

構造系教育におけるアクティブラーニングと評価法に関する検討

Investigation of active learning and evaluation criterion in structural engineering education

北見工大	正員	○齊藤 剛彦(Takehiko Saito)	北見工大	正員	宮森 保紀(Yasunori Miyamori)
北見工大	正員	三上 修一(Shuichi Mikami)	苫小牧高専	正員	松尾 優子(Yuko Matsuo)
室蘭工大	正員	小室 雅人(Masato Komuro)	室蘭工大	正員	栗橋 祐介(Yusuke Kurihashi)
函館高専	正員	渡辺 力(Chikara Watanabe)	函館高専	正員	平沢 秀之(Hideyuki Hirasawa)
北海道大	正員	佐藤 太裕(Motohiro Sato)	北海道大	正員	松本 高志(Takashi Matsumoto)
			北海学園大	正員	小幡 卓司(Takashi Obata)

1. まえがき

土木工学分野の専門教育において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。一方でいわゆる高等教育のユニバーサル化が進展しており、学習意欲や学力が多様な学生が十分な学習成果を上げるためには、これまでの座学を中心とした教授法から、学生の主体的取り組みを促す方法を取り込むことがこれまで以上に必要になってきており、アクティブラーニングが注目されている。

北海道内の大学・高専で構造系の教育・研究に携わる著者らは、2009年度より次世代の構造系技術者の資質向上を図る方策を研究してきた。昨年度までに、大学側のカリキュラム実態調査、企業や行政など人材受け入れ側のニーズ調査、大学生・高専生の鋼構造に関する関心度、理解度等に関する調査を継続的に行ってきた^{1,2)}。これらの調査により、構造系技術者を育てるために大学・高専で実施すべき望ましい教育の在り方のポイントがいくつか明らかとなっている。一方で、高等教育全般に対して、「学士力」「社会人基礎力」「アクティブラーニング」などをキーワードとして、旧来の知識の伝達による教育から、学生が主体的に必要な能力を獲得する仕組みへの転換が求められるようになっている。

そこで本研究では、今後の構造系教育のアクティブラーニングの強化に向け、以下の2つの項目について調査を行った。①現状で構造系の教育で実施されているアクティブラーニングの取り組みをまとめる、②学生が主体的に学習を進めるために、目安となる達成度(評価基準)を明確にするルーブリック評価について検討する。本報はその検討結果について報告するものである。

2. 北海道内の構造系科目におけるアクティブラーニング

2.1 アクティブラーニングとは

アクティブラーニングは、高等教育の改革と関連して近年急速に注目を集め始めた用語であるが、その定義について教育現場の関係者間で十分な合意があるとは言えない状況にある。

本検討では、長崎大学の山地による参考文献³⁾における定義を参考にする。すなわち、「思考を活性化」学習形態で、図-1で例示されている形態をアクティブラーニングとして事例調査と整理を行う。文献³⁾では、図-1の第1象限、第2象限にある実習などの応用・実践的な学習や、知識を組み合わせて活用するプロジェクト型で問題解決能力を育成する学習を比較的高度なアクティブラーニングとしている。また、第3象限、第4象限を「思考を活性化」学習形態として高度なアクティブラーニングに取り組む前に十分なじむ必要があると指摘している。構造系科目においても学習段階に応じて、第1～第4象限のそれぞれに位置する多様な学習形態が考えられるが、構造系教育の基盤となる構造力学では第3象限での取り組みが多いと想定され

