

大学教育を通しての技術者の育成について (日本大学理工学部海洋建築工学科での取組み)

北嶋 圭二^{*1}・福井 剛^{*2}

1. はじめに

現在、日本大学には建設系（建築・土木系）学科と称される学科が、理工学部、生産工学部、工学部の3学部に各々設置されており、延べ約1800名の卒業生を毎年世に輩出している。本稿で、日本大学の全学的な技術者教育に関する取組みについて紹介することは、筆者らには荷が重過ぎるので、筆者らが所属している理工学部海洋建築工学科における「大学教育を通しての構造系技術者の育成」について紹介する。なお、海洋建築工学科は、「建築学の海洋工学への参画」という考えのもと、1978年に理工学部建築学科から独立・分離した学科で、建築工学の修得を基本とし、その上で「建築のその先へ」を謳い文句に、建築工学を海洋工学に応用できる技術者の育成を目指している学科である。筆者の北嶋が5期生、福井が12期生で、ともに卒業後、建設会社に就職し、20～30年、建築構造関係の実務に従事した後、恩師（安達洋先生、中西三和先生、濱原正行先生）のリタイアに伴い母校で教壇に立っている。本稿では、本学科学部生のカリキュラム構成と各科目を通しての技術者教育、研究室活動（ゼミ・卒業研究および修士論文や受託研究）を通しての技術者教育について述べることにする。

2. カリキュラム構成と各科目を通しての技術者教育

2.1 カリキュラム構成

図-1に、本年度の学部要覧に記載されている構造系科目群の履修系統図を示す。まず、大学入学後の1年次前期に導入科目の「力学基礎」という科目を設置し、高校までに学習した物理のうち、構造系科目群で必要となる力学分野を抽出し基礎の復習を行う。授業の後半部分では、地震災害の映像や、学会等で発表されるような高度な構造実験の映像、複雑な実現象を表現する運動方程式等について紹介し、「力学の基礎」がこれらの現象を説明・解明する上で如何に重要であるかという学修のインセンティブを与えている。

「力学基礎」を履修した後、1年次後期から徐々に専門科目が増えていく構成である。「構造力学及び演習Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅳ」が1年次後期から3年次前期まで続くとともに、「建築構造及び材料Ⅰ・Ⅱ」と「建築施工法」の科目が構造系科目の基礎科目として設置されている。2年次後期から、主として3年次科目に、「基礎・地盤」、「コンクリート構造（RC構造・PC構造）」、「鋼構造」、「耐震・免震・制振構造」、「浮体構造」等のより高度な学修内容の専門科目が設置されており、4年次の最終学年の集大

