

研究展望
Review

研究展望

建設技術の将来展望

CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT : FUTURE PERSPECTIVES

後藤英一*・菊池禎二**・隈元 力***

By Eiichi GOTOH, Teiji KIKUCHI and Tsutomu KUMAMOTO

1. はじめに

建設投資額が国民総生産 (GNP) の 18% あまりを占め、日本の建設市場がドル換算でアメリカを抜き世界第 1 位となった。建設は国民の生活はもちろんのこと、国際的にも大きな影響を及ぼす重要な産業になりつつある。そして、21 世紀の到来まで、10 年を残すところとなった現在、建設の基盤となる建設技術は、今後、ますますその重要性が増大し、われわれ建設技術者は、建設技術の将来を真剣に見つめ、取り組み、そして育てていかねばならない時代に直面しつつある。

本論文は特に 21 世紀初頭を念頭におき、いくつかの特徴的な視点から建設技術の将来を展望したものである。まず、現在の日本および世界で起こりつつある世の中の動向を情報化社会、都市化、地球環境および防災、国際化などでとらえた。それらの特徴が建設技術の将来に大きく影響を及ぼしていると考え、建設事業を取りまく背景について、将来予測も踏まえて言及した。

次に、それらの建設事業を取りまく環境を背景に、建設技術を計画技術、設計技術、建設・施工技術、施工管理技術、および維持管理・防災技術に分類し、おのおの技術の将来展望について論じた。計画技術においては、グローバル、人間性の尊重、および長期展望にたつ計画

をキーワードにし、環境、快適性、国際化などに焦点をあてながらその技術について、未来予測も加えて論じた。設計技術については、CG と CAD、エキスパートシステム、最適設計手法をキーワードに、未来技術を展望した。建設・施工技術、施工管理技術については、海洋建設、地中建設、土工・舗装、基礎構造物、環境を考慮する技術、計測管理技術、および建設生産管理技術、に分類し、その一部分では建設材料についても言及しながら将来技術の展望を行った。最後に維持管理・防災技術、については情報化社会がもたらす通信・電子情報手段の高度化を踏まえて論じた。

本論文で取り上げた建設技術は、現在および将来技術のすべてをカバーしているわけではない。もともと将来や未来について論じる場合、その不確実性が問題となり、時として、予想は外れる場合がある。しかしながら、著者らがここで論じた「建設技術の将来展望」は、そのような不確実性を多く含みつつ、読者のご意見を問うために提案したものであり、その不十分な点や言及できなかった分野については、ご容赦願いたい。

2. 建設事業を取りまく将来の環境

(1) 情報化社会が与える影響

あと 10 年足らずのうちに 21 世紀となるが、大量生産と大量消費に裏付けされた今日の日本社会は、徐々に少量多品種生産に基づいた個性的で、かつ多様性に富んだ社会へと変わりつつある。このような社会にあっては、さまざまな情報をもつ付加価値はより高まりをみせ情報量も現在の数倍となり、その質や形も変わるであろう。

わが国における情報化社会は、1970 年代中頃のオイルショックが大きな契機となっている。この時期に建設

* 正会員 大成建設 (株) 技術本部技術研究所副所長
(〒245 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

** 正会員 (株) 大林組土木技術本部設計第 2 部長
(〒101 千代田区神田司町 2-3)

*** 正会員 工博 清水建設 (株) 土木本部見積部長
(〒104 中央区京橋 2-16-1)

Keywords: construction engineering and management, advanced technology, process control, global environment, rehab-technique



写真—1 地下都市構想

業では、経営基盤となる情報システムの整備が必要となって財務、経理など事務処理作業面における汎用コンピュータの使用、さらにはパーソナルコンピュータの現場導入が始まっている。1980年代になると、建設系企業にオンライン会話型処理形態システムが普及しはじめて情報の共有化や一元化が進み、今や情報管理の優劣が企業の力の差となりつつある。

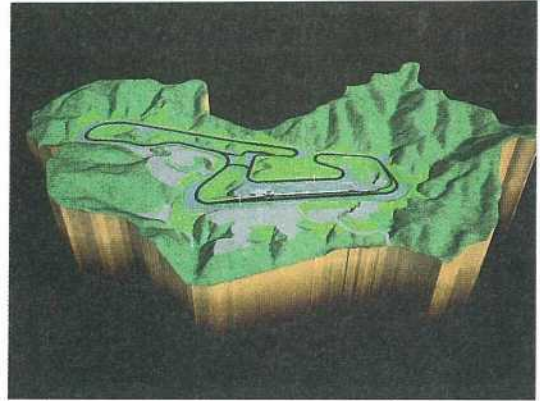
このような傾向は、コンピュータの小型化、高速度演算化の技術革新およびソフトウェア技術の進歩によって今後ますます加速される。情報はエンドユーザーの要求に合うように加工され、手軽にアクセスできるようになるであろう。情報の加工やシステム作成に対する需要は大量のプログラマやシステムエンジニアを必要とする。これらのエンジニアのオフィスは、ゆとりと快適性が重要な条件であるので必然的にオフィス空間の不足を生み出すことになる。情報産業に関する市場規模は、設備投資、雇用ともに増大することが予測される。したがって、東京テレポート構想のような情報基地が大都市の一画に建設されることになろう。

建設業においては、土留め監視や盛土管理などで行われているような各種の工事計測において一段と自動化が進み、データを設計や施工に活用する情報化施工が日常的となろう。設計ではCADの技術が浸透し、設計図や施工図もフロッピーディスクで取り交すことになるかもしれない。

日本建設情報総合センター（JACIC）による、工事計画、積算、環境、土質・地質、地図、データなどの公共情報の提供もネットワークの拡大で新しい展開が期待される。ソフトウェアでは、エキスパートシステム（ES）や人工知能（AI）が普及して企画設計やロボット化の分野での応用がさらに進むことになろう。

（2）都市化が与える影響

わが国における都市のあり方は、明治時代に大きな転



写真—2 CGによるサーキットのシミュレーション鳥瞰図

換を経験した。西欧諸国に追いつくことが国の方針となり、過去100年にわたり工業化を目指した結果、東京をはじめわが国の大都市は、種々の工場、オフィス、あるいは商業地が明確にゾーニングされない状況で混在する雑居的な都市となっている。

1950年以降の高度経済成長下にあつて、日本の産業構造は第1次産業から第3次産業主導へと変化しつつあるが、これによって都市への人口の集中化を生み出している。特に東京では集中化が極端に進み通勤ラッシュの状況や道路の混雑また住宅難は世界的に有名なものとなっている。都市への人口集中は、現在世界各地で起こっている現象であるが、その原因には2つの大きな潮流があるように思われる。

発展途上国においては、人口増加による食料の不足や農村の疲弊が都市に行けば食料と仕事を得ることができるという人々の願望が潮流の1つだといわれている。一方、東京やニューヨークにおける現象はやや違った様相を呈している。すなわち、他の潮流は産業構造が機械・重化学工業中心から金融・エレクトロニクス中心の脱工業化社会へと変わったことと大きく関係している。

都市においては、ソフトウェア生産、ノウハウ、あるいはビジネスチャンスの獲得が主な活動となっている。この種のビジネスにとっては、情報を迅速かつ正確にとらえることが勝敗につながることから、企業や人々は新鮮な情報があふれる大都市へ集中することになる。東京のような大都市にはこれらのビジネスや飲食店、デパート、ホテルなどが集中し多様化した職種の人々が集まる国際都市、24時間都市へと変わってゆくものと思われる。このような中で、都市のスラム化、オフィスの不足、地価の高騰が問題となっており、建設事業や建設業に新たな対応が求められるよう。

1987年の第4次全国総合開発計画（四全総）は、21世紀に向けての“多極分散都市型国土の形成”を標榜した国土づくりの指針であるが、この中でも東京は国際金

注）写真—1、写真—2は大成建設提供

融、国際情報に関する中枢都市として位置づけされている。わが国の大都市は、インフラ施設やアメニティの整備が遅れているが、近年話題となっている地下空間やウォーターフロントの活用が待たれる。パリはドゴール以降の各大統領の指導下で計画的な都市計画を官主導方式で遂行した結果、成功事例として注目されるようになった。日本における大都市の再開発が地価問題などで進展をみない状況下において、パリの事例は参考に値するものと考えられる。

(3) 地球環境および防災への考慮

18世紀の産業革命以降、西欧諸国を中心とした工業化社会の進展はその裏で自然の破壊や環境の悪化をもたらしてきた。この傾向は第2次世界大戦後の急激な経済発展によって加速的に進行し、今日、人類はかけがえない地球の自然とその中で棲息する生物全体に対する責任と共存の観点から新たな対応を迫られている。

わが国では、1960年代に水銀ヘドロなどによる公害問題が表面化して工業化社会の問題が一般の人々に認識されはじめた。1972年にローマクラブによる「成長の限界」がセンセーショナルな反響を呼んだのもこの頃である。1970年代に入ると各方面で自然保護運動が起こりはじめ、地域行政においても町並み保存、景観保全などの用語が頻出するようになった。

しかし、近年の環境問題はその原因や影響が1つの国内にとどまらず、またその問題の解決が世界的な合意と協力によらなければ不可能であることが、公害問題と違う大きな特徴である。たとえば、欧米で深刻な問題となっている酸性雨、ソ連で起きたチェルノブイリ原子力発電所の事故による放射能汚染、各地で発生したタンカー原油流出事故による海洋汚染などはその影響が地球規模におよぶようになっている。

