

大学・高専における鋼構造関連の学習項目に対する技術者ニーズ調査

Investigation of engineers' requirement for the learning items of steel structural mechanics in higher education

北見工大	正員	○宮森 保紀(Yasunori Miyamori)	函館高専	正員	平沢 秀之(Hideyuki Hirasawa)
北海道大	正員	佐藤 太裕(Motohiro Sato)	室蘭工大	正員	小室 雅人(Masato Komuro)
函館高専	正員	渡辺 力(Chikara Watanabe)	北見工大	正員	三上 修一(Shuichi Mikami)
室蘭工大	正員	栗橋 祐介(Yusuke Kurihashi)	北海道大	正員	松本 高志(Takashi Matsumoto)
北海道大	正員	何 興文(He Xingwen)			

表-1 鋼構造関連科目に含まれる学習項目

1. まえがき

土木工学における構造力学等の構造系科目は社会基盤の整備や維持管理の基礎となる極めて重要な科目であるが、学生の苦手意識は高い。また、企業等からは学生の就職先としての構造離れを懸念する声も聞かれる。構造系科目の内容充実と方法改善により、構造工学をより魅力ある分野にすることは、大学や高専等の教育機関においても、実際に社会基盤の整備等に関わる実務者側にとっても意義あることであるが、現状では企業が求める構造系技術者を、教育機関は十分に輩出しているとは言い難い。

また、鋼構造に関する科目は、構造系科目の中では、より実務に近い科目といえるが、大学・高専によっては、開講していなかったり、選択科目となっているところもある。著者らの過去の調査^{1,2)}では、構造力学の実施状況に対して鋼構造関係科目は、各学校で実施状況が異なり、コンクリート関係科目と比較すると、あまり重視されていない傾向であった。

そこで、大学・高専における鋼構造を中心とする構造系科目の内容を改善し、企業が期待する人材とのミスマッチを防ぐ目的のため、本研究では実務者にアンケート調査を行っている。平成22年度は、鉄鋼・鋼構造関連企業を対象として調査を実施した^{3,4)}。今年度は調査対象を行政機関等の発注者やコンサルタントの技術者などにも拡充してアンケート調査を実施したため、その結果を報告する。

2. アンケート調査

2.1 鋼構造関連科目の学習項目

アンケートの設問項目は調査の継続性を重視して、平成22年度と同様の内容としている^{3,4)}。すなわち「構造力学」、「構造工学」、「橋梁工学」、「鋼構造学」、「土木材料学」、「構造解析学」、「構造設計製図」、「耐震工学」、「構造動力学」等の科目で用いられる教科書⁵⁾の内容から鋼構造関連科目に限定して表-1の60項目を選定した。大分類として「数学」、「力学基礎・構造力学」、「設計論・実務」の5つの分野に分けている。

2.2 アンケートの設問

アンケートでは、大学・高専で学ぶ鋼構造関連科目や企業等での研修についてなど複数の設問を設け、択一式および記述式で回答を求めている。表-2は択一式の設問をまとめて表したものである。全60項目の一つ一つに対して、問1～問4の設問に5段階の評価点を回答することになっている。1～5の評価点の意味は、各問によって表現に違いがあるが、5ほど重要性が高く、1ほど低いことが共通である。

さらに、問5は上記の60項目以外に大学・高専で学ぶべき項目を問うもので、問6、問7は大学・高専と実務者側が相互に出前授業や研修のために講師を派遣しあうことの可否を問うた。問8は鋼構造教育に関するコメントや要望を問うた。本稿では、問1～問4に関する集計結果に、問5、問8の記述式回答の内容を一部加味して考察を加える。

