

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360299

研究課題名（和文） 品質確保のための建築各部の3次元情報の取得と設計図との照合に関する研究

研究課題名（英文）

Three Dimensional Data Acquisition and Comparison with CAD Models for Quality management of Building Components

研究代表者

嘉納 成男（KANO NARUO）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：60112992

研究成果の概要（和文）：

3次元スキャナーによって計測した点群データを品質確保に活用するため、点群データ解析技術とともに、点群データと3次元CADモデルとの照合技術について、鉄筋工事に適用した。研究の成果として、3次元CAD化の技術を整備し軽量の鉄筋CADモデルを可能にするとともに、計測点群のノイズの除去技術、点群から鉄筋部材の抽出技術について開発した。そして、3次元CADモデルと点群モデルを照合が可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：

To use the point cloud obtained by the 3D scanner for quality management, the authors have applied the point cloud analysis method and the comparison method of point cloud and 3D CAD models to the actual reinforcing work. As a result of the research, the authors have systematized the 3D CAD method to reduce the reinforcement model, and developed the method to neglect point cloud noise as well as the method to extract reinforcing bars from point cloud. Thus, they have verified the possibility of the comparison between 3D CAD models and the point cloud models.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・都市計画・建築計画

キーワード：3次元スキャナー、3次元CAD、品質管理、鉄筋工事、配筋部材

1. 研究開始当初の背景

建築物の品質不良については、コンクリートの強度や溶接部の不良等、目視では判断できない項目もあるものの、鉄筋径の間違い、配筋間違い、型枠位置、スリーブ位置、補強材の不足や位置間違い、仕上精度など、目視

でその品質不良を発見し得る項目は非常に多い。しかし、これらの検査には、膨大な箇所について目視した内容と図面とを照合するため、検査員の判断能力と集中力が必要になるが、建築物は数多くの部材から構成され

ており、その検査対象は膨大な数となる。その結果、目視による検査は、ヒューマンエラーの発生や主要な部分のサンプリング検査となることも多く、その検査が確実ではない問題がある。

2. 研究の目的

建築物の高度化により複雑な建築作業が必要となる半面、職人の技能不足や管理者の能力の低下しつつあり、建築物の品質不良が各所で引き起こされて大きな社会問題となっている。この原因として、従来の品質検査が検査員の目視に頼った方法で行われているために起こる見落としが多く指摘されている。

本研究では、3次元スキャナーを用いて、建築工事の各段階において作業結果を取得し、それに基づき品質の検査・確認を着実にを行う技術確立することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、目視による判断が多い品質管理として鉄筋工事を取り上げ、工事中の配筋状況を3次元スキャナーを用いて計測し、得られた点群情報に基づいて、配筋の状況を客観的に把握する方法論を開発する。

これを行うため、以下の研究項目について実施した。

- (1) 鉄筋部材の3次元CADモデル作成の技術開発
- (2) 鉄筋工事における点群の解析技術の開発
- (3) CADモデルと点群モデルとの照合

4. 研究成果

4.1. 鉄筋部材の3次元CADモデル作成の技術開発

本章では、鉄筋部材の3次元CADモデル作成技術成果として、1) 鉄筋コンクリート造における品質管理項目の整理、2) 効率的な3

次元モデル作成のためのパラメトリックモデリング手法の適用について報告する。

まず公共建築工事標準仕様書ならびに関連文書をもとに、鉄筋コンクリート造の在来工法の作業工程に沿った品質管理項目を整理した(表4.1.1参照)。本研究の管理対象の定め方は、施工手順に沿って品質管理項目を整理し、作業工程、作業手順、品質管理項目、管理対象他に区分した。その結果、鉄筋

表. 4. 1. 1 品質管理項目

部位・部材	品質管理項目
A コンクリート躯体	R1.種類(D13等) R2.配筋間隔 R3.個数
B 柱・梁鉄筋	R4.スペーサーの間隔 R5.位置 R6.定着長さ R7.継手長さ
C 床スラブ鉄筋	
D コンクリート躯体	C1.平滑度・不陸 C2.一位置(窓・配管穴)

はR1~R7の7項目、コンクリートはC1~C2の2項目を選定し、これらの確認を行えば品質を確保できることになっている。

3次元CADには標準化されたモデリング手法が存在していない。国際標準モデルとして提案されているIFCで構築される建物モデルは梁、柱、天井といった部材は基準となるモデリング手法が提唱されているが、鉄筋部材のような複雑かつ形状の自由度が高い構造部材には明確な基準が存在していない。そこでパラメトリックを用いたモデリング手法、その作成フローを構築した。

