ISSN 0386－5878
土木研究所資料第2711号

土木研究所資料

エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発

平成元年２月

建設省土木研究所
企画部システム課
機械施工部機械研究室
機械施工部施工研究室

「Copyright © (1988) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

土木研究所資料
第2711号1989年2月

エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発

機械施工部長　鵜津晃臣
企画部システム課長　常田賢一
同　研究員　柴崎亮介*
機械施工部機械研究室長　長健次
同　研究員　出原浩**
機械施工部施工研究室長　苗村正三
同　主任研究員　見波潔***
同　研究員　境友昭
同　中田公基

要旨

本報告書は、建設事業の効率化，省力化，安全性の向上，品質・精度の向上を図るため，最近特に進歩の著しいエレクトロニクス関連技術の適用条件を調査・研究し，エレクトロニクスを活用した調査，計画，設計，施工及び維持保全の高度化システムについて，概念設計，技術開発課題の抽出による技術開発の展望を行うとともに，具体的な高度化システムの開発を図る等，建設技術の高度化のための研究・開発の成果をとりまとめたものである。

キーワード：建設事業，エレクトロニクス，高度化システム，技術開発，要素技術，評価手法，開発事例

* 現　東京大学工学部土木工学科 助教授
** 現　北陸地方建設局新潟国道工事事務所 交通対策課 業務係長
*** 現　東北地方建設局道路部道路計画第二課長

ま　え　が　き

現在の建設事業は，死亡労働災害の多発，技能労働者の高齢化に伴う建設作業効率の低下，苛酷な労働環境での作業従事者の減少，労働生産性の低迷など対処すべき多くの課題をかかえている。一方，近年のコンピュータ，センサ，ロボット等のエレクトロニクス関連技術の進歩にはめざましいものがあり，種々の作業を自動化し，高速かつ正確に行うことが可能となってきた。このため，これらの技術を利用することによる安全性向上，効率化，省力化，品質・精度の向上を図る建設技術を開発すべきとの要請が高まってきている。

本報告書は，このような要請に基づいて実施された建設省総合技術開発プロジェクト「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発」（昭和５７～６２年度）のうち，土木分野についての研究成果をとりまとめたものである。

本調査・研究では，建設事業の効率化，省力化，安全性の向上，品質・精度の向上を図るため，最近特に進歩の著しいエレクトロニクス関連技術の適用条件を調査・研究し，エレクトロニクスを活用した調査，計画，設計，施工及び維持保全の高度化システムについて，概念設計，技術開発課題の抽出による技術開発の展望を行うとともに，具体的な高度化システムの開発を行い，さらにその評価手法を開発し，建設技術の高度化のガイドラインとして体係化を図る等，建設技術の高度化のための研究・開発を推進してきた。

当該研究・開発によれば，土木技術の高度化システムの概念設計と開発展望により，各種土木工事について，その将来像を描くのに有効な情報が得られる。また，高度化システムの評価手法は，各個別高度化システムの有用性を定量的に把握する際に有効である。さらに，高度化システムの開発事例は，今後，各種土木工事においてエレクトロニクスを利用した高度化が試される際の参考となり，ここで開発された高度化システムは，今後各方面での活用が期待される。

最後に，本研究開発の成果が建設事業の効率化，省力化，安全性の向上，品質・精度の向上等に活用されることを願うとともに，御協力を戴いた関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。

平成元年２月

総プロ「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発」

目　　次

第１章　研究の背景と目的 …… 1

１－１　研究の背景 …… 1

１－２　研究の目的 …… 2

第２章　研究の基本方針と課題体系 …… 3

２－１　研究開発の基本方針 …… 3

２－２　研究課題の体系 …… 3

２－３　研究の位置づけ …… 6

第３章　建設事業における技術高度化の課題 …… 7

３－１　建設事業と建設技術の発展 …… 7

３－１－１　エレクトロニクスと建設技術の発展の歴史 …… 7

３－１－２　わが国における建設事業の発展と建設技術 …… 14

３－２　建設事業の現況と問題点 …… 19

３－２－１　わが国の建設事業の国民経済的位置 …… 19

３－２－２　建設業の特徴と問題点 …… 23

３－３　建設業をとりまく情勢の変化と建設業への影響 …… 29

３－３－１　２１世紀へむけての経済社会情勢の変化 …… 29

３－３－２　将来の環境変化と建設業への影響 …… 31

３－４　建設技術高度化の方向 …… 35

第４章　建設事業におけるエレクトロニクス利用の現状と問題点および利用ニーズ …… 38

４－１　建設技術とエレクトロニクス利用分野 …… 38

４－２　建設事業における情報処理・通信技術の利用の現状と問題点 …… 38

４－２－１　建設事業における情報処理・通信の基本的ニーズ …… 38

４－２－２　データベースの利用現況 …… 41

４－２－３　画像処理技術の利用現況 …… 61

４－２－４　エキスパートシステムの開発現況 …… 66

４－３　メカトロ技術の建設事業での利用の現状と問題点 …… 73

４－３－１　建設分野におけるメカトロ技術の現状 …… 73

４－３－２　メカトロ技術適用上の問題点 …… 75

4－4　エレクトロニクスを用いた技術開発ニーズ …… 77
4－4－1　建設事業のマクロ分析による潜在的な技術開発のニーズの分析 …… 78
4－4－2　アンケート調査による建設技術高度化ニーズの抽出 …… 90
第5章　建設技術高度化システムの開発にあたっての基本的な考え方 …… 109
5－1　高度化システム開発の意義 …… 109
5－2　建設技術の高度化にあたっての2つのアプローチ …… 109
5－3　高度化システムの開発における技術開発の方向 …… 114
第6章　建設技術高度化システムの概念設計と開発展望 …… 116
6－1　概念設計の検討手順 …… 116
6－1－1　概念設計の考え方 …… 116
6－1－2　概念設計の検討手順 …… 116
6－2　ケーススタディ対象事業の選定 …… 118
6－3　建設技術高度化システムの概念設計 …… 119
6－3－1　事業別高度化システムの概念設計 …… 119
6－3－2　建設情報管理高度化システムの概念設計 …… 186
6－4　要素技術の開発展望 …… 201
6－4－1　メカトロニクス関連技術 …… 201
6－4－2　情報処理・通信技術 …… 244
第7章　建設技術高度化システムの評価 …… 252
7－1　評価の目的 …… 252
7－2　評価の方法 …… 253
7－2－1　評価の全体構成 …… 253
7－2－2　評価主体と評価項目の設定 …… 254
7－2－3　評価項目の評価と結果のとりまとめ …… 257
7－3　ケーススタディ …… 266
7－3－1　将来需要の変化予測 …… 266
7－3－2　ダム建設の高度化システムの評価 …… 268
7－3－3　トンネル建設の高度化システムの評価 …… 271
7－3－4　土留掘削の高度化システムの評価 …… 276
7－3－5　海洋構造物建設の高度化システムの評価 …… 280
7－3－6　橋梁維持管理の高度化システムの評価 …… 284

7－3－7　道路舗装における維持管理の高度化システムの評価 …… 288
7－3－8　ま と め …… 291
第8章　建設技術高度化システムの開発展望 …… 293
8－1　開発の手順 …… 293
8－2　開発体制と環境整備 …… 296
第9章　建設技術高度化システムの開発事例 …… 299
9－1　開発対象の選定 …… 299
9－2　土工の高度化事例(1)　—ブルドーザ位置決めと排土板制御-- …… 299
9－3　土工の高度化事例(2)　—土の締固め度の管理システム— …… 302
9－4　データベース高度化システム事例　—工事情報データベース
システムの開発— …… 304
9－5　写真測量自動化技術と土工管理への応用 …… 312
第10章 結　論 …… 320

第1章　研究の背景と目的

1－1　研究の背景

わが国の建設事業をとりまく情勢は、社会的にも技術的にも、現在大きな変化を見せている。

２１世紀とともに到来するであろう成熟社会を展望するならば、量とともに質の高い社会資本を整備することが是非とも必要とされている。また、情報化社会の到来の中で自動車のナビゲーションシステムに見られるように、社会資本にも土木構造物の枠を超える新しい機能と質が要求されるようになってきた。さらに国内では、宇宙、海洋、地中といったニューフロンティアの開発が現実的な課題となりつつあり、国際的には、建設市場の門戸解放という新しい国際化の波が押し寄せ、今までとは異なる事業環境がつくられようとしている。

こうした中で、わが国の建設業は、社会資本整備の新しいニーズにも応えつつ、競争力の強化と新しい業態の開拓という拡建設の課題への取組みを開始している。しかしながら、一方で、建設業は早急に解決しなければならない多くの問題をかかえていることも事実である。すなわち、他産業に比べても多い労災や苛酷な労働条件は、若者の“土木離れ”の一因でもあり、熟練技能工の減少といった問題も存在する。これらの問題を解決し、来たる２１世紀をも展望して、良質の社会資本の整備と維持管理の充実により豊かな国土建設を進めていくために、建設技術の高度化が強く望まれている。

一方、世界のトップレベルにあるわが国のエレクトロニクス技術は、様々な産業の技術を大きく向上させ、単に個々の生産工程のみならず、情報ネットワーク化によって物流をはじめとする社会システムそのものを変革させる大きなインパクトを与えている。今後の建設技術を考えるとき、エレクトロニクスの利用促進が大きな役割を果たすことが期待されている。

現在、建設技術の開発は公共側、民間側のそれぞれにおいて精力的に進められている。しかしながら、建設事業の主要な対象となる自然が極めて多様性に富み、標準的、規格的な取扱いが困難なこと、また建設作業が技能的な手作業を基本に組み立てられていることなどを考えると、従来の建設技術にそのままエレクトロニクスを導入するだけでは大きな効果を期待しがたいことが予想される。

したがって、２１世紀を展望した建設技術の高度化をより効率的に推進するためには、建設技術とエレクトロニクスの融合を図り、新しい技術的システムを創造するという観点から戦略的な技術的開発を強力に推し進める必要があり、その方向づけを行うものとして新しい建設技術の将来ビジョンを描くことが以前にもまして重要になっている。

1－2　研究の目的

本研究は、以上の背景を踏まえつつ、建設事業の一連の流れの中でエレクトロニクス適用の可能性を探るとともに、エレクトロニクス利用による建設技術の高度化システムを模索し、先端技術産業としての建設事業の将来像を展望するものである。

すなわち、エレクトロニクスの建設技術への適用の現状と問題点をふまえつつ、未来型の建設技術の姿のイメージとそれを可能にする要素技術の開発展望を検討する。さらに、重要な技術開発項目について開発に着手する。

本研究はこれらの検討により、豊かな国土建設と建設業の振興に資する建設技術の向上をはかることを最終目的としている。

第２章　研究の基本方針と課題体系

２－１　研究開発の基本方針

(1)　高度化システムを検討する上で想定する目標年次は、今後の経済・社会情勢の変化、予測の可能性及び技術開発に要する時間などを考慮して西歴２０００年を一つの目安と考える。

(2)　建設技術の高度化システムの開発を目的として、建設業へのエレクトロニクス関連技術の適用上の課題、方策を検討し、さらに西歴２０００年までに必要となる、あるいは導入されると考えられる高度化システムのいわば青写真を例示し、今後の技術開発のための礎となるようにする。

(3)　高度化システムを構成する要素技術の開発は、今後建設事業全体が取り組んでいく技術開発の先導的な役割を果たすものであり、本プロジェクトの成果を具体的な形でアピールしていく上で重要なものであると考えられる。したがって、高いプライオリティーを持つ幾つかの開発対象について、本プロジェクトの期間内に具体的な技術の開発を行う。

２－２　研究課題の体系

本プロジェクトは、昭和５８年度から５ケ年にわたる検討により、エレクトロニクスを利用した建設技術高度化システムの開発を行うものであり、建設技術を土木技術と建築技術とに分け、それぞれ土木委員会、建築委員会を頂点とした開発体制をもって調査研究にあたった。図２－２－１は、土木技術を対象にした研究開発フローを示している。以下に図２－２－１に示された研究課題の概要を述べる。

(1)　高度化システムの開発にあたっての基本的考え方

(a)　建設技術高度化の課題（第３章）

２１世紀へ向けて、建設技術をどのように高度化させていくべきかについて方向づけを行うため、建設事業と建設技術の発展過程と現状を分析した。さらに２１世紀のわが国社会経済の展望とその中での建設事業の環境の変化に留意し、建設技術の高度化に対して要請されている課題を明確にし、高度化システム開発の方向を示した。

(b)　建設事業におけるエレクトロニクス利用の現況と問題点および利用ニーズ（第４章）

建設事業におけるエレクトロニクス利用の現況と問題点を、コンピュータ利用を中心とする情報処理分野と、ロボット、センサ等の利用を中心とするメカトロニクス分野とに区分して分析した。また、建設事業の様々な技術について問題点を分析し、エレクトロニクスを用

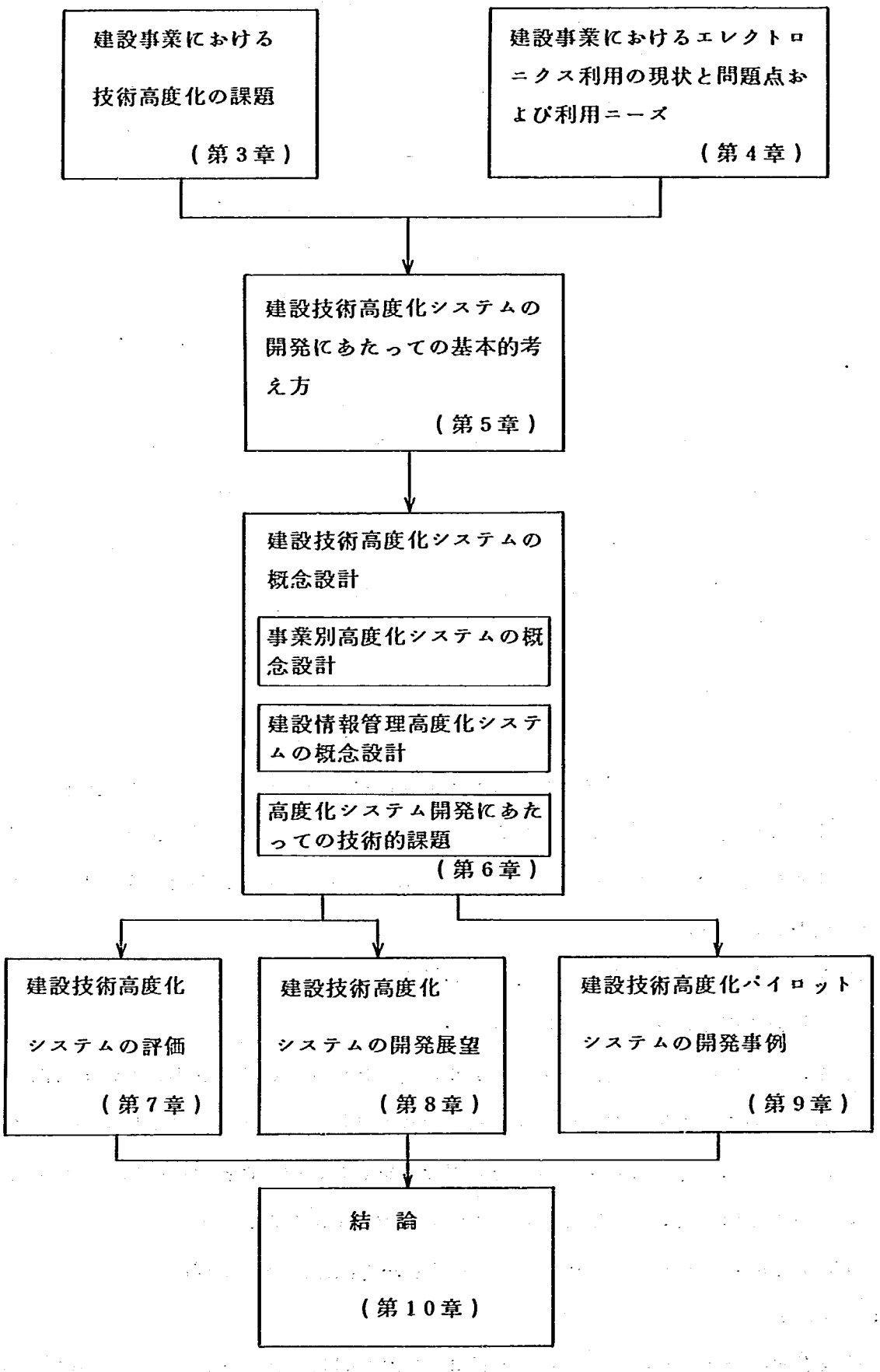


図２－２－１　研究課題と検討フロー

いた高度化システム開発のニーズの抽出を行った。

(c) 高度化システムの開発にあたっての基本的な考え方（第５章）

建設技術の高度化にあたって、エレクトロニクスの利用をどのような考え方で推進すべきかについて、基本的な視点を設定した。

(2) 建設技術高度化システムの開発

(a) 高度化システムの概念設計（第６章）

前項(1)(c)で検討した高度化システム開発の基本的な考え方をもとに、ダム建設事業、トンネル建設事業といったケーススタディ事業について、調査、計画、設計、施工、維持管理を対象にして事業別に高度化システムのイメージを捕えるための概念設計を行い、システムの構築のために必要な要素技術上の開発課題を抽出した。抽出された課題については、要素技術別に概略仕様等の検討を行い、技術開発の展望とした。

(b) 高度化システムの評価（第７章）

前頁(a)で検討した高度化システム（概念設計）が、高度化の要請課題に照らして、どのように位置付けられるかを整理した。また、高度化システムのような技術開発プロジェクトの評価については確立された評価手法が存在しないため、評価手法の開発を行った。

(c) 高度化システム開発展望（第８章）

高度化システムの検討結果にもとづき、高度化システムを実現するための技術開発手順や開発体制等をとりまとめ、技術開発の展望を示した。

(3) 建設技術高度化パイロットシステムの開発（第９章）

(2)の検討において、エレクトロニクスの利用による技術開発の有効性が明らかになった課題のうち、早い時期に開発に着手すべき項目の中から、昭和６２年度までに開発可能なものを選定し、高度化パイロットシステムとして、建設省と民間企業との共同研究において開発した。

開発のテーマは、情報処理システム関連とメカトロニクス関連に区分し、以下のようなテーマについて開発を行った。

(a) 情報処理システム関連

- 工事情報データベースシステム
- 写真測量の自動化による土工の出来高計測管理システム

(b) メカトロニクス関連

- ブルドーザの位置決めと排土板制御
- 締固め機械の位置決めと締固め度の非破壊測定技術

2－3　研究の位置づけ

本研究は、官民が協力して建設技術開発の方向と展望を探ることにより、技術開発を促進させるための基礎的条件を明らかにするという意義を有している。

一般に、技術開発促進のための施策は、ニーズの創出による技術開発のインセンティブの付与とシーズ（技術）そのものの育成という２つの側面により構成される。ニーズの創出とシーズの育成についての内容は、図２－３－１のように考えることができる。

図に示した個々の施策に対応させて、本研究の課題を整理すると、「高度化の課題」の検討は「開発課題の明確化」に対応し、高度化システムの開発（概念設計）・評価は、「開発方向の明示」として位置づけられる。また、共同研究による４つの高度化システムの開発は「技術的支援」、「ノウハウ等の技術情報の提供あるいは技術指導」として位置づけられる。その他、本研究では「技術市場の環境整備」等についても言及しており、技術開発促進政策全般にわたる検討が行われている。

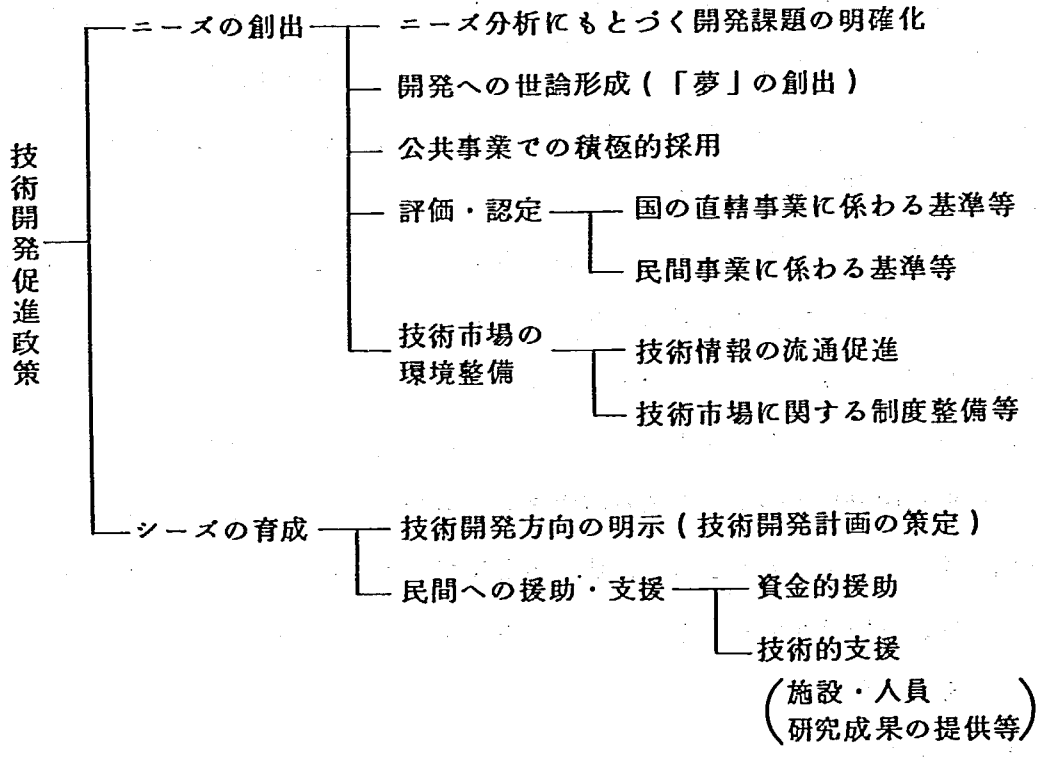


図２－３－１　技術開発促進政策の体系

第３章　建設事業における技術高度化の課題

３－１　建設事業と建設技術の発展

３－１－１　エレクトロニクスと建設技術の発展の歴史

(1)　エレクトロニクスとメカニカルエンジニアリングの融合・複合化

(a)　ＩＣの発達

真空管に代わるトランジスタの出現を契機に、エレクトロニクス技術の進歩と重要性の増大は飛躍を遂げた。まず1960年初頭にはＩＣ（集積回路）が開発され、その後集積度が高められた結果、1970年代の大規模集積回路（ＬＳＩ）、1980年代の超大規模集積回路（ＶＬＳＩ）と発展してきた。集積度の上昇に伴い、ＩＣの利用用途も拡大して、今日ＩＣは「産業の米」と呼ばれるに至っている。

トランジスタ・ＩＣを用いたエレクトロニクス技術の最大の産物はコンピュータであり、あらゆる分野で不可欠の役割を果たしている。さらに、ＩＣを用いた技術はコンピュータにとどまらず、デジタル化による通信技術の向上、各種センサへの応用による計測・制御技術の向上等に大きく寄与している。

(b)　エレクトロニクスの構成要素とメカニカルエンジニアリング

エレクトロニクス技術の応用は極めて広範囲にわたるが、大きくはコンピュータを用いた情報処理分野、通信分野、センサ・マイコンを用いた計測・制御分野に区分することができる。計測・制御技術は必然的にメカニカルエンジニアリングとの結合のもとで活用されることになり、ここにエレクトロニクスとメカニカルエンジニアリングの融合と複合化が行われた。

図３－１－１はこれらの融合と複合化の流れを各時代の代表的新技術と合わせて示したものである。なお、メカニカルエンジニアリングにおける新技術は、主に建設機械との関連から選んでいる。

同図より、デジタル情報処理技術がＬＳＩとセンサを通してメカニカルエンジニアリングと融合した結果、メカトロニクスという新しい技術分野を形成するに至っており、また情報処理・通信、計測やメカニカルエンジニアリングで開発された要素技術が、建設技術の大きな転機を生み出すきっかけになっていることが読みとれる。

情報処理、通信、メカトロニクスの３分野は、人工知能といった今後の技術開発の進展により一層の複合化、融合化に向かうものと考えられる。なお、本報告書では、これら３分

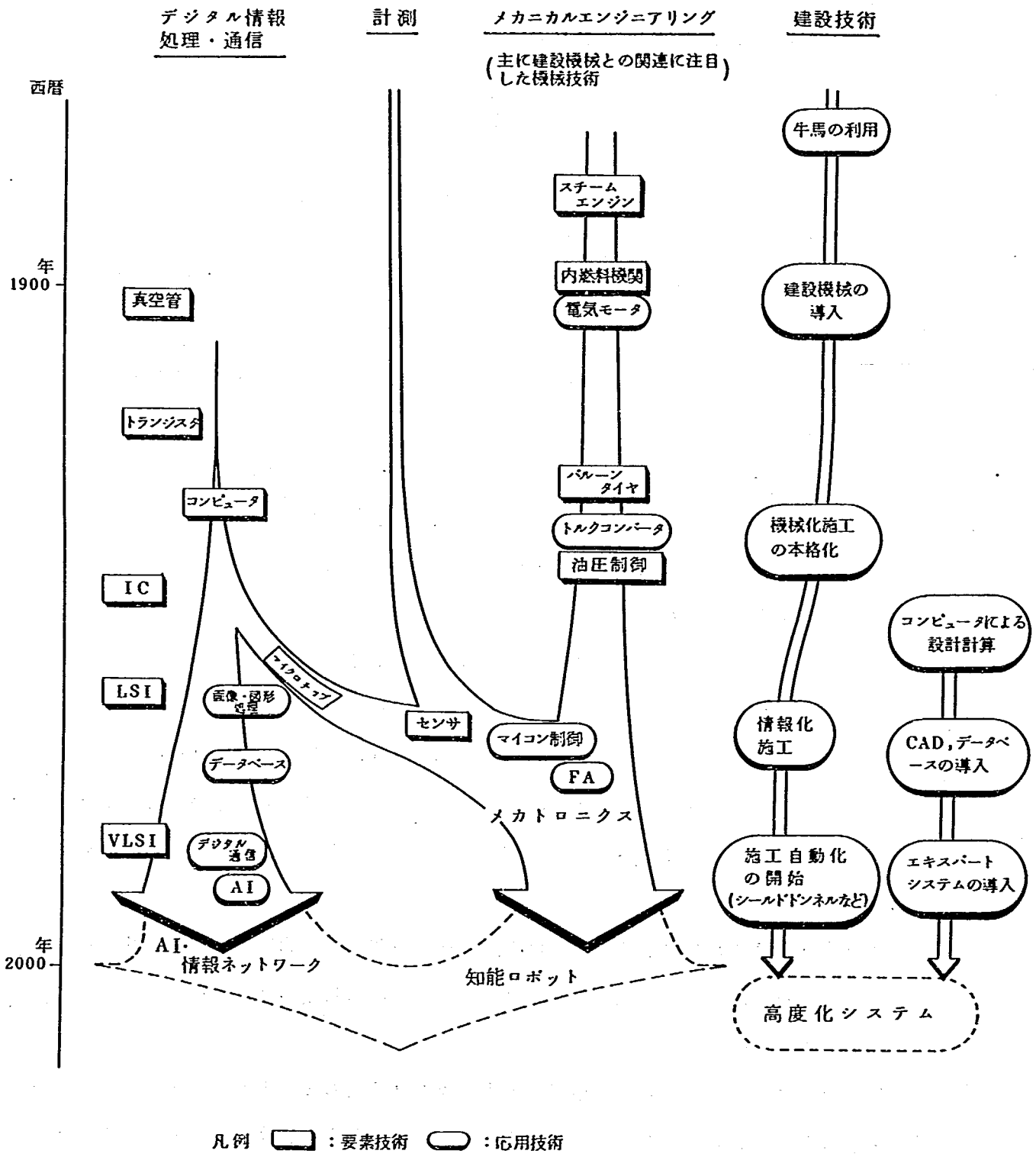


図3−1−1　エレクトロニクスとメカニカルエンジニアリングの融合と複合化

野をまとめてエレクトロニクス関連技術と呼ぶことにする。

(2) 建設技術の発展とエレクトロニクス

建設事業においてもコンピュータの利用をはじめとして、エレクトロニクス技術、メカトロ技術は不可欠の構成要素となっており、それらの分野の新技術が建設技術に大きなインパクトを与えていることは既に述べた。ここでは建設技術の歴史をふりかえり、現在までの技術発展の流れと特徴を分析する。

エレクトロニクス技術の利用が本格化する1970年代初頭までは、主として施工技術の機械化が発展の中心であった。一方、1970年代以降は機械の大型化とともにエレクトロニクス利用による技術の高度化・多様化といった側面が重要になるため、1970年以前とそれ以後とを分けて分析する。

(a) １９７０年以前

表３－１－１は、建設機械の発展を歴史的に概観したものであり、以下この表にしたがって論をすすめる。

(i) １８００年以前

建設工事の主力は人力であった。原始と変わらぬ道具類（スコップやテコ、コロ）を利用しながら、いわゆる人海戦術によって工事は進められ、それでも歴史に残る大工事が行われてきた。一部で馬や牛も利用されたが人間ほどには豊富な動力源ではなかったと考えられる。設計技術者は工期の短縮を願って効率の良い動力を求め、施工技術者は工事を容易にする力の強い動力を求め、そして工夫は苛酷な作業を代行してくれる動力を求めた。しかし、そういった動力は、この時点においては夢以上のものとはなりえなかった。

(ii) １９世紀

蒸気機関の発明、そしてその利用は、西欧社会を産業革命の渦中に引き込んだ。工場は疲れを知らない大きな力を利用して次々に製品を生み出し、そして同じ力を利用した巨大な船が有り余った製品を海外に運んだ。この富を生み出す驚異的な動力を建設工事に利用する試みが続けられたことは当然である。蒸気機関を積んだトラクタが出現したが、不必要に大きなその動力部分はこの夢の機械を魅力のないものにしてしまった。

後半に入ってスエズ運河の建設という歴史的なプロジェクトが行われた。平坦な地狭部とはいえ７５０万㎥という膨大な量の掘削が必要とされた。しかし、ここでも主力は人力であった。この何万人もの人の海の中にあって、唯一建設機械と呼べるものはしゅん渫船であった。トラクタにとっては大きすぎる蒸気機関も船の上では有効に利用された。

産業革命を支えるために必要な建造物に対するニーズは高まり、当然ながら建設工事

表3−1−1　建設機械の歴史と要素技術

西暦	動力	足まわり	要素技術	建設機械	歴史的出来事	西暦
	人力	木製車輪	バケツ，スコップ てこ，ころ 車輪，クレーン ウインチ，ギア			
1800	馬 牛			ブラウ，スクレーパなど 馬や牛を動力とした農業機械の利用	産業革命	1800
1850	スチーム エンジン			40 t クレーン（馬） スチームエンジン・トラクタ	スエズ運河	1850
1900		ソリット・ラバー タイヤ レール		スチームエンジン・ショベル	パナマ運河 第一次世界大戦	1900
1925	内燃機関 ガソリン	電気モーター 高圧コードタイヤ 無限軌道 バルーン	溶接技術の利用 トルク・コンバータ	フレスノ・スクレーパ（馬） クローラ・トラクタ モータスクレーパ	フーバーダム 第二次世界大戦	1925
1950	⇩ ディーゼル	タイヤ （ナイロンコードの利用） （チューブレス） タイヤ	高張力鋼 ピストン式 ショックアブソーバ 油圧制御	ホイール・ローダ リッパー（油圧）	インターステイトハイウェイ工事	1950
1960			ターボ・チャージャ	74 m³ スクレーパ 11 m³ ホイールローダ 200 t トラック エレベーティング・スクレーパ ハイドロ・エキスカベータ		1960
1970		（ビードレス） タイヤ			アラスカパイプライン工事 OSHA 安全基準	1970

の需要は非常に高まった。この社会的な欲求に応えて急激な発展を遂げたのはむしろ牛馬を動力とした建設機械であった。その発展は２０世紀の初めまで続き、４０トンクレーンや四頭だてのスクレーパ（フレスノ・スクレーパ）など現在の建設機械の原形と思われるものが、ディーゼル・エンジンではなく馬や牛の力を利用して使われたのである。そして、こうした動物力機械の発展は、当然ながら２０世紀に始まる本当の意味での機械化をよりスムーズなものにする伏線でもあった。この時期は、動物力に勝る軽く、少さく、有効な機関の出現が待たれた時代でもあった。

(ii) 機械化の時代（1900～1950）

この頃出現した内燃機関（ガソリン・エンジン）こそは、建設の機械化を促した主原動力といえる。蒸気機関よりもずっと小さく、そして強力なこのエンジンは馬や牛よりはるかに魅力に富んでいた。また同時期に開発された無限軌道は悪路に強く、建設工事に有効な足まわりであった。一方、1905年にクローラ・トラクタが開発されているが、その本格的な利用は第一次世界大戦の終了を待たねばならなかった。1920年頃までは未だ人力と動物力が主力であり、第一次大戦においても人力による施工が中心であった。

1900年代初めに行われたパナマ運河工事においては、その工事量は2億5000万m^3とスエズのそれをはるかに上まわり、また山岳地であるため工事の困難さはスエズの比ではなかった。当然ながら当時利用可能な建設機械をフルに活用する必要があった。蒸気機関を積んだしゅん渫船や掘削機（レールの上を移動する）が利用されたが、未だ内燃機関の利用は不充分であった。

そして、この頃利用されはじめた重要な要素技術として、溶接技術とバルーン・タイヤがある。溶接技術は機械を軽量化し耐久性のある物としたばかりでなく、設計上の各種の困難をなくして機械の進化を容易にした。バルーン・タイヤは、現在も我々にとってなじみの深いものであり、建設機械の高速化に欠くことのできないものである。

また、建設機械の有用性は徐々に確認され、そして活用されはじめた。米国におけるその利用は特に活発であり、第二次世界大戦では戦場での工事に活用され、迅速な施工が可能となったため、優位の内に戦線を展開させられるようになった。これに対して日本や西欧の国々では建設の機械化はそれ程進んでおらず、戦場で利用された機械類のほとんどは農業用の機械であったため、充分な活躍はなかった。この違いは主に戦前の大恐慌の時期における政策の差によるもので、有り余った労働力を活用するために機械の利用を制限したことが原因で機械化が遅れたのである。現在の他産業におけるロボット化に対する危惧－ロボットが労働の場を奪ってしまうのではないか－が昂じた場合、同様

の事態が発生する可能性も否定できない。

このように２０世紀前半に機械化は相当に進んだが、主に使用されたのはクローラ・トラクタであって、現在のような多様性は未だ見られなかった。しかし、それでも１９世紀の工事関係者の持っていた新しい動力源に対する夢は現実化し、産業革命に数十年遅れた建設革命が開始されたのである。

(Ⅳ) 多様化の時代（１９５０～１９７０）

第二次大戦後の経済復興にともなう建設需要の上昇は、建設機械産業を刺激し、また新たな技術の進展と相まって建設機械は非常な勢いで進歩した。そして、現在我々が目にする建設機械のほとんどは、この２０年間に開発されたものであると言っても過言ではない。これらの機種の多様化もさることながら、それぞれの機種の大きさの多様化もこの時期の特徴であり、ほとんどの巨大な機械もこの時期に開発されたといえる。

要素技術としてのトルク・コンバータの開発は、機械の操作性を高めサイクル・タイムを短縮させた。油圧制御は機能性を高め、ハイドロリック・エキスカベータやリッパーなど新しい発想の機械を生みだした。中でも機械の大型化は極限の技術を必要とするため数々の要素技術の進歩を必要としたが、時代はこれらのニーズを次々に満たし巨大機械を生み出していった。高張力鋼の利用なくしては巨大機械は大きく重いばかりで、機動性のない無能な恐竜になり下がったであろうし、巨大なタイヤの開発、そしてこれを見えないところで支えた強力なナイロン・コードの利用なくしては、巨大なダンプトラックは存在しえなかった。

バルーン・タイヤの質の向上により、悪路で作業する建設機械にもタイヤが活用されるようになった。タイヤを使えばクローラよりもはるかに高速な作業が可能となり、機械自体も振動の低下から耐久力が増し、居住性も良くなって作業が楽になった。そして多くの長所を持つタイヤを足まわりに使った機械は、クローラ・タイプの機械を徐々に押しのけていった。

この時期、日本国内においても建設の機械化は急速に進み、機械化の先進国である米国にかなり近づいた。そして、この機械化にともない、労働生産性は急激に向上していった。図３－１－２に日本の建設業の労働生産性の変化を示すが、図中の１９７２年まで続く上昇カーブは建設の機械化によるところが大きいと思われる。

なお、この期間にようやくコンピュータと呼ばれる新しい機器が設計計算を中心とする業務に利用され、情報処理作業の一部が機械化され始めている。

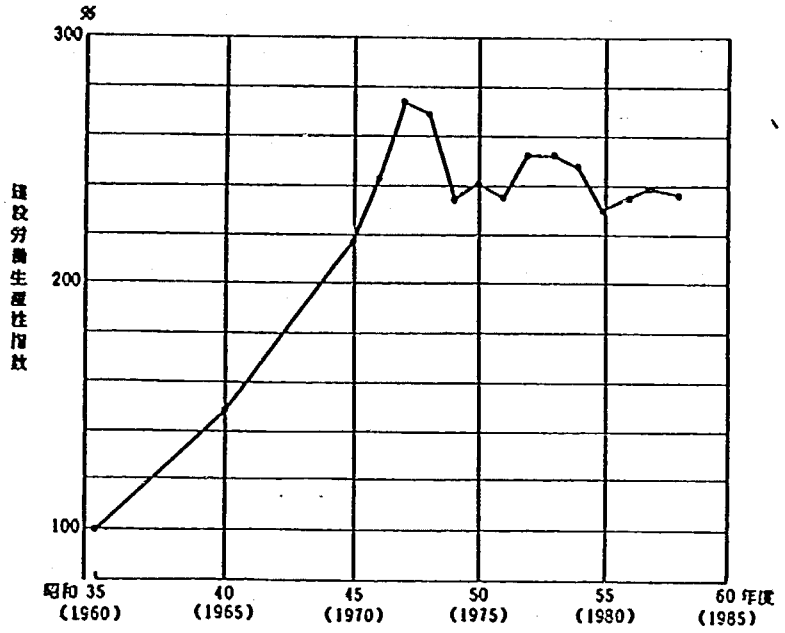


図３－１－２　建設労働生産性の推移[2)]

(b)　１９７０年以降

１９７０年以降の建設技術は建設機械の大型化に加え、小型化、高速化、大容量化の面で飛躍的に向上した電子計算機の利用による制御技術の向上および情報の処理・管理も含んだ建設作業全体の統合化に大きな特徴が見られる。今後は自動化・無人化・ロボット化が大きなテーマとなっていくことが予想される。

(i)　大型化、省力化、効率化

１９７０年代になると、工事の大型化と同時に都市内における大深度地下鉄工事のように施工条件の厳しい工事が増加した。このため計測の精緻化等による施工技術の向上が必須の条件となった。また１９７３年に端を発するオイルショックにより、エネルギー制約も大きな問題となり施工の省力化、効率化が重要な課題となった。

この間有限要素法など電算機利用を前提とした設計技術の向上により、より大きな構造物に対してより経済的な設計が可能となった。これは他方で施工精度向上の必要性をさらに増すこととなり、こうして設計、計測、施工の一体性がエレクトロニクス関連技術を基礎としてより強化され、工事の大型化等のニーズに答えていると考えられる。

(ii)　自動化、システム化

１９８０年前後から施工機械を効率的に運用するためにマイコンを装備した制御システムが利用されるようになり、施工の自動化の時代が訪れることとなった。

一方では、情報化施工に見られるように、現場において収集される情報をリアルタイムで

施工に反映させるといった作業の統合化が進展しているのも現在の特徴である。

(iii) 自動化・無人化・ロボット化

コンピュータ分野でのＡＩの研究、センサーの機能向上等により、それらを応用した施工機械はロボット化への道を進むことが想定される。しかしながら、働きかける対象の大半が多様な条件を持つ自然であることから、通常のＦＡ等に比べると技術的難度は高く、実現のためには多大な労力を必要とすることが予想される。

ただし、宇宙、海洋、地下空間といったニューフロンティア開発の実現のためには、自動化・無人化・ロボット化は必須の技術課題であり、そのニーズは今後飛躍的に増大することが予想される。

3－1－2　わが国における建設事業の発展と建設技術

本節では、わが国における明治以降の建設技術の発展を特にその契機・要因の視点から把握するために、いくつかの時代区分について、建設事業からみた時代の特徴、主な建設工事、施工法の進展と特徴、工事実施方式と建設業者の４つの項目について整理した。その結果を表３－１－２に示すが、明治以降の建設技術の発展は、マクロ的にはわが国の社会・経済上の要請を受けて進められてきたことが表から読みとることができる。さらに、技術開発の特徴、技術の発展を支える体制については、おおむね以下のように整理される。

(1) 技術開発の特徴

明治以降の建設技術の開発は、施工の機械化を中心としながら次に示すような特徴を持って展開してきた。

・明治時代 …… 新しい時代に対応する構造物を建設する必要性から、西欧の施工技術が導入された。

・大正～昭和20年以前 …… 植民地や占領地において、軍事目的の急速施工が必要とされ、技術開発を促した。

・昭和20年代 …… 連合軍工事の施工にあたって、施工管理技法が導入された。また国土復興のための大型ダム等の建設にあたり、大型機械施工技術が採用された。

・昭和30年代 …… 産業基盤整備の活発化により、機械化施工が定着し、施工管理技法の導入が進んだ。

・昭和40年代 …… 大型の公共事業が活発化し、都市開発工事も増加した。このため省力化、大型化を中心に技術開発が前進した。また、公害問題を背景とし

表３－１－２　わが国の建設事業の流れ(注)

年　　代	建設事業からみた時代の特徴	主な建設工事	施工法	工事実施方式と建設業者
江戸時代まで	封建制度のもとでの農業振興のための土木が中心の時期	土地開発（開墾、干拓）治水・用水工事	役務として強制的に調達された人力を主体とし、わずかに鍬・もっこなどの道具と牛・馬の力を利用した。	江戸時代中期に、建設業の基盤ができ始めた。
明　　治	西欧近代土木技術を学ぶとともに、それを受容し、日本国内の事業施工体制を確立する導入・確立時期	新時代の要請として、国土利用の基幹となる鉄道・港湾建設が中心であったが、発電、治水、上下水道、都市計画などの各事業も急務とされた。	人力を主体とした施工法は、次第に蒸気・電気を動力とする機械を使用した施工方法へと変革。一部では、削岩機や空気圧縮機を用いたトンネルの掘削も行われた（明治１７年頃）	初期は、直営方式がとられ、先進諸国の技術指導のもとで施行された。明治１２年ころから請負方式が採用され始めた。
大　　正 〜 昭和２０年迄	日本の近代土木技術が西欧近代土木技術の直輸入の時代を脱し、自立した時代。 また、戦時体制下であり、国内の一流メーカーも建設機械の開発には参画せず、政策的にも公共建設工事は不況時の失業対策事業として余剰労働力の救済にあてられていた。このため、工期の短縮や施工法の合理化に対して積極的でなかった。 一方、植民地・占領地における土木事業は規模が大きいだけでなく、厳しい自然条件、労働力不足、軍事上の要請による急速施工の必要性から機械化施工が行われ、施工技術は著しい進歩を示した。	植民地における鉄道建設・発電所建設	施工の機械化が進み、国内ではスチームショベルや輸入されたミキサー、ガソリン機関車、固定型クレーン等が使用された。	大正期になると建設業者の数は増加し、質も向上し、大手業者は相次いで個人組織から法人組織へと組織の変更を行った。しかし、技術の面では概ね人力を主体とする幼稚なものであった。 原則として請負方式がとられていたが、新技術開発を必要とするような大規模工事においては直轄方式での施工が行われた。水力発電工事は民間発電会社が企業者であり、大規模かつ請負工事であったため、建設業者の成長に大いに役立った。

（注：文献５をもとに作成）

表3－1－2（つづき）

年　　代	建設事業からみた時代の特徴	主な建設工事	施工法	工事実施方式と建設業者
昭和２０年代 前　半	戦後の復興の中で、施工の機械化をはじめとする施工法の合理化が各工種にわたって本格的に取り入れられ始めた。	敗戦後最初に着手されたのは連合国軍のための設営土木工事であり、住宅建設に伴う整地・造園、道路、下水道、港湾施設、鉄道引き込み線から飛行場などの軍事施設にまでわたる多様な建設工事が行われた。 また、台風をはじめとする災害の復旧工事も行われた。	軍事関係工事では、連合軍によって持込まれた土木機械をはじめとする各種の建設用機械の貸与を受け、合衆国流の仕様にもとづいて施工が進められた。 連合軍工事は一般に施工期間が短く、従来のわが国の施工法と異なることも多く、これらの工事を通じて、機械化施工や施工管理技法の基礎が築かれた。	職業安定法の制定（昭和２２年）により、業者の労務者供給事業が全面的に禁止となり、企業者は直轄方式の採用が可能となり、直轄方式か請負方式をとらざるをえなくなった。 国産機械の開発にあたっては、開発を指導して、建設省等の発注者側で機械を購入し、受注者に貸与して使用方法やコストの検討にあたらせ、メーカーに改良改善を求めつつ、実用機として完成させる方法がとられた。
昭和２０年代 後　半	朝鮮事変により、建設工事も国内産業の拡充強化の基盤として激増した。	電源開発のための水力発電所の建設が進められ、佐久間ダムをはじめとする大型のダム、発電所工事が活況を呈した。	大型の土木工事に対処する新しい施工技術に大型の施工機械の導入が必要となり、諸外国から指導を受けた。 一方、建設機械の国産化が進められ、外国機械を参考にした試作機の製造が開始された。昭和２７年の五十里ダムの建設では１０ｔブルドーザ、７ｔダンプトラック等国産の機械が主力となって施工された。 昭和２６年ごろから生コン業者が現われ、コンクリートポンプの開発と相まって、コンクリートの品質が安定した。	

表3－1－2（つづき）

年　　代	建設事業からみた時代の特徴	主 な 建 設 工 事	施　　工　　法	工事実施方式と建設業者
昭和３０年代	日本経済は復興の域を脱して成長期に入り、好景気に支えられた産業設備投資および産業基盤整備が活発化した。 昭和３５年以降、建設投資は毎年１０％以上の延びを示した。	電源開発工事としては大規模水力発電所とともに大都市において火力発電所の建設が行われた。 高速道路建設の第一歩として名神高速道路が建設された。 新幹線工事をはじめ大都市地下鉄等の建設が促進された。	工事規模の拡大、工期の短縮、経済性の追求の要請から、機械化施工を定着させて対処する方向へと急速に発展した。 土木機械の需要が大きくなり、わが国の工事の特性や土に適応した特殊機械が開発され、国産化が進展した。 コンクリート・ポンプ車が製作され（昭和３８年）、コンクリート工事の省力化が進んだ。 多様化した工事内容に対応するため、PERT, CPMなどの施工管理技法が導入された。	
昭和４０年代	重化学工業を中心とする輸出の伸長により民間の設備投資も活発に行われ、あわせて大規模な社会資本整備も進められた。一方で、公害問題が表面化し、無公害工法の開発が必要とされるようになった。 ４０年代終りには、第一次オイルショックにより緊縮財政がとられ、公共事業を中心に建設需要は落込んだ。	民間では電源開発工事が中心であり、公共事業では、山陽・東北・上越新幹線工事、東名・中央・中国・東北などの高速道路工事、地下鉄、上下水道、都市高速道路を中心とした都市開発工事などが急速に進められた。	施工業者が自ら新しい工法の開発や施工管理のシステム化を進め、一方、欧米業者と技術提携を行い、これを導入して、日本の建設事情に適合するよう改良し、また独自に開発するようになった。 無公害工法の開発については、杭打ち機を中心に研究が進められた。 技能労務者の不足により、施工の省力化が必要となり、いっそうの機械化が進められ、小型化、油圧化、自動化が進められた。 土木機械もオペレータ不足と大規模工事の増加に対処して大型化し、40トン級ブルドーザや30トン級ダンプトラックが利用されるようになった。	大規模の工事でも請負方式が一般化し、民間の大型工事では設計・施工を一体とした発注形式がとられるようになった。

表3－1－2（つづき）

年　　代	建設事業から見た時代の特徴	主な建設工事	施　工　法	工事実施方式と建設業者
昭和５０年代	５０年代初め、建設需要は一時回復したが、昭和５３年の第２次オイルショックにより、再び落ち込み、“建設冬の時代”と呼ばれる事態となった。 財政再建政策の反映で、公共事業費の伸びは極めて低くおさえられた。民間設備投資は、機械・サービス部門を中心に堅調を持続したが、全体としては、減量経営のもとで土木・建築分野の投資はおさえられた。	公共事業では、昭和４０年代に引き続き、北陸・常磐・中国などの高速道路工事、地下鉄、上下水道を中心とした都市開発工事、北陸・上越新幹線工事等が進められ、本四架橋建設工事も本格的に進められた。 民間では火力・原子力を中心とする電源開発工事が中心であり、機械・電機を中心とする設備投資関連の建設工事も多く行われた。	トンネル工事においてはＮＡＴＭ工法、ダム工事においてはＲＣＤ工法等が新しい技術として採用された。	建設需要の低迷の中で、建設業各社での技術開発の比重は大きくなり、技術研究所等の整備が一層強化された。 また、経営多角化をめざす建設業各社は、フルターンキー方式等も採用し、また施工のみでなく拡建設としてのエンジニアリング・コンストラクター化をかかげる会社も現れた。

て、無公害工法が要請された。

・昭和50年代 …… 建設需要が低迷するなかで建設業界内での競争が激化し、これに対応する技術開発が民間を中心に行われた。特に省エネ、省資源に対応する機械の大型化と制御技術の大きな前進がみられた。また、設計作業の電算化やＯＡ化を始めとする情報処理・管理の機械化についても、主に装置の低廉化によって普及が進んだ。

このように各時代の要請に応じた形で技術開発のインセンティヴが存在したことが読みとられる。今後の技術開発の方向を考えていく上でも、社会からの要請をどのように捉えていくかについては大きな課題となる。

(2) 建設技術の発展を支える体制

事業実施方式が大きく直轄・直営から請負方式へと変化するに伴って、技術開発の担い手も、企業者（基本的には公共側）から民間の建設業者へと移行してきた。

したがって、現在および今後の技術開発においても技術開発の主な担い手は民間企業であると考えられる。

しかしながら、今後は建設技術の優位性がわが国の建設業の死命を決定づける大きな要因になることや、建設術開発の内容が一層高度化、多様化、大型化することを考えると、基礎的、先導的な技術開発は公共側が主体的に行うなど、官民の新たなパートナーシップのあり方を模索する必要があると考えられる。

3－2 建設事業の現況と問題点(注)

3－2－1 わが国の建設事業の国民経済的位置

本節は、わが国の建設事業について国民経済的な視点から概観したものである。

(1) 建設投資

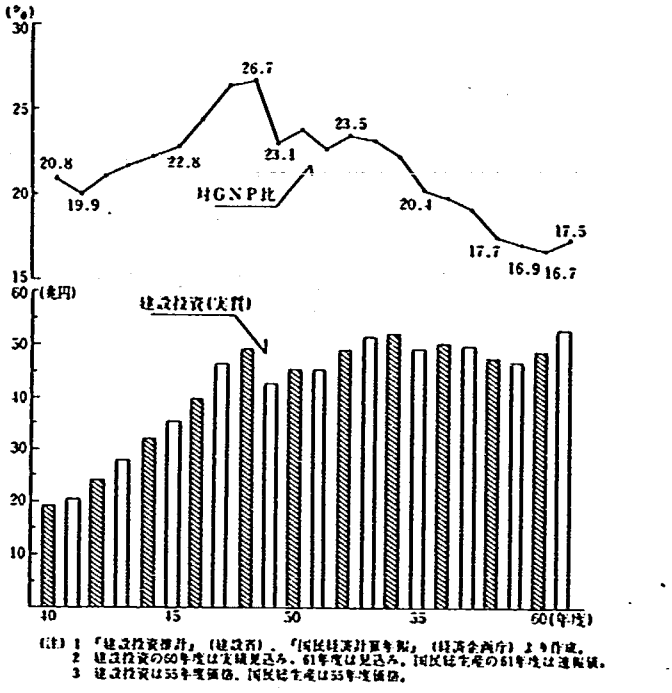
わが国の建設投資は、高度成長期には経済成長率を上回る高い伸び率で増大してきたが、第一次石油危機直後に急減し、その後一時持ち直す傾向を見せたものの、全般的には低迷を続けている。

特に、５０年代半ば以降は、日本経済が安定した成長を遂げる中で公共事業の抑制等から極めて不振な状況が続いており、５９年度の実質の建設投資は４７兆４１７３億円と、５４年度の９０％の水準まで落ち込んでいる。これに伴い、国民総生産に占める建設投資の割合も年々低下を続け、４８年度には２６.７％（実質）あったものが、５９年度には１６.９％までになっており、国民経済全体に占める建設生産のウェイトが低下してきている。ただ、建

設投資額そのもので見ると６０年度には前年比3.1％の上昇を見せ、６１年度には５２兆７千億円と前年比7.9％上昇しており、回復傾向が見られる。

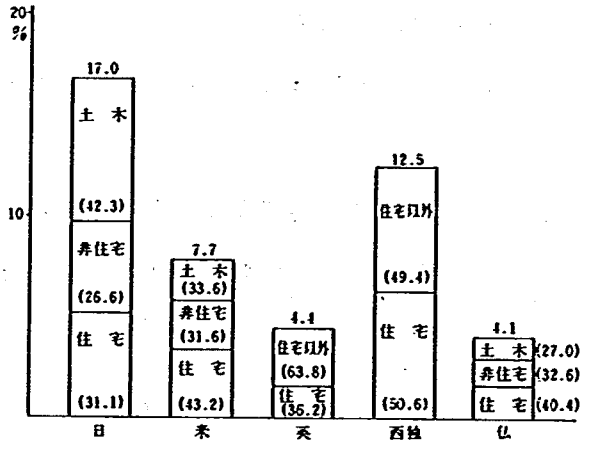
建設投資の対国民総生産比を他の先進国と比較してみると、日本は １7.0％であり、アメリカの7.7％、イギリスの4.4％、西ドイツの１2.5％、フランスの4.1％と比べ、非常に高い比率となっている。

一方、建設投資に占める住宅投資の割合を見ると、日本は３1.1％であり、アメリカの４3.2％、イギリスの３6.2％、西ドイツの５0.6％、フランスの４0.4％に比べ低くなっている。



(注) 1 「建設投資推計」(建設省)、「国民経済計算年報」(経済企画庁)より作成。
2 建設投資の60年度は実績見込み、61年度は見込み。国民総生産の61年度は速報値。
3 建設投資は55年度価格、国民総生産は55年度価格。

図３－２－１　建設投資（実質）の推移



(注) 1 Construction statics Yearbook 1983 United Nations
「国際比較統計」(日本銀行)より作成。
2 ( )の数値は構成比

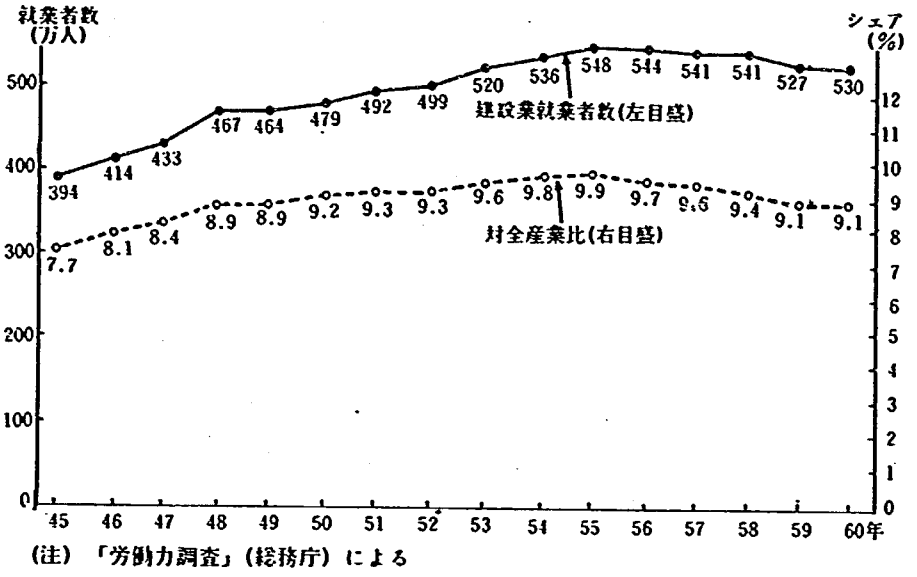
図３－２－２　建設投資の対国民総生産比（５８年）

(注) 本節は全体として「建設産業ハンドブック」(建設産業政策研究会、昭和６２年)を参考に、あるいは一部引用した。

(2) 建設業就業者数

建設業就業者数は、第1次石油危機後、建設需要が伸び悩みに転じた後も増加を続け、55年には548万人で全産業就業者の9.9%と実数の上でも全産業就業者に占める比率の上でもピークに達した。

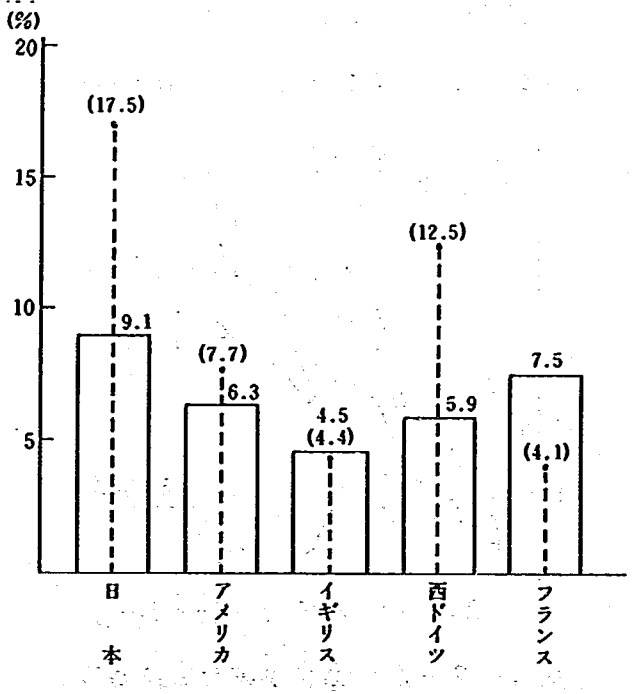
しかし、その後は、横ばいないし減少傾向をたどっており、60年には530万人、全産業就業者の9.1%となっている。



(注) 「労働力調査」(総務庁)による

図3－2－3 建設業就業者数の推移

建設業就業者数が全産業の就業者に占める割合を先進諸国と比較すると、日本の9.1%に対しアメリカは6.3%、イギリスは4.5%、西ドイツは5.9%、フランスは7.5%であり、日本における建設業就業者のウェイトは高い。



(注) 1 「国際比較統計」(日本銀行)より作成。
2 ( )の数値は建設投資の対国民総生産比。

図3－2－4 全産業就業者に占める建設業就業者の割合

(3) 建設業者

建設業者数（建設業法に基づく許可を受けているもの）は、６１年３月末現在で約５１万7,０００人である。

許可業者の推移を見ると、近年横ばいであるが、50年から60年までの１０年間に、1.４８倍となっており、建設投資（実質）が停滞する（同１０年間に1.０４倍）なかでの業者増となっている。

業種別に見ると、全業者数のうちゼネコンが３５％、木造建築工事業が２２％、職別工事業が２６％、設備工事業が１８％を占めている。

その推移を見ると、木造建築工事業が横ばいであるのに対し、職別工事業、設備工事業は伸びており、全業者数に占める比率も高まっている。

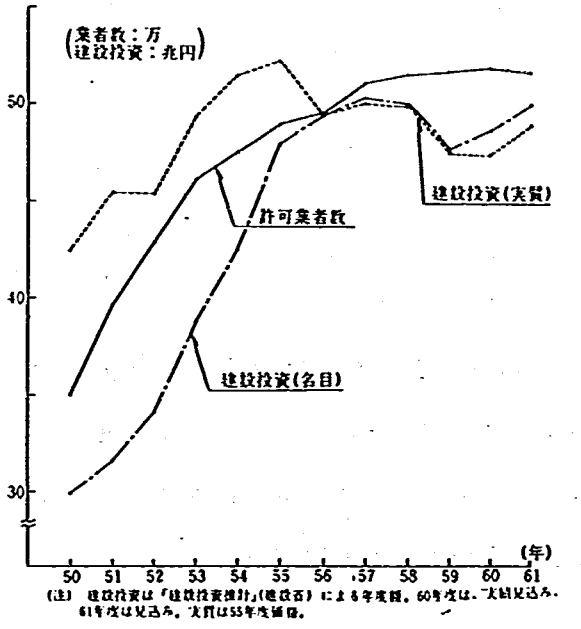


図３－２－５　許可業者数と建設投資の推移

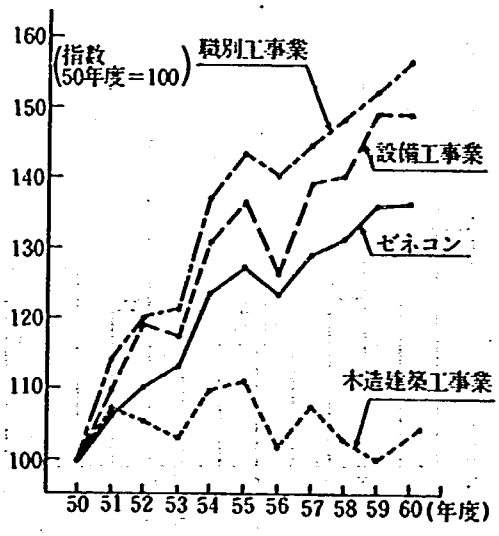


図３－２－６　業種別業者数の動向

3－2－2　建設業の特徴と問題点

本節では、土木事業の観点から建設業の特徴、あるいは問題点を概観する。図3－2－7はそれらを整理し、その相互関連を大まかにまとめたものである。

(1)　他産業にあまり見られない事業形態

土木事業は主に公共構造物（社会資本）の建設を目的としており、事業主体も国や地方公共団体等であることが多く、設計、施工等にあたっては信頼性や確実性が重視される。

そのため事業にあたっては、事業主体側から仕様や業務管理方法等についての厳正さに対する要請が高く、請負業者等への発注価格もまた、そうした仕様等に基づいて積算される。そのため、信頼性等は確保されやすい反面、受注業者が独自の努力・工夫により効率性を追及することが必ずしも鼓舞されるような環境とはなり得ていない面もある。

一方、技術面でも信頼性等を重視することにより、実績の少ない新工法、新技術等の導入に対して慎重になる面があった。

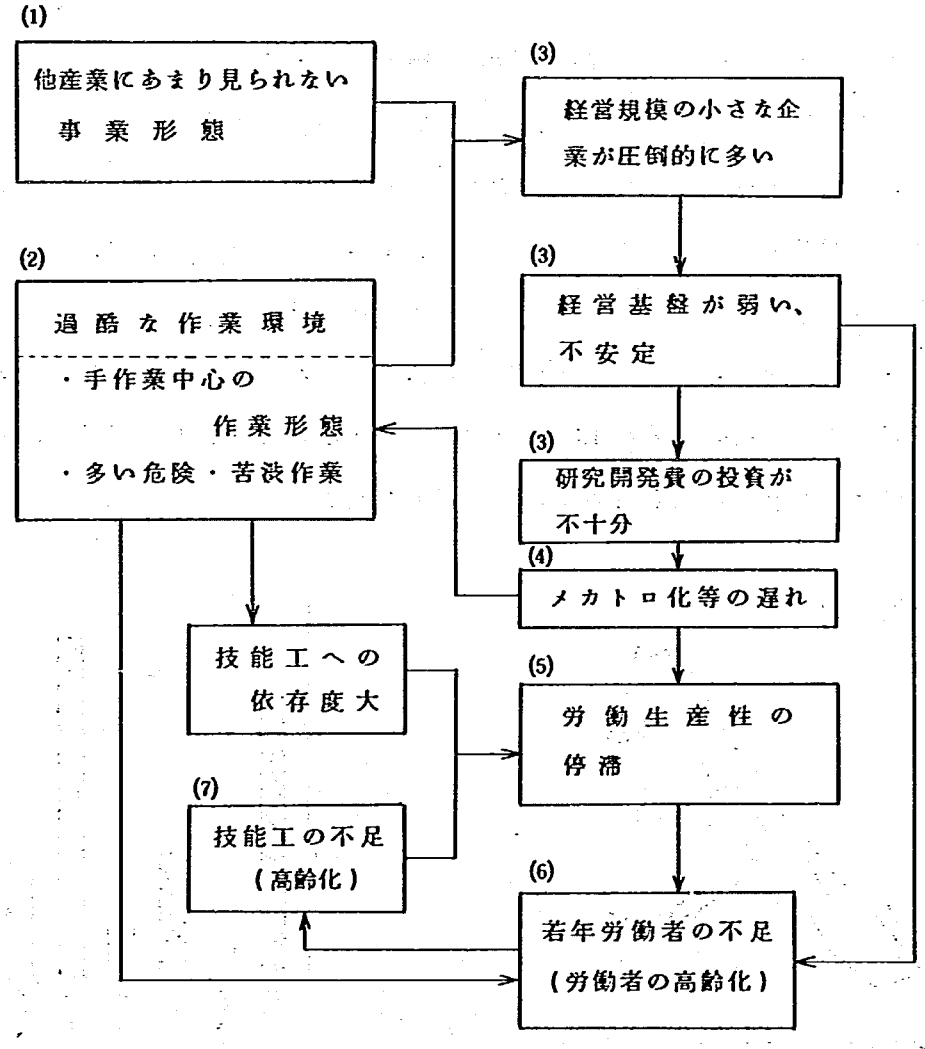


図3－2－7　建設業の特徴・問題点の相互関連
（番号は本文の項目番号である）

このように、市場において、コスト・パフォーマンス面での自由な競争が必ずしも十分でなく、また企業の競争力を高めるための技術開発へのインセンティブも生じにくい面がある。

(2) 過酷な作業環境

工事は、自然を対象にすることが多く、現場条件が複雑で、工事ごとに条件が大きく異なる。そのため、機械化の難しい作業が多く、技能工による手作業に頼る部分が多い。また、手作業を前提とした工法も多く採用されている。

その一方では、高所作業やトンネル、地下作業、あるいは重量物の取扱いなど危険を伴う作業が多い。死傷災害の推移をみてみると、建設業の全産業に対する死亡比率は4割強となっており、就業者数(全産業の約1割)に対し、かなり高い比率となっている。このため、自動化・無人化・ロボット化の推進等による危険作業からの解放や安全性の向上が強く望まれている。

(3) 多い中小企業と不十分な研究開発投資

(1)、(2)のような理由から、経営規模の小さい零細企業が多く残っている。これらの企業は経営基盤も不安定で、研究開発費の投資等を行う余力もないことが多い。

ちなみに建設業の60年度の研究費は、1,108億円、売上高比率で見ると0.49%となっている。これは、製造業の2.69%、全産業平均の2.31%と比較して低い値となっており、研究開発が他産業に比べてあまり活発に行われていないことを示している。

こうした背景としては、一社当たりの研究費の絶対額そのものがどの資本金階層においても全産業平均値に比較して低いということが指摘できる。しかし、さらに大きな原因としては、一社当たりの使用研究費が1,000万円にも満たない資本金1億円以下の中小・零細企業が建設業全体の99%以上を占めていることであろう。

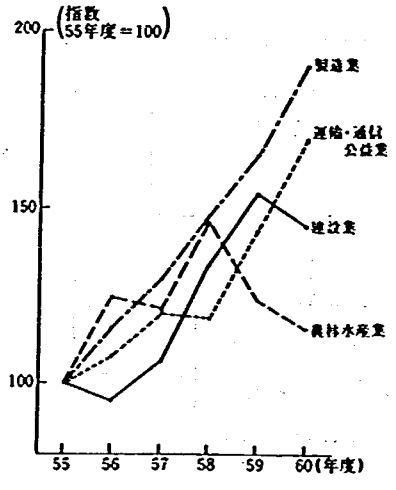


図3−2−8 産業別研究費の推移

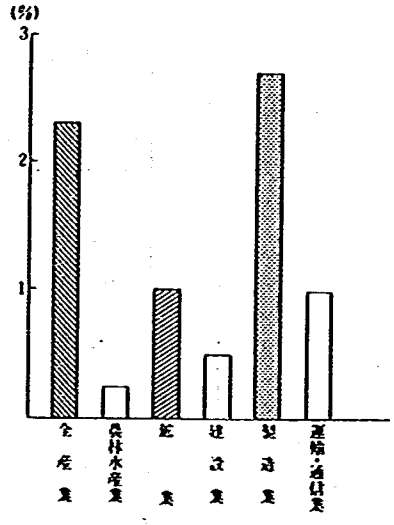


図3−2−9 産業別研究費の対売上高比率(60年度)

表3−2−1　1社当たり社内使用研究費（60年度）

（単位：万円）

資本金階級	全産業		製造業		建設業	
	59年度	60年度	59年度	60年度	59年度	60年度
平均	34,426	40,993	36,114	41,244	8,981	12,463
500万円～1000万円未満	744	917	981	917	112	−
1000万円～1億円	2,633	3,236	2,814	3,408	1,098	1,228
1億円～10億円	16,092	16,905	16,682	17,497	8,369	6,087
10億円～100億円	98,582	112,386	105,323	121,616	59,332	49,917
100億円～	1,346,566	1,436,912	1,596,105	1,715,019	267,241	238,694

（注）1　「科学技術研究調査報告」（総務庁）より作成。
　　2　各年4月1日前の最近の決算日からさかのぼる1年間の実績である。

(4)　自動化・無人化・ロボット化の遅れ

研究開発投資の不十分さや適用条件の難しさもあって、土木建設機械の自動化・無人化・ロボット化は期待されたほどには進んでおらず、その生産額も、メカトロ化の進んだ機械の伸びに比べると小さい。また、建設業への産業用ロボットの導入の現状をみると、土木建設用ロボットの全ロボットに占める比率は極めて低い。出荷額ベースでは、その比率は56年に2％となったのを除いて、各年とも1％にすぎず、建設業の販売高の大きさを考えると最も低い産業の一つと推測される。

㈱日本産業用ロボット工業会が55年度にアンケート調査の結果をもとに行った産業用ロボット需要の長期予測によれば、建築・土木・鉱業分野におけるロボット需要は、65年に60年の10倍から15倍程度と予測されている。製造業以外の全産業の平均である約23倍に比べると低いものの、絶対額の大きさもあり、かなりの伸びと考えられる。

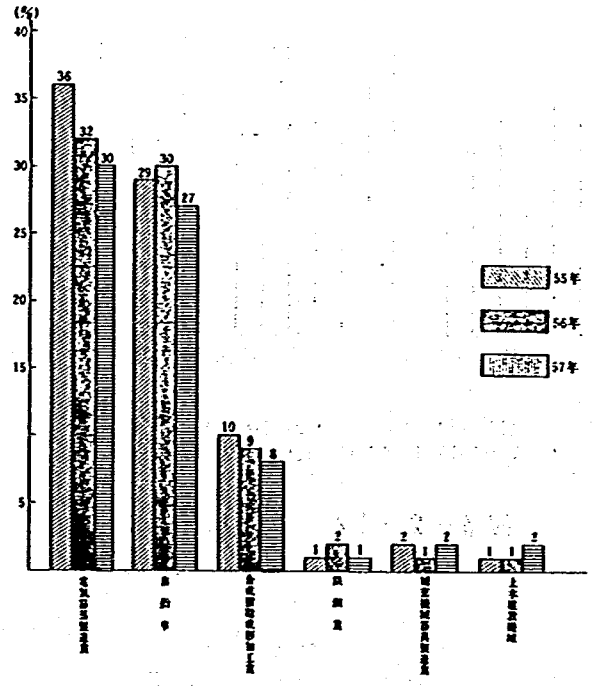
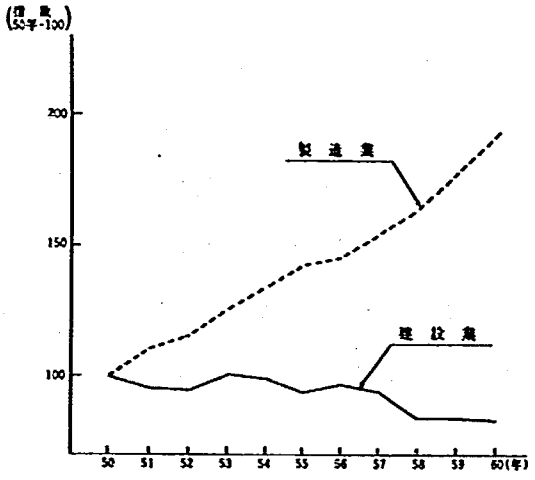


図3−2−10　需要部門別ロボット出荷割合化（金額ベース）

(5) 労働生産性の停滞

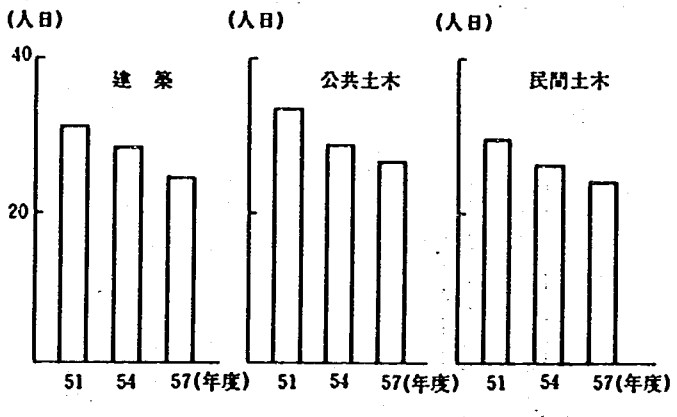
建設業の労働生産性は最近の１０年間停滞しており、製造業との格差はますます拡大している。一方、施工の主要な部分の機械化は４０年代で一巡したと言われているが、５０年代に入ってからも労働原単位は減少傾向をたどっており、現場段階ではあはある程度省力化が進んでいると言える。

労働生産性停滞の要因としては、労働生産性の低い小規模階層の企業が著しく増加し、これらの階層の建設業全体の生産に占めるシェアが拡大していること、労働者の高齢化に伴い作業能率が低下していること、公共工事を中心に工事が小規模化していること、技術開発が停滞していること等が挙げられる。



(注) 1 「国民経済計算年報」(経済企画庁)、「労働力調査」(労働省)より作成。
2 55年価格基準による実質値。
3 労働生産性は、実質付加価値生産額／就業者数で算出。

図３－２－１１　労働生産性の推移



(注) 1 「資材労働力需要実態調査」(建設省) より作成。
2 価格は51年度 価格に実質化

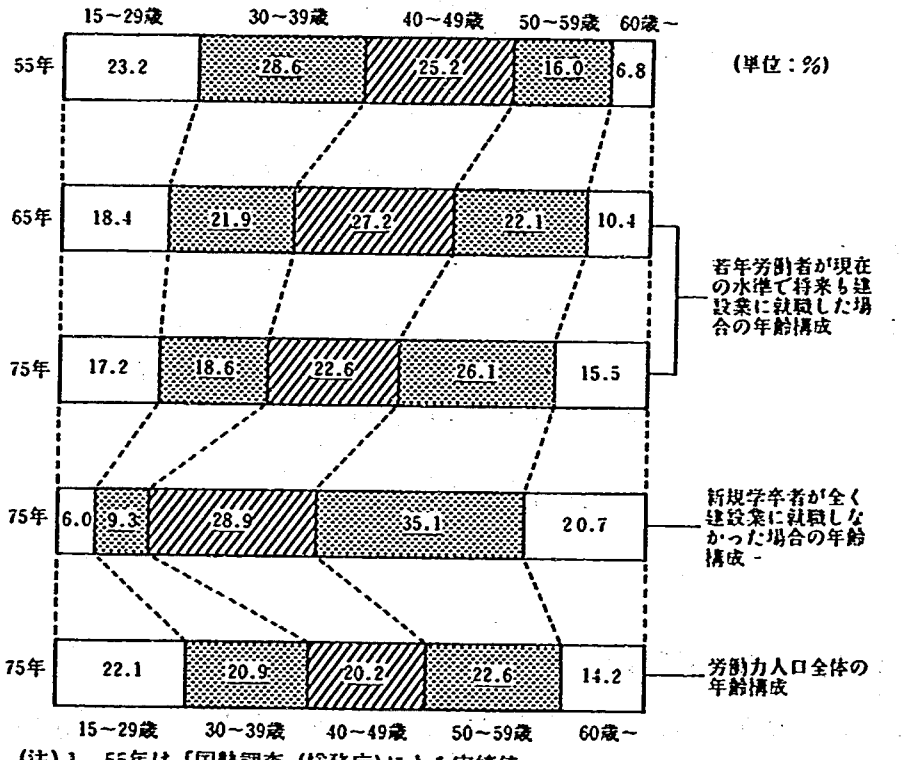
図３－２－１２　労働原単位

(6) 若年労働者の不足（建設労働者の高齢化）

建設業就業者は、建設業への若年労働者の転入者数の減少傾向を反映して高齢化が進んでおり、昭和５０年には４０歳以上が全体の約４５％であったが、昭和５５年には約４９％、昭和６０年には約５５％となっている。

若年労働者の就業が現在のままで推移したとすると建設業就業者の年齢構成は、４０歳以上は昭和６５年で約６０％、昭和７５年で約６４％となり、労働者の高齢化が急速に進行していくと予想される。

建設労働者の高齢化は、現在でも労働生産性停滞の一因であり、建設現場における生産効率を低下させ、健全な企業経営を行っていく上で深刻な影響を与え、ひいては建設業界の健全な発展を阻害すると懸念されている。また、最近における自動化・無人化・ロボット化の進展に伴い建設技術は高度化しており、その結果、新しい技術に対応できる良質な若年労働者の確保が大きな課題となっている。



(注) 1 55年は、「国勢調査」(総務庁)による実績値
2 75年の労働力人口全体の年齢構成は、「2000年の日本」(経済企画庁)による。

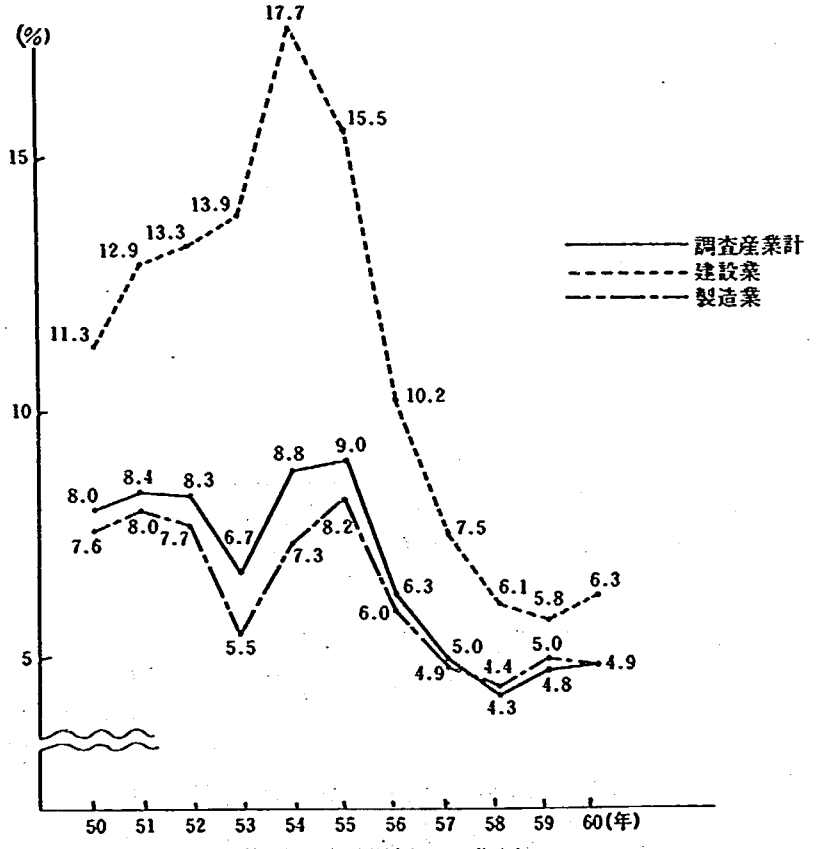
図３－２－１３ 建設業就業者の年齢構成の推移

(7) 技術労働者の不足

建設工事に従事する者の施工技術の向上を図るため、建設業法に基づき、建設機械施工、土木施工管理，建築施工管理，管工事施工管理及び造園施工管理の５つの種目について技術

検定が重施されており、昭和６１年度末でその合格者の累計は１２３万人となっている。

一方、技術労働者の不足は全産業的に見た場合、昭和３０年代後半以降昭和４０年代にかけて不足率はかなり高い水準で推移してきたが、昭和５０年代の低成長期に入って大幅に緩和してきている。建設業も同様の動きをしているものの、全産業に比して技能労働者の不足率はいぜんとして高い水準にある。



(注) 「技能労働者需給状況調査」(労働省)より作成。

図３－２－１４　技能労働者不足率の推移

(8)　まとめ

建設業が包含している問題点の解決策という点から見ると、エレクトロニクス関連技術の利用による建設技術の高度化は、作業の安全化や労働生産性の向上を通じて技能工不足への対応、あるいは建設作業の魅力上昇による若年労働者の確保に役立ち、ひいては建設業の健全な発展、良質な社会資本の蓄積に貢献するものと期待される。

他方、建設技術の経営基盤が必ずしも十分でない民間企業が多いことから、高度化推進のための研究開発体制については、多くの条件を加味した上で、前もって十分に検討しておく必要があると考えられる。

3－3　建設業をとりまく情勢の変化と建設業への影響

3－3－1　21世紀へむけての経済社会情勢の変化

21世紀に向けてのわが国の経済社会は、多様な変化の波に見舞われることが予想される。これを集約すると、国際化、高齢化、成熟化という3つの大きな流れに整理できる。特に産業分野については、技術革新と情報のネットワーク化が大きな流れとなることが予想される。

(1)　国際化の進展

現在、わが国には国際化の新しい段階が訪れているといえる。すなわち、従来は、輸出型の国際化が中心であったのに対し、現在は、東京が世界最大規模の金融センターとなったのをはじめ、円高、ドル安の経済環境の中でわが国の国内市場が国際化の舞台となってきている。

今後は、経済のみならず、文化さらには人的交流の面でも、日本全体を舞台とする国際化が一層進むことは確実である。国際コンベンション施設等の建設が活発化していることにも見られるように、社会資本整備に対するニーズも国内の国際化に対応したものが見られはじめている。

(2)　人口の高齢化

15歳以上の人口に占める65歳以上の人口の割合は、1985年の13.1％から2000年には18.9％となり、全人口に占める65歳以上人口は、7.6人に1人だったものが、6.4に1人にまで高まることが予想されている。

人口の高齢化は、年令構成のバランスに影響を及ぼすばかりでなく、労働人口の構造に対しても大きな影響を与えるとともに、シルバー市場の開拓といったことにも見られるように、消費構造の変化ももたらすと考えられる。

(3)　成熟化の進展

我が国は、先進国へのキャッチアップ段階から成熟段階に入り、国際化や人口の高齢化の影響も受けながら、多様な面で経済社会の成熟化が進むことになる。すでに様々な世論調査でも国民の生きがいとして「能力や教養の向上」「自分の趣味」などが上位にあがっており、成熟化の進展は価値観の多様化等となって現われている。一方、社会資本整備の観点からみれば、社会資本ストックの増加、老朽化が重要な側面である。また、既存の大都市を中心に都市化は引き続き進行するものと考えられ、これらの地域では社会経済のあらゆる面での一層の高密度化が進むことになる。

(4)　技術革新と情報化の進展

エレクトロニクスを中心に技術革新は急速に進み、超電導技術の実用化、ニューフロンテ

ィア開発など新しい技術が社会構造や産業構造に大きなインパクトを与えるようになってきた。一方、高度情報化の進展により、社会経済のあらゆる側面でのネットワーク化が進むことも注意する必要がある。

このような技術革新と情報化の進展は、様々な消費活動から生まれる多様なニーズに応えうる産業構造を創ることに貢献し、成熟化の進展に大きな影響を及ぼすと考えられる。

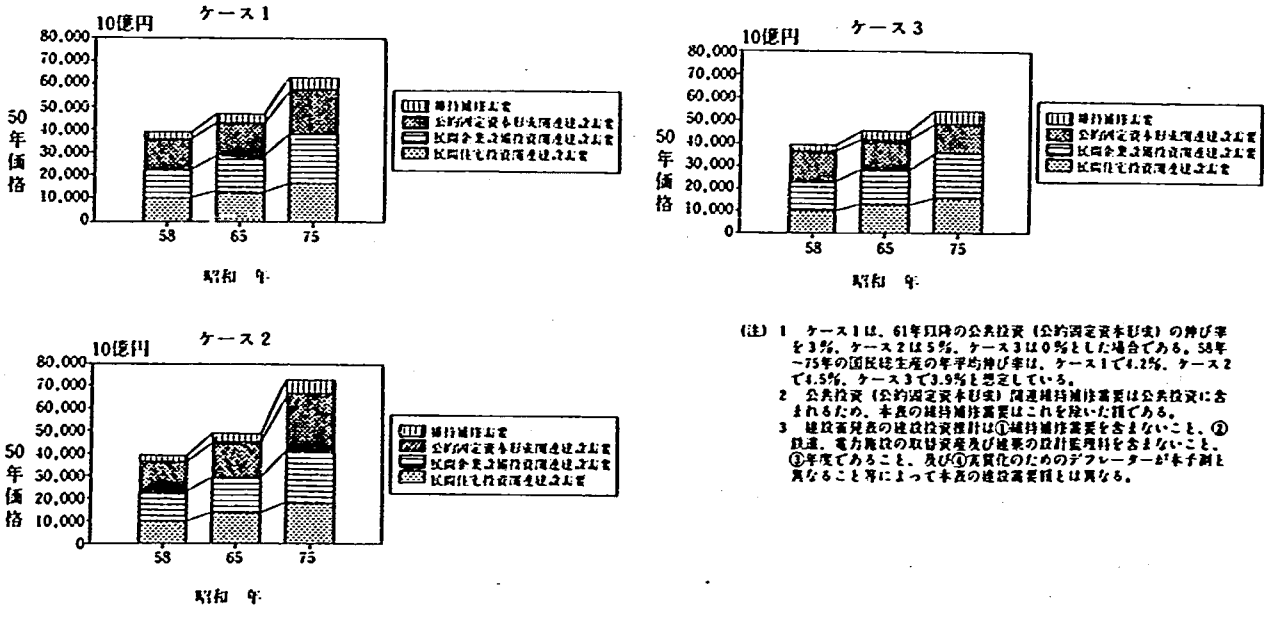
（参　考）　建設需要の将来動向

建設需要量について、建設省による既存の予測事例（図参－１参照）では以下のように示されている。

昭和７５年における国内建設需要額（５０年価格）は、昭和６１年以降、公共投資伸び率を年率３％とした場合（ケース１）６２兆8,000億円であり、昭和58年における38兆7,000億円の1.6倍に増加すると予想される。

しかし、伸び率で見ると年率2.9％であり、昭和４０年代中頃の２ケタ台の伸びに比べてはるかに低いのである。また、国民総生産に対する比率も、昭和５８年の１８.３％から昭和７５年には１４.７％へと低下し、経済全体に占める建設生産のウエイト低下が予想される。

また、積極的な経済運営、財政運営が展開されるとした場合（ケース2）の昭和７５年の建設需要額は、７２兆1,000億円で、伸び率3.7％であり、公共投資が厳しく抑制されるとした場合（ケース３）は、５２兆8,000億円で、伸び率1.9％となっており、いずれの場合においても国民総生産に比べて低い伸びとなっている。



（注）１　ケース１は、61年以降の公共投資（公的固定資本形成）の伸び率を３％、ケース２は５％、ケース３は０％とした場合である。58年－75年の国民総生産の年平均伸び率は、ケース１で4.2％、ケース２で4.5％、ケース３で3.9％と想定している。
２　公共投資（公的固定資本形成）関連維持補修需要は公共投資に含まれるため、本表の維持補修需要はこれを除いた額である。
３　建設着発表の建設投資額計は①維持補修需要を含まないこと、②鉄道、電力施設の取替資産及び建築の設計監理料を含まないこと、③年度であること、及び④実質化のためのデフレーターが本予測と異なること等によって本表の建設需要額とは異なる。

図参－１建設需要額の推移

（出典：文献１４）

3－3－2　将来の環境変化と建設業への影響

ここでは、前項で明らかにした将来の環境変化のうち、成熟化を価値観の多様化、意識の変化、社会資本ストックの増加、都市化の進展に分けるとともに、さらに引き続き重要であると考えられる資源、エネルギー制約を加えることにより、全体で８つの項目について将来の環境変化を整理した。そして、それらの８つの項目による建設業への影響について詳細な予測を行うことで、建設技術の今後の方向をとりまとめた。

影響の予測にあたっては、まずこれらの環境条件が直接的に影響を与える事象を把握し、次に環境条件の変化が建設業に与える影響・効果を以下の３つの視点から抽出した。

㈠　建設需要の変化

㈡　建設作業者の条件の変化

㈢　周辺条件の変化

最後に一連の検討結果をふまえて、環境条件の変化が技術の方向に対しいかなるインパクトをもたらすのかを整理した。これらの結果をまとめたものが表３－３－１である。

表３－３－１ (1)　将来の環境変化と予想される建設業への影響（その１）

将来の環境変化	直接影響事象	建設業への影響			技術の方向
		建設需要の変化	建設作業者の条件の変化	周辺条件の変化	
国際化の進展	海外工事の増大	・海外工事需要の増大	・海外における外国人労働者使用の増加	・海外環境における工事の増大	・海外環境における工事のマネジメント技術、情報収集、分析技術 ・国内外の建設情報通信基盤整備技術
	（国内の）外国人の増加	・外国人向け施設需要の増大	・国内における外国人労働者使用の増加		・外国人労働者のマネジメント ・労務制度の改定
	外国企業との競争の激化			・入札制度等の変化（市場自由化）	・生産性、品質の向上
人口の高齢化	労働力の高齢化		・高齢労働者に対応した作業内容、環境 ・より快適、安全な作業環境のニーズ		・高齢者でも楽に作業できるようにする。（作業内容、環境）
	労働者の減少		・労働者の減少		・生産性の向上
	一般社会の高齢化	・高齢者に対応した施設需要の増大（道路、公園等） ・構造物の安全性、防災性ニーズの高まり ・維持管理水準の向上（快適性等）		・施工等に伴なう公害（騒音、振動、大気汚染、水質汚濁、悪臭等）の排除の必要性の増大	・より安全性の高い構造物の計画、設計 ・維持管理水準の向上 ・施工等に伴なう公害の減少 ・高齢者の特性に応じた計画、設計技術
価値観の多様化意識の変化	女性の社会進出		・女性労働者利用の増加		・作業内容、環境の整備
	ハイタッチ化	・景観、イメージ、フィーリングを重視した土木構造物需要の増大		・周辺の環境等との適合化	・ハイタッチな構造物の計画、設計、施工、維持管理技術
	労働力の高学歴化		・熟練技能工の不足 ・苦渋作業からの解放ニーズ ・技術開発基盤の強化		・苦渋作業からの解放 ・技能作業の容易化
	一般社会の高学歴化			・施工等に伴なう公害の排除の必要性の増大 ・自然破壊の防止	・公害防止技術 ・自然等と調和した構造物の計画、設計

表３－３－１ (2)　将来の環境変化と予想される建設業への影響（その２）

将来の環境変化	直接影響事象	建設業への影響			技術の方向
		建設需要の変化	建設作業者の条件の変化	周辺条件の変化	
価値観の多様化意識の変化	労働者の余暇ニーズの増大		・労働者の労働時間減少 ・規則的な就労体制の確保		・生産性の向上 ・規則的な就労体制の確保
	一般社会の余暇ニーズの増大	・スポーツ、レジャー施設等需要の増大			・レジャー等関連施設に関する計画、設計、施工技術
	快適な住環境へのニーズの高まり	・快適な住環境の整備ニーズの高まり			・維持管理レベルの向上 ・住環境関連施設整備技術
	交通輸送量の増大、迅速性、確実性へのニーズの高まり	・交通・輸送施設（新幹線、コミューター空港、新交通システム等）需要の増大		・工事に伴なう交通止め減少の必要性増大	・新しい交通施設のための技術 ・維持管理や他の事業を行うにあたって交通関連施設の機能を止めない技術
社会資本ストックの増加	社会資本ストックの増加、老朽化	・維持管理需要の増大 ・予防的維持管理へのニーズ ・ライフスパン増大へのニーズ			・維持管理技術の向上
都市化の進展	都市への人口の集中	・構造物の安全性、防災ニーズの高まり ・維持管理水準向上	・地方部での労働者の減少		・生産性の向上 ・安全性、防災性の向上 ・維持管理水準の向上
	都市内開発、再開発の増大	・都市内土木需要の増加		・施工に伴なう公害の排除 ・狭隘空間、高所空間、地下空間、高密度空間での工事の増加 ・多量、大型の資材の搬出入の困難性増大（交通混雑や空間の狭さ） ・地価の上昇	・狭隘空間、高所空間、地下空間、高密度空間における施工を中心とした技術 ・施工等による公害、他の都市機能への妨害の減少
	都市の拡大や地価上昇に伴なう新空間の利用の必要性の増大	・山間部、海洋空間開発需要の増大 ・地下空間利用需要の増大		・施工に伴なう公害の排除の必要性 ・自然破壊の防止	・海洋、地下等における新しい空間造成と維持管理技術

表３－３－１ (3) 将来の環境変化と予想される建設業への影響（その３）

将来の環境変化	直接影響事象	建設業への影響			技術の方向
		建設需要の変化	建設作業者の条件の変化	周辺条件の変化	
高度情報化の進展	各種情報施設の増加、情報通信ニーズの増加	・各種情報施設工事（通信網敷設等）需要の増大	・情報収集の容易化 ・労働者を情報化へスムーズに対応させる必要性の増大	・情報化に関連した公害（電波障害、ケーブル切断等）の排除の必要性 ・機能障害をおこさない維持管理の必要性	・事業実施に伴なう情報収集、分析技術の高度化 ・情報施設の建設、維持管理技術（広くは宇宙空間の利用技術なども含まれる） ・情報化に伴なう公害の排除技術
技術革新の進展	新しい施設の増加	・新しい施設需要の増大			・新しい施設の建設、維持管理技術 ・情報化の取り入れ
	新しい技術の利用			・他分野の技術革新の進展	・他分野の技術革新の応用（エレクトロニクス、メカトロニクス、新素材、AI技術等）
資源エネルギー制約	省エネ、省資源化			・省エネ、省資源ニーズの高まり	・省エネ、省資源工法の開発
	代替エネルギー、代替資源の活用	・原子力、地熱、水力、海洋エネルギー等利用施設関係の需要の増大 ・海水、海底資源利用施設関係の需要の増大		・新しい動力（石油以外）の利用 ・海水、海底資源（海砂利海砂等）の利用 ・建設廃棄物の再利用ニーズ	・代替エネルギー、代替資源の利用技術 ・新しい施設の建設、維持管理技術
	構造物ライフスパンの増大	・維持管理需要の増大 ・維持管理水準の向上			・維持管理技術の向上（効率性、品質）

3－4　建設技術高度化の方向

前節に示したように、２１世紀を展望したときの社会資本整備に対するニーズは極めて多様であり、これらを実現し、豊かな国土建設を進めるために、建設技術の一層の発展が求められている。また国土建設を支える建設業の振興のためにも技術開発は重要性を増している。

これまでの分析を通し、建設事業の現状と２１世紀を展望した事業環境の変化を予測するとき、現時点での建設技術に求められている高度化の方向は図３－４－１のように体系づけられる。各々の内容は以下のとおりである。

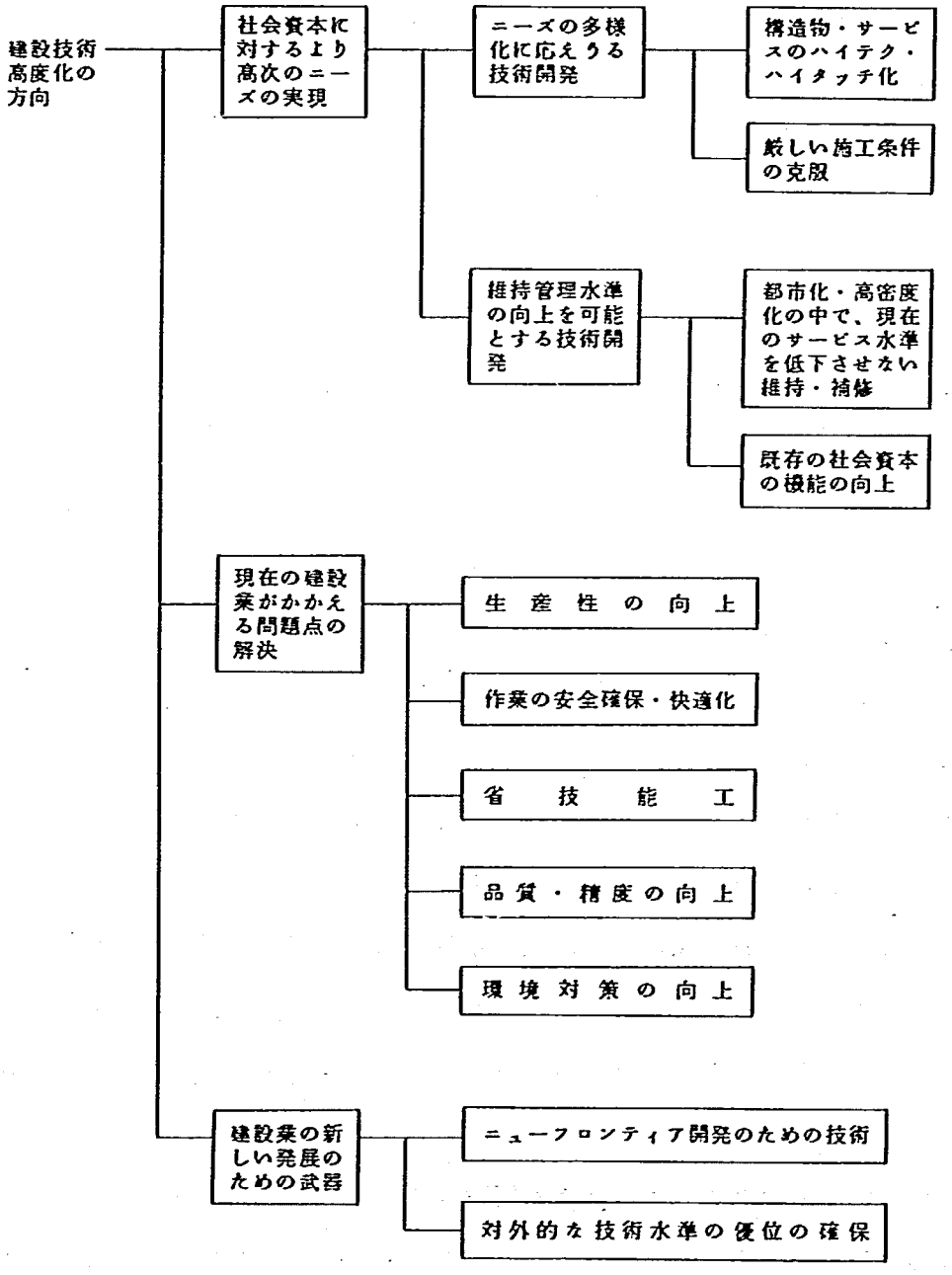


図３－４－１　建設技術の高度化の方向

(1) 社会資本に対するより高次のニーズを実現することのできる技術の開発

ニーズの多様化とその実現を可能とする技術革新の進展の中で、今後２１世紀までに約1,000兆円とされる建設投資も、その内容は従来の延長ではありえないことが想定される。一方で維持管理の効率化などストックの増大への対応が必要とされる。

(a) ニーズの多様化に応えうる技術開発

社会の成熟化は、社会資本整備に対するニーズの多様化を生み、構造物やサービス内容のハイテク化、ハイタッチ化等に対するニーズは大きく高まる。一方今後の施工条件を考えるならば、海洋、大深度の地中、高密度の都市空間といったより困難な環境の増加が想定され、そのような中で、多様な構造やサービスを有する社会資本整備を実現しうる技術の開発が望まれる。

また、多様化は構造物やサービス内容にとどまらず、社会資本整備の方法、手順にまで及ぶものと考えられ、企画・調査の段階からの多様なニーズに応えうる技術の開発が求められる。

(b) 維持管理水準の向上

これまでの社会資本整備によるストックに加え、今後の整備量も大きいことから、２１世紀には補修をはじめとする維持管理作業の量は飛躍的に増加する。都市化、高密度化が進むなかで、経済社会の活動水準を下げることなく補修を行い、さらに新しい機能、サービスを付加するなど、社会資本の維持管理に対する国民の要求水準は高まることになろう。増大する維持管理コストの低減化をはかり、同時に既存施設の機能の向上を実現するための技術開発が必要とされる。

(2) 現在の建設業がかかえる問題点を解決する技術の開発

今後の新しい多様なニーズに応えていくためにも、現在の建設業がかかえる問題点を解決することは不可欠の課題であり、前提条件でもある。

生産性の低さ、厳しい作業環境、技能工の不足、品質・精度の管理の困難さ、環境問題といった様々な問題を解決する技術開発、すなわち生産性の向上、作業の安全確保・快適化、省技能工、品質・精度の向上、環境対策の向上等が建設技術高度化の出発点として位置づけられなければならない。

(3) 建設業の新しい発展のための武器となる技術の開発

わが国の建設業が魅力ある産業として、またわが国経済社会の発展を支えリードしていく産業として発展していく上で、今後先端技術産業へと脱皮していくことが求められている。