大分類	学習項目	大分類	学習項目
数学	ベクトル・マトリックス	動的 問題	振動方程式
	微分・積分		単振動
	級数展開・Taylor 展開		不規則振動(地震・風・活荷重による振動を含む)
	微分方程式		自由振動
	ラプラス変換		固有振動解析
	フーリエ解析		時刻歴応答解析
	数値計算法		振動データの解析(時系列解析・スペクトル解析)
力学 基礎・ 構造 力学	確率・統計	設計 論・ 実 務	応力・ひずみ
	フックの法則		設計荷重(死荷重・活荷重・その他の荷重)
	力のつりあい		鋼材の機械的性能
	断面の諸量		許容応力度設計法
	弾性・塑性		限界状態設計法
	梁の曲げ・たわみ		性能照査型設計法
	弾性座屈		鋼桁橋の設計計算
	非弾性座屈		溶接接合
	板の解析		ボルト接合
	シェル構造		鋼床版
	トラス構造		腐食
	ラーメン構造		疲労
	ケーブル構造		景観設計
	軸力・せん断・曲げ		外国の設計法
	ねじりを受ける部材		ライフサイクルコスト
	影響線		複合構造・合成構造
	温度ひずみ		震度法
F E M	クリープ		地震時保有水平耐力法
	不静定構造物		CAD による製図
	エネルギー原理・カステリノの定理		手書きによる製図
	弾性解析		技術者倫理
	非弾性解析		
	ソリッド要素		
	シェル要素		
	骨組み要素		

2.3 調査対象者

アンケート調査の対象は、鋼構造に関連する企業や行政機関、発注者とし、北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会の委員のうち、上記に該当する機関に所属する委員261名とし郵送でアンケート用紙を配布した。なお、アンケート用紙は無記名としたが、送付後に業種分類を記入するよう可能な範囲でe-mailで協力を呼び掛けた。

表-2 アンケートの設問

		問1	問2	問3	問4
		それぞれの学習項目(全60項目)について、			
		大学等でどの程度学んできて欲しいですか?	仕事上、どの程度必要となりますか?	社員研修等でどの程度学びますか?	今後、どの程度重要視しますか?
評価点	5	必ず学んできて欲しい	必ず必要となる	詳しく(何度も)学ぶ	非常に重要
	4	学んできて欲しい	かなり必要となる	多少学ぶ	重要
	3	ふつう	多少必要となる	少し学ぶ	ふつう
	2	それほどでもない	あまり必要ではない	触れる程度	重要ではない
	1	ほとんど必要ない	ほとんど必要ない	全く学ばない	全く重要ではない

表-3 設問間の相関係数

(a) 全体					(b) 数学					(c) 力学基礎・構造力学				
	問1	問2	問3	問4		問1	問2	問3	問4		問1	問2	問3	問4
問1	1.00	0.95	0.82	0.89	問1	1.00	0.98	0.62	0.96	問1	1.00	0.97	0.94	0.94
問2	0.95	1.00	0.93	0.97	問2	0.98	1.00	0.70	0.98	問2	0.97	1.00	0.95	0.96
問3	0.82	0.93	1.00	0.94	問3	0.62	0.70	1.00	0.69	問3	0.94	0.95	1.00	0.89
問4	0.89	0.97	0.94	1.00	問4	0.96	0.98	0.69	1.00	問4	0.94	0.96	0.89	1.00
(d) FEM					(e) 動的問題					(f) 設計論・実務				
	問1	問2	問3	問4		問1	問2	問3	問4		問1	問2	問3	問4
問1	1.00	0.99	0.97	0.97	問1	1.00	0.53	0.05	0.64	問1	1.00	0.98	0.94	0.94
問2	0.99	1.00	0.98	0.99	問2	0.53	1.00	0.86	0.95	問2	0.98	1.00	0.97	0.96
問3	0.97	0.98	1.00	0.95	問3	0.05	0.86	1.00	0.72	問3	0.94	0.97	1.00	0.93
問4	0.97	0.99	0.95	1.00	問4	0.64	0.95	0.72	1.00	問4	0.94	0.96	0.93	1.00

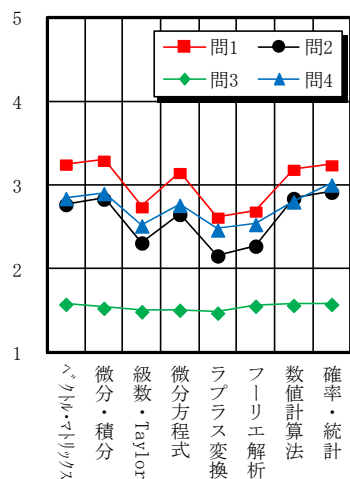


図-1 アンケート結果(数学)

