

1. 寄 稿 文

治水技術に関する今日的課題

(財)リバーフロント整備センター相談役 近藤 徹

1. はじめに

わが国の国土は、幅2,3百kmの細長い列島の中央部を、標高2,3千mになんなんとする山脈が縦貫している。国土の3/4は、急峻な山地であり、河川の勾は極めて急である。集中豪雨の際には、流水が、急激に増水して中下流部において短時間で洪水を発生させる。それとともに山腹や溪谷を削って大量の土砂を生産し、下流部へ搬出する。

貴重な可住地である平地は、極めて少なく、その殆どは河川の洪水流によって搬出された土砂が堆積してできた沖積平野である。本来的に河川の氾濫原であり、宿命的に洪水が氾濫しやすい地理的条件を有している。

一方気象的には、わが国は、年間雨量が世界平均値の2倍という有数の多雨国である。しかもその大部分が夏期に集中し、毎年のように台風、梅雨等による集中豪雨が、限られた期間にもたらされる。

このような自然的条件に加えて、社会的条件もまた苛酷である。限られた狭小な平野に世界有数の人口を抱え、かつ世界屈指の経済活動を営んでいる。このことは、河川氾濫区域に全人口の1/2、全資産の3/4が集中している、という事実が、何よりも雄弁に物語っている。因みに、米国は、河川氾濫区域内の人口が全国人口の9%に過ぎない。従ってわが国では、洪水が、一旦氾濫した場合には、わが国の社会経済活動に甚大な被害を及ぼすこととなり、ひいては世界経済に測り知れない混乱を惹き起こす恐れがある。

このようにわが国の国土は、自然的条件、社会的条件の何れの面からも、洪水が頻発しやすく、一旦洪水が発生すると甚大な災害になる恐れが多く、治水が極めて劣悪な環境にある。従ってわが国の治水事業は、有史以来国家経営上の根幹的な課題であったし、現在でも、その状況は些かも変わっていない。

筆者は、永年にわたり治水事業の企画、計画、設計、施工、管理の各部門に

携わってきた。そして我が国の国土の自然的、社会的条件、治水事業の現状、河川流域における都市開発の急激な進展、流域住民の治水に関する社会的認識の変化の状況等について数多くの事例を経験してきた。

これらの経験を通して、従来予想もされなかったような多くの事例に遭遇した。近年の河川流域における都市化の急激な進展は、洪水の流出機構を一変させた。都市水害が頻発すると共に激甚化し、深刻な都市問題、社会問題となった。河川技術者は、単に河川内の洪水処理のみに専念していればよいと言えるような状態ではなくなった。広く後背地の土地利用にも目を向けた対応を迫られている。

また流域住民の社会的価値観が極めて多様化した結果、事業者は、関係住民の理解、協力を得るために、事業の必要性、妥当性、合理性について、より客観的、普遍的、理論的に説明をする努力が一層求められている。これらの中には従前の土木工学の範囲を超えて他の様々の学問領域の知見をも含めて、総合的、多角的に体系化して説明する事を必要とする事例が増加している。

治水事業に携わる河川技術者は、我が国固有の自然的、社会的状況になお一層適合した治水技術の研究、開発に努力する責務を当然ながら本来的に負っている。

それと共に他方で都市化の急激な進行、流域住民の価値観の多様化、近年の社会的環境の急激な変化等近年の趨性をも十分に把握して、従前以上に国民全般の理解を得ることに努めつつ、事業を推進すべき責務が加わってきている。

これからの河川技術者は、このような新しい治水事業をめぐる課題にも適切に対応するため、より広範な分野で技術開発に努めることが求められている、と確信する。

とりわけ従前より国民全体の合意が十分に得られていて自明の理であると思われていた事項や、河川工学としては常識になっているような事項であっても、従来さほど掘り下げた検討が加えられていなかった部分については、原点に立ち返って多角的な視点から十分な検討が必要になっている。

ここでは、我が国の治水技術のうち、特に近年の社会的環境の変化に対応し

て新たなる対応を必要としている技術分野について筆者の考えを述べたい。

本論を進めるに当たって、その背景として重要な事項を次に列挙する。

2. 治水事業に関する社会的認識の変化に関する事例

筆者は、34年間にわたり河川行政に携わり、様々なレベルで、仕事をしてきた。その間に多くの課題を担当した。その中でも、もっとも印象に深い問題は、多摩川水害訴訟と、長良川河口堰をめぐる自然保護の問題である。

前者の事例は、水害はもっとも典型的な天災である、従って災害の原因、責任を他の個人や団体に求める訴訟は成り立たない、という従来からの常識が最早通用しなくなった、ということである。

