

# もの造りを通して学ぶコンクリート工学の教育に関する一考察

貞末 和史\*

(令和元年8月7日受付)

## A consideration for education of concrete engineering through manufacturing

Kazushi SADASUE

(Received Aug. 7, 2019)

### Abstract

土木構造物および建築物において、コンクリートは必要不可欠な材料である。昨今、建築に使われる材料や製品の性能に関する偽装が問題になることがあり、コンクリート構造物についても、設計・施工の不備や不十分な品質管理によって不良な建物が造られないように、コンクリート工学に関する深い知識と、正しい倫理観を身に付けた技術者を育成することが必要とされている。本論では、コンクリート工学に関する技術の習得に対して、講義およびゼミ活動によって実施した様々なコンクリート構造物の製作、演習および実験について報告し、これらの活動によるコンクリート構造物の設計および施工管理技術者として必要な能力を身に付けるための教育効果について考察した。

**Key Words:** Concrete engineering, Manufacturing, Structurel model, Structural test

### 1. はじめに

コンクリートは社会基盤を支える重要な材料であり、我が国においては、100年余り前より土木および建築分野における構造物に使用され始めた。適切な設計・施工と維持管理の下では、長期間に渡って構造物として使用することが可能であり、日本最古のコンクリート構造物である1903年に造られた鉄筋コンクリート橋は、現在でも使用されている。一方で、コンクリートの性能は設計と施工の精度に敏感であり、調合設計や練混ぜ・打込みの知識と技術が未熟で品質管理が不十分であった高度成長期に造られた既存の建物では、設計時に見込まれた強度を有していないコンクリート建物や、コンクリート内に配される鉄筋が設計図書とは一致していない建物が存在することが明らかになり<sup>1)</sup>、継続使用することに対して危惧されている。

建築物において、コンクリートは、鉄筋コンクリート造や鉄骨鉄筋コンクリート造における主体構造として使われ

るだけでなく、木質系構造、鋼構造における基礎や基礎梁等、あらゆる構造種別における構造材料として使われると共に、仕上げ材料としての用途も加わり、安価で多用できる材料として、今日の建築物においては必要不可欠な材料となっている。昨今、建築に使われる材料や製品の性能に関する偽装が問題になることがあり、コンクリートに関しても、先に述べたような設計・施工の不備や不十分な品質管理による不良な建物を造らず、地球環境を配慮して長期間の使用ができるように、コンクリート工学に関する深い知識と、正しい倫理観に基づいて利用できる能力を身に付けた技術者を育成することが重要である。

コンクリート造建物に関する材料や構造に関する設計・施工法を理解するには、自然現象や物理現象を知り、数学の知識を応用できる能力が必要であり、体系化されたコンクリート工学に関する計算等について、知識伝達型の学習方法によって学ぶことは必要である。一方で、今日の多様な能力を有する学生に対して、座学で得た知識を応用する

\* 広島工業大学工学部建築工学科

能力を身に付けるためには、能動的な学修によって汎用的な能力と思考の育成を図ることが重要とされている。本論では、著者が所属する学科におけるコンクリート工学に関係する講義を挙げて全体を俯瞰した後、コンクリート工学に関する技術の習得に対して、講義およびゼミ活動によって実施した種々のコンクリート構造物の製作、演習、実験による教育効果について考察する。

## 2. コンクリート工学に関する講義・演習

本学では、建築について学ぶことができる学科として、工学部建築工学科と環境学部建築デザイン学科の2学科がある。両学科のカリキュラム・ポリシーに基づき、それぞれの特徴を持つカリキュラムが編成されているが、本章では著者の所属する工学部建築工学科における現行カリキュラムにおいて、コンクリート工学に関してどのような内容の講義が実施されているかを示す。表1に各学年におけるコンクリート系構造に関連する科目を示す。

1年次に開講される「建築一般構造」では、木材や鋼材など他の材料と比べて、コンクリートがどのような特徴を持ち、その性質を活かして建築物においてコンクリートをどのような部分に使うことができるのか学ぶ。