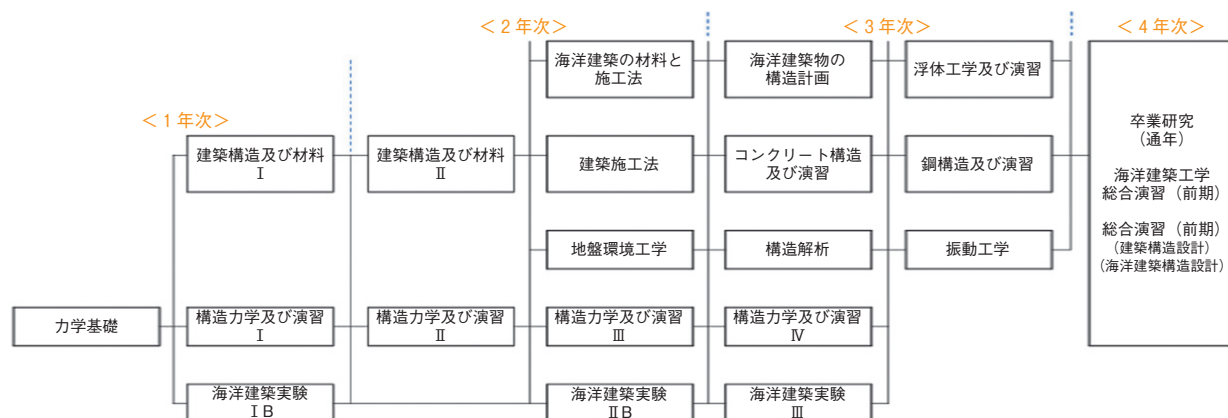


図-1 構造系科目群の履修系統図

*1 きたじま・けいじ／日本大学理工学部海洋建築工学科 教授（正会員）

*2 ふくい・つよし／日本大学理工学部海洋建築工学科 教授（正会員）

成として「総合演習（建築構造設計又は海洋建築構造設計のいずれかを選択）」と卒業研究が設置されている。なお、海洋建築工学科では、構造系、計画・デザイン系、環境系というコース制はとっておらず、計画・デザイン系や環境系で卒業研究に取り組む多くの学生も、構造系科目を履修している。

2.2 1・2年次の構造系講義科目と実験科目の概要

1・2年次の構造系科目と実験科目の概要およびそれらの科目の連携について紹介する。「構造力学及び演習Ⅰ」（以下、構力Ⅰ）では、力の性質、静定骨組の反力・断面力算定を、「構力Ⅱ」では静定トラス構造の部材軸力の算定と静定骨組の断面内応力について学修する。「構力Ⅲ」では、弾性たわみ曲線や仮想仕事の原理を用いて部材や静定骨組の変形を算定する方法について学ぶとともに、応力法による不静定構造物の応力算定まで学修する。

実験科目（「海洋建築実験ⅠB・ⅡB」）は、これらの講義科目と連携を図っている。例えば、構造力学の基本である“力の釣合条件・釣合状態”について、実験科目の「実験ⅠB」では、物体に複数の力が作用するときに、物体が“釣合状態（静止状態）”を保つためには、複数の力がどのように作用しているのかを観察・考察させている。これは、“力”という目には見えないものの本質を理解させるために、単に反力や断面力を算定するという机上の計算だけではなく、“力の釣合状態”を保っているときの力の大きさと向き、力の作用位置（作用線）、合力の位置（作用点）等について、肌で感じてもらうためである。力の作用線の位置がちょっと変わるだけで、物体が不安定状態となり、一気に物体が動いてしまうことを実感させるためである。プロというのは、普通の人には見えないものが見える能力を有している人のことである。“力”という人には見えないものの大きさと向き、そして、その位置が見える力（認識できる力）を養うことが、構造系技術者を育成するためには、非常に重要なことではないかと考えている。

また、「実験ⅠB」では、講義では学修していないことを、とにかく感覚でチャレンジするという試みも行っている。“ペーパーストラクチャー・コンテスト”（写真-1）がそれである。このコンテストは、理工学部建築学科で50数年前に始まり、現在も実施され続けているもので、

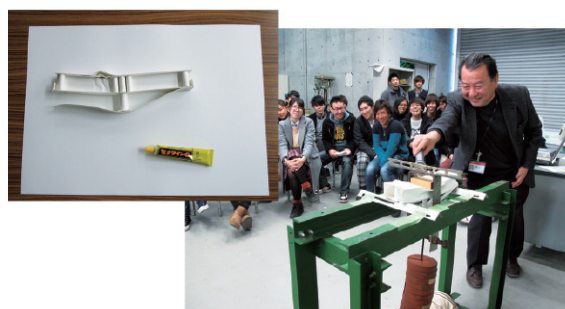


写真-1 1年次後期「実験ⅠB」の様子（ペーパーストラクチャー）

海洋建築工学科でも創設以来40数年間実施し続けている。A2のケント紙1枚とセメダイン1本（50mg）を使用して、30cmの径間を掛け渡す梁（ペーパーストラクチャー）を作製し、梁中央に載荷できる荷重（錘の重量）を競うというものである。まだ講義では、単純支持梁の中央集中荷重下の断面力（曲げモーメント、せん断力）について学修したばかりで、断面内応力や張弦梁の仕組み等については学修していない。この段階で、ケント紙1枚とセメダイン1本という材料の制約と、30cmの径間と中央集中荷重という条件のもとで、試行錯誤的に実験を実施している。なお、この実験は、予備実験と本実験という形で2度実施することになっている。予備実験では試験体を作製し実験し、破壊状況等をよく観察・分析してもらう。その後、改善を加えて本実験に臨むという方法である。PDCAサイクルを実体験する、良い機会として活用している。例年、載荷できる荷重は、10kgf～70kgfと様々であるが、一昨年度の実験では、100kgf（1kN）を超える荷重に耐える梁を作製した学生も出現した。現在は径間を30cmから35cmに拡げて実験を実施している。