洪水は降雨という自然現象に起因して発生する。自然現象である限り洪水発生規模や状況は人智の及ぶものではなく、人間が未だ経験したことがない制御不可能な現象が、絶えず起こりうるものである。人類は、川の辺に生活を始めて以来、その能力の及ぶ限り全力を尽くして絶えず洪水による災害と闘ってきた。しかし洪水による被害を完全に除去することは、不可能である。そのため、為政者や住民は、治水事業や水防にとってその被害を少しでも軽減するように努めてきた。その結果現在では治水事業の進展とともに、中小洪水による被害は減少した。

他方河川流域住民の流動化現象、人口の激しい転出入に伴い、その土地が従前経験したことのある浸水被害に関する記憶が、住民間に伝承されなくなってきた。そして一部の住民の中には、水害は最早起こらなくなったと錯覚した認識が、生じつつある。即ち現在は、洪水は制御可能な現象であり、既に克服されたとの社会的認識が醸成されつつあると考えておくことが必要な段階に至っていると思う。

従って一旦洪水が発生した場合には、それが仮に治水施設の機能を越えていて事実上災害を回避することが不可能な場合であっても住民に災害を及ぼした場合には結果的に、河川管理者が、ひいては治水技術上の課題が、注目を浴びることになる。その中には制御不可能な現象にもかかわらず制御可能であった

とし、これを制御しなかった河川管理者の責任として、即ち河川技術者の怠慢であるとして訴訟の対象となる事例が多くなる、と考えられる。

後者の事例は、治水事業は、流域住民の生命財産を災害から守ための根幹的
事業であり、人類の生存にとって必要不可欠な事業である、従って他の如何なるものにも代替できない最優先に実施すべき事業である、という自明の理が、
社会的価値観の多様化とともに通用しなくなりつつあるのではないか、という
ことである。長良川河口堰の問題は、この事業の目的である治水目的が、長良
川の自然生態系の保全と真っ向から衝突した形で受けとめられ、マスコミを賑
わし国民に広く注目されるに至った。勿論事業者は、長良川の自然生態系の保
全、水産資源の保護には可能な限りの努力をしている。しかし一般国民は、そ
の点については、知られていない状況である。

端的に言えば、長良川流域67万人の生命と財産が、長良川生態系の象徴であ
るサツキマスと天秤に掛けられた。このような事態は、この問題が起こるまで、
河川行政に携わるものは、想像することは出来なかったであろう。今日では人
命を水害から守ると言うことだけでは万人が簡単に納得するとは限らなくなっ
てきていると考えておくべきである。

ところで1993年、北米大陸のMississippi 川流域では、大洪水が発生した。
これを伝える New York Times の論評は大変刺激的である。

「ダムと堤防は自然を封じ込めるものなのか。それとも洪水氾濫地域のため
の護符なのか。

何十億ドルが投入されたが、洪水被害額はさらに上昇し続けている。Missi-
ssippi川の洪水災害は、合衆国工兵隊が母なる自然を騙すことができるか、と
いう議論を再燃させた。今世紀に入り全国に 500のダムや1万マイルにも及
ぶ堤防建設のために工兵隊が費やした250 億ドルは、地方議員が地元での人
気取りのため支出させた地方開発援助金であって、これらの土木事業は、納税
者だけを騙し続けてきたムダ仕事だったのだろうか。」

今回の Mississippi・Missouri 川の洪水は、史上最悪のものであった。そこ
で洪水の恐れのある地域では、開発行為の規制や保険適用の規制を強化する方

法などそれほど費用のかからない対策の方が、ダムや堤防建設などの対策よりも賢明なのではないか。ダムや堤防などの対策を、中国の万里の長城や、エジプトのピラミッドにたとえた批判や疑問が投げかけられていることに対して、正確に十分に理解が得られるように答えるのは容易なことではない。

洪水防御に対する対策が、時たまその機能を発揮できないからといって放棄するべきだとまで言うのではない。また洪水の恐れのある地域に定住することを、川が主な交通手段であった植民地時代にまで遡って禁止すべきであるとまでは言わない。

しかしながらダムや堤防などの建設を進めてきたにも関わらず、アメリカでは未だに洪水がもっとも破壊的で、被害額が大きい自然災害である。そのため治水対策の専門家の間にはダムや堤防に頼る対策に反省が見られるとも報じている。この自信の無さは、一方で国の財政赤字のためダムや堤防による対策が進められないのではないかという懸念を反映し、他方でダムや堤防が自然環境を損ねたり、破壊しながら建設されたにも関わらず、洪水防御の機能を発揮していないという環境保護論者の批判に対する反応でもある。

