

2002 年度 卒 業 論 文

Bezier 曲線を使ったメッシュの近似 G1 連続に  
基づく、自然な接合の実現に関する研究

指導教員：渡辺 大地  
和田 篤

メディア学部 3D アプリケーション構築プロジェクト

学籍番号 99p375

藤田 直哉

2003年3月

2002 年度 卒 業 論 文 概 要

論文題目

Bezier 曲線を使ったメッシュの近似 G1 連続に基づく、自然な接合の実現に関する研究

メディア学部  
学籍番号: 99p375

氏  
名

藤田 直哉

主査  
副査

渡辺 大地  
和田 篤

キーワード コンピュータグラフィック 三角形メッシュ Bezier 曲線 モデリング

近年、高性能な計算機の普及に伴い、様々な場面で 3 次元コンピュータグラフィック (3DCG) が利用されるようになってきた。3DCG において三角形メッシュは、構成要素が単純なため加工が容易であり、研究が盛んに行われている。3DCG において物体の形状をモデリングする際、基本的な部品ごとにデザインしておき、後にそれらを接合してひとつの形状を作り出すようなモデリングを行いたい場合がある。複雑な形状を作らなければならない場合、そのような要求はより高くなる。しかし、2つのポリゴンメッシュをなめらかに接合しようとした場合、モデラーを使って手作業で行うと労力と時間を費やしてしまう。本文論では、2つの三角形メッシュの間に、補間メッシュをモデリングすることにより、滑らかな接合を実現する。補間メッシュは、2つの三角形メッシュに用意した断面間に計算した、Bezier 曲線上にモデリングしていく。

## 目次

第 1 章	序論.....	1
1.1	背景.....	1
1.2	本論文の目的.....	1
第 2 章	補完メッシュの作成手法.....	3
2.1	表記定義.....	3
2.2	手法の目的.....	3
2.3	手法の概念.....	3
2.4	本手法の手順説明.....	4
2.4.1	Bezier 曲線を描く作業平面の設定.....	4
2.4.2	対応頂点の再設定.....	5
2.4.3	Bezier 曲線群の生成.....	5
2.4.4	補完メッシュの作成.....	9
2.5	急な湾曲への対応.....	10
第 3 章	評価.....	12
3.1	二つ断面の形状が同じ場合.....	12
3.2	断面の形状が違う場合.....	13
3.3	それぞれの断面を構成する頂点が同一平面上にない場合.....	15
3.4	2 つの断面の上下の変化がちがう場合.....	16
3.5	断面に急激な変形がある場合.....	18
第 4 章	結論と考察.....	21
	謝辞.....	23
	参考文献.....	24

# 第1章 序論

## 1.1 背景

近年、高性能な計算機の普及に伴い、様々な場面で 3 次元コンピュータグラフィック (3DCG) が利用されるようになってきた。3DCG において物体の形状をモデリングする際、基本的な部品ごとにデザインしておき、後にそれらを接合してひとつの形状を作り出すようなモデリングを行いたい場合がある[9]。複雑な形状を作らなければならない場合、そのような要求はより高くなる。

しかしながら、3次元形状をモデリングする際に最も一般的であるポリゴンではそのような接合は難しい[10]。機械部品のように接合部の形状が単純な場合は、接合するために手間は少なく、実現も比較的容易だが、生物のように接合部の滑らかに保つ必要がある場合、作成者が手作業で滑らかな形状に再加工する必要があり、多大な労力を費やすことになる。また、このような作業はたいてい試行錯誤しながら修正することが必要とするため、なかなか思い通りにモデリングができないことが多い。メタボール[11][12]というポリゴンモデルのモデリング手法があるが、プリミティブといわれる基本形状を、融合させてモデリングするため、複雑な形状同士を接合することはできない。CAD で、2つの断面間に補間形状をつくるスキニング[4][8]という手法があるが、この手法は、曲線ベースのモデルにしか対応しておらず、ポリゴンモデルには対応していない。このような問題を解決する方法として、物体同士を接合するのではなく、ある物体に別の物体を埋め込む、メッシュフュージョン[1]という手法が提案されている。このメッシュフュージョンでは、3角メッシュを使った3次元モーフィング[2]をメッシュの一部に適用することで、あるメッシュの一部を他のメッシュに埋め込むことができる。しかし、メッシュフュージョンは、位相関係がちがう2つのメッシュを合成することを前提にしているため、変形後、位相要素が膨大になってしまい、その後のモデリング操作の負担が増えてしまう。そのため、メッシュフュージョンは、変形を行うには非常に有効な手法であるが、モデリングの途中の過程で用いるには適していない。

## 1.2 本論文の目的

本手法は、補間するメッシュの位相状態が規則的であるため、モデリングの途中で使うことを想定している。三角形平面だけで構成されたポリゴンメッシュを三角形メッシュと言う。本研究では、2つの三角形メッシュ間に補間メッシュを作成することにより、2つの

三角形メッシュの接合を実現する。具体的には、Bezier 曲線[3][5][6]を用いたメッシュを、2つの三角形メッシュに用意した断面間に生成し、接合部分の補間メッシュとする。

ポリゴンモデルは主に、インタラクティブな目的で使われることが多く、厳密な精度を要求することが少ない。今回、インタラクティブな目的で使う様な、滑らかに接合しているように見える接合の実現をめざす。作成した補間メッシュの滑らかさは、厳密に数値的な滑らかさではなく、見た目の滑らかさを達成することを目的にしており、画像によって評価する。

## 第2章

## 補完メッシュの作成手法

### 2.1 表記定義

本論文における三角形メッシュの数式表現は、以下のように定める。

複体  $K$  は、頂点集合  $v = \{i\} \subset K$ 、稜線集合、 $\{i, j\} \subset K$ 、三角形面集合  $f = \{i, j, k\} \subset K$  の3種類の要素から成り立つ。ただし、稜線  $\{i, j\}$  は、 $\{i\}$  と  $\{j\}$  を両端点に持ち、三角形面  $\{i, j, k\}$  は、 $\{i\}$ 、 $\{j\}$ 、 $\{k\}$  を頂点に持つ。

頂点  $\{i\}$  が、三角形面  $\{i, j, k\}$  の頂点の1つだったとき、頂点  $\{i\}$  に三角形面  $\{i, j, k\}$  が接続するという。

二つの三角形面が同じ稜線  $\{i, j\}$  を共有する場合、二つの三角形面は隣り合うという。

$N_f(i)$  は、頂点  $\{i\}$  に接続する三角形面の集合と定める。

### 2.2 手法の目的

別々に用意したメッシュ同士を接合して、生物などをモデリングする場合、接合部は滑らかでならない。本手法では、2つの三角形ポリゴン間に用意しておいた断面間に、滑らかに接合する補間メッシュの作成を実現する。

### 2.3 手法の概念

本研究で提案する手法は、図 2.1 のように、2つの三角形メッシュの断面間で対応付けられた頂点をつなぐ Bezier 曲線を考え、これを補間メッシュに利用するものである。

