

初学者のための「水力学」教育

田中 岳

正会員 北海道大学助教 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail:gakut@eng.hokudai.ac.jp

本論文では、初めて水力学を学ぶ者の学習支援を目指した教科書・参考書の執筆を目的に、アンケートと、これまでに出版された「水力学」および「水力学演習」に関する教科書・参考書を分析した。

アンケートの回答結果から、講義での説明にも、教科書・参考書での記述に対しても、学習者は、水力学が扱う物理現象（流れ）とその数学的な記述との関係が理解できないと感じていることが認められた。また、これまでの教科書・参考書（48冊）に採用されている章の見出しを、章立ての基本となる12項目に大別し分析した結果と、アンケートやオフィスアワー（学生が教員と面談することができる時間）にて出された意見や質問とを総合すると、高い採用割合を示す四つの項目（流体の基礎、開水路流れ、管水路流れ、ポテンシャル流）の順序構成が、初めての学習者にとって適切であるか十分に検討する必要があると判断された。

Key Words : *hydraulics education, hydraulics textbook, questionnaire, civil engineering*

1. はじめに

大学・工業高等専門学校など、高等教育機関の土木工学科（土木系コース）の教育目標には、社会基盤の整備や維持・管理を担う土木技術者の輩出が掲げられている。土木工学科の教育においては、土質力学、構造力学と水力学、いわゆる“三力（さんりき）”とよばれる基礎科目の修得が必須となる。本論文にて著者が対象にする水力学や、その応用科目として河川工学や水工学に限らないが、これらの教育内容には、時代と共に高度で多様な内容が要求されてきたと考えられる。このことは、例えば、明治初期の安定した取水や舟運業などの利水を目的とした河川事業から国土保全（治水）事業への展開、そして、経済成長に伴う広範囲にわたる水需要と治水対策（利水と治水）に対応した流域一貫型の河川管理、さらに、昨今頻発する集中豪雨を誘因とした斜面崩壊や洪水氾濫などの自然災害に対する防災・減災の技術開発や、水質や生態系の保全といった水環境に関わる問題など、ここおよそ100年間の間に、河川管理技術の高度化や水工学的課題の多様化が、急速に生じてきたことからも理解されよう。

土木技術者の輩出は、社会が高等教育機関の土木工学科に求めていることではある。ただ、土木工学科の抱える問題の一つとして、入学希望者が全国的に減少傾向にあることが挙げられる。高校生を対象に複数の学科説明会が同時に開催されたところ、土木工学科の説明会会場

を訪れた生徒の数が、他の学科に比べて極端に少なかつたという話がある。さらに、土木工学科は、大学科コース制による定員割れや、入学（コース移行）後も、土木技術を必要としない情報通信業やサービス業へ就職するなど厳しい状況下にある。

著者の研究目的は、水力学を対象に、

- ・ 教育内容（項目と全体の中でのその順序構成）の再構築、
- ・ 教育実践に基づく初学者にとっても適切な教育方法の提示、
- ・ 自学・自習のための学習補助教材（教科書・参考書）の提示・執筆

を柱として、社会の変化と、それに伴い多様化したと考えられる学生に対しても意義のある教育を実践することにある。また同時に、同様な課題を抱える教員と情報を共有し、相互に支援することも目的の一つにある。

本論文では、水力学を受講するH大学の学生を対象に実施したアンケート結果¹⁾と、これまでに出版されてきた「水力学」および「水力学演習」に関する教科書・参考書の分析に基づき、