21世紀半ばの地球の気候や災害に著しい影響を及ぼすものとして、1980年代以降の焼き畑農業と先進工業国の木材需要による熱帯雨林の破壊、放牧地における家畜増加などに起因する砂漠の拡大、あるいは化石燃料大量消費で発生するCO₂の増加による温室効果が挙げられる。その他でも冷蔵庫や精密工場などで使用されるフロンガスによるオゾン層の破壊(オゾンホール)がある。現在これらの問題解決のため、1984年わが国の発案で環境と開発に関する世界委員会(WCHD)が設立されたり、1989年のアルシュサミットの経済宣言中で環境問題が大きく取り上げられるなど、次第に国際協力体制が整いつつある。

このような中において、地球環境や防災へ建設の果たすべき役割が変わりつつある。発展途上国への援助プロジェクトとして計画されたタイのナムチョンダムは、環境保護運動のために断念されている。今後は、利益追求

や目的優先の計画から環境保護や地域の将来を見通した計画立案の手法がより重要性を増してゆくことになる。

(4) 国際化の進行

わが国の経済は飛躍的な発展を遂げ、建設投資額で1987年度に61兆3900億円(4440億ドル)とアメリカの3970億ドルを越えて自由主義経済圏では第1位となっている。これはわが国のGNPの17.5%に相当し、現在のわが国の建設市場はきわめて活況を呈している。

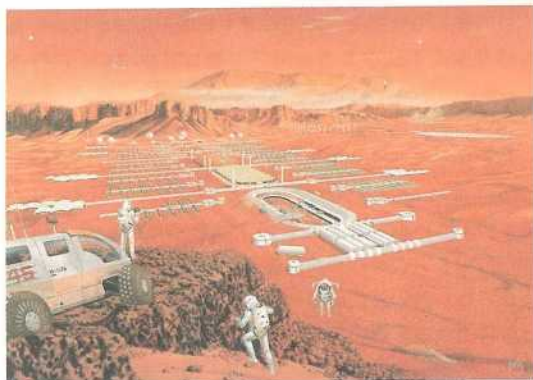
このような背景のなか、ここ数年国際化という言葉がマスコミ紙上などで話題となっている。多くの日本人が円高のメリットを受けて海外旅行へ出かけたり、ビジネスマンの海外出張が年々増加している。また、東京都内の多くの場所で外国人の姿を見かけることも数年前に比べて倍増している。将来、東京はパリ、ロンドン、ニューヨークと並び国際情報都市としてこれからの世界の中心地となってゆくであろう。

建設業においても、国際化は急速に浸透し、海外工事受注額は1985年度の1兆300億円に及ばないが、1988年度で7900億円と前年度比で5.1%増大している。欧米の開放型社会に対して、わが国では閉鎖型社会といわれるように、これまでわが国の国際化といえば、海外で日本人町を形成したり、一方的に技術を導入することが中心であり、コミュニケーションが欠如していたように思える。

将来は海外企業と技術の導入や提供を行うことが重要な視点の1つである。たとえば、過去2回にわたり土木学会が実施したPPI(People to People International)訪米派遣団が実施したような、各方面の技術者同士が草の根交流を行うことが必要となろう。幸い、ここ数年の英会話ブームによって言語面での障壁は取り払われつつある。また、多くの企業では社員を海外留学させるケースが増えつつあり、草の根交流の将来に期待が持たせている。

国際化の進展とともに仕事の進め方にも変化が生じよう。わが国の仕事の進め方の特徴としてすぐに引き合いに出されるのが、「根回し」あるいは「調整」である。これに対し、欧米では「契約」がすべてに優先する。暗黙の了解のうえで弾力的に仕事を進めるわが国の管理に対し、欧米のCM、VEなどの手法があるが、将来は双方の利点を取り込んだ形の計画、管理の改善が必要となるであろう。

また、第3次産業の隆盛に伴って、労働者特に若年労働者の不足が深刻化している。わが国の労働賃金が高いこともあって、海外からの労働者の流入はますます増えてゆくと予測される。その一方で技術立国を国是とするわが国のエンジニアたちは、技術指導・協力のために開



写真—3 火星都市構想

発途上国へと出てゆく機会が増えるであろう。さらに、今後10年間に約430兆円といわれる公共投資や民生活を背景とした内需拡大の市場に対して、外国企業の参入も一層活発なものとなろう。

3. 建設技術の将来

(1) 計画技術

a) 土木計画手法発展の方向づけ

従来の土木計画は、欧米を手本にして日本流に調整、改善をはかり生産効率や安全性の向上に重点をおき、最小の投資で最大の効果を上げることも目標としてきた。ところが現在では、社会基盤の整備が量的に不足していた時代から、国民の生活レベルの向上、価値観の多様化や高度化を背景として、質的にも対応できる社会基盤の整備が求められるようになってきた。

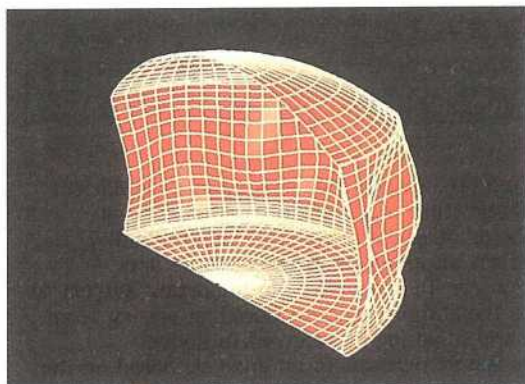
これからの土木計画は、単に構造物の機能面だけを追求するのではなく、その構造物を取りまく社会基盤、自然環境、経済社会に要求される諸条件を踏まえて総合的に問題をとらえ、目的や目標を達成するためにはどのような方法、手段があるかを検討しなければならない。

ここでは、総合的に問題をとらえるために必要な基本的考え方、視点のうち、以下の3点について述べる。

① グローバルな考え方

最近になって連日のように新聞紙上を賑わしているフロンガスなどによるオゾン層の破壊や海洋汚染、酸性雨などの地球規模の環境問題を解決するためには、科学技術の総合的な取組みが必要である。同様の視点は、土木計画が種々の科学技術と関連をもつ総合的な学問分野に属することから、特に重要となる。

土木計画の分野においても、従来のように部分における最適さをめざして個々のプロジェクトのみの狭い範囲で計画をたてるのではなく、全体系の最適さをめざして、



写真—4 PC円筒構造物の座屈安定解析

そのプロジェクトが他にどのような影響を及ぼすかについてグローバルな視点から十分に吟味する必要がある。その積み重ねが調和のとれた社会基盤整備計画の近道であり、自然環境、ひいては地球環境を守ることにつながる。

② 人間性の尊重

豊かさの中で人々は多様な価値観をもつようになり、個人のパーソナリティが尊重されるようになってきた。すなわち、より綺麗なもの、より快適なものを求め、土木構造物にも機能一辺倒ではなく、やすらぎ、自然との調和、ゆとり、環境への配慮、地域社会とのコミュニティなど、情緒的、感覚的なことにより多くの付加価値を認めるようになってきている。

この傾向は、ますます顕著になると予想されるため、施設を利用する側の立場で計画をたてることが重要となる。今後は施設をいかにして造るかではなく、施設をいかにして活かすかという発想の転換により、人々の多様化した要求に応えていく必要がある。

③ 長期展望にたつ計画の作成

土木構造物は、100年以上の長期にわたって使用されているものも多い。このことは、長期にわたって使用に耐えるとともに、目的とする機能が十分に発揮されねばならない。特に長期ビジョンをもち、後世に残る価値あるものを建設しなければならないが、現実には正確な将来予測は不可能であり、曖昧で不正確な予測しかたてられない。

この対処方法としては、時代のニーズを取り入れて、より良いものに変更できるように計画内容に弾力性をもたせた余裕のある計画を心掛けるべきである。また、従来の建設時のコストだけでなく、ライフサイクルコストという考え方で経済性を把握することも必要である。土木計画はこのような長期展望にたった機能と経済性の調和をはかることが求められるであろう。

以上に述べたように、今後の土木計画は過去に行って

注) 写真—3、写真—4は大林組提供

きたやり方をそのまま踏襲していくとは考えにくい。すなわち、高度情報化に対応する計算機や土木情報データベースの利用環境の整備、拡充の進む中で、土木計画においては機能性、安全性および経済性を追及するとともに、従来にもまして景観や環境との調和などにも配慮しながら具体的に対処する必要がある。

土木計画は、身近な自然や人間に対してやさしく、成熟した社会生活に適合し、さらに将来の世代や掛け替えのない地球環境に対する配慮を忘れてはならない。

b) 環境・快適性

① 環境

経済社会の活動が活発となるに従い、人間の行為が大きな力となり、自然の正常な営みや物質循環を妨げるまでに巨大化してきた。人間の力がいかに巨大になったとはいえ、地球という閉じた空間では、自然の摂理を越えることはできない。

21世紀に起こる地球的規模の環境問題には、先に述べているようにCO₂による温暖化、フロンガスなどによるオゾン層の破壊、酸性雨、汚物などの海洋投棄による海洋汚染、森林伐採その他による砂漠化などがある。こうした環境問題は、建設技術の分野だけでなく広範な科学技術の集積が必要となり、世界全体の取組みに発展したグローバルなものとなるであろう。