2年次に開講される「建築材料学」では、コンクリートをどのように造り、固まる前と固まった後のそれぞれでどのような性質を有しているのか学び、続いて開講される「建築材料実験」の演習では、実際にコンクリートの調合設計、コンクリートの製造、材料試験等を実施して、コンクリートの造り方と性質について理解を深める。また、「鉄筋コンクリート構造学」では、コンクリートを鉄筋で補強して用いることで、建築物における骨組みなどの主体構造として使う方法を学ぶと共に鉄筋コンクリート構造の構造設計に必要な基礎理論を理解する。

3年次に開講される「鉄筋コンクリート構造学演習」は、2年次の鉄筋コンクリート構造学に続き、床スラブや壁、柱梁接合部の構造設計法等に関する基礎知識を修得する。大学における鉄筋コンクリート構造に関する講義は1セメスターの場合が多いが<sup>2)</sup>、本学科では2セメスターに渡る講義によって広範な内容を学ぶことができる点に特徴がある。

また、「建築生産」では、建築現場においてコンクリート工事がどのように行なわれるのか学ぶ。さらに、「建築構造実験」の演習では、鉄筋コンクリート梁の設計、製作、加力実験を通じて、鉄筋コンクリート構造学で学んだ理論を実用して構造計算を行なうと共に、構造部材を実際に製作して建築生産で学んだ知識を深める。

4年次に開講される「耐震構造設計」と「建築施工管理」では、卒業直前の最終段階として、それぞれ、コンクリート系構造の構造設計・構造計算と施工管理について、実設計、実施工を想定した演習を交えて学ぶ。

表1に示した各講義は、全週に渡りコンクリートに関する講義が行なわれていないものも含まれるが、本学科では、建築に携わる技術者の育成に重点が置かれているため、デザイン能力を磨くことに力を入れている建築系学科や芸術系の専攻より、コンクリート工学に関する講義が多いカリキュラムが組まれている点に特徴がある。次章以降では、表1に示したコンクリートに関する各講義と著者が担当する各講義等における取り組みについて振り返り、コンクリート工学に関する教育の効果について考察する。

## 3. 実験演習科目における取り組み

コンクリート工学に関する実験実習科目として、2年後期に開講される「建築材料実験」がある。建築材料実験では、コンクリートの調合設計、コンクリートの製造、材料試験等が実施される。建築士試験受験資格取得に係る指定科目との関係から、多くの建築系学科において実施されている。この実験演習科目を履修した後、さらに本学科では建築材料実験の発展科目として「建築構造実験」が3年後期に開講されることに特徴がある。建築構造実験では、1学年120名程度(再受講生含む)を3グループに分け、「鉄筋コンクリート構造」、「鋼構造」、「振動・応答」の各分野について、各週2コマ(180分)を各グループそれぞれ5週で実施している。鉄筋コンクリート構造に関する実験演習は、教員、技師およびTA(ティーチングアシスタント)の3名で担当し、鉄筋コンクリート梁の製作と加力実験を行なっている。1学年を3グループに分けて講義を行なっても1グループ40人程度になるため、本学科で過去に行なわれていた写真1に示される小型の梁の製作と実験では、

表1 コンクリート工学に関連する科目

	前期	後期
1年次	建築一般構造(必修・2単位)	
2年次	建築材料学(必修・2単位)	鉄筋コンクリート構造学(選択・2単位) 建築材料実験(必修・2単位)
3年次	鉄筋コンクリート構造学演習(選択・1単位) 建築生産(必修・2単位)	建築維持管理(選択・2単位) 建築構造実験(必修・2単位)
4年次		耐震構造設計(選択・2単位) 建築施工管理(選択・2単位)



写真1 小型載荷装置



写真2 大型載荷装置

全員参加型の演習を行なうことが難しく、積極的ではない学生は後ろの方で見ているだけになることがあった。小型の試験体を用いていたのは、載荷装置の性能による制限を受けたものであったが、2017年度に写真2に示されるような最大加力能力3000kNのアムスラー型万能試験装置が設置されたため、断面が大きくスパンの長い梁の実験が可能になり、教育環境が大きく改善された。本章では、この大型試験装置を用いて取り組んでいる鉄筋コンクリート構造に関する実験演習の内容について報告する。