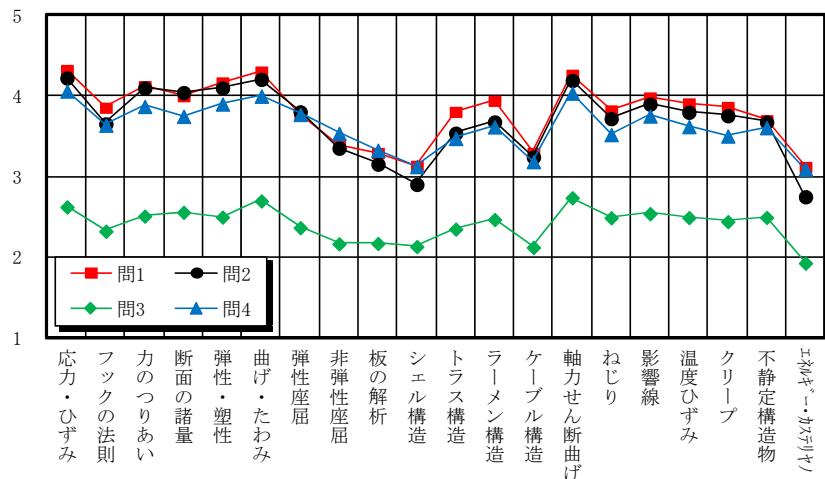


図-2 アンケート結果(力学基礎・構造力学)

3. 調査結果

3.1 アンケートの回収と全体の集計結果

アンケートの回収率は43%であった。回答者の業種の内訳は、行政機関・発注者16%、コンサルタント29%、橋梁メーカ・工事・架設関係16%、ペイント・資材・その他5%で、業種分類が特定できなかったものは34%であった。業種間で問1～問4の回答の傾向が異なる項目があったため、詳細な分析は今後行うこととし、本稿では全員に関する分析結果を報告する。なお、業種不明の回答は業種不明も含めた全員の回答の傾向と相関係数0.97で一致した。

全部で60の学習項目に関する平均ポイントは、問1、問2、問4では3.3～3.4であり、バランスの良い回答が得られている。実務者側の研修の状況を探る問3は、全項目の平均が2.2となり、研修で取り上げる状況が「それほどでもない」に相当する。各学習項目において問1から問4の回答のばらつきが少なくなったが、これは昨年度の調査より回答数が3倍となり、回答者の業種が広がったためと考えられる。

業種ごとの詳細な分析は今後必要である。

表-3は、設問全体および大分類ごとに各問の相互の相関係数を求めた一覧である。問1と問2に関する相関係数は全体で0.95、分野別では動的問題以外で0.97以上となり、大学で学んできてほしい項目と仕事上必要となる項目は高い相関を持つ。問4(今後重視する項目)については、問3(研修で学ぶ項目)との相関は全体で0.94だが、分野別ではFEMや動的問題では低い。問4と問2(仕事上の必要性)の相関は全体で0.97と高く、「仕事で必要なので今後重要」という判断がされたと推測される。

