

## 開発課題「曲面建築物の一般化と発展」の取り組み

谷畑伸一郎\*

本開発課題は、テーマ設定の条件である“標準課題の進展型”として、鉄筋コンクリート造曲面建築物の試行モデルの施工に取り組んだ。施工を通して曲面建築物の施工要領書を作成することで後輩学生への曲面構造物の一般化（普及）に努め、さらにはそこから発展へと寄与することを期待するものである。本課題は、一連の加工・施工の中で、鉄筋の曲線加工・曲げ型枠の製作だけでなく配筋・型枠建て込みも特殊となるため、試行錯誤を繰り返した。内容が多岐に渡るため、技能と技術に着目し、技能を加工・施工、技術を図面・施工要領書としてまとめた。

**Keywords** : 曲面建築物, 曲げ型枠, 技能と技術, 施工要領書.

### 1. 緒言

建築施工システム技術科における開発課題は、V期に週1コマ、VI期に週3コマ、VII・VIII期にそれぞれ週16コマ（応用課題実習を含む）を実施している。大まかなスケジュールは、V期の間でテーマ設定、VI期に準備（主に図面作成などの内業）を行い、施工・実験等を集中的に作業できるのは10～12月、1月に報告書作成・発表準備、1月末に発表会である。

本課題の成果物は、2016年ポリテックビジョンの展示部門優秀賞をいただくことができた。本紀要にてこの取り組みを報告する。

### 2. テーマ設定

**2.1 開発課題テーマ選定** 建築施工システム技術科では以下の4種類から選定可能である。

- ・[タイプ1] 新規開発型
- ・[タイプ2] 標準課題進展型
- ・[タイプ3] システム改善型
- ・[タイプ4] 自主発想改善・開発型(上記3タイプ以外)

**2.2 科における開発課題テーマ** 先に2015年度の開発課題テーマ数は指導員数により4テーマと決めた。

また、居住系として4つの共同研究を担っており、指導員1名につき1研究に取り組むことを検討したが、うち2研究は類似していたため1つに統合した。結果として、筆者のグループは共同研究の絡まない0からの自由な発想によるテーマ選定となった。

**2.3 開発課題テーマ設定** 本グループは事前の調査等で“鉄筋コンクリート”のキーワードをもとに集まった全5名である。グループとしてそれぞれ各人の取り組みたい内容を絞っていった。少数意見が潰されることのないようにブレインストーミング法・KJ法などにより学生達は自発的にミーティングに取り組んでいた。興味のきっかけは、当時話題となった2020年東京五輪に向けた新国立競技場である。建築家ザハ氏のデザインが国際コンペで選ばれたものの、建設計画が白紙撤回された。ザハ氏は、3次元曲面を多用したデザインが特徴であるが、奇抜すぎて建築されないことも多く、アンビルト（実現しない建築）の女王の異名を持つ。この興味を対象として工期・コスト・大きさ・

建築場所も検討しながら3次元の鉄筋コンクリート構造物の作製を目標とした。テーマのタイプは前述の[タイプ2]標準課題進展型となる。標準課題実習において「鉄筋コンクリート構造施工・施工管理課題実習」があるが標準的な在来工法にて行っており、また、コンクリート打設は行っていない。この標準課題実習の延長として曲面を再現する鉄筋加工・型枠加工に取り組み、コンクリート打設を行うものである。テーマ名である「曲面建築物の一般化と発展」とは、課題の制作物を後輩学生に施工要領書などの形で残すことで、より一般化（普及）をねらい、さらにはこの成果物を叩き台に発展することを期待するものである。

### 3. 目標成果物と担当者

**3.1 目標成果物** このテーマを職務で分けると設計（意匠・構造）、施工（とび・土工、鉄筋工、型枠大工）、施工管理の3つに大別できる。これをさらに技能と技術に2分化した。本来、設計→施工の工程となるが、材料発注から納入までに時間を要することと構造設計の間の手待ちを避けたいことから先に施工を行い、後追いで応用課題実習において構造設計を行うこととした。ただし、作業時の構造物転倒を避けるための安全上の強度計算は行った。目標とする成果物は、技能における加工・施工、技術における図面・施工要領書と区分して、試行モデルの製作を通して各種報告書を作成とした。