### 3.1 学びの目的

「建築構造実験」における鉄筋コンクリート構造に関する学びの目的は、鉄筋コンクリート梁試験体の製作を通じて、一般的な鉄筋コンクリート構造がどのような材料でどのように構成され、どのように造られるのか学び、さらに、製作した試験体の加力実験を観察することで、力を受ける鉄筋コンクリート部材がどのように壊れるのか知ることを目的としている。また、「鉄筋コンクリート構造学」、「鉄筋コンクリート構造学演習」や構造力学など構造系の各講義で学んだ理論と設計式を用いて鉄筋コンクリート部材の変形や強度等の計算を行い、実験結果と比較・検討することで、鉄筋コンクリート構造の力学特性について理解を深めることを目的とした授業計画としている。

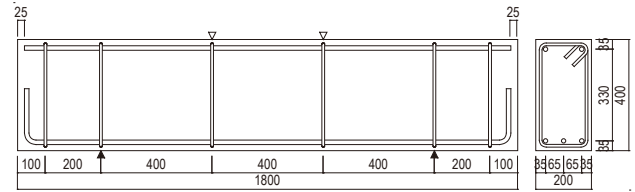
### 3.2 実施方法

鉄筋コンクリート構造に関する実験演習のスケジュールを表2に示す。配布資料としては、試験体形状や載荷方法の概略などを示した「講義参考資料」と「レポート作成用記録ノート」の冊子2点である。

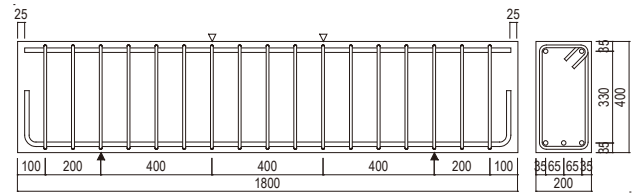
第1週目は、実験室使用に関する安全管理指導を講義室で行なった後、本実験演習の学びの目的、講義スケジュールおよび到達目標について説明し、作成したレポートの内容で成績評価することを伝える。講義スケジュールについては、前年度までの実験演習の一場面の写真を見せて演習全体の流れを把握させると共に、特に安全に注意をはらう

表2 講義スケジュール

第1週	全体説明、鉄筋加工図作成、鉄筋の加工と組立
第2週	コンクリートの受け入れ検査と打込み
第3週	梁の弾性剛性、ひび割れ強度および終局強度の計算
第4週	梁の加力実験、材料試験
第5週	まとめ、レポートの修正



上端筋：2-D16、下端筋：3-D16、あばら筋：D10@400



上端筋：2-D16、下端筋：3-D16、あばら筋：D10@100

図1 鉄筋コンクリート梁

作業内容について伝達する。また、これは建築工事現場における朝礼での伝達事項と同様であることを付け加える。

製作する試験体は、図1に示されるような実構造物に対して1/2～1/3程度の縮尺の鉄筋コンクリート梁2体であり、それぞれ、曲げ破壊が先行する配筋とせん断破壊が先行する配筋とし、3つのグループでコンクリート設計基準強度を変えることで、できるだけ同一内容のレポートとならないように配慮している。建築工事では、図1のような構造図を見て、どのような鉄筋がどれだけ要るのか読み取ることが必要であることを実施工と結び付けて理解させる。なお、鉄筋端部については折り曲げ部の余長や内法直径等の規定があることを座学で学んでいるが、規定を満足する形状の鉄筋の詳細図を自分で描き、作成した図を基にして写真3、写真4に示されるように鉄筋を加工し組み立てる。実際に手に触れて作業をする中で、主筋、あばら筋、定着、付着、余長といった用語を多用することで、鉄筋コンクリート構造に関係する建設用語を用いたコミュニケーション能力を高めることができると考えている。

第2週目は、コンクリート打ちを行なう。講義時間の制限と授業展開の合理性から型枠は転用できる鋼製型枠を用いるが、写真5に示されるように鋼製型枠と同寸法で建築工事と同様の仕様の本製型枠を用意しておき、せき板やフォームタイ、スパーサー等、型枠工事に関する名称と役割について説明する。また、実際の建築工事においても鋼製型枠を用いることで転用が可能でコストを削減できる場合があることを説明する。

