



わが国水理学の現況

林 泰 造*

査作成資料の取扱い範囲にすべてしたがうことにする。

1. 緒 言

水理学研究とその応用は、各分野においてきわめて活発に行なわれている。土木学会誌上には、昭和36年度以来毎年1回水理委員会により調査作成されたその年度の「水理学研究の現況」と題する資料がみられる。これには日本全国の大学、研究機関別研究題目、および刊行資料名一覧、ならびに水理委員会委員長（昭和36、37年度は伊藤剛博士、昭和38年度以降は石原藤次郎教授）執筆の「水理学研究の展望」が載せられている。したがって、昭和36年度以降の研究については、これが最も完全な「わが国水理学の現況」を伝えるものとなっている。

昭和36年度以前については、昭和27年度から昭和35年度までの間は、土木学会内の水理研究会が水理委員会（当時の委員長は安芸岐一教授）と密接な連絡のもとに、やはり「水理学研究の現況」と題する資料を毎年1回パンフレット形式で印刷していた。したがって、この間の研究活動の状況はこれに十分に記録されている。

さて、本年度の資料「水理学研究の現況」を見ると、研究機関研究題目、および発表資料名一覧だけでも、小さな活字で刷り上り11ページ余りにおよんでおり、とても限られた時間でこれらの内容をここに紹介論評することはできないことではない。また、全体的な要約といったことも私のような微力の企て得べきことではない。

そこで、ここではむしろいっさいの文献のわくを離れて、自由な立場から、ここ数年ほどの間になされてきた水理学研究の現況についての、私の印象のようなものを申し上げることにのみこの講演の目的を絞らせて載きたい。したがってこの小文は、私の主観の入ったものであることを前もって特にお断りしておく。

いわゆる「水理学の諸問題」を、一応土木学会文献調査委員会作成の文献分類項目表にできるだけしたがって、大分けをして申し上げることにする。また、ここでいう「水理学研究」の範囲としては、前述の水理委員会調

* 正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科

2. 概 況

(1) 河川・水文関係

土木学会水理委員会としてある程度 authorize された研究は、昭和38年度増補改訂土木学会水理公式集（改訂委員長 横田周平博士）第1編 河川 に載せられている。粗度係数の問題については、人工粗度の研究が着実に進められている。一方、流砂と粗度係数との関係、河床形状と粗度係数との関係、洪水時の粗度係数などの研究が注目されるようになってきている。

移動河床の掃流砂量の問題については、土木研究所の研究そのほかがあり、均一粒径の場合にはその量をほぼ推定できる程度になっている。しかし、不均一粒径の場合についてはまだ問題がある。不均一粒径の場合にやっかいな点は、掃流過程にともなって生ずる粒径の分離である。

実測結果にもとづいて流砂、特に浮遊砂の粒度分布を調べてみると、河床を構成している砂礫のほか、河床にはほとんど存在していないような微細なものが多量に入っていることが知られている。そのような細かい粒子からなる流送土砂の部分を Wash load というが、これは上流から供給される微細な土砂がそのほとんどであって、河道ではそのまま流送されてゆくから、その量を推定することは困難である。しかし、貯水池などの埋没に対しては恐らくかなり重要であろうといわれている。しかし、この Wash load についての研究は遅れており、まだあまりわかっていない。

河床変動について、縦断的な河床変動はその計算方法がある程度つくられているが、現状では流砂量公式と流れの抵抗法則をいかに取り扱うかなどに問題が多く、適確に計算することは一般にはまだかなりむずかしい。また、平面的な河床変動は、まだ定量的に解明されるまでには至っていない。

水文学について、有効降雨や、洪水流出の解析方法に

ついでに研究が建設省関係や、京都大学などを中心としてつみ上げられてきた。流域よりの洪水流出の解析方法としては、ユニットグラフの考えかたによるものほかに、総合貯留関数の考えかたによるものが広く使われ始めている。

水工計画上の基礎とすべき水文量の推定に確率の概念を入れることは、今日ではほぼ Practice となっているが、この問題の研究については、まず、京都大学の貢献をあげねばなるまい。

河道の洪水の追跡については、アナログ計算機、またはデジタル計算機の力をかりて研究するという傾向がさかんになりつつある。不定流の数理模型実験には大きな設備を要したり、精度の点で不十分であったりすることがある。一方、不定流の非線型偏微分方程式の数値計算を手計算ですることも非常にやっかいであるので、不定流の問題にこれら計算機を使用する傾向は、今後必然的に増大するものと考えられる。