また、わが国の建設事業に限ってみても、土木工法や建設資材の製造、運搬にかかわる省資源・省エネルギーの推進、製造業の内陸立地やリゾート・レクリエーション施設の開発に伴う環境アセスメント、建設廃棄物の処分問題など多くの取り組むべき課題がある。

② 快適性

社会資本は本来の機能を果たし、なおかつ快適であり美しくなくてはならない。そのためには、景観やデザインを完全に工学の対象とする必要が生じる。土木における景観は、好みがちまちまちであり工学の対象にできないという意見もあるが、必ずしも不可能ではない。

たとえば、河川や人工構造物の道路は、風土に密着しているために個性がある。その個性にそって、河川や道路の計画、設計を行えば、客観的な評価に耐え得る個性的な姿で、全体としては水系ごとに変化に富んだ多様な景観として提示できる。景観への取組みは、常にアメニティを心掛け、自然・生態系への心くばりが必要となる。

さらに、21世紀の日本にふさわしい社会資本として、住居や交通施設、地下空間の高度利用施設などでは火災、地震、洪水など安全性にかかわる基本的な要求のほかにも居心地や居住性に関係する快適性が求められることになる。たとえば、地下街や地下鉄の駅舎などでは、今以上の清潔さや空気の清浄さ、また自然光による照明などが求められるようになる。

c) 国際化

① 海外企業の参入

わが国の産業経済力の高まりに伴う、国内建設市場における国際化から、構造改善推進プログラムや国際化対応システムが確立される。日本企業との提携を主体とした外国企業がわが国の公共事業などへの参入が活発に行われるようになる。資材調達も内外で自由に行われ、官民ベースでの外国人建設研修生受入れ制度も整備される。

欧米企業の関心は、設計・コンサルティング業務に集中するが、税金を財源とする公共事業においては企画、計画、調査、設計は発注者業務として残る。欧米企業が最も得意とする業務に設計、施工を総合的に管理し、発注者に代ってプロジェクトを実現させるコンストラクション・マネージメント(CM)、あるいはプロジェクト・マネージメント(PM)がある。将来、これらは主に民間プロジェクトで行われ、施工への進出は日本のゼネコンやNIES企業との共同企業体の形態で行われることが考えられる。

また、外国人労働者受入れ問題では、公的機関を通しての外国人技術者の招聘や外国業者との労働力も含めた施工契約などの形態が行われるようになる。

② 海外プロジェクト

わが国の政府開発援助(ODA)の規模は依然として高水準を保ち、従来は日本企業が独占してきた関連市場も、国内市場の開放に先立ちほぼ完全に開放される。

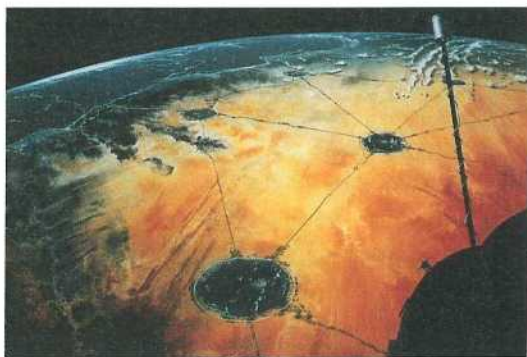
また、国際的に偏存している資本を発展途上国に効果的に再配分し、世界経済の健全な発展を図る観点からプロジェクトが計画されている。それらは、運河、海峽連絡、治水、水資源、砂漠地域環境改善などの十指に余る世界的なスーパープロジェクト実現であり、経済技術協力プログラムの検討によって継続的に推進されよう。

③ 計画・設計仕様

世界的なスーパープロジェクトやその他のプロジェクトの実現には、計画、設計などのエンジニアリング業務に携わる建設コンサルタント技術者の果たす役割が大きくなる。

前述したように、主として民間プロジェクトにおいては、今でも国外工事でみられるように、フィージビリティスタディ、企画・計画立案、資金調達、採算性確保、設計および施工を一括して、CM業者が受け持つケースが出現する。さらに、有料道路建設のような公共性の高い工事でも、第3セクター方式などによるプロジェクトメーカーが提案される。

また、国際標準化機構を中心として計画、設計に関する国際標準が制定され、建設コンサルタント技術者の技術力評価制度も充実される。



写真—5 砂漠の緑化構想

④ 入札・契約制度

入札・契約制度は、わが国独特の“信用社会”の商習慣やしきたりに基づくものから、国際性のある“契約社会”の制度に移行する。公共事業では、工事希望制度の導入、企業単独入札の容認、制限付き一般競争入札の導入、入札辞退の自由化、業界の自主性に基づくJV編成、工事完成保証人制度（ボンド制）の見直しなどの入札・契約制度の改善がなされるであろう。

(2) 設計技術

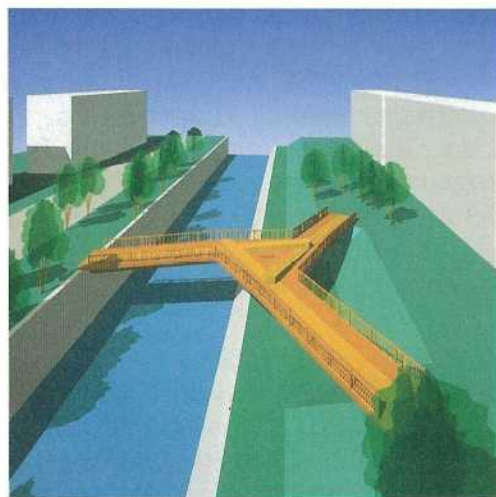
a) CGとCAD

CG (Computer Graphics) は、都市再開発計画や地下、海洋、宇宙などの大規模施設計画におけるプレゼンテーションに用いられるように、主にデザイン的な機能を発揮している。一方、CAD (Computer Aided Design) は構造設計に用いられており、数値解析の機能を発揮している。このように、別々に機能していたCGとCADであるが、その後、データベースの整備やデータ変換機能の強化により、それぞれのシステムが接続されて有機的に利用されつつある。

建設工事の一連のフローに着目すると、施工段階における資材・労務の調達、施工計画、あるいは管理業務にコンピュータの活用が定着している。しかしながら、施工段階のシステムが企画・設計段階のそれとは別々に開発されていたために、たとえば設計変更時における現場の施工図や工程表に反映されていない。

この課題に対して、将来はプロジェクトごとに企画・設計段階から施工段階に一貫して利用できるトータルシステムとして、CAE (Computer Aided Engineering) への発展が期待される¹⁾。

設計におけるコンピュータの利用範囲は、高性能、かつ低価格のワークステーションやスーパーミニコン、パーソナルコンピュータなどの出現により、急速に拡大する。そのうち、CGやCADの利用に関する代表的な

写真—6 未来へむけ、暮しと水を結ぶ橋²⁶⁾

項目として以下の4項目を挙げる。

i) マッピング

マッピングは土地利用現況図や都市計画図を作成し、地域の現状把握に役立っている。将来は、都市計画や防災計画などの策定および支援を行う都市情報システムや災害情報システムへの貢献が増大するであろう。

ii) 解析シミュレーション

コンピュータの高速化、大容量化は、三次元のリアルタイム処理を確かなものとする。解析シミュレーションは、モデル化の手法や解析精度によって、結果の信頼性が大きく左右される。したがって、信頼性の向上には、実例や実験などの実際の現象に基づいた精度の高いモデル化が要求されよう。

iii) 景観シミュレーション

景観シミュレーションは構造物が新たに構築された場合の景観を予測する技術であり、景観計画や景観設計を中心とした、プレゼンテーションの手段として有効である。これは地表のみならず実際には見えない地下や海洋などにおけるイメージの把握や機能のチェックにも用いられる。その成果は地域住民へのプレゼンテーションに使用したのち、景観を配慮した設計に活用されよう。

iv) CAD

CADはマウスなどを使って構造物の設計データを入力し、コンピュータ上で三次元の構造物を組み立てて、構造物の立体的なイメージを確認しながら設計を行うものである。また、CADは構造物の設計データのデータベース化により、データの作成・入力省力化、あるいは多様で高度な設計成果物への期待から応用範囲が拡大する。これらに並行して必要なことは、データの自動作成技術と再生・結合技術を有し、それぞれの高度なプログラミング・運用技術と建設に関する高度な技術の両方

注) 写真—5、写真—6は清水建設提供



写真—7 海上都市構想

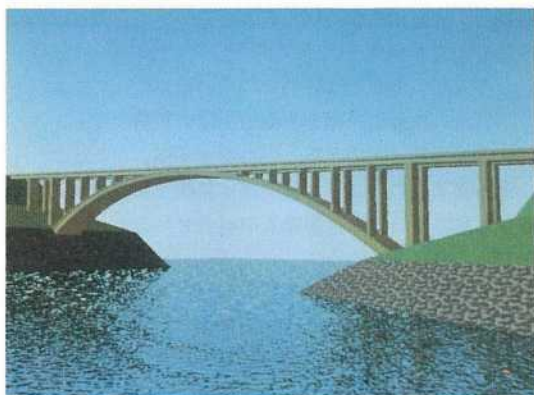
に精通した建設技術者の育成である。しかし、現実には両方の高度技術に精通するのは容易でなく、それを補充するものとして、エキスパートシステムの構築が急がれる。

b) エキスパートシステム

建設における、エキスパートシステムは、企画、設計、施工、維持など業務全般にわたって AI を活用し、業務の能率向上を意図している。エキスパートシステムは、業務の各分野ごとに個別システムとして開発されている。たとえば、概算見積支援システム、耐震基準判定システム、仮設計画システム、基礎構造計画システム、軟弱地盤判定システムなどである。

