

# RC造躯体工事を対象とした3次元設計と 測量技術に関する研究

早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 建築学科  
教授 嘉納 成男

平成22年11月

## 研究者紹介

### 助成研究者紹介

かのうなるお

嘉納成男

現職：早稲田大学 理工学術院 教授（工学博士）

主な業績

- 建築生産における不具合発生プロセスのモデル表現と数量的分析手法, 嘉納成男他 1 名, 日本建築学会建築生産シンポジウム, pp189-196, 2008. 7
- 建築生産における品質確保のための仕組みと業務の現状と課題, 日本建築学会特別委員会報告, 嘉納成男他 4 名, 日本建築学会, 2008. 5
- 建築生産におけるステレオカメラと 3 次元スキャナーの活用に関する研究, 嘉納成男, 日本建築学会建築生産シンポジウム, pp71-78, 2007. 7
- 建築工事における定点カメラからのステレオ動画情報を用いた工事作業の 3 次元モニタリング手法に関する研究, 染谷俊介, 蔡成浩, 嘉納成男, 日本建築学会建築生産シンポジウム, pp79-84, 2007. 7

### 共同研究者紹介

いがらし たけし

五十嵐 健

現職：早稲田大学 理工学総合研究所 客員教授（博士（工学））

主な業績

- 成熟型社会に向けた建築産業のあり方—建築の長寿命化ニーズと機能提供型産業への転換の必要性—, 五十嵐健, 日本建築学会総合論文誌, pp68-73, 2007. 1, 日本建築学会
- ストック型社会と建築, 五十嵐健, 建築の研究, 第171号～177号, 2005. 年10～2006. 10, 社団法人建築研究振興協会
- 持続可能な社会の形成に向けた住宅評価システムの開発, 五十嵐健, 日本建築学会技術報告集第21号, 査読有, pp321-324, 2005. 6
- 「成熟型社会に向けた建築産業のあり方」（日本建築学会総合論文誌掲載）, 「建設産業, 新“勝利の方程式”」単著（日刊建設通信新聞社）など, 建築生産に関する多数の研究論文, 著作がある。

きもと けんじ

木本健二

現職：芝浦工業大学 工学部 建築工学科 准教授（博士（工学））

主な業績

- 3次元オブジェクトCADの生産設計への活用に関する基礎的研究 オブジェクトモデルによるオブジェクトの合理的な生成, 木本健二, 今井佑允, 第11回建設ロボットシンポジウム論文集, 査読

有, pp191-196, 2008. 9

■Optimizing 3D CAD Potential in Japan: Case studies for Precast Concrete Structure, Kenji KIMOTO, Yusuke IMAI, 12th pacific Association

of Quantity Surveyors Congress, ISBN:978-1-896606-11-8, 査読有, 2008. 6

■生産設計における3次元CADの活用に関する基礎研究その1 汎用3次元CADソフトウェアによる数量積算, 今井佑允, 木本健二, 日本建築学会関東支部研究報告集Ⅱ, pp253-256, 2007. 3

## 目次

1. 序論	7
1.1. 本研究の背景	7
1.2. 本研究の目的	7
1.3. 本研究における実施項目	7
1.5. 本研究に関する外部発表	8
2. 3次元スキャナーによるRC造躯体工事の計測実験	9
2.1. 実験対象の建築工事現場の概要	9
2.1.1. 建築物の概要	9
2.1.2. 工事現場の概要	10
2.2. 実験の概要	10
2.2.1. 使用した計測機器	10
2.2.2. 機器の現場内運搬	11
2.2.3. 計測の手順と日程	12
2.3. 3次元スキャナーによる計測	12
2.3.1. 柱・壁鉄筋についての計測と計測結果	12
2.3.2. 梁鉄筋についての計測と計測結果	23
2.3.3. 床鉄筋についての計測と計測結果	26
3. 3次元情報に基づく建築各部の形状・位置の計測技術の開発	30
3.1. 3次元スキャナー計測結果の補正と分析技術	30
3.1.1. 3次元スキャナーにより得られる鉄筋の点群の特徴	30
3.1.2. 計測結果の点群データの補正	30
3.2. 線形状を有する部材の検出	32
3.2.1. 線形状を有する部材の検出手法	32
3.2.2. 切断平面内の鉄筋のピクセル化と形状判定	33
3.2.3. 垂直方向の鉄筋の分離	34
3.2.4. 帯筋・横筋の抽出	35
3.2.5. 帯筋・横筋の抽出結果	37
4. 建築物の要求品質項目の3次元CADへの組み込み	40
4.1. BIMと3次元オブジェクトCAD	40
4.1.1. BIMにおける品質管理	40
4.1.2. RC造における品質管理項目の整理	40
4.2. 3次元オブジェクトCADの適用	42

4.2.1.	3次元オブジェクトCADにおける属性情報.....	42
4.2.2.	属性情報の管理 .....	42
4.3.	3次元オブジェクトCADによるモデリング.....	43
4.3.1.	3次元オブジェクトCADにおけるモデルの種類.....	43
4.3.2.	目視による照合のための設計モデルの作成.....	43
4.4.	ノンパラメトリックモデルの適用.....	45
4.4.1.	ノンパラメトリックモデルにおける問題点.....	45
4.4.2.	柱・壁鉄筋群 .....	45
4.4.3.	柱・梁鉄筋群 .....	46
4.4.4.	床スラブ鉄筋群 .....	46
4.4.5.	ノンパラメトリックモデルにおける問題点の整理.....	46
4.5.	パラメトリックモデルの適用 .....	47
4.5.1.	目的と背景 .....	47
4.5.2.	鉄筋部材の作成 .....	47
4.5.3.	作成手順 .....	47
4.5.4.	品質管理項目による変数の評価.....	48
4.6.	データ量の比較分析 .....	48
4.7.	設計モデルと出来形情報の重ね合わせ.....	50
4.7.1.	R1：種類（D13等），R3：本数，R5：位置.....	50
4.7.2.	R2：配筋間隔 .....	50
4.7.3.	R4：スペーサー間隔 .....	50
4.7.4.	R6：定着の長さ .....	50
4.7.5.	R7：継手位置 .....	51
4.7.6.	設計モデルと出来形情報の重ね合わせの整理.....	51
5.	結論 .....	52
5.1.	3次元スキャナーによるRC造躯体工事の計測実験.....	52
5.2.	3次元情報に基づく建築各部の形状・位置の計測技術の開発.....	52
5.3.	建築物の要求品質項目の3次元CADへの組み込みと課題.....	53
	参考文献 .....	54

## 1. 序論

### 1.1. 本研究の背景

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技術者の配員数の削減により現場における品質管理能力は低下しつつあり、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。この原因の一つとして、品質検査が検査員の目視に頼った従来の方法で行われているために起こる見落としにあることが多く指摘されている。

建築物における品質管理の多くは、図面の内容と出来形の合致を目視によって確認する方法が採用されている。鉄筋工事における配筋検査、型枠工事における型枠建て込みの納まりや精度検査などがある。このような目視による検査は、熟練した検査員が図面を見ながら工事の出来形を調べ、実際に出来上がった内容が図面に記載された内容に合致していることを確認する必要がある。広範囲で且つ膨大な箇所におけるこのような検査には多大な神経を使う長時間の作業が必要になる。

このような検査員の視覚と判断力に頼った検査方法のみでは、検査員のヒューマンエラーは避けられないとともに、検査結果が写真や検査者による適正の有無を記載したチェックリストのみとなり、後日における追証性に欠けるものとなっており、検査記録としては多くの問題を含んでいる。

このため、目視に頼る現在の検査方法を何らかの方法で、省力化するとともに、検査結果に追証性が保たれる方法が望まれており、本研究では検査員が視覚として得られる情報を3次元スキャナーによる点群データとして収集し、それを分析することによって検査・確認を着実に行うとともに、追証性を担保できる技術の確立を目指す。

### 1.2. 本研究の目的

本研究では3次元スキャナーを用いて、品質不良の有無を判断する方法と技術を開発する。本研究で開発する技術は、鉄筋工事を対象にして以下に示す品質の検査・確認のための基礎技術となる。

- (1) 建築物の部位や部材の位置
- (2) 各部の径・寸法・形状の不良・不適切箇所
- (3) 各部の取り付け位置・納まりの品質不良
- (4) 各部の数量、取り付け間隔

### 1.3. 本研究における実施項目

本研究では、以下の項目を実施した。

#### (1) 鉄筋工事における計測実験とそのデータの解析

鉄筋コンクリート造の共同住宅における鉄筋工事を対象として柱鉄筋、壁鉄筋、並びに床鉄筋について、3次元スキャナーを用いて配筋状況を点群として取得し、そのデータから配筋の内容を分析した。

#### (2) 3次元情報に基づく建築各部の形状・位置の計測技術の開発

鉄筋の計測における点群データの誤差を取り除く方法を開発するとともに、縦筋、横筋の配筋状況を識別する方法を開発した。

#### (3) 建築物の要求品質項目の3次元CADへの組み込み

鉄筋コンクリート造躯体工事に係る品質情報を検討し抽出した。次に3次元CAD上で、品質情報

#### 1.4. 研究体制

本研究は、下記の研究体制で実施した。

早稲田大学 理工学術院 嘉納成男（教授）

理工学総合研究所 五十嵐健（客員教授）

研究補助：

創造理工学研究科建築学専攻 修士2年 石田航星

創造理工学研究科建築学専攻 修士1年 福田結磨

創造理工学部建築学科 4年生 帯包知成（～2010/3）

芝浦工業大学 工学部 建築工学科 木本健二（准教授）

研究補助

大学院建設工学専攻 修士2年 四釜侑也

工学部建築工学科 4年生 中村道成（～2010.3）

#### 1.5. 本研究に関する外部発表

- 1) 四釜 侑也, 木本 健二, 嘉納 成男, 五十嵐 健, 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, 第26回建築生産シンポジウム、2010.07
- 2) 石田 航星, 嘉納成男, 木本健二, 五十嵐健, 帯包知成, 福田結磨, 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, 第26回建築生産シンポジウム、2010.07

## 2. 3次元スキャナーによるRC造躯体工事の計測実験

### 2.1. 実験対象の建築工事現場の概要

#### 2.1.1. 建築物の概要

実験の対象とした建築物は、図.2.1.1、表.2.1.1に示す鉄筋コンクリート造の共同住宅である。この建物の鉄筋工事及びコンクリート躯体工事の施工途中の出来形を照合した。

表.2.1.1 建築物の概要

計測場所	東京都内
用途	共同住宅
構造	RC造
階数	地下1階地上3階
実験実施期間	2009年9月7日 9:00～18:00 2009年9月8日 9:00～17:00

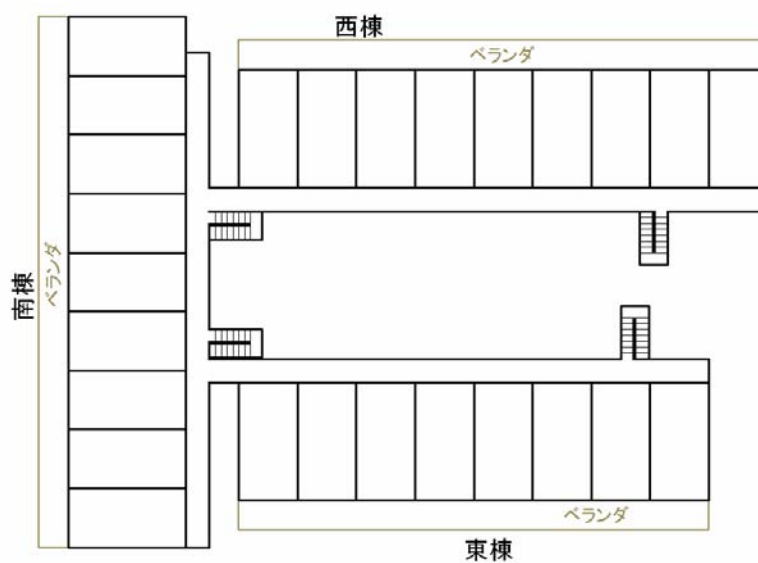


図.2.1.2 平面図



## 2.1.2. 工事現場の概要

以下の写真. 2.1.1は実験当日の建設現場の様子の写真である。



写真. 2.1.1 実験当日の建築現場の様子

## 2.2. 実験の概要

### 2.2.1. 使用した計測機器

本研究における測定に際しては、全ての測定で表. 2.2.1に示す機材を用いた。3次元スキャナーを設置するための三脚、三脚スプレッダー、電源ドラム、バッテリー等の測定の際に必要な周辺機器を含めた全ての機材の写真を写真. 2.2.1に示す。

表. 2.2.1 測定に用いた機材

3次元スキャナー	Leica製HDS3000
データ処理PC	DELL PRECISION M65
データ収集・解析用ソフトウェア	Cyclone5.8



写真. 2.2.1 測定に用いた機材の写真



写真. 2. 2. 2 計測風景

写真. 2. 2. 3は、複数の個所から計測した点群データを合成するために使用する平板の円ターゲットである。



写真. 2. 2. 3 平板の円ターゲット

#### 2. 2. 2. 機器の現場内運搬

3次元スキャナーの運搬用ケースは緩衝材が入っているため非常に大きく、ケースに入れたままでは仮設足場等での移動が行えない。3次元スキャナーは精密機械であるために慎重に扱わなければならないという問題があるため、本研究では、写真. 2. 2. 4に示した機器の足場上での移動用の保護具を用いた。写真に示す如く、ダンボールで3次元スキャナー用のケースを作り現場内での運搬を行うことを行った。



写真. 2. 2. 4 現場移動用に作成した3次元スキャナーのケース

### 2.2.3. 計測の手順と日程

測定実験を行った測定部位は以下の四箇所である。測定した階、日時についても以下に示す。

- ①柱・壁鉄筋 (2階 9月7日10:00～15:00)
- ②梁鉄筋 (3階 9月7日15:30～18:00)
- ③床鉄筋 (2階 9月8日9:30～12:00)
- ④コンクリート躯体 (2階 9月7日10:00～15:00)

それぞれで計測した場所は、図. 2. 2. 1に示す如くである。

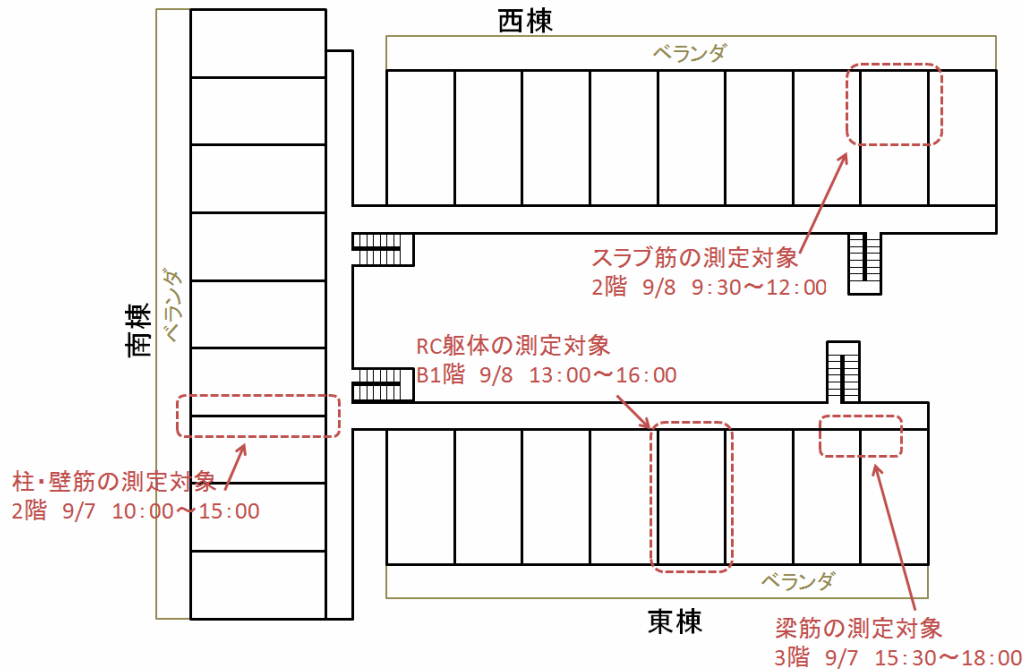


図. 2. 2. 1 計測場所

### 2.3. 3次元スキャナーによる計測

#### 2.3.1. 柱・壁鉄筋についての計測と計測結果

##### A. 計測の実施

柱と壁の鉄筋について、計測を実施した。計測においては、鉄筋が立体状に配筋されているため、内部の鉄筋がスキャナー側にある鉄筋に隠れて計測できない場合を考慮して、複数箇所から計測することとした。

計測した柱と壁鉄筋の出来形の状況を写真. 2. 3. 1～写真. 2. 3. 3に示す。



写真. 2. 3. 1 柱と壁鉄筋の出来形の状況



写真. 2. 3. 2 柱鉄筋の詳細



写真. 2. 3. 3 壁鉄筋の詳細

壁鉄筋にはまだ型枠が建て込まれていないため、正確な位置には固定されていない。その為、現場では木材で固定されていたが、計測の際にはこれを外した。このため、取得したデータ自体も壁鉄筋は全体的にゆがみが確認されており、計測データは、鉄筋径や配筋間隔等がその検査対象となる。

スキャナーの計測点は3か所とし、図. 2. 3. 1に示す印で示す箇所において計測し、また高さを変化させて計5回計測した。

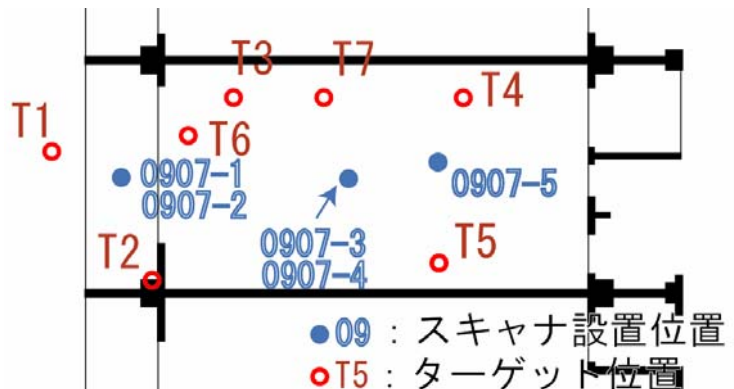


図. 2. 3. 1 測定位置とターゲット設置位置



写真. 2. 3. 4 3次元スキャナー設置の様子

#### B. 統合ターゲットの位置精度

複数箇所から測定した点群データを合成するにはターゲットを用いるが、このターゲットの位置座標が正確に取得できていないと、点群データの合成が上手く出来ない場合がある。そこで柱・壁鉄筋を計測した際に取得した点群データのターゲット座標が正確に取得できるかを調べ、点群データの合成誤差の有無を確認した。