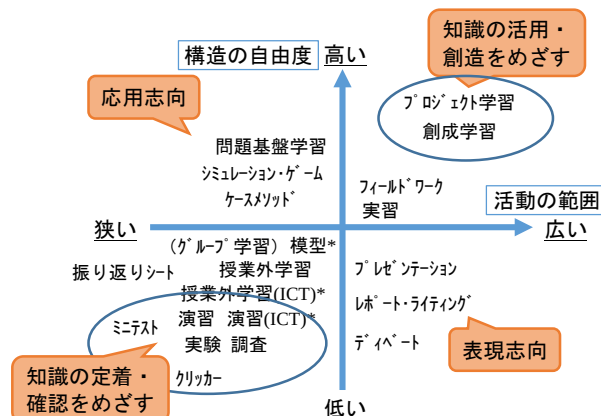


図-1 アクティブラーニングの形態³⁾
(*は著者らが加筆)

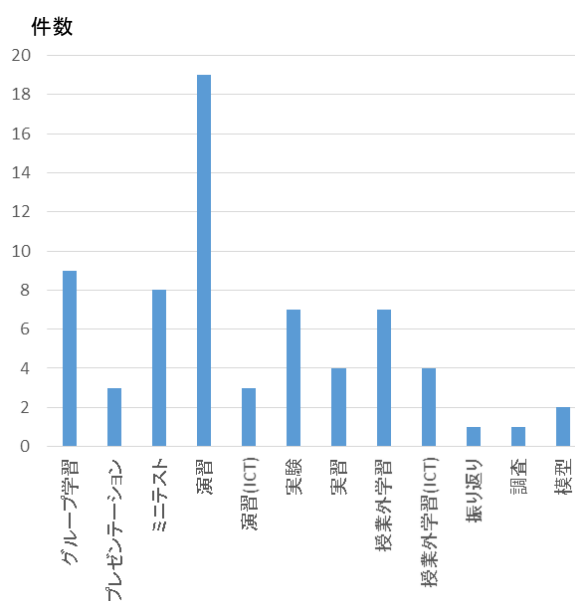


図-2 アクティブラーニングの実施状況

る。なお、アクティブラーニングは図-1のように多様な形態があり、その手段としては、従来の対面型授業もグループ学習もあり得る。また使用される教材も、教科書やプリントなどの紙媒体や模型、ICTを用いたものなど多様な教材があり得る。

2.2 調査方法

本研究では、構造系教育におけるアクティブラーニングの実態を調査することを目的として、主として著者らが担当している授業科目において、図-1に例示されているよう

なアクティブラーニングの取り組みを自由記述形式で収集した。対象となる科目は、構造力学および鋼構造学やそれと関係する橋梁工学などの科目とし、取り組み内容のほかに開講学年や必修・選択の別、履修者数も調査した。

2.3 調査結果

調査を行った道内4大学・2高専（以下、まとめて学校と称す）のすべてでアクティブラーニングが行われており、33科目で計61件の取り組みが収集された。各学校の構造力学、鋼構造学の開講科目数は同一ではないが、ほぼすべての科目で何らかのアクティブラーニングが行われていると考えられる。また、1科目あたりの件数は平均1.8件であり、複数の形態を組み合わせて行われていることがわかる。実施学年は、学生が専門科目の学習を行う学年（大学では2、3年）が多かった。アクティブラーニングの形態を整理するため、各取り組みを図-1に示されているキーワードで分類して出現回数を集計したものが図-2である。図-2からは、演習問題やミニテストが多いことがわかる。これ以外にも図-1の第3象限に含まれる取り組みが広く行われていることがわかる。

アンケート結果を詳細に検討すると、特に構造力学の必修科目では、すべての学校でレポート課題や演習問題、計算問題など学生に課題を出題していた。授業外学習は予習を行っているものが多く、演習との関連性が高い。ICTを用いている事例としては、学生にそれぞれ異なる値を与え、独自のWEBシステム（図-3）やエクセルファイルによって、学生が自ら確認してから提出している例が2校あった。また、最近注目されている反転学習を行っている学校が1校あった。反転学習とは、該当する項目の授業前に学生が予習をするもので、教員はノートを点検して学習状況を確認する。