情報化社会も日本を舞台とする国際化社会もそれを可能にする社会資本の整備なくしては実現

はあり得ない。ニューフロンティア（宇宙、海洋、地中）への進出にあたっても建設技術は不可欠であり、一層の高度化により、夢を実現する原動力としての技術開発が求められている。

一方、国内での外国企業との競争という新しい国際化に対応するためにも、対外的な技術水準の優位さを保つ必要があり、一層の技術開発が望まれている。

第3章に関する参考文献

1）建設省土木研究所、財団法人国土開発技術研究センター、建設技術へのエレクトロニクスを利用した要素技術の開発報告書、昭和６０年３月

2）財団法人国土開発技術研究センター、建設技術高度化システムの開発及びエレクトロニクスを利用した要素技術の開発報告書、昭和６１年３月

3）財団法人国土開発技術研究センター、建設技術高度化システムの開発及びエレクトロニクスを利用した要素技術の開発報告書、昭和６２年３月

4）野村総合研究所、エレクトロニクスの社会的インパクトに関する研究、総合研究開発機構、昭和５８年３月

5）土木学会、日本の土木技術－近代土木発展の流れ、昭和５０年７月

6）沢本守幸、公共投資１００年の歩み－日本経済発展とともに、大成出版社、１９８１年１２月

7）清水建設、清水建設百八十年、１９８３

8）建設産業政策研究会、建設産業ハンドブック、ぎょうせい、昭和６２年

9）経済企画庁編、２０００年の日本、昭和５７年７月

10）経済企画庁編、２０００年の日本（各論）３－良質な国土・居住空間の形成－、昭和５７年９月

11）経済企画庁編、２０００年の日本（各論）４－活力ある産業社会の形成－、昭和５７年８月

12）経済企画庁編、２０００年の日本（各論）５－多重的な経済社会の安定を求めて－、昭和57年8月

13）経済企画庁編、２０００年の日本（各論）１０－長期展望テクニカルレポート－、昭和57年11月

14）建設省監修、㈶建設経済研究所編、２１世紀への建設産業ビジョン、昭和６１年５月

第４章　建設事業におけるエレクトロニクス利用の現状と問題点および利用ニーズ

４－１　建設技術とエレクトロニクス利用分野

本章では、エレクトロニクスとその関連技術の利用の現況と問題点を分析するとともに、現在の建設事業におけるエレクトロニクス利用による技術開発のニーズを明らかにする。

建設事業において、エレクトロニクスとその関連技術が用いられるようになったのはコンピュータが実用化された１９６０年代であり、当初は設計計算のための演算装置としての用途が中心であった。その後、コンピュータの発展とともに情報処理分野として確立され、さらに第３章でも述べたように、ＩＣの高集積化が高速、大容量の小型マイクロコンピュータを実現するに至って、コンピュータの用途は建設機械の制御へと拡大し、建設技術におけるメカトロ技術分野を形成した。

また大量の情報処理は高速の通信サービスへのニーズを生んでおり、通信分野でのエレクトロニクスの高度利用も進んできている。

従って、ここでは建設技術におけるエレクトロニクスの利用を、図４－１－１に示すように情報処理・通信とメカトロ関連技術２つの分野に分け、利用の現況と問題点、開発ニーズを明らかにする。すなわち、第３章に示したエレクトロニクスの３つの応用分野（情報処理、通信、制御）とメカニカルエンジニアリングの複合化の流れに沿って、検討を進める。

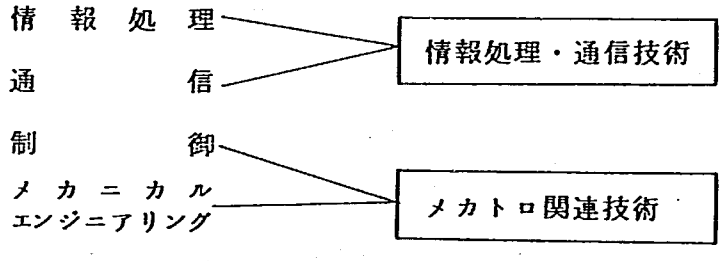


図４－１－１　エレクトロニクスの利用分野

４－２　建設事業における情報処理・通信技術の利用の現状と問題点

４－２－１　建設事業における情報処理・通信の基本的ニーズ

(1)　情報の基本的流れと情報処理・通信技術へのニーズ

人間はある行動をとろうとするとき、与えられた環境から情報を収集し、これを分析・評価し、意思決定を行う。このとき情報収集と分析・評価・意思決定を行う主体が異なれば、

情報の伝達という行為が生まれ、さらに収集された情報や新たに生み出された情報に利用価値がある場合にはそれらは保存される。

建設事業における情報の基本的流れも全く同様であり、収集、伝達、分析・評価・意思決定といった各々の段階における情報処理・通信技術を模式的に示すと、図４－２－１のようになる。

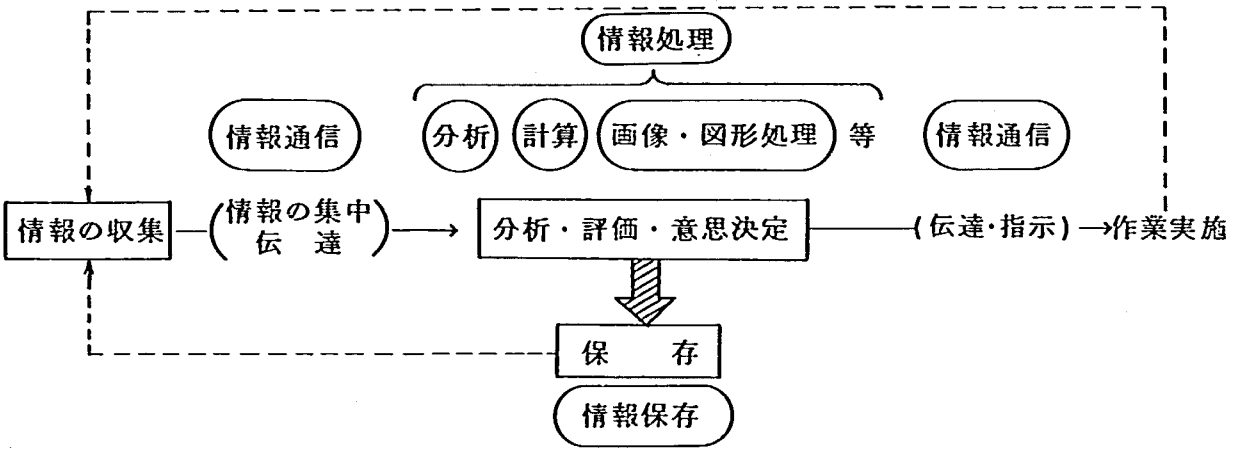


図４－２－１　情報の基本的な流れと情報処理技術へのニーズ

(2)　建設技術における情報処理・通信技術の構成

上述の情報処理、情報保存および情報通信という３つの区分に対応した技術を処利内容、要素技術、ハードウエア・ソフトウエアに着目して整理したものが図４－２－２である。

要素技術、ハードウエア・ソフトウエアの例に示したように、建設技術では極めて広範な技術が用いられており、今後とも情報通信技術など、その適用範囲は広がっていくことが想定される。

(3)　エレクトロニクス技術利用の流れ

建設技術分野におけるコンピュータの利用は、設計計算、構造解析等を中心とする技術計算分野から開始され、大手建設会社を中心に昭和４０年代前半には計算を専門に行う部門が設置され、大型コンピュータの導入と相まって、利用は大きく進んだ。

昭和４０年代後半には設計、構造計算用の大型ソフトウエアも整備されるようになり、その結果、業務の効率化も一層進み、情報処理分野として確立された。

元来、情報処理・通信の高度化には２つの目的がある。第１は情報処理作業自体の効率化であり、第２は情報の有効利用を通した経営資源の有効活用である。そして、昭和４０年代までは主として第１の目的に主眼が置かれていたといえる。

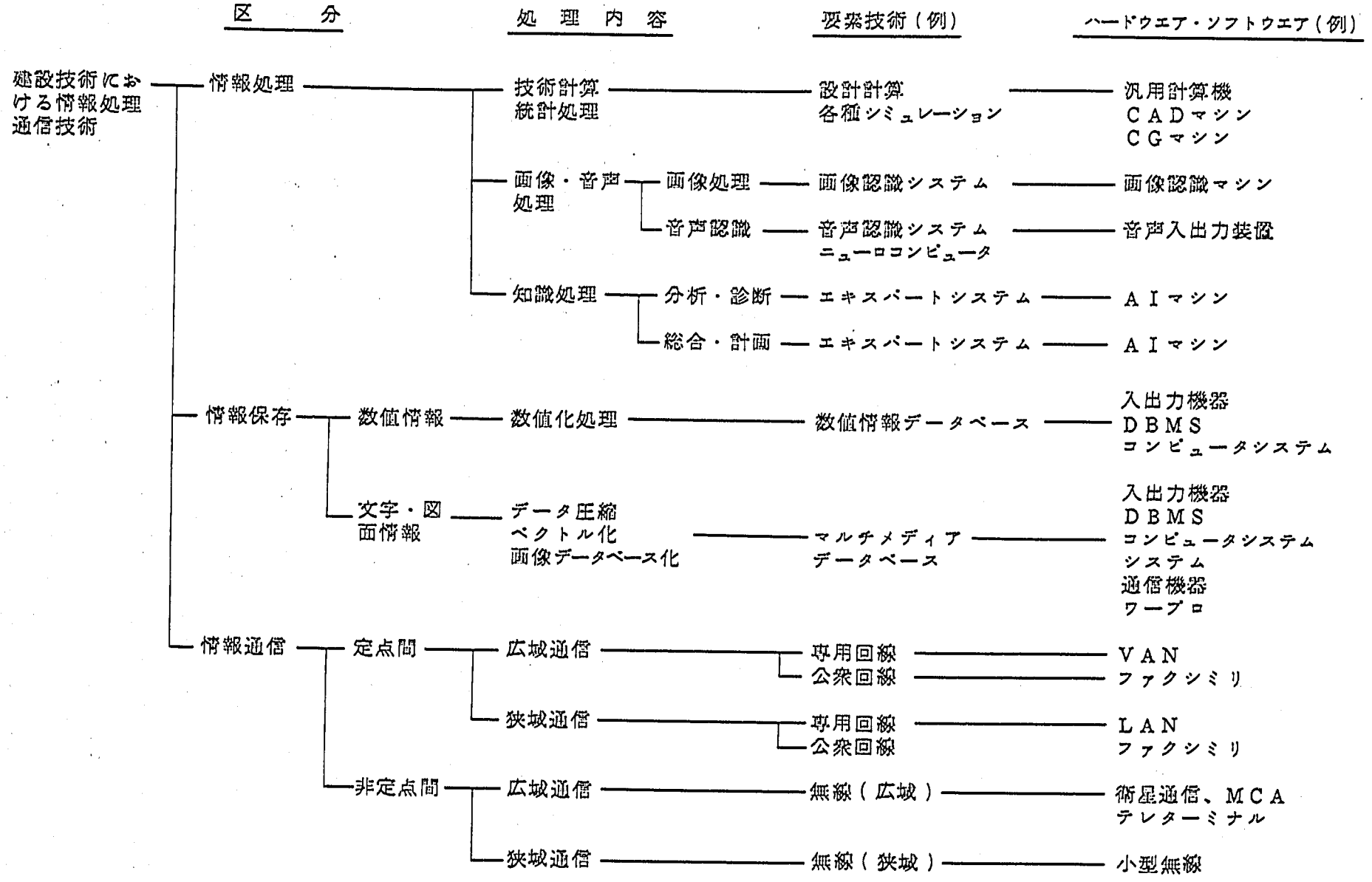


図４－２－２　建設技術における情報処理・通信技術の構成

昭和５０年代に入り、建設需要が低迷を続ける中で、経営の効率化、多角化が必要とされ、建設各社は経営資源の有効な活用のために社内に蓄積された情報の活用を重視するようになり、各種情報のファイリングシステムの開発を企画した。これを出発点に営業情報につながる工事実績のデータベースをはじめ、人的資源の有効活用のための人事関連のデータベース等が、昭和５０年代半ばに大手建設会社で実用化されるに至った。また、工事情報の多くは図面情報であるため、図面の管理および有効利用をはかるための画像・図形処理技術が重要視され、開発が進められることとなった。

建設省をはじめとする国の各機関でも、昭和４０年代から各種統計資料の電子媒体化が開始され、省内での利用を中心にしたデータベースの整備が進められ、昭和５０年代には外部への情報提供サービスも実施されるようになったが、これが民間におけるデータベース開発の環境づくりともなった。

昭和５０年代後半になるとＬＳＩの技術革新を背景として、推論等をより容易に行うことのできるコンピュータ（ＡＩマシン）が提案され、人工知能ブームを巻きおこした。建設技術分野でも昭和６０年代の初頭からエキスパートシステムの開発に力が注がれることとなった。

以上のような建設技術分野における情報処理・通信技術の中から、ここではデータベース、画像処理、エキスパートシステムをとり上げ、利用現況と問題点等を検討する。

4－2－2　データベースの利用現況

1）概　説

(a)　データベースとは

データベースとは、多目的共有ファイル群と称されることもあるように、データの蓄積と活用のために不可欠のシステムであり、高度情報社会において基盤となるシステムとも言えるものである。

わが国においては、データベースは各種統計資料など数値情報を中心に整備が進められてきたが、１９８０年代のはじめ電算機による漢字の取扱いが実用化されたのを契機に漢字を含む文献情報に関するデータベースも整備されるようになってきた。また電算機の処理の高速化や記憶装置の大容量化に伴い、図面や写真等の画像データベースも実用化に至っている。

このように現在では、文字、数値、画像等あらゆる形態の情報が収納され、利用するための機器も多様性を増し、マルチメディア・データベース（図４－２－３）が実用化しよう

としている。

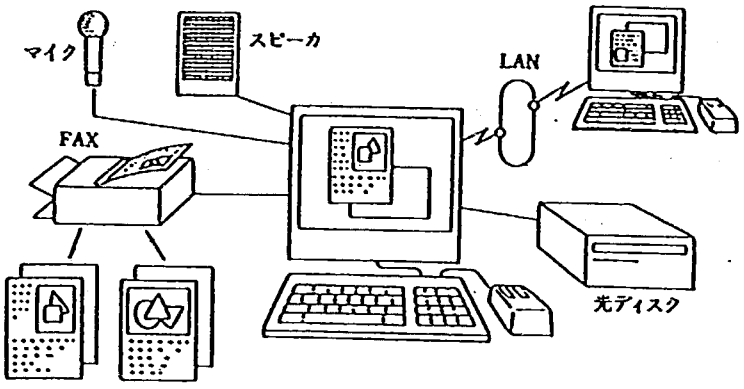


図４－２－３　マルチメディア・データベースのイメージ例

(b)　データベースの分類

データベースは、データの性質、形態、分野等により様々な分類がなされる。データの性質、形態で区分したものが表４－２－１、図４－２－４である。

表４－２－１　　データベースの分類[4)]

情報の目的	データベースの種類		情報の主要素	例
案　　内	(広義の)文献データベース	(狭義の)文献データベース	文字情報	文献抄録
		その他の案内データベース	文字情報	所蔵目録 機関案内
事実の提示	ファクト・データベース		文字情報	人やものに関するリスト、ダイレクトリー　辞書・事典、全文情報(法令　諸事録)
			数値情報	社会活動の諸指標及びその統計
				実験・観測で得られるデータ
			画像情報	物質の構造式
				地図・設計図

(出所：日本データ通信協会)

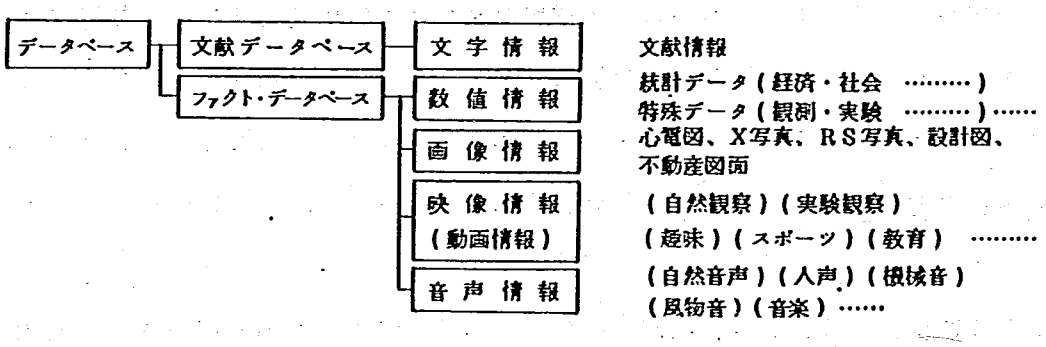


図４－２－４　　データベースの分類[4)]

建設分野においても、これらの各分類に該当するデータベースが次々と整備され実用化されている。以下、建設分野におけるデータベースの代表的なものをとり上げ、現況と問題点、ニーズを検討する。

2) 建設分野のデータベースの種類と特徴

(a) 建設分野のデータベースの区分

建設分野のデータベースには、建設省所有のデータベースをはじめ、官民にわたり多数の種類が存在する。これらについて利用形態、開発主体、情報の分野に着目すると、表4－2－2のように区分することができる。

表中、インハウスデータベースとは利用がデータベース作成主体に限定されるものであり、共用データベースとは作成者以外も無償、有償の利用が可能であるデータベースと定義して用いている。この中で日本道路公団の舗装維持管理システム、㈶河川情報センターの河川情報システム等は既に供用されており、大手建設会社の工事実績データベースも営業目的を中心にかなりの頻度で使用されるようになっている。

ここで、建設技術に関連する既存データベースの一般的な利用目的と利用対象を、建設のプロセス別に示すと図4－2－5のとおりである。

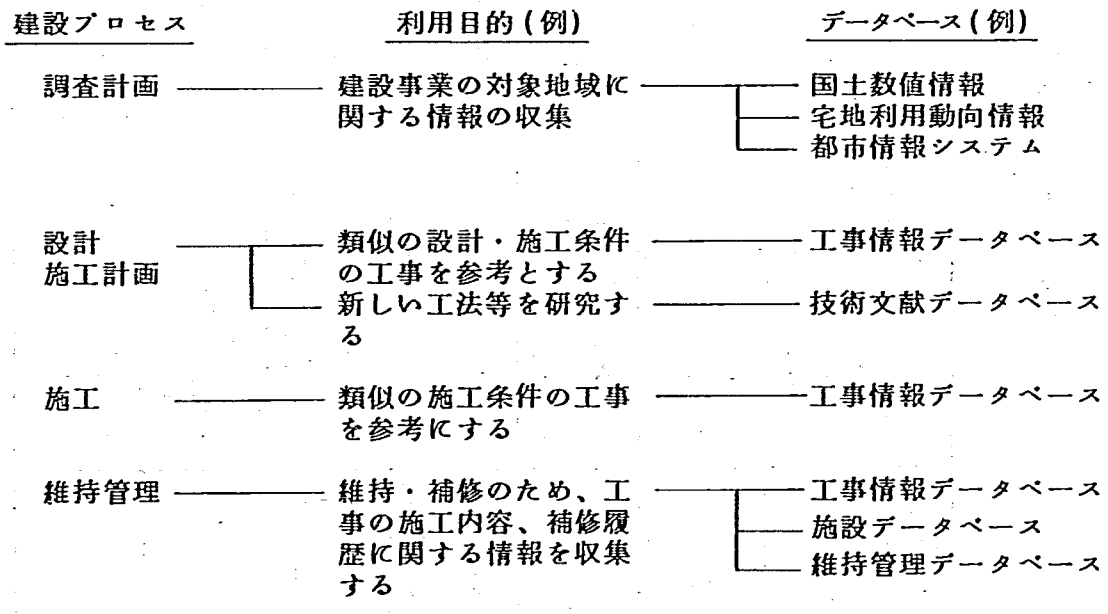


図4－2－5 建設技術関連のデータベースの利用対象

以下に、建設分野のデータベースの代表例を示す。

表４－２－２　建設分野のデータベースの区分例

区分＼項目		主な開発主体	主な情報分野	実用化の程度	事例
インハウスデータベース	施設データベース	日本道路公団	・工事（施工）実績	・データ収集中、一部実用化	
			・舗装維持管理データ	・稼動中	・「舗装維持管理システム」
		建設省	・施設管理データ	・道路情報、公園情報等を供用中	・「道路管理データベースシステム」 ・「都市公園データベースシステム」
	その他	建設会社	・工事（施工）実績 ・営業情報　他	・大手ゼネコンにおいて実用化	・「工事実績データベース」　他
		建設省 地方公共団体	・都市情報 ・河川情報　他	・特定の分野で実用化	・「ＵＩＳ：都市情報システム」 ・「ＵＩＳⅡ：都市政策情報システム」
共用データベース		データベース会社 財団法人	・工事施工実績 ・技術文献情報	・一部実用化	・「ＪＡＣＩＣ ＮＥＴ データベースサービス」
			・施設管理データ等	・河川情報（雨量、流量等）について実用化	・「河川情報システム」
		建設省	・国土数値情報　他	・実用化	・「国土数値情報」 ・「宅地利用動向情報」

(b) 建設省のデータベースシステム

建設省データベースシステムは昭和５４年度に着手、昭和５５年７月に基本構想を策定し、それぞれの分野で開発整備を進めている。この全体構想を図４－２－６に示すが、今までに河川流域データベースシステム、都市公園データベースシステム、都市計画データベースシステム、道路関係情報データベースシステムが稼動を開始している。

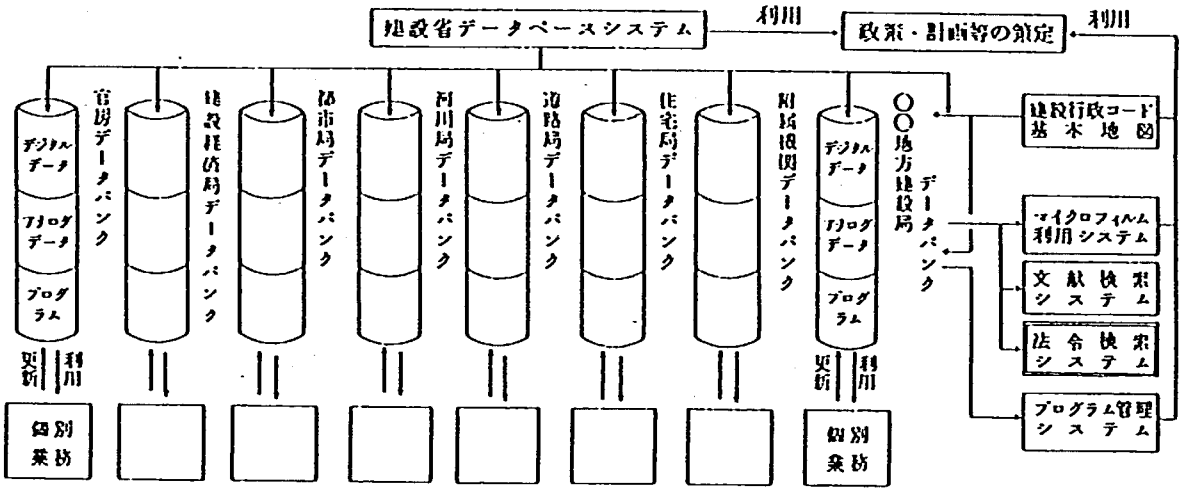


図４－２－６　建設省データベースシステムの構想　（建設省資料）

(c) 日本道路公団 ― 維持管理システム

技術部門における総合情報処理システムを構成する三本柱の一つであり、維持管理業務の効率化と質的向上を目的として開発された。総合情報処理システムの三本柱を図４－２－７に、維持管理システムの概要を図４－２－８および表４－２－３に示す。

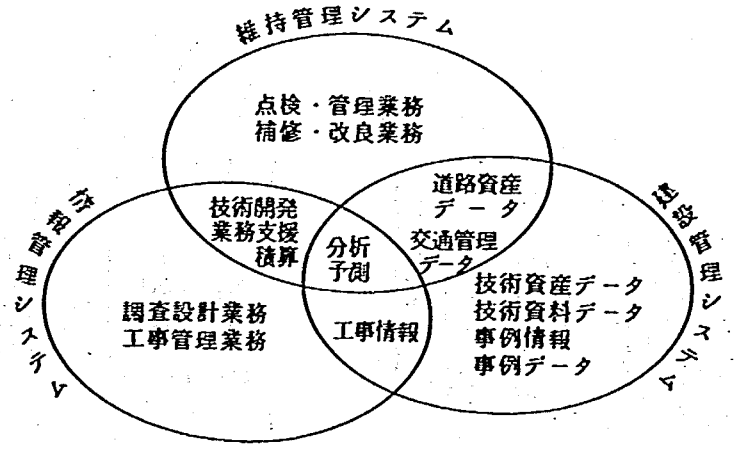


図４－２－７　総合情報処理システムの３本柱および維持管理システムの位置づけ

（出典：日本道路公団資料）

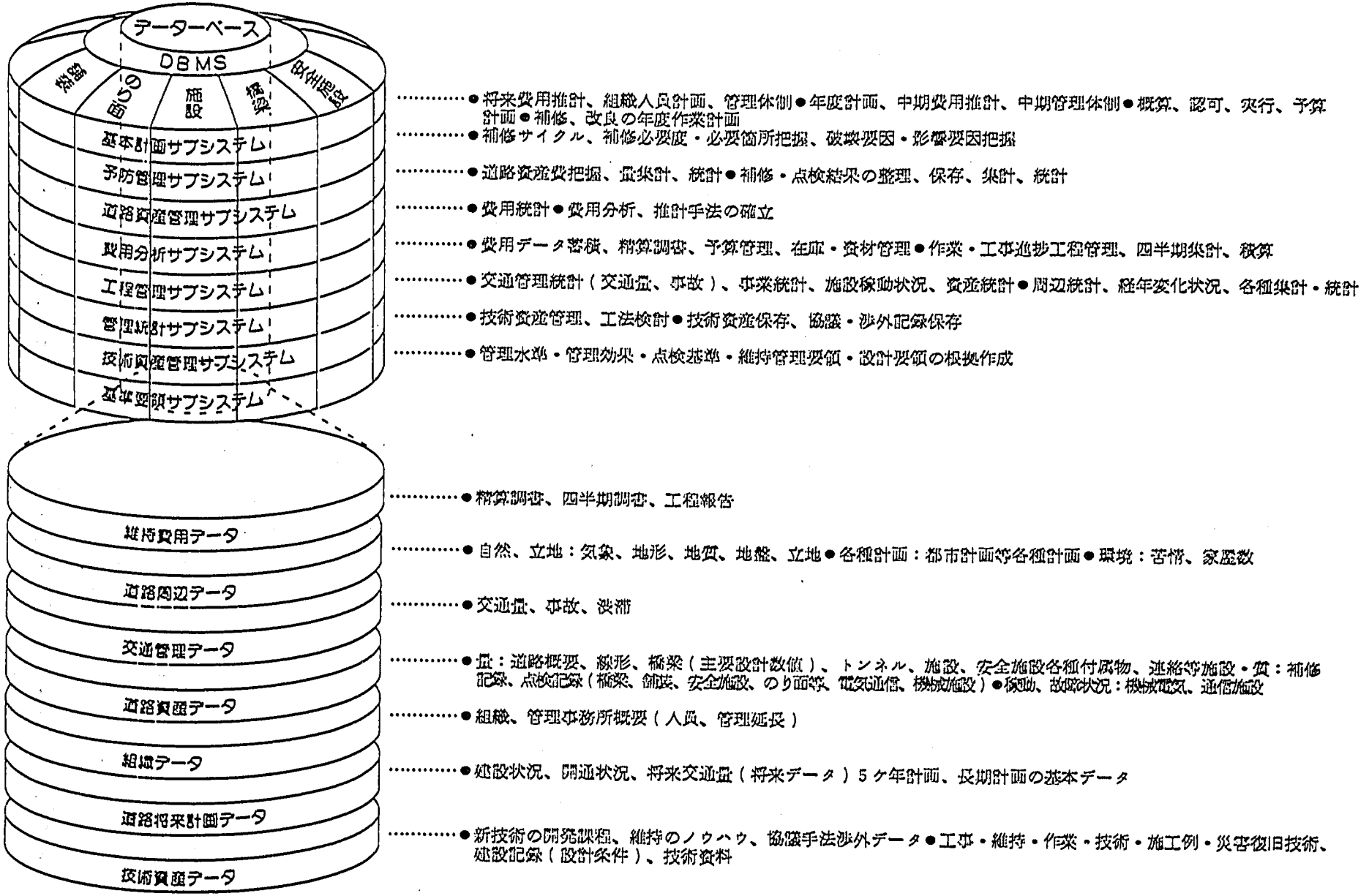


図 4−2−8　維持管理システムのシステム構成　（出典：道路公団資料）

表4−2−3　維持管理システムの概要

項目	内　　容
目的	・的確な現状把握 ・技術業務の効率化 ・効率的な試験研究開発 ・技術力向上 ・問題解決への支援 ・低コスト環境調整型道路建設 ・計画的管理・予防管理 ・科学的経営
ハードウェア	・現地ローカルシステム （パソコン等） ・試験所電算センター （汎用大型コンピュータ） ・オンラインネットワーク
ソフトウェア	・日本語処理・図形処理ソフト ・汎用統計処理プログラム ・科学技術計算プログラム ・データベースマネジメントシステム ・プログラムバンク
技術・情報	・技術開発 ・維持管理技術 ・予知・予測技術 ・スペシャリストノウハウ ・ライフサイクルの体系化
システム	データベースを中心としたデータバンクと目的別に設定したサブシステムで構成する。 （それらの内容は図4−2−8に示すとおりである）
利用方法	維持管理システムは、公団内の各組織をオンラインネットワーク技術で結び付けることにより、何処からでも即時に利用できる。 コンピュータに蓄積された情報は、更新情報が発生のつど入力され、生きた最新の情報として管理されてゆく。 システムは本社試験所に置くセンターシステムと、管理局、管理事務所に置くローカルシステムとから成る。

（出典：日本道路公団資料）

(d)　民間（大手建設会社）

民間（大手建設会社）6社のデータベースの現況を調査した結果を表4−2−4に示す。

調査結果によると、自社の工事実績情報のデータベースを整備しているところが多いが、主に施工状況の管理及び営業のために利用しており、計画、設計、施工計画等に役立てているところはなかった。その他では、自社の受注状況、積算情報、機械稼動状況等、管理又は営業に利用するもの、及び技術情報の文献検索システムを整備しているところが多かった。

ハードウェアの構成は、大部分が本店に１２～３２ＭＢの主記憶容量を保有したホストコンピュータを置き、専用回線又は電話回線で支店等の端末機と連結された集中方式のものであった。データは主に自社内のデータが中心であり、一部、技術情報では一般に公開されているデータを入力するところもあった。運営体制は、データベース運営の専任の部署を置いているところが多いが、各データベースごとに担当部署で作成・管理するところもあった。

また、どの会社も、データベースの拡張、整備を進めつつあり、全社的なデータベースの作成、検索システムの改善、支店とのオンライン化、図面等の画像処理の対応等を図ろうとしている。

表４－２－４　民間（大手建設会社）のデータベース整備状況（文献１）

会社	データベース名	データの種類
A社	受注情報データベース	受注実績
	工事情報データベース	工事情報
	災害関連データベース	災害データ，労働延時間
	OASIS	土木の技術検討書の作成記録 技術文献情報
	地震波ライブラリー	地震波情報
B社	出件見込データベース	長期，短期に出件が見込まれる工事の情報
	運動中工事データベース	営業担当者が営業活動を行っている工事の情報
	入札結果データベース	全国での入札状況及び結果の情報
	工事実績データベース	施工中及び竣工後工事の実績情報
	技術資料データベース	土木工事に関する資料の所在情報
C社	工事マスター	施工実績
	設計計算例データベース	設計検討書，設計計算書
	施工計画，施工例データベース	施工計画書，施工報告書
	科学技術情報データベース	科学技術情報
	積算情報データベース	積算情報
	機械稼動実績データベース	機械稼動実績
	かし工事データベース	かし工事実績
D社	工事実績データベース	工事実績
	技術文献情報検索データベース	技術文献
E社	材料データベース	建設関連材料の材質，性能
	建設技術データベース	施工法
	作品検索データベース	主要な建築雑誌に掲載された建築作品記事
	技術文献データベース（注）	建設技術図書
	建設法規データベース（注）	建設関連法規
	工事予定データベース（注）	工事の発注予定及び設計・施工会社情報
F社	受注予定データベース	営業物件情報
	工事情報データベース	施工中の工事情報

注）昭和60年４月以降提供

3) 工事情報データベース

工事実績情報に関するデータベースは、今後高度化していくべき分野であると同時に、一部ではすでに実用化され、運用の実績を有している。

本章の第4節および第5章で述べるように、工事実績情報の高度利用は建設技術高度化のための極めて重要な課題である。従って、ここでは既存の工事実績データベースについて、詳細に検討を行った。

実用化されている工事実績情報データベースは、その大半が建設会社所有のものであるため、ここでは建設会社6社にアンケートを行いその概要を調査した。調査にあたっては、データベースシステムをとりまく周辺環境、すなわち工事情報の全体的な保存および活用方法等についてもヒヤリングを行った。

(a) 工事情報の意義

調査対象とした6社の工事情報データベースは、いずれも自社内に蓄積される工事情報を扱うデータベースである。この場合、建設会社にとって工事情報とは、社外に対しては施工能力を発注者等にアピールするための大切な情報であり、社内的には施工計画・管理へのフィードバック、企画・調査・研究の分析資料である。さらに、施工に従事した個人経歴による人選にも活用されるなど、極めて利用価値の高い情報となっている。

こうした情報の利用効率を高める手段が工事情報データベースシステムにほかならない。

(b) 工事情報の保存と活用

(i) 全工事を対象とした工事情報の保存と活用

① 工事情報の保存

道路工事に関する工事情報の保存状況については、昭和59年度調査においてサンプル調査が行われた。これによれば、正式な書類(契約書等)、図面、設計書関係は半永久的に保管し、他の事務書類、工事日報、検査結果等は、特に必要と思われるものを除いて施工中のみ、あるいは数年間のみ保管するという状況になっている。

ここで収集・保存の対象となるのは全工事の情報であり、情報量としては極めて大量なものとなる。

② 保存と利用

次に保存される資料の利用という側面を加味し、これらの資料の加工状況をまとめると以下のとおりとなる。

(イ) 各種資料

各種の図、表、文書であり、基本的なものは図、表のままあるいはマイクロフィッシュ化されて保存される。

(ロ) 工事報告書（工事記録）

各種資料は、ある程度定型化された上でまとめられ、冊子の形態で保存されたり、あるいはマイクロフィッシュ化される。

これら(イ)，(ロ)を対象にどのような内容が記載されたものがどこに保存されているかを情報提供する検索システム（検索システム(A)とする）が作成される。

(ハ) データベース用台帳

汎用的なデータベースを前提にした工事概要が作成される。データ量はA4版でせいぜい4～6枚程度である。工事概要情報のうち、インデックス処理可能なデータ、数値データは計算機に入力される。また定型化されない記述、図等も一括してマイクロフィッシュ化され保存される。

(ニ) データベース用帳票

工事概要のうち基本的項目については、A4版1～2枚程度にまとめられ、ディスクに収納される。ここで、データベース用台帳があれば帳票は不要であるが、一般に台帳は作成に労力を要するため、帳票のみの場合が多い。

(ハ)、(ニ)によって作成される検索システム（検索システム(B)とする）は、出力項目も多く、利用用途は広くなる。システムの出力のみで十分な情報となりうる。

以上の工事情報の保存と利用の流れは、図4－2－9のように整理できる。

この流れにおいて、検索システム(A)は必ずしも十分に機能しない場合があり、特にマイクロフィッシュは作成したままでほとんど利用されないというケースが多いようである。また、設計担当部署は図面をマイクロフィッシュ化して利用しているが、技術開発部門は現物の報告書をよく利用するという傾向も見うけられる。

(ii) 特定の工事情報の保存と利用

施工条件、工事規模、工法等に特徴のある工事、不具合の発生した事例等については、別途資料が作成され保存されることがある。保存される情報は、技術開発や類似の施工条件下における施工の高度化のために貴重な資料となっている。これらの特定の情報をここでは特殊情報と呼ぶこととする。

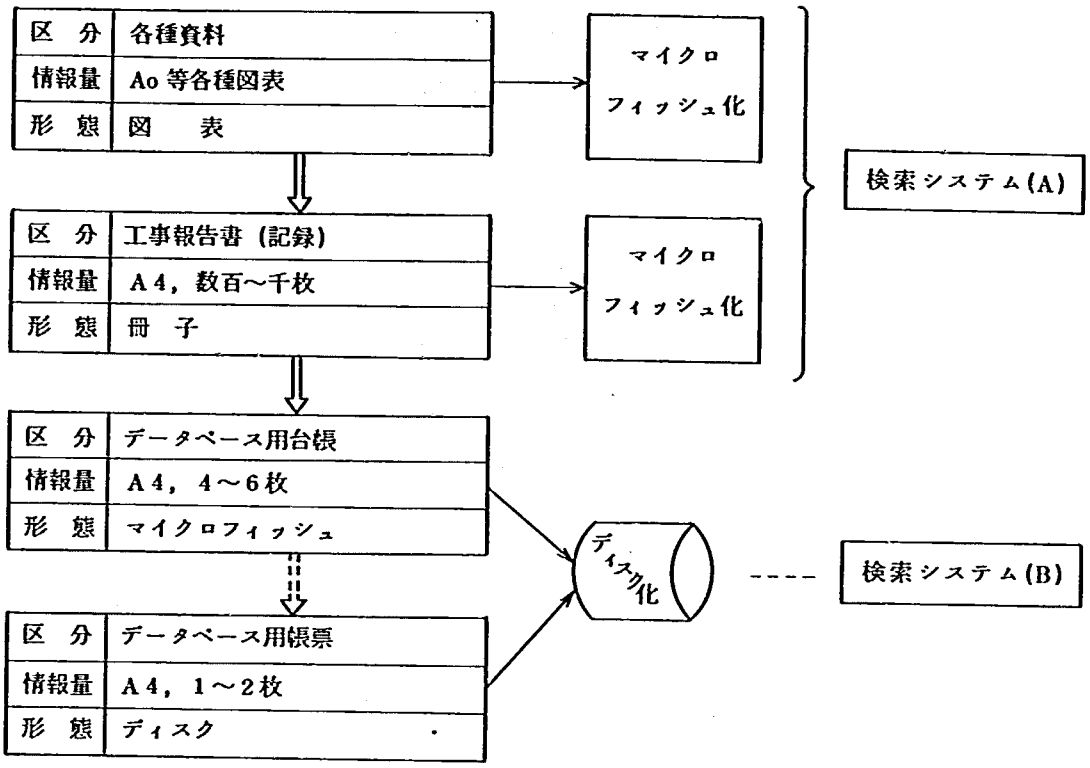


図４－２－９　工事情報の保存と利用の流れ

①　収集の基準

技術開発や施工の高度化に役立つ情報をいかに選択するか、という収集の基準は、明文化されたものはなく、技術開発（情報管理）担当部署の判断によることが多い。ヒヤリング調査による情報収集対象としての主なものは、次のような種類の工事があげられている。

イ．設計変更のあった工事

ロ．特殊な条件（制約条件）の工事

ハ．不具合の発生した工事

ニ．技術開発、新技術の適用等を含む工事

一般的にみて、これらの工事の施工の際には、本社の技術開発スタッフが検討に参加することが多く、一般の工事関係書類のみでなく、技術的問題に関する検討書が作成される。

②　保存形態

特殊情報として保存すべき内容は個々の工事によって異なる場合が多く、定型化になじまないことから、技術者がフリーフォーマットで記述する型式のものが多い。情

報量はＡ４で１～２枚程度であり、通常マイクロフィッシュ化されて保存されている。

ただし、工事番号、工事種別、キーワード等の情報は記入されており、全工事を対象とした工事情報データベースとの対応がとれるように整理されている。

③　利用形態

特殊情報が技術開発や類似施工条件における施工の高度化のために用いられることはすでに述べたが、現状で最も多い利用方法は、施工現場への情報提供である。具体的には、施工現場からの各種の技術的な問合せ事項に対し、本社サイドにおいて類似事例が検索され、現場に提供されるというケースが多い。ここで、検索にあたっては、工事番号、キーワード等が用いられることになる。

(c)　工事実績情報データベースの概要

調査対象６社の工事実績情報データベースの概要を表４－２－５に、利用状況を表４－２－６に示す。各々の特徴を整理すると以下のようになる。

(1)　データベースの構成

①　ハードウェア

調査対象となった建設会社６社の有する工事実績情報データベースのハードウェアの構成は、細部に多少の差異があるものの各社の基本的な構成は共通している。本社に設置したホストコンピュータと本支店内の多機能端末によって基本的ネットワークが構成されており、端末はほぼ日本語化され、記憶装置として光ディスク等も用いられている。

②　ソフトウェア

(イ)　データベース管理システム（ＤＢＭＳ）

データベースの中枢となるＤＢＭＳは、ホストコンピュータに対応しているため、ホストコンピュータの機種と同様、各社とも異なっている。

(ロ)　アプリケーション

データベースの使用しやすさはアプリケーションによって左右されるが、現状でのアプリケーションは表４－２－５に示す内容となっている。各社とも利用実績を積むに従い、より効率的な利用のためのアプリケーションの整備が順次進んでいる。

(2)　収納情報件数

表４－２－５には、土木工事全体、道路工事、および工種別内訳として、土工、土留工、基礎工、地盤改良工のそれぞれの収納件数を示した。工種別内訳は、道路工事以外

の工事も含まれている。また1件の工事に2種類以上の工事が含まれる場合もあり、重複した件数として示している。

土木工事情報全体では、6社で52,035件の工事情報が収納されており、1社平均8,600件程度である。F社では14,405件の情報が収納されており、他社と比較しても大規模なデータベースとなっている。

道路工事情報は6社計で9,069件収納されており、全件数の17%である。1社平均約1,500件という規模となっている。

工種別にみると、6社計で土工13,600件（全体の26%）、土留工・基礎工で17,192件（全体の33%）、地盤改良工5,924件（全体の11%）で土工が最も多い。会社別には、工種別件数の比率は異なっており各社の施工実績が反映されていると考えられる。

(3) データの入力および更新

① 収納基準

ここで取上げている工事実績情報は、基本的には全工事を対象としたものであるが、利用価値のある情報を効率的に保存し活用するために、各社ともデータ収納基準を設定している（表4－2－5の中の©）。

調査した6社では、収納基準は3つの視点で設定されている。第1は、工事規模（工事金額）で選択するもので、1件の工事金額が一定の基準以上のものはすべて収納するという基準である。6社中、4社がこの考え方に拠っている。第2は、「役に立つ可能性のあるもの」、「特徴的工事」という基準である。具体的な基準は示されていないが、1社がこれに拠っている。他の1社は「雑件以外すべて」ということで、これは特に基準がないとみることもできる。

なお、金額で基準を設ける場合、大規模な工事では施工中から収納を開始するという会社が2社存在する。

② データ更新頻度

データの更新は各社とも定期的に行っている。頻度の多いところで月に1回（3社）、少いところで半年に1回程度（3社）である。ただし、竣工工事は半年に1回の基準で更新を行っている会社でも、大規模な工事で施工中からデータの収納を行う工事については月1回の更新を行っている。また、出来高50%の時点で入力するという基準を設けている会社も1社存在する。

③ 修　正

収納されたデータの修正は、各社ともミスが発見された時点で行われている。

(4) 利用実態

調査対象6社の工事実績データベースの利用実態を、利用頻度、利用目的、必要とした情報項目、検索に用いたキーワード、検索の範囲についてまとめた結果を、表4－2－5中の⑪及び表4－2－6に示す。

表4－2－5は、工事情報のうち道路工事の基本情報（工事概要）と、土工・土留工・基礎工・地盤改良工の4工種関連の技術的情報を例にとって利用状況を調査したものである。

6社の最近1年間の利用頻度は、合計として8,610件であり、平均すれば1社あたり1,435件である。ただし、F社は供用開始後2ケ月間のデータであり、1年間でさらに増加することを想定すれば、6社合計で10,000件／年程度の利用頻度になろう。

これを利用目的の分野として、営業関連、人事関連、技術開発関連、施工資料関連、その他に分類し、それぞれの利用比率をみると、営業関連が58%、人事関連が8%、技術開発関連が8%、施工資料関連が14%、その他が12%となっている。

営業関連が58%と半分以上を占めているのが注目されるが、技術開発関連と施工資料関連を合わせれば22%となり、技術的な情報のニーズも高いことが示されている。

利用目的の具体的な内容としては、基本情報、工種別について表4－2－5に示してあるが、共通点を抽出すると以下のようにまとめることができる。

① 営業関連……営業案件に対し、自社の実績資料を作成する際にデータベースを利用する。また、工事の概算見積りを行う場合にも施工実績を参考にするが、この際にデータベースを利用する。

② 人事関連……技術者の経歴を調査する場合、あるいは工事の配員計画を検討する際にデータベースを用いる。

③ 技術開発・施工資料関連

……各種工法の施工実績を知り、技術開発に役立てたり、施工計画立案の際に類似施工条件での施工事例を参考にしたい場合、データベースにより事例を検索する。

④ そ の 他……資材調達のための資料収集、外部からの問合せに対する社内での情報収集の際などにデータベースを利用し、該当事例を検索する。

表4－2－5　工事実績情報データベースの概要

	Ⓐ ソフトウェア		Ⓑ 収納情報件数						Ⓒ データ入力・更新			Ⓓ 利用状況					
	DBMS	アプリケーション	土木工事情報	道路工事情報	工種別				収納済単	更新頻度	修正	年間利用件数	用途別比率(%)				
					土工	土留工	舗装工	地盤改良工					営業	人事	技術	施工	その他
A社	INQ（日電）	営業情報検索システム等	8,000	1,700 (600)	3,500 (690)	600 (10)	1,400 (10)	1,000 (120)	1件の工事額5,000万円以上の竣工した全ての工事（昭和40年5月以降）	1回／月	ミスが発見された時随時	4,400	80	4	1	10	5
B社	AIM／RDB（富士通）	INTERACT	3,500	500	190	140	200	120	① 役立つ可能性のあるもの ② 特徴のある工事	1回／月	ミスが発見された時随時	800	34	21	15	19	11
C社	<土木> 東芝CODASYLタイプ <本社> ADABAS (IBM 3081K)	<工事情報検索> ① 条件指定汎用検索 ② 重み点数設定検索 ③ 漢字文字例指定検索 ④ 条件指定経験者検索 ⑤ 発注者別工事経歴編集 ⑥ 発注者別技術者名簿編集 ⑦ 概算見積支援 ⑧ 各種台帳、集計表編集	11,030	1,731	2,450 道路土工 598 一般土工 1,852	3,061 連続壁を含む	2,819	674 薬注は含まない	① 竣工工事 1発注者請負金合計1千万以上全工事 ② 施工中 口座単位で1億円以上	① 竣工工事 半年に1回 ② 施工中 毎月1回	情報提供を通じ、ミスが発見された時随時	1,200 土木 1,100 全社 100	39	18	15	13	15
D社	ADABAS（ソフトウェアAG）	① 情報検索照会　・検索結果表示 ・非定型帳票出力 ② DB更新処理　・登録処理 ・削除処理 ③ 定型帳票出力処理	7,600	2,820	4,050	1,600	2,800	1,790	工事売上額100万円以上の工事について全て入力	半年に1回	ミスが発見された時随時	970	35	0	20	15	30
E社	AIM ADABAS （富士通）	① 会話型検索 ② 更新 ③ 帳票出力	7,500	830	2,500	1,200	2,200	1,800	① 工事額1億以上（着工時より随時完成工事、施工中工事は選択可能）	① 金額項目 毎月 ② 施工項目 四半期 ③ その他 ・出来高50% ・竣工時	ミスが発見された時随時	1,200	30	10	10	25	25
F社	ACE II（日立） ORION（日立）	① TSSによる会話形式の検索 ・複数項目の論理検索　・文字列の検索 ・指定した項目の値によるグルーピング ・検索結果の編集による各種帳票の作成 ② メニュー方式による操作 ③ 漢字情報	14,405	1,488	910	1,172		540	雑件以外すべて、金額による制限なし	月に1回	誤りが発見された時	40 (2ヶ月間)	35	5	25	30	5
合計			52,035	9,069 (7,969)	13600) (10,790)	17,192 (15,212)		5,924 (5,044)				8,610	58	8	8	14	12

（注；　A社：（　）は工法別のキーワードでデータベース内情報にアクセスできる件数。ただし、土留工、舗装工はS61、62年度分のみ）

表4－2－6　工事実績情報データベースの利用状況（道路工事の4工種の例）

工種	利用目的	必要とした情報項目	検索に用いたキーワード	検索の範囲	検索時の問題・期待される機能
基本情報	(1) 施工実績（地域工事、工種、工法、発注者別）を知る→営業関連 ・類似工事、個別工事 (2) 外部からの調査依頼に対する情報収集 (3) 提出資料（主として官公庁用）作成 ・技術者名簿	工事名称、発注者、工期、工費、施工場所、施工責任者｝基本情報項目 報告書整理番号 工事写真、設計、施工図面	工事、工種、工法、発注者分類コード、工事費、規模	報告書入力 ＤＢ一覧表	・工事分類体系の統一化 ・現物資料（報告書）検索の自動化 ・同業他社実績の検索 ・事前検討書・設計書、施工計画書、竣工報告書等の内容分類
土工	(1) 営業用・施工実績 (2) 工事の概算見積り・施工法の検討 (3) 各種工法の施工実績を知る ・長大法面施工実績、法面保護、斜面の安定工法 ・連続土工システム ・切土斜面安定工法	(1) 基本情報項目、施工経験者 (2) 報告書現物 (3) 土質条件、工法、基本情報項目	切盛土、土・岩切取、斜面安定、連続土工、法面安定	(1) ＤＢ一覧表 (2) 報告書入手 (3) 報告書入手	・新工種・新工法の最新動向の把握 ・新工種・新工法の追加等に伴う分類体系の改訂 ・過去に遡ってのデータ整備｝各工種に共通
土留工	(1) 各種工法の施工実績を知る ・連続地中壁　・支保工 ・シールド工事における立坑の土留工法 ・もたれ擁壁の計算事例 (2) 計測項目・計測機器の配置を知る (3) 排水計画	(1) 基本情報項目・報告書整理番号 ・壁厚、掘削深さ、壁延長 (2) 土質条件 (3) 同上	(1) 地下連壁、シールド、立坑、その他 (2) 山留め、計測計画 (3) 山留め、地下水位低下	(1) 報告書入手、経験者 (2) 報告書入手 (3) 同上	・件数不十分 ・時間がかかる
基礎工	(1) 営業用施工実績 (2) 資材調達資料 (3) 各種工法の施工実績を知る ・設置ケーソン　・剛体基礎　・地下連続壁 (4) 現場工事施行に対して経験者の意見を聞く	(1) 基本情報項目 (2) 同上 (3) 同上 基礎の大きさ、地盤条件 (4) 経験者	(1) ニューマチックケーソン他 (2) フローティングケーソン他杭工事 (3) 特殊基礎、連続剛体基礎他 (4) オープンケーソン他	(1) ＤＢ一覧表 報告書入手 (2) ＤＢ一覧表 (3) 報告書入手 ＤＢ一覧表 (4) ＤＢ一覧表 経験者	・時間がかかる
地盤改良工	(1) 営業用施工実績 (2) 工種別工法実績 (3) 各種工法の施工実績を知る ・ヘドロ処理 (4) 改良効果確認のための計測計画例	(1) 基本情報項目 (2) 地盤条件、工法 (3) 基本情報項目 ・ヘドロ処理工法、改良目標強度、実績単価 (4) 地盤条件、計測計画	(1) ペーパードレーン、ケミカルドレーン工法、掘削置換工法他 (2) 盛土、地盤改良 (3) ヘドロ処理 (4) 地盤改良、計測計画	(1) ＤＢ一覧表 報告書入手 (2) 報告書入手 (3) 報告書入手 (4) 報告書入手	時間がかかる

(5) 問題点および今後の課題

調査対象の6社においても、工事実績データベースの規模、運用期間等は異なり、現状のシステムに対する評価も同一ではないが、調査では以下のような問題点あるいは今後の開発課題が示された。

① 問題点

(イ) 記入者による記入内容のばらつき

入力内容を完全にチェックする体制が不備であることなどにより、記入内容が統一されておらず、記入者によってばらつきが出る場合がある。収納されるデータが多岐にわたり、数値データが多くなると、記入内容の統一は困難になる。しかも、利用価値のない信頼性の低いデータは、データベースそのものの存在価値を否定することになってしまうため、極めて重要な問題となる。

(ロ) 応答時間

検索の際の応答時間が長く、操作性に問題があるという指摘が多くなされている。これもハードウェア、ソフトウェアのシステム特性によるものであるが、応答時間の速さは、システム操作上の評価視点として大きなウェイトを占めている。

② 今後の課題

(イ) 現物資料（報告書等）検索の自動化

現状では、データベースで検索の後、該当する工事の報告書等の現物資料を入手することが多い。したがって、将来的には現物資料そのものがデータベースにより検索できるようにしたいという大きなニーズが存在する。

(ロ) 工事、工法等の分類体系の統一化

データベースは多数の利用者の共通の情報源であり、多数存在する工事、工法等を共通の方法で分類し体系化しておかねばならない。ところが、新工種、新工法が次々と付加されるため、分類体系の見直しが必要となる。

以上が、現状の工事実績データベースの問題点と今後の課題であるが、さらに各社のデータベース管理担当者の評価として以下のような点が指摘された。

現状の工事実績データベースは、あらゆる要望に応えようとしているため、結局、中途半端になっているきらいがある。したがって、今後開発を行う際の留意点として、第1はニーズの高い情報に限定してデータベースを作成することであり、第2は扱う情報のレベルに注意し、広くて多くの情報とするか、少数だが密度の濃い情報にするかを的確に選択することである。ここで、広くて多くの情報は内容の簡易化、標準化により精度が保たれ、一方

密度の濃い情報はヒヤリング等による情報収集により、精度の保障が計られることになる。

③ 工事情報の利用の高度化の構想例

工事実績データベースの現況に関するヒヤリング調査のなかで、工事情報をより高度に利用するための構想が数例示された。その概要を示すと以下のとおりである。

(イ) 情報の活用 ―図面情報のＣＡＤ化

従来、保存と利用の両側面で取扱いが煩雑になりがちであった図面情報を、デジタル化して保存し、ＣＡＤを中心とするシステムのデータとして利用することにより、積極的な活用の方途を開こうとするものである。

これは、右に示すような流れで行われる。まず、設計図面をデジタル化して図面データベースを作成する。設計案件がある場合、図面データベースの中から、類似の設計図面をとり出し、ＣＡＤシステムによって、必要部分を修正することにより、新しい設計図を得る。

この構想は、設計作業の効率化を図ることを目的としているが、最終的には自動設計の方向へと発展していくことになる。

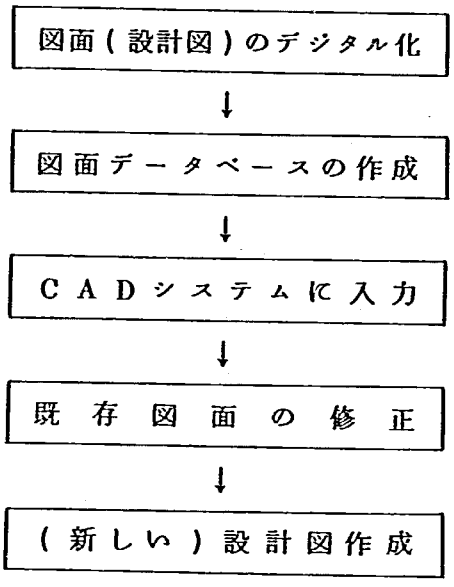


図４－２－10　図面情報の高度利用の手順

(ロ) 検索手段の自動化 ― 本社・現場のファクシミリ・ネットワークの形成

特殊条件（制約条件）、設計変更、アクシデント等を含む工事については現場から本社に対して各種の技術的内容の問合せが行われる。現状では大部分が電話での対応によっている。そして技術情報を蓄積している機関では、それらを参照しながら対応している。

この場合、現場で入手したい情報と本社が提供できる情報とが合致するまでに多少の時間を要するのが普通である。ここに提案されているシステムは、現場からリクエストされる情報へのアクセスをできるだけ自動化しようとするものである。

具体的には、現場と本社の間にファクシミリの回線を設置し、情報の検索と出力を現場からのオンライン・リクエストで行うものである。このシステムは図４－２－１１に示すような構成で、一部実用化が図られている。

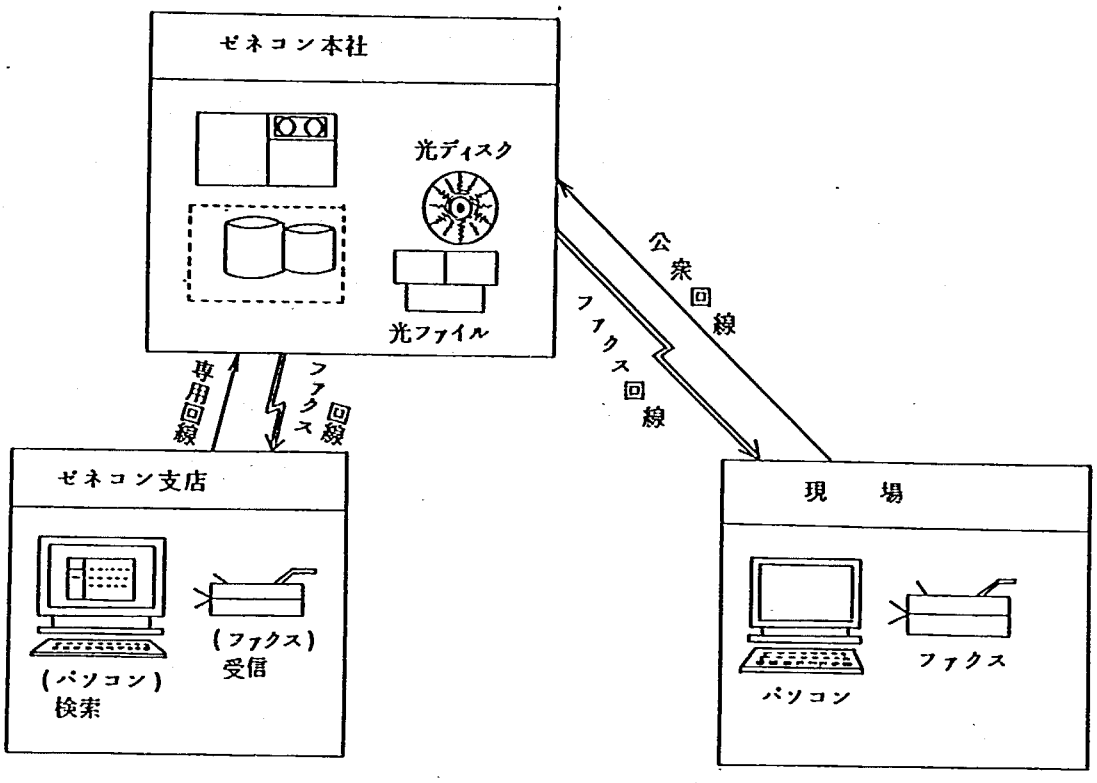


図4－2－11　ファクスを利用した工事情報検索システム

4)　建設分野におけるデータベース利用の問題点

すでに見てきたように、建設分野においては、広い範囲でデータベースの整備が進んでいる。しかし、建設技術の高度化の促進に役立つものとするためには、解決しなければならない問題が多数存在している。

工事情報データベースの問題点は前述したとおりであるが、ここでは、建設技術に関連の深いデータベース全体の問題点について整理する。

問題点は収納されるデータそのものと、データの収集・加工・配布に至る一連の作業に関わるものとに分けることができる。

(a)　収納されるデータに関する問題

建設事業のプロセスに沿って問題点を整理すると以下のようになる。

i)　調査・計画段階で利用されるデータベース

調査段階においては、データベースは、対象地域に関する各種情報の収集を目的として利用される場合が多い。地域情報に関する代表的なデータベースである国土数値情報は、現時点では標準メッシュ（1km＋km）のデータ基本になっている。このため河川流域全体、市町村といった広域を対象とした調査・計画段階（例えば基本計画など）では使用されているが、施設建設にあたっての狭域の調査には不十分である。

しかも実際にはこうした狭域調査の方が調査頻度そのものは高いと考えられる。しかしながら、こうした狭域調査に必要とされる詳細な地域データは、一般的には収集が困難であるとともに、それら特定のデータが参照される頻度は必ずしも高くないことが予想される。今後のデータベース整備にあたっては、その目標を広域概略データと狭域詳細データの間のどこに設定するかが問題となる。

ii) 設計・施工計画段階で利用されるデータベース

設計・施工計画のプロセスでは類似の設計・施工条件での経験を参考としたり、新しい工法に関する情報を入手したりする場合にデータベースの利用がある。これは、前述の工事実績情報データベースの項で示したとおりである。

ここでは記入者による記入内容のばらつきという信頼性の問題、工事や工法等の分類体系の統一化がなされていない（コードの不統一）という問題、報告書等現物資料がデータベースから直接参照できない（収納されていない）という問題等がある。さらに設計・施工計画では図面情報の比重が大きくなるが、現在のデータベース技術では、入出力時間がかかりすぎるなど図面情報の扱いは十分でない。

iii) 施工のプロセスで利用されるデータベース

施工のプロセスで利用されるデータベースは、基本的に前項ii)と同じである。

iv) 維持管理のプロセスで利用されるデータベース

維持管理のプロセスで扱われる情報のうち、基本となるのは施設データベースである。現在施設データベースが整備されている土木施設は必ずしも多くなく、道路施設で整備が開始されたほかは、道路舗装で実用化されている程度にすぎない。

以上、収納されるデータそのものの問題としては、データの精度、信頼性、コードの不統一、現物情報（ファクトデータ）の不足、図面情報の不足、施設情報の不足等があげられる。

(b) データの収集・加工・配布に係る問題

データベースの作成・利用のためには、一般に図4－2－12に示す一連の作業が必要となる。この流れに沿って問題点を挙げると次のようになる。

i) 入力データの整理

ここでは記入者によるデータのばらつきの問題がある。大規模なデータベース作成の場合には、データの評価にあたって専門家による評価委員会が構成されることもあるが、建設技術関連のデータベースでは、あまり例がないようである。

また、データの加工、コーディングに多大な人手がかかり、既存の施設データ等をデ

データベース化するには、労力面での制約が極めて大きいということが言える。

ii) データベース作成

データ入力については、コーディングされたデータをパンチあるいはキーインするような入力システムの場合、やはり労力が多大になるという問題が存在する。特に図面データの入力は、その速度が遅いこと等の問題を残している。

iii) データベースの配布（流通）

現在、建設技術関連のデータベースは、インハウスデータベースが多い。このため、データベースの配布も建設会社の本店から支店あるいは本店内といった比較的狭い範囲で行われている。しかし、今後データベースの整備が進み、建設現場への迅速なデータの配布といったニーズが生まれると、現在の配布体制では十分ではない。

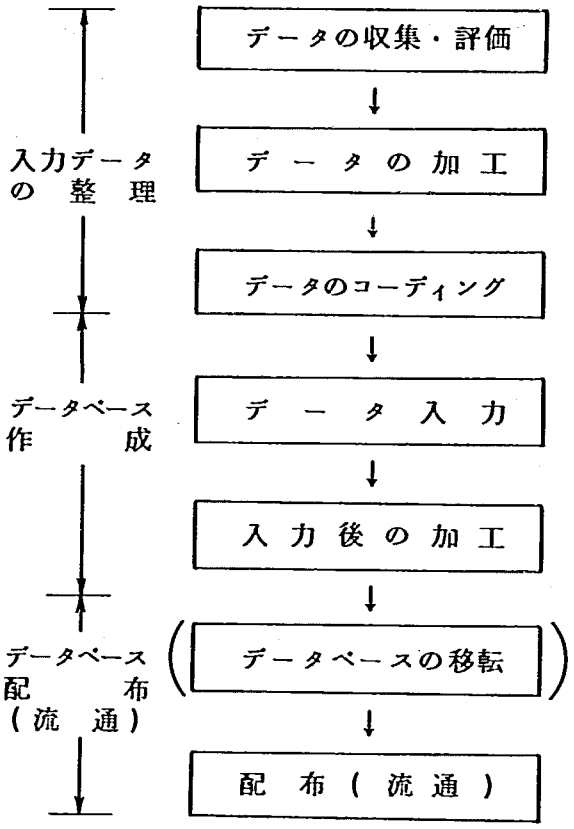


図4－2－12　データベースの作成、配布プロセス

また、情報量の多い図面データを大量に扱うためには、通信システムを大幅に改善する必要がある。

4－2－3　画像処理技術の利用現況

(1) 画像処理技術の発展と構成[6)]

画像処理は、文字認識の研究に始まるパターン認識技術と、画像強調や復元のような狭意の画像処理から始まり、両者の融合とともに3次元画像や動画像を含んだ技術へと発展してきた。

ここで、画像処理は、その実現方法として、アナログ画像とデジタル画像処理に大きく分けられる。前者は、光やビデオ信号などの入力画像をレンズやアナログ電気回路によるフィルタなどを用いて、ノイズ処理や画像強調を行うものである。一方、デジタル画像処理は、ドラムスキャナ等でデジタル化された画像データをコンピュータにより処理することで、画像の雑

音除去、復元等を行うものである。一度デジタル化して蓄積すれば、あとはプログラムを駆使することによって、任意の処理を比較的容易に行うことが可能となるため、現在では、画像処理といえばデジタル画像処理を指すことが多い。特に最近のコンピュータや画像入出力装置の高性能化、低価格化により、画像処理に大きな関心が寄せられるようになっている。

デジタル画像処理では、位置の関数で与えられるデータは全て画像データとして処理の対象にしており、その意味で極めて基礎的な技術と言える。したがって、その応用範囲は極めて広く、また処理技術の内容も多様である。画像処理技術の全体構成を大まかに示したものが図4－2－13である。

これらの画像処理技術は有機的に結びついており、必ずしも明確には区分できない。また、実際の問題へ応用される場合にもいくつかの技術の組合せとして適用される。

表4－2－7は、各分野での画像処理技術の応用例を簡単にまとめたものである。

表4－2－7　画像処理技術の応用例(注)

分　野	応　用　例
OA（オフィスオートメーション）	手書き・印刷文字認識、光ディスクファイリングシステム　他
産　業	目視検査や部品認識の自動化、CADシステム
医　療	X線CT、超音波による撮影　他
地球観測	LANDSAT，NOAA，ひまわり等の各種衛星画像の処理・解析、他
宇宙観測	電波望遠鏡　他
通　信	ファクシミリ、テレビジョン　他
デザイン	織物、文字、印刷のデザイン支援システム（CAD）　他
画像表現	コンピュータグラフィックス
その他	指紋、印鑑、顔等の自動識別　他

（注：文献6をもとに作成）

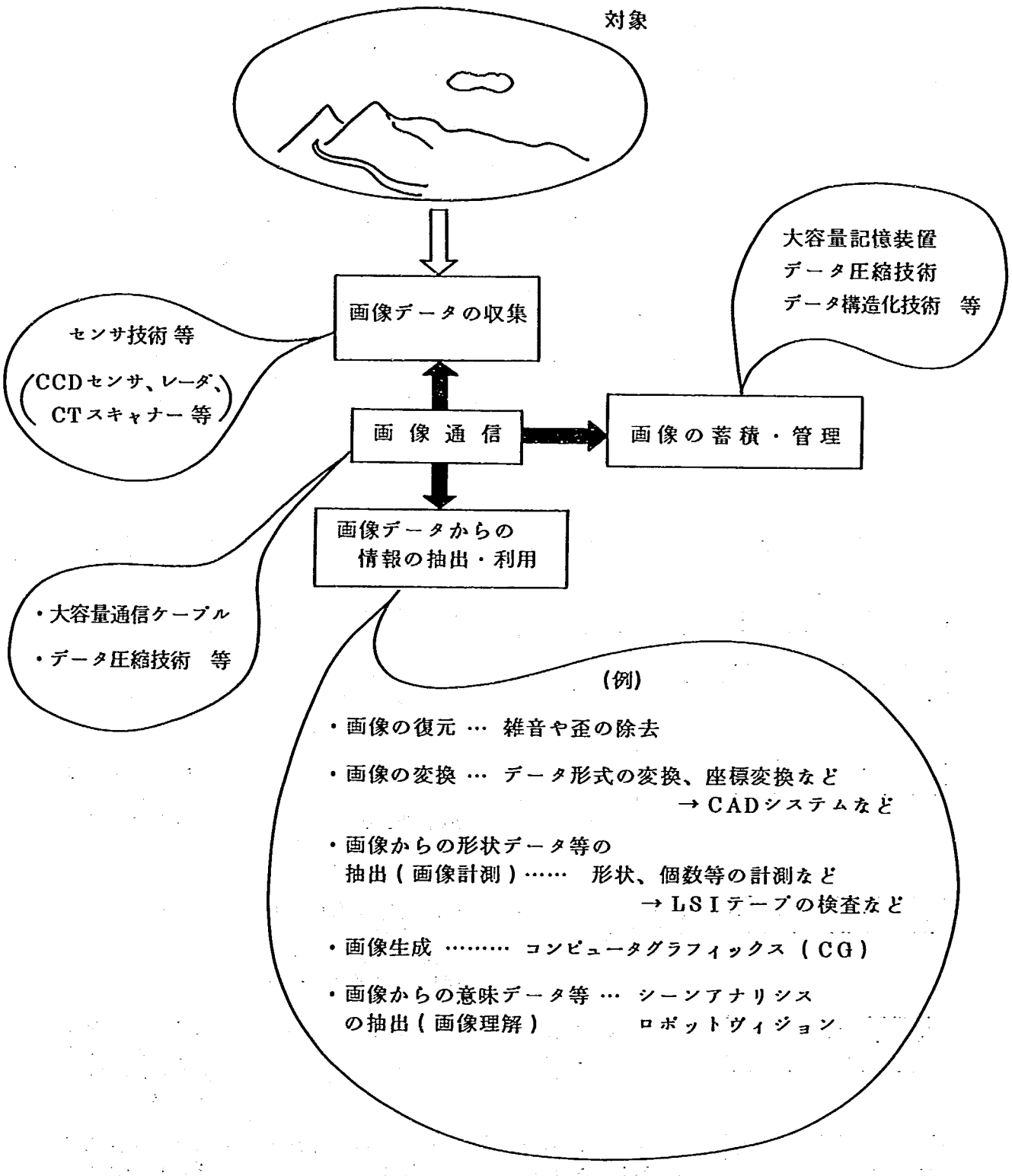


図4－2－13　画像処理技術の全体構成

(2) 建設分野における画像処理技術の応用の現状と問題点

(a) 現　状

図４－２－１４は、建設分野における画像処理技術の主な応用例をまとめたものである。

建設分野における画像処理技術の応用領域は、大きく３つの方向に整理することができる。第１は、事業に必要な情報を面的に得る目的でマルチスペクトル・センサ等によりデジタル・データを収集し、さらに必要であれば若干の処理・解析を加えるというものであり、リモートセンシングなどがこれにあたる。第２は、設計図等の図面（図形）情報をデジタル化することにより、図面の作成、修正作業やさらには設計・計画作業等を効率化しようというものであり、いわゆるＣＡＤシステムがこれにあたる。第３は、画像データを中心とした多様な形態のデータを蓄積・管理するというマルチメディア・データベースである。このデータベースについては、既に前節に現状と問題点について整理した。

（区　分）	（主なハードウェア）	（応用事例）	（画像処理技術との関連）
航空写真測量・調査	航空機等 航測カメラ等	地形・地質調査 災害調査	画像データの収集と解析
リモートセンシング	航空機、衛星等 各種センサー 画像解析装置	土地利用実態調査 地熱調査 環境実態調査	同上
マッピングシステム	地図入力システム 地図出力システム データベース	国土数値情報システム 地下埋設物マッピングシステム 立地評価システム	図形データの蓄積・管理およびその処理・表示
ＣＡＤ・ＣＧ	専用コンピュータシステム	土木構造物用ＣＡＤシステム 景観評価システム 環境影響評価システム	同上
工事図面等データベース	図面入力装置 図面出力装置 データベース	施工事例データベース	画像データを中心としたマルチメディア・データベース
その他	画像入力装置 診断用知識ベース	コンクリートひび割れ診断システム	画像収集から情報の自動抽出までの一貫システム

図４－２－１４　画像処理技術の応用分野

(b) 問 題 点

建設分野においては、2次元（たとえば地図データ）あるいは3次元（たとえば地形データ）の広がりを持つ各種のデータが広く利用されていることから、ある種のセンサによりこれらのデータが画像データとして収集されれば、その利用価値は極めて高いと考えられる。しかしながら、建設分野で必要とされるデータは、その精度やサンプリングの密度等の点でかなり高い仕様が必要とされるものが多く、現在提供されている各種のセンサでは性能面で不十分となるケースが多い。さらに、画像データはデータ量が膨大で、現在でもその蓄積、処理、通信にかなりの費用を要することが画像データの普及に対する大きな障害となつていると考えられる。しかも、一般にセンサの性能（精度やサンプリング密度）が向上するほどデータ量は増加し、要求される処理内容も複雑となる。そして画像処理・管理システムもより高性能なものが必要となる。したがって、今後はセンサの高性能化と、それに対応した画像処理・管理システムの一層の高性能化、低価格化が望まれる。また、データの処理・解析ソフト面での対応としては、ＡＩ技術等を利用した画像データからの情報抽出の自動化等を検討する必要が高いと考えられる。

建設分野におけるＣＡＤシステムの利用上の問題点としては、以下の点が重要である。

現在、ＣＡＤシステムを作ってシステム上に設計対象の図形モデルを構築する際には、最下位のレベルの要素（プリミティブ）を用いて設計者が逐一作り上げている。したがって、設計対象が定型化された部分を多く含む場合は、そのままモデルに組込めばよく、設計支援能力は高まる。しかしながら、土木構造物の場合、固有の設計条件のもとで設計が行われることが多いため、定型化された部分の占める割合は小さく、ＣＡＤシステムの利点が十分生かされないことになる。これを改善するためのひとつの方法として、既存の設計図面をデジタル化してデータベース化しておき、修正して用いることが考えられるが、このためには設計図面をデジタル化する作業の自動化、高速化が必要とされる。

また、最近のグラフィック関係のハードウェアの進歩は目覚しく、コストの低下と機能の向上が著しい。これに対し、アプリケーション・プログラムの開発費用が年々増大しているという問題がある。グラフィックス・アプリケーションが従来、特定のハードウェアを想定して作成されてきたことがその背景にあり、異なる機器で作成したアプリケーションプログラムを他の機器で用いることができないという問題をかかえている。これは、通信網を使って、設計データの通信を行う際にも支障となる。このような現状に対してグラフィック・プログラムの標準化といったことが必要とされる。

4－2－4　エキスパートシステムの開発の現況

(1)　エキスパートシステムの概要

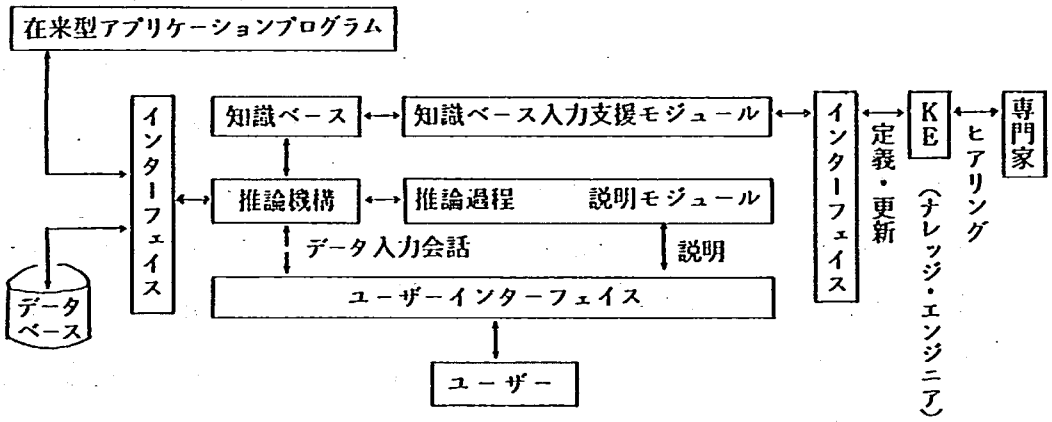
(a)　エキスパートシステムの定義

エキスパートシステムは人工知能の応用の一分野であり、「ある限られた領域の専門家の経験・ノウハウ・勘を収集整理して知識の形で格納（知識ベース）し、これを利用して、コンピュータに推論させる（推論機構）ことにより、専門家の助手として問題解決を支援するシステム」と定義することができる。

(b)　エキスパートシステムの基本的な構造と情報の流れ

エキスパートシステムは、知識ベースと推論機構を中心に構成され、システムの構造と専門家やユーザーの関係は、図４－２－１５のように表わすことができる。

専門家の持っている知識は、知識ベース作成支援モジュールを経て知識ベースに格納される。この知識ベースに推論機能を介在させることにより、ユーザーから入力された問題を解決することができる。



（出典：森清・土方智「コンピュータＡＩ世紀」朝日新聞社）

図４－２－１５　エキスパートシステム構造

エキスパートシステムの作成は、従来のプログラム技法を用いても十分可能であるが、最近、エキスパートシステムが次々と実用化されるようになった背景には、ＡＩ技術を用いたプログラミング言語（たとえば知識処理専用の言語PROLOGなど）が開発され、推論のためのプログラミングが容易になったことがある。ＡＩ技術を用いないと構築が不可能なエキスパートシステムはない。ただし、ＡＩ技術を利用した新しいプログラミング言語を用いることにより、システム開発に必要な労力、システムが稼動するまでの開発期間、メン

テナンスの容易さ等に対して大きな改善が図られる。すなわち、新しいプログラミング言語により、エキスパートシステムの開発が簡単になったのである。

(c) エキスパートシステムの機能と適用領域

昭和６０年末の時点で、開発・公表されていたエキスパートシステムは、主要なものでせいぜい１００件程度であったが、その数は急速に増加し、建設を含む多くの分野で実用化がはかられている。現存のシステムについて機能を検討すると、解釈・診断・助言・予測・計画・設計・制御・監視・教育といった区分を行うことができる。表４－２－８にこれらの区分ごとの適用領域を示した。

これまでに実用化されている事例の中では、機能別には診断、助言、制御といったものが多く、分野別には機械プラント、コンピュータ、医療関連が目立っている。

表４－２－８　エキスパートシステムの機能と適用領域

機　能	適　用　領　域
解　釈	信号解析、化学構造解明、音声理解、画像理解など
診　断	医療診断、電子回路故障診断、機械故障診断、プラント診断、財務診断、プログラム診断など（措置、修理法の指示を含む）
助　言	事故対策の指示、問題解決、数式処理、微積分治療投薬と量のアドバイス、個人指導インストラクション、精神カウンセラー
予　測	穀物収穫予測、株価・為替予測、天気予報、軍事などのモデル予測など（シミュレーション技法を含む）
計　画	実験計画、旅行計画、スケジュール調整、プロジェクト計画、生産計画など
設　計	VLSI回路設計、建築設計、材料設計、機械設計、プログラム設計、予算案作成など
制　御	プラント運用・制御、加熱炉燃焼制御、ファジイ・プロセス・コントローラ、自動列車運転コントローラ
監　視	プラント運転、病状監視、プロジェクト管理、財務管理など
教　育	知的ＣＡＩ、能力診断と方向指導

(2) エキスパートシステムの建設分野での開発現況

(a) 開発現況

建設分野におけるエキスパートシステムの開発は、昭和６０年代に入り急速に力が注がれることとなったが、現時点（昭和６３年）では、研究から実用化へ向けて、エキスパートシステムの有効性と限界を具体的に見極める段階に入ってきたと評価される。

表4－2－9には、大手建設会社のエキスパートシステムの主要な開発課題および支援ツ

ールを示した。各社とも当初、開発課題の抽出の段階では数十～百件の課題が取上げられたが、エキスパートシステムそのものの研究を目的とした課題もあり、現在では開発課題はかなり絞り込まれてきている。

現在の開発課題は、分野別には施工計画の段階で用いるものが多く開発されようとしており、自社に蓄積された各種ノウハウをエキスパートシステムに組込むことに重点が置かれている。したがって、その用途は社内での利用に限定されている場合が多い。

(b) 開発の目的

民間各社においては、現在、エキスパートシステム開発の主要な目的は、社内業務の高度化、効率化に置かれている。具体的には以下のような位置づけがなされている。

① 業務の高度化、効率化に応用

エキスパートシステムを専門家の代役を果すシステムとして位置づけ、煩雑な作業を定型的に処理するための手法として用いる。

② 若年層への教育ツールとして利用

エキスパートシステムを専門家の知識を伝承するシステムとして位置づけ、若年層の教育に用いる。

③ ノウハウの蓄積

社内のノウハウを蓄積するためのひとつの手法として用いる。

④ 既存のシステムの高度利用

既存のシステム（ＣＡＤ等）とエキスパートシステムを結合することにより、既存システムの利用を高度化する。

また、開発されたシステムを商品（建造物）に適用することにより、商品の付加価値を高めるといった応用も考えられており、具体的には、知的ビル管理、工場、倉庫の自動化、建造物の保全サービス（建物診断、補修計画の提示）といった適用分野があげられている。

(3) 問題点

これまでの経験の中から建設分野のエキスパートシステムの主な問題点として、次のようなことが指摘されている。

(a) 知識のプログラミングが必ずしも容易ではない。

エキスパートシステムを構築するためには、当該分野の専門家の有する知識を推論のルールとして再構成した上で、知識ベースに蓄える必要がある。しかしながら、現状ではかなり高度のコンピュータ、ＡＩ技術の知識を必要とするため、専門家が単独で知識ベース

を作成することが容易ではない。

(b) 知識のルール化が困難な分野が多い。

エキスパートシステムの開発のためには、専門知識をルール化することが前提となる。しかしながら、実用上興味ある多くの分野では、専門的経験や知識が必ずしも推論ルールを用いて表現し易いように整理されているわけではなく、またマニュアルにもなっていないケースが多い。

したがって、より多くの形態の経験や知識を表現しうるような新しい知識表現手法を開発する一方で、従来からの経験や知識を知識ベース化し易い形（マニュアル化など）に再構成する努力が重要である。

(c) 実用性の検証の問題[12]

ある計算モデルやシステムを作成した場合、機能の検証を行うのは当然のことである。しかしながら、エキスパートシステムは、ある問題の解法を完全に筋道立てて解析的に行うというより、むしろ経験的なルールの積重ねに委ねるという側面が強い。このため、検証にあたっても、数値的な感度分析だけではシステムの特性を把握しきれないことになる。したがって、エキスパートシステムの検証は、多くの事例を用いるより実証的な方法をとらざるをえず、機能の評価には困難が伴うものとなる。

また、検証を行うためには、詳細な事例データが多数必要となる。しかし、現状ではシステムの評価ができるほど詳細な事例データは蓄積されていない。

表４－２－９　建設分野におけるエキスパートシステム開発状況

区分 建設プロセス	分野・名称	システムの目的・機能	情報項目		特徴	開発時期	
			入力情報	出力情報		着手時期	完了時期
企画調査	建築法規コンサルテーションシステム	規定される建築物の条件に対して、課せられる法規側の内容を提示し、その対応策を知らせる	・敷地条件 ・建築物概要 ・建物用途	・該当する条文	豊富なコンサルテーション機能。	S. 60. 5	S. 62. 3
	地盤液状化判定コンサルティングシステム	構造物の計画地盤調査データをもとに、条件の判定基準と照合しながら、総合的な液状化の可能性についてコンサルティングする。	・地盤ボーリング調査データ　等	・判定結果	調査データベース並びに文書作成ソフトと連動。	S. 60. 12	S. 62. 12
	立地評価システム	立地条件に適した建造物の用途を提示する。	・敷地特性 ・アプローチ特性 ・地区、地域	・建造物の用途（180位から選択） （プロポーザル資料としてそのまま提出できるように編集）	専用のＥＳシエルは使用していないが、fuzzy関数により、あいまいな条件を考慮しつつ、錯綜する条件を総合的に評価し、意思決定のための判断資料を提供する。	S. 61. 4	S. 62. 3
	敷地有効利用コンサルタント	土地をとりまく環境より、条件にあった建物用途を提示する。	・土地条件 ・交通条件 ・地域情報	・適当な建物用途、種類	Ｐ／Ｃ上で利用。	S. 62. 4	S. 62. 11
	耐震設計基準コンサルティングシステム	構造物の計画条件から、行政指導上の基準にもとづいて、耐震設計のモデル作りや諸元についてコンサルティングする。	・構造物種類 ・地盤条件　等	・該当基準 ・設計震度　等	総合的な利用が可能。	S. 60. 12	プロトタイピングにて成長中
設計	トンネル設計エキスパートシステム	トンネル設計を効率的に行う。	・必要情報	・トンネルの設計	事前調査結果を入力し、トンネルの一貫設計を行う。解析は、理論解析およびＦＥＭによる数値解析が選択出来る。トンネル設計に熟知していない人も使用すればエキスパートと同じ結論を得ることが出来る。	S. 61.	未定
	斜面崩壊予測システム	斜面崩壊の事前予知を計測データ及び多種解析データから行う。	・地質情報 ・誘発情報 ・計測情報 ・解析情報	・斜面崩壊予測時間 ・斜面安定性の信頼度	パソコン等の安価な解析機材を用いた斜面崩壊予測のエキスパートシステム。	S. 61.	S. 62.
	ビル風診断システム	ビル建設の企画において建築後の周辺の環境（風）の変化を予測する。	・必要情報	・風速および風の向き等	建物周辺の風の変化を予測する事が出来る。	S. 61.	S. 62.

（つづき）

区分 建設プロセス	分野・名称	システムの目的・機能	情報項目		特徴	開発時期	
			入力情報	出力情報		着手時期	完了時期
施工	杭工法選定システム	杭打ち工法の大まかな選択	・地盤条件 ・施工条件 ・地下水条件 ・コスト　等	・最適な杭工法と選定の根拠	メインフレームをホストにして、パソコン端末上で稼動。	S. 60. 9	S. 61. 3
	基礎工法選定システム	地盤状況、荷重状態、周辺環境などから適切な基礎工を提示する。	・地盤条件 ・荷重条件 ・周辺条件	・可能な基礎形式および補助工	既存システムとのリンク。	S. 61. 11	S. 62. 9
	山留工法選定システム	建築工事における山留工法選択のための前段階としての土圧計算支援	・地盤条件（柱状図情報）	・土圧値及びそのグラフィック表示	単なる一過性の推論ではなく繰り返し部分を含んだ処理方式	S. 61. 9	未定
	土留壁形式選定システム	地盤状況、周辺環境などから、適切な土留壁形式を提示する。	・土質条件 ・地下水状態 ・周辺環境	・適切な壁形式 ・選定表	既存システムとのリンク （数値計算、全画面制御等に FORTRANを使用 パソコンとのリンク（日本文書の出力）。	S. 61. 7	S. 62. 3
	斜面安定工法選定	土木工事での斜面安定工法を選定する	・斜面情報	・選定された工法及びその工法についての解説		S. 61. 10	S. 63. 中
	屋根防水工法システム	屋根防水工法の大まかな選択	・環境条件 ・利用条件 ・下地種類　等	・最適な防水工法と選定の根拠	メインフレームをホストにして、パソコン端末上で稼動。プロトタイプ（290ルール）に順次ルールを追加し実用化。	S. 60. 9	S. 61. 3
	トンネル切羽評価	トンネルの切羽の状況を評価する。	・切羽情報	・評価された状況		S. 61.	未定
	地盤解析支援システム	設計における地盤解析の支援 1. 精度の向上 2. 施工時の予測評価 3. 対策工の選定	・地盤調査資料 ・観測データ	・解析用データ ・解析結果 ・対策工	大型機で使用 専用Shellを開発	S. 62. 10	S. 64. 12
	建築設備工事官公庁届出書類作成支援システム	建造物の工事進捗状況を考慮しながら、諸官公庁に届出が義務付けられている書類を作成し、届出先、時期等を指示し、現場事務業務を支援する。	・建造物用途・規模 ・建設地 ・工期等	・届出書類の作成 ・届出先、届出時期 ・必要資格	エキスパート・システムの助言機能と、提出書類作成というOA機能がリンクしており、事務業務の効率化、高度化に役立っている。	S. 61. 9	S. 62. 6

（つづき）

区分 施設 プロセス	分野・名称	システムの目的・機能	情報項目		特徴	開発時期	
			入力情報	出力情報		着手時期	完了時期
運用	温熱環境異常診断システム	設備の運転データから自動的に異常の原因を推論し、改善措置を助言する。	・ユーザからのクレーム ・運転データ、など	・適切な改善措置	パソコンで稼動。	S. 61. 6	S. 62. 4
	共益費分析支援システム	ビル制御コンピュータから得られるデータから共益費の適正な配分を算出する。	・エネルギー消費量 ・テナントの入居状況 ・各機器の運転状況 など	・共有部分の電気、ガス、水道の使用料などの適正な配分	パソコンで稼動。	S. 61. 9	S. 62. 4
維持管理	BECSS（ビル環境制御システム） 故障診断システム	故障箇所の発見および特定化。 発見および特定化のための効果的なテスト方法の提示。 発見された故障箇所の修復方法の提示。	・システムが提示する質問に順次回答する	・異状箇所の特定化	社内のメインフレール端末で開発したシステムをデリバリ用にパソコンへ移植。 診断とグラフィック機能が充実、50システム近い導入実績。	S. 61. 4	S. 61. 9
	コンクリートひび割れ診断システム	コンクリート構造物のひび割れ発生原因を推定する。	・ひび割れパターン ・ひび割れ発生時期 ・供用環境 ・ひび割れ幅	・ひび割れ原因 ・補修要否 ・補修方法	ひび割れ推定に関する独自のノウハウが組込まれている。 ひび割れパターンをイメージデータとしてホストコンピュータに保存している。	S. 61. 4	S. 61. 9
全般	庶務業務コンサルテーション	庶務業務の一部をDo it yourselfで可能なようにするシステム	・必要情報	・処理すべき作業のガイド	パソコン、使い易いツールというフットワークの良い環境を活用する。	S. 61.	未定

4－3　メカトロ技術の建設事業での利用の現状と問題点

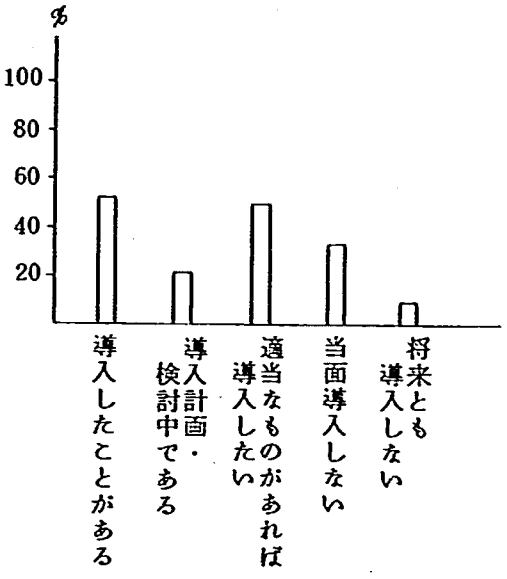
4－3－1　建設分野におけるメカトロ技術の現状

わが国の産業界が、エレクトロニクス関連技術の積極的導入により、品質の向上や生産性の向上をはかり、国際的な競争力を有するようになった事実からも、建設分野へのエレクトロニクス関連技術の導入は非常に大きな意味を持っている。

図4－3－1は、建設分野におけるエレクトロニクス技術導入の現状を把握するために行ったアンケート調査結果（文献１）である。これを見ると、全体の約７割が既に導入しているか、あるいは導入の意志があるなど、すでに建設分野全般にわたりエレクトロニクス化が進行中であることが理解される。

一般の産業界におけるエレクトロニクス化の進展は、昭和４０年代に始まる生産機械へのシーケンス制御導入により、繰り返し作業の自動化の面から急速に進行していき、昭和５０年代の産業用ロボット導入によって、溶接・組立・塗装などの全面的自動化により完成の域に達した。

これに対し建設分野では、昭和４０年頃からアスファルトプラント、コンクリートプラントなどの集中制御や、アスファルトフィニッシャーの仕上げ精度向上を目的とした自動スクリードコントロールなどにメカトロ関連技術が導入されたのが始まりとされている。



約７割が、既に導入しているか、あるいは導入意志があり、約３割は当面あるいは将来とも導入しない意向である。導入しない理由は採算性を挙げたところが多かった。

図4－3－1　自動化機械を導入した実績・導入希望（出典文献１）

その後、高度成長期の旺勢な建設需要への対応と、熟練労働者不足、施工速度の向上などへの要請を受けて、各所で建設機械の自動化研究が進められた。当時はまだ、電子機器のコストは高く、種類も少なかった。また、対環境特性の面で問題も多く存在していたが、モーターグレーダーの自動ブレードコントロールやブルドーザー、パワーショベルの無線操作などの開発が進められていた。

その後、産業界におけるメカトロ化の進展や電子部品の進歩を背景に、昭和５０年代の後半からは、建設分野全般に対しメカトロ化の動きが急速に進んだ。本来、建設分野では大型施工機械を代表として、機械力の利用は広い分野での蓄積があったため、多くの建設機械にも、大なり小なりメカトロ技術の導入がなされていったという特色がある。しかしながら、自動化、知能化のレベルを見ると、他産業界に比較して低いレベルにあり、建設分野にあっては、ようやくメカトロ化の端緒についたばかりであるといえる。

表４－３－１　メカトロニクス技術の段階

分野 / 技術の段階	計測	作業・制御
人力	簡単な器具による計測	簡単な道具による作業
単独の機械化	（センサによる計測） オフライン処理	オペレータによる機械運転
	センサにより得られたデータの自動解析処理	機械のイージーオペレーション
計測と作業の連携と自動化 （単一機械）	オンライン計測と計測結果に基づく自動制御	自動化機械
（複数機械）	上記に加えて、機械間、機械とオペレータ間の通信	機械群による連けい作業

表４－３－１に示すように、建設技術のメカトロ化の進展は、人力、単独の機械化および計測と作業の連携・自動化の３段階に分けられる。各段階における技術の程度及び内容は次のようにまとめられる。

①　人力の段階

まず、人力の段階では、簡単な計測器具を用いて各種データを入力により計測し、計測データの解析や設計・施工への情報の伝達も、オフライン作業で行なわれるものである。

また、作業・制御分野でも、簡単な道具を用いて人力作業を行う段階である。

②　単独の機械化の段階

単独の機械化の段階では、オフラインセンサを用いてデータ計測を自動化する段階から、さらに簡単なデータ処理の自動化まで行う計測システムの段階がある。作業・制御分野に関して見ると、機械力の導入がはかられているものの、その運転についてはオペレータに全面的に依存する段階と、さらに操作のうちのいくつかが機械化・自動化されることにより、操作の簡易化（イージーオペレーション化）がはかられる段階がある。

③　計測と作業の連携と自動化の段階

より高度な自動化段階として、計測と作業・制御の結びつきが自動化される段階がある。計測分野について見れば、まず、計測のオンライン化と計測結果に基づいて機械が自動制御される段階である。また、この延長上に機械間及び機械とオペレータ間の通信の自動化が位置付けられる。作業・制御分野からこの段階の特徴を見ると、自動化機械単独の適用から、

さらに機械群による連携作業の自動化の段階が考えられる。

現在の我国の建設分野におけるメカトロ化の状況を、先の各段階に応じて見ると、単独の機械化の段階にある技術が多い。例えば、計測分野では、土質・地質関連センサや水位計・ひずみ計などでは、計測を自動的に行っているが、データ処理はオフラインとなっている。また、センサデータの自動解析処理までシステム化が進んだ例として、情報化施工が代表としてあげられる。

作業・制御の分野では、非常に多種類の建設機械がこの段階に位置付けられる。油圧式パワーショベルなどでは、バケットの位置制御（平面仕上げ）、油圧配分の合理化、エンジンの負荷制御などにメカトロ技術が導入され、操作の簡易化がはかられている。他の例として、ドリルジャンボでは、これまで1本のドリルに1人の作業者が必要であったが、自動化によりワンマンコントロールが可能になっている。計測と作業の連携自動化の段階は、単独機械のレベルでは急速に進歩しつつある。これを計測分野について見ると、ＮＡＴＭ施工では、予め計測システムが施工システムの中に明確に位置付けられ、ひずみセンサ、水位センサ、位置ぎめセンサなどのセンサ群からの情報の収集・解析の自動化と、施工への体系的フィードバックがなされている。同様な技術段階としては、シールドの掘削機の位置制御などがあげられる。

一方、作業・制御の分野では全自動コンクリートプラント、無人ケーソン掘削・排土装置などが実用化されている。

4－3－2　メカトロ技術適用上の問題点

先のアンケート結果（文献１）にも示されているように、調査対象の建設業者の７割が、メカトロ関連技術を用いた建設機械の導入実績や導入計画を有している。

このことは、今後、適切な導入環境の整備や必要とされる新しい技術開発が進歩することにより、建設分野においてもメカトロ化の進展が大いに進むことを予想させるものである。

しかしながら、メカトロ技術の導入にあたっては、以下に示すように種々の解決しなければならない問題点も多く存在しており、技術開発課題の解決のために組織的、計画的な努力が強く要請されている。

(1)　技術上の問題点

表４－３－２は、建設用ロボットと産業用ロボットに要求される特性をとりまとめたものである。同じロボットという範疇に含まれていても、建設用ロボットには産業用ロボットに比べて、技術的に解決すべき問題が非常に多く存在し、今後の開発に待たれている部分が多いことがわかる。

表4－3－2　建設用ロボット・産業用ロボットの比較

種別 / 特性	建設用ロボット	産業用ロボット
・作業対象物	・工事現場内資材 ・単一対象物生産 ・不確実要素が多い	・工場内製品・資材 ・多品種大量生産 ・定性・定量的情報があらかじめ与えられている。
・使用環境	・屋外主体 ・ロボットの移動大（不整地） ・振動・騒音大 ・衝撃大 ・塵挨大	・屋内主体 ・位置固定あるいは固定ルート上の移動 ・振動・塵挨小 ・騒音小
・動作特性	・cm単位の精度 ・ton,kg荷重への対応（ハンドリングあるいは反力） ・自然条件下での動作保障 ・制御機器と本体の一体化	・μ単位の精度 ・mmg荷重のハンドリング ・工場スペース内での動作保障 ・制御機器の分離可
・導入の目的	・安全性、作業環境の改善、 ・操作性の向上	・省力化 ・品質の向上

例えば、作業の対象物についてみると、建設用ロボットでは、工事現場内にある土、岩石、資材等が作業の主な対象となる。しかしながら、工場内にある産業用ロボットの場合とは違って、これら対象物に関する形状、重量、物性等の情報があらかじめ与えられていない場合や、あるいは与えられていても産業用ロボットの場合に比較して、はるかに不十分な（不確定要素を含んだ）情報である場合がほとんどである。また、同時に、産業用ロボットが多品種の製品を大量に生産することを目的とするのに対し、建設用ロボットは単一あるいは少品種の製品を生産対象とすることも、自動化を経済的に成立させる上で大きな問題となっている。対象物の移動という点から見ると、建設用ロボットの対象物は、大地に代表されるように一定の空間を占有し、動作主体であるロボット側は、一連の動作終了後、別の位置にある次の対象物を認識し、移動しなければならないという問題をかかえている。

使用環境の面では、先に述べたように建設用ロボットにおいては作業場所は屋外が主となり、不整地の移動に加え、振動・騒音・衝撃・塵挨などの面でいずれも過酷な条件下における作業が強いられることとなる。例えば、室内における対象（物体）認識のためのセンサ技術は、現在

でも工場内の定常にコントロールされた条件（照明・背景物の色など）下では実用化されつつある。しかしながら、屋外では機械にとってコントロールできない非常に変化に富んだ環境条件を考慮に入れて自動化を進めなくてはならないことから、技術的にもさらに高度なものが要求されている。

また、動作の特性を見ると、産業ロボットは主としてミクロン単位の加工精度やmmg単位の微小物のハンドリングなどの面での技術開発が進展している。しかし、建設現場の場合は構造物の性格にもよるが、一般にcmオーダの加工精度が求められている一方で、kg、tomオーダーのハンドリングや施工反力を必要とする場合が少なくない。動作の範囲も、工場内の予め計画されたスペース内での動作が可能であれば機能を発揮できる産業ロボットに対し、建設現場内の自然条件下では種々の不確定要因が存在することとなる。

このように、建設用ロボットの実現にあたっては、これまでの産業用ロボット対応技術を大きく越えたより高度な技術が求められている。

(2) 経済上の問題点

特に経済上の問題点としては、使用条件がまちまちで汎用性が少ないこと、環境条件が劣悪でコスト高となることなどの理由から、開発費用の回収が困難となりがちである点があげられる。

したがって、当面エレクトロニクス導入の対象となるのは、需要が多く開発便益が大きい分野及び開発便益は度外視してもエレクトロニクス導入を図る必要のある分野、たとえば、安全性の向上、物理的に不可能だった作業を可能にする必要がある分野などが中心となるものと考えられる。

(3) 制度・体制上の問題点

制度・体制上の問題点としては、建設業では経営基盤の弱い中・小企業がきわめて多いため、技術開発あるいは技術導入に対して体制面及び資金面が大きな支障となることが挙げられる。特に、体制面では、エレクトロニクスを導入していく上で必要となる他分野の技術集団との協力体制に実績が少ないこと、開発に携わる技術者及び開発されたシステムの保守点検要員等を育成する体制が十分に整備されていないことなどがあげられる。また、法制面については、現行の道路運送車両法や労働安全衛生規則等が施工現場の無人化や施工機械の自動運転等と合致しないケースも予想され、関連法規の改正等が必要となることも考えられる。

4－4 エレクトロニクスを用いた技術開発ニーズ[1]