柱壁鉄筋を測定した際の測定位置とターゲット設置位置を図. 2. 3. 1に示している。

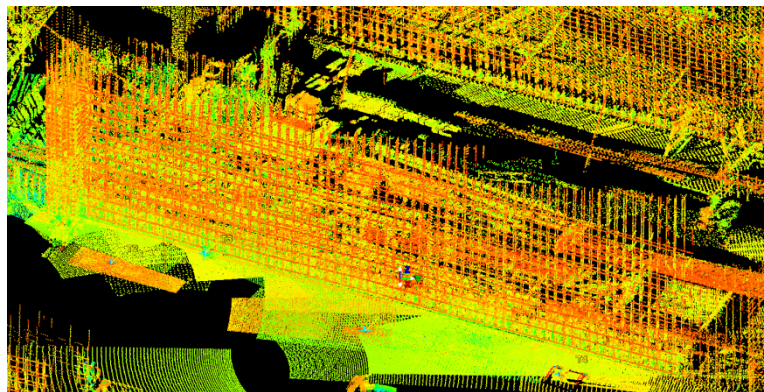


図. 2. 3. 2 5回の測定によって得られた点群データを合成した結果

図. 2. 3. 2は5回にわたった測定によって得られた点群データを合成し、その結果をCycloneによって描写したものである。目視による確認では合成による誤差は確認できなかった。

以下では、各ターゲットの座標に基づき、詳細な精度確認を行った。

表. 2. 3. 1はそれぞれ測定点0907-1と0907-4から得られたターゲットの中心の位置座標をまとめたものである。この表に書かれている位置座標を元に同一測定点における各ターゲット間の距離の差をまとめたものを表. 2. 3. 2、表. 2. 3. 3に示す。

表. 2. 3. 1測定点0907-1（左）と0907-4（右）におけるターゲットの位置座標（mm）

	X座標	Y座標	Z座標		X座標	Y座標	Z座標
Target-1	-629.021	-1926.06	695.656	Target-1	3499.226	-4885.15	707.369
Target-2	1864.657	2639.677	-388.911	Target-2	4390.422	242.761	-380.976
Target-3	-4399.69	1376.813	-1356.2	Target-3	-1148.23	-2968.45	-1343.85
Target-4	-7458.17	7245.998	-1366.97	Target-4	-5919.67	1608.001	-1357.38
Target-5	-1910.1	8340.988	-1450.57	Target-5	-1017.51	4428.924	-1444.64
Target-6	-3059.1	685.407	-1461.81	Target-6	354.064	-3192.75	-1450.38
Target-7	-5497.58	4453.489	-1462.2	Target-7	-3171.58	-399.172	-1452.51

表. 2. 3. 2測定点0907-1における各ターゲット間の距離（mm）

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
T1	-----					
T2	5314.2	-----				
T3	5416.4	6463.2	-----			
T4	11619.7	10444.6	6618.3	-----		
T5	10566.9	6919.6	7396.4	5655.7	'-----	
T6	4168.9	5405.0	1512.1	7899.5	7741.3	'-----
T7	8310.1	7658.0	3268.4	3413.4	5289.9	4488.3

表. 2. 3. 3 測定点0907-4における各ターゲット間の距離（mm）

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
T1	-----					
T2	5317.3	-----				
T3	5429.6	6474.2	-----			
T4	11625.0	10445.8	6611.4	-----		
T5	10572.8	6921.1	7399.2	5656.5	-----	
T6	4172.8	5407.3	1522.7	7900.4	7744.1	-----
T7	8324.0	7664.5	3272.2	3404.4	5286.8	4498.2

表2. 3. 4 単位メートルあたりのターゲット間距離の差（mm/m）

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
T1	-----					
T2	-0.59	-----				
T3	-2.43	-1.71	-----			
T4	-0.45	-0.12	1.04	-----		
T5	-0.56	-0.21	-0.38	-0.15	-----	
T6	-0.93	-0.42	-7.01	-0.11	-0.36	-----
T7	-1.67	-0.85	-1.14	2.64	0.57	-2.22

-2.43459	赤色: 誤差が大きい
-0.44953	青色: 誤差が小さい

表. 2. 3. 4は表. 2. 3. 2、表. 2. 3. 3示した各測定点におけるターゲット間の距離の差を求めたものである。ただし、ターゲット間の距離はそれぞれ異なるので表. 2. 3. 4に示してある値は全て1メートルあたりの差に補正してある。また測定点0907-1のデータから0907-4のデータを引いているので、値がマイナスになっているものは0907-1より0907-4のデータの方が距離が短く出ていることを意味している。

表. 2. 3. 4より、統合時に使用するターゲットの選び方によってはターゲット間の距離の差が大きく出ていることが伺える。特にT3とT7に関する距離の誤差が大きく出ているの事が観察できる。T3やT7のよ

うにその位置が正確に取れていないターゲットを用いてデータの合成を行うと統合時のずれが大きくなるため注意が必要である。一方、T2, T4, T5に関する距離の誤差は小さく、この3点は正確に中心位置が取得されていると判断できる。また、この三点は相互距離が6～10mほどで十分に離れているため、この3点をデータ統合時に使用するターゲットとした。

### C. 計測の結果

#### (1) 計測点群の全体

点群データを用いてデータ解析を行うには、異なる測定位置で測定した点群データを合成することが必要である。以下に示す図は柱・梁鉄筋の点群データのうち、測定点0907-1と0907-4から得られたデータについて誤差の除去を行い、同一座標系に合成した結果をProjectWiseNavigatorに読み込んだものである。なお全点群のうち30%のみを表示している。赤い点は測定点0907-1から取得した点群であり、青い点は測定点0907-4から取得した点群である。

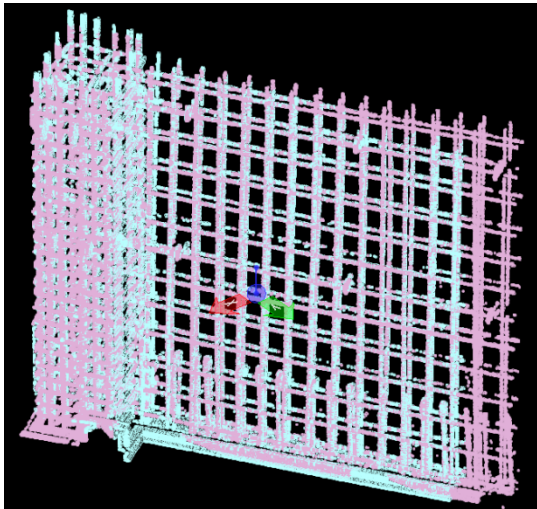


図. 2. 3. 3. a 点群データの合成結果

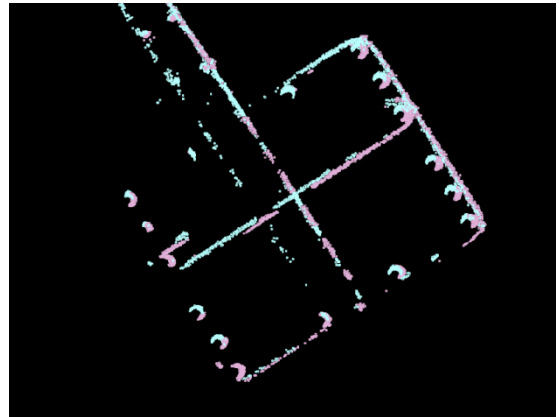
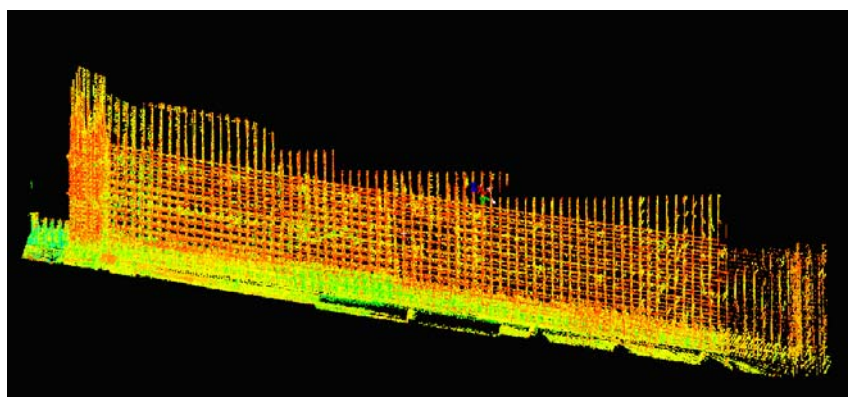
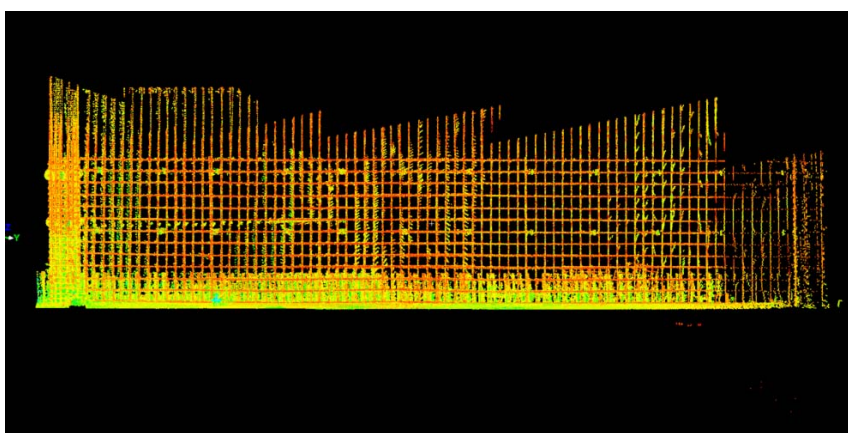


図2. 3. 3. b 点群データの合成結果の断面

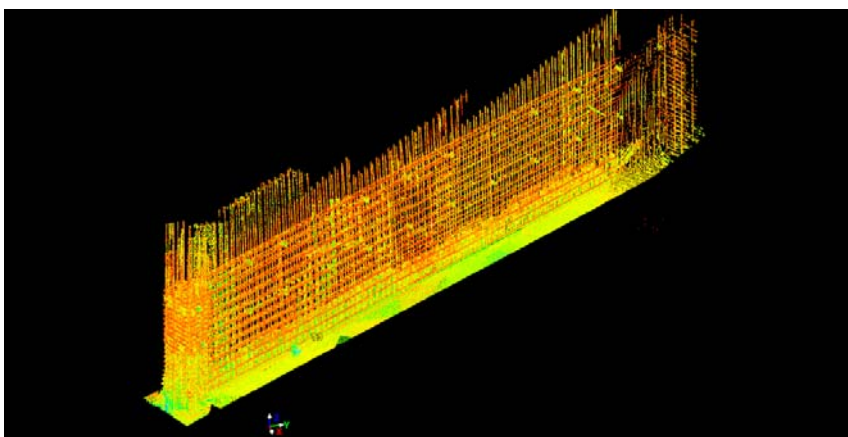
計測したデータについて、Cycloneを用いて合成した結果を以下の図. 2. 3. 4-図. 2. 3. 8に示す。点群に付けられた色は、レーザーの反射輝度の強度を示している。



a. 柱・壁鉄筋の右側より見た点群



b. 柱・壁鉄筋の正面より見た点群



c. 柱・壁鉄筋の左側より見た点群

図.2.3.4 柱・壁鉄筋の点群



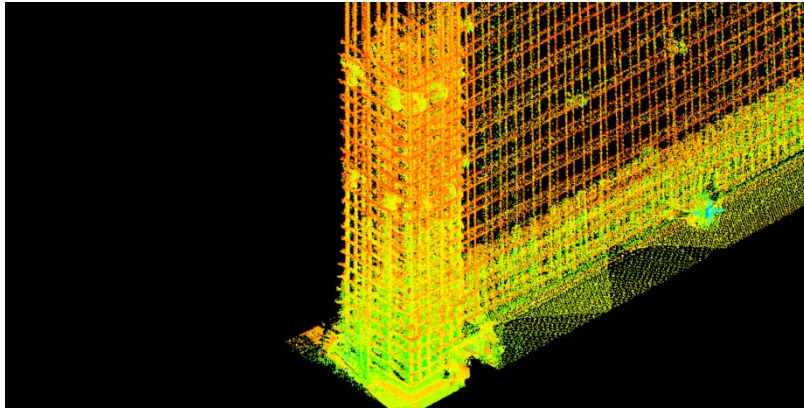


図. 2. 3. 5 柱部分の点群

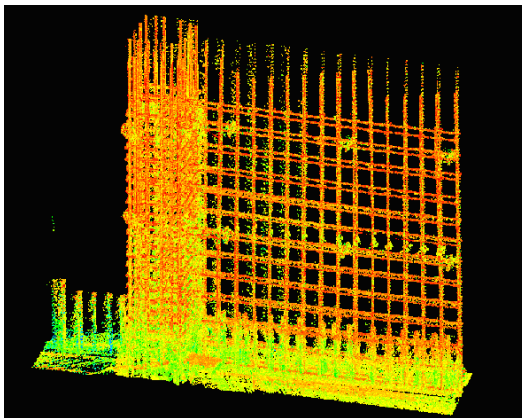


図. 2. 3. 6 柱・壁鉄筋の点群データ

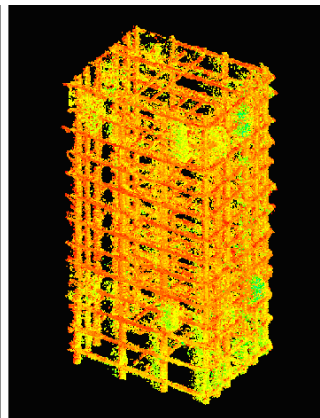


図. 2. 3. 7 柱の詳細な点群データ

(2) 各部の点群の詳細

図. 2. 3. 8-図. 2. 3. 12は、スパーサーについて、各5か所からの計測点における3次元スキャナーから計測した点群の状況を示した図である。図. 2. 3. 13、図. 2. 3. 14は以上の5つの計測点群を合成して求めたスパーサー部分の点群を示している。

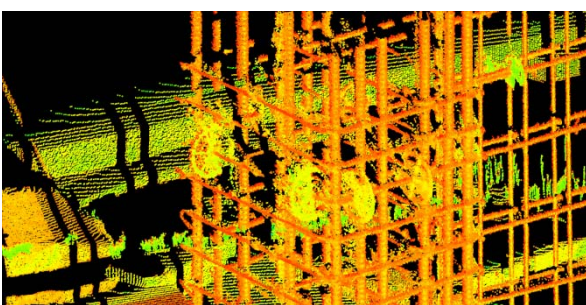


図. 2. 3. 8 0907-1からの計測点群

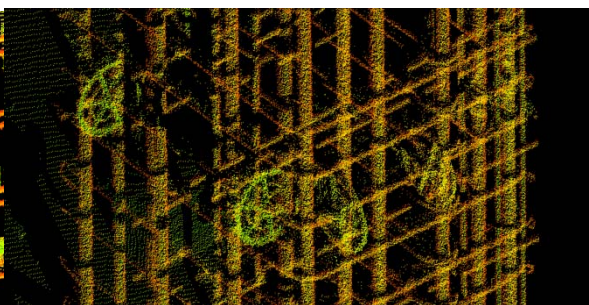


図. 2. 3. 9 0907-2からの計測点群

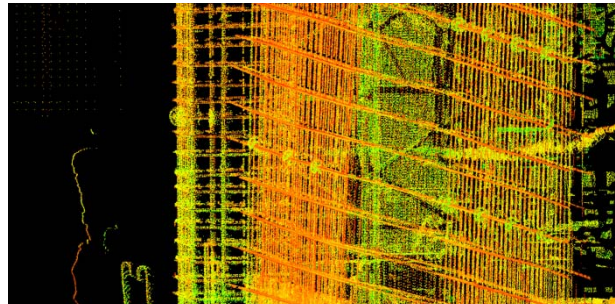
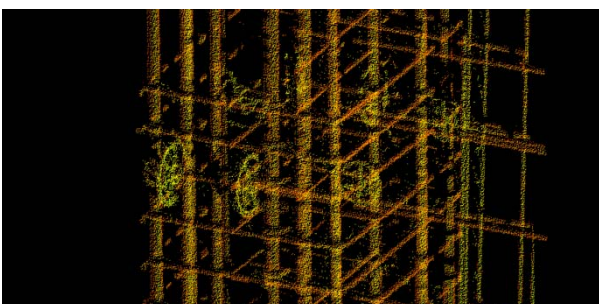


