

21世紀を担う技術開発と土木工学

横浜国立大学 池田尚治

1. 土木工学について

土木工学は、Civil Engineering の日本語名称である。Civil Engineering は、Military Engineering (軍事工学)と相対する用語であり、直訳すれば民事工学となる。日本ではこれを土木工学と称しているが、土木という言葉の印象から現実の土木工学のイメージを描くことは仲々容易でなく、必ずしも世の中で土木工学の実像が認識されているとは言えない。

20世紀における科学技術の急速な発展とその適用によって、地球規模での環境や資源の問題が第一義的に重要であるとの認識がされるに至ってきたが、近年は更に急速な情報、物質および生命に関する革新的発展と経済活動の国際化、金融のグローバル化などにより、総合的な社会システムに関する画期的な技術発展が必須であると思われる。開発による地球の砂漠化や地球温暖化、都市直下型地震や都市近傍での噴火による災害、ダイオキシン等による環境汚染、など現代文明の解決すべき問題が山積している。これらの問題点を Civil Engineering "民事工学" の観点からシステムチックに対応することが現代の土木工学の使命であると考えられる。

川を治め、山を治め、道や港を造り社会活動の基盤を造ってきた土木工学は、極めて伝統的なこれらの分野を現代においても支えているが、周辺科学技術の急速な発展がそのままこれらの伝統的な社会基盤整備の分野に活用されると共に、一層高い視点から社会システムを構築する学術を追究することが必要なのである。

名は体を表すと言うが、土木工学という名称は現在では体を表わしにくくなつた名称と言わざるを得ず、Civil Engineering 本来の名称に発展させることが、先ず21世紀を担うこの分野の仕事であろう。現代は人工物の時代であり、これを形成するのが人工の社会基盤構造物とそのシステムである。これを担っているのが土木工学であることから、Civil Engineering の名称を建設システム工学あるいは社会基盤システム工学とするのがよいものと思われる。

2. 社会の変化

現在の少子化がこのまま進めば、千年後には、現在1億2千万人の日本の人口が約3,000人に減少し、西暦3500年後にはついに人口はゼロとなる推計結果が発表されている。1人の女性が平均1.4人の子供を生むとして、現在の少子化の状況が今後全く同様にこれから千年続くとしての話であるが、少子化問題が如何に深刻な事柄であるかが伺われる。少子化問題は、一部で環境汚染による生物学的

問題として取り上げられているが、恐らくその本質的原因は現在の社会生活のシステムによるものと思われる。わが国が、今後、環境問題を解決しながら活力ある発展を遂げるには社会生活のシステムを見直し、少子化傾向を解決することが必須である。その社会生活のシステムのハードな部分を担うのが、社会基盤施設であることは当然である。恐らく、新しい世紀の最大の課題はこの問題であり、この努力によって次の次の世紀には、安定した持続的発展が期待できるものと思われる。ある意味で、地球人口の爆発に対する危険は、人類自身の少子化手法によって解決を見たのではないかとも思われる。

いずれ少子化問題は解決されるにせよ、21世紀中には少子化のベクトルの影響を直接受けることになるので、老人問題が顕在化していく筈である。この問題についても、過去にない問題に遭遇するのであって、新世紀を担う新しい技術開発の根本的なターゲットになり得るものと考えられる。例えば、老人専用の都市を建設するとか老人の雇用を中心とした老人用社会基盤施設の維持業務の開発などは、マスメディアと共に検討していかなければならない問題と思われる。少子化と長寿化が同時に影響を及ぼすのが21世紀であり、少子化は人類の人口問題に対する意図しないリストラクチャリングであるとも考えられる。

3. コンクリートの役割

建設分野が中心になって取り組む問題に環境と防災があるが、現在でも全く自然のままの環境はほとんどなく、大部分が人工環境である。自然災害も河川堤防の決壊や地震による橋梁や建物の破壊などであって、ほとんどが人工物の被害である。これらの人工物を形成する主材料はコンクリートであるので、コンクリートに関する技術開発は極めて重要である。次世紀は人口がある程度減少することとなるので、コンクリートで造る社会資本は良質で長寿命のものであることが求められる。

一方、コンクリートを構成する素材は、骨材の品質やセメントの品質等が今後の環境問題に大きく影響されてくるものと思われる。しかしながら、コンクリートは常温常圧で硬化するため、工場での厳格な品質管理や高度な設備がなくとも硬化することが可能であるので、その品質を高く保つことが必ずしも容易でなく、また、その耐久的な品質は即座には判定し難い。そこで、今後のコンクリートの品質を長期的に信頼のあるものとするためには抜本的な対応が必要であると思われる。新幹線鉄道トンネルの中でコンクリート片が落下して、走行中の車両を直撃した事実は記憶に新しいが、このようなトラブルの発生はコンクリートの問題点のごく一部であって、社会はもっとコンクリートに関心を示す必要がある。また、単に関心を示すだけでなく、建設部門の関係者は真剣にコンクリートの長寿命化について研究をすべきである。それには建設関係者が中心となって、総合的なコンクリート研究所を設立することが望まれる。21世紀以降を十分に支える

ことのできる技術開発のひとつとして、ここでは、コンクリートに関する総合的な研究所の設立を提案したい。技術開発は経済的竞争がインセンティブとなって今まで進められてきたが、新しい世紀では、地球規模のグローバルな経済性を目標として実施されるべきであり、コンクリートをはじめとする社会基盤技術の一層の発展が望まれるところである。