「実験ⅡB」では、「構力Ⅱ・Ⅲ」の学修内容と対応させるために、荷重・変位・ひずみ測定を伴う鋼製梁の載荷実験を実施している（写真-2）。「構力Ⅱ」にて、梁断面内のひずみ分布、応力分布、せん断ひずみ・せん断応力について学修するので、単純支持形式のH形鋼梁を中央集中載荷し、梁端部の支点から載荷点までの距離の1/3と2/3の断面位置で曲げひずみを、1/2の断面位置でせん断ひずみを測定する。測定したひずみから応力を、応力の合力から断面力をという手順で梁部材内部の応力状態を把握することで、実現現象と講義内容の一致を実感させている。また、この実験で学生は初めて荷重計、変位計、ひずみゲージという測定器と関わるので、その仕組みや測定方法についても解説している。H形鋼の諸元から事前に計算しておいたひずみや変位の値が、実現現象である実験結果と一致することを実感することで、一つの小さな成功体験を味わってもらっている。

以上、1・2年次の構造系科目の概要と実験科目との連携について紹介した。建築構造を初めて学ぶこの年代に

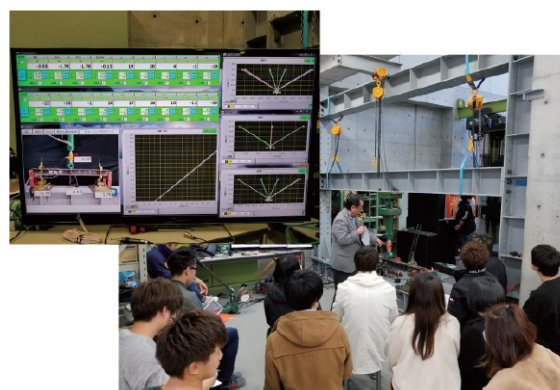


写真-2 2年次後期「実験ⅡB」の様子（H形鋼梁の実験）

対しては、多くの専門知識を詰め込むことより、単純ではあるが本質的なことを理解することと、その理屈が実現象と一致していることを肌で感じることに重点を置き、技術者教育のスタートとして位置付けている。

2.3 3年次の構造系講義科目と実験科目の概要

3年次の構造系科目と実験科目の概要について紹介する。3年次の構造系科目は、構造力学系の「構造Ⅳ」と「構造解析」、各種構造種別ごとの「コンクリート構造及び演習」、「鋼構造及び演習」、「振動工学（免震・制振構造）」等により構成されている。「構力Ⅳ」では、不静定構造物を対象として、たわみ角法、固定モーメント法、D値法を用いた応力算定方法について学修する。剛性マトリックス法を用いた応力算定方法については「構造解析」にて学修する。現在、実務で不静定構造物の応力算定をする際には、剛性マトリックス法によるコンピューター解析を行うのが当たり前となっているが、「構力Ⅳ」で学修する手計算手法を修得することにより、部材剛性と力の流れの関係等、構造設計で必要となる感覚が養えると考える。また、4年次科目の「総合演習（建築構造設計）」では、2階建てRC造事務所ビルの構造計算における部材応力は、「構力Ⅳ」で学修した固定モーメント法とD値法を用いて手計算にて算定させている。大手建設会社や組織事務所の構造設計部では、新入社員教育の一環として、手計算にて構造設計をさせることもあると聞いている。