- ・ 学習者が感じる水力学の難しさ
- ・ 学習者が参考とし得る教科書・参考書の現状とその問題点

表-1 アンケートの回答件数と回答例

I) 否定的な回答 (52)	
i) 水理学が扱う物理現象（流れ）と数学的な記述方法との関係 (30)	<ul style="list-style-type: none"> 実際の現象を数学的に表わしてもどうもよく分からぬといふか、「この式はこのよくな流れをあらわす」ということがどうもつかぬ。 数学的な要素が強いから難しく思える。だから、あまり好かれないかもしれない。出てくるのは、たいてい微積を扱ったもので、式ばかりで、イメージがわきづらいのも理由の一つだと思う。 水理学の講義は数式ばかりで、僕にとって難しく、よくわかりません。どの教科書もだいたい同じ感じで、興味がわきませんでした。 教科書を開いた時、何が書いてあるのかよく理解できないし、そこに書いてある式から実際の流体がどういう動きをするのかが想像できないので、単なる数学としか水理学を受けとめられないです。
ii) 水理学と工学的な実際問題との関係 (6)	<ul style="list-style-type: none"> 水は漠然的なものなので職業との関連性が明確に見えてこない。 水理学が技術の世界にどのように利用されているのかいまいちわからない。具体的に、これで何ができるようになるという絵が浮かんでこない人も多いと思う。
iii) 問題解法 (4)	<ul style="list-style-type: none"> 問題を解くことに関しては、決まった解法のパターンを見つけることが難しく、解けないことが多い。
II) 講義の問題点 (3)	
<ul style="list-style-type: none"> 黒板の字が小さい。声も小さい。 	
III) 学習者の問題点 (1)	
<ul style="list-style-type: none"> 流体力学も含め、水の動きや変化などを数式で表わすのがその理屈がわからない。しかしこれは単なる自分の勉強不足であるからもっと数学の勉強をして式の意味を理解できるようになれば水理学も理解できるだろうし、興味をもてるかもしれない。 	
IV) 学習者の要望 (10)	
<ul style="list-style-type: none"> 授業と演習を同じ学期内にやると、理解しやすいような気がします。後はレポートの課題を毎回やらせるなど、基礎的な水理学Ⅰや流体力学のときにレポートなどで追いかけてもらっと理解できるのじゃないかと思います。 わかりやすい教科書があって、実験みたいなものをすれば、もう少し興味を持てるような気がします。 図をもっと取り入れて、明解にしてくれればわかりやすいと思う。 	
V) 肯定的な回答 (23)	
<ul style="list-style-type: none"> 基本的には高校物理の延長みたいで問題を解くことは楽しい。 僕自身、水理学はおもしろいと思います。演習の時も考えれば、わかるしとつきやすい。本当にきらいではありません。 水理学は土の力学とは違ってわかりやすい学問だと思う。ベルヌーイ式、運動方程式でほとんどの現象は説明が出来るような気がします。 土木へ来た時、最初は水系に行きたいと思ってました。私のやりたい環境問題とつながっているし、おもしろそうだと思ったからです。 	

に焦点を当て検討した後、まとめにて、本研究の今後の展開について述べる。

2. 学習者の感じる水理学の難しさ¹⁾

著者は、水理学を受講するH大学の学生を対象に「水理学の面白さ、難しさ」を問うアンケートを自由回答にて実施した。その結果、74名（新規履修者：45名；再履修者：29名）より回答を得た。

各回答（原文）について、その内容の趣旨を検討した後、それらを以下の五つに分類した。

- I) 否定的な回答
- II) 講義の問題点
- III) 学習者の問題点

IV) 学習者の要望

V) 肯定的な回答

表-1 は、その趣旨を含む回答の件数と例（原文）をまとめたものである。ただし、件数については、重複回答を含んでいる。また、最も多かった I) 否定的な回答については、さらにその具体的な内容を以下の四つに分類し、その他を除く i) ~ iii) の三つの内容について表-1 にまとめている。

- i) 水理学が扱う物理現象（流れ）と数学的な記述方法との関係
- ii) 水理学と工学的な実際問題との関係
- iii) 問題解法
- iv) その他

アンケートによると、「面白くない・興味がわかな

い」、「難しい」、「わからない」などの否定的な回答が 52 件（全回答者の約 70%）であった。ただし、それらの中にも、「でも、興味はある・ないわけではない」と述べられたものが 11 件であった。また、「面白い・興味がある」、「わかる」などの肯定的な回答は、これら 11 件を含め計 23 件であった。「黒板の字が小さい。」などの回答が 3 件あったものの、講義における担当者の技量不足を伺わせるものはなかった。一方で、回答者自身が水理学を理解するために、「演習時間と同じ学期に行って欲しい。」などのカリキュラムに対する要望が 10 件出された。これは、学習者自身が、「水理学的な問題を解けるようになりたい。」といった達成感を求めているとみることもできる。また、水理学に難しさを感じる一因として、自身の学力不足を挙げた回答が 1 件あったものの、それが、水理学に難しさ感じる回答者に共通にいえるものかは判断できなかった。

否定的な回答について詳述すると、最も多かった具体的な内容は、「数式ばかりで、よくわかりません。」や「式から実際の流体がどういう動きをするのかが想像できない。」など、水理学が扱う物理現象（流れ）を数学的に記述することや、逆に数学的に記述されたものが、実際のどのような物理現象なのかを頭でイメージすることが難しいという趣旨の回答が 30 件あった。また、これらの回答の中には、教科書・参考書の記述に対しても同様に感じていることを示唆する回答が 6 件含まれていた。なお、ここに見受けられる物理現象とその数学的な記述との関係については、微積分学、力学、流体力学など、水理学の受講の前提となる一般的な既習科目について、学習者の修得（単位取得）と実際の学力との関係が問題として含まれている。

アンケートの回答結果をまとめると、

- 1) 学習者は、（水理学が扱う物理現象に関する）問題を解くことで達成感を得たいと感じている。
- 2) 学習者は、問題を解くための式について、その誘導過程、意味や使い方（問題の解き方）が理解できないと感じている。これは、講義での説明にも、教科書・参考書での記述に対しても共通している。
- 3) 学習者は、水理学と工学的な実際問題とのつながりを理解できない（頭の中でイメージできない）と感じている。

