

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文審査報告書

論文題目

改修工事における 3次元レーザー計測と
内装プレカット部材の配置の最適化に関する研究

Study on 3D Laser Scanning and Optimum Design of Pre-Cut Interior Finishing Components
for Renovation Works

申請者

石田	航星
Kosei	ISHIDA

建築学専攻 建築生産マネジメント研究

2014年2月

近年、集合住宅や事務所建築物における改修工事に対する需要が増加しつつある。これらの改修工事においては、他の住居者がいる中での作業や、執務中での作業が強いられ、作業における騒音・振動や粉塵等が大きな問題となる。鉄筋コンクリート造の場合、型枠建込み時の精度不良やコンクリート打設時の型枠の撓みや変形によって、コンクリート躯体各部の寸法は設計寸法に対して若干の誤差を有している場合が多い。このような場合、内装下地材や仕上げ材の取り付け寸法は作業時に現場合合わせで求め、部材の切断や加工が必要になる。このため、鉄筋コンクリート造建築物における改修工事では、現場での部材の切断や加工の作業が多くなり、騒音・振動や粉塵等が発生する問題点がある。

本研究では間仕切り壁の改修工事を取り上げ、鉄筋コンクリート躯体の形状・寸法の3次元計測、内装部材の取り付け寸法・配置位置の3次元CADによる正確な設計、そしてこれに基づく作業前の部材の切断・加工によって、作業場所では切断や加工作業を排除し、騒音・振動や粉塵等を無くすことを提案している。そして、改修工事を行うために必要な、計測及び部材配置に関する技術を開発し、工法としての体系化を目指して研究を行っている。

本論文は、5章から構成されている。

第1章では、本研究の背景を述べて、本研究に関する既往の研究を示し、鉄筋コンクリート造建築物の改修工事における課題を指摘している。そして、本研究の目的を、内装プレカット部材を用いた改修工事を行う工法の確立とし、研究項目として①3次元レーザースキャナーを用いて計測した点群データの各種ノイズ処理、及び点群データと設計CADとの統合の方法の開発、②間仕切り壁のボード部材の割り付け方法と部材の切り出し方法の最適化、③内装プレカット部材を用いて改修工事を行う工法の体系化を挙げている。

第2章は、点群データに基づく鉄筋コンクリート建築物の形状の把握に関する研究である。

第1節では、改修工事に必要な既存建物の躯体形状・寸法に関する点群データを取得する計測手順を示し、設計CAD上で利用するにはノイズの除去とともに、施工箇所、点群データ、設計CADデータの三つの座標系を正確に一致させることが不可欠であることを示している。

第2節では、前項で示す三つの座標系を一致させる方法として、施工箇所の躯体に罫書きされている地墨を基準点として利用し、新たに考案した地墨取得用球ターゲットを用いて地墨の位置を精度よく取得する方法を開発している。また、複数の点群データを同一座標系に統合するために、その基準となる複数のターゲットの組み合わせを自動的に照合する手法を考案し、その解析手順とデータ処理をフローチャートにして示している。これにより座標統合の手間を省力化するとともに人為的ミスを削減することを果たしている。

第3節では、鉄筋コンクリート躯体を計測した点群データに存在するノイズ除去と、配線など線形状の不要点群除去について、計測空間を平面でスラ

イスすることによってそれらを簡易に抽出する手法を開発している。これにより、計測点群データから躯体のみの点群の取り出すことを可能にし、プレカット部材の取り付け寸法と配置の設計に用いる躯体ポリゴンモデルの正確さの向上を実現している。

第4節では前節までに開発した手法を設備機器と間仕切り壁の改修工事に適用し、点群データからのノイズ除去、不要な点群の除去を行うとともに、施工箇所、点群データ、設計CADの座標系を一致させることが出来ることを検証している。

第3章は、内装工事におけるボード材の割付図と加工図の最適化に関する研究である。

第1節では、ボード材をプレカットする工法においては、ボード材の正確な割付図とともに加工図を作成する必要性を指摘した上で、割付図と加工図の最適化計算の条件として、割付ける壁面の領域を直角多角形に限定している。そして、割付図と加工図の最適化における判断基準として、ボード残材量、加工したボード部材数、目地延べ長さの3つが必要であることを指摘している。