剛性マトリックス法を用いて応力算定する「構造解析」では、単に応力を算定する方法を理解するというだけでなく、エクセルで自作した解析ツールを利用して、部材剛性が変化すると部材応力がどのように変化するか、曲げ変形とせん断変形の変形成分がどのように変化するか、支持条件が変わると部材応力や変形状態がどのように変わるのか等についても考察させている。将来、コンピューターに使われる技術者ではなく、コンピューターを使いこなす技術者になってくれることを願って、授業を行っている。

各種構造種別ごとの講義科目「コンクリート構造及び

演習」は、「実験Ⅲ」と連携している。講義では、RC構造・プレストレストコンクリート（PC）構造の梁、柱、柱梁接合部の部材設計（許容応力度設計・終局強度設計）について学修する。講義では部材の曲げに対する許容応力度設計の後に、実験結果の評価に必要な終局曲げモーメントの算定方法を学ぶ。続いて、せん断設計に関する講義へと進む。ここでは、過去の震災における深刻な被害の多くがせん断破壊によってもたらされていること、そして、このせん断破壊を回避することが、RC造建物の構造設計における基本コンセプトであることを学修する。被害事例の写真を見せて解説を行っているが、今一つピンと来ていない学生が多いことが残念ではある。しかし、これは想定内で、これこそ実験という実体験で感じるべきことであると考えている。上述の講義に並行して、学生は「実験Ⅲ」の実験に用いるRC梁の試験体の製作に取り掛かる。春の炎天下で鉄粉と油にまみれて、代々使用されている鋼製型枠を磨き上げてから組み立てる。結構な労働であるが、「工学」を謳う当学科では、このようなモノ造り体験も必要である。写真-3でもわかるように、大人数での作業になるので、片隅でさぼることは可能である。余談となるが、面白いことにこの作業を率先して楽しそうに行う学生は、就職活動において早期に志望する企業の内定を勝ち取ってくる傾向が強い。翌週、学生はハッカーと結束線を手に取り鉄筋かご（主筋＋横補強筋）を組み立てる。面白いが、まず上手くは出来ない。砂糖に群がる蟻のように小さな鉄筋かご作りに挑む光景は微笑ましい。まだまだ作業は続き、コンクリートの調合設計、材料の計量、ミキサーでの練り混ぜ、打込み、締固め、コテ仕上げ、養生、脱型のすべての工程を全員が経験する。説明が遅れてしまったが、試験体は同形状の無筋、主筋のみ、主筋＋横補強筋の3種類で構成されている。配筋により変化する耐力と破壊モードを体感させ、各鉄筋の働きを理解する。講義と同じくここでも韌性に富む曲げ破壊が好ましいことを伝えるが、同時に大きな残留変形が残ったRC梁を指して、柱がこうなった建物はどうなるかと、もう少し想像を膨らませる。この