ことが認められた。学習者にとって上記 1)の達成感を得ることは、学習者自身が学習意欲を高める上で有効である。ただし、そのためには、学習者が水理学の講義を受講する際、また、学習者自身が教科書・参考書を読み進める上で、上記 2)と 3)にある問題の克服が前提になると

考えられる。

次章では、これまでに出版されてきた「水理学」および「水理学演習」に関する教科書・参考書を分析し、水理学の学習者が参考とし得るそれらの現状を述べる。

3. 教科書にみる「水理学」教育

教科書・参考書において、章の見出しに用いられる項目と全体の中でのその順序構成は、その教科書・参考書が扱う内容と流れ（その学問の体系）を学習者に伝える重要な情報となり得る。このことは、教科書・参考書の著者らが、読者に執筆の目的を伝えるために、図式を交えて章立ての項目と全体の中でのその順序構成を説明する場合があることからも明らかである。

この章では、章立ての項目と全体の中でのその順序構成が、上述のように学習者にとって重要となり得る立場から、「水理学」および「水理学演習」に関連する教科書・参考書のそれらを分析し、その現状を述べる。

(1) これまでに体系化された水理学

水理学発展の歴史から見れば、水理学は、実用的な経験工学として始まり、流体力学が対象とする物理的な流れの理解が近年になり融合し、現在の学問として体系化してきた。教科書・参考書が取り扱う各項目の内容説明においても同様ではあるが、章立ての項目と全体の中でのその順序構成においては、学問として体系化してきた歴史的流れや背景よりも、学習者の論理的な思考に沿った順序構成が重要となり得る場合もあると考えられる。しかし、現存の社会基盤の維持・管理などに関わる土木技術の修得が、水理学教育の柱の一つとなっている中で、修得が望まれる土木技術の中には、経験に裏付けられ発展し確立されたものも多い。そのため、ほとんどの教科書・参考書では、実用性を重視し、経験式と理論式とが飛び交い、初めての学習者にとって、このことが教科書・参考書の内容理解を苦しめる要因の一つとなっているようだ（オフィスアワーでの学生とのやり取りの中で表れた）。これは、数学、物理学など自然科学の学習に見られるような、現象（問題）に対する“なぜ”（疑問）を、体系化された“理論”によって解消し、その現象を理解することに慣れ親しんできた学習者が、多種多様な経験式を用いて水理学的な問題を解決することに抵抗を抱いているようにも思われる。このことは、アンケート結果（表-1）にも、「公式が多い。」「問題解法のパターンがわからない。」として表れているようである。

表-2 章立てにおける項目

項目	細目
a) 流れの基礎	・流体力学の基礎 ・静止流体の力学 ・完全流体の力学 ・ベルヌーイの定理 ・運動量保存則
b) 開水路流れ	
c) 管水路流れ	
d) 流体力	・水撃作用 ・流体力
e) 次元解析・相似則	・次元解析 ・水理実験 / 計測
f) 水門・堰・小孔	
g) 水の波	
h) ポテンシャル流	・ポテンシャル流 ・浸透流 ・定常・非定常地下水水流
i) 非定常流・洪水波	
j) 実在(粘性)流体	・(層流と)乱流 ・境界層流れ
k) 流砂の水理	
l) 様々な水理	・貯水池・ダム湖 ・河口での流れ ・密度流 ・拡散 ・水質 ・環境水理

(2) 調査対象とした教科書・参考書

調査対象としたのは、「水理学」および「水理学演習」に関連する初版が1942年から2008年の教科書・参考書、それぞれ41冊および7冊(計48冊)である。これらは、三十数名の著者およびグループによって著されたものである。

著者・グループ、出版年によって、取り扱われる章立ての項目は様々である。これらからの分析の都合上、各書籍が取り扱う章立ての項目を12のカテゴリー(章立ての基本となる項目)に大別し、各カテゴリーが対象とする代表的なキーワードと共に表-2に併記する。表-3は、調査対象とした書籍48冊における項目と出版年をまとめたものである。表-3の一行目に示された数字と項目は、表-2のそれらに対応する。また、表-3の一列目には、出版年が記されている。出版年に印が付された書籍は、演習問題とその解説に重点をおいて記されたものである。表-3に示す1~11の数字は、各書籍ごとに取り扱われる章立ての項目の順序を意味する。d)流体力の列にある“水”および“流”は、それぞれ表-2に示す細目の水撃作用と流体力を表し、項目d)の見出としてどちらに焦点が当たられているかを意味する。なお、書籍によっては、表-2に示すような同一のカテゴリーに含まれる複数の細目を異なる項目としてスパイラル状に繰り返し採用する場合がある。その場合は、最初