3.2 「数学」の集計結果

図-1は数学に属する学習項目について、回答者のポイントの平均値を縦軸にとって、問1～問4の結果を表示した。

問1～問4の全ての設問で大分類の平均ポイントは最も低い。特に問3(研修で学ぶか)については大分類の平均ポイントが1.5と非常に低く「まったく学ばない」か「触れ

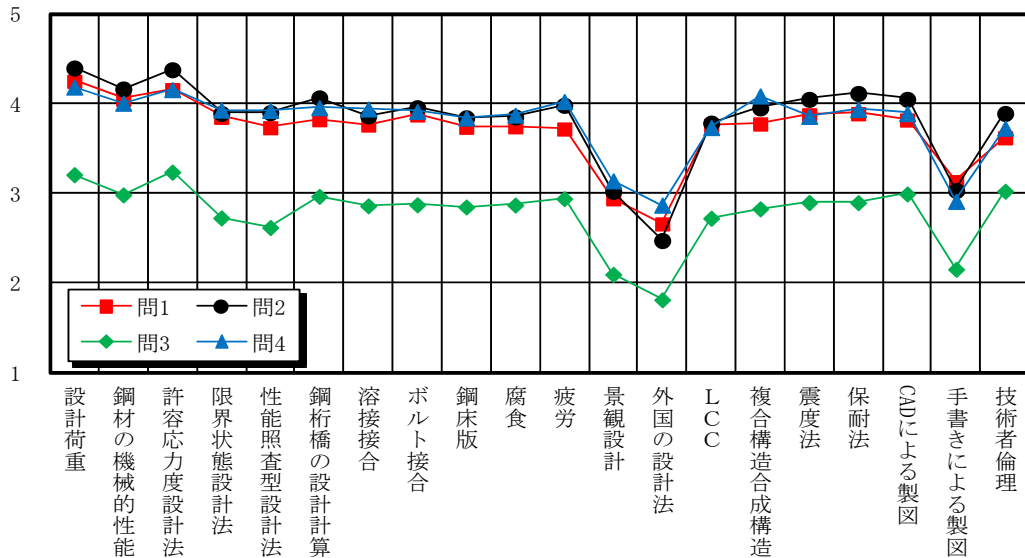


図-5 アンケート結果（設計論・実務）

る程度」の状況である。数学の知識は業務上直接使うことが少なく、また大学等でも低学年で学習することが多いために専門の学習内容より回答者の印象が薄く、低いポイントになったと想像される。しかしながら、問1（学んでほしい）のポイントには問2～問4に対して高く、数学のような基礎的分野をしっかりと学んでほしいとの要求が読み取れる。問5,問8の記述式回答でも基礎的な学習の重要性を指摘する意見があった。

個別の学習項目については、「ベクトル・マトリックス」「微分・積分」「微分方程式」「確率・統計」のポイントが各問で高い。「ラプラス変換」や「フーリエ変換」などの応用数学はポイントが低いが、問4（今後重視する）については、ポイントの落ち込みが比較的小さく、応用的な数学知識が今後は必要となることを示している。

3.3 「力学基礎・構造力学」の集計結果

この大分類に含まれる学習項目は、多くの大学・高専で、「構造力学」「構造工学」「橋梁工学」の一部、「構造解析学」の一部等で学ぶ。図-2に問1～問4の回答結果を示す。

大分類での平均ポイントは問1～問4のすべてで高く、特に問1（学んでほしい）については3.8と大分類中で最高となっている。図-2の「応力・ひずみ」から「曲げ・たわみ」までの6項目、「軸力せん断曲げ」は非常に高いポイントになっている。これらの項目は、現在の大学・高専でも重視しており、座学と演習を組み合わせるなどで繰り返し学習できるよう配慮しているが、問8の記述欄では構造力学の基礎の充実や理解不足を指摘する意見が複数あり、一層の内容向上が必要であると考えられる。

3.4 「FEM」・「動的問題」の集計結果

図-3にFEM、図-4に動的問題に関する問1～問4の回答結果を示す。これらの大分類は、問1～問4のすべてで、力学基礎・構造力学や設計論・実務よりポイントが低く、数学より高いという中位にあった。大分類中の学習項目間における回答のばらつきは比較的小さい。

