水面波投影装置の電子教材としての利用について

Application the Water Wave Images using a Ripple Tank to the Digital Contents for Lecture

外 村 隆 臣^{※1} 中 道 誠^{※2} 山 田 文 彦^{※2}
Takaomi HOKAMURA Makoto NAKAMICHI Fumihiko YAMADA

Hydraulics is considered as a difficult subject for undergraduate students in civil engineering, although it is the basic subject for understanding the environmental issues. A compact ripple tank is made so that the undergraduate students may be easy to understand visually the basic properties of the water waves such as reflection and diffraction. The Digital contents for lecture are developed using the experimental images demonstrated with the ripple tank. The digital contents are composed of the animations of experimental images and are opened to public on the homepage. Both experiments using the ripple tank and studies using the digital contents improve understanding the basic properties of water waves.

Keywords : Civil Engineering Education, Digital Contents for Lecture, Ripple Tank, Diffraction, Refraction

キーワード：土木工学教育，電子教材，水面波投影装置，回折，屈折

1. はじめに

地球環境問題への関心が高まる中で，水理学の分野においても環境水理学に注目が集まっている．広辞苑によると，環境とは「人間または生物をとりまき，それと相互作用を及ぼしあうものとして見た外界を指す」と定義されている．したがって環境水理学は，人間や生物に何らかの影響を及ぼす現象を解明する作業の中で，水理学の知識や技術を活用する学問である¹⁾．

例えば，流体運動に伴う物質輸送は環境現象の基盤であり，また，人間活動の自然環境へのインパクトも流体運動の改変を介して生じることが多いため，水理学は環境現象を理解する上で強力な手段と位置づけられる¹⁾．そのため，多くの大学・高専の土木環境系学科では水理学が必修科目に指定されている．

しかし，熊本大学工学部環境システム工学科の学生を対象とした，各講義科目の理解到達度アンケート調査結果によると，水理系の科目を非常に難しいと感じる学生が多いことが明らかとなった．これは，講義において，数式のみが先行し，実際の水理現象をイメージできないことに大きな原因があると思われる．そこで講義においても，まず実際に生じる水理現象を視覚的に「観察し，理解する」ことが，学生の理解度向上にとって，重要なプロセスであると考えられる．

ここで，視覚的な現象理解が重要な一例として，河

川分野での実例を挙げると，アメリカ陸軍工兵隊は，約1万分の1の縮尺で卓上設置可能な移動床水理模型と河床形状の計測システムとを一体化したマイクロモデル²⁾を開発し，河川事業の住民説明に使用している．必要に応じて他分野の研究者や住民が提案する代替案をこのマイクロモデルを用いて実験を行うことで，代替案の効果の有無を専門家以外の人たちでも視覚的に理解することができるため，合意形成ツールとして非常に有用であることを述べている³⁾．

今回は，海岸工学の教育分野への適用例として，水面波の伝播と変形過程を取り上げ，特に，講義中に学生が自由に操作でき，その様子を視覚的に容易に観察できるように工夫した「水面波投影装置(ripple tank)」を作成した．さらに，この装置を用いて得られる水面波の変形の濃淡画像をアニメーション化して，ホームページに公開することで，学生が必要な時に水面波の現象を確認できるような電子教材としての利用を試みたので，その取組みについて報告する．なお，水面波投影装置は，1960年代に日本に紹介され⁴⁾⁻⁶⁾，その後，高校の物理教育の一部で使用されていたが，電子教材としての取組みは非常に少ない．

2. 水面波投影装置の特徴とその概要

実験装置の全景と概略図を図1，図2に示すが，本装置の特徴は以下の4点に集約できる．

I：スピーカーの振動を利用して造波させる．モーターと違い波高・周期の調整が簡単である．

II：波高が小さいので，水面を直接観察しても現象確

平成16年3月17日受付

※1 熊本大学工学部技術部

※2 熊本大学大学院自然科学研究科

図1 装置の全景

図2 装置の概略図

①低周波発振器

②スピーカー

③波源部

④アクリル水槽

⑤障害物

⑥点光源

⑦スクリーン

図3 装置各部

認が難しい。そこで、点光源を上方から照射し、光が波峰や波谷を通過する際に屈折率の相違などで通過光の輝度に濃淡が発生することを利用し、視覚的な現象理解度を向上させる。