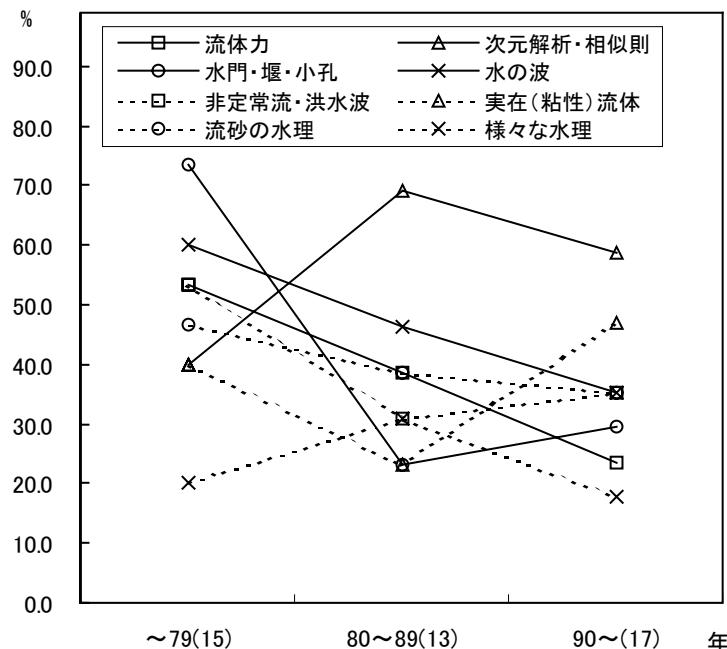


図-1 主要な四項目を除く各項目の年代別採用割合

に取り扱われた項目を優先し、項目の順序を決定した。なお、出版年に印が付された書籍は、その著者らの執筆目的として、取り扱う範囲に明らかな専門性(偏り)が見受けられるため、今後の解析対象から除外することにした。

(3) 年代でみた章立ての項目の採用割合

ここでは、教科書・参考書の章立ての項目の採用割合について考察する。表-3より、70%(32冊)以上の書籍が章立ての項目として採用しているものは、a)流れの基礎(100%)、b)開水路流れ(100%)、c)管水路流れ(96%)、h)ポテンシャル流(73%)である。続いて採用割合が比較的高い項目は、e)次元解析・相似則(56%)、g)水の波(47%)、f)水門・堰・小孔(42%)、i)非定常流・洪水波(40%)である。

図-1は、70%以上の書籍が章立ての項目として採用した主要な四項目を除く八つの項目について、出版年代を三つに分割し、各年代ごとの採用割合を示している。なお、横軸にある括弧内の数字は、各年代の調査対象とした総書籍数を意味し、それぞれ、79年以前15冊、80年代13冊、90年以降17冊であった。図-1が示すように、年代に依存せず50%前後の書籍が、章立ての項目としてe)次元解析・相似則を採用している。この50%前後に維持された採用割合は、紙面の都合も原因の一つとして考

表-3 出版年と章立ての項目

項目	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	i)	j)	k)	l)
	流れの基礎	開水路流れ	管水路流れ	流体力	次元解析・相似則	水門・堰・小孔	水の波	ボテンシャル流	非定常流・洪水波	実在(粘性)流体	流砂の水理	様々な水理
1942 ²⁾	1	2	3	4-水			5	6				
1957 ³⁾	1	2	3	8-流	11	4	9	10	5	6	7	
1961 ⁴⁾	1	5	2	4-水		3	7	8			6	
1962 ⁵⁾	1	2	3	6-水	5	4	7	8	9		10	11
1963 ⁶⁾	1	4	3			2						
1967 ⁷⁾					6		3	5		1	4	2
1967 ⁸⁾	1	5	4	2-流	3		7	8	6		9	
1968 ⁹⁾	1	3	2	7-流	8		4	5	9	6		10
1968 ¹⁰⁾	1	5	3			2		8	6	4	7	
1971 ¹¹⁾	1	3	2			4		5				
1973 ¹²⁾	1	4	3	7-流		5	8	11	6	2	10	9
1975 ¹³⁾	1	4	3			2	5			6		
1976 ¹⁴⁾	1	4	3				6	7	5	2	8	
1977 ¹⁵⁾	1	2				3						
1978 ¹⁶⁾	1	2	3	6-水	8	4		7	5			
1979 ¹⁷⁾	1	4	3			2		5				
1980 ¹⁸⁾	1	3	2			6		4	5			
1980 ¹⁹⁾	1	3	2			4						
1981 ²⁰⁾	1	3	2	5-流	8		6	4				7
1981 ²¹⁾	1	4	3	5-流	2		7	6				
1982 ²²⁾	1	3	2			5			4			
1983 ²³⁾	1	3	4						6	5	2	
1983 ²⁴⁾	1	2	3			4						
1984 ²⁵⁾	1	2	5	6-流	4						3	
1986 ²⁶⁾	1	4	3	6-水・流	5	2		7	8			
1987 ²⁷⁾	1	4	3			2		5				
1987 ²⁸⁾	1	3	2			5		6	4	7		8
1988 ²⁹⁾	1	4	2			3			6			5
1989 ³⁰⁾	1	2		7-流			8	6	3	4	5	9
1990 ³¹⁾	1	3	2			4			6			5
1990 ³²⁾	1	3	2			6		4	5			
1991 ³³⁾	1	3	2	7-流	9		4	5			8	6
1991 ³⁴⁾	1					2						
1991 ³⁵⁾	1	3	2			4			5			6
1995 ³⁶⁾	1	5	4				7	2	6	3		
1995 ³⁷⁾	1	4	3			9		7	8	5	2	6
1996 ³⁸⁾	1	4	3			2			6			5
1997 ³⁹⁾	1	4	6			9		3	2	7	5	8
1997 ⁴⁰⁾	1	3	2			4						
1998 ⁴¹⁾	1	3	2					4				
1998 ⁴²⁾	1	3	2					4				
1999 ⁴³⁾	1	5	4						2		3	7
1999 ⁴⁴⁾	1	4	3			5					2	
2000 ⁴⁵⁾	1	7	6	3-流	5			9	2	8	4	
2000 ⁴⁶⁾	1											
2006 ⁴⁷⁾	1	4	3	2-流	5							
2007 ⁴⁸⁾	1	5	3	9-流	8	4		6	7	2		
2008 ⁴⁹⁾	1	4	3							5	2	