その結果現在では議会から治水対策のため工兵隊に計上される予算は、新しいダム建設のためよりも、古いダムや堤防の維持のための予算の方が多額になっている。

洪水の恐れのある地域では、徐々にではあるが確実に開発行為や保険適用に対して規制措置が、敷かれ始めている。他方で一度政府から災害援助金の支給を受けながら防御対策を実施しないままに再度被災した場合に、さらに災害援助金を支給するべきかという疑問も、提起され始めている。

洪水防御対策への姿勢が変化する中で注目に値するのは今回の洪水被害を受けてダムや堤防の建設を呼びかける声は 1, 2回聞かれた程度に過ぎないということである。このような新しい姿勢の典型的な例として、ワシントンの記者会見の席で、今回の洪水によって多数のダムや堤防を建設することになるかという質問が出されたときに答えた工兵隊運営準備部長の発言が挙げられる。

「すべての河川に堤防を建設するという規則を直ちに適用するかどうかは慎重

に対応したい。なぜならばそのようにはしない予定だし、またそのようにしてはならないことだ。」2,3年前ならば、議員や工兵隊の高官は、洪水防御の経済的課題や環境への影響よりも技術的成果のことを話題にしがちであった。しかし、それは、現在ほど財政的赤字が深刻でなく、環境保護主義者の主張が強くなかった頃のことである。

洪水による被害は、90年代のものは第二次世界大戦前と比較してまたその間のインフレを考慮に入れても、アメリカ人一人当たり約二倍の金銭的負担を課していると言われる。全般的に、洪水に対する免疫性は、以前に比べて変わっていないが、むしろ低下しているという。それは、おそらく洪水の恐れのある地域で行われている開発があまりにも多く、そのような開発を規制する州や地域の施策に数多くの例外が適用されていること、あるいは氾濫原の開発や利用に対する計画や規制がなされないうちに、急激に人口の増加、流入、宅地化の進行が起こっているからであろう。

堤防は、河岸と平行に土砂で造られた洪水を防ぐためのいわばダムである。古代エジプト人が、ナイル川沿岸に堤防を建設したのはBC200年に遡る。

Mississippi川の堤防は、1718年にニューオーリンズで始まった。3600マイルに及ぶ本堤と補助堤防は、世界中でも最も延長が長い。理論的には堤防は高ければ高いほど、洪水に対する防御性は、高い。しかし、あまりにも高い堤防は水位を堤内地よりもかなり高い位置まで上昇させて破堤の危険性を高くすると反論する技師もいる。Mississippi川の場合、このことが当てはまり長い延長の堤防が全体的な水位を上昇させ、結果的には次から次へと従前からあった堤防よりも高い堤防の建設を促進させてきた。

今回の洪水で流されてしまった堤防を再度建設するか、あるいは部分的に壊して低地に洪水時の水を取り入れて、低地を臨時の貯水池として洪水防御の効果を発揮させるかという論議が、巻き起こっている。

ワシントンでは環境保護団体が中心となって、低地を臨時の貯水池とし堤防を部分的に撤去すべきだという声が増している。一方で被災地のセントルイス南部やイリノイ州キンシーでは、多数の住民や農場主が、自分達の財産を

守るべく堤防強化のために土嚢やシャベルを使って日夜作業を行って、自らの見解を行動で示している。

今回のMississippi 川の氾濫地域やワシントンにおいて問題になっているのは、Mississippi 川の氾濫をいかに制御するかということである。今回の災害を契機に起こった議論は、Mississippi 川及びその支川の洪水を調節するために、ダムを建設し始めた65年前には考慮されることのなかった環境問題や、財政的、経済的状況等の要因が関係している。

環境保護論者は、堤防によって造られたあの巨大な水路を部分的に解体することにより、川の自然な洪水制御機能を利用し、全体的に今よりも低いコストで洪水調節は可能になると言う。堤防を1マイルあたり100万ドルも掛けて修復するよりも、堤防を部分的に撤去した方が洪水による被害を軽減できると言う。

自然野性動植物保護論者は、政府に決壊したすべての堤防を修復するようなことはせずに、洪水のエネルギーを広い地域に拡散させるように訴えている。しかしそのような措置は、住宅や農場を今よりも頻繁に洪水災害の危険にさらすことを意味する。

この報道の中の工兵隊運営準備部長の見解にたいする評価は、同じ治水技術専門家としての筆者の視点から見ると、その真意を伝えていないように思う。治水対策は、洪水氾濫による災害が大きい箇所で行うのが大原則であって、すべての河川にダムや堤防を建設するという規則はない筈である。恐らく、工兵隊担当官は、その大原則を淡々と述べたに違いない。従ってこの報道をそのまま鵜呑みにすることはできない、と思う。