設計型のエキスパートシステム²⁾では、最低限満たすべき要件を示す設計基(規)準があり、規則または検査する立場で記述されていることが多い。しかし、設計のための基準は、規則や検査に対する合否だけを判定するにとどまらず、その基準内で与えられた前提条件を満たす対象物を考案するためにあるものと考えられる。

エキスパートシステムも CG、CAD と同様に個別シ



写真—8 橋の景観シミュレーション

注) 写真—7、写真—8は鹿島建設提供

ステムとして開発が進んでいるが、今後は企画、設計、施工へと一貫したシステムに展開されていくことになる。そのためには、個別システムを拡充し、より高度な知識ベースを蓄積すること、さらには個別エキスパートシステム間で相互に影響しあう事項を調整する知識ベースの構築が必要となる。その理由は、個別のエキスパートシステムにおいて最良と考えられる結果が、次のステップへ展開させたとき、必ずしも最良であるとは限らないからである。

システムの基本は、個別には最良ではなくても、トータルで最良な結果を得ることが重要である。このようなトータルシステムを構築するためには、情報の共有と伝達を可能にしなければならない。

現在のところ、CG、CAD、AI、エキスパートシステムなどは、それぞれの個別システムごとに目的に応じて多種多様なハードやソフトの中から選定して、使用している。将来、これらの問題がハードの領域で解決され、真に情報の共有化がなされたとき、個別に作られた種々のシステムが連動し相乗効果をもたらすものと期待される。

c) 最適設計手法

すべての土木工学システムは計画、設計、施工、および維持の4つの段階に分けられる。それらは、別々の組織で独立して実行されることもあるが、意思決定においてはこれらの段階を総合した判断が必要となる。経済性、安全性、機能性、あるいは社会的条件を同時に満足するように設計するためには、最適化の思考に基づく意思決定が求められる。意思決定を行う主体は、最終的には人間によってなされる。

人間は高度の認識、思考、判断能力を有するが、個人差があり、同時に検討できる対象の数も少なく、多数の条件を同時に検討して複数の対象を評価する作業には不向きである。一方、コンピュータは人間が作成した論理に基づき多量のデータを迅速、かつ正確に処理することができるが、パターン認識や創造性など高度の思考能力に欠ける。

システムが数理として定式化される場合には、コンピュータにより最適設計法³⁾などの手法を用いて設計することにより、人間独自では得られないようなパラメータを決定することができる。このように、そこに含まれる意思決定の内容を検討し、コンピュータに向けた問題と人間にゆだねた方が良い問題に分類し、それらを総合した意思決定システムを作ることが求められる。

設計においては、設計条件をはじめ各種の不明確な要因が存在するため、それらを考慮に入れて安全性、経済性などのバランスを考慮した構造物を設計しなければならない。これらは、あいまいな条件下での多目的な意

思決定問題となり、ファジィ理論や信頼性理論の応用が将来期待されよう。

(3) 建設・施工技術, 施工管理技術

施工過程には、個々のプロジェクトに随伴する個性と自然を対象とすることに起因する不確実性といった不可避的な特性が、将来も変わらず存在しているであろう。高度化が著しい施工には、固有技術と管理技術の役割が明確となる。固有技術は物を造るうえで不可欠な技術であり、土木工学、機械工学、電気電子工学などの諸工学、およびこれらに関連する技能で構成される。ここでは、建設・施工における固有技術を建設・施工技術とよぶ。

管理技術は固有技術の能力を効果的に発揮するために必要となる仕組の構築と運用を目指す技術である。将来の施工管理技術には、一連の建設生産管理という広域な視点から建設工事にかかわる問題を検討して、構造物をライフサイクルでとらえる建設生産管理技術⁴⁾が定着しているであろう。

ここでは、図-1に示すように、建設・施工技術から、a) 海洋建設、b) 地中建設、c) 土工、舗装、d) 基礎構造物、および、e) 環境を考慮する技術、について述べる。また、固有技術と管理技術の両面から成る技術の話題として、f) 計測管理技術、をとりあげる。最後に、ここで言及する建設・施工技術に共通して適用する将来の施工管理技術として、g) 建設生産管理技術、について述べる。

a) 海洋建設

① 探査・調査技術

海洋における開発や利用に伴う建設工事は、次第に大水深、高波浪、軟弱地盤などの厳しい施工条件へと移行することが予想される。このような厳しい条件を克服して、建設プロジェクトを推進するためには、先端技術の導入や新技術の開発が不可欠なものとなる。

海洋建設分野における探査・調査技術は、計画から設計、施工に至るあらゆる面で必要不可欠なものとしてその重要度が増大し、厳しい探査・調査条件のもとで正確なデータを求めることが必要となる。

たとえば、大水深下で行われる海洋建設工事における正確な検測、地盤探査や状態の把握などは容易でない。その理由は、明るさや透明度が落ちること、ひずんで見

えること、潮流外力などを受けることから、従来の潜水士による調査が難しくなるためである。これらの課題の解決には、運輸省を中心として水中調査ロボットの開発が進められている⁵⁾。

水中調査ロボットの特徴は、厳しい条件下においても正確な位置、水深、方向を求めることのできる水中位置測定装置を装備している。また、海上にいる人間が大水深下の構造物などをTVカメラ、超音波距離計を利用した画像システムで直接的、間接的に確認できる水中視認システムを備えている。その他の特徴としては、凹凸の多い海底においてもスムーズな歩行ができるAI機能を組み込んだ歩行制御システムを装備している。

ハイビジョンTVや立体画像処理システムなどを備えた水中調査ロボットが海洋建設工事で活躍するであろう。また、リモートセンシング技術も、特に人工衛星、航空機などに搭載されたマイクロ波アクティブセンサーの利用により、雲などの影響を受けることなく観測エリア全体の波浪情報を方向および強度のスペクトル分布も含めた形で収集が可能となる。

テレメトリーシステム⁶⁾にマイクロ波波浪センサーを組み込むことにより、離島などでの荒天時の実際の波浪データをリアルタイムでモニタリングが可能となる。さらに、風向風速、気圧、温度、潮流などのデータを総合して気象、海象を局所的に予測するシステムの構築も可能であると考えられる。

海洋開発の立地対象が、沿岸域から次第に沖合へと展開している状況の中で探査・調査技術は、最も進展が期待される重要な基礎技術の1つである。

② 海中作業ロボット

海洋建設分野の将来は、技術面では現状の開発速度からみても、大きく進展する要素が少ない。また、構造形式も基本的には現在の延長線上にあるが、建設位置の多くが沖合、大水深へと移ってゆくことが予想される。この場合、海洋作業の合理化および省力化の目標は次のようなものであろう。

- ・作業船の安定化(揺動しにくい船)
- ・計測の自動化(海上・海中測量の高精度化)
- ・潜水作業(海中作業)のロボット化

海中作業におけるロボット化は基礎工事、浚渫工事が主体となり、これらは船舶との組合せによるロボット化が進められるであろう。

まず、浚渫ロボットは浚渫、床掘作業用であり、掘削時の反力がかかるため大型化が予想される。浚渫土運搬方式はフレキシブルな排砂管を使ったスラリー輸送、あるいはオーガー輸送による。掘削方式は掘削能力と運搬方式との関連でポンプ型、あるいはオーガー型であろう。浚渫ロボットは海底走行式で、支援船と有線で結ばれ誘