えられが、この項目 e)が、未知な物理現象を理解するための実験や理論考察に関わる一般的な内容を含み汎用

性がある一方で、経験式や理論式を用いて水理学的な問題を解決することが水理学教育において最優先される場

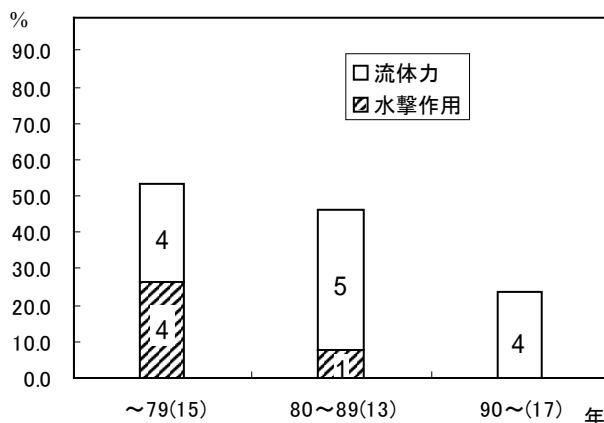


図-2 年代別でみた流体力の細目の採用割合

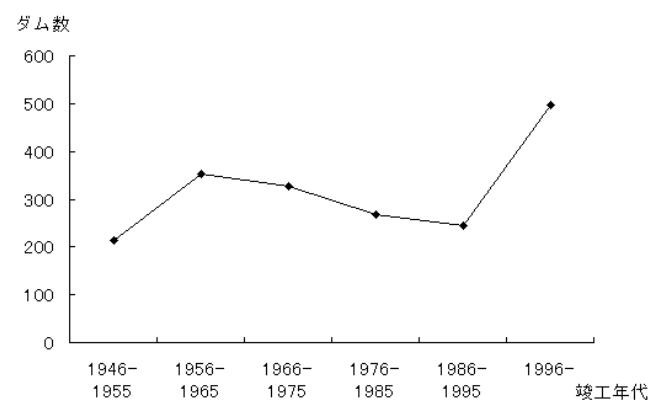
図-3 竣工年代別のダム建設状況⁵⁰⁾

表-4 採用割合の高い項目と全体の中の順序構成

パターン	順序構成	合計 (冊数)	89年以前 (冊数)	90年以降 (冊数)
A	a)流れの力学 c)管水路流れ b)開水路流れ h)ポテンシャル流	23	15	8
B	a)流れの力学 b)開水路流れ c)管水路流れ h)ポテンシャル流	5	5	0
C	a)流れの力学 h)ポテンシャル流 c)管水路流れ b)開水路流れ	3	0	3
D	a)流れの力学 h)ポテンシャル流 b)開水路流れ c)管水路流れ	1	0	1

合には、この項目 e)がほとんど必要とされないためと考えられる。g)水の波は、79年以前には 60%以上（詳細に表-3 を考察すると、69年以前には 70%以上）の教科書・参考書が章立て項目として採用していたが、その後は減少傾向にある。なお、上述の図表には表現されていないが、この項目 g)は、章立ての項目として採用されない場合であっても、例えば、a)流れの基礎や i)非定常流・洪水流の一節として扱われる場合もある。また、採用割合の低下傾向は、d)流体力にも同様に見受けられる。