しかし、マスコミ人は、工兵隊があらゆる河川にダムや堤防を建設しようとするのは常識と考えてきたのであろう。担当官がその常識と違う発言をしたからこそ報道したのであろう。そこに「ダムや堤防に頼る対策への反省」とか、「自信の無さ」という評価をしているのであろう。

この報道から言えることは、一般世論が水害が一旦発生すればどの河川に堤防やダムを造ってもなんら批判をされなかった時代から大きく変化していると

いうことである。

今後は、我々治水担当者も、このような視点に曝される事例が数多くあると
考えておくことも極めて重要であると思う。

筆者は、永年日本の河川行政に携わり、国内の大河川の破堤災害、悲惨な都
市水害等に接してきた。その都度、仮に利根川が破堤するようなことがあれば、
どの様なパニックが起こるのか、その場合河川技術者にはどの様な批判が巻き
起こるのだろうか、ということが念頭を離れなかった。洪水が降雨という自然
現象に起因している以上、どんなに異常で規模の大きい洪水でも、発生する危
険性があり得るからであり、当然に利根川の治水能力を越える洪水の発生も予
想できるからである。

そのような事態になったときには、単に河川行政に留まらず、我が国の国内
に深刻な社会的、政治的問題を、惹き起こすことになるであろう。

同時に治水技術に対する疑問、批判、非難が、現時点では想像もつかないほ
どの大きな力で、河川技術集団に浴びせかけられるかもしれない。従前から進
めてきた治水事業の成果にさえ否定的な見解が寄せられるかもしれない。その
中の大半、言われなき中傷であるが、感情的な反発が作用して河川技術者の説
明は聞き届けてもらえないかもしれない。アメリカのニュース報道のように、
治水不要論が堂々と論じられるような事態が、罷り通ることがないとは言えな
い。

従前であれば災害が発生する度に、我が国の治水施設の立ち後れが指摘され、
治水担当者は、そのような世論を踏まえて治水事業の促進に努めてきた。災害
が発生した河川では、その都度計画の規模、災害の発生状況を見直した上で、
新規に規模を増嵩した計画を策定し、この計画に基づいて治水事業を推進する
という手順により進めてきた。

住民も、河川改修途上における災害については比較的理解者が多く、治水事
業の早期完成に向かって、治水担当者と一体となって努力するというのが一般
的であった。その限りにおいて、治水事業の進め方について、国民の批判を浴
びた経験は殆ど皆無であった。

しかし現在のように治水事業が一定の進捗を見て、災害の発生間隔が長くなってくると、住民の河川行政に対する期待もしくは認識は、従前とは想像もできない程、相当に変化しているとみるべきである。

治水技術に様々の非難が集中するような事態になった時に、河川技術者は、全く異質の価値観と出会って戸惑ってはいはならない。何れ世論も、冷静になれば理解してくれるはずであると言って事態を静観してはいはならないと思う。今日わが国では、消費者保護制度等が、検討されている。今後はその商品を製造した技術について、専門家ではない一般消費者に理解を得ながら、提供することが必要になる、と予想される。我々河川技術者もまた、独断との批判を受けないように謙虚に他の技術領域における成果にも絶えず着目して、技術開発に努める必要がある。筆者は、水害訴訟を担当して、治水の専門でない人達（例えば裁判官）の理解を得られないような技術は、本物の技術とは言えないということを実感したのである。

今後は治水事業に無関心な人々や、河川は自然のままに放置してその暴威でさえも甘受すべきであると主張する人々をも念頭に置いて、国民全般に広く理解されるような理論的整備が、必要になっている。そのためには貴重な国民の生命、財産を守る治水事業といえども従前の常識や、自明の理といわれてきた河川工学上の大前提についても、自然科学に基づく知見を大いに取り入れて、さらに一層綿密に解明し、体系化することが重要になっている。

現代の様な高度に多様化した成熟社会においては、技術者には、絵が描けること（企画立案能力があること）、計算が出来ること（実行計画を策定できること）、話が出来ること（専門的な内容を、一般国民に平易に説明して、その理解を得ることが出来ること）などの能力が求められることになる。

これらの能力を一人の技術者に求めることは、通常は不可能である。従って河川工学をより充実させ、発展させる中で、これらの課題をも組み込んで体系化し、より拡張させる必要があると思う。

3. 自然科学と技術との面から対比した場合の治水技術の特性

自然を探究し、自然界に働きかけるなど、自然を対象とするものとして、自然科学や科学技術が挙げられる。

自然科学は、自然界に属する諸対象を取り扱い、その法則性を探究する学問である。

科学技術は、自然科学の探究によって得られた知見を応用して、人間生活、生産活動の安全性、利便性、快適性等の向上に利用するための技術である。

河川技術者は、河川工学の知見に基づいて仕事をしている。その河川工学は、自然科学の中でも特に物理学を中心にその所産である構造力学及び流体力学の理論と、永年の間数多くの河川技術者の努力によって蓄積された河川に関わる多くの経験的知識を中心にして集大成されたもの、と言えよう。

