

プレストレスト構造教育における実践的試みと考察

日本大学 正会員 工博 ○関 文夫

Abstract : In recent years, Japan civil engineering students, from the mechanics of learning to plan learning popular has shifted. That caused those disciplines and heavily dependent on theory development and calculation, is due to relevance and act to create a design thing to imagine. We tried various practical structure educational lectures aimed at the integration of creative designs for attractive education in structural and mechanical, structural, prestressed structure model experiment. In this section, introduce practical attempt to teaching the structure of these case studies and student interest and reaction.

Key words : practical structural education, creative design, prestressed structure, conceptual design

1. はじめに

近年の土木工学の学生は、力学系の学問領域から計画系の学問領域へ人気シフトしている状況である。その原因は、力学や構造といった学問領域を嫌っているのではなく、それらの学問体系が理論展開と計算に偏重し、設計というモノを創出する行為との関連性を想像できないことに起因している。そこで、魅力ある構造教育のためのクリエイティブなデザインと力学の融合を図った講義や構造実験、プレストレスト構造の模型実験など様々な実践的な構造教育を試みた。ここでは、これらの構造教育における実践的試みの事例と学生の興味や反応について紹介する。

2. 大学のカリキュラムとシラバス

2.1 カリキュラムと構造教育の流れ

本学土木工学科のカリキュラムを表-1に示す。設計系は、材料系、力学系、構造系の総合的な体系として、3年次以降に設置している。コンクリート構造設計、同演習では、鉄筋コンクリートの断面計算を始め、プレストレストコンクリートの概念から応力の算定までを実施している。構造実験では、型枠、鉄筋、コンクリート打設という一連の作業を行い、コンクリートの破壊実験を行う。中でも、設計教育に主眼を置いているのは、プロジェクトスタディ、橋の力学とデザイン、設計システム論であり、研究室では、ゼミナールおよび卒業研究といった科目となる。

2.2 プロジェクトスタディ

プロジェクトスタディ(前期)では、スチレンペーパーを用い、これまでの材料系、力学系、構造系がどのような関連があるのかを3次元的に学ぶ。スパン420mm、桁高20mmと40mmの主桁に横桁を4枚配置した模型に、荷重Pを載荷し、たわみ δ の計測実験を行う。本来、たわみは、桁高の三乗に比例し、1:1/8となるはずであるが、敢えてたわみが等しくなる現象を見せる(写真-1, 2)。理論通りにならない現象を見せ、「なぜ、桁高が2倍あるのにたわみが等しいか」を考えさせる。次に実践的なものづくりでは、垂直リブ補強材というものが存在し、横倒れ防止を図った事例を見せる(写真-3)。最終的には、横

表-1 土木工学科カリキュラム(2017年)

	材料	力学	構造	設計	研究
1年	力学の基礎演習 I		1		
	力学の基礎演習 II		1		
	デザイン基礎 デザイン演習			1	
2年	建設材料	2			
	材料力学	2			
	応用力学	2			
	応用力学演習		1		
	構造力学 I 構造力学 I 演習 コンクリート工学			2 1 2	
3年	構造力学 II 材料実験 構造実験		1	2	
	コンクリート構造設計 コンクリート構造設計演習				2 1
	プロジェクトスタディ ゼミナール				4 2
	設計システム論 橋の力学とデザイン				2 2
4年	有限要素法 卒業研究		2		6

表の中の数字は、単位数を表す。細面の都合で、2年履修のビジュアルスタディコンクリートとビジュアルスタディ構造は、除いている。4年生の科目で卒業研究以外は、3年生でも受講可能である。

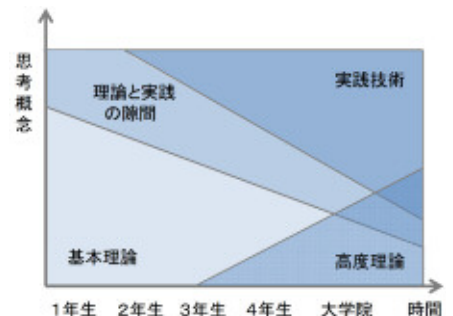


図-1 各学年の理論と実践技術の割合 (理論と実践の隙間から理論の真実と実践技術を学び、高度な理論を習得できるイメージ)

倒れの現象が生じると剛性は一定ではなくなることを理解させ、理論とは、ある条件の下で成立するものであり、理論と実践の間には隙間が存在し、この隙間の原因を探ることが重要であることを理解させる (図-1)。縦軸は、各学年で教育される思考や概念の比率の構成を示すものである。学年が進むにつれて、実践的な思考や高度な理論から取り組むようになる。