鋼構造学や橋梁工学などの応用的な科目ではレポート課題に加えて、学生が各自異なる条件で橋梁設計の実習を行っている学校と、ケント紙などで模型製作を行っている学校がそれぞれ複数あった。また、橋梁の現地見学や点検を行っている学校も1校あった。実験については、構造工学よりもコンクリートの実験が多いと思われるところ、H鋼の曲げ載荷実験を行っている学校や模型に対する載荷試験を行っている学校があった。また実験や模型製作ではグループ学習となっているものが多く見受けられた。

図-1の4象限の分類では、第3象限に属する取り組みが大半であったが、専門知識を習得する観点からは当然の結果であると思われる。第1象限に属する形態は、授業科目としては設計製図があるが、本調査の対象外だった卒業研究が主として該当するものと考えられるため、卒業研究を含めたカリキュラム全体としては第3象限から第1象限に至る軸が手厚くカバーされていると考えられる。なお第1象限に関する取り組みでは、授業科目外だが研究室レベルでブリッジコンペティションに参加している学校があることも特筆される。第4象限については、グループで模型製作をした結果をプレゼンテーションする取り組みや、設計製図の内容を口頭試問で説明する科目があった。第2象限に分類されたものは今回の調査ではなかったが、この分類の例としては医学系で実臨床に近い問題に対して、学生がディスカッションを行いつつ臨床的推論能力の育成する形態があり、構造系分野では、構造物の診断技術の教育などで将来の実施が考えられる。

以上より構造系教育におけるアクティブラーニングは、現状でも多くの取り組みがなされているが、現在の技術者教育を取り巻く情勢を考慮すると、一層の拡充が必要となる。そのためには、ICTを活用したわかりやすい教材開発と授業運営の効率化や、授業外学習の実質化、グループ学

誤差範囲:反力 ± 0.001 たわみ ± 0.1 たわみ角 ± 0.0001

割当数値

a(m)	q1(kN/m)	l(m)	q2(kN/m)
7.6	13.5	12.5	5.4

チェック項目

	チェック項目		1回目提出	
書き方	問題図・数値	1	-	0
	解答の単位	1	-	0
(1)	RA (kN)	1	正 129.06	1
	MA (kNm)	1	正 -655.803	1
(2)	Q図の数値, 形状	1	-	0
	M図の数値, 形状	1	-	0
(3)	基本的な考え方	2	-	0
	δB (mm)	1	誤 279.651	0
	δB の方向及びその理由	1	-	0
(4)	基本的な考え方	2	-	0
	θC (rad)	1	正 0.028056	1
	θC の方向及びその理由	1	-	0
チェック回数		2回		

チェックする

リセット

図-3 WEB システムのスクリーンショット

習の促進により学生のコミュニケーション能力を同時に強化することなどの方策が考えられる。

3. ルーブリック評価の導入に向けた検討

3.1 ルーブリック評価とは

前章で検討したアクティブラーニングは、学生が主体的に学習を進められるようにする枠組みや手段である。一方、学校において学生の学習成果を示すものは、科目の単位修得や優・良・可などの評語や素点などで示される成績である。学生が学習者としての主体性を発揮するためには、単位授与や評価の観点からも教育システムの改善が必要である。すでに授業計画や合格基準を示すシラバスを作成して学生や社会に公表することが一般的になっているが、成績においても明確な基準を定めて学生に示すことで、学生にとってはより良い成績を獲得するように学習意欲を高めることが期待できる。また、教員にとっては大学設置基準が定める「客観性及び厳格性を確保」を効率的に行えるようになることが期待できる。

ルーブリック評価とは「複数の評価観点ごとに、典型的な学習成果を数段階に分けて記述し、学習者の行動を評価するための基準」のことである^{4),5)}。本研究では構造系分野で評価観点ごとに学習成果を数段階に分けて評価するための検討を行う。なお、構造系分野での先行例としては、国立高等専門学校機構がモデルコアカリキュラム（試案）⁶⁾として、構造工学の学習内容と学習内容ごとの到達目標を示している。また高知高専においては、科目ごとに評価項目と各到達レベルの目安を示したルーブリックをシラバスに掲載している⁷⁾。本研究ではこれらも参考にしながら、著者らが2011年度に行ったアンケート調査で用いた学習項目に対して、検討を行った。