図. 2. 3. 10 0907-3からの計測点群

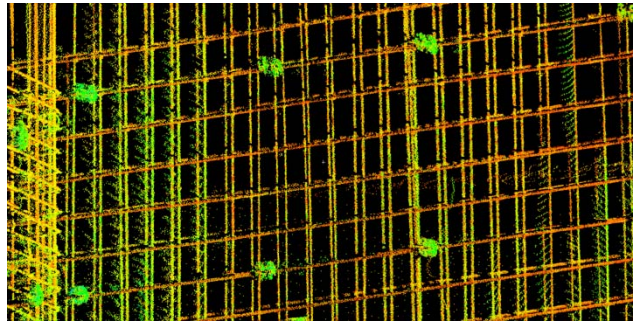


図. 2. 3. 11 0907-4からの計測点群

図. 2. 3. 12 0907-5からの計測点群

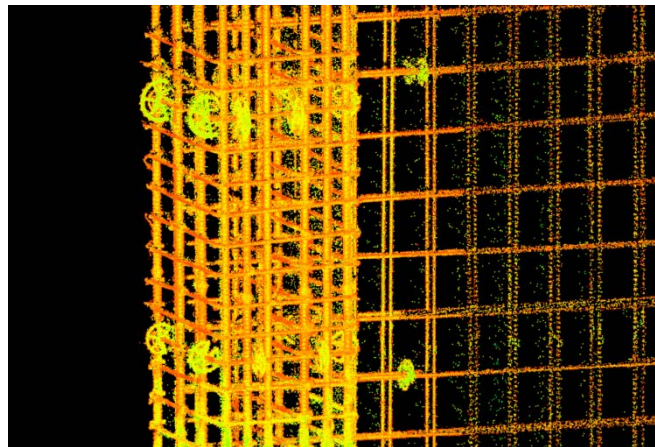


図. 2. 3. 13 スペースについて合成した点群

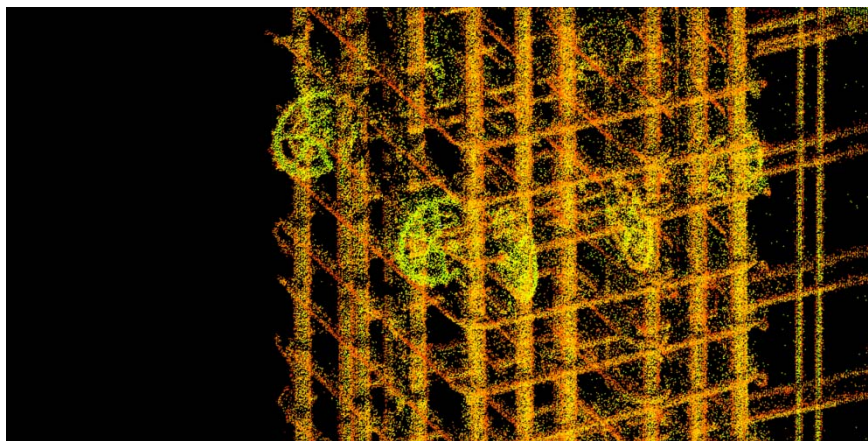


図. 2. 3. 14 スペースについての合成した点群（詳細）

図. 2. 3. 15は0907-1から計測した圧接箇所の点群を示している。又、図. 2. 3. 16は、他の位置から計測した点群と合成した結果を示した。

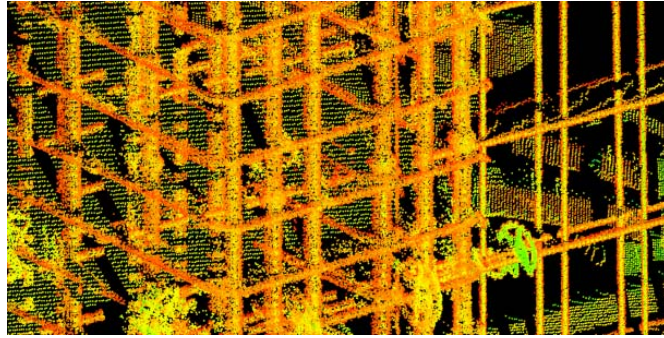


図. 2. 3. 15 圧接箇所について0907-1からの計測点群

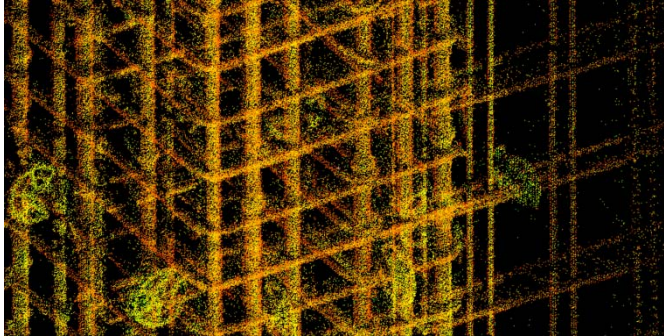


図. 2. 3. 16 統合後の圧接箇所の点群

図. 2. 3. 17は、壁鉄筋における重ね継ぎ手の部分を計測した点群である。



図. 2. 3. 17 重ね継ぎ手の点群

図. 2. 3. 18及び図. 2. 3. 19は壁鉄筋とスペーサーの関係を示している。

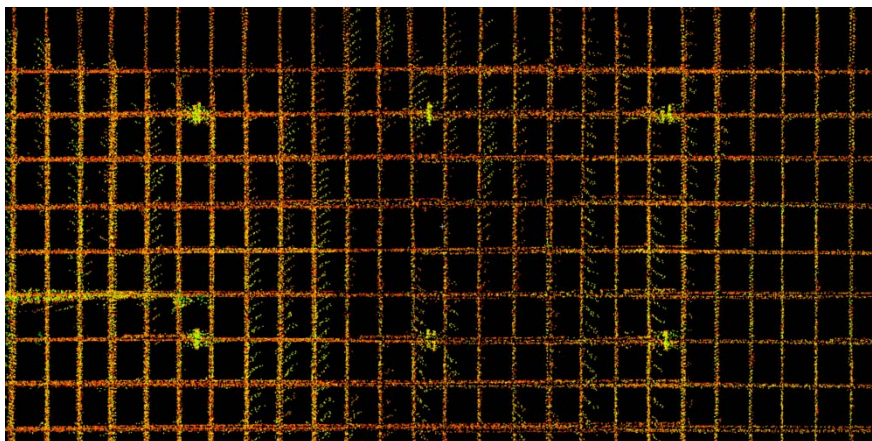


図. 2. 3. 18 壁鉄筋とスペーサーの点群

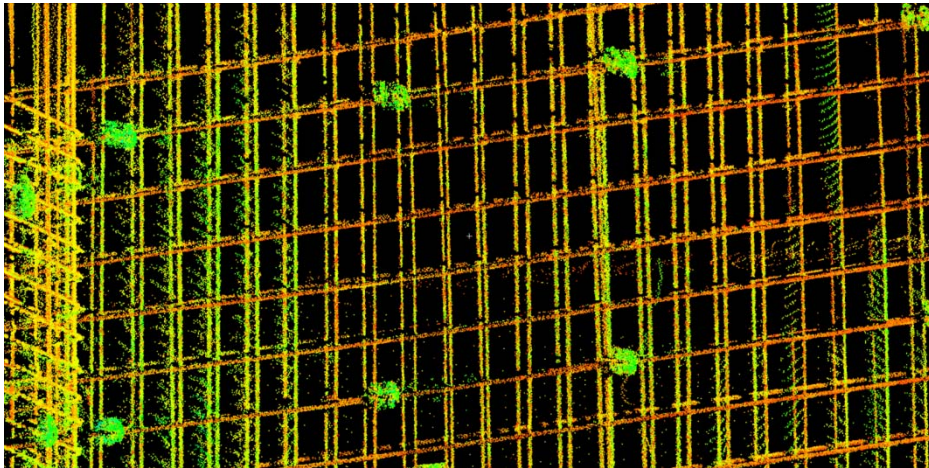


図. 2. 3. 19 壁鉄筋とスペーサーの点群の詳細

D. 計測結果の分析

(1) 柱壁鉄筋の鉄筋径と鉄筋間隔

計測した点群をCyclone及びGeomagicを用いて、鉄筋の間隔及び寸法を算出した。この算出は、画面上に点群の画像を示し、その画像をマウスで3次元的に回転しながらその3次元形状を把握したのち、マウスで計測する2箇所を指定して、寸法を測り出す方法で行った。

以下に、計測した寸法を示す。

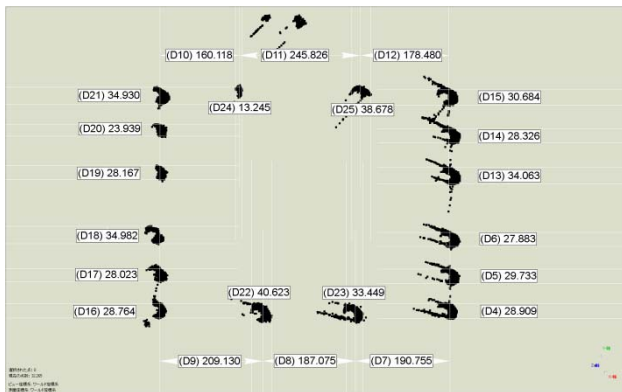


図. 2. 3. 20 柱鉄筋の寸法



図. 2. 3. 21 柱鉄筋

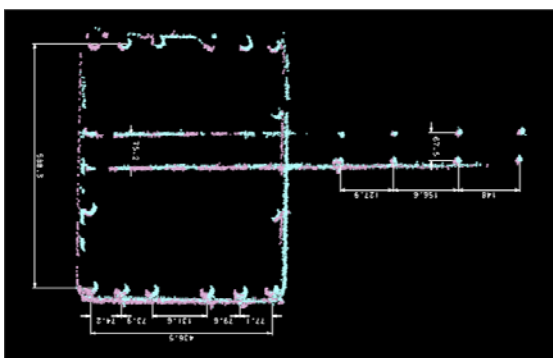


図. 2. 3. 22 柱と壁鉄筋の間隔と径の計測

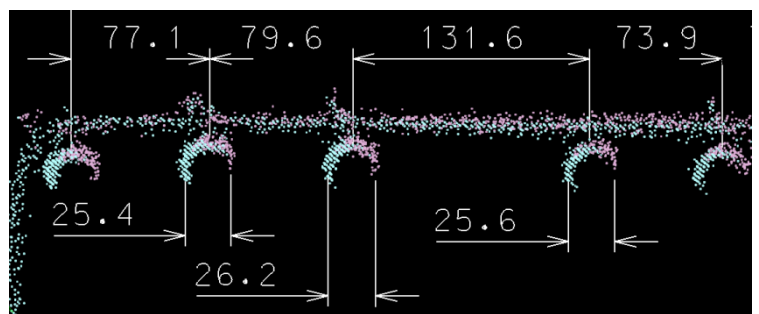


図. 2. 3. 23 柱鉄筋の間隔と径の計測

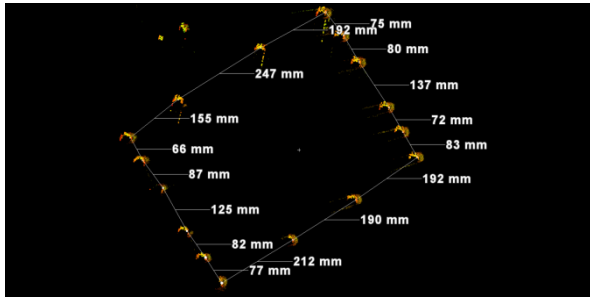


図. 2. 3. 24 柱鉄筋の間隔

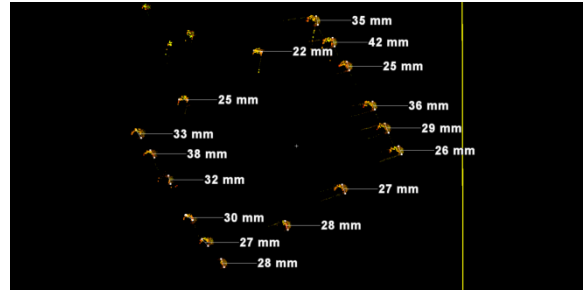


図. 2. 3. 25 柱鉄筋の径

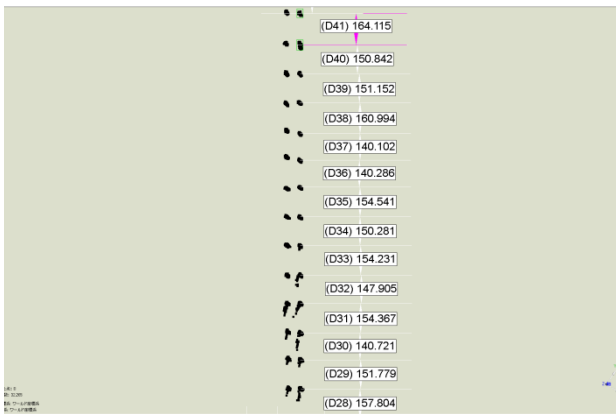


図. 2. 3. 26 壁鉄筋の間隔(立断面)

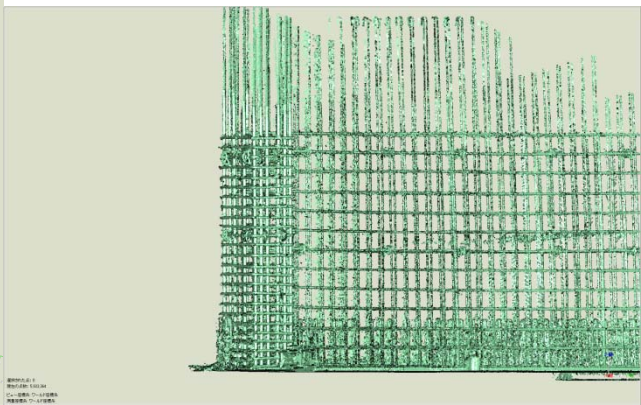


図. 2. 3. 27 壁鉄筋

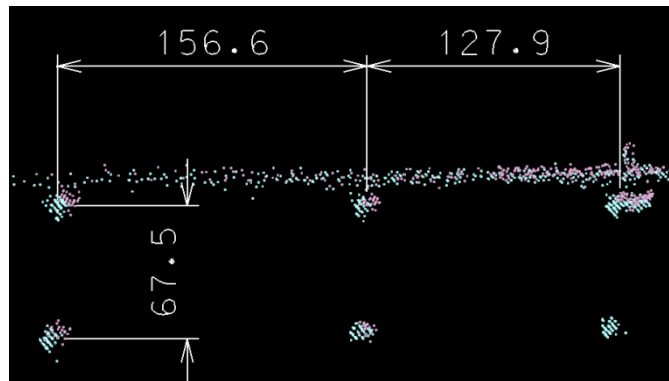


図. 2. 3. 28 壁鉄筋の間隔と径の計測 (詳細)

(2) スペーサーの位置

図. 2. 3. 29は点群からスペーサーの位置 (高さ) をCyclone上で計測した結果である。

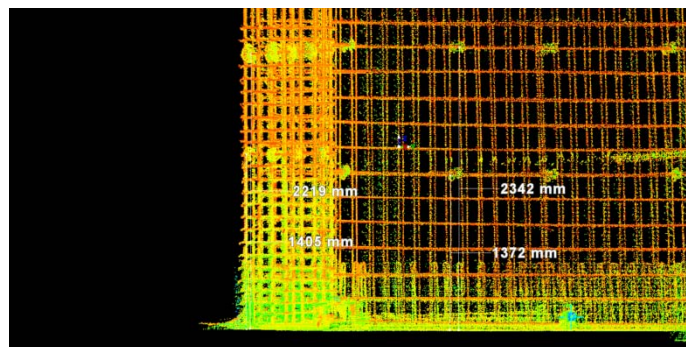


図. 2. 3. 29 スペーサーの位置 (高さ)

### 2. 3. 2. 梁鉄筋についての計測と計測結果

#### A. 計測の実施

柱と梁の接合部について、計測を実施した。写真. 2. 3. 5は柱鉄筋と梁鉄筋の接合部の写真である。写真. 2. 3. 6は梁鉄筋の写真である。計測時点では、梁型枠内に梁鉄筋を落とし込んだ状態であったため、梁上部の鉄筋のみが計測可能であった。図. 2. 3. 30に計測したスキャナーを設置した位置を示している。



写真. 2. 3. 5 柱・梁鉄筋の写真



写真. 2. 3. 6 梁鉄筋の写真

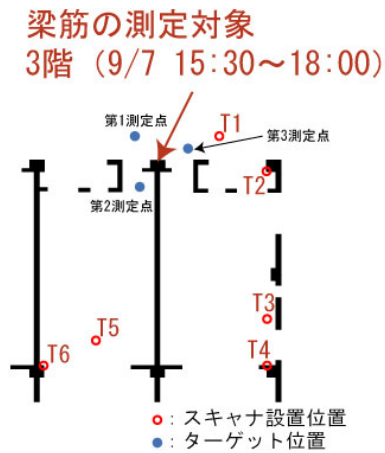


図. 2. 3. 30 3次元スキャナー設置位置

#### B. 計測の結果

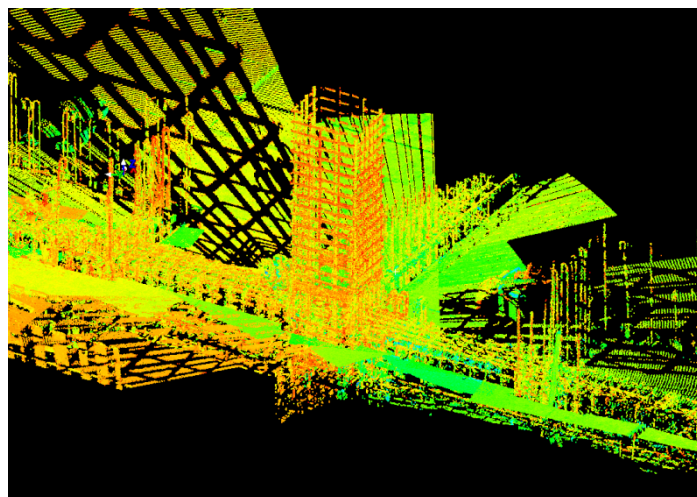


図. 2. 3. 31 梁鉄筋の点群データ (全体)

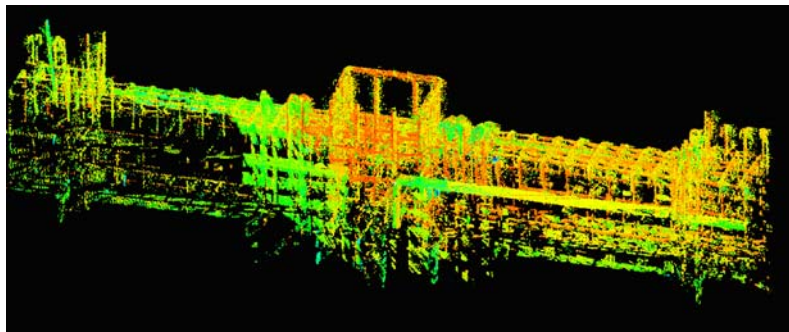


図. 2. 3. 32 梁鉄筋の点群データ

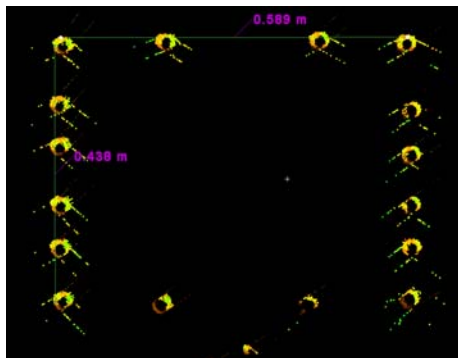


図. 2. 3. 33 柱部分の断面の状況

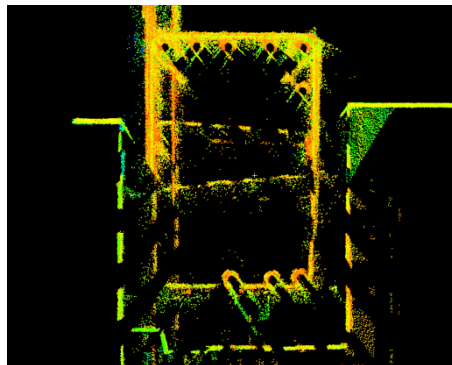


図. 2. 3. 34 梁部分の断面の状況

### C. 計測結果の分析

図. 2. 3. 35はスターラップの間隔を計測した結果である。図. 2. 3. 37はCycloneのモデリング機能を用いて梁型枠と梁筋の近似サーフェスモデルを作成したものである。