パラメトリックとは変化させることができるという意味であり、本研究では寸法のパラメータを調整することにより3次元モデルの形状を変化させることが可能な機能のことを示している。この機能を用いることで、後工程での設計変更が容易に可能になる。また厳密な寸法を決定する以前に構成部品の概略の形状を作ることができるため、個々の詳細設計を行う前に構成部材のモデリングを進めることが可能である。

図4.1.1は鉄筋モデルの末端部の折り曲げ

形状のパラメトリックモデルである。図中の A, B のそれぞれの値は、簡易な条件分岐により制御しており、値の変化に連動して形状が変化するしくみとなっている。



図. 4. 1. 1 鉄筋のパラメトリックモデル例

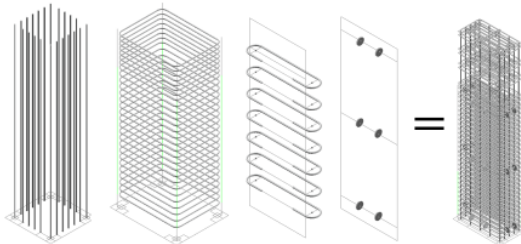


図. 4. 1. 2 鉄筋モデルの構成例

柱鉄筋群は主筋（側鉄筋，芯鉄筋），帯筋，幅止め筋，継手，スペーサーにより構成される。部位モデルの作成において，異なる形状の部材を一つにまとめた部分グループモデルを作成する。部位モデルはこれの組み合わせとなる（図 4. 1. 2 参照）。部分モデルの組合せにより，少ない部分モデルで多様な全体モデルを効率よく生成可能である。

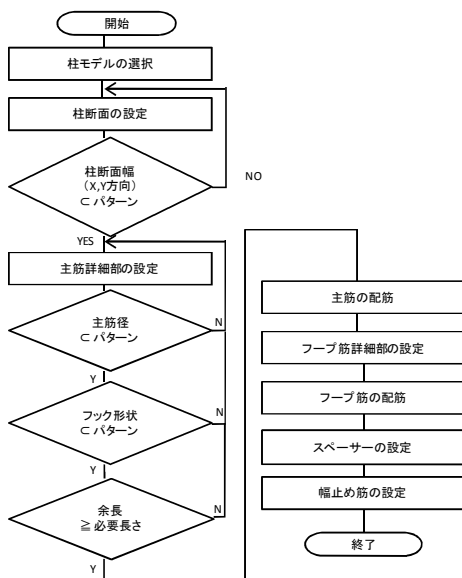


図. 4. 1. 3 柱鉄筋モデルの作成フロー

モデリングの作成手引きとして在来 RC 造鉄筋のモデリングフローを作成した。柱の例

を図 4. 1. 3 に示す。菱形はパラメータの設定による処理方法を，四角は作業内容を示している。作成フローは実際の施工とできるだけ同じ手順になることが望ましく，公共建築工事仕様書を参考に作成した。モデリングフローは効率的な作成方法を明示するとともに，パラメトリックモデルによる設計意図をモデル利用者へ伝達する役割も担っている。

4. 2. 鉄筋工事における点群データの解析

4. 2. 1. 鉄筋部材の計測

柱鉄筋の計測は，計測間隔を目標 2mm として，柱の周りから計測箇所を変えながら 7 回ほど計測することによって，ほぼ完全に内部の鉄筋までも計測し得ることが分かった。計測結果の例を図. 4. 2. 1 に示す。また，柱鉄筋の一部を取り出し点群の詳細を示すと図. 4. 2. 2 となる。