**3.2 担当者** 学生の役割として、グループリーダー・サブリーダーを頭とし、各作業となる足場・鉄筋・型枠・コンクリート打設のリーダーを選出した。作業リーダーは図面作製・積算・施工要領書、施工、施工管理の一連を担うこととなる。

以下、作業内容については学生の作成した梗概をもとに報告する。

### 4. 図面作製および積算

本建築物は3次元曲面を有し、鉄筋・型枠共に難解となりイメージしづらいため、3次元CADによる3D図面を作製することで各部の納まりを確認した。

\* 建築施工システム技術科

## 5. 躯体工事までの準備作業

5.1 作業手順書および施工要領書 施工に必要な手順書および要領書を作成した。

5.2 現地調査(不陸測量) 地面の不陸状態を確認し、候補場所全体の測量を行い、結果をグラフ化した後、不陸の少ない区間を建築場所として選定した。

5.3 地縄 建物の基準となる中心にベンチマーク(B.M.)を設置し、その後パイロンを被せて養生した。地縄張りは基礎角度及び壁芯の位置に行った(図1)。

5.4 遣り方 あらかじめ水貫に水糸を張る墨を出した。また、コンクリートはミキサー練りするため、搬入口として、水貫の中心の一部を離す計画とした(図2)。



図1 地縄



図2 遣り方

## 6. 地業工事

6.1 砂利地業 不陸の測量結果を基に砂利及び目潰し砂利の量の算定を行なった。高低基準は地業を行う場所が一番高い点とした。砂利地業に先立ち、鉄筋及び薄いベニヤ板を用いた流れ止めを設置した。締固め作業は約10kgのタコを人力で持ち上げ、地面に落とす計画とした(図3)。

6.2 捨てコンクリート 今後の解体・撤去を考慮し、今回はGLより上での施工とした。捨てコンクリートのレベルは、基礎型枠建て込みに必要な場所を揃えた(図4)。打設後はシートを被せ、養生を行った。

6.3 地墨出し 鉄筋及び型枠の位置を確認するための地墨出しを行なった。水貫に水糸を張り、尺杖・下げ振りおよび事前に製作した大鋸を用いて、地墨出しを行なった。



図3 砂利地業



図4 捨てコンクリート地業

## 7. 基礎工事

### 7.1 鉄筋の加工

7.1.1 加工方法の選定 スプリングバックを見込んだジグに当て手曲げた加工(以下、SPBと称する)と折り曲げながら徐々に曲線に近づく方法(以下、BNDと称する)が施工性と精度が良かったことから、この方法を選定した。また、加工方法の違いにより、実際施工された建築物にどのような影響があるのか、

また、加工時と施工時の加工と施工時間の違いを知るため両方法により行った。

7.1.2 SPB加工型の製作 SPBの型は、合板に栈木を60本程度並べ、ビスで固定し、原寸図に近い形になるように鉄筋が曲がる位置に栈木を止めたものを製作した(図5)。

7.1.3 BND加工型の製作 合板に原寸図を貼り付け、コーチボルトを縦筋と横筋の重なる箇所に打ち込んだものを製作した(図6)。



図5 SPBの型

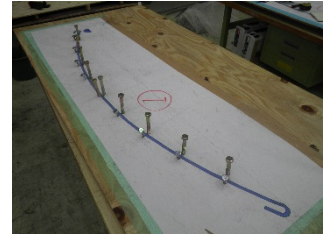


図6 BNDの型

### 7.2 基礎鉄筋加工

①SPBによる加工 型に設置し、曲げ加工を行った(図7)。曲げ加工後、半自動鉄筋曲げ機によってフックをつくり、再度原寸確認して、鉄筋を結束線でまとめた。

②BNDによる加工 直接、型に鉄筋を曲げながら入れることはできないため、凸部の中心部分以外のコーチボルトを外し、直線状の鉄筋をセットし、中心から順次コーチボルトを取り付けながら鉄筋を曲げた(図8)。



