

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 水谷 圭佑

審査委員会は、上記論文提出者が提出した博士学位請求論文「Cylindrical Strip モデルによる自由曲面離散化手法に関する研究」に対し、予備審査、本論文と提出者が審査委員に対し個別に行った説明、及びその時の質疑応答、論文発表会（口頭による最終試験）とその時の質疑応答及び指摘事項に対する提出者の応答、論文発表会後に開催した審査委員会での審議を通し、当該論文の審査を行った。それらの審査結果を下記にまとめる。

本論文は、単純な幾何学的形状ではない自由曲面を意匠として持つ建築デザインが増加していることを背景とし、それらの建設において問題となる曲面のパネリング問題に着目し、円弧及び円筒面パネルを用いたパネリング手法について行った新たな提案をまとめたものである。特に、パネルの繰返し製造とパネリング曲面の連続性の双方を考慮し、Cylindrical Strip モデル(C-strip モデル)と柱面の離散モデルを組み合わせた新たなパネリング法を提案している。

曲面のパネリング問題では、パネルの材料やその製造方法に応じて諸制約を満たすパネリング曲面を求めることが主な目的とされ、これまでに様々なパネル材料やその製造方法を想定した手法が提案されてきている。本論文では、成型に高価な曲面型枠を要するプレキャストコンクリート(PC)パネルやガラス繊維補強コンクリート(GRC)をパネル材料として想定し、如何に限られた種類の型枠の繰返し利用によって十分滑らかな曲面の実現を可能とするか、というパネリング問題を設定している。型枠の繰返し利用によるパネル製造を可能とするためには、合同なパネルの反復によるパネリングが求められるが、既往の研究による手法ではパネル間にギャップが発生し不連続となる。本論文では、このような問題に対して、対象とする曲面を、複数の柱面を  $G^0$  連続に接続した cylindrical strip モデルにあらかじめ変換し、変換されたモデルをパネリング対象とすることで、合同なパネルの反復利用と高い連続性を両立するパネリング手法を提案している。このパネリング曲面は、ユーザーが指定する種類数の円筒面から得られるトリムサーフェスのみで尽くされ、1方向に  $G^1$  連続、1方向に  $G^0$  連続なパネリング曲面であり、既往手法によるパネリング曲面と比較して連続性の観点で特に優れている。

本論文では、「1.C-strip モデルの生成」と「2.C-strip モデルの分割・要素制

限」の2つのステップの構成を提案している。

ステップ1では、与えられた曲面から、その半離散モデルである **C-strip** モデルを求めるが、論文では、第4章において、この **C-strip** モデルについて記している。この **C-strip** モデルを導く共役座標系を特に柱面共役座標系として定義し、柱面共役座標系に対応する共役場を柱面共役場として定義し、特徴付けも示している。与えられた曲面から **C-strip** モデルを求めるためには、曲面上に柱面共役座標系を定め、その有限個のアイソパラメータ曲線を求める必要があるが、この問題に対しては2つの方法を提案している。曲面上に任意に与えた曲線から柱面共役座標系を定めて数値積分によりアイソパラメータ曲線を求める方法と、**C-strip** モデルに半離散-離散対応する **PQ** メッシュを求める方法である。第1の方法は、与える曲線が **C-strip** モデルの線織の流れに対応するため直観的で簡易な方法である一方で、特異点を含む共役座標系を定めた場合などでは適用範囲に限界がある。第2の方法では、与えられた曲面から **cylindrical** メッシュを求めるために、三角形メッシュ上の共役場から **PQ** メッシュを求める独自の手法を提案している。本手法は、特異点を含むような柱面共役座標系も幅広く扱うことが可能であり第1の方法と比較して適用範囲が広い、としている。

ステップ2では、ステップ1で求まる **C-strip** モデルを限られた種類の柱面パネルのみを用いてパネリングするため、第3章において、このパネリングの基本となる単一の柱面を対象としたパネリング手法について示している。柱面のパネリング問題を母線の離散化問題として考え、平面曲線の特殊な離散モデル、**k**-離散モデルを定義し、この離散モデルが持つ補間曲線を特に **k-arc spline** 曲線として定義、この離散モデルの中で対象母線を最良近似する離散モデルを求めることで制約を満たす最適なパネリング曲面を求める方法を示している。第5章では、この基本手法を **C-strip** モデルを構成する複数の柱面へと拡張した方法について示している。独立した柱面を対象とした第3章とは異なり、**C-strip** モデルの隣接する柱面間に生じる幾何学的な関係を最適化問題に組み込み、線織の連続性や柱面間交線の滑らかさを考慮した最適化問題を定式化し、**k** 種類の円筒面のトリムサーフェスのみで尽くされる、1方向に  $G^1$  連続、1方向に  $G^0$  連続なパネリング曲面を与えることを示している。2つの解析モデルを用いた数値解析例を示し、ワインガルデン曲面をパネリング対象とする **D.Pellis** 等の関連研究で示されている型枠数の目安  $k \approx \sqrt{N}$  ( $N$  はパネル数)と同等の型枠数の条件下において、非ストリップ方向の柱面間に生じる微小なギャップや線織の僅かな不連続性を許容することで、精度の良いパネリング曲面が得られることを示している。

以上、上記論文提出者は、本論文において、幾何学的に高度な考察と数値計算技術を用いて、新たな自由曲面の離散化の考え方と柱面曲面による分割手法で

ある「Cylindrical Strip モデルによる自由曲面離散化手法」を提案した。本手法は、円筒形等の柱面パネル材を用いて、現実的なコストや工期の範囲内で、滑らかで美しい自由曲面を実現する技術へ応用可能であり、工学上も意義あるものである。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。