4. プレストレストコンクリートの発展

コンクリートに予め圧縮力を導入して外力に抵抗するプレストレストコンクリート（PC）が今後一層社会基盤の構造物に用いられるものと思われる。

次世代PC技術を支える新しい技術開発として、要望される基礎技術を思い浮かべると次のようなものがある。

- ①形状記憶型補強材の開発
- ②超高性能コンクリートの開発
- ③超高強度緊張材の開発
- ④超耐久的緊張材の開発
- ⑤インテリジェントPC技術および高機能PC技術の開発
- ⑥力学教育型PC技術の開発
- ⑦リサイクルPC技術の開発
- ⑧環境低負荷型PC技術の開発

次世代PC構造技術の展望にあたっては、過去から現在までのPC構造の世代の移り変わりを眺めることも興味深いことである。PCは1880年代にジャクソンとデーリングがそれぞれ独立して特許を得たことから始まったが、使用材料の強度や性能が十分に高くなかったために実用化するには至らなかった。これ以前にPCの考え方があったくなかったかというと必ずしもそうではないようである。石造のアーチ橋はアーチリブにプレストレスが自重によって導入されることから、PCの原点はむしろ古代の石造アーチ橋に求めることができよう。しかも石材を石切場でブロックにして運搬し、これを継げて強固なアーチリブを形成するのであるからプレキャストセグメント工法の原点であるとも言える。

以上に述べた石造アーチ構造は第1紀のPC構造物と言えるものと考えられる。

次に登場したのがプレストレスなしで架構のできる構造、すなわち鉄筋コンクリート構造である。アーチ構造のように両端部からの固定水平反力が必要なことは画期的なことであり、これを第2紀のPC構造とも位置づけられよう。これに伴って鉄骨鉄筋コンクリートや鋼コンクリート合成構造も登場してきた。

このように考えてみると現代のPC構造は第3紀の構造であると位置づけられる。1880年代にPCに関する特許が出てから1928年にフレシネーの特許が出るまでの間を第3紀における第1世代とするならば、プレストレス技術の第2世代はどこまでと考えられるだろうか。フレシネーはすでにマルヌ川の橋梁架設でプレキャストセグメント工法を全面的に採用しているので、現在わが国でようやく普及してきたプレキャストセグメント工法は当然第2世代に属している。外ケー

ブルについてもドイツでは当初から用いているので、これも第2世代に含められよう。

ここであえて第3世代のPC技術として分類するならば、ひび割れ幅制御を基本とするパーシャルプレストレスの登場、波形鋼板ウェブや鋼トラス材を用いた複合構造の登場、およびエクストラドーズド橋の登場、などの始まった1990年頃からが現在の世代として位置づけられよう。コンピューターの活用によるCGや情報化施工もこの世代に発展した技術である。したがって次世代PC構造物を展望するに際しては、PCとしての第4世代を想定すればよいものと思われる。第3世代である現世代は恐らくこれから10年は少なくとも続くと思われるので、第4世代PC技術は西暦2010年頃から登場するものとして頭に描けばよいのである。

第4世代PC技術を支える技術は前述に列挙した事柄が中心と思われる。そこで、これらを念頭に置き、2010年頃の時代背景を考えるならば、PCが省資源、かつ省エネルギーの構造形式としての認識が確立し、使用材の一層の向上、あるいは革新的な進歩が図られるものと思われる。コンクリートの欠点の一つは重量が大きいことであるが、高強度化すれば断面寸法を小さくでき、結果的に部材重量を低減することが可能である。しかしながら、部材の厚さや断面剛性の大きさも必要があるのでコンクリート強度のみを増加させるだけでは片手落ちとなる。また、圧縮強度のみが増加しても引張強度が増加し、かつ、伸び能力が増加しない限り脆性的となって問題が生ずる。これを解決するものとして比重の小さい人工軽量骨材の性能を一層改善した高強度軽量コンクリートが登場てくるものと期待している。材料のじん性向上には適切に纖維を混入すればよい。コンクリートは厳重な品質管理のもとで製造され、品質の信頼性は鋼材に劣らないようになる。このようなコンクリートを用いることにより長大PC吊橋や大型浮体PC構造物も誕生すると思われる。

PC水中トンネルやPC浮橋の建設も容易になるものと思われる。免震装置との併用でPC個人住宅やPC高層建物も多く造られることが期待される。

また、大規模な多層人工大地をPCによって造り、環境問題を解決することが望まれる。

市民がPC構造の力学を哲学として理解し、重力場での生活を体感しながらPC技術に支えられた生活をエンジョイするようになることも第4世代のPCに課せられた目標である。軽快なPC構造物の景観はこのような背景のもとで一層好まれるものと思われる。

柱や橋脚にはプレストレスが全面的に導入されていて耐震性や地震後の供用性能が確保され、大地震に対する恐怖もPC技術によって大幅に解決されることを望みたい。

超高強度鉄筋とプレストレスの併用による合理的な構造もパーシャルプレストレスの延長として現世代中に受け入れられるものと思われる所以、次世代にはPCの主流として活躍することも考えられる。

以上述べたPCの次世代技術はすべてバラ色のものであるが、このようになるためには緊張材の耐久性の確保が第一に重要である。それに加え、今までに建設してきたPC構造物が適切に維持管理され、落橋や重大な損傷が発生しないようにすることが必須である。