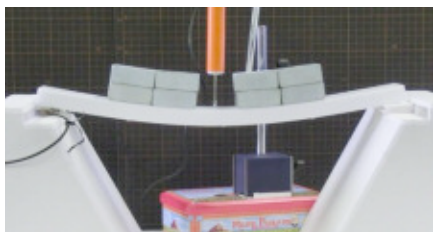


写真-1 桁高 20 mm に 40 N 載荷

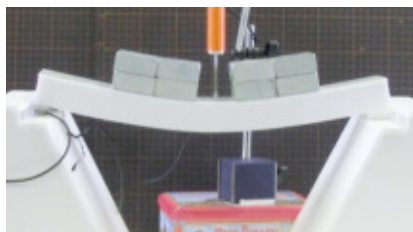


写真-2 桁高 40 mm に 40 N 載荷

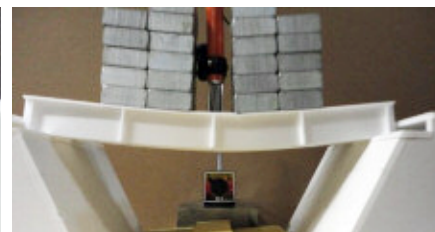


写真-3 桁高 40 mm に垂直リブ補強材を設け 110 N を載荷

2. 3 設計システム論

設計システム論は、許容応力度設計法と限界状態設計法の設計手法の違いと変位法による平面骨組み解析でモデル構築を体験する。3 年生前期まで、手計算による断面力の算定を学び、3 年生後期で解析プログラムを使用する。使用しているプログラムは、EzyFrame/V(コスモ技研)で、Excel の VBA ベースで稼働するソフトである。図-2 は、橋長 40m, 3 径間連続桁の解析モデルで、等分布荷重 (10 kN/m) を載荷した時の曲げモーメント図で、メインスパンとサイドスパンの比率によって、スパンの比率の合理性を学ぶ。図-3 は、斜πモデルの頬杖を剛結合した場合とピン結合した場合のモーメント図である。ピン結合した場合の主桁の断面力、頬杖の断面力も低減していることが分かる。こうした解析結果は、構造のモデルのバランスといった構造技術の洗練によって得られるものである。

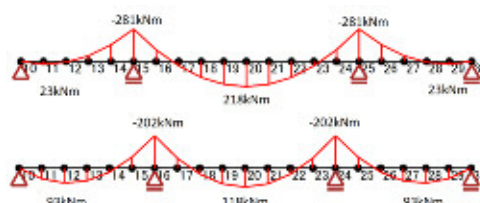


図-2 3 径間連続桁のスパン割モデル (上段 10m+20m+10m, 下段 12m+16m+12m)

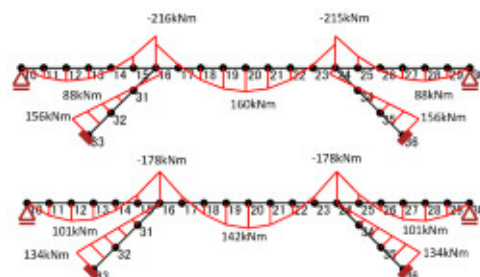


図-3 斜πラーメン構造のモデル (上段 剛結合, 下段 ピン結合)

2. 4 橋の力学とデザイン

欧米の構造設計家である Alexandre Gustave Eiffel, John Augustus Roebling / Washington Augustus Roebling / Emily Wallen Rorbling, Robert Maillart, Eugene Freyssinet, Pier Luigi Nervi, Eduardo Torroja, Eero Saarinen, Christian Menn, Frei Otto, Fritz Leonhardt, Richard J. Deitrich, Pierre Richard, Jörg Schlaich, Mike Schlaich, Santiago Calatrava, Ben van Berkel, Laurent Ney, Norman Foster, Bruno Gaudin の作品を写真と動画で紹介し、設計の考えの深さや創造力など、設計へのアプローチを中心に解説を加えている。写真や動画は、筆者が海外で撮影したものを使用し、構造形式ごとに時間軸を追い、構造システムの進化や造形的な工夫を解説している。学生の授業アンケートでは、自分が考えた橋を創ってみたいという意見が多く、自由にデザインモデルを製作させている。課題は、設計基準である 50 N を満足した写真と共に(写真-4), 造形発想や構造システムについて、実験結果を記述したレポートとしている。