図-2 は、項目 d)流体力の見出しにおいて、著者が水撃作用と流体力のどちらに焦点を当てているかを、各年代ごとの採用割合で示したものである。図中の数字は、各細目を採用した総書籍数を示している。なお、参考文献 26 に限っては、水撃作用と流体力、両方の細目を異なる章立ての項目として採用していることに注意されたい。図-1 と図-2 が示すように、80年代以前、水撃作用や、f)水門・堰・小孔など、具体的な河川構造物における流れ、または設計に関わる項目が、一つの章として取り上げられる傾向にあった。しかし、90年代以降、章立ての項目として上記項目の採用割合が急激に減少している。

上述の傾向が生じた要因として、土木技術者が置かれた時代背景が考えられる。第二次世界大戦後の高度経済成長期における公共事業の拡大は、河川整備、ダム建設などに関連して、高等教育機関に土木技術者の輩出を求めてと考えられる。図-3 は、ダム年鑑 2003⁵⁰⁾による年代別のダム建設状況（竣工年）をグラフにしたものである。97年の河川法改正に伴う河川事業の見直しなどの影響

もあり、90年代以降に竣工したダム数の極端な増大があるものの（中止事業もある）、第二次世界大戦後を境に（竣工した）ダム数は、ある範囲の中で推移している。一方、97年の河川法改正に伴い「河川環境の整備と保全」が、河川事業において内部目的化され、水工学的課題が多様化する中で、項目の見出しに環境水理を採用する教科書・参考書が出版されるなど、教育内容も多様化する傾向にあると考えられる。

一般にダムは、水理学が対象とする土木技術が集約化された構造物とよばれ、設計に関わる様々な土木技術が、教育内容を構成する上での一つの目安となり得る。ただし、ダム建設に限らず、土木技術がある程度確立され、問題解決の新たな技術開発よりも、問題に対応してマニュアルの中から適した技術を選択する能力が土木技術者に要求されることも増えてきており、図-3 と合わせて判断すると、ダム建設の需要が、教科書・参考書に採用される章立ての項目に影響を与えたとは考え難い。ダム建設に関わるような水撃作用や、f)水門・堰・小孔が章立ての項目から姿を消し、ある章の一節として取り扱われる要因としては、設計に関わる項目について別途マニュアルが作成されたことや紙面の都合も考えられるが、水環境の問題など水理学教育が対象とする内容が多様化してきたことが有力と考え得る。ただ、この結論については、引き続き検討を要する。

(4) 全体の中での項目の順序構成

教科書・参考書が取り扱う章立ての項目と同様に、全体の中でのその順序構成は、その教科書・参考書が扱う

表-5 学習者からの意見・質問

意見	水理学の難しさは、現象（流れ）をイメージできないこと。（アンケートでの回答）
質問	大きな断面を有する水槽の小孔から噴流の流速を求める問題では、どのように Bernoulli の定理を適用するのだろうか。（オフィスアワーでの疑問）

内容とその流れの理解、さらに、項目の見出し、項目の内容説明の工夫が付加されると、学習者の講義外における学習効果を高める重要なものとなる。ここでは、調査対象とした教科書・参考書における章立て項目について、全体の中での順序構成を分析し、その現状を述べる。

前節にて述べた章立ての項目として採用割合の高い、a)流れの基礎、b)開水路流れ、c)管水路流れ、およびh)ポテンシャル流を全て採用している書籍32冊に対して、それらの順序構成を分析した結果、四つのパターンに分類された（表-4）。表-4が示すように、主要な四項目の順序構成は、パターンAに偏っている。また、b)開水路流れとc)管水路流れの順序にのみ着目すると、そのほとんど（26冊）が、項目c)、b)の順序となっている。ただし、アンケートにて学習者から出された意見（表-5）のように、実演やビデオ教材の使用など、教材を工夫できる講義と異なり、教科書・参考書の中では、読者が水理学が扱う実現象をイメージできない場合もある（本論文では対象としていないが、流体力学の書籍の中には、CD-ROMなどの電子媒体を用いて、実験ビデオが収録されているものもある）。順序構成の分析の結果からは、主要な四項目の順序構成には、そのパターンと項目b)、c)のみに着目した順序において、上記のような特徴が見受けられるが、これらの項目にて扱われる内容は或るまりをもつため、内容説明の工夫によっては、異なる順序構成も十分に可能であると考えられる。河川などの開水路流れに比べ、実験室以外で管路流れの様子を観察する機会が皆無の学習者が置かれた現況を合わせ考えると、表-5に示された意見のような感覚を学習者に抱かせない工夫として、異なるパターン、例えば、項目b)、c)の順序の採用は検討に値すると考えられる。