なお、これは研究の現況というわけではないが、新しい数理公式集の中には、融雪量に関係する式がいくつか載せられている。これは、近年とみに水利用がさかんになったため、低水流出を考慮する必要から入ってきたものである。しかし、それらはいずれもアメリカでのデータにもとづくものであって、日本でのこの分野の研究はこれからと思われる。

(2) 海岸・港湾関係

昭和 29 年に土木学会関西支部主催により第 1 回の海岸工学研究発表会が開かれ、翌 30 年には土木学会に海岸工学委員会（委員長 本間 仁教授）が設置された。そして昭和 30 年度以来、この委員会の仕事の一つとして、毎年 1 回ずつ海岸工学講演会が開催されている。したがって、わが国における海岸・港湾関係の主だった研究のほとんどすべてが、何らかの形でこの講演会講演集の中にふくまれているものと思われる。ここでは、それらの中で数理公式集 第 4 編 港湾および海岸に載せられている研究範囲内のものについてのべることにとどめたい。

波の変形の問題に関しては、ひところ進行波の砕波限界についての研究がなされたが、最近では波の推算方法の研究に関連して、浅水における水底摩擦の影響が各方面でさかんに研究されている。また、長い波の変形としては、津波の問題がその実態調査とあわせて研究されている。また、きわめて長い波としての高潮に対する高潮防波堤についての研究がいろいろとなされた。風波の発生発達の問題に関しては、伊勢湾台風以来その研究の進捗がとくに早められた。風域が移動する場合の波の推算方法、卓越波の取り扱いなどについて、気象研究所、港

湾研究所、土木研究所などで研究がなされている。

高潮の予知に関する研究も各方面で行なわれており、模型実験による研究、あるいは電子計算機を使用しているいろいろな境界条件のもとでの数値計算による研究により、太平洋沿岸における高潮の推算、およびその対策の研究が行なわれている。

波圧、および波のうちあげの問題に関しても、多くの研究が見られる。波圧の研究としては、砕波の圧力、重複波の圧力、護岸に作用する波力が研究されている。また、水中のくい、水底のブロック、浮体などに作用する波圧についても研究がなされている。波のうちあげについては、海岸堤防への波のうちあげ高や、越波に関する問題について土木研究所、京都大学、大阪市立大学などで研究がなされた。

なお、消波ブロックの研究もいろいろ行なわれ、テトラポットと類似の消波原理にもとづくブロックが種々考案され、実際に使用されている。大きな岩石の得にくいわが国においては、人工ブロックは特に重要な意味をもつ。

漂砂の問題については、多くの現地観測、過去の資料整理による研究がなされており、また、模型実験や基礎的な実験、漂砂の測定方法の研究などもなされている。

河口の問題は、河川と海をつなぐ問題として当然河川工学の立場からの研究も多い。河口閉そくの問題、河口密度流の問題、高潮や波浪の溯上の問題などが海岸工学の立場からも数多く研究されている。

海岸工学関係の実験施設は、河川・発電各部門におけると同様すぐれたものが各所にかなり数多くみられる。各種の平面波動水槽、2次元波動水槽はもとより、津波発生装置、高潮発生装置を備えた水槽までが二、三つくられている。また、風洞つき波動水槽のごときは主だった実験室では備えてないところのほうが少ないといった状態で、施設の内容は一般的に非常に高水準のものになりつつある。

既述のように海岸工学委員会は、昭和 30 年度以降毎年講演会を開催し、また、昭和 33 年度以来英文講演集を編集して海外への研究の紹介に努めている。これら委員会の活動はわが国の海岸工学の直接的な進歩に貢献してきたのみならず、結果的には、これにより多くの若手の研究者を育成し、海岸工学における研究者層の全国的な厚みを招来した。

なお、39 年春には日米科学協力にもとづく海岸工学セミナー（日本側オーガナイザー 本間 仁教授）が、わが国において開かれ、新潟海岸、伊勢湾北部、阪神海岸、および大分臨海工業港を視察し、また、研究所としては運輸省港湾技術研究所、農林省農業土木試験場、京都大学防災研究所を訪問し、視察地各地でつぎの 4 つの

テーマについての討議が行なわれた。

① 海岸決潰，② 津波，高潮，③ 海岸工学に関する模型実験の問題，④ 海岸埋立地の諸問題

昭和 41 年には海岸工学国際会議が土木学会，アメリカ土木学会，および国際水理学会の三者共催でわが国で開催されることになっており，その成果が期待されている。

(3) 発電水力関係

発電水力関係の水理学は，発電水力の技術とともに高度の発展をとげてきた。近年いよいよ経済的な国内の新規水力開発の地点が少なくなってきたことは，関係水理学研究の立場から見てもさみしいことである。しかし，発電水力として既設発電所の改造，火力・原子力への積極的な進出，大容量貯水池揚水，海水揚水発電，海外への技術の進出など今後ますます多くの問題をかかえているものと思われるが，そのような方向の正確な記述は発電水力の専門家に譲ることにして，ここではこれ以上ふれない。