エレクトロニクスを用いた建設技術の高度化をより効率的に達成するためには、現況でのエレ

クトロニクス利用上の問題点を整理するのと同時に、建設事業全体についてマクロレベル、ミクロレベルの分析を加え、技術開発ニーズを把握する必要がある。

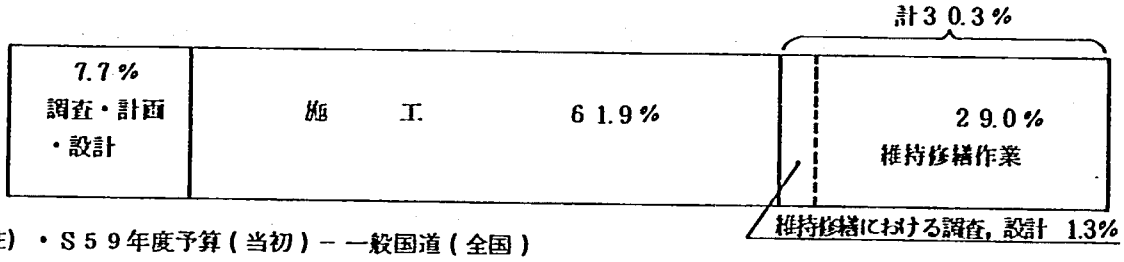
4－4－1　建設事業のマクロ分析による潜在的な技術開発のニーズの分析

建設技術の高度化の方向については、第3章5節で述べたように、建設事業が現在かかえている問題点の解決につながるものであることがまず重要である。

本プロジェクトの昭和59年度調査において、技術開発ニーズの所在をできるだけ客観的に評価するために、調査、計画、設計、施工および維持管理といった建設工程別、および土工、土留工、基礎工といった工種別に、費用構成、技能工投入量、労災件数、エネルギー使用量の推計を行い、さらに、調査～計画～設計～施工～維持管理の一連の流れの中での情報の流動状況を把握した。

(1)　費用構成に着目した分析

道路事業を例にして、その調査、計画、設計、施工、維持修繕の費用構成を示すと図4－4－1のとおである。これによると、施工が約6割、維持修繕が3割、調査・計画・設計が1割弱となっていることがわかる。このように、今後は維持修繕費および施工に含まれる更新のための投資の割合が増加すると予想される。これらのことは、前記図3－3－1の参考の項に示す図参－1からも読みとれる。



注）・S59年度予算（当初）－一般国道（全国）
・用地費、諸費（人件費等）は除く
・直轄国道のものであるため、維持修繕の比率はやや高いと考えられる。

図4－4－1　道路事業における費用構成

次に、施工（土木作業）及び維持修繕工事について、工種別に投入費用構成の推計結果を示す。

推計は、昭和58年度公共工事着工総工事費調査によった。したがって、ここでいう費用とは必ずしも現場等で実際に投入された額ではなく、建設省で工事の発注にあたって作成した見積り額であることに注意する必要がある。また、推計の範囲は建設省の直轄事業に限られており、しかもダム事業は含まれていない。

工種別工事費用（建設資材投入量＋建設機械投入量＋建設労働投入量）は図4－4－2に、工種別の材、機・労構成比（建設資材投入量、建設機械投入量、建設労働投入量の構成比）は図4－4－3に示されている。なお、工種分類の定義は表4－4－1によっている。

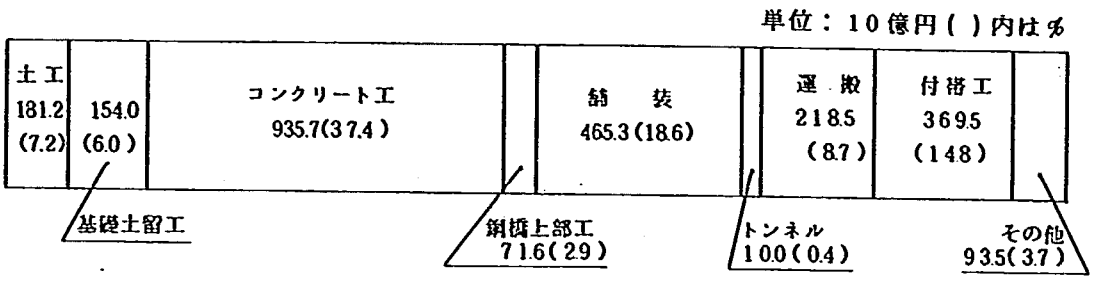


図4－4－2　工種別工事費用

表4－4－1　工種ごとの作業内容

工種	作業内容
土工	掘削、運搬、敷均し、締固め等
基礎・土留工	矢板、杭の打込み等（但し、基礎部の掘削は土工に、また基礎部のコンクリート打設はコンクリート工に含まれる）
コンクリート工	コンクリート打設、型枠工、鉄筋加工、組立等
鋼橋上部工	工場製作、架設、塗装等
鋪装	敷均し、締固め等
トンネル	トンネル掘削、コンクリート打設等
運搬	現場への資機材の搬出入
付帯工	コンクリート二次製品等の据えつけ等
その他	上記以外のもの

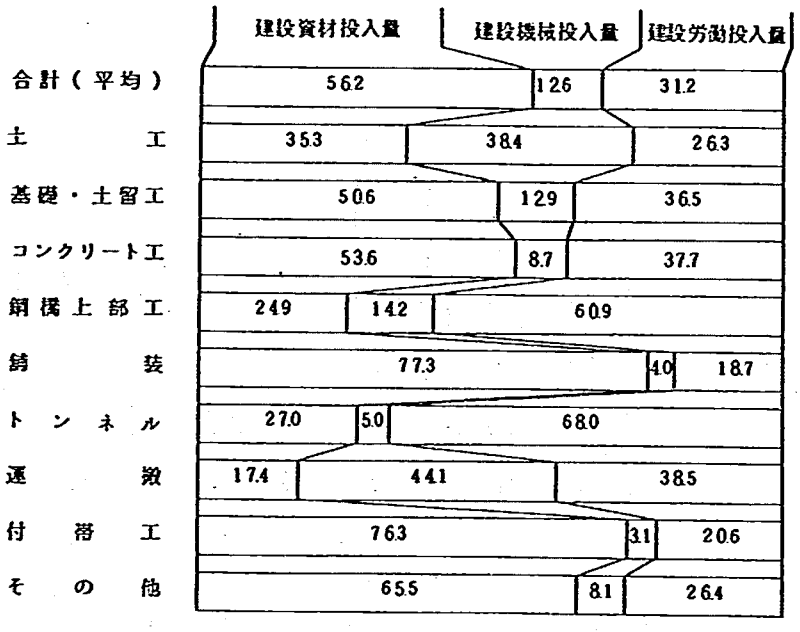


図4－4－3　工種別の資材・機械・労働構成比（単位：金額比）

以上の図表に示すように、工種別の投入費用総計（建設資材、建設機械、建設労働）では、コンクリート工、舗装、付帯工、運搬、土工、基礎・土留工の順に多くなっている。建設機械と建設労働のみの総計でみると、コンクリート工、運搬、土工、舗装、付帯工、基礎・土留工の順となっている。工種別の材料・機械・労働の構成比では、舗装、付帯工における建設資材投入量、土工、運搬における建設機械投入量、鋼橋上部工、トンネルにおける建設労働投入量がそれぞれ多くなっている点が特徴的である。

技術開発によって期待される潜在的な効果は、工事量が多いほど大きいと言える。工事量の多い工種はコンクリート工、運搬、土工、舗装、付帯工、基礎・土留工、鋼橋上部工、トンネルである。また、省力化のニーズは、建設機械投入量及び建設労働投入量の多い工種で大きいと思われる。建設機械投入量の多い工種は土工、運搬等であり、建設労働投入量の多い工種は鋼橋上部工、トンネル等である。

(2) 技能工投入量に着目した分析

建設労働をその特性によって、次のとおり技能工と一般工とに区分した。

技能工 ― 特殊作業員、特殊運転手、型枠工、鉄筋工、橋梁塗装工、とび工、橋梁特殊工、ブロック工、石工、さく岩工、トンネル特殊工、高級船員、潜水夫、潜水送気員、潜水連絡員、整備工、法面工、溶接工、造園工、軌道工、トンネル作業員、電工

一般工 ― 普通作業員、一般運転手、世話役、助手、普通船員、軽作業員

工事量に対する技能工、一般工の投入費用比率を図４－４－４に示す。

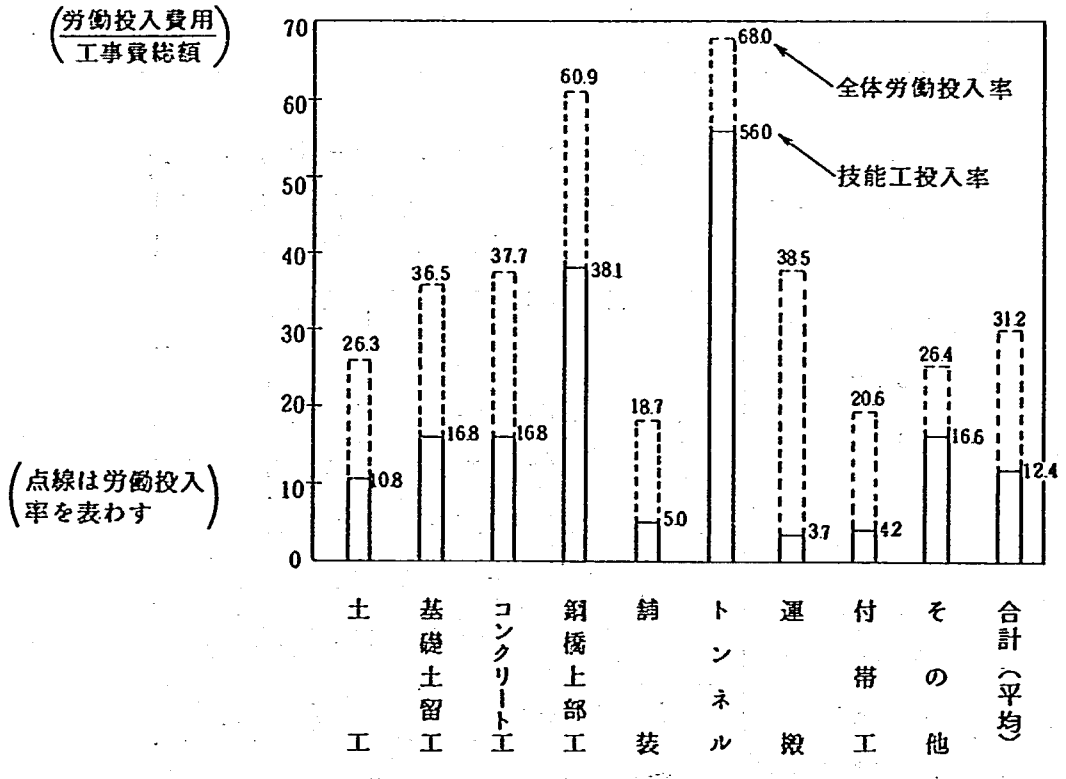


図４－４－４　工事費総額に対する技能工投入費用の比率

技能工投入率は、鋼橋上部工、トンネルが特に高く、一般工投入率では運搬が特に高い。また、土工、舗装、付帯工では、技能工、一般工とも投入率が低い。したがって、技能工不足への対応のニーズは、鋼橋上部工、トンネル等で特に高いといえる。

(3) エネルギー使用量に着目した分析

単位工事量当りのエネルギー使用量を、機械使用に伴うものと資材製造に伴うものに分けると、図4－4－5のようになる。

$\left(\frac{\text{エネルギー使用量}}{\text{工事費用}}\right)$ (単位：MCa l／百万円)

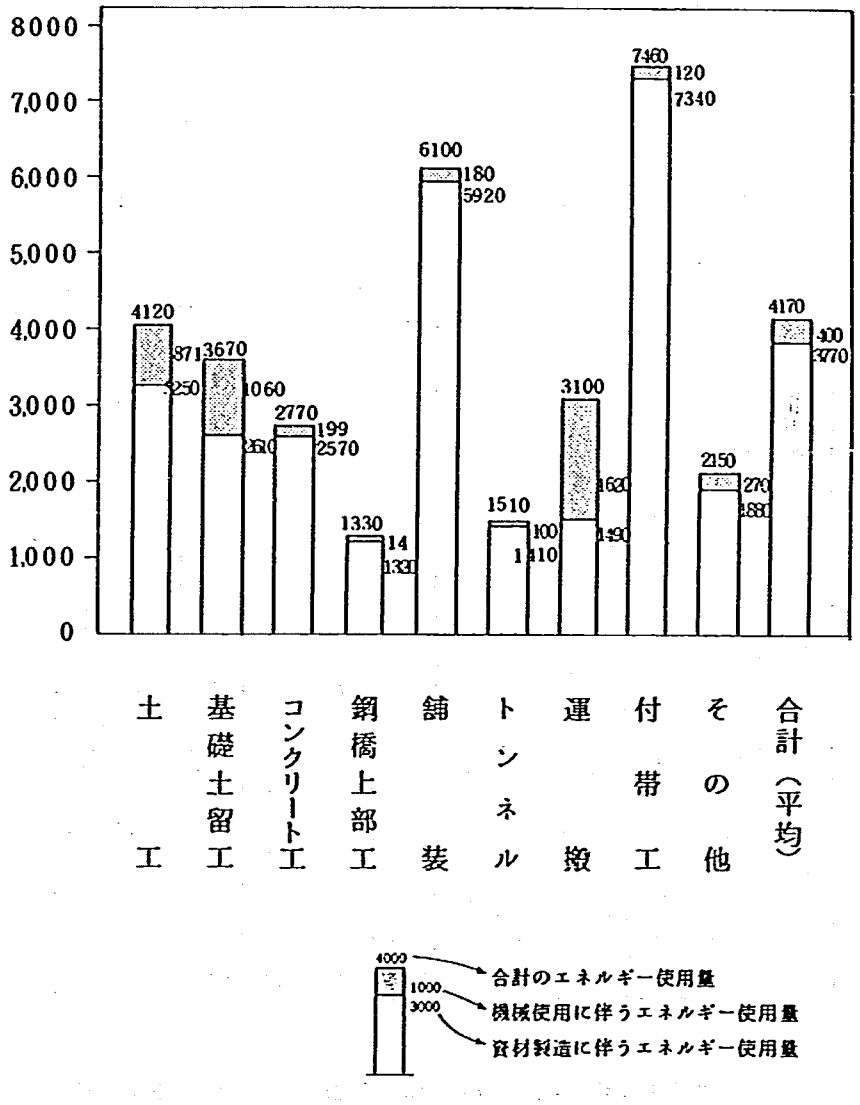


図4－4－5 工費百万円当りのエネルギー使用量

建設機械使用に伴うエネルギー使用量は、運搬、基礎、土留工、土工等で多いが、これらの工種で省エネのニーズが高いといえる。

また、建設資材製作に伴うエネルギー使用量は、付帯工、舗装等で多いが、これらの工種で省資源のニーズが高いといえる。

(4) 労災件数に着目した分析

建設業における死亡災害の種類別、事業別発生状況（昭和５７年）を基に、災害の種類から工種を推定して工種別に按分した結果を表４－４－２に示す。

死亡災害の発生は、事業別には道路（１６０人）、土地整理（７５人）、上下水道(６４人)の順に多く、災害の種類別には建設機械等による災害（１５１人）、自動車等による災害（１０９人)、墜落による災害（８９人）、土砂崩壊による災害（７３人）の順に多い。また、工種別には土工（１７７人）、運搬（１０８人）、トンネル（９１人）の順に多くなっている。さらに、事業と工種とのクロスでは、道路の土工（６２人）及び運搬（５０人）、土地整理の土工（５０人）、上下水道のトンネル（５８人）等が多い。

以上のように、安全性向上のニーズは土工、トンネル、運搬で高いといえる。

表４－４－２　事業別、工種別、死亡災害発生状況（S 57）推計結果

（単位：人）

事業＼工種	1.土工	2.基礎・土留工	3.コンクリート工	4.鋼橋上部工	5.舗装	6.トンネル	7.運搬	8.その他	計
a 水力ダム	3						1	11	15
b トンネル						20	3	2	25
c 地下鉄						4			4
d 鉄道	2			1			10	4	17
e 橋梁	4	10	13	6			3	3	39
f 道路	62	10	10		21		50	7	160
g 河川	21	7	12				5	6	51
h 砂防	12	6	10				3	4	35
i 土地整理	50						19	6	75
j 上下水道						58	1	5	64
k 港湾	6	4	12				2	5	29
l その他	17	4	6	1	2	9	11	3	56
計	177	41	63	8	23	91	108	59	570

・「Ｓ５７年度死亡災害報告（労働省）」の事業別死亡発生件数をもとに、災害の種類から工種を推定して按分した。

・工種を限定できないものは、工事量の比に分配した。

・その他（構造物）の工種別比率は、ａ～ｋの合計の比率を用いた。

また、図4－4－6は単位工事費用当りの死亡災害発生率を、図4－4－7は単位建設労働投入量当りの死亡災害発生率を示す。工事費用又は建設労働投入量に対する死亡災害発生率では、トンネル及び土工での発生率が特に高く、次いで運搬、基礎、土留工の順となっている。

したがって、作業の安全化の観点からの技術開発ニーズは土工やトンネルで高いことがわかる。

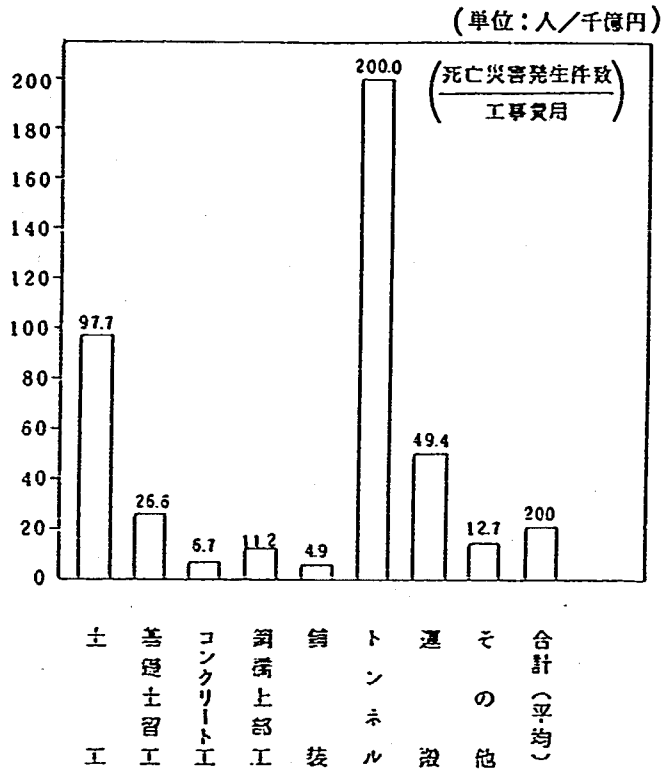


図4－4－6　単位工事費当りの死亡災害発生率

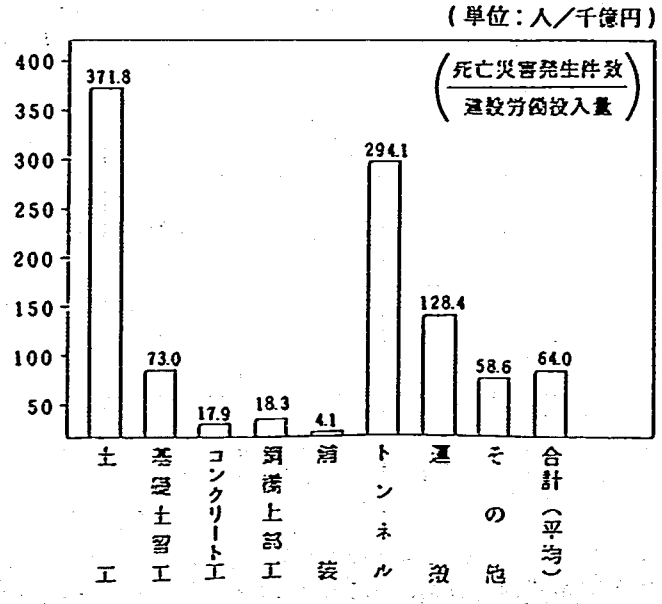


図4－4－7　単位建設労働投入量当りの死亡災害発生率

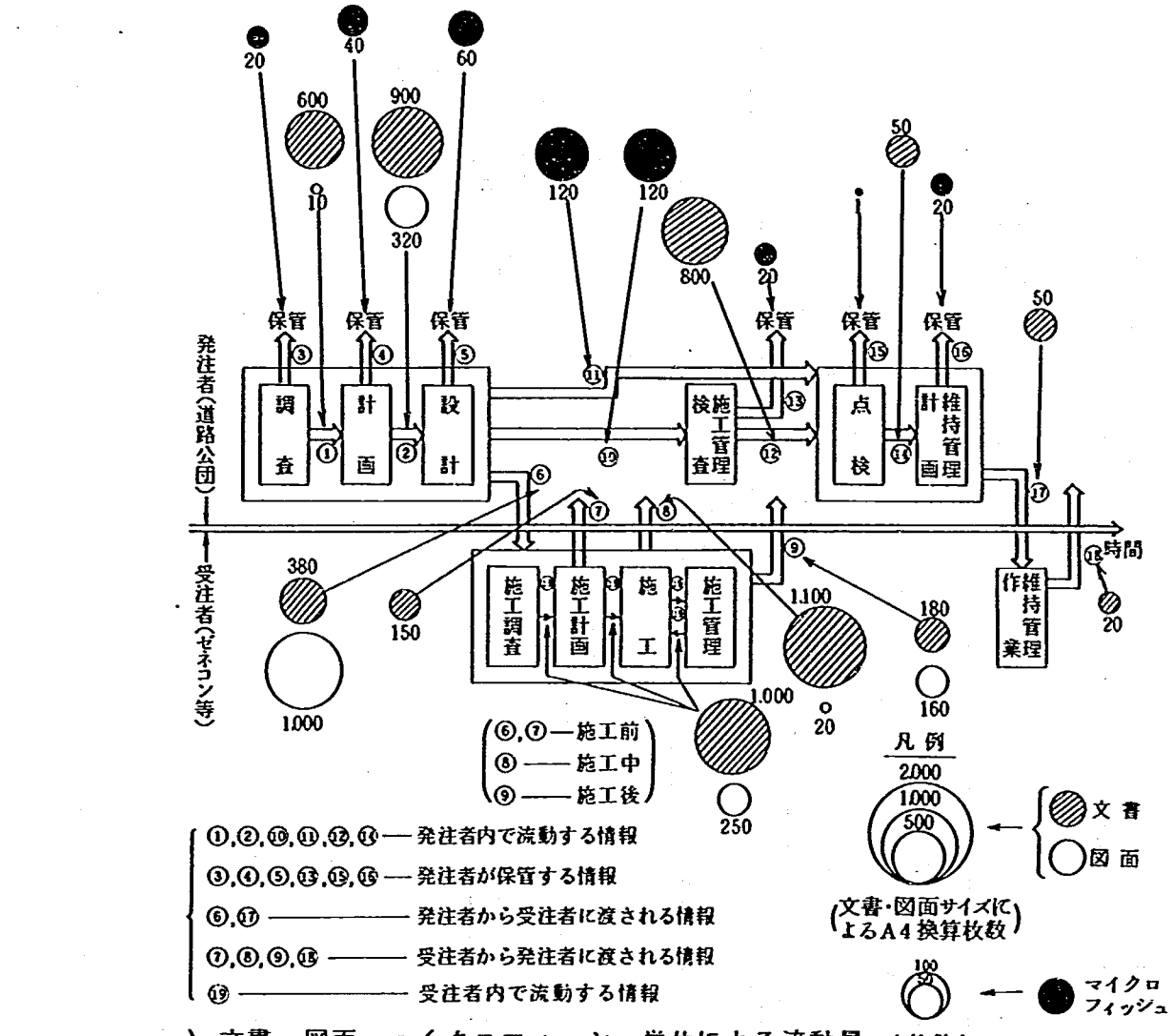
(5) 情報の流動状況に着目した分析

切盛土工を主体とした高速道路3kmの工事を例とした場合の、調査・計画・設計から施工、維持管理に到る工程の中で、流動する情報の流動量、その内容及び保管状況の調査結果を表4－4－3及び図4－4－8～4－4－10に示す。表4－4－3及び図4－4－8は流動量を、図4－4－9は内容を、図4－4－10は保管状況を示している。これらの調査結果は、大手大設会社を対象としたアンケート及びヒヤリングによるものである。

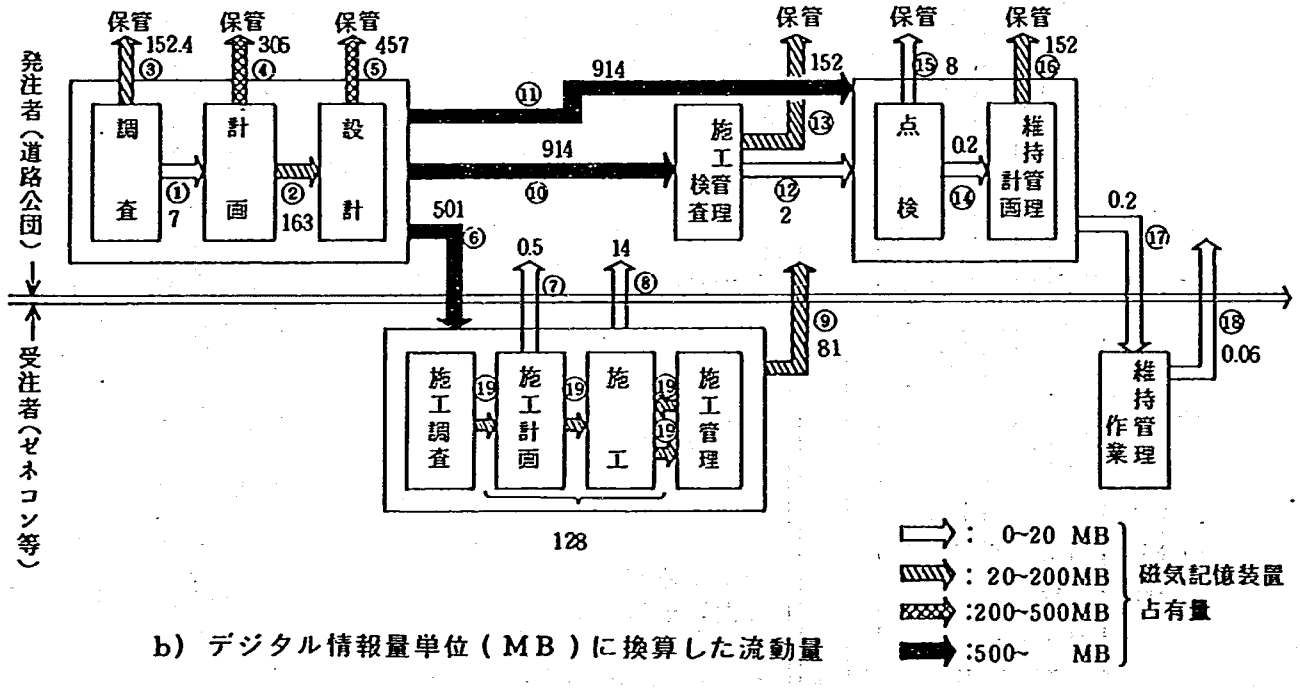
表4－4－3　情報流動量（切盛土工を主体とした高速道路3kmの工事当り）

情報No.	文書		図面		マイクロフィッシュ		合計
	A4換算（枚数）	磁気記憶装置占有量（Mバイト）	A4換算（枚数）	磁気記憶装置占有量（Mバイト）	107mm×15cm（枚数）	磁気記憶装置占有量（Mバイト）	磁気記憶装置占有量（Mバイト）
①	600	1.9	10	5.0			2.4
②	900	2.9	320	160.0			162.9
③					20	152.4	152.4
④					40	304.8	304.8
⑤					60	457.2	457.2
⑥	380	1.2	1,000	500.0			501.2
⑦	150	0.5					0.5
⑧	1,100	3.5	20	10.0			13.5
⑨	180	0.6	160	80.0			80.6
⑩					120	914.4	914.4
⑪					120	914.4	914.4
⑫	800	2.5					2.5
⑬					20	152.4	152.4
⑭	50	0.2					0.2
⑮					1	7.6	7.6
⑯					20	152.4	152.4
⑰	50	0.2					0.2
⑱	20	0.06					0.06
⑲	1,000	3.2	250	125			128.2

注）・マイクロフィッシュ1枚にはA4版の情報が60枚分記録される。
・道路公団の回答を基に、一部(⑲)ゼネコンの回答を補正して求めた。
・情報Noは図4－4－9と対応付けられている。

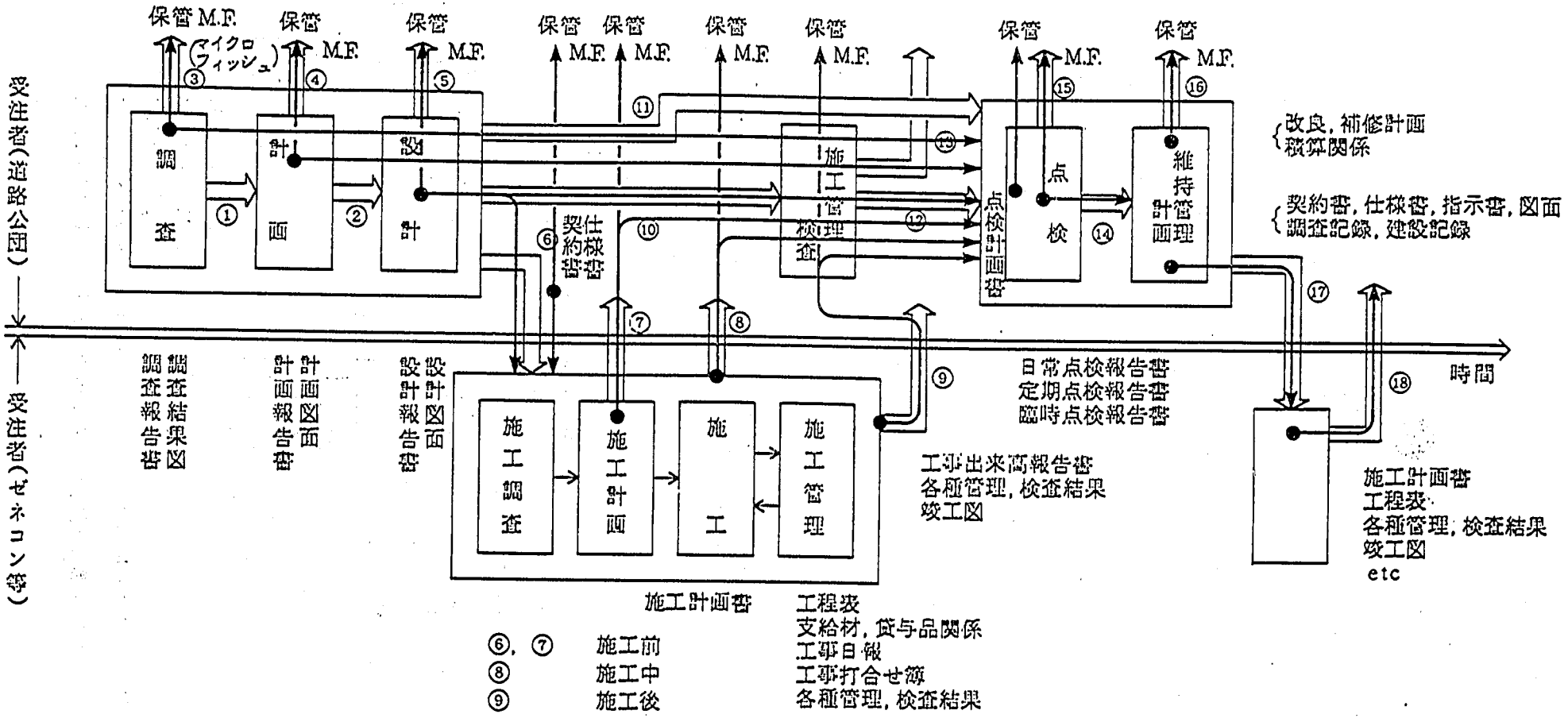


a) 文書、図面、マイクロフィッシュ単位による流動量 (枚数)



b) デジタル情報量単位(MB)に換算した流動量

図4－4－8 情報流動量(切盛土工を主体とした高速道路3kmの工事)



①，②，⑩，⑪，⑫，⑭　　発注者内で流動する情報
③，④，⑤，⑬，⑮，⑯　　発注者が保管する情報
⑥，⑰　　発注者から受注者に渡される情報
⑦，⑧，⑨，⑱　　受注者から発注者に渡される情報

図４－４－９　流動する情報の内容

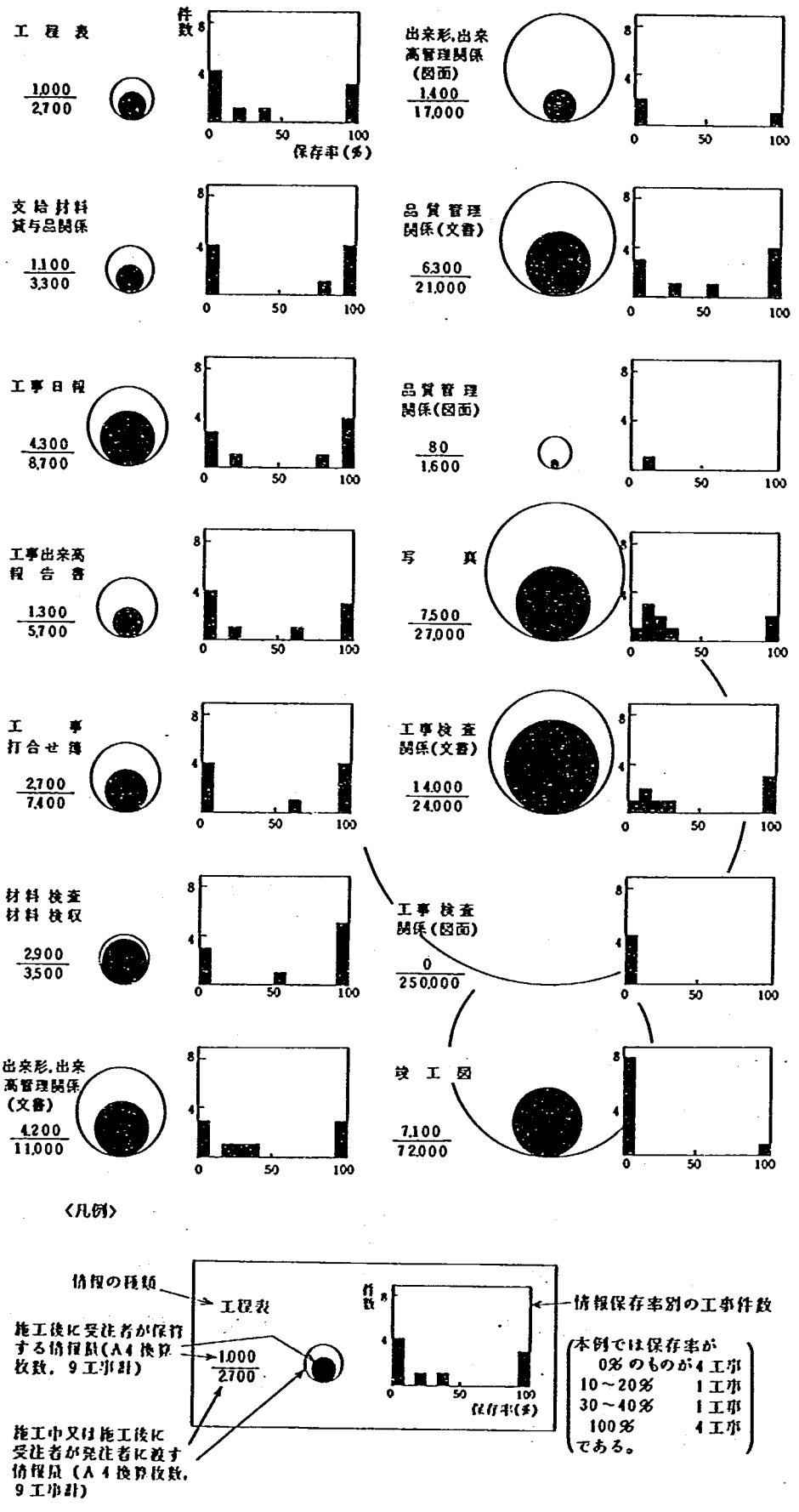


図4－4－10　施工に関連して作成される情報の種類別保管状況
（大手建設会社による9工事分の合計）

図４－４－８によると、媒体別の情報流動量は、文書では施工中に受注者から発注者へ渡される情報と受注者内で流動する情報及び計画から設計への工程で流れる情報が多い。一方、図面では施工前に発注者から受注者へ渡される情報が多く、マイクロフィッシュでは設計から施工管理及び設計から点検（維持管理）への工程で流れる情報が多い。以上３種の媒体の情報をすべてデジタルデータとして磁気記憶装置に入れた場合の占有量単位でみると、設計→施工管理及び設計→点検（維持管理）の工程で流れる情報、施工前に発注者から受注者へ渡される情報、保管される設計情報の順に多いことがわかる。

また、図４－４－10において、施工に関連して作成される情報の建設会社内における保管状況を見ると、およそ半数の工事でかなりの情報を保管し、残りの半数の工事では写真及び工事検査文書の一部を除いてほとんど保管していない状況であった。ヒアリングによると、一般には正式な書類（契約書等）と図面・設計関係は半永久的に保管し、他の事務書類、工事日報、検査結果等は、特に必要と思われるものを除いて、施工中のみあるいは数年間のみ保管するとのことであった。また、一般に図面の保管率はかなり低かった。

一方、道路公団においては工事に関して作成、収集された情報はすべてマイクロフィッシュ（１０７㎜×１５１㎜、Ａ４換算で６０枚分の情報が記録される）で保管され、検索システムが備えられている。しかしながら、比較的よく利用されるものは調査関係の情報と研究関係の情報である。特に調査関係では土質及び地質調査、関連公共事業調査、環境関係調査の利用率が高い。一方、計画・設計・施工関係の情報は、同種条件での工事はほとんどないためほとんど利用されない。むしろ、ＪＲ鉄道との情報相互利用の方が多い（これはＪＲ鉄道と平行した高速道路が多いことによる）。

情報流動に関して、各工程における特徴及び技術開発ニーズをまとめると以下のとおりである。

① 調査・計画・設計

調査に関しては、工事の都度行うものばかりではなく、既往の調査結果を用いることも多く、調査結果のデータベース化のニーズは高い。また、計画、設計では過去の実例を参照することも多く、過去の工事実績のデータベース化のニーズも高い。

調査→計画→設計→施工という工程において、調査結果の整理・分析・評価・計画の作成、計画内容を受けての設計といった形で情報の流動量は多く、それらの情報処理の迅速化、簡略化等も望まれている。

② 施　工

設計→施工の情報流動が特に多いほか、施工管理に伴う受注者内部での情報流動量や発注者、受注者間の情報流動量も多い。そのため、発注者・受注者間の情報流動の効率化、

簡略化や施工管理情報処理の効率化、簡略化が望まれている。

また、維持管理のために、過去の工事実績に関する計画、設計、施工管理結果ならびに竣工図等を保管することも多く、データベース化のニーズがある。

③ 維持管理

維持管理では基本的な情報として、竣工した構造物の諸元に関する情報（設計諸元、施工検査結果等）の流入量が非常に大きい。また維持修繕箇所や工法の決定などの維持管理計画の段階では、これらの基本的な情報に加えて定常的に蓄積された点検データが利用される。このように維持管理では、多量のデータを時々修正、更新しながら長期間保存し、不定期の利用に備える必要があり、データベース化のニーズが高いと考えられる。

また、災害時などには、国民生活の基盤を守る意味から点検→応急処置を迅速に行う必要があるため、点検およびその結果の処理の迅速化のニーズも高いといえる。

(6) 潜在的な技術開発ニーズの評価

(1)～(5)の分析結果より、潜在的な技術開発ニーズを整理した。まず、各工種別の技術開発ニーズは以下のとおりである。

土　　工 …… 安全性向上、省エネルギー

基礎・土留工 …… 省エネルギー

コンクリート工 … 特にきわだって大きなニーズはないが、工事量が最も多いため、各方面からのより詳細なニーズの検討が必要である。

鋼橋上部工 …… 技能工不足への対応、省力化（労働）

舗　　装 …… 省資源

トンネル …… 技能工不足への対応、安全性向上、省力化（労働）

運　　搬 …… 省エネルギー

また、情報流量に関する技術開発ニーズは以下のとおりである。

① 情報の流動量からみて、潜在的な技術開発の必要性は、大ざっぱに言って調査・計画設計における情報処理の迅速化、合理化、維持管理におけるデータベースの利用、施工における計画・管理システムの開発等の面で高いと言える。

② 特に建設事業全体を通じて、とりあえずデータベース化の必要なデータ項目は、建設会社へのヒアリング調査によると、過去の工事実績、調査成果（地質、地下埋設物等）、技術情報等である。また、いろいろな工事で実施されている各種調査結果（地質、地下埋設物、水理、海象等）のデータベース化のニーズも高いと思われる。一方、維持管理段階で必要とされる構造物の履歴データ等のデータベースも、管理主体である公共側にお

いて整備することが必要である。

4－4－2　アンケート調査による建設技術高度化ニーズの抽出

前節では潜在的な技術開発ニーズの大きさについて、その概要を把握した。本節ではさらに建設技術における個別の技術開発ニーズを、事業別、工種（分野）別に細かく抽出することを目的として、建設省、道路公団、建設会社の実務担当者にアンケート調査を行い、現状の業務（技術）の問題点について、どのような高度化が必要かを整理した。

アンケートは、表4－4－4に示す項目と内容で実施した。

(1)　建設事業別、工種（分野）別の技術開発ニーズ調査結果

建設事業別、工種（分野）別の技術開発ニーズに関するアンケート調査結果のうち、表4－4－4に示した開発の総合的優先度がAのもののみを抽出したものを表4－4－5に示す。

なお、表4－4－5においては、建設技術全体を主として現場（屋外）作業に関するもの、主として情報の処理・管理に関するものに大きく分けて技術開発ニーズを整理している。

(2)　技術開発ニーズのまとめ

(1)で示されたニーズ調査結果から、4－4－1で検討した工種を中心に事業、工種別の技術開発ニーズをとりまとめた。情報処理・通信技術は、事業・工種に共通するものが多いことから一括して扱った。

(a)　メカトロニクス関連技術のニーズ

事業・工種別、建設プロセス別の技術高度化ニーズをまとめたものを表4－4－6に示す。ここでは、メカトロニクス関連技術を、機械関連技術と工法関連の技術とに区分したが、ニーズ調査結果では機械関連技術に大きなウェイトが置かれているこわかる。

また、これらのニーズを機械関連と工法関連の技術に大別すると、各々の技術開発の主要項目は以下のとおりとなっている。

- 機械関連技術
  - センサ及びセンサで得たデータの解読・解析・評価手法の開発
  - 調査ロボット
  - 作業ロボット
- 工法関連技術
  - 新しい測定方法及びその結果の解析・評価手法の開発
  - 構造物設計の工夫
  - 自動化に伴う工法の変化、関連技術の開発
- その他
  - 制度の改正

表４－４－４　技術的問題点の調査における評価項目とその内容

<table>
<tr><td>項　　目</td><td>内　　容</td></tr>
<tr><td>分　　野</td><td>工　種　分　類　別</td></tr>
<tr><td>開発の総合的優先度</td><td>A，B，Cの3ランクであり、Aが最も高く，Cが最も低い。
原則として、改善効果の大きさと技術開発の難易度から、次のマトリックスに従って決定する。
<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="3">技術開発の難易度</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="3">改善効果の大きさ</td><td>大</td><td>B</td><td>A</td><td>A</td></tr>
<tr><td>中</td><td>C</td><td>B</td><td>A</td></tr>
<tr><td>小</td><td>C</td><td>C</td><td>B</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>望まれる高度化事例</td><td>問題点の内容を、その解決策の形で示す。</td></tr>
<tr><td>改　善　の　理　由</td><td>次の1～7の理由ごとに該当すれば○をつける。
1：コストの節減（省力化等）
2：作業時間の短縮
3：作業の安全化、快適化
4：品質、精度の向上（維持管理レベルの向上）
5：省技能工
6：環境対策
7：その他</td></tr>
<tr><td>改善効果の大きさ</td><td>A，B，Cの3ランクであり、Aが最も大きく、Cが最も小さい。
マクロ分析の結果等から得られた問題点自体の重要性、高度化事例による改善の度合、高度化事例の他分野への技術的応用性を考慮して決定する。</td></tr>
<tr><td>高度化にあたっての技術開発の難易度</td><td>次の1～3のランク
1：新しい技術がいる。
2：現在の技術の延長上
3：現在の技術で対応可能</td></tr>
<tr><td>必要な技術開発の課題</td><td>機械関連（エレクトロニクス関連）、工法関連（ソフトウェア*1や土木技術関連）、その他に分けて、高度化達成のために必要な技術開発の課題を記入する。その他には使用方法、制度上の課題等も含まれる。</td></tr>
<tr><td>適　　用</td><td>分野内のごく一部への適用に留まる場合、又は逆に、他の分野への適用も考えられる場合など適用範囲等について特記すべき事項がある時にその旨を記入する。</td></tr>
</table>

*1　ソフトウェアのうちコンピュータのＯＳなどのような基本的、汎用的なソフトウェアについては機械関連に含めるものとする。

表4−4−5　重要な問題点のリスト(1)　　区分一調査・計画・設計：現場（屋外）作業

分野		技術開発の難易度	望まれる高度化事例	改善の理由							必要な技術開発		
				1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
調査	地形、地物	2	深浅測量の改善	○	○		○	○			・自動操船，位置決め ・測深機の精度向上，面的測深機の開発	・新しい測位方法の開発	
	地盤・地質・土質	2	地表から地下構造を遠隔探査するセンサーの開発	○	○						・超音波，電磁波等を利用した計測器	・データ解析方法の開発（地質物性値の研究）	
			海底土質調査ロボットの開発	○			○				・海底土質調査ロボット ・計測器海底移動装置	・自動解析装置 ・位置や水深の測定技術の応用	

改善の理由――1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省資源化　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度――1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(2)　　区分一施工：現場（屋外）作業(1)

分野		技術開発の難易度		望まれる高度化事例	改善の理由							必要な技術開発		
					1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
土工	計測	2	盛土	土工量測定の自動化		○	○		○			・高精度三次元計測センサ		
				締固め度測定の連続化，迅速化及び施工へのフィードバック		○		○				・自動締固め度測定装置 ・含水比計測センサ ・センサのデータでコントロールできる土工機械		・設計施工工事としての一括発注 ・締固め規定の修正（含水比等で判定できる形に）
			切土、法面処理	土砂崩壊予測システムの開発			○					・各種センサ（変位，土圧，間隙水圧，湧水量，その他），及びそれらの総合評価システム	・土木構造物に崩壊予知用の機器類を設置できる形状にする。	
			土留、掘削	埋設物探知機器の開発	○	○	○					・埋設物の位置，形状，寸法，材質を連続的に検知，記録できる機器（音波，電波，震動波等利用）		・埋設物設置基準の判定 ・埋設物台帳の整備
		1	盛土	土質の簡略な現位置試験法		○		○				・現場で試験できる機械	・新しい試験手法の開発	・管理方法の変更
	施工	2	盛土	締固め作業の自動化		○	○	○				・締固め度，含水比率のセンサ ・センサのデータでコントロールできるローラ		・設計施工工事としての一括発注
				重機接触防止システムの開発			○					・接近感知センサ		
		2	切土、法面処理	法面吹付け作業の自動化			○	○	○			・位置確認装置 ・吹付厚測定装置 ・吹付作業制御装置		
			土留・掘削	狭小空間における掘削の自動化		○	○		○			・基準点を照準として現在の位置を算出できるセンサ ・センサのデータでコントロールできる土工機械		

改善の理由一一 1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度一一 1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(3)　　区分ー施工：現場（屋外）作業(2)

分野		技術開発の難易度	望まれる高度化事例		改善の理由							必要な技術開発		
					1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
基礎工	計測	2	打込杭	スライム処理完了の判断基準値及び測定器の開発				○				・スライム厚測定機（掘削孔底に沈設する）	・判定基準の検討	
		1	既製杭	杭基礎の支持力測定の自動化（打止め管理の自動化を含む）	○	○	○	○				・高速度変位の記録技術	・杭の載荷試験をしないで杭の支持力を精度よく確認する代用特性の研究 ・支持力判定基準の設定	
			改良地盤	地盤改良効果のモニター方法の開発				○				・地盤特性，挙動の自動計測	・諸測定値の集中自動計測解析システム	
	施工	1	打込杭	深礎杭の施工の自動化			○		○			・狭隘な空間で作業できる掘削，掘搬出，なまこ板建込みロボット ・出水等の異常検知センサ	・設計の標準化	
			ケーソン等	ニューマチックケーソン工の函内掘削の無人化			○		○			・掘削ロボット（特に作業室中央部，刃口部） ・掘削土自動積込みロボット	・大礫等の搬出技術 ・設計の標準化	
トンネル	計測	2	掘削・硬処理	山岳トンネルの断面，土圧等の測定の自動化（巻厚計測も含む）					○			・短距離用の高精度測距センサ ・トンネル内の測距機械の位置を検知して三次元的に解析できるシステム	・測定器の位置を確認させるための測量（自動を含む） 方法（システム）	
			NATM	NATMにおける吹付コンクリート面の内空変位計測の自動化			○		○			・スケールを用いないで変形量を正確に測定できる測定装置（15m以内で1／100mmの精度）		

改善の理由ーー1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度ーー1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(4)　　区分一施工：現場（屋外）作業(3)

分野		技術開発の難易度	望まれる高度化事例		改善の理由							必要な技術開発		
					1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
トンネル	計測	1	掘削・硝処理	切端から先行した箇所の地質の判別方法の開発		○	○					・確実な地質判別機器（電磁波，弾性波等利用）	・地質情報の定量的解析手法 ・地質情報と対応させた支保形式の決定手法	
	施工	2	掘削・硝処理	硝積込み，搬出の自動化			○		○			・視覚センサ，触覚センサ ・機械の誘導，安全装置 ・作業のパターン化と記憶装置 ・搬送システム	・飛散硝の集積，積込み，運搬，硝捨ての一貫した自動化 ・コンク，残留火薬の処理 ・坑内信号システム	
			NATM	コンクリート吹付の自動化	○	○	○	○	○			・巻厚の検測装置 ・凹凸検出装置 ・本体セッティングの簡略化	・材料や吹付面の状況による管理	・コンクリート以外の吹付材の開発
			シールド	小断面シールド機の自動化 （位置，方向確認，姿勢制御 切羽制御，土砂運搬形式）			○	○	○			・シールド機位置姿勢検出装置 ・切羽状態検出システム ・硝処理，ライニングシステム	・切羽管理の自動化 ・断面形状の統一化	
				セグメントの搬入，組立（ボルト締付け）の自動化		○	○		○			・セグメント自動組立機 位置，距離センサ，接触センサ，ホールディングマシン ・搬入システム	・自動組立に適するセグメントの規格化 ・掘進とセグメント組立，方向制御	・セグメント以外の工法の検討
		1	掘削、硝処理	発破作業，装薬の自動化	○	○	○		○			・装薬の自動化 ・位置センサ，触覚センサ、マニピュレーター	・発破工法の再検討 ・さく孔作業の再検討	・火薬の改良 ・火取法の改正

改善の理由一一 1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度一一 1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(5)　　区分ー施工：現場（屋外）作業(4)

分野		技術開発の難易度	望まれる高度化事例		改善の理由							必要な技術開発		
					1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
ダム	計測	2	堤体盛立	コア材の含水比測定の自動化				○	○			・含水比測定センサ	・含水比を測定しながら，水分を自動的に調整するシステム	
		1	コンクリート打設	締固め作業及び締固め度測定の自動化	○	○		○				・コンクリート締固め度判定センサ ・締固め位置の検出装置 ・施工機械の軽量化	・判定に関する基礎技術の開発 ・打設箇所までのコンクリート運搬との連動	
	施工	2	コンクリート打設	型枠移動，建込みの自動化			○		○			・自昇式型枠移動装置 ・位置検出センサ		
				岩盤清掃作業の自動化			○	○	○			・清掃機械の開発 ・岩盤不良部分の検知センサ	・岩盤不良部分の検知，認識技術	
				グリーンカットの自動化	○		○	○				・コンクリートの硬化程度の検知センサ ・グリーンカットの程度の判断 ・作業範囲の自動制御	・コンクリートの硬化程度グリーンカットの程度の判断に関する基礎技術	
		1	盛堤土体	コア材の水分調整の自動化による品質の向上				○	○			・給散水，乾燥の自動装置 ・含水比測定センサ		
鋼橋上部	施工	2	塗装	橋梁塗装の自動化 （下地処理を含む）	○	○		○	○			・オートスライディングマニピュレータ ・塗装被膜厚測定装置（吹付中） ・塗装劣化部判断装置 ・自動サンドブラスト又は被覆はがし装置	・ロボットの移動容易な構造設計	
舗装	計測	2	締固め度測定の自動化			○		○				・自動締固め度測定装置		

改善の理由ーー 1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度ーー 1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5 重要な問題点のリスト(6)　区分一施工：現場（屋外）作業(5)

分野		技術開発の難易度	望まれる高度化事例		改善の理由							必要な技術開発		
					1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
水中施工	計測	2	水中測量の自動化		○		○	○	○			・超音波送受波器 ・トランスポング ・信号処理装置 ・近距離用ソナー・ビデオ		
			作業船位置出し，誘導測量の自動化			○		○	○			・高性能マイクロウエーブ位置検出装置（1cm程度） ・絶対高さ測定装置（衛星利用）		
	施工	2	掘削	水中発破の自動化（削孔，装薬も含む）		○	○		○			・水中削孔装薬装置 ・水中制御雷管	・衝撃波，遮蔽装置 ・濁水拡散防止装置	
		1	敷均し等	水中整地，捨石仕上げ作業の自動化			○	○	○			・水中作業ロボット ・タンピング作業を含んだ均し機 ・小型の水中動力源	・現地盤の固化及び洗掘防止工法の開発 ・自動化しやすい設計	
その他	施工	1	各種構造物解体作業の自動化			○				○		・小型化された斫り機械 ・デコミッショニング関連技術 ・アブレーシブ，ジエットの大規模化	・解体システム（構造物によって異る）の検討 ・老朽度判定技術	
			足場の組立，解体の自動化			○	○		○			・自動昇降組立解体装置 ・組立て確認装置	・足場の標準化 ・新しい足場の開発	・足場不要な構造物設計施工

改善の理由一一 1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度一一 1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(7)　区分ー維持管理：現場（屋外）作業(1)

分野	技術開発の難易度	望まれる高度化事例		改善の理由							必要な技術開発		
				1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
道路	2	路面，路肩（清掃，除草）は除く	工事用交通処理システムの開発（迂回路の指示，交通整理等			○	○				・車両の渋滞など交通状況を把握するためのセンサ群	・迂廻路等の指示のためのネットワークデータの整備	
			路面下の空洞検知				○				・路面下の空洞を路上より検知できるセンサ		
		法面及び法面構造物，排水施設（除草は除く）	法面調査の効率化，高精度化	○		○	○				・安価なプラットフォームと画像センサ	・法面の危険度の定量的評価手法 ・画像の解析手法	
			高所法面作業のロボット化（掘削，コンクリートの吹付，コンクリート厚検査）			○	○				・急斜面での作業ロボット（コンクリート吹付，コンクリート厚の検査，掘削）		・検査基準の改定
		橋梁	橋梁点検（高所，狭所）の遠隔コントロール化			○	○				・遠隔操作できるテレビカメラ付の小型ロボット ・移動足場	・メンテナンス作業の容易な設計（移動足場の設置構造の簡素化など）	
			地震後点検の迅速化（下部工の移動，支承部異状の検知）		○	○	○				・下部工の移動等の異状を検知できるセンサと伝達システム	・センサの設置しやすい構造	
		トンネル	覆工の自動点検システム（クラック，漏水，内空変位等）	○	○	○	○				・トンネル内空面の撮影，解体システム		
		その他の構造物施設	共同溝内パトロールの無人化	○	○	○					・溝内を自走する遠隔監視ロボット	・断面の標準化	

改善の理由ーー 1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度ーー 1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(8)　　区分ー維持管理：現場（屋外）作業(2)

分野	技術開発の難易度	望まれる高度化事例		改善の理由							必要な技術開発		
				1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
道路	2	清掃（路面排水施設，トンネル，ガードレール等）	側溝清掃ロボット（管渠も含む）	○		○					・バキュームホースの誘導及び清掃結果の確認ロボット	・側溝等の構造の単純化	
		雪氷対策	除雪機械の自動運転（視界不良時）			○		○			・自動誘導システム ・路面状況の検知センサーと制御システム	・障害物の少ない道路構造	
	1	橋梁	橋梁塗装の自動化	○	○	○	○	○			・塗装，ケレンロボット ・移動足場	・塗装の容易な形状の上部工	・塗装の耐久性向上
			古いＲＣ橋の鉄筋量，耐荷力等を外側より計測できるシステム		○		○				・コンクリート内の鉄筋量等を計測できるシステム		
			現道交通を阻害しない床版修繕工法の開発				○				・新工法に適合した作業ロボット	・新しい工法の開発	
		事故，災害時の対応	通行規制中の規制区間の道路情報収集ロボット			○	○				・画像の収集，伝達ロボット（自走式又は飛行できるもの）		
河川	2	堤防（堤防本体、護岸、根固め、床止め）	堤体，基礎地盤状況調査の効率化，高精度化	○	○		○				・堤体，基礎地盤のゆるみ，材質等を把握できるセンサ		
			河川の縦横断測量及び深浅測量の効率化，高精度化	○	○		○				・浅水深測量の高精度化 ・作業船の位置出しの高精度化，自動化 ・測量成果の管理システム		
			護岸，樋門等の空洞化箇所の調査手法の高精度化	○	○		○				・コンクリート版の裏の空洞を発見できるセンサ		

改善の理由ーー1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度ーー1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(9)　　区分ー維持管理：現場（屋外）作業(3)

分野	技術開発の難易度	望まれる高度化事例		改善の理由							必要な技術開発		
				1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
河川	2	災害発生時の対応	破堤時の締切工法の決定の迅速化（状況把握及び工法決定の支援システムの開発				○				・破堤状況の迅速な把握のできるシステム	・締切工法の決定基準の明確化 ・締切材料の備蓄状況把握	
		除草作業	除草の効率化	○		○					・草刈のロボット化 ・刈った草の処理システム		・バイオテクノロジーの利用による生長抑制，あるいは新しい植物の採用
		その他作業	流量観測の自動化（特に高水流量）			○	○				・信頼性のあるより高精度な流速計測センサ		
	1	堤防（堤防本体，護岸，根固め，床止め）	堤体漏水箇所の調査の効率化	○	○		○				・漏水検知センサ及び漏水と雨水等の判別システム（危険箇所への設置又は自走式）	・過去の漏水状況に関するデータの管理と危険箇所の推定	
その他・一般	2	地下埋設物の検知，計測システム		○	○						・地下構造物の検知センサ		
		降雨予測システム（特に地域性集中豪雨			○		○				・レーダ雨量計等の精度向上	・気象衛星，レーダ雨量計等の利用技術	
		降雨予測システム			○		○				・降雪量，分布の計測センサの開発	同上	
		河川流域における総積雪量及び融雪量の把握					○				・センサ精度の向上	・衛星リモートセンシング画像やマイクロ波センサ画像を用いた積雪面積及び量の推定手法の開発	

改善の理由ーー1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度ーー1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(10)　　区分一維持管理：現場（屋外）作業(4)

分野	技術開発の難易度	望まれる高度化事例	改善の理由							必要な技術開発		
			1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
その他・一般	1	コンクリート構造物の老朽度の調査の効率化，高精度化				○				・老朽度計測システム（鉄筋の状況，コンクリートのひびわれなど）	・各種データより総合的に老朽度を判定する手法の確立	
		被災地等における救助作業のロボット化			○	○				・救助ロボット		

改善の理由−−1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省資源化　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度−−1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(11)　区分一調査・計画・設計：情報処理、管理(1)

分野		技術開発の難易度	望まれる高度化事例	改善の理由							必要な技術開発		
				1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
調査	社会・経済・環境	3	地域環境関連データ（社会，経済，公害，自然等）のデータベース化	○	○						・短時間で検索，収集できるシステム ・図形入力，画像処理		・データの共用化，汎用化 ・データベースの維持，保守体制
			交通量データ，ネットワークデータのデータベース化	○	○		○				同上	・交通量推計手法の標準化 ・ネットワークデータ構造の標準化	同上
	地形・地物	2	地形，地物，各種施設データの入力，処理の高速化，データベースの作成	○	○		○				・地形図，写真等からの地形読取り装置 ・図形入力システム ・検索，収集システム	・地形図，写真等からの地物や地形情報の抽出手法（画像理解）	同上
	地盤・地質・土質	3	地質調査データの数値化，データベース化	○	○		○				・検索，収集システム ・図形入力システム	・地盤性状，地質の数値コード化・規格化	同上
	水文、気象、海象	3	水文，気象，海象データのデータベース化	○	○		○				・図面等も扱えるデータベース管理システム		同上
	水理、水質	3	水質データのデータベース化	○	○		○				同上	水理，水質のコード化	同上
	その他	3	技術情報の検索システム	○	○		○				同上	技術情報の評価，分類	同上

改善の理由――1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度――1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト(12)　区分一調査・計画・設計：情報処理、管理(2)

分野		技術開発の難易度	望まれる高度化事例	改善の理由							必要な技術開発		
				1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
計画・設計	全般	2	数量計算，工費算出の自動化	○	○		○					・数量計算，工費算出のソフト	
			過去の設計，工事実績のデータベース化	○	○		○						・データの共有化，汎用化 ・データベースの維持，保守体制
	道路及び付属施設	2	路線選定作業のＣＡＤ化（地形データ等の入力の迅速化等も含む）	○	○		○					・設計事例データベースとの連動 ・路線設計，図化，数量計算のソフト ・デジタル地形情報等の収集の効率化，自動化（データベースの利用も含む）	
	下水道	2	下水道ルート選定ＣＡＤの開発	○	○		○					・縦断検討，水理計算ソフト ・地下埋設物及び地質データベースとの連動	

改善の理由――1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度――1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4−4−5　重要な問題点のリスト（13）　区分−施工：情報処理、管理

分野	技術開発の難易度	望まれる高度化事例	改善の理由							必要な技術開発		
			1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
施工計画	2	調査・計画・設計情報から，施工計画の作成支援を行うシステム（特に土工量算出の自動化等）	○	○		○					・データ入力の簡便化 ・頻繁な設計変更への容易な対応が可能なシステム	
		施工計画のための過去の工事実績情報のデータベース化	○	○		○					・検索，収集ソフトの高度化	
施工管理	3	出来形，品質管理の省力化，迅速化（データ処理）	○	○		○	○				・計測データの集計，分析ソフトの高度化	
	2	現場〜事務所間，あるいは受注者間の情報伝達の迅速化	○	○							・データ入力の簡便化 ・安価な情報伝達方法の開発	

改善の理由−−1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度−−1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4－4－5　重要な問題点のリスト(14)　区分－維持管理：情報処理、管理

分野	技術開発の難易度	望まれる高度化事例	改善の理由							必要な技術開発		
			1	2	3	4	5	6	7	機械関連	工法関連	その他
道路	3	橋梁を中心とした構造物の管理情報の検索システム		○		○			○	・データベース管理システムの開発 ・データ入力方法の効率化	・台帳様式の統一化 ・維持修繕基準の明確化	・データの新規作成，更新の制度化，義務化
		道路管理関連データ（道路台帳，占用物件，地下埋設物等）の管理システム		○		○			○	同上	同上	同上
河川	3	占用許可，水利権の許認可等の効率化 河川台帳，水利台帳の更新の迅速化	○	○						同上 ・図面等の処理，管理手法の開発	同上	同上
		河川構造物の諸元，経歴等の管理の電算化	○						○	同上	・入力データ項目の選定	同上
その他・一般	3	構造物の維持，修繕工法の施工事例データのデータベース化				○			○	・データベース管理システムの開発	・施工事例，その後の経過に関するデータの標準化	・データ入力の制度化
	1	被災地等における情報収集，伝送のシステム化			○	○				・データ収集，伝送システム		

改善の理由――1：コストの節減（省力化等）　2：作業時間の短縮　3：作業の安全化、快適化　4：品質、精度の向上　5：省技能工　6：環境対策　7：その他
技術開発の難易度――1：新しい技術がいる　2：現在の技術の延長上　3：現在の技術で対応可

表4－4－6　メカトロニクス関連の事業（工種）別、建設プロセス別
技術高度化ニーズのまとめ

区分 / 建設プロセス			機械関連	工法関連	その他
調査			・地質調査等のセンサー開発		
計画・設計					
施工・維持管理	土工	計測	・各種測定の自動化		
		施工	・締固め作業、法面吹付作業、狭小空間掘削の自動化		・締固め度管理規定の修正
	基礎工	計測	・支持力測定の自動化		
		施工	・深礎杭の施工の自動化	・ニューマティックケーソンの函内掘削無人化	
	トンネル	計測	・山岳トンネルの断面・土圧等の測定の自動化 ・NATMの内空変位計測の自動化	・切羽先端箇所地質の判別方法の開発	
		施工	・鋼積み、搬出の自動化 ・発破・装薬の自動化 ・コンクリート吹付けの自動化 ・小断面シールド機の自動化 ・セグメント搬入・組立の自動化		
		維持管理	・覆工点検の自動化		
	ダム	計測	・コア材含水比測定の自動化 ・締固め作業・締固め度測定の自動化		
		施工	・型枠移動、建込みの自動化 ・岩盤清掃作業、グリーンカットの自動化 ・コア材水分調整の自動化		
	橋梁	施工	・鋼橋塗装の自動化		
		維持管理	・点検の遠隔コントロール化、迅速化 ・鋼橋塗装の自動化	・既設RC橋の鉄筋量、耐荷力等の計測システムの開発 ・現道交通を阻害しない床版修繕工法開発	
	水中施工	計測	・水中測量の自動化 ・作業船位置出し・誘導測量の自動化		
		施工	・水中発破の自動化 ・水中整地、捨石仕上げ作業の自動化		
	道路舗装	施工	・締固め度測定の自動化		
		維持管理		・現道交通を阻害しない修繕工法の開発	
	その他	施工	・各種構造物解体作業の自動化 ・足場の組立・解体作業の自動化		
		維持管理	・地下埋設物の検知、計測システム ・コンクリート構造物の老朽度調査の効率化		

(b) 情報処理・通信に関わるニーズのまとめ

情報処理・通信に関わるニーズは、データベースシステムの整備、情報処理作業の省力化・迅速化、ＣＡＤ、情報通信（伝達）の迅速化があげられている。建設事業のプロセス毎については以下のとおりであり、これらは表４－４－７としてまとめられる。

i) 調　　査

調査データのデータベース化のニーズが圧倒的に多い。具体的には、地域環境データ、交通量・交通ネットワークデータ、地形・地質データ、水文・気象データ等があげられている。また、技術情報の検索システムのニーズが存在する。

ii) 計画・設計

設計・施工事例のデータベース化、道路、下水道等のルート選定のためのＣＡＤ、出来形・品質管理等の省力化・迅速化、現場と本支店等の情報伝達の迅速化等のニーズが高い。

iii) 維持管理

施設構造物の管理情報の管理・利用システム（広義のデータベースシステム）、維持補修の施工事例のデータベース化のニーズが高く、データベースの整備による各種台帳の更新の迅速化のニーズもある。

また、災害時の情報収集・通信の迅速化に対するニーズもあげられている。

表４－４－７　情報処理・通信に係わるニーズのまとめ

区分 / 建設プロセス	データベースシステム整備	情報処理作業の省力化・迅速化	ＣＡＤ	情報通信（伝達）の迅速化
調　　査	・データベース整備 ・地域環境データ ・交通量・交通ネットワークデータ ・地形・地質データ ・各種施設データ ・水文・気象・海象データ ・技術情報の検索			
計画・設計	・設計・施工事例データ	・出来形・品質管理等の省力化・迅速化	・道路・下水道等ルート選定のためのＣＡＤ	・現場と本支店間等の情報伝達の迅速化
維持管理	・施設構造物の管理情報の管理・利用システム ・維持補修の施工事例のデータベース化	・各種台帳の更新の迅速化		・災害時の情報収集・通信の迅速化

第4章に関する参考文献

1) 建設省土木研究所、財団法人国土開発技術研究センター、建設技術へのエレクトロニクス利用に関する研究及びエレクトロニクスを利用した要素技術の開発報告書、昭和６０年３月

2) 財団法人　国土開発技術研究センター、建設技術高度化システムの開発及びエレクトロニクスを利用した要素技術の開発報告書、昭和６１年３月

3) 財団法人　国土開発技術研究センター、建設技術高度化システムの開発及びエレクトロニクスを利用した要素技術の開発報告書、昭和６２年３月

4) 科学技術庁編、データベースの高度利用、昭和６０年３月

5) 穂鷹良介、データベース入門、オーム社、昭和５９年１２月

6) 小碇暉雄、データベース入門、啓学出版

7) 原田・今井・平木　データベースの構築の理論と実際、コロナ社、昭和６０年１月

8) 山本和彦、画像処理技術の開発動向、ＯＨＭ、'８６.１０

9) 森　清・土方　智、コンピュータＡＩ世紀、朝日新聞社

10) 原田行男、最新エキスパートシステム、産業能率大学出版部、昭和６１年１１月

11) 戸沢義夫、エキスパートシステムの将来性、第１２回電算機利用に関するシンポジウム講演集、土木学会、１９８７

12) 鈴木明人、小山　哲、トンネル施工計画支援エキスパートシステムの開発について、第１２回電算機利用に関するシンポジウム講演集、土木学会、１９８７

第５章　建設技術高度化システムの開発にあたっての基本的な考え方

５－１　高度化システム開発の意義

建設技術高度化システムとは、新しい建設技術の開発あるいは技術の統合化、システム化による工法等の改良・開発を通して実現される、より高次の建設技術の体系およびその構成要素である個々の技術の総称である。

高度化システムの意義は、第３章で述べたとおり２１世紀へ向けてのより豊かな国土建設と建設業の発展を実現することにあり、その方向は次の３点に整理される。すなわち、第１点は社会資本に対するより高次のニーズを実現する技術の開発、第２点は現在の建設業がかかえる問題点を解決する技術の開発、第３点は建設業の新しい発展のための武器となる技術の開発である。

本章においては、これらの方向にもとづいて建設技術高度化システムの姿を描くための、基本的な考え方を検討する。前章でみてきたように、建設技術の高度化のためにはエレクトロニクスの利用をさらに進めることが必要であり、本章では建設技術におけるエレクトロニクス利用の拡大およびより有効な活用をはかるための基本的な枠組みを提示する。

５－２　建設技術の高度化にあたっての２つのアプローチ

建設技術の高度化は、①個別作業のエレクトロニクス化による高度化と、②エレクトロニクス化された作業の統合化および情報の相互有効利用による高度化、という２つの側面からアプローチしていく必要がある。

１）個別作業のエレクトロニクス化による高度化

エレクトロニクス関連技術を土木技術へ適用し高度化を図る場合には、まず、個別の施工作業業のロボット化や種々の計測作業へのセンサの導入等といった個々の作業のエレクトロニクス化が考えられる。このようなエレクトロニクス化は、完全無人化といった高いレベルを目標としない限り、必ずしも大規模な技術の改良や開発を必要としないため、個々の企業等にとっても取組み易いと考えられる。従来の技術開発の多くがこのタイプのものである。しかしながら、建設作業の多くは技能的な手作業を基本としており、その基礎にある人間の経験やカンといったものを代替することは、現在のエレクトロニクス関連技術が最も苦手とする分野であることから、現在の建設作業の工程や手順をそのまま受け入れた個々の作業の高度化は自ずと限界があると考えられる。なお、以上では現場作業の高度化を主として念頭においている。

一方、設計や計画などの情報処理作業をエレクトロニクス関連技術の導入により高度化する場合には、さらに次のような問題がある。

すなわち、個々の情報処理作業は、他の作業と情報のやり取りを通じて緊密につながっているため、その中で一つの作業のみをエレクトロニクス化することは、かえって従来型の形態にとどまっている他作業との情報の円滑な交換に支障をきたし、エレクトロニクス化の効果が十分に発揮されない結果となると考えられる。

このように個別作業へエレクトロニクス関連技術を適用することにより高度化を図ることは高度化の第一歩としては有効であり、強力に推進していく必要があるものの、高いレベルの高度化を目ざす場合、この側面からのアプローチだけでは自ずと限界があることがわかる。

2) エレクトロニクス化された作業の統合化および情報の相互有効利用による高度化

個別作業のエレクトロニクス化による高度化だけでは限界が生ずる主な理由は、既存の建設技術体系からその一部だけを取り出して、エレクトロニクス関連技術を適用しようとした点にあると考えられる。したがって、その限界を破るためにはエレクトロニクス関連技術の開発だけでなく、建設技術の体係をエレクトロニクス化し易いように変化させる必要がある。今後は前項1)による第1のアプローチに加えてこの第2のアプローチ、すなわち、建設技術体系のエレクトロニクスへの適合化が重要になるものと考えられる。

本調査では、建設技術体系のエレクトロニクスへの適合化を図るための方向として、エレクトロニクス化された作業の統合化と情報の相互有効利用の2つを提案している。

(a) エレクトロニクス化された作業の統合化

エレクトロニクス化された作業の統合化とは、各種作業の内容や手順、工程等をエレクトロニクス化し易いように体系的に変更することを言う。具体的には非常に多くの対応策が考えられるが、ここでは基本的な考え方を示す。

(i) 施　工

① 作業の単純化、標準化

周辺の状況を判断して臨機応変な対応をする必要のある作業など、作業の実施にあたって多くの情報の収集、判断を必要とする作業についてはロボット化が困難であることから、作業に必要な情報量を減らすために単純作業のくり返しで施工できるような工法や作業の標準パターンが定め易いような工法等，ロボット適合化工法を考案する必要がある。

建設機械導入の歴史においても、大規模な機械化は機械化の導入を前提とした施工法の開発によって初めて可能になっている。最近の例としては，コンクリートダムにおけるＲＣＤ工法等があげられる。

② 作業の連続化、複合化

現在は個別の作業者や機械によって協調的に行われている一連の作業を、1つのロボッ

トの中で連続的、複合的に行うことで、個々の機械の協調作業という自動化上の困難を回避することができるほか、狭空間でも作業できるなど作業スペース上も有利になる場合もあると考えられる。トンネル掘削の自動化などにこうした考えが応用できる。

③ 施工性を考慮した構造形式の選定

現在でも施工性を考慮した設計の重要性は異論のないところであるが、施工のロボット化等が進むにつれて、部材のプレキャスト化、モジュール化も進んでくると考えられ、特に細部の形状の単純化や構造の単純化（配筋の単純化など）がさらに強く要請されると考えられる。

(ii) 維持管理

① 点検等の容易な構造形成の選定

橋梁等、複雑な形状を持つ構造物は目視によっても点検が困難な場合が多く、それらの作業を自動化することには一層の困難が伴う。したがって、形状を単純化し点検を容易にするほか、点検しにくい箇所はメンテナンスフリーとなるように設計時から配慮することなどが必要である。

トンネルの点検・清掃などは、各種付属施設等を埋め込み、トンネル内空面を滑らかにすることによって自動化が行いやすくなる例である。

また、橋梁については、現在でも大規模橋梁において点検台車が構造本体に備えつけられており、点検足場が不用になるなど点検の合理化に役立っている。こうした配慮は点検の自動化を推進する上でも非常に有効である。

(iii) 設　計

① 施工性等を十分配慮した設計

ハイタッチ化など良質な社会資本整備の要請に答える一方で、施工や維持管理の項で述べたような点について十分配慮した設計を行う必要がある。

② センサによって得られる物性値を用いた設計基準等の採用

従来の設計基準等の基礎になっている地盤定数といった種々の物性値は、必ずしもセンサ等によって直接的に計測できるとは限らない。したがって、センサから直接計測されるデータを、従来からの設計に用いられる物性値に変換するための研究等が重要である。さらに、センサからの計測値をできるだけ無理に加工せずに利用することを可能にするような、設計や施工管理の考え方等の変更も必要と考えられる。

(iv) 一　般

エレクトロニクスに限らず、製品の標準化、規格化が小品種・大量生産を促し、その結果生ず

る製品価格の低下が需要をさらに喚起するというパターンが製品の普及の決まり手であることから、建設分野においてもエレクトロニクス関連製品への要求仕様の統一化、標準化を進める必要がある。

(b) 情報の相互有効利用

建設事業における各種作業の遂行には様々な情報が必要とされる。それらの情報の多くは他の作業の結果として与えられるものであり、また当該作業の結果の一部は他作業への入力情報として利用される。このように各種の建設作業は情報のネットワークで結ばれており、エレクトロニクスの利用による高度化においても、個々のリンクだけでなくネットワークとしての情報のやり取りを、全体として緊密化かつ円滑化し情報の相互有効利用を進めることが、より高いレベルの高度化を達成する上で不可欠と考えられる。ここでは情報の相互有効利用にあたっての基本的な考え方を示す。

(i) 情報のネットワーク化

建設事業の合理的な遂行に必要な情報のネットワークは、現在でも十分連結されているとは言い難い。たとえば、設計資料等の散逸により、橋梁等の維持管理にあたって必要な構造諸元等のデータを再調査しなくてはならなくなった例などがあげられる。さらに施工作業等の自動化・無人化を進めるためには、機械等の制御に莫大なデータを準備する必要が生ずる。こうしたデータの多くは、従来であれば熟練者の五感により収集・処理されていたものである。このようにエレクトロニクス化によって、これまで意識されていなかった情報のリンクを意識的に整備する必要が新たに生ずる。また、計測の自動化等に伴い莫大な量のデータが収集され、その中から有用な情報を抽出してネットワークに選択的に流す必要も生じる。以上のような観点から、建設事業における情報の流れにおいて欠けているリンクを補強し、データベースも含めた情報ネットワークを再構成する必要がある。

(ii) 情報流の円滑化のための環境づくり

ネットワーク上を流れるデータの形式や構造等を標準化しておくことによって、データを処理・管理するソフトウェアの開発も容易になるなど、コンピュータを基礎とした情報のネットワーク化を一層効率的に進めることができる。

(c) まとめ

以上のエレクトロニクス利用による高度化の2つの側面の関連をまとめると図5－2－1のようになる。

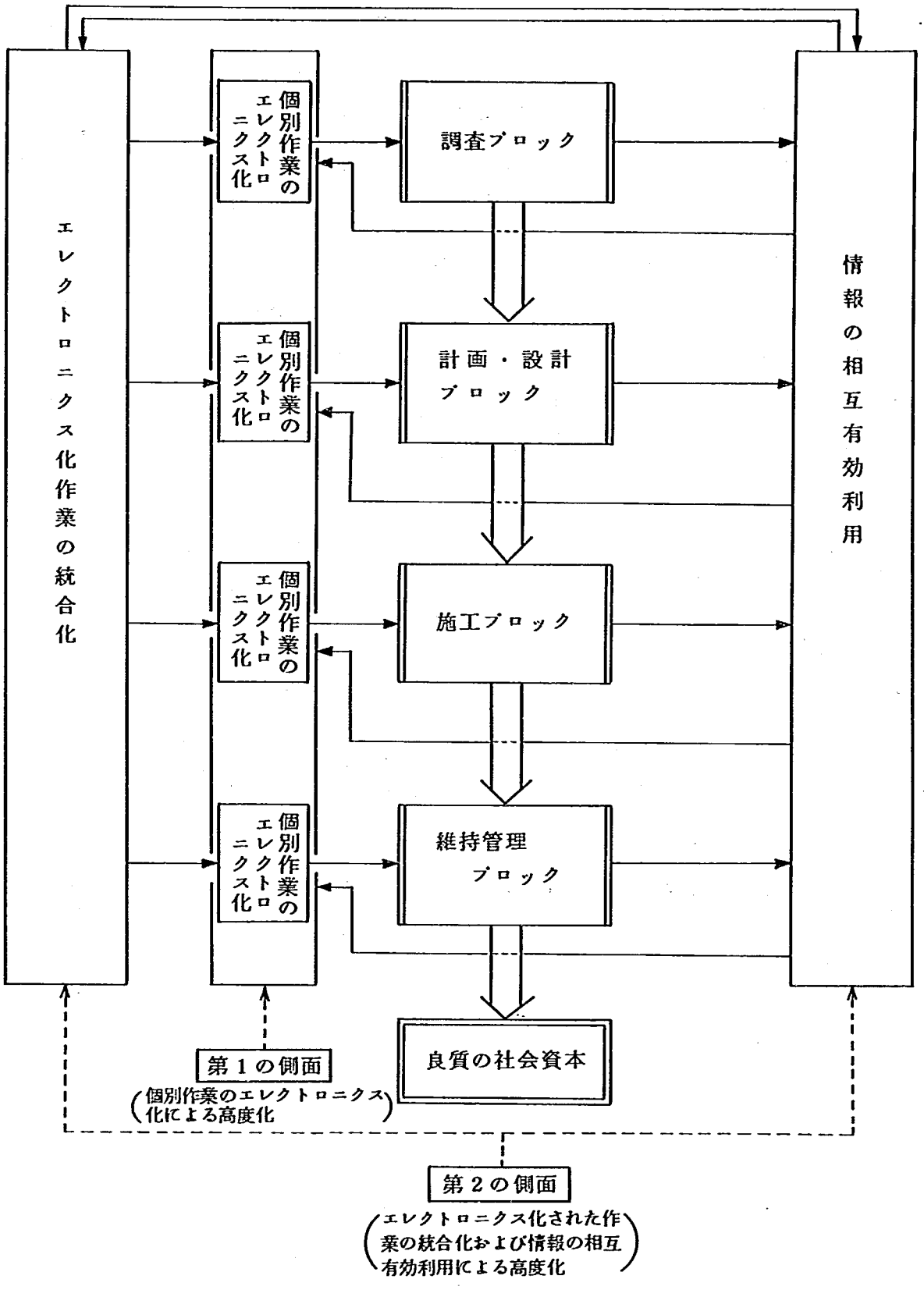


図５－２－１　エレクトロニクス利用による高度化の２つの側面

5－3　高度化システムの開発における技術開発の方向

本節では、前節において述べた高度化の2つのアプローチを、技術開発の方向という観点から整理する。

まず、高度化を目指した当面の技術開発の方向は、第1のアプローチ「個別作業のエレクトロニクス化による高度化」に沿ったものになると考えられる。第1のアプローチは、高い水準の高度化を目指す立場からは自ずと限界があるものの、着実な成果が期待できやすいため、比較的近い将来を目標として、既存技術の改良に基づいた応用開発研究に適したアプローチであると考えられる。第1のアプローチに沿った技術開発の内容を、さらに建設事業側およびエレクトロニクス側に分けると、建設事業側では、建設事業側からみたエレクトロニクス関連技術へのニーズの明確化やエレクトロニクス関連技術の積極的な適用等があげられる。他方、エレクトロニクス側に対しては、屋外作業が多い、作業環境が厳しいといった建設事業側の特殊事情に順応することが強く期待されている。この段階ではエレクトロニクス側での技術開発の必要性が、特に強調されていると考えられる。

次に、より高い水準の高度化を目標としたより長期的な、そしてより基礎的な技術開発にあたっては、第2のアプローチ,「エレクトロニクス化された個別作業の統合化および情報の相互有効利用による高度化」が基本原則となる。この場合、エレクトロニクス関連技術の建設技術への適合化だけでなく、エレクトロニクスの利用を容易にするための建設技術の開発や環境整備も重視される。すなわち、ロボット適合化工法の開発や施工作業等のロボット化を考慮した構造設計の検討等による作業の統合化や、データ形式や構造等の標準化、各種コード体系の統一化等による情報の相互有効利用が建設事業側の新たな開発課題となる。

以上を整理したものが表5－3－1である。

表５－３－１　高度化システムの開発における技術開発の方向

高度化のアプローチ ＼ 技術開発の方向		エレクトロニクスの利用を容易にするための建設技術の開発、環境の整備	
第１のアプローチ	個別作業のエレクトロニクス化	（例） ・エレクトロニクスへのニーズの明確化 ・エレクトロニクスの積極的な適用等	要求仕様の共通化・標準化 （例） ・センサ等のエレクトロニクス製品への仕様の標準化 ・データ通信用のプロトコルの統一化
第２のアプローチ	エレクトロニクス化された作業の統合化	・ロボット適合化工法の開発 ・作業の単純化、標準化 ・作業の連続化、複合化等 ・ロボット等による施工やメンテナンスを考慮した形状や構造設計等	
	情報の相互有効利用	（例） ・データ形式や構造等の標準化 ・資材など各種コード体系の統一化 ・コンピュータネットワーク等を中心とした情報伝達網の整備等	

建設技術とエレクトロニクスの技術融合（高度化システムの開発）

エレクトロニクスの建設技術への適合化

（例）
・劣悪な動作環境での信頼性
・重量物のハンドリング技術
・人間の経験や勘などの曖昧な知識の獲得・蓄積
・画像・音声等のマルチメディア情報処理の高度化
等

第６章　建設技術高度化システムの概念設計と開発展望

６－１　概念設計の検討手順

６－１－１　概念設計の考え方

本章では、高度化システムの開発にあたっての基本的な考え方に沿って、建設技術の高度化システムの姿をイメージするための検討を行う。検討にあたっては、次に示す考え方を基本とした。

① 調査から維持管理までの全工程を対象として検討を行う。

特定の建設事業（例、ダム事業）の調査から維持管理までの全工程を検討対象とする。第５章で明らかにしたように、建設技術の高度化は個々の工程のエレクトロニクス化に加え、それらの統合化さらには情報の相互有効利用によって実現されることから、全工程にわたる検討が重要である。

なお、ここでは維持管理を構造物の機能を保持するための点検や修理等に限定して考え、構造物の運用（ダムのゲート操作）や道路利用者への情報提供などは除外している。

② 西暦2000年時点を想定して検討を行う。

現在の作業の分析を基にして、現時点より１２年後に位置する西暦2000年を想定して、高度化システムの検討を行う。

６－１－２　概念設計の検討手順

高度化システムのイメージをより的確に示し、また今後の技術開発を進める上で参考となるように、技術開発ニーズの大きい事業（工種）、開発効果の大きい事業あるいは技術的に他との共通性が高いと考えられる事業を選んで、現時点で考えられる事例的な概念設計を行い、さらにシステム構築に必要な要素技術等を抽出し、整理することにより開発展望とした。

図６－１－１に検討手順を示す。検討方法は以下のとおりである。

(1) ケーススタディ対象事業の選定

第４章の検討結果をふまえ、高度化システムの概念設計を行う対象事業を選定した。

(2) 事業別高度化システムの開発目標の設定

ケーススタディのために選択された対象事業について、現行の作業手順と問題点を分析し、高度化の目標を設定した。

(3) 事業別高度化システムの概念設計

(2)の検討をふまえ、現行の問題点を解決し得る高度化システムのイメージ図を描いた。また基本的な機能について検討し、これを高度化システムの技術的ポイントとしてまとめた。

(4) 建設情報管理システムの概念設計

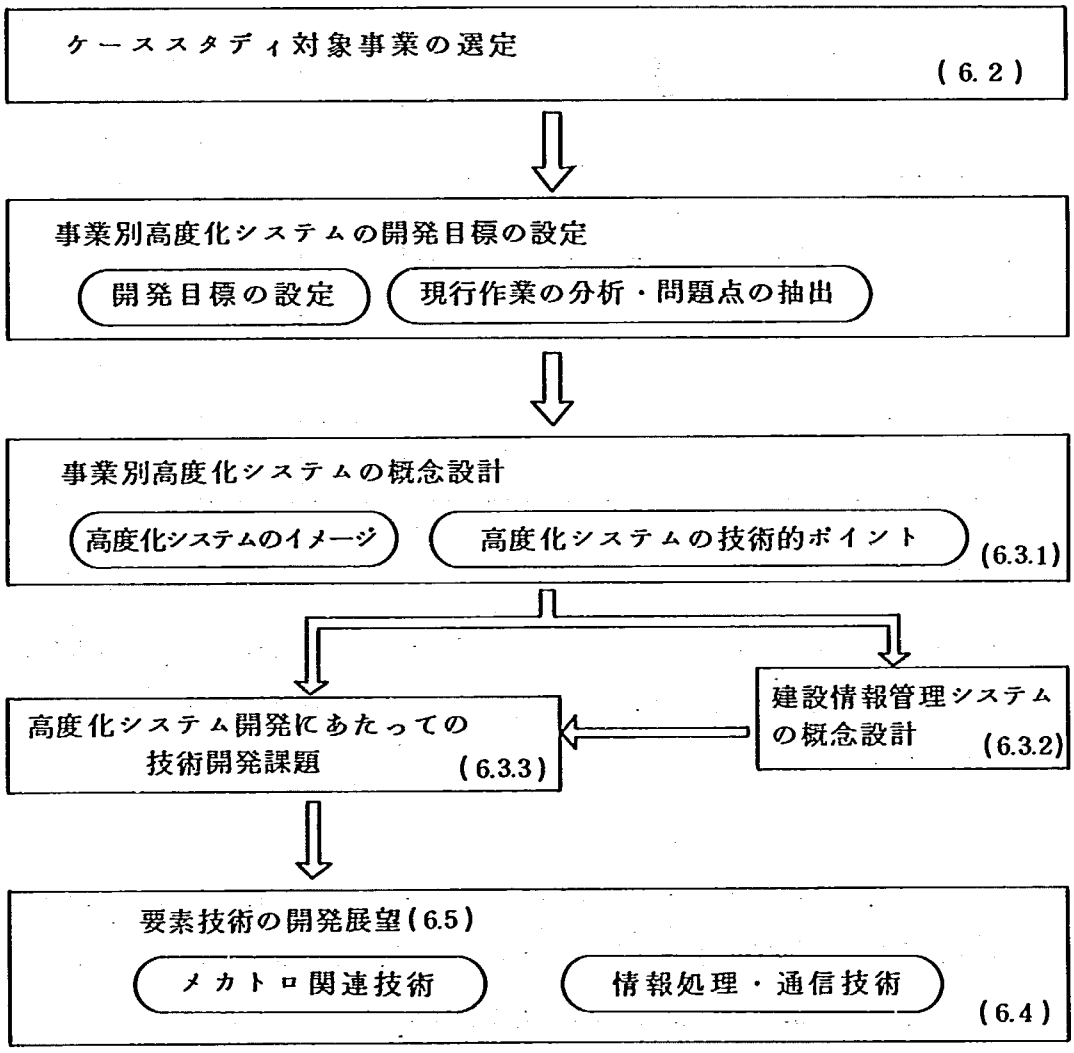
情報処理の課題については、各種事業に共通の要素が多いため、独自の検討を行うこととし、建設情報管理システムとして概念設計を行った。

(5) 高度化システム開発にあたっての技術開発課題の整理

概念設計による高度化システム実現のために考えられる要素システム、要素技術を抽出して整理した。

(6) 要素システム、要素技術の開発展望

(5)で示された要素システム、要素技術について、現状の技術水準をふまえて、技術開発の方向についての展望を示した。



〔図中( )は、報告書の節・項番号を示す。〕

図6−1−1　高度化システム概念設計の検討手順

6－2　ケーススタディ対象事業の選定

高度化システムの概念設計の対象事業は、第4章で行った技術改善ニーズ調査の結果や技術的な応用可能性を考慮して設定した。

選定された事業は、ダム建設、トンネル建設、海洋構造物建設、土留掘削（施工のみ）、橋梁（維持管理のみ）、道路舗装（維持管理のみ）の6事業である（表6－2－1参照）。6つの事業の選定理由は、以下のとおりである。

表6－2－1　事業別高度化システムの概念設計対象（ケーススタディ）

事業＼工程		調査	設計	施工計画	施工	維持管理
ダム建設	コンクリートダム	○	○	○	○	○
	フィルダム				○	
トンネル建設	シールドタイプトンネル	○	○	○	○	○
	山岳トンネル				○	
海洋構造物建設		○	○	○	○	○
土留掘削					○	
橋梁						○
道路舗装						○

(1)　ダム建設

ダム建設においては、大容量のコンクリート打設技術、品質管理技術等の大規模な施工技術、施工管理技術等を含んでおり、ダムにおける高度化システムの検討内容は他事業への応用可能性も高いと考えられる。

(2)　トンネル建設

トンネルについては、幹線交通網の全国的展開や都市部を中心とした地下空間利用の増加によって事業量に大きな伸びが予想される。その一方で、特に山岳トンネルでは施工の安全性の向上および技能工への依存度の高さが建設上の課題となっている。

また、維持管理面について、現在では特に大きな課題とはなっていないものの、今後トンネルの老朽化が進むに伴い大規模な補修・改良等が予想される。その際、現道交通等をできるだけ阻害せずに点検、補修作業等を行うことの必要性が高まるものと考えられる。

(3) 海洋構造物建設

海洋性リゾート開発や都市部における臨海開発等へのニーズが高まることが予想され、今後浅海域（水深数十メートル以内）における構造物建設の事業量が増加すると考えられる。

また、海洋空間は気象、海象、地質等の点で厳しい施工環境であり、調査、施工、維持管理等において作業の無人化、自動化のニーズは高いと考えられる。

(4) 土留掘削（施工のみ）

土留掘削作業は都市部における空間の高度利用を推進するためには不可欠の作業であり、作業量の増大が予想されるにもかかわらず、狭あいな作業空間、低い機械化率など対応する必要のある課題が種々考えられ、高度化の必要化の必要性は高いと考えられる。

(5) 橋梁の維持管理

橋梁の維持管理(点検、補修)は、今後作業量の増加が予想されるにもかかわらず高い足場上での作業が多いため、より一層の作業の安全性、効率性を図ることが必要とされている。さらに今後は維持管理作業による現道交通の阻害をできるだけ少なくするような配慮も必要とされると考えられ、高度化の必要性は大きいと思われる。

(6) 道路舗装の維持管理

舗装の維持管理は、現在でも作業のシステム化が比較的進んでいる。しかし、作業量が今後もかなり多いと予想されることに加えて、将来は維持管理作業による現道交通の阻害をできるだけ少なくするような配慮が、今までに増して必要とされると考えられ、こうした視点での高度化の必要性は大きいと考えられる。

以上の6工種の選定によって、技術的な応用可能性の点から見て建設技術の主な分野はほぼ網羅され、また開発ニーズの点からも将来に向って技術開発ニーズの大きい分野はほぼ含まれていると考えられる。

6－3 建設技術高度化システムの概念設計

6－3－1 事業別高度化システムの概念設計

1) 概念設計のまとめ方

ダム建設、トンネル建設、土留掘削、海洋構造物建設、橋梁（維持・管理）および道路舗装（維持・管理）について高度化システムの概念設計を行い、それぞれ①高度化の内容、②期待する効果、③必要となる要素技術を明らかにした。

概念設計の内容は以下に示す項目で構成している。

① 高度化システムの概念図

② 高度化システムのポイント一覧表

高度化システムのポイント一覧表においては、概念設計における高度化システムの内容、システムの高度化により期待される効果、システム開発に関連すると思われる要素技術等の内容がまとめられている。さらに必要とされる要素技術は、エレクトロニクス関連と建設技術関連に分けられている。

2) ダム建設高度化システム

ダム建設における高度化システムの概念として、ここでは図6－3－1～図6－3－6のようにイメージし、また、その高度化システムの検討に際して望まれる技術開発上のポイントを表6－3－1～表6－3－4のように整理したが、以下にその内容を示す。

(a) 調査・設計・施工計画

ダム建設における調査は、主に山岳地において地形・地質等を対象に行われる。概略調査の段階では、比較的広い地域を対象にするため調査員による現地踏査は効率的ではない。したがって、電磁波等を中心としたリモートセンシング技術を用いて、現地踏査をしないで土砂や岩の分布等の概略情報をできるだけ収集できるようにするための技術開発が望まれる。概略地質データの解析結果に基づいて詳細調査地点が決められるが、詳細調査も急斜面へのボーリングマシンの据え付け等長時間を要する作業が少なくないため、不整地を走行できるロボット等により、資材の搬出入などの作業や一部の計測作業を代替させるための技術開発が望まれる。

各種調査から得られるデータを基にして地盤の全体像を推定するプロセスは、従来地質専門家によって行われているが、専門家の確保や作業効率の点で問題があるため、エキスパートシステムの利用により改善を図ることが望まれる。推定結果は3次元データベースとして管理されるが、それによりＣＡＤシステムによる設計作業や施工の進行に伴って収集される最新データの更新作業等の効率化を図ることが考えられる。

(b) 施　工

(i) 堤体掘削

ダム堤体の掘削は、一現場あたりの工事量が多く、また、足場のよいオープンスペース内で行われるため、施工ロボットの導入について検討し易い工種であると言える。掘削方法は、大きく発破方式と機械掘削に分けられる。発破方式は、硬岩も効率よく掘削できる半面、火薬の取扱いや飛散した礫の処理など作業手順が複雑な部分があり、作業の自動化という点ではやや困難な面がある。一方、機械掘削は作業手順の面で比較的自動化し易いものの、掘削そのものの能率という点では問題があり、より能力の高

い掘削用工具（リッパーなど）の開発が望まれると考えられる。

自動化する場合の形態としては、両方式とも遠隔基準点によって位置決めされている自律的な施工ロボット群が協調的に作業を行うことが考えられる。なお、複雑な作業の場合には、システムの単純化のため連続型の土工機械等の利用やオペレータの遠隔制御による割り込みなどの対応策の検討が必要となる。また、ロボット化作業の安全性や信頼性確保の観点からは、ロボットとコントロール室、およびロボット間の電波等によるデータ通信の確実性の確保が大きな技術的課題の一つとして上げられる。

(ii) 堤体打設（コンクリートダム）、堤体盛立（ロックフィルダム）

コンクリートダムの堤体打設は、機械化、自動化に適したＲＣＤ工法を基本としてイメージした。コンクリートの自動製造（全自動バッチャープラントによる）から圧送による連続供給、連続敷均し・締固めと一連の作業を自動化している。こうした連続化によりロボットの制御や品質管理が容易になると考えられる。

一方、ロックフィルダムの堤体盛立（原石山の掘削も含む）については、堤体掘削とほぼ同様の自動化の形態が予想される。

(c) 維持管理

ダムは現在でも堤体を中心として多くの計器が埋設され、主に漏水量や揚圧力など堤体の安全性に関するデータを自動計測している。今後は周辺地山の挙動等も含めて計測データを絶えず過去の記録と自動照合して、異常の有無をモニターするシステムへと移行することが考えられる。また、貯水池の水質管理や堆砂の除去にも部分的にではあるが、エレクトロニクスが利用されて、高度化が促進されると考えられる。

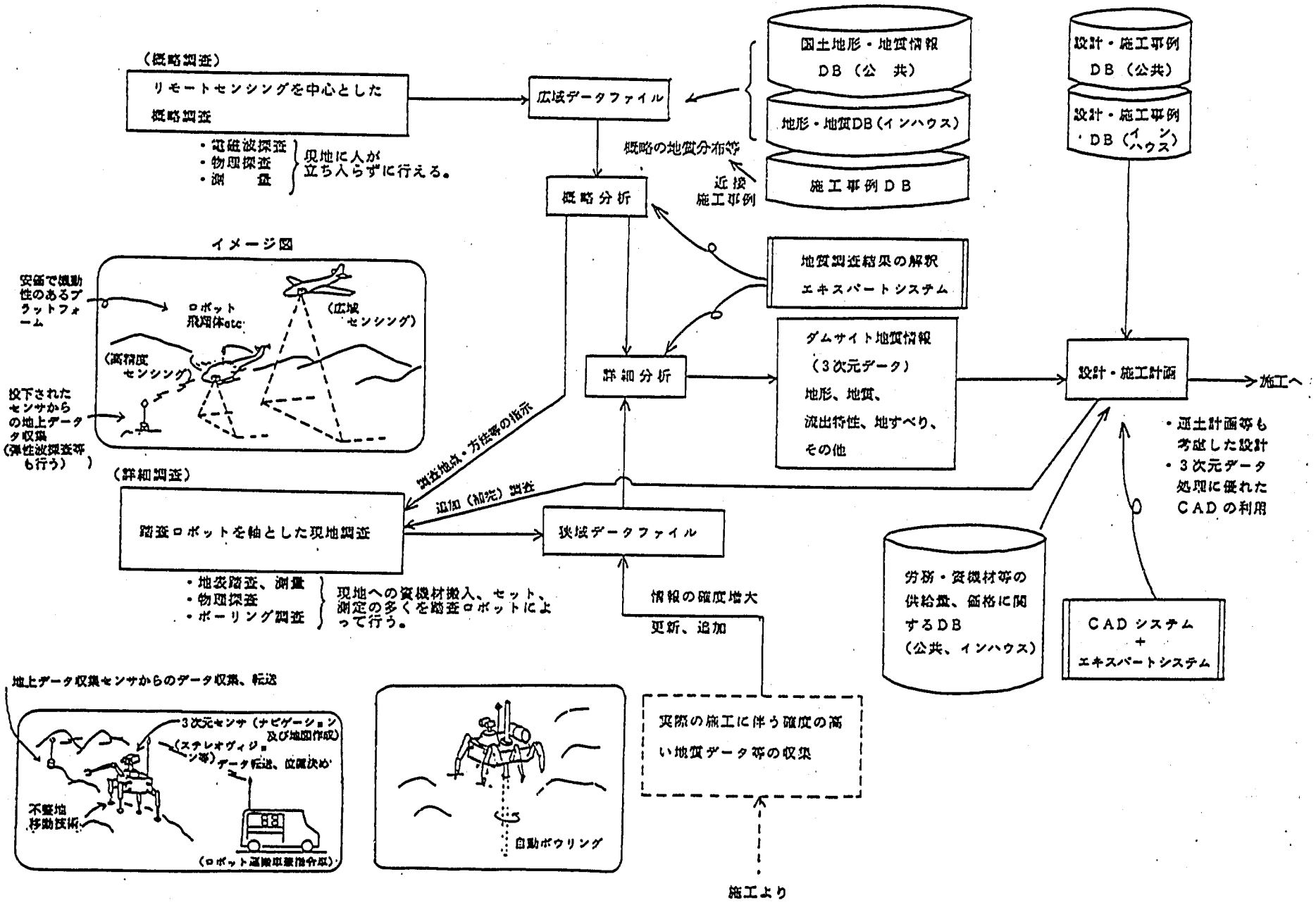


図６－３－１　ダム建設に関する調査～施工計画の高度化システムの概念

表6−3−1　ダム建設高度化システムのポイント（調査、設計、施工計画）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
地質調査	① リモートセンシングを利用した概略調査 ○地質の概略把握（岩盤深さ、断層の有無） ○地下水位 ○地形測量	現地踏査をできるだけ少なくすることにより、人作業の減少、危険作業の減少を狙う。 さらに、調査時間の短縮、調査エリアの拡大を可能にする。	リモートセンシング用センサの開発及びデータ処理手法の確立		・植生等の影響を考慮すると、電磁波による能動型センサーが比較的有望と考えられる。 ・地質調査の高度化は、地盤に関連する全ての工種に適用できる。
	② センサを投下することにより、各種グランドトルースデータを収集する。 （例）GPSの干渉方法による地上基準点の遠隔自動測定など。		遠隔無人計測のできる安価なセンサとデータ伝達装置 リモートセンシング用センサ投下、データ収集用の安価なリモコンプラットフォーム		
	③ 不整地走行の可能なロボットを利用し、現地への調査用資機材の搬入、掘付、計測を機械化する。	・危険作業等の減少 ・調査時間短縮 ・調査エリアの拡大	○不整地走行が可能なロボット （迅速な移動が可能なもの） ○自動ボーリングマシンの開発 ○ロボットのナビゲーション技術 （障害物回避 位置決め、etc）		・現地踏査の機械化は、他の全て工種に適用できる。 ・グラウトの自動化などにも応用可能 ・障害物検知のためセンサ技術と障害物を認知するためのソフト開発が、キーテクノロジーと考えられる。