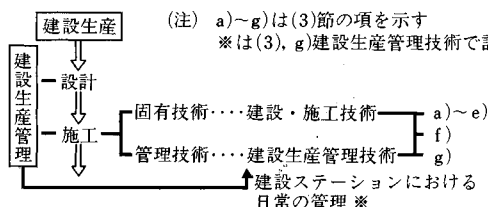


図-1 建設・施工技術, 施工管理技術

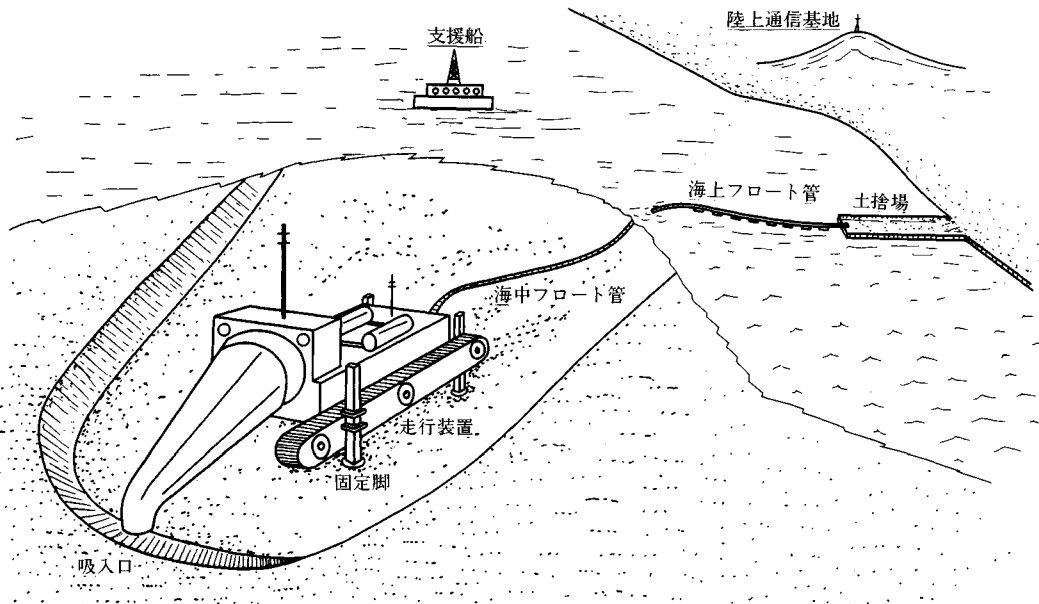


図-2 浅瀬ロボットの形状

導される。形状のイメージは図-2に示すような大型の蟻(ばく)である⁷⁾。

新しいタイプの杭打ちが開発されるであろう。これは位置出し機能を保有するものであり、杭保持装置をもつ海底走行ロボットが杭下端を保持して、海底における杭の位置決めを行う。杭は浮力を利用して鉛直に立てられ、海上では安定の良い杭打船で杭の上部を保持して、杭上部の位置を決めたのちに杭打ちを行う。この杭打ちロボットにより杭打船はリーダーが不要となり、大傾度の斜杭施工も比較的容易なものとなる。

海中ロボット作業を高精度で行うためには、風速に強く、振動が小さい支援船が求められる。この支援船は、セミサブ型で水平調整機能をもつ安定の良い作業船を使用する。うねりによる上下運動に伴う高さの補正は、陸上基地と人工衛星からの情報でリアルタイムに調整されよう。

b) 地中建設

① シールド

シールド工法は、現在、都市におけるトンネル建設技術の中で最も多く採用されている工法である。今後とも、都市の過密化が急速に進む傾向にあって、地中建設や地下構造物建設には、地上の占有面積が少なくして施工できるシールド工法の採用が、ますます増加していくものと予想される。

大深度・大断面シールドとしては、直径20m級、深度100m級のシールドの施工が可能となる。形状は楕円形、矩形、2-3連の複合断面などで、それぞれの用

途に合わせたシールドの施工が一般化するであろう。

シールド工法の多様な機能向上にかかわる施工技術としては、分岐、拡大、地中接合、急曲線、あるいは急勾配などの施工が容易にできる技術が開発されよう。さらに、施工技術は、1台のマシンで立坑からトンネルまで一挙に施工ができる技術の開発へと発展してゆき、また、覆工技術は直打ちコンクリート覆工法が定着しているであろう。

機械を中心とした技術開発では、岩盤から軟弱層までの多様な地層に適用できるマシンも一般化するであろう。掘進システムについては、掘進、姿勢制御、セグメント搬送・組立などの機械の全自動化が進められ、実用化されていくものと考えられる。

一方、シールド工法の大深度地下部への適用や山岳部への進出に伴い、シールド工法はNATMと競合するケースが増加してくると思われる。現状では、同じトンネル技術であるにもかかわらず、トンネルの安定性に関する基本的な設計思想について整合が図られていないという大きな問題点がある。この点の解明が今後の重要な課題として挙げられる。

② 山岳トンネル

山岳トンネルの掘削工法は、発破工法、TBM工法が代表的工法である。施工の合理化としては、発破工法の場合、掘削、ずり搬出、支保工(吹付け、ロックボルト)の工程のなかで、現状の人力に依存する作業に対し機械化が進められる。全工程を一貫して施工するシステムはさらに将来的なものとなるが、将来は半自動化の段階ま

で進むと考えられる⁸⁾。

具体的には、内空断面の自動検測システムや前方地質予知システム、多目的ジャンボ（装薬～ロックボルトリング）、ずりの連続積込み、運搬システム、支保工建込みロボット、吹付けロボット、シート張りロボット、多機能セントルなどが導入されるであろう。

TBM 工法では発破工法と同様に自由断面 TBM で、内空断面の自動検測システム、前方地質予知システム、掘削時に移動ブームをもち、後尾にはずり運搬機を備えた多機能掘削機などの自動化が進められよう。また、全断面 TBM では自己位置検知システム、カッター交換システムおよび自動掘削制御システムによる自動化が推進されるであろう。

山岳トンネルの全般的な傾向には、先受け工法などの掘削技術の進歩により、全断面掘削方式が主流となることが予想される。また、その結果としては大断面トンネルの施工需要が増加すると考えられる。

③ 建設材料，その他

地中建設に関する施工技術の開発に並行し、建設材料の分野においても新たな素材の利用が予想される。建設分野においてコンクリートは主要な構造材料であるが、地中建設分野では今後の大深度化に伴い構造材料として土圧や高水圧のもとで建設されるために構造材料として今まで以上の強度、耐水性、耐久性が要求される。

コンクリートの最大の弱点は引張強度が小さくクラックが入りやすいことである。この弱点を補い、性能向上を図るものとして、セメントの一部または全部をポリマー（高分子材料）で置き換えたポリマーコンクリートがある⁹⁾。これは 1000 kgf/cm² 以上の圧縮強度、100 kgf/cm² 以上の引張強度が得られ、硬化時間も数時間で済み、ひびわれの生じないコンクリートとして有望である。地下深部で工事後の補修が難しい箇所に対して多用されるものと思われる。

一方、コンクリート補強材料として、鉄より強く、軽量で耐久性に優れた炭素繊維やアラミド繊維などの利用も実施されている。これらの繊維材料を用いたコンクリートは、鉄筋を用いないためにコンクリートの中酸化や骨材中の残留塩分による発錆の心配がなく、耐酸性に優れており磁性面でも鉄筋と異なった特性をもっている。また、これは構造物の耐久性に貢献して、さらにコンクリートの部材寸法を小さくできるなどのメリットをもたらす。将来、このような特性を生かし、リニアモータ鉄道への利用を含めた構造材料として多用されることになるであろう。

その他、地中建設にかかわる要素技術としては、構造物の掘削を行う際の止水および地盤補強の問題がある。地下空間を掘削する場合の地盤補強、止水技術には凍結

工法や注入工法などがある。

凍結工法は凍土の力学的強度が大きく、遮水性が高く、一様性があり確実性の高い工法であるが、凍結膨張や解凍沈下の問題があり、工費的にも割高である。しかし、今後は注入工法と組み合わせることにより、現在の欠点を改良した安価な方式の開発が可能となろう。

注入工法は、浸透性が良く、高強度と安定性があり、また、確実な限定注入が可能で、しかもボーリング自体の止水もできる新しい注入方式も開発されるであろう。

c) 土工，舗装

① 土工

一般の切盛土工においては、全工程をコントロールする土工情報管理システムが確立され、測量から施工管理までの情報管理が自動化される。また、掘削、積込み、運搬、盛土などの工程は、ロボット化されたブルドーザ、パワーショベル、ダンプトラック、振動ローラなどのリモートコントロール操作により行われ、省人化がかなり進むであろう⁷⁾。

のり面工においては、のり面清掃、ラス張り、コンクリート吹付けを 1 台のロボットで施工するようになる。コンクリート吹付けにおいては、コンクリートの品質向上に資する自動計量システムや均一なり面形成のための自動層厚管理システムが導入されるであろう。

土質改良工は、掘削残土の処分地不足が進み、残土運搬による交通公害も大きくなることから、発生残土やごみなどの作業地内での有効利用を図るため、脱水装置などを装備した掘削機や土質改良システム、改良土処理プラントの実用化が推進されるであろう。

② フィルダム

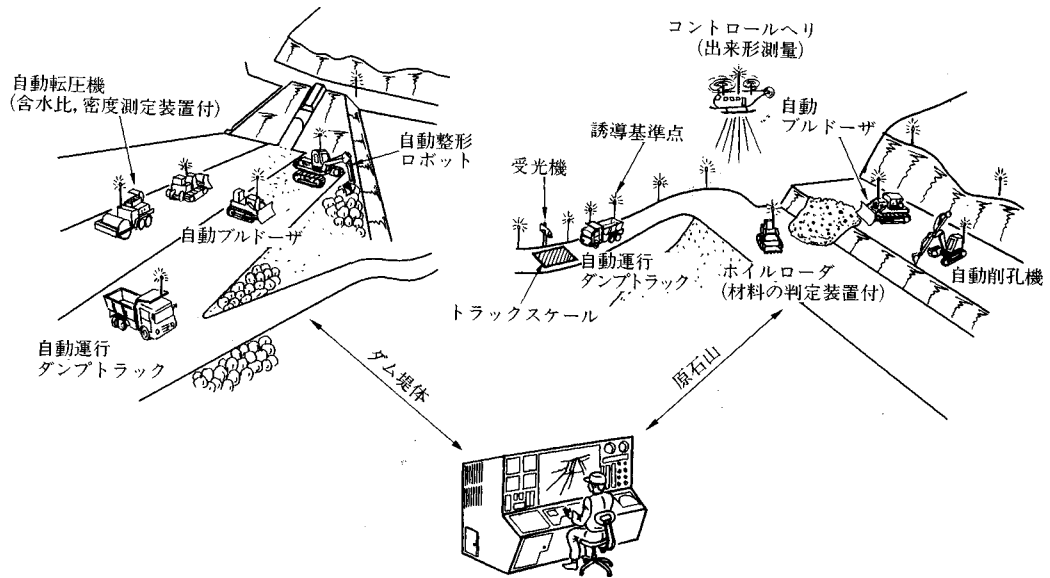
フィルダムでは施工機械の自動化やロボット化が図られ、操作の大部分を総合指令室で監視、制御することとなる。原石山での発破は、広域管理システムにより、離れた場所で操作、管理するなど、工事全体を監視するシステム⁸⁾が確立されるであろう。