「建築材料実験」でコンクリートの調合設計と練り混ぜ



写真3 鉄筋の折り曲げ



写真4 鉄筋の組み立て



写真5 型枠と鉄筋



写真6 コンクリートの受け入れ検査と打込み

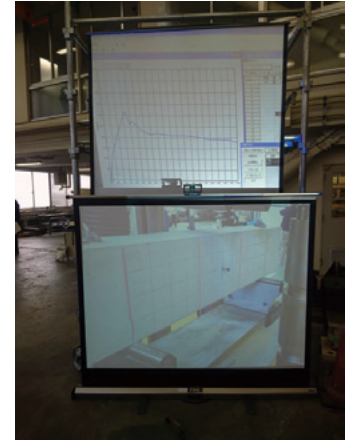


等については演習しているため、建築構造実験では写真6に示されるように生コン工場で練り混ぜられたコンクリートを手配し、建築工事と同様の手順でスランプ試験、空気量測定等の受け入れ検査を行なった後、梁およびテストピース用の型枠内にコンクリートを打込む。

第3週目は、コンクリートの養生期間とし、製作した鉄筋コンクリート梁を載荷装置にどのように設置し、加力するのか説明した後、弾性剛性、ひび割れ強度、終局強度を計算する。「構造力学」や「鉄筋コンクリート構造学」で用いたテキストやノートを持参するように事前に伝えておき、曲げモーメントやせん断力の応力算定等の計算手順は自分で考え、必要な計算式や材料定数は自分でテキスト等から見つけてレポート作成用記録ノートに書いて計算するように指示すると、これまでの座学で学んだことを容易に応用することができる学生は手早く構造計算を進めるが、

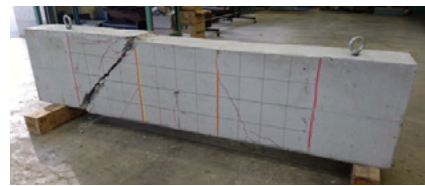


(a) 実験の様子

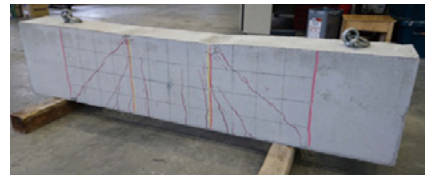


(b) 荷重-変位関係およびウェブカメラを用いた破壊状況の投影

写真7 加力実験



(a) せん断破壊先行



(b) 曲げ破壊先行

写真8 破壊状況

十分に理解できていない学生も多いため、段階的にヒントを与えて全員が自分で計算できるように導く。さらに、計算された数値の意味を理解するために、計算値を荷重-変形関係として描かせる。

第4週は写真7に示されるように加力実験を行なう。実験スケジュールの都合により、コンクリートの材齢2週で加力することになるが、同時にコンクリートの材料試験を行なって圧縮強度がコンクリート設計基準強度  $F_c$  に到達していないことを確認し、 $F_c$  は材齢4週でのコンクリート圧縮強度を意味していることを理解する。

配筋を変えた2体の梁について、写真7に示されるように荷重-変形関係と破壊状況を同時に観察することによって、鉄筋コンクリート部材は主筋と横補強筋の配筋の比率によって写真8のようにひび割れや壊れ方が変わり、ひび割れや壊れ方が変わることによって力学性能(強度や靱性)も変わることを学ぶ。

### 3.3 学びの効果

大型試験装置の新設に伴い大型の試験体を用いた演習ができるようになったことで、多くの学生が直接手を動かして製作に参加できるようになり、また、対象物が大きいこ

とで加力実験の観察が容易になった。鉄筋コンクリート部材は寸法が大きくなると各種の強度が相対的に小さくなる寸法効果と呼ばれる特性があり、小型の試験体と実構造物では生じる現象が異なる場合があるため、本質を理解させるためにはできるだけ実構造物に近い大型試験体を用いることが好ましい。

本講義に関わらず、構造系のいくつかの講義で鉄筋コンクリート造建物の地震被害の写真を見せて解説する機会を設けているが、構造物が破壊する現象を直接観察することで、よく考えられた設計と施工を行なわないと長く使える建物を造ることができないことを理解してほしいと考えている。また、「建築構造実験」では、もの造りを経験する中で、各項目の演習において「建築構造設計における構造計算」や「建築工事現場における現場管理」等の実務に通じる技術を身に付けることができると考えている。