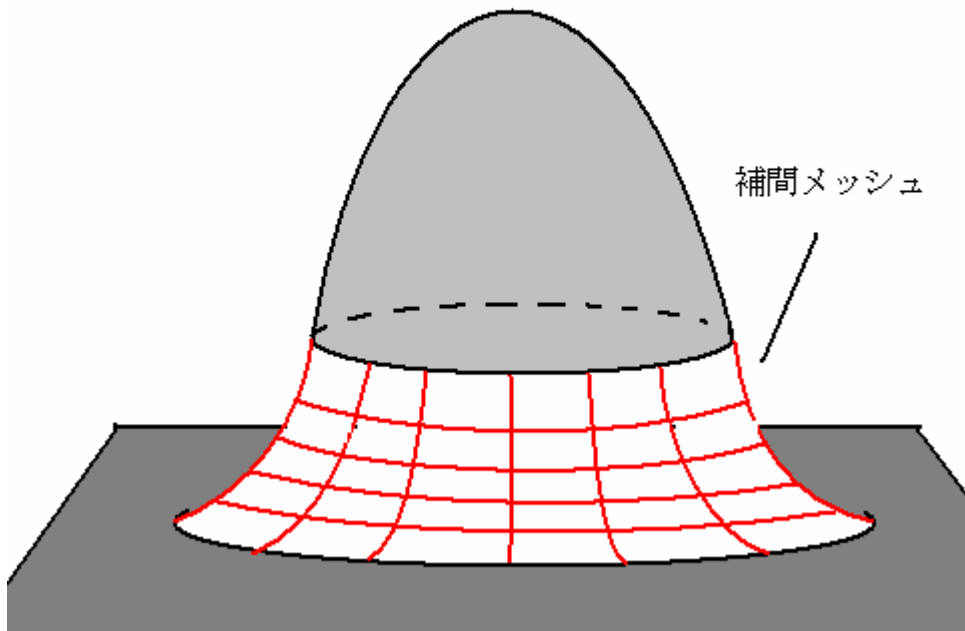


図 2.1: 補間メッシュの作成図

## 2.4 本手法の手順説明

本手法の手順は以下のようになる。

- 1、Bezier 曲線を描く作業平面の設定
- 2、対応頂点の再設定
- 3、Bezier 曲線群の生成
- 4、補間メッシュの作成

### 2.4.1 Bezier 曲線を描く作業平面の設定

まず、2つの三角形メッシュを  $K_1, K_2$  とする。  $K_1$  と  $K_2$  の接合境界線を、それぞれ  $L_1, L_2$  とする。  $L_1$  と  $L_2$  から、それぞれ  $V_{11}$  と  $V_{21}$  を指定することによって、1対のペアができる。指定した一対のペアから、Z 軸の負の方向に、順番に断面間に対応関係を作っていく。すると、全ての  $L_1$  と  $L_2$  を構成する頂点間にそれぞれ、対応関係ができ、  $L_1$  側を  $V_{1i}$ 、  $L_2$  側を  $V_{2i}$  とする ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )。この対応関係を持つ2つの接合境界線の頂点のペアを

対応頂点と呼ぶ。

ここで、2つの点  $\mathbf{O}_1$ 、 $\mathbf{O}_2$  を通る直線を考え、これを中心線と呼ぶこととする。

ただし、 $\mathbf{O}_1$ 、 $\mathbf{O}_2$  は次のように与えられる。

$$\mathbf{O}_1 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^i \mathbf{V}_{1k}$$

$$\mathbf{O}_2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^i \mathbf{V}_{2k}$$

次に、この中心線と  $\mathbf{V}_{1i}$  を通る平面  $S_i$  を考え、これを作業平面と呼ぶこととする。

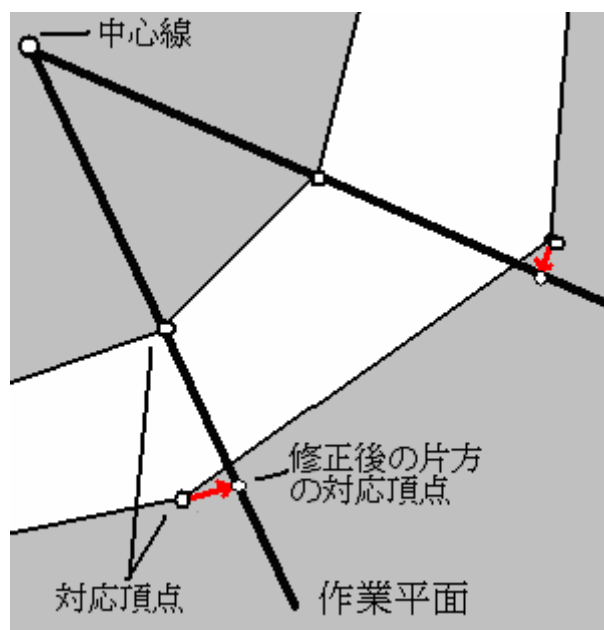


図 2.2: 射影で、対応頂点の片方の位置を修正する図

## 2.4.2 対応頂点の再設定

図 2.2 のように作業平面  $S_i$  に対して  $\mathbf{V}_{2i}$  の正射影を投射する。このとき、投射[7]される点を  $\mathbf{V}'_{2i}$  とする。

## 2.4.3 Bezier 曲線群の生成

作業平面上の対応頂点間に、Bezier 曲線を作っていく。



Bezier 曲線は、いくつかの制御点を設定することによって、描くことができる。曲線は、始点と終点を通り、途中の制御点に影響を受ける。ここでは、制御点をどのように設定しておくかを述べる。

$V_{1i}$ 、 $V_{2i}$  に接続するポリゴン群をそれぞれ、 $N_f(V_{1i})$ 、 $N_f(V_{2i})$  とする。これらと、作業平面  $S_i$  交線を求める。本手法は、図 2.3 のように、1 枚のポリゴンと作業平面  $S_i$  が、交差する場合と、2 枚のポリゴンが接する場合、そして 1 枚のポリゴンしか接しない場合しか対応できない。ここで言う接するとは、ポリゴンを構成する線分の 1 線のみが、作業平面上にあるということである。1 枚しかポリゴンが接しない状況とは、もう一方のポリゴンが、作業平面上にある場合である。もし、対応頂点に接続するポリゴン群が、すべて作業平面上にあり、接するポリゴンが無い場合は、本手法では、対応できない。

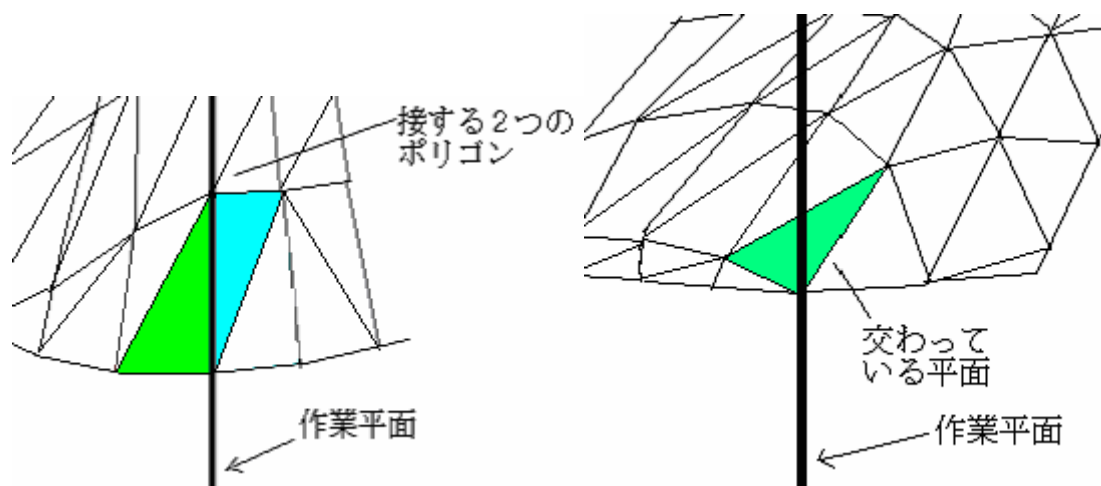


図 2.3: 作業平面と交差するポリゴン (左) 作業平面と接するポリゴン (右)

作業平面上にはそれぞれ 2 本ずつの交線が検出される。

求めた交線を利用して、Bezier 曲線の制御点を設定する。

その 2 本交線を延長した直線を考え、その交点を求める。図 2.4 のように、交点を  $C_i$  設定する制御点を  $Q_i$ 、 $R_i$  とすると  $Q_i$ 、 $R_i$  は次式で与えられる。

$$Q_i = s C_i + (1 - s) V_{1i}$$

$$R_i = s C_i + (1 - s) V_{2i}$$

$$(0 < s < 1)$$

ただし、 $s$  はユーザが設定するパラメータである。

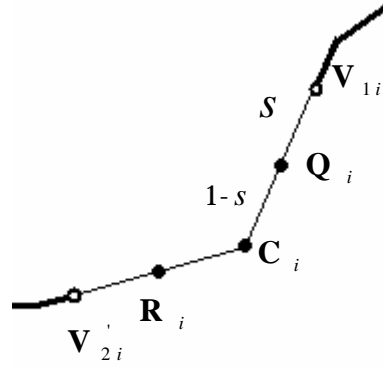


図 2.4: Bezier 曲線の制御点の計算

図 2.5 のように、2 直線が平行な場合は、対応頂点の中心点を求め、求めた中心点から、2 直線に射影した点と、対応頂点の間に、対応頂点から割合  $s$  の場所に制御点を置く。図 2.6 は実際、2 直線が平行だった場合の補間メッシュ作成の様子である。