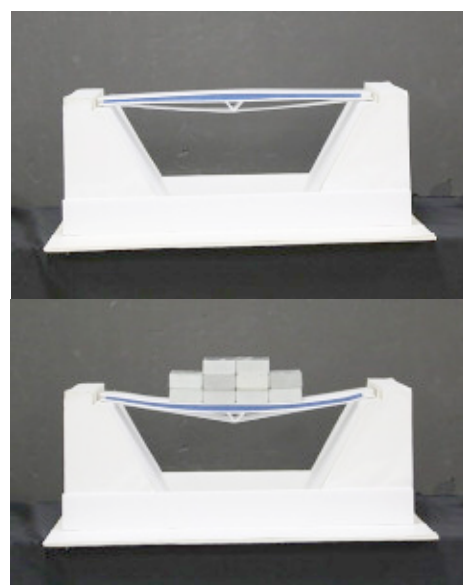


写真-4 デザインモデルと荷重載荷状況
波型腹板(リップボード紙)に張る弦梁(紙)でできた構造システムに荷重 50 N を載荷した状況

2. 5 ゼミナール

当大学では、3年生で研究室に一時配属となり、その分野の専門的な知識や書籍、論文などと接し、専門分野を体験する。筆者が主宰する構造・デザイン研究室のゼミナールでは、「はし・みち・まち歩き」と称して、歩きながらまちにある構造物を見学する。大学の位置が神田駿河台ということもあり、成瀬勝武が設計した聖橋、1923年にRC造となった昌平橋、200N/mm²の超高強度コンクリートを使用したアキバブリッジ(写真-5)、煉瓦造の神田万世橋、秋葉原ゲルバー式ラーメン高架橋、平成の景観設計が行われた中央線高架橋、構造設計集団による東京国際フォーラムの屋根構造(写真-6)など、時代背景を加えながら解説している。

ゼミナールでは、こうした実際の構造物の見学のほか、海外のプロジェクトのエクスクーリションツアーを企画している。2014年には、大成建設が施工するノイバイ空港、三井住友建設が施工するニヤッタン橋の見学(写真-7, 8)を実施した。

2015年は、Yörg Schlaich, Mike Schlaich の作品を求めてドイツ, Robert Maillart, Christian Men, Santiago Calatrava の作品を求めてスイス, Norman Foster, Ben van Berkel の作品を求めて南仏へ、2016年は、VRで作成する都市計画の国際学生コンペティションのためにメルボルンを調査した。



写真-5 200N/mm²のコンクリートを使用したアキバブリッジ



写真-6 東京国際フォーラムのPC構造と屋根構造



写真-7 ニヤッタン橋の見学



写真-8 三井住友建設(ニヤッタン橋)にて海外勤務見学体験(昼食)

2. 6 卒業研究

構造・デザイン研究室では、毎年10人~14名程度の卒業研究生が、構造系に関する研究かデザイン系に関する研究を主体に研究している。その内、約7~8割の学生が構造系のテーマを選択している。構造系の卒業研究生は、PC技術協会出版の「フレッシュマンのためのPC講座」, 「やさしいPC橋の設計」により、基礎力と語彙の定義を明確にするために輪講形式で実施している。

プレストレスを体験するために、スパン1.0mの木製の模型を製作し、竹ひごでプレストレスを導入する(写真-9)。定着体は、タコ糸と接着剤で作成し、竹ひごを引っ張って押え棒で支える方式でプレストレスを導入している。この時、バルサ材、アガチス材、竹ひごを用いるが、軽量化を図るためにバルサ材と竹ひごをどこに使うのかを考えるとポイントである。

解析ソフトを駆使し、部材に作用する断面力を求めて、引張材であれば細い部材を用いて、軽量化を図っていくこととなる。この橋体では、梁の中央に250Nの集中荷重で耐えることが可能である。