図7 SPBでの加工



図8 BNDでの加工

### 7.3 鉄筋の組立て(実習場内と現場施工)

7.3.1 鉄筋組立て箇所・タイミング 施工性の違いと現場施工の要領を知るため、実習場・現場施工の双方で行った。組立てのタイミングとしては、実習場で加工後(図9)と現場で敷き枠設置後の組立とした(図10)。

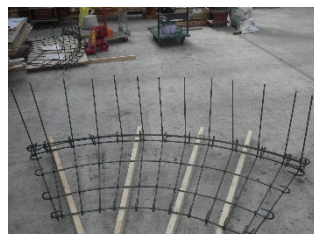


図9 地組み



図10 現場配筋

7.3.2 組立て順序 上端鉄筋・下端鉄筋(長尺)を結束し、下端鉄筋(長尺)・立ち上り横鉄筋を結束した後、下端鉄筋(短尺)を上端鉄筋と立ち上り横筋に結束した。

### 7.4 型枠製作

**7.4.1 各種型枠部材加工** 型枠合板には、曲げ型枠なるものは存在するが、型枠の特性である単版の繊維方向を直交せず同一方向に揃えているだけのものである。2次元曲面には適しているが3次元曲面には対応できない。そこで、せき板としては、合板を曲げやすくするため、傾斜丸鋸盤で合板に溝を掘り製作した。また、作業効率を上げるため、傾斜丸鋸盤と併用して使用する曲げ合板製作用のジグを製作した(図11)。楯は、原寸図とカーボン紙を用いて合板に墨を写し、ジグソーで切り出し楯を製作する(図12)。さらに、鉋を用いて、せき板の当たる箇所を微調整した。

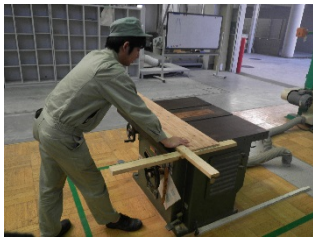


図11 曲げ合板の製作

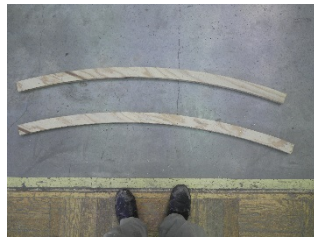


図12 楯の製作

**7.4.2 型枠組立** 楯に沿うように合板を曲げ、ボンドと釘で固定する。その際楯が割れないようシャコ万力で締めながら釘を打つ(図13)。面木・縦端太を取り付け、剥離材を塗布する。

### 7.5 型枠建て込み

**7.5.1 敷棧打ち付け** 敷棧を捨てコンにコンクリート釘で打ち付け、薄ベニヤによりレベル調整する。

**7.5.2 型枠建て込み** 敷棧と墨に合わせて合板を建てこむ。水準器とレベルレーザーを用いてレベルを見る。

**7.5.3 セパレーター孔開け** 内型枠は製作時に加工し、外型枠に関しては合板を曲げる際に位置が変わるため、セパレーター孔は現場加工とした。レベルレーザーを用いて、墨を出して加工した。

**7.5.4 端太取り付け・固め** 内型枠の端太は断面を大きくした楯を代用し、パイプサポートで押さえた。外端太は引張力を負担すること、また、加工の容易さから鉄筋を束ねたものとした。固め方としては、8の字を描くようにチェーンで締め付け、開き止めとして上部を栈木で固定した(図14)。



図13 型枠組立



図14 型枠建て込み

### 7.6 基礎コンクリート打設

**7.6.1 コンクリート練りと搬入** ミキサー練りのコンクリートをトロ舟に移し、打設箇所へ搬入する。

**7.6.2 コンクリート打設** スコップでコンクリートを型枠の中へ入れ、同時にバイブレータで締め固めていく(図15)。これを繰り返し、面木を目安として充填さ

せる。打設後は、天端をコテで押さえ、レベルレーザーでレベルを合わせ、仕上げた。その後、養生を行い、1週間後に脱型を行った。養生方法としては、当日はシート養生を行い、翌日からは散水養生とした(図16)。