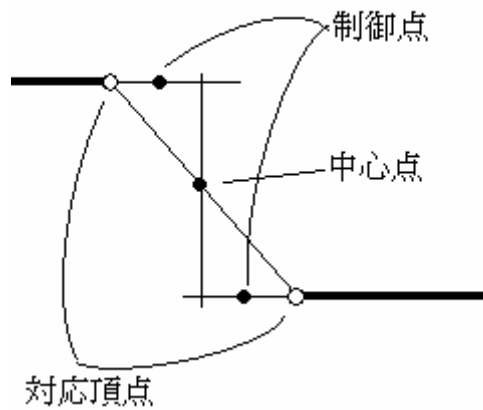


図 2.5: 直線が平行で、一致しない場合

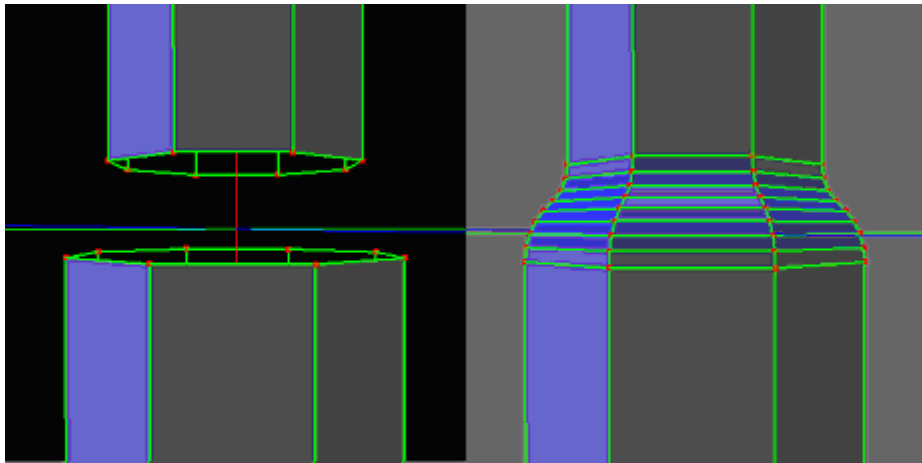


図 2.6: 直線が平行なオブジェクトを接合する前(左) 接合した後(右)

$V_{1i}$ 、 $V_{2i}'$ 、 $Q_i$ 、 $R_i$  を制御点として 3 次の Bezier 曲線を生成する。

$V_{1i}$ 、 $V_{2i}'$ 、 $Q_i$ 、 $R_i$  を制御点としてから、作業平面上に Bezier 曲線[3][5][6]を計算する。

生成する Bezier 曲線は次式で与えられる。図 2.7 は、4 つの制御点  $V_{1i}$ 、 $V_{2i}'$ 、 $Q_i$ 、 $R_i$  から、Bezier 曲線を描いたものである。

$$B_i(t) = (1-t)^3 V_{1i} + 3(1-t)^2 t Q_i + 3(1-t)t^2 R_i + t^3 V_{2i}'$$

(0    t    1)

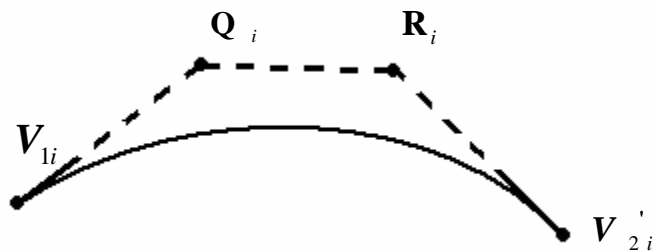


図 2.7: 3 次 Bezier 曲線

#### 2.4.4 補完メッシュの作成

生成した Bezier 曲線  $B_i$  上に頂点  $\mathbf{P}_{ij}$  ( $j = 1, 2, 3 \dots m$ ) を置く。  $m$  はユーザが設定する。

このとき、  $\mathbf{P}_{ij}$  の座標は次式で与えられる。

$$\mathbf{P}_{ij} = (1 - t_j)^3 \mathbf{V}_{1i} + 3(1 - t_j)^2 t_j \mathbf{Q}_i + 3(1 - t_j) t_j^2 \mathbf{R}_i + t_j^3 \mathbf{V}_{2i}$$

$$t_j = j/(m+1)$$

図 2.8 のように、こうしてできた  $\mathbf{P}_{ij}$  と  $\mathbf{P}_{(i\pm 1)(j\pm 1)}$  を結び、補間メッシュとする。

ただし  $\mathbf{P}_{i1}$  は  $\mathbf{P}_{im}$  と結ぶものとする。

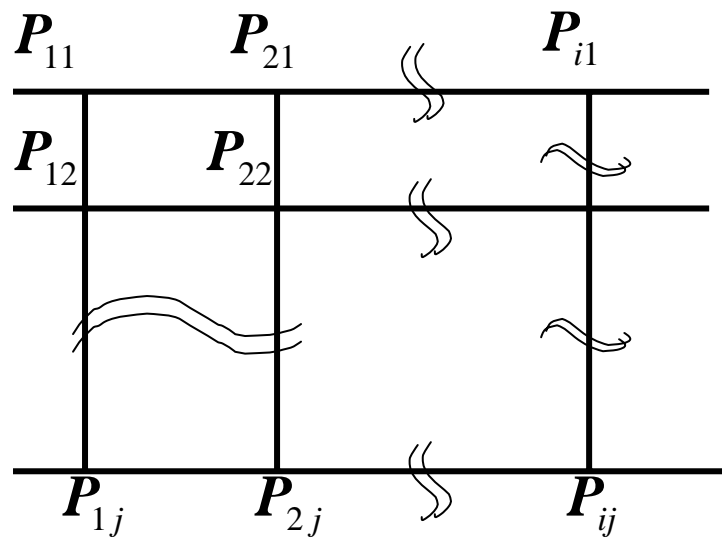


図 2.8: 頂点を結び、補間メッシュ作成

生成された 4 角形ポリゴンの 4 頂点は、同一平面上にあることが保証されていない。ポリゴンを構成する頂点が同一平面上にない場合、環境によっては表示できなくなってしまう。そのため、4 角形ポリゴンを二つの三角形ポリゴン  $\{\mathbf{P}_{ij}, \mathbf{P}_{(i)(j+1)}, \mathbf{P}_{(i+1)(j+1)}\}$  と  $\{\mathbf{P}_{ij}, \mathbf{P}_{(i+1)(j+1)}, \mathbf{P}_{(i+1)(j)}\}$  に分割する。図 2.9 は、 $\mathbf{P}_{ij}$ 、 $\mathbf{P}_{(i)(j+1)}$ 、

$P_{(i+1)(j)}$ 、 $P_{(i+1)(j+1)}$  からなる 4 角形ポリゴンを、2 分割して二つの三角形にした図である。

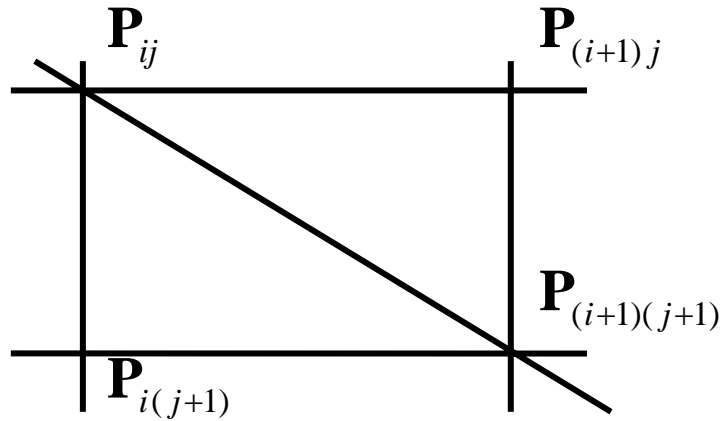


図 2.9: 作った 4 角形ポリゴンを三角形に 2 分割した様子

## 2.5 急な湾曲への対応

本手法は、急な湾曲に対して、望ましい結果が得られない可能性がある。

具体的には、対応頂点  $V_{1i}$  か  $V_{2i}$  どちらかと交点  $C_i$  の位置が一致するか、きわめて近い場合、制御点  $Q_i$ 、 $R_i$  の位置関係により、その対応頂点に Bezier 曲線が滑らかさに接合しなくなる。図 2.10 は、 $V_{1i}$  と  $C_i$  がきわめて近い場合である。

