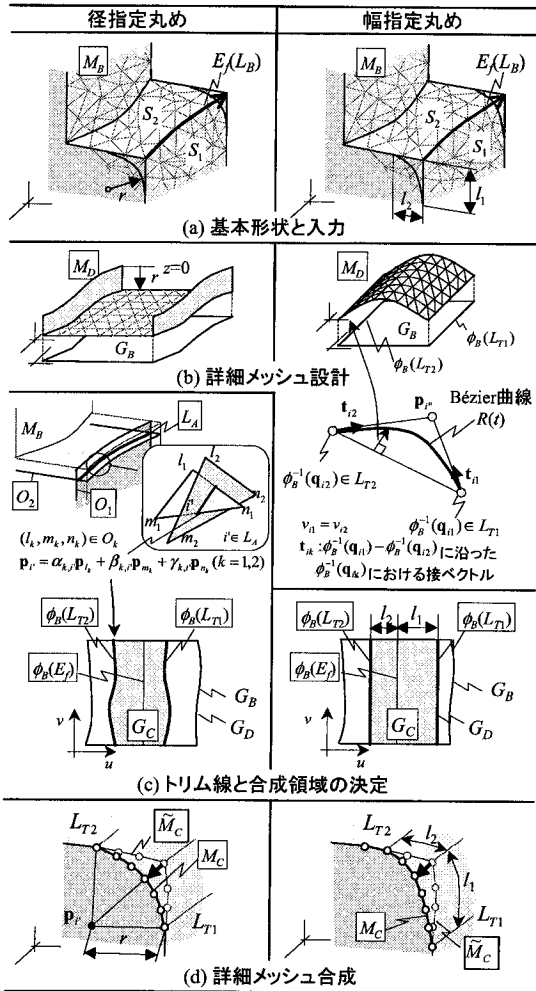


図3 径指定及び幅指定丸め処理手順

ここで、 \mathbf{n}_i は頂点 i の位置における指導線方向の方向ベクトル ($\mathbf{n}_i = (\mathbf{p}_i - \phi_B^{-1}(\mathbf{q}_i)) / \|\mathbf{p}_i - \phi_B^{-1}(\mathbf{q}_i)\|$)、 \mathbf{p}_i は頂点 i に対応する L_A 上の頂点位置である。

3.2 幅指定による丸め処理

入力は、 M_B 、 E_f 、及び、丸めの幅を指定する E_f からの距離 l_1, l_2 である(図 3(a)右)。結果として、 E_f から距離 l_1, l_2 内の M_B の領域が、2 次 Bézier 曲面を近似するように丸められる(図 3(d)右)。

トリム線の導出(図 3(c)右)： G_B 上の $\phi_B(E_f)$ から l_1, l_2 の距離にある直線分が、トリム線の像 $\phi_B(L_{T1})$ 、 $\phi_B(L_{T2})$ である。

詳細メッシュの設計(図 3(b)右)： トリム線の像に囲まれる G_B の領域に対応する詳細メッシュを設計する。詳細メッシュの頂点の z 値は、図 3(b)右に示す、トリム線の

点間に定義された Bézier 曲線の高さを与える。

詳細メッシュの合成(図 3(d)右)： 丸め径指定法と同様にして \tilde{M}_C を得る。次に、丸め部の断面上の頂点が 2 本のトリム線上の頂点を補完する 2 次 Bézier 曲線上に来るように \tilde{M}_C の頂点位置を修正する。この頂点の修正を実現する微小修正関数を式(2)に示す。

$$g' \phi_B^{-1}(\mathbf{q}_i) = t_i \phi_B^{-1}(\mathbf{q}_{i1}) + (1-t_i) \phi_B^{-1}(\mathbf{q}_{i2}) + \phi_B^{-1}(\mathbf{q}_i) |z_i \mathbf{n}_i - \phi_B^{-1}(\mathbf{q}_i)| \quad (2)$$

ここで、 t_i はパラメータ平面における頂点位置 \mathbf{q}_i のトリム線間のパラメータ表現におけるパラメータ、 \mathbf{n}_i はトリム線を結ぶ線分に対する断面上の法線ベクトルである。

また、丸めの径 r 及び幅 l_1, l_2 は E_f に対するパラメータ表現を用いて可変にできる。

4. 適用結果

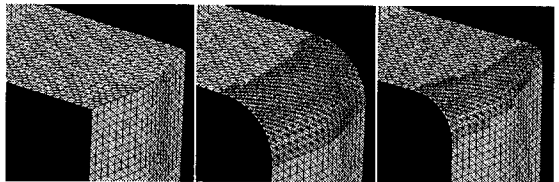
本手法を適用して、図 4(a)に示す形状に対し径指定型丸め法で、一定径、及び、徐変径の丸め形状を生成した結果を同図(b)(c)に示す。丸めを指定された稜線系列近傍が、指示された径で丸められていることが確認された。

5. 終わりに

本報告では、パラメタライゼーションに基づくメッシュ合成手法を用いた、三角形メッシュモデルに対する丸めの径及び幅指定による局所的な形状丸め手法を提案した。複雑な凹凸からなるコーナー部への適用が課題である。手法は、工学的要求を考慮した三角形メッシュモデルの設計自由度の向上と FEM 解析モデル生成、修正の柔軟性向上を可能とする。

[参考文献]

- [1] 伊達宏昭, 金井理, 岸浪建史: 表面詳細を含む設計対象のメッシュモデリングと多重解像度表現. 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究報告, 2001-CG-102, v. 2001, n. 14, pp. 43-48, 2001
- [2] 例えば, Zheng XU et.al.: A Fillet Operation with Recursive Subdivision Surfaces, Proc. of Sixth IFIP WG5.2 International Workshop on Geometric Modeling: Fundamentals and Applications (GEO-6), pp. 244-252, 1998
- [3] 例えば, G. Taubin: A Signal Processing Approach to Fair Surface Design, In Computer Graphics Proceedings (SIGGRAPH '95), pp. 351-358, 1995
- [4] Josef Hoschek and Dieter Lasser: Fundamentals of Computer Aided Geometric Design, A K Peters Wellesley, Massachusetts, pp. 572-601, 1993



(a)オリジナル形状 (b)径指定丸め(一定径) (c)径指定丸め(徐変径)
図4 本手法適用結果