なお、4週間に渡り実施した内容については、講義参考資料とレポート作成用記録ノートにメモ、計算および作図したものを基にして、「実験目的」、「実験方法」、「実験結果と考察」、「まとめ」等の章立てで、レポートを作成するように伝えるが、本講義の到達目標に達していない内容のレポートも多く提出されるため、レポート書式の修正等、内容以外の修正項目についても指示することで、レポート作成に関する基礎的な能力の向上を図っている。

#### 4. ゼミ活動における取り組み

##### 4.1 3年ゼミ

本学科では、3年次前期に研究室への配属が決まり、後期に開講される「文献研究」という講義において、それぞれの研究室によって異なる内容の講義（ゼミナール）が実施される。著者の研究室では、卒業研究等で鋼コンクリート合成構造建物の耐震設計に関する研究を主要なテーマとして実験的・解析的研究に取り組むため、3年生がゼミで集まる機会を利用して、上級生の卒業研究等を手伝う中で実験機器や解析プログラムの使用方法を受け継いでもらっている。また、進路として構造設計や施工管理技術者を目指す者が多いため、建築構造に関する知識を深めることを目的として、従来までは鋼構造を対象とした写真9に示す模型製作や簡易な加力実験<sup>3)</sup>、振動台実験を実施してきた。

一方で、3年次ゼミでの取り組みとして、コンクリート系構造に関する学びについてはこれまで不十分であると考えていたため、2019年度に新たに写真10に示す縮尺鉄筋<sup>4)</sup>を用いたRC構造の模型製作に取り組んだ。本節では、1/24の縮尺を持つRC造建物の躯体模型製作の内容について報告する。

##### (1) 躯体模型の製作

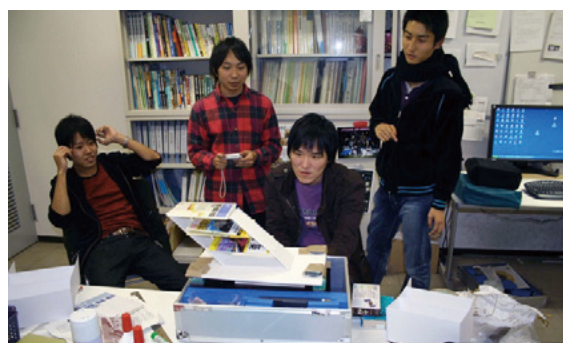
構造模型は、4年次に受講する「耐震構造設計」で構造



(a) 梁の加力実験



(b) 柱梁接合部の加力実験



(c) 簡易振動台実験

写真9 紙模型を用いた実験

計算演習を行なうX方向1スパン、Y方向2スパンの2階建てRC造建物を製作するものとした。実建物では設計が完了した後に建設が進められる。構造模型の製作に関しても、先に構造設計を行なって、自分で決めた断面や配筋のRC造建物を実際に縮尺模型で製作することによって、建物の設計から施工までの一連の流れや、鉄筋の干渉や納まり等、実務で問題となる点を理解できると思われるため、今後は3年次ゼミで構造設計演習を行ない、CAD演習を兼ねて配筋図を作成した後、これを基に模型製作を行なってみたいと考えている。

縮尺鉄筋の曲げ加工および組立の様子を写真11に示す。小さなものを多量に製作するため大変であるが、折り曲げ精度が悪く寸法が揃っていないものを用いて鉄筋を組み上げると不揃いで見栄えの悪いものが出来上がり、何度か作り直ししながら製作が進められた。施工の善し悪しについて、良い経験になったと考えている。

3章に示したRC梁の製作は部材の製作であったが、柱梁接合部における鉄筋の定着、継手の仕様など、骨組みを製作することによってはじめて気付く疑問があり、関連規準<sup>5),6)</sup>に示される構造規定等を調べながら、鉄筋の加工と組立は進められた。座学で学んだ定着長さなどの諸数値を確認できる良い機会が得られたと考えている。本建物の製作に必要な縮尺鉄筋は、学生が配筋図を見て数量をカウントした。安価ではないため、必要以上に余すことのない数量となるようによく確認することを伝えていたが間違いがあり、必要な数量が揃わなかった。今回の模型は骨組み