また、物理現象（流れ）を理解する上で重要なエネルギー保存則（Bernoulliの定理）の応用例として、ほとんどの教科書・参考書では、「大きな断面を有する水槽の小孔から流出する水脈（噴流）の流速を求める問題」（Torricelliの定理）が紹介される（図-4）。この問題は、流れがポテンシャル流として扱えるため、流れの場全域で（一般化された）Bernoulliの定理を考えるのが解答例として相応である。しかし、水槽内の水圧分布を静水圧分布と仮定し、小孔から流出した噴流のある点と、これから十分に離れた水槽内のある点とを結ぶ流線を考え、流線上にて成立するBernoulliの定理を適用しても本質的

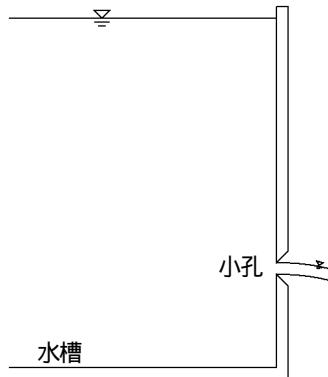


図-4 小孔からの流出（模式図）

には同じである。このため、教科書・参考書によって、どの定理を用いて解説するかは様々である。さらに、噴流のどこに定理を用いているのかについて明示されない場合がある。このように、重要な定理の適用限界（制限）や適用方法の説明に見られる教科書・参考書の間の相違は、学習者がオフィスアワーで述べられたような疑問（表-5）を抱く要因の一つと考えられる。学習者がこのような疑問を抱くことを踏まえると、定理の適用限界に関わるh)ポテンシャル流れの全体の中での順序構成の検討や、定理の適用方法の明示などの内容説明の工夫が必要であると考えられる。

また、表-3によると、実在（粘性）流体に関する項目j)を取り扱った教科書・参考書17冊の半分以上の11冊の書籍において、この項目j)がc)管水路流れの直前におかれている（ただし、他の主要な三つの項目以外の項目が間におかれる場合もある）。アンケートやオフィスアワーの中で明確に述べられてはいないが、水理学教育において重要なb)開水路流れやc)管路流れでは、実在（粘性）流体による摩擦の影響が問題視される場合もあるため、項目j)の全体の中での順序構成や内容説明も、表-5に示された意見のような感覚を学習者に抱かせない工夫として、検討する必要があることを付記しておく。

4. おわりに

本論文では、初めて水理学を学ぶ者の学習支援を目指した教科書・参考書の執筆を目的に、水理学を受講する学生に対して実施したアンケートと、これまでに出版された「水理学」および「水理学演習」に関連する教科書・参考書を分析した。

アンケートの回答結果から、講義での説明にも、教科書・参考書での記述に対しても、学習者は、水理学が扱う物理現象（流れ）とその数学的な記述との関係が理解できないと感じていることが認められた。また、章の見出しを、章立ての基本となる12項目に大別し、その変

遷を検討した結果、採用割合の高い主要な項目は、a)流れの基礎、b)開水路流れ、c)管水路流れ、h)ポテンシャル流の四項目であった。また、80年代以前、具体的な河川構造物における流れ、または設計に関わる項目が一つの章として取り上げられていたが、その後、水理学教育が対象とする内容の多様化に伴って、それらの項目は他の章の中で扱われるようになった。さらに、学習者からの意見や質問を踏まえると、主要な四項目の順序構成が、学習者にとって適切であるか十分に検討する必要があると判断された。その中で特に、項目b), c)の順序、項目h)の全体の中での順序構成と内容説明が検討項目として挙げられた。

本研究では今後、上述のアンケートの回答と教科書・参考書の分析結果に基づき、教育内容（項目と全体の中でのその順序構成）の再構築と、各項目の内容説明の具体化を行い、学習者への実践を踏まえた分析を通して、初学者にとっても適切な教育方法、学習補助教材（教科書・参考書）を提案する予定である。