具体的には、フィルタープラントの自動制御システム、盛り立て面でのコア材ブレンド機械、撒出し機械、締めめ機械などの自動運転、あるいは締めめ密度や含水比などの自動計測の実現が予想される（図—3）。

③ 舗装

道路舗装延長の増大に伴う維持修繕の増加や、道路舗装に対する国民要求の多様化、高度化に対して、i) 新素材・新材料の開発、利用、ii) 新しい機能性舗装の開発、iii) 省力化、省熟練化など自動化施工への取組み、iv) 計測・情報化処理技術の導入とエキスパートシステムへの取組み、などが要求されている。

i)～iv) の要求に対して、以下のような開発、利用が予想される。

図-3 フィルダム自動化・ロボット化の未来像⁷⁾

i) 耐流動性、耐磨耗性が高く、ひびわれに強い材料として、ポリマー入り改良アスファルト、ローラ転圧コンクリート、ジオテキスタイル、ポリマー含浸コンクリートなどの利用である。

ii) 現在歩道に用いられている透水性舗装の車道への拡張、道路の有効利用（エネルギーの取り出しや情報伝達の可能な舗装）、任意にデザイン可能な舗装である。

iii) アスファルト舗装工法（アスファルトプラント、アスファルトフィニッシャー、締固め機）、打換え工法、切削打換え工法、路上表層再生工法における自動化である。

iv) 計測技術と情報処理技術の組合せにより、舗装工事の調整、設計、施工、維持管理の各工程における高度なシステム化である。

d) 基礎構造物

基礎構造物には、杭、地下連続壁、ケーソン、軟弱地盤改良などの工種があるが、各工種に共通なものとして、地下探査・地盤調査技術、工事用機械の自動化、システム化、騒音、振動、粉じんなどの環境対策技術の開発、あるいはレベルアップが要求されている。

① 地下探査・調査技術

現在、地下情報に求められているものは、データベース化の推進、地層の成層・地下水構造の把握、サンプリングによらない広域地盤特性の把握、および地下埋設物や空洞を見出す技術の向上である¹⁰⁾。

これらの技術は、エレクトロニクスやコンピュータの発達に伴う調査・探査技術（弾性波探査、電磁波探査、ジオトモグラフィ、ボアホールテレビ、リモートセンシ

ング）の向上により、広域の地盤情報として精度の良いものが得られ、データの工学的な特性も的確に把握することが可能となる。

② 杭

杭は材質、形状、打設方法が非常に多岐にわたっているが、ここでは施工管理に課題の多い場所打ち杭¹¹⁾について述べる。場所打ち杭の課題は、掘削精度の向上、先端スライムの確実な処理、鉄筋建込・コンクリート打設の省人化であろう。これらの課題に対して、掘削精度の管理装置の開発、スライム検知・処理機の開発がなされ、鉄筋建込のプレハブ化、ロボット化およびコンクリート打設のロボット化の実現が予想される。

③ 地下連続壁

掘削機械は回転式とバケット式に大別され、掘削深度、対象土質・施工条件などにより選択される。現在、回転式掘削機の場合は掘削管理システム、泥水管理システム、コンクリート打設システムがかなり進んでいるため、壁厚 3.2 m、掘削深度 150 m 程度まで施工可能となっている¹²⁾。地下連続壁は施工精度と信頼性が確保されれば、本体利用への領域が大きく広がるであろう。

しかしながら、掘削深度が比較的浅い場合や対象地盤が回転式に適さない場合に用いるバケット式については、上記システムが進んでいないため、回転式と同等のシステム開発がなされよう。

④ ニューマチックケーソン

掘削作業におけるリモコン化は進んでいるが、地耐力試験においては圧気下での人力作業が残っており、ケーソン沈設精度や躯体コンクリートの構築方法に課題があ

るため、これらの改善が望まれている。

したがって、将来、以下の項目が実現されるであろう。

- i) 圧気下における掘削作業、地耐力試験、刃口部中
詰コンクリート打設などの機械化、ロボット化
 - ii) 沈設時の姿勢制御のシステム化
 - iii) 躯体構築のプレキャスト化
- ⑤ オープンケーソン

小断面の場合には掘削作業がリモコン化され、躯体沈設においても加圧制御により高い精度で施工されている。また、プレキャスト化もPC ウェル工法にみられるようにすでに実用化されている。しかしながら、大型ケーソンにおいては、圧気下の作業を除いて、ニューマチックケーソンと同様な問題を有しているために、(3) d) ④のii) およびiii) の項目が実現されるものと考えられる。

⑥ 地盤改良

地盤改良は従来の改良原理である置換、排水、圧縮、固化に基づく多くの工法に加えて、最近では補強土、荷重軽減などの原理に基づく地盤改良対策工法として、補強盛土工法、荷重軽減工法が注目されている¹⁵⁾。

補強盛土工法は盛土内に補強材(帯鋼、プレート付きアンカー鉄筋、ジオテキスタイル)を敷設するだけで、基礎地盤の改良を省略できるため、工期が短縮できる安価な工法である。したがって、従来工法との併用や補強材の強度や耐久性の向上により、利用範囲が広がるであろう。

荷重軽減工法は盛土荷重そのものを軽くして、地盤の沈下、変形を少なくする工法で、現在、材料としては発泡スチロール、コルゲートパイプなどが用いられている。特に発泡スチロールは比重が土の約1/100の軽さであるため、その特長を生かして多方面への利用が期待できる。

e) 環境を考慮する技術

環境を考慮する技術は、以下の項目に示すように、非常に広範囲でかつ多岐にわたっている¹⁴⁾。

- i) 建設工事に伴う公害問題(騒音、振動、水質汚染、粉じんなど)
- ii) 地域開発に伴う環境問題(リゾート開発、ウォーターフロント、ジオフロントなど)
- iii) 自然災害による問題(地震、風、洪水、雪、高潮など)
- iv) 地球規模の環境問題(温暖化、酸性雨、砂漠化など)

これら諸問題のうち、i)~iii)の対策技術は、他分野の技術と同様に、従来技術の延長上に高度に集積化されたエレクトロニクス技術が駆使されるとともに、メカトロニクス、バイオテクノロジー、新素材などのいわゆる先端技術が活用されていくであろう。

iv)の問題はリモートセンシング技術の発達により、近年急にクローズアップされた問題であり、その解決には国際、学際、業際といった広範囲の協力が必要である。したがって、今後それらの合意の中から土木技術にかかわるものとして、温暖化に伴う海面上昇対策、水資源の確保、エネルギーおよび電力対策などに対応する技術開発がなされていくと考えられる。

f) 計測管理技術

40年前、テルツアギーはObservational procedure¹⁵⁾を提唱した。これは設計段階で予測しきれない現場の状況を計測によって補い管理するものである。現在のような汎用コンピュータが一般に普及したのは、1970年代に入ってからである。この時期にはテルツアギーの提唱が現実化のものとなり、さらに現場の測定データをより高度に利用し、次の施工段階の状況までを予測する情報化施工が生まれた。これは、計測情報をもとに信頼性の高い予測をして、その安全性を確認したり、また問題がある場合にはその対策工を検討し、早めに対処するものである^{16),17)}。

建設分野における計測管理技術の発展は、ロジスティック曲線により図-4のように予測できよう。すなわち、1970年代から計測管理技術は、導入期から発展期に移り、現在は中間点にさしかかったところであり、10年後にはこの発展期を終え成熟期に入ることが予想される。現在のところ、情報化施工による計測管理技術は、限られた計測位置から施工全体をどのように把握¹⁸⁾し、また計測情報をどのような基準で判断し、さらに過去の工事経験をどのように生かして管理するのか、などの問題点を抱えている。これらの問題を解決する方向での技術的な発展が期待される。

将来の計測管理技術は、現在の計測が点的または線的であるのに対して、画像処理などを併用することによってデータを面的にとらえることができる。また、情報化施工の積み重ねにより、客観的なデータが収集でき、これによるデータベースの基礎が完成する。さらに、これらのデータベースなどからエキスパートシステムにより計測情報を総合的に判断する基礎が完成する。

一方、施工のロボット化技術も図-4のロジスティック曲線を描きながら発展するものと予想される。したがって、これらへの計測管理情報のフィードバックによって工種は限定されるもののサイトオートメーションの原形が完成するものと予想できる。

g) 建設生産管理技術

建設生産管理は、物事の原因から結果に至る動的な過程で問題を科学的な思考と方法に基づいて解決することを目的としている。施工過程に限れば建設生産管理は、問題を解決したのち、総合的品質管理¹⁹⁾を基調とする先