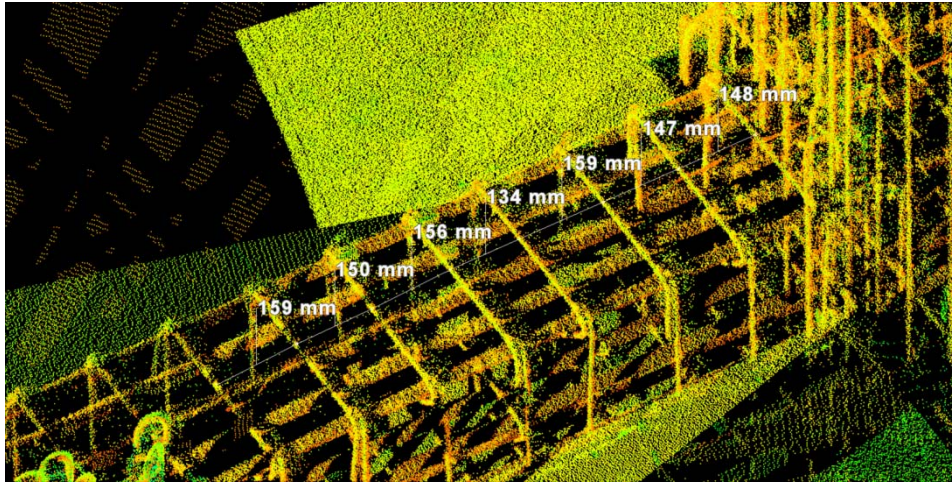


図. 2. 3. 35 スターラップの間隔

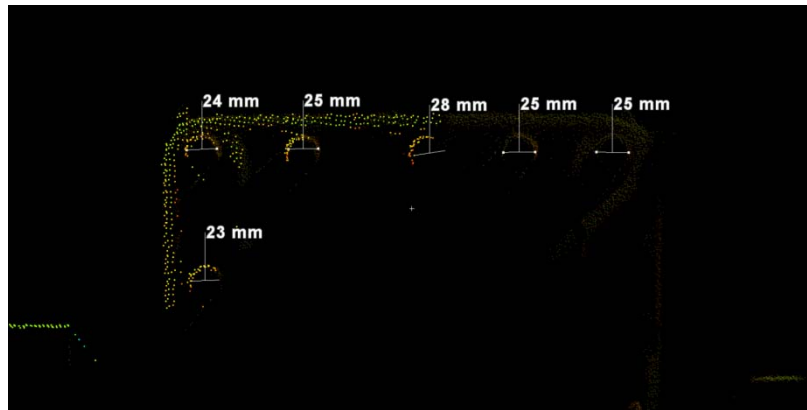


図. 4. 3. 36 梁鉄筋の径

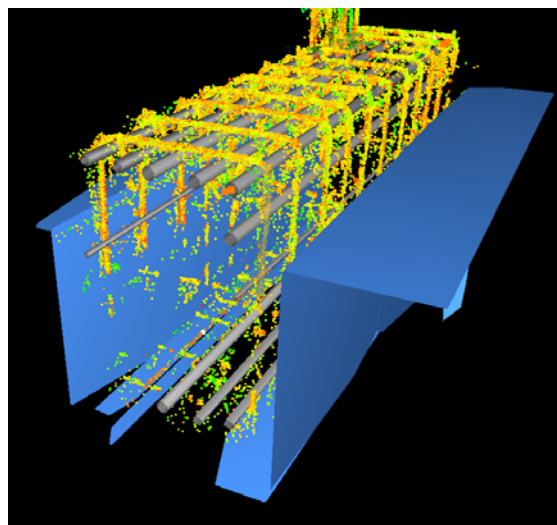


図. 2. 3. 37 梁型枠と鉄筋のモデリング



### 2.3.3. 床鉄筋についての計測と計測結果

#### A. 計測の実施

床鉄筋について計測を実施した。計測においては、3次元スキャナーを配筋された床に設置する必要があったため、配筋された鉄筋上にベニヤを敷きその上に3次元スキャナーを設置した。計測関係者の配筋上の移動は、3次元スキャナーが歩行による振動で揺れる可能性があるため、計測時は計測周辺を移動禁止として計測を実施した。

写真.2.3.7に現場の状況を示す。写真.2.3.8は、3次元スキャナーを設置した様子を示す。また、写真.2.3.9は、統合のためのターゲットを左右の柱鉄筋に取り付けた状況を示している。

図.2.3.38は、3次元スキャナーを設置した位置とターゲットの位置を示している。



写真.2.3.7 床鉄筋の状況



写真.2.3.8 スラブ筋計測時の状況



写真. 2. 3. 9 柱鉄筋に取り付けたターゲット

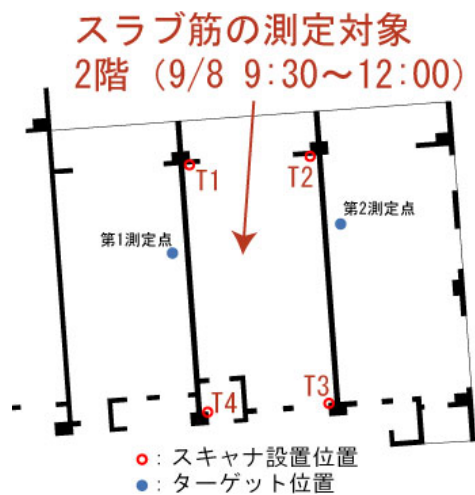


図. 2. 3. 38 3次元スキャナー設置位置

## B. 計測の結果

本実験で測定した建物の床はボイドスラブで、アルミ製の楕円形のボイドが挿入されている。

図. 2. 3. 39～図. 2. 3. 42に示した点群データからスラブの上端筋と楕円形のボイドが確認できる。

床鉄筋は、上下の鉄筋にボイドが挟まれた状態で配筋されているために、下部の鉄筋が上部の鉄筋とボイドによってレーザーの照射が妨げられ、十分な計測データとはなっていない。また、柱や壁鉄筋と異なり、鉄筋の上部1,600mm程度高さから、水平に配置された鉄筋を計測しているため、斜めからの計測となり、計測条件は更に悪くなっている。

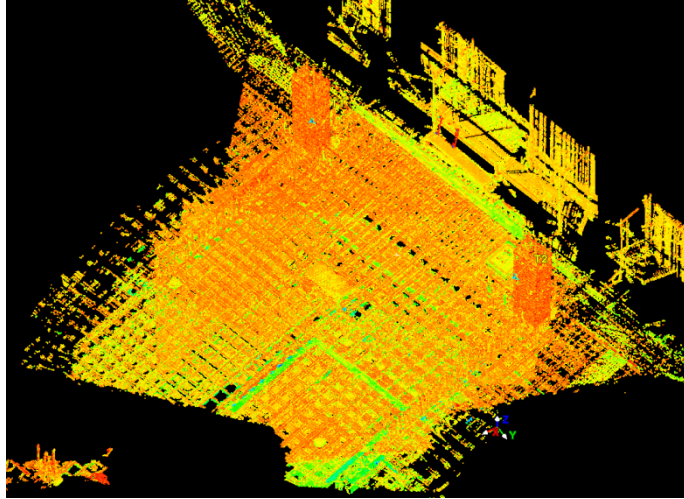


図. 2. 3. 39 床鉄筋の点群データ（上部より見た点群）

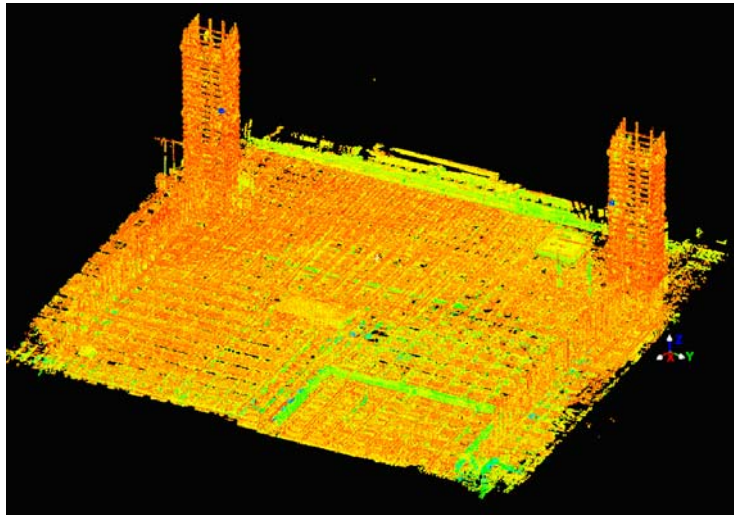


図. 2. 3. 40 床鉄筋の点群データ（廊下側より見た点群）

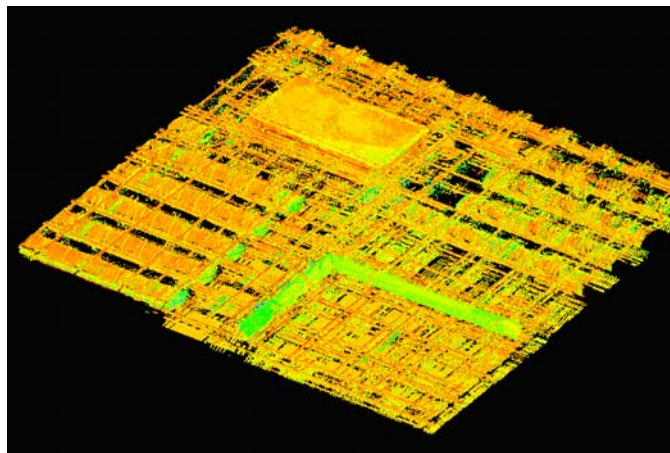


図. 2. 3. 41 床鉄筋の点群データ（詳細）

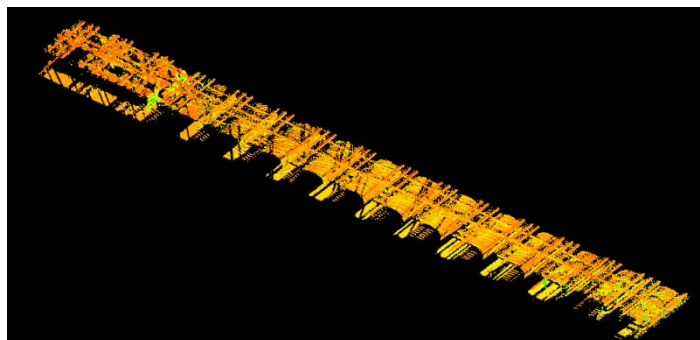


図. 2. 3. 42 床鉄筋の点群データの断面

### C. 計測結果の分析

床鉄筋について、点群の断面を取り鉄筋の間隔を調べた。図. 2. 3. 44に鉄筋の間隔を示す。鉄筋の下部にアルミ製のボイドが置かれていることを認識することが出来る。

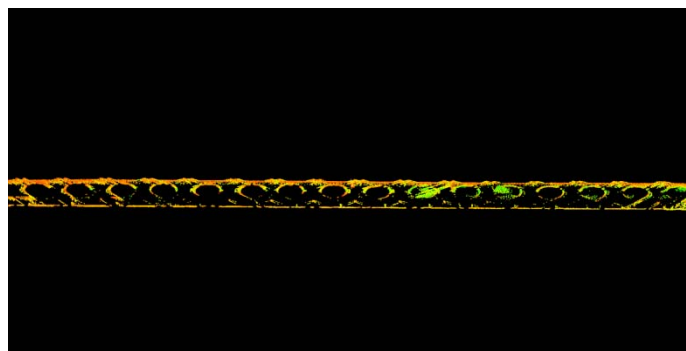


図. 2. 3. 43 床鉄筋部分の断面

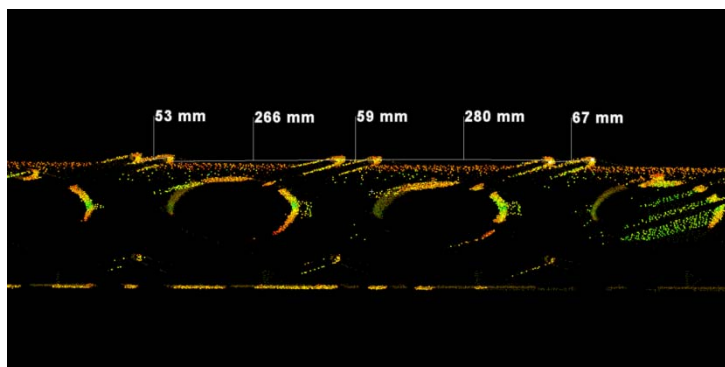


図. 2. 3. 44 床鉄筋の間隔

### 3. 3次元情報に基づく建築各部の形状・位置の計測技術の開発

#### 3.1. 3次元スキャナー計測結果の補正と分析技術

##### 3.1.1. 3次元スキャナーにより得られる鉄筋の点群の特徴

点群は正確に測定できた点群とノイズとがある。正確に測定できた点群は、本研究において必要な鉄筋の点群以外に床や壁、型枠、仮設物など測定対象外の表面も計測されているため、鉄筋についての点群のみを抽出する必要がある。また、鉄筋の点群も縦筋や横筋などの各種鉄筋部材に分類される。柱・壁鉄筋を3次元スキャナーで計測した際に取得される点群データの点群は以下の図. 3.1.1のように分類できる。これらの各々の点群の形状の違いを認識することが必要である。

#### 点群の分類

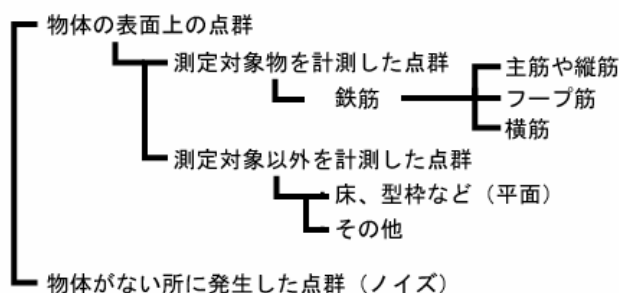


図. 3.1.1 本研究における点群の分類

##### 3.1.2. 計測結果の点群データの補正

###### A. 計測における点群のノイズ

3次元スキャナーを用いることで取得される点群データは測定対象物の形状を把握するのに適しているが、測定対象物の形状や計測箇所によってはノイズが多く発生する。図. 3.1.2は柱・梁鉄筋の測定データの詳細を示した図である。円筒形の鉄筋の背後にノイズが尾を引いていることが確認できる。このノイズは以後のシステムによる各種の解析において障害になるため、除去する必要がある。除去は、手動でも可能であるが、鉄筋の如く大量のノイズが鉄筋の中で発生する場合、システム的に除去することが必要になる。

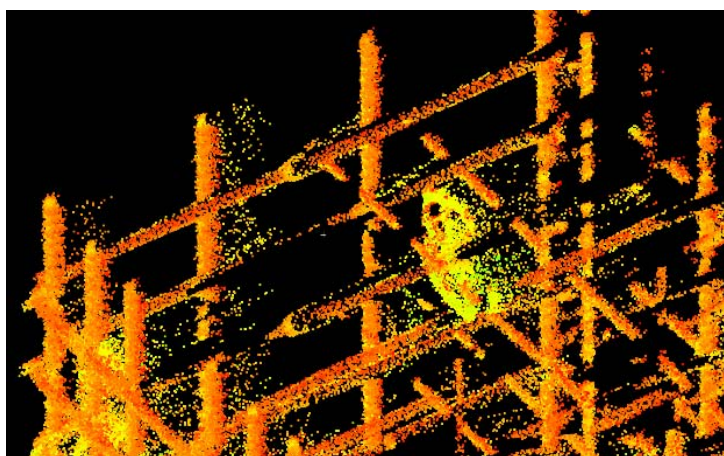


図. 3.1.2 ノイズの発生状況

ノイズは円筒形や柱や梁の角を測定した際に多く発生する。円筒形の両端や物体の端部を測定した場合、その物体の後方に存在する物体にもレーザーが同時に当たり、距離を計算するとこの両者の間の距離となるため、手前の物体の位置より後方に点群が発生する（図. 3. 1. 3）。このため、レーザーが鉄筋を掠めるように照射されると、レーザーの照射範囲が後方にも及ぶため、鉄筋の後方には多くのノイズが発生する。

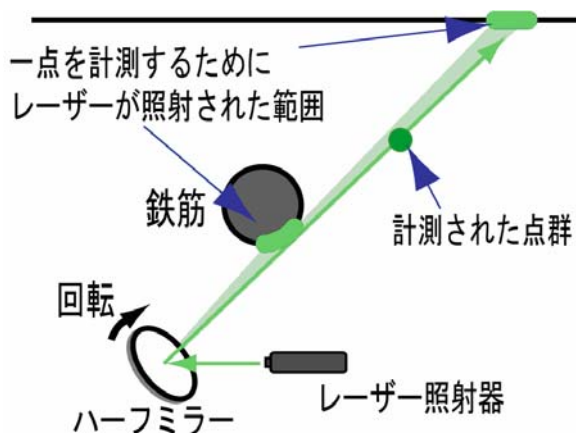


図. 3. 1. 3 ノイズの発生原因

#### B. 点群の近隣距離に基づくノイズの除去

計測データを極座標（図. 3. 1. 4）に変換すると、各点における水平角と垂直角を求めることができる。

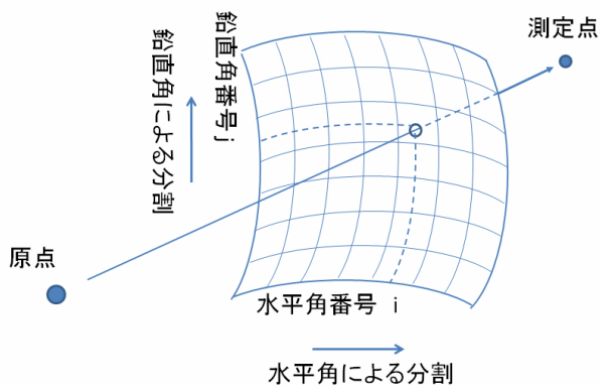


図. 3. 1. 4 点群データの極座標系へ変換

レーザーの計測時に設定する測定間隔を $D$ とした場合、極座標系における特定の点群に対して照射対象物上での幅 $D$ に対応する原点からの角度差 $\Delta\theta$ 内に納まる近隣の点群との相互距離を調べる。鉄筋の表面を捉えた点群では近隣の点との距離間隔は、目標とした間隔 $D$ の $\alpha$ 倍（安全率）以下の範囲で納まるようになる。一方ノイズとなる点群は近隣の点群との距離間隔が $\alpha \cdot D$ より大きくなる。