さて、河川工学を含む土木工学は、自然科学で得られた知見を応用して自然に働きかけ、自然を改変整備することによって、安全で豊かで快適な人間生活、社会活動の場を創造する技術の集大成と考えられる。

ここで筆者が従事してきた河川工学の分野の狭い体験から、自然科学と技術の知見の立脚点の相違について解析してみよう。ここで敢えて自然科学と技術、理学と工学、両者の特性を際立たせるためにここで特に「理論科学」と「実用工学」と呼んで対比、大別して両者の相違点に着目、比較してみることにする。

まず自然科学又は「理論科学」は、自然界を支配している真理、法則を探究する学問であって、物理学、化学、生物学等のような基礎的な学問分野の領域であると整理される。最近では生化学、生命科学と呼ばれるような古典的境界を越える新しい分野までこれに加えているようである。

他方工学は、自然科学の知見を工業生産に応用して生産力の向上を図る科学技術を総称したものであった。古典的には専ら兵器の製作及び取り扱いの方法を指していた。後に土木工学が加わり、現在では物質、エネルギー、情報などに関わるものを含む広い範囲のものとなっている。ここで理論科学と対比するために敢えて「実用工学」と呼ぶことにする。その「実用工学」は、「理論科学」の知識のみならず、経験等から得られた知見を応用して、人間生活、社会

活動等をより豊かに、より便利にするために、機会や道具を作り出したり、自然を改変しようとしたりするための技術の集積であると整理できる。

前者では、リンゴが落ちるのを見て万有引力の法則を発見したというNewtonの故事に見られるように、物体に引力が働いているという真理、法則の探究が、その使命である。つまり「物を投げれば落ちる」という証明が、その学問の究極の目的である、とすることが出来る。

他方後者では、そもそも経験上知っている「落ちる」と言うことを前提にして、実用上の必要性に応じて、例えば「大体何秒後に落ちるとして対策を考えておけば実用上役に立つのか」とか、「大凡どのくらいの衝撃力で落ちてくる」として対策を講じれば実用上差し支えないのか」ということが、その課題となるのである。つまり「落ちる」という理論科学上の証明は必要ではなく、経験上の知見で十分である場合が多い。むしろ実用上は何を必要としているのか、それにどの様に対応するのかを決めることが、「実用工学」の使命である。

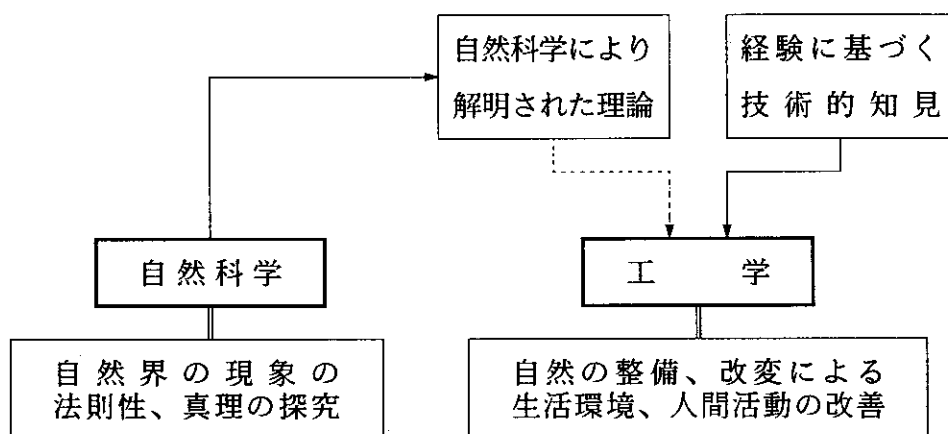
例えば、この「落ちる」という事象の場合であれば、そのうち殆どの事象は何分以内に落ちるのかとか、或いは何秒間は落ちてこないと想定できるのかなどのように、時間の長さの最大値や最小値が課題の場合もある。またどれだけの衝撃力に耐えるのに十分な耐衝撃強度を持つ構造物を設計すればよいか、どの程度の衝撃力に感応して作動させるようにしたらよいかなどのように衝撃力の最大値や最小値が課題となる場合もある。これらはいずれも実用上の目的に応じて検討の課題が、自ずから定まるものである。