表6−3−1（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
地質調査データの解析・管理	・エキスパートシステムを利用して、リモートセンシングや、現地踏査データを総合的に評価し、地質構造等を推定する。 その結果は、3次元データよりなるデータベース（ダムサイト地質情報DB）として、保存する。 ・上記データベースは、施工の進展に伴って更新されていく。	・多種多様なデータを有効に利用して合理的、総合的に判断できる。 ・施工に伴って明らかになった地質情報により、データが順次更新されていく。 このダイナミックな過程が効率化される。	3次元図形データの処理技術の向上 （処理速度 処理精度	地質データ解釈のためのルールの蓄積（知識ベースの整備）	
ダム堤体設計	・地質DBを基にしたCADを行う。 この時、これまでの施工事例等を参照しつつ施工計画も含めた最適設計を行う。	・より合理的な設計を迅速に行える。 ・設計変更等が容易に行える。	3次元図形データの処理技術	・設計、施工事例の集積 ・施工性等も考慮したダム設計に関する最適化ルールの蓄積	

(b) 施工（その１）－堤体掘削

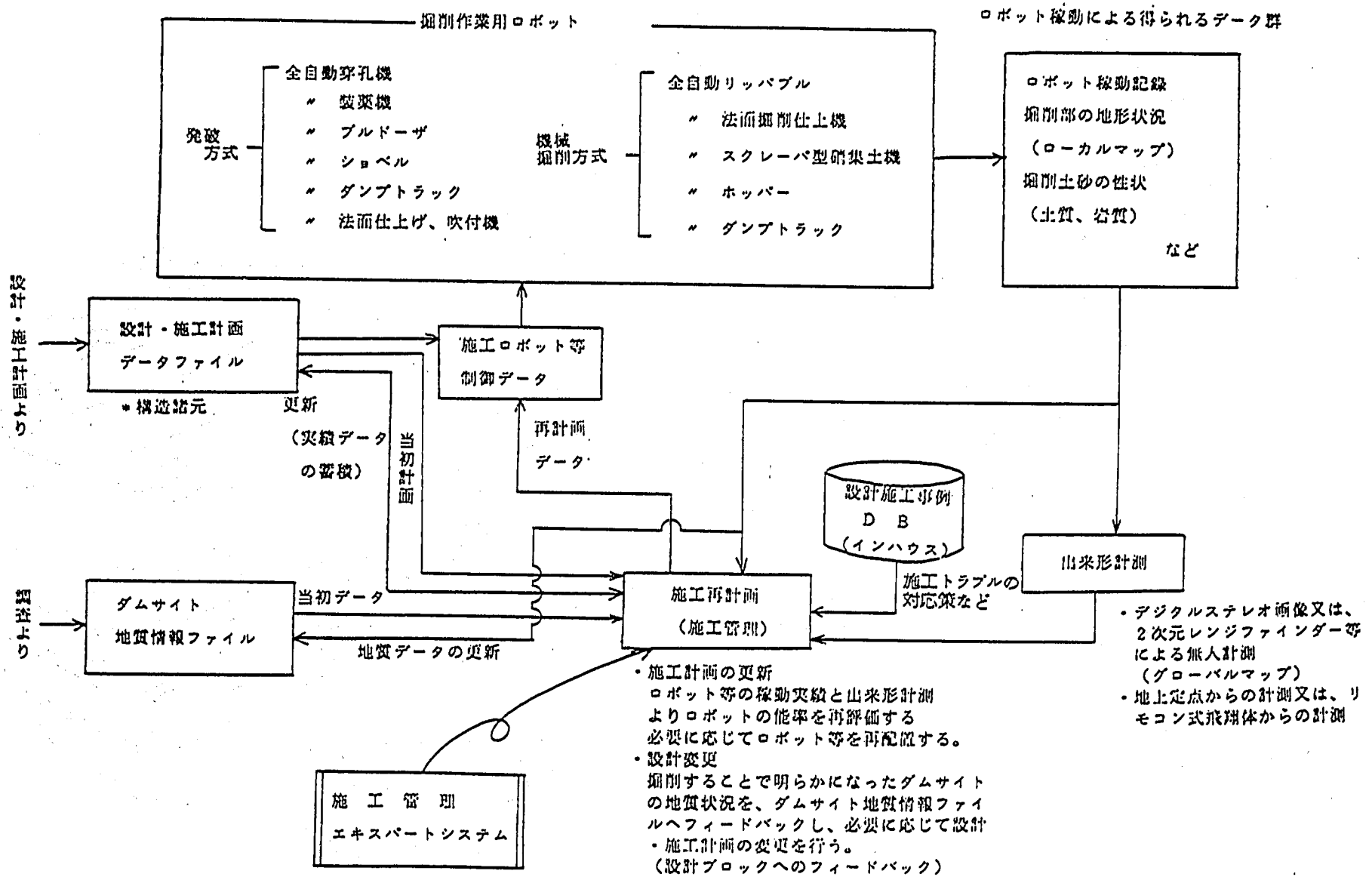
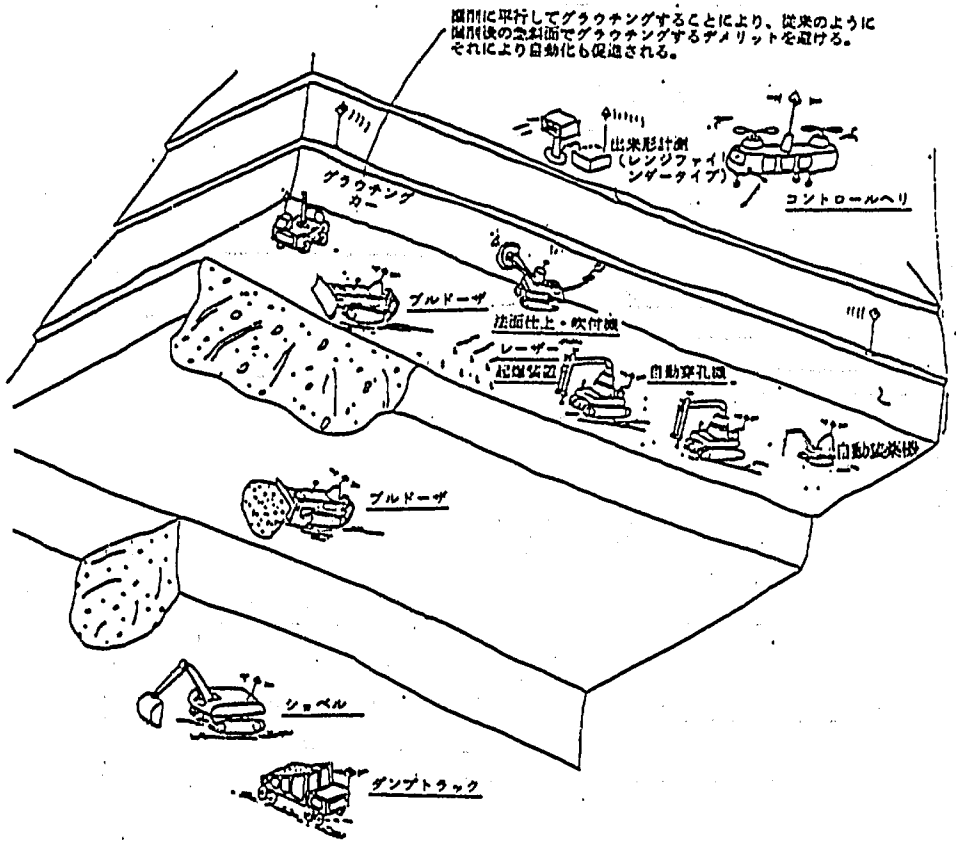
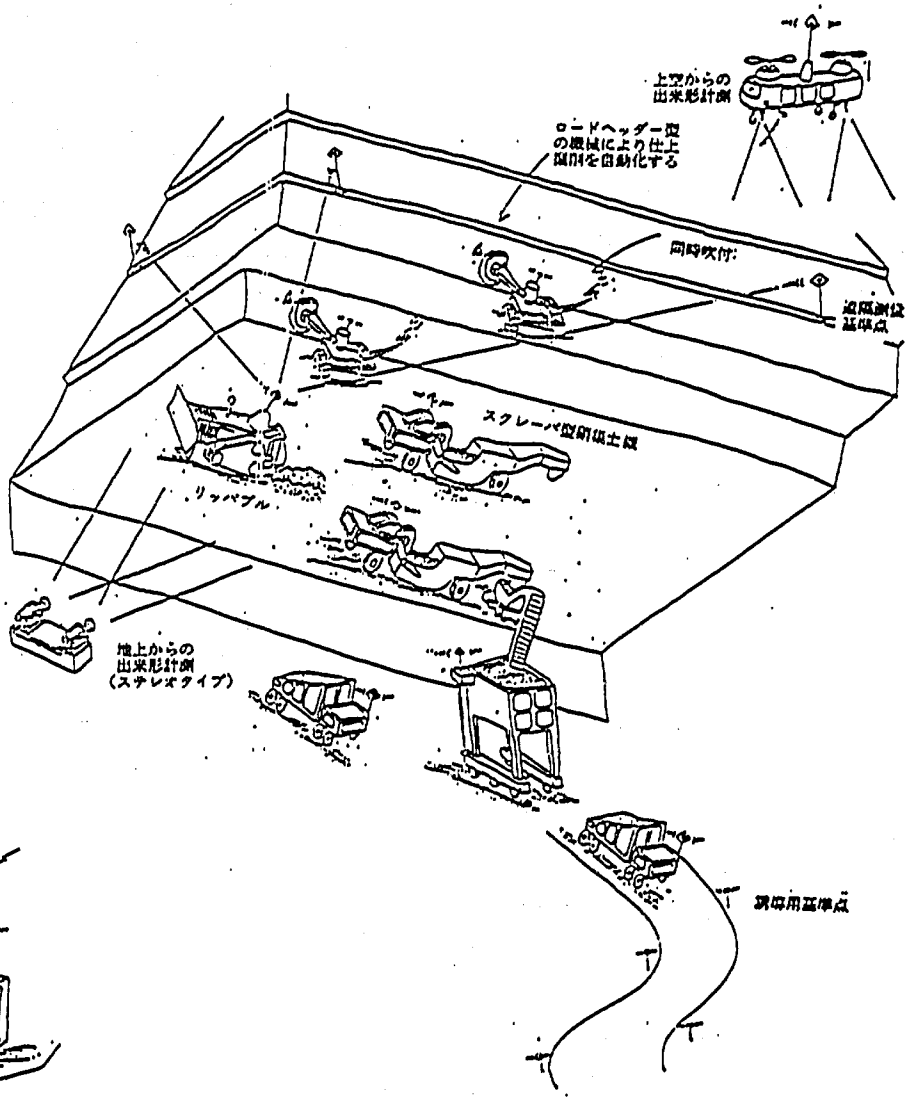


図 6－3－2　堤体掘削の高度化システムの概念

（発破方式）



（機械掘削方式）



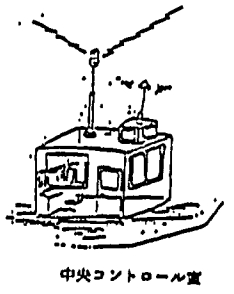


図 6−3−3　堤体掘削のイメージ図

表6−3−2　堤体掘削の高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
掘削作業	・発破の自動化、高精度化 ・自動削孔、自動装薬、無線発破 ・十分な岩質データを基に、最少限の発破を行い、ずりの飛散防止、騒音、振動防止をはかる。	作業の安全性の向上	・安全性の高い機械取扱い易い火薬 ・破砕能力の制御しやすい火薬		一般的な硬岩掘削に応用可能
	・土砂の掘削集積、積込運搬の自動化 ブルトーザ　スクレーパ ショベル　ホッパー　} 自動化 ダンプ	・稼動率の向上 （24時間施工が可能となる）			
		・技能工（オペレータ等）の不足対策	・ロボットのナビゲーション技術	ロボット群制御の容易な掘削手順	
	・出来形計測 デジタルステレオ画像や能動型2次元レンジファインダーの利用による面的3次元計測	・出来形計測作業自体の省力化、安全化に加え、掘削ロボットの作業プログラムの作成、更新に必要	・ステレオ計測等の画像処理技術の向上 ・2次元レンジファインダーの精度向上		多くの工種における出来形計測に応用可能
掘削作業の制御	・ロボットが稼動中に収集したローカルな地形、地質データ及び稼動実績データと出来形計測等で収集されたクローバルなデータと結合させ、各ロボットの施工能率や出来形ダムサイドの地質状況を得る。それらをロボットの作業プログラムとしてフィードバックする。	・掘削作業の自動化に必要	・多量の画像データ、地形データ、地質データの統合化技術 ・ロボット間あるいはロボットとコントロール室との間を結ぶための無線データ通信技術（雑音等に特に強いもの）		ロボットによる土木作業に不可欠な情報処理と考えられる。 また、掘削につれて地質が変化する状況の計測が課題と考えられる。

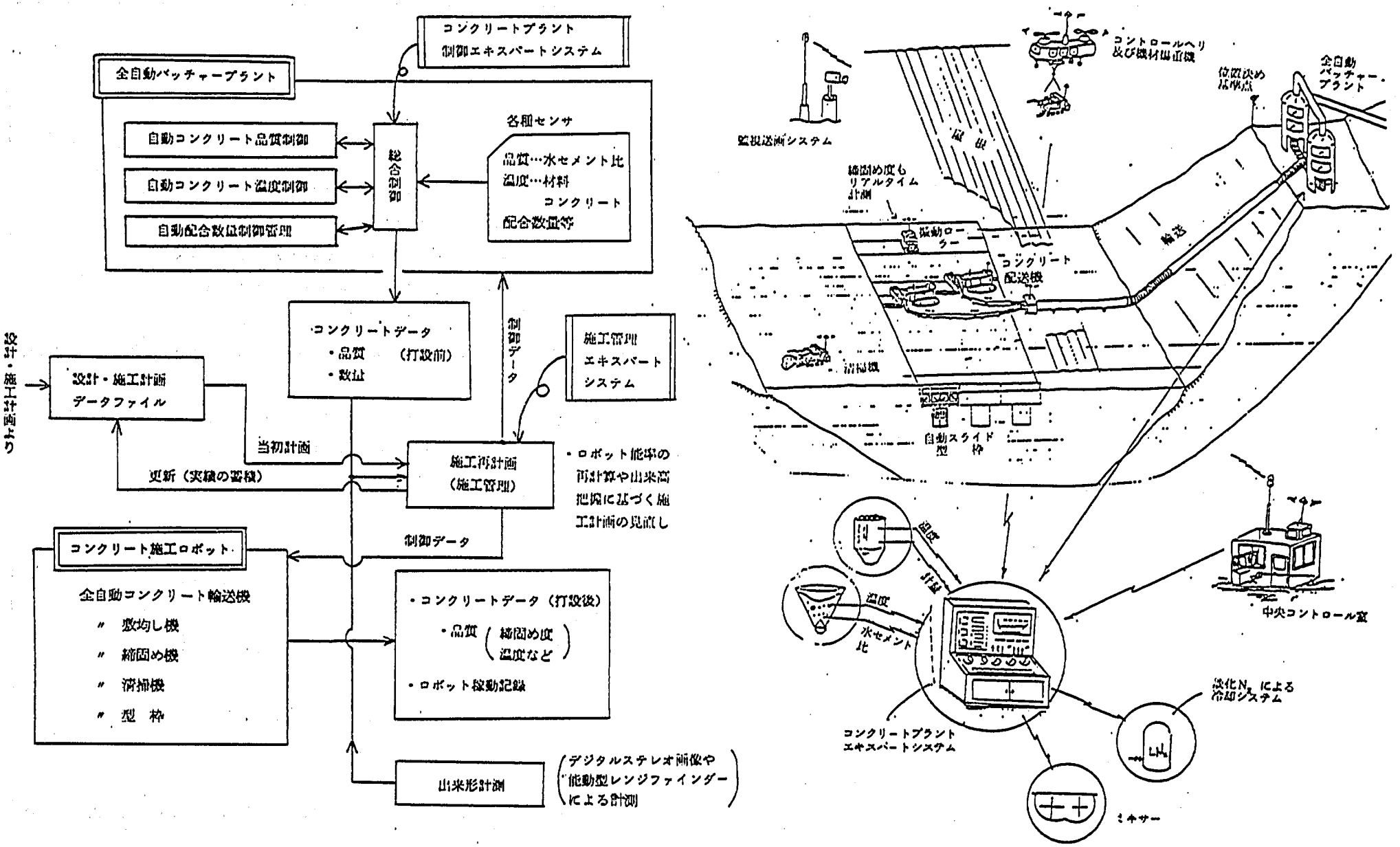
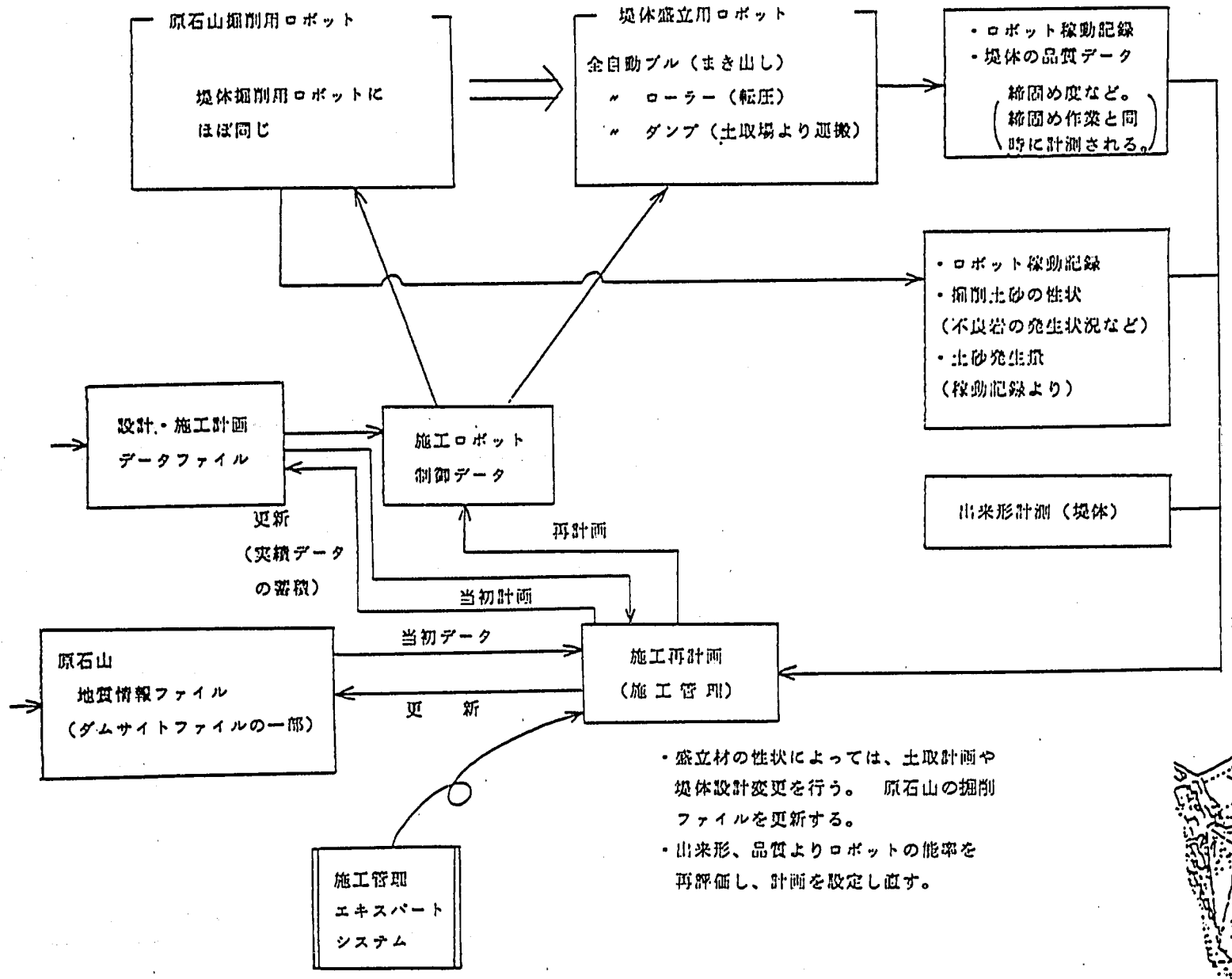


図 6－3－4　コンクリート打設（ＲＣＤ工法）に関する高度化システムの概念



堤体盛立イメージ図

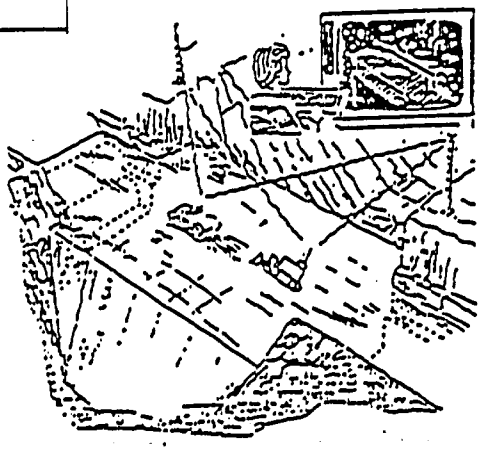


図 6−3−5　堤体盛立（ロックフィルダム）に関する高度化システムの概念

表6−3−3　コンクリート打設または堤体盛立の高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
堤体コンクリート打設	全自動バッチャープラントから、コンクリートを連続運搬し、コンクリート施工ロボットにより連続打設する。	・コンクリートの生産から打設までを連続システムで構築することにより、 ・バッチャプラント容量の小型化 ・施工能率の向上 ・設備の簡略化 が容易になる。 ・品質の向上	・連続生産から輸送打設にいたるプロセスの制御の高度化 ・締固め度のリアルタイム計測 ・信頼性の高い無線型データ通信技術	・センサで計測された締固め度を用いた施工管理技術	
堤体盛立	運搬（ダンプ）→まき出し（ブル）→転圧・締固度計測（ローラ）というプロセスを群制御により自動化する。	・作業の能率化が可能になる。 ・品質の向上	・締固め度等のリアルタイム計測 ・信頼性の高い無線型のデータ通信技術	・同　上	

定期点検等

堤　体	漏水量、揚圧力、変形等 堤体外観
放流施設	ゲート等
周辺地山	地すべり、斜面崩壊の状況等
貯水池	水質（濁度等）堆砂量

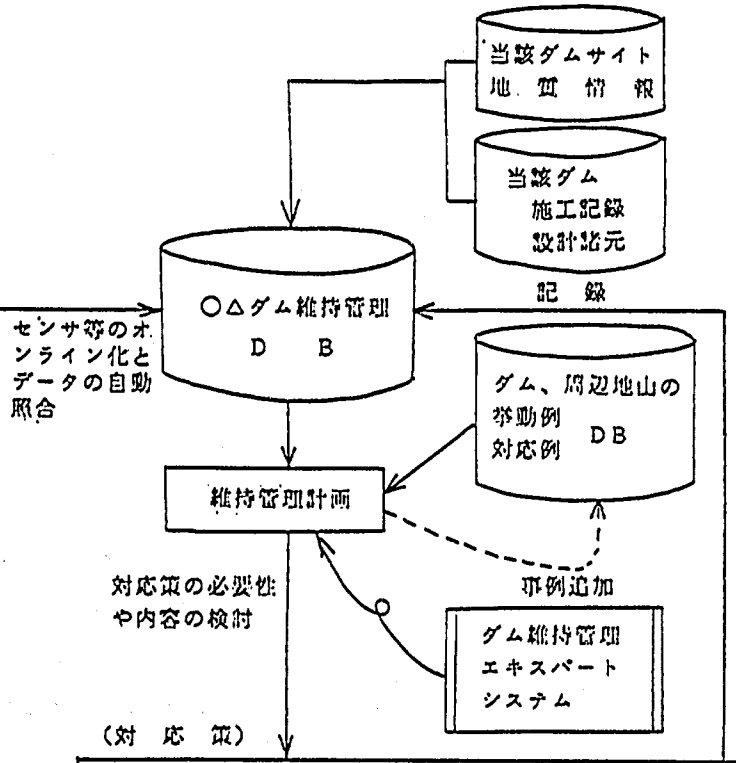
（点検機器）

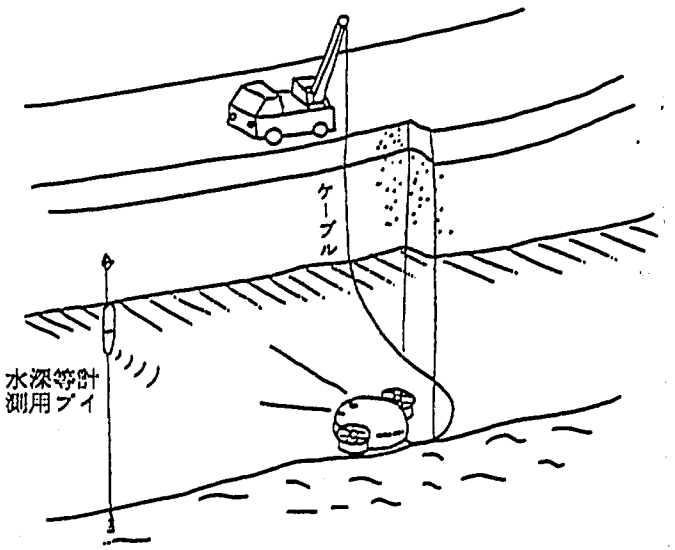
① 堤体内埋設センサ（リアルタイム計測）
漏水量、揚圧水等

② 堤体、放流施設等点検ロボット
堤体外観、ゲート本体や周辺の点検

③ 貯水池調査船（小型リモコン船やブイロボット）
水質データ
水深データ（堆砂量計測に利用）

④ 周辺地山調査
・地すべり計等のテレメータ化
・斜面崩壊状況（土砂生産状況）のリモートセンシングによる把握。





点検ロボット等のイメージ図

定期的維持管理作業	臨時（随時）対応策
（水質）・エアレーション、かくはんなど （堆砂）・前述の土工ロボットによる掘削・運搬 ・ポンプ浚渫ースラリー輸送 ・貯砂ダムによる流送土砂量の減少あるいは貯水池前での捕捉	・地すべり抑止策 ・ゲート補修 ・グラウトによる止水　等

図 6−3−6　ダムの維持管理に関する高度化システムの概念

表6−3−4　ダムの維持管理高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
維持管理情報の処理・管理	ダムの維持管理に必要なデータをできるだけリアルタイムに収集した上で、過去のデータ、他ダムの事例等との照合を自動的に行い、総合的判断を迅速に行えるシステムとする。	専門家不足への対処		・ダムの維持管理に必要なルールの蓄積 ・当該ダムに関する過去のデータの蓄積	
点検作業	・水面下で目視できないゲート部や堤体の目視等は水中カメラを持ったモニターロボットにより行う。 ・貯水池の水深、水温、水質等のデータは、各種センサ（超音波スキャナなど）と自己位置検出装置を積んだ小型ロボット船あるいは定置式のブイセンサにより定期的に収集される。 ・貯水池周辺の地すべり計等をテレメータによりオンライン化する。	・作業の安全性の向上 データを効率的に収集し、オンライン処理することによって迅速な処置が可能になる。	水中モニターロボット 各種センサ （水深、水温、濁度 BOD、COD等）	収集されたデータの処理・解析（解釈）・判定方法の確立	

3) トンネル建設の高度化システム

トンネル建設に関する高度化システムの概念として、ここでは図6－3－7～図6－3－14のようにイメージし、また、その高度化システムの検討に際してのポイントを表6－3－5～表6－3－7のように整理したが、以下にその内容を示す。

(a) 調査、計画、施工計画

都市部以外を対象とする場合、調査～施工計画に関する高度化システムはダム建設の場合とほぼ同じになると考えられる。一方、都市部においては、主に地下埋設物や土地権利関係等に関する調査の比重が大きくなる。土地権利関係については、地籍や固定資産データを地図情報システムとして整備しておき、それを利用することで作業の大巾な効率化が図られる。地下埋設物についてもデータベースの整備が不可欠であるが、データベースの脱漏もあり得るため最低限の現地調査は必要である。試掘は現道交通の阻害を引きおこすなど望ましくないので、地表から埋設物の位置を計測できるリモートセンサを利用することが考えられる。

(b) 施　工

(i) シールドタイプのトンネル

シールドタイプのトンネルは、比較的軟弱な地質を対象としていることから機械掘削方式であり、現在でも掘削から礎の排出、掘進方向の自動制御など、施工の一連作業のシステム化はかなり高いレベルにある。高度化されたシステムは、都市部での地下空間利用ニーズの高まりに答えるために、より大断面の掘削をより効率的に行い、切羽の監視の強化や裏込め管理水準の向上等を通じて、地上構造物等への影響を減少することを考えている。

(ii) 山岳トンネル

山岳トンネルの施工では、作業の安全性や技能工への依存度の高さが検討課題となっている。これは発破による掘削で火薬等を扱うこと、切羽を中心に落盤等の危険が大きいこと、狭い空間で多くの作業が交錯していること等によると考えられる。この高度化システムでは、切羽を中心として作業の無人化を進めるために、掘削方式は機械掘削を採用し、支保も機械化し易いセグメント方式としている。機械掘削は硬岩を対象とした場合、発破方式に比べ能率が落ちるものの、礎処理等も含めた一連の掘削作業の機械化が容易であることが採用の理由である。また、狭空間での作業の交錯を避けるため、同一の機械に掘削、礎排出、支保（セグメント組立）等の一連の機能を持たせている。

なお、山岳トンネル、シールドタイプトンネルとも、切羽前方の土質の変化に素早く対応するために、切羽前方の土質や岩質を掘削前に検知できることが自動化を進める上で重要なポイントとなっている。

(c) 維持管理

これまでのトンネルの維持管理は簡単な目視が中心であった。今後、トンネル延長が大巾に増大すること、トンネルは交通の要衝になっていることが多いこと等を考慮して、覆工背面の空隙検査や内空断面の変化計測などを行い予防的な維持管理を行うとしている。

また、トンネルの維持管理のポイントは、地山の地質状況等によって大きく変化すると考えられるので、地山の個性に応じた維持管理方式を確立するために、施工中に収集された地山の挙動等のデータを維持管理においても利用することとしている。

トンネル内の点検や簡単な補修は、まず現道交通等を阻害しないことが重要であると考え、イメージ図（図6－3－14）のようにトンネル内空形状に合ったフレームを有する点検・補修台車をイメージした。

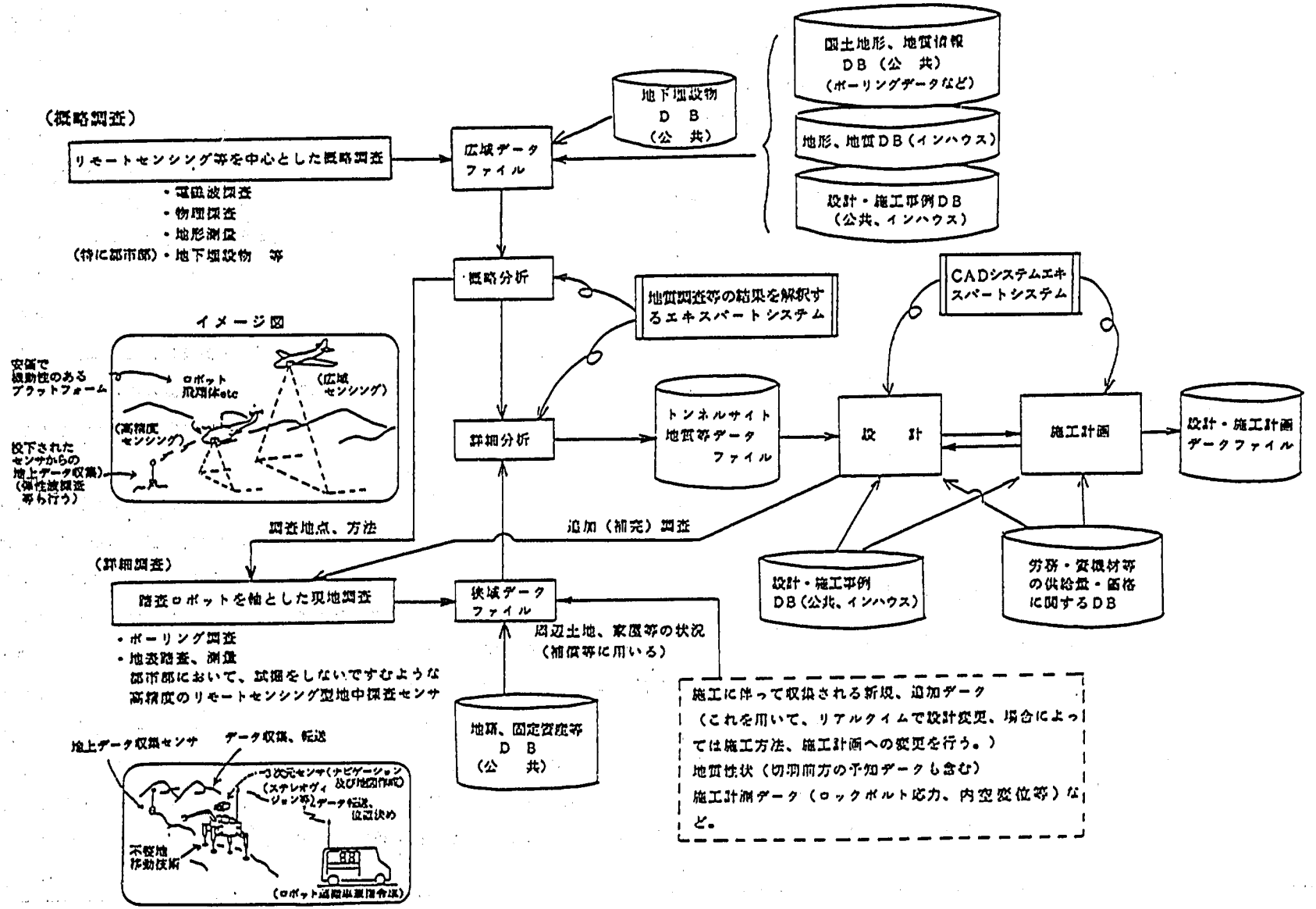


図 6−3−7　トンネル建設における調査〜施工計画の高度化システムの概念

表6−3−5 トンネル建設の調査～設計に関する高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
地質等調査（概略調査）	（都市部） ① 地下埋設物データベースや地下構造物施工事例、調査事例等のデータベースにより地質等の情報を入手する。 ・地質、土質、地下水位 ・地下埋設物 ・地形 ② 地下レーダー等のリモートセンシング技術により、上記データの得られていない地域を補完調査する。その結果、現場試掘等は必要最小限となる。（特に地下埋設物） （非都市部、特に山地部） ③ リモートセンシングを利用した概略調査 ・地質の概略把握（岩盤深さ、断層の有無） ・地下水位 ・地形データ その他、センサを投下することにより各種グランドトルースデータを収集する。 （例）GPSの干渉方式による地上基準の遠隔、自動設定など。 ④ トンネル予定地近くの施工事例等より上記情報を補完的に収集する。	現地調査をできるだけ少くすることにより、人件費の減少、作業の安全性、快適性の向上を図る。 さらに、調査時間の短縮、調査エリアの拡大を可能にする。 同　上	地下埋設物といった3次元情報の効率的な検索、修正、蓄積方法の開発（ソフト及びハード） リモートセンシング用センサの開発及びデータ処理手法の確立 リモートセンシング用あるいはセンサ投下＋データ収集用の安価なリモコンプラットフォーム （遠隔無人計測のできる安価なセンサとデータ伝達装置）	以下のようなデータについてデータフォーマット等の統一化とデータ整備の推進 ・地下埋設物 ・施工事例とそれによって明らかになった地質データ ・地質調査事例データ（ボーリングデータ等）	

表6−3−5（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
（詳細調査）	（都市部） ① 自動化ボーリング等により、詳細地質・地形調査などが効率化される。 ② 地籍データや固定資産データがデータベース化され、補償や用地買収のための調査が大巾に効率化される。（非都市部、特に山地部）	作業の効率化	自動化ボーリングなど		
	（非都市部、特に山地部） ③ 不整地走行の可能なロボットを利用し現地への調査用資機材の搬入、掘付、計測を機械化する。 ④ リモートセンシング型の高精度地中探査センサにより、地下埋設物の位置計測が行われ、試掘が不用になる。	・危険・苦渋作業の減少 ・調査時間短縮 ・調査エリア拡大	・不整地走行が可能なロボット ・自動ボーリングマシンの開発 ・ロボットのナビゲーション技術 （障害物回避 位置決め等） ・高精度地中探査センサ		・現地踏査の機械化は他の多くの工種に適用できる。 ・障害物検知のためのセンサ技術と障害物を認知するためのソフト開発が、キーテクノロジーと考えられる。

表6−3−5（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
地質調査データの解析	・リモートセンシングや、現地踏査データに対して、エキスパートシステムを利用して総合的に評価し、地質構造等を推定する。 その結果は、3次元データよりなるデータベース（トンネルサイト地質情報DB）として、保存される。 ・上記データベースは、施工の進展に伴って更新されていく。	・より多種のデークより、合理的、総合的に判断できる。 ・施工に伴って明らかになった地質情報により、デークが順次更新されていく。 このダイナミックな過程が効率化される。	3次元デークの処理技術の向上 （処理速度 処理精度）	地質データ解釈のためのルール蓄積（知識ベースの整備）	
設　計	トンネルサイトの地形・地質情報、地下埋設物等の障害物情報からなる3次元データのデータベース上でCADを行うことによって迅速かつ精度の高い設計が行える。特に施工に伴って新たに入手されるデータをもとに迅速な設計変更を行える。	施工に伴う条件の変化に迅速に対応しながら、より最適な設計（工法選定も含む）が行える。	3次元データを効率よく扱えるＣＡＤシステム	設計における経験的判断を支援するためのプロダクションルールの蓄積が必要	設計変更をより迅速に行いうるために発注ー受注関係等の検討が必要と考えられる。

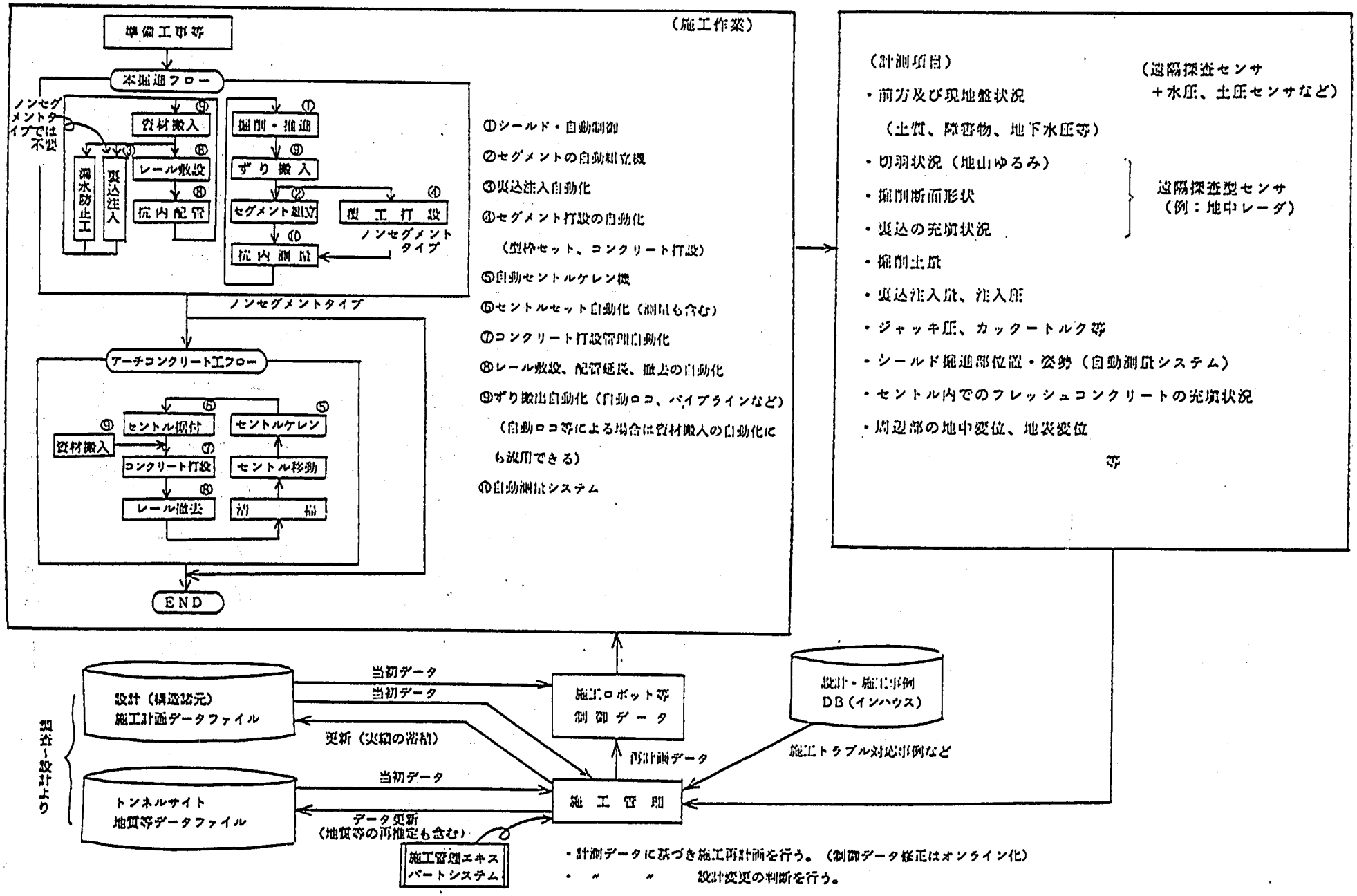


図 6-3-8　シールドトンネル施工の高度化システムの概念

ほとんどの一次覆工作業が自動化され、一貫施工システムを構成している。人間は中央制御盤において作業状況を確認する程度でよい。

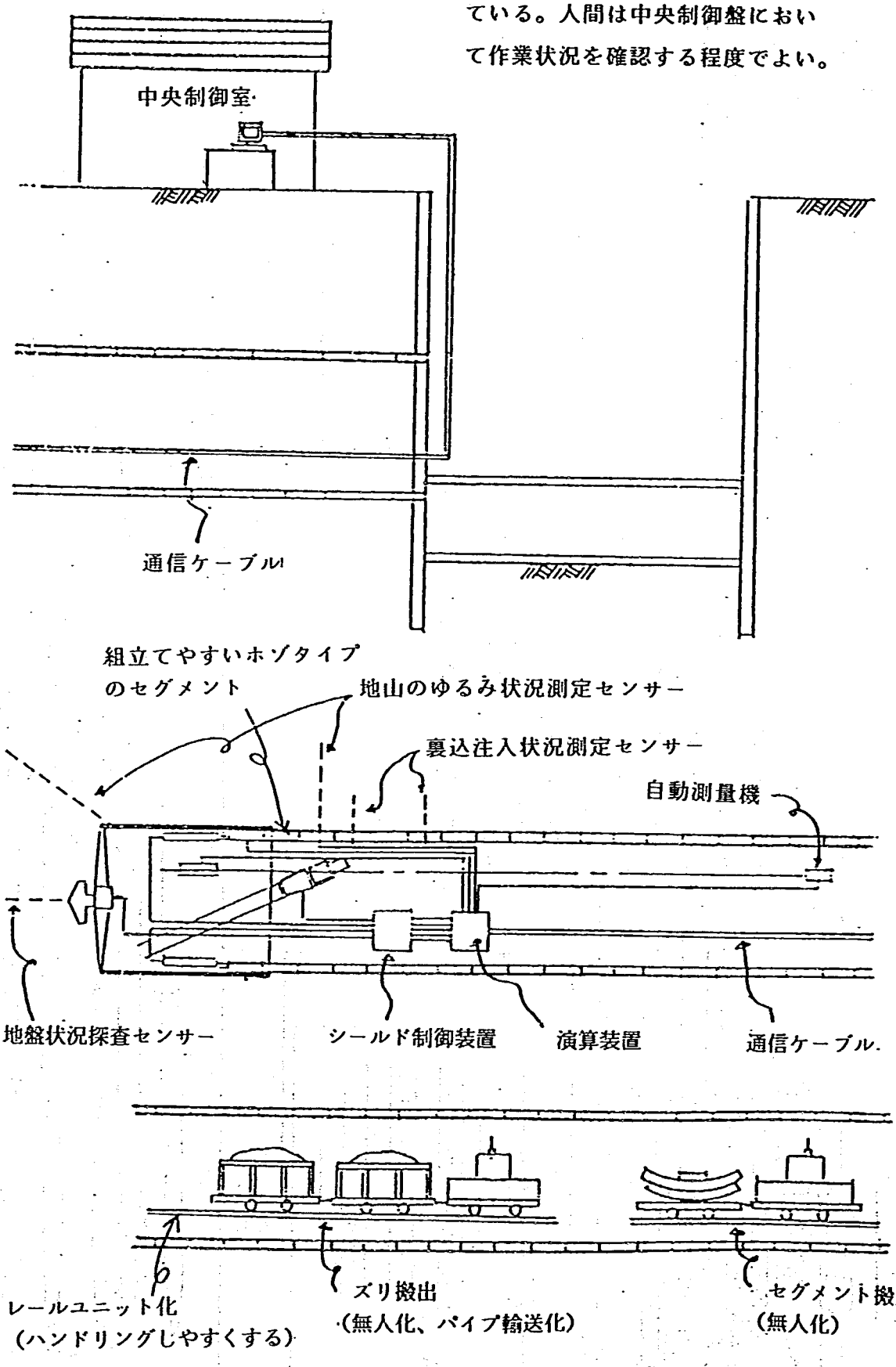


図6-3-9　シールドトンネル施工のイメージ

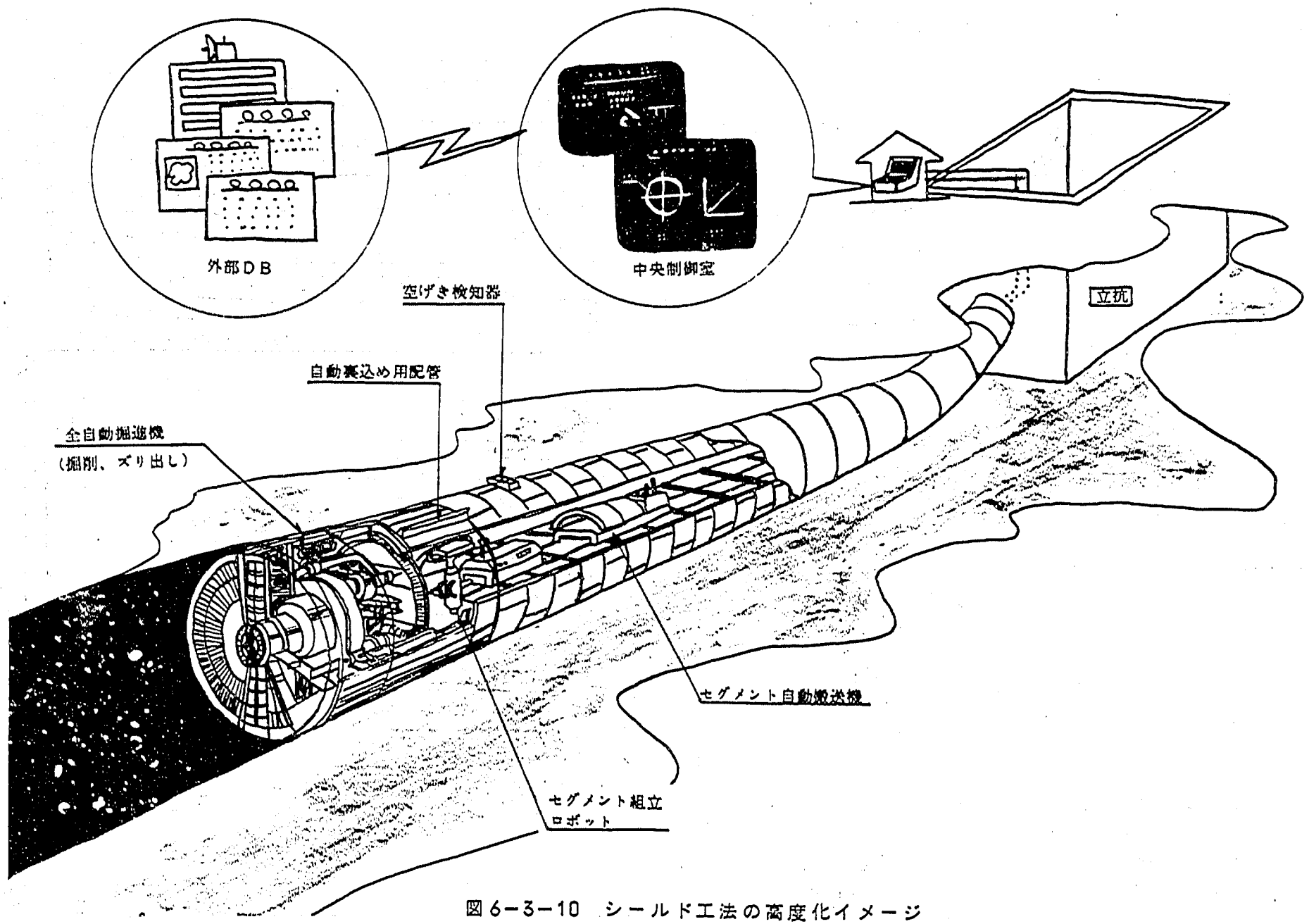


図６−３−10　シールド工法の高度化イメージ

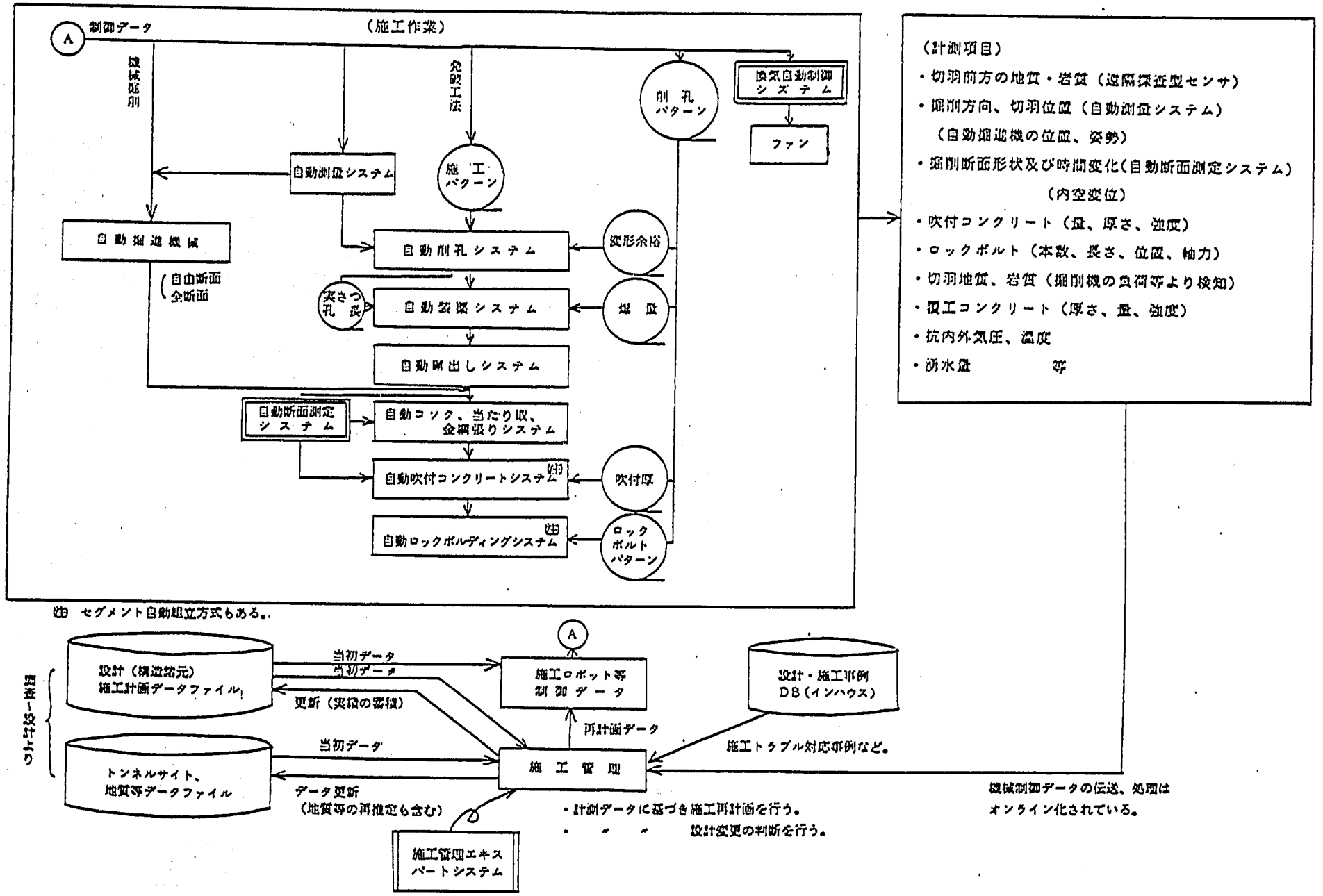


図 6−3−11　山岳トンネル施工の高度化システムの概念

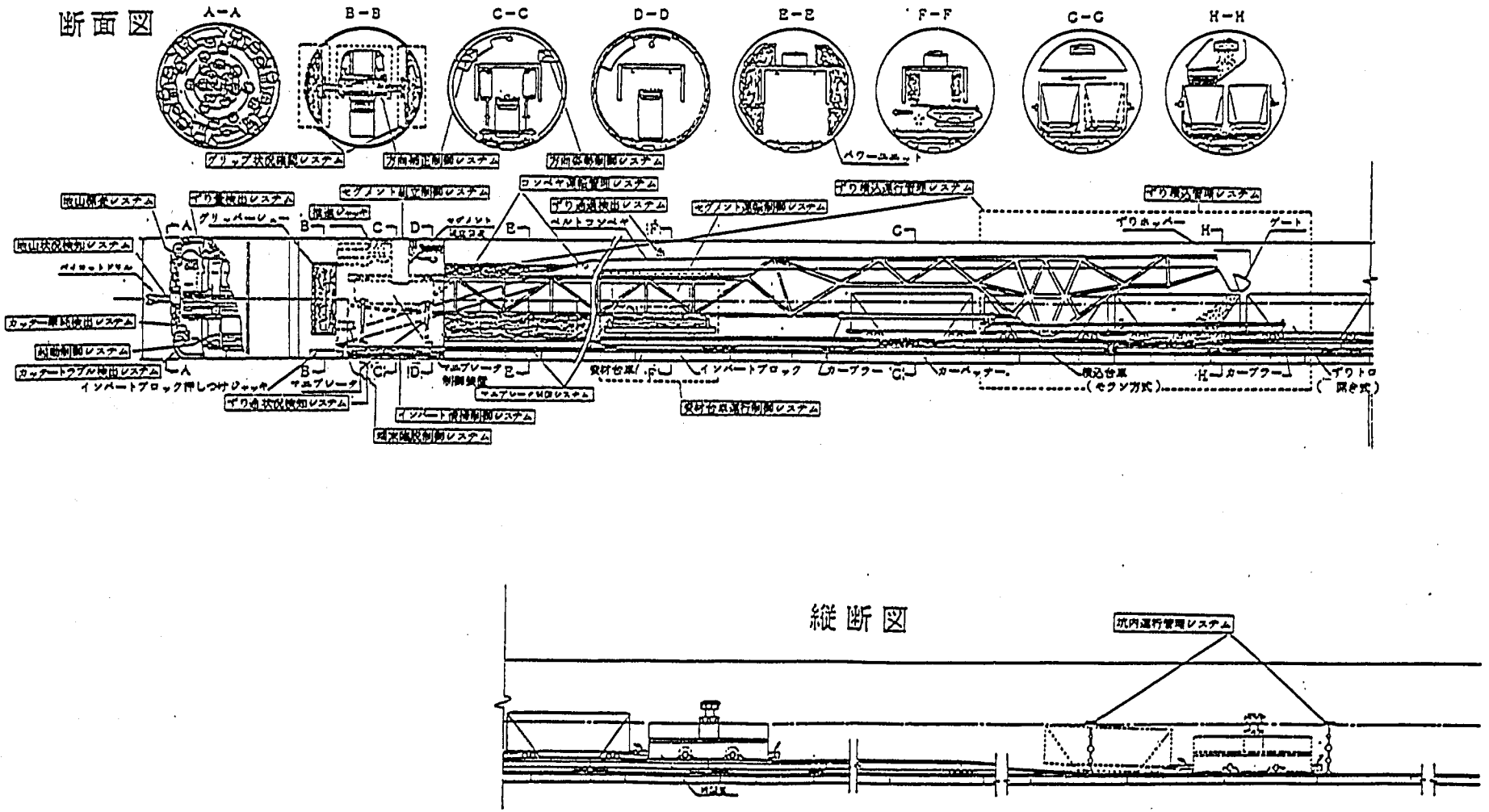


図 6−3−12　山岳トンネルの全自動全断面型掘削機システム概念図

表6−3−6　トンネル施工の高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
施　工 （シールドタイプトンネル）	以下のような機能を備えたシールド型の掘削から二次覆工まで、ほとんど自動化される。 トンネル建設ロボット群によって、人間は地上の管制室で必要な時に指示を出すだけでよい。 （計測関連） ・掘進前方の土質変化や、大玉石、障害物の有無の事前検知 ・センサにより切羽の状況（地山のゆるみ等）や裏込の充填状況を把握できる。 ・ジャッキ圧、カッタートルク、掘削土量等の自動計測 ・シールド、掘進部の位置、姿勢自動計測等 （制御） ・上述のデータ等をもとに自動掘進や自動化裏込注入等の制御を行う。 （その他作業の自動化） ・セグメントの搬入、組立の自動化 ・セントルのセット、コンクリート打設、脱型の自動化[2]（2次覆工やノンセグメント方式）（場所打ち） ・ずり搬出の自動化[1] （自動ロコあるいはパイプライン輸送）	・トンネル内作業等の安全性の向上 ・余掘りの減少や人員削減等による効率性の向上 ・環境対策の強化 （周辺構造物への影響の減少）	・前方地質の遠隔探査センサ ・切羽状況（掘削断面や地山ゆるみ）の遠隔探査センサ ・掘削土量計測技術 ・自動測量システム （精度、信頼性向上） ・自動セグメント組立機 ・自動測量システム ・セントルケレン、はくり剤塗付、脱型等の自動化技術 ・自動コロ、小型クラッシング装置	・セグメント形状の変更 ボルト結合→ピン結合 ・ファイバーコンクリート等の利用によりセグメント重量の軽減を図る。	1）制御しやすさやレール敷設の手間、作業空間の有効利用を考えるパイプライン型が有利である。しかし、配管延長の自動化はやや困難であろう。なお、パイプラインより吐出されるずり泥り泥水の処理も課題と考えられる。 2）セグメント方式はセグメントの輸送搬入、組立（特に曲線部の異形セグメントの扱い）にデメリットがあるが、品質は保証されている。 一方、ノンセグメント方式は搬入（パイプライン）が容易で、裏込めも必要なく自動打設も可能であるが、打設コンの品質によっては落盤の可能性がある。そのため、沖積層土丹層ではセグメントタイプが、また、洪積層ではノンセグメントタイプが有利と考えられる。

表6−3−6（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
	・配管、配線、枕木レール等の自動延長（自動敷設）		・特に配管、レール敷設の自動化	・管形状や結合方式の変更 ・レール、枕木のユニット化	
施　工 （山岳トンネル）	以下のような機能を持つ掘削、支保等のロボット（群）によって、作業の安全性のための自動化がなされる。掘削方式は機械掘削としているが、参考として発破工法によるものもあげる。	・作業の安全性の向上により労働災害が大巾に減少する。 ・掘削精度が向上することによって余掘り量等が減少し、効率性が向上する。 ・地山ゆるみの減少や覆工厚等の管理精度向上が可能になり、トンネルの耐久性が向上する。			発破工法は特に硬岩掘削能力に秀れているが、機械掘削よりも自動化のための課題が多く、環境対策上の配慮が必要となる。 機械掘削工法は自動化が容易である反面掘削適用岩質が限られるため、より適用範囲の広い掘削方式の開発が鍵となる。（補助工法も含む。）
	1. 発破工法（参考） 自動さつ孔システム		・さつ孔機（ロボット本体の位置検出装置（自動化システム）		・実用精度、さつ孔トラブルへの対処
			・重作業用ロボットマニピュレータ（センサー機構の精度、耐久性、特に湿度、温度、粉塵）		・さつ孔開始時ノミの滑りによる孔位置のズレ
			・切羽状況検出システム（油圧のみ下り回転数等による判定）		
	自動装薬システム		・さつ孔、装薬同時併行作業の出来る火薬 ・結線不要の発破方式		・結線、親ダイ無線発破の安全性と確実性（100％の信頼性）が必要とされる。
	碍の自動積込システム		位置検出碍取り範囲 碍位置の確認システム		
	碍の運搬システム		積込み位置検知システム等		碍取りまで全自動化するためには、かなり高度なロボット制御技術とセンサー技術が必要。

表6−3−6（続き）

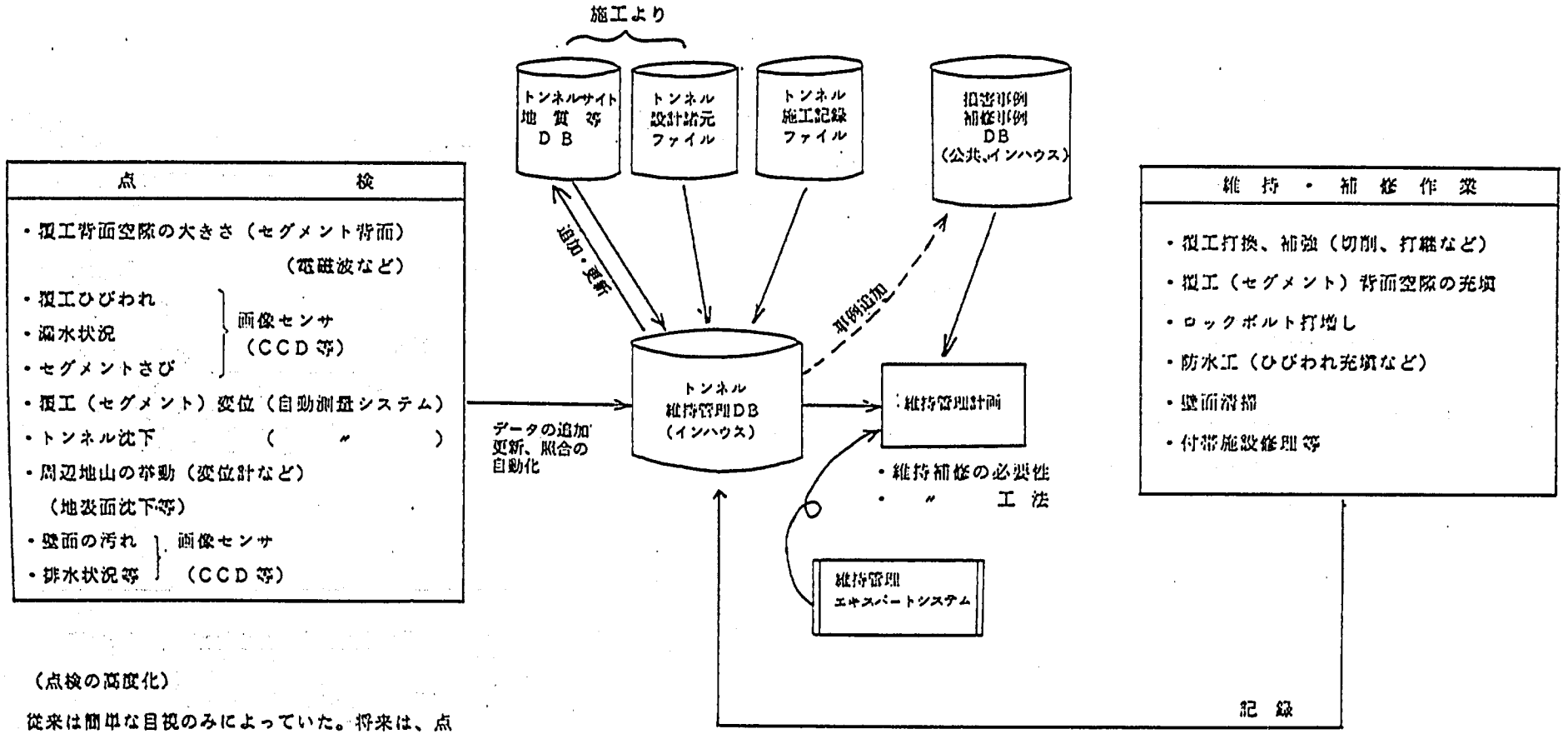
項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
	（支保） ・支保工建込用マニピュレータ（ボルト締結、クイロット取付、金網セット等） ・自動吹付コンクリートシステム		・トンネル位置と掘削断面形状の検知		・常に変化している岩盤（吹付面）に対して吹付を制御する必要がある（一瞬時に判断、行動することが必要）。
	・ロックボルト自動セットシステム（さつ孔、接着剤注入、ボルト打込）		・吹付コンクリート厚や吹付面状況の検知判断		
	（覆工） ・トンネル壁面自動計測システム（湧水等） ・シート自動張り装置 ・セントル移動セット自動装置 ・ケレン、ハクリ剤塗布自動装置 以上の連続打設スライディングフォームシステム		・トンネル断面の形状計測 ・コンクリート打設、巻厚検測装置、最終打設検出（打設量、打設速度検出）		
	（その他） ・配管、配線自動延長 ・システム（制御）自動化		延長の自動化に対応した管路やジョイントの構造		
	2. 機械掘削工法 自動掘削システム（自由断面掘削タイプ）		・掘削断面形状検知 ・位置検知 ・地質状況検出（湧水含む）形状に合わせたブームの動き（マニピュレータ）（回転数トルク送り切り込み深さ）の制御		・均一な地山が少い（切羽の自立、天端の不安定さに対する処置が必要（補助工法まで自動化は困難）。 ・幅広い岩質で適用でき、かつ効率的に掘削できるカッターが必要。

表6−3−6（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
	自動掘削システム（全断面掘削タイプ）		・効率の良い掘取り機構 ・　〃　運搬車への掘積み機構 ・残層検出	自動化	・掘削の自動管理には、現在の人間の熟練に匹適するデータが必要。 地山特性にあった最適掘削管理…スラスト圧、回転トルク等
			位置（高さ、距離）及び方向検出、方向制御 地質（切羽前）の状況検出 掘進状況（カッター消耗ローリング等）の検出 カッター交換の自動化機構 掘削検出検知システム（カッターに掘がつまっていないか） 掘積込装置（自動）	掘削能力向上のための補助工法（Water Jetなど）の開発	・均一な地山が少い ・掘削対応地質の幅が狭い。 ・前方の地質検知（硬軟等）が必要 ・現状の機械ではカッター交換が人力で行われている。（自動化が困難な機構と考えられる）
	支保ライニング（発破工法と同じ）				
	セグメント自動組立 （搬入設備（坑道、エレクター） 組立（エレクター） 裏込め）			セグメントのような、従来と全く異った支保方式に対する設計方法、施工方法の確立	従来のボルト締結のタイプは自動化しにくい。 シールトのセグメントとは組立方法、形態を異にした組立易い方法を考える必要がある。
	掘運搬（スラクー輸送）		・掘送り量の検出と定量送り ・掘形状の検出と定量送り ・圧送距離、圧力、流量検出 ・管路自動延長		小型のクラッシング装置が必要

表6−3−6（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
施工管理	自動測量システムなど、種々のデータを直ちに処理、解析し、掘削関連機械群の制御データとしてフィードバックできる。 同時に施工計画の変更や設計の変更を迅速に行える。	施工段階での不確実性を減少させることによって、コストダウンや工期短縮を図る。	・情報ネットワーク（施工現場内外）の信頼性向上	施工事例の集積による管理のルール化（知識ベースの構築）	



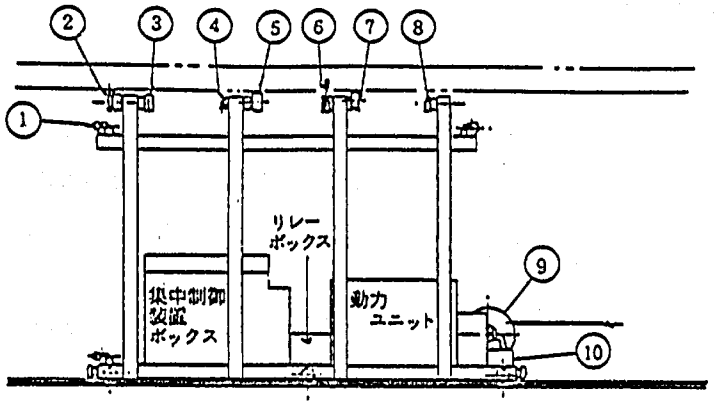
（点検の高度化）

従来は簡単な目視のみによっていた。将来は、点検（補修）用移動台車等に各種センサを搭載し、より精度の高い情報を現道交通を阻害することなく収集する。

（維持・補修作業の高度化）

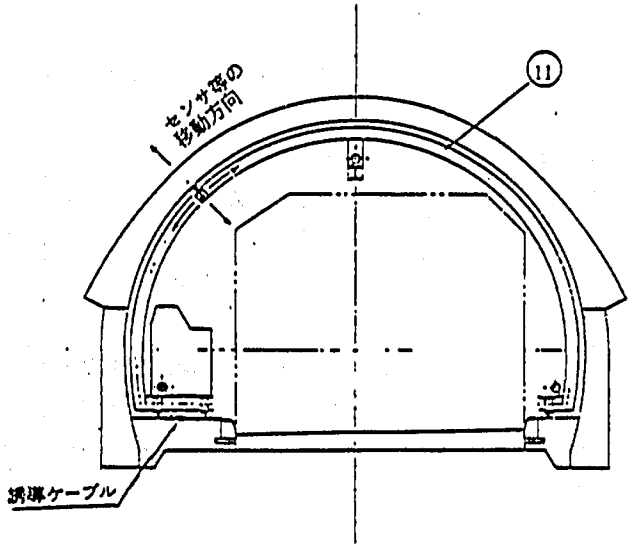
補修用移動台車等にコンクリート切削用ヘッダー等を搭載し、現道交通の阻害を最小限度にとどめて、補修を行う。

図 6－3－13　トンネルの維持管理システムの概念

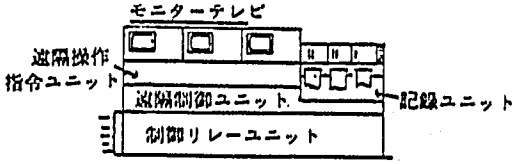


① 照明燈
② 形状位置センサ[1)]
③ 弾性波発振装置組込ＣＣＤカメラ
④ シュミットハンマー
⑤ スクレパー又はブレーカ
⑥ 注入吹付機
⑦ ブラシ
⑧ 弾性波発振装置組込ＣＣＤカメラ
⑨ ケーブルリール
⑩ 走行装置
⑪ システムフレーム

1）システムフレームの位置及びシステムフレームと覆工までの距離を計測。



隧道外コントロール装置．



1. 長大トンネル等については点検・補修車とその軌道を専用化できる。一般トンネルについては、軽量化を図り、さらにシステムフレームを伸縮・折りたたみ可能な構造とする。専用運搬車で対象トンネルへ運搬し、到着後はフレームを伸ばすことで、すぐに点検・補修等を行える。
2. センサ等については、使用目的に応じて脱着する。
3. 補修使用時は、フレームに防護カバーをはり、切削粉等は、ダクトで吸引し、飛散を防ぐ。

図 6−3−14　トンネル点検・補修車イメージ

表6−3−7　トンネルの維持管理に関する高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
維持管理（点検作業）	点検用自走台車、もしくは点検車（通常の車輌にセンサ等をとりつけたもの）により点検を行う。そのため現道交通の障害を生じない。 また、台車や点検車に設置された各種センサにより目視では得られない情報を得ることができる。 （点検項目） ・覆工厚、背面空げきの有無 ・覆工のひびわれ　・セグメントのさび ・覆工変位　・漏水状況 ・壁面のよごれ　・排水状況　等	・作業の安全性の向上 ・現道利用者の快適性や利便性の向上 ・点検作業の効率化 ・トンネルのライフスパンの向上（より適切な予防的メンテナンス）	トンネル点検補修用移動台車（イメージ図参照） ・電磁波等による覆工厚計測センサー ・レーザー等による自動測量システム ・高解像度画像センサ（赤外可視光） ・コンクリート劣化部分の検知システム（広さ、深さ）		道路トンネルを中心に考える。 移動台車の通過を容易にするために内空面に突出する障害物を減少させる。 特に地山特性から問題のあるトンネルは埋設センサーの利用など、トンネルの状況によりメンテナンスレベルはかなり異なる
（補修作業）	補修用自走台車にコンクリート切削機や吹付機等を目的に応じて装置することにより、現道交通への障害を最小に抑えることができる。さらに作業も自動化されることにより、危険作業（高所作業現道上作業）が減少し精度向上も図られる。 （補修作業等の例） ・覆工の打換切削、オーバレイ ・覆工背面の空げきの充填 ・漏水防止（ひびわれ注入など） ・清掃（壁面、排水工） ・付帯設備修理、交換　等	・作業の安全性の向上 ・現道利用車の快適性、利便性向上 ・補修作業の効率化、高精度化	・補修用自走台車 ・補修状況の検知センサ（切削量の計測など） ・コンクリート切削カッタ等を操作するマニピュレーター		突出部分の少ない内空面 （台車の移動し易さ 清掃のし易さ　等）
維持管理情報の処理・管理	トンネルの維持管理に必要なデータをできるだけリアルタイムに収集した上で過去のデータ、他トンネルの事例等と照合を自動的に行い総合的判断を迅速に行えるシステムとする。	トンネルの安全性の向上 専門家不足への対処		・トンネルの維持管理に必要なルールの蓄積 ・当該トンネルに関する過去のデータの蓄積	

4) 土留掘削の高度化システム

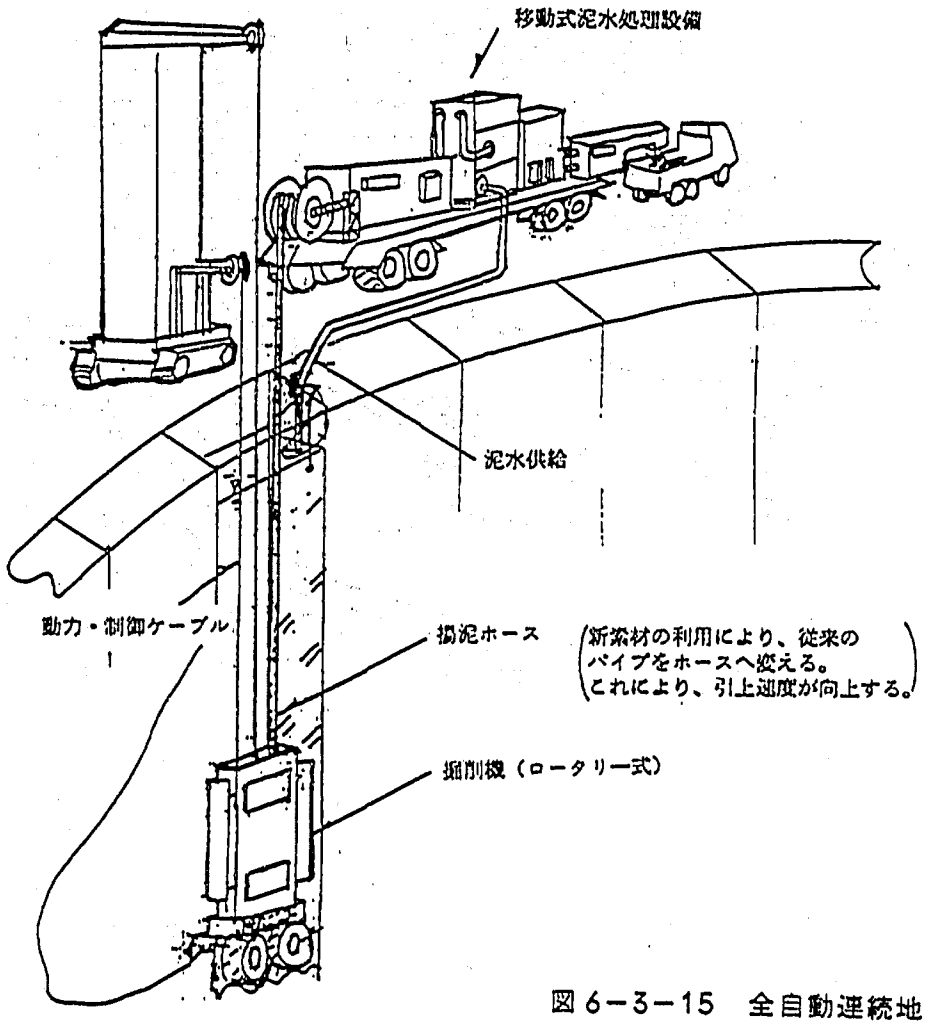
土留掘削については、施工段階のみに対する高度化システムをイメージした。

土留掘削は、都市部等において地下空間を高度利用するために不可欠の技術であり、今後はますます大深度の掘削が増えてくることが予想される。従来よく用いられてきた矢板等による土留は、剛性が低いことから切梁等を設ける必要があり、これが土留内の作業にとって大きな障害物となっている。すなわち、切梁等の障害物を避けながら機械等による土留内の掘削作業を行うことは非常に困難である。また、矢板等による土留は、大深度に適用する場合安全性等の面で問題がある。

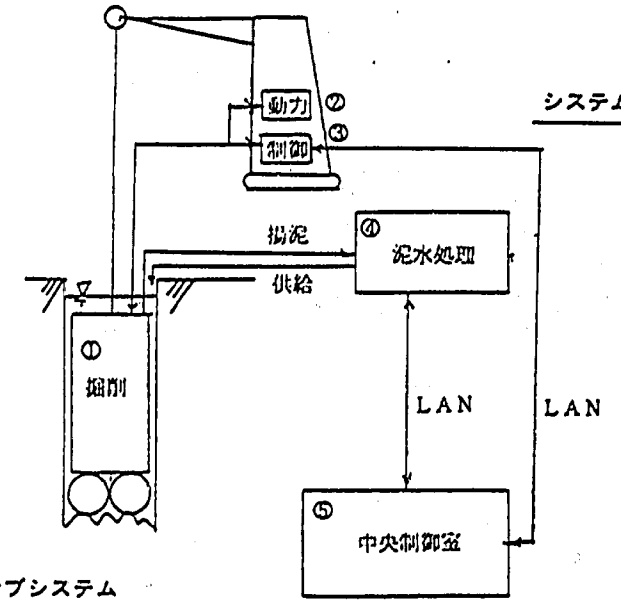
したがって、システムの高度化を図るにあたっては、剛性が高く、土留内の空間から切梁等の障害物を排除できる土留構造を考えている。剛性の高い土留としては、連続地中壁によるもの（図6－3－15参照）やセグメント組立によるもの等がある。連続地中壁とは、地中にコンクリート壁を直接築造する技術であり、現在でも多くの施工実績がある。こうした剛性の高い土留を採用することによって、土留内の掘削作業を図6－3－16に示すように単純化することが可能となり、掘削作業のロボット化にあたって切梁回避の自動化等の困難を避けることができる。

一方、連続地中壁等の剛性の高い土留壁は工費の点で不利であるため、土留壁を本体構造物の基礎の一部としても利用することが考えられる。そのためには構造物の基礎等に関する設計の考え方を見直しする必要が生じると思われる。

システム概要：本体構造物を兼ねた連続地中壁の施工を全自動で行う
システムである。その内の掘削システムを示す。



システム系統図



掘削管理サブシステム

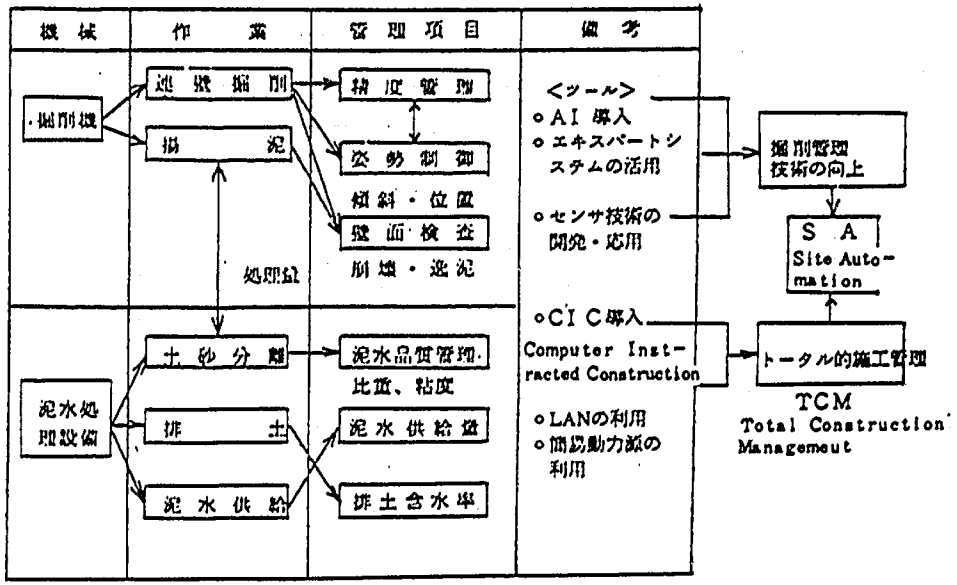
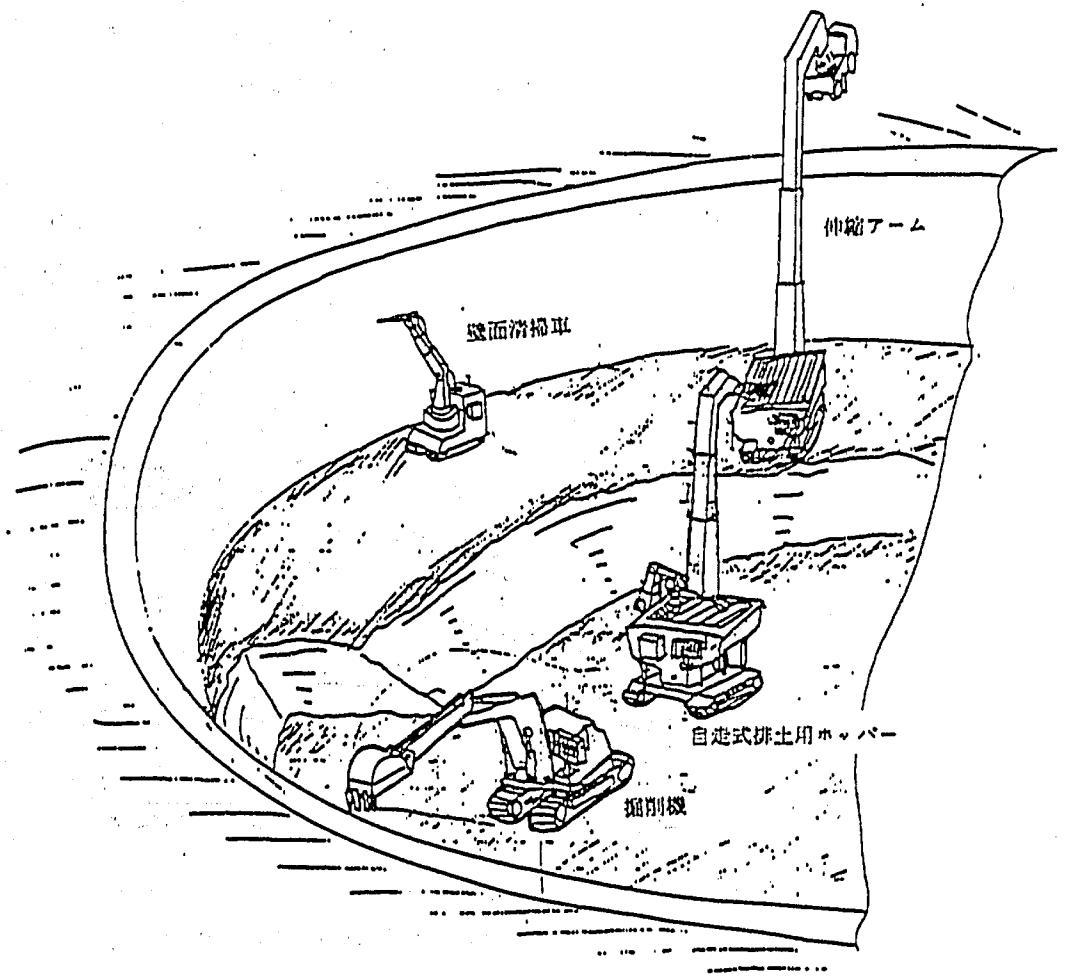


図 6−3−15　全自動連続地中壁施工システムの概念図

システム概要：壁内の掘削は、バックホウタイプの無人掘削機によって行われ、同じく無人、自走式排土ホッパーによって連続排出される。



SAシステム図
(Site Automation)

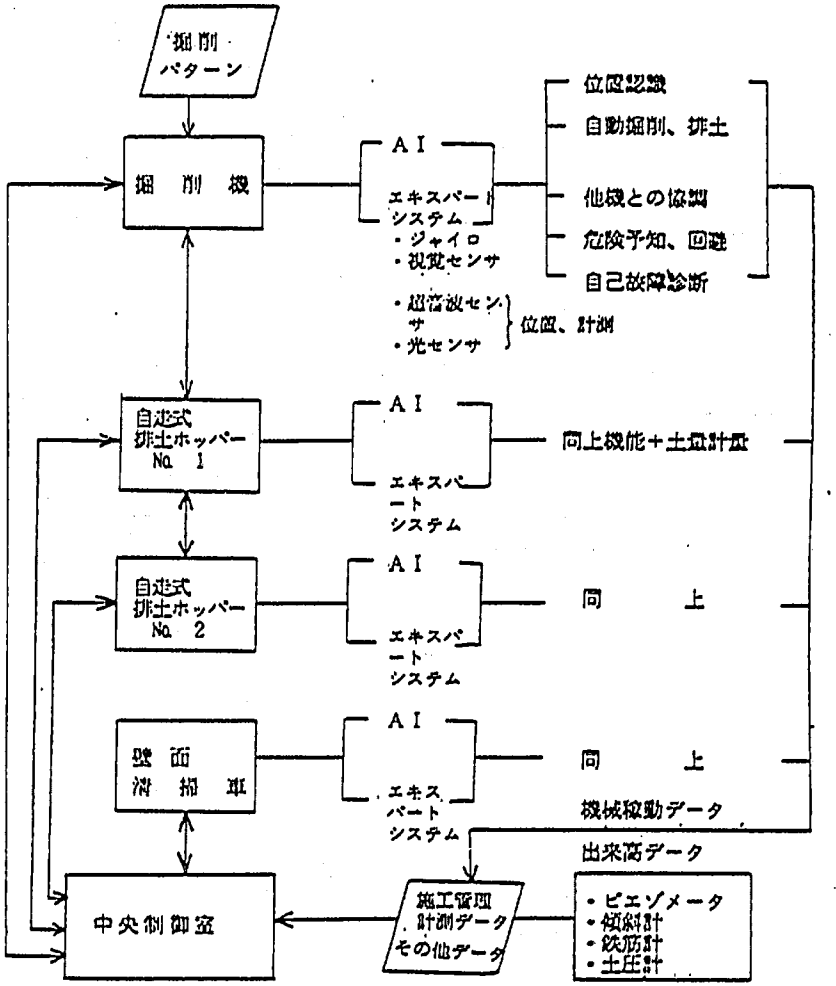


図 6−3−16　連壁内自動掘削・排土システムの概念図

表6−3−8　土留掘削の高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
情報管理	土留壁への土圧や土留壁応力、変位、間隙水圧等の現場計測データに基づいて、土留壁の安全性判定が合理的に行える。その結果、土留の設計の合理化や施工作業の効率化が可能になる。 土留壁の安全性判定においては、これまでの土留掘削における計測事例ＤＢや、それらから導き出された判定ルールが重要な役割を果す。	作業の安全性向上 設計の合理化 施工作業の効率化		・土留掘削に関する事例の集積 ・判定ルールの蓄積	
施工作業	連続地中壁やセグメントによる土留壁（掘削断面が小さい場合）を現在より高精度で構築することにより大深度掘削が可能になる。また、これらの土留壁は剛性が高いことから、内部空間に障害物が少ない。そのため掘削作業を自動化するのが可能となり、作業の効率性、安全性が向上する。	・土留内掘削、切梁等設置等の安全性の向上 ・土留壁の減少、剛性やその築造精度が高いため、大深度掘削が可能になる。 ・施工効率の向上		連続地中壁等を本体構造物として利用するための基準の整備	鋼矢板や親杭方式による土留壁はそれ自体安価であるものの、掘削深度が大きくなると、多段切梁等が必要となることから、それらが障害となり、内部の掘削の自動化を図ることが極めて困難である。そのため、ここでは剛性が高く、切梁等の必要性の低い土留方式をイメージしている。 しかし、これらの土留壁は仮設構造物としては高価であるので、本体構造物としても利用することが前提と考えられる。
	（大規模土留壁） □全自動連続地中壁施工システム ・掘削機の位置、傾き制御の高精度化→掘削精度向上 ・壁面検査（掘削断面計測）を掘削中に行えるようにし、効率を上げる。 ・泥水品質の自動計測と泥水調合システムの自動化		・掘削機の姿勢、位置計測（高精度化） ・壁面崩壊等の検知センサ（掘削断面計測） ・鉄筋自動組立システム	・より剛性の高い連壁間ジョイントの開発	泥水中のため一般に高精度計測は困難ではない。

表6-3-8（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
	・鉄筋の自動組立と組立プラントからの直接建込み			・スライム等検知システム（打設コンクリートの品質向上）	
	□全自動掘削システム ・掘削パターンを記憶して無人掘削機が自動掘削する			・泥水品質測定内センサー ・全自動掘削機 ・全自動揚土システム（位置決め、対象物の認識、障害物回避）	
	（小規模大深度） □セグメントによる土留壁築造 ・セグメントを組立てることにより土圧ト水圧に対処する。		セグメント自動組立機	自動組立をし易いセグメント形状	・地下埋設物が存在する箇所では切廻し撤去が必要
	□自動掘削システム ・回転カッター又はバスケットによる自動掘削 ・パイプ輸送による揚土		・縦型シールドによる掘削揚土システムの自動化（軟弱地盤・湧水地盤では前面を密閉型とする） ・高揚程の揚土システム		

5) 海洋構造物建設の高度化システム

海洋構造物の建設に関する高度化システムの概念として、ここでは図6－3－17～図6－3－24のようにイメージし、また、その高度化システムの検討にあたってのポイントを表6－3－9～表6－3－11のように整理した。なお、ここでは検討対象を水深数十メートル程度の海域としている。

(a) 調査、設計、施工計画

海洋は非常に広大であり、建設計画の策定にあたって収集すべきデータの種類も気象、海象等多岐にわたる。また、陸上と異なり現象の変化が速いため、多くの地点で同時に観測等を行う必要性が高い。このようなことから海洋構造物の建設にあたっての調査は、衛星リモートセンシング等のエレクトロニクス技術を活用することが考えられる。また、設計や施工計画の立案にあたってもこれらの多様なデータを有効に使うためのデータベース化、データベースと連結されたＣＡＤシステム、あるいは大規模なシミュレーション機能等が必要とされる。

概念図（図6－3－18，図6－3－19）では、特に以下の2点を高度化のポイントとしてあげている。

① 衛星や航空機等による広域・同時データ収集と調査船やブイロボット等による詳細な点的データ収集との組合せ

② 各種センサの高精度化

(例) 海底地形の面的測深スキャナー

位置決めセンサ

流況センサ（ドップラーセンサ）等

(b) 施　工

海洋における施工作業は、浅海域とは言え堅固な足場の確保が難しいことや水中作業が避けられない等の理由から、陸上作業に比べより高度な技術を要求される。また海洋では施工に伴う種々の汚濁等が発生・拡散し易く、環境対策上の配慮が必要である。

水中での動力の発生が困難であることに加え、水中への動力の供給あるいは情報の伝達のためのケーブルが必要とされること等を考慮すると、水中作業等のロボット化を大規模に進めることは難しいと考えられる。そこで、以下のような高度化システムの方向をまとめ、その具体例として高度化システム概念を図6－3－20，図6－3－22のようにイメージした。

(i) 施工作業の困難さに対する対応の方向

・特に位置決めや姿勢の保持が困難なので、ＳＥＰ（Self Elevating Platform）

やシステム化した施工船により足場の安定化を図る。

・構造物をユニット化、プレハブ化し、現場作業を簡易化、単純化する。特に水中作業を減少させる。

・構造物のユニット化に合わせた設計思想、基準を取り入れる。

(ii) 施工時における環境対策の方向

・現場での作業量そのものを減少させ、汚濁等の総量を減らす。

・施工法を環境への影響の少ないものとする。

(例) ユニット構造物の現地組立施工

密閉型施工（イメージ図参照）

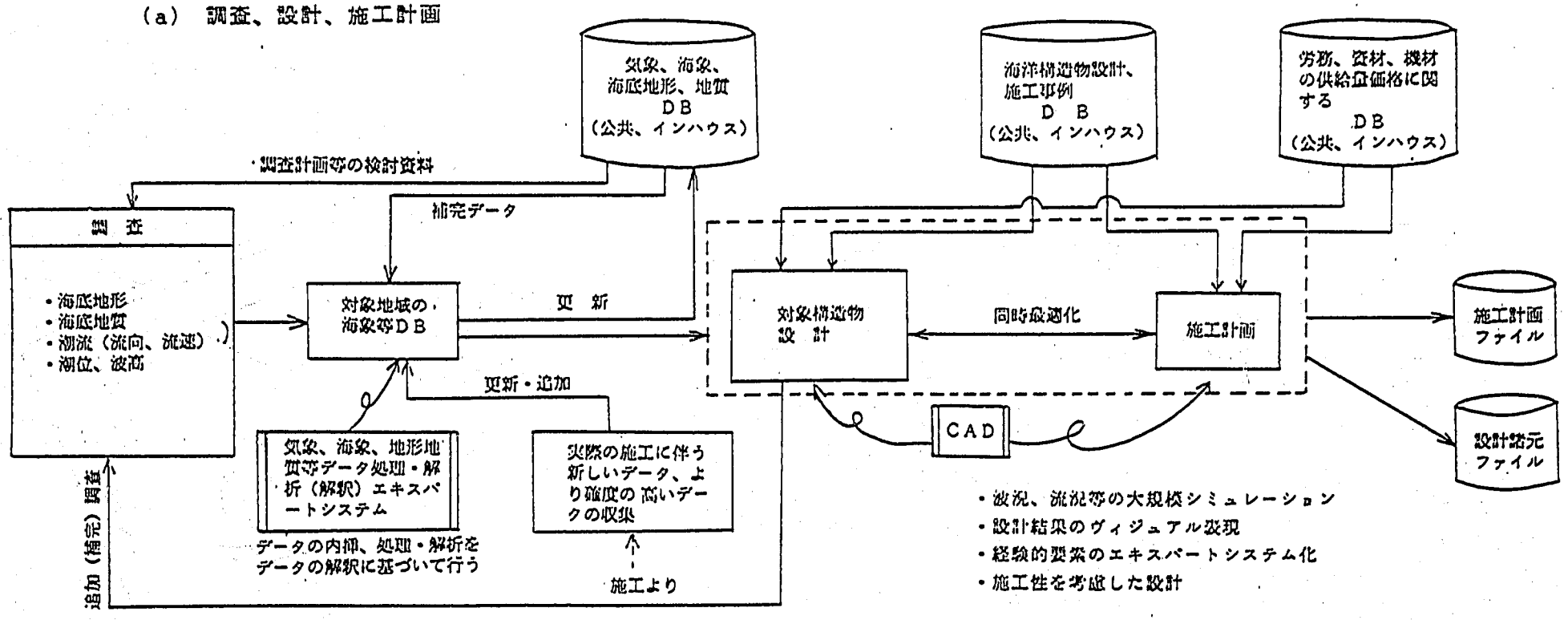
・施工による環境影響の予測手法の開発

(c) 維持管理

維持管理についても、現場作業をできるだけ減少させる方向で高度化を検討した。

まず、施工においても構造物のユニット化を提案しているが、維持管理段階においても各ユニットごとの交換、補修を可能としておくことによって現場での補修作業等を最小化することができる。点検作業等は遠隔操作型の小型ロボット等により行うことができる。

また、全ての維持管理の関連作業を機械化することは困難が伴うと考えられることから、人間の水中作業の安全化、快適化を図るための技術開発、たとえば大気圧潜水服の改良等も必要であると考えられる。



（調査の高度化）

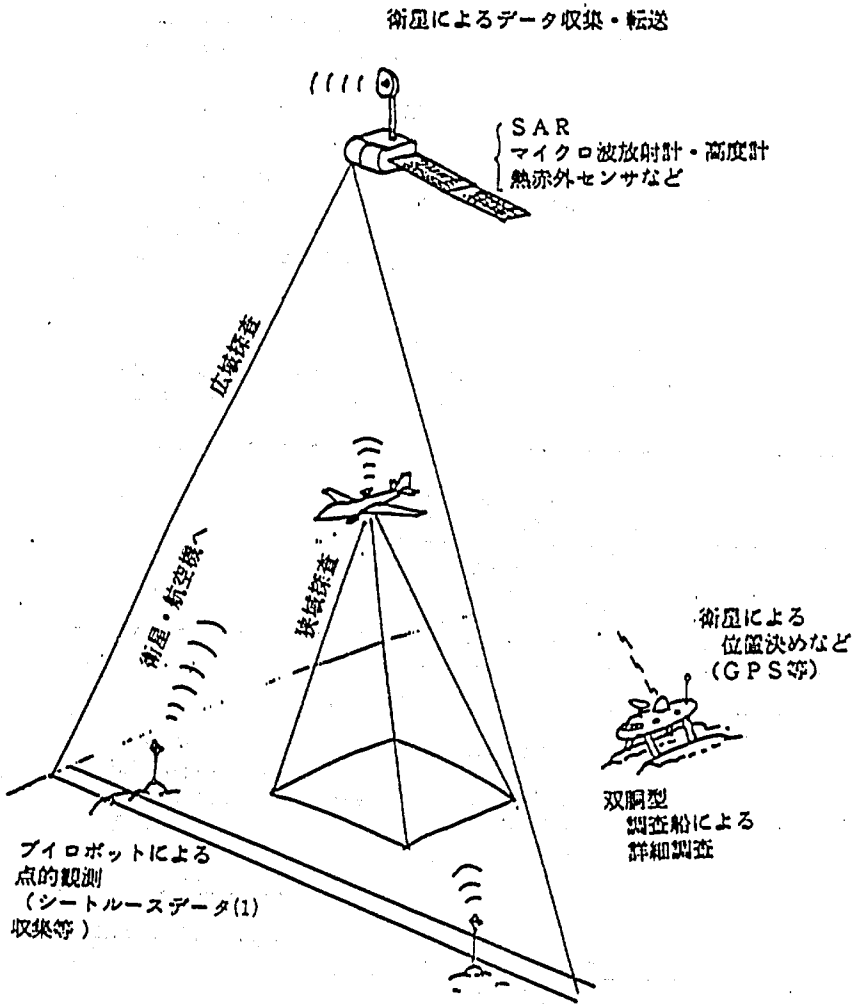
・広域・同時データ収集（リモートセンシング等）と点的データ収集（調査船、調査ロボット（プイロボットなど））の組み合わせによって、データの収集の効率化、広域化、同時化、精数化等を図る。

・センサの高精度化（能力向上）
（例）海底地形スキャナー
水中ボーリングマシン（試料を乱さないもの）
弾性波探査機
低周波音波探査機 } 精度向上
ポジショニングセンサ（精度向上とリアルタイム化）
流況センサ（ドップラセンサ）
・調査作業の高度化（センサ以外）
（例）大気圧潜水服、水中モニターロボット、データの収集・リレー技術