表-1 学習項目と要素、到達目標（構造力学関連の一部）

項目	要素	到達目標
9	応力・ひずみ	応力-ひずみ曲線
		鋼材の応力ひずみ関係について、応力-ひずみ曲線を用いて説明できる。
		モールの応力円
10	フックの法則	モールの応力円を描き、主応力およびその方向を求めることができる。
		せん断応力、曲げ応力
		最大せん断応力、最大曲げ応力（引張、圧縮）を求めることができる。
11	力のつりあい	縦ひずみ、部材の伸び
		フックの法則から縦ひずみ、部材の伸びを求めることができる。
		横ひずみ、ポアソン比
12	断面の諸量	ポアソン比を理解し、横ひずみを求めることができる。
		力のつりあいの3条件
		力のつりあいの3条件を理解している。
13	力のつりあい	静定ばりの反力
		力のつりあいの3条件を用いて反力を求めることができる。
		静定ラーメン構造の反力
14	断面の諸量	静定ラーメン構造の反力
		力のつりあいの3条件を用いて反力を求めることができる。
		トラスの反力
15	断面の諸量	力のつりあいの3条件を用いて反力を求めることができる。
		断面1次モーメント
		断面1次モーメントを計算し、図心を求めることができる。
16	断面の諸量	断面2次モーメント
		断面2次モーメントを求めることができる。
		断面の主軸と断面係数
17	断面の諸量	断面の主軸と断面係数について計算できる。
		たわみ公式
		たわみ公式を用いてたわみ、たわみ角を求めることができる。
18	梁の曲げ・たわみ	微分方程式
		たわみの微分方程式を解いてたわみ、たわみ角を求めることができる。
		弾性荷重法
19	弾性座屈	弾性荷重法を用いてたわみ、たわみ角を求めることができる。
		オイラーの座屈応力、細長比
		オイラーの座屈応力について細長比との関係から説明できる。
20	トラス構造	オイラーの座屈荷重、座屈モード
		支持条件の違いによるオイラーの座屈荷重を求めることができる。
		節点法
21	トラス構造	節点法を用いてトラスの部材力を求めることができる。
		断面法
		断面法を用いてトラスの部材力を求めることができる。
22	ラーメン構造	たわみ角法
		たわみ角法を用いて不静定ラーメン構造の支点反力、断面力図を求めることができる。
		断面力式、各点の断面力
23	軸力・せん断・曲げ	断面力式を作り、各点の断面力を求めることができる。
		断面力式、断面力図
		断面力図を作成できる。
24	影響線	概念
		影響線の概念を説明できる。
		はり
25	影響線	はりの影響線を描くことができる。
		絶対最大反力、絶対最大断面力
		はりの影響線を用いて絶対最大反力、絶対最大断面力を求めることができる。
26	影響線	トラス
		トラスの部材力の影響線を描くことができる。
27	不静定構造物	不静定次数
		不静定次数を求めることができる。
		不静定反力
		静定基本形による解法により不静定反力を求めることができる。
28	エネルギー原理・カステリャーノの定理	ひずみエネルギーの概念
		応力とひずみの関係からひずみエネルギーの概念、式を説明できる。
		ひずみエネルギーの計算
		ひずみエネルギーを求めることができる。
		仮想仕事の原理の概念
		仮想仕事の原理の概念、式を説明できる。
		仮想仕事の原理の計算
29	エネルギー原理・カステリャーノの定理	仮想仕事の原理を用いてはりのたわみ、たわみ角を求めることができる。
		カステリャーノの定理の概念
		カステリャーノの定理の概念、式を説明できる。
		カステリャーノの定理の計算
		カステリャーノの定理を用いてはりのたわみ、たわみ角を求めることができる。
		最小仕事の原理
		最小仕事の原理を用いて不静定反力を求めることができる。