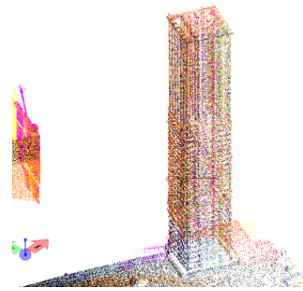


図. 4. 2. 1 柱鉄筋の計測結果

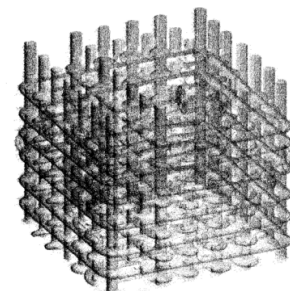


図. 4. 2. 2 柱鉄筋の点群モデル（詳細）

4. 2. 2. 計測点群のノイズの除去

柱鉄筋は，配筋によって縦筋とフープ筋によって網目状になっており，更に内部に鉄筋が配置されている場合，鉄筋表面にノイズが多数発生する。

図. 4. 2. 3 は、柱鉄筋の一部を切り出し示した図である。柱鉄筋の内部にノイズが発生していることが分かる。

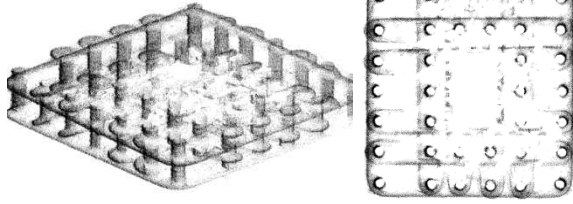
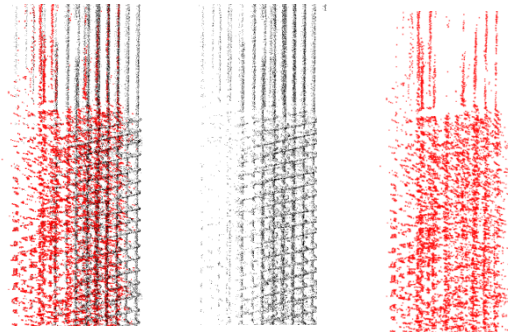


図. 4. 2. 3 ノイズ除去

このノイズ点群は、物体に当たった点群の密度に比較して少ないために、点群を視覚的に調べる場合は支障とならないが、点群を自動的に処理する場合には大きな支障となる。

このノイズを除去する技術を開発し、図. 4. 2. 4 の如くノイズ除去を達成した。



a. 計測点群 b. 正常点群 c. ノイズ点群

図. 4. 2. 4. 柱鉄筋におけるノイズ

4. 2. 3. 点群に基づく鉄筋部材の抽出

A. 配筋された鉄筋部材から鉄筋の抽出方法

鉄筋は、通常縦筋と横筋が網目状に配筋されている。鉄筋が単体で伸びている場合には、鉄筋を線状部材として認識することが容易に出来るが、網目状になっている場合には特定領域の点群を取り出しても網目状になっているために線状部材として認識することが難しい。

本研究では、計測された点群の表面形状に着目して鉄筋の特長を見出し、これによって配筋された部材から鉄筋を抽出する方法を開発した。この技術では、網目状に組まれた鉄筋の表面の点群について、以下の2つの手法を用いて、鉄筋を特定している。

(1) 点群の半径 r の領域の点群のアスペクト比を求めることによって、アスペクト比が高い点群を取り出し、この点群を鉄筋の表面の点群として仮定する。

(2) 点群の半径 r の領域の点群について平面回帰を行い、法線を求めることによって、円筒部分を取り出し、この点群を鉄筋の表面の点群と仮定する。

B. アスペクト比による線状部材の抽出

鉄筋の識別は、想定する最大の鉄筋径 d とすると、特定の点群について半径 $d * k$ の周辺の点群を調べ、その点群のアスペクト比を求めることによって、配筋の網目の一部に線状部材があるか否かを調べた。

アスペクト比の値は、ある範囲の点群を包み込む最も体積の小さな直方体を求め、その3辺の長さの長い順に、MaxLen、MidLen、MinLen とすると、以下の式で、アスペクト比を求める。

$$\text{アスペクト比} = \text{MaxLen} / \text{MidLen}$$

アスペクト比は、2~3 以上の場合に、その点群は線状部材を構成している点群であると仮定することが出来る。

図. 4. 2. 5 は、鉄筋の一部について、点群のアスペクト比を調べ、2.5 以上を示す点群について、線状部材として、その方向ベクトルを示している。細長い物体である外周フープ（直線及び曲げ部分）、内部フープ、円形スペーサーの周囲については、その部材の方向性が示されていることが判る。