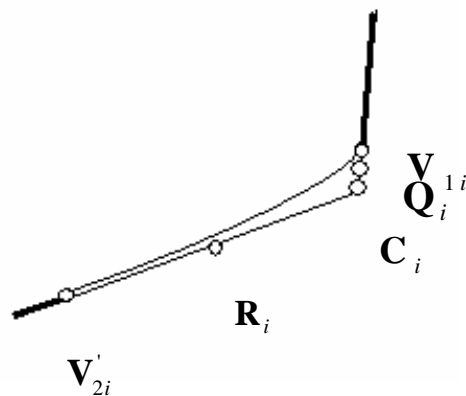


図 2.10: 対応頂点  $V_{1i}$  とが交点  $C_i$  きわめて近い時

これは、 $V_{1i}$  と  $C_i$  の距離と、 $V_{2i}$  と  $C_i$  の距離の比率が、極端な状況に起こると考える。そのため、どちらかが、2分の1以下の距離になった場合、Bezier 曲線の制御点の位置を変更する。図 2.11 は、 $V_{1i}$  と  $C_i$  の距離が、 $V_{2i}$  と  $C_i$  の距離より2分の1以下になったときの制御点を変更した図である。その場合、距離が短かった方の間にできる予定の制御点の位置を、 $V_{1i}$   $C_i$  方向に  $V_{2i}$  と  $C_i$  の半分の距離に制御点を定義する。これは、逆の場合も同様に、制御点の位置を調整する。

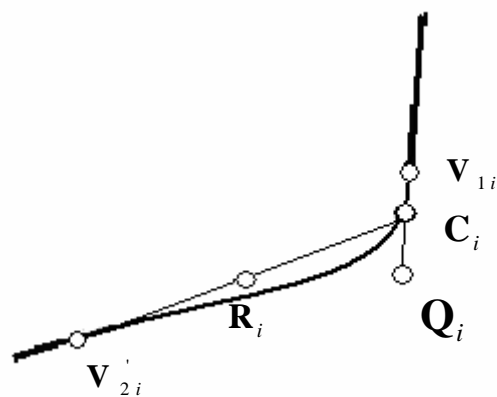


図 2.11: 制御点の位置を再定義した曲線

## 第3章 評価

この章では、2つのポリゴンメッシュの断面間に、本手法により補間したメッシュの滑らかな接合について、評価する。断面の形状、位置関係を、5パターン作って評価を行なった。本手法では、厳密な滑らかさではなく、見た目に滑らかな接合が目的であるため画像を通して評価を行なった。この章では、便宜的に断面を構成する隣り合うポリゴンの法線方向を、上下という。

本手法は、接合される側、その断面を構成する頂点の位置を、再設定するが、今回滑らかさを評価するために、再設定のよって生じる断面の歪みを極力小さくしたモデルを使った。

評価を行なった断面の条件は、以下の5種類である。

1. 二つ断面の形状が同じ場合
2. 二つの断面の形状が違う場合
3. それぞれの断面を構成する頂点が同一平面上にない場合
4. 2つの断面の上下の変化がちがう場合
5. 断面に急激な変化がある場合

### 3.1 二つ断面の形状が同じ場合

本節では、次のような条件の断面で、補間メッシュが滑らかに接合できているかを評価した。

- ・二つの断面の形状は円形形状である
- ・二つの断面を構成する頂点が、それぞれ別の同一平面上にある
- ・二つの断面が構成する平面が平行である場合

接合前は、図 3.1、図 3.3 のような状態であり、接合結果は図 3.2、図 3.4 のようになり、見た目はおおむね滑らかに接合できた。

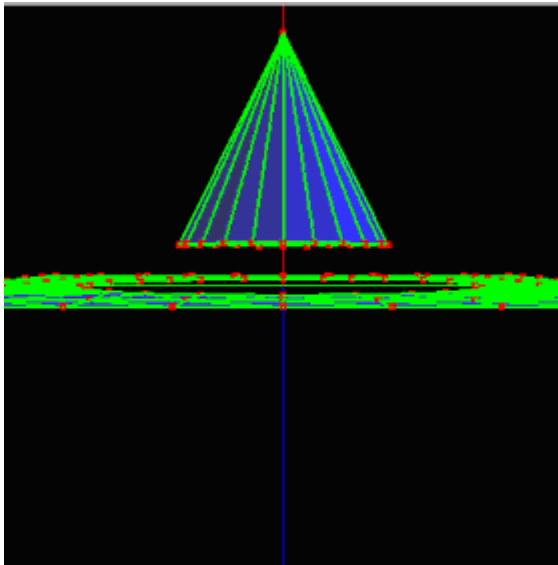


図 3.1: 接合前横から見た図

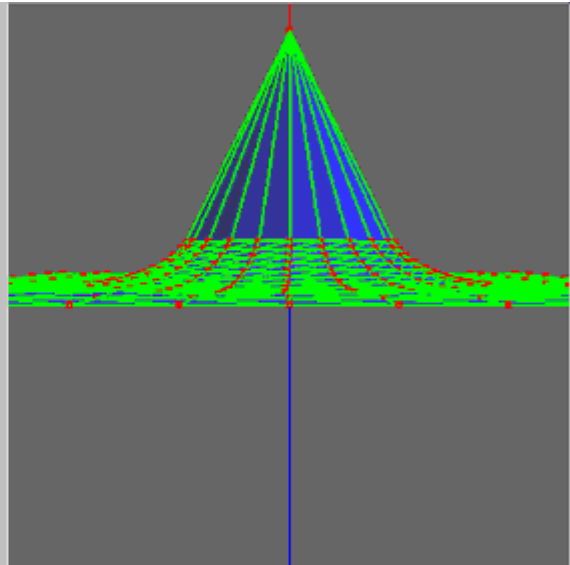


図 3.2: 接合後横から見た図

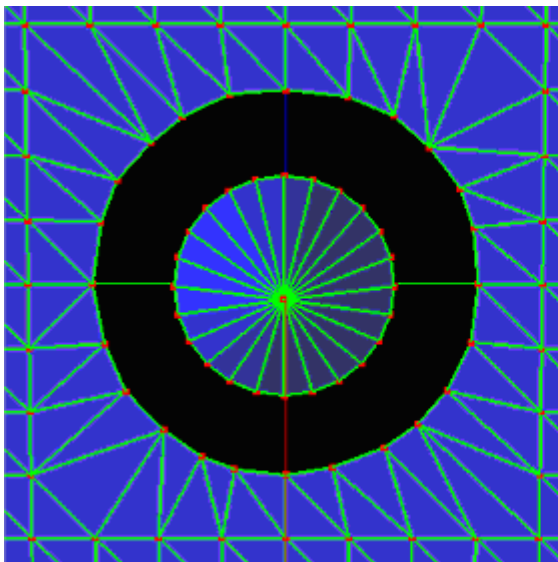


図 3.3: 接合前上から見た図

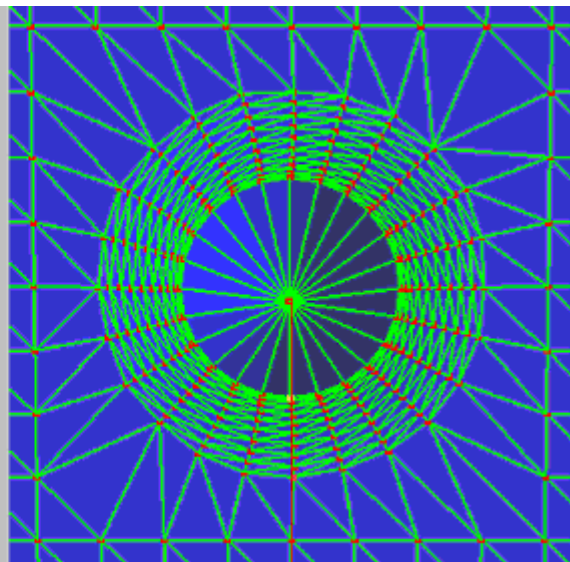


図 3.4: 接合後上から見た図

この場合では、2つの断面の間に補間メッシュを作るため、補間メッシュと断面との接合した境界線が2つできることになる。境界線をはさんで隣り合う2つのポリゴンの法線ベクトルのなす角を、すべて調べた。上の境界線は、 $7.61^\circ \sim 9.9^\circ$ だった。下の境界線は、 $2.78^\circ \sim 3.61^\circ$ だった。見た目もおおむね滑らかに接合できた。