ときには実用上「落ちないようにするにはどうしたらよいか」ということが課題となる場合がある。この場合には技術を結集して対応し、その究極において遂には飛行機を発明してしまうのである。飛行機は理論科学の成果の積み上げの中からは生まれてこないものの典型であると思う。まさに技術の領域の傑作といえよう。ただしこれは、筆者の個人的意見ではなく、NHK市民大学で講義した航空工学専門の佐藤浩東京大学名誉教授の発言を引用したものである。

自然科学の分野と工学、技術の分野とを対比してみると、前者はあくまでも

真理の探究、もしくは法則性の探究である。後者の目的はあくまでも人類の生活環境、生産活動の場の向上を目的としている。

ここで誤解を覚悟して極言すれば、工学や工学を構成する技術は、自然科学による法則の解明を必ずしも大前提としてはいないということである。ときには応用すべき自然科学の知見が欠如している場合やその法則が解明されていないような場合であっても、人間社会の要請に応じて対応しなければならない場合があり得るのである。またその法則が解明されていても、実用上利用できない場合が十分あり得るのである。



土木工学は、自然科学のうちでも物理学の一分野である構造力学や、流体力学の法則等を多く取り入れて体系化してきた。これらの学問分野は、既に古典とも言えるほど十分成熟している。土木技術者は、これらの力学の分野で解明されている法則や知見を大いに活用してその発展に努めてきた。

しかし自然界は、自然科学から得られる法則を適用しようとする場合に、その境界条件や前提条件が、極めて複雑で変化に飛んでいるのが一般的である。実用上の見地からは、自然科学の法則をそのまま適用することが殆ど不可能である場合も相当に多い。

河川工学が対象とする洪水の現象は、水を対象とした流体力学によって解明する事は理論上では可能であるが、河川は横断面や縦断面の形状、流路の屈曲

の状況、勾配の変化の状況、水路の表面の状況、洪水の時間的变化等により、境界条件が複雑且つ膨大で極めて変化に富んでおり、実用に供する事は殆ど不可能である。

そこで実用上の必要から導き出した公式を設定して使用することが多い。例えば河川工学では開水路における平均流速の公式としてManning の式を設定して実用に供してしる。ここではManning の粗度係数と呼ばれる係数の概念を導入している。当然ながら実体との間には相応の誤差が、含まれることになる。

このように工学の世界では、自然科学による法則性が解明されていない場合や、解明されていても実用に供するのが不可能な場合には、経験から得られた知見、即ち経験則を活用して対応している場合が多い。

このような経験則は、先達の土木技術者達が、その天才的な閃きと、その蔭で度々の試行錯誤を繰り返しながら、数多くの経験の中から抽出し、積み上げ、体系化を図ってきたものである。そしてその裏には、多大な努力にも関わらず、遂に実用に供する事が出来ないまま棄却されたものも数多い。経験則は、長い間の実地による実用性の検証を経て、いわば永い年代にわたって風雪に耐えて今日定着しているのである。今日我々土木技術者は、これらの先達の努力の成果によって、治水工事を初め多くの土木構造物の建設に参画している。

ところでこれらの経験則には、当然ながら適用範囲がある、ということに留意する必要がある。また先達が、経験則を抽出したときにも、その時の背景があった筈である。構造物であればその当時の作用荷重の発生状況、一般的な材料の入手の難易度の程度、その構造物の利用のされ方の予想等である。

今日我々後輩の技術者は、この経験則を用いるに当たって、この経験則が成立することのできる大前提とその適用限界を十分承知しておく必要がある。経験則は、あくまで経験則に過ぎない、とすることを銘記するべきである。

ところが現在の技術者は、その経験則が成立した時代よりも、遥かに大規模な構造物、苛酷な使用条件に耐える構造物を建設しようとしている。230 km/hr で設計し、実用化させ、経験した新幹線「ひかり」の技術経験は、270 km/hr

の「のぞみ」の技術開発に当たって大いに活用されたに違いない。それにも関わらず小事故が発生したとして、しばしばマスコミを賑わしている。経験則の適用範囲を越えた、いわば経験則の外挿であるから、この程度の小事故は、当然予定されたものと言うべきである。むしろ経験則の拡張に当たって、大事故を発生させないために極めて慎重に取り組んだ成果であると評価するべきである、と筆者は考える。

4. 経験工学としての河川工学の課題

あらゆる工学のうちでも特に河川工学は、経験工学と言われ、経験に基づく知見に頼っている部分が極めて大きい。その理由の第一は、流体力学の理論解を求めようとすれば、前述したように境界条件や初期条件が余りにも多く、非現実的である。

第二に河川工学の対象とする洪水の発生頻度が、他の工学の対象とする現象と比較して、極めて小さいことに起因している。その上、河川工学上重要な知見が得られる大規模な洪水ほど、発生頻度は一層小さい。

