

国土開発保全工学領域の紹介

大阪大学大学院工学研究科
地球総合工学専攻 教授

青木伸一

1. はじめに

筆者は、1981年に阪大工学部・土木工学科を卒業、同大学院修士課程を修了した後、土木工学科の助手に採用となり、1993年まで10年間阪大に勤務した。その後、愛知県の豊橋技術科学大学に転任し、今年4月に再び母校に戻る機会を得た。懐かしい学生・助手時代の思い出と重ねながら、当時より緑が多く美しくなった吹田キャンパスでの生活を楽しんでいるが、一方で、退職までに与えられた10年あまりの時間に何ができるだろうか、何をすべきなのか、と自問することも多い。そんな折、筆者を教育・研究の道に導いて下さった恩師、榎木亨先生（名誉教授）が逝去されたことは誠に残念であった。今は先生のご冥福をお祈りしつつ、榎木先生・出口先生と続いた伝統ある研究室を引き継いだ責任を重く感じているところである。

およそ20年ぶりに身を置くことになった阪大は、当時の土木工学科が「地球総合工学科・社会基盤工学コース」という長い名前に変わっていて、女子学生も多くなっていたが、昔のままの建物であることも手伝って、特に違和感はない。しかしながら、学生に教えるべき土木工学という専門分野の中身は、近年大きく変化している。私が学生として教壇の先生を見上げていた1980年前後は、まだ高度経済成長時代の慣性力を残しており、本四架橋・青函トンネルなど、国家プロジェクトとしての土木工事に憧れていた時代であった。ところが、バブル後の経済停滞や環境意識の高まりを背景に、今では「土木」という言葉すらエコに思えるほど様変わりしており、教壇の上では学生時代に教えられたことと正反対のことを話している自分に気づくこともある。確かに当時に比べれば、大きな土木事業は少なくなり、土木業界の勢いや仕事量は減っていて、土木の仕事の面白さをストレートに伝えるにくい面はあるが、逆に土木技術者（Civil Engineer）に求められる能力の範囲は格段に広がっており、個々の技術者の能力を発揮できる場面が広がっているように思う。「コンクリートから人へ」という政治ス

ローガンも今となってはむなしく響くが、皮肉にも土木の近年の変化を表している言葉でもある。

2. 国土開発保全工学とは何か？

さて、筆者の研究室「国土開発保全工学領域」はいかにも堅苦しい名前である。なじみ深い「海岸工学研究室」といった呼び名の方がしっくりくるし、他大学ではそのような名前を名乗っているところが多い（実は本研究室も通称は海岸研である）。では、なぜ海岸工学（Coastal Engineering）が国土開発保全工学なのか？言うまでもなく、我が国は平地が狭く、都市の多くは沿岸部に発達している。東京はもちろん、20の政令指定都市のうち、海岸線を持たない都市はわずか4市（札幌・京都・さいたま・相模原）に過ぎない。事実、我が国の戦後の経済成長は臨海工業地帯や港湾といった沿岸域の開発に寄るところが大きかった。沿岸海域の利用も高度に行われており、漁業や海上交通はもちろん、海上空港などの大規模な空間開発や廃棄物の最終処分場も海域に求めている。一方で、沿岸域は自然災害に常にさらされている地域でもあり、洪水・高潮・津波などの災害から人命と国土を守ることは土木工学の大きな使命でもある。このように、国土の開発や保全は沿岸域を中心に行われてきた歴史があり、その技術的な基盤を土木が支えてきたと言える。

そう考えてみると、我々の研究室に与えられた「国土開発保全工学（Land Development and Management Engineering）」というネーミングも悪くない。

3. 研究室が取り組む課題とその背景

以下では、研究室が取り組んでいる個々の研究テーマやその成果の詳細よりも研究の背景、すなわち我が国の国土開発保全に関するいくつかの課題を主に紹介し、今後の研究の方向性について私見を述べてみたい。