Ⅲ：造波部分（アタッチメント）を変えることで、1点波、2点波、多点波源、平面波など数種類の波をおこすことが可能である。

Ⅳ：今回は卓上で使用できる小型スクリーンを作ったが、水槽をOHP上に乗せることで、大型スクリーンにも投影可能である。

次に、図2の各部（図3）の概要を以下に説明する。

①低周波発振器：スピーカーに信号を送る。機器によっては様々な振幅・周期の波も作ることができる。その機能が不十分な場合は、配線の途中に抵抗を付けることで変更が可能になる。（Function Analyzer 1915, NF Electric Instruments）

②スピーカー：低周波発振器からの信号を上下運動に変え、波源部に上下振動を送る。スピーカー振動部にフィルムケース等を固定し、割り箸を張り出して波源部のジョイントとしている。また、車用のジャッキに乗せることで、水面までの微妙な高さ調節を

容易に出来るようにした。

③波源部：水面を叩いて波を発生させる部分。身近な材料（発泡スチロール・マチ針・割り箸等）を使用。取替え可能で、今回は4種類（1点波・2点波・多点波・平面波用）の波源部を作成。

④アクリル水槽：25cm×25cm×4cmのアクリル製の水槽。内側側面にスポンジを貼り、反射波を抑えている。（アクリル水槽、02547YO、ヤガミ）

⑤障害物：アクリル・発泡スチロール等で作成。障害物を水槽内に設置し、波の屈折・回折・反射などを再現。

⑥点光源：電球を耐熱性の厚紙で囲み、下部の1部に穴をあけ、点光源を発生。点光源を用いることで、よりはっきりとした光の濃淡が出る。発熱を軽減させるため、上部に大きな通風孔を設けている。（ランプ光源、RT-R用、Shimadzu）

⑦スクリーン：20cm×20cm×20cmの透明ボックスの1側面に白地の布を貼りスクリーンとし、他3側面は黒紙で覆う。ボックス内部に鏡を斜めに取り付け、上に置いた水槽から生じた光の濃淡をスクリーンに投影。

図4 学生による実験の様子

以上のように、この装置自体は小型で構造が単純なため、学生でも容易に作成・操作し、実験を行うことができる(図4)。また、分解して運搬も容易であるため、高校等への出前講義等にも利用できる。

3. 実験結果

今回作成した装置を用いて実験を行った。まず、波源の違いによる波の平面分布を図5に示す。(1)は1点波源を使用した実験で、1点から波紋が広がる球面波の様子を示している。(2)は2点波源の実験で、2点から発生した波が、重ね合わせの原理で互いに干渉する様子が観察できる。(3)の多点波源の実験では、多数の波源から送り出された波が、遠方に行くほど平面波に近づくというホイヘンスの原理が確認できる。また、(4)は平面波源を用いた実験で、これは波峰線が直線である平面波が再現されている。