工学的な手法としては発生頻度の少なさを補うために、再現実験や模型実験が考えられる。しかし河川工学の宿命として洪水そのものを任意のときに発生させることは全く不可能であるから、再現実験は不可能である。

もとより実物大実験は、ほとんど不可能である。縮尺模型実験は、多用されているが、これは、ある限定された目的の場合に限られている。小縮尺の模型との間に相似率が解明されている現象については、模型実験が、大いに有用である。

しかし、重力と分子間粘性力とのバランスは、実物大と小縮尺模型では大きく異なっている。分子間粘性力の影響が大きい小縮尺模型実験の観察結果から、分子間粘性力の影響を全く無視できる実際の河川の洪水時の現象をすべて把握することは、全く不可能である。

またおよそ洪水時に河川内で流水、河床材料、築堤材料、立木、構造物等それぞれの、或いは相互間に働く様々の力を正確に把握して縮尺することは、不

可能である。従って予め予測の出来ない現象については、縮尺模型実験によって観察し、解明することは、不可能である。縮尺模型実験が応用されるのは、既往洪水の観察によって既にある程度解明されている現象の特性を、さらに詳細に解明しようとするときである。

なお誤解をまねかないために断っておくが、この議論は、小縮尺模型実験の限界について論じているのであって、近年広く行われるようになった基礎的な水理実験と理論を組み合わせる流体の基本特性を究明する研究手法について、即ち実物大を前提とした模型実験の妥当性を論じているのではない。

さてこのように、河川工学は、現実が発生することが極めて数少ない洪水という現象、他の工学に比較すると極めて観察頻度の少ない現象を、洪水時という極めて短く限定された時間内に観察し、その結果を基本にして構成しなければならないのである。即ち極めて少ない観察結果から、多くの経験則を抽出しながら河川工学を体系化しなければならないと言う制約を負っている。

そのために限られた洪水時の観察結果によって築かれた経験的知見によって構成される要素が極めて多く、河川工学は経験工学、といわれるのである。

とりわけ、対象とする洪水は、100 ～ 200年に1回というように極めて発生頻度が低く、且つ発生規模が極めて大きい洪水である。このような大規模な洪水を計画の対象として検討する場合に必要な経験則の基礎となるものは、既往洪水の実績である。既往洪水の規模は、計画の対象としているものと比較すれば、極めて小さい場合が殆どである。

従って既往発生洪水からの外挿によって計画対象洪水を推定することになる。経験則には一定の適用範囲がある。この適用範囲から外れれば外れるほど、推定結果には未知の要因が入り込んできて、その精度は、低下することになる。河川技術者は、扱っている洪水の現象が、経験則の外挿の結果であり、外挿により精度を低下させる要因が多く含まれていることを常に留意しておかなければならない。

5. 信頼性工学を河川工学に適用することの必要性について

我が国の電気、電子系の分野では、その製品の信頼性の向上と共に全世界の中でも最先端の技術水準を築き上げた。また機械、構造物系においても高度な信頼性が要求されているために、信頼性工学の研究が精力的に行われている。

JISによれば、信頼性とは「系、機器、部品などの機能の時間的安定性を表す度合い又は性質」である。日本材料学会編「実用信頼性工学」によれば、「信頼性とは所定の期間中、機能を遂行する度合い」のこととしている。

故障や破損が心身の損傷や人命の喪失につながる場合には、高信頼性は、安全性という観点から必要不可欠である。また心身の損傷や人命の喪失につながる場合であっても、故障や破損は物的損失、稼働率の低下、社会的評価の低下などをもたらし、これらは何れも経済的損失を招く。従って高信頼性は経済性という観点からも極めて重要である。

構造物の設計に当たって、使用材料の強度や作用する荷重などに不確定性が存在することを考慮しなければならないが、従来の設計手法では安全係数や安全率という経験的な係数を用いてこの不確定性に対処している。この場合破壊のメカニズムや力学的応答メカニズムが科学的に十分解明されていない場合であっても、経験的知見の蓄積に基づく技術者の主観的判断により設定してきた。安全率や安全係数は、工学の分野で、もっとも経験的知見を活用している典型的な事例であり、工学の特質を端的に示すシンボルといっても差し支えなからう。

さて経験的知見によって定められる係数、例えば安全率や安全係数（以下「安全率等」と呼ぶ）は、大きければ大きいほどその系、構造物は安全である。しかしその結果、莫大な費用が必要になって、そのため実現不可能になるとすれば、実用に供する事が出来ないので、無意味である。