図15 締め固め

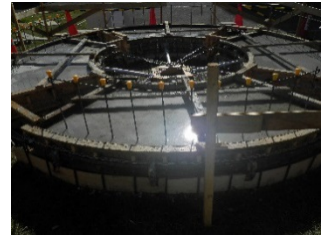


図16 散水養生

## 8. 躯体工事

**8.1 壁鉄筋の加工** 基礎と同様にSPBとBNDの両方法により加工した。

**8.2 横筋・縦筋および吊りフック用鉄筋の加工** 横筋は基礎と同様に行った。縦筋は横筋と同じように鉄筋を曲げる際、鉄筋は基礎上端から800mmは直線のため、端から800mmの位置にBNDの型の中心を合わせて曲げる方だけ曲げ加工した(図17)。フックおよび吊りフック用鉄筋の加工では、機械曲げ機を用いて加工した。加工後、原寸図を用いて確認した(図18)。

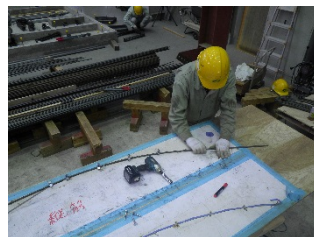


図17 縦筋加工



図18 原寸図での確認

### 8.3 壁配筋手順

**8.3.1 縦筋の配筋** 縦筋の配筋として、基礎鉄筋のピッチが守られていることを確認し、結束した。また、壁の開口部側の所定のかぶりを確保できるように配慮した。また、縦筋上部がB.M.を向くように基礎鉄筋に重ね継ぎ手とした。

#### 8.3.2 横筋の配筋

①2次元面の配筋 まずは上部の鉄筋を結束し、徐々に下に向かうような結束手順とした(図19)。

②3次元面の配筋 下部から順に、あらかじめ縦筋の両側に横筋のフックを掛けるように配置した(図20)。



図19 2次元面配筋



図20 3次元面配筋

横筋の結束の手順として、縦筋の結束部分を記す印に横筋の中心をまず結束し、次に横筋の左右両端を縦

筋に結束していき、横筋の中心と両端のおおよそ中心部分の縦筋の印位置に横筋を結束して、残りの箇所も同様に結束した。

**8.4 配筋検査** 鉄筋の2次曲面部に鉄筋ゴムピッチをつけ、測量用リボンテープで鉄筋のピッチが分かるように取り付けた。黒板に検査概要を書いて工事写真を撮った(図21)。また、検査結果を検査表にまとめた(図22)。3次曲面部の検査も同様に行った。

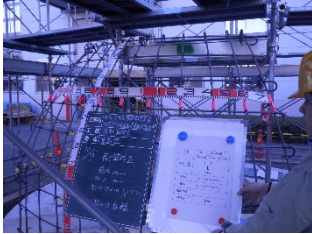


図21 配筋検査工事写真

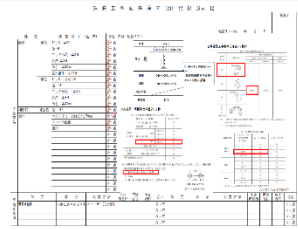


図22 検査表(イメージ)

## 8.5 型枠製作

**8.5.1 各種型枠部材加工** せき板は、厚さ4mmの単板を3枚張り合わせたものとした。3次曲面部は、楯の芯に沿わせるように鉋で微調整(図23)を行いながら製作した。楯の角度は、原寸図と自由矩を用いてジグソーの角度を設定して加工した(図24)。



図23 鉋での微調整



図24 楯の加工

## 8.6 型枠組立て

**8.6.1 2次曲面の組立手順** 楯に3枚の単板を張り合わせ、栈木を取り付ける(図25)。組立てた型枠を原寸図に合わせ、セパレーターを開ける。

**8.6.2 3次曲面の組立手順** 楯同士を釘で打ち付け固定し、3次曲面の枠を製作する。原寸図に合わせ、下の楯をビスで固定し、単板を枠に張り合わせていく(図26)。この際、隣り合わせの合板との隙間を無くすため、鉋で調整する。これを厚さ12mmとなるように行った。3枚目は化粧面となるため、より精度良く調整した。



