

規矩術における部材の3次元理解を支援するツールの開発と評価

高山祥英^{†1} 森下有^{†2} Unlu Hande^{†3} 菅原雅重^{†4} 吉田博則^{†5}

概要：宮大工に必要な技能・技術のうち規矩術は、屋根に使う部材の切断部分に差金を用いて線を引く作業である。従来は屋根の勾配を表した図を作成して学ぶが、空間を把握し、イメージできる能力が強く要求され、習得には長い期間を要する。そこで、屋根の勾配情報と断面形状をもとに屋根の3次元モデルを表示し、ユーザが自由にディテールを確認できるようにする。また、勾配を変化させたときに墨付けの位置がどのように変化するかを見せることで、墨付けの仕方の理解を促進させる。その上で、宮大工熟練者や初学者には都度ツールを使って評価してもらいながら開発を進める。

1. 背景と目的

建設業界では、建築大工をはじめとして技能者の高齢化が進み、若年入職者が減少しているために人材不足は深刻である。このことは、必然的に技能を継承する相手がいないことにつながる[1]。これらの社会的な課題を解決するためには、建設業への若年労働者の入職を促進し、入職した若者に対して比較的短期間で技能を習得させて生産現場に送り出す必要がある。短期間で技能・技術を習得させるためには、建築大工に必要な技能・技術を効率的に習得できる教材の整備が不可欠である。建築大工に必要な技能・技術のうち規矩術は、屋根に使う部材の切断部分に差金を用いて線を引く作業で、従来は展開図に高さを与えた図面を作成して学ぶ。しかしその方法は、空間を把握し、イメージできる能力が強く要求され、習得には長い期間を要する[1]。また、社寺設計建築 株式会社おかげさまの宮大工菅原氏によると、宮大工のプロセスとして、「図面を読み取る、原寸を起こす、型板を取る、木作り、墨付け、刻み、仮組み」があるが、その中で墨付けは棟梁しかできず、工数も多い作業であるようだ。

本研究では、これらの問題を解決するために、屋根の勾配情報と断面形状の入力をもとに屋根の3次元モデルを表示し、ユーザが自由にディテールを確認できるツールを作成する。また、勾配を変えることによって墨付けの位置がどのように変化するかをアニメーションで確認できる機能も追加し、初学者の墨付けの理解を促進する。塚崎らの研究[1]でも規矩術習得支援を目的としたが、模型の出力が必要で教材の使用が困難なため、使用が容易なアプリケーションを作成して支援する。さらに、このツールを使い、墨付けを早く行えるようにすることも目的である。

2. 関連研究

建設業界では、技能者の高齢化が進み、若年入職者が減少しているために人材不足は深刻である。これを解決するためには、入職した若者に対して比較的短期間で技能を習得させ、生産現場に送り出す必要がある。建築大工に必要な技能・技術のうち規矩術は、従来、展開図を作成して学ぶ。しかし、この展開図を作成して学ぶ方法は、立体的な部材を平面上で取り扱うため、空間を把握し、イメージできる能力が強く要求され、習得には長い期間を要する。そこで、3DCADによる作図と3Dプリンタによる模型を用いた教材で教育効果を測った。まず、規矩術に関する学習経験と学習機会を調査する事前調査と指導前の規矩術に関する知識を把握するための事前テストを実施した。次に、被験者40人を二つのグループに分けてそれぞれで展開図による指導と3Dモデル教材による指導を行った。そして、規矩術の理解度を把握するため確認テストを行った。最後に別のグループの指導も行った。その結果、従来の展開図による教材より墨線の名称、意味、位置を正確に理解で切ることが分かった[1]。そこで本研究では、模型の出力が必要で教材の使用が困難なことを改善するためにアプリケーションで教材を作成する。

3. 手法

3.1 ワークショップの実施

4月に帯広市の社寺設計建築 株式会社おかげさまでワークショップを実施した。その際に、宮大工の職人に規矩術について教えてもらい、自分自身でも墨付けを体験した。規矩術について聞くことで、初学者が墨付けをする際に何が難しいか、どのような機能が必要かなどを知ることができた。その上で、規矩術習得支援をするためにはどのような