第2節では、割付図の作成手法として、壁の配置領域を表す多角形の頂点に基づき、最小の残材量で且つ目地延べ長さが短くなる複数案の割付図を発生させる方法を考案し、プログラム化を図っている。割付図の作成では、割り付けを開始する壁の配置開始点を、壁の配置領域の頂点に基づいて定めることによって、無数に存在する配置開始点を削減する方法を考案している。

また、割付図で示したボード部材を最小の残材量で定尺ボードから切り出すための加工図の最適化の手法を開発している。加工図の作成では最適化の計算時間を削減するために、BL (Bottom-up Left-justified) 法に基づきボード部材に適した新たな知見を導入した加工図作成の手法を考案している。この手法は割付したボード部材を「定尺ボード材のままの部材」、「長方形の部材」、「直角多角形状の部材」に分類し、これらの形状特性を考慮したアルゴリズムをBL法に導入して、計算時間を短縮している。

第3節では、考案した手法に基づくシステムを作成し、最適化の計算実験を行っている。この実験では4種類の形状をした定尺ボード材を用いて、いずれにおいても残材量を最小化する割付図と加工図を作成し得ることを示している。

第4章は、内装プレカット部材を用いた改修工法の体系化に関する研究である。

第1節では前章までに提案した、計測方法、データ処理方法、部材の割付・加工図の作成方法を用いた改修工法に関する施工手順・方法を示している。

第2節では、本工法を適用した鉄筋コンクリート造の事務所建築物における改修工事の対象箇所及びその施工実験の概要を示している。

第3節では、第2章に示した手順・方法に基づいて、3次元レーザースキ

ャナーを用いて躯体の計測、ノイズ除去・不要点群の除去、躯体形状を示す点群の座標系と設計 CAD の座標系との統合を行っている。

第 4 節では、躯体の点群データをポリゴンモデルに変換し、設計 CAD 上への読み込みを行い、新たに取り付ける間仕切り壁の位置・寸法を躯体形状に合わせて正確に設計し得ることを示している。

第 5 節においては、計測した躯体断面に基づいて 3 次元 CAD 上で配置したボードと軸組材の加工寸法を正確に求めて、その結果を部材の原寸図としてプロッター出力するとともに、カッターリストを作成している。

また、第 3 章で開発した割付図と加工図の最適化手法に基づいて、理論的に残材量が最も少なく、更に目地延べ長さが最も短くなる割付と加工の設計案を自動作成している。その結果、上記を満足する割付図は 2 つ存在し、その内 1 つは技能者が作成した割付図とほぼ同じ割付となった。また加工図は残材料の形状が他部材への利用に都合のよい形状になっていることを示し、本手法が割付図と加工図の作成において有効であることを示している。

第 6 節では部材を加工図に従い事前に加工した上で、その取付作業を行っている。取り付けられた間仕切り壁の設置精度を確認した結果、ボード材は隙間なく取り付けられていることを示している。これにより、本研究で改修工法として体系化した一連の方法論が実際の工事現場で適用可能であることを明らかにしている。

第 5 章は、本論文のまとめである。

以上が本論文の要旨である。著者は、鉄筋コンクリート造建築物の躯体施工時の誤差に対する「逃げ」を前提とした従来の施工方法を根本から変える工法を提案し、躯体の計測技術、点群データの処理技術、並びにプレカット部材の割付図、加工図の作成アルゴリズムを開発して、その工法の体系化を図っている。

著者が本研究において示した一連の成果は、鉄筋コンクリート造建築物の改修工事の合理化に多大な貢献を為すものであり、今後の建築生産方式に大きな示唆を与えるものである。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2014 年 2 月

審査員

主査	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	嘉納成男
	早稲田大学教授	工学博士（東京大学）	小松幸夫
	早稲田大学教授	博士（工学）早稲田大学	輿石直幸
	早稲田大学客員教授	博士（工学）早稲田大学	五十嵐健