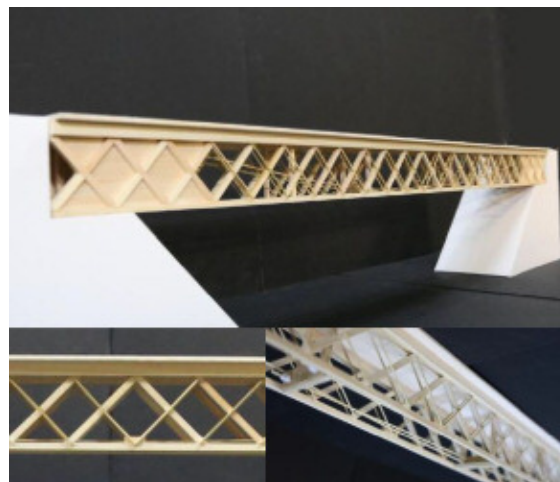


写真-9 竹ひごでプレストレスを導入したトラスウェブ構造の模型

表-2 学生が創る木製歩道橋の検討プロセス

①計画	条件整理→構造計画(スケッチ)→図面(CAD)
②設計	基本設計(構造解析)→加工図及び構造検討→詳細設計(構造解析)
③調達	材料購入→ディテール検討→図面(CAD)
④加工	材料切出し→材料穴あけ→仮組立
⑤施工	運搬→本組立→解体→運搬→収納

次に、「学生が創る歩道橋プロジェクト」を紹介する。卒業研究の一環として、支間長 7.2 m の木製歩道橋の製作となる。検討プロセスは、表-2 の通りである

設計条件は、①駿河台キャンパスの実験室で加工を行い、船橋キャンパスまで運搬できるシステムとすること、②解体は 30 分以内とすること、③設計荷重は 5.0 kN , 安全率は $F_s = 2.5$ 以上とすること、④美しいこと、⑤一人か二人で持ち運びできること(図-4)。

これら一連の作業を体験することで、ものづくりの楽しさ、苦しさ、協働への感謝、達成感を実感することができる(写真-10~11)。プレストレスは、油圧ポンプではなくハンドプーラによって導入している。これは、プレストレスを導入した際に、腕に手応えを感じるためである(写真-12)。完成した木製歩道橋を写真-13, 14 に示す。



図-4 ユニット組立イメージ



写真-10 加工精度をあげるためにガイド枠を用いる



写真-11 協働によってユニットを組立てる



写真-12 プレストレスを導入するハンドプーラ

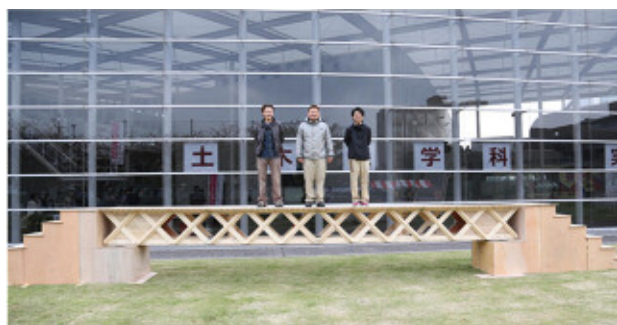


写真-13 木製クロスウェブ構造歩道橋(2013年)



写真-14 木製張弦梁構造歩道橋(2014年)

3. 研究室体験後のキャリア

構造・デザイン研究室を設立後 6 年経過し、学部卒業生を 65 人、大学院修了生を 7 名育成した。主な就職先を表-3 に示す。公務員は、国家公務員(1 名)、地方公務員(13 名)、公共民間企業は、鉄道建設・運輸施設整備支援機構ほかに 3 名、総合建設業は、鹿島建設、大成建設、前田建設工業ほかに 18 名、PC 専門建設業には、三井住友建設、ピーエス三菱、安部日鋼工業などに 10 名、コンサルタントは、建設技術研究所、日本構造橋梁のほかに 8 名、メーカーは、極東鋼弦コンクリート振興 2 名という状況である。構造系、設計系、施工系のものづくりの業務に従事している者は、43 名(公務員、現大学院進学者除く 72%) という状況である。

表-3 研究室就職先一覧

就職先	人数
大学院進学	6
公務員	14
公共民間企業	3
総合建設業	18
PC専門建設業	10
鋼橋専門建設業	1
コンサルタント	8
メーカー	2
大学教員	1
その他	2
	65

(2017年4月時点での集計で、大学院生は、大学院修了後の就職先でカウント)

4. まとめ

現在、当学科(卒業生約 220 名程度)における就職比率は、公務員 45%、公共民間会社 5%、建設会社 30%、コンサルタント 10%、進学 10%である。当研究室で構造あるいは設計というものに興味を持ち、ものづくりを体験した学生が、将来の業務としてもものづくり業務に従事しているものが 72%という比較的高い数値を示した。この数値は、構造教育にクリエイティブなデザインや様々な実践的な構造教育の成果とも言える。理論の展開や計算の前に、かたちの創造が重要と思う。今後も構造教育、設計教育を学んだ人材を育成したい。