3.2 ルーブリック評価の作成方法

2011年度のアンケート調査では、数学、力学基礎・構造力学、FEM、動的問題、設計論・実務の大分類を細分化した60の学習項目に対して、学習の必要性や実務での重要性を調査したものだ。本研究ではこの60項目をさらに数要素に細分化して要素ごとに到達目標を設定する。表-1は一例として60項目のうちから、北見工大で開講されている構造力学の必修科目で取り上げている学習項目と要素を抜き出したものである。

各学校の授業科目は、それぞれの事情に応じて学習項目の取り上げ方や割り当てる授業時間数が異なり、また取り上げる順番や組み合わせも異なることがあり得る。したがって、シラバスにおける達成目標も学校ごとに異なる。そのため、達成目標は科目ごとに項目と要素を組み合わせで作成する。表-2には一例として北見工大の「構造力学ⅡA及び同演習（2年後期の前半）」で設定した4つの達成目標を示している。

最後に、それぞれの達成目標について、表-1の要素ごとの到達目標を組み合わせた到達レベルの目安をレベルごとに設定する。本研究では科目の合格レベルとなる可、良、秀と優の3段階とした。北見工大では可が60点、良が70点、優が80点、秀は90点と対応している。

具体的に表-2の達成目標(1)について説明する。この達成目標は、表-1の19番のトラス構造と24番の影響線を組み合わせたものである。トラス構造の節点法については、先行する科目で取り扱っているため、トラス構造では断面法のみを対象とする。また影響線についても先行する3要素はすでに学習済みなので、影響線のうちトラスを対象とする。達成目標の文言「トラス構造の断面力を求めることができ

る」はこの内容を勘案して設定する。この目標に対して、3段階の評価基準を設定する。この達成目標は具体的な計算を行い、また影響線を描くことで習得できる内容と考えられるので、計算できる内容が増えることで評価が高くなるように設定している。

以上のような方法の利点としては、表-1の学習項目や要素は著者らのこれまでの研究や高専機構が文献6)で示したように、教育分野で標準的なものを作成できることに対して、表-2の評価基準は各学校や授業科目の実情に応じて設定される面が大きい。表-1の要素を組み合わせさせて表-2を設定することによって、柔軟かつ合理的に評価基準を設定できることが挙げられる。そして、学生にとってはどのような計算ができればどのような成績が取れるかがわかりやすく示されるため、演習問題に積極的に取り組むことが期待できる。

一方、この方法の課題や全面的な導入に対する懸念としては以下のようなことが考えられる。

応用科目などの学習項目で概念や現象の理解が到達目標となった場合に、到達レベルの目安が「説明できる」や「理解できる」などの抽象的で評価が難しいものになることがある。また、このような場合に優・良・可の違いを客観的に設定することが難しいことも懸念される。成績の違いとしては、学生の理解度の違いのほかにも試験やレポート課題での計算間違いで成績が作用されることが実際にはあり、到達レベルの目安に齟齬が生じることもあり得る。

また、到達目標を構成する要素が多数にわたる場合、具体的な試験問題やレポート課題がこれをうまく反映できるかといったことや、教材を改善する際に評価システム全体への影響をより厳密に考慮しなければならない懸念が