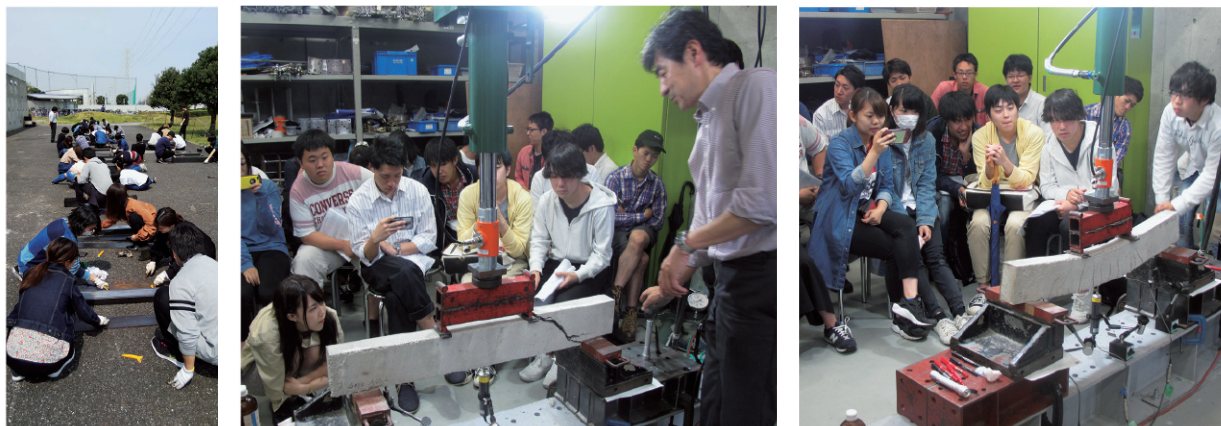


写真-3 3年次前期「実験Ⅲ」の様子（RC梁の実験）

残留変形を無くす解の一つがPC構造である。こうしてモチベーションを保ちつつ、後半の講義内容となるPCに導いていく。海洋建築工学では、塩害に強いPC構造に対する正しい理解は必須である。

3. 研究室での研究活動を通しての技術者教育

3.1 ゼミ活動を通じての技術者教育

海洋建築工学科の学生は、創設以来3年次にゼミ生として各研究室に配属され、4年次には、そのままその研究室にて卒業研究を行うことが多い。配属先の研究室は、学生本人の希望により選択できるが、各研究室には定員(12~14名)があるので、希望者が多い年には、希望の研究室に入れないこともある。構造系(北嶋研究室・福井研究室)を希望する学生は例年多く、定員オーバーで受け入れを打ち切ることが数年続いている。

3年次のゼミ活動は、前期は主に週1回の勉強会が中心である。ここでは、これまで履修してきた構造系科目の学修の総まとめ的な内容を扱うケースが多い。学生にとって各々の科目は、単に単位を取得するための単独の科目という意識が強く、図-1の履修系統図のような各科目の流れ・繋がりを意識している学生は少ない。大学教育の目的の一つは、“社会に出たときに専門的な技術・知識を独学で学べるスキルを身につけること”であると、常々学生に対して言っているが、各科目で学修した内容を再度理解し総括するような作業を行うことや、より深い内容を独学で理解しようという取組み姿勢を伝授することを、ゼミ活動では意図している。研究室の活動では、教え過ぎず、学生の好奇心を刺激することが、ポイントの一つではないかと考える。3年次後期には、ゼミ実験を実施している。ゼミ実験は、学生自らが疑問に思うことを実験で調べてみようということに主眼を置いて、学生自らがテーマを考えて提案する。ただし、教科書レベルで明らかになっていることをテーマとして提案してきた場合には却下される。北嶋研究室(旧安達・中西研究室)では学科創設以来40数年、このゼミ実験を継続しているが、毎年新たなテーマが提案されることには驚きがある。自ら提案したテーマに関して、自力で試験体を製作し実験を行い、その結果を検討・分析することで実験の目的を達成するという“成功体験”を3年次に経験させることが、技術者教育の観点から重要であると考え。ゼミ実験で向学心にスイッチが入った学生が、大学院に進学するケースが多い。なお、このゼミ実験については、教員は多くに関与せず、主に大学院1年生がゼミ生をサポートするという形式をとっている。大学院生にとっても技術者教育の場として良い経験となっている。

3.2 卒論・修論を通じての技術者教育

卒業研究は、研究室で継続している研究テーマや、受託研究等により新規に発生した研究テーマ、学生自らがどうしてもやりたいと提案する研究テーマを調整して取

り組ませている。はじめに、既往の研究や先行研究について調査し、何のためにどのような研究が行われ、どこまで解明されているのかということを明確にした上で、研究計画を策定させる。実験的な検討を主体とするか、解析的な検討を主体とするか、どちらのアプローチで卒業研究に取り組むかは学生自身の意向を反映するようにしている。やはりここでも、“やらされる感”より、“自らが進んで考え”、研究に取り組むことが最も重要ではないかと考える。研究の中身については、甘えを許さず、厳しく指導することも重要である。卒業研究・卒業論文においては、独自性のある新たな知見が必ずしも得られなくても、何のために何をやり、事実がどうであったのかということを、理路整然と第三者が読んでわかるようにまとめることを重要視している。社会に出て、必ずしも十分に理解していない状態で仕事をしなくてはならない時でも、何のために今の仕事をやっているのか、その結果がどうであったのか理路整然と第三者に説明できる力