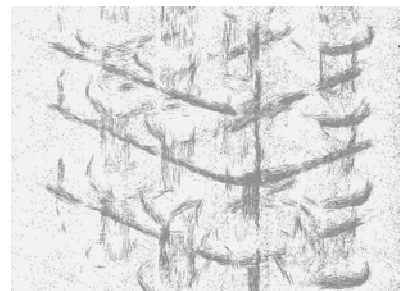


図. 4. 2. 5 アスペクト比による点群の抽出

C. 法線による線状部材の抽出

点群が円筒である場合には、特定の点群の周辺を含む面の法線を求めると、その法線は円筒の中心軸を通り且円筒面に対して垂直方向に拡散することになる。このため、求めた法線が一方の軸を共有する場合は、その点群は円筒の一部を構成する点群であると仮定することが出来る。

法線を求めるには、特定の点群の周辺の点群を含めて面回帰をしてその平面の法線を求める方法を採用している。

図. 4. 2. 6 は、点群について半径 15mm の周辺点群を考慮した法線を調べた結果である。鉄筋は、異型鉄筋であるため、正確には円筒ではないが、鉄筋上の点群の法線は、鉄筋の中心から放射状に向いていることが判る。この法線が交差する点は円筒（鉄筋）の中心を通る軸の上にあるため、この法線に基づいて、鉄筋の中心軸を推定することが出来る。

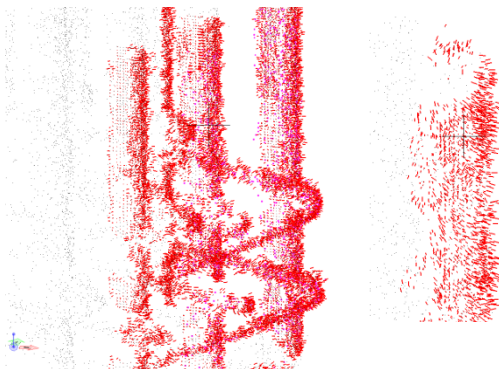


図. 4. 2. 6 鉄筋部材を表す点群の法線

法線を有する点群について半径 r 内の周辺点群の法線の中から 2 組の法線を最短距離で結ぶ直線の中点 P を求めることによって、その点群が構成する円筒の中心を推定することが出来る。

図. 4. 2. 7 は、鉄筋の表面の点群について法線を求めた図である。一部分（左上部）については、点群が乱れているため法線ベクトルは鉄筋表面に対して接線方向を向いている。理由は、点群モデルが 7 つの方向から取った

点群を統合しているため、統合の誤差によって鉄筋表面の点群に厚みが発生しているため、回帰近似した平面が鉄筋表面に接する面とならず、鉄筋表面に直角に近似されたものと考えられる。

4. 2. 4. 鉄筋の識別についての考察

配筋された部位から鉄筋表面の点群を取り出すには、鉄筋の特徴である線状部材で且つ円筒形状を有している特徴によって取り出すことを試みた。結果は、アスペクト比は鉄筋の抽出に効果的であることが分かった。また、法線による分析においても、概ね円筒形状である特性を把握できるものの、点群が正確に計測・統合されていない場合は、法線の方法ベクトルに乱れが生じるため、誤差が多く生じている。ただし、この誤差による中心推定の誤差は、RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS) 法によって取り除くことが出来るため、精度のよい円筒の中心軸の推定が可能である。

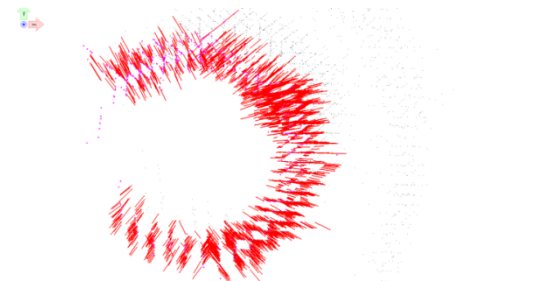


図. 4. 2. 7 鉄筋表面の点群における法線

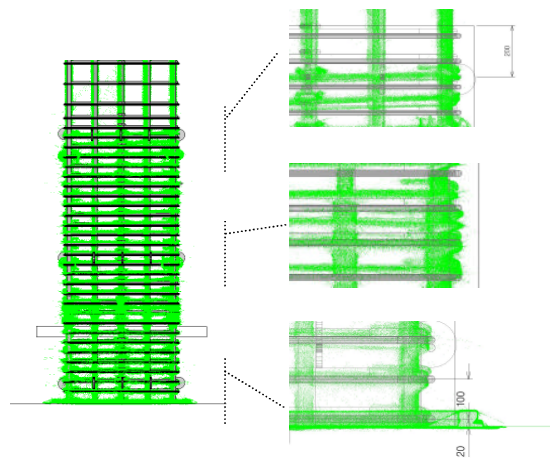


図.4.3.1 CAD モデルと点群モデルとの照合

4.3. CADモデルと点群モデルとの照合

CADモデルと点群モデルについて、座標系を一致させることによって、同一画面上に両者を表示させて、配筋状況の差異を確認する技術を開発した。図.4.4.1は、鉄筋についてその位置関係を示した図である。