設計（施工計画）の高度化

・波況、流況等の大規模シミュレーションを高速で行う。
海象等のDBとの連結、専用計算機（デジタル、アナログ）の開発
・設計結果のよりヴィジュアルな表現
設計作業の効率化や構造物の形状デザインの質の向上を図る。
・施工状況に応じた迅速な設計変更、（施工計画変更）
対象地域海象等DBのデータ更新の高速化、効率化
・経験的判断要素のエキスパートシステム化
・施工性や環境への適応性を考慮した設計
海洋は施行が時に困難であり、また、施工作業時の、あるいは構造物完成後の環境汚染等の可能性も高いため、こうした条件を重視した設計をする必要がある。

図 6−3−17 海洋構造物建設に関する調査〜施工計画の高度化システムの概念



注(1) リモートセンシングされたデータと照合することを目的とした現地観測データ

図６－３－１８　海洋調査イメージ

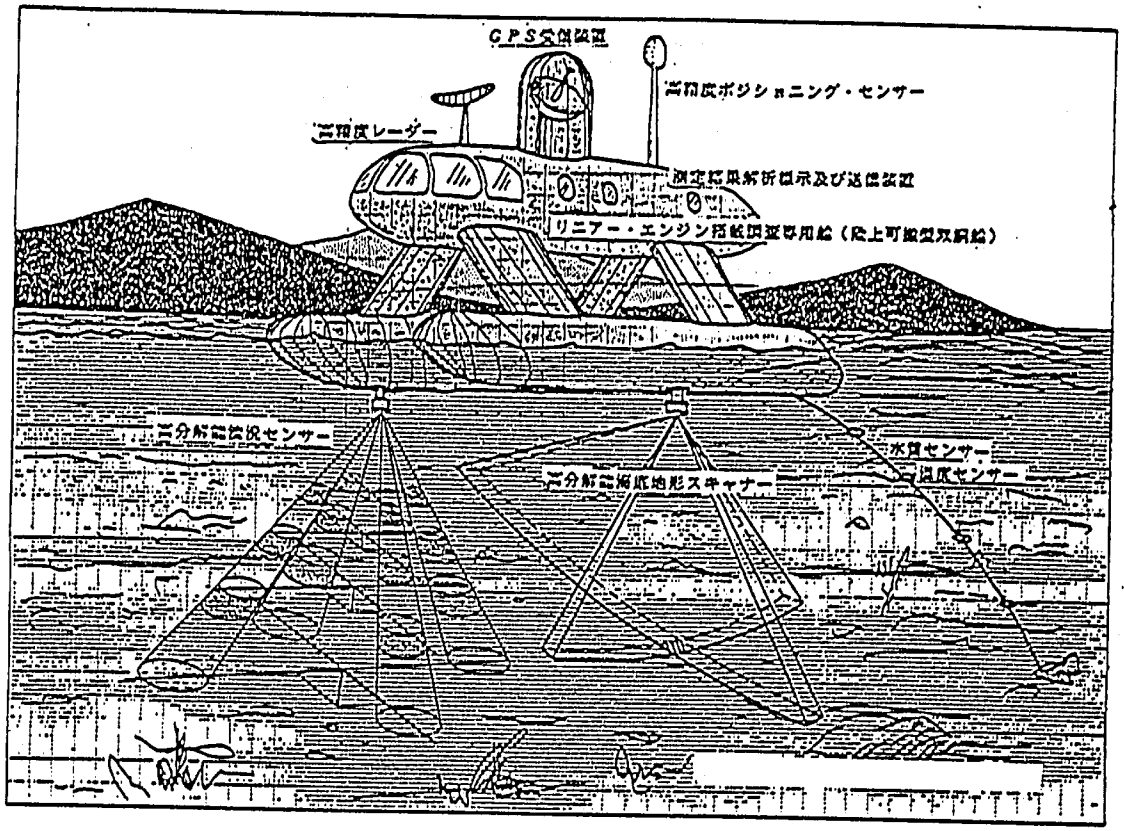


図６－３－１９　調査船イメージ

表6−3−9　海洋構造物の建設に関する調査〜設計の高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		現在の機器等の仕様（性能）
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
海洋調査	・広域・同時データ収集（リモートセンシング等）と点的データ収集（調査船、調査ロボット（ブイロボットなど））の組合せによってデータ収集の効率化、同時化、精緻化等を図る。 ・センサの高精度化（能力向上） （例）海底地形スキャナー（面的測深用） 水中ボーリングマシン（試料を乱さないもの） 弾性波探査機 低周波音波探査機　} 精度向上 ポジショニングセンサー（精度向上とリアルタイム化） 流況センサー(1)（ドップラセンサー） ・調査作業の高度化（センサ以外） （例）大気圧潜水服 水中モニターロボット データの収集、リレー技術	広域にわたってデータの収集を効率化できる。また多点同時あるいは常時観測がより容易になる。 センサ性能の向上により、得られるデータの質、精度が大巾に向上する。 水中作業などの安全性が向上する。	・海底地形スキャナー 分解能を上げるため周波数を高くすると減衰が大きくなり透過距離が短くなる。 パワーアップと指向性を上げて解決する。 深さ方向±1 cm 水平方向±10 cm 適用水深 200 m 潮位の自動補正 ・大気圧潜水服 高強度の新素材を用いた簡易型の開発 ニーズ適応した水深帯に対応する（50 〜 100 m） ・水中ボーリングマシン ・弾性波探査機 ・低周波音波探査機 ・磁気探査機 土質の判断が不確実である。多周波数センサーの開発。ＡＩ利用による補正技術の確立 土質の判断が可能になる試料を撹乱せず水圧を保持できるサンプリング ・流況センサー（ドップラーソナー等） 水深　200 m 96層（0.5 m間隔）		（現行仕様） 深さ方向　± 5 cm 水平方向　± 50 cm 水　深　80 cm 水　深　300 m 特殊用途 高　価 概要はつかめるが施工上必要なデータは得にくい。地質は分るが、土質は分らない。 水深80 mに対して16層の精度（2 m間隔） 流速　±10% 流向　± 5 deg 海底付近の測定がゴーストの影響を受ける。

注(1)　海水の流れベクトルの3次元的分布を計測できるセンサー

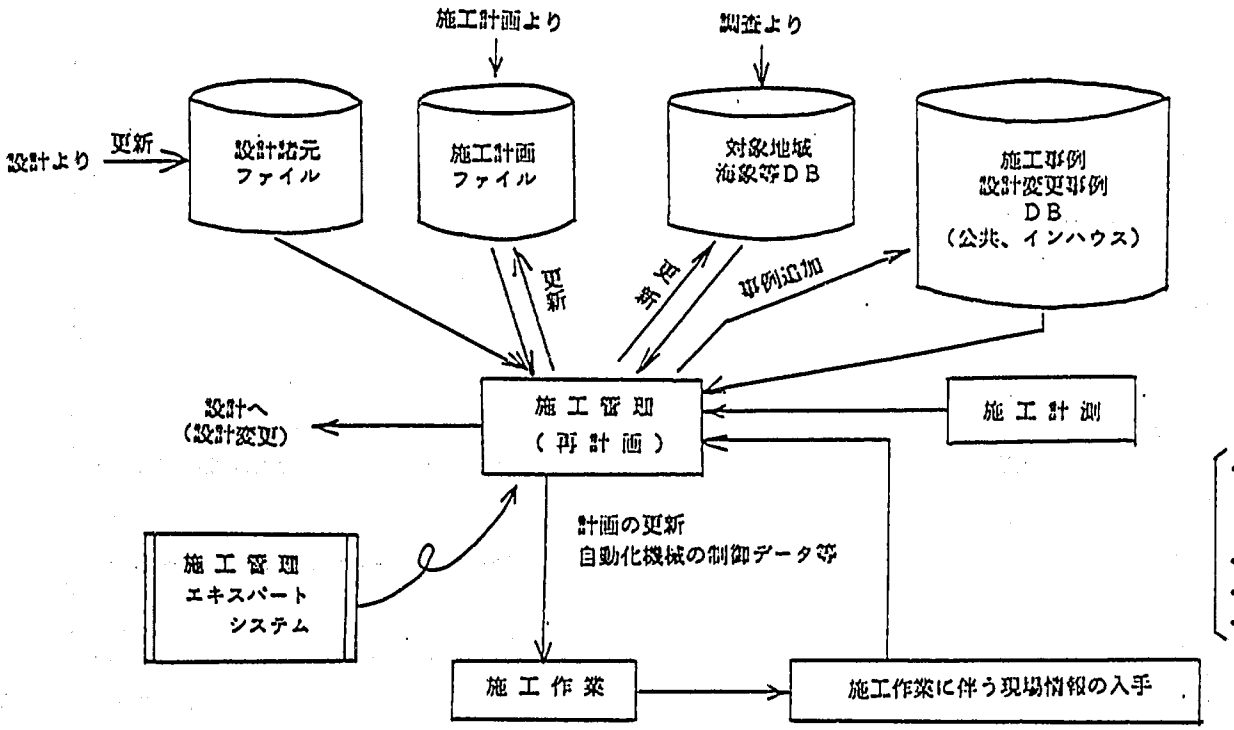
表6−3−9（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		現在の機器等の仕様（性能）
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
			精度 流速　±　2％ 流向　±　1 deg ・潮位計（マイクロウェーブや超音波利用） ・波高計 簡易・安価なもので多点同時計測ＡＩ利用による補正技術の確立 （多点水中設置センサー、水中送信技術） ・水温 ・塩分 ・ＰＨ ・濁度 センサ 多点同時計測による分布図作成 曳航体の位置検出とＡＩ利用による補正技術の確立 （多点同時計測と図化） ・リモートセンシング 高高度と低高度の組合わせ技術 （データの連続収集） ・陸上可搬型双胴船 （陸上保管による維持の容易化） ・自己位置検出装置 （G・P・S等を利用したポジショニングセンサー）		精度　±0.2　℃　（水温） ±0.01‰　（塩分） ±0.01 PH（ＰＨ） ±　2％　（濁度） 分解能40ｍ四方 ・気象、水質汚染 ・熱分布計測 高高度 ・海上交通調査 ・位置決め ・出来形計測 ・局地的な気象海象の精密測定 低高度 （位置精度） NNSS　500ｍ ロランC　20～30ｍ 電波測距離　1ｍ

表6-3-9（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		現在の機器等の仕様(性能)
			エレクトロニクス関連	処設技術関連	
計画・設計	・波況、流況等の大規模シミュレーションを高速で行う海象等のＤＢとの連結、専用計算機（デジタル、アナログ）の開発 ・設計結果のよりビジュアルな表現 設計作業の効率化や構造物の形状デザインの質の向上を図る ・施工状況に応じた迅速な設計変更（施工計画変更） 対象地域海象等ＤＢのデータ更新の高速化、効率化 ・経験的判断要素のエキスパートシステム化	・設計の精度・効率向上、（構造物の機能、環境対策の向上） ・施工から設計へのフィードバックの容易化	コンピュータのＡＩ化による動揺補正、ＡＩによる低密度データの補正 ・情報管理の高度化（ネットワークされたデータベースシステムの整備） ・シミュレーション技術の確立（構造物による海象変化の把握予測、シミュレーション） ・自動設計システム（デザイン機能等のソフト面を重視したシステム化） ・計測データの利用技術の高度化、容易化 ・コンピューター機種間のソフト互換性（特にデータ処理方法の統一化） ・コンピュータのＡＩ化 ・アナログ解析機器の開発 ・高速シュミレーションためのコンピュータハードの開発	官民一体となった規格化データ化、およびその公開	未公開データが多い。（海象、気象、海底地質データ、施工実績データ） 現在の定点観測による予測はあまり合わない。 メッシュの細分化（波の解析の場合最低でも波長の1／10の分解能が必要となり、現状のハードでは処理時間が膨大となる。

(b) 施　工



・出来形計測、品質計測（海底地形スキャナー、水中モニカメラ等による）
（構造物の位置、形状、材質）
・周辺の流況等の変化
・濁水拡散の状況など　} 調査船による
・天候、海況の変化（現状把握及び予測）

・基礎岩盤、地盤の性状　} 自動ボーリングマシン等
・中間地盤の性状　　より出力
・微視的な流況
・機械等の稼動実績　等

施工作業の高度化

- 海洋構造物は施工の困難さが大きい →
  - 特に位置決めや姿勢の保持が困難なので、ＳＥＰやシステム化した施工船により足場の安定化を図る。
  - 構造物をユニット化、プレハブ化し、現場作業を簡易化、単純化する。特に水中作業を減少させる。
  - 構造物のユニット化に合わせた設計思想、基準を取り入れる。
- 海洋では施工に伴う汚染が発生・拡散しやすい →
  - 現場での作業量そのもの減少させ、汚染総量を減らす。
  - 施工法を環境汚染の少ないものとする。
    （例）ユニット構造物の現地組立施工
    密閉型施工（イメージ図参照）
  - 施工による環境影響の予測手法の必要性大。

図 6−3−20　海洋構造物の施工高度化システムの概念

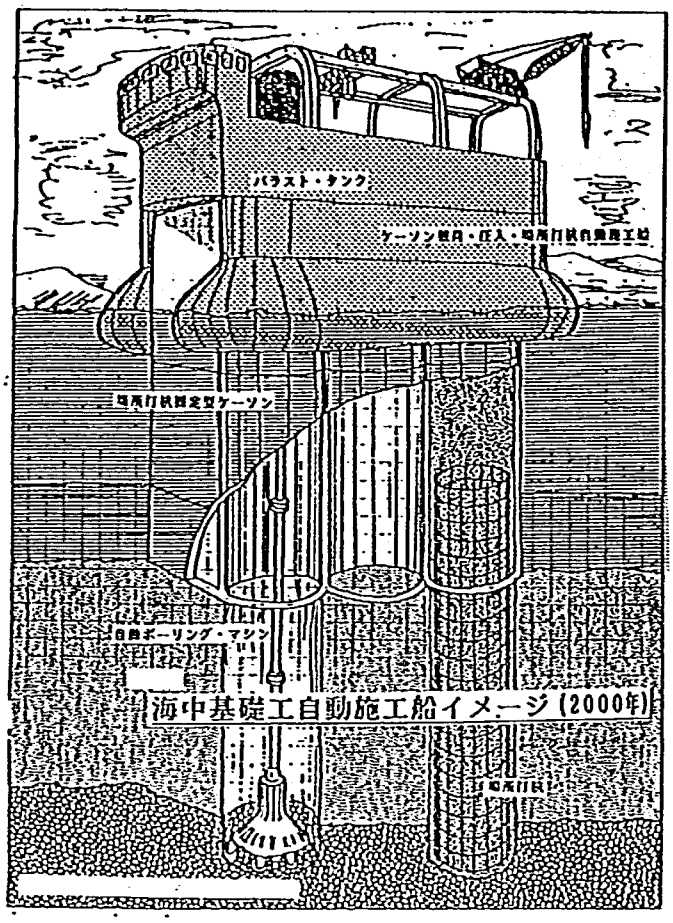


図6-3-21　海中基礎工自動施工船のイメージ

(1) 天然石材等の枯渇への対応

陸上の乱開発抑止から捨て石等の自然材料の入手は更に困難になると考えられる。従来のケーソンの様に、その基礎工事にやたら捨て石を投入するだけの工法は採用できなくなると予想される。本イメージでは、天然石材等の資材が少なくて済む工法の確立を目標としている。

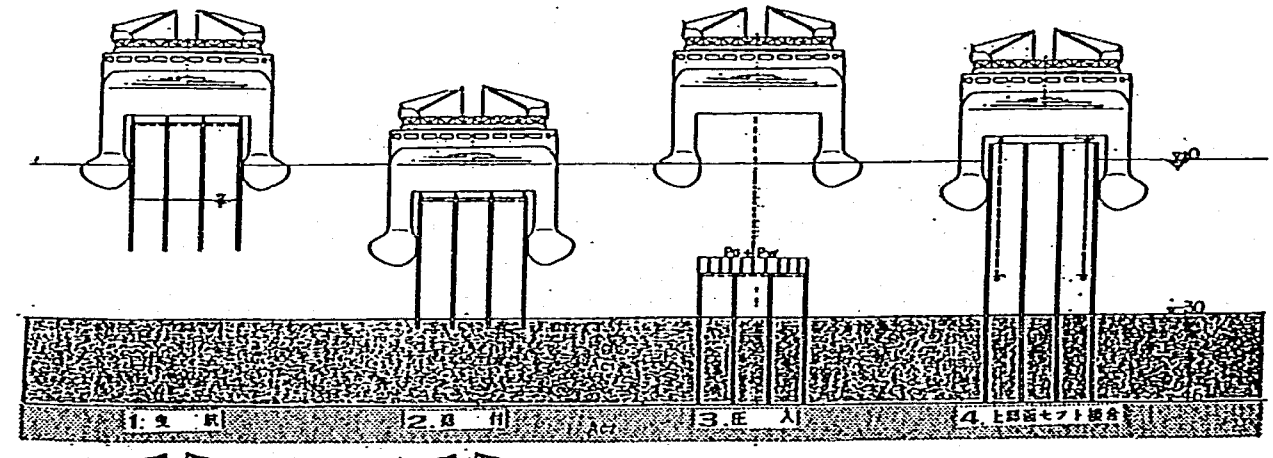
(2) 海中作業の低減

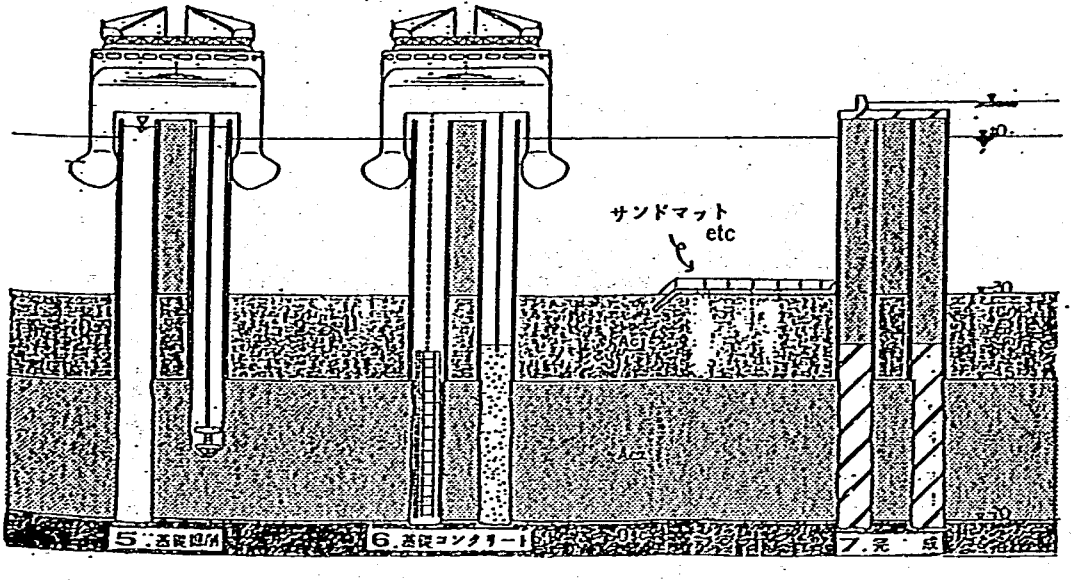
現在、海中作業をロボット化しようとする研究は絶えず続けられているが、2000年頃にはまだ完成される技術ではない。なぜならば、海中での作業は陸上での同じ作業に比べて効率が大幅に低下し、しかも唯一のアクセスであるケーブル等の交錯を考えると大量の投入は困難であるからである。本イメージでは、海中作業の自動化を考慮せず、全作業を海上で行う方向で考えている。また、位置決めや計測管理技術の高度化によって、海中での軽い作業(例えばケーソン　におけるマウンド均し等)が不要になる。

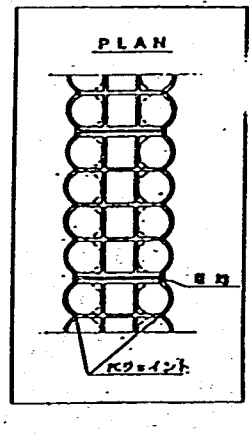
(3) 構造上のメリット

本イメージでは、軟弱地盤でも特に地盤改良を必要とせず、また場所打ち杭と一本化した剛体基礎が得られる。また、内部への中詰め材料は、構造上外部の海水と接触しないため、廃棄物や不要材料を固化して使用することも可能である。

応用：護岸・橋脚・防波堤等







水中基礎圧入工法
施工基礎

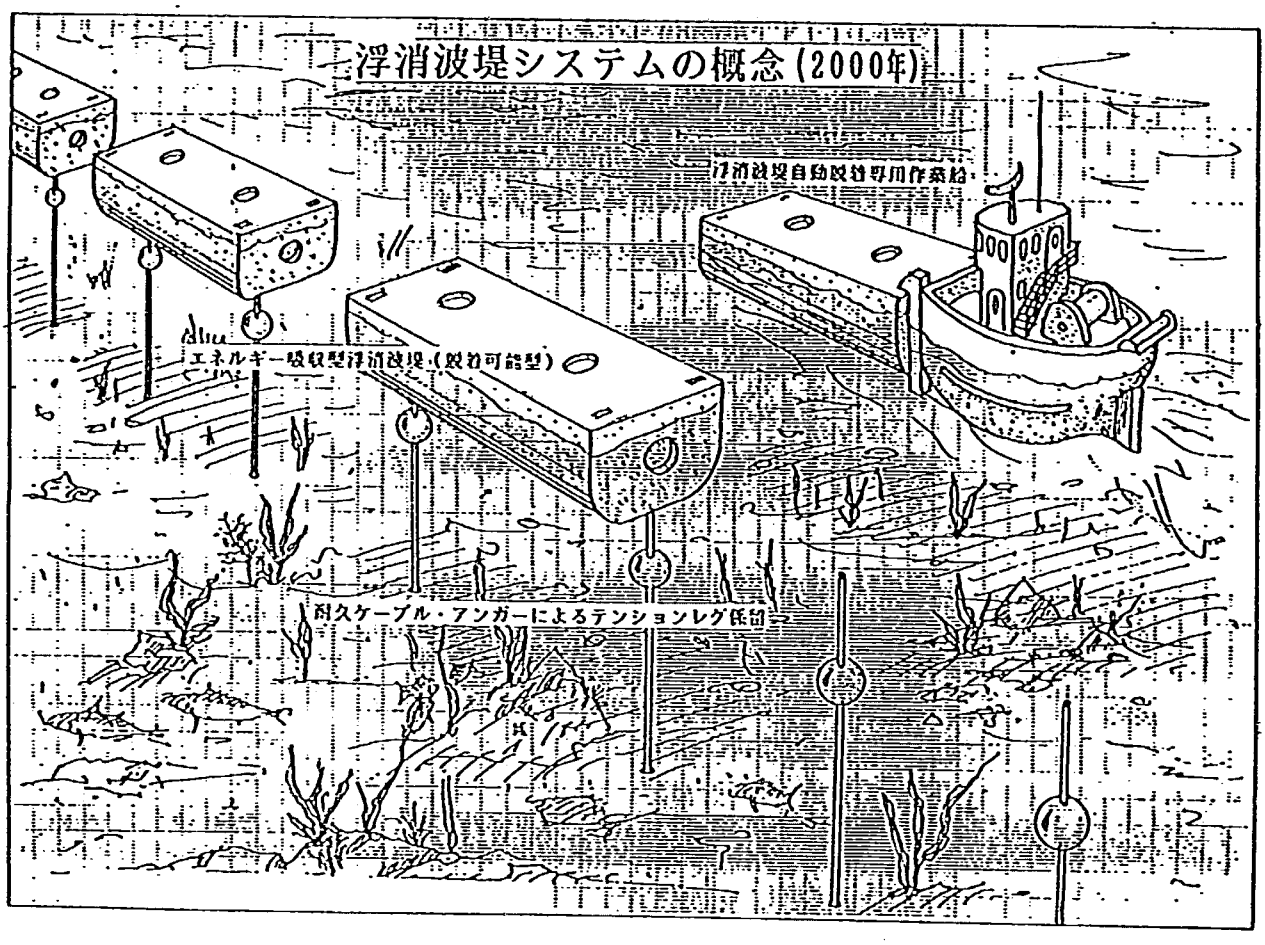


図6−3−22　海洋構造物のユニット化と専用作業船のイメージ

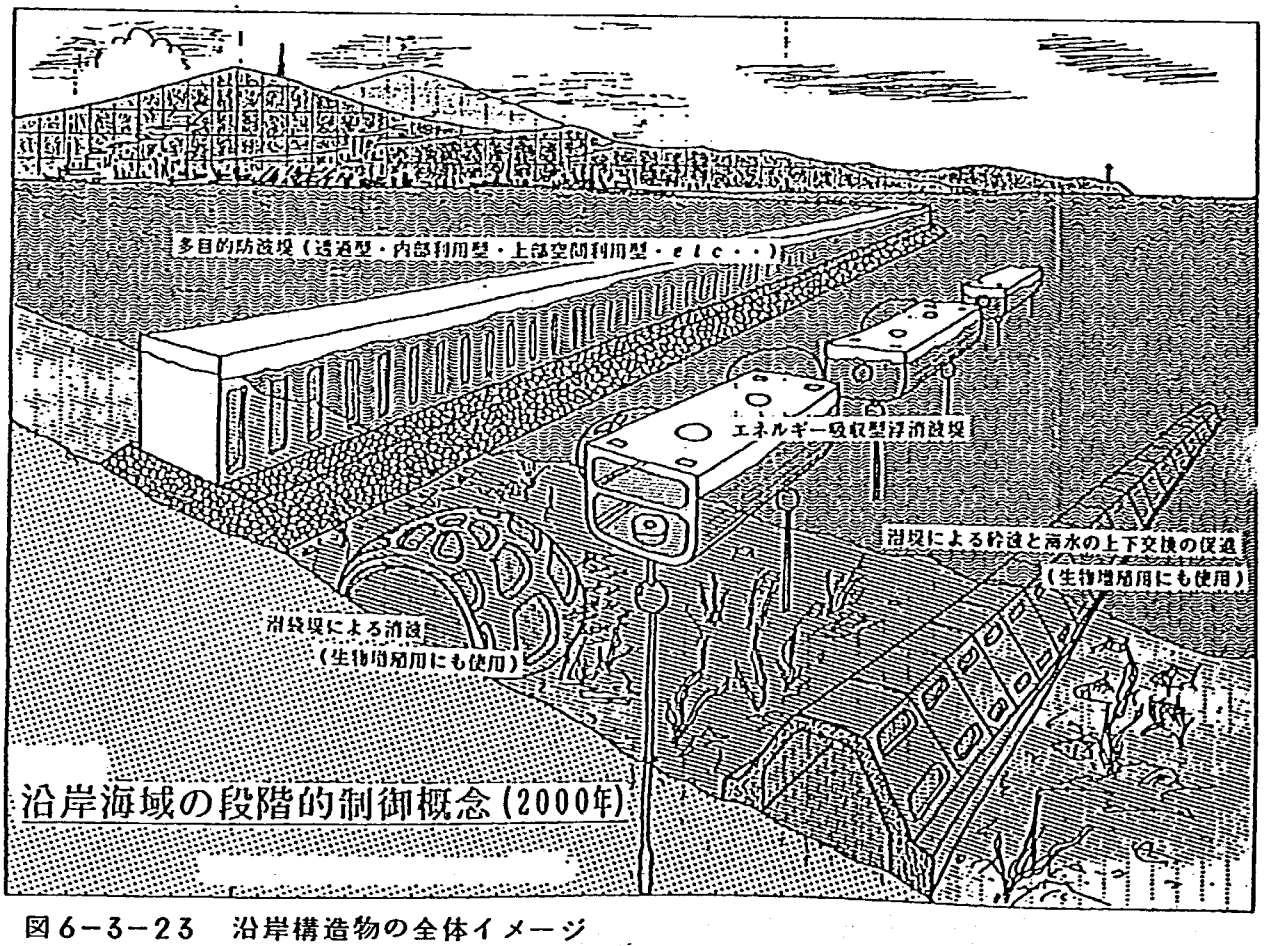
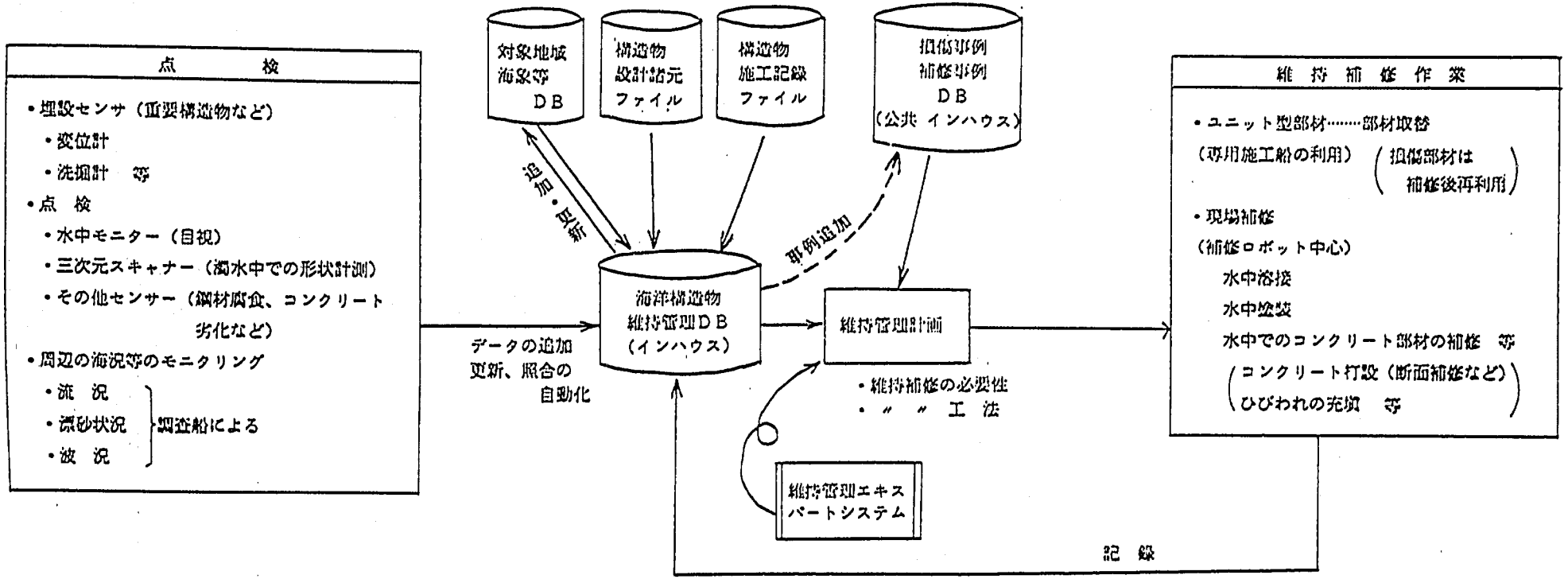


図6−3−23　沿岸構造物の全体イメージ

表6－3－10　海洋構造物の施工に関する高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
施工作業	構造物のユニット化、プレハブ化とそれに合わせたシステム化、施工船によって施工する方式を主流とする。	・現地作業水中作業を減少させることで、作業の安全化、不確実性の減少、省技能工等が可能になる。 ・構造物をユニット化することなどにより、現地作業を単純化することで機械化、自動化が容易になる。（自動化適合工法）	・海底ボーリングマシン（杭支持型基礎用） 躯体等の自動化製作ヤード ・システム化施工船 （ケーソン等の載荷圧入や場所打杭施工など） ・自動位置決め装置 （コンピューターのＡＩ化による動揺補正などや人工衛星を用いた位置計測の高精度化）	・ユニット化等に対応した基準の整備やシステム化など ・テンションレクなどのアンカー工法の確立 規格化	
		・施工に伴う環境汚染や捨石等による天然資源の浪費が防止される	・水中モニター用ロボット		
施工管理	状況の変化に基づき、迅速に施工計画や設計の変更が行える。 （施工に伴って収集される種々のデータを迅速、高精度に処理できる。）	・施工段階での不確実性を減少させることができ、コストダウンや経営の安定化がはかられる	・エキスパートシステム ・情報ネットワークやデータ処理、蓄積装置の高性能化	ルールの蓄積、ひいては施工事例等の集積	

（c） 維持管理



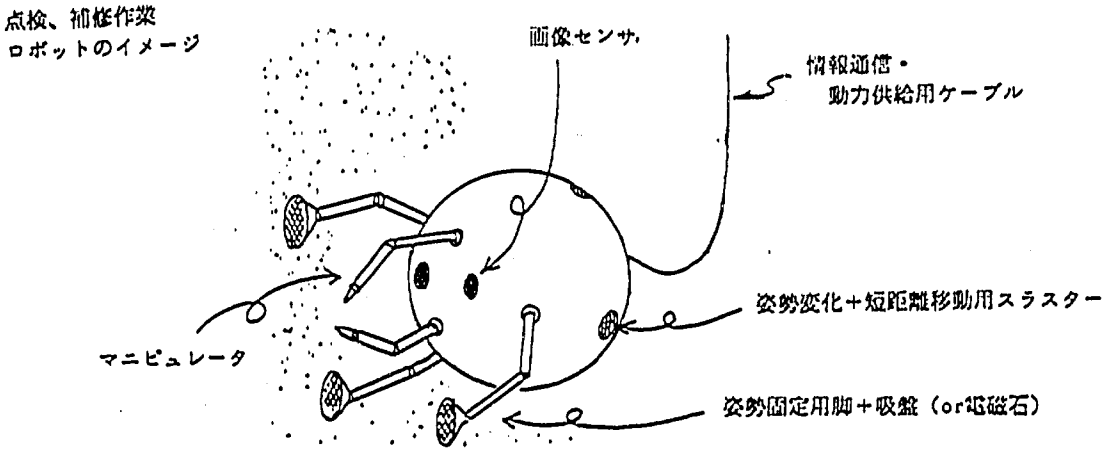


図 6－3－24　海洋構造物の維持管理の高度化システムの概念

表6−3−11　海洋構造物の維持管理に関する高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
点　検	・特定の重要構造物は、センサを埋設しておくことにより現場での作業を減少させる。 ・一般的な構造物については水中モニター等により点検を行う。 ・合わせて周辺海況のモニクリングを行い構造物が正しく機能しているかを確認する。	・水中での熟練作業の減少、安全性の向上 ・点検データの精度向上 ・海洋構造物の環境への調和の促進	水中モニターロボット （点検用センサも使用可） 高精度三次元スキャナ その他点検用センサ ・鋼材腐食 ・コンクリート材質劣化 ・ひびわれ		
維持管理計画	気象海象データから構造諸元や点検データ等を総合的に判断し、管理者を支援するエキスパートシステムを利用できる。	・維持管理水準の向上 （判断の合理化 迅速化）		海洋構造物の損傷や補修事例などの実績の蓄積とそれに基づく知識ベースの構築	
維持管理作業	・部材ユニットの交換による補修が主流となり、補修自体の手間がかなり小さくなる ・上記以外のものについてはリモコン型の補修ロボットにより補修を行う	・構造物ライフスパンの増大 ・補修作業の効率化 ・作業の安全性の向上	・リモコン型の補修ロボット ・水中塗装 水中コンクリート補修 （水中溶接等） （これら技術の確立） ・大気圧潜水服		ロボット化できない作業も少なからずあるため、大気潜水服の整備が不可欠と考えられる。

6) 橋梁維持管理の高度化システム

橋梁の維持管理作業の特色としては、現場作業面から見た場合高所足場上での作業が多いことや、点検や補修など人間の熟練技能や経験に基づく手作業に依存する部分が多いことなどがあげられる。同様に情報処理面では、補修工法や時期の選定など経験的判断に基づいて処理される事項が多いといったことなどがある。

現在の橋梁の維持管理は、高所足場での作業に加えて、これまでの橋梁の損傷・補修事例等の蓄積が必ずしも十分でないために生じている補修工法等の体系化の遅れ等の課題をかかえている。そこで橋梁維持管理の高度化システムの検討にあたっては、以下のような点に留意し図6－3－25～図6－3－30に示すようにシステムの概念を整理した。

(1) まず、橋梁の損傷、補修等の履歴をデータベースにより管理する。また、調査方法や補修工法の選定等にあたってのノウハウも知識ベースの形で蓄積する。これらにより維持管理計画の合理化や維持管理技術の改良のための基礎的データが提供され、これまで個人が蓄積していた様々な経験を全体で共有しながら追加していく方策が開けることになる。

(2) 現場への搬出入が容易で、橋梁に設置された際も現道交通をできるだけ阻害しない点検システム、塗装・補修システムとする。特に塗装・補修については、塗料の飛散や騒音等による公害を最小限度に抑えられることを目標にする。

これらの条件は、利用者へのサービス水準の向上という点で重要なだけではない。現在、現道交通の阻害を避けるために点検・補修の作業時間等が大きな制約を受けていることを考えると、他への影響が小さくて済むシステムとはそれ自身の活動の自由度を増し、必要な時に必要な維持管理作業を行えるという意味でも重要であると考えられる。

ここでは移動型ロボット足場とそれにアタッチメントとして装着される点検ロボット、塗装ロボット等の組合せを中心に考えている。

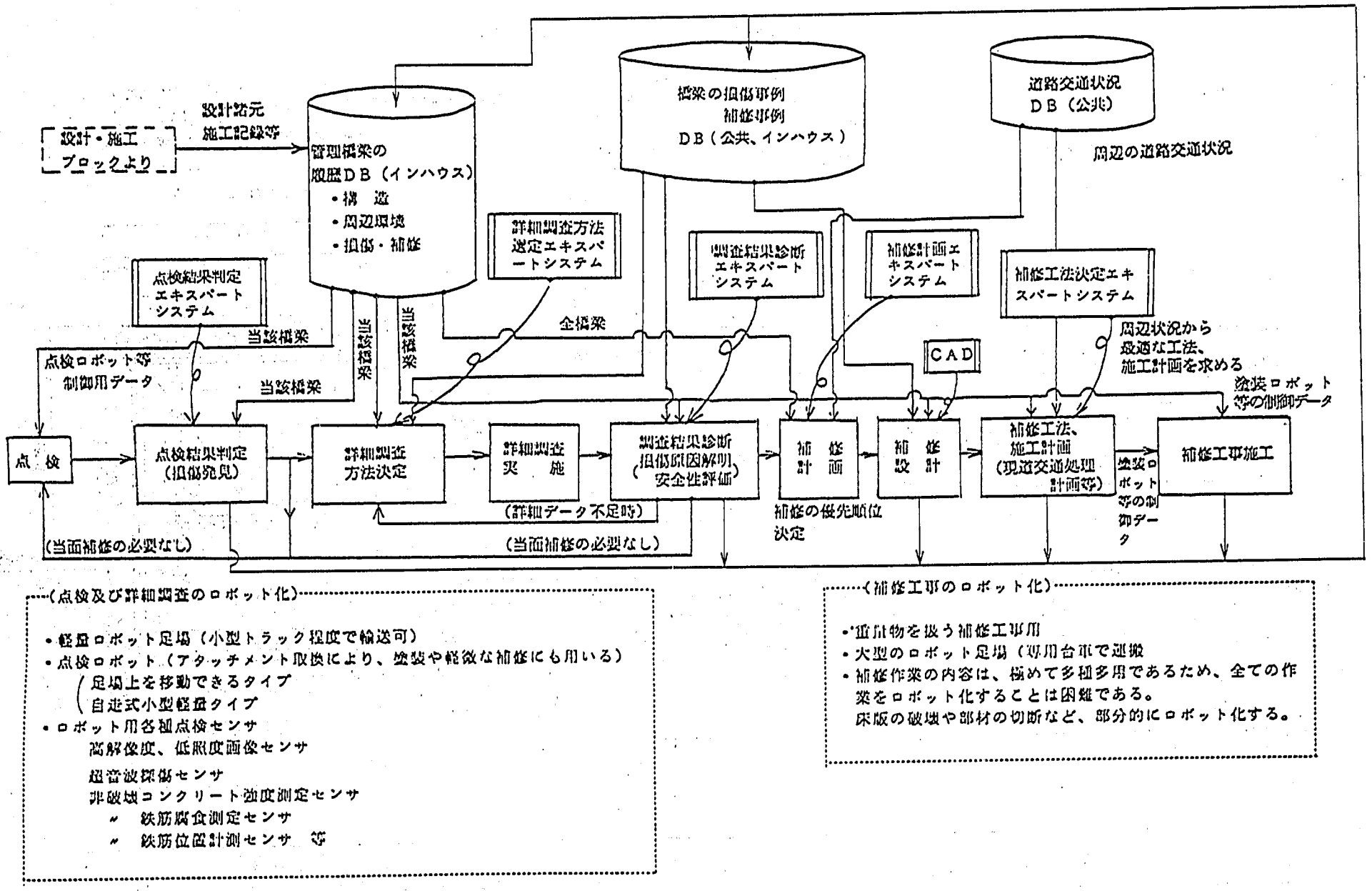
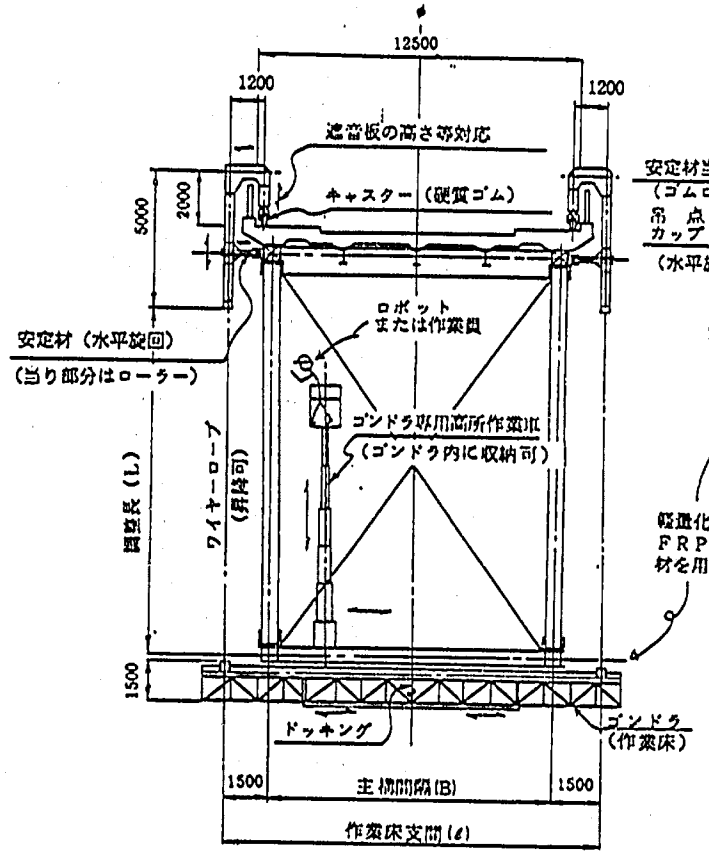


図 6－3－25　橋梁の維持管理の高度化システムの概念

（TYPE 1）トラスなど桁高の高い上路式橋梁に適用

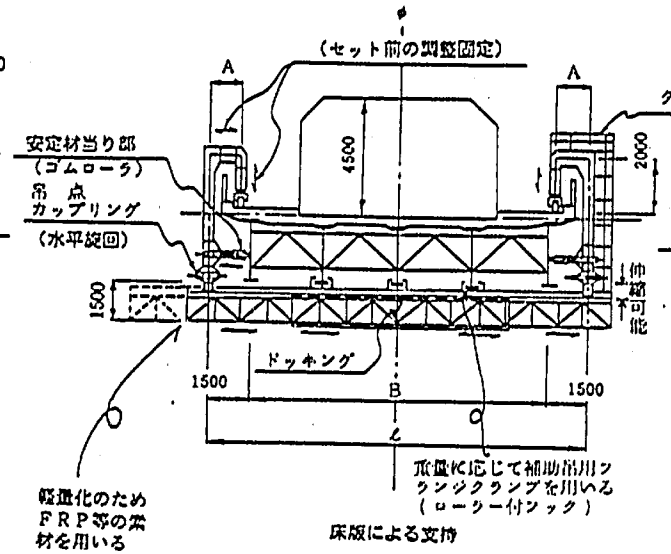


ワイヤー吊下げ方式

ゴンドラ部分の取扱い

1. 河川敷、台船上で組立て、吊上げて橋体に取付ける。
2. 各径間ごとに盛替える。
3. ただし、桁に自動的に支持をとるようにしておけば、Type 2と同様に、橋脚等も通過できる。

（TYPE 2）一般の上路式橋梁に適用



床版による支持

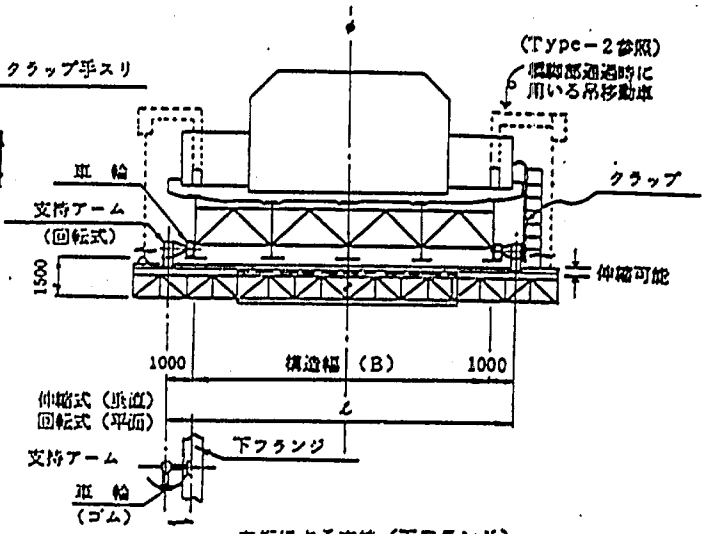
橋脚部通過要領

1.作業床のドッキングを解放し両側に各々縮少する。
2.作業床を吊点でバランスするまでスライドする。
3. 〃 90°水平旋回する。
4.橋軸方向に移動する。

組立・取付

1.現場にトラックで搬入し、クレーン車で組立、取付する。
2.必要により、一時交通規制を行う。
3.作業床の幅は運搬を考えて3.5 m以下とする。
必要により橋軸方向に2台以上使用可能である。
ℓ：橋脚天端長＋作業床幅＋1.0 m
A：作業床幅×1/2＋0.5 m＋0.8 m

TYPE 3） 一般の上路式以外の下路式橋梁にも適用可能



主桁による支持（下フランジ）

床版による支持方式から路面をクリアにした場合（長期間使用時）
必要により内桁から補助吊りすれば重量物の取荷が可能

ゴンドラの型式

使用時：固定吊足場
移動時：ゴンドラ

移動方法

ウィンチ、油圧ジャッキ、車輌駆動（電動又は油圧モーク）等による

図 6－3－26　移動型ロボット足場のイメージ（その１）

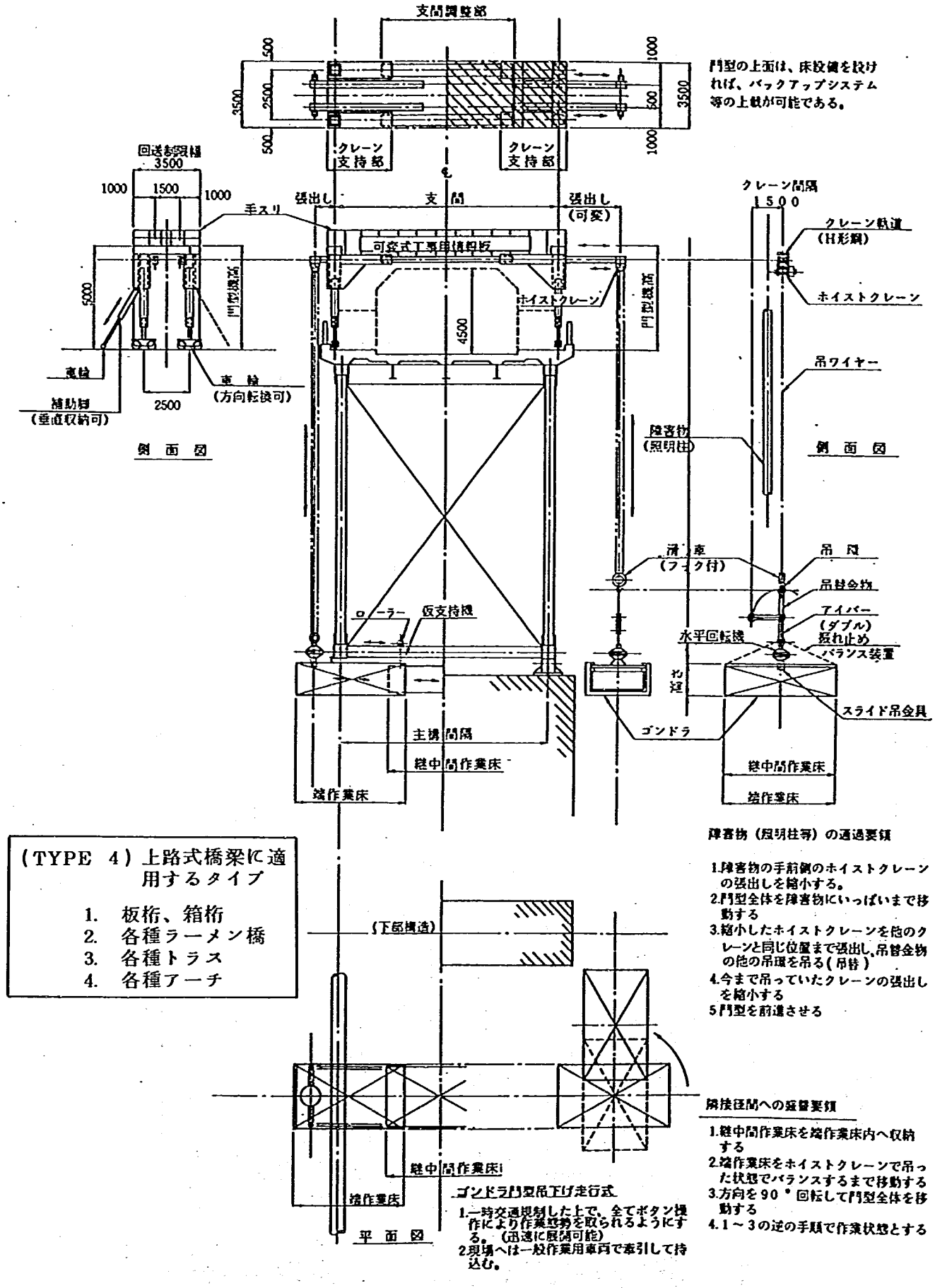
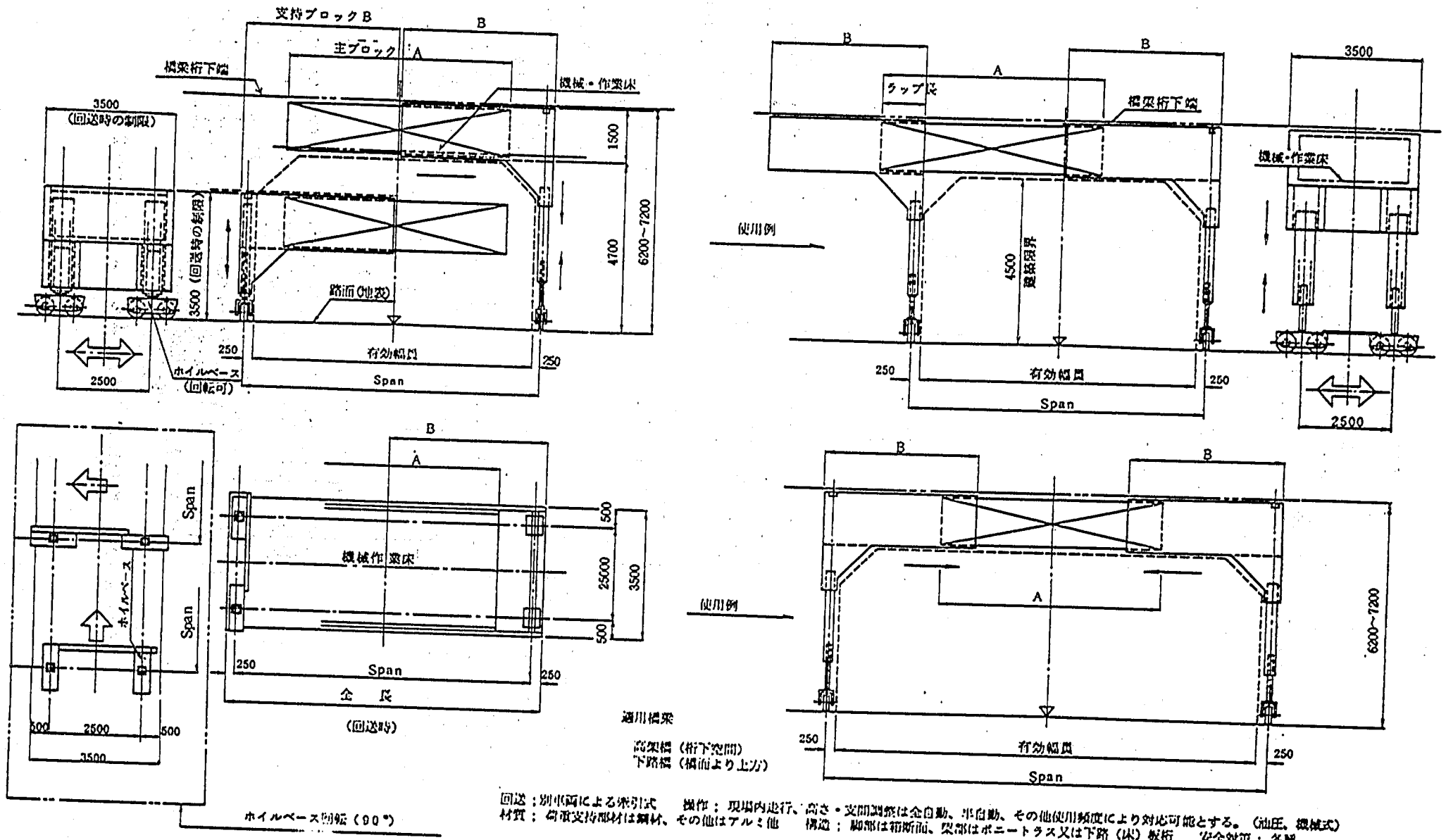


図6-3-27　移動型ロボット足場のイメージ(その2)

（TYPE　5）橋梁の桁下空間が道路等の場合に適用するタイプ

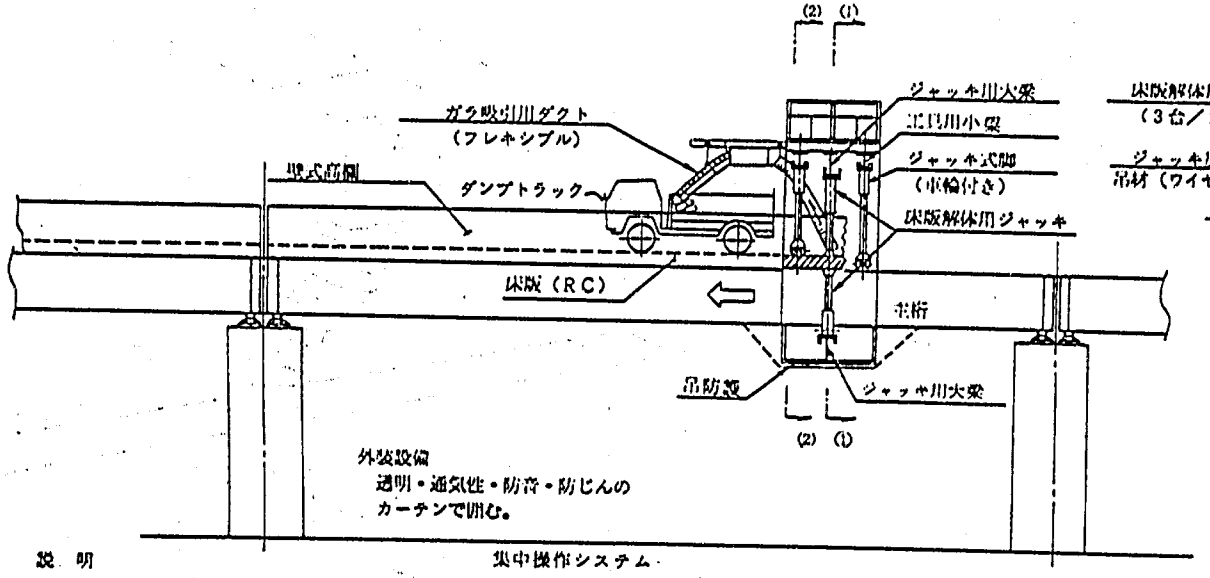


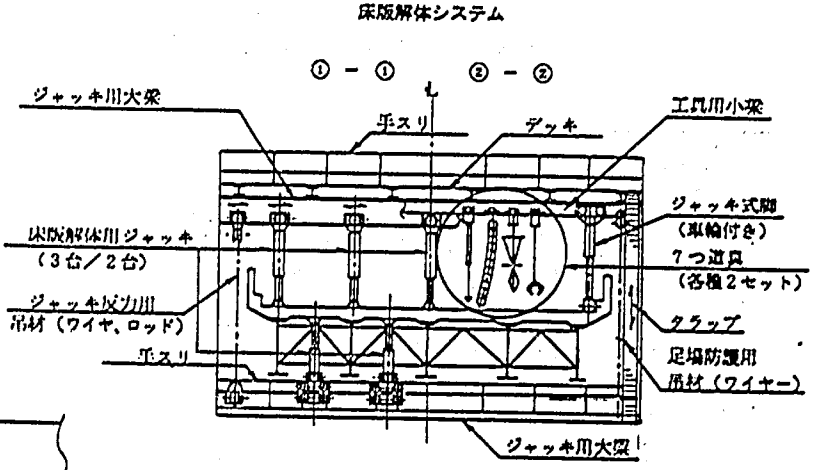
回送：別車両による牽引式　操作：現場内走行、高さ・支間調整は全自動、半自動、その他使用頻度により対応可能とする。（油圧、機械式）
材質：荷重支持部材は鋼材、その他はアルミ他　構造：脚部は箱断面、梁部はポニートラス又は下路（床）板桁　安全対策：各種

図 6－3－28　移動型ロボット足場のイメージ（その３）

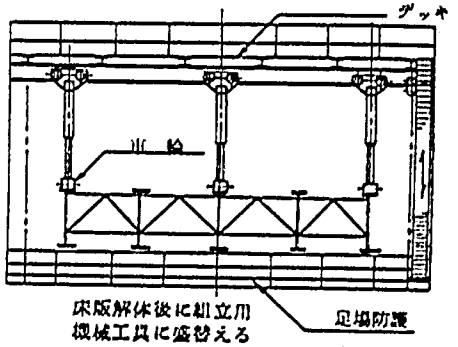
概　要

1. 床版に上・下のジャッキで繰返荷重を与え、鉄筋とコンクリートを分離させ高度化された機械工具を使用して発生材を回収する。また作業はシステムに囲まれた密閉空間内で行われる。この方法は解体に伴う騒音等が非常に小さくて済む。
2. バックアップシステム（発電機、工具等操作制御設備）は上架上のデッキに収容する。





床版（型枠・鉄筋）組立システム（参考）



説　明

1. 脚：未修理側は床版上、修理済側は主桁（養生済）上で支持する。
2. 床版下側の解体用ジャッキ：橋軸方向に倒して折りたたみ可能、かつ横方向にも自由に移動可能である。
3. その他：大梁、小梁に取り付く工具等は全て横移動及び着脱自由である。
4. 能力：6m／h 程度

集中操作システム

解体用機械・工具（例）、（1セット／小梁）×2小梁

1. コンクリート解体機械
   カッタ、ドリル、ピック、ブレーカー、高水圧切断機
2. 鉄筋、鋼材切断機
   クリッパー（ハサミ）、ガス糸、高水圧系
3. ガラ回収機械
   吸引式フレキシブルダクト、ベルトバケット式コンベアー
   クラムシェル・バケット
4. 公害防止設備
   防じん散水機、防音、透明カーテン

任意組合せ

図 6－3－29　鋼橋床版自動解体システムのイメージ

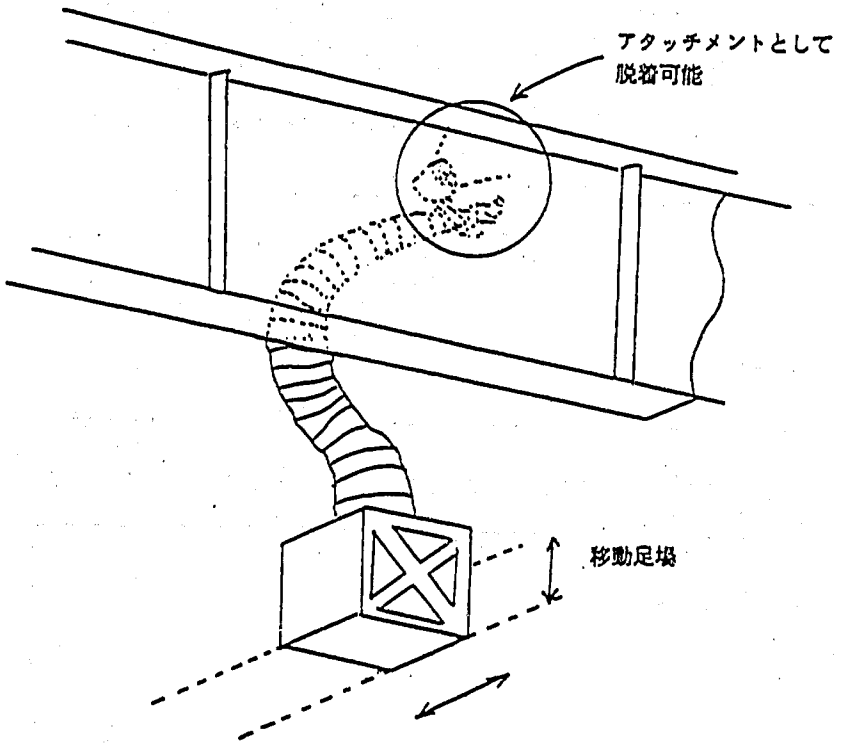
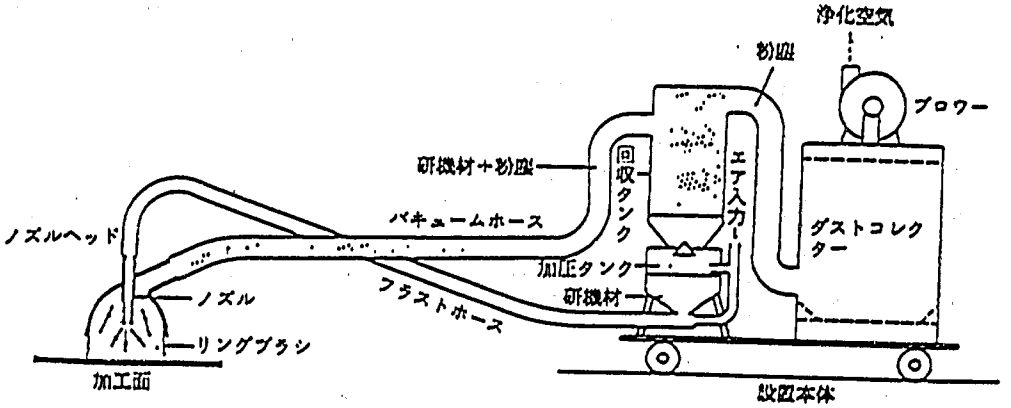


図 6−3−30　点検・塗装用ロボットのイメージ図
（足場装着タイプ）

アタッチメントの例

- カメラ
- 各種センサ
- ロボットハンド
  - 歪ゲージ接着用
  - ひびわれ注入作業用
- 塗装ローラー
- 〃　スプレー
- ブラスト（バキュームブラスト）



バキュームブラスト装置の機構例（参考）
（無公害ブラスト）

表6－3－12　橋梁の維持管理に関する高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
橋梁に関するデータ処理管理	・各橋梁の履歴が全てデータベース化されている。また、それらデータを全国的に集積した橋梁の損傷や補修事例データベースが整備される。 ・こうしたデータの蓄積を背景に維持・管理に必要な種々の判断がエキスパートシステム等により支援される。	・橋梁の維持管理にあたって十分な情報を元に、より合理的な判断がより迅速に下せるようになる。 ・専門家不足対策 ・橋梁損傷等に関する情報が一元的に管理されることから、橋梁の設計、施工の改善が容易になる。		・橋梁に関するデータの蓄積とそのネットワーク化 ・橋梁の維持管理に関わるルール（基準）の蓄積	
橋梁の維持管理作業（点検、塗装、補修）	・軽作業（点検、塗装等）については、軽量ロボット足場と足場に装着された小型マニピュレーターにより無人で行える。 ・重作業（補修作業等）については、重量物に耐えられる移動足場上で作業が行われる。作業は一部ロボット化されているが、施工法はジャッキやウォータジェットによる解体といったように無公害型のものが採用される。移動足場自体も防音壁等でシールドされている。	・危険作業の減少（高所作業） ・作業の迅速化と効率化 （足場設置時間、費用が小さくなる） ・各種センサーにより目視をこえた情報が容易に入手できる。（鉄筋腐食度など） ・苦渋作業の減少（塗装・ケレン作業） ・現道交通をほとんど阻害しない。 ・点検等がより頻繁に行われるため、橋梁の寿命が延びる ・補修作業工期が短縮 （足場設置不要） ・補修作業の環境保全化	・複雑な橋梁構造に対応できる軽量マニピュレーター ・（軽量）ロボット足場 ・各種点検用センサー ・無公害型の解体 ・環境保全型の解体工法（特にコンクリート部材）	・腐食や中性化などを防ぐため細部構造を工夫する。 例　鋼橋：滞水し易い箇所をなくす。また局所的に耐久性のある塗装系を用いる。 コンクリート：凸部を少なくする。 ・耐久性のある材質を採用する （鉄鋼） ・塗装系の改良・鋼材質の改良 ・部分的に新材料（ＦＲＰ等）を採用する。	・現道交通を阻害しないことで利用者、事業者（管理者）の両者に大きなメリットが生ずる。

表6−3−12（続き）

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
				（コンクリート橋） ・ＰＣ鋼材に代ってＦＲＰロッド等を利用する。 ・以下のようにできるだけ補修等を行い易い構造とする。 例 ・橋架幅員をできるだけ小さくする。例えば上下線分離とする。こうすれば、補修時の交通止めを行う時、架替時も半分の巾が確保でき有利 ・各部材を別々に交換可能な構造とする。例えば、床版のみの打換ができるようにする（非合成構造）。あるいは桁を１本１本交換可能な構造とする。 ・パラペットと桁端部の間の空間を確保し、シース定着部の点検あるいはシース内ＰＣ鋼材の点検が行えるような空間をとっておく。ＰＣ鋼材もアンボンドとし、抜き出して点検できるようにしておく。 ・大規模橋梁については点検用足場を設けておく。	できるだけ、大規模な補修（架替）にならないような構造としておく必要がある。 そのためには、より頻度の高い点検とこまめな補修が重要と考えられる。

7) 道路舗装の維持管理高度化システム

道路舗装の維持管理の技術は、他の社会資本に比較して進んでいる分野であり、点検から補修の必要性の決定、補修工法の決定、その補修、その結果の記録といった一連の情報の流れがデータベースを媒介として整備されている。また、補修作業（切削・オーバレイなど）も比較的機械化が進んでいる。しかしながら、道路の維持管理の水準をさらに上げることによって、より高次のニーズに対応していくためには、以下のような点に留意して高度化システムを検討する必要があると考えられる。

(i) 路面調査や補修作業等の現道上の作業の高速化等を通じて、現道交通への影響を最小限とする。

(ii) 路面損傷の発見から補修までのタイムラグの短縮による維持管理サービス水準の向上

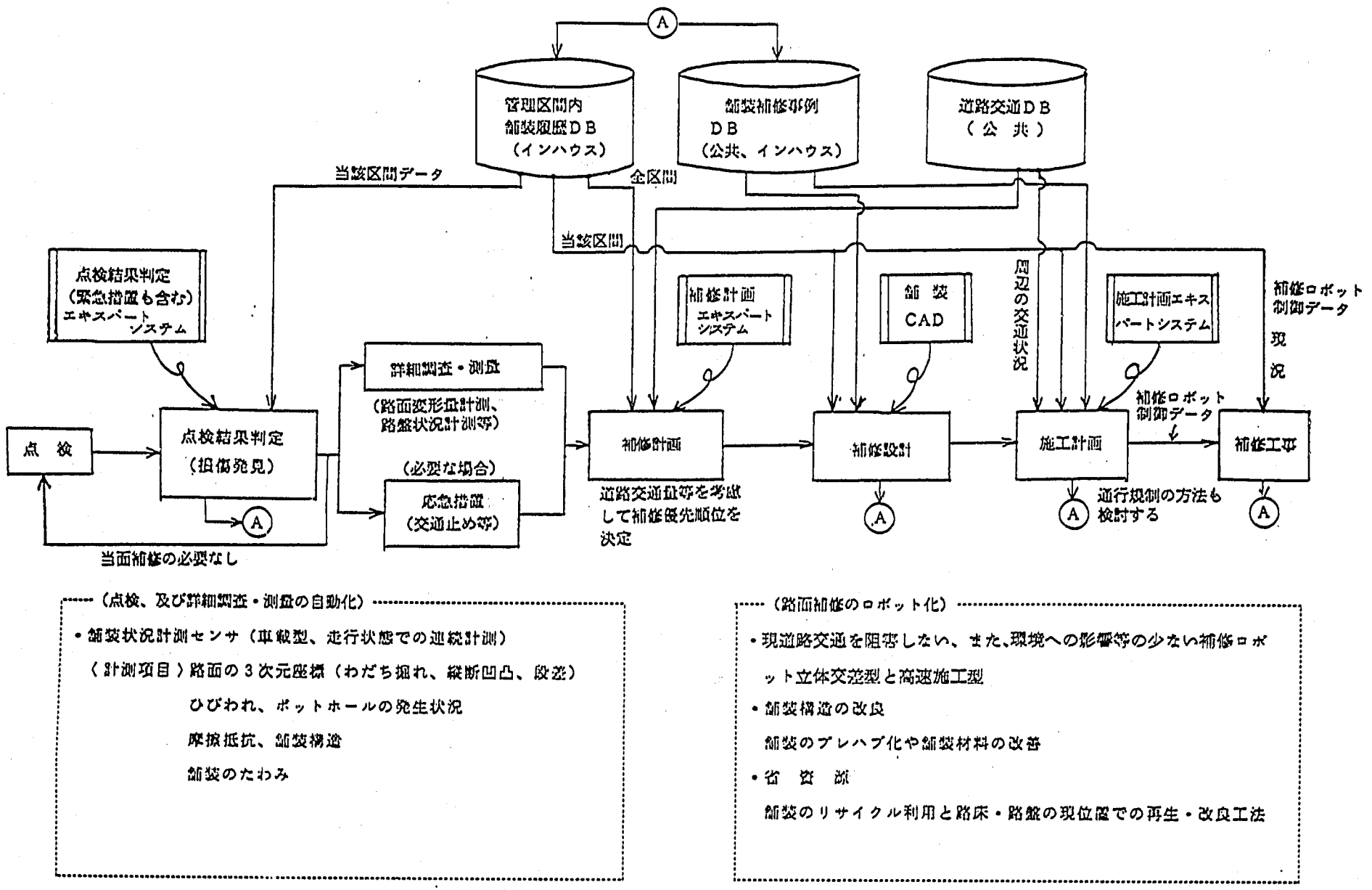
(iii) 現道作業の安全化

ここでは、道路舗装における維持管理の高度化システムの全体構成の概念として、主に情報の流れから図6－3－31のようにイメージした。

ここで、考えたシステムは以下の点が主要な特徴である。

① 路面調査の高速化に加えて、路面の3次元形状をも高精度で計測し、そのデータを路面補修（切削、オーバレイなど）の自動化のための制御データとして利用することができる。その結果、調査から補修までのタイムラグが短縮される（図6－3－32参照）。

② 路面補修作業が自動化あるいは高速化され、現道交通をそれほど阻害しない。また、現道上での有人作業がほとんどなくなることにより安全性が向上する（図6－3－33～図6－3－35参照）



（点検、及び詳細調査・測量の自動化）

- 舗装状況計測センサ（車載型、走行状態での連続計測）

（計測項目）路面の３次元座標（わだち掘れ、縦断凹凸、段差）

ひびわれ、ポットホールの発生状況

摩擦抵抗、舗装構造

舗装のたわみ

（路面補修のロボット化）

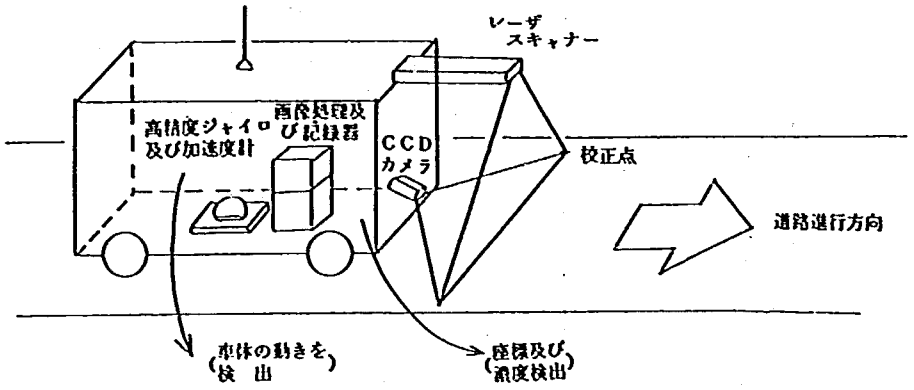
- 現道路交通を阻害しない、また、環境への影響等の少ない補修ロボット立体交差型と高速施工型
- 舗装構造の改良

舗装のプレハブ化や舗装材料の改善

- 省　資　源

舗装のリサイクル利用と路床・路盤の現位置での再生・改良工法

図 6－3－31　道路舗装における維持管理の高度化システムの概念



（計測手順）

① 車体変位検出器（ジャイロと加速度計の組み合わせ等）は、車体の動きを計測する。

② 照明光源（レーザースキャナー等）により、路面へ照射した光点の位置を撮影カメラ（ＣＣＤカメラ等）の画像座標として検出することにより、路面の３次元形状を計測する。またひびわれについては、濃度画像として検出する。

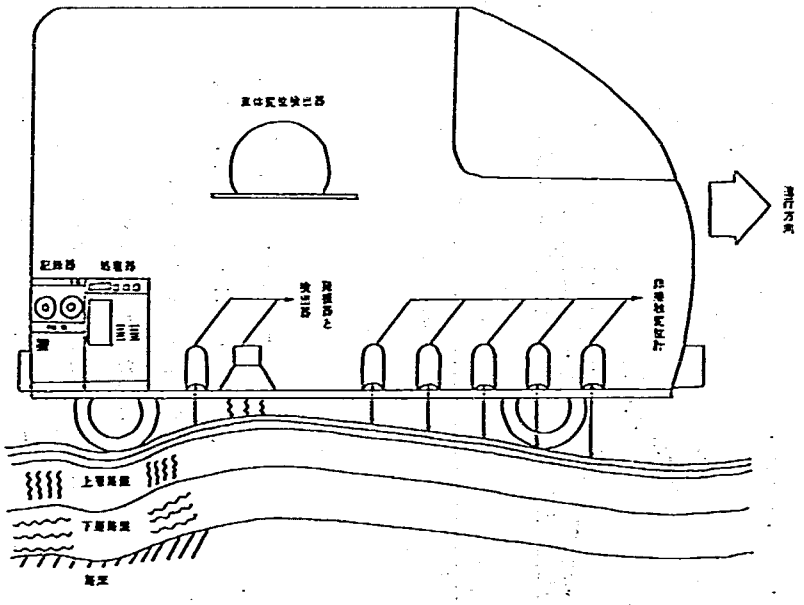
③ 画像処理器は、変位検出器からの車体の動き（カメラと照明の動き）を用いて、路面のＸＹＺ座標の算出をし、濃度画像からひびわれの抽出の処理を行う。さらに校正点の位置情報を用いてＸＸＹ座標を、緯度、経度、標高座標に校正・変換する。

④ 校正済みの３次元座標とひびわれのデータ等を記録媒体へ記録する。

（備　考）

車両の位置及び姿勢の時間変化に求めるジャイロ及び加速度計の精度が鍵となる。

図６－３－３２ (a)　路面性状自動計測システムのイメージ



（計測手順）

① 発振器と検出器（音波、電磁波、振動等）は、非破壊で舗装の断層構造を計測する。

② 車輪位置を中心として進行方向にある間隔で数個取り付けた非接触変位計は、舗装のたわみ量を計測する。

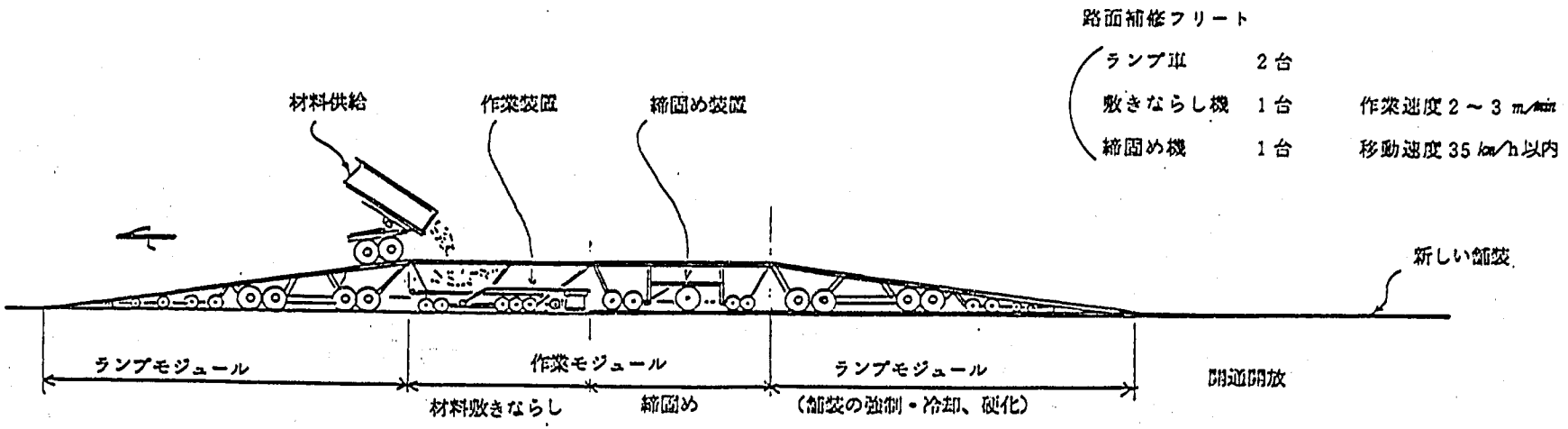
③ 処理器は、車体の変位を除去した舗装のたわみ量の算出処理を行う。また、断層構造とたわみ量の関係から、各舗装厚、支持力の算出処理を行う。

④ 処理結果を記録器へ記録する。

（備　考）

非破壊探査技術の精度向上とたわみ量から、舗装各装の支持力を求める理論の開発が鍵となる。

図６－３－３２ (b)　舗装構造計測システムのイメージ

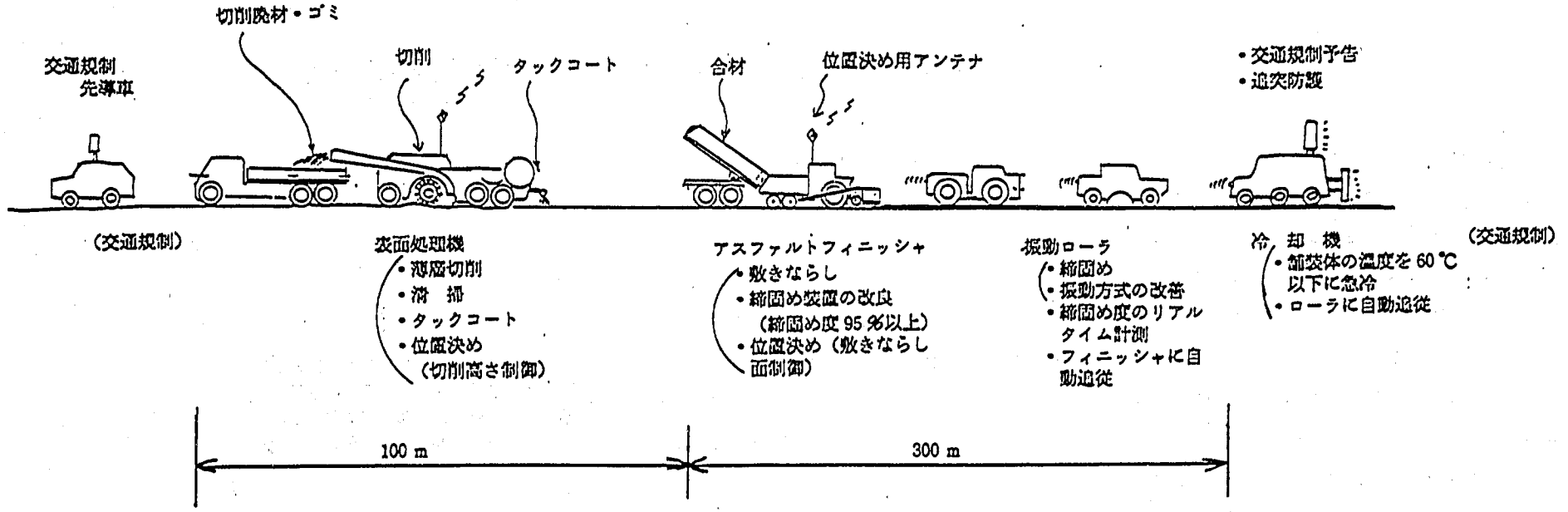


1. 各モジュールは分解移動、現位置組立式。
2. 敷きならし、締固めを自動化することにより、作業モジュールの高さは1m程度にする。注1)、2)
   作業の自動化に必要な現況路面形状、計画路面形状は、それぞれ、自動測量システム及びCADシステムよりインプットされる。作業モジュールの現位置計測が必要である。
3. 現舗装を再生利用することで、材料供給量は必要最小限にする。
4. 交差点等の少ない地方部の道路向き。

注1）高さ1m程度とすると全長は50～60m程度と考えられる。

注2）モジュールで行う作業をポットホールの補修やひびわれの充填、マーキングなどに限れば、高さは数十cm以下になると考えられる。

図6-3-33　道路補修高度化システムのイメージ（立体式路面補修フリート）

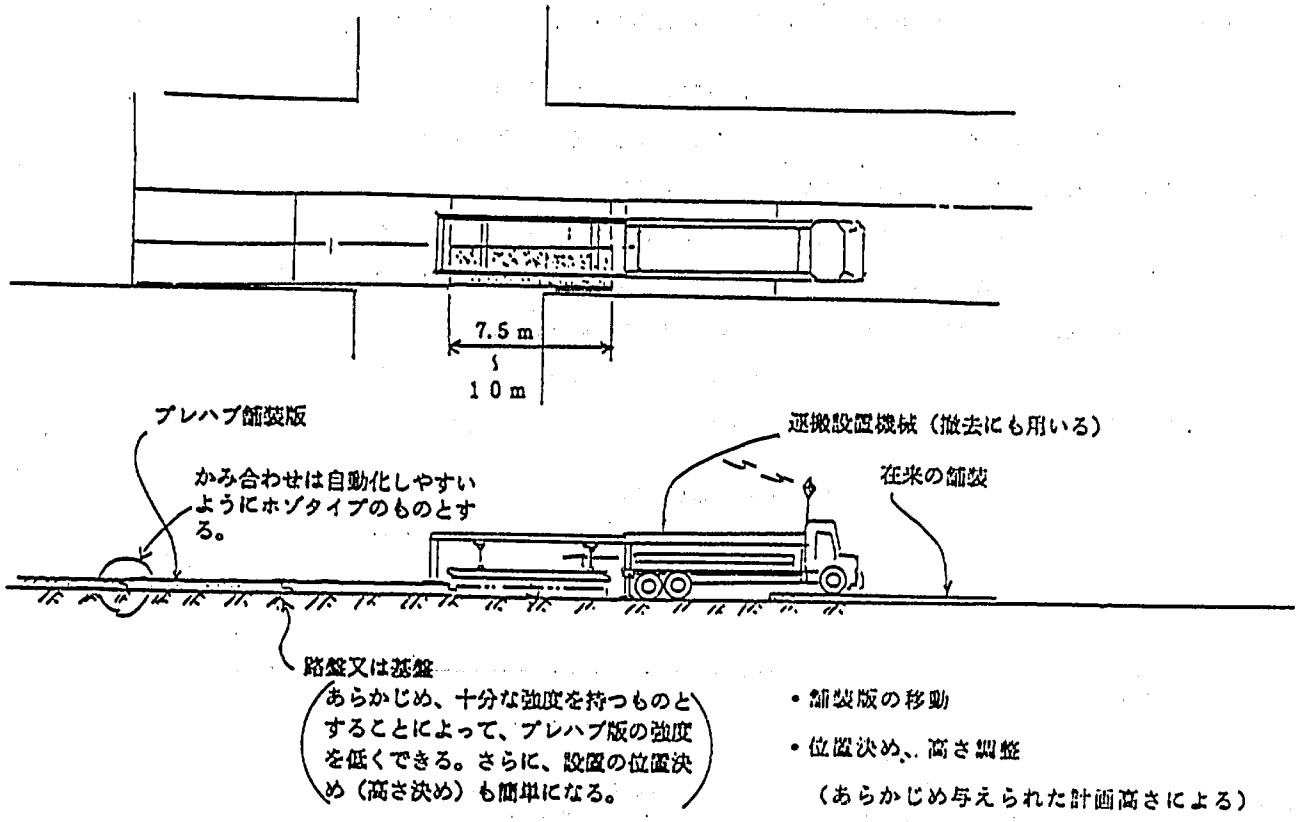


(例，アスファルト舗装のオーバー・レイ)

現在の施工速度　数m/minを10倍程度に高める。

1. 表面処理用、高速切削、清掃機械(より効率のよい切削方法の開発の必要性あり)
2. アスファルトフィニッシャの改良
   作業速度20～30 m/minのとき、95%程度まで締固の可能な敷きならし装置
3. 転圧後の舗装体を急速に冷却する機械(130℃→60℃)
4. 作業装置を自動制御するための基準面は自動測量システム、舗装CADシステムから与えられるデータから得られる。さらに、アスファルトフィニッシャ等の位置計測も必要である。
5. 急速施工を行うに当たっては、アスファルト合材の大量投入が必要となる。
   現在の合材工場の能力ではかなり不足するため、工場の集約化などが必要。

図6-3-34　道路補修高度化システムのイメージ(舗装路面の高速補修システム)



1）プレハブ化する舗装版は、セメント、アスファルト、樹脂等を用いた製品が考えられる。

2）交差点では、プレハブ化することにより、路面の明色化、表面のすべり抵抗の増大等の対応がしやすい。

3）当初、所要の強度を有する基盤とすれば、破損したとき、舗装版のみ取り換えればよい。

4）基盤上に、複数層のアスファルトマットを固定し、供用後、破損した表層を順次除却する方法が考えられる。

この場合、アスファルトマットはロールにまかれて現場へ搬入される。現場ではそのマットを転がしていくことで急速施工できる。この時、基盤は十分な強度、安定を持つものとする必要がある傷みの激しくなったマットは再びロール状にまきとることにより、回収・再生される。

5）交通量の増大とともに、路上における作業は、きわめて危険となっている。したがって、補修作業の大部分を、自動化、ロボット化することを考慮すると、プレハブ化は有利と考えられる。

図 6－3－35　道路補修等の高度化システムのイメージ（舗装プレハブ化の概念）

表6−3−13　舗装の維持管理に関する高度化システムのポイント

項　目	高度化システムの内容	期待する効果	必要な要素技術等		備　考
			エレクトロニクス関連	建設技術関連	
舗装状況の計測	車載型のセンサにより舗装の維持管理に必要なデータを高速、高精度で収集できる。 ・路面の3次元座標（わだち掘れ、縦断凹凸、段差） ・摩擦抵抗 ・ひびわれ、ポットホールの発生状況 ・舗装構造 ・舗装のたわみ （このうち路面の3次元座標については㎜単位の精度で計測することによって、補修ロボットの制御データとして、そのまま用いることができる。また、こうしたデータなしには、補修作業をロボット化することは困難である。）	・路面性状データ収集の高速化高精度化 ・補修作業のロボット化の促進 ・経年変化予測の高精度化 ・最適な補修の推進 ［舗装構造・たわみと路面の性状を関係つけることにより、損傷予測が高精度化する　また、補修についても舗装のどの層に損傷があるかを把握できるため、適切な補修が可能となる。］	・高精度な位置、姿勢計測センサ （走行する自動車を対象とするもの） （例） ジャイロ、慣性測量 ・非破壊探査技術の向上 （例） 超音波探査など	・たわみ量から各層の支持力を評価する理論の開発 （例） 多層弾性理論	
補修作業の自動化	路面の補修作業を自動化する ・立体交差型補修ロボット ・ロボット群による急速施工 ・舗装のプレハブ化による急速施工	・補修工事による現道交通阻害の最小化 ・路面平坦性などの路面の品質向上 ・省資源（合材等の再生） ・路上での危険作業の減少	・立体交差型ロボット ・アスファルト切削率の向上 ・コンクリート切削能率の向上 ・振動の少なく、高速高密度締固め機械の開発 ・能率の良い路面冷却装置の開発	・プレハブ化された舗装構成の検討 ・急速施工に適した材料の開発 （冷却時間が短いもの、締固めを必要としないものなど）	・舗装材料の改良によってはシステム全体が大きく変わり得る

6－3－2　建設情報管理高度化システムの概念設計

(1) 目　　的

建設技術の高度化を進めていく上で、建設の各プロセスにおいて収集・伝達・処理される様々な情報を適切に管理し、相互に有効利用することが極めて重要である。

建設事業における情報の流れは、事業の種類によらず基本的には共通するものがあり、その処理・通信の高度化も共通の考え方によって達成することが可能となる。事業別の高度化システムの概念設計においても、調査から設計・施工、維持管理に至る各プロセスにおける情報処理・通信の高度化システムは、基本的には共通する考え方で設計している。

本項においては、この考え方を建設情報管理高度化システム（以下ＣＩＣＳ：Construction Information Control System）として明示的に表現し、要素システムと要素技術の開発課題を抽出した。

(2) 建設情報管理高度化システムの内容

エレクトロニクスを利用した建設情報管理高度化システム（ＣＩＣＳ）は、様々な機能を有するデータベース群と、その情報を利用して各種の情報処理を行う工事マネジメントシステムとによって構成される。本研究では、エレクトロニクスを利用した建設工事の情報管理高度化システムを図６－３－３６のように構想し、各サブシステムの機能、相互関連を検討した。

(a) サブシステムの機能

データベース群は、機能により共用データベース、事業（設計・施工）主体が所有するインハウスデータベース及び施設データベースに区分される。

(i) データベースの機能と関連

① 共用データベース：利用者が公衆（あるいは専用）回線によりアクセスし、有料、無料でサービスを受けられるもので、公共的データベースあるいは商業的データベースとして運営される。

② インハウスデータベース：事業主体あるいは設計者、施工者が私的に所有するデータベースで、個別工事の実績、研究・調査の実績等が蓄積される。収納された情報は、後述する高度化支援システムへの入力情報として活用される。インハウスデータベースの情報は、共用データベースによって適宜補強されることになる。

③ 施設データベース：当該施設（構造物）の仕様および建設・供用段階での履歴が収納される。建設途中においては、設計・施工に必要となる当該施設のデータが一時的に収納されるが、供用開始後は維持管理用のデータベースとして利用され、補修等の

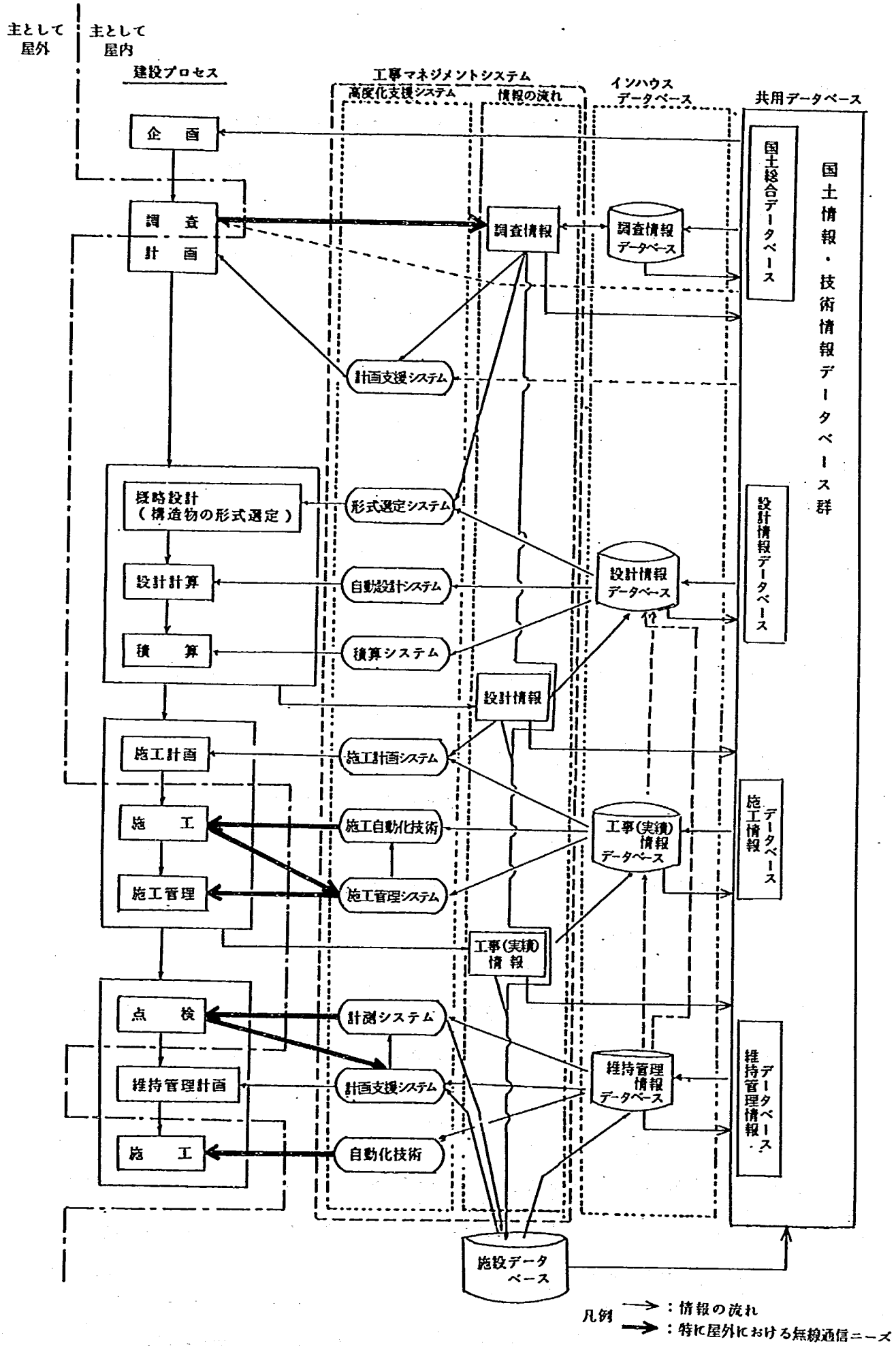


図6－3－36　建設情報管理高度化システムの体系

場合に適宜更新される。

(ii) 工事マネジメントシステム

工事マネジメントシステムは、高度化支援システムを構成要素として持ち、企画調査から設計・施工・維持管理のプロセスを最適に運営するための情報管理および意思決定の支援を行う。

高度化支援システムは、工事の各プロセスに対応した技術支援システムで、代表的なものとして図6－3－36に示した10のシステムを構想した。各システムは、現在技術者が行っている分析、計算、設計等の作業を高度な情報技術・情報システムで代替するもので、インハウスデータベース、共用データベースの情報、さらに個別の工事で得られる新規情報を入力情報とし、所定の情報を出力する機能を有する。

(b) 高度化システムの特徴

構想した高度化システムの特徴は、次の2点に集約される。

第1は、データベースおよび高度化支援システムにエレクトロニクス技術が十分に取り入れられ、高度な情報処理、迅速な情報通信がなされる。

第2は、施設データベースが確立され、対象施設の企画、調査、計画といった初期プロセスから設計、施工を経て、維持管理に至るまでの施設固有のデータが統一的に管理される。

ここで、各プロセスで発する各種データは、その都度データベースに蓄積され、蓄積されたデータベースはそれ以降の建設事業、技術開発に活用される。

このことにより、各プロセス間のデータの受渡しが効率化され、特に維持管理の際、部材データおよび地盤データ等が容易に参照できることになり、変状に対し的確な対応策をとることが可能となることが期待される。

(c) 高度化システムの全体イメージ

高度化システムは、工事の発注者（事業主体）をはじめ、建設会社、調査会社、設計会社、データベース提供者等、数多くの主体における内部での情報処理と各主体相互の情報通信によって成立する。

このために、情報処理分野ではコンピュータの小型化、高速化が一層推進し、シミュレーション等がさらに高速に行えること、画像・図形データ等も容易に取扱うことのできるマルチメディアデータベースの開発が進むこと、エキスパートシステムなど知識処理技術の開発が進むことが必要となる。

また、情報通信分野では、施工現場を含めた情報通信ネットワークの形成が不可欠であるが、これは全国規模での高度情報通信システム（ＩＳＤＮ）の整備が進むなかでその条件が整うことになる（図６－３－３７）。また施工現場等を中心として、データ伝送における無線通信のニーズも高くなる。

(3) 各プロセスにおける情報の流れ

企画、調査・計画から設計、施行、維持管理に至る各プロセスの高度化支援システムに着目したときの情報の流れを図６－３－３８～図６－３－４４に示す。それぞれの図は、左側に示した各種のデータベースに収納されている既存の情報と、当該工事で得られた新規の情報とが高度化支援システムで処理・加工されるとともに、その中の有用な情報が新たにデータベースに収納されることを示している。

以下、各支援システムで扱われる情報項目について述べる。

(a) 調査（図６－３－３８）

調査のプロセスにおいては、まず構造物の基本仕様（工事場所、構造諸元、工期等）が与えられる。当該地点についての情報（地図、土質・地質等）がインハウスデータベースに入っている場合はこれが利用され、不足分は共用データベースにアクセスすることによって情報を入手する。個別の建設地点の地域情報をインハウスデータベースに保有しておくことは必ずしも効率的ではなく、共用データベースを充実させることが必要となる。

これらのデータに現場計測で得られた各種のデータが付加され、地形評価、地質評価等を行う情報が収集されることになる。これらの情報を各種エキスパートシステムなどの支援システムを利用して処理・加工し、地形評価、地質評価等が行われる。結果は施設データベースに収納され、設計などのプロセスにおいて利用される。また、他の工事の参考になる情報や技術的に貴重な情報は適宜取捨選択され、インハウスデータベースに収納されたり、共用データベースに提供され、収納されることになる。

(b) 形式選定（図６－３－３９）

形式選定のプロセスでは、構造物の仕様および工事地点の地形・地質情報、障害物情報は施設データベースから得ることができる。インハウスデータベースからは類似構造物についての自己の工事実績のデータを利用する。共用データベースからは当該地点周辺の土地・地質情報や障害物情報、法規制などの情報を入手する。また、関連する施工事例等も入手できることが望ましい。新規データとしては、試掘などによる当該地点の新規の土質・地質情報、障害物情報などが必要となる。

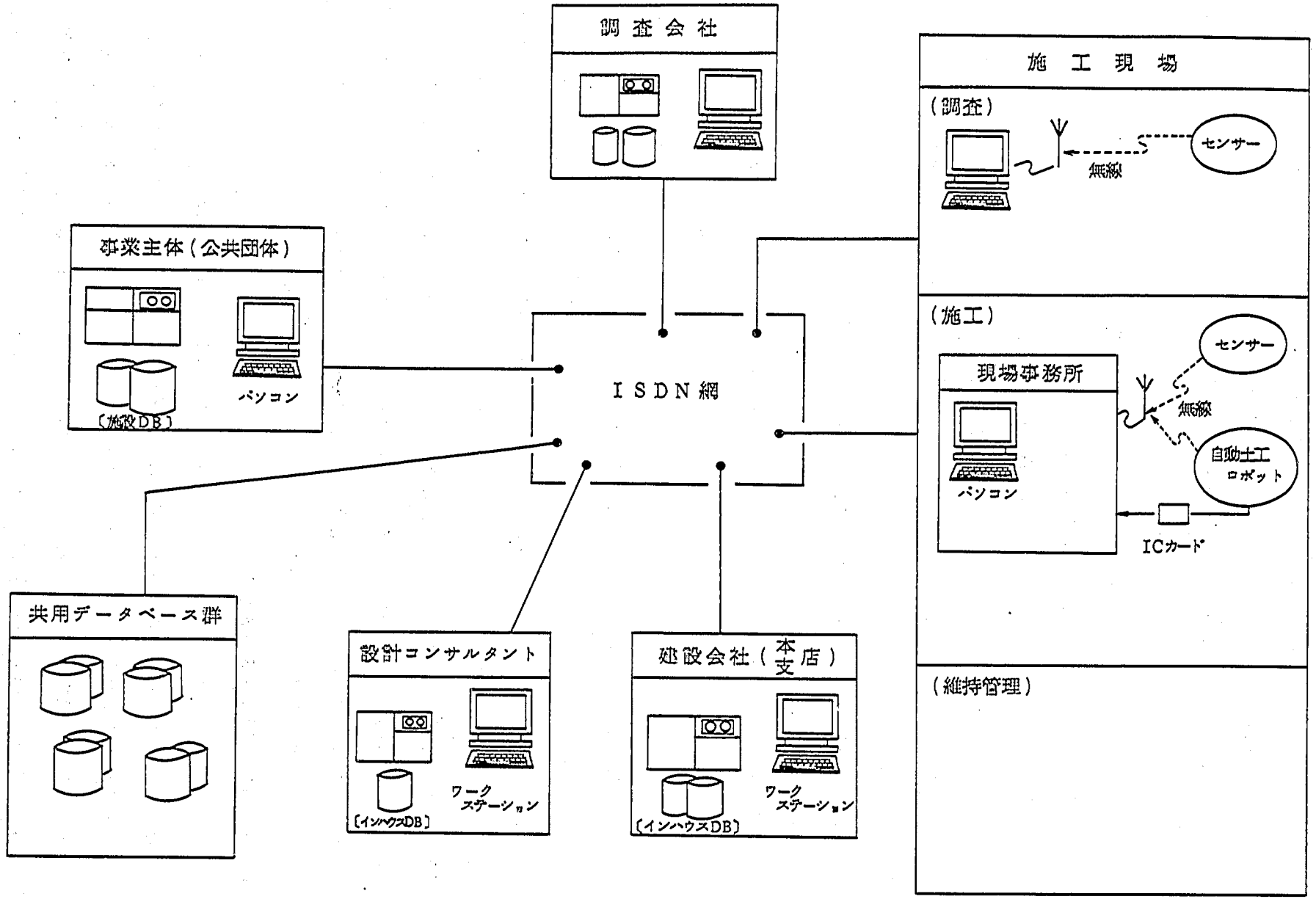


図 6−3−37　建設情報管理高度化システムを支える情報通信ネットワークの概念

これらの情報は処理・加工され形式選定の意思決定に供されることになるが、ここではエキスパートシステム等を用いて、機能特性・経済性・施工性等が形式別に比較情報としてまとめられる。意思決定がなされた後で必要な仕様の追加が行われ、選定された形式の概略図が描かれ、これらの情報が施設データベースに収納される。