^{†1} 公立はこだて未来大学 システム情報科学部 情報アーキテクチャ学科 情報システムコース 学生

^{†2} 東京大学 特任准教授

^{†3} 東京大学 総括プロジェクト機構 特任助教

^{†4} 社寺設計建築 株式会社おかげさま 代表取締役

^{†5} 公立はこだて未来大学 准教授

なシステムが必要かを宮大工熟練者や初学者に聞いたため、研究の方向性が確定した。部材同士を接合する際に、木材が地面と水平に置いている場合はそれぞれを 45 度に墨付けし、切断する。一方、部材が屋根と同じ角度に傾いていると墨付けの角度は 45 度ではなくなり、特に初学者は、その角度をイメージすることは困難になるということが分かった。そこで、3D モデルを用いて、切断した後の形を表示することで墨付けがしやすくなると考えた。また、墨付けに利用する差金の置き方を表示することで、初学者でも墨付けができると考えた。

3.2 実装

図 1 で示す通り、屋根の勾配情報をもとに屋根の 3 次元モデルと墨付けに必要な図を表示する規矩術習得支援ツールを作成する。図 1 は左が、屋根の勾配情報の入力画面、中央が、屋根の角部の 3 次元モデル表示画面、右が、墨付けに必要な図の表示画面である。入力値は、屋根の勾配部分に使われる部材の長さである。入力をもとにアプリケーション上に直方体を表示し、屋根の 3 次元モデルを作成する。屋根の 3 次元モデルをスワイプすることで回転し、2 本指で拡大縮小させることができる。また、初学者が規矩術について学習できる機能を追加する。規矩術の説明はアニメーションを使用し、勾配を変化したときに墨付けの位置がどのように変化するかを理解できるようにする。

開発は Unity を使って行い、宮大工が普段から使っている iPad で規矩術習得支援ツールを使えるようにする。合わせて、木材同士の接合部分を整えるために Blender を利用する。まず、入力値を受け取り、Blender 上に直方体を生成する。次に、直方体同士の接合部分が重なっていると屋根をイメージすることができず、初学者にとって墨付けが困難になってしまうため、直方体同士の接合部分をブーリアンを使って整える。最後に、fbx ファイル形式で出力して Unity 上に読み込み、3 次元モデルの回転・拡大縮小を行えるようにする。規矩術の学習機能も同様に Blender を利用して接合部分を整えた後、fbx ファイル形式で出力して Unity 上に読み込む。

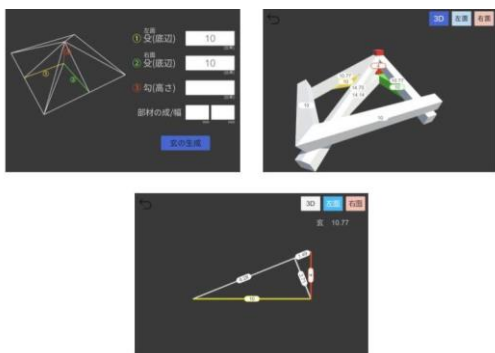


図 1 作成した規矩術習得支援ツールの画面
(左：勾配情報と断面形状の入力画面 中：屋根の角部の 3D モデル表示画面 右：墨付けに必要な図の表示画面)

4. 実験と評価

4.1 実験の概要

規矩術習得支援ツールの作成後は、宮大工の職人やそのお弟子さんにツールを使ってもらい、実験を行う。実験は、ツールを使用していない場合と使用している場合それぞれに対して時間を測定する。そしてそれぞれで時間に変化があったか比較し、時間が短くなった場合、ツールでの支援が有効であったと判断する。実験の前には、ツールの使い方を説明する上で、実際に被験者に使用して練習してもらい、使用方法を理解してもらう。そうすることで、ツールの使い方が分からないことで時間がかかってしまうなど、正確な実験を行えないという事態を避ける。規矩術習得支援ツールの作成途中では、重要な部分が完成した際などにも予備実験として実験を行う。