計測時の計測間隔 $D$ とした場合、正常な点群のほとんどは $D$ に安全率を乗じた距離以内に納まる。今回は、 $\alpha$ は2としている。このノイズの特徴を基にノイズを除去するシステムを作成した。

なお、計測した点群は、3次元スキャナーから対象物表面までの距離が近くなるに従って、計測される点群の間隔が小さくなるため、点群の計測間隔が目標とする間隔より小さい場合は、密度調整をして、

点群の計測間隔が必要以上に細かくなならないようにしている。

### C. 点群の密度によるノイズ除去

前述の距離によるノイズの識別とともに、点群の密度に基づいて、ノイズを識別する方法を開発した。距離による識別では、点群が他の点群と距離  $\alpha \cdot D$  をもって、線形的に連なっているとノイズと判定されないため、このようなノイズは除去出来ない。鉄筋の後ろにたなびくノイズの多くは、線形的に連なる場合も多いため、点群が特定の密度をもって存在するか否かによってノイズを識別する方法を用いた。

図. 3. 1. 5は、鉄筋の周りの点群を示しているが、鉄筋に当たった点群は一定の密度をもって存在するが、ノイズは、密度が低くなる特徴がある。特定の点群について半径  $r$  の球内に存在する点群の数を調べることによって密度を求め、球の中の点群数が  $N$  個に満たないときはノイズと判定した。本実験では、 $r=3(\text{mm})$ 、 $N=4$  としてノイズを識別した。

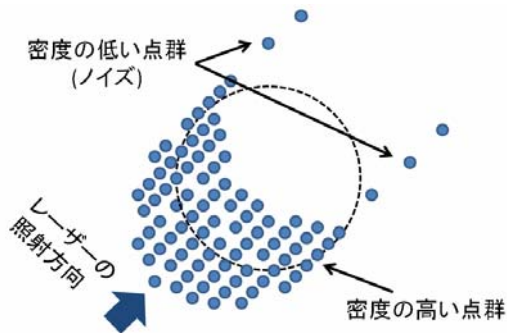


図. 3. 1. 5 点群の密度によるノイズの判定

上記の2手法を用いてノイズの除去をおこなった結果を図. 3. 1. 6に示す。

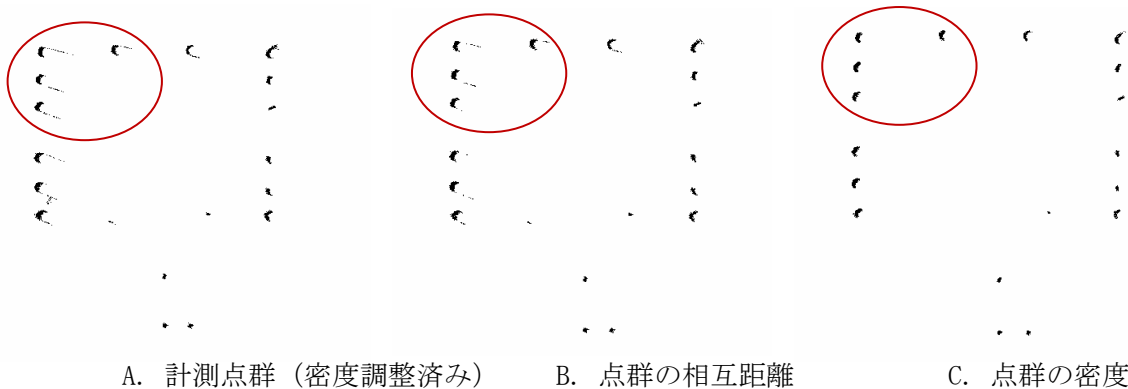


図. 3. 1. 6 点群の相互距離と点群の密度によるノイズの除去の結果

## 3. 2. 線形状を有する部材の検出

### 3. 2. 1. 線形状を有する部材の検出手法

計測した点群データから鉄筋間隔や径、本数を手作業で確認することは可能であるが、コンピュータのマウス操作に要する労務は非常に大きく、大量の点群データについて短時間で分析することは難しい。このため、取得した鉄筋の点群データの座標から点群が構成する形状を判定し、鉄筋の品質の検査・確

認を自動で行うシステムを開発した。

鉄筋を抽出するシステムの概要は以下の通りである。

- ①点群を水平方向に切断し、切断面ごとに縦筋の抽出を行う
- ②切断面に含まれる点群を塊ごとに分離しグループ化する
- ③グループ化された点群の形状を判断し、縦筋の断面である点群のみを抽出
- ④各断面ごとにそれぞれの縦筋の中心位置を求める
- ⑤縦筋の断面であると判定されたグループを一本の縦筋ごとに纏める
- ⑥縦筋を測定した点群を除去する
- ⑦上記で残った横筋、フープ筋の点群についても同様の操作を繰り返す

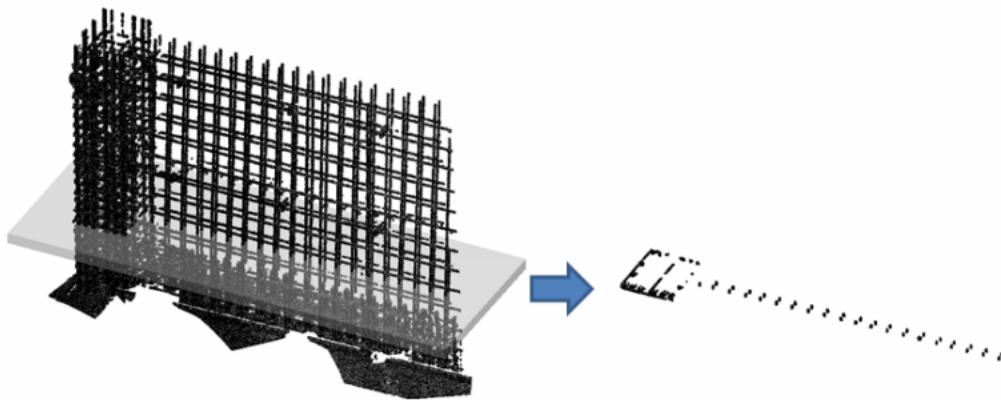


図. 3. 2. 1 点群を水平断面ごとに分析するイメージ図

### 3. 2. 2. 切断平面内の鉄筋のピクセル化と形状判定

切断平面内での分析は点群のままでは行わず、点群データを正方形の枠に当てはめ、図. 3. 2. 2に示すようにピクセル状にデータを変換して分析を行っている。これにより複雑に入り組んだ点群を、ピクセルの隣接関係をみることによって、連続している点群ごとにスムーズに分類することが可能となる。

切断平面内の点群データをピクセル化した後、点群の塊ごとに図. 3. 2. 3に示した5つの形状に分類した。鉄筋の形は線状であるため水平断面内では縦方向の鉄筋は” b. 点群密度の濃い塊”として、それ以外の鉄筋は” c. 線状の点群の塊”として現れている。この形状分類に基づいて鉄筋の点群である可能性が高いもののみを抽出する。

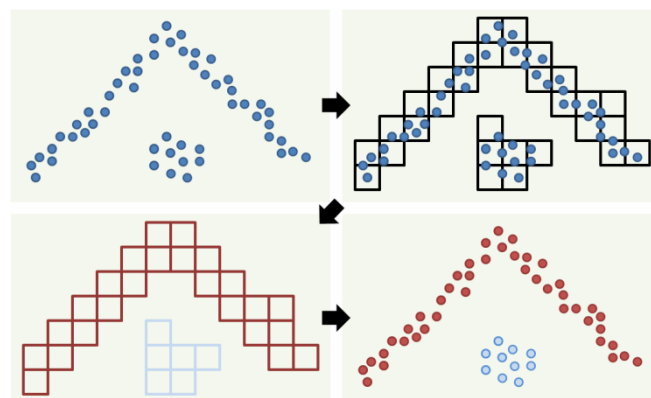




図. 3. 2. 2. 点群のピクセル化のイメージ

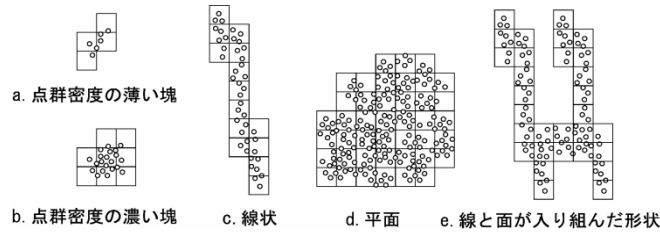


図. 3. 2. 3 平面系での点群の形状の分類

図. 3. 2. 1は柱・壁鉄筋の水平方向の断面を表示したものである。この断面の点群をグループ化したものが図. 3. 2. 4である。図. 3. 2. 5グループごとに色を変えて点群を表示している。

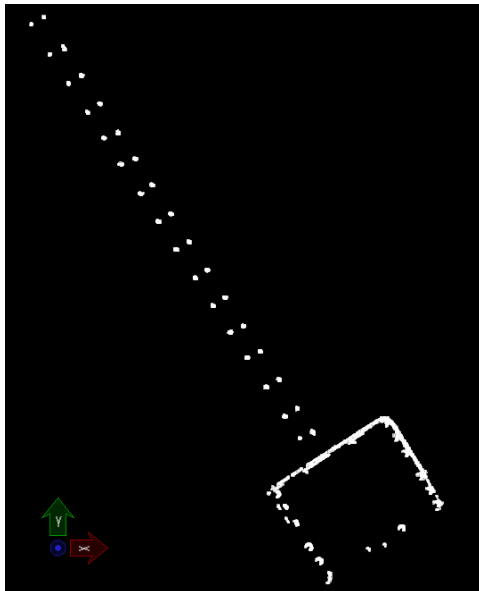


図. 3. 2. 4 柱・壁鉄筋の断面

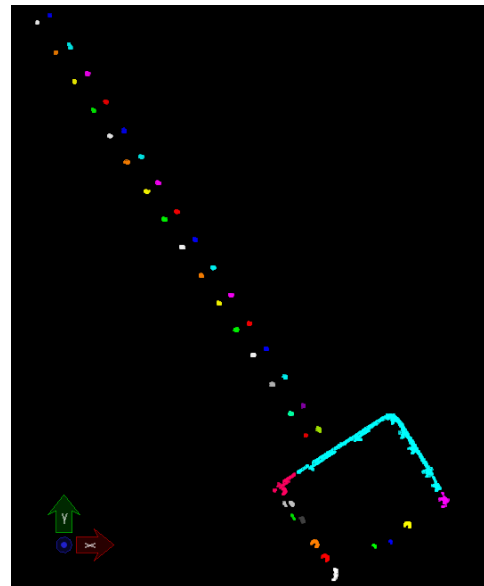


図. 3. 2. 5 塊ごとにグループ化した結果

### 3. 2. 3. 垂直方向の鉄筋の分離

前項の手法により水平断面の法線方向に延びる鉄筋の点群を抽出した後、鉄筋1本1本の中心位置や径を取得する。

鉄筋は円筒形に近いので円筒形の当てはめ式が使えるのだが、径に対して各点の誤差が大きいうえに、鉄筋は滑らかに変形するので円筒の近似に必要な点群数を得られない場合が多い上に、異型棒鋼にはリブが存在する。そこで、切断平面に点群を投影し、図. 3. 2. 3の手法で形状判定をおこなったのち、縦方向の鉄筋の断面である可能性の高い点群は最小二乗法を用いて最も近い円の方程式を当てはめ、鉄筋の中心位置を算出する。

続いて水平断面ごとに縦方向の鉄筋の中心座標と径を求めた結果を、異なる水平断面と比較して縦方向の鉄筋の中心位置を求める。鉄筋はある程度の長さを持つ滑らかな曲線として存在している。各水平断面で分離した点群の塊もその点群が鉄筋のものであれば上下に同様の大きさの点群塊が隣接して存在

するはずである。異なる水平面の点群塊で隣り合って存在する点群塊をひとまとめにし、連続した線状の点群へとまとめてく（図. 3. 2. 6）。

これによりなめらかな曲線を描く鉄筋の点群を抽出することができる。鉄筋の軸の向きが切断平面の法線に対して $20^\circ$ 程度までであれば抽出可能である。

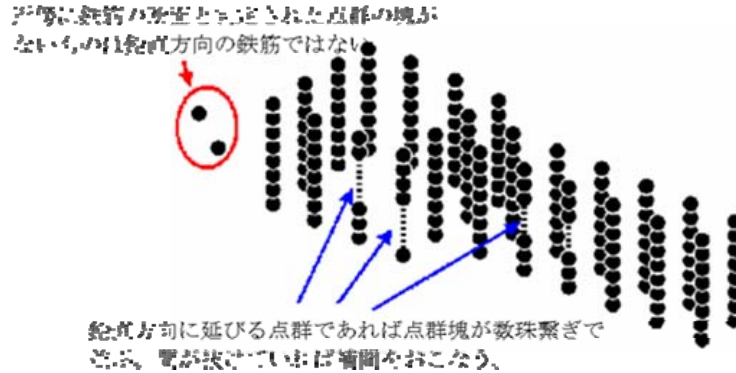


図. 3. 2. 6 なめらかな曲線状の点群を抽出する方法

### 3. 2. 4. 帯筋・横筋の抽出

垂直方向の鉄筋を抽出したのち、帯筋や振れ止め筋、壁の横筋などのように水平方向に延びる鉄筋の抽出を行う。水平方向延びる鉄筋も垂直方向に延びる鉄筋と同様に平面で切断して分析を行う。

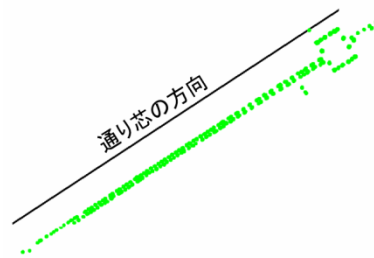


図. 3. 2. 7 通り芯の指示

現実の水平方向に延びる鉄筋の多くは建物の通り芯に対して平行、もしくは垂直に配置されているので、鉄筋の点群データの通り芯の方向を指示し、その通り芯に対して垂直に交わる切断平面で分析を行い、通り芯に平行な鉄筋の抽出を行い、続いて通り芯に平行で水平面に垂直な切断平面で分析を行うことで、通り芯に対して垂直な鉄筋の抽出を行う。

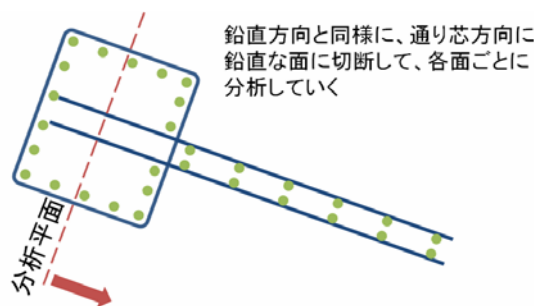


図. 3. 2. 8 通り芯に平行な鉄筋の点群の抽出

前項の手法で通り芯に対して平行・垂直な鉄筋を抽出した点群を、さらに帯筋と横筋・振れ止め筋に分類する（図. 3. 2. 8）。

水平方向に延びる鉄筋のうち、帯筋だけは鉄筋の形状が閉じた図形（長方形）である。この特徴に着目し、通り芯に対して平行な鉄筋の点群の軸の線分と、通り芯に対して垂直な鉄筋の点群の軸の線分との最短距離を比較し、分類する手法を考案した。帯筋はフックの部位以外の角では1本の鉄筋を曲げているため、両線分の最短距離は異型棒鋼の径より小さくなる。また、両線分の近接点は線分の両端に位置する（図. 3. 2. 10）。

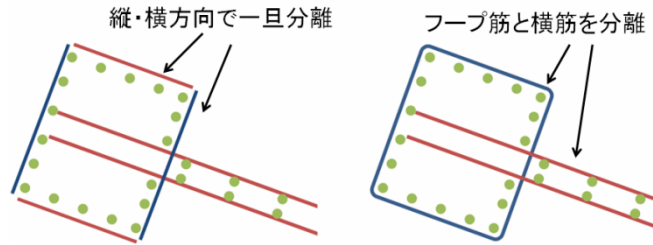


図. 3. 2. 9 方向による鉄筋の分離と帯筋の抽出

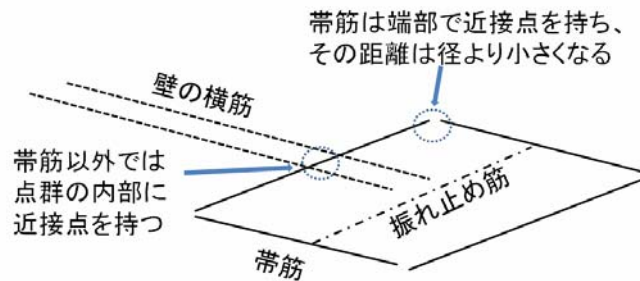


図. 3. 2. 10 帯筋の図形的特徴

なお、3次元空間上の2線分の最短距離は次の方法で求めている。図. 3. 2. 11に示すような、2線分をそれぞれベクトル方程式①、②を用いて表現する。この線分上の点P1, Q1の距離が最短となるのは両線分に対して線分P1, Q1が垂直に交わるときであるので、これより媒介変数s, tは以下の行列式によって求められる。

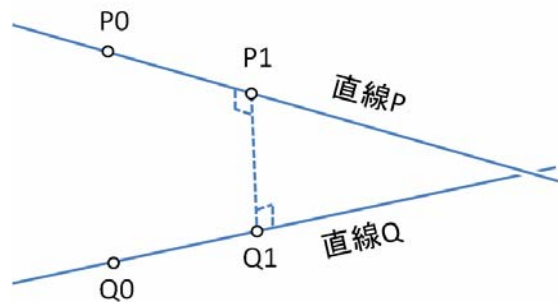


図. 3. 2. 11 3次元空間のでの線分同士の距離

線分Pのベクトル方程式： $P(s) = P_0 + s V_p \cdots \textcircled{1}$

線分Qのベクトル方程式： $Q(t) = Q_0 + t V_q \cdots \textcircled{2}$

$$\begin{bmatrix} s \\ t \end{bmatrix} = \frac{1}{V_p^2 \cdot V_q^2 - (V_p \cdot V_q)^2} \begin{bmatrix} V_q^2 & V_p \cdot V_q \\ V_p \cdot V_q & V_p^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p \cdot (-P_0 + Q_0) \\ V_q \cdot (P_0 - Q_0) \end{bmatrix}$$

このときのs, tをそれぞれs', t' とすると2直線の最小間隔Dは以下の式の値をとる。

$$D^2 = ||P(s') - Q(t') ||^2$$

フック付きの帯筋には4つの角があるが、曲げ角度が90°の角では、帯筋の辺を構成する2線分の最小間隔は0に限りなく近くなり、曲げ角度が135度となるフックのある角ではDは異型棒鋼の径に近づく。