(1) 海岸保全と土砂管理の問題

まず、現在の海岸の問題を象徴的に表す写真をご覧ください。写真-1は、筆者が20年近く勤めた豊

橋の遠州灘海岸で早朝に撮られた写真である。この海岸では、毎年夏にアカウミガメの上陸・産卵がみられるが、この写真には海岸におかれた消波ブロックがカメの上陸を何度も阻止したことを物語る足跡（タートルトラック）が痛々しく残っている。「国土」が、単なる土地だけでなく人間を含めた生態系やそれを取り巻く環境全体を表すとすれば、国土保全とは、海岸線を力づく（消波ブロックのようなハードな構造物）で守ることだけでは達成できないことを暗示する写真である。写真-2は我が国の海岸によくみられる光景であり、離岸堤や突堤と呼ばれる海岸構造物で砂浜が守られている様子を示している。日本の砂浜は毎年100ha以上消失していると言われ、沿岸の防災力の低下や海浜環境の劣化を引き起こしており、海岸侵食の防止は我が国の国土保全における大きな課題である。土木工学の一分野としての海岸工学は、この海岸侵食問題が契機となって生まれ、発展してきたと言っても過言ではなく、写真のような構造物を用いた侵食対策技術には、多くの研究者や技術者の知恵が結集されている。しかしながら海岸侵食の問題は、もとを正せば山や川にその原因を求めることができる。砂浜を形成する土砂は山から川を通して流れてきたものであり、海岸にもともとあったわけではない。すなわち、海岸

侵食は本質的に海岸だけでは解決できない問題であり、流域圏全体の土砂問題としてとらえる必要がある。

山間部での重要な土砂問題の1つは土砂災害の防止である。土砂災害対策は、山腹崩壊などによる土砂生産を抑制すること、および生産された土砂の流下を抑制することの2つを基本としており、これらの対策は山地から河川への土砂供給量を急激に減少させることになった。流域圏全体で見れば、土砂生産域での流出抑制は、海岸まで含めた下流域（流砂系）の土砂環境を大きく変化させ、影響の大小はあるものの、海岸侵食などの問題にも関係している。

河道内の土砂環境は山（土砂生産域）の影響を受けるが、河道内で発生している土砂問題もある。その最も大きなものは、ダムによる流下土砂の遮断である。ダムには、土砂そのものの流下阻止を目的に上流域に建設される砂防堰堤と、水資源の確保や水力発電（利水）および洪水対策（治水）を目的に建設される貯水池があるが、いずれも土砂の流下を遮断する構造物である。これらに加えて、河川の土砂を建設資材として利用するための河道内土砂採取も土砂環境に大きな影響を及ぼしている。ダム建設と行き過ぎた河道内土砂採取によって海岸への土砂供給が減少し、海岸侵食が生じている例は至る所で見られる。



写真-1 タートルトラックと消波ブロック
(NPO法人表浜ネットワーク田中氏撮影)



写真-2 離岸堤と突堤(土木学会スライド集より)

一方、沿岸域の利用や防護を目的として建設された種々の構造物によって海岸を動く土砂が捕捉され、海域での土砂の流れにも不均衡が生じている。特に、我が国の海岸線の8.5kmに1つの割合で存在する4,000を越える一般港湾や漁港は、沿岸での波による土砂輸送を遮断し、各地で周辺海岸の侵食を招いている。このような海岸における土砂輸送の遮断・不均衡も海岸侵食の原因となっている。

海岸侵食対策に対する従来の考え方は、構造物によって土砂を静的に安定化させようとするものであ

る。すなわち、海岸での土砂の輸送を抑えることによって侵食を防ごうとするもので、写真-2に示した構造物はこれを目的としている。構造物によって土砂を静的に安定化させようとする技術は、局所的には目的を達成しやすいが、広域での土砂の輸送を考えれば、構造物の設置は土砂の流れを遮断することに他ならず、近隣の海岸に新たな海岸侵食を誘発してしまい、恒久策にはならない。さらには、写真-1に示したように、自然海岸に設置された人工構造物は、例えば構造物周辺の流れや地形・底質の変化、生物の生息環境の連続