写真-4 修論「RC造柱梁接合部の実験」の様子

が技術者には必要であると考えからである。技術者として伸び悩んでいるときに、充実した卒業研究の時のことを良き思い出として思い出して貰えるなら、教育者冥利に尽きる。

構造系の研究室では、毎年ほぼ1/3程度の学生が大学院に進学する。進学の実機は、大手建設会社や組織事務所て構造設計等の専門的な職種に就きたいということが多いようである。大学院での修士論文の研究は、卒業研究をさらに発展させるテーマであることや、受託研究等での高度な研究テーマに参画するケースが多い。学部卒の同期の人は既に社会人であることより、大学院生に対しては、社会人としての対応を求めている。ただし、給料をもらって研究している立場ではなく、学費を払って研究している立場なので、自主性を最大限に尊重している。ここで、修士論文の研究テーマを数例紹介する。

一つ目は、鉄筋コンクリート（RC）造建物における十字形柱梁接合部に関する研究である（北嶋研修論）。長周期・長時間地震動を受けるRC造柱梁接合部を対象に、多数回繰返しの載荷実験を行っている（写真-4）。実験の主要な変動因子は、静的載荷・動的載荷という載荷方法と、柱梁曲げ強度比と接合部補強筋量である。大学院生自らが試験体を設計し、毎年、柱梁曲げ強度比や接合部内の補強筋の補強量等を変化させて実験を行っている。最新の研究論文や学会報告書を調査し、大学院生が実験の計画を策定している。実験の結果、柱梁曲げ強度比を1.2~1.9まで変化させても、いずれの試験体も、大変形

時には柱梁接合部降伏破壊の様相を呈するが、接合部内補強筋の補強筋本数を多くすると、柱梁接合部降伏破壊が起きにくいという結論を得ている。大変形時まで梁曲げ降伏破壊の状態を維持していた時の、院生の目の輝きは今でも覚えている。

二つ目は、鉛直荷重を受けるPC架構の地震時および地震後の性状に関する研究である（福井研修論：写真-5）。例年卒業研究で実験的研究テーマに手を挙げる学生には、大変であることを最初に伝えている。大概「わかっています。早起きはできます。」と的外れな答えが返ってくるがこれを容認している。後に、試験体設計、載荷方法・計測項目と方法の決定、これらの図面化、さらには計測装置の製作作業が待ち構えている。学生は特に工程管理が苦手で、なんでもすぐできるものと思っている。細かいことを確実に積み上げようとせず、大枠作りだけを突っ走ってやり切ろうとする。結局大幅な手戻りを何度も繰返し、やっと大切なものが何かに気づく。この研究が何たるかがわからない学生に実験を任せることはできないので、時間はかかるし学生からの反感も買うが、このプロセスを大切にしている。将来、自分が仕事を進める時に、この経験を大いに活かしてもらいたい。そして、実験が終わると膨大なデータを精緻にまとめなければならない。理屈も考えなければならない。論文執筆も、発表準備も行わなくてはならない。2度とやりたくないと思う学生もいると思うが、達成感は格別であることは表情を見ればわかるものである。