### 3.2.5. 帯筋・横筋の抽出結果

ノイズの除去を行った点群データから平面の点群を除去したのち、鉄筋の点群を抽出する。この点群からまず垂直方向に延びる鉄筋の点群を抽出した(図.3.2.12)。ただ、奥にある帯筋の点群がとぎれとぎれだったので、鉄筋の断面であると誤判定されていた。しかし、図.3.2.6で述べた鉄筋の可能性が高い点群の連続性を用いて、切断平面の法線方向に延びる鉄筋の点群を抽出することで垂直方向の鉄筋を正確に抽出出来ている(図.3.2.13)。

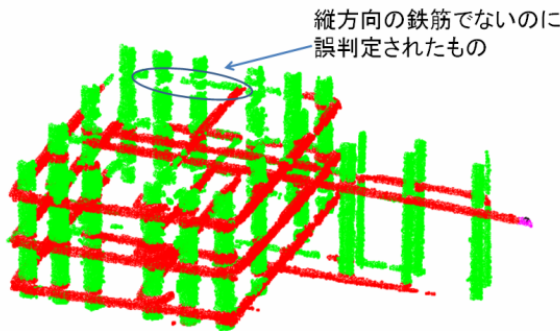


図.3.2.12 形状判定による分類結果

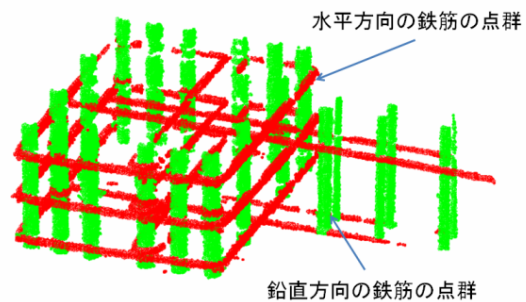


図.3.2.13 鉄筋の可能性が高い点群の連続性を用いて垂直方向の点群を抽出した結果

鉄筋の通り芯を指示し、前項の手法を適用して、通り芯に対して平行な鉄筋の点群と通り芯に対して垂直な鉄筋の点群とを抽出したものが図.3.2.14である。

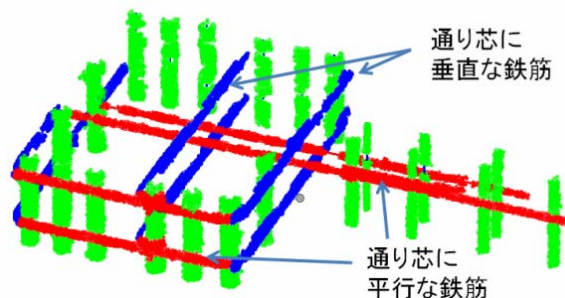


図.3.2.14 水平方向の鉄筋の分離

水平方向の鉄筋の点群を通り芯に平行な点群、通り芯に垂直な点群とに分類したのち、帯筋とそれ以外とに分類する。帯筋以外に分類された点群のうち、通り芯に平行なものは壁の横筋、垂直なものは振れ止め筋である。抽出の結果を図.3.2.15～.3.2.17に示した。

おおむね、鉄筋の部材ごとに点群を振り分けられているが、測定位置から裏側に位置する帯筋が陰で

点群が少なく、抽出しきれない箇所があった。

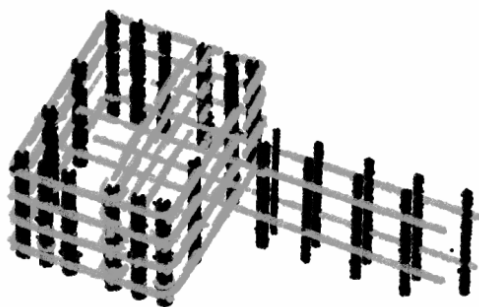


図. 3. 2. 15 垂直方向の鉄筋（主筋と壁の縦筋）の点群

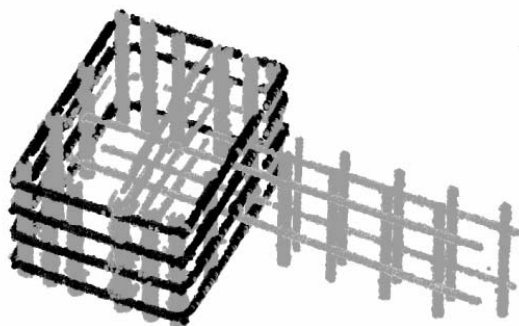


図. 3. 2. 16 帯筋の点群

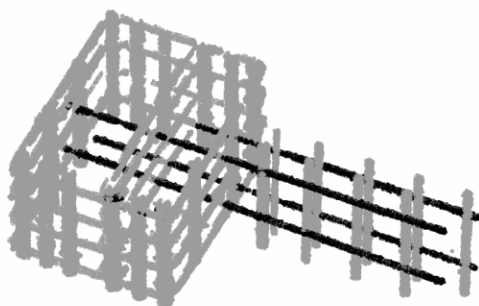


図. 3. 2. 17 横筋の点群

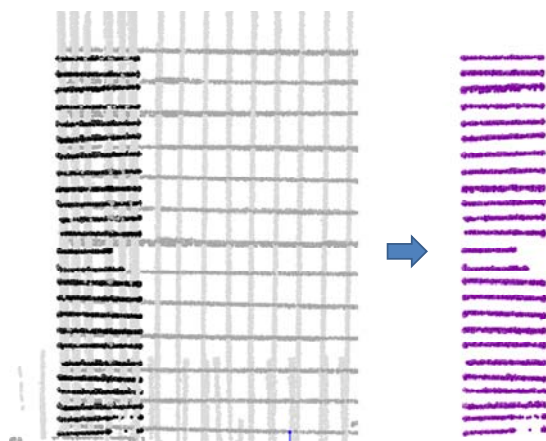


図. 3. 2. 18 帯筋の状況

これまでの分析結果から、鉄筋の中心位置をプロットしたモデルを作成した (図. 3. 2. 19)

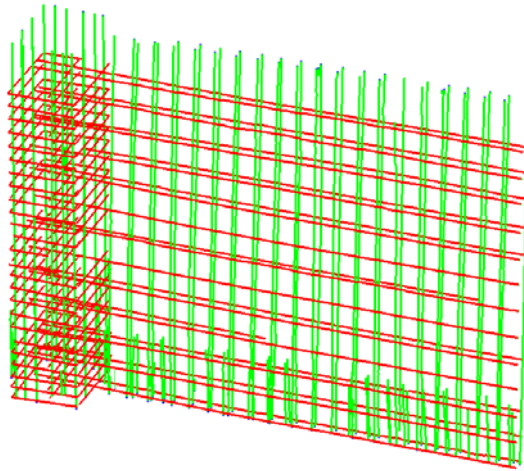


図. 3. 2. 19 鉄筋の中心位置をプロットしたモデル

#### 4. 建築物の要求品質項目の3次元CADへの組み込み

##### 4.1. BIMと3次元オブジェクトCAD

###### 4.1.1. BIMにおける品質管理

BIM (Building Information Modeling : 建物情報のモデリング) とは建物の情報を一元的に管理することで、建物のライフサイクルにおいて必要な情報を必要な時に抽出し活用する概念である。一つの3次元モデルに、必要な情報が集約されることにより、建物モデルから瞬時に必要な情報を取得することが可能である。BIMの概念は作業管理の一貫性の重視であり、業者間の情報伝達による不具合発生や、問題の早期発見、建物の仕上がりシミュレーションによる事前対処を行うことが可能である。このように、プロジェクトの全体を早期に見据え、作業に取り組むことで、設計段階で必要とされる作業量は増加するが、その反面、現場での部材調整やスケジュール調査が削減され、プロジェクト全体として作業効率が著しく向上し、作業量の軽減、工期短縮、品質管理への有効活用が望まれている。

###### 4.1.2. RC造における品質管理項目の整理

施工管理者が業務上確認しなければならない品質管理項目を把握する必要がある。RC造の在来工法の作業工程を整理することにより、本研究で対象としたコンクリート躯体の鉄筋部材の管理すべき項目を把握した。

対象とする建物は公共建築工事標準仕様書及び、施工するゼネコン独自の仕様書が基準となり施工が行われている。そのため、文献<sup>6,7</sup>、公共建築工事標準仕様書<sup>8</sup>を用いてRC造の建築物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。その分類を表4.1.1に示す。本研究の管理対象の定め方は、施工手順に沿って整理しており、作業工程、作業手順、品質管理項目、管理対象、備考に分けた。例として作業工程に柱・壁配筋としたとき、作業手順に柱配筋のXY方向の主筋本数の確認という作業手順が存在する。その作業に含まれる品質管理項目には、主筋の本数、径、位置、特に2段筋の場合のコーナー筋とピッチの確認がある。この場合、管理対象は本数、位置、径、配筋間隔の確認を行えば、品質が確保できると設定した。

表.4.1.1.a 品質管理項目の分類

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
C 床スラブ鉄筋	R6.定着長さ R7.継手長さ

表. 4. 1. 1. b 配筋作業の工程に沿った管理対象の整理

作業工程	作業手順	品質管理項目	管理対象
柱配筋	①X , Y方向の主筋本数の確認 ②定着、継手位置の確認 ③主筋の圧接 ④フープのセット ⑤主筋とフープ筋の結束 ⑥スペーサー配置	①一主筋の本数、径、位置、特に2段階配筋の場合コーナー筋とのピッチの確認。 ②柱しぼり部分の主筋の加工、並びに配筋が正しくなされていることの確認。 ③主筋の本数の減ずる場合の切断位置の正しいことを確認。 ④フープの間隔、特にパネルゾーンのフープが正確に入っていることを確認する。梁の配筋後に入れると割フープとなり具合が悪い。事前に所定の本数が入れてあっても、一箇所に集まったままで、正しく配置されていない場合を見かけることがある。 ⑤フープの末端部のフックが正しく135°に曲げられていることの確認。 ⑥フープの末端部が一段おきに反対方向におかれているか。 ⑦フープのかけ始め及びかけ終わりの位置が正しく行われているか。 ⑧鉄筋に対してのかぶり、鉄筋の相互のピッチの確認。 ⑨継手・定着の長さは正しく行われているか。 ⑩スペーサーの位置・個数は正しく設置されているか。	本数・形状・位置・配筋間隔 配筋間隔 位置・本数 配筋間隔 形状 位置・配筋間隔 位置 (配筋)間隔 継手・定着の長さ スペーサーの位置・個数
壁配筋	①かぶり厚さの確認 ②縦筋、横筋の内外関係の確認 ③ピッチの割付け及び配筋 ④開口補強の配筋 ⑤幅止め筋の配筋 ⑥スペーサーブロックの配置	①鉄筋のピッチは正しいか。 ②スペーサーが正しく入っているか。 ③出入り口、窓などの開口周囲の補強は正しくできているか。 ④下階に壁がなく、上階のみに壁のある場合の壁筋のアンカーは正しくできているか。 ⑤最上階、最下階の隅部斜め補強筋は正しく配置されているか。 ⑥継手・定着の長さは正しく行われているか。 ⑦スペーサーの位置・個数は正しく設置されているか。	配筋間隔 位置・間隔 本数・配筋間隔 位置・(鉄筋)間隔 位置・(鉄筋)間隔 継手・定着の長さ スペーサーの位置・個数
梁配筋	①施工順序の決定 ②下端筋の配筋 ③仕口部のフープをあずける ④上端筋の配筋 ⑤小梁下端筋、上端筋の配筋 ⑥圧接作業 ⑦スターラップの割付け、上端筋の結束 ⑧腹筋及び幅止め筋の配筋 ⑨落とし込み ⑩スペーサーの配置(落とし込みしながら)	①主筋が正しい位置にあるか。特に2段階配筋の時の中づり筋の位置確認 ②柱内への梁主筋のアンカーが正しい位置にあるか。手前のアンカーではないか。 ③端部と中央部の主筋本数の異なる場合の切断の位置、予長の確認 ④スターラップ、幅止め筋は正しく入っているか。まれにハンチ部のスターラップの本数が不足していることがある。 ⑤腹筋の本数と位置の確認 ⑥スターラップの末端部のフックは正しく135°に曲げられているか。 ⑦梁貫通孔のあるとき、その部分の補強筋の確認 ⑧鉄筋に対してのかぶり、鉄筋相互のピッチの確認 ⑨継手・定着の長さは正しく行われているか。 ⑩スペーサーの位置・個数は正しく設置されているか。	配筋間隔・位置 位置 位置・本数・形状 位置・本数 位置・本数 形状 本数・配筋間隔 (配筋)間隔 継手・定着の長さ スペーサーの位置・個数
スラブ配筋	①下筋主筋、下端配力筋の配筋 ②下端用スペーサーブロックの配置 ③下端配力筋、上端主筋の配筋 ④上端用スペーサーブロックの配置	①鉄筋のピッチは正しいか。 ②主筋の位置は、スラブ厚さに対して正しいか。端部上端筋が下がっていないか。バーサポートは正しく入っているか。 ③主筋と配力筋の上下関係が逆になっていないか。 ④アンカーは正しいか。 ⑤開口部のまわりは正しく補強されているか。 ⑥出隅・入隅部のスラブの収縮ひび割れ防止用補強筋が正しく配筋されているか。 ⑦継手・定着の長さは正しく行われているか。 ⑧スペーサーの位置・個数は正しく設置されているか。	配筋間隔 位置・本数 位置 形状・位置 本数・配筋間隔 本数・位置・配筋間隔 継手・定着の長さ スペーサーの位置・個数



## 4.2. 3次元オブジェクトCADの適用

### 4.2.1. 3次元オブジェクトCADにおける属性情報

3次元オブジェクトCADは、建築物の構成材である壁や床、柱や梁などを全て立体的オブジェクト図形で扱い、その図形には属性情報が与えることができる。オブジェクト図形はその属性が定義されると同時に振る舞いが付加され、壁には窓やドアの建具を配置できるが床には配置できないなどというように、建築的に常識とされるような条件制限を加えることもできる。また、様々な属性情報を備えたモデルは構造解析や環境負荷解析などへと活用化が既に進められている。

### 4.2.2. 属性情報の管理

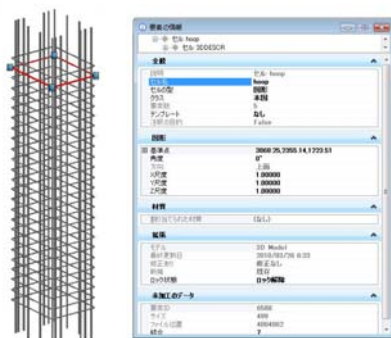
3次元オブジェクトで付加する属性情報は、大きく2種類に区分される。数値データとテキストデータである。下記では、3次元オブジェクトCADで扱う各々の属性管理手法を説明する。付加した属性は、3次元オブジェクトCAD以外への出力による管理が可能である。

#### A. 数値情報

数値情報は2種類に区分される。1つ目に、オブジェクトを作成すると同時に構成される属性情報を図4.2.1左に示す。例として、体積、面積、座標といった情報である。2つ目は、3次元オブジェクト内の表現では「パーツ」と称され、設計者間の伝達に必要な属性情報である。このパーツには「パーツファミリー」とよばれる属性情報の階層が構成される。パーツには、「コンポーネント」とよばれる単価情報、数量情報を詳細に設定することで3次元オブジェクトCADに基づき数量情報として算出することが可能である。パーツ、コンポーネントは3次元オブジェクトCADに付属するソフトで管理されるため、別のユーザーとの共有も可能である。

#### B. テキスト情報

テキスト情報は2種類に区分される。1つ目に、モデリング上で必要となるレイヤー、線種等のオブジェクトの作成と同時に構成される属性情報である。2つ目は、必要に応じて付加させる属性情報である。例として施工日、施工業者等がある。これらは「データグループ」と称する一括データシステムで管理される。ユーザーによる任意に定義されたテキスト情報による部材種別など有効な情報の把握が可能となる。数量計算ソフトに出力し確認したものを図.4.2.1右に示す。



部材名	ID	パーツファミリー	パーツ	エレメントファミリー	エレメント	数量	単位	単価	合計	長さ	重さの単位	長さ	X	Y	Z
量検査	34362	構造要素	鉄筋	鉄筋数量用	体積	0.000	m <sup>3</sup>	0	0.0	kg					
量検査	34362	構造要素	鉄筋	鉄筋数量用	体積	0.002	m <sup>3</sup>	0	0.0	kg		12.884	-285.881	-88.137	-2.922
量検査	34362	構造要素	鉄筋	鉄筋数量用	体積	0.002	m <sup>3</sup>	0	0.0	kg		12.884	-285.881	-88.137	-1.122
量検査	34362	構造要素	鉄筋	鉄筋数量用	体積	0.002	m <sup>3</sup>	0	0.0	kg		12.884	-285.881	-88.137	-2.122
量検査	34362	構造要素	鉄筋	鉄筋数量用	体積	0.002	m <sup>3</sup>	0	0.0	kg		12.884	-285.881	-88.137	-1.522
量検査	34362	構造要素	鉄筋	鉄筋数量用	体積	0.002	m <sup>3</sup>	0	0.0	kg		12.884	-285.881	-88.137	-1.322
量検査	34362	構造要素	鉄筋	鉄筋数量用	体積	0.002	m <sup>3</sup>	0	0.0	kg		12.884	-285.881	-88.137	-1.822

図.4.2.1 属性情報の確認

### 4.3. 3次元オブジェクトCADによるモデリング

#### 4.3.1. 3次元オブジェクトCADにおけるモデルの種類

一般に3次元モデルを定義するには数多くの方法がある。3次元オブジェクトCADで作成するモデルは「ノンパラメトリック」と「パラメトリックモデル」に分けることができる。

A. ノンパラメトリックは、従来の3次元CADで作成可能なモデルである。2次元データをもとに3次元モデルの作成が可能である。ただし、平面、直線、点など幾何要素同士の制約を持たないため、モデル作成後の形状の変更や修正に多大な労力を必要とする。

B. パラメトリックモデルは、幾何要素同士を寸法値、体積や面積などの数値、接線性や直交性などの幾何的な関係、図形同士の取り付け方法といった情報を条件としたモデルである。この条件の下で、変数（パラメーター）を変更することでモデルの多様な形状の変形を容易に行うことが可能となる。ただし、複雑な形状の寸法を対象にした場合、処理が複雑になるためある程度の制限を設ける必要がある。