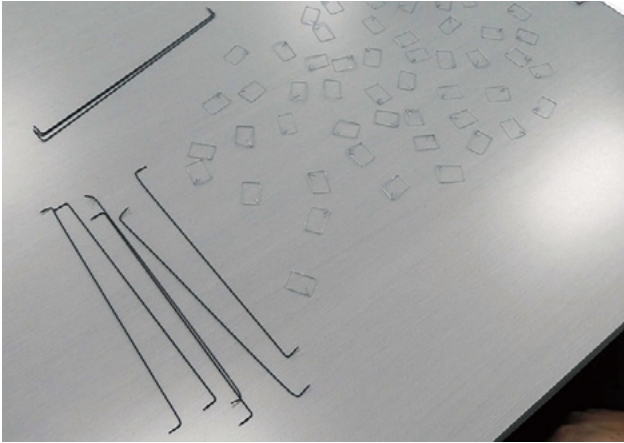


写真10 縮尺鉄筋

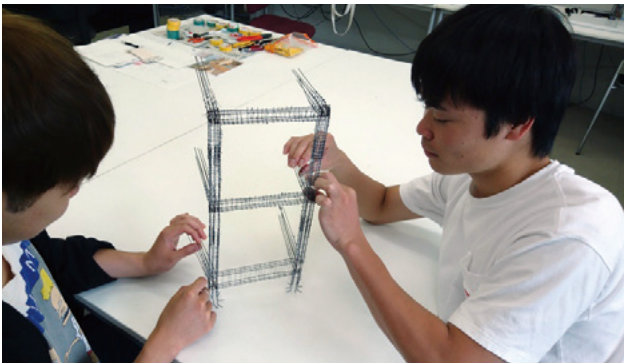
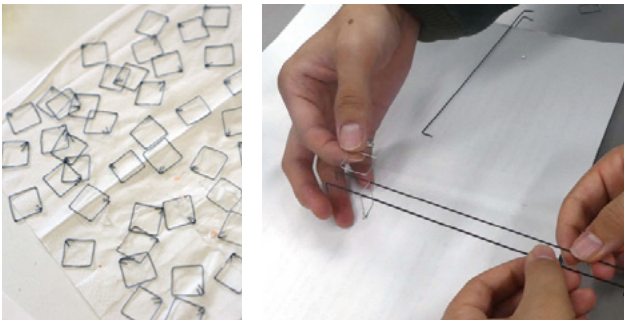


写真11 製作の様子

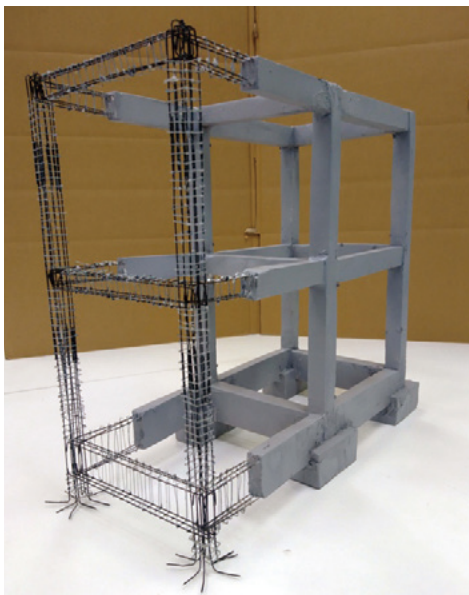


写真12 完成したRC造建物模型

全体ではなく、写真11に示されるように部分骨組みとすることで対応したが、実施工において施工管理者の数量の手配ミスは工事の遅れに繋がるのが経験として得られたと考えている。

写真12に部分的に石膏を用いて躯体を完成させた構造模型を示す。本取り組み初年度の試みであり、多くの試行錯誤を重ねたため、完成時期が予定より大幅に遅れた。施工精度が十分なものとは言えない部分もあるが、今後は後進の教材として利用していく予定である。