(c) 設計（図6－3－40）

設計のプロセスにおいては、前プロセスまでの情報の蓄積で施設データベース内の情報が豊富になっている。インハウスデータベースからは当該発注者の設計基準や既存事例の統計資料が得られる。これらがインハウスデータベースに存在しない場合は、共用データベースから入手する。新規データとしては、細目の設計数値等が与えられる。

このプロセスでは、設計成果品、自動化施工のための情報、不確定要素（土質、地質等）の推定値と根拠等が出力されることになるが、最適設計を部分品の組合せで提示することのできるエキスパートシステムの利用が想定される。出力された情報のその後の流れは、他のプロセスと同様である。

(d) 積算（図6－3－41）

積算のプロセスは、現在でもほぼ定形化されており、エキスパートシステム等の利用の必要性はほとんど存在しない。積算のプロセスをより効率化するためには、単価、歩掛等の基本的なデータをより正確なものにすることが重要である。このためには、インハウスデータベースと共用データベースの内容の整合性を確保することが必要となる。

(e) 施工計画（図6－3－42）

施工計画では、施設データベースからの情報に加え、類似工事の施工実績、資材・機械の施工実績等がインハウスデータベースから入力される。類似工事の施工実績情報をより広く集めたいときには、共用データベースにアクセスする。新しい工法を用いたり、新型の機械を用いたりする場合には、これらのデータが新規データとして入力される。

施工計画書がこのプロセスからの出力となるが、施工計画書の策定にあたっては、分析タイプのエキスパートシステムである資機材選定エキスパートシステムと、計画タイプのエキスパートシステムである施工計画エキスパートシステムが有効な手助けとなる。

(f) 施工管理（図6－3－43）

施工管理では、施設データベースに収納されている施工計画に照らした進行状況の把握と、状況に応じた施工計画の修正を同時に行う必要があり、施工・出来高情報、気象・水象情報、各種計測情報が新規の情報として大量に入力される。施工管理は出来高管理、工程管理、品質管理といった多数の構成要素からなっており、各構成要素に対応する高度化

支援システムとして各種エキスパートシステムが必要となる。

また、施工中の予期しない状況（工事災害、想定値と実績値の乖離の発生等）への対策の立案の際には、インハウスデーターベース、共用データベースが活用される。

(g) 維持管理（図6－3－43、図6－3－44）

維持管理のプロセスでは、施工管理までに蓄積された施設データベース内のすべての情報と供用後の観測データによって、構造物の劣化の状況が評価され、補修・改修の計画が立てられ、維持補修のための施工が行われる。情報の流れとしては、新規の建設の際の調査から施工までのプロセスに類似した部分が多いが、構造物の点検、劣化状況の診断のプロセスは維持管理独特のものである（図6－3－43）。

劣化等の不都合が発覚した場合の情報の流れは図6－3－44のようになる。

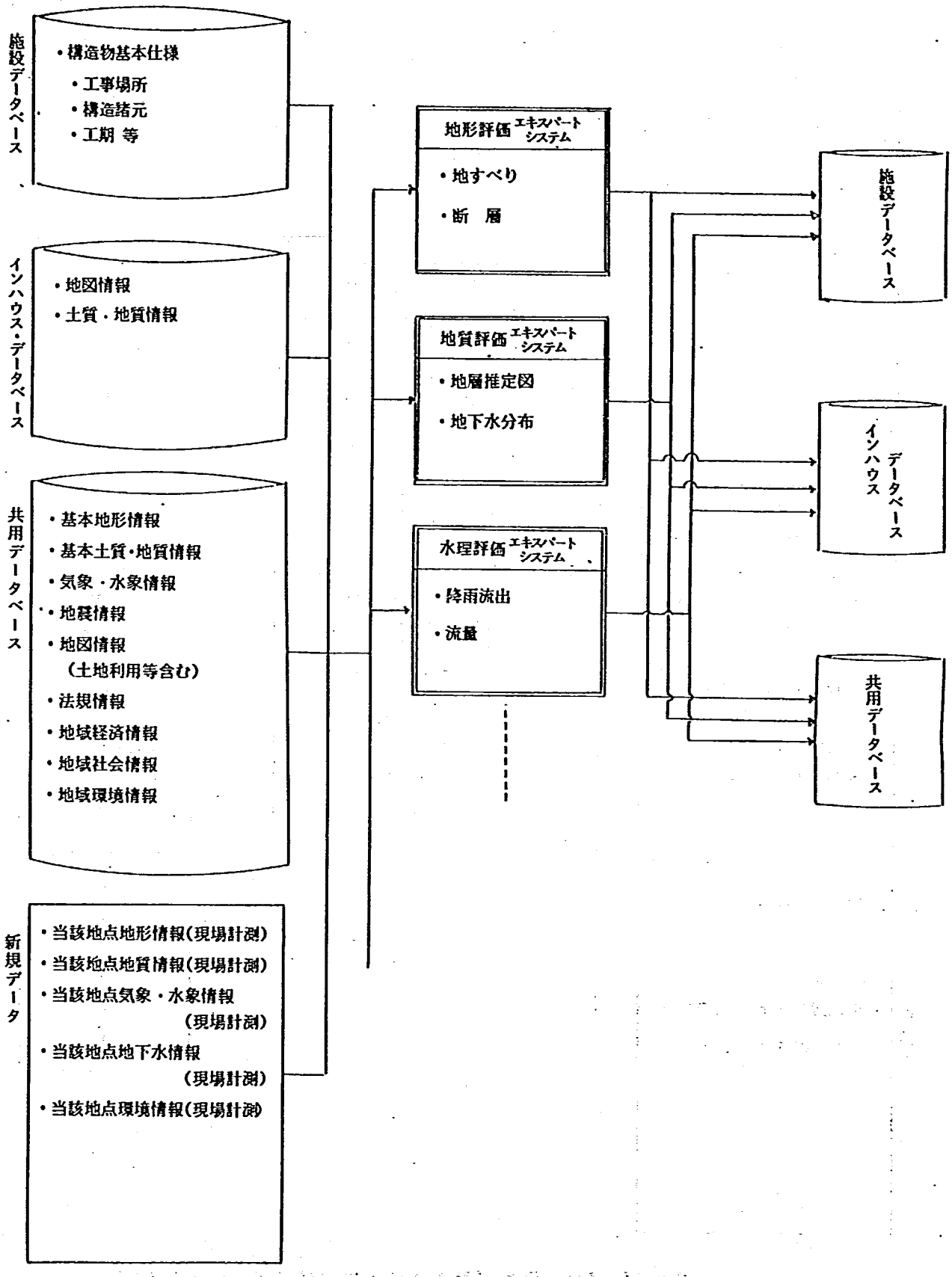


図 6－3－38　調査支援システムにおける情報の流れの概念

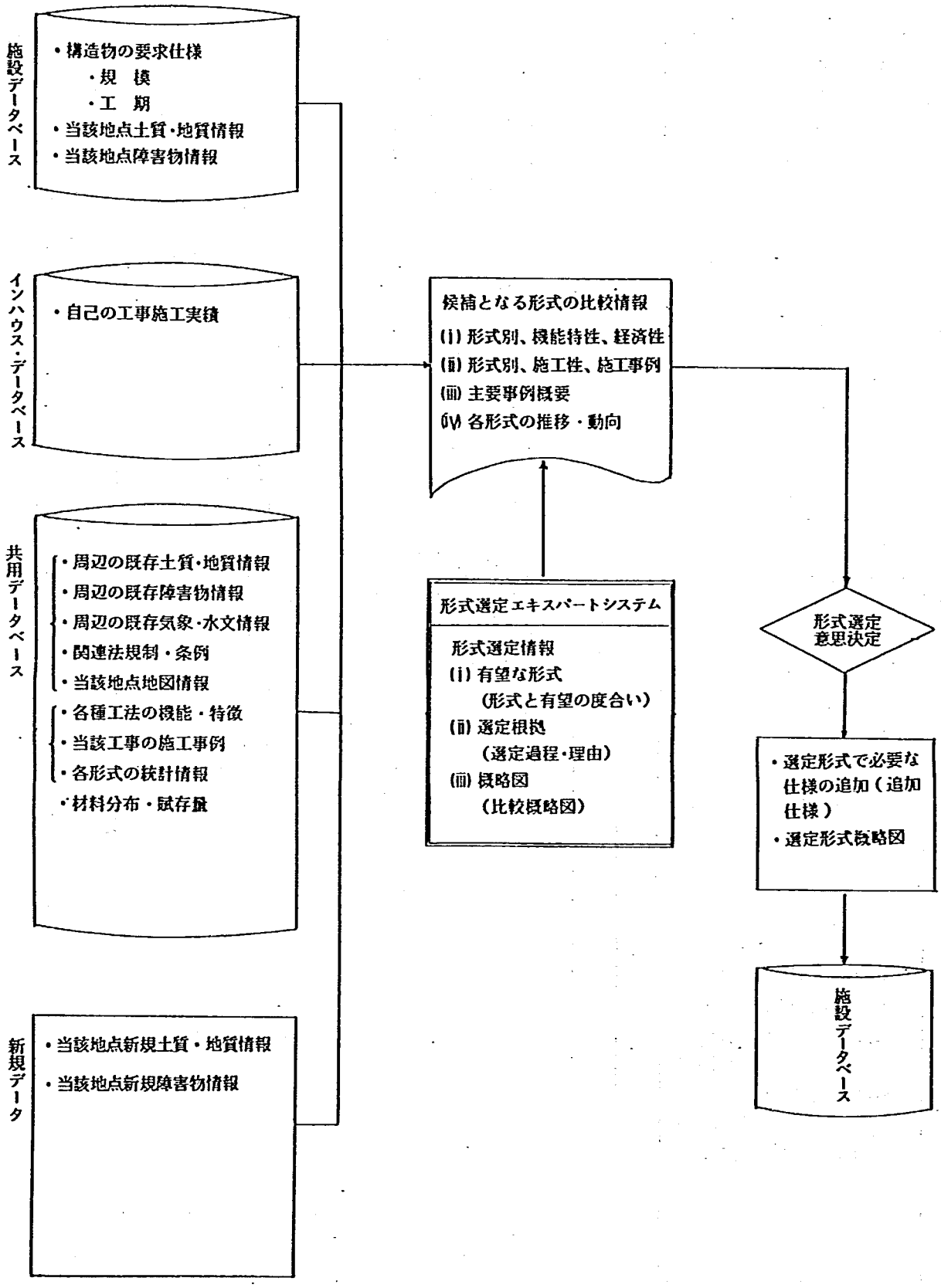


図6-3-39　形式選定システムにおける情報の流れの概念

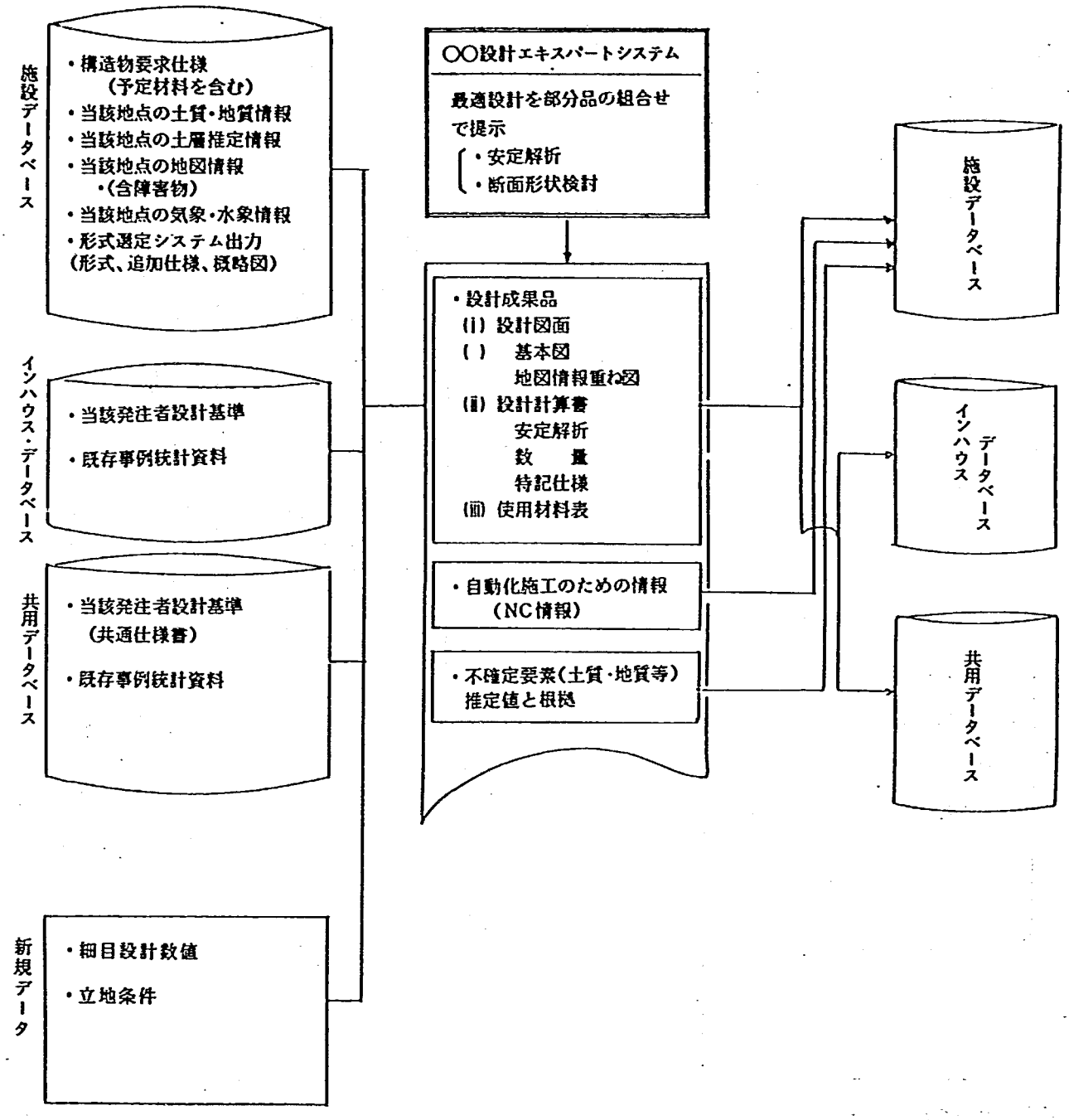


図6－3－40　自動設計システムにおける情報の流れの概念

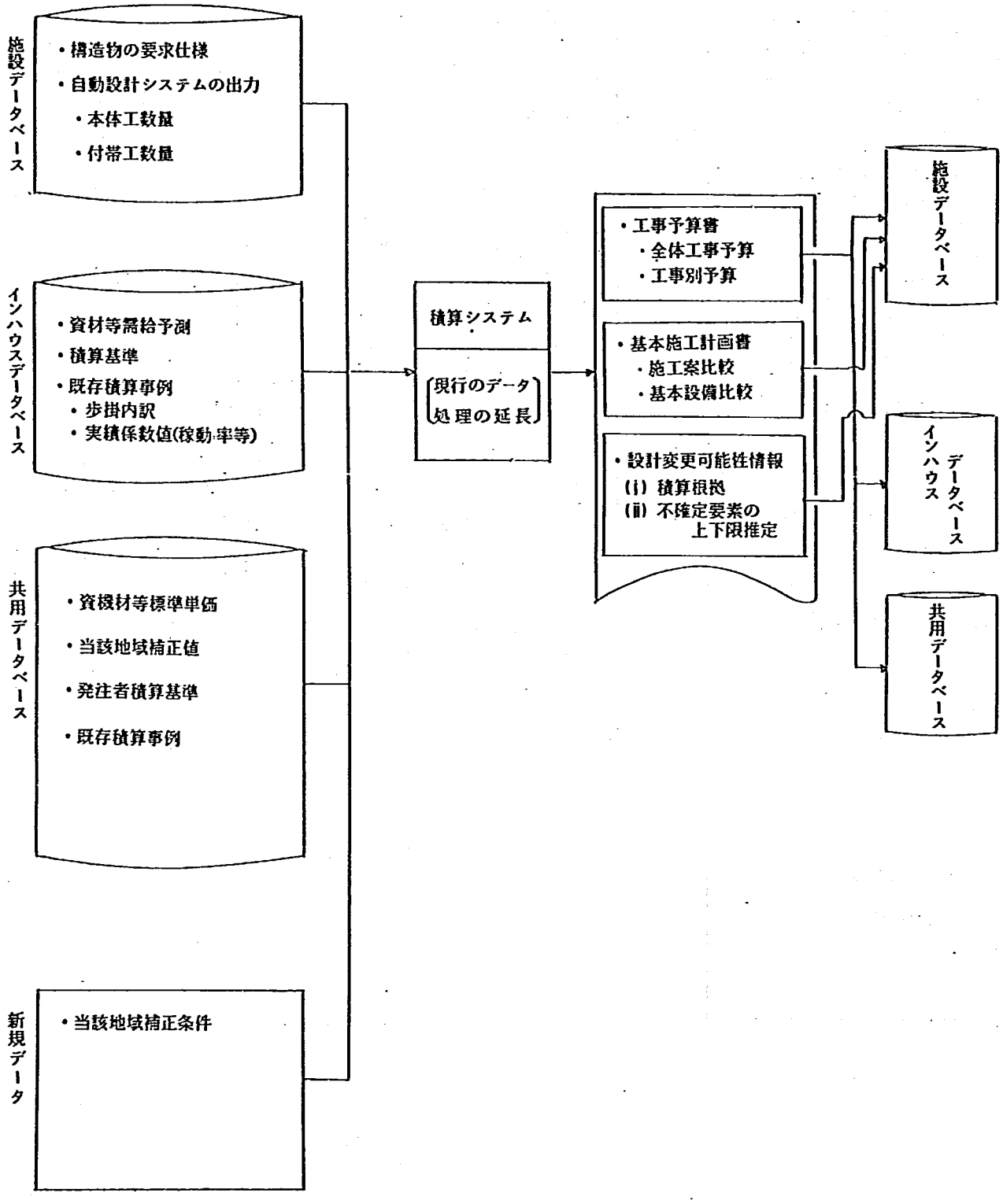


図 6－3－41　積算システムにおける情報の流れの概念

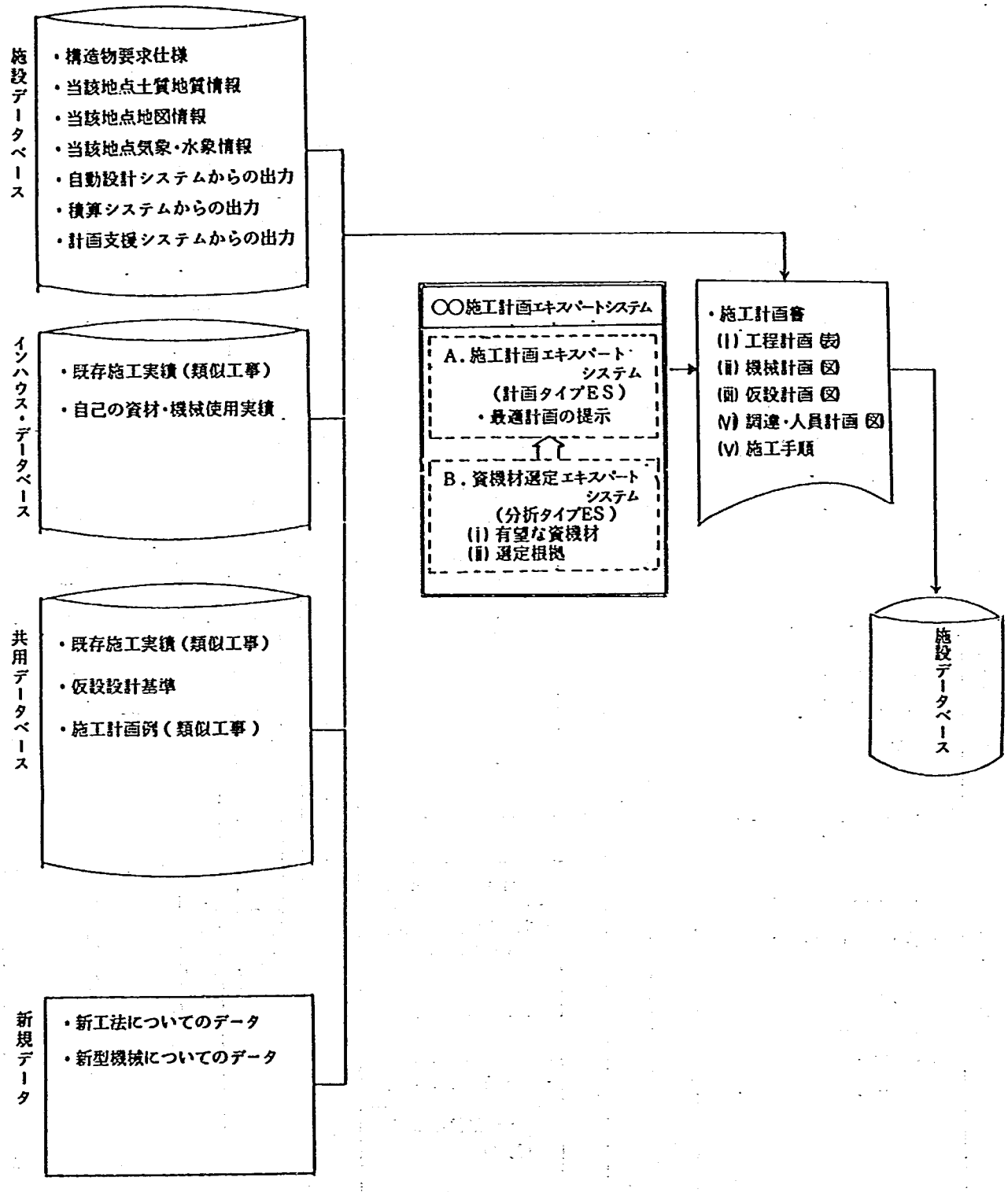


図6－3－42　施工計画システムにおける情報の流れの概念

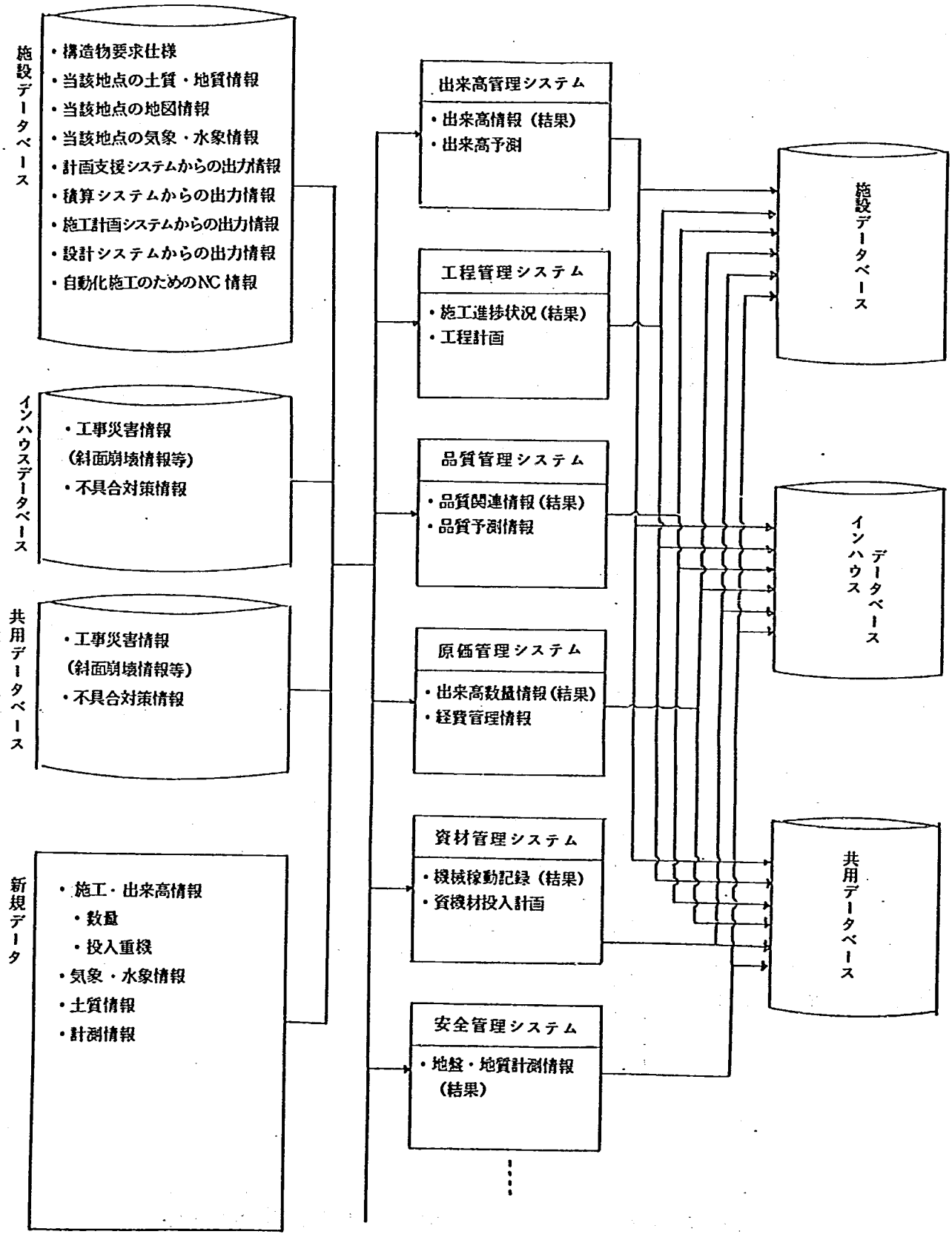


図6-3-43　施工管理における情報の流れの概念

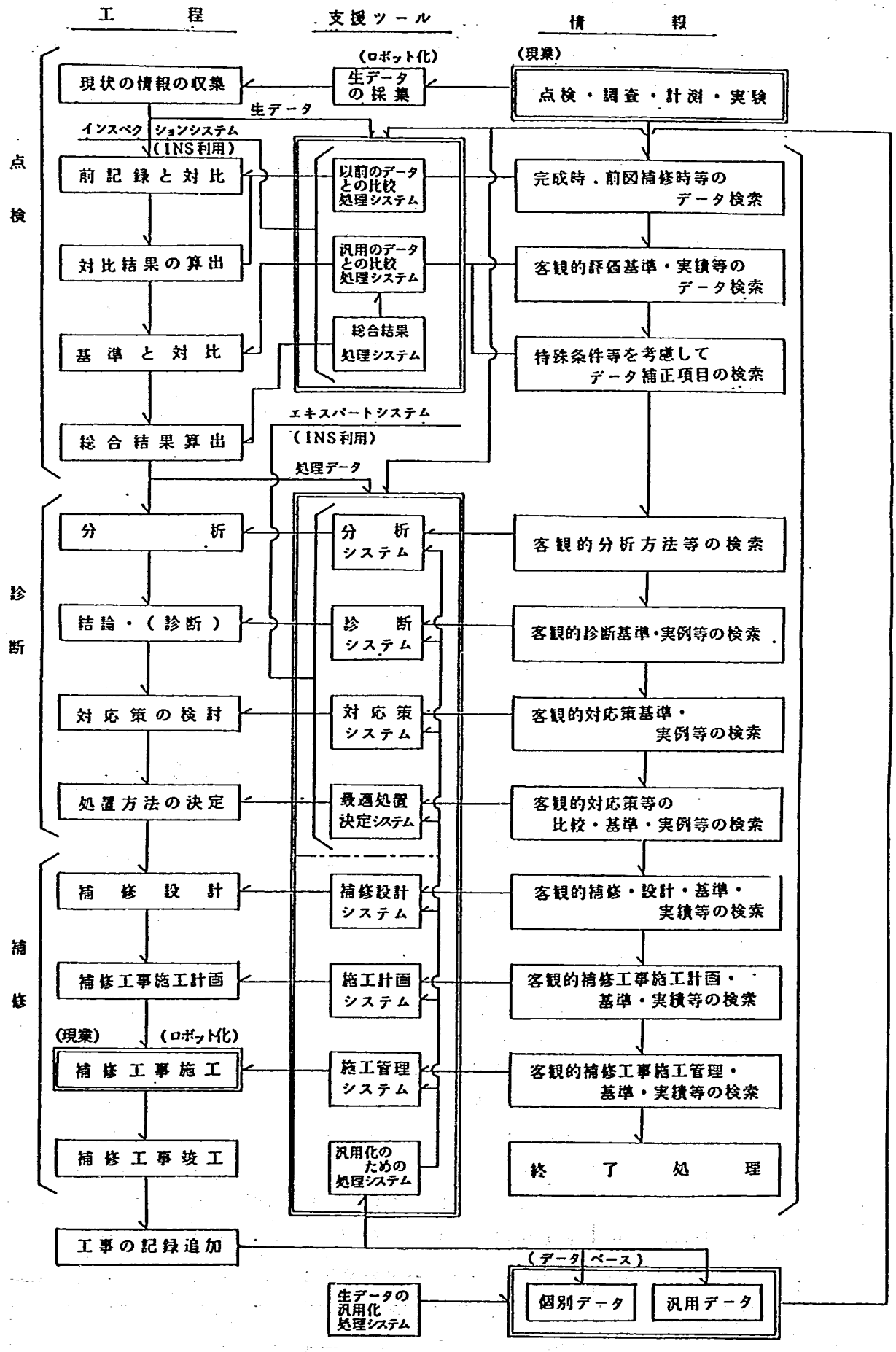


図6－3－44　維持管理における情報の流れの概念

(4) 高度化のための開発課題

以上、(3)の(a)～(g)に各プロセスごとの高度化システムにおける情報の流れの概念を示したが、ここではこれらの実現のための開発課題を表6－3－14のように整理した。

表6－3－14　高度化のための開発課題

建設プロセス	高度化支援システム	高度化のための開発課題
企画調査	調査支援システム	調査（探査）機器（センサー含む）の高度化により、得られるデータは増加することが想定され、大量のデータを処理しつつ、推論等により地形・地質・水理条件の判定を支援できるエキスパートシステムの開発が必要となる。
設計	形式選定システム	最終的な判断（選定）は、人に拠る部分が残される。したがって、形式選定情報を提供するエキスパートシステムは、選定の根拠を明示しうるものであることが望ましい。
	自動設計システム	構造物を部分品の組合せで提示するＣＡＤシステムと一体となったエキスパートシステムが必要である。また自動化施工のための情報を合わせて提供できるシステムであることが望ましい。
	積算システム	手順は確立しており、積算基準の精度を高めることが課題。精度を高めるためには、以下の点が要点となる。 (i) 実績データの蓄積による恒久的（継続的）基準の見直しシステムの構築 (ii) 補助工法等の不確定要素の推定技術の改良
施工	施工計画システム	現行工程計画手法の見直しや計画管理手法の開発が必要である。
	施工管理システム	管理の対象となる情報の種類が多く、要求される機能も多岐にわたる。このため、重要度の検討を行った上で開発課題を絞り込むことが必要である。
維持管理	計測(点検)システム 施工計画システム	情報の基本的な流れは、構造物に共通しており、システムとしての整備は比較的容易である。施設の履歴情報を管理する施設データベースの整備が急務である。

6－4　要素技術の開発展望

6－3節において検討した高度化システムの概念設計においては、様々な要素技術の開発が高度化システムの実現だけではなく、課題としてあげられている。本節では、事例としてとり上げた高度化システムの実現だけではなく、建設技術全体の高度化にとっても不可欠かつ重要と考えられる要素技術の開発課題を抽出し、その技術の現状と問題点を既存資料等より整理した。そして各課題について、今後有望と考えられる開発の方向を数名～10数名の専門家に対するヒアリング調査に基づいてまとめて開発の展望とした。なお、要素技術は大きく分けて、メカトロニクス関連技術および情報処理・通信技術に分けて整理している。

6－4－1　メカトロニクス関連技術

メカトロニクス関連技術は、図6－4－1に示すように分類することができる。

6－3節で検討した高度化システムの概念設計事例では、システムの構成要素として各種ロボットや自動化施工システム等が上げられているが、それらのロボット等が必要とするメカトロニクス関連要素技術を図6－4－1の分類に従って整理したものが表6－4－1である。

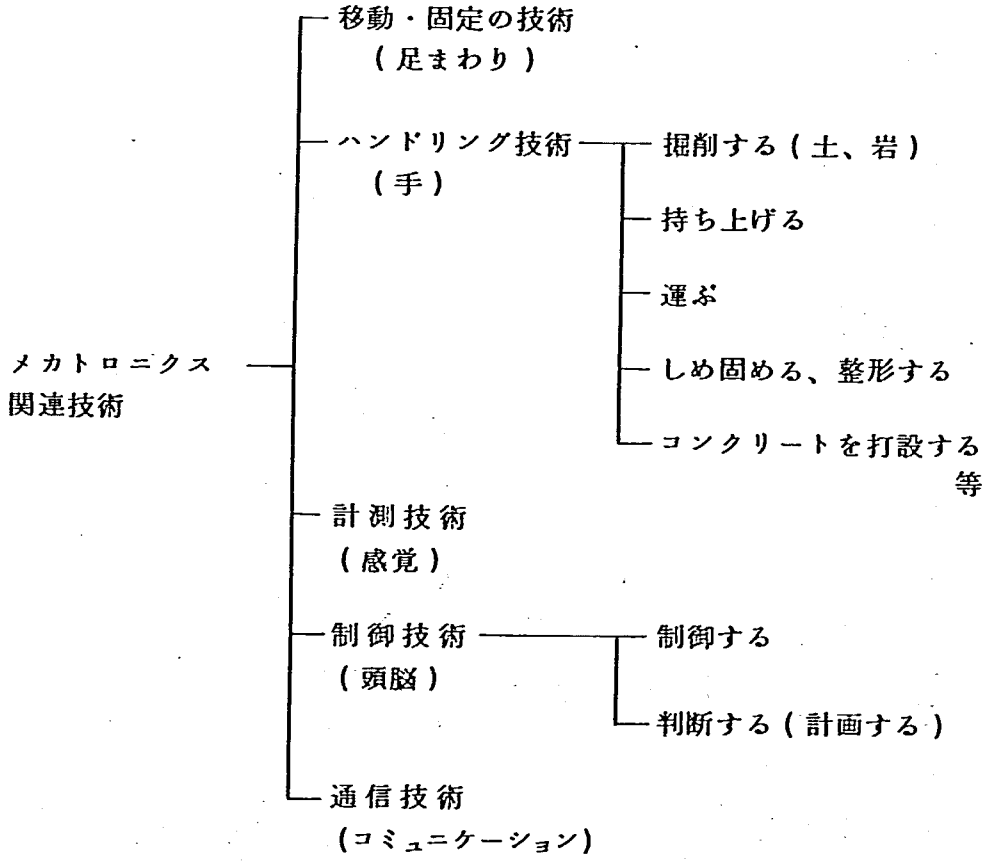


図6－4－1　メカトロニクス関連技術の体系

表６－４－１　高度化システムの概念設計事例において必要とされるメカトロニクス関連要素技術

建設プロセス ／ 高度化システムの構成要素 ／ メカトロニクス関連要素技術			調査・設計										施工		
			センサー（地質・水位・地形）	遠隔無人計測用機器	リモコンプラットホーム	高精度地中探査センサー	調査用不整地走行ロボット	自動ボーリングマシン	海底地形スキャナー	水中ボーリングマシン	水中モニターロボット	土質用磁気探査機	多点水中設置センサー	掘削作業用ロボット	コンクリート施工用ロボット	トンネル全自動掘削機
メカトロニクス関連技術	移動・固定の技術（足まわり）				不整地移動		不整地移動	○	○	○	○			不整地移動	○	○
	ハンドリング技術（手）	掘削する（土、岩）						○						岩掘削		岩掘削
		持ち上げる														
		運ぶ			○									○		
		しめ固める、整形する												○	○	○
		コンクリートを打設する等													○	
	計測技術（感覚）		地質、水位、地形		1元3次計測	地下埋設物	1元3次計測	○	地形	土質(地質)	1元3次計測	地下埋設物	○	1元3次計測		
	制御技術（頭脳）	制御する		○	決位めの		決位めの1元3次計測	決位めの	○	決位めの				決位めの	決位めの	決位めの
		判断する（計画する）					○	○						○	○	○
	通信技術（コミニケーション）		○	○	○				○		○		○			

表6－4－1（つづき）

建設プロセス ／ 高度化システムの構成要素 ／ メカトロニクス関連要素技術			施工									維持管理				共通
			点検・塗装ロボット	全自動バッチャープラント	運搬、まき出し、締固圧、締固度の自動化計測	締固度のリアルタイム計測	トンネル自動掘進機	セグメント自動搬送機	土留全自動掘削・排土システム	海中基礎工自動施工船	自動位置決め装置	水中モニターロボット、センサー	トンネル点検補修車	橋梁点検・補修ロボット	車載型センサーによる舗装の高速自動計測	ロボットナビゲーション技術
メカトロニクス関連技術	移動・固定の技術（足まわり）		橋梁		○		○	○	○		○	○	○	橋梁		地盤不動移動
	ハンドリング技術（手）	掘削する（土、岩）					岩掘削		土掘削	岩掘削						
		持ち上げる	○										○	○		
		運ぶ	○	○	○		○	○	土運搬							
		しめ固める、整形する			○											
		コンクリートを打設する等														
	計測技術（感覚）		鋼材位置決め		締固度位置決め	土の締固度	3次元計測位置決め			海底地形3次元計測	3次元計測位置決め	3次元計測位置決め	コンクリート、3次元計測位置決め	コンクリート、鋼材位置決め	アスファルト	3次元計測位置決め
	制御技術（頭脳）	制御する	○	○	群制御		○	○	○	位置決め	位置決め	位置決め	位置決め	位置決め	○	位置決め
		判断する（計画する）	○	○	○		○	○		○					○	○
	通信技術（コミュニケーション）				○	○						○				○

表６－４－１に上げられたメカトロニクス関連要素技術の中で、開発が技術的にむずかしく、また開発された技術の汎用性が高いといった理由から、建設技術全体の高度化にとってキーテクノロジーと考えられる要素技術を抽出し、その開発展望を明らかにする。

検討の対象とする技術としては、表６－４－２に示すものをとりあげた。

表6－4－2　検討対象としたメカトロニクス関連要素技術

・硬化コンクリートの非破壊検査技術	・高所足場作業のメカトロ化
・鋼材の非破壊検査技術	・岩掘削作業の制御技術
・地質（土質）調査用センサ －広域的概略調査用－	・建設ロボットにおける位置認識技術
・地質（土質）調査用センサ －現地詳細調査用－	・不整地移動技術
・地質（土質）調査用センサ －地下埋設物調査用－	
・３次元形状計測センサ －ロボットビジョン用－	
・３次元形状計測センサ －海底地形調査用－	

(1)　コンクリートの非破壊検査技術

硬化コンクリートの検査は、強度、内部空洞の有無、ひびわれ深さ、中性化の進行状況、鉄筋位置・径等多項目にわたる。これらの項目の多くは維持管理上重要であるにもかかわらず、実験室内でサンプルを検査することや現物を破壊することにより、初めて精度良く計測できるものであるため、屋外での非破壊検査、特に目視調査が主体となるコンクリート構造物の点検作業では十分なデータを収集できず、維持管理水準の向上や効率化を図る上で大きな障害になっている。そのため維持管理の高度化システムを開発するにあたって、センサ技術を利用した非破壊検査技術の確立が強く望まれている。

(a)　技術の現状と課題

コンクリート強度の測定では、シュミットハンマー、音速法が現在よく利用されている。シュミットハンマー法は、反発硬度を利用するもので精度も比較的良く、また対象物の形状・寸法に制約なく手軽に計測ができるという利点を有している。しかしながら、シュミットハンマー法のみではコンクリート内部を測定することは不可能である。

音速法は、コンクリート内部における超音波（衝撃波、表面波）の伝播速度を測定するものであるが、内部測定が可能である反面、精度が低いという問題点がある。

コンクリート内部の欠陥（空洞・亀裂）の測定法として、現段階で確定的なものはないが、音波法やγ線、X線を利用したラジオグラフィーの研究・試験が行なわれており、今後の実用化が期待される。

鉄筋の位置や直径、かぶり、腐食状況などの測定に関しては、磁気法、渦流探傷法、γ線・(X線)ラジオグラフィーなどがあげられる。このうち、わが国では磁気法が一般的であり機器の市販もされているが、精度が±2cm程度と良くない。

表6－4－3は、コンクリートの非破壊検査技術の現状と課題を計測項目ごとに整理したものである。

表6－4－3からも明らかなように、現状のコンクリート非破壊検査技術を高度化システムに適用する上で次の2つが課題となる。

① 測定精度の向上

② 取扱いの簡易化

現在の技術水準では、この両者を同時に満足させるものがなく、今後の技術開発に待つところが大きい。

(b) 開発の展望

コンクリート構造物の維持管理を高度化するために必要なコンクリート非破壊検査技術の概略仕様を想定し、それらを満足させるために今後行うべき技術開発の方向、その実現可能性等について専門家に対するヒアリング調査を行った。それらの調査結果を技術開発の展望としてまとめたものが表6－4－4である、また、想定されるシステムのイメージ例を図6－4－2、図6－4－3に示す。

表６－４－３　コンクリートの非破壊検査技術の現状と課題（その１）

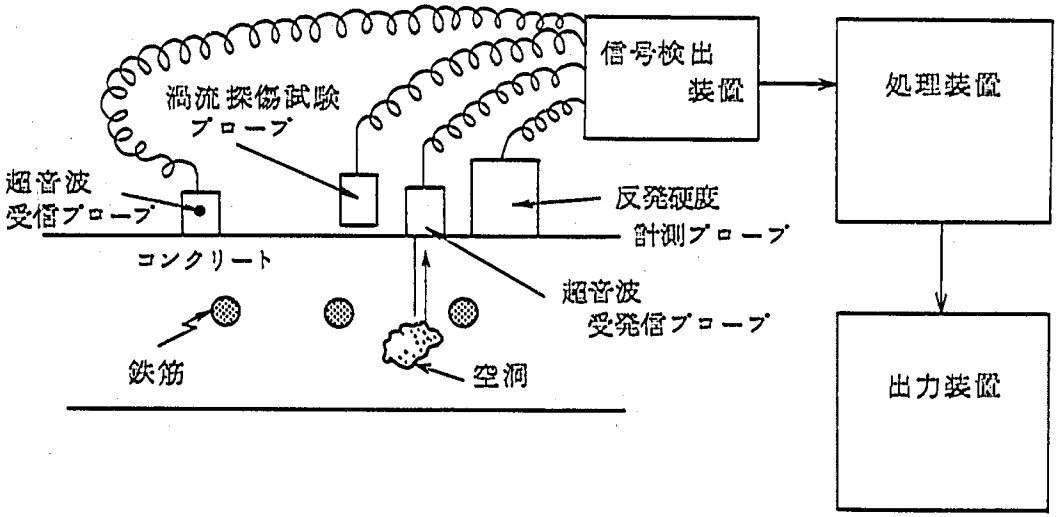
区　分	方　法	原理及び媒体	適用範囲・実績	利　点	欠　点	将来の適用見通し
コンクリートの強度の測定	くぎ・ボルトの引抜き	直接せん断強度	・圧縮強度の推定 ・形状、寸法に制約がない ・ソ連（米国）で規格化	・精度が比較的良い ・現場で手軽にできる	・局部破壊を伴う ・内部の測定ができない	研究の進展次第で実用化の可能性はある
	ハンマ打撃法（落下・バネ・回転・鋼球）	くぼみの直径と表面硬度	・圧縮強度の推定 ・最近では使用されていない	・精度が比較的良い	・表層部の測定に限られる	使用されない
	シュミットハンマー（N．P．L．M）	反発硬度	・圧縮強度の推定 ・世界で最も多く使用されている ・欧米で規格化、日本ではJASS（参）	・精度が比較的良い ・対象物の形状、寸法に制約がなく手軽にできる	・内部の測定ができない	他の方法との組合せにより、精度・測定範囲の向上が有望
	音速法	超音波（衝撃波、表面波）の伝播速度	・圧縮強度、内部欠陥の推定 ・厚み、動弾性係数の測定 ・超音波法は、最近よく使われている	・内部の測定ができる ・対象物の形状、寸法に制約がなく手軽にできる	・精度が良くない ・指向性の良い高周波ほど減衰が大きい	超音波法と他の方法との組合せが実用化されつつあり、有望
	音速法・シュミットハンマー法の組合せ	――――	・圧縮強度の推定 ・最近研究が進められだした	・測定精度の向上 ・全体の強度傾向の把握	・強度判定式が未確立	表層部に限らず、全体の強度傾向と、精度の向上が望まれる
コンクリート内部の欠陥（空洞・亀裂）の測定	音速法	――――	・空洞・亀裂等の内部欠陥の推定 ・超音波法は、最近使われだした	・対象物の形状、寸法に制約がなく手軽にできる	・精度が良くない	他の方法との組合せにより精度の向上が期待できる
	γ線ラジオグラフィー	γ線の透過度（フィルムの黒化度）	・コンクリートの密度変化、微小ひびわれの成長の測定、床版の厚み測定 ・日本では現場での適用が少ない	・内部の欠陥を直接目で観察できる ・精度が良い	・放射線の危険が伴う ・裏面にフィルムが必要 ・測定が局部的	局部的な測定にすぐれている。他の方法との組合せが期待される。
	X線ラジオグラフィー	X線の透過度（フィルムの黒化度）	・同　上	・内部の欠陥を直接目で観察できる	・同　上 ・γ線に比べ透過力が弱い ・精度はγ線に劣る	γ線に比べ、実用化の期待はうすい
	表面温度測定法	表面の赤外線放射強度の映像化	・コンクリート内部、背面の空洞推定 ・まだ、実験の段階	・広範囲、連続的な測定ができる ・非接触形	・コンクリートの適用性が実証されていない ・概略測定の範囲	今後の研究の進展次第で、実用化の可能性もある
	舗装路面下の空洞検知 GEORADAR－0 RAIT－SYSTEM 地下探査レーダー	電磁波	・アスファルト舗装面下の空洞検知 ・深さ2.0m内、空洞径は深さ以上 ・実証の段階 （建設省技術評価）	・空洞の有無・位置の検知ができる ・取扱いが比較的容易	・精度が良くない ・コンクリート舗装面下及び内部の検知には適用されていない	適用の可能性もありうる

表6－4－3　コンクリートの非破壊検査技術の現状と課題（その２）

区　分	方　法	原理及び媒体	適用範囲・実績	利　点	欠　点	将来の適用見通し
コンクリートの表面ひびわれの幅、深さ	音速法	――――	・表面ひびわれの深さ推定 ・最近、使用されはじめている	・対象物の形状、寸法に制約がなく手軽にできる	・精度が良くない	精度向上のために他方法との組合せが望まれる
	目視法	クラックスケール(幅) セルロイド板挿入(深さ)	・ひびわれの幅、深さの測定 ・古くから行われている方法	・取扱いが最も簡単 ・幅の測定精度は良い	・深さの精度が良くない	応急測定性としての価値はのこる
	光学的測定法	光により、ひびわれを画像化、光の強弱で測定	・表面ひびわれ幅の推定 ・最近開発され、実用化されている	・精度が良い ・機器が軽量で取扱いが簡単	・局部的な測定	広範囲にわたる概略測定法との組合せが期待される
	ゲージ法	コンタクトゲージ(機械式) クラックゲージ(電気式)	・表面ひびわれ幅の測定 ・ひびわれ幅の変化測定	・取扱いが簡単	・直接測定ができない ・精度は、スケールに比べて劣る	現状からの進展は期待できない
鉄筋の位置、直径、かぶり、腐食	磁気法 パコメーター	平行共振回路のダンピング	・鉄筋の位置、直径、かぶりの推定 ・適用径８～34㎜ かぶり０～120㎜ ・実用化され、機器は市販されている	・取扱いが簡単で現場で手軽にできる	・精度が良くない (±２㎝程度)	大幅な精度向上は望めない
	渦流探傷法	励磁電流による励起電流の位相差	・鉄筋の位置、直径、かぶりの推定 ・腐食の位置、程度の推定 ・実験の段階	・取扱いが簡単	・精度は±２㎜程度 ・かぶりは70～80㎜まで	今後の研究の進展次第では精度の向上と実用化が期待できる
	γ線（X線）ラジオグラフィー	放射線の透過量	・鉄筋の位置、直径、かぶりの推定 ・壁厚は450㎜まで適用できる ・実用化は遅れている 外国では使用	・精度は非常に良い (壁厚＜300で８㎜)	・放射線の危険が伴う ・装置が大型で費用が大 ・局部的な測定になる	装置の小型化と放射線の安全確保の向上により、広く実用化され得る
コンクリートの中性化	試薬塗布	フェノールフタレインによるＰＨ測定	・最も広く使われている方法 ・水中を除くすべての場所で適用できる	・取扱いが簡便で現地で手軽にできる	・面的測定のため深さ測定には破壊を伴う	現状からの大幅な進展は期待できない
	化学分析法	粉末試料のPH測定	・実験の分析等に多く使われ、現地測定の適用はむずかしい	・測定法が完成されている	・現地測定に適用できない ・測定に手間を要する ・局部破壊を伴う	今後も現地での適用は望めない
	中性化速度推定法	W/C、環境条件、材令から推定	・中性化速度の推定式の提案は多く行われている ・研究段階である	研究段階であり測定法が確立されていない		非破壊検査方法として、今後の開発が最も期待される

表６－４－４　ヒアリング調査による要素技術の開発展望調査結果のまとめ【対象：コンクリートの非破壊検査技術】

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
① コンクリート構造物全般の点検に適用する。 ② ロボット等に装着したいので、現地でのデータ取得が自動化、無人化できる。の ③ 検査項目 (i) コンクリート強度 (ii) コンクリート内部の空洞などの位置大きさ (iii) 鉄筋の位置、腐食の進行度	① データ収集方法としては以下のものが有望であると考えられる。 (i) コンクリート強度 音速法 (ii) 内部空洞 弾性波or電磁波 (iii) 鉄筋 渦電法 ② さらに超音波、磁力線（γ，X線）、及びシュミットハンマー等の組合せに依るデータの解析を小型高性能コンピュータで行うことにより、総合的に検査が行えるシステム等も考えられる。	・測定技術としては現状技術の延長であると考えられる。 ・測定された信号処理技術、解析技術が今後の課題である。 ・X線使用は放射線という見地から大容量のものを想定することがむずかしく、部分的なものにならざるを得ない。	・ 数年～１０数年後 ・ 数億円～１０数億円



① コンクリート強度
反発硬度と音速法との組合せにより推定精度を向上

② コンクリート内部の空洞などの位置・大きさ
超音波反射波

③ 鉄筋の位置・腐食の進行度
渦傷探傷

} 計測点数ヶ所の相互のデータを相関させて処理

図 6－4－2　提案された硬化コンクリートの非破壊検査手法

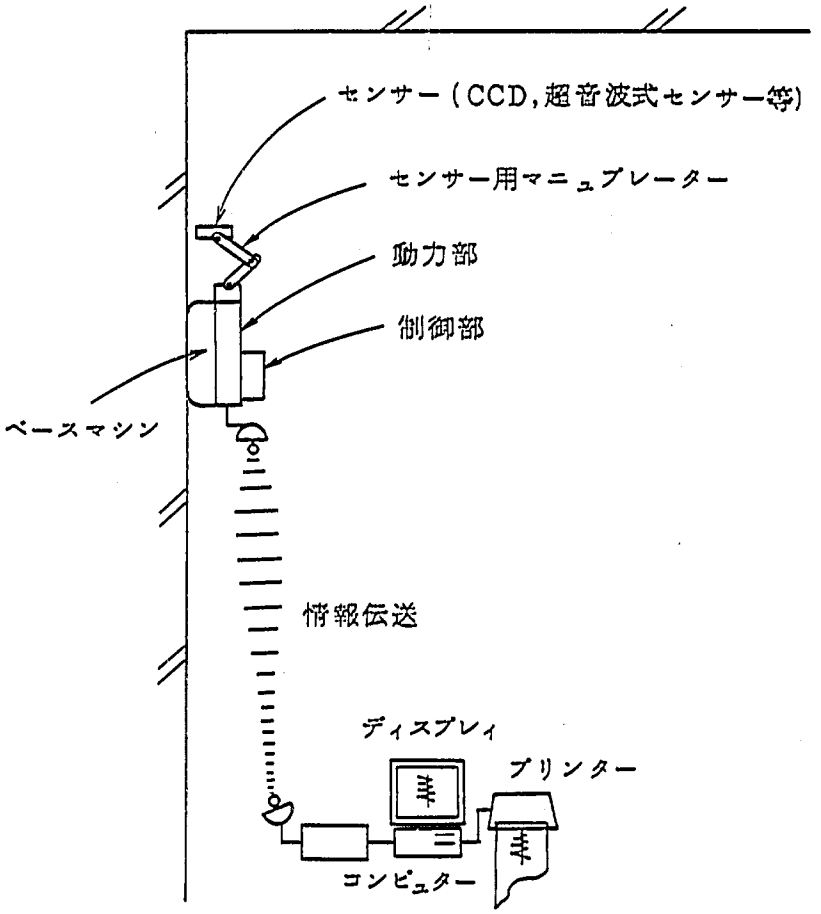


図 6－4－3　ロボットを使用した場合の概念

(2) 鋼材の材料劣化状況の非破壊検査技術

鋼材は、RC，PC構造物や鋼構造物材料として広い範囲で使用されている。これらの構造物に用いられている鋼材の劣化状況を非破壊検査によって的確に判断することは、維持管理の高度化システムを開発するにあたって極めて重要であり、より簡便で高精度な検査技術の開発が望まれている。

(a) 技術の現状と課題

鋼材の材質そのものの非破壊検査技術としては、超音波エネルギーを利用するものや、放射線エネルギー、電気・磁気・電磁気エネルギー、熱や光エネルギーを利用するものなど多種類の計測方法がある。

また、疲労や腐食など材質の劣化状況のモニタリングには、音波を利用したアコースティック・エミション法（AE法）、引張試験片の破断時の発熱現象を検出する赤外線放射測定法、超音波を利用して腐食による材料の劣化時の残存厚測定などに用いられるラジオグラフィー法、超音波法などがある。

すでに劣化状況のセンシング技術としては、数多くの手法・機器等が提案されており、材料特性に応じてかなりの成果を上げている。

しかしながら、測定準備にかなりの労力を要したり、測定精度の向上という面からは改善すべき点も少なくない。

表6－4－5は、鋼材の材料劣化状況の非破壊検査技術の現状と課題を検査方法ごとに整理したものである。

(b) 開発展望

鋼構造物の維持管理を高度化するために必要な鋼材の材料劣化状況の非破壊検査技術の概略仕様を想定し、この仕様を満足するために今後行うべき技術開発の方向、実現性等について、専門家に対して実施したヒヤリング調査の結果を技術開発の展望としてまとめたのが表6－4－6である。

表６－４－５　鋼材の非破壊検査技術の現状と課題（その１）

区分		方法	原理及び媒体	適用範囲・実績	利点	欠点	将来の適用見通し
材質の非破壊評価法	目視法	スタンプ法	・目で判定 ・研磨、エッチングして金属組織を現出させ観察		人間が直接現象を直視するため、最も簡単で信頼がある	劣化に対しては、対象物の表面に現われる現象がないと一般的には困難である	
	機器分析法		電磁波（放射線と光）	・X線応力測定装置 ・蛍光X線分析器	微小部分の分析が可能	装置は大型高級である	進歩が著しい
	超音波エネルギー利用法	音速法	音波	・応力の測定や異方性を調べる ・材質特性		材質判別に必要な測定精度を得ることは難しい	
		減衰法	底面多重反射図形から解析				
		散乱法	ノイズの活用	特に結晶粒度の測定に有効			偏析、非金属介在物、微小割れの判定、溶接部への適用
		振動法	・周波数の変化 ・共振状態 ・減衰能	配管部劣化の識別法			扱いやすく、高精度の装置となる
	放射線エネルギー利用法	X線透過法 γ線透過法 中性子線透過法	放射線の吸収	合金中の偏析状態			
		X線回析法	放射線の回析	合金の固定や応力測定			
		陽極電子消滅法	放射線による励起	塑性変形したチタン合金や、金属の水素脆化度の判定			
		メスバウアー法	ドップラー効果	・表面応力の測定 ・ステンレス鋼の炭化物の観察 ・マルテンサイト量の測定			オーステナイト中のフェライト量の測定に期待がある
	電気・磁気・電磁気エネルギー利用法	電気抵抗法（直流法・交流法・渦流法）		非磁性材料分野で組成や冶金的状況の判定		・直流法、電位差法は試料と電極との接触が結果を左右	
		ヒステリシス・ループ法	磁束密度の変化	透磁率・飽和磁気・保磁力等の情報を得る	保磁力が硬さと最もよく対応		

表６－４－５　：鋼材の非破壊検査技術の現状と課題（その２）

区分		方法	原理及び媒体	適用範囲・実績	利点	欠点	将来の適用見通し
材質の非破壊評価法	電気・磁気・電磁気エネルギー利用法	パルク・ハウゼン・ノイズ解析法	ノイズ	残留応力の測定			負荷応力によって変化することを利用する方法（磁気弾性的ＡＥ）
		渦流法	渦電流	欠陥の存在・形状、寸法の変化・皮膜厚さの測定			
	熱・光エネルギー利用法	熱分析法	温度差	試料の物性を連続的に測定			
		熱起電力法	熱起電力	材質判別			
		サーモグラフィ法	熱放射	熱分析画像を組み立てて解析			
劣化のモニタリング	疲労	アコースティック・エミション法（ＡＥ法）	音波	・構造物の安全監視や設備診断 ・溶接、加工のモニタ	広範囲の欠陥の発生、成長を連続的に監視可能		橋梁、パイプライン、その他の静的構造物への利用
		赤外線放射測定法	熱放射	引張試験片の破断時の発熱現象の検出解析			
		エキソエレクトロン（ＥＥ）法	電子の放射	・ベアリングボールの疲労試験方法と装置に応用 ・アルミニウムの曲げ試験 ・0.4％炭素鋼のねじれ試験		測定時の制約が多い	
	腐食	ラジオグラフィ法 超音波法	超音波	腐食による材料の残存板厚測定		記録性がない	超音波厚さ計の普及は著しい
		応力測定法	残留応力 放射線 超音波	・表面の直接利用 ・応力による物理的性質の変化			
		電気化学的方法（分極抵抗法）（腐食電位測定法）					腐食モニタリングの主流

表6－4－6　ヒアリング調査による要素技術の開発展望調査結果のまとめ〔対象：鋼材の非破壊検査技術〕

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
① 鋼構造物全般の点検に適用する。 ② ロボット等に装着することを目的として、現地でのデータ収集が自動化、無人化できる。 ③ 検査項目 鋼材疲労の進行状況	① データの収集方法としては以下のものが有望であると考えられる。 (i) ＡＥ法（亀裂伝播時のＡＥ信号の放出特性から、疲労による劣化を調査する） (ii) レーザースペクトル法（レーザー光の干渉によりできたスペクトルから、鋼材の変形状況を調査する） (iii) 磁気ひずみ法（磁気特性の変化から疲労に伴う微視亀裂の発生状況を測定する） (iv) 硬さ試験法（表面の硬さの測定により、疲労残存寿命を予測する） (v) 超音波法（垂直法、斜角法、表面波法により、疲労クラックを検出する）	評価手段が種々存在するため、適用対象物および目的をしぼって検討する必要がある。	・ 最低２～５年後 ・ 数億円 ～
	② さらに同一ポイントにおいて、超音波、放射線、電磁波等の検査装置と、そこで得られるリアルタイムのデータをコンピュータ処理し、適正な検査結果を得るシステム等も考えられる。 （ＣＴスキャナに類するものを想定）	・検査装置の小型化が必要 ・小型・高性能コンピュータは別途開発	

(3) 地質(土質)調査用センシングシステム

地質(土質)調査は、すべての土木構造物の施工において最も初期段階に行なわれる重要な調査の一つである。また、地質(土質)の特徴を的確に把握することは、土工作業のような土に密接に関連する施工にあって必須条件であるといえる。

こうしたことから、地質調査は、調査、計画、施工、検査、保全という一連の建設プロセスのいずれの段階においても、またいかなる構造物についても必要とされ、その高精度化、高効率化への要求は増大していく傾向にあると考えられる。

(a) 技術の現状と課題

地質(土質)調査は、すでに数多くの方法によって実施されており、主なものとしては弾性波・電気等による物理探査、ボーリングでのコアの採取による目視および力学試験、電気抵抗等を利用する物理検層等があげられる。

しかしながら、地質(土質)調査の高効率化、高精度化という観点に立つと、次のような問題点が存在している。

すなわち高効率化を進めるためには、事業別高度化システムイメージで示したように概略の地質(土質)を知り、工事を進める上で問題となる可能性がある箇所(領域)を精査するといった手順をとることが考えられる。この中で、現状では広域の地質(土質)調査に適した手法が特に不十分である。

高精度化をはかるためには、現状の技術ではボーリングの数を増やすことが最も一般的であるが、これには費用が増大することのほか、試験装置も大がかりなものが必要となるなどの要因がある。一方、ボーリング以外の遠隔探査手法は一般に精度が非常に低いという特徴がある。

以上述べた地質(土質)調査の現状と課題を調査方法別に整理すると表6－4－7のとおりである。

(b) 開発展望

地質(土質)調査のセンシングシステムとしては、表6－4－2に示したように地質(土質)調査用センサーとして広域的概略調査用、現地詳細調査用、地下埋設物調査用の3課題が上げられている。

これらの3課題についての概略仕様を想定し、この仕様を満足するために今後行うべき技術開発の方向、実現性等について専門家に対して実施したヒヤリング調査の結果を技術開発の展望としてまとめたものが表6－4－8～表6－4－10である。また、想定されるシステムのイメージ例を図6－4－4、図6－4－5に示す。

表6－4－7　地質（土質）調査と関連する調査手法の現状と課題（その１）

区分		方法		原理及び媒体	適用範囲・実績	利点	欠点	将来の適用見通し
地質調査法	地形調査	カメラ		パンクロ写真	地形区分・地質区分・土質区分・地質構造区分・地表含水区分・地下水位・災害地形区分	・広域を同一条件下で調査測定可能	・地形に現われているところに限られる	
				赤外線写真	同上	・同上 ・軟弱地盤、地表含水状況などの調査測定に有効		
				赤外線カラー写真	同上	・同上		
				カラー写真	同上	・同上	・パンクロ写真と同じ	
				マルチスペクトル写真	同上	・同上 ・対象物を分離抽出しやすい	同上	
				紫外線写真		・同上		
		スキャナー ・サーマル ・マルチスペクトル		磁気テープに記録				
		レーダー（地下レーダー）		電磁波	浅部の地下構造	・適用対象の範囲が広い ・分解能力が高い ・現場でモニター記録ができる ・非破壊的に地下構造を探査できる ・測定能率が高い	浅所に限られる	適用性は更に拡大することが予想される
		航空写真		反射式実体鏡（室内作業用）	地形区分・地質区分・土質区分・地質構造区分・地表含水区分・地下水位	・広域を短期間に把握できる	・地形に現われているところに限られる	
	地質踏査	目視観察		目測	地形区分・地質区分・土質区分	・多くの情報が得られる	・精度が不安定	
	物理探査	弾性波探査	屈折波法	弾性波（P波・S波）	断層破砕帯・岩盤のゆるみゾーン・風化・表層堆積物	・地下深部の探査に有効	・速度逆転層があれば、測定は不可	ダムの地質調査法として、物理探査の中で最も一般的
			直接波法	直接伝播する波	・岩盤のゆるみゾーン ・岩盤状況の調査 ・断層分布のチェック	・比較的せまい範囲に有効	・測点間が長い場合使用できない	
			反射波法	弾性波の反射	断層破砕帯・不整合面・岩盤のゆるみゾーン・風化	速度逆転層があっても問題なし	・特殊解析を要す ・振動に大エネルギー必要（大深度）	・深部大構造探査法として技術的には確立している ・浅部は開発途上

表６－４－７　地質（土質）調査と関連する調査手法の現状と課題（その２）

区分		方法		原理及び媒体	適用範囲・実績	利点	欠点	将来の適用見通し
地質調査法	物理探査法	電気探査	比抵抗法 直接探査法	比抵抗値	変質・表面堆積物・帯水層	・平坦または単傾斜の地域に適する ・他の検層を併用すると精度が上がる	地形の凹凸はノイズとなる	
			比抵抗法 水平探査法					
			自然電位法	自然電位	鉱化帯・破砕帯・空洞に沿った地下水流動帯の調査	比較的作業は容易	解析が困難	
			流電電位法	電位差	鉱帯の規模・広がり、流入粘土をもつ割れ目の連続性			
		重力探査		・重力値 ・重力鉛直勾配	・堆積盆地の広がり ・堆積物の厚さ ・地質構造の大勢	・0.01 mgal まで読み取り可 ・作業は容易	・ボーリング等の補助資材が必要 ・土木では使用例が少ない	
		磁気探査		磁力強さとその方向	・鉱床、地熱の探査 ・埋蔵爆弾調査 ・特殊岩石の分布調査	地上探査の作業、解析は容易	・埋蔵爆弾調査以外、土木ではあまり使用されない	
		放射能探査		自然放射能の強さ	・断層、温泉の調査 ・石灰岩等特殊岩石の分布調査	測定は容易	表土の厚さ・性状、地下水、降雨などの影響が大きい 精度はあまり良くない	
	調査ボーリング	・目視法 ・ハイドフィード法 ・ハイドローリックフィード法 ・透水試験		・コア ・ボーリングロッド ・ケーシング ・ボーリングポンプ	・地盤の透水性の把握 ・地下水の状況 ・地盤の物理学特性、変位等	・探査方向 360°可能 ・多数の情報が得られる	・線的な情報であるので広範囲の情報を収集するには多数のボーリングが必要	
	調査坑	掘削（隠れている地質状況を露出させる）		・人力 ・油圧ショベル ・ブルトーザ	・施工中において、地質の状況に変化があり、施工法に疑問が生じた際に実施	・情報を直接観察できる	・情報が局部的である	
	ボーリング孔を使う調査・試験・計測	ボアホールテレビ		ボーリングコア判定	割れ目に関する情報の把握	・操作は簡単で時間も早い	・崩壊しやすい地盤では使用不可	
	物理検層	電気検層比抵抗法		比抵抗	岩相、地層境界、間隙、透水層、透水性帯水層	・軟岩の構成物質をよく反映 ・水中測定、連続測定が可能	・孔内の泥水濃度に左右される ・ケーシング中では測定不能	
		自然電位法		自然電位	破砕帯、空洞に沿った地下水流動帯	同上	同上	
		マイクロ電気検層		比抵抗	孔隙	地層の細かい対比に最適		

表6－4－7　地質（土質）調査と関連する調査手法の現状と課題（その3）

区分		方法	原理及び媒体	適用範囲・実績	利点	欠点	将来の適用見通し
地質調査法	物理検層	速度検層（PS検層）	弾性波の電播速度（S波、P波）	硬軟岩石	・きめ細かい検層が可能	連続型は装置が少々大きい	
		放射能検層 自然放射能	γ線強度	・放射線物質を含む特殊の岩盤 ・断層の存在	ケーシング中でも、また孔内水がなくても測定可能	キャリブレーションが必要	
		γ線密度検層	散乱γ線強度	密度、間隙、硬軟岩石	同上	・同上 ・泥水濃度や孔径に影響される ・放射性物質の管理が必要 ・砂れき層にはやや不適	
		中性子水分検層	熱中性子	含水量、間隙	同上	同上	
		キャリパー検層	孔径	岩質、亀裂	連続的な測定ができる測定が容易	ケーシングを要する個所、孔壁処理箇所については測定できない	電気検層や放射能検層の解析の補正のバックデータとなる
		温度検層	孔内水温	透水層、透水性 孔内水温の異常の検出	点・連続測定可能	地下水流のある個所では地温を推定することができない	
水理地質調査	地下水調査	地下水位測定	水位		・地下水の状態、挙動をある程度推定できる	・広範囲、長期的に調査しなければならない	
		地下水流調査	トレーサー	実流速、漏水経路	同上	同上	
	透水試験	ルジオン試験	水圧	ダムの基礎岩盤	岩盤の節理、亀裂が透水の主因となる場合に有効	・軟岩、未開拓層で困難な場合あり	ダムの基盤処理計画案などのために利用される
		揚水試験	水位	帯水層の諸水定理数値の算出	他の試験法に比べ多くの情報が得られる	・多くの井戸を掘るため費用がかかる	水位降下速度を整理して求められる
	グラウチング試験	ステージグラウチング	地盤及び帯水層	・孔崩壊がなくエキスパンション、エアーパッカーがセットできる岩盤	効果的な注入ができる	・注入箇所の把握が困難なことがある	一般的に広く用いられる
		パッカーグラウチング	同上	同上	・高圧グラウチングに最適	使用範囲が限定される	
		二重管式ダブルパッカーグラウチング	同上	砂れき層等でパッカーがセットできない場合	・小ステップ、長ゲルタイム液使用可、きめ細かい注入ができる	・外管の埋設、シールが困難な場合がある（使用範囲の限定）	

表６－４－７　地質（土質）調査と関連する調査手法の現状と課題（その４）

区分		方法		原理及び媒体	適用範囲・実績	利点	欠点	将来の適用見通し
水理地質調査	力学試験	原位置試験	等変位	剛体円盤	広く利用されている	試験装置の組立が簡単	割れ目等の影響も受けやすい	
			等分布荷重法	円形ダイヤフレム		載荷面積が広い	試験装置の組立が複雑	
			せん断試験 ブロックせん断試験	せん断破壊	広く利用されている	・準備工事が比較的簡単 ・試験地点の選定上有利	・強度の小さい岩盤や大きい岩盤では、精度が悪い	
			せん断試験 ロックせん断試験	岩盤を直接せん断	・横坑内等で利用	・せん断面の岩盤を痛めず供試体の製作可能 ・確実に岩盤内部でせん断破壊を発生させる	・試験の準備工事が面倒	
			せん断試験 三軸圧縮法	フラットジャッキ		・３方向から異なる圧縮力を与えた場合の変形特性がわかる	・試験装置が大がかりなものになる	
			スリットジャッキ試験	フラットジャッキ			・岩盤のゆるみを必ず避ける必要がある	
			断層せん断試験	ロックせん断試験によって行われる	・ダムサイトにダム基礎の力学的安定性に影響を及ぼすような断層が存在する場合 ・強度特性の評価		・供試体の作成に注意が必要	
			水室試験	水圧	岩盤の変形特性を調べる	・かなり広範囲にわたり岩盤の平均的な変形特性がわかる	・多大な費用、時間を要す	実施例が少ない
			岩盤三軸圧縮試験	岩盤ブロックを三方向から油圧ジャッキによって載荷	・変形性 ・強度	・岩体の応力・ひずみの非線形特性を種々の応力検査で求めるために重要	・ブロックの切り出し、載荷に注意が必要 ・一般に実施しにくい	・岩盤工事の大規模化に伴い、今後も計画されている
			引抜きせん断試験	鋼管やロックボルトの引き抜き	せん断抵抗力	・装置が簡単	・基本的な岩盤物性の把握は困難	
	検査方法	電波探査法		電磁波	・物理探鉱の分野 ・氷原の厚さ ・地下埋設物の探査 ・地下水位の探知	画像を見て容易に状況判断が行える	・映像が明確でない ・指向性がない為、対象物の位置、大きさの判定が難しい	欠点を解消すれば実用可能
	空洞探査	面計測手法		温度差		空洞箇所の判定が容易		
		車両牽引方式 地下レーダ方式		電磁波	・各種地下空洞 ・地下埋設物　等	現場で即座に地下断面のモニター記録が得られる	・測定範囲が浅所に限られる	

表6－4－8　ヒアリング調査による要素技術の開発展望の調査結果のまとめ〔対象：地質〔土質〕調査用センサー：広域的概略調査用〕

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
① ダムサイトなど比較的広い範囲の地質の概略調査に用いる。 ② 現地での作業（踏査など）をできるだけ省力化できるものとする。（航空機による遠隔調査ができれば最も良い） ③ 調査項目 (1) 岩石と土砂の区別と位置特定 (2) 位置特定精度は1m程度 (3) MAX100mの深さまで探査可能 (4) 地下水の有無	① リモートセンシング技術の地質調査分野への適用が有望であろう手法としては、以下が考えられる。 (i) 空中γ線スペクトル探査装置 地下からの自然放射性元素（γ線）の測定 ― 断層、地下水脈 (ii) 赤外線写真による地温分布特性の把握 ― 地下水脈、地下水位、温泉脈 (iii) 空中写真による立体視（既存技術） ― リニアメント（断層、岩脈） 地すべり、崩積土 ・入手情報の処理にあたって、画像処理技術にAIを組合せ、客観的合理的に実施できるシステムが望まれる。 ・大規模集積回路の高性能化に伴い、パソコンレベルでの一括処理が可能となる。	・情報を処理するまでは、決められたルーチンに乗せられる。 但し、解析段階では、熟練した地質技術者の検討を必要とする。 ・リモートセンシング技術は、空中からの観測により地下構造を推定するため、電気探査を併用し精度を上げるのが望ましい。 ・センシング精度の一層の向上を図るためには、岩や土に関する化学的特性の研究も含め、新たな測定原理の検討が必要。	・最低5年後 ・10億円～

表6−4−8（つづき）

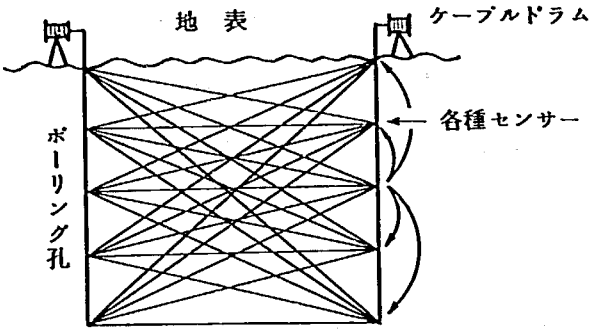
調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
	② さらに以下の方法も考えられる。 (i) 飛行船等を用い地表温度を高精度に同一値の連続測定を行う。大気温度上昇、下降時の地表温度推移から経験的に岩・土の識別が可能である。温度の時間微分値より形状も認識できる。 地上は、2点以上の既知の標点が有れば位置が判る。 この方法を降雨後連続的に実施すれば、土、岩、水の熱容量（比熱）並、地下水（同一季節では水温一定）の存在の影響が判明する。 (ii) 地上に簡易弾性波発生装置（火薬等を内蔵した小型のもので可）と複数の圧力センサを投下し、多点同時測定を行う。装置、センサの位置は①の方法による。圧力センサにはリモートID機構があり（発信器）個別認識が可能である。	・飛行体は常に同一エリアが監視出来るような位置制御、もしくは地上の温度マップを時系列に多重修正できるためのソフトウェアが必要。	

表6－4－9　ヒアリング調査による要素技術の開発展望の調査結果のまとめ〔対象：地質（土質）用調査センサー現地詳細調査用〕

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
① 比較的狭い範囲の調査用 ② 1回の測定で面的な情報が得られる。 ③ 現地作業が自動化、省力化される。 ④ 調査項目 (i) 土の強度（N値など）とその分布 (ii) 地下水位 (iii) 強度、水位とも位置精度は10cmオーダー、計測範囲は数十m（深さ方向）	弾性波、電磁波や比抵抗を用いたジオトモグラフィーの実用化が推進される。 ・測定用プローブは、数点の発受振器が取り付けられている。 ・プローブの昇降は、地上の制御部からの指令により自動的に行われる。 ・計測結果は、地上のCPUに電送され、現地にて解析（P波速度、周波数、振幅、比抵抗等）が行える。 ・測定用プローブは、単独で各種検層（速度検層、電気検層等）が実施できる。	・地盤中に、最小限2本のボーリング孔が必要 ・弾性波、電磁波 解析精度の向上と調査範囲とが相反する特性がある。また波の周波数特性によって、解析精度、測定範囲が異ってくる。 ・比抵抗 電気を使用する探査は、精度上問題があると考えられる。 地下水の影響を受けやすい。 ・センシング精度の一層の向上を図るためには、土質等の物理化学特性の研究を含んだ、新たな測定原理の開発が必要。	・5～10年後 ・数億円あるいは10億円前後

表6－4－10　ヒアリング調査による要素技術の開発展望の調査結果のまとめ【対象：地質（土質）用センサー：地下埋設物調査用】

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
① 比較的狭い地域の調査用 ② 1回の測定である程度面的広がりを持ったデータが得られる。 ③ 現地での試掘は不用になるもの。 ④ 調査項目 ・地下埋設物の位置 位置精度は数cmのオーダー 計測範囲は数十m（MAX）	① 磁気探査による方法を電磁波による埋設管探査と同様、地表からの概略位置を同定できるようにする方法が有望と考えられる。概略位置決定後、近傍にボーリングを実施し、上記の測定により精度の向上も図る。 ② 地中レーダを以下の点で改良する方向も有望と考えられる。 ・発信周波数を変動させる。 ・多点同時測定とする。 ・測定データはスーパーコンピュータ等で処理できるよう、大容量・データ伝送システムを併持する。 ・この方法を用いると周波数の差による地中の屈曲（信号の）性から地質、含水比等も判明する可能性がある。 （準マイクロ波、マイクロ波は水分の存在によって伝幅特性の影響を受けやすい）	・目的とする埋設物が磁性体であることが必要であるが、埋設物以外の磁性体の影響に留意が必要。 ・埋設物の近傍にボーリングを実施する必要がある。 ・測定範囲と精度の関係。 現存の地中レーダーは、情報（データ）分解能が低く、既知の配管でも完全なセンシングが出来ない状態である。 この性能を改善するためには、以下に示すような従来と異なった視点でシステムの再構築を行う必要がある。 a．レーダによる測定データの処理法改善専用プロセッサ開発によってスーパーコンピュータ級の処理を行う。 b．電磁波の周波数を指数化することによって、地中の電波伝播特性の周波数特性（周波数による差）を有効に利用し、地質・含水比によるデータのばらつきを較正する。 c．その他新たな測定原理の開発も試みる必要がある。	・数年～10年後 ・数億円



ジオトモグラフィーの
概念図

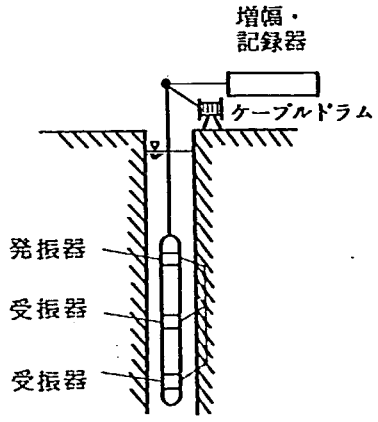
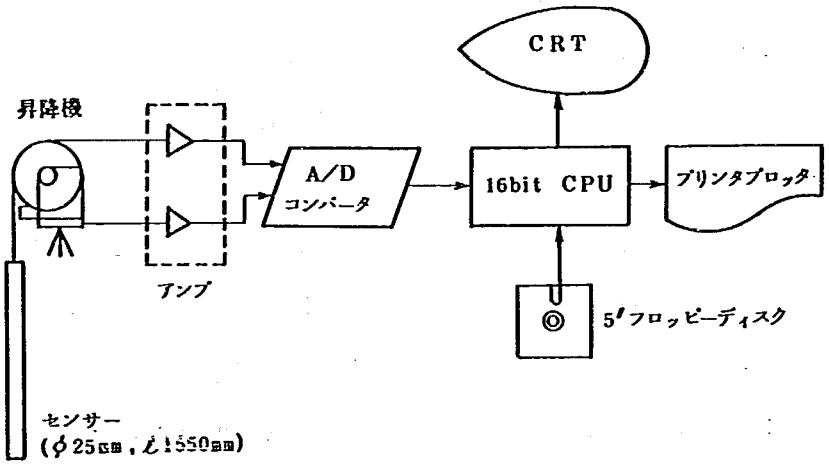
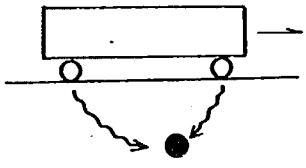


図6－4－4　弾性波用測定プルーブ



システムブロック



電磁波による埋設管探査と同様、地表からの概略位置を測定できるようにすることが必要。
概略位置決定後、近傍にボーリングを実施し精度の向上を図る。

図6－4－5　地質調査用センサー概念

(4) 3次元形状計測センサ（ロボットビジョン用、大気中か屋外で使用）

陸上の建設現場において、自動化された作業機械による作業を確実かつ効率的に行うためには、作業機械の制御に必要な時間的制約の中で、作業機械自身が迅速性をもって作業対象物を認識・把握する技術が確立される必要がある。

この技術は、ロボットビジョン用3次元形状計測センサの性能の向上によって実現されるが、作業機械の自動化を進める上で極めて重要な技術であると言える。

(a) 現状の技術と課題

対象認識の内容について、方向（1次元）、範囲（2次元）、位置（3次元）のいずれの情報が必要か、あるいはその精度はどの程度必要となるかなどの問題がある。

土木分野の現場においても、静止画処理分野では、すでに測量（地上、航空）技術の中で3次元的画像処理技術の応用が試みられている。この領域での技術には、対象の画像データとしての取り込みのための技術と、画像データの解析による対象の特定化技術の2種類のものが必要となる。

屋外での作業機械において、作業対象物の3次元的認識技術を適用させるためには、エッジマッチングなどの高度な処理の高速演算が必要とされるが、現状では十分な性能を有したシステムは開発されていない。

また、現状の技術水準では、画像処理センサとイメージ・プロセシング機器の両者を合わせたシステムが容積的にも大きなものとなるという問題があり、作業機搭載のためには今後性能の高度化とともに、小型、軽量化が必要である。

(b) 開発展望

大気中において作業機械が作業対象物を認識・把握するための3次元計測センサの概略仕様を想定し、この仕様を満足するために今後行うべき技術開発の方向、実現性等について専門家に対して実施したヒアリング調査の結果を技術開発の展望としてまとめたのが表6－4－11である。また、3次元計測センサとして想定されるシステムのイメージ例を図6－4－6、図6－4－7に示す。

表6－4－11　ヒアリング調査による要素技術の開発展望【対象：3次元計測センサ：大気中ロボットビジョン用】

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
① 大気中かつ屋外で使用 ② 測定対象に接触しない （リモートセンシング） ③ リアルタイムで3次元データが画面に得られる。 ④ ロボットビジョン用 （土工ロボットを例として） ⑤ 測定精度 … 数cm以内 ⑥ 測定範囲 … 1m～数十m	距離別に、以下の方法が有望であると考えられる。 (i) CCDステレオカメラによる方法 ・複数のCCDカメラによるもので近距離用（0～5m）に適する。 距離は2つの目（CCD）の画像間の視差より算出される。 (ii) ミリ波による方法 ミリ波を用いた距離と形状の測定を行う。反射波の戻り時間測定による。 ・遠距離用（3～数十m）に適する。 ・光と異なり、暗夜、霧、ダスト等に対する適用性は良い。	・リアルタイム処理をコンパクトなハードウェアで実行する必要がある。 ・土木工事での作業ロボットはテレイグジスタンスが主体となると考えられる。 ・ミリ波は、金属等は反射率が良いが、人体等については余り良くない。対象物による反射率をどのように補正し、ミスのない測定をするかが課題である。	・最低数年後 ・数億円～

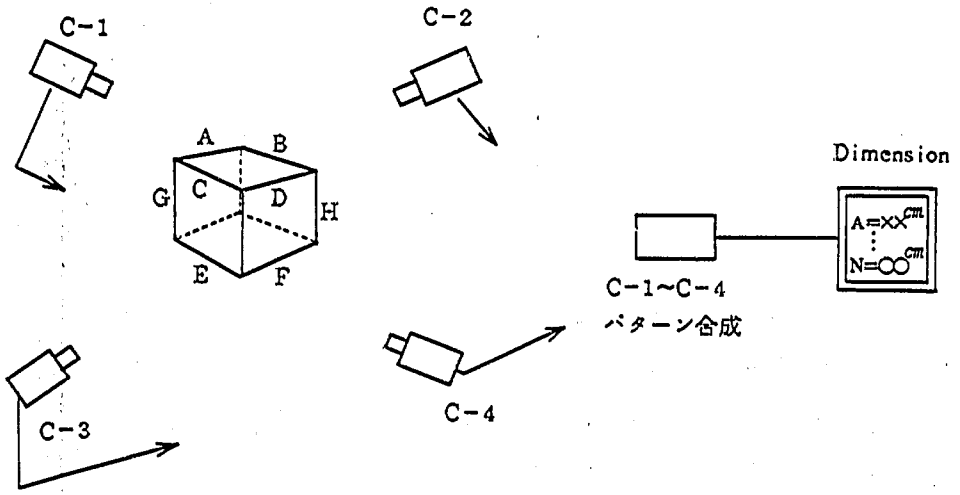
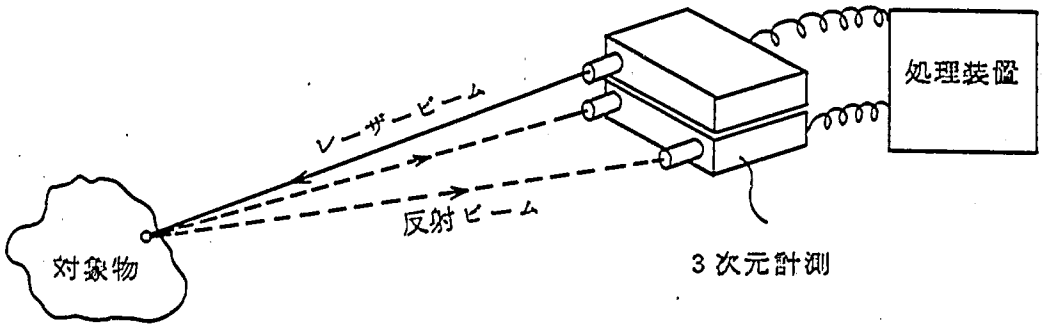


図 6−4−6　光学センサ等（複数）利用によるパターン認識の概念



- 任意の地点にレーザービームを照射し、反射スポットを三角測量の原理で計測し、3次元座標を得る。
- 照射地点を適宜設定することにより、必要最少限の情報量として処理時間を短くする。

図 6−4−7　レーザートラッカの概念

(5) 3次元形状計測センサ（水中で使用）

水上、水中作業では、作業位置の確定が陸上作業に比較して技術的に極めて困難であり、この結果、測量の面でも陸上作業に比べると低い水準にある。

しかしながら、海洋構造物建設を高度化していくにあたっては、まず海底地形などの3次元的な形状を水中で正確に把握することが重要である。このために水中での使用に適した3次元形状計測センサーの開発が望まれる。

(a) 技術の現状と課題

ここでは主に海底地形測量を対象として技術の現状及び課題を整理する。

海底地形を、基準とする海面からの水深値として計測し、観測プラットホームの移動に伴う海底断面図として出力する音響測深技術は最も基本的であり、すでに世界最深部をカバーする12000m以上の測深技術が出来ている。

また、送信波の海底面からの反射強度情報を用いて、強度分布の二次元画像として出力するサイドスキャンソーナーの開発が現在急速に進んでいる。

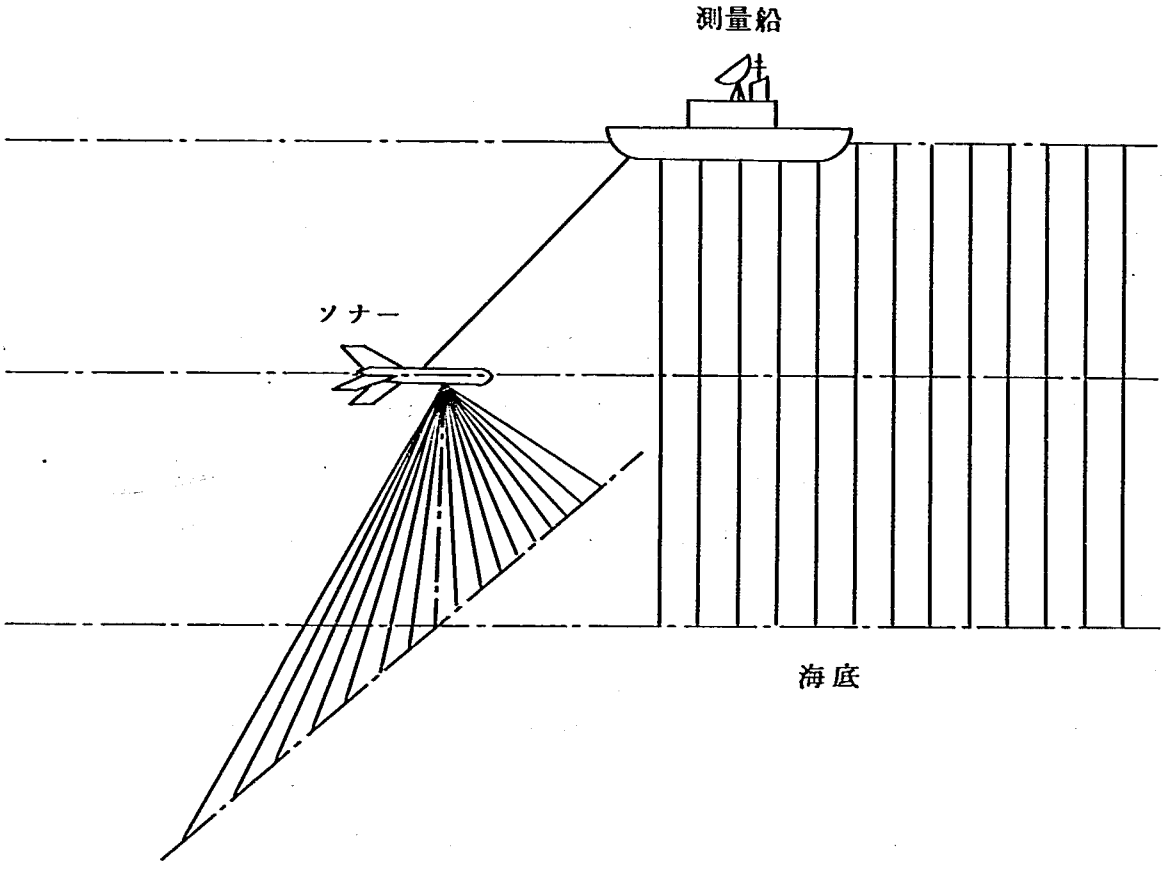
測深とサイドスキャンのソーナー技術は、航路に沿って左右舷の直角方向に狭ビームの音波を発射し、反射波を受信する点においては共通である。一方、現在の多点測深では微細な海底面の凹凸状況を知るには情報量が不足しており、サイドスキャン画像からは水深値が直接求められないという欠点がある。このため、現在両者の機能を統合したシステムの開発が進められつつある。

(b) 開発展望

海洋構造物の建設の高度化システムの実現に必要となる海底調査用3次元形状計測センサの概略仕様を想定し、この仕様を満足するために今後行うべき技術開発の方向、実現性等について専門家に対して実施したヒアリング調査の結果を技術開発の展望としてまとめたのが表6－4－12である。また、想定されるシステムのイメージ例を図6－4－8に示す。

表6−4−12　ヒアリング調査による要素技術の開発展望調査結果のまとめ【対象：海底地形用：3次元形状計測センサー】

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
①水中で使用（濁水も含む） ②測定対象に接触しない。 （リモートセンシング） ③面的に3次元データが得られる。 ④海底地形の測定用 ⑤特定精度 … 数cm以内 ⑥測定範囲 … 数m×数百m	①　音響測深による方法が有望であると考えられる。 ・具体的には次の2つの方法を想定するマルチビーム測深機（超音波伝搬時間） サイドスキャンソナー（超音波振幅） ・測定深度は10,000m程度 ・測深データのリアルタイム処理→XYプロッタにて海底面の等高線を描く ②　なお超音波反射波のデータ解析技術の高度化（主としてソフトウェア）によって、距離精度、形状認識精度の向上をはかることが重要。	・測定精度を数cm程度（分解能）まで上げるためには、地形（画像化）データの基になるデータを多量に、統計的な処理を行なう技術の向上が必要である。	・数年（5〜6年）後 ・5〜10億円



進行方向に対して、直角な面内で超音波ビームをスキャンして、各ビームに対する反射ビームの時間を計測する。

得られた距離データを処理して海底地形を得る。

図6－4－8　サイドルッキングソナーの概念

(6) 高所足場作業のメカトロ化

橋梁の点検・補修作業のように作業位置が高所となり、吊り足場等の仮設が必要となる場合、作業条件等に大きな制約を受けるのが一般的である。このため、安全性の確保や作業効率の向上等を目的としてメカトロニクス技術の適用が望まれている。

高所足場作業をメカトロ化するには、足場そのものおよび足場上で作業を行う機械の両者を考慮する必要があるが、ここではより基本的な要素技術として、足場そのものの取り付け方法のメカトロ化を橋梁の点検・補修への利用を念頭において検討した。

(a) 技術の現状と課題

足場の取付け方法としては、浮上式、懸垂式、吸着式の3つの方法が存在する。浮上式は、作業床を飛行・浮上させ足場とする方法である。懸垂式は対象構造物の一部を利用して作業床を懸垂し足場とする方法で、原理的には現在の橋梁の維持補修等に用いられている方法である。吸着式は、足場となる機械が対象構造物に直接電磁力等で吸着する方法である。

(b) 開発展望

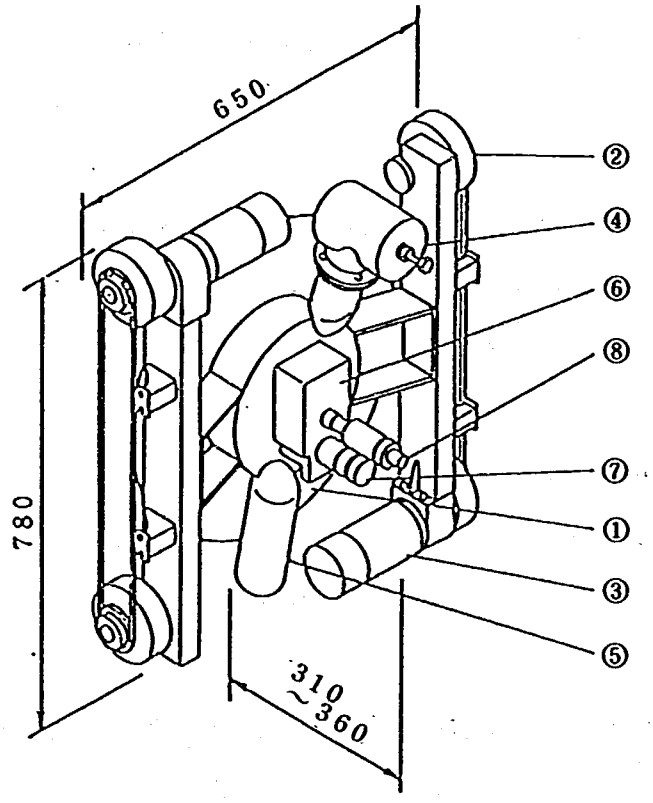
橋梁の維持管理システム等に必要な高所足場作業のメカトロ化の概略仕様を想定し、この仕様を満足するために今後行うべき課題についての技術開発の方向、実現性等について専門家に対して実施したヒアリング調査の結果を技術開発の展望としてまとめたのが表6－4－13である。また、想定されるシステムのイメージ例(吸着式)を図6－4－9に示す。

表6－4－13　ヒアリング調査による要素技術の開発展望調査結果のまとめ
【対象：橋梁の点検・補修を例とした高所作業のメカトロ化】

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ				
	開発の方向および問題点・留意事項				考えられる実現時期・費用等
	項目＼取付方法	浮上式	懸垂式	吸着式	
① 移動機構および姿勢保持機構（点検、補修用）。 ② 現地でのセットアップが容易。 ③ 現道交通を阻害しない。 ④ 故障時等にも安全なこと。（特に落下）	概要	プロペラ等により足場を浮上させる。	橋梁等の上部から足場を懸垂して設置する。（たとえば6－3等、橋梁維持管理の高度化システム参照）	バキュームや電磁力により対象に吸着して足場となる。	・数年（2～5年）後 ・1～2億円
	搭載重量	小	大	中	
	搭載寸法	小	大	中	
	移動速度	速	中	低	
	作業反力	小	大	中	
	位置決め	困難	容易	容易	
	据付	容易	難	容易	
	移動範囲	任意	懸架装置に依存	吸着可能面のみ	
	安全性信頼性	周辺構造物に対する考慮が必要	装置を支持する構造物側の検討、確認が必要	構造物の仕様性能に依存する部分が多く不明確な部分が多い。	
	操作	専門オペレーターの高等技能を必要とする	自動化、無人化が容易	各種センサーを用いた自動運転により人間の操作を支援する必要がある。	

表6−4−13（つづき）

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ				
	開発の方向および問題点・留意事項				考えられる実現時期・費用等
	項目＼取付方法	浮上式	懸垂式	吸着式	
	機能	作業床としての安定性及び位置精度の保持に難がある。	多機能化が容易で大容量化、高速化が出来る。	多機能化が容易で小容量、低速に向く。	
	適用範囲	周辺空間環境条件が大きく作用する。 弱体構造物にも支持力が必要ないため適用可。	構造物の形状・寸法等、標準化により範囲が拡大できる。	範囲は非常に拡大できる。 （橋脚も可）	
	コスト	イニシャル、ランニング共に大きい。	比較的小さい。	付属機能、安全装置等に関するコストアップとなる。	



一式：数千万円

No.	名　　称	No.	名　　称
1	吸　　盤	5	サクションホース接続口
2	車　　輪	6	ウオータージェットノズル
3	同上用モータ	7	同上用モータ
4	バキュームブレーカ	8	超高圧ホース接続口

図6－4－9　吸着自走式ウォータージェットクリーニングロボットの概念

(7) 岩掘削の自動化

トンネルやダム堤体、原石山等における岩盤掘削作業は、安全性の向上、作業環境の改善、施工効率の向上といった目的に照らした場合、従来以上に機械化の推進が望まれている分野の一つであり、これを自動化することはトンネル建設およびダム建設の高度化システムの中でも大きな課題である。

(a) 技術の現状と課題

現在、個々の工程では部分的な自動化・メカトロ化が導入されている段階であるが、依然として、機械化が不十分な作業も多い。

ここでは岩盤掘削作業のうち、

① 発破作業の自動化

② 発破に代わる機械掘削方式

③ 掘削精度の向上技術

の3つに対象をしぼり、トンネル掘削への利用を例として技術の現状と問題点の検討を行う。

トンネルを対象とする岩掘削の方式は、現在発破工法と機械工法の2種類について地質条件、工期、施工性などを勘案して適用されている。このうち発破工法に関しては、現在、火薬類を用いた狭義の発破工法、静的発破工法ともいわれる破砕工法、補助的工法などが開発・実用化の途上にある。また、機械掘削方法では、全自動油圧ジャンボ、ＴＢＭなどの新しい機械の導入が進みつつある。

火薬類についてＡＮ－ＦＯは、安全性やコスト面から現在最も適用範囲が広く用いられているものの、装填時の静電気の発生に注意が必要となっている。

また、膨張性破砕剤を用いた破砕工法に関しては、無騒音・無公害な工法としての利点を有するものの完全な破砕が出来ないことや、破砕時間が他の工法にくらべて長いこと、コスト的にも割高であることなどから、補助工法の位置付けに留まっている。

ウォータジェット工法は、種々の形状や方向の掘削が出来る反面、切削ズリ処理などの問題があり、コンクリート建築物等に用いられている段階である。

機械式工法のうち、全自動油圧ドリルジャンボは、すでに高速道路トンネルでの適用実績もあり、余掘の減少、安全性向上、人件費節減などに関して大きな効果をもたらしている。しかしながら、ジャンボ機と後続作業とのマッチングの面で課題が存在しており、今後の改善が強く望まれるものである。また、ＴＢＭは、岩質が均一の場合施工速度が速く、また安全性の面でも優れているが、岩質の変更に対して効率が非常に低下するという課題

をかかえている。

トンネルをはじめとする岩掘削作業は、岩を破壊するためのエネルギーが他の工程に比べ格段に大きいため、掘削工法も機械式か否かを問わずエネルギー集中型になる。このため作業員については作業環境の向上を図り、また周辺地域についても振動・騒音などの影響を考慮しておくことが必要である。今後の都市土木の進展等を想定する時、環境保全型の掘削技術の開発は重要なものとなる。