研究の記述にもどり，まず，水理実験的研究としてダム越流部の問題，ダム減勢工の問題はいつもその場合内での最善の解決が得られるよう研究がなされてきた。特に電力中央研究所では，減勢の問題に，また，東北大学ではダム頂部の問題に一貫した研究がなされた。

ゲート，およびバルブ類の研究も，近年高圧ゲート，大型ゲートの開発にとまらなくなりになっており，これに働く静的な力，ならびに振動などが検討されている。

射流の研究は，今日では高速流，空気混入の問題など，多少こととなった面から研究が向けられている。

サージタンクの問題は，模型実験の相似律と実験技術が一応完成され，非常に複雑な形式のサージタンクにおける二次的な水の動きまで研究しうるようになっていく。

水撃圧の計算方法としては，特性曲線法がかなり広く用いられるようになっており，以前はかなり不安の残されていた制水口型サージタンク基部の残留水撃圧のようなものも，今日では十分に計算しうる段階になった。揚水式発電に関連しての研究としては，揚水管路の問題や，サージタンクについての研究が，いくつかなされている。

水路関係の模型実験には，透明プラスチック製の精こうなひずみ模型（それらはときには手芸品的ともいえるようなものであることもある）を使用しての実験が行なわれていることが多いが，このような傾向は必ずしも諸外国には普通に見られるものではなく，ある程度，日本流の水理実験の技術といってもよいものと思われる。

最近，水力機械の研究にもある程度目を向けるべきで

あるとする考え方が研究の中にでてきており，新しい水理公式集の中にもそれにかかなりのページがさかかっている。これは，土木構造物の設計の合理化がほとんど極限にきた今日，むしろ当然のことであって，一つの計画全体の経済性の検討のためには，水力機械の関連面での研究も見逃すことはできないであろう。

そのほか，水温の問題としてダム築造による水温変化の問題には，農業用水の立場から大きな関心がよせられており，種々の研究がなされている。

火力発電所，および原子力発電所は，海岸に面して建設されるのが普通であるから，これには大なり小なり海岸工学的な問題が関係してくる。東海村では，原子炉冷却水の取水の問題に関連して，漂砂，波力など海岸工学的にして綿密な調査研究がなされた。また，若干の火力発電所において，海中に排出された冷却水の拡散流速分布，ならびに温度分布が調査測定されており，また，冷却水取水口についてのいろいろな模型実験研究が近年かなりなされている。

(4) 衛生工学関係

この分野も一般水理学の分野と同じような問題をかかえている。ただ，その対象としていくらか密度の違うものが入っていて，それが拡散をしたり化学変化を起したりする。そして，その変化が水理学の法則を全く無用のものとするまでには至らない限り，それらの現象は水理学的研究の対象ともなる。水理学と密接な関係をもった立場からの研究は，特に京都大学衛生工学科，建設省土木研究所などにおいてなされてきた。

38 年度より土木学会に衛生工学委員会（当時委員長 故 広瀬孝六郎教授，現在板倉 誠博士）が組織されたが，それ以前においては衛生工学と水理学の土木学会での結びつきは，必ずしも十分とはいえなかったように思われる。

39 年 8 月には，第 2 回国際水質汚濁研究会議（日本側組織委員長 故 広瀬教授）が東京で開催された。その中で，水質汚濁防止の立場から汚水の混合拡散の研究など水理学的研究が数多く見られた。

(5) その他

今までの項目のうちで述べえなかったものの若干をここで簡単に補足したい。

a) 浸透流，地下水

浸透流，地下水の問題は，今日ではその中のかかなりの分野が土質力学や，地質学において研究されている。この問題については，土，または岩の物性的な性質に関係せざるを得ない点から，土質工学，地質学，あるいは最近新しく学問として体形化されはじめた岩盤力学の分野