性の遮断などによって、海浜生態系を乱す要因となっている。

山から海にもたらされる土砂は、沿岸域の地形を形づくってきただけでなく、内湾の環境とも関係が深い。三大湾や有明海で見られるように、高度経済成長期に消失した内湾域の浅場や干潟は、内湾の水質や生態系に大きな影響を与えたことが明らかになっており、内湾再生のために、失われた干潟・浅場の再生を行っているケースもみられる。また、土砂は栄養塩など様々な物質の海への輸送媒体としても重要な働きをしているため、場の喪失だけでなく、土砂の流入そのものが重要であるとの指摘もある。

以上、山・川・海のそれぞれで生じている土砂の問題を述べるとともに、土砂管理の必要性を示した。これらの多くは、局所的な対応で解決できる問題ではなく、流域圏（流砂系）全体で総合的に考えなければならない問題である。土砂管理を実施する上での技術的な課題としては、(1) ダムから効率的・連続的に排砂するための技術、(2) 河川の治水機能や河川生態系への影響の評価法、(3) 海岸での土砂移動と地形変化の精度の高い予測、(4) モニタリングと予測モデルを組み合わせることで海域の地形変化に適切に対処できる順応的土砂管理技術、(5) 海浜地形の自然な変動を許容した上で防災力が確保されるような海岸管理法、などが挙げられる。構造物によるローカルな対応を主とする従来型の土砂対策技術は、求められる機能が明確であったため技術開発が進んだ面があるが、総合的な土砂管理という視点で改めて既存の技術を見直してみると、その機能評価や精度に不備な点が多い事に気付かされる。

阪大の海岸研究室では、榎木先生の時代から、海岸での土砂の動きとその制御に関する研究に長年取り組んできたが、今後はさらに国土の開発保全という広い視野で、上述したような土砂管理に資する研究課題に様々な側面から取り組んでいきたいと考えている。

(2) 沿岸域の防災と防護構造物の問題

昨年の東日本大震災では、いわゆる「想定を超える」津波によって数多くの海岸・港湾構造物が被災した。筆者も何度か被災地を訪れ被災状況の調査を行ったが、海岸堤防などの防護構造物が無惨に破壊している状況を目の当たりにし、沿岸防災に関わる研究者として、改めて自然の力の大きさと人工構造物の無力さを

思い知らされた。その後の広範な被災状況調査の報告を見ると、これらの防護構造物の破壊と背後地（堤内地や港内）の被害の程度が強く関係していることが明らかになってきた。すなわち、防護構造物が壊滅的な破壊に至ったケースでは、背後地に甚大な被害が発生している反面、構造物の被害が最小に留まっているケースでは、津波の侵入はあっても、被害の程度は相対的に小さいことがわかった。すなわち、津波に対する海岸堤防や防潮堤の設計においては、設計津波に対して破壊しないような構造とすることは当然であるが、津波防災上の機能を考えると、設計レベルを超える津波に対して堤防がどのように振る舞うかを十分考えておくことは極めて重要である。例えば設計津波を超える津波が来襲し、堤防を越流する状況になっても、破壊に至らないような堤防の設計が求められる。震災後は、設計レベル以上の自然外力に対して、直ちに破壊に至らない「粘り強い」構造物を実現させることが重要であるとの認識が高まり、防護構造物の被災メカニズムに関する研究が始まっている。

