

土木工学：社会資本形成を担うエンジニアリング

武蔵工業大学 都市基盤工学専攻 吉川弘道

6/11/2004

1. 土木工学とは。-----その役割と領域

1.1 土木工学の定義

土木工学とは、我々市民の生活基盤、その国の社会資本 (infrastructure) 整備についての、計画・設計・建設・維持管理に関する総合工学と考えることができよう。社会資本であるがため、市民の生活を支え、もって生産活動に間接的に機能する公共的資本ということになり、もう一つの固定資本である生産資本 (民間資本) と対比される。

土木工学は英語でいうと Civil Engineering、従事する技術者を Civil Engineer と呼ぶ。また、ASCE (米国土木学会) によれば、土木工学は、「これまでの学問、経験、実践を通して得られた数学と物理学を応用し、種々の材料・資材と自然の力を駆使し、自然環境を防御・改善し、市民生活、産業、通信の諸施設を供与することによって人類の発展的な福祉に寄与する専門的学問分野である。」のように定義されている。ここでは、数学と物理学に基づいた工学ということが強調されている。さらに加えるのであれば、土木工学は地球と自然を相手にするもので、その土俵を、今様に言えばウオーターフロント、ジオフロント、そしてスペースフロントと呼び、我々人類のフロンティアスピリットを喚起することも土木の魅力であろう。

土木事業はまた古くから興り、地域・国家の文明の発展、民族の栄華を下支えしたことは言うまでもない。黄河、ナイルなどの大河流域に隆盛した古代大文明は治水事業に支えられ、まさしく「水を治むる者、国家を治む」であった。これはまた、「治山治水を全うした国家のみが、今歴史に名を留めている」と解釈すべきか。我が国においても、完璧な計画都市、平城京、平安京や城壁、防塁をはじめ、陸路・水運の整備、開拓、開墾、灌漑・農業水利、風水害対策など、当時の社会資本 (インフラ) が今では歴史的所産として残っているものもある。時の権力者・為政者は、形態の違い、程度の差はあっても、土木事業 = 政 (マツリゴト) であった。時として、大土木事業はその強大権力を誇示するかのようでもあった。なかんずく地震水害との闘い = 国家事業という構図は、古代より今日現在まで続いている。中世以降戦国時代の傑出した武将は、そのまま優れた土木事業者であり、信玄堤、大閣検地のごとく土木史に名を残すものもある。

土木工学の目的が、主として公共目的であることから、しばしば Civil Engineering (土木工学) が Military Engineering (軍事工学) と対比されることがある。両者とも、例えば、架橋技術を取り扱うが、公共耐久材としての橋と、軍事上の理由で建設される橋とでは、その目的と仕様は自ずと異なり、しかるに両工学は異なる工学ということになる。

土木工学はまた、建築工学とも対比され、両者は似て非ならざるところがある。建築工学は、主とし

て人間が住み 集う所、建築物を対象とするもので、社会基盤施設を取り扱う土木工学とともに同じビルエンジニアリングとしての範疇にあると言える。また、構造解析、耐震技術、材料施工など、個々の固有技術についても共有することは多い。

土木工学は土木事業の全般を対象とし、土木事業は主として公共工事を意味し、建設された公共施設は社会基盤 (infrastructure) として機能する。土木事業は、公共性が高いこと、数学科学を駆使するが、地球と自然を相手にすることから、理論理屈だけでは解決しない経験工学としての側面も時として強調される。近年の土木工学は、瀬戸大橋、青函トンネル、関西空港などの歴史的巨大土木事業を完成させ、また、解析技術の高度化、コンピュータライゼーションなど、その革新期でもあったと言える。しかし、一方では、公共工事に纏わる贈収賄などの不正事件によって、土木事業のきわめてネガティブな面を露呈し、また、阪神淡路大震災では、土木工学のハイテク技術が発揮されるはずの耐震技術 防災技術が未だ不十分であったことを思い知らされた。21 世紀への世紀変わりの今、土木工学はその隆盛にあるとともに、一方では、改めるべきを改める時期、今一度足元を固める時期でもある。

1.2 土木工学の分類と隣接 (学際) 工学

[土木工学の分類] 上記のような定義に従うと、土木工学の取扱う領域は広大なものとなり、事実、近代土木の足跡を辿るとかなりの分野 領域に及ぶこととなる。土木工学・土木事業の原論 総論に関するいくつかの成書によると、土木工学は、まず次のような分類によって整理することができる。

a. 対象施設による分類：

交通・運輸・通信施設、国土保全施設、生活環境施設、防災施設、
資源・電力エネルギー施設、農業水利・漁業施設、共通基盤施設

b. 建造される構造物による分類：

橋梁、トンネル、ダム、地下構造物、海洋港湾構造物、宇宙構造物

c. 用いる材料による分類：

鋼材、(鉄筋)コンクリート、地盤材料、石材・木材、

d. 手順 (プロセス) での分類：

調査企画、設計・積算、施工・建設、運営・維持管理

また、土木工学を他の工学分野と対比し、その特徴をピックアップすると次のようにもまとめることができる。

- (a) 公共性が高く、民間資本では通例対象とされない。
- (b) 自然を相手にし、地上・地中、海上・海中に建設される。
- (c) 受注一品生産であり、大量生産とはならない。
- (d) 一つの施設が大型であり、耐久財である。
- (e) 事業そのものが、雇用拡大、需要創出の経済効果をもつ。