などとの密接な協力のもとに研究をすすめてゆくという傾向が多くなるものと思われる。近年特に進度のいちじるしいと思われた研究上の具体的な問題としては、岩盤力学に関連して、3次元浸透水流の実験方法の研究、土質力学に関連して自由水面をもった浸透流の計算方法の研究、岩盤力学や土質力学に関連して非定常浸透流の研究、工業用水や、かんがいの問題に関連して、海水より地面内への塩分の拡散や Water curtain の問題などがあげられよう。

b) 一般水理学関係

一般水理学的な問題としては、ここでは、乱流理論の水理部門への応用、密度流、水力弾性、電子計算機の利用、計測だけに触れることにしたい。

① 乱流理論の水理部門への応用：乱流理論の工学への応用はおもに戦後のことである。乱流の基礎理論はいわゆる流体力学、物理学、気象学などの分野で発展させられてきたが、そこで得られた乱流構造に関する知識——乱れの強さ、平均うず径、最小うず径、エネルギースペクトル、Euler または Lagrange 相関など——が水理学上のいろいろな問題の解明に応用されている。

特に最近注目をひいている研究としては、土砂流の問題に関連して、粒子を浮遊した流れにおける流体の乱流構造の研究、限界掃流力の問題に関連して水路底面の粒子の移動限界の研究、急勾配水路の空気混入水流の問題に関連して空気混入の発生条件の研究、空気混入率の鉛直分布の研究などがあり、また、風波の発生・発達について風の圧力の乱れが重要な役割りを占めるとする Phillips-Miles 流の研究などがなされている。構造物に対する風の息の影響などの研究はわが国では気象学などの分野に任かせていることが多く、水理学の分野からの寄与はまだほとんどないと思われる。

② 密度流：密度流の研究も注目すべきものが数多く見られる。河口密度流、貯水池内の温度密度流、濁度差による密度流などが、それぞれ主として海岸工学、発電水力、衛生工学または河川工学の各分野において研究されている。

③ 水力弾性 (Hydroelasticity)：流れによって起こされる構造物の振動、あるいは、構造物の弾性的変位によって影響を受ける流れの問題に対して、水力弾性という言葉があてはめられるようになったのは、比較的新しいことのように思われる。ゲート・バルブ類の大型化や、減勢工の問題などに関連して、水力弾性に関する研究がいろいろと見られる。

④ 電子計算機の利用：数年前以来、電子計算機が水理学研究に大いに活用されはじめてきた。手計算では複雑で実施困難か、あるいは事実上不可能とされていたような計算が、簡単に行なえるようになった。感潮河川

における洪水の計算や、さらに湾内の高潮の計算などはその好例であろう。電子計算機のもう一つの注目すべき点として「情報判断能力」があるということである。これは必ずしも式を計算するのではなくて、情報判断をする——たとえば何々川の水利権を各点各点でそれぞれ満足させながら、各所要の水をとるといったような——能力があることである。電子計算機が活用されるようになって、水理学上の研究範囲自身が大きな影響をうけるようになった。

⑤ 計測：わが国水理学研究設備は、立派なものが数多くあって、現在ではいずれの国とくらべても遜色がないものということができよう。しかし、計測については事情はいくらか異なっている。特殊なものについては、素晴らしい計測を行なっているかと思うと、その反面、人力による読みとり式の努力で計器の不足をカバーせんとするようなケースが、しばしば見られる。彼等の研究費額にもし実質的な差がありとすれば、それはこのような点に現われているのではないかと思われる。

なお、40年4月には、日米科学協力による一つのセミナーが水理計測をテーマにして日本で開催されることになっている（日本側オーガナイザー 板谷松樹教授）。

最後に、国際水理学会 (International Association for Hydraulic Research—IAHR と略称) との関係について一言触れたい。IAHR は約 1200 名の会員からなる国際学会であって、その事務局はオランダ Delft 水理研究所内にある。隔年ごとに総会、および講演会を世界のあちこちで開いており、昭和 26 年以来、日本からも必ず何名かがそれに出席されている。土木学会水理委員会は、この会にいつも関心をよせており、同委員会が毎年 1 回ずつ開催する水理研究発表会の研究テーマとしては、IAHR の講演会におけるテーマを参考にしてみられたものがかなりある。IAHR には、かつて安芸教授が副会長に選ばれ、また、現在は本間教授が副会長に選任せられている。

その間、昭和 37 年 9 月には仙台において、キャピテーション、および水力機械に関する IAHR のシンポジウム（日本側組織委員長 沼知福三郎教授）が開催された。

数年後には総会が日本で開かれようとする機運があり、もしその場合には土木学会水理委員会がその受入れ側としてその準備に当ることになっている。

〔付記〕 本文は講演草稿を一部訂正および加筆したものである。草稿の執筆に当りご意見を寄せられた各位に感謝の意を捧げる。

(1964. 11. 7・東京文化会館にて講演)