### 3.2 断面の形状が違う場合

本節では、次のような条件の断面で、補間メッシュが滑らかに接合できているかを評価



した。

- ・二つの断面は、円形断面と四角形断面である
- ・二つの断面を構成する頂点が、それぞれ別の同一平面上にある
- ・二つの断面が構成する平面が平行である場合

接合前は、図 3.5、図 3.7 のような状態であり、接合結果は図 3.6、図 3.8 のようになり、見た目はおおむね滑らかに接合できた。

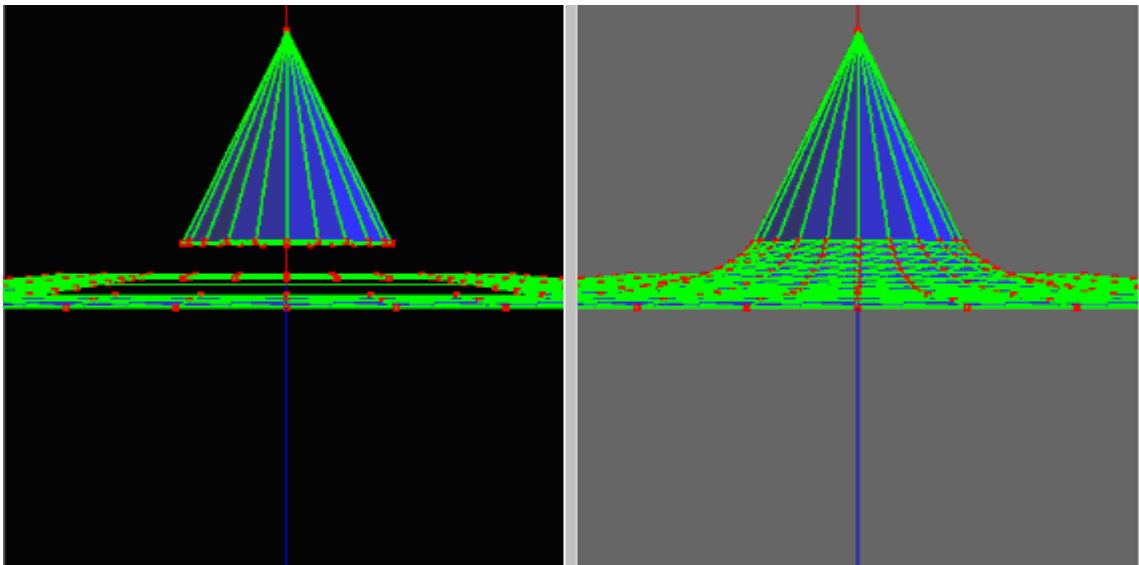


図 3.5: 接合前横から見た図

図 3.6: 接合後横から見た図

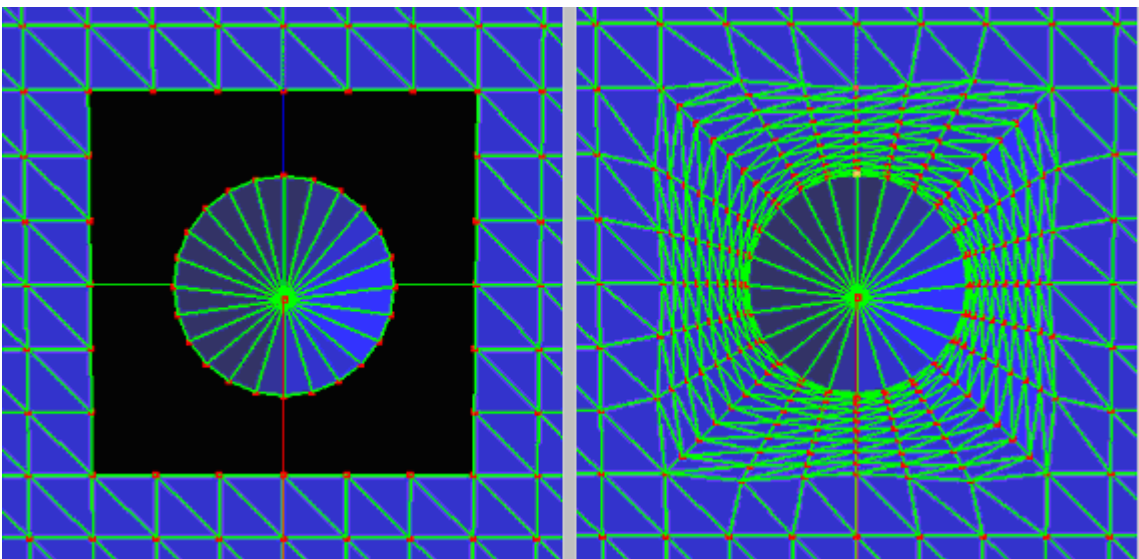


図 3.7: 接合前上から見た図

図 3.8: 接合後上から見た図

この場合では、2つの断面の間に補間メッシュを作るため、補間メッシュと断面との接合した境界線が2つできることになる。境界線をはさんで隣り合う2つのポリゴンの法線ベ

クトルのなす角を、すべて調べた。上の境界線は、 $7.67^\circ \sim 14.97^\circ$  だった。下の境界線は、 $1.92^\circ \sim 3.66^\circ$  だった。見た目もおおむね滑らかに接合できた。

### 3.3 それぞれの断面を構成する頂点が同一平面上にない場合

本節では、次のような条件の断面で、補間メッシュが滑らかに接合できているかを評価した。

- ・ 二つの断面の形状は同じである
- ・ 二つの断面を構成する頂点それぞれ、同一平面上にない
- ・ 断面に上下の急激な変化がない

接合前は、図 3.9、図 3.11、図 3.13 のような状態であり、接合結果は図 3.10、図 3.12、図 3.14 のようになり、見た目はおおむね滑らかに接合できた。