#### 4.3.2. 目視による照合のための設計モデルの作成

3次元スキャナーで取得した出来形情報と、設計図書通りに作成した設計モデルとを照合するため、3次元オブジェクトCADを用いた設計モデルを作成する。設計モデルと出来形情報を図.4.3.1に示す。照合に必要なとされる属性情報を把握し、品質管理に適した設計モデルを作成する。本章の目的は鉄筋コンクリート造を対象とした品質確保のための建物情報モデルを確立することであり、3次元スキャナーによる出来形情報と設計情報との自動照合を目指している。作成した部位は出来形情報で取得した4部位（柱・壁鉄筋群、柱・梁鉄筋群、床スラブ鉄筋群、RC躯体）であり、一覧を次ページに示す。

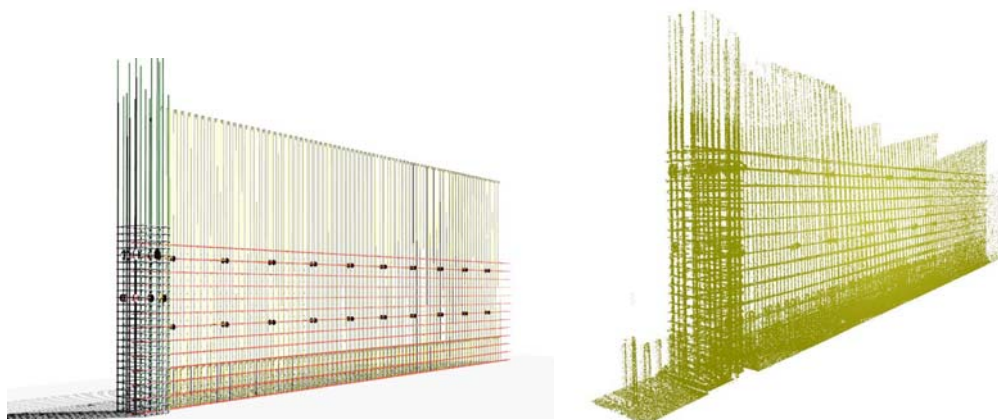


図.4.3.1 3次元オブジェクトCADで作成した設計モデル（左）

3次元スキャナーで取得した出来形情報（右）

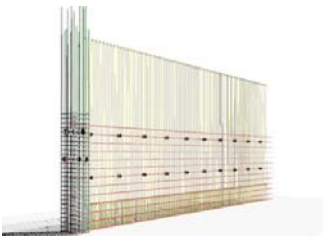
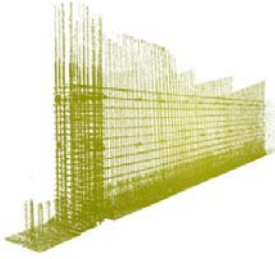




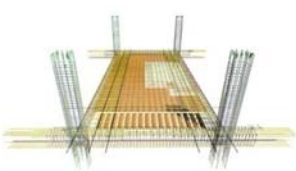
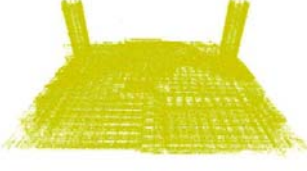




モデル概要 対象部位	3次元オブジェクトCADで作成した 設計モデル	3次元スキャナーで取得した 出来形情報	現場写真
柱・壁鉄筋群			
柱・梁鉄筋群			
床スラブ鉄筋群			
コンクリート躯体			

図. 4. 3. 2 設計モデルと出来形情報の比較一覧

#### 4.4. ノンパラメトリックモデルの適用

##### 4.4.1. ノンパラメトリックモデルにおける問題点

設計図書（構造計画書，配筋仕様書，標準配筋図，部材リスト）をもとに、ノンパラメトリック手法に基づいた設計モデルを作成する。これら設計段階の情報をもとにした設計モデルは、実際の出来形とは異なる点が多い。各部位の作成したオブジェクトの注意点を書き記す。

##### 4.4.2. 柱・壁鉄筋群

###### A. 柱

主筋は圧接部で切り離し“球の作成”で圧接の玉の状態をモデリングした。現場にて、柱室内側に50のスペーサーが確認されたが、設計図書では40であった。だが本研究の設計モデルでは、重ね合わせの照合を考えモデル作成を行ったために、現場に合わせ50のスペーサーを作成した。柱帯筋の開始点は現場にあわせ、床スラブから43に設定し、柱帯筋の作成を行った。帯筋の四隅は柱と接点で接合しているが、四隅以外は柱主筋を接触していない。そのため設計モデルでも現場に合わせ四隅を接触させ残りは未接触のモデルを作成した。

###### B. 壁

図. 4.4.1は柱・壁鉄筋の平面図である。設計図書から判断できない箇所は、施工現場に合わせモデルを作成したために縦筋の開始点を柱帯筋より100の位置に設定した（図. 4.4.1 ①）。横筋の開始点はFLとの接地点に設定しモデルを作成した。柱間の同じレベルの横筋は1本のモデルとした。現実には、2本の鉄筋が継ぎである。現場の縦筋内に見られる段取り筋は未設定としている。縦筋の下階の壁から延びる継手部分は寸法値700に仮設定しモデルを作成した。壁筋の巾止筋は縦筋1本目を開始点に縦横共D10の鉄筋を1200ピッチで配置（図. 4.4.1 ②）。スペーサーは巾止筋位置より1200ピッチで配置した（図. 4.4.1 ③）。

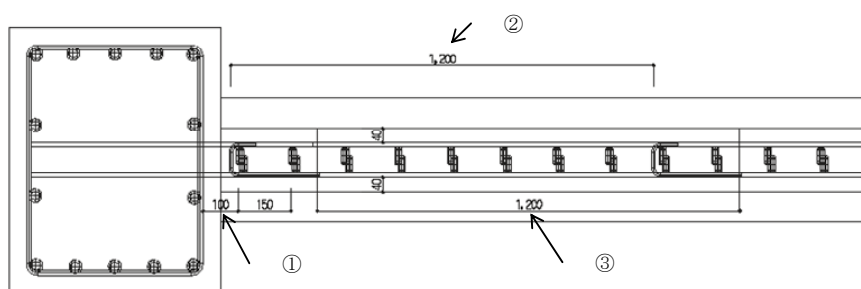


図. 4.4.1 柱・壁鉄筋群 注意箇所

#### 4.4.3. 柱・梁鉄筋群

##### A. 柱

主筋は圧接部で別のオブジェクトとし、“球”で圧接部のモデリングを行った。調査時点ではスペーサーは未だ取り手けられていなかったため、設計図書であるスペーサー50を用いてモデルを作成した。調査時点で柱帯筋の開始点を確認できなかったため、柱・梁鉄筋群では特に設定せずモデルを作成した。帯筋の四隅は柱と接点で接合しているが、四隅以外は柱主筋と接触していない。そのため設計モデルでも現場に合わせ四隅を接触させ残りは接触させずにモデルを作成した。

##### B. 梁

梁G1(ラーメン方向)と梁G11(戸境方向)の交わる仕口部は、配筋基準図から梁G11が内側に入るよう配置した。梁G1と柱C1は設計図書に基づき作成すると、主筋に干渉が生じることが判明した。また、梁C11と柱C1との間でも干渉が生じる。そのため本研究で作成したモデルでは、柱、梁が干渉しないように調整したモデルとしている(図. 4.4.2)。柱C1の主筋から南棟側、梁C1あばら筋開始点までの距離を100に設定しモデルの作成を行った。柱C11主筋から北側、梁C1あばら筋開始点までの距離を60に設定しモデルの作成を行った。

#### 4.4.4. 床スラブ鉄筋群

上端筋と下端筋、また同じ段の鉄筋同士のあきは、仕様書記載“鉄筋相互のあき”より32mmに設定しモデルを作成した。鉄筋同士の干渉を確認した結果、一部干渉した部分が見受けられた(図. 4.4.3)。一部段差部の上端筋側の補強筋は、鉄筋あきが確保されないため設置を仮のものとして設定した。

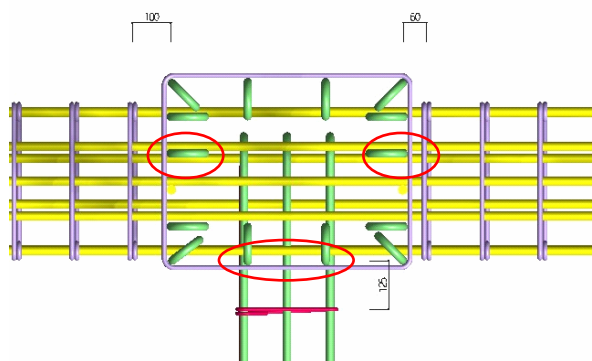


図.4.4.2 柱・梁鉄筋群 注意箇所

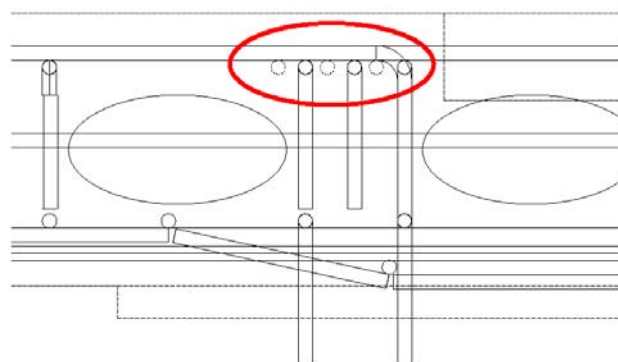


図.4.4.3 床スラブ鉄筋群 注意箇所

#### 4.4.5. ノンパラメトリックモデルにおける問題点の整理

設計図書をもとに設計モデルを作成したが、実際の出来形とは異なる点が多い。これは設計段階と施工段階の設計情報の詳細度が異なることや、現場の判断に委ねられる点がある為である。その結果、モデリング段階での部材位置の設定や、部材同士の干渉を回避する必要性を確認した。モデルの作成後においても容易に確認、変更できる方法が求められていることが分かる。

## 4.5. パラメトリックモデルの適用

### 4.5.1. 目的と背景

パラメトリックなモデルを利用することにより、定型的な作業を省略し、必要な可変性を保持することが可能となる。既に、製造業におけるプロダクトの生産分野ではパラメトリックモデルの技術活用は進められている。これは、微細な部品の設計が必要となる分野においてCAD上での異なる部品の接合部の干渉チェック、加工性の確認などの需要が大きいためである。建設業においても、躯体部位のPCa化が進むなど、建築要素の部品化が求められている。属性情報による品質管理への活用化が期されており、従来、仕様書により規定されていた品質管理情報を備えたモデルとすることで、新たな品質管理システムを示すことを目的とする。品質管理上必要な情報を有し、かつ、効率的に鉄筋モデルを作成する手法としてパラメトリックモデルの援用を試みる。今回は鉄筋部材モデルに対してパラメトリック手法を適用できるかどうか、そのモデリングの効率性を確認する。

3次元オブジェクトCADに付属するパラメトリックモデル作成用ソフト (Parametric Cell Studio/Bentley社) を使用する。モデリング方法に関連する研究として、今井(2009)<sup>4</sup>によるBIMにおける効率的なオブジェクトモデリングの提案が挙げられる。本章では、柱・梁鉄筋等の部材作成の効率化へと更なる検討を展開する。

### 4.5.2. 鉄筋部材の作成

鉄筋部材のパラメトリックモデルを作成する。鉄筋の曲がり角度、直線部の寸法値を変数とする。寸法値による制御により、形状の一定したオブジェクトの生成を行う。変数の設定部分は品質管理上有効なものとする。また、変数はオブジェクトの属性情報として扱うことができるため、同時に部材の一括管理による有効性を確認する。

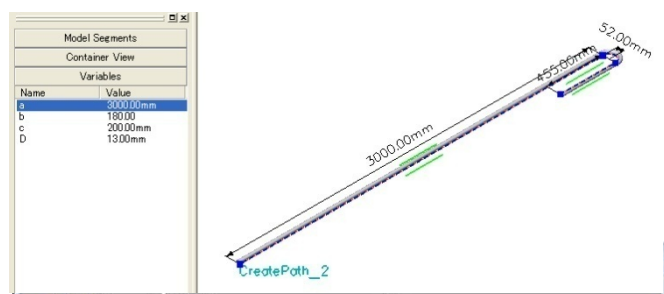


図. 4.5.1 パラメトリックモデル

### 4.5.3. 作成手順

#### A. パラメトリックモデルの作成

パラメトリックモデルの基本構成や初期値は3次元オブジェクトCADと連動して動作するパラメトリックモデル作成ソフトウェア上で設定、管理する。一旦、作成したパラメトリックモデルの変数は3次元オブジェクトCAD上の属性情報として管理できる。データ形式はXSD形式である。属性情報の範囲を定義することも、モデル適用時に寸法値を制御することも可能である。

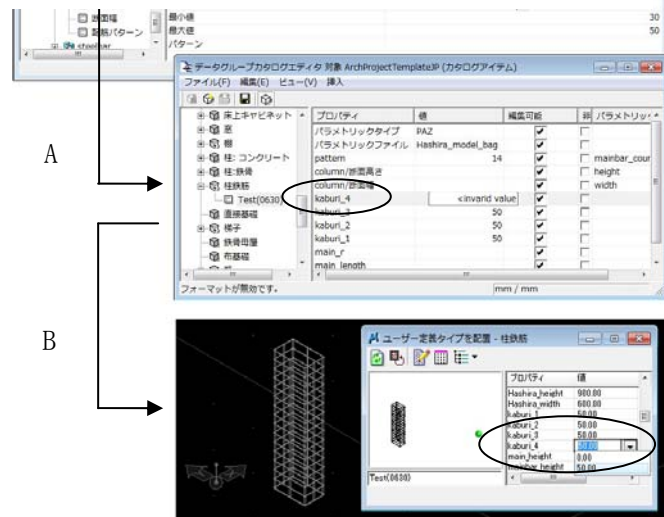


図. 4.5.2 パラメータ設定手順

## B. 個々のデータ定義とデータカタログによる管理

作成したパラメトリックモデルの変数を3次元オブジェクトCAD上の属性情報として定義する。3次元オブジェクトCADに付属するソフトにより設定、管理できる。データはXSD形式である。データ定義されたXSD形式のデータと、PAZ形式のパラメトリックモデルを関連づける。なお、データカタログ上で属性情報の初期値の設定を一括管理することもできる。属性情報の値の範囲を定義することも可能である。例として、鉄筋の標準長さ（建設物価情報参考）より最小値3500、最大値12000と設定することで、モデルの適用時に寸法値の制御することが可能である。

## C. CADへの適用

A, Bより3次元オブジェクトCAD上でのパラメトリックモデルが適用可能となる。モデルの配置時、定義した寸法値等の属性情報についての設定が求められる。また、設定値の変更はCAD上で容易に可能である。CADに適用された複数のモデルの管理が可能であり、一覧での確認および、仕上げ表や建具表の諸表として出力することが可能である。

### 4.5.4. 品質管理項目による変数の評価

整理した品質管理項目をもとにパラメトリックモデルの変数を設定した（表4.5.1）。鉄筋モデルの作成において、R1（種類）やR5（定着長さ）など部材単位によるパラメータ化および管理は容易に可能である。配筋間隔や定着長さなど、部材同士の関連による管理項目に関しては、パラメータ化は可能であるが管理上困難である。

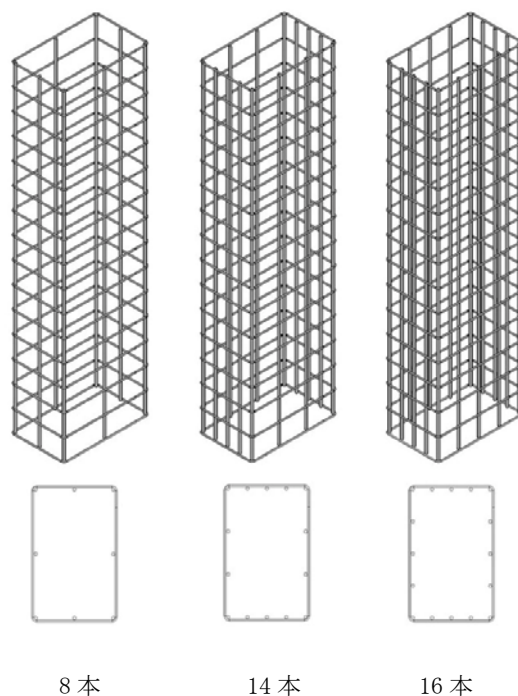
表. 4.5.1 品質管理項目による変数の評価

管理対象	パラメータ化	備考
R1 種類 (D13等)	○	
R2 配筋間隔	△	配筋基準点の設定が必要 個々の部材は管理が困難
R3 本数	△	
R4 スペーサーの間隔	○	配置基準点の設定が必要
R5 位置	△	R2：配筋間隔と連動 個々の部材は管理が困難
R6 定着の長さ	△	部材の形状で一部管理可能 コンクリート躯体と鉄筋との部材間の制御は困難
R7 継手位置	△	圧接部は、接合部のモデリングにより管理可能 重ね継手は部材間の制御のため困難

### 4.6. データ量の比較分析

柱モデルのデータ容量を比較した結果を図. 4.6.1に示す。柱モデル（主筋8本）一つ分では、ノンパラメトリックモデルが536KBであるのに対し、パラメトリックモデルは123KBと大幅なデータ軽減がなされた。主筋本数の増加に伴うデータ量の増加は、両モデルに主筋オブジェクト数とデータ量が比例する結果となった。また、部材数の増加に伴うデータ量を比較するため、柱モデルを10個複写した。ノンパ

ラメトリックモデルの場合、1つのオブジェクト容量が約500KBであるのに対し10個では約5,000KBとデータ量がオブジェクト数に比例している。一方、パラメトリックモデルは約5倍程度とノンパラメトリックモデルに対し半分の割合での増加となった。パラメトリックモデルの使用によりデータ量が軽減できることを確認した。これは、変数に初期値を与えた基本モデルを参照するためである。モデルを適用する場合、基本モデルの変数に個々の値を与え形状を決めている。鉄筋モデルという要素数の多いデータ管理上、データ容量は重要な課題である。



		主筋本数		
		8	14	16
データ量 (KB)	ノンパラメトリックモデル	536	557	558
	ノンパラメトリックモデル (×10)	4980	4993	4993
	パラメトリックセル	123	124	126
	パラメトリックセル (×10)	668	672	672