## (2) 製作に取り組んだ学生の感想

「文献研究」という講義の一貫で、成績評価が必要なこともあり、本取り組みについてのレポート作成を指示した。レポートに示された感想をいくつか挙げる。

- ・協同作業を行なったので、十分にコミュニケーションが取れていない時は効率が悪く、なかなか進まなかった。建築設計・工事も同様であると思った。
- ・設計図通りに正確に造るのは難しく、小さな誤差だろうと思って造り進めていくと、鉄筋と鉄筋が干渉して製作できない部分ができたり、大きな間隙ができて造り直しが大変だった。
- ・予定通りに製作を進めるのは難しい。十分に余裕を持った製作計画が必要であった。
- ・自分で参考文献を調べることで、配筋に関する構造規定等が確認できた。

以上より、品質の良い建物を予定期間内に完成させることの難しさを身をもって経験したと思われ、協同して一つのを完成させる「もの作り」の楽しさとやりがいを経験するよい機会を与えることができたと考えている。また、座学のみでは身に付けることが難しいRC構造に関する知識と技術について、ゼミで復習することができた。

## 4.2 卒業研究

著者の研究室では、コンクリート系構造建物に関する構造要素、部材および骨組みの載荷実験や解析を行なって、地震を受けてなぜ建物が壊れるのか、どれだけ力が加わったら壊れるのか、どれだけ変形したら壊れるのか、ということを検討し、地震に強い構造システムの開発や設計法について研究を行なっている。3年次のゼミで取り組んだ構造模型の製作は、建築構造に関する素養を深めるための勉強であり、多少の寸法誤差や不出来については目をつぶり、学生の自主性に任せて製作を進めた。一方で、4年次の卒業研究や大学院での研究における試験体製作から実験実施までの「工程管理」、「材料手配」、「試験体製作」、「安全管理」などは、実務と同様の緊張感を持って取り組むように指導し、緻密な実験データが得られるように徹底している。

載荷装置の能力や製作コストの都合で、試験体の縮尺は写真13(a)に示されるような1/2～1/3の縮小サイズを用

いることが多いが、写真13(b)に示されるような実サイズの試験体を製作することもある。構造実験を伴う研究は、試験体の設計や製作を通じて、「構造計算」や「CAD」に慣



(a) 縮小サイズ試験体の製作



(b) 実サイズ断面の試験体 (片持ち柱)  
写真13 コンクリート系部材の試験体



写真14 試験体製作および荷重実験の様子

れるので、卒業後、構造設計や施工管理の業務にいち早く対応できるようになる。また、安全性や作業効率の観点から、試験体製作は写真14に示されるように共同作業を行なう機会が多く、設計・施工業務に必要とされるコミュニケーション能力を高めることに繋がり、さらに、加力実験で破壊状況を観察することは、机上で計算される諸数値が持つ意味を物理現象として理解するよい経験となる。

コンピューターの普及に伴って、従前に比べて構造解析が容易になってきたが、コンクリート系構造に関しては、実験を行なって調べないと性能を把握できないことも多い。コンクリート工学に関する知識と技術を研鑽するために、今後も構造実験等の実施による「もの造り」を通じた教育・研究を推進していくことは必要であると考えている。

## 5. まとめ

所属学科における講義や研究室での活動におけるコンクリート工学に関する教育の取り組みについて報告し、得られる教育効果について考察した。講義については、コンクリート工学に関する一部の講義を担当しているのみであるため、本報に示した内容を関係教員で共有し、コンクリート工学に関わる今後の教育について考えていきたい。

## 文 献

- 1) 日本コンクリート工学会中国支部：低強度コンクリートに関する特別研究委員会報告書 (2013)、2013. 3
- 2) 福原安洋、松野一成、荒木秀夫、野添久視、森村毅、南宏一、横井友幸、寺井雅和、原田洋臣：高専および大学の鉄筋コンクリート構造教育に関する調査研究 (教育)、日本建築学会技術報告集、第19号、341-346、2004. 6
- 3) 鋼材倶楽部鋼構造教材作成小委員会：紙模型でわかる鋼構造の基礎、技報堂出版、2001. 9
- 4) 細川大介、松土雄紀、溝渕利明、満木泰朗：鉄筋コンクリート工学における卓上破壊試験の教育効果、土木学会第65回年次学術講演会、pp. 13-14、2010. 9
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2018. 12
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説 2010、2010. 11