4.4. 結論

本研究によって、3次元スキャナーを用いて計測した点群モデルに基づいて、複雑な形状をしている鉄筋部材であっても、その径や位置、配置間隔を数量的、且つ3次的に求めることが可能であることが分かった。また、3次元CADによって、鉄筋の設計図を作成することによって、点群モデルと3次元モデルを比較することが可能になり、現在主として目視で行われている配筋検査を客観的な計測データに基づいて実施出来る可能性を明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計10件)

(1) 鉄筋工事における3次元測量の活用に関する研究、3次元スキャナーと写真計測を用いた寸法データの比較、福田 結磨、嘉納成男、五十嵐健、日本建築学会関東支部研究会、査読無、pp411-414、2011年3月

(2) A System of Shape Recognition For Reinforcement Bars with Cloud Points、Kosei ISHIDA、Naruo KANO、Kenji KIMOTO、Takeshi IGARASHI、8th International Symposium on Architectural Interchange in Asia、査読有、pp1335-1338、2010年11月

(3) 不動産市場からみた建築長寿命化のニーズ 新たな世界標準技術を目指して、五十嵐健、日本建築構造技術者協会誌、No.112、査読無、pp18-21、2010年10月

(4) 品質確保のための建築各部の3次元情報の取得と設計図との照合に関する研究 (その3) 点群データに基づく配筋状況の把握に関するシステムの開発、石田航星、嘉納成男、木本健二、五十嵐健、四釜侑也、福田結磨、帯包知成、日本建築学会大会学術講演、F-1分冊、査読無、pp1311-1312、2010年9月

(5) 品質確保のための建築各部の3次元情報の取得と設計図との照合に関する研究 (その2) 品質管理に適した3次元オブジェクトのモデリング方法、四釜侑也、木本健二、嘉納成男、五十嵐健、石田航星、日本建築学会大会学術講演、F-1分冊、査読無、pp.1309-1310、2010年9月

(6) 品質確保のための建築各部の3次元情報の取得と設計図との照合に関する研究 (その1) 鉄筋工事における品質情報とその検査項目、五十嵐健、嘉納成男、木本健二、石田航星、四釜侑也、日本建築学会大会学術講演、F-1分冊、査読無、pp.1307-1308、2010年9月

(7) 点群データに基づく配筋状況の把握のためのシステムに関する研究、石田航星、嘉納成男、木本健二、五十嵐健、四釜侑也、福田結磨、帯包知成

、日本建築学会第26回建築生産シンポジウム、査読無、pp187-194、2010年7月

(8) 鉄筋コンクリート造における品質情報のあり方とパラメトリックモデリングの適用、四釜侑也、木本健二、嘉納成男、五十嵐健、日本建築学会第26回建築生産シンポジウム、査読無、pp181-186、2010年7月

(9) 3次元スキャナーを用いた鉄筋コンクリート工事の品質確保に関する研究 (その2) 点群データに基づく配筋状況の把握に関するシステムの開発、石田航星、嘉納成男、木本健二、五十嵐健、福田結磨、日本建築学会関東支部研究会、査読無、pp461-464、2010年3月

(10) 3次元スキャナーを用いた鉄筋コンクリート工事の品質確保に関する研究 (その1) 構造躯体の3次元モデリング方法、四釜侑也、木本健二、嘉納成男、五十嵐健、中村道成、日本建築学会関東支部研究報告集、pp465-468、査読無、2010年3月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

嘉納 成男 (KANO NARUO)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：60112992

(2) 研究分担者

木本 健二 (KIMOTO KENJI)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号：30433767

(3) 研究分担者

五十嵐 健 (IGARASHI TAKESHI)
早稲田大学・理工学術院・客員教授
研究者番号：20460058