[学際領域]

このような土木工学の体系を考えると、いくつかの隣接工学や学際分野と共有することは容易に想像されよう。まず、土木事業では、程度の差こそあれ機械工学、電気工学など基本工学分野と共同作業となることがほとんどである。古くは水力・火力の電源開発、新しくは原子力発電所の建設など。さらに、農業工学、海岸工学、建築学、都市工学などと共通技術は多く、相互乗入れが盛んである。自然地盤を掘削するということで鉱山資源工学、都市計画と各種施設を扱うことで建築分野と席を同じくすることが多い。土木工学では、材料と施工がハードウェアの2大要素となるが、前者については、材料科学の知恵を借り材料革新の恩恵に浴したことしばしばで、長大吊り橋などの近代橋梁の発展は新材料の提供なしには考えられない。施工技術については、施工機械の革新がそのまま施工法の進歩でもあり、戦後の近代土木は機械化施工・合理化施工の歴史でもあった。

また、コンピュータの発展と普及は、解析シミュレーション技法、作画、管理、データベースなど、土木工学のソフトウェア技術を一変させたことは、他の工学分野と変わることはなく、現在ではコンピュータなしには何事も進まない。さらには、計算力学、材料力学、流体力学、計画統計学などの基礎学問として多くの工学分野と共有する。

2. 21世紀における土木工学-----

新世紀21世紀においても、社会資本の整備・維持管理が重要かつ不可欠であることに変わりはなく、これを支援する土木工学の役割が一層期待される。しかしながら、ある程度社会資本の充実期を迎え、かつ社会構造、産業構造の変化のなか、土木工学もその方向修正を求められ、またみずから様変わりする必要がある。たとえば、社会資本の新規整備に加えて既存施設の維持管理の比率が増すこと、高齢化社会、情報化社会への対応が必須条件となり、また、環境問題の解決、都市防災の再構築は今世紀に積残された宿題であった。

ここで、新世紀における土木工学のあるべき姿、青写真をつぎのような4つのキーワードに従って考えてみたい。

2.1 持続可能な開発と整備。-----社会資本のリサイクルを目指して。

21世紀には、我が国においてなお600兆円の社会資本整備が必要と言われるが、前世紀特に戦後建設した各種公共施設は老朽化し補修期を迎え、かつてない程の維持管理費用が必要となる。鉄道、電力など準公共施設もいくつかは更新期を迎える。このため新設一辺倒であったこれまでの土木事業の方策を改める時期にきている。このときのキーポイントとして、環境問題への配慮が以前に増して重要となり、さらに積極的に考えれば、土木構造物の自然環境との共生という発想が不可欠である。

経済成長のボトルネックの解消としての、経済刺激効果としての、または雇用拡大としての資本投下の時代は終り、人にやさしい、環境と共生し得る土木構造物、耐久的でアメニティに満ちた公共財が要求されるが、一方では、低経済成長、高齢化社会という条件下でこれらを達成しなければならない。

さらに重要なことは、2,3世代もしくは1世紀の単位で考えれば、固定資産(ストック)となる土木公共財構造物も、未来永劫人類が存続するという大前提で考えれば、社会資本の新設・廃棄・新設とい

うサイクルを常に考えなければならない。これは、例えば、寿命を迎えた瀬戸大橋の架替えなどまだだれも想像だにしていなかったし、また原子力発電所のデコミッションングのようにすでに顕在化しているものもある。したがって、これまでのように税金の配分・予算化もしくは初期投資によって完成すれば、あとは維持費だけを考えればよいということではできない。これは供用中の資金回収といった超ロングレンジでの、社会資本のリサイクルの確立が不可欠となる。後の世代にツケを残さないということが必要条件となる。少なくとも、サミットで採択された"持続可能な発展 (Sustainable Development)" という観点からの、社会資本に対する問題提起と議論喚起は必要であり、土木工学の新しいテクノロジーが生み出す斬新な解決策が期待される。