謝辞：長谷川和義前教授（北海道大学大学院）には、水理学教育に関してご指導を賜った。また、道口敏幸技術職員（北海道大学工学部）には、資料収集・整理のご協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 田中岳: 学習者が感じる水理学の難しさ-アンケート調査、土木学会第63回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), CS1-01, 2008.
- 2) 本間仁: 水理学, 工業図書株式会社版, 1942.
- 3) 永井莊七郎: 水理学, コロナ社, 1957.
- 4) 植東一郎, 荒木正夫(上巻), 荒木正夫, 植東一郎(下巻): 水理学演習上巻, 下巻, 森北出版株式会社, 1961.
- 5) 本間仁, 安芸鉱一編: 物部水理学, 岩波書店, 1962.
- 6) 粟津清蔵, 木村喜代治: 演習水理学, オーム社, 1963.
- 7) 本間仁, 林泰造: 続水理学技術者のための流体の力学, 丸善株式会社, 1967.
- 8) 岩佐義朗: 水理学, 朝倉土木工学講座3, 朝倉書店, 1967.
- 9) 岸力: 水理学演習(1),(2), 学叢社, 1968.
- 10) 小川元: 水理学, 共立出版株式会社, 1968.
- 11) 丹羽健蔵: 水理学詳説, 理工図書株式会社, 1971.
- 12) 植東一郎: 水理学I, II, 基礎土木工学全集6, 7, 森北出版株式会社, 1973.
- 13) 松梨順三郎: 水理学, 土木工学基礎講座, 第4巻, 朝倉書店, 1975.
- 14) 吉川秀夫: 水理学, 技報堂出版, 1976.
- 15) 伊藤実, 吉川貞治: 水理学, 土木基礎シリーズ, 彰国社, 1977.
- 16) 森田健造: 水理学の基礎と演習, 現代工学社, 1978.
- 17) 本間仁, 米本卓介, 米屋秀三: 水理学入門, 森北出版株式会社, 1979.
- 18) 粟津清蔵: 大学課程水理学, オーム社, 1980.
- 19) 岩佐義朗: 水理学, 市ヶ谷出版, 1980.
- 20) 大西外明: 最新水理学I, II, 森北出版株式会社, 1981.
- 21) 土木工学全集編集委員会編: 水理学, 土木工学全集第11巻, 理工図書, 1981.
- 22) 今本博健, 板倉忠興, 高木不折: 水理学の基礎, 新体系土木工学21, 技報堂出版, 1982.
- 23) 日野幹雄: 明解水理学, 丸善株式会社, 1983.
- 24) 吉岡幸男: 水理学の基礎, 図解土木講座, 技報堂出版株式会社, 1983.
- 25) 本間仁: 標準水理学, 丸善株式会社, 1984.
- 26) 伊藤秀夫: 水理学, 明現社, 1986.
- 27) 鮎川登: 水理学, 土木系大学講義シリーズ6, コロナ社, 1987.
- 28) 岩佐義朗, 金丸昭治: 水理学I, II, 朝倉書店, 1987.
- 29) 星田善治, 濱野啓造: 水理学の基礎, 東海大学出版会, 1988.
- 30) 玉井信行: 水理学I, 2, 土木工学基礎シリーズ, 5-1, 5-2, 培風館, 1989.
- 31) 粟谷陽一監修, 飯田邦彦, 市川勉: 水理学演習, 東海大学出版会, 1990.
- 32) 鈴木幸一: 水理学演習, 基礎土木工学シリーズ11, 森北出版株式会社, 1990.
- 33) 岩崎敏夫: 応用水理学, 技報堂出版, 1991.
- 34) 岡本芳美: 開水路の水理学解説, 鹿島出版会, 1991.
- 35) 菅和利, 染井洋: 101題水理学演習ノート, 土木工学演習ノートシリーズ②, 日本理工出版会, 1991.
- 36) 褚津家久: 水理学・流体力学, 朝倉書店, 1995.
- 37) 水工学研究会編: 水理学, 水工学序論, 技報堂出版, 1995.
- 38) 林泰造: 基礎水理学, 鹿島出版会, 1996.
- 39) 水村正和: 水工水理学, 共立出版株式会社, 1997.
- 40) 玉井信行: 大学土木水理学, オーム社, 1997.
- 41) 粟津清蔵監修, 國澤正和, 福山和夫, 西田秀行: 絵とき水理学, オーム社, 1998.
- 42) 岩佐義朗: 水理学入門, 基礎シリーズ, 実務出版, 1998.
- 43) 池田駿介: 詳述水理学, 技報堂出版, 1999.
- 44) 有田正光, 中井正則: 水理学演習, 東京電機大学出版局, 1999.
- 45) 褚津家久, 富永晃宏: 水理学, 朝倉書店, 2000.
- 46) 萩原能男: 水理学の初步-初めて学ぶ人のために, 東海大学出版会, 2000.
- 47) 有田正光: 水理学の基礎, 東京電機大学出版会, 2006.
- 48) 大津岩夫, 安田陽一ら他4名(大津岩夫, 安田陽一編): 水理学, 理工図書, 2007.
- 49) 島田正志: 水理学, 流れ学の基礎と応用, 東京大学出版会, 2008.
- 50) 財団法人日本ダム協会編: ダム年鑑2003, pp. 1605, 2003.

(2008.9.30受付)

HYDRAULICS EDUCATION FOR BEGINNERS

Gaku TANAKA

The hydraulics education is emphasized in the department of civil engineering in institutions of higher education due to the importance of river administration and management, including preservation of water environment and prevention of flood disaster. However, many students were weak in the hydraulics. The aim of this study is to examine the ideal way of hydraulics education for beginners and to write a hydraulics textbook for them.

After analyzing headings of chapters adopted in 48 hydraulics textbooks and the questionnaire to students who had taken the hydraulics class, the following became apparent. The headings of chapters reflected the needs for civil engineers, and the composition of chapters in some hydraulics textbooks would be useful for beginners in understanding the content of hydraulics education.