写真-5 修論「鉛直荷重下のPC架構の実験」の様子

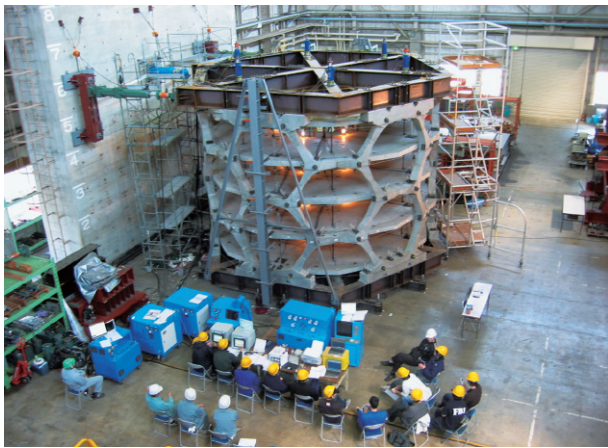


写真-6 「PC ハニカムチューブ構造の架構実験」の実験風景



写真-7 「あと施工せん断補強筋の効果確認実験」の様子

3.3 受託研究を通じての技術者教育

日本大学理工学部船橋キャンパス内の大型構造物試験センターには、30 MN 大型構造物試験機をはじめ、水平2軸加力装置や多入力振動試験装置（水平2方向振動台）等、国内有数の実験設備を備えている。大手建設会社や大手鉄鋼メーカーなどの外部企業からの受託研究も年間4、5件ある。これらの研究・実験には、学生（主に院生）も関わるが多い。企業の技術研究所員や設計部員との打合せにも院生が参加することもあり、実社会で活躍している人たちの言動や検討資料およびその資料の説明の仕方等を間近に見て、プロのエンジニアの凄さを肌で感じる機会となっている。そこで知り合った人たちの会社でインターンシップを受けたり、受託研究テーマ以外の自分の修論テーマについて相談にのってもらったり、場合によっては、そのまま、その企業に就職してしまう学生もいる。このような人との出会いの機会をつくることも、技術者教育の観点で重要と考える。写真-6は、受

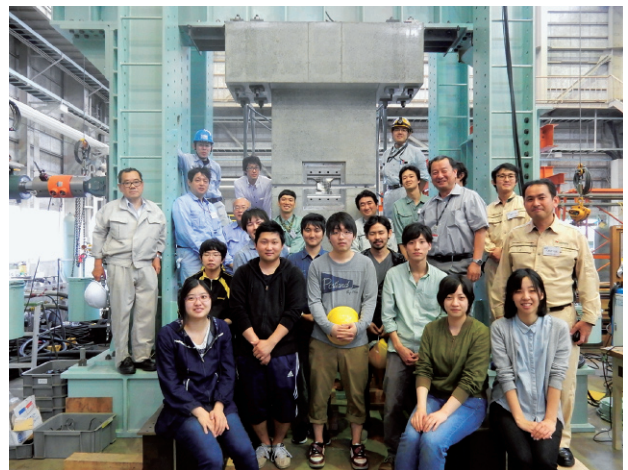


写真-8 「鋼製ダンパー付き RC 造間柱の加力実験」後の集合写真

託研究の一環で実施した「PC ハニカムチューブ構造の架構実験」の実験風景であり、写真-7が「あと施工せん断補強筋の効果確認実験（実大実験）」の様子、写真-8が「鋼製ダンパー付き RC 造間柱の加力実験」後の集合写真である。教室での講義とは一味も二味も違う、最先端の技術に触れられる貴重な技術者教育の機会である。

4. おわりに

以上、日本大学理工学部海洋建築工学科のカリキュラム構成および各科目を通しての技術者教育と、研究室での研究室活動（ゼミ・卒論・修論・受託研究）を通しての技術者教育について紹介した。RC 構造分野の人材育成のための教育機関の取組みについて執筆してほしいという依頼を受け、何を執筆するか思案した結果、日常の授業や研究室での学生指導で話している内容について紹介すること以外に書くべき内容がないことに気づいた。

筆者らは、実社会でエンジニアとして経験してきたことを、後輩に伝えたいという思いをもって母校に戻ってきた。モノづくりには誠実に責任を持って取り組んで欲しい。通常は決められた図面通りのものを作るというのが建築のスタンスなのかもしれないが、そこに新しいアイデアや創意工夫を加えることが必要だという信念をもって仕事に取り組んで欲しい。言われたことだけをやるのではなく、自らが進んで考え実行に移して欲しい。上手いかわくても、何度でも何度でも挑戦し続けて欲しい。そんなことを次世代の学生に伝えたい。大学内での小さな成功体験を持って社会に出てもらえれば、ずいぶんと違うのではないかと考えている。技術者育成は、教員自らが範を示すしかないのではないかと。子供は親の鏡であるように、学生は教員の鏡なのだから。