図. 4. 6. 1 配筋パターン別モデルとデータ量の比較



#### 4.7. 設計モデルと出来形情報の重ね合わせ

##### 4.7.1. R1：種類 (D13 等), R3：本数, R5：位置

設計図書をもとに作成した設計モデルと出来形情報との重ね合わせ、目視による照合を行う。なお本稿では、柱鉄筋を取り上げる。品質管理項目ごとに照合した結果を示す。

柱断面による照合の結果を図. 4.7.1に示す。オブジェクトの上面より主筋である点群にばらつきが見られる。理由として継手圧接部および異形鉄筋のリブとフシから発生するばらつきであることが考えられる。そのため、リブとリブの間、厚さ15mm範囲の点群を取り出す。寸法値を記入し、大まかな寸法の把握を確認する。出来形情報D22主筋と考えられる点群の寸法を測ったところ、平均が23.3mmであり、設計モデルD22とほぼ等しいという結果となった。その他、同様に柱フープ筋、幅止め筋の種類も確認可能である。同時に、本数も合致することを確認した。

##### 4.7.2. R2：配筋間隔

フープ筋の配筋間隔の照合を図. 4.7.2に示す。図. 4.7.1と同様、必要に応じて15mm幅を抜き出し照合を行う。柱配筋間隔においても、柱フープ筋は本数、間隔が合致する結果となった。

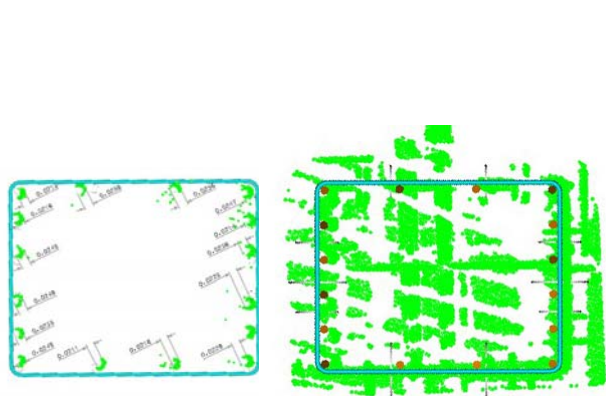


図. 4.7.1. 柱主筋の照合

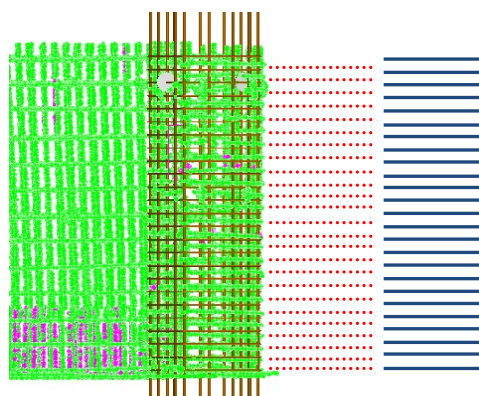


図. 4.7.2. フープ筋の照合

##### 4.7.3. R4：スペーサー間隔

柱・壁スペーサー位置に関しては、高さに関して概ね合致することを確認した。出来形情報では一部、確認できないものがあった。スペーサーはある範囲に所定の数を配置するように定められており、絶対座標（位置）でスペーサーの有無を確認することに意味はない。また、実測する時期も影響する。

##### 4.7.4. R6：定着の長さ

柱部位に対する壁筋の定着長さの照合を図. 4.7.3に示す。必要に応じて15mm幅を抜き出し照合を行う。設計モデルが示す必要十分な長さに概ね合致する結果となった。

#### 4.7.5. R7：継手位置

出来形情報から取得した位置より，ガス圧接部分の形状を把握した継ぎ手位置を図.4.7.4に示す。圧接位置は「範囲A：継手の好ましい位置」で圧接されていることを確認した。

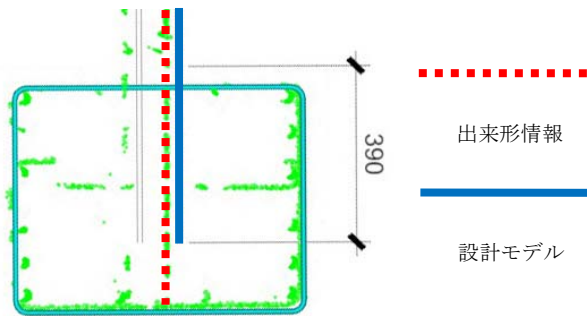


図.4.7.3 定着長さの照合

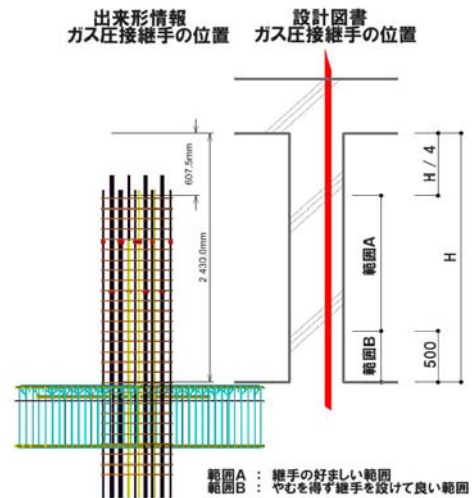


図.4.7.4 継手位置の照合

#### 4.7.6. 設計モデルと出来形情報の重ね合わせの整理

3次元オブジェクトモデルと出来形情報の重ね合わせによる照合の有効性を検証した。その結果，まず鉄筋の出来形情報の垂直性の誤差が明確であった。これは実測した段階が型枠設置前であったためだと考えられる。その他の管理対象については，おおよそ全体の合致を確認できた。しかし，床鉄筋の照合においては，下端筋が隠れてしまう部分が多く見られ，目視による照合は困難である。重ね合わせる手段は①部位レベルで出来形情報全体と設計モデル全体を重ね合わせる方法，②オブジェクトを出来形情報の該当する部分に重ね合わせる方法，のどちらかであり，図.4.7.5に示す。出来形情報に合わせたモデルの作成のためには，変数値を設定することで効率的な修正を可能にする必要が明らかとなった。

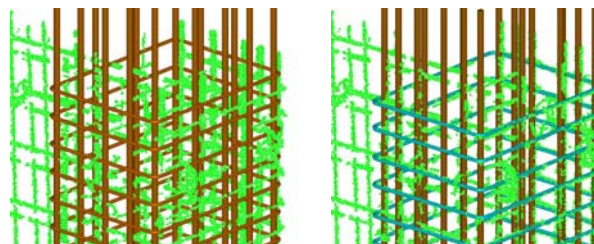


図.4.7.5 部位全体の重ね合わせによるモデル（左） 出来形に合わせたモデル（右）

## 5. 結論

### 5.1. 3次元スキャナーによるRC造躯体工事の計測実験

RC造躯体工事における鉄筋の計測実験を行い、柱、壁、梁、床について計測しそれらの形状を点群として収集した。

鉄筋の形状を計測するには、計測間隔を2-3mm程度にすれば、ほぼ形状を把握するに十分な点群データを得られることが分かった。また、計測の回数については、1回の計測でもほぼ正確に形状を把握する点群を得られるが、対象物への角度を60度程度違えて3回取ることによって、立体的な形状をより正確に点群をして得られることが分かった。

本実験による点群データの分析では、鉄筋の径及び間隔などの寸法を計測した。この結果、計測した点群データに基づいて、鉄筋の検査に必要な径や間隔の寸法を採取することが出来ることを、柱、壁、梁、床について、実証した。

しかし、これら各部の寸法採取については、採取に必要な点群の位置をマウスを主に使用して指定することによって実施している。このため、その採取には多くの時間が掛かる。鉄筋の如く膨大な数量や箇所の径や間隔寸法を取り出すには、多大な人手が掛かることが予想されるため、鉄筋検査の通常業務に点群データを用いるには、これらの作業の自動化が必要である。

3次元スキャナーの弱点の一つとして、計測の負担がある。三脚に設置して計測を行う必要があり、また複数のデータを統合するには共通のターゲットを映しこむ必要があるために、異なった位置や方向から多数回計測する負担は大きい。このため、小数回の計測に頼ることになり、手前の鉄筋の後ろに隠れて計測出来ない鉄筋部分が多く発生することになる。特に、型枠で囲まれた梁鉄筋や下部直下に型枠がある床鉄筋では、未計測領域が多く発生している。この点を改善するには、計測機を多方向から容易に複数回計測出来るようにする必要がある。

### 5.2. 3次元情報に基づく建築各部の形状・位置の計測技術の開発

点群データの分析には、現時点では多くの市販ソフトが開発されているが、その多くは計測対象を特に限らず汎用的な目的で開発されているために、多数の箇所における鉄筋検査を目的として寸法を採取するには、マウス操作など多大なコンピュータの操作が必要となる。

今後、分析対象が膨大な箇所や数量になる場合には、この分析処理を自動的に行うことが課題となる。

本章では、この課題に向けて、鉄筋を計測した点群データに対して、鉄筋を縦筋、横筋、帯筋等に分離する方法論とそのアルゴリズムを考案し、システム化を行った。

方法論では、先ず鉄筋の点群に多くみられるノイズについて、これを除去する方法を検討しそのシステム化を行った。このノイズの除去は、上記で示した鉄筋の抽出と分離を自動化する上で精度を上げるために必要となる。

次に、鉄筋を縦筋、横筋、帯筋等に分離するために、鉄筋空間をメッシュに分割して、縦筋と横筋の分離、さらには帯筋の抽出のためのシステム化を行い、概ねこれを抽出することが分かった。

今後の課題としては、鉄筋が傾斜して配筋されている場合に等に対応するように鉄筋の向きや方向に追従して、鉄筋を抽出する方法論へと展開することが必要になる。

### 5.3. 建築物の要求品質項目の3次元CADへの組み込みと課題

本章では3次元スキャナーを活用した品質管理上有効な設計モデリング手法の構築に取り組んだ。従来は、品質管理上必要な情報は2次元による設計図面と仕様書に分かれており、品質確保における情報が設計モデルに一元化されていない。従って、3次元オブジェクトCADで作成する設計モデルには、仕様書では必要とされない施工上必要なノウハウを記述することを目的としている。要求される品質情報をモデルに備えるにあたり、RC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。

設計図書をもとに設計モデルを作成した。設計図書において、基本設計図から品質管理に関する情報を備える仕様書と情報が分断されていることから、モデリング段階でのいくつかの不整合が確認された。そのため、作成のみならず修正の効率化を図ることの必要性を示した。

モデルの作成では、従来の3次元CADで一般的なモデリング方法であるノンパラメトリックモデルに代わり、パラメトリックモデルの援用をこころみた。そして、品質管理項目をもとに品質情報を備えた寸法拘束のパラメータを持たせた。この結果、鉄筋コンクリート造における配筋状況の確認など、品質管理を目的としたモデルの作成に有効であることを確認した。また、ノンパラメトリックモデルとパラメトリックモデルの比較検討より、データ量の軽減化を確認している。部材や部位モデルの基本モデルを作成することで、その後のモデル作成の手間を軽減し、また、形状の均一化された一定したオブジェクトの作成を行うことから、他のファイルへのモデルの転用を可能とするなど、モデリングの効率化を可能としている。課題として、パラメトリックモデルにおいて設定した変数値を利用するなど、照合の自動化に向け、更なる検討が必要と考えている。

## 参考文献

- 1) 嘉納成男, 葬成浩, 清永康之, 小田部淳, 塚本悠, 柿崎甫, 河原吉則, 建築生産におけるステレオカメラと3次元スキャナーの活用に関する研究(その1) 3次元CAD情報と出来形情報との連携, 第23回建築生産シンポジウム2007
- 2) 嘉納成男, 河原吉則, 柿崎甫, 石岡宏晃, 建築生産における3次元スキャナーの活用に関する研究 3次元スキャナーによる出来形と工事進捗の計測, 第25回建築生産シンポジウム2009
- 3) 石田 航星, 嘉納成男, 木本健二, 五十嵐健, 帯包知成, 福田結磨, 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, 第26回建築生産シンポジウム2010
- 4) 今井佑允, 木本健二, 生産設計における3次元オブジェクトCADの活用に関する研究, 第25回建築生産シンポジウム2009
- 5) 四釜 侑也, 木本 健二, 高橋肇宏, カーテンウォール設計におけるコンピュータ支援 3次元CADを用いた設計支援に関する研究 その1, 日本建築学会大会梗概集, 2009. 8
- 6) 宇野豊蔵, 新版建築工事監理(上), 株式会社:市ヶ谷出版社, 2003
- 7) 流石功・下村勉・社団法人公共建築協会, わかりやすい建築工事2 鉄筋工事, 大成出版社, 1999
- 8) 国土交通省, 公共建築工事標準仕様書(平成22年版),  
([http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild\\_tk6\\_000027.html](http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild_tk6_000027.html))

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF 3D-GRAPHICS APPLICATIONS USING “OPENGL”

Tanaka, S.<sup>1</sup> Shibasaki, R.<sup>2</sup> Kitagawa, E.<sup>3</sup> Kubota, S.<sup>4</sup> Monobe, K.<sup>5</sup> Nakamura, K.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Informatics, Kansai University <sup>2</sup>Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo

<sup>3</sup>Faculty of Management Information, Hannan University <sup>4</sup>Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University <sup>5</sup>School of Project Design, Miyagi University <sup>6</sup>Faculty of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

CALS/EC Action Program 2005 under Ministry of Land, Infrastructure and Transport proposes a vision about utilizing three-dimensional (3D) CAD. Under present circumstances, however, 3D CAD data are not utilized in the design and construction phases of civil engineering and construction projects because there is no inexpensive 3D CAD. Therefore, it is strongly desired to develop a domestic 3D CAD that is inexpensive as soon as possible. With this as a backdrop, the authors performed research for developing graphics applications using “OpenGL” and prepared a research report.

In this research, we performed research and development of 3D-Graphics applications using “OpenGL” as the test research towards practical use based on the research report prepared in the aforementioned preceding research. The investigation content is as follows in the present research.

- Definitions of the user interface specification

In the preceding research, we collected and organized the functions that should be implemented in a 3D CAD engine by investigating commercial 3D CAD engines. Therefore, we defined the user interface specifications that are required to realize these functions.

- Definitions of the class specifications

We defined the class structure required to implement a 3D-Graphics application. Regarding the class structure, we designed it with Entity definitions in the ISO10303 standards and the feature specifications of SXF as guides.

- Definitions of the implementation specifications

We defined implementation specifications for a 3D-Graphics application. Regarding implementation specifications, in addition to the contents collected and organized in the preceding research, we newly defined 2D-3D functions (for creating rotary and sweep surfaces) that will be essential for 3D CAD, functions of editing models (such as parallel translation, rotation, and duplication), and CAD functions (such as grouping and switching layers).

- Systemization

In this research, we performed systemization of 3D-Graphics applications based on the contents collected and organized in the preceding research, the above-stated user interface specifications, the class specifications, and the implementation specifications.

The result of this research proves the feasibility of development of 3D CAD using “OpenGL”, and serves as a reference work when Japanese vendors develop their own 3D CAD engines. In the future, following the outcome of this research, it is expected that development of 3D CAD engine will be promoted with CAD vendors’ own ideas, and that 3D data will be utilized more widely in the civil engineering and building industries.

**KEYWORDS:** 3D CAD, OpenGL, graphics library, Model representation

## 研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者 ・ 所 属
第2009-3号	R C造躯体工事を対象とした 3次元設計と測量技術に関する研究	嘉納成男・早稲田大学 理工学術院 木本健二・芝浦工業大学 工学部 建築工学科 五十嵐健・早稲田大学 理工学総合研究所
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>1. 背景と目的</b></p> <p>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技術者の配員数の削減により現場における品質管理能力は低下しつつある。この原因の一つとして、建築工事では目視で行われる品質管理項目が多く、検査員のヒューマンエラーによる見落としにあることが指摘されている。</p> <p>検査員の視覚と判断力に頼った検査方法のみでは、品質検査の信頼性を担保することは難しく、また検査記録も後日における追証性に欠けるものとなっている点も多くの問題を含んでいる。</p> <p>本研究では、鉄筋工事における品質管理について、検査員が視覚として得られる情報を3次元スキャナーによる点群データとして収集し、それを分析することによって検査・確認を着実にを行うとともに、追証性を担保できる品質検査技術の確立を目的としている。</p> <p><b>2. 鉄筋工事における計測実験とそのデータの解析</b></p> <p>鉄筋コンクリート造の共同住宅における鉄筋工事を対象として柱筋、壁筋、梁筋並びに床筋について、3次元スキャナーを用いて配筋状況を点群として取得した。そして、この点群データに基づいて、柱、壁、梁、床についての配筋の間隔や径の識別を行った。</p> <p>データ分析の結果では、柱、壁については配筋の状況を点群データによってほぼ把握することが出来ることが分かった。また、梁及び床の配筋においては、梁鉄筋の周りの型枠や床鉄筋の直下の型枠のために配筋状況を限られた方向からしか計測できないため配筋状況の詳細は把握出来ないものの、配筋状況の概要は把握することが出来、3次元スキャナーが配筋検査方法の一つと成り得ることが分かった。</p> <p><b>3. 3次元情報に基づく建築各部の形状・位置の計測技術の開発</b></p> <p>鉄筋の計測における点群データの誤差を取</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>り除く方法として、点群の分布を極座標に変換した上で点群相互の距離を求め、その距離が点群の計測間隔よりも一定以上大きい場合に、ノイズとして取り除く方法を開発した。これによって、鉄筋の周りに発生する大量のノイズを効果的に除去することが出来た。</p> <p>更に、計測した点群から柱の縦筋とフープ、壁の縦筋と横筋の点群に分離する方法を開発した。そして、計測した柱筋及び壁筋の点群について、この方法論を用いて、点群をそれぞれの鉄筋に分離することによって、配筋検査で必要になる鉄筋の間隔や本数、径を求めることが出来ることを示した。</p> <p><b>4. 建築物の要求品質項目の3次元CADへの組み込み</b></p> <p>鉄筋コンクリート造建築物についての鉄筋工事に係る品質検査について、品質管理項目を整理した。そして、3次元スキャナーで計測した点群データと設計データとを比較するには、3次元CAD上で品質管理項目や部材特性を表現・蓄積する技術を開発した。</p> <p>まず、2章で計測した建物の詳細な配筋図を3次元CAD上において従来の方法で作成し、その入力に多大な労力とモデル作成の困難さがあることを明らかにした。そして、ノンパラメトリックによる鉄筋モデルの作成が必要であることを示し、詳細な配筋図を作成するために、パラメトリックモデリング手法を援用し、有効であることを示した。</p> <p><b>5. 結論</b></p> <p>配筋検査における3次元スキャナーの計測実験により、計測間隔を2-3mm間隔にすることによって鉄筋の形状を正確に把握することが出来、品質検査の形状データとなり得ることを明らかにした。そして、このデータに基づき、鉄筋の縦筋と横筋の分離によって、鉄筋の間隔や径の識別をするとともに、3次元CAD上でパラメトリック手法による詳細な配筋図を作成することによって設計図と出来形の照合が可能になることを示した。</p> </div> </div>		