FEMは実務で利用されることも多くなっており、解析ソ

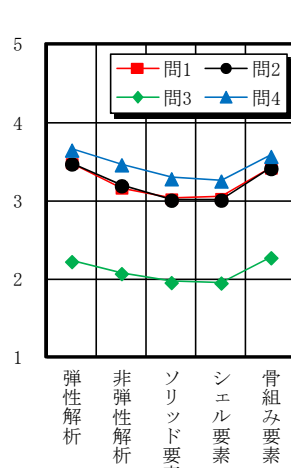


図-3 アンケート結果（FEM）

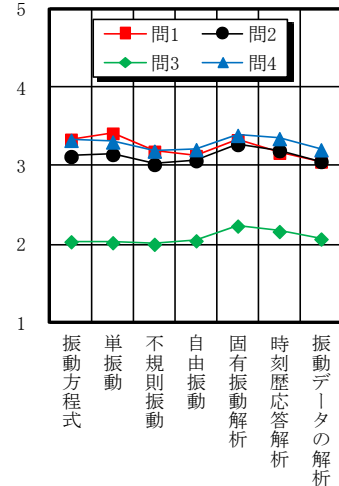


図-4 アンケート結果（動的問題）

フトの一般化も進んでいる。本調査では学習項目を基本的な5項目に限定したが、「弾性解析」と「骨組み解析」のポイントがやや高く、5項目の中でも特に基本的な項目の必要性、重要性が高いとみなされている。各問では、問4（今後重視する）のポイントが問1～問3と比較して高く、将来はより積極的にカリキュラムに取り入れることが必要と思われる。一方、問5の記述式回答では理論のブラックボックス化やソフトウェアのアウトプットの妥当性が判断できないことの問題が指摘されており、FEM学習の前提として構造力学の素養を十分に身につけることが必要となる。このため、FEMに関する教育の充実については、学習時期を十分に考慮する必要がある。

動的問題もFEM同様に中位のポイントであるが、学習項目間のポイントの差はより少ない。一方、問1～問4の相關については、他の大分類と比べて相関係数が大幅に低い組み合わせがある。これは、「振動方程式」「単振動」「固有振動解析」などで問1（学んでほしい）のポイントが比較的高い一方、「時刻歴応答解析」「振動データの解析」はポイントが低くなっていることが影響していると考えられる。すなわち動的問題については、数学分野に近い基礎的、理論的な学習項目と、実務で使われる応用的な学習項目の両方を含んでいると言える。カリキュラムとしては、低学年から高学年まで継続して学習することが望ましいが、実際には基礎的な学習項目は低学年の一般教育科目、

応用的な学習項目は高学年の選択科目で扱われるなど、学習時期が分断される課題がある。

3.5 「設計論・実務」の集計結果

図-5に設計論・実務に関する問1～問4の回答結果を示す。大分類での平均ポイントは問2～問4で最高値となっている。問1の値も高く設問間の相関係数も高い。したがって、実務での必要性、研修での取り扱い、今後の重要性が一致して高く、それに伴い大学等での教育ニーズも高い学習項目が多いと判断できる。

設計法については、基本となる「許容応力度法」のポイントが高く、特に問2（仕事上の必要性）の数値が高いため実務でも依然として重要であることがうかがえる。一方、「景観設計」と「外国の設計法」のポイントは低い。現状の大学等のカリキュラムでもこれらの項目を重視している構造系科目は少なく、現状の実務者からの要求には整合していると思われるが、今後の社会情勢の変化も考慮した慎重な検討が必要であろう。「CADによる製図」と「手書きによる製図」では手書き製図が明らかに低いポイントとなっている。著者らが実務者と意見交換する場では、手書き製図の重要性を指摘する技術者も多いため、回答者間のばらつきを標準偏差によって求めたところ、他の学習項目と比較して問2～問4では標準偏差がやや高い傾向はあったが、問1ではそのような傾向はなかった。したがって手書き製図に対する高等教育へのニーズは総じて低いと判断できるが、機械系学科や建築系学科では手書き製図を重視しており、その位置づけの相違についてはさらに考察が必要である。

なお、設計論・実務の大分類に関しては、鉄鋼メーカや橋梁メーカを対象として行った昨年度の調査と傾向が異なっている学習項目がある。今回の調査結果について、業種別の分析などがさらに必要である。

3.6 記述式回答の例

問1～問4に加え、問5では今回のアンケートにおける学習項目以外に大学・高専で学ぶべきことを記述形式で調査した。さらに、問8では自由記述形式で鋼構造教育に関して必要と思うことや要望を調査した。これらに関する詳細な分析は今後進めるが、本稿では一部を紹介する。