次に、障害物等による波の回折・反射・屈折などの

実験結果を図6に示す。(1)は波のドップラー効果の実験結果で、図中の矢印の方向へ1点波源を移動させている。波源を境に進行方向側とその反対側とでは波長の違いがはっきりと確認でき、ドップラー効果を視覚的に理解することができる。(2)は水槽の中央左側に直線障害物を設置し、平面波を入射した場合で、障害物の背後に波が回りこむ回折が確認できる。(3)は水槽の中央に両側から中心部の隙間を広くして直線障害物を設置し、平面波を入射したもので、両側の障害物背後に波が回折するとともに、比較的平面波に近い状態で波が伝播することがわかる。(4)は水槽の中央に両側から中心部の隙間を狭くして直線障害物を設置し、平面波を入射したもので、隙間から入射した波が回折によって球面波として放射状に伝播する様子がわかる。(5)は水槽の中心に短い直線構造物を置き、そこから両側に隙間をあけて、さらに直線構造物を設置し、平面波を入射したもので、入射波が2つの隙間より球面波として伝播し、互いの球面波が干渉の様子がわかる。(6)は水槽の右下部に斜めに障害物を設置し、平面波を入射したもので、入射波と反射波が干渉し、縞模様状に波高が分布の様子がよくわかる。(7)は水槽右下部に浅瀬を設置した場合で、浅瀬に進入してきた波の屈折により波峰線が変化する様子がわかる。(8)は没水した球面状の浅瀬に平面波を入射した場合で、球面浅瀬に沿って波の屈折が生じ、浅瀬背後に波が回りこむ様子がわかる。

以上のように波の回折・反射・屈折などの現象が視覚的にわかりやすく再現できることが確認できた。また、ここで紹介した現象以外についても実験を行っており、それについては次章で述べる電子教材に掲載している。

図5 波源の種類による波の平面分布(平面波は図上方から下方に向かって進行)

図6 障害物などによる波の変形の平面分布（平面波は図上方から下方に向かって進行）

4. 電子教材としての利用

近年では、インターネットの一般家庭への普及も進んでおり、講義外でもホームページにアクセスするだけで現象を確認できるような電子教材を開発し、教育ツールとして活用することは有用と考えられる。

そこで、今回この装置を使用した実験結果についても、電子教材としてホームページ上で公開した(図7)。

ホームページ上では本実験で得られた画像情報をアニメーションとして掲載しており、今回紹介出来なかった実験（例えば、入り江に見立てた凹型地形の反射波の1点集中など）についても公開している。

なお、熊本大学の学生に対しては、海岸工学の講義中にホームページを紹介し、電子教材として利用することで水面波の現象が視覚的に理解しやすいと好評である。さらに、今回の実験内容は高校物理でも学習する内容であり、高校生や一般の人に向けた電子教材としても広く利用可能と考えている。

5. おわりに

学生が水面波の実現象を容易に理解できるように、学生自らが簡単に実験を実施できるような、コンパクトな水面波投影装置を開発した。また、この装置を用いた画像データをホームページ上で公開することで、

学生が実験装置を作成・使用しなくても簡単に波の現象を確認できるような電子教材を作成した。その結果、学生の現象に対する理解度が向上した。

本論文で紹介した画像データの詳細は以下のサイトの“水面波投影装置”をご参照下さい。

<http://www.civil.kumamoto-u.ac.jp/coast/>

図7 ホームページの表紙画面
(<http://www.civil.kumamoto-u.ac.jp/coast/> より)

謝 辞

今回の結果の一部は、熊本大学工学部環境システム工学科（土木環境系）3年前期開講の社会基盤設計演習を通して得られたものである。装置の作成に協力頂いた大石和広君、清田康友君、高尾健二君、田代哲也君、立石孝輔君、西 敬浩君に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 石川忠晴：環境研究は現場から，流体力学学会誌「ながれ」(2000)，457－466
- 2) 宇塚公一，和田一範：住民合意形成の新しいツール「マイクロモデル」について，ダム技術 (1999)，15－22
- 3) 和田一範，岡安徹也，浜口憲一郎，市山 誠：極小移動床水理模型の国内での活用について，河川技術論文集 (2001)，497－500

- 4) 山内恭彦，平田森三，富山小太郎（翻訳監修）：PSSC物理（上）(1967)，岩波書店
- 5) 山内恭彦，平田森三，富山小太郎（翻訳監修）：PSSC物理（下）(1967)，岩波書店
- 6) 山内恭彦，平田森三，富山小太郎（翻訳監修）：PSSC物理（実験指導書）(1967)，岩波書店

著 者 紹 介

外村 隆臣

1991年 熊本大学工学部技官

現 在 主に海岸工学分野での研究補助業務を行っている

所属学会 土木学会