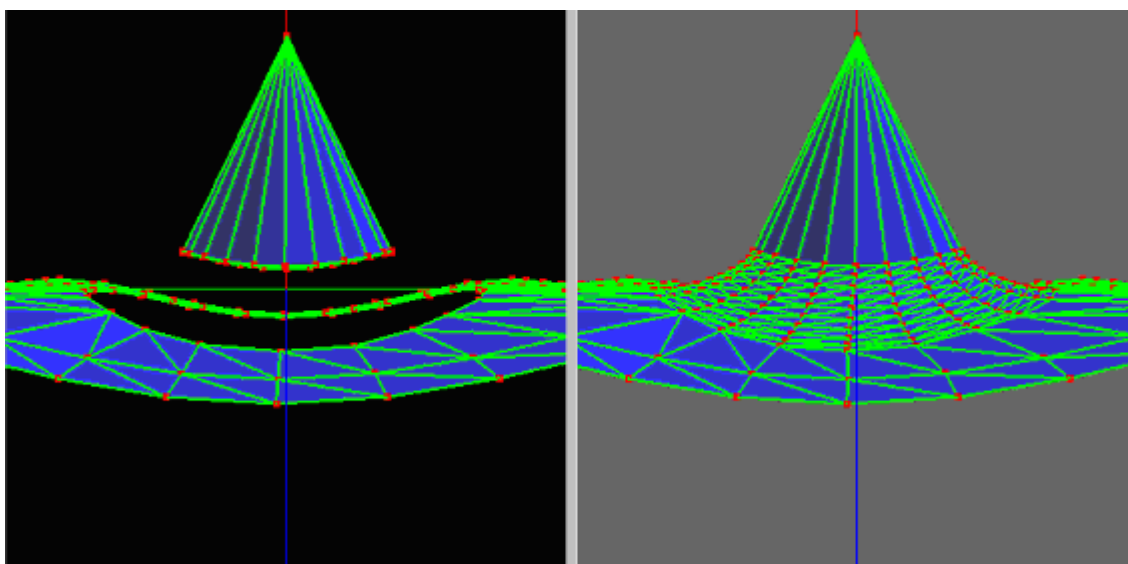


図 3.9: 接合前正面から見た図

図 3.10: 接合後正面から見た図

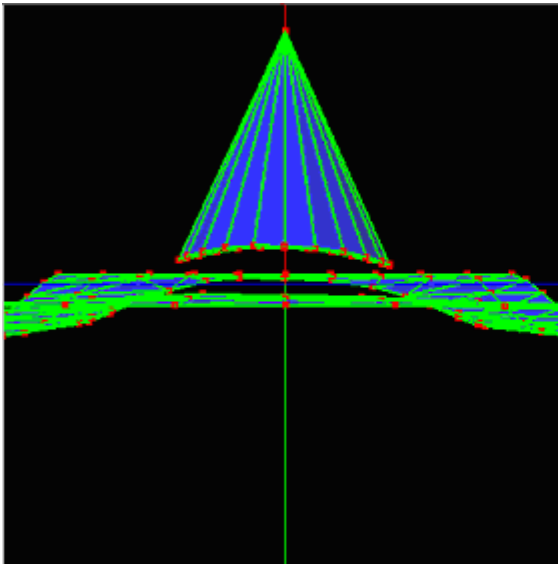


図 3.11: 接合前横から見た図

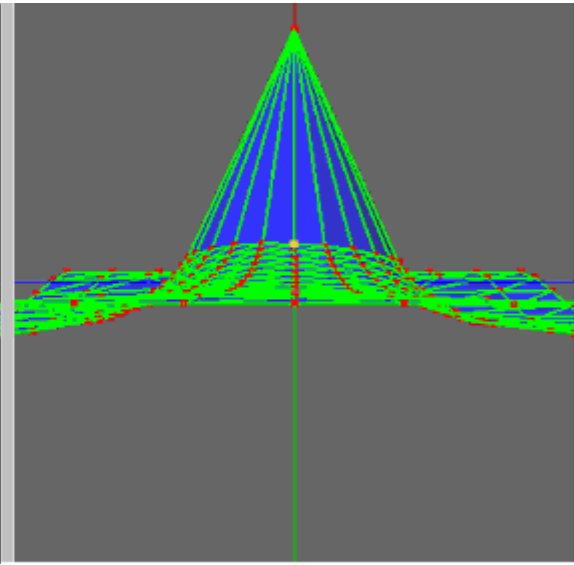


図 3.12: 接合後横から見た図

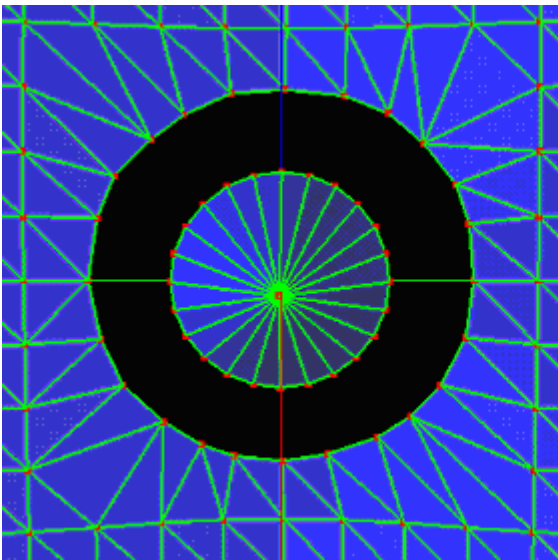


図 3.13: 接合前上から見た図

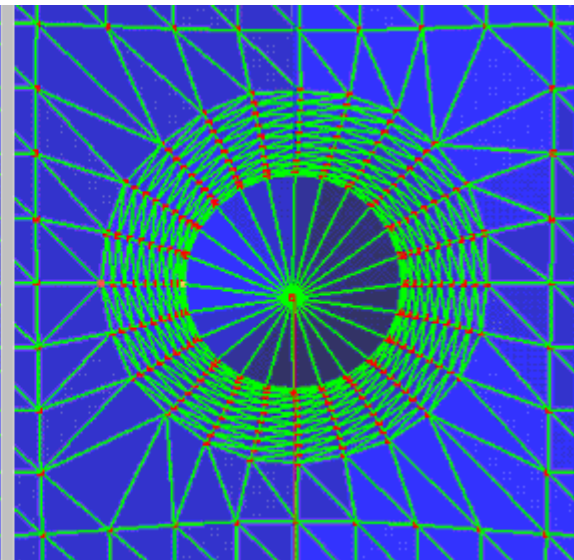


図 3.14: 接合後上から見た図

この場合では、2つの断面の間に補間メッシュを作るため、補間メッシュと断面との接合した境界線が2つできることになる。境界線をはさんで隣り合う2つのポリゴンの法線ベクトルのなす角を、すべて調べた。上の境界線は、 $0.65^\circ \sim 6.59^\circ$ だった。下の境界線は、 $5.67^\circ \sim 8.96^\circ$ だった。見た目もおおむね滑らかに接合できた。

### 3.4 2つの断面の上下の変化がちがう場合

本節では、次のような条件の断面で、補間メッシュが滑らかに接合できているかを評価した。

- ・ 二つの断面を構成する頂点が、それぞれ、同一平面上にない
- ・ 断面に急激な上下の変化がない
- ・ 2つの断面の上下方向の変化が、それぞれ異なっている

接合前は、図 3.15、図 3.17、図 3.19 のような状態であり、接合結果は図 3.16、図 3.18、図 3.20 のようになり、見た目はおおむね滑らかに接合できた。