また、定められた係数の範囲を逸脱するような場合、例えば「安全率等」で予定していた荷重よりも大きい荷重が発生した場合や、「安全率等」の前提としているものより強度が不足した材料を使用している場合などであっても、使用方法や操作方法によって破壊を免れることができれば、その系、構造物は、所

要の目的に適合しているということが出来る。従ってその「安全率等」は、実用に供して差し支えないということが出来る。また経験上からみても、その「安全率等」の適用の手法は、合理的であるといえる。

工学の分野では、荷重や材料強度のような不確定な要素を含むものを扱うに当たっては、工学の本来的使命である実用に供する事を最優先にして、経験的知見に基づき主観的に「安全率等」のような係数を決定してきた。その結果製造された系、構造物を実用に供する事が出来たか否かによって、その係数は工学上有意義なものとして採用されるか、無意味な物として棄却されてきたのである。

自然科学の観点から見れば、必ずしも合理的とはいえない場合であっても、与えられた社会的状況、諸制約を勘案して、実用上の都合、例えば、利用できる材料の普及状況、品質、価格や、作用する荷重に対して考えられる対応策の実現可能性の程度、経済性、対応策に対する投資限度等に支配される要素が極めて大きいのである。

「安全率等」は、このような要因の影響を受けながら、技術者が主観的に定めている。鉄やコンクリートの安全率を 1.7~4 とし、土の円弧滑り安全率を 1 としているのも、このような背景による。

しかしながら本来的には、主観的に定められる係数であっても、どの程度の範囲までであれば実用に供するための系、構造物が製造できるのか、実社会においてその系、構造物がどのような利用方法によって所期の機能を発揮できるのか、計画、設計の段階で予定していた範囲から外れるような異常事態になった場合にどの様に対処するのか、をも含めて検討されなければならない。

その上、使用材料の生産技術やその対応策を必要としている社会の状況、その系、構造物の破壊による災害の程度が、大きく変化しつつある。それぞれの「安全率等」を定めた当時としては、設計、計画の前提、社会的背景が、大きく違ってきており、さらに今後も尚一層変化していくことが予想されるのである。

今後は、新材料、低コスト材料の使用や、未経験の過酷な使用条件における設

計、計画が、増加するであろう。また、国民の安全性に対する要求は、一層強くなるであろう。

信頼性工学は、技術者の全くの主観的、総合的判断によっていた「安全率等」のような部分をも、さらに解明し、より合理的に理論化、体系化を図ろうとする技術分野である、と筆者は考えるのである。

信頼性工学では、現在のところ主として確率論的アプローチとシステム工学的アプローチが柱となっている。

まず確率論的アプローチでは、機械、構造物を設計する場合に、その使用材料の強度や作用する荷重等に不確定性が存在することに着目する。従来設計では、ここに「安全率等」を採用して、対処してきた。しかし今後はこのような経験的手法では対処出来なくなる。その理由として、今後は新材料、コストの安い材料が大いに使用されるであろう。また未経験の過酷な使用条件下でその機能を発揮しなければならない場合が増加することになるであろう。このような場合に安全係数を、主観的に決めるのは危険であり、ここに確率論を導入して不確定性を客観的に取り扱うことが必要となってきている。

次にシステム工学的アプローチでは、機械、構造物が多数の部品、部材や要素から構成されていて、個々の要素の故障が相互にどの様に関連して全体の機能に関連しているのか、また全体としての信頼性を高めるにはどうするのが効果的であるのかなどの判断を、一定の手順に従って系統的に検討しようとするものである。このような判断を直観的に行うのは、極めて困難であり、また局部にとらわれて無駄な努力をする場合もなしとしないからである。

河川工学は、経験工学と言われる。まずは多くの先達の河川技術者達が、貴重な経験を通して治水技術の体系化に努めてきた。その体系化に当たっては、先達の天才的な主観によった点も多かったものと思う。そして永い間、このような努力によって確立した伝統的な設計手法を温存して、そのまま引き継いできた場合が多い。

しかし、河川事業によって護られるべき河川流域の生命財産は、急激に増大している。先達の天才的な着眼点と、その主観的判断によって実用に供してきた

河川工学の基盤は、今や大変革を来たしている。河川工学が主観的判断によっていた部分については、より合理性のある体系化へ向けて再構築する必要がある。

近年、他の工学は、信頼性工学を導入することによって、飛躍的な発展を遂げた。河川工学も、また信頼性工学的視点を取り入れてその充実に努めなければならない時期に到達している。

なお、信頼性工学では、実用に供している期間とその期間における安定性、それに伴う経済性という視点がある。

しかし河川工学には、系、構造物の耐用期間という概念が希薄である。堤防は、極めて典型的な例であるが、半永久構造物と考えられている。今後この耐用期間については、大いに検討されなければならない視点である。