表-2 「構造力学ⅡA及び同演習」のルーブリック評価の例

達成目標	評価する項目と要素	理想的な到達レベルの目安（秀、優）	標準的な到達レベルの目安（良）	最低限の到達レベルの目安（可）
(1) トラス構造の断面力を求めることができる。 (授業回数 4 回)	トラス構造：断面法 影響線：トラス	切断法による断面力の計算ができる。 影響線を描き、断面力を計算できる。	切断法による断面力の計算ができる。 切断法を応用し、影響線を描くことができる。	切断法による断面力の計算方法を理解している。
(2) はりのひずみエネルギーを計算できる。 (授業回数 2 回)	エネルギー原理・カステリャノの定理：ひずみエネルギー	応力とひずみの関係からひずみエネルギーの式を導き、計算できる。	はりのひずみエネルギーを計算できる。 ひずみエネルギーの式を説明できる。	はりのひずみエネルギーの計算方法を理解している。
(3) 仮想仕事の原理ではりの変形を計算することができる。 (授業回数 5 回)	エネルギー原理・カステリャノの定理：仮想仕事の原理	半円形曲りばりやトラス構造の変形を計算できる。 相反法則を説明できる。	はりの変形を計算できる。 仮想仕事の原理の概念、式を説明できる。	仮想仕事の原理によるはりの変形の計算方法を理解している。
(4) カスティリャーノの定理ではりの変形を計算できる。 (授業回数 4 回)	エネルギー原理・カステリャノの定理：カスティリャーノの定理	半円形曲りばりやトラス構造の変形を計算できる。	はりの変形を計算できる。 カスティリャーノの定理の概念、式を説明できる。	カスティリャーノの定理によるはりの変形の計算方法を理解している。

ある。

上記のような課題や懸念を解決して、合理的で客観性や厳格性を確保できる評価システムを構築するには、継続的な改善活動の実施が重要になると考えられる。

4. あとがき

本研究では、今後の構造系教育のアクティブラーニングの強化に向け、現状で北海道内の構造系の教育で実施されているアクティブラーニングの状況を担当教員のアンケート調査によって取りまとめた。この結果、知識の定着や確認を目指す形態の取り組みが多く、多くの科目で行われていることがわかった。

また、学生が成績評価基準を理解して主体的に学習を進めるためのルーブリック評価についても、構造力学科目の具体的な例を用いて検討した。ルーブリック評価の構築では、標準的な学習項目と構成要素を各科目の実態に応じて組み合わせることで、柔軟かつ合理的に評価基準を設定できたが、この方法を応用科目も含めた構造系科目全体に適用するには各種の課題があることもわかった。課題や懸念の解消には継続的な改善活動が重要になると思われる。

なお、本研究で行った検討は、今後のアクティブラーニングの充実のための基礎的な検討であり、具体的なアクティブラーニングの強化や評価システムの構築には、さらなる検討が多面的に必要である。

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。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 宮森保紀、平沢秀之、佐藤太裕、小室雅人、渡辺力、三上修一、栗橋祐介、松本高志、何興文：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、土木学会北海道支部論文報告集第68号、A-18、2012.
- 2) 松本高志、佐藤太裕、何興文、宮森保紀、三上修一、栗橋祐介、小室雅人、平沢秀之、渡部力、松尾優子：鋼構造教育における見学会と学習の関係性に関するアンケート分析、土木学会北海道支部論文報告集第70号、A-08、2014.
- 3) 山地弘起：アクティブ・ラーニングとはなにか、JUCE Journal, No.1, 2014.
- 4) 佐藤浩章：大学で教える人のためのルーブリック評価入門、JABEE-日工教共催「国際的に通用する技術者教育ワークショップシリーズ第5回」学習・教育到達目標（アウトカムズ）の達成度の評価方法、2015. www.jabee.org/public_doc/download/?docid=6392
- 5) 佐藤浩章監訳：大学教員のためのルーブリック評価入門、玉川大学出版部、2014.
- 6) 国立高等専門学校機構：モデルコアカリキュラム（試案）、2012. <http://www.kosen-k.go.jp/pdf/mcc20120323.pdf>
- 7) 高知工業高等専門学校 環境都市デザイン工学科：学科シラバス 開講年度：平成27年度、2015. https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicSubjects?school_id=42&department_id=05&year=2015