アンケートにおける60項目以外に必要な内容としては「塗装・防食」を指摘する意見が複数あった。橋梁工学や鋼構造学の教科書では章・節の単位で取り上げていないものが多いが、今後は積極的に取り上げる必要があると思われる。同様に、「補修・維持管理」や「長寿命化対策」など現在の重要な技術的課題でありながら、教科書などで十分に体系化されていない項目も指摘された。さらに「現場見学・体験」の重要性を指摘する意見が目立った。今回の学習項目は教科書の章建てを整理したものなので、現場見学やインターンシップなどは含まれていない。各教育機関では積極的な取り組みが始まっているため、今後はそれらについても学習効果を向上させるための検討が必要である。一方、情報処理技術、技術者倫理、文章表現力、説明能力などを含む他分野や技術者教育全体で対応すべき内容への要求も多く、大学等の学科全体での取り組みも重要である。

記述式回答欄で特筆すべき内容としては、例えば「実社会での即戦力を意識すると「道路橋示方書」や関連する基準等と学習項目を照らし合わせて実社会ではどのように使われるかというような学習スタイルに変える時期が来る」「企業としては研修でじっくり教育する余裕はありません。（中略）すぐに必要とされる構造解析や製図に力を

入れ同時に今後重要視されるであろうLCC等も学んでいただきたい」「実務についてもっと教育時間を増やすべき」という意見と、「実務では必要となることはOJTで学んでいくが、基礎となる理論や知識を体系的に習得する機会は学生のうちに限られてしまう」「必要なスキルは実務の中で身につければよい」「基礎をしっかりと固める。本当の勉強はそれを職業にしてからで間に合う」などの基礎学習に重点を置くべきという意見の両方があった。両者の要求を良いバランスで実現し技術者教育の質を向上させるためには、大学等の教育機関と実務者が対話や情報提供を繰り返すことで相互理解を深めて、協調してより良い教育システムを作り出すことが求められる。今回のアンケート調査はその端緒となるものであり、今後もさらに取り組みを進めたい。

4. あとがき

本研究は、大学・高専で行われている鋼構造関連教育に対する実務者のニーズを把握するため、鋼構造に関連する企業や行政機関、発注者にアンケート調査を実施し、その結果について報告したものである。得られた調査結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 大学で学んできてほしい項目と仕事上必要となる項目は高い相関を持つ。
- (2) 大学・高専で学んできて欲しい学習項目は、「力学基礎・構造力学」の中の基礎的な項目、および「設計論・実務」の中の「景観設計」と「外国の設計法」「手書きによる製図」を除く項目である。
- (3) 「数学」では、仕事上の必要性・今後の重要性においては低いポイントであるものの、大学・高専で学んできてほしいとの回答が比較的高い。一方、FEMについては、今後の重要性の方が高いポイントとなった。

謝辞

本研究は、(社)日本鉄鋼連盟から研究助成により、土木鋼構造研究ネットワーク北海道地区の活動の一環として行われたものです。アンケート調査では、北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会の皆様にご協力をいただきました。委員長 林川俊郎教授、幹事長 加藤静雄氏、事務局の皆様と、アンケートに回答いただいた委員各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤太裕, 宮森保紀, 小室雅人, 平沢秀之, 渡辺力, 三上修一: 全国主要大学と道内国立大学のシラバス調査による構造系科目開講状況の現状分析, 土木学会北海道支部論文報告集第66号, A-8, 2010.
- 2) 佐藤太裕, 宮森保紀, 栗橋祐介, 小室雅人, 平沢秀之, 渡辺力, 三上修一: 全国国立大学土木系コースのシラバス調査による構造系科目開講状況の現状分析, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集(DVD-ROM), 共通セッション, CS1-022, 2010.
- 3) 平沢秀之, 宮森保紀, 佐藤太裕, 渡辺力, 小室雅人, 三上修一, 栗橋祐介: 大学・高専の鋼構造関連科目に対する企業ニーズ調査について, 土木学会北海道支部論文報告集第67号, A-16, 2011.
- 4) 平沢秀之, 宮森保紀, 佐藤太裕, 渡辺力, 小室雅人, 三上修一, 栗橋祐介: 土木構造教育に関する企業アンケートについて, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集(DVD-ROM), 共通セッション, CS1-002, 2011.
- 5) 一例として, 林川俊郎: 橋梁工学, 朝倉書店, 2000.