4.2 予備実験①

7 月に途中段階として接合部分を整えていない状態のツールで予備実験を行った(図 2)。実験は、本実験と同じく時間の計測に加えて、インタビューによるツールの使い勝手の聞き込みと、感じたことや心理状態を都度つぶやいてもらうプロトコル分析も行った。表 1 は時間計測の結果である。被験者 3 は普段から墨付けを行っている職人で、ツールの 2D 画面を計算機として使ったため墨付けが早くなった。一方被験者 1 と 2 は初学者で、墨付けの仕方を知らなかったため、ツールだけでは勾配や寸法の確認しかできず、成果は得られなかった。



図 1 作成した規矩術習得支援ツールを使用している様子

表 1 1 回目の予備実験でのツールの有無による墨付けにかかる時間

	被験者 1	被験者 2	被験者 3
ツールなし	11 分 6 秒 69	15 分	1 分 26 秒 33
ツールあり	13 分 53 秒 63	13 分 50 秒 24	55 秒 72

4.3 予備実験②

11 月に 1 回目の予備実験で出た改善点や要望をもとに修正を行い、予備実験を再度行った。修正した部分は、3D モ

デルの接合部分を整えたこと、入力部分を入力しやすいものにしたことである。実験は、1 回目の予備実験と同じく時間の計測とインタビューによるツールの使い勝手の聞き込みを行った。それに加えて宮大工の棟梁による墨付けの正誤の確認と SUS を使った使い勝手に関するアンケートも実施した。SUS は 10 項目に 5 段階（1：全くそう思わない～5：非常にそう思う）で回答してもらう形になっており、回答からスコアを算出する。質問は奇数番号は正問（肯定形）、偶数番号は反問（否定形）で構成されている。正問は回答の数値から 1 を引き、反問は 5 から回答の数値を引いて、全てを合計して 2.5 倍することでスコアを計算する。表 2 は予備実験の結果である。被験者は 1 回目と同様である。かかった時間の右側には墨付けが合っていたか間違っていたかを記載している。被験者 2 は差金の置き方が分からず、墨付けを間違っていた。かかった時間を見ると 1 回目の予備実験と比べて時間は短くなったことが分かる。その要因としては、1 回目と同じ出題方法で、そのときの学びが生かされたこと、1 回目と 2 回目の間で規矩術を学習していたこと、入力部分の変更により入力がしやすくなったことが挙げられる。被験者 1 と 2 は 1 回目は主に 3D モデル表示を使っていたが、2 回目は主に墨付けに必要な図の表示部分を使っていた。

表 2 2 回目の予備実験でのツールの有無による墨付けにかかる時間、正誤, SUS

	被験者 1	被験者 2	被験者 3
ツールなし	3 分 6 秒 96 ○	5 分 36 秒 48 ×	1 分 29 秒 05 ○
ツールあり	2 分 7 秒 95 ○	2 分 37 秒 02 ×	43 秒 63 ○
SUS	62.5 (D)	80 (A)	80 (A)

5. まとめと今後の展望

予備実験の結果から、普段から規矩術を扱う宮大工の職人にとっては墨付けに必要な図の表示部分により墨付けが早くなり有効だった。一方、初学者は、接合部分を整えた 3D モデルを表示する機能や墨付けに必要な図の表示部分を使っても差金の置き方が分からない場合には有効ではなかった。今後は、勾配の変化と墨付けの位置の変化をアニメーション等でユーザに体験してもらう機能を追加して宮大工熟練者や初学者に評価してもらい、再度規矩術習得支援が有効か検証したい。

参考文献

- [1] 塚崎英世, 片平聡, 横山真弘, 前川秀幸, 松留慎一郎 (2020) 3D モデルを用いた規矩術の教材に関する研究. 日本建築学会, 85(777): 881-889