構造物の設計に当たって、破壊や損傷の発生メカニズムを詳細に検討し、事故発生時のフェールセーフ機能をもたせることは、人命に関わる自動車・船舶・航空機などの設計においては、すでに取り入れられているにもかかわらず、人命の安全だけでなく生活基盤の防護に直接関わる重要な土木構造物である海岸堤防や防波堤の設計において、そのような配慮がなされていなかったことは極めて大きな反省点である。海岸堤防や防波堤は、そのほとんどが重力により安定する構造形式であり、静的な構造物（地震以外では動くことを想定していない構造物）とみなされている。このような構造物に対しては、確率的な概念として設計基準を超える外力を想定してはいるが、単に想定しているだけで実際の構造物の設計法に反映されていないのが現状である。すなわち、実務設計は静的な釣り合い条件に基づいて行われており、設計外力に対する安定性のみが照査されている。したがって、性能設計が取り入れられるようになっても、設計者としては、設計レベルよりも大きな外力に対する構造物の性能（破壊時の性能）に配慮する必要がなく、たとえ配慮が可能であっても、その有用性をコスト面で評価される仕組みがないために実務設計に活かされない。まずこのような設計思想を転換することが必要である。

当研究室では、荒木准教授が中心となり、津波に限

らず海岸構造物の被災メカニズムや設計レベルを超える外力に対する構造物の応答に関する研究を行っている。今後は、破壊メカニズムの研究に加えて、破壊時の性能に優れた構造物の研究開発も必要であろう。たとえば、構造物の破壊時の運動に対して抵抗が最大になるような構造形式を考案することなどが考えられる。このようなアプローチから、従来の堤防や防波堤の概念を大きく変える新しい構造形式が生まれてくる可能性もある。

あらためて我が国の沿岸域に目をやると、我々が住んでいる都市域の多くが海岸堤防や防潮堤によって守

られていることに気付かされる。海岸線から距離のある都市の中心部も河川を通して海とつながっていると多く、河川堤防によって守られていることを認識しなければならない。戦後、台風や豪雨などの多くの自然災害に立ち向かい、それらを土木技術で克服してきた我が国にあって、「土木構造物の壊れ方」を研究することはタブーであったかもしれない。しかしながら、東日本大震災や先日ニューヨークに大災害をもたらしたハリケーン・サンディの例を見ても、現代の都市の防災力を直視し、災害と正面から向き合っていくことが重要であろう。



写真-3 津波で倒壊した海岸堤防

4. おわりに

土木分野はいま大きな転換期を迎えており、「開発」の時代から「開発と保全のバランス」の時代へいかにして舵を切るかという社会の要請に応える責務を負っている。また、「災害制御」の時代から、「災害との共存」の時代への転換も果たさなければならない。そのために、大学は次世代を担う土木技術者を社会に送り出す責任がある。筆者の学生時代を思い出せば、与えられた研究テーマに取り組む過程を通して、また研究室の先生や学生との付き合いを通して、少しずつ社会に出るための準備をしていたように思う。その意味では、研究室の人材養成における役割は決して小さくない。学生が土木技術者としての素養を身につけ、自信を持って社会に出て行けるような研究室の環境を整える必要がある。

そのような目で最近の研究のスタイルを見ると、研究を通じた実体験が少ないように感じる。当研究室の

ように、現実の社会問題や自然現象を研究対象とするところでさえ、ともすれば現場や現象をしっかりと見ずに研究を進めている場合も多い。インターネットや計算機のめざましい発達、科学技術の世界を大きく変化させているが、このような環境が整うほど皮肉にも教育が難しくなる面も感じている。情報技術の発達が、実際の問題や現象を自分の目で見極める力や、基礎から積み上げて目的を達成するようなプロセス体験型の研究から学生を遠ざけているとすれば、人材の育成という意味では必ずしも理想的ではない。様々なコミュニケーションツールの発達により、逆に人のコミュニケーション能力が衰えていることや、防護構造物の整備により防災対策が充実すればするほど個人の防災力が低下するなどの例をみれば、科学技術とはそもそも、そういう2面性を持つものなのかもしれない。

(土木 昭和56年卒 58年修士)