2.2 社会構造の変化への対応。-----低経済成長、情報化社会、高齢化社会

上記の問題と関連するが、土木工学は、前世紀末からすでに始まっている社会構造の変化への対応を余儀なくされる。これまでの好景気の再来は望むべくもなく、低経済成長下での原資の低下はやむを得ず、かつこれまでの土木事業の民活や第3セクター方式も限られたものとなろう。情報化社会にあっては、土木工学にあってもプラスの要素が大きく、時代のキーワードである。土木施設には、その施設の目的に応じた情報化機能を保持させることが重要となり、そのための新しい付加価値の創出が求められる。

また、高齢化社会に際しては、これまでの土木施設の仕様、使い勝手などを、ユーザの立場からもう一度見直す必要がある。

2.3 防災工学、都市工学の再認識と再構築。

近代の自然災害なかんずく大地震による震災によって、土木工学の老舗ともいべき防災工学、とりわけ都市防災に対する根本的な見直しを迫られている。例えば、これまでと同じ規模の地震や台風であっても、ひとたび大小の都市に襲えば甚大な被害をもたらすことになる。これは、尊い人命の損失のみならず、物的な被害も膨大な被害額にのぼり、これまではなかったことである。現在の都市は、防災という対自然に対するガードは脆弱であり、過密化の速度がかくも早過ぎたことは否めない。

このため、震害や風水害に対する個々の防災技術をさらに高度化することはもちろんのこと、これらの既往技術を(過密化した)都市システムへの適用という観点からの再構築が肝要であり、土木工学が中心な役割をなすべきである。リスクという概念の再認識と定量化が急務である。

2.4 国内・国外のビックプロジェクトへの参画と始動。

前世紀末に完成したユーロトンネル(英仏海峡トンネル)は、国際的的巨大プロジェクトが真に実現し得ることを示唆するもので、21世紀では、これまで懸案となっていたいくつかの大プロジェクト実施の気運が熟してこよう。これまでは、半分絵空言であった巨大プロジェクトが、国際的なインフラ整備の必要性から、技術上のイノベーションから、新しい開発コンセプトから、国際的な採算性から、開発途上国への援助という目的から、数は限られるが十分な必要性和実現性を持つものである。このような国際的的巨大プロジェクトは、たとえば、古くは第2パナマ運河、ジブラルタル海峡大橋、また近年ではベーリング海峡トンネルなど、さらには宇宙開発としての月面探査基地の建設など、枚挙にいとまがない。これらは、また我々人類の夢を育むものであるが、一方ではグローバル・スーパー・プロジェクト(GSP)として、その開発意義とフィーザビリティが真剣に議論されている。

このような机上で立案された大計画は、それを実現するためには、まさしく土木工学の出番となるが、従来型の土木工事とは異なる、いくつかの特徴をまず認識しなければならない。

- (a) 計画立案、設計、建設といずれも膨大で複雑なプロセスを踏むもので、総合的で一貫性のあるプロジェクト・マネジメントが不可欠となる。
- (b) 巨額な事業費を必要とすることから、資金調達から施設運営、資金回収といった企業的な検討が必要となる。なによりも、一体誰が事業主体となるかをまず考えねばならない。さらには、事業主体、投資家、受益者がだれか、公共性と企業性との兼合いも重要な要素となるであろう。
- (c) 最終的には、巨大構造物に対する解析設計技術、建設技術、材料開発など、ハードウェア上の障害がクリティカルとなることが考えられる。現在のテクノロジーで、支間 10,000 m の超長大橋梁を建設し得ることは不可能であるが、逆説的ではあるが、それが 21 世紀に達成されないとは誰も断言できない。
- (d) 一つのプロジェクトが、国境を越え、複数国にまたがることから、文化、歴史、言語の違いを克服しなければならない。これは、少なからず各国の利害調整という側面を持ち、時として政治的な問題ともなるが、我が国の不得手なところでもある。

さて、このような面を土木技術者がすべて担う必要はないが、幸い我が国では、既に瀬戸大橋、青函トンネル、関西新空港を矢継ぎ早に竣工させ、世界最長となる明石海峡大橋の勇姿は、我々日本国民の誇りである。しかるに巨大土木プロジェクトに対する多くの先端技術とノウハウを身に付けつつあり、日本は世界の先達となることが期待される。

このような国際的巨大大プロジェクトは、野心的なファンタジーから、すでに計画が成熟し、資金調達が開始されているものもある。とくに、東アジアにおける開発プロジェクト(単一国の産業インフラの整備から、メコン川流域開発、アジア情報ハイウェイなど)が、具体的なターゲットとなり、わが国土木技術の国際的貢献が期待される。

また、国内に目を転じると、総事業費が 1000 億円を超えるプロジェクトが、全国で 100 件近くあるとも聞く。したがって、国内の事業、国外の事業という見方ではなく、いかに合理的に、安全に、経済的に、その土木プロジェクトを敢行させるかという観点が重要ではないか。