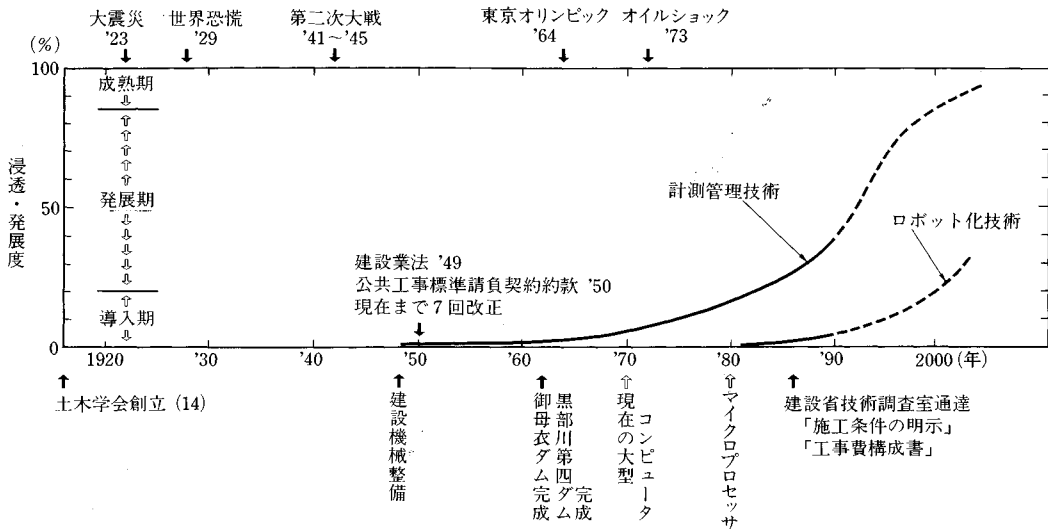
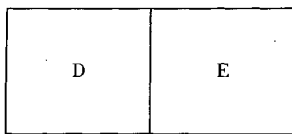


図-4 ロジスティック曲線による予測

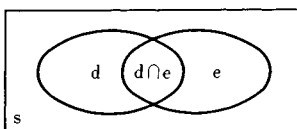
の(3)に示した建設ステーションにおける日常の管理へ移行する(図-1※)。

ここでいう問題とは、技術上の適切な判断、改善、不具合の是正、あるいは意思決定などを目的として、そのために解決すべき技術上の課題を総称している。また、企画、計画、設計、あるいは維持管理に比べて、施工は管理技術への依存度が最も大きいところである。

工事は一連の建設生産の中で、契約上あるいは担当職務から設計Dおよび施工Eの2つの領域で構成される(図-5)。しかしながら、何らかの問題が施工過程で発生する場合は、図-6に示す事象空間となる。すなわち、部分事象dは設計領域にかかわる問題であり、部分事象eは施工領域にかかわる問題である。ここで、積事象 $d \cup e$ は、設計と施工の共通領域にかかわる問題であり、これを設計と施工の共通問題と称し、差事象 $e-d$ を施工の固有問題とよぶ。余事象 $\overline{d \cup e}$ は、さしたる問題の



D: 設計, E: 施工
図-5 工事の領域



d: 設計領域にかかわる問題, e: 施工領域にかかわる問題
図-6 施工過程で問題が発生する場合の事象空間

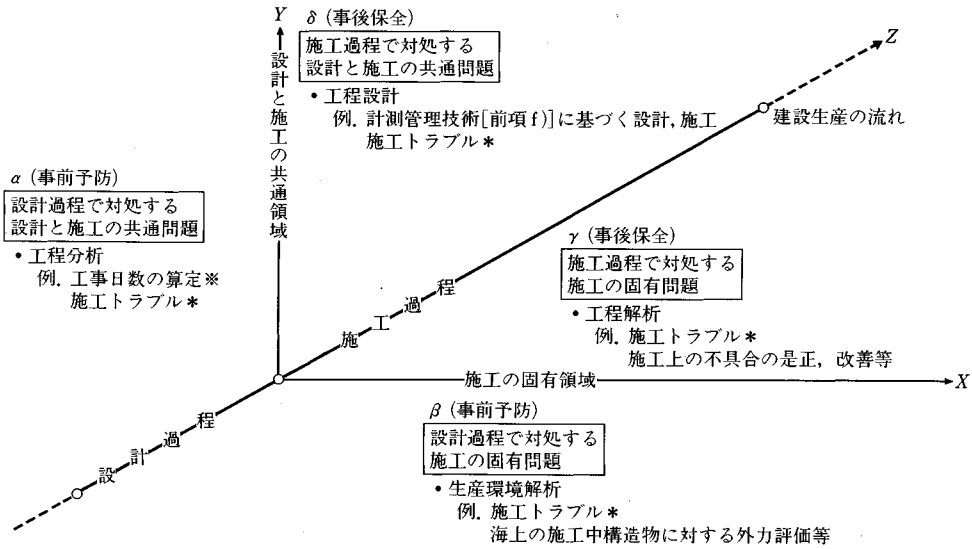
発生がみられない建設ステーションにおける日常の管理(図-1※)活動の領域を示している。

建設生産管理を工事に適用する方法としては、工程分析、工程設計、工程解析、生産環境解析および生産過程審査⁴⁾などが用いられる。また、これらに伴う手法は確率統計理論、制御理論、信頼性技術、計測管理技術、価値分析、管理工学などの基礎理論を応用、発展させてきたものであり^{20), 21)}、今後さらに発展、高度化するであろう。

工程分析の具体的な2例を示す。工事所要日数が契約当初から不足する事態は、土木全体のイメージを社会に悪くしてきた根本的な要因の1つである。この工事日数問題は、結果においては施工領域にかかわる事柄に違いないが、本質的な理由は設計過程で設計図書を作成する際に合理的な算定根拠によって工程分析がなされていないことが多いためである。この問題は、設計と施工の共通問題(図-6, $d \cap e$)であり、建設生産管理では事前予防を目的として、施工過程の前工程である設計過程で対処するテーマとなる。

この工事日数の算定については、各種のフィールドデータとサーブリック分析²²⁾に則した動作、作業研究などを工種ごとに行い、その結果は β 関数を用いた確率論的手法に基づく日数計算法が確立しているであろう。

他の例は、土木学会施工研究委員会やその他で施工過程で発生したトラブル(以下、施工トラブル)の研究がなされてきたが、いずれも施工の固有問題としてのみ取り扱う風潮から脱しきれなかった。これに対して、建設生産管理は施工トラブルを設計と施工の共通問題か、あるいは施工の固有問題か、の分析を行い、事前予防と事



図一七 事前予防と事後保全

後保全の見地（図一七、 α 、 β 、 γ 、 δ 、*）から工程分析、生産環境解析、工程解析などで検討する。これらは、契約約款の甲乙協議事項に合理的な解釈と契約履行にかかわる双務性の向上に寄与するであろう。

1990年3月現在、日本の建設業許可を取得した外国企業は、6か国の25社であった。その後21世紀までに多数の外国企業がわが国の建設に参加しているであろう。わが国の建設風土は、国際協調の本格化と権利・義務が一層明確化する社会的風潮、あるいはCMに代表する新たな建設の推進方法などから徐々に変化をきたすであろう。

このような状況のもとで、発注者と受注者、設計者と施工者、あるいは日本人と外国人など立場が異なる技術者は、(3)a)～e)に述べた高度な固有技術（建設・施工技術）を駆使する建設の品質保証（QA）¹⁹⁾の達成や製品責任（PL）²³⁾のような新たな問題の解決に取り組まねばならないであろう。

図一七に示した建設生産管理技術の一部分を構成する事前予防および事後保全の考え方と実践には、立場が異なる技術者の協力が不可欠である。技術者はこの方法論がもつ性善説に基づく人間的側面と精緻な検討を行う技術的側面から管理技術の意義や効果を見出すであろう。

(4) 維持管理・防災技術

a) 維持管理

明治時代以後、わが国の近代化とともに多くの土木構造物が造られてきた。特に1950年代後半からの経済成長と列島改造論の波に乗って、わが国の土木構造物は量的にも規模的にも急激な発展を遂げた。これら膨大な数の構造物の中には、橋梁など非常に鋭敏な構造物や波浪

などの影響を直接受ける構造物と数多く存在する。

鉄筋コンクリートや鋼鉄で造られている土木構造物は一般には堅牢で半永久的なもののように考えられているが、現実には人為的な損傷や自然環境の中での損傷、老朽化が進んでいる。特に過酷な条件の下では損傷や老朽化が加速される。土木構造物の崩壊や機能停止は社会に及ぼす影響が大きいので、構造物の損傷や老朽化を早期に発見し適切な保全措置を行うことが必要になってくる。

保全のための費用は年々増加しており、近年は地方自治体などの建設関係予算の過半を占めるようになってきている。このため、効率の良い保全システムや技術の開発が進行している。

① 点検

土木構造物の保全のための点検は、もっぱら人が“目で見て”“手で触って”“叩いて音を聞いて”損傷の有無や程度を調べていたが、今日では、種々の点検技術が開発されている。

点検技術には、たとえば、・X線を使った鋼材の亀裂や鉄筋コンクリート内部状況の検査、・無破壊でのコンクリート強度検査、・レーザー光線を使った構造物の変形測定、・航空機や人工衛星からのリモートセンシングを応用したのり面の変位測定、崩壊予測、・ガンマ線と熱線の測定による道路下の空洞調査、・小口径の下水管など人が近づけない場所でのロボットによる健全度点検、などがある^{24),25)}。