図25 2次曲面の組立

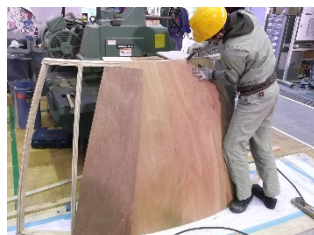


図26 3次曲面の組立

## 8.7 型枠建て込み

### 8.7.1 下壁型枠建て込み

下壁の型枠を地墨に合わせ建て込む。レベル調整は

詰め物を型枠の下に挟み、レベルレーザーと差し矩を用いて確認しながら行い、最後は水準器にて確認した。

**8.7.2 上壁型枠建て込み** 下壁せき板の面を合わせるように調整しながら外型枠を建て込む(図27)。同様に側型枠・内型枠の順に建て込む。また、納まりを確認した後打設を考慮し、外型枠のみ取り外す。



図27 型枠建て込み



図28 建ち直し・固め

**8.7.3 セパレーター孔開け** 位置決めは、レベルレーザーをB.M.上に据え付け、下壁のセパレーター位置を映すことで横の位置を決めた。高さはガイドを用いて墨出しを行った。

**8.7.4 端太取り付け** セパ用座金を用いて、曲げパイプを取り付ける。また、上壁の型枠を自立させるため、根がらみクランプにより縦端太用曲げパイプを端部に1本ずつ、中央に1本の計3本取り付ける。

**8.7.5 建ち直し・固め** 最上部の横端太をパイプサポートで突っ張り、また型枠用チェーンをターンバックルにより引くことで建ち直し・固めを行う(図28)。

## 9. 壁コンクリート打設

**9.1 コンクリート練りと搬入** 基礎コンクリート同様。

**9.2 壁コンクリート打設** 上壁は3次曲面になっていることから、パイプレータだけでは充填が難しい。念入りに木槌で型枠を叩き、音で判断しながら充填を行なう(図29)。壁コンクリート打設完了後は、レベルレーザー及び標尺を用いてコンクリート天端の不陸を調整し高さをそろえ、金ごてで仕上げる。

**9.3 壁コンクリート養生** 打設完了後コンクリート露出部分にシートを掛け、打設1日経過後は散水し養生を行ない、1週間後に脱型を行った(図30)。



図29 打設状況



図30 脱型後

## 10. その他の作業

**10.1 安全計画** 講じた安全対策を一部紹介する。

- 作業開始前にKYKおよび準備体操を行うことで災害発生の防止に努めた。

- 施工現場周辺の配慮として、関係者以外の立ち入りを制限する看板を表示し仮囲いを設け、必要資材がある場合も、パイロンやトラ綱等で仮囲いを行った。

**10.2 各種検査** 検査表を作成し、鉄筋及び型枠の組立時に検査を行った。不可時は、即時修正し再検査した。

### 11. 結言

本課題では、試行モデルを製作し、それに伴う施工要領書および報告書をまとめることができた。経験のない作業が多いことから当初のスケジュールは度々軌道修正された。当初、コンクリートは生コン打設の予定もあったが、いつ型枠が出来上がるかも予測できない状況から発注はできず自前によるミキサー練りとバケット打ちを採用したことも時間の上では大きな負担となった。鉄筋曲げ加工は外注すれば済むものを自前でジグを工夫しながら作成し加工した。型枠加工は、近隣の型枠工場からも技術的な指導は受けていたが、

職人でなくては加工できないとのコメントの中、学生は創意工夫により型枠を作成することができ、職人からも高評価を得ることができた。筆者自身、工期の制限から3次元でなく2次元曲面への修正を促したこともあったが、テーマ設定したのは学生であることから、妥協せずモチベーションも下がることなく連日、遅くまで残って作業してくれた。学生は大変であったと思うが成果物は学生にとって大きな達成感を得られたようである。ポリテックビジョンの展示部門優秀賞を得られたことは報われた思いとともに今後の学生達の職業人生に大きな自信となると確信している。

(2016年03月28日提出)