以上の岩掘削技術の現状と課題を整理したものを表６－４－１４に示す。

(b) 開発展望

トンネル建設およびダム建設を高度化するために必要となる岩掘削技術の概略仕様の想定、さらにこの仕様を満足するために今後行うべき技術開発の方向、実現性等について専門家に対するヒアリング調査を行った結果をまとめたのが表６－４－１５である。

表6－4－14　岩掘削の方法

区分	方法	原理及び媒体	適用範囲・実績	利点	欠点	将来の適用見通し
発破技術	火薬類（発破工法）	ＡＮ－ＦＯ（硝油爆薬）	使用比率60％	・安全性が高い ・廉価である	装填時の静電気の発生	可能性大
		スラリー爆薬		・同上	爆力が弱い	可能性大
		エマルション爆薬		・紙巻き包装ができる ・安全性が高い ・廉価である		可能性大
	破砕工法	・水和反応 ・膨張性破砕剤	コスト的にはまだ実用化レベルは難かしい	無騒音、無公害工法	・完全な破砕ができない ・時間がかかる ・コスト、効率が悪い	補助工法としては、可能性大
	補助的工法	・ウォーター ジェット法	コンクリート等建築物に使用されている段階	種々の形状、あるいは方向、あるいはせん孔が可能	切削ズリの液体処理	発破工法、その他の工法の補助的技術として利用
機械掘削技術	全自動油圧ドリルジャンボ	3ブームドリルジャンボを、センサー、マイコンにより自動制御	さく孔作業の自動化 高速道路トンネル等で適用実績有	・余掘りの減少 ・安全性の向上 ・人件費の節減	・後続作業とのマッチングがむつかしい	可能性大
	ＴＢＭ	ディスクカッタ	岩質が均一の場合、施工速度が速い	・安全性が高い ・施工速度が速い	・岩質の変更に対しては、効率が非常に低下する	

表6−4−15　ヒアリング調査による要素技術の開発展望調査結果のまとめ【対象：岩掘削の自動化】

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
① 低公害型（振動等）掘削技術 — 振動抑制、地表への影響抑止等 ② 岩掘削作業の高速・大量化技術	① 低公害型掘削技術として、次の3つが有望と考えられる。 (i) 静的破砕剤による掘削技術 破砕剤の膨張圧による破壊 (ii) 水圧破砕 削孔内への水圧加圧による破壊 (iii) 機械力掘削（カッタービットによる切削・破壊） ② 高速・大量化技術としては、硬岩を掘削できるカッターが有望で、ウォータージェットの併用などが試みられている。カッター摩耗を減少できるという利点がある。 ただし、機械掘削では限界がある。大量・高速を目指すためには高エネルギー密度を持った掘削方法が必要となると考えられる。	・現状の発破に比べ掘削能率は低い。 ・既存技術であるが能力UPが必要。 ・現状では設計掘削ラインを精度よく掘削するためには、機械的な掘削が必要となる。この際カッタービットの摩耗の改善、掘削能力の増加がポイントである。	

(8) 建設ロボットにおける位置認識技術

建設作業機械のロボット化は、機械単体の作業手順・内容を自動化する課題と、作業機自身の位置の検出を自動化するという２つの問題がある。前者は、個々の作業毎にその仕様を設定していくことになるが、後者は様々な建設ロボットに共通する要素技術であり、汎用性も大きい。ここでは、土工作業への利用を主に想定して、技術の現状と問題点や開発展望について整理した。

(a) 技術の現状と課題

位置検出の技術として、その対象は距離（測距）と角度（測角）に区分され、各々について光波、電波を用いた計測技術が測量等、他分野では一般的に使用されている。

測量で用いられている光波測距・測角技術は、計測時間が短いこと、高精度・高分解能が得られる反面、視準の点で自動化に課題が残る。また、音波測距技術はすでに魚群探知器等で実用化されている。分解能としては比較的高いものが得られるが、空気・水等伝播媒体の安定性に精度が大きく左右されるという欠点がある。さらに、航空機・船舶の位置計測や誘導で用いられている電波測距・測角技術は、無指向性かつ測定時間が非常に短いため、土工機械のように広い作業空間を動き回る機械の位置検出には適用性が高いと考えられるが、価格や設備面などで課題が多い。

以上の建設ロボットの位置認識技術の現状と課題を整理すると表６－４－１６のとおりである。

(b) 開発展望

建設ロボット開発にあたり重要な要素技術である位置認識技術の概略仕様の想定、さらにこの仕様を満足するために今後行うべき技術開発の方向、実現性等について専門家に対して実施したヒアリング調査の結果を技術開発の展望としてまとめたのが表６－４－１９である。また、想定されるシステムのイメージ例を図６－４－１０、図６－４－１１に示す。

表6－4－16　土工作業のロボット化技術

区分	方法	原理及び媒体	適用範囲・実績	利点	欠点	将来の適用見通し
土工機械の位置検出技術	光波測距	発光部と受光部の位相差を測定	測量、作業船位置決め 等	短時間計測 高精度・高分解能	特殊な反射器が必要 高精度で視準を要す （強指向性）	
	光波測角	測量時の視準方向を計測 （エンコーダ 等）	測量 等	高分解能（強指向性）	視準が困難	
	音波測距	主局、従局間の音波の到達（往復）時間を測定	液面計、障害物検知器 魚群探知器 等	高分解能を得やすい	・伝播媒体（空気、水）の流れの影響を受ける ・超音波は空気中での減衰が大きい ・通常音は耳にうるさい	
土工機械の位置検出技術	電波測距	主局、従局間の電波の往復時間（または位相差）を測定	航空機、船舶の位置計測 等	短時間計測 無指向性	高価格、分解能が悪い （0.5 m程度）	
	電波測角	主局からの基準信号および測角信号の位相差から、主局から見た移動体の磁方位を移動体側で検知	航空機の誘導（VOR）等	瞬時計測 無指向性	主局設備が大型 分解能が悪い（0.5°程度） 精度が悪い（±3°程度）	
		移動体から見た電波の到来方向を測定 （電界強度）	航空機、船舶の誘導（ADF）等	瞬時計測 無指向性	分解能が悪い （1°程度） 精度が悪い （±4°程度）	

表6−4−17　ヒアリング調査による要素技術の開発展望調査結果のまとめ【対象：位置認識技術】

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
① 作業機の誘導を目的とした高速リアルタイム位置認識技術 ② 作業位置の確定を目的とした高精度位置認識	① 作業機の誘導目的としては、三角測量（自動追尾測量）による方法が有望と考えられる。 ・基準となる2点から三角測量（自動追尾測量）により作業機の3次元位置を演算する。作業機には測量ターゲットを搭載する。 ・作業機の位置検出は測角の分解能によるが、測距は光波測距により数m〜数cm程度と考えられる。 ② 作業位置の確定の目的 ・基準点（外部の固定点）を視準し、測量、測角および搭載ジャイロによる方位測定により自己の位置を認識する。 ・位置精度は数cm〜数10cm程度と考えられる。		・最低数年（2〜5年）後 ・2〜3億円

主局を作業機に設置する場合。
～作業機に現在位置を表示。

主局を地上に設置する場合。
～主局Aにて作業機を統合管理。

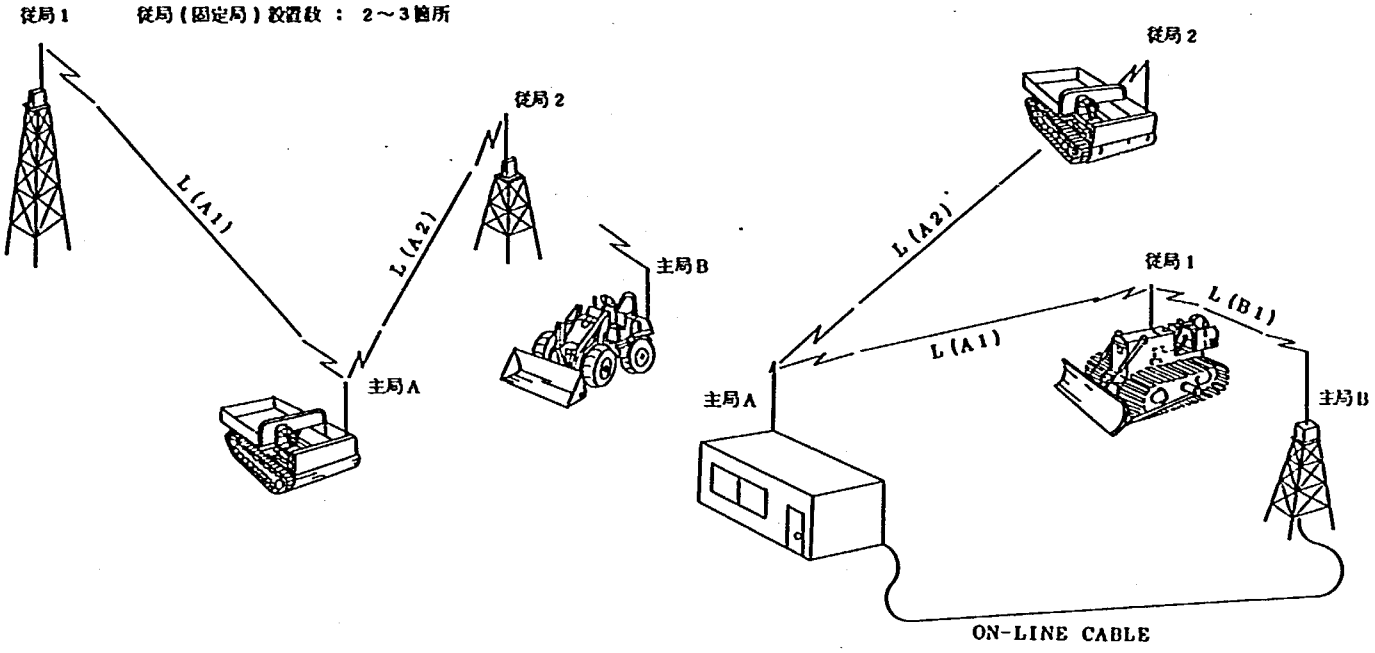


図6－4－10 電波測距の概念
（主局から質問信号を発信し、従局から応答信号を返信）

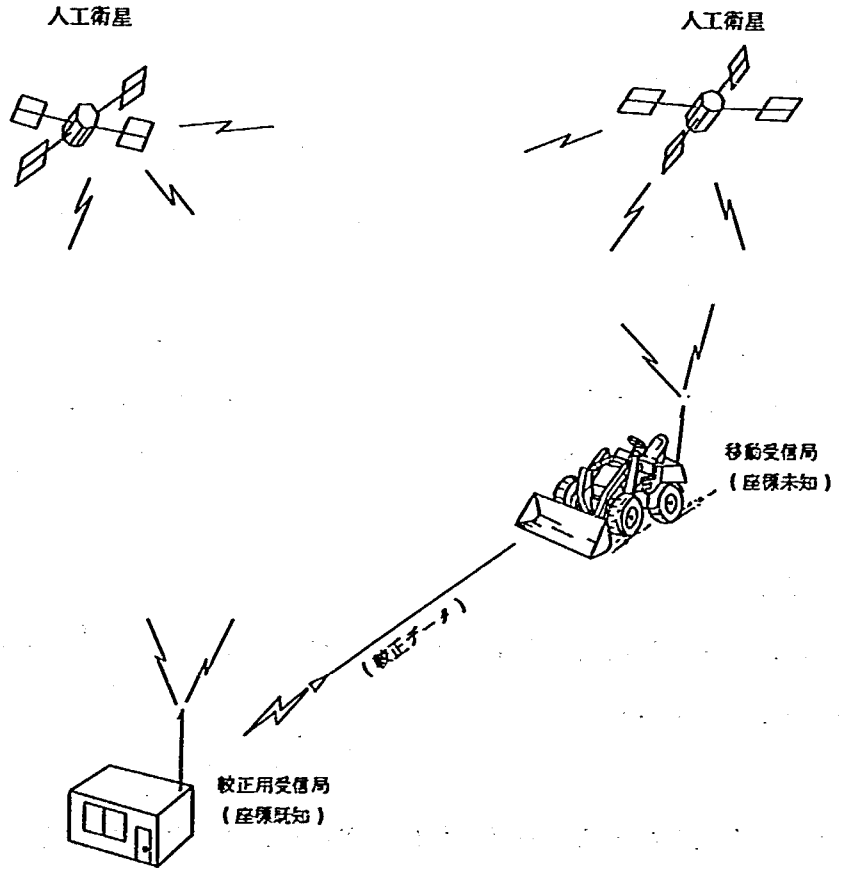


図6－4－11 衛星測量（GPS）の利用

(9) 不整地移動技術

建設工事の行なわれる現場は、普通起伏が激しく、作業機械の移動や位置固定などの面で支障をきたすような環境も数多く存在する。特に工事の開始前段階にある現地踏査等では樹木、岩、くぼみなどのために、一般的に機器や資材運搬などの面で多大な労力を要する。

こうした作業を行う場合に出来る限り人力の利用を少なくし、メカトロ機械により資材運搬や固定の自動化をはかることが可能となれば、作業の効率化や、安全面での効果は非常に大きなものとなる。

このための要素技術として、不整地移動技術が重要な役割を果たすことになる。

(a) 技術の現状と課題

現在までに開発された地表面移動のためのロボット技術を見ると、車輪方式、キャタピラ方式、脚歩行式の3形態がその主流となっている。

車輪方式は、一般に平坦面での移動にその本領（高効率性、高速性）を発揮する。この技術の開発テーマは、現在のところ平面上での自由度の高い動き（全方向移動）の実現と、階段、段差を有する凹凸面乗り超える能力の付加という2つの方向で研究が進みつつある。

キャタピラ方式は、車輪方式に比べて次の長所を有し建設分野でも使用実績が高いものである。

(i) 起伏・凹凸の激しい斜面や不整地でも走行が可能である。

(ii) 接地面積が大きく、従って接地圧が小さいため軟弱地盤上でも作業・移動ができる。

(iii) 粘着係数も大きいため、重量物の運搬・索引作業などの能力に優れている。

(iv) 重心が低く、安定性にも優れている。

逆に短所としては、

(i) 高速度走行が難しく、履帯の種類によっては舗装路面を傷つける。

(ii) 旋回方式がすべり旋回となるため必要とする動力が大きく、かつ地表面も著しく傷つけられる。

(iii) 構造が複雑で、高価となる。

脚歩行式は、最も高い対地適応力を示すものが想定されるが、設計や制御の面で解決すべき課題が数多く残っている。

(b) 開発展望

建設ロボットの不整地移動技術の概略仕様を想定し、この仕様を満足するために今後行うべき技術開発の方向、実現性等について専門家に対して実施したヒアリング調査の結果を技術開発の展望としてまとめたのが表6－4－18である。

表6−4−18　ヒアリング調査による要素技術の開発展望調査結果のまとめ〔対象：不整移動技術〕

調査にあたっての想定仕様	調査結果のまとめ		
	開発の方向	問題点・留意事項	考えられる実現時期・費用等
現地踏査等、不整地、斜面での資材の移動、固定技術	現地踏査における運搬・セット傾斜角度、地面の凹凸程度により移動方法の選択が必要であり、次の方式が有望と考えられる。 ・急斜面、不整地 → 脚歩行式 ・緩斜面、小不整地 → キャタピラ式 移動方式の特徴は次のとおりである。 ・脚歩行式 → 軽荷重、低速移動、小型 ・キャタピラ式 → 重荷重、中速移動、大型	・移動範囲の拡大のためには、動力源の搭載、制御機の搭載が必要となり、これらの機器の小型化が重要。	・脚歩行式 ・10～20年後あるいは20年以上 ・5～20億円あるいは20億円以上 ・キャタピラ式 ・4～5年後 ・4～5億円

6－4－2　情報処理・通信技術

(1)　開発課題の整理

情報処理・通信技術は、図6－4－12に示したように情報の収集、情報の処理、情報の保存と通信といった機能によって構成される（詳細は第4章2節参照）。

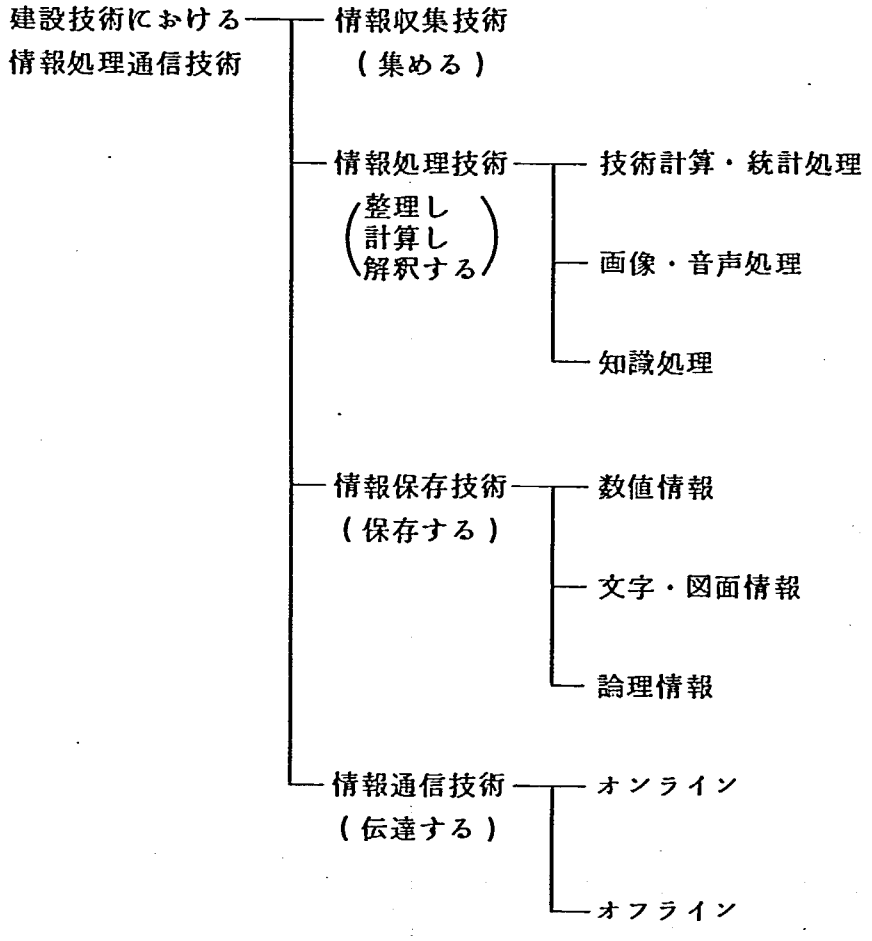


図6－4－12　情報処理・通信技術の体系

本章第3節で検討した高度化システムの個別の構成要素が、図6－4－12に示す情報処理・通信技術のどのような機能を必要とするかを分析し、情報処理・通信技術に関連する要素技術の開発課題を抽出する。

まず、図6－4－12の各機能の中で、情報収集技術はセンサーなどメカトロニクス関連技術として前項で検討ずみである。これを除く残りの情報処理技術、情報保存技術、情報通信技術について技術開発課題と深い関連を持つものを整理すると表6－4－19のようになる。

表6－4－19に示された情報処理・通信技術のうちで、建設技術全体の高度化にとってキーテクノロジーと考えられる要素を抽出すると、次の3つの課題があげられる。

表6－4－19　情報処理・通信技術と技術開発課題の関連

建設プロセス ／ 高度化システムの構成要素 ／ 情報処理・通信関連要素技術	調査・設計									
	国土地形地質情報データベース	地下埋設物情報データベース	地質・固定資産情報データベース	海洋情報（気象・海象・海底地形地図）データベース	設計・施工事例情報データベース	労務・資機材情報データベース	リモートセンシングデータ解析システム	地質構造推定システム	気象・海象・海底地形地質等データ処理・解析システム	最適設計システム
情報処理通信技術										
情報処理技術							○	○	○	3次元シミュレーションシステム
技術計算統計処理										
画像・音声処理							3次元画像データ処理	3次元図形データ処理	3次元図形データ処理	3次元CAD
知識処理								エキスパートシステム	エキスパートシステム	エキスパートシステム
情報保存技術										
数値情報	○	○			○	○		○	○	○
文字・図面情報	3次元図形データ処理	3次元図形データ処理	○	3次元画像データ処理	○	○		○	○	○
論理情報								地質データ解釈の知識ベース	海象データ解釈の知識ベース	設計ルールの知識ベース
情報通信技術										
オンライン		○								
オフライン										

（つづき）

建設プロセス ＼ 高度化システムの構成要素 ／ 情報処理・通信関連要素技術	施工				維持管理						
	施工事例（設計変更不具合情報等）データベース	労務資機材管理システム	出来高計測システム	ダム用コンクリートプラント最適制御システム	変状計測・認識システム	点検データ解釈・診断システム	損傷事例データベース	補修事例データベース	ダム・地山挙動例・対応例データベース	詳細調査方法決定システム	補修計画・工法決定システム
情報処理通信技術											
情報処理 — 技術計算 統計処理			○	○	○						
情報処理 — 画像・音声処理			写真測量技術		○	3次元図形データ処理					3次元CAD
情報処理 — 知識処理		エキスパートシステム		エキスパートシステム		エキスパートシステム				エキスパートシステム	エキスパートシステム
情報保存 — 数値情報				○							
情報保存 — 文字・図面情報	○	管理用データベース				○	3次元図形データ処理	○	○	○	○
情報保存 — 論理情報		管理ルール知識ベース		制御ルール知識ベース		変状解釈ルール知識ベース				調査方法決定ルール知識ベース	補修ルール知識ベース
情報通信 — オンライン	○				○				○		
情報通信 — オフライン											

① 3次元画像、図形データ処理技術の開発

② 各種データベースの整備

③ エキスパートシステムのための知識ベースの作成

これらの課題についての技術の現状と問題点についてはすでに第4章で述べた。ここでは専門家にヒヤリング調査を行い、開発にあたっての留意点をまとめた。これを以下に示す。

(a) 3次元画像・図形データ処理技術

3次元の画像・図形処理技術は、建設分野以外の製造業等でも需要は極めて大きいため、大量のデータを高速に処理するための基本的なアルゴリズムや、画像・図形処理に適したコンピュータなどハードウェアの開発は、主として情報処理産業分野で進められると考えられる。従って、建設分野での技術開発課題は主としてソフトウェア面を中心としたものになる。

表6－4－19に示された3次元画像・図形データ処理技術は、センサーを用いて収集された地形等のデータを解析し意味のある情報を抽出する技術と、CADのように図面の作成、修正作業を効率化する技術に分けることができる。

前者については、広い意味での解析ソフトの開発が必要となる。図6－4－13は、地形の3次元画像の解析を例にセンサー等によって得られた物理情報を解析し、意味ある3次元画像として復元するのに必要な情報の関連を示したものである。このソフトウェアは、センサーの種類、対象物の性質によって大きく異なり、建設技術側での基礎研究を含めた開発努力が必要となる。

後者については、すでに第4章で述べたようにデータ入力は多大な労力を要することが現在大きな問題であるが、この分野についてのハードウェアの進歩はめざましく、建設技術側の課題としては設計基準の統一等、CADを広汎に利用することが可能な環境整備が重要となる。

(b) データベース整備

データベースそのものはすでに実用化されている技術であり、建設分野における利用上の現状での問題点は4－2－2に述べたとおりである。技術開発課題としては、図面・写真等のデータベース化に伴う図形・画像データ処理技術の開発等があげられるが、建設技術側の課題としてはむしろ整備すべきデータの内容・精度、データの収集・入力・流通体制等の検討が重要である。

高度化システムにおいて用いられるデータベースの対象分野を機能によって区分すると、事業の対象となる場所（現場）の自然条件・既設の構造物等に関するデータベース、設計・

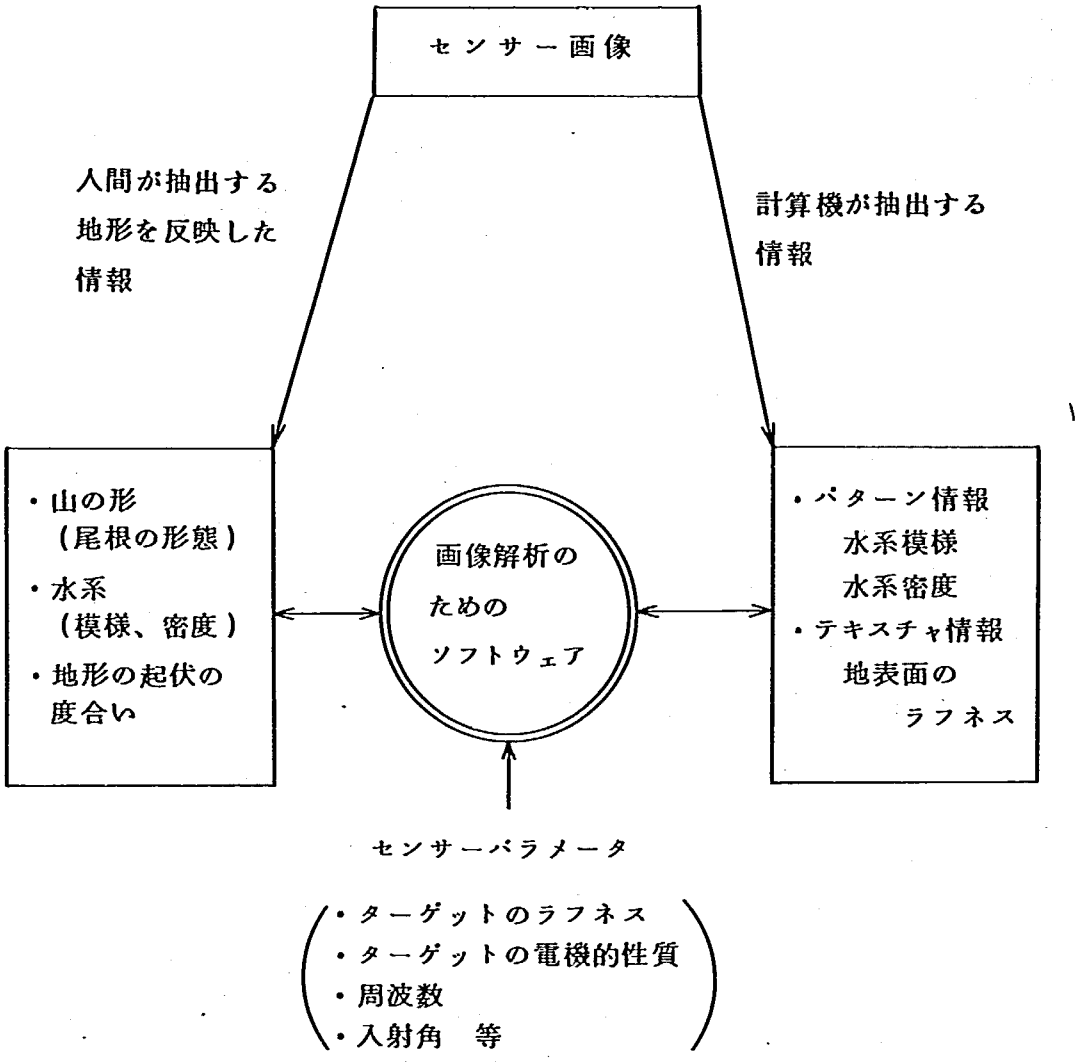


図6－4－13　地形の3次元画像の解析の構造

施工管理のためのデータベース、維持管理のためのデータベースの3種類に大別される。各々について、開発上の留意点をまとめると次のようになる。

(i)　事業の対象となる場所（現場）の自然条件・既設の構造物等に関するデータベース

これは概略調査の代替機能として位置づけられる。国土数値情報等すでに整備されたデータベースも存在するが、精度の点で問題があり、より詳細なデータが必要とされる。ただし、当該データの1次データをデータベース作成のために新たに収集することは現実的でなく、既存の1次データの収集・整備および通常の観測業務等で収集されているデータのデータベース化が主な課題となろう。

既存の1次データの収集・整備は、ボーリングデータの一元的な整備等があげられるが、この際コードやフォーマットの統一が必要となる。通常業務を通してのデータベー

スの整備としては、気象条件、河川流量等のデータベース化が例としてあげられるが、これについては観測機器等を含めたオンラインシステムの整備が重要である。

以上のように、これらのデータベースは共用データベースとして整備される必要があり、流通体制についても考慮が必要となる。

(ii) 設計・施工計画・施工管理のためのデータベース

これは3つの機能に分かれる。第1は既存の事例に関する情報を提供する機能、第2は資機材等の調達に必要なデータを提供する機能、第3は現場で発生する多量のデータを直ちに整理し、データベース化して施工管理等に必要な情報を迅速に提供する機能である。

第1の機能については、一般的な情報は必ずしも重要でなく特殊な条件下での施工や不具合への対応等の情報が重要である場合が多い。企業のノウハウにかかわる情報となる場合が多く、インハウスデータベースとなると考えられる。第2の機能については、これを有効なものとするためにある程度の地域をカバーする情報を収集し流通させる必要があり、データベース業者の存在が前提となる場合が多いと考えられる。第3の機能についてはインハウスデータベースとなるが、建設会社を例にとれば本支店が現場の施工管理を一元的に行う傾向が進む中で必要性が高まることになると考えられる。

(iii) 維持・管理のためのデータベース

補修の際、直接に必要となる構造物の構造、材料、施工状況等を提供するデータベースであるが、履歴を整備しておくことにより補修時期の判断等にも有効となる。いわゆる施設データベースがこれにあたる。

既存の構造物を対象に基本諸元等をデータベース化していくことも当然であるが、詳細なデータを整備することは困難である場合が多い。従ってこれから建設される構造物、大規模な検査・改修を行う構造物を対象に着実に整備していくことが重要である。

(c) エキスパートシステム

エキスパートシステムの開発については、有効な適用領域の見極めと知識ベースの整備が重要な課題である。

(i) 有効な適用領域の見極め

4－2－4において、現時点のエキスパートシステムの開発は、エキスパートシステムの有効性と限界を具体的に見極める段階にきていることを示した。一般的に言って新しい技術が登場すると最初の段階ではその技術を過大評価し、これまで不可能であったことがその技術により一挙に可能になるかのような期待を抱くことが多い。そして研究が

進められ、具体的な開発課題が議論されるようになると、逆にその技術が過小評価されることがしばしば起きる、ここ１，２年の建設分野におけるエキスパートシステムに対する評価も、同様の経過をたどってきたように思われる。

この経過をふまえ、ここでは建設会社等へのヒヤリング結果をもとに、現時点でのエキスパートシステムの機能の評価と有効だと考えられる適用領域をとりまとめる。

① 現時点でのエキスパートシステムの機能の評価

エキスパートシステムそのものは全く新しい技術ではないが、この技術により従来の方法では技術的に不可能ではないものの、取り扱いに手間がかかった知識情報を、より容易に扱うことができるようになった。また、ハードウェア、ソフトウェアの進歩により優れたマンマシンインターフェイスを利用することが可能となった。

これが現時点でのエキスパートシステムの機能の評価を端的に言い表わしたものである。別の視点からのエキスパートシステムは、システムそのものが表に出て稼動するものではなく、一連の計算あるいは設計・意思決定支援システム等の内部にあって、ＡＩツールの機能の特徴を生かした処理をうけもたせるのが最適であるとする考え方もある。“エキスパートシステム黒子論”とでも言うべき考え方である。ただしこの場合、現状でのＡＩツールは既存の計算機言語とのインターフェイスが悪いという問題点も併せて指摘されている。

② 適用にあたっての考え方

エキスパートシステムの適用分野を検討する際には、エキスパートシステムを合成ダイヤモンドにたとえ、これを工業的に利用する発想が必要であるとする考え方がある。現在の技術で製造しうる合成ダイヤモントは宝飾品としての価値はほとんどないが、工業的に利用する場合は多様かつ有効な材料となる。

現在のエキスパートシステムを、今すぐに人間の判断機能と同等の機能が必要な用途に適用しようとすれば、ほとんど要求を満足しえないものとなる。しかし、各々の専門家の高度な判談が必要とされる専門業務の前処理、後処理のシステムとして、あるいはそのシステムを作るツールとして利用する上には有効な手段となりうる。

また、多大な人手を要していたためこれまではコストに見合わなかった業務も、システム化し、効率的に処理するためのツールとして利用することができる。ひとつ、ひとつの処理はさほど複雑ではないが、様々な条件のもとで多様の処理を一挙に行うような場合も有効である。

いずれにしても、エキスパートシステムの開発・適用に際しては工学的判断が必要

であり、入力レベルでの情報の管理がなされていない、すなわちマニュアル化されていない分野には直ちに適用することは困難である。

(ii) 知識ベースの整備

エキスパートシステムの構造は図4－2－15に示したとおりであるが、ユーザーインタフェイス等を除けば、エキスパートシステムは推論エンジンと知識ベースで構成されていることになる、このうち知識ベースは建設技術側の開発課題である。

上述のマニュアル化が知識ベースの基本形であるが、現在、"工学的判断"が必要とされ、マニュアル化されていない分野についても、専門家の判断基準をルール化し知識ベースを整備することが必要である。これは、専門家あるいは専門家を擁する団体・企業のノウハウもあり多分にインハウスデータとしての性格を持つが、地質データの解析等のように、公共側が整備することが望ましい共用的な知識ベースも多いと考えられる。

第７章　建設技術高度化システムの評価

７－１　評価の目的

本研究の第５章までの検討では、建設事業の現況と将来動向を踏まえ、建設事業をとりまく情勢の変化と建設業への影響を検討することによって、図７－１－１に示す建設技術高度化の方向を明らかにし、また、建設事業へのエレクトロニクスの適用条件に関する分析を行って、建設技術高度化システムの基本構想を策定した。

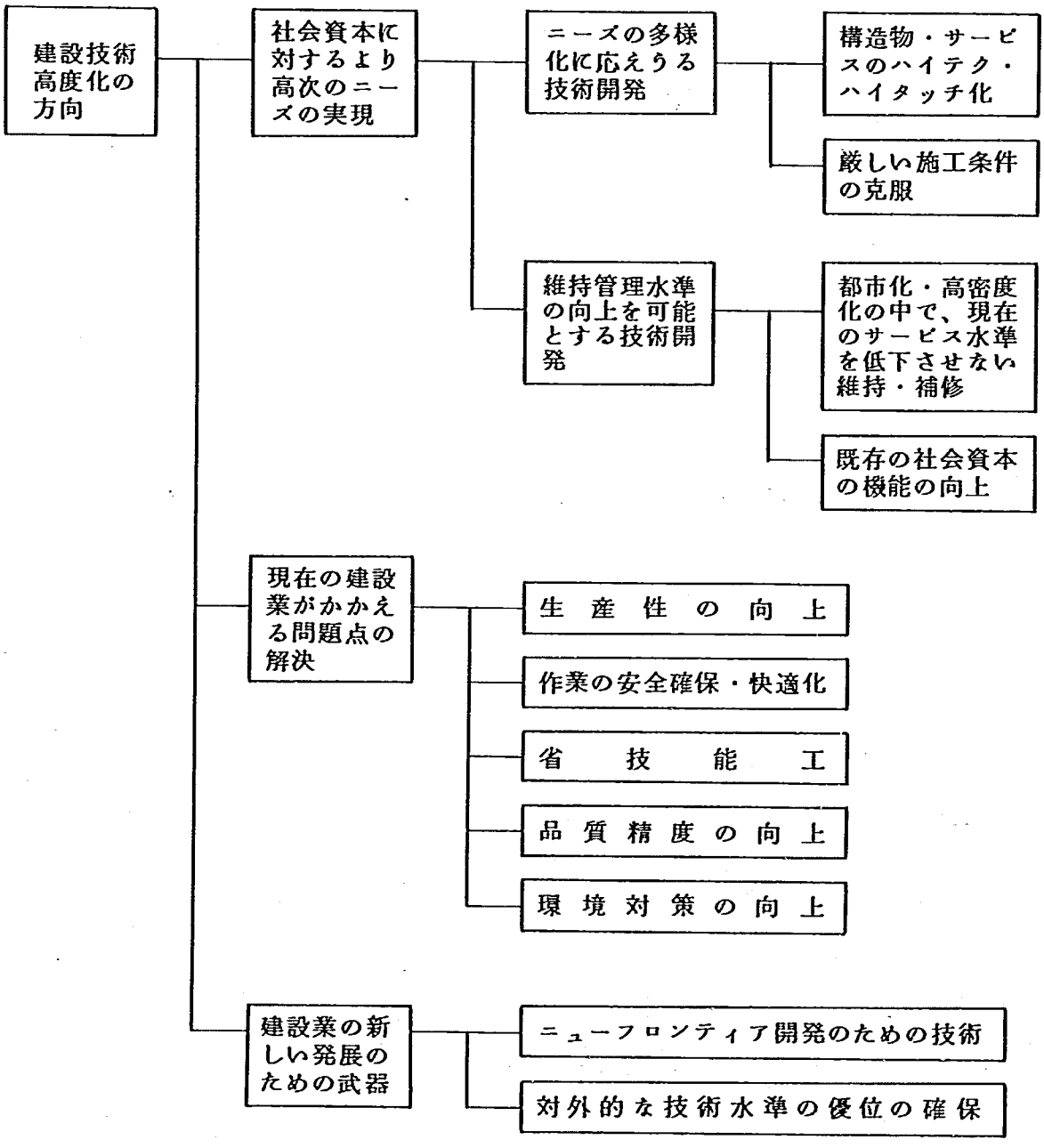


図７－１－１　建設技術の高度化の方向

また、第6章では、上述の基本構想に従いケーススタディ対象事業を選定し、高度化システムの概念設計を行った。

本章は、第6章で事例的に概念設計を行った高度化システムをケーススタディとして、システムの評価を試みたものであるが、その目的は以下の通りである。

① 概念設計の対象とした高度化システムに対して、建設技術高度化の方向（図7－1－1）の各項目について西暦2,000年頃での達成度を評価し、検討対象とした各高度化システム事例の有効性、課題等を明らかにする。

② 本プロジェクトを受けて、今後、建設技術の高度化のためのシステム、機器等の設計を行う場合の評価方法を提案する。

7－2 評価の方法

7－2－1 評価の全体構成

高度化システムの評価の全体構成を示したものが図7－2－1である。

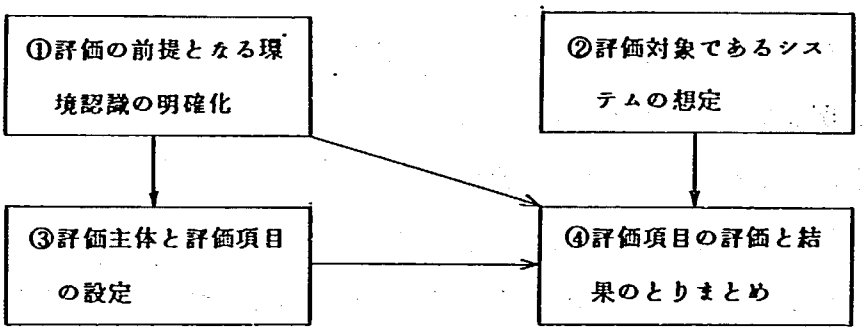


図7－2－1 高度化システム評価の全体構成

①の「評価の前提となる環境認識の明確化」とは、評価の対象となるシステムが置かれると考えられる社会・経済上の環境条件を明らかにし、対象システムのどのような面が新しく、かつ必要とされているのかという問題背景を、各評価主体が明確に把握できるように整理するものであり、その詳細は「3－3 建設事業をとりまく情勢の変化と建設業への影響」に示したとおりである。

②の「評価対象であるシステムの想定」とは、高度化システムの検討結果から得られた各種のシステムの概念的な検討例をもとに、システムの目的や機能、その適用条件、開発課題等の各項目について、可能な限り明確かつ詳細な情報として作成しておくことである。また、対象システムを、その構成要素である要素技術に分解し、要素技術の機能、仕様等についても明らかにしておく。ここではケーススタディとして、「6－3 建設技術高度化システムの概念設計例」に示した高度化システムを想定した。また、その要素技術については「6－5 要素技

術の開発展望」に示したとおりである。

③の「評価主体と評価項目の設定」に関しては、両者を密接に関連させつつ、対象システムの構成や評価主体の関与する領域を明確にして項目の検討を行う。詳細については「7－2－2　評価主体と評価項目の設定」に示す。

④の「評価項目の評価と結果のとりまとめ」では、まず、個々の評価項目の査定を行うための判断情報として、想定する高度化システム導入により、各評価主体が関連すると考えられる定量的・定性的な影響項目を整理する。さらに、この情報及び構成要素技術の開発コスト推定結果をもとにして、高度化システムの導入によってもたらされる効果についての評価を行う。詳細については「7－2－3　評価項目の評価と結果のとりまとめ」に示す。

7－2－2　評価主体と評価項目の設定

(1)　評価主体の設定

高度化システムの評価では、システムに関与する立場により評価の基準が大きく異なってくる。このため関与する立場別、つまり関連主体別に評価の項目を対応付ける必要がある。

ここで、関連主体としてとりあげたものは、

開発主体：高度化システムの開発者

事業主体：国、地方自治体等の事業主体

作業主体：調査、設計、施工、維持管理、作業等を実際に実施する主体（民間建設業者など）

作 業 者：調査、設計、施工、維持管理作業に従事する人

利 用 者：維持管理作業中等において、施設を直接利用する人（個人）

一般社会：事業の高度化により直接、間接に影響を受ける国民社会

地域社会：高度化システムを導入する地域の住民

の7つの主体である。これらを以下「評価主体」と称する。

なお、評価項目の設定にあたり考慮すべき条件として、評価対象であるシステムの構成（高度化システムを導入すべき事業の階層性）を念頭に置きつつ、評価主体の関与する領域と、評価のための情報を明確化することがあげられる。これを概念的に示すと図7－2－2のようになる。

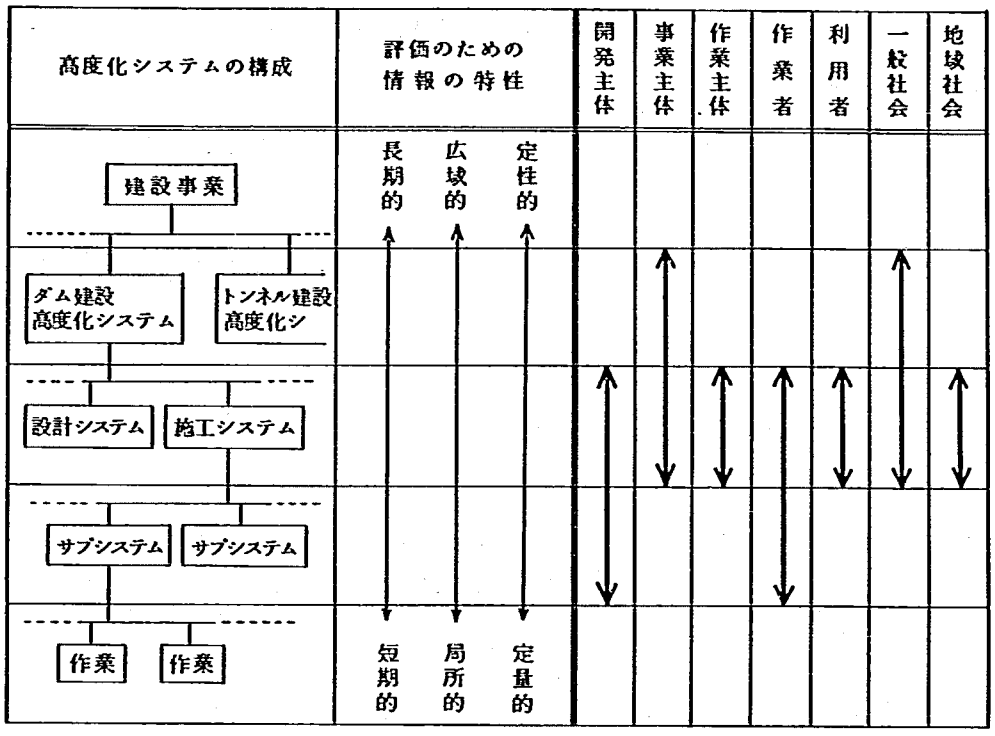


図７－２－２　評価主体ごとの評価対象システムの概念図

(2)　評価主体別の評価項目の設定

開発主体からの評価では、大きく収益性と技術力という２つの面から高度化システムを評価することを考える。ここで、収益性としては、企業としての利益ならびにシステム開発費用という効果と費用の両面から検討を加える。また、技術力については、開発の難易度、特許件数等を基に、他社（あるいは他国）との技術競争力として考える。

事業主体からの評価では、事業の量及び質の増大を評価項目として考える。さらに維持保全の段階を考えれば、社会資本のライフスパンの増大、合理的メンテナンス技術の確立などの評価項目が考えられる。

作業主体からの評価では、収益性、市場競争力等から評価項目が考えられる。

作業者からの評価では、快適性、安全性などの作業環境、熟練性などの作業特性について、評価項目が考えられる。

利用者からの評価は、維持管理作業中等においてその施設を直接利用する個人のみを対象とし、建設された施設利用の評価は、事業主体あるいは一般社会からの評価に含める。利用者からの評価項目は対象とする施設の種類により異なるが、今回のケーススタディでは、交通施設（道路）のみが利用者からの評価の対象となる。この場合の評価項目は安全性、低廉性、利便性等が考えられる。

高度化システムの開発効果が、間接、直接に波及する国民社会・経済という観点から評価す

るのが「一般社会」であり、この視点からの評価項目は、省資源・省エネルギー、技術開発、経済波及効果等が考えられる。

地域社会からの評価では、局地的な影響に対する評価項目として、主に工事中の環境が考えられる。

以上の考え方により、評価主体別の評価項目をまとめたものが表7－2－1である。

表7－2－1　関連主体別の評価項目

開発主体からの評価項目		事業主体からの評価項目		作業主体からの評価項目		作業者からの評価項目		利用者からの評価項目 *		一般社会からの評価項目		地域社会からの評価項目	
収益性	利益	良質な社会資本の蓄積	事業量の増大	収益性	費用減	快適性	苦渋作業従事時間	安全性	交通事故等	省資源	省資源	環境	大気汚染
	開発費用		社会資本の品質の向上		付加価値の向上					省エネ	省エネ		騒音・振動
技術力	技術競争力		生産性の向上		工期の短縮					技術開発	技術競争力		水質汚濁
					企業（建設業）のイメージアップ			低廉性	利用料金等				日照
		合理的な維持保全	社会資本のライフスパンの増大			安全性	危険作業従事時間	利便性	運用時間帯運用停止時間等				景観
					市場競争力					生活環境の向上			生態系
			維持管理水準の向上			非熟練性	技能工投入量			産業基盤の強化			
			生産性の向上				職種の変更			安全基盤の強化			
		建設行政のイメージアップ								国土空間の有効利用			

*）利用者からの評価項目は、交通施設について設定したものである。

7－2－3　評価項目の評価と結果のとりまとめ

(1)　評価方法

評価主体別に、各評価項目の評価を行う。ここでは、実際に評価主体の代表者が評価を実施するのではなく、各評価主体の視点に立ってどのように評価されるかを、できるだけ客観的な指標を用いて予測することとした。また、評価は原則として、現行システムとの比較による相対的評価とし、5段階比較とした。

以下に評価主体ごとの各評価項目の評価方法、必要データ、スケールを示す。スケールの汎例は次のとおりである。

㊀：絶対的スケール　　㊁：定量的スケール　（客観的）

㊂：相対的スケール　　㊃：定性的スケール　（主観的）

(a)　開発主体

項　目　名	評価方法と必要データ	スケール
1) 利　益	特許件数　市場の大きさ ＝ 開発の技術レベル	㊀㊁ ・1千万円程度 ⟶ 1 ・1億円程度 ⟶ 2 ・10億円程度 ⟶ 3 ㊀㊁ ・100億円程度 ⟶ 4 ・1千億円程度 ⟶ 5
2) 開発費用	要素技術の開発費用 組合せ技術の開発費用	
3) 技術競争力	要素技術の難易度 組合せ技術の難易度	㊀ ・現在の技術で対応可→1 ・現在の技術の延長上→3 ㊁ ・新しい技術がいる ⟶ 5

(b)　事業主体(1)

項　目　名	評価方法と必要データ	スケール
1) 事業量の増大 技術力の向上により、従来ならば不可能であった地域で、社会資本の蓄積が行える。 また、新しい機能、形態を持つ社会資本ができる。	個別的な市場調査	㊂ 横断的精度あるいは単なる ㊁ 例示 減　少 ⟶ 1 変化なし ⟶ 2 若干増 ⟶ 3 倍　増 ⟶ 4 大幅増 ⟶ 5

（次ページに続く）

事業主体（つづき）

項　目　名	評価方法と必要データ	スケール
2) 社会資本の品質の向上 ・品質の向上（耐久性 使用性 ・特に使用性については、新しい機能の追も含む。		㊨ 低下 ——→1 変化なし ——→2 若干向上 ——→3 ㊩ 向上 ——→4 大幅に向上 ——→5
3) 生産性の向上 ・(事業量/事業費)（事業量/工期）というマクロ的、全体的な生産性 ・品質の向上は考慮しない	各サブシステムの評価の積み上げ （各段階別、事業費の重み付き）	㊨←スケールの基準となる現在 ㊧ の生産性の値をおさえておき、絶対量へ変換する。 （2)と同様）
4) 社会資本のライフスパンの増大 ・メンテナンスの高度化に伴う物理的、機能的（機能の改良による延命も含む）耐用年数の増大	経験的判断	㊨←現況のライフスパンを基準 ㊧ に、何倍になるかで評価する。 あるいは「記述」にとめる。 （2)と同様）
5) 維持管理水準の向上 ・メンテナンスの高度化により、社会資本の使用性機能が向上する効果	「利用者」からの評価に準ずる	㊨ ㊩ ・詳細な評価の内容は利用者からの評価にゆずる ・ここでは、定性的記述にとどめる。 （2)と同様）
6) 生産性の向上 ・メンテナンスレベルの向上は含まない ・量的な生産性	・費用減 ・工期短縮	㊨ ㊧ （2)と同様）
7) 建設行政のイメージアップ	主観的判断 マイナスイメージの減少 ・労災の減少 ・苦渋作業の減少 プラスイメージの増加 ・技術開発の難易度 ・直接的に利用者(国民)に効果 ・新しいフロンティアの拡大	㊨ ㊩ （2)と同様）

(c) 作業主体

項　目　名	評価方法と必要データ	スケール
1) 費用減	(注)	㊫ ㊧ 増加 →1 変化なし →2 若干減少 →3 半減 →4 大幅に減少 →5
2) 付加価値の向上 （品質等の向上）	経験的判定	㊫ ㊧ 又は ㊨ 低下 →1 変わらず →2 若干向上 →3 向上 →4 大幅に向上 →5
3) 工期の短縮	経験的判定 （いくつかの作業工程にわかれるものはその各々の積み上げ）	㊫ ㊧ 延長 →1 変わらず →2 若干短縮 →3 半分に短縮 →4 大幅に短縮 →5
4) 企業のイメージアップ	経験的判定 （判断基準は、建設行政のイメージと同じ）	㊫ ㊨ （2)と同様）
5) 市場競争力 （新しいシステムを導入することにより、どの程度市場競争力が強まるか）	費用減、付加価値の向上、企業イメージより、経験的に判断	㊫ ㊨ （2)と同様）

注) 費用節減効果の推定方法

費用（間接費用は除く）
- 労務費 — 技能工
- 資材費 — 一般工
- 機械・設備費

① 労　務　費

技能工、一般工の労務単価は不変とする。

技能工労務単価×技能工労働時間（単位工事量当り）＝技能工労務費

一般工労務単価×一般工労務時間（単位工事量当り）＝一般工労務費

+)

総労務費

現状と将来について総労務費を求め、その差をとって「単位工事量当りの労務費節減額」とする。それに「全体工事量」を乗じて「全体効果額」を推進する。

② 資　材　費（特に必要な場合のみ）

推定方法は労務費に準じる。

③ 機械・設備費

開発費と等しいとする（ただし、全体費用の1項目として扱う場合のみ）。

(d) 作 業 者 (1)

項　目　名	評価方法と必要データ	スケール
1) 苦渋作業時間	・現在に比べてどの位減少するか ・1工事あたり（原単位） ・苦渋作業の定義 単調作業、狭隘空間での作業、悪環境（騒音、振動、悪臭、暑い、寒い）での作業、深夜作業、重労働（力作業）、精密作業	(特) (量) ・増　加 ——→ 1 ・変わらず ——→ 2 ・2～3割減少 ——→ 3 ・半　減 ——→ 4 ・大幅に減少 ——→ 5
2) 危険作業時間	・現在に比べてどの位減少するか ・1工事あたり（原単位） ・危険作業の定義 高所作業、火災・爆発の危険のある作業、危険ガス・放射線等を扱う作業、落盤・落石・ガケ崩れ等の危険のある作業、水中作業	(特) (量) （同　上）
3) 技能工投入量	技能工の作業従事時間 （人・日単位）	(特) (量) （同上）
4) 職種の変更	作業者 ┬ 土木作業者 ┬ 一　般 　　　　　　　　　　└ 技能者 　　 ├ 機械関係作業者 　　 │　（メンテナンス） 　　 └ 事務的管理者 上記作業者の構成比(%)の変化	(特) (量) 土木作業者、機械関係作業者、事務的管理者各々の増減を5段階（大幅減、減、変化なし、倍増、大幅増）で表示する。

(e) 利 用 者

項　目　名	評価方法と必要データ	スケール
1) 安全性	・メンテナンス技術の向上（メンテナンス時期、メンテナンス内容を判断できるシステムの開発等）による安全性の向上	(特) (性) 低　下 ——→ 1 変化なし ——→ 2 若干向上 ——→ 3 向　上 ——→ 4 大幅に向上 ——→ 5
2) 低廃性	・生産性の向上（サブシステムの積み上げ） ・耐用年数の増大	(特) (性) （同上） (特) (性)
3) 利便性	・維持・補修による利用阻害時間 （空間的要素を含む）	(特) (性) （同上）

(f) 一般社会

（他の主体からの評価結果）×（市場規模）で評価し、新たなデータ採取は行わない。

ここで、一般社会からの評価と他の主体からの評価の関係を図７－２－３のように考えた。

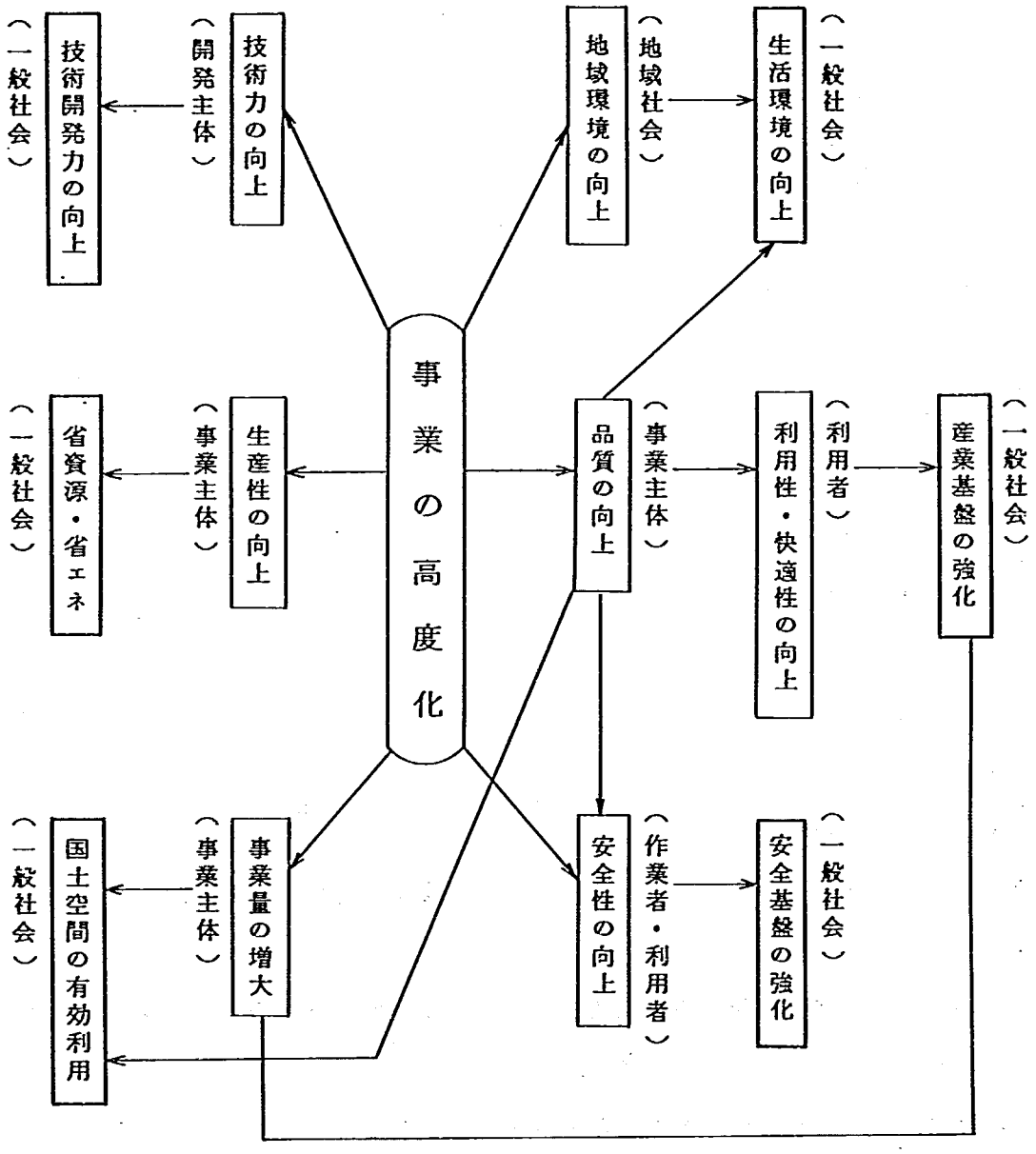


図７－２－３　一般社会からの評価と他の主体からの評価の関係

(g) 地域社会

項目名	評価方法と必要データ	スケール
環境 { 大気汚染 / 騒音・振動 / 水質汚染 / 日照 / 景観 / 生態系 }	・工事中の公害量（大気汚染、騒音・振動、水質汚濁 etc） ・建設物の影響（日照、景観 etc） （建設物、工事種類によって項目異なる）	㊀又は㊁　㊂又は㊃ （項目によって異なる） 悪化 → 1 変化なし → 2 若干向上 → 3 向上 → 4 大幅に向上 → 5

(2) データの収集方法

(1)で述べた評価方法に従って、評価を行う際に必要なデータは、以下のとおりである。

① 開発費用

- 1千万円程度
- 1億円程度
- 10億円程度
- 100億円程度
- 1,000億円程度

② 開発の難易度

- 現在の技術で対応可
- 現在の技術の延長上
- 新しい技術がいる

③ 作業内容別サイクルタイム（苦渋作業時間、危険作業時間、職種別作業時間の把握のため）

作業内容別の、現況（現在の作業方法でそのまま推移した場合）と将来（高度化システムを適用した場合）のサイクルタイム。

④ 資材使用量の変化（特記すべきことがある場合のみ）

⑤ 工期（サイクルタイムの変化等による工期の変化）

現況、将来の各々の工期

⑥ 交通止めの区域、時間（何車線を何時間位占有するか）

交通施設（道路、トンネル、橋梁）の維持管理のみ

現況、将来の各々の数値

⑦　公害の発生量（各作業項目ごとに特記すべきことがある場合のみ）

⑧　品質の向上（具体的に何がどのように変化するか。特記すべきことがある場合のみ）

⑨　事業量の変化

2,０００年の工種別建設需要を推定する。

①及び②は、各サブシステムごとに推定する。

③～⑧は、各高度化システムごとに、現況（現在の作業方法でそのまま推移した場合）と将来（高度化システムを適用した場合）を比較する。

⑨は各工種ごとに、2,０００年の各種ビジョン、計画等をとりまとめて、建設需要を推定する。

(3)　評価結果の整理方法

(a)　評価ワークシートの作成

評価を行う高度化システムを、その内容によってサブシステムに区分し、各々、現在と将来の作業内容を明確にし、各サブシステムごとに(2)で述べた必要データを収集、整理する。整理するためのフォーマットは、図７－２－４のとおりである。

区分	作業の内容		開発費用					開発の難易度			作業内容別サイクルタイム（苦渋作業時間、危険作業時間、職種別作業時間の把握のため）		
	現在	将来	一千万円程度	一億円程度	十億円程度	百億円程度	一千億円程度	現在の技術で対応可	現在の技術の延長上	新しい技術がいる	作業内容	現況	将来

資材使用量の変化（特記すべきことがあれば、記述する。）	工期（サイクルタイムの変化等による工期の変化）		交通止めの区域・時間（何車線を何時間位占有するか）		公害の発生量（各作業項目ごとに特記すべきことがあれば、記述する）	品質の向上（具体的に何がどのように変化するか、特記すべきことがあれば、記述する）
	現況	将来	現況	将来		

図７－２－４　評価ワークシートのフォーマット

(b) 点数表の作成

(a)で述べた評価ワークシートをもとに、(1)で述べた評価方法に従って各評価項目の評価を行い、その点数と主な要因を整理する。整理のためのフォーマットは、図7－2－5のとおりである。

区分	作業の内容		開発主体からの評価			事業主体からの評価							作業主体からの評価					市場競争力
	現在	将来	収益性		技術競争力	良質な社会資本の蓄積			合理的な維持管理			建設行政のイメージアップ	収益性			企業のイメージアップ		
			利益	開発費用		事業費の増大	社会資本の品質の向上	生産性の向上	社会資本のライフスパンの増大	維持管理水準の向上	生産性の向上		費用減	付加価値の向上	工期の短縮			

	作業者からの評価					利用者からの評価				一般社会からの評価									地域社会からの評価（環境）
	快適性	安全性		非熟練性		安全性	快適性	低廉性	利便性	省資源	省エネ	技術競争力	雇用増	生活環境の向上	産業基盤の強化	安全基盤の強化	国土空間の有効利用	社会福祉の達成	
	苦渋作業従事時間	危険作業従事時間	労働災害件数	技能工投入量	職種の変更														

図7－2－5　点数表のフォーマット

(c) 評価主体別の評価結果の整理

すべての評価項目は、「(1)評価方法」で述べたとおり5段階のスケールで評価される。これらの大部分は、「現状と同レベル」を2点とし、点数が高くなるほど改善度が高くなるように設定されているため、同一の評価軸で表わすことができ、図7－2－6に示すようなスターグラフで表示することとした。

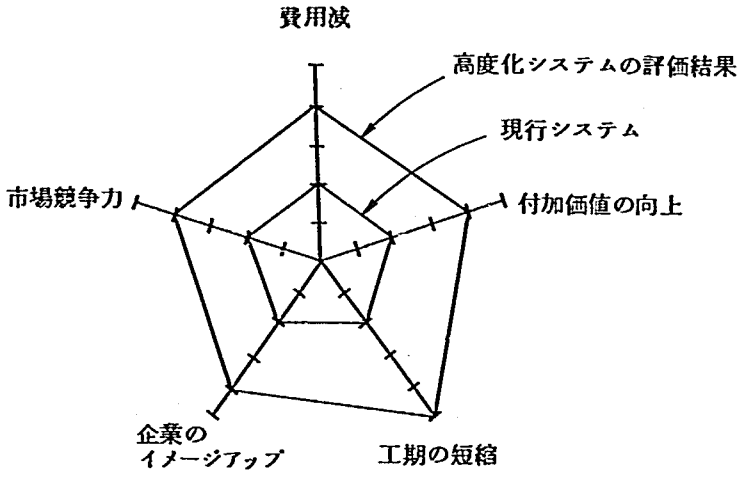


図7－2－6　評価結果の表示例(1)

また、絶対的スケールの場合（開発費用等）や、相対的スケールであっても上述と異なった設定となっている場合（戦種の変更等）には、独立した軸で表現することとした（図7－2－7参照）。

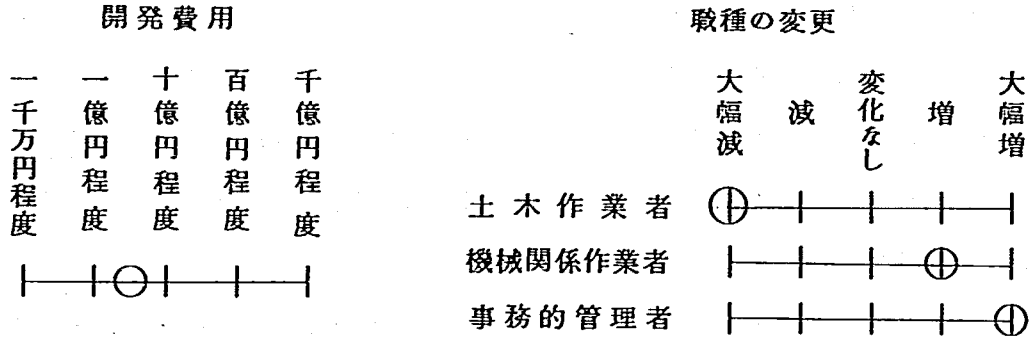


図7－2－7　評価結果の表示例(2)

しかし、すべての評価はこれらの5段階の評価軸だけで表現しきれるものではないため、適宜、文章等で補足しておくことが必要である。

(d) 評価結果の取りまとめ

個々の評価主体別の評価結果を基に、評価対象システムのメリット、デメリット、問題点を明確にする。また、今後の需要動向、需要家、社会等からのニーズと照らし合わせ、評価結果について考察する。

7－3　ケーススタディ

ここでは「6－3　建設技術高度化システムの概念設計」に示した高度化システムを取り上げ、それらの評価を試みた。

なお、本ケーススタディでは、その市場の大きさ、技術レベルについて、定量的に把握することが困難であったため、開発主体からの評価項目を次のように変更した。

開発主体からの評価項目 { ① 開発費用 ② 開発の難易度

また、各システムの評価では、各々の対象事業の将来需要を把握しておく必要がある。7－3－1で将来需要の把握結果を示し、7－3－2以降に各システムの評価結果を示す。

7－3－1　将来需要の変化予測（西暦2,000年頃）

(1) ダム

国土庁の「第四次全国総合開発計画」によると、昭和75年の水需要量は昭和58年の約1.2倍と予測されている。現在、建設省が所管するダムのうち管理中のダムは300程度であり、これに対して建設中のダムが300程度ある。このような現状から今後もダムの整備量は大幅に増加すると予測される。

(2) トンネル

建設省の計画によると、昭和75年の道路整備水準の目標は、ほぼすべての種類の道路について現状の2倍以上となっている。日本道路公団の資料によると、高速道路のトンネル率は、今後整備される道路では現状の約4.7倍になると推計されており、今後道路トンネルの整備量は大幅に増加すると予測される。

鉄道については、新幹線及び地下鉄の大量な整備が計画されている。新幹線のトンネル率は20～30%程度（東海道、上越、東北の平均）と高く、鉄道トンネルの整備量も大幅に増加すると予測される。

建設省がとりまとめた「建設産業ビジョン」及び「建設省ニューフロンティア懇談会」の報告では、地下空間利用の大幅な増加が見込まれており、道路トンネル、鉄道トンネル以外（下水道、共同溝、トンネル河川、地下街等）でもトンネル事業の増加が考えられる。

(3) 土留掘削

建設省の「建設産業ビジョン」では、都市内土木（特に都市内地下空間の工事）の増加が予測されている（ビル高層・深地下化、地下街・地下都市、各種備蓄・貯蔵施設等）。そのため、土留掘削の需要は大幅に増加するものと考えられる。

(4) 海洋構造物

建設省の「建設産業ビジョン」及び「建設省ニューフロンティア懇談会」の報告では、海洋空間利用の大幅な増加が見込まれており（埋立による臨海都市、海レク基地、港湾、海上空港等）、整備量は現状の約３－５倍に達すると見込まれている。

(5) 橋梁維持管理

「(2)トンネル」で示したように、道路及び鉄道（新幹線）の整備量は大幅に増加するとみられている。高速道路及び新幹線はトンネル率と同様、橋梁率も大変高い（特に新幹線は橋梁・高架率は５０～６０％である）。また、都市内では、道路、鉄道の高架化が進むと見られ、今後も橋梁の整備量は大幅に増加するとみられる。

また、経済企画庁「社会資本整備の新たな展開」では、2,000年の維持更新費（全社会資本の）は現在の約3倍になると予測されている。

以上のように、橋梁維持管理の事業量は、橋梁の増加に維持管理費の増大が加わり、大幅な増加が考えられる。

(6) 道路舗装維持管理

経済企画庁の推計によると、現在の我が国の社会資本は約８１兆円（昭和５７年度）であり、そのうち道路は約４３兆円と５３％を占める。さらに「(2)トンネル」で示したように、道路整備は今後も増大していくと予測されている。また、社会資本の維持更新費も「(5)橋梁維持管理」に示したように大幅に増大する。

以上のように、道路舗装維持管理の事業量は大幅な増加が考えられる。

7－3－2　ダム建設の高度化システムの評価

(1)　開発主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－1に示すとおりである。

評価項目 ＼ 区分	開発費用					開発の難易度		
	一千万円程度	一億円程度	十億円程度	百億円程度	一千億円程度	現在の技術で対応可	現在の技術の延長上	新しい技術がいる
調査				○			○	
計画・設計			⊕				⊕	
施工				○			○	
維持管理			○				⊕	

図7－3－1　開発主体からの評価結果

調査では、「リモートセンシングを利用した概略調査」の難易度が高い。

施工では、「土砂の掘削集積、積込運搬の自動化」及び「地形、地質データ、出来形データ等とロボット作業の連結」の難易度が高い。

計画・設計及び維持管理は、現在の技術の延長上で可能である。

(2)　事業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－2に示すとおりである。

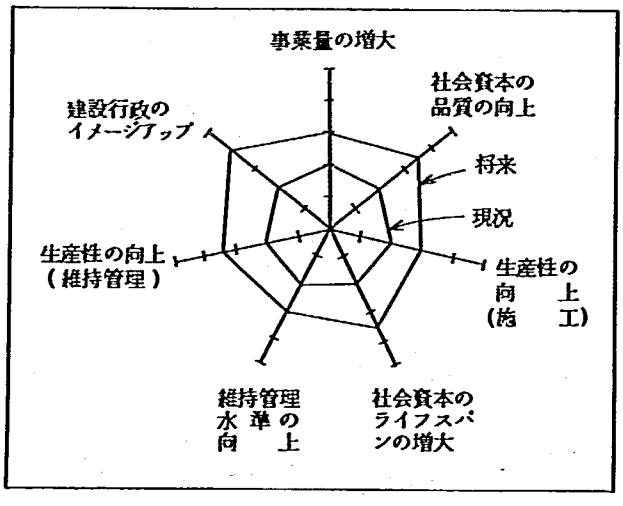


図7－3－2　事業主体からの評価結果

調査～維持管理全体の精度の向上により、社会資本の品質の向上、ライフスパンの向上が図られる。調査データの有効利用、施工、維持管理の効率化に伴い、生産性の向上が図られる。以上の他、高度化による現地作業の減少等の影響も受け、建設行政のイメージアップが図られる。

(3) 作業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－３に示すとおりである。

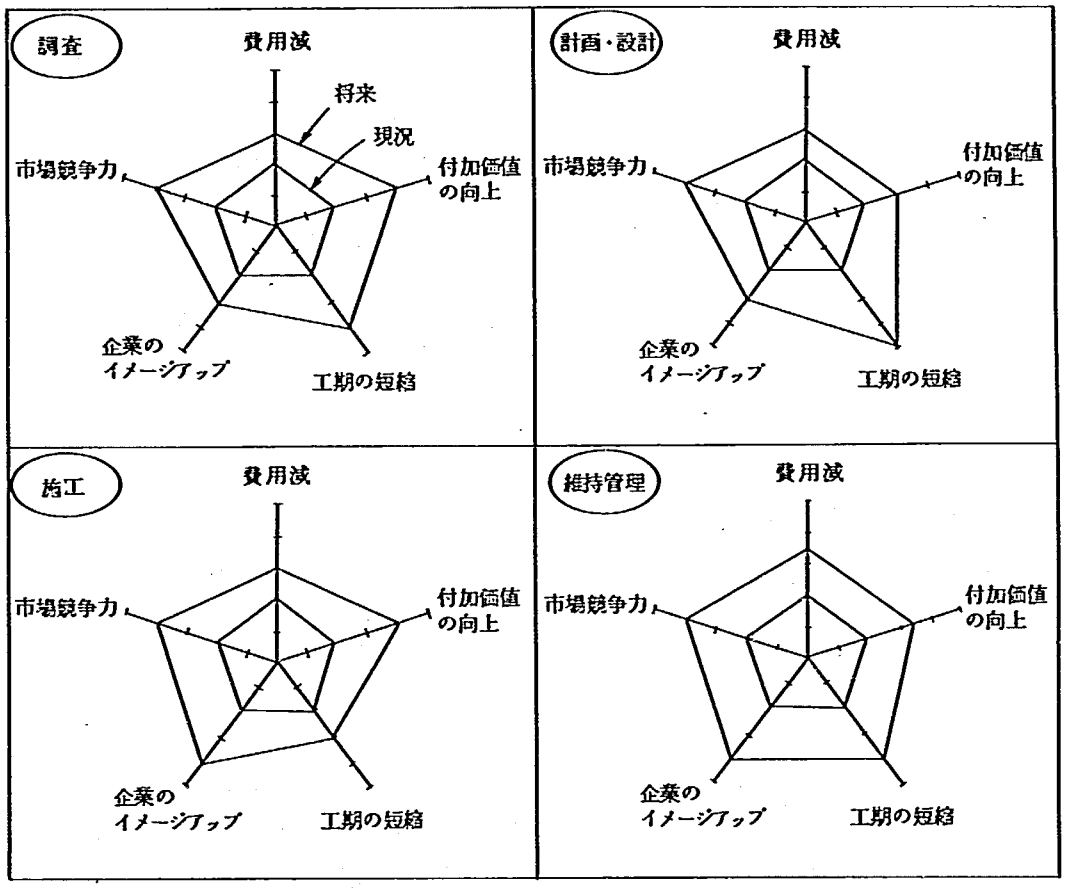


図７－３－３　作業主体からの評価結果

調査自体の費用は増加するが、調査データの有効利用によって、全体的には工期の短縮及びある程度の費用減が期待できる。調査～維持管理のすべてで効率のアップが図られ、市場競争力の向上が図られる。

(4) 一般社会からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－５に示すとおりである。

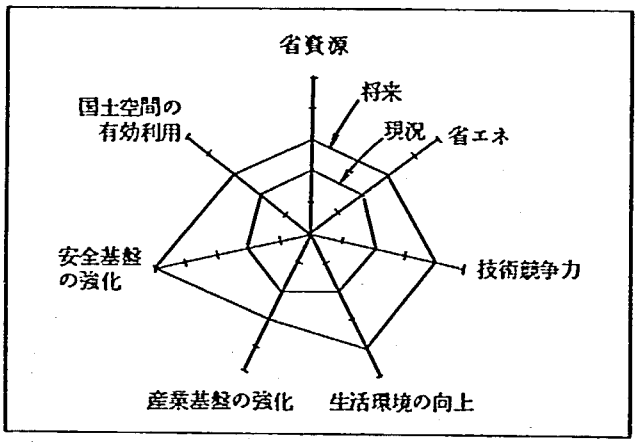


図７－３－５　一般会社からの評価結果

工期の短縮は生活環境の向上につながる。また、全体の効率化は省資源、省エネに寄与する。

(5) 地域社会からの評価

地域社会からの評価項目は環境関係である。その評価結果は、図７－３－６に示すとおりである。

施工及び維持管理における工期の短縮は、地域社会の環境の向上に寄与する。

区分＼スケール	悪化　変化なし　若干向上　向上　大幅に向上
調　　査	
施　　工	
維持管理	

図７－３－６　地域社会からの評価（環境）

(6) 総　括

(a) ニーズ

ダムの建設需要は今後も着実に増加していくと思われる。ダムは山間地での事業のため、省力化のニーズが特に高い。

(b) 評価結果

① 現地での人力作業の減少により省力化が図られる。

② 調査データ、施工データ、点検データの活用により、社会資本の品質が向上する。また、これらのデータの活用は①の人力作業減少にもつながる。

③ 主に①、②の高度化により、市場競争力向上、企業のイメージアップ及び建設行政のイメージアップが図られる。

④ 部分的な自動化はメリットが少なく、全体的な自動化が望まれる。

7－3－3 トンネル建設の高度化システムの評価

(1) 開発主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－7に示すとおりである。

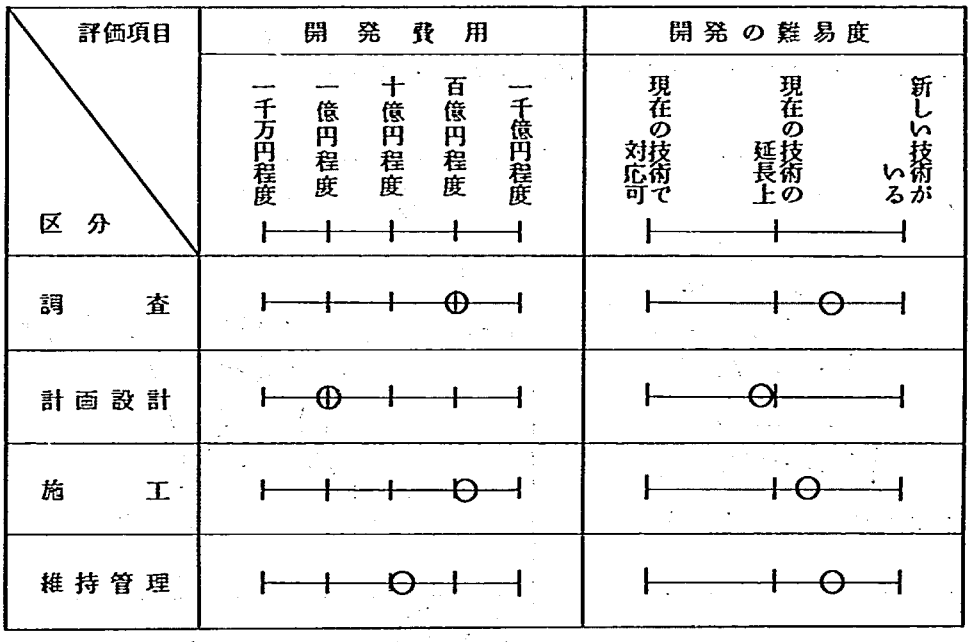


図7－3－7 開発主体からの評価結果

調査・施工管理、維持管理において、地中探査センサーの開発の難易度が高い。また、地中データのデータベース化は技術的には可能だが、データの収集・整理の費用が多くなる。施工では、自動掘削の制御がネックであり、土質等の状況に左右されない自動掘削の難易度が高い。また、セグメントの自動組立、レール等の自動延長等の開発も当面は難易度が高い。

(2) 事業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－８に示すとおりである。

機械掘削の適用範囲の拡大、自動化の進展により、生産性が向上し、事業量の増大に寄与する。維持管理の生産性もある程度向上する。

また、施工、維持管理ともある程度精度が向上し、品質の向上、ライフスパン増大等が期待できる。

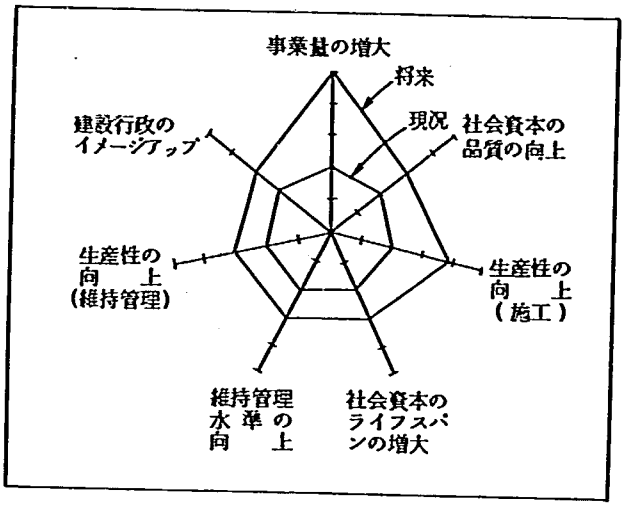


図７－３－８　奉業主体からの評価結果

(3) 作業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－９に示すとおりである。

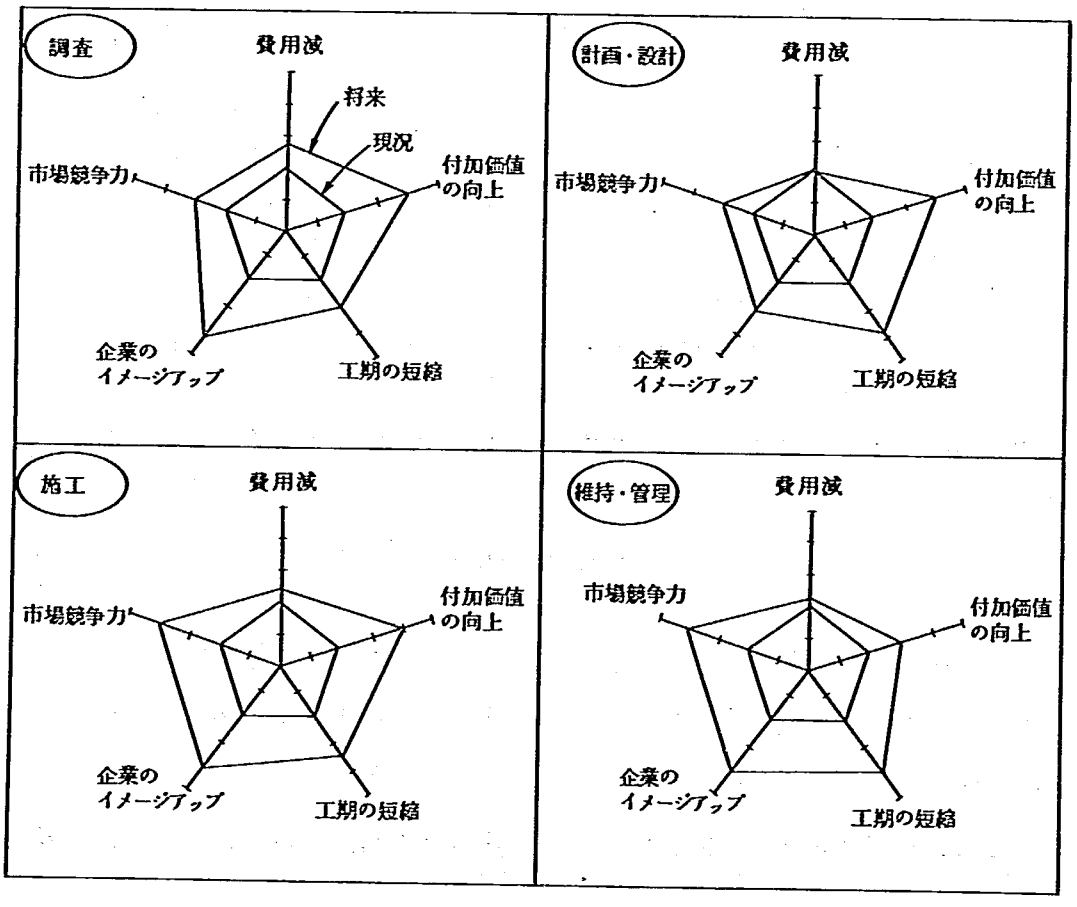


図７－３－９　作業主体からの評価結果

調査自体の費用は増大するが、調査データが施工、維持管理に活かされ、全体としては効

率化がある程度期待できる。計画・設計及び維持管理を中心に工期の短縮も期待される。施工精度の向上により付加価値の向上も期待できる。作業の安全性の向上、自動化の進展により、企業のイメージアップはかなり期待される。

(4) 作業者からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－10に示すとおりである。

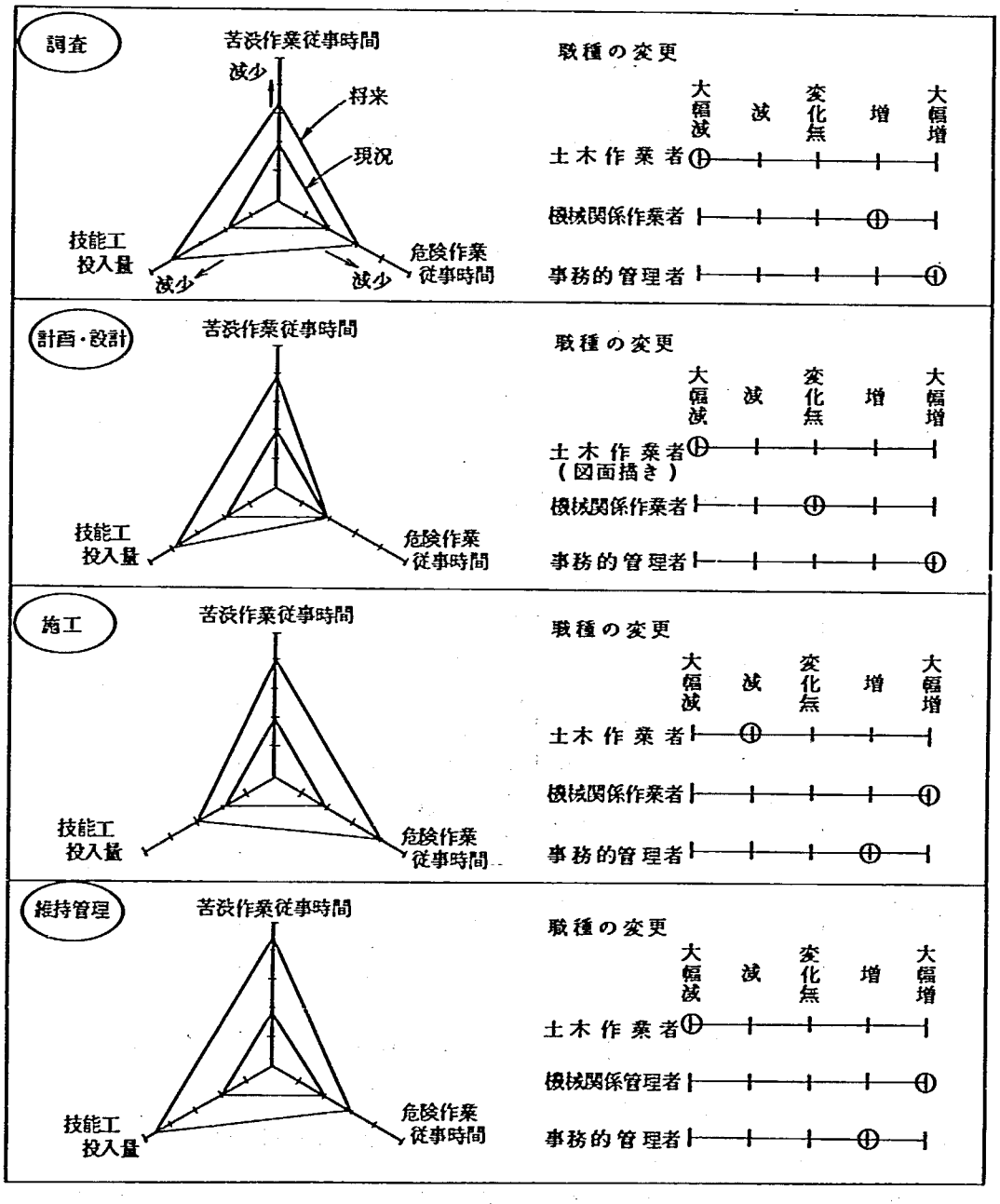


図7－3－10　作業者からの評価結果

調査、施工、維持管理とも、現地での人力作業が減り、作業の安全性や快適性が大幅に向上する。計画・設計も自動化され人手作業が減少する。全体として技能工投入量は大幅に減り、機械オペレータ、コンピュータ技師が増加する。

(5) 利用者からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－１１に示すとおりである。

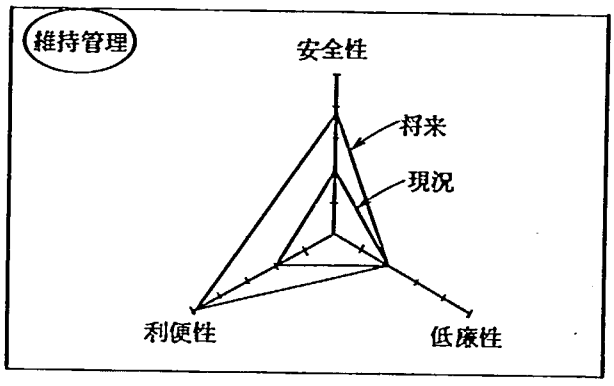


図７－３－１１　利用者からの評価結果

点検及び補修作業において、工期、占有スペースが減少し、現道利用者にとっては利便性が大幅に向上し、安全性も向上する。

(6) 一般社会からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－１２に示すとおりである。

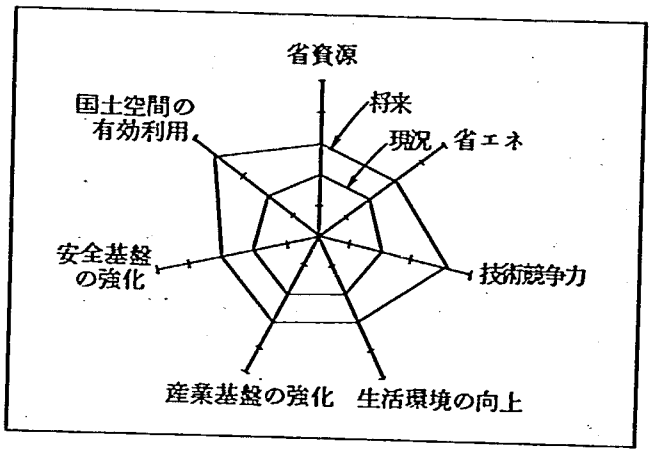


図７－３－１２　一般社会からの評価結果

適用範囲が拡大し、効率性が向上することによって国土空間の有効利用に大きく寄与し、産業基盤の強化にもつながる難易度の高い技術開発が多く、技術競争力が向上する。効率性の向上は省エネ、省資源にも寄与する。

作業の安全性の向上、品質の向上によって、安全基盤が強化され、生活環境が向上する。

(7) 地域社会からの評価

地域社会からの評価項目は環境関係である。その評価結果は、図７－３－１３に示すとおりである。

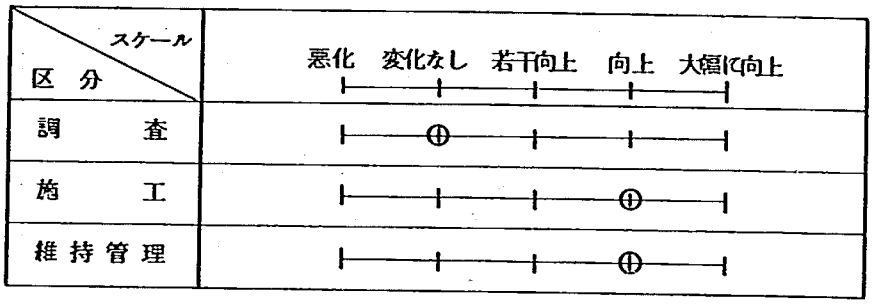


図７－３－１３ 地域社会からの評価結果（環境）

発破工法の減少（機械掘削への移行）により騒音、粉じんが減少する。裏込め注入の確認等の精度向上により地盤沈下が減少する。

(8) 総 括

(a) ニーズ

トンネルの需要は大幅に増加する。現在特に安全性に対する要請が高い工種であり、かつ今後ますます事業領域が地下深くなるため、安全性向上、省力化のニーズはかなり高い。

(b) 評価結果

① 現地作業自動化の進展により、作業の安全性、快適性が向上し、省力化が図られる。

② 調査データ、施工データ、点検データの活用、精度の向上により、品質が向上する。また、①の人力作業減少にもつながる。

③ 地下構造（土質、埋設物等）の検知技術は土木全体の課題であり、波及効果は大きい。

④ 全体の自動化が進展すれば効率化が図られるが、部分的な自動化も安全性向上等の効果がある。

⑤ ①～③により市場競争力向上、企業及び建設業のイメージアップが図られる。

7－3－4　土留掘削の高度化システムの評価

(1)　開発主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－14に示すとおりである。

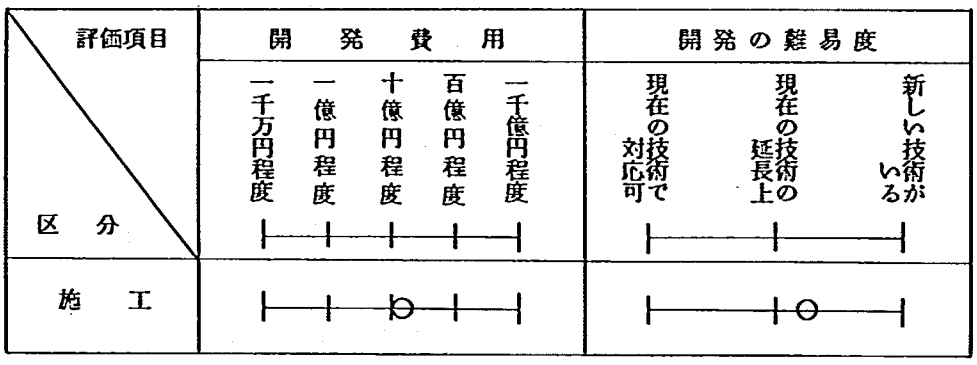


図7－3－14　開発主体からの評価結果

大規模土留工の全自動掘削システムは約30億円であり、掘削機の位置制御、鉄筋の自動組立て等の開発の難易度が高い。一方、小規模土留工の自動掘削システムは数億円程度であり、およそ現在の技術の延長で可能である。

(2)　事業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－15に示すとおりである。

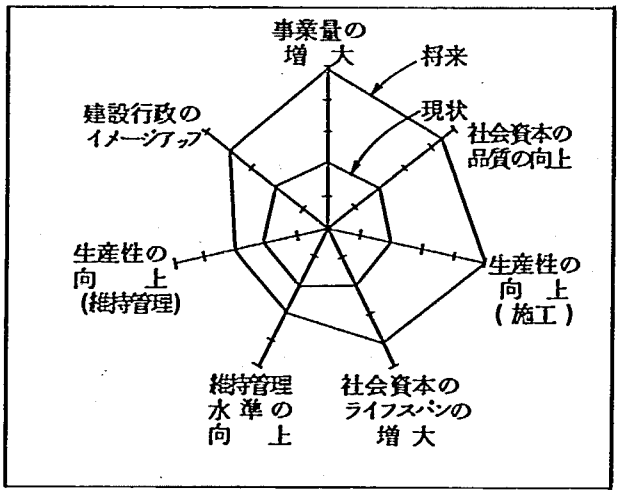


図7－3－15　事業主体からの評価結果

自動化による生産性向上の効果は大きく、需要の多い都市内土木に対応して、事業量増大につながる。また、精度の向上に伴い、品質が向上し、ライフスパンが増大する。これらの変化は建設行政のイメージアップにつながる。

(3) 作業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－１６に示すとおりである。

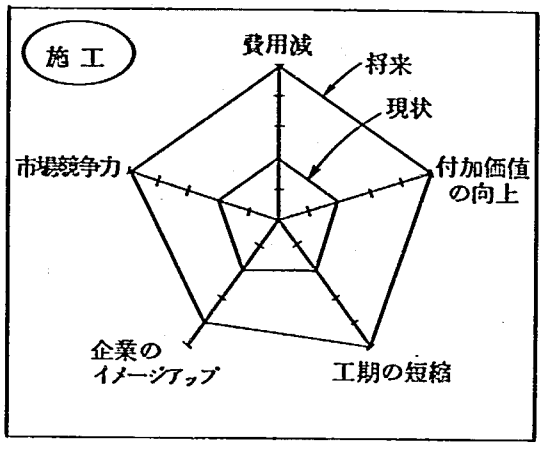


図７－３－１６　作業主体からの評価結果

人力作業の大幅な減少、精度の良い自動化の進展により、全項目で大幅な向上が期待できる。

(4) 作業者からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－１７に示すとおりである。

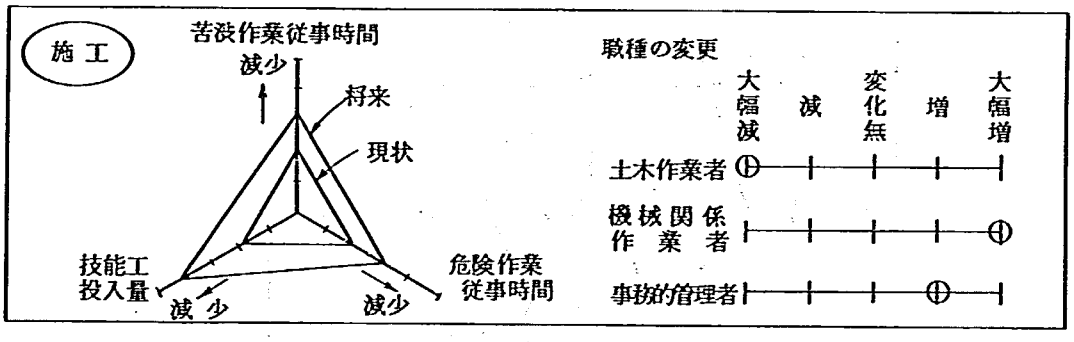


図７－３－１７　作業者からの評価結果

人力作業が大幅に減り、土木作業者から機械オペレータ、コンピュータ技師に変化していく、全体の労力は大幅に減少する。

(5) 利用者からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－１８に示すとおりである。

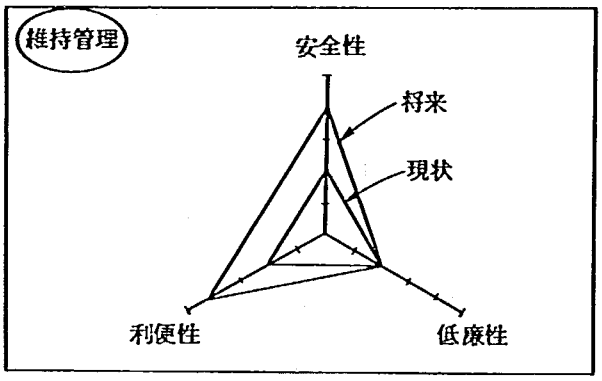


図７－３－１８　利用者からの評価結果

工期の短縮により、都市活動への影響を減少でき、利用者（周辺の住民、通行者等）にとっては、利便性、安全性の向上につながる。

(6) 一般社会からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－１９に示すとおりである。

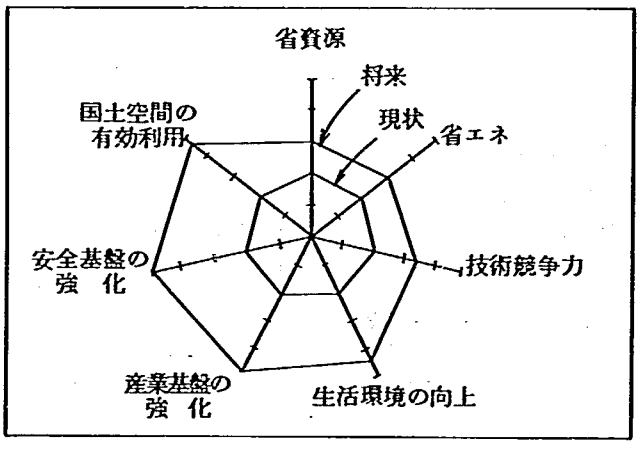


図７－３－１９　一般社会からの評価結果

都市内土木の事業の増大により、国土空間の有効利用、安全基盤の強化、産業基盤の強化生活環境の向上に大きく貢献する。また自動化の進展、精度の向上は、省資源・省エネにもつながる。

(7) 地域社会からの評価

地域社会からの評価項目は環境関係である。その評価結果は、図7－3－20に示すとおりである。

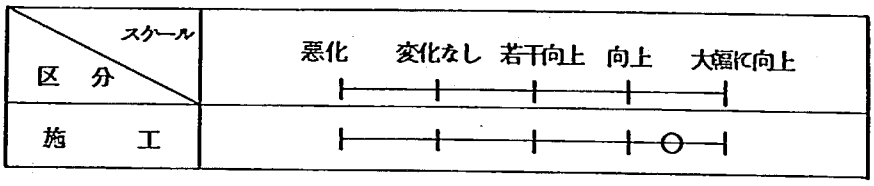


図7－3－20　地域社会からの評価（環境）

騒音、振動の減少、地下水汚染の減少、地盤沈下の減少が期待できる。

また、工期が短縮され、環境良化につながる。

(8) 総　括

(a) ニーズ

都市内土木、特に地下空間利用の需要量は大幅に増加する。都市内、狭空間での工事のため、環境保全、小型化、安全性向上のニーズが高い。

(b) 評価結果

① 各種作業個々の自動化により、省力化、効率化が図られ、作業の安全性、快適性の向上や工期短縮につながる。

② 施工精度の向上により、適用範囲が拡大し（大深度、傾斜、各種の地質）、国土空間有効利用につながる。

③ ①、②により、市場競争力向上、企業のイメージアップ、建設行政のイメージアップが図られる。

7－3－5　海洋構造物建設の高度化システムの評価

(1)　開発主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－21に示すとおりである。

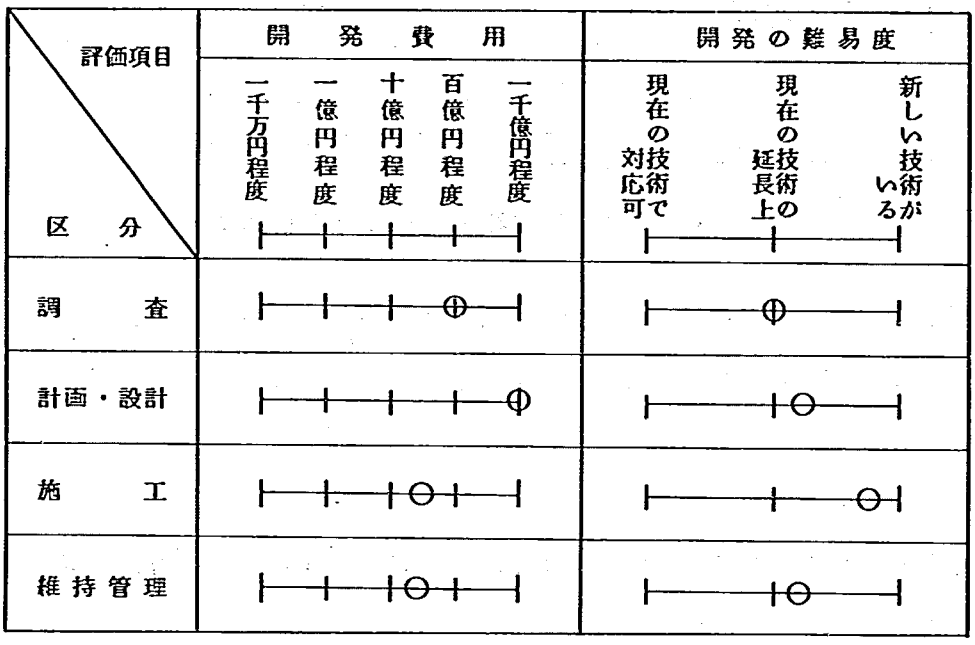


図7－3－21　開発主体からの評価結果

広域のデータ収集、分析（大規模シミュレーション）のための開発費用が大きい。

水中ボーリングマシン、設計のエキスパートシステム、構造物のユニット化、プレハブ化の技術開発の難易度が高い。

(2)　事業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－22に示すとおりである。

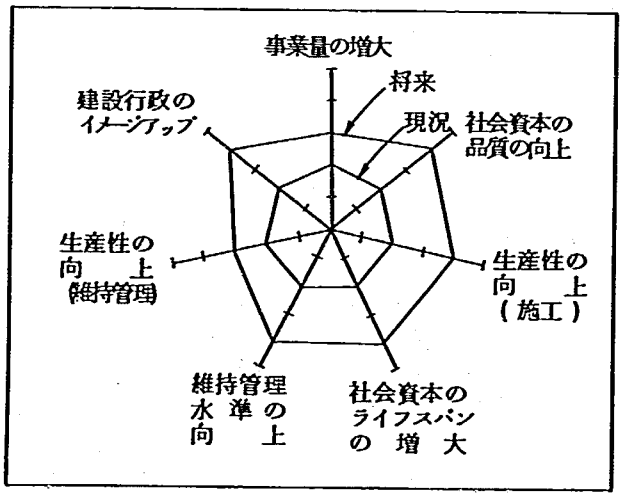


図7－3－22　事業主体からの評価結果

自動化の進展に伴って、生産性が向上する。施工、維持管理とも、品質の向上が図られ、ライフスパンが増大する。これらの変化に伴って、建設行政のイメージアップも図られる。

(3) 作業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－23に示すとおりである。

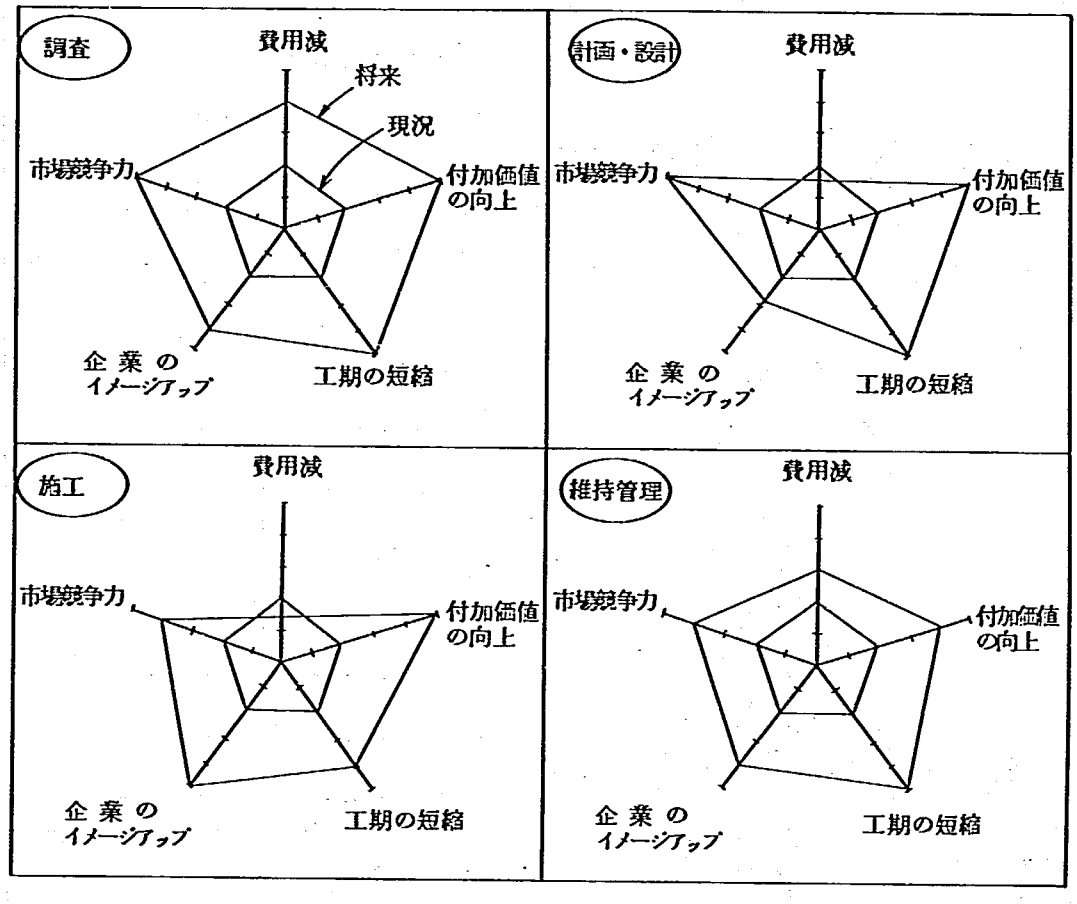


図7－3－23　作業主体からの評価結果

調査及び維持管理自体の費用は増大することも考えられるが、データの設計、施工への利用により全体として費用減につながる。全体に精度が向上し、効率化も図られ、付加価値の向上、工期の短縮の効果が大きく、企業のイメージアップ、市場競争力のアップにもつながる。

(4) 作業者からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－２４に示すとおりである。

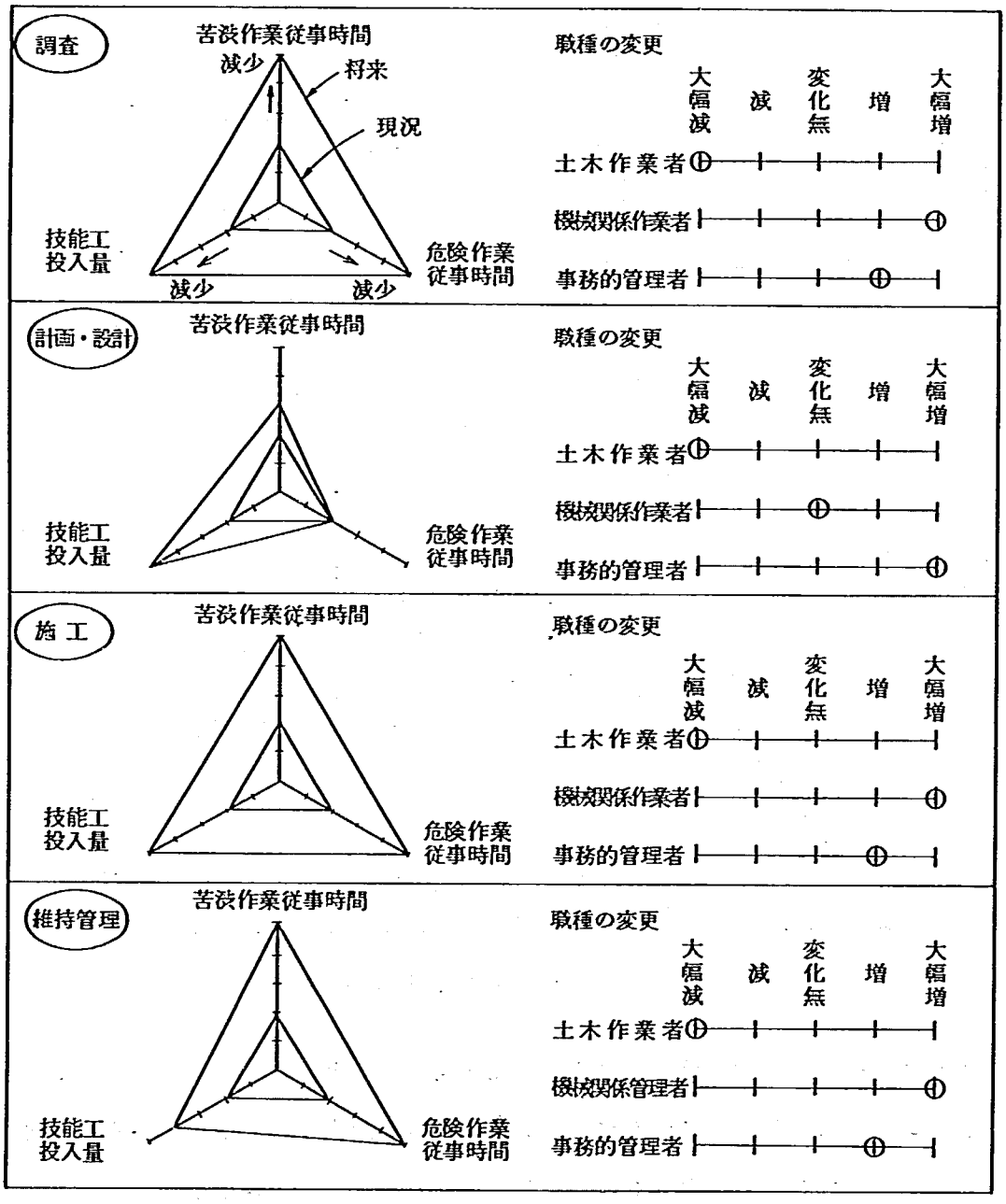


図７－３－２４　作業者からの評価結果

水中での作業が機械に変わり、土木作業者が大幅に減り、機械オペレーターが大幅に増え、作業の安全性、快適性が大幅に向上する。また、技能工も大幅に減少する。

(5) 一般社会からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－２５に示すとおりである。

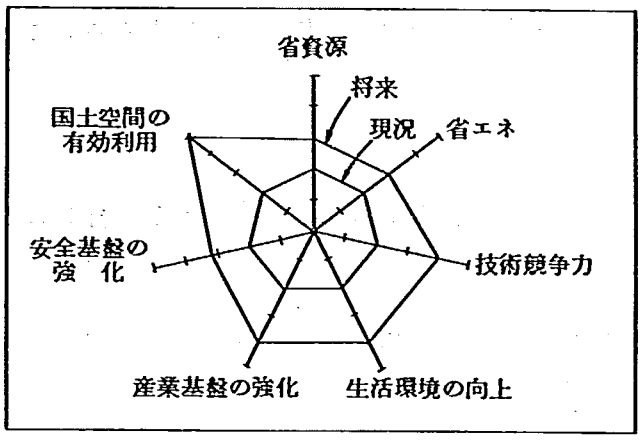


図７－３－２５　一般社会からの評価結果

自動化の進展により工期が短縮し、適用範囲が広がり、海洋空間の利用増加に寄与する。それに伴い、産業基盤の強化、生活環境の向上も期待できる。捨石等がなくなり、省資源、省エネにも寄与する。

(6) 地域社会からの評価

地域社会からの評価項目は環境関係である。その評価結果は、図７－３－２６に示すとおりである。

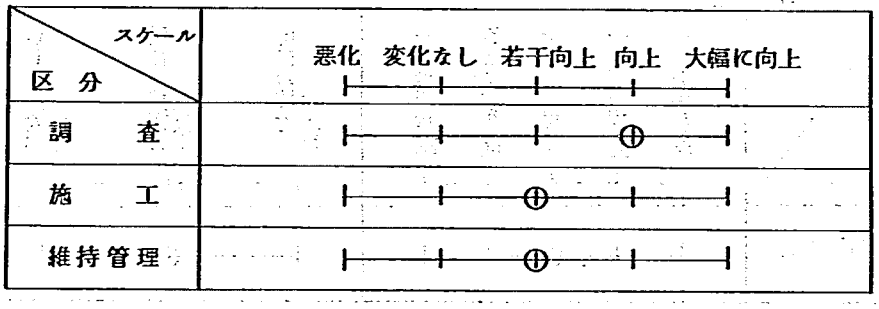


図７－３－２６　地域社会からの評価（環境）

データの収集・解析が進み、海象への影響を最少にすることが可能となる。

(7) 総　括

(a) ニーズ

海洋空間利用ニーズは大幅に増加し、特に大規模な開発が増加する。海域での事業のため、他とは異なった技術（海中でのセンサー等）が必要となる。また、海域環境の保全技術も必要とされる。

(b) 評価結果

① 海洋作業の自動化、ユニット、作業船の大型化により、作業の安全性、快適性が向上し、省力化、効率化が図られる。

② 調査データの高精度化、データの施工への利用、施工法の改良により、海域環境への影響を最小限にできる。

③ 調査データと施工の連動により、より効率化、高精度化が図られ、事業範囲が拡大し、国土空間の有効利用につながる。

④ ①～③は、市場競争力のアップ、企業、建設行政のイメージアップにもつながる。

7－3－6　橋梁維持管理の高度化システムの評価

(1) 開発主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－27に示すとおりである。

評価項目 ＼ 区分	開発費用					開発の難易度		
	一千万円程度	一億円程度	十億円程度	百億円程度	一千億円程度	現在の技術で対応可	現在の技術の延長上	新しい技術がいる
維持管理			⊕				⊕	

図7－3－27　開発主体からの評価結果

小型マニピュレータの開発は難易度が高い。他はほぼ、現在の技術の延長で可能である。

(2) 事業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－２８に示すとおりである。

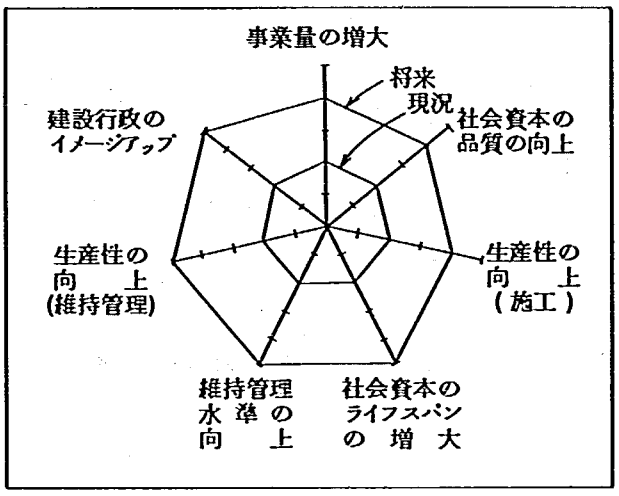


図７－３－２８　事業主体からの評価結果

品質、効率ともに大幅な向上が期待され、ライフスパンも増大し、事業量増大にもつながり、建設行政のイメージアップにも大きく貢献する。

(3) 作業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－２９に示すとおりである。

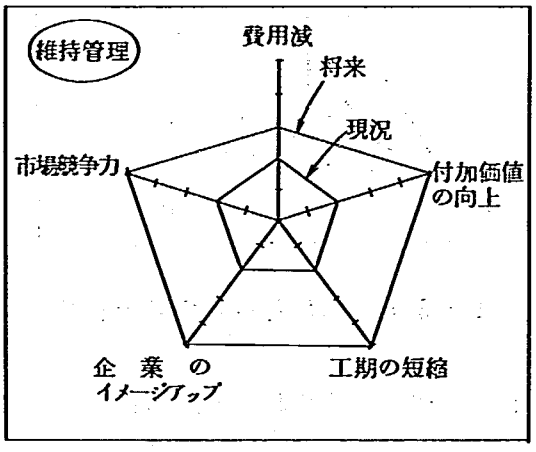


図７－３－２９　作業主体からの評価結果

品質、効率ともに大幅に向上し、付加価値が向上し、工期が短縮し、市場競争力のアップ、企業のイメージアップにもつながる。

(4) 作業者からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－３０に示すとおりである。

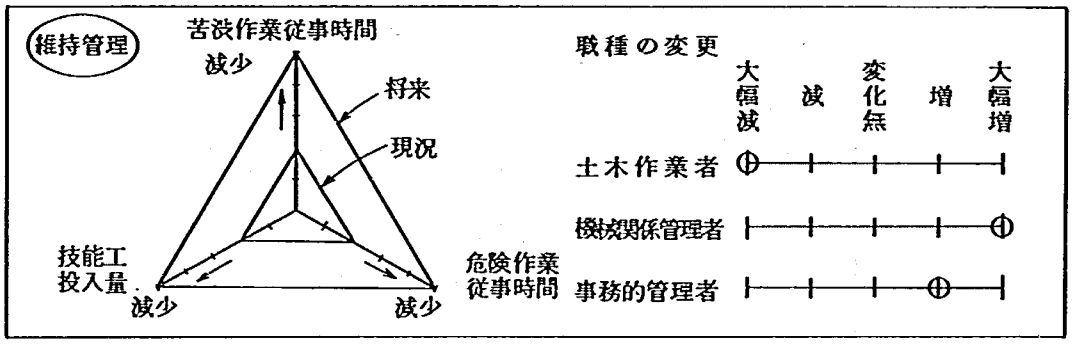


図７－３－３０　作業者からの評価結果

人力による高所作業が減少し、作業の快適性、安全性が大幅に向上する。土木作業者（技能工）は大幅に減少し、機械オペレータ、コンピュータ技師が増加する。

(5) 利用者からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－３１に示すとおりである。

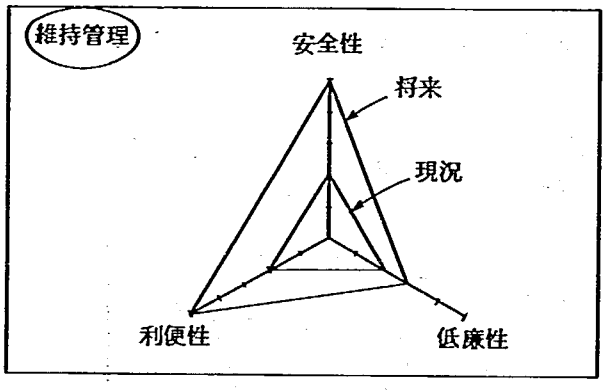


図７－３－３１　利用者からの評価結果

占有スペースが小さくなり、工期も短縮され、利用者にとっては、利便性、安全性とも大幅に向上する。

(6) 一般社会からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－３２に示すとおりである。

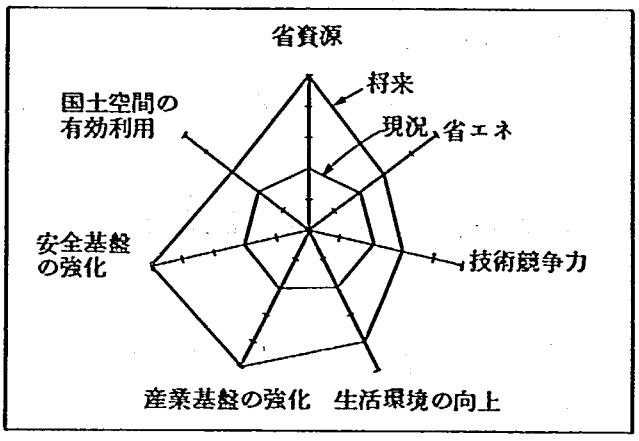


図７－３－３２　一般社会からの評価結果

維持管理水準の向上により省資源が図られ、安全基盤、産業基盤の強化につながる。公害の減少、占有スペース・時間の減少により生活環境の向上も図られる。

(7) 地域社会からの評価

地域社会からの評価項目は環境関係である。その評価結果は、図７－３－３３に示すとおりである。

スケール / 区分	変化　変化なし　若干向上　向上　大幅に向上
維持管理	⊕

図７－３－３３　地域社会からの評価（環境）

騒音、粉じん、振動等の減少が図られる。

(8) 総　括

(a) ニーズ

事業量は大幅に増加する。今後、次第に大規模な橋梁が増加する。高所・狭空間での作業が多く、小型・軽量化が必要である。

(b) 評価結果

① 足場の小型化・軽量化・移動足場化等により、交通止めスペース・時間が減少し、利用者の利便性が向上する。

② 点検、補修作業の自動化・無人化により人力作業が減少し、作業の安全性、快適性の向上、熟練工不足への対応、作業の効率化が図られる。

③ データベースの利用により、維持管理全体の効率化、高精度化が図れ、作業の効率化工期短縮、ライフスパンの増大に寄与する。

④ ①～③は、市場競争力のアップ、企業・建設行政のイメージアップにもつながる。

7－3－7 道路舗装における維持管理の高度化システムの評価

(1) 開発主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－34に示すとおりである。

評価項目 / 区分	開発費用					開発の難易度		
	一千万円程度	一億円程度	十億円程度	百億円程度	一千億円程度	現在の技術で対応可	現在の技術の延長上	新しい技術がいる
維持管理				⊕			⊖	

図7－3－34 開発主体からの評価

点検の自動化は10億円程度で現在の技術の延長で可能だが、維持補修作業の自動化は新しい技術で100億円程度かかる。

(2) 事業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図7－3－35に示すとおりである。

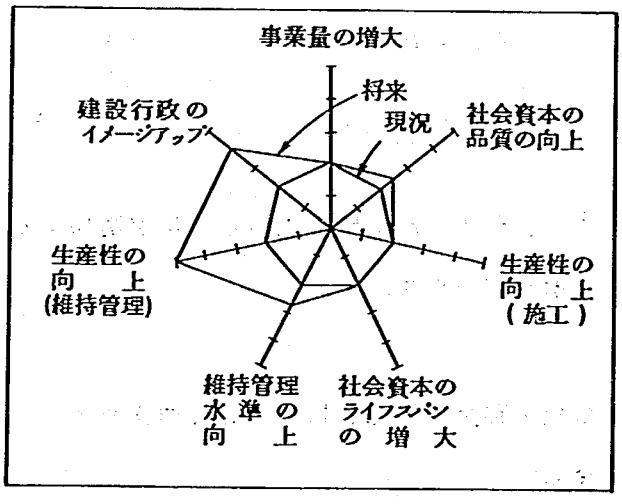


図7－3－35 事業主体からの評価結果

点検、補修作業の生産性が大幅に向上し、建設行政のイメージアップにつながる。

3　作業主体からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－３６に示すとおりである。

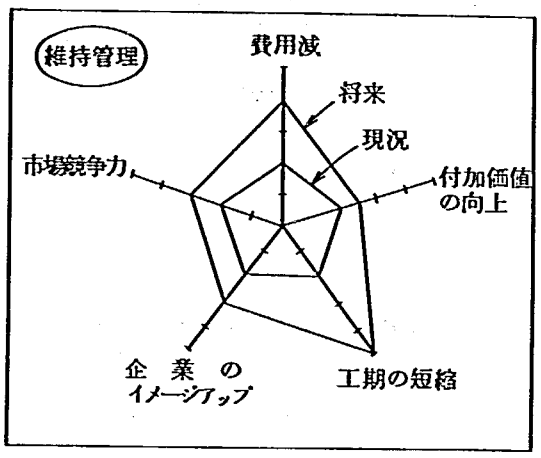


図７－３－３６　作業主体からの評価結果

工期は大幅に減少する。それに伴い、費用も減少する。それらは、市場競争力のアップ、企業のイメージアップにもつながる。

(4)　作業者からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－３７に示すとおりである。

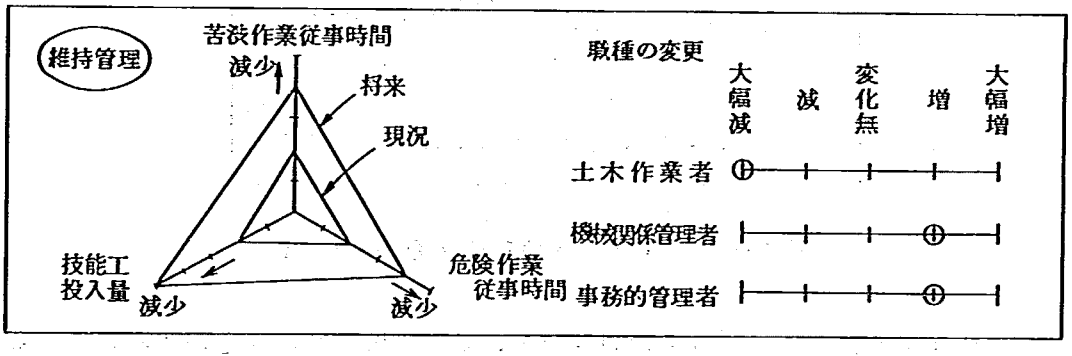


図７－３－３７　作業者からの評価結果

自動化の進展に伴い、人力作業が減少し、機械オペレータ等が増加する。それに伴い、作業の快適性、安全性が向上する。

(5) 利用者からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－３８に示すとおりである。

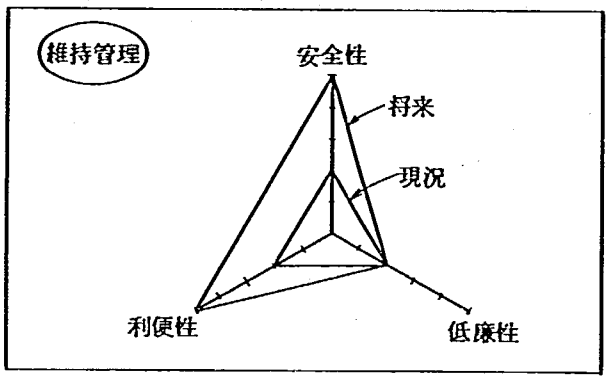


図７－３－３８　利用者からの評価結果

点検、補修作業の占有スペース・時間が減少し、利用者の利便性・安全性が向上する。

(6) 一般社会からの評価

各評価項目の評価結果は図７－３－３９に示すとおりである。

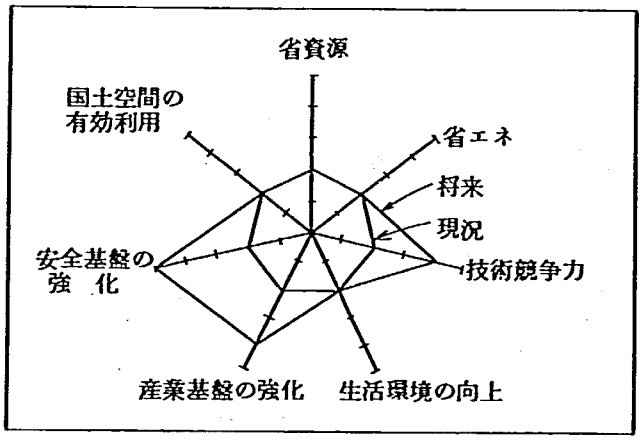


図７－３－３９　一般社会からの評価結果

点検、補修作業の占有スペース・時間の減少、効率化により、安全基盤の強化、産業基盤の強化が図られる。

(7) 地域社会からの評価

地域社会からの評価項目は環境関係である。その評価結果は図７－３－４０に示すとおりである。

工期の短縮により、地域環境良化が考えられる。

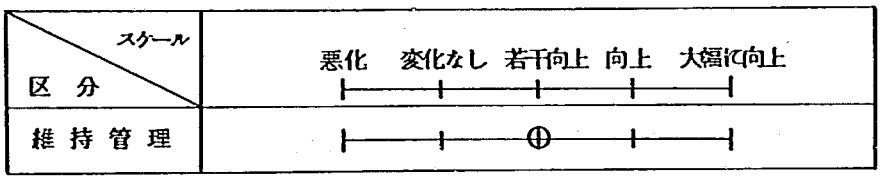


図7－3－40　地域社会からの評価（環境）

(8) 総　括

(a) ニーズ

道路舗装の維持補修事業量は大幅な増加が考えられる。

供用しながらの作業となるため、交通止め区間、時間の減少のニーズが高い。

(b) 評価結果

① 点検作業の自動化、高速化、高精度化は比較的容易で、工期の短縮、占有スペースの減少に大きな効果が出て、利用者の利便性・安全性が向上する。

② 補修作業の自動化、高速化等は難易度が高いが、達成されれば利用者の利便性・安全性の向上に貢献する。

③ ①～②により、市場競争力のアップ、企業、建設行政のイメージアップが図られる。

7－3－8　ま　と　め

7－3－2～7－3－7において、西暦2,000年頃を想定した概念設計における各高度化システムをケーススタディとして評価を行ったが、その結果を要約すると以下のようにまとめられる。

① 各システムとも、事業に関係する一連の作業の多くについて、自動化、無人化を達成しており、作業者の安全性向上、快適性向上、技能工不足への対応が期待される。

② トンネル、橋梁及び道路舗装の維持管理作業では、作業（点検、維持補修作業）時間の短縮、作業スペースの縮少を達成しており、作業中の通行車両にとってメリットが大きい。

③ 各システムとも、個別作業単位では工期の短縮が達成されており、事業主体にとってメリットが大きい。工期をより短縮させるには、ある程度まとまった一連の作業全体での対応が必要であるが、各作業ごとに難易度が異なり、全体での工期短縮の達成は比較的困難である。

④ さらに、調査～計画・設計～施工～維持管理を通しての効率化では、データを作業に結びつける技術が必要であり、ハード的には解決可能であるが、データの解析技術、応用技術等ソフトの面での課題が多い。

⑤ また、より広域的又は事業間にまたがる効率化では、地中データ、施工データ等のデータ

ベース化が必要であり、システムとしては問題はないが、データ採取方法、利用方法等体制の面での課題が多い。

⑥ トンネル、土留工、海洋構造物等では、事業の適用範囲が広がり、地下空間、海洋空間等ニューフロンティアの開発に貢献することが期待される。

⑦ ①～⑥の高度化の達成に伴い、企業、建設行政のイメージアップが期待される。

⑧ 各システムのおよその開発費用は明らかになったが、利益を定量的に把握することは比較的困難であった。特に④及び⑤に示したような広範囲にまたがる技術開発は、開発体制、今後の動向によって大きく変化することも予想される。

⑨ 本章で提案した建設技術の高度化システムの評価方法を用いて、第6章における事業別の概念設計例をケーススタディとして評価を試みた結果、限られたデータの有効的な活用により巨視的な技術開発の方向についての評価が可能であることが示唆された。

＜第7章の参考文献＞

① 経済企画庁編「2000年の日本」(S.57.7)

② 経済企画庁編「2000年の日本(各論) 3—良質な国土・居住空間の形成—」(S.57.9)

③ 経済企画庁編「2000年の日本(各論) 4—活力ある産業社会の形成—」(S.57.8)

④ 経済企画庁編「2000年の日本(各論) 6—多重的な経済社会の安全を求めて—」(S.57.8)

⑤ 経済企画庁編「2000年の日本(各論)10—長期展望テクニカルレポート—」(S.57.11)

⑥ 国土庁編「三全総フォローアップ作業 安全で快適な国土創造への国土資源の総合的有効利用」(S.58.6)

⑦ 国土庁編「三全総フォローアップ作業 重点的・効率的な国土基盤整備」(S.58.6)

⑧ 国土庁編「四全総長期展望作業中間とりまとめ 日本21世紀への展望」(S.59.11)

⑨ 建設省監修(財)建設経済研究所編「21世紀への建設産業ビジョン」(S.61.5)

⑩ 建設業政策研究会編著「建設業その活力と使命」(S.59.5)

⑪ 清水建設編「建設業の未来戦略」(S.60.12)

⑫ 小山内 了介「建設業の重要課題をえぐる」(S.59.11)

⑬ 科学技術庁調査「日本の未来技術800'83年版」(S.58.3)

⑭ 〃 「日本の未来技術1071'87年版」(S.62.11)

⑮ 経済企画庁編「社会資本整備の新たな展開」(S.62.6)

⑯ 建設省「建設省ニューフロンティア懇談会報告」(S.62.5)

⑰ 建設省「昭和62年版建設白書」

⑱ 国土庁「第四次全国総合開発計画」

第８章　建設技術高度化システムの開発展望

本章では前章までの検討結果を踏まえ、２１世紀を目ざした建設技術高度化システムの開発にあたっての開発手順や開発体制等について整理し、開発展望とする。

８－１　開発の手順

1)　要素技術とシステム技術

高度化システムの開発に必要な技術は、大きく要素技術とシステム技術に分けられる。要素技術とは高度化システムの構成要素、たとえば、ある種のセンサやマニピュレータなどを開発する技術である。一方、システム技術とは要素技術によって開発された要素を組み合わせることによって、システムを構築する技術である。たとえば、センサやマニピュレータ、不整地移動機構等から施工ロボットを組立てる技術はシステム技術であり、また、施工ロボットに適合した施工法を開発し、それにロボットをあてはめることによって、施工システムを構築する技術もシステム技術である。

高度化システムの開発にあたっては、要素技術の開発成果をシステム技術によって具体的なシステムとして実現すること、また、システムの実地試験の結果をシステム技術を通じて要素技術の開発課題にブレークダウンすることにより、要素技術の開発をより効率化することが重要である。すなわち、要素技術の開発とシステム技術の開発の有機的な組合わせが不可欠である。

2)　要素技術における開発手順

建設技術の高度化に必要とされる要素技術の多くは、他の分野とも共通に利用できることから、他分野での技術開発の成果がそのまま建設技術の高度化に役立つことも多い。たとえば、情報化施工の進展は、マイクロコンピュータの進歩によるところが大きかったと言える。このように建設事業においては、他産業の成果を導入して要素技術として利用することが多かった。

しかしながら、既に第４章等で述べたように、建設技術はその特異な作業対象や作業環境を反映して、他産業より高度なあるいは全く独自の要素技術開発を必要とする場合も少なくない。これらの技術開発項目については、建設事業側で独自に技術開発を進めることが高度化システムの開発にあたって不可欠である。これらの技術開発項目のうち主なものについては、６－４節で整理したとおりである。

建設事業側における開発優先度の高さは、主に①その技術が建設事業独自のニーズに基づくものであり、他産業で開発されることをほとんど期待できないため、建設事業側で独自の技術開

発、基礎研究等を行う必要があること、②建設事業の範囲内で技術が高い汎用性を持っている、あるいは応用が特定の分野に限られている場合に、その技術が実現されることにより対象分野の高度化が大きく進むこと、という2点から評価されると考えられる。この2つの評価の視点に基づいて6－4節であげた要素技術の開発課題のうち、メカトロニクス関連要素技術を整理したのが図8－1－1である。

また、情報処理・通信技術関連を整理したのが図8－1－2である。これらの図によると、建設事業側として開発優先度の特に高いメカトロホクス関連の要素技術としては、地質（土質、調査用センサ関連の技術、コンクリートの非破壊検査技術などがあげられる。また、情報処理・通信関連技術としては、3次元図形データ処理技術、エキスパートシステムのための知識ベースの整備が建設事業側として開発優先度が高いものとして位置付けられる。

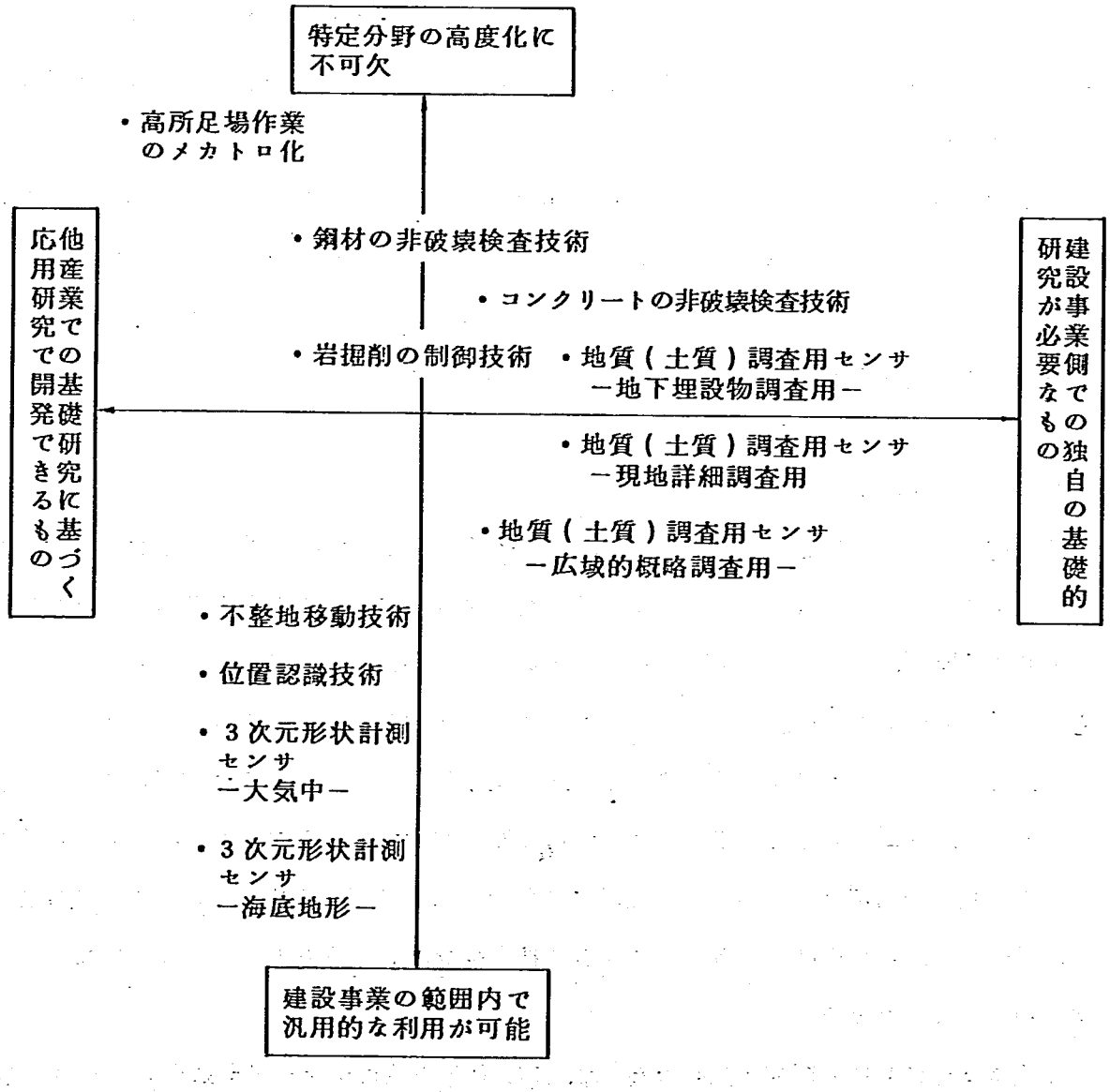


図8－1－1　メカトロニクス関連要素技術の開発展望

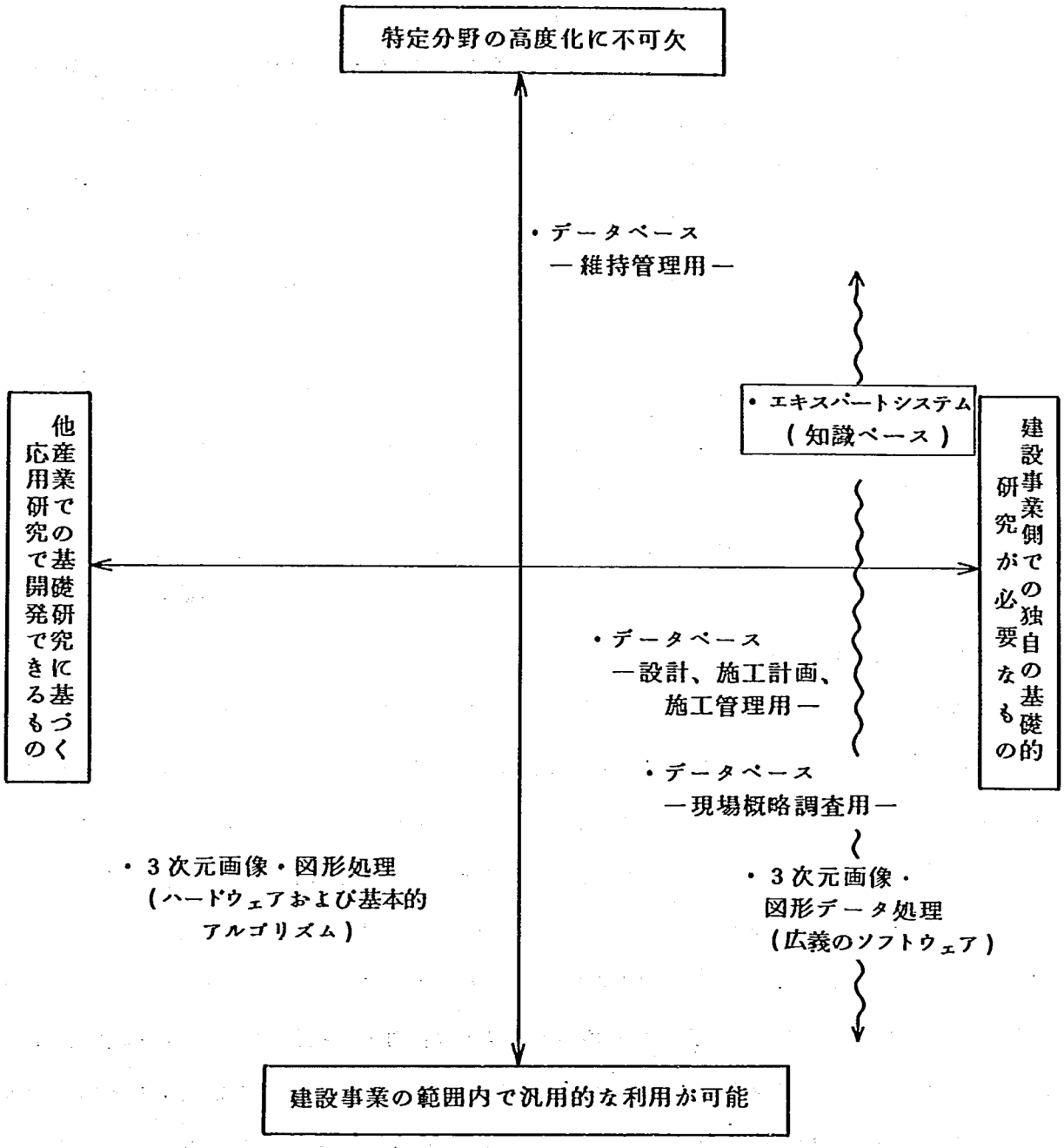


図８－１－２　情報処理・通信技術の開発展望

3)　システム技術における開発手順

建設事業における高度化システムは、第6章における概念設計事例においても見られるように、比較的大きなシステムとなることが多い。また、施工現場において土質が大きく変化するなど、システムの作用する対象やシステムを取りまく環境が自然事象から社会・経済事象にいたるまで多岐にわたり、しかも一様でないため、システムの設計条件が固定的には決まらないことが多いといった特徴を持っている。こうした特徴のため、高度化システムの開発にあたっては、現場での実地試験を重視してシステムの構成の見直しや要素技術の改良を行う必要が生ずる。このフィードバックのくり返しによるノウハウの蓄積が、システム技術を向上させる

と考えられる。

こうした現地実験を実視したシステム開発研究にあたっては、開発費用も小さくないことから、その開発によりある程度の効果が比較的短期に得られるものの方が開発に着手し易いと考えられる。したがって、当面は開発の合意の得られやすい危険防止を主な目的とした比較的小規模なシステム開発から手を着けることが考えられる。そういった要件を満足するシステムの例としては、山岳トンネルの自動掘進システムや土留掘削の自動化システムなどをあげることができる。

また、第7章における評価結果からも明らかなように、システムの開発による効果を確実に貨幣単位で予測することが困難なことや、初期の開発においては手戻りが生じ易いなど、どうしても開発費用が大きくなりがちであることなどを考えると、生産性の向上そのものを目的とする、すなわち金銭的に釣合うためのシステム開発はその次の段階となると考えられる。

8－2　開発体制と環境整備

1) 開発体制

現在の建設技術における開発の体制は、概略的に基礎研究は大学、応用・実用研究のうち主に国等の技術行政に関わるものは国公立研究機関、その他のものについては民間企業となっている。本報告で提案している高度化システムの開発は、応用研究に加えて地質（土質）調査用のセンサの開発といった基礎的研究の必要な要素技術の開発をも含んでいること、大規模なシステム開発を行う必要があることの2点に大きな特徴がある。このような幅の広い大規模な開発を効率的に行うためには、学・官・民の研究機関の緊密な協力・分担体制と、それを支える長期的な研究開発計画が不可欠である。特に高度化システムにおいては、従来にも増して基礎研究が重視されることから、応用研究主体の民間開発を補完する学・官の役割の強化や、民間における基礎研究の助成政策の強化等が必要と考えられる。

また、従来民間が中心となって行ってきた応用研究についても、単に技術の向上が良質な社会資本の効率的整備につながるだけでなく、システムの開発によって作業の安全化や快適性の向上といった形で国民福祉の直接の向上が図られ、さらに建設事業や建設業に対する国民の理解が深まり、それらのイメージが向上することによって間接的に豊かで潤いのある国土建設の促進や建設業の健全な発展に寄与することを考えると、システム開発による外部効果は極めて大きいと考えられ、支援体制の拡充が必要である。

2) 環境整備

高度化システムの開発にあたっては広範な技術開発が必要とされることから、技術開発の環境

を整備することも公共側の重要な役割の一つであると考えられる。本報告では環境の整備を、技術市場の整備と設計法、施工法、法制度の整備に分けてその必要性を整理した。

(1) 技術市場の整備

技術も本質的には一つの商品（資本財）であり、市場で対価を払って取引されていると考えられることから、技術開発を効率的に進めていくためには、この市場（技術市場）が有効に機能するような環境整備を行う必要がある。たとえば、商品としての技術に関する正しい情報を広く提供するために、実証試験結果などに基づいた技術に関する信頼ある評価が中立的な機関等により行われる必要がある。また、企業の囲い込み的な販売戦略などに起因して特定の機種で開発されたソフトウェアが同一系列の機種でしか利用できない、あるいは各種コード体系が不統一のためデータベースの共用が進まないといったことが現在大きな問題となっていることから、技術の流通を阻害するこうした要因を規格の標準化等により除去することも重要と思われる。このように、技術が正しい評価情報のもとで円滑に流通するための環境整備を進める一方で、技術に対する種々の権利（特許権、工業所有権、著作権など）の保護も一層重要となる。

また、建設事業発注上の課題として、公共的な建設事業の発注において発注価格が必要経費の積み上げを基に決定され、新技術の利用による経費節減効果等が受注者の利益増よりは発注価格の低下へ反映されることが多く、受注者側の技術開発の意欲を減退させているとの指適もある。建設事業にあたっては、民間企業の受注高のうちかなりの部分が公共的主体からの受注であることを考慮すると、公共主体からの発注価格の決定においては、技術開発のためのインセンティヴを阻害しない等の配慮も必要である。さらに、公共事業等における新しい技術の積極的な採用も実績作りを通じて重要な支援方策となると考えられる。

(2) 設計基準・関連法制度の整備

施工、維持管理等の自動化、無人化を効果的かつ合理的に行うためには、対象となる構造物や施設が自動化、無人化しやすい形態となっていることも必要である。そのためには、例えば構造物等の形状を単純化するような設計方法や施工作業の手順や組合わせを簡素化、合理化するような施工方法を導入し、単に資材量の低減による経済性のみならず、ロボット化等による施工性の向上による経済性をも考えることが必要であり、そのために設計の標準化や構造物のプレハブ化等を進めるような設計法や施工法を検討し、整備することが必要である。

また、高度化システムは、従来からの建設作業の形態を大きく変えると考えられることから、建設作業の従来の形態を様々な面から規定してきた法制度が、高度化システム導入の大きな障害となるケースも考えられる。たとえば、建設機械の無人運転は、道路運送車両法や労働

安全衛生規則等に抵触する可能性があり、発破掘削の自動化が火薬類取締法等により制約を受けることも考えられる。このように作業の自動化や無人化に対応した法制度の整備を進めることも環境整備として極めて重要であり、今後の大きな課題である。

第9章　建設技術高度化システムの開発事例

9－1　開発対象の選定

エレクトロニクスを用いた技術開発ニーズに関する調査等から、実現可能性、技術的波及効果、施工精度の向上等を考慮して、以下の開発課題を選定した。

① ブルドーザ位置ぎめと排土板制御

② 土の締固め度の管理システム

③ 工事情報データベース

④ 写真測量自動化技術の開発と土工管理への利用

建設機械による土工作業は、安全性向上、操作性向上、作業の効率化、オペレータの疲労軽減等多くの点で自動化が望まれているが、なかでもブルドーザや油圧ショベルは使用頻度が高く、自動化のニーズは高い。そこで、オペレータ・アシスト・システムとして、ブルドーザの位置決めと排土板操作制御を開発事例として取り上げた。

次に、同じ土工から、施工管理の自動化を図るべく、ローラによる締め固めの管理システムを開発事例として取り上げた。

工事情報データベースは一部実用化されているが、ここでは、有効性の高い図面、写真といった画像情報のデータベース化に焦点をあて、工事の概要と画像情報によって構成されるデータベースを開発事例として取り上げた。

写真測量については、従来より中・大規模土工において現場作業の迅速化等を目的とした出来高測量に適用された例があった。しかし、航空写真測量は専門オペレータによる図化作業が不可欠であり、撮影から図化まで時間がかかるとともにその経費も大きい。そこで、通常の土工にも適用でき、かつ簡素化が図れるものとして、画像相関技術を適用した航空写真の自動図化・測量システムを開発事例として取り上げた。

以上、4つの課題を開発事例に選定し、共同研究等により開発・研究を進めた。

9－2　土工の高度化事例 (1)
－ブルドーザの位置決めと排土板制御－

(1)　開発の目的

建設機械の操作を自動化する意義として第一にあげられることは、オペレータ不足の解消を図かれること、すなわち、建設機械に直接従事するオペレータに代わってその運転を機械が独自に行ってしまう、あるいは部分的な自動化によりオペレータの負担を減少させ、未熟練者でも操作ができるようにすることである。これらの自動化が操作の安全化、品質の

安定、作業の能率向上等に役立つことは周知の事実である。

ここでは、ブルドーザによる掘削作業の自動化を目標とし、その第一段階としてブルドーザによる均平掘削作業のオペレータ・アシスト・システムとしての位置計測表示システム、ブレード制御システムの開発を目指した。

なお、本研究は、㈱小松製作所との共同研究として昭和６０年度から３箇年の計画で実施された。

(2) 研究内容

本研究の実施内容を大別するとブルドーザの位置検出及び表示装置の開発、排土板制御技術の研究の二つに分けられる。

(3) システムの概要

システム全体の構成を図9－2－1に示す。機械本体とその姿勢を測定計測するシステム、排土板を制御するシステム、地盤の高低（出来高）を記録する装置から構成されている。

排土板の制御は、目標とする整地標高とブルドーザの現在標高との差が無くなる方向に排土板を制御する方式を採用した。ブルドーザの整地作業においては、排土板フレームの傾斜角度を水平に対して一定に保つことで、ある程度滑らかな整地面を得ることが可能であり、本方式では、ブルドーザが現在の位置から目標とする標高に向かう斜面を形成するように排土板の操作を行わせることとした。

位置計測は、各種の位置計測方法のうちから、絶対位置に対して充分な検出精度を（特に高さ方向の検出精度において）得るものとして、レーザ灯台方式を採用した。

本方式による位置検出では、基準点上の投光機からレーザ光を回転させて発射し、ブルドーザに取付けた受光機の受光タイミングから方位を、受光位置から高さを検知する。投光機は地上の２箇所に設置され、ブルドーザの位置はこの２点間の距離とそれぞれの投光機からの方位角から算出される。また、ブルドーザには２基の受光機が備えられているので、これらの受光高さの違いからブルドーザの縦揺れ角を、水平位置の違いから進行方向を算出する。

また、データの表示は、簡単で判りやすいことが大切であるため、作業領域を表示画面（ディスプレイ）に対応させ、これに桝目（メッシュ）を区切って桝目単位で情報を表示することとした。これはブルドーザの作業状況を計画した地形と現在の地形とが、どの程度異なっているかを桝目単位で段階的に表示し、ブルドーザが存在する桝目を現在位置として画面上に表示する方法である。なお、ここで集めた現地形のデータは固定局の記憶装置にも同時に入力されるので、整地作業の途中経過を等高線表示等の任意の形態に処理して随時取

り出すことが可能である。

以上の計測・制御機器を実機に取り付け、総合的な性能を確認した。

(4) 今後の課題

本システムの開発にあたっては、研究期間の制約等もあり、ごく単純な平面の整地を対象とした。今後、作業対象を斜面や任意形状の整地にまで拡大する場合には新たな研究が必要であるが、ここでの排土板制御システムの発展、応用により対応できると考える。

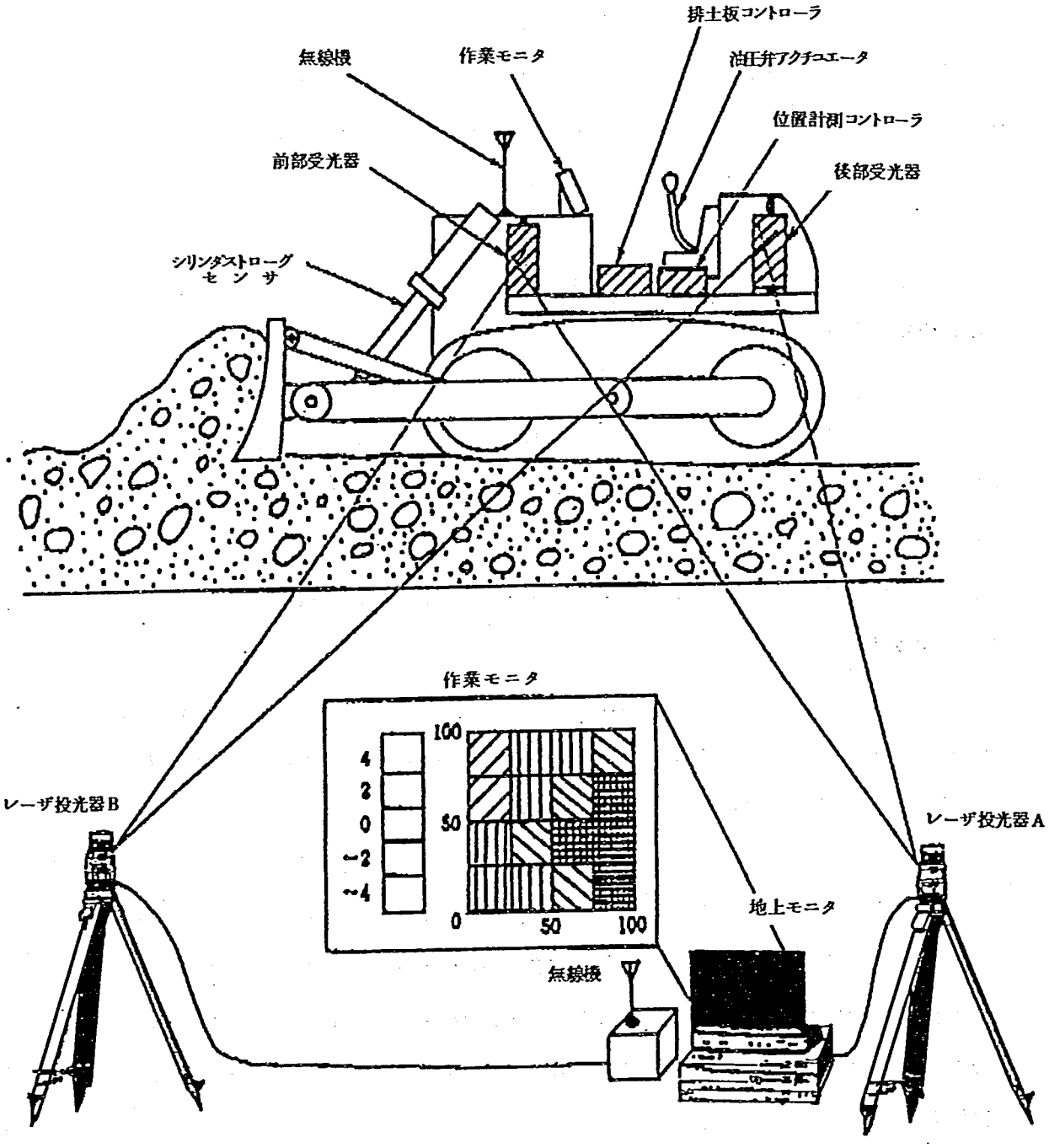


図9－2－1　ブルドーザの位置決めと排土板制御システムの構成

なお、位置情報の検出については、作業機側に演算機能を持たせたので、複数の作業機に対して位置情報の供給可能であるが、検知媒体にレーザー光を使用したため、光線の遮断への対応が困難であり、今後は他の媒体を用いた精度の良い即時的な３次元位置測量方式の開発が必要である。

9－3　土工の高度化事例 (2)
－土の締固め度の管理システム－

(1)　開発の目的

ローラによる土の締固め施工においては、所定の締固めが行われているかどうかを常にチェックすることが高品質で均一な施工を目指す場合に重要となる。そこで、締固め施工管理の高度化を図るべく、材料の締固め程度を迅速に、かつ連続的に測定し、データとして提供できるシステムの開発を目指した。これにより、締め固め度のデータをすぐ次の施工にフィードバックすることが可能となる。

なお、本研究は、東急建設㈱、不動建設㈱、三井建設㈱との共同研究として昭和６０年度から３箇年の計画で実施した。

(2)　研究内容

本研究の実施内容は、まず土の締め固め度を測定する方式を検討し、３方式に絞って開発を進めた。また、位置の計測では、２方式を選択しシステム開発を行った。

(3)　システムの概要

３方式の締固め程度検知システムに関する測定原理の概要は以下のとおりである。

①　電磁波法

締固め程度によって、土の各成分の容積率が変化すると、比誘電率　が変化して電磁波の伝搬速度が変わる。そこで、土の表面より電磁波を出し、その反射を受けて伝搬速度を測定し締固め程度に換算する。

②　インピーダンス法

重錘が土の表面に落下すると、重錘の質量と土の弾性によって振動系が構成される。重錘の落下による駆動力は、この振動系に対するインパルス入力に相当し、落下後の重錘はこの振動系の持つ固有の振動応答によって振動する。ここでは重錘に荷重計と加速度計を取り付け（インピーダンスヘッド）、落下時の接触コンプライアンスを測定し、締固め度に換算する。

③　散乱型ＲＩ法

従来のＲＩ法は、放射性同位元素を用いて、土中を通過する放射線のカウント数から土の締固め程度を推定する方法である。しかしながら、この方式では放射性同位元素の埋設等を人間が測定の都度行う必要があるため、測定時間がかかる、測定箇所数が限られる等の問題があった。したがってここでは、締固め程度を面的かつリアルタイムに測定するため、空中から土表面に向けて放射線をあて、その反射をとらえる表面散乱型ＲＩ測定法を開発した。

次に、位置の計測ではリアルタイムでの計測と処理が要求されることから、次の２方式を採用し、システムに取り入れた。

①　点波光源を用いた追尾・測角による位置検知

②　方位センサと走行距離によるジャイロ方式位置検知

以上の方式を組み合わせて、３種類の土の締固め度管理システムを開発、その確認実験を行った。写真９－３－１、写真９－３－２、写真９－３－３にその機器システムと実験の状況を示す。

(4)　今後の課題

３種類のシステムとも試験地盤での総合試験により、その性能は確認された。

今後の課題として、できるだけ多くの現場で使用し、多種多様な条件での適用性の確認を進めることが必要である。

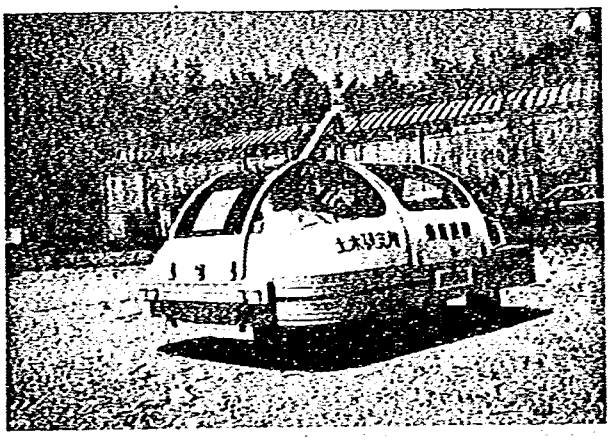


写真９－３－１　電磁波法の締固めシステム

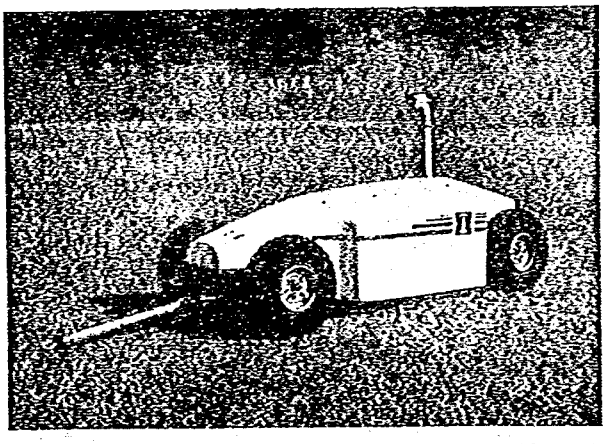


写真９－３－２　インピーダンス法の締固めシステム

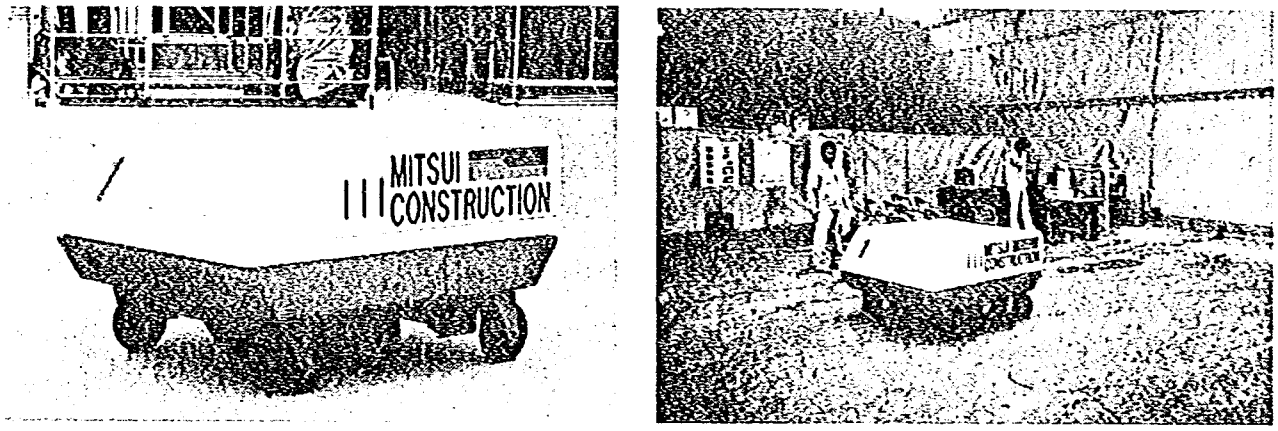


写真９－３－３　散乱型ＲＩ法の締固めシステムと実験状況

９－４　データベース高度化システム事例
－工事情報データベースシステムの開発－

(1)　研究の背景と目的

建設技術の高度化システムの情報処理・通信分野の技術として、画像データベースが重要な役割を果すことは第６章で述べたとおりである。

なかでも、工事情報の管理に画像データベースを導入すれば、各種資料のオンライン検索が可能となるだけでなく、遠隔地の利用者も通信回線などを通じて蓄積情報を平等に利用することが可能となる。また、イメージ情報は全てディジタルで蓄積されているため、各種の応用利用が可能となり、従来の資料保存、あるいはマイクロフィッシュなどの情報管理方式に比べ、付加価値の高い情報利用形態を実現することができる。

本研究では、画像データベース技術を用いて工事の施工実績に関する情報を取扱うデータベースシステム（工事情報データベースシステム：Construction Information Database System、以下ＣＩＤＳと呼ぶ）を開発した。本研究では、対象工種として道路建設工事の軟弱地盤処理工を取り上げたが軟弱地盤処理工の実施にあたっては過去の実績・経験に基づくことが多く、工事情報データベースの利用価値が高いと判断されることから、本研究の対象工種として選定した。

本研究でＣＩＤＳのパイロットモデルを開発した目的は以下のとおりである。

① データベースに蓄積する情報を特定し、情報項目、情報の形態、情報量、情報の内容等について具体的な指針を得る。

② 図面・写真等のイメージ情報の効果的な取扱いの指針を得る。

③ ハードウェアおよび基本的なソフトウェアを含めて、データベースシステム構築の技

術レベルの検討を行う。

④ パイロットモデルとして構築するデータベースの技術的ノウハウを整備し、工事情報データベースシステム全体へ反映させる。

⑤ 将来的には各種の土木情報処理システムの高度化への検討材料の提供を行う。

(2) ＣＩＤＳにおいて扱う情報の範囲と蓄積構造

(a) 情報の範囲

ＣＩＤＳにおいて扱う情報は建設工事全般にわたるものであるが、本研究では、高速道路建設の軟弱地盤処理工を対象とし、収集データの範囲を検討した。なお、本研究ではこれまで取扱いが困難とされていた図面および写真等のイメージ情報を扱っているのが大きな特徴である。

また、本システムの特徴は、建設情報管理高度化システムの一環として構成された企画、調査、計画といった初期プロセスから設計、施工を経て、維持管理に至るまでのデータを統一的に管理できることである。

(b) 情報の蓄積構造

ＣＩＤＳに蓄積される情報の一覧と取扱い区分を図９－４－１と表９－４－１に示す。また、図９－４－２に図面情報の例を示す。

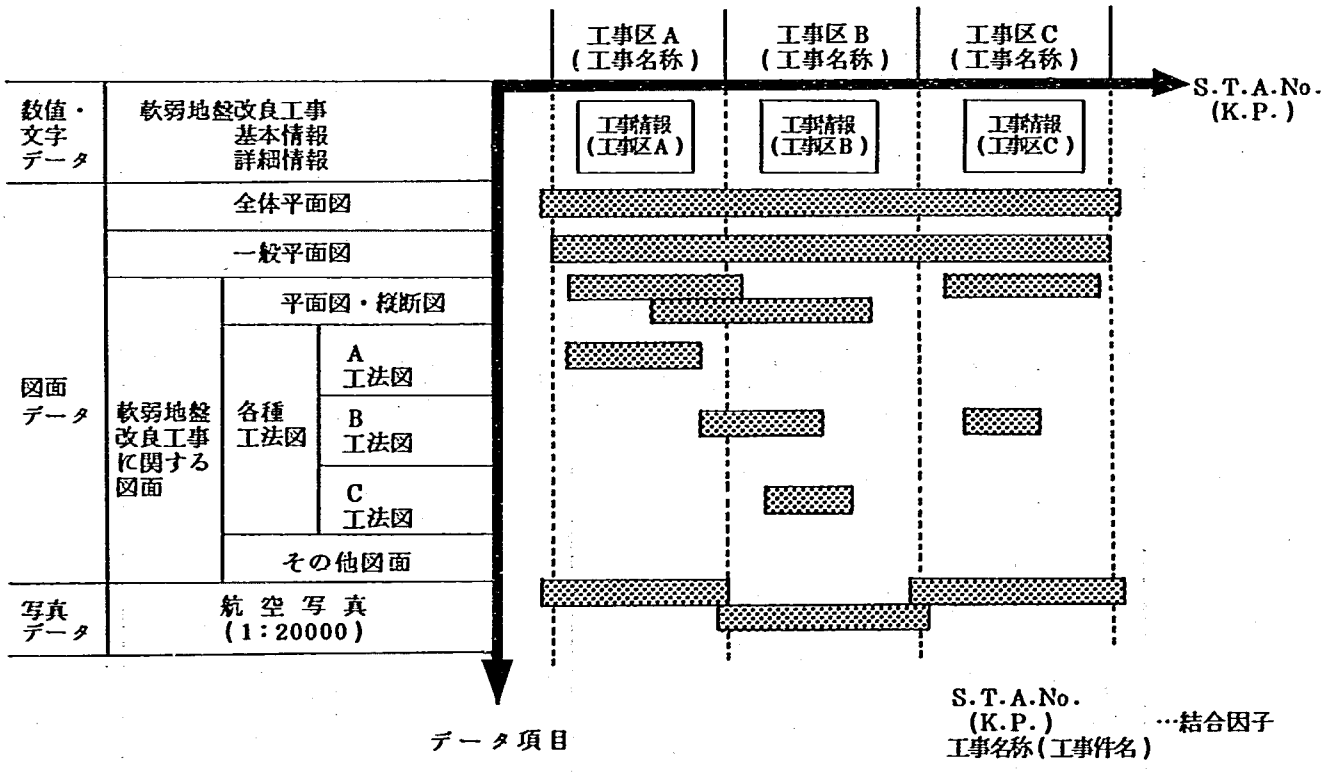


図９－４－１ 情報全体の蓄積構造の基本的な考え方

表９－４－１　一工事区あたりの蓄積情報の一覧と取り扱い区分

取扱区分＼情報分類			基本情報		詳細情報（軟弱地盤改良工事情報）		
			工事区概要情報	地質情報	軟弱地盤改良工事概要情報	軟弱地盤改良工法情報	軟弱地盤動態観測情報
数値・文字データ			路線名 工事名 工事場所 工事区間（ＫＰ） 工事区間（ＳＴＡ） 施設名 上部構造物 発注者名 設計者名 施工者名 工期 工費	地質柱状図 ・柱状図番号 ・調査地点（ＳＴＡ） ・調査地点標高 ・深度毎地質分類 ・深度毎Ｎ値	工期（改良工） 工費（改良工） 地形 土質 軟弱地盤層厚 改良規模 改良目的 許容沈下量 特記事項	使用工法名 設計数量 使用機械（数量含む） 改良効果	動態観測項目 ・観測地点（ＳＴＡ） ・観測開始年月日 ・観測終了年月日 ・経過毎盛土厚 ・経過毎計画沈下量 ・経過毎実沈下量 ※沈下の場合
イメージデータ	図面データ	平面図	全体位置図（約1/25000） 一般平面図（1/1000）	地質調査位置図	平面図	工法平面図	動態観測位置図
		断面図	一般横断図 一般縦断図	地質推定縦断面図	縦断図	工法断面図	動態観測断面位置図
		その他	工程表 その他	地質柱状図	その他		動態観測データ （表、グラフ）
	写真データ	平面図	航空写真（1/10000）				
		その他	工事写真				

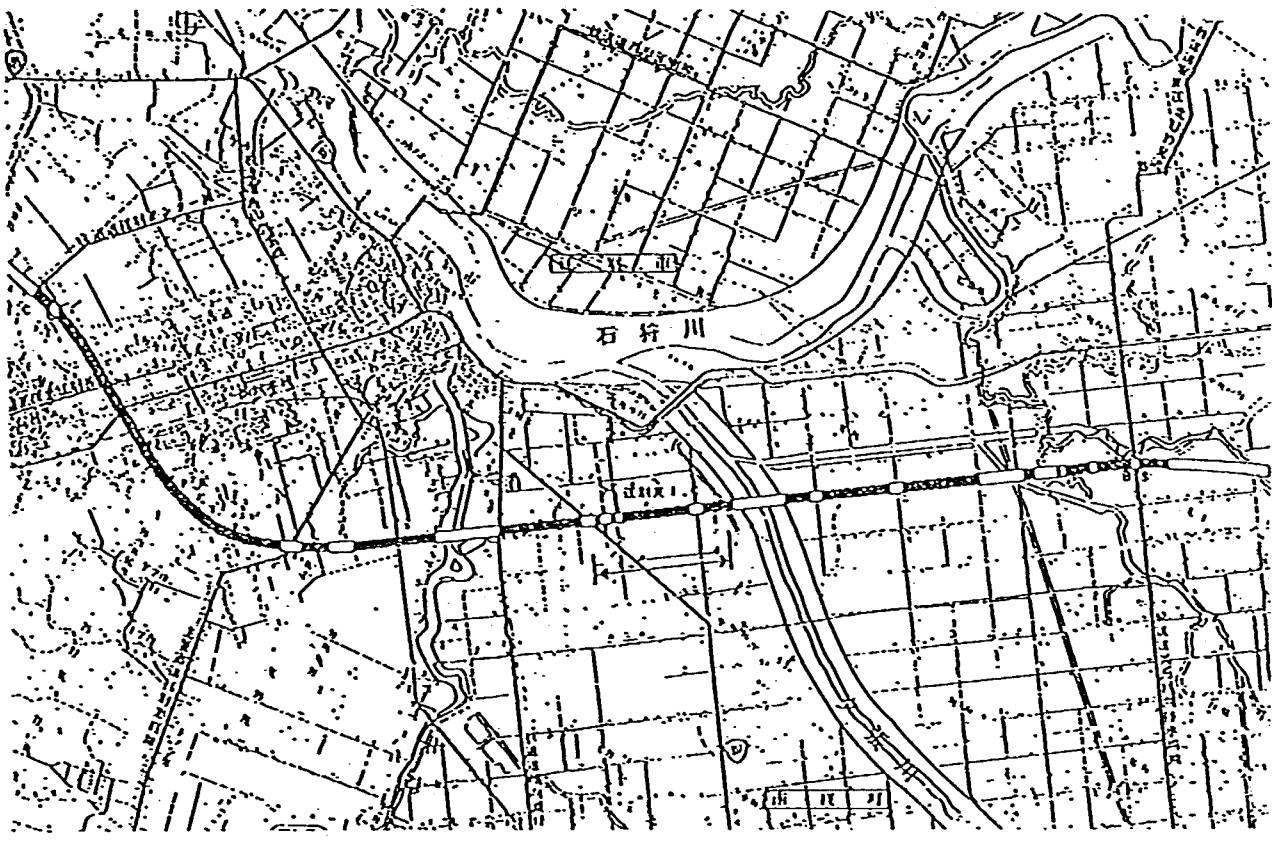


図９－４－２(1)　工事全体平面図の例

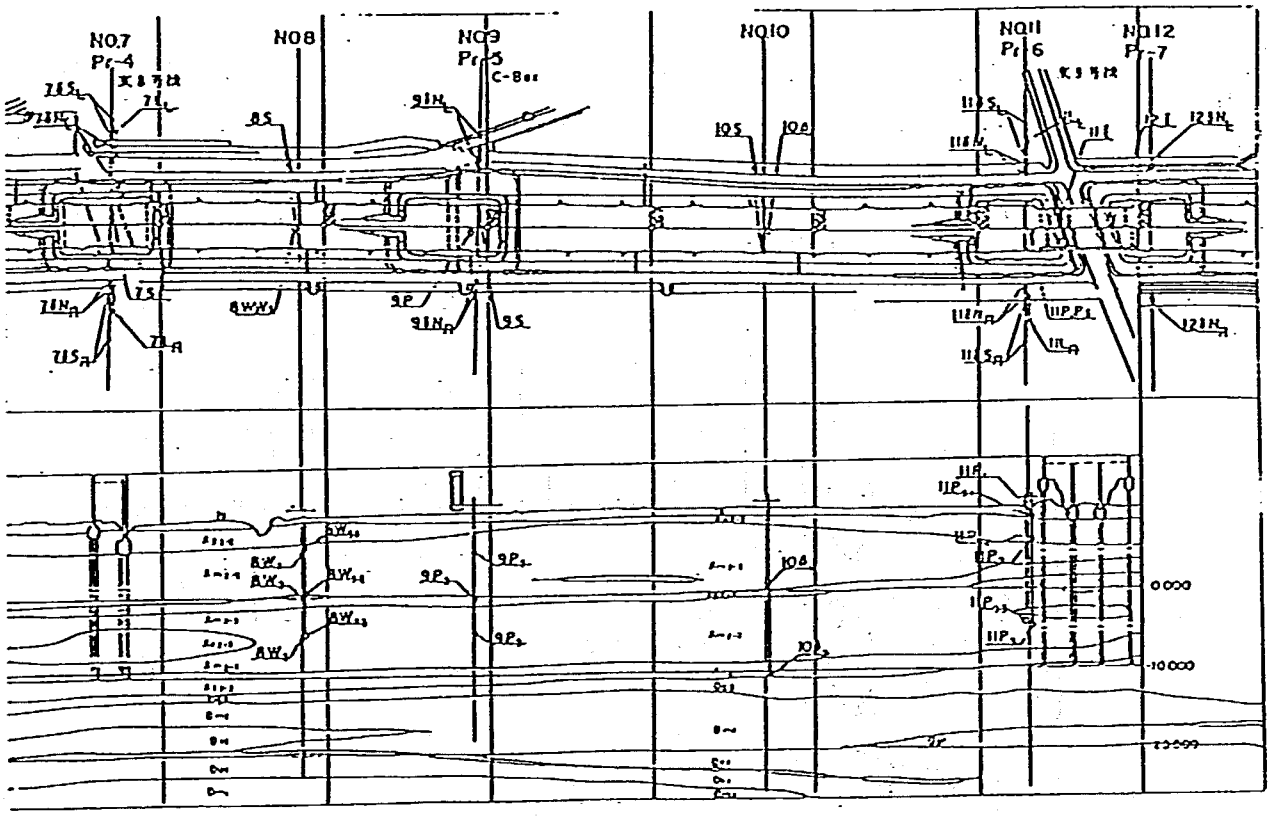


図９－４－２(2)　地質調査平面図の例

(5) 画像データの取扱い

ＣＩＤＳは画像データの取り扱いに特長を有しているが、画像データベースの基本的構築形態は図９－４－３に示すとおりである。また、基本的なハードウェア構成は図９－４－４に示すようになっている。

(6) 利用方法

ＣＩＤＳの利用用途を例をあげて示すと、表９－４－２のとおりである。

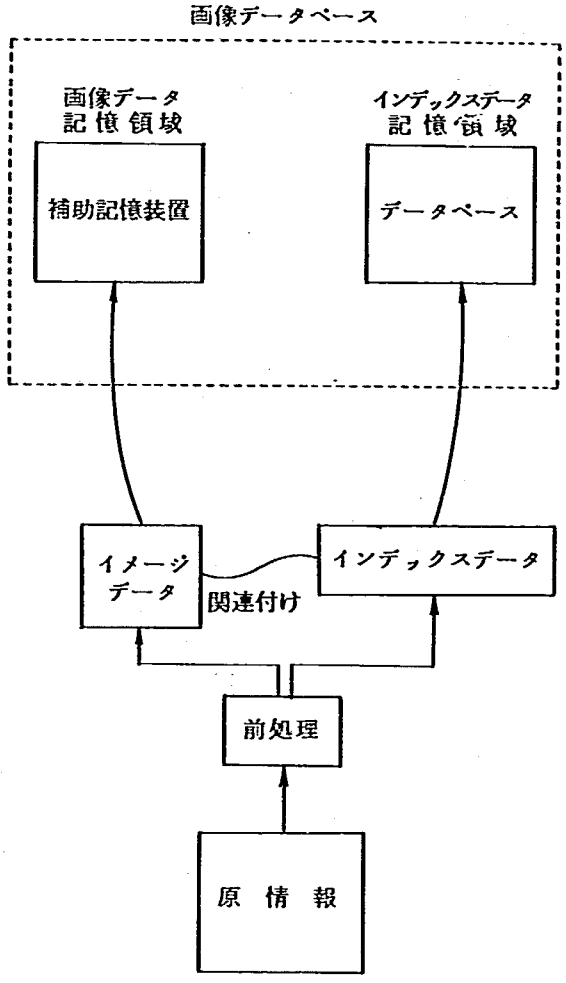


図９－４－３　画像データベースの基本的な構築形態

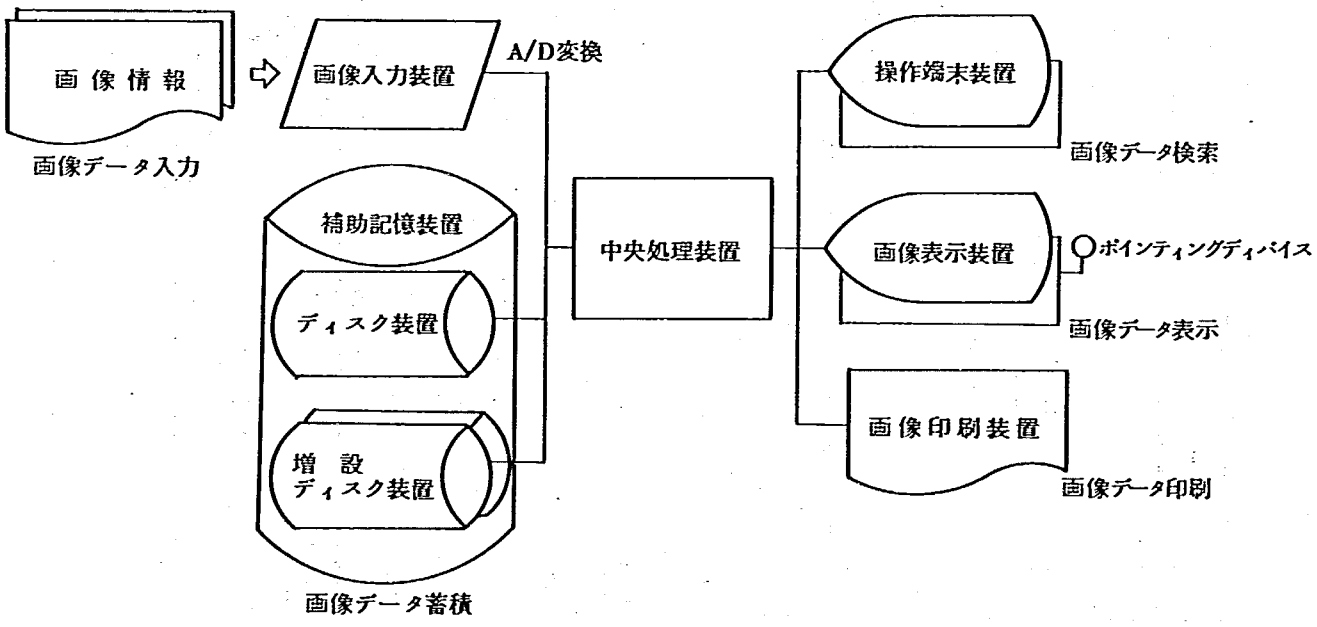


図９－４－４　画像データベースシステムの基本的なハードウェア構成

表9－4－2　ＣＩＤＳの利用用途

検索項目		適用できるニーズの具体例（検索条件）
工事基本情報	道路路線名称	常磐自動車道で行われた軟弱地盤改良工事が全て知りたい。
	工事名称	常磐自動車道大久保トンネルの軟弱地盤改良工事が知りたい。
	工事区間	常磐自動車道のKP10.500～KP19.604の間の軟弱地盤改良工事が全て知りたい。
	工事場所	茨城県内または茨城県日立市内で行われた軟弱地盤改良工事が全て知りたい。
	施設名	高速道路の建設工事における軟弱地盤改良工事について知りたい。
	上部構造物	盛土工事における軟弱地盤改良工事について知りたい。
	発注者名	日本道路公団A建設局が発注した軟弱地盤改良工事が全て知りたい。
	設計者名	日本道路公団A建設局が設計した軟弱地盤改良工事が全て知りたい。
	施工者名	㈱B建設が施工に関与した軟弱地盤改良工事が全て知りたい。
	工期	昭和５５年３月から５７年１２月の間に行われた軟弱地盤改良工事が全て知りたい。
	工費	工費が100～200億円の軟弱地盤改良工事が全て知りたい。
	地形	山地において行われた軟弱地盤改良工事について知りたい。
	土質	シルト又はシルト質粘土の土質において行われた軟弱地盤改良工事について知りたい。
詳細情報	軟弱地盤層厚	軟弱地盤層厚１０～２０mにおける軟弱地盤改良工事について知りたい。
	改良規模	改良規模10,000～20,000平方メートルの軟弱地盤改良工事について知りたい。
	改良目的	沈下阻止を目的とした軟弱地盤改良工事について知りたい。
	許容沈下量	許容沈下量を１０cmとした軟弱地盤改良工事を全て知りたい。
	工法名	サンドマット工を用いた軟弱地盤改良工事を全て知りたい。
	設計数量	サンドマットの厚を７５～１００cmとした軟弱地盤改良工事を全て知りたい。
	使用機械	砂供給にブルドーザーを１０台以上用いた軟弱地盤改良工事について知りたい。
	改良効果	一軸圧縮強度において改良効果の得られた軟弱地盤改良工事について知りたい。
	動態観測項目	間ゲキ水圧について動態観測を行ってある軟弱地盤改良工事について知りたい。
	特記事項	－

(7) 今後の課題

本研究において、工事情報データベースに画像データベースを導入することに関して、多くの有用性を確認することができた。各種の土木情報処理システムの高度化を推進するにあたっては、画像データベース技術は十分に利用価値の高いものであるといえる。

ただし、画像データベースの実利用を推進してゆくにあたっては、多くの課題も抽出されており、ハードウエアの問題に関しては、研究・開発を行うメーカーサイドのより一層の努力、また、建設業界においては、画像データベースの導入を側面から支援する体制作り、そして相互の綿密な情報交換と歩み寄りが、画像データベースの実利用を推進する上で不可欠となるであろう。

また、工事情報だけのデータベースを構築してもその利用は限られたものになると予想されることから、官側の発注情報、民側の受注情報、材料・機材の調達情報等を組み合わせたデータベースの複合システムを指向していく必要があると考えられる。きらに、各種データベースの構築を行うだけでは利用範囲の広がりが期待できないことから、利用方法の明示ならびにエキスパートシステム等を組み合わせたアプリケーションの開発なども並行して進めていく必要があると考えられる。

さらに、本報告書では、ＣＩＤＳのパイロットモデルを構築するとの目的から、データベースを運用するシステムについては、データの入力、蓄積、検索・表示といった基本的な機能についてしか言及していない。従って、今後の課題として、実利用段階を想定したデータベースシステムの検討が必要となる。具体的には、蓄積されているデータの管理機能やシステムの分散化などに関する検討が挙げられ、本節ではこの二点を中心に今後の課題を整理する。

a) データ管理機能を中心とした実利用段階のシステム構成の検討

ここでいうデータ管理機能とは、データウエアの質を常に監視、維持する機能であり、実利用を念頭にしたデータベースシステムでは不可欠なものとなる。具体的には、データの追加、更新、削除などの必要が生じたときに迅速にその処理を行ったり、その際のデータの更新記録をとったりする機能であり、更新するユーザのアクセス権をチェックする機能なども含まれる。

また、これは利用面にも係わってくるが、表示されているイメージ情報を前にして、ユーザが技術的な検討を行いながら、その検討結果をイメージデータに書き込んでいくような、イメージデータ自身への書き込み、修正、そしてそれを再びデータベースに登録できるような更新機能なども必要になると思われる。

なお、ディレクトリ方式の画像データベースでは、イメージファイルはＤＢＭＳによる保護を受けていないため、それらに対する保護機能の検討も必要となる。

b) システムの分散化に関する検討[9)、15)]

従来のオンラインデータベースシステムでは、データベースを中央で集中制御し、遠隔地からは通信回線を通じてアクセスする、集中型データベース (integrated database) 方式が主流を占めていた。パイロットモデルでも、この方式を念頭に開発を行ってきたが、この方式には、

① システムの一部に障害が発生すると全体が停止する恐れがある。

② 遠隔地からの通信費が高くなる。

などの問題点がある。そこで最近では、比較的小規模なデータベースを物理的に分散させておき、それらをオンラインネットワークで結ぶことにより、全体を大規模なデータベースとして機能させる、分散型データベース (distributed database) が指向されている。この方式では、

① 一ケ所の障害が他に波及しないため、システム全体の信頼性が向上する。

② ターンアラウンドタイム、通信費用が改善される。

③ 柔軟なシステム構成が可能となる。

などのメリットがある。

画像データベースでは、大容量のイメージデータを大量に蓄積するため、一つのデータベースの容量は一般にかなり大きくなる。従って、一ケ所に大規模なデータベースを構築するよりは、小型のデータベースシステムによる分散型データベースを構築した方が、個々のシステムのアクセス効率は向上することになる。また、ある場所で発生したイメージ情報は、その近辺で利用されることが比較的多いことから、分散型データベースを利用した方が合理的かつ経済的であるといえる。

最近では、NTTのＩＮＳ (Information Network System) に代表されるＩＳＤＮ (Integrated Services Digital Network：ディジタル総合サービス網) の整備が盛んであり、イメージデータのような大容量データの高速通信が経済的に行える基盤が整いつつある。

このような観点からも、分散型データベースの利用可能性は高くなっており、そのためのシステム構成を検討することは今後の大きな課題となるであろう。

ただし、現状では分散しているプロセッサにまたがる複雑な同時実行制御などに多くの技術的な課題が残されており、現在のデータベース技術のレベルを十分に踏まえた上で、システムの分散化を検討して行く必要がある。

9－5　写真測量自動化技術と土工管理への応用

(1)　研究の背景と目的

土工工事の施工管理においては、施工作業の進捗状況を迅速かつ正確に把握し、得られた結果に基づいて次に行う施工作業の手順や内容をより適切なものに修正して、工事費用や工事時間の最小化を図ることが求められている。しかし、①施工計画の立案時点において土量変化率や施工機械の作業効率などの計画情報を不確実性のある仮定・推定値として用いざるを得ない場合が多いこと、②計画を修正するための精度の良い現況データを迅速に収集整理することが困難であること、③得られた現況データを簡便に施工計画へ反映させるシステムが開発されていないこと等から、必ずしも理想的な施工管理が行われているとは言い難いのが現状である。こうしたことから、施工の進捗に伴って不確実な計画情報をより確実なものへ更新していくとともに、施工の進捗状態を計画案と対比して計画の修正を行うことのできるシステムが求められてきた。以上のような背景をふまえて「写真測量自動化技術と土工管理への応用」の検討を行った。

土工工事における出来形計測は、一般にスタジア測量により行われているため計測費用や計測時間の点に問題が残されていた。また、一部では航空写真測量による出来形計測が検討されているが、この方法でも解析に時間を要し、迅速な処理が困難であると考えられる。そのため、出来形計測結果を施工管理に反映させることが難しい状況にあった。そこで本研究は、デジタル画像処理技術を写真測量に適用することで遠隔自動測定手法を開発するとともに、出来形の自動計測を前提とした施工管理手法を提案し、土工工事における出来形計測から施工管理までの一貫したシステムを開発することを目指した。

(2)　研究内容

本研究の内容は、大きく２つに分けられる。そのうち、出来形計測の自動化手法の開発（ステレオ写真を用いた地形の三次元計測：数値地形モデルの作成）を(社)日本写真測量学会が担当し、迅速な出来形計測を前提とした施工管理システムの開発を建設省土木研究所が担当して実施した。図９－５－１に土工工事における出来形計測から施工管理までのシステムの流れを示す。出来形計測手法に関しては、主として精度の高いＡＤ変換装置の開発と自動標定およびステレオマッチングに関するソフトウェアの開発を行った。また、施工管理システムに関しては、数値地形モデルの補正から土量配分計画、重機配置計画、工程計画の立案を含み、実施工の分析結果を考慮した再計画の立案が可能なソフトウェアの開発を行った。そして、これらをひとつの一貫したシステムに統合した。

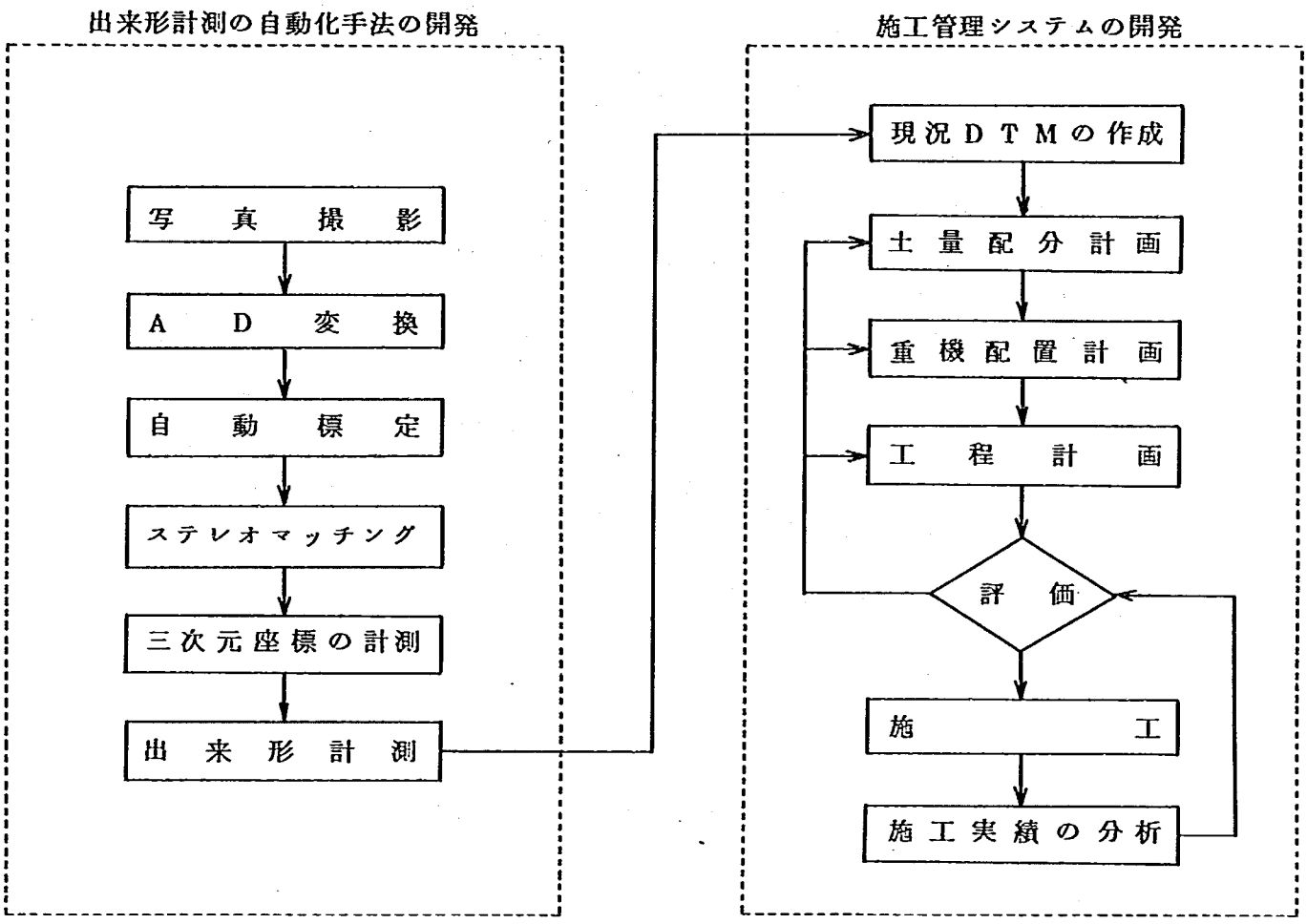


図9－5－1　土工工事における出来形計測から施工管理までのシステムの流れ

(3)　出来形計測の自動化手法の開発

これまで土工工事は計画段階から完成に至るまで定期的な工事現場の測量を行い、出来形や土工量を計測して施工管理を行ってきた。大規模な土工工事においては、計測の迅速化を図るために空中写真測量などを行い地上標高を計測しているが、それでも計測に多大な時間を必要とし、出来形計測の迅速化が求められていた。こうした背景のもとで、本研究は写真測量結果を利用した出来形の自動計測システムを開発した。本システムの構成を図9－5－2に示す。以下、システムの詳細と検討結果について報告する。

(a)　ＡＤ変換

測量用航空写真（フィルム）をコンピュータで処理するためには、航空写真をＡＤ変換装置でデジタル画像に変換する必要がある。その変換にあたっては、①写真の激しい濃淡変化に対応できる広いダイナミックレンジ、②数ミクロン程度の高い位置精度、③迅速な出来形計測を行うための高速なＡＤ変換の３点の条件を満たす必要があり、本研究においてはＣＣＤエリアセンサを搭載したフラットベット型ＡＤ変換装置の開発を新たに行った。

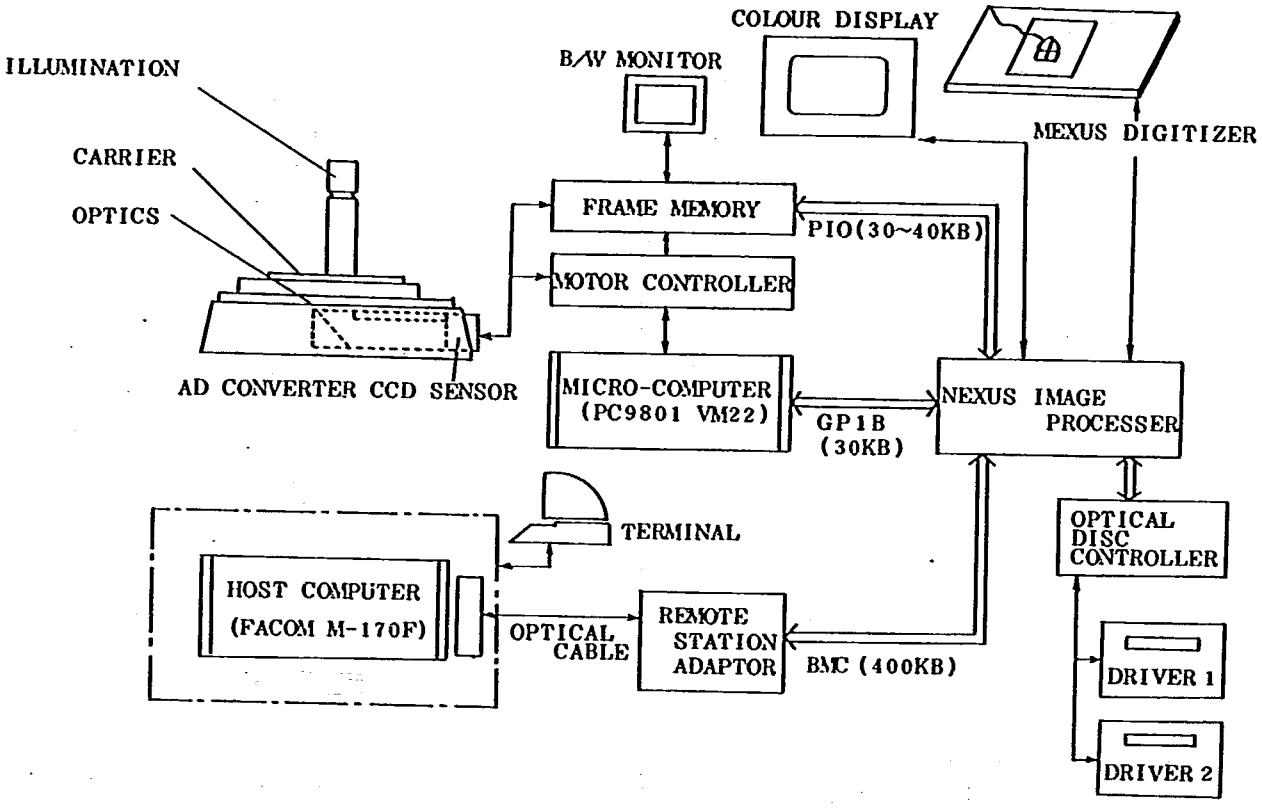


図９－５－２　出来形の自動計測システムの構成

(b)　自動標定

航空写真測量により地形の数値化を行うには、写真撮影時のカメラの位置、傾きを考慮して写真の修正を行う必要がある。写真に撮影された地上基準点からカメラの位置、傾きを推定する作業を標定という。従来、この作業はステレオコンパレータなどを用いて専門オペレータが行っていたが、本研究ではパターン認識手法のひとつであるテンプレートマッチング手法を用いて行った。

航空写真中の地上基準点の数はたかだか数個であるから、これらを計算機で自動認識するのは不可能ではないものの不経済である。そこで、本研究においてはディスプレイを使用してオペレータと計算機との対話形式で半自動による処理を行った。すなわち、およその対応位置をオペレータが与え、計算機が精密な位置を検出する半自動処理である。

(c)　ステレオマッチング

写真測量により得られたステレオ写真を立体視して数値地形モデルを作成するには特殊な図化機と専門オペレータが必要なため計測時間、計測費用の点に問題が残されていた。そこで本研究ではステレオマッチングの自動化手法の開発を行った。自動計測を行う場合、森林の樹冠標高、建物の屋根高さを地形標高と誤って測定してしまうことがある。しかし、植生状況、建物位置等を人間がモニタすることによりこの問題は回避できると考えられる。

ステレオマッチング手法としては面積相関法：Coarse-to-Fine 法を採用した。これはステレオ画像から抜き出された相関窓画像の相関を求め相関が最大となる点を探索し、その点をステレオ対応点とする手法である。

(d) 検討結果

対象とした現場は約２００ｍ×２００ｍの土地造成工事現場で、自動計測がもっとも苦手とする崖（７ｍ～１０ｍ）を含んでいる。計測現場の現況を図９－５－３に、地上計測結果を図９－５－４に、手動計測結果を図９－５－５に、自動計測結果を図９－５－６に示す。自動計測結果は地上測量結果、手動計測結果と比較して良好な精度を示した。また、図化表現力において自動計測結果は地上測量結果を上回り、出来形計測に十分使用できると判断される。また、計測時間については従来法（地上測量、図化機による手動計測）の数分の１であり十分に迅速化されたと評価できる。

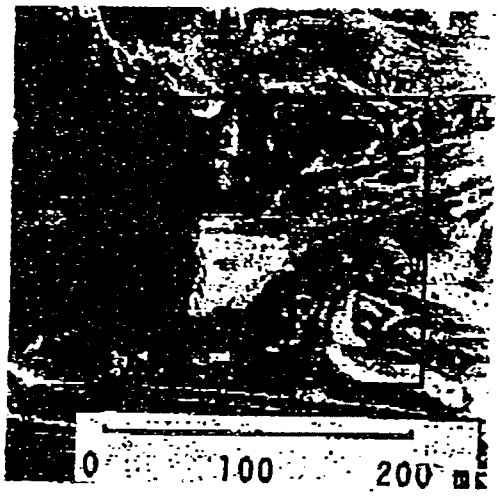


図9－5－3　計測現場の現況