目下のところこのほかにもいろいろな分野で技術の開発や改良が進められており、将来的には点検作業の自動化や、より精度の高い検査が可能になるであろう。

しかしながら、構造物のどの部分に点検の重点を置くかは、その構造物の設計上の特性を理解していなければならない。たとえば、荷重の不均衡による反力を岩盤や橋台にとらせる構造の橋梁では、アンカー材の切断は即構造物の崩壊につながり最も重要な部分であるが、アンカー材の存在は目に付きにくいので、単なる目視点検では見落とす危険がある。

特に、完成後に維持管理業務が下部機関に移管されたり、建造後の年数がたった構造物では、点検のポイントが不明瞭となるおそれがある。このため、維持管理部門では、自己の管理下にある特殊構造物に対しては、個々の特性に対応した点検マニュアルを整備して、これに従った点検をすることが是非とも必要となろう。

② 健全度診断

点検の結果判明する種々の変形や損傷に対して、構造物への影響度をどのように判断するかは、設計上の前提条件に立ち返って考察する必要がある。構造物個々の特性に応じた保全管理を行うために、設計を含めた専門家の知識を集積したエキスパートシステムを組み、ある部分の損傷が構造物全体にどう影響するかを、将来は誰もが的確に判断できるようになるであろう。

③ 補修

補修工事の件数は今後級数的に増えてゆくであろうが個々の補修箇所では多種少量の材料を使い、材料の適否や施工の良し悪しが、その後の機能維持期間に直接影響する。現在は、既存の構造物になんらかの損傷が生じた場合は、建設を担当した業者に補修を依頼するケースが一般的であるが、将来は補修専門の技術者や施工業者を育成し、熟練した作業員で施工することとなろう。

b) 防災技術

防災には災害の未然防止、被害の拡大防止および災害復旧の3つの側面がある。

災害の未然防止システムで身近なものとしては、気象情報があり、台風や豪雨などの襲来を事前に知ることにより、日常生活の利便や個人的・社会的な資産の防災に貢献している。また、被害の拡大防止には、道路、鉄道、電気、ガス、水道などのライフラインが地震、台風、豪雨、火災などの外力により損傷を受けたような場合に、それによって二次的に引き起こされる災害を、未然もしくは最小限に抑えようとするものである。たとえば、液状化を含めた地震に対しての免震システムの開発なども期待される1つである。

高度に発達した社会においては、自然現象による一次災害もさることながら、これによる二次災害が社会に及ぼす影響も大きい。将来は一次災害の状況を迅速、的確に把握し二次災害の拡大を防止するため、通信回線のデジタル化や人工衛星、航空機を利用した画像による情報

伝達システムやデジタルマッピングによる情報処理システムが整備されるであろう。

また、リモートセンシング技術は、広範な技術の進歩や情報のフィードバックをもたらす。その一例を示せば、エルニーニョ現象、砂漠化、森林破壊、流水などの地球規模の自然現象の観測から、地球全体の環境問題への対処とともに局地的な災害を予測することも可能となろう。

4. ま と め

日本では、1986年11月より、現在まで長期にわたる経済拡大が続いており、建設事業および建設需要もそれにあわせて、順調に拡大している。一方、目を世界に転じてみれば、ドイツの統一、東欧・ソビエトの民主化、中東湾岸危機の発生と、世界は目まぐるしく変化しているのも事実であり、日米構造協定の430兆円の公共事業にみられるように“建設”も、もはや日本一国の問題だけではなくなってきた。

このような情勢の中で、建設事業の将来に直接影響を与える建設技術について展望を試みたが、かなり総花的になったことは否めない。またつっこんだ論議が十分行われたとはいいがたく、たとえば、直接、海峡をまたぐような超大スパン橋梁の建設技術や、月面基地・宇宙ステーション建設などの宇宙建設技術についても言及していない。また、21世紀に向けて人類の最大の問題となる二酸化炭素の増加に伴う地球の温暖化やオゾン層の破壊などのいわゆる地球環境問題について、建設技術の視点から十分論議がなされたとはいいがたい。これらの不満な点は他日を期すこととして、本論文で述べたことをまとめてみると以下ようになる。

(1) 建設技術は情報化社会のもたらす影響を直接受け、その技術において情報化が創造したいろいろなツールを自らの技術の中に取り込むことになる。すなわち、それは設計技術としてのCAD、CG、エキスパートシステム、最適設計手法、マッピング、シミュレーションなど、コンピュータの利用拡大である。施工技術としては自動化、ロボット化、計測管理技術および建設生産管理技術である。

(2) 建設技術は都市化という経済活動やライフスタイル変化の影響を直接受け、ウォーターフロントや地下開発を含めた都市インフラストラクチャーの整備という大きな市場で、その発展が期待されよう。

(3) 建設技術は、もはや環境を無視して単に建設すれば良いというものではなく、地球全体の環境まで考慮した建設計画の立案やエネルギーまで考慮した施工方法を考える時代になりつつある。

(4) 日本の建設市場はアメリカを抜き、世界第1位

のものとなった現在、建設事業や建設技術はもはや日本一国だけのものではなく、広く国際的な影響力をもつに至っている。今後、この傾向はますます増大すると考えられ、海外企業の参入や ODA 予算に基づいた海外プロジェクトの推進方法も契約制度まで含めて論じられることになろう。

以上、著者らの拙文に対し読者のご意見、ご批判をいただけたら幸いと思う次第である。

謝 辞：本論文をまとめるにあたっては、土木学会土木施工研究委員会、第 1～第 6 施工小委員会の皆様にご協力をいただいた。また、第 5 施工小委員会所属の清水建設(株)大崎研究所主任研究員 工博 石井清氏および同第 4 施工小委員会所属の(株)フジタ主任研究員 工博 斎藤悦郎氏には種々の貴重なご意見を賜った。ここに記して謝意としたい。

参 考 文 献

- 1) 河内隆幸：大手ゼネコン企業における建築・土木の CG と CAD, PIXEL, No. 94, 96, 97, 図形処理情報センター, 1990.
- 2) 土木学会構造工学委員会：構造システムの最適化理論と応用, 構造工学シリーズ 1, 1988.
- 3) 花井生美：構造設計と信頼性設計, 建築年報, Vol. 103, 日本建築学会, 1988.
- 4) 隈元 力：施工管理の高度化を意図した建設生産管理, 土木学会論文集, 第 397 号/VI-9, 1988.
- 5) 宇宙・海洋の有効利用と地球の保全, 政府関係資料, 1990.
- 6) 福岡正巳編：海洋土木大事典, (株)産業調査会, 1983.
- 7) 平成元年度建設ロボット研究会：施工合理化技術開発のビジョン(共通工種編), (財)先端建設技術センター, 1990.
- 8) 平成元年度建設ロボット研究会：施工合理化技術開発のビジョン(構造物対応編), (財)先端建設技術センター, 1990.
- 9) 小林茂敏：コンクリート分野における新しい材料, 土木技術, Vol. 43, No. 2, 1988.
- 10) 久楽勝行：設計・施工管理分野から見た地盤調査への要求の高度化, 基礎工, 1990. 10.
- 11) 石塚忠行：最近の場所打ち杭工法の現況, 基礎工, 1989. 3.
- 12) 吉田正吾：地中連続壁基礎の施工技術の現状と動向, 基礎工, 1989. 1.
- 13) 久楽勝行：最近の軟弱地盤対策工法の動向, 土木技術, Vol. 43, No. 10, 1988.
- 14) 大林成行：先端技術開発による技術力の方向, 開発, 1990. 1.
- 15) Terzaghi, K. and Peck, R. B. : Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Son, 1948.
- 16) 吉国 洋：情報化施工とその背景, 土と基礎, 土質工学会, 1982. 7.
- 17) 栗原則夫：軟弱地盤における道路盛土の情報化施工, 土と基礎, 土質工学会, 1982. 7.
- 18) 星谷・斎藤：建設工学におけるデータ解析と応用—カルマン・フィルタを中心として—, 鹿島出版会, 1991.
- 19) Ishikawa, K. : What is total quality control The Japanese way, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., U. S. A., 1985.
- 20) Hoshiya, M. and Saito, E. : Structural identification by extended Kalman filter, Jour. of Engineering Mechanics, ASCE, 110, No. 12, 1984.
- 21) Kumamoto, T., Hoshiya, M., Kameda, H. and Ishii, K. : Difficult dry dock construction without cofferdums in Yokohama, Jour. of Construction Engineering and Management, ASCE, 116, No. 2, 1990.
- 22) 遠藤健児・千住鎮雄・並木高矣・村松林太郎編：経営工学用語辞典, 日刊工業新聞社, 1984.
- 23) ASCE : Quality in the Constructed Project, A Guideline for Owners, Designers and Constructors, Vol. 1, 1988.
- 24) 土木学会編：土木工学ハンドブック第四版, 技報堂出版, 1989.
- 25) 重石啓太・柿下静喜・古賀義隆：第 18 回道路会議, 一般論文 801, 沿線道路空洞化概略調査の一方法について, 1989.
- 26) 畑山義人・吉田 功：練馬の橋デザインコンテスト最優秀賞, 課題, 練馬の橋「未来へむけ, 暮しと水を結ぶ橋」練馬区環境建築部, 1990.

(1991. 1. 28・受付)