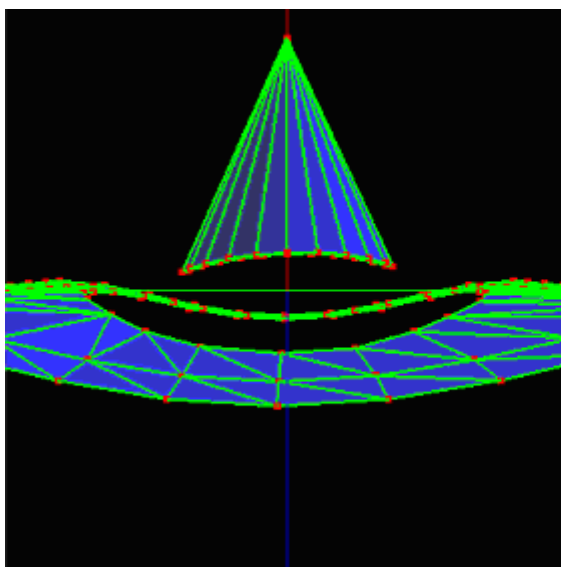


図 3.15: 接合前正面から見た図

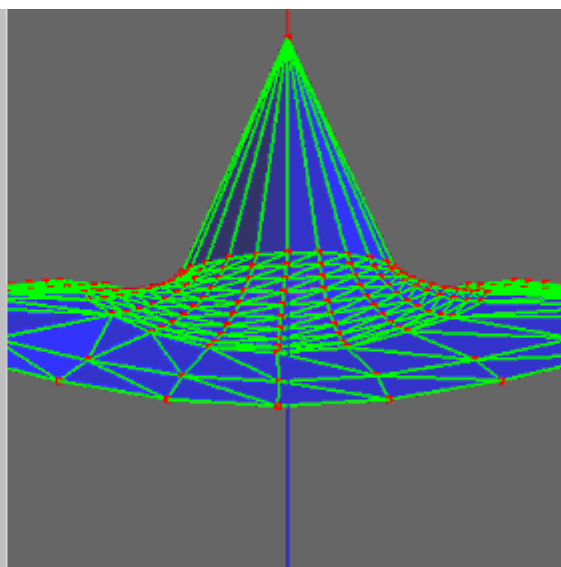


図 3.16: 接合後正面から見た図

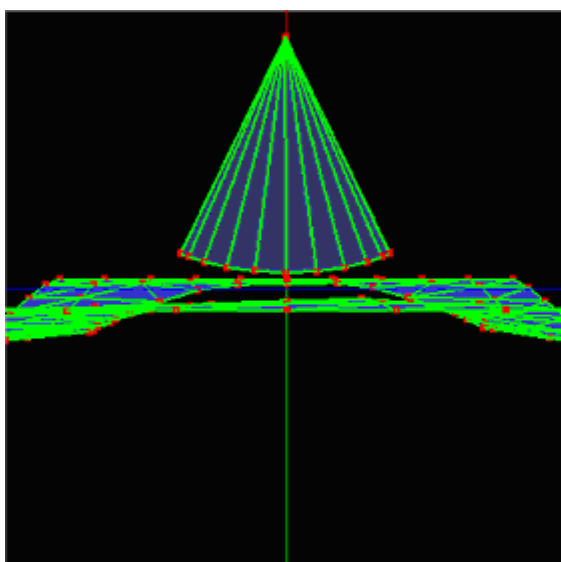


図 3.17: 接合前横から見た図

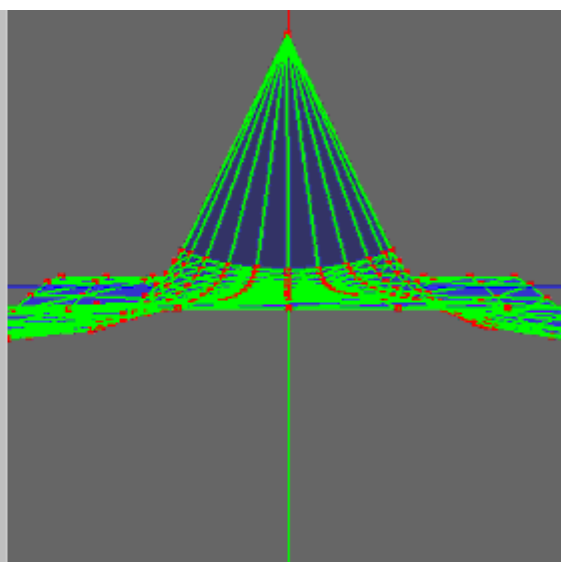


図 3.18: 接合後横から見た図

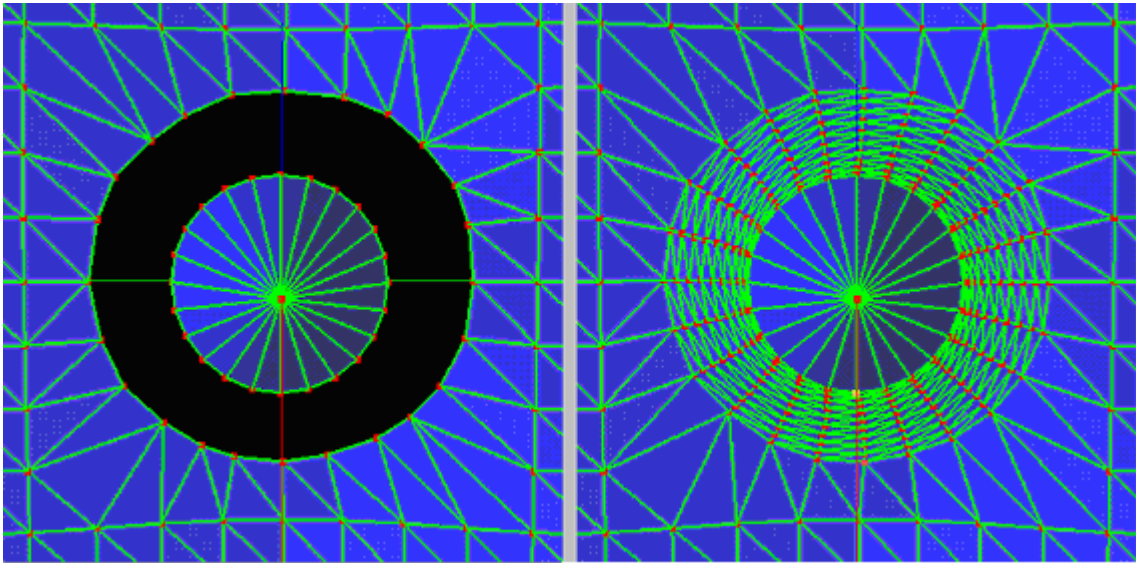


図 3.19: 接合前上から見た図

図 3.20: 接合後上から見た図

この場合では、断面を境界線とした上のポリゴンメッシュと補間メッシュの接続部、その境界線をはさんで隣り合うポリゴンの法線ベクトルの角度は全体で、 $4.45^{\circ} \sim 14.00^{\circ}$ であった。下の断面の境界線のそれは、 $0.04^{\circ} \sim 6.82^{\circ}$ であった。おおむね滑らかに接合できた。

### 3.5 断面に急激な変形がある場合

本節では、次のような条件の断面で、補間メッシュが滑らかに接合できているかを評価した。

- ・断面に急激な上下の変化がある場合

接合前は、図 3.21、図 3.23、図 3.25 のような状態であり、接合結果は図 3.22、図 3.24、図 3.26 のようになり、下の断面と補間メッシュの境界の一部で歪みが生じているのが見て分かる。

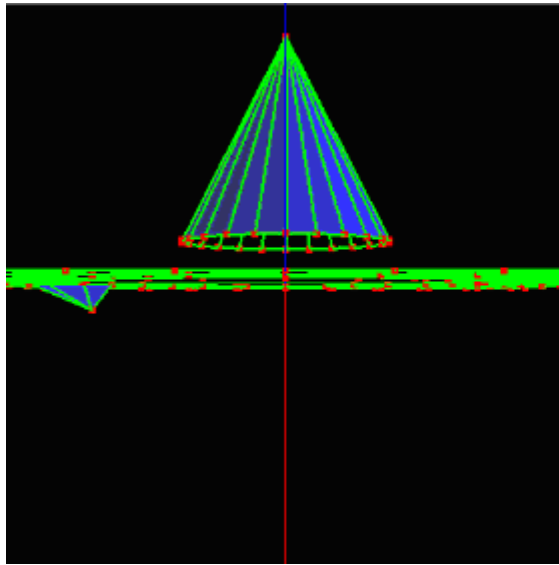


図 3.21: 接合前横から見た図

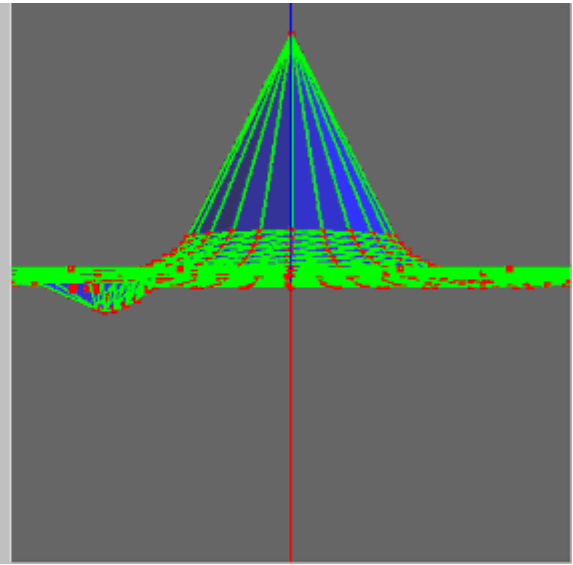


図 3.22: 接合後横から見た図

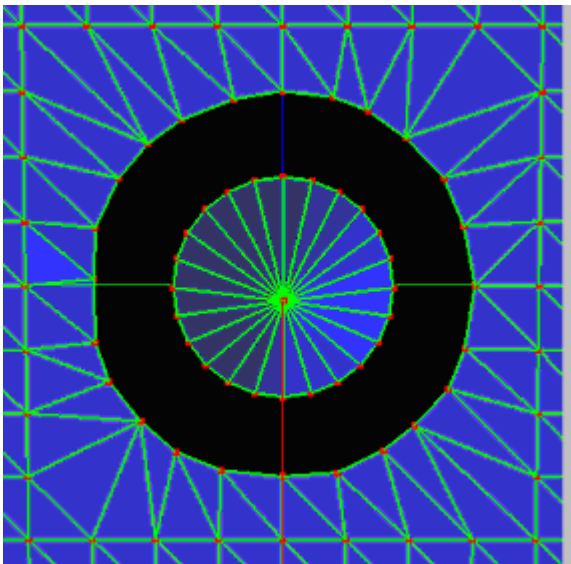


図 3.23: 接合前上から見た図

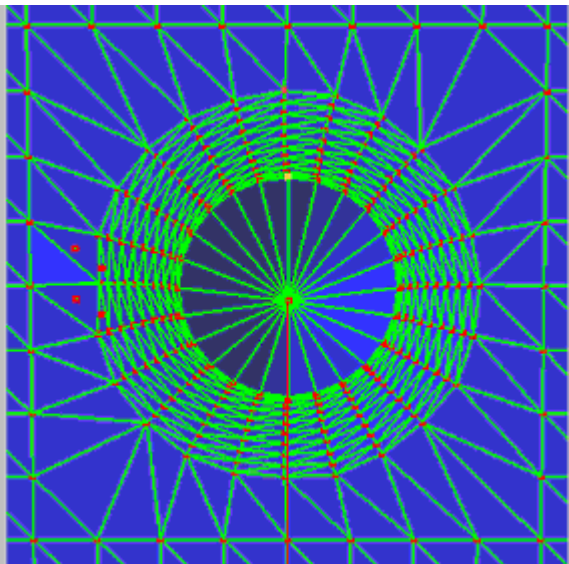


図 3.24: 接合後上から見た図

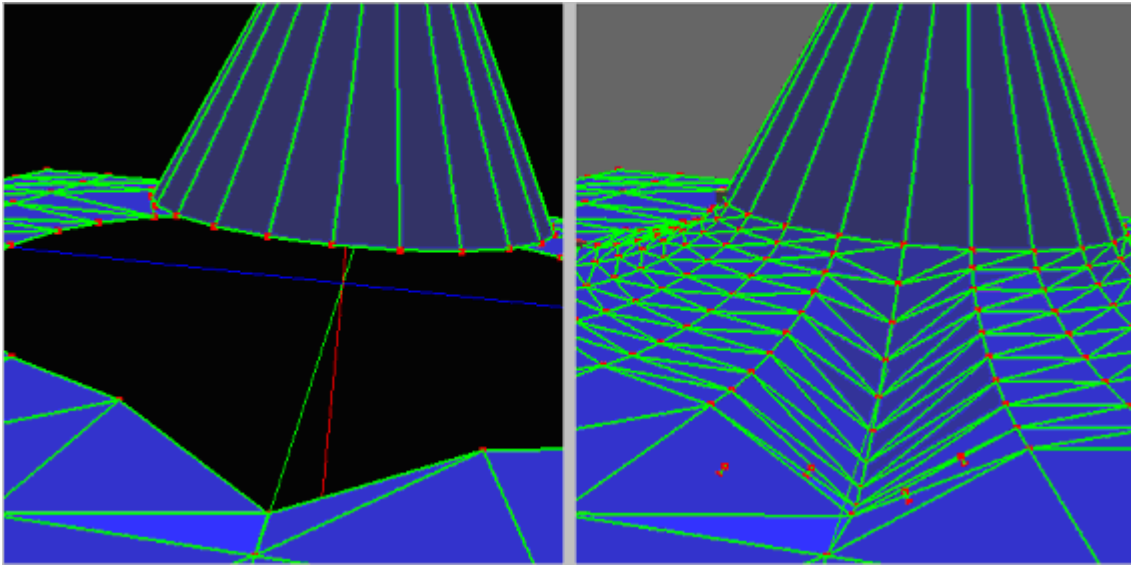


図 3.25: 接合前、歪みが生じる部分のアップ 図 3.26: 接合後、歪みが生じた部分のアップ

この場合では、断面を境界線とした上のポリゴンメッシュと補間メッシュの接続部、その境界線をはさんで隣り合うポリゴンの法線ベクトルの角度は全体で、 $3.15^{\circ} \sim 9.96^{\circ}$ であった。下の断面の境界線のそれは、 $2.99^{\circ} \sim 3.69^{\circ}$ で、2つだけ  $30.4^{\circ}$  と  $16.1^{\circ}$  という飛びぬけて高い値がでた。その高い数値がでた部分は、歪みが生じており、断面が急激に上下している。歪みがでて、断面が急激に上下している部分の断面の隣あるポリゴンの法線のなす角は、 $40.44^{\circ}$  と  $28.61^{\circ}$  だった。この結果のより、断面に急激な上下の変化がある場合、補間メッシュが歪んでしまう可能性があることがわかった。

## 第4章 結論と考察

本論文では、2つの頂点数が同じ断面を持つポリゴンメッシュを2つ用意し、対応関係を作った2つの断面間に、滑らかに接合する Bezier 曲線を計算し、曲線群にメッシュを作成する手法を提案した。

本手法の特徴は、以下の点である

- ・ ポリゴンメッシュの断面間を補完するメッシュを作成する
- ・ 対応頂点に接続するポリゴンと作業平面の交線を求め、その交線情報から、対応頂点間に滑らかに接続する Bezier 曲線を引き、その曲線群から補間メッシュを作成する。

ポリゴンメッシュの対応関係を作っておいた頂点数が同じ断面間に、滑らかに接続する補完メッシュを作成することができた。

本手法の抱える問題として以下の4項目が残された。

第1に、対応頂点に接続するポリゴンと作業平面との交線の同士の交点の位置によって、滑らかに接合できない。

作業平面上の片方の対応頂点  $V_{1i}$  に接続するポリゴン群  $N_f(V_{1i})$  と作業平面  $S_i$  の交線、 $V_{1i}$  からその交線を通るベクトルを  $\vec{T}$  とする。図 4.1 のように、交点が  $-\vec{T}$  の延長上にある場合は、 $V_{1i}$  に曲線が近似 G1 連続に接合しない。 $V_{2i}$  の場合も同様である。

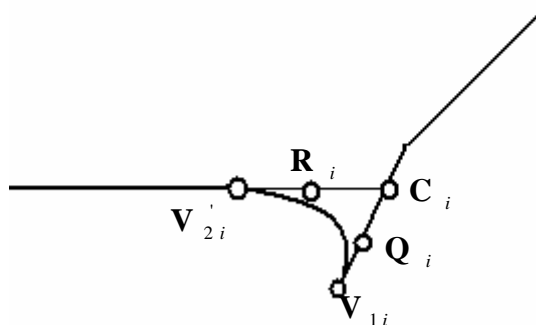


図 4.1：対応頂点 P に曲線が滑らかに接合しない場合



第 2 に、対応頂点に接続するポリゴンと作業平面の交線が平行で、方向ベクトルが同じ時対応できない。

図 C のように作業平面上の片方の対応頂点  $V_{1i}$  に接続するポリゴン群  $N_f(V_{1i})$  と作業平面  $S_i$  の交線、 $V_{1i}$  からその交線を通るベクトルを  $\vec{T}_1$ 、同じように求めた  $V_{2i}'$  の方のベクトルを  $\vec{T}_2$  とする。 $\vec{T}_1$  と  $\vec{T}_2$  の方向ベクトルが同じとき、平行な時のアルゴリズムで求めた  $C_i, Q_i, R_i$  では、図 4.2 のように対応頂点に  $V_{1i}$  と  $V_{2i}'$  のどちらか、もしくは両方に曲線が滑らかに接合しない。

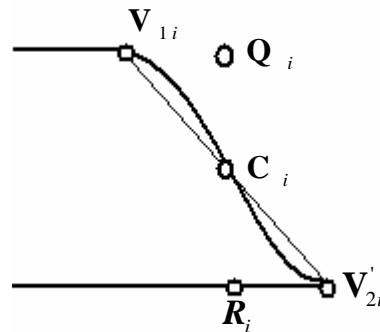


図 4.2: うまく接合しない場合

第 3 に、断面を構成する線分と隣り合う線分方向ベクトルの内積が、一部に全体と比較して大きく差がある場合、滑らかな接合ができなくなる可能性がある。

第 4 に、隣り合う断面を構成する頂点に接続する Bezier 曲線の制御点の求め方がちがう場合、補間メッシュが波打つようになってしまう可能性がある。

本手法では、対応頂点に接続するポリゴンと作業平面の交線から、Bezier 曲線の制御点を計算しているが、二直線が平行なときと、そうでない時で、別々のアルゴリズムを使っているため、となり合う曲線のアルゴリズムが交互に変わる場合は、補間メッシュが波打つようになってしまう可能性がある。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、度重なる御指導を賜りました渡辺先生、和田先生に心より感謝致します。

## 参考文献

- [1] 金井崇、鈴木宏正、三谷純、木村文彦 “局所的 3 次元モーフィングに基づく 3 角形メッシュの融合演算” 情報処理学会論文誌、平成 12 年 3 月号 , Vol.41 , No.3 , pp.541-550
- [2] 鈴木宏正、“三角形メッシュによる自由形状モデリング” 1999 年, 図学研究, J. Graphics Science of Japan, Vol. 33, No.1 (83) , pp.17-24
- [3] 中嶋正之 安居院猛 “コンピュータグラフィック これからの画像情報 5” 昭晃堂 (1992.7), p18-22
- [4] 千代倉弘明 島谷浩志 “3 次元 CAD の基礎と応用” 共立出版株式会社(1991.2) P119
- [5] 三浦曜、中嶋孝行、大野敏則 “CAD・CG 技術者のための NURBS 早わかり” 工業調査会(1994.4) p32-37
- [6] 大山崇のホームページ  
<http://www.nirarebakun.com/>
- [7] 柏原賢二 “空間ベクトルの基礎”  
<http://www.graco.c.u-tokyo.ac.jp/~kashiwa/print/96space/96space.html>
- [8] 本音の CAD・CAM  
<http://www8.plala.or.jp/amaterus/cad/>
- [9] 古俣信行 “メタセコイアと POV-Ray ではじめる 3 DCG ” エーアイ出版株式会社 ( 1999-12 ) P202-209
- [10] 藤原哲晃 “ 3 D オブジェクトにおける効率的なモデリング手法の探索 ”  
[http://www.kusa.ac.jp/~chris/links/univ/zemi4/fujiwara\\_outline.pdf](http://www.kusa.ac.jp/~chris/links/univ/zemi4/fujiwara_outline.pdf)
- [11] C G & V R 研究  
<http://www.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/oyl/CG/>
- [12] Dycoon's Page  
<http://www.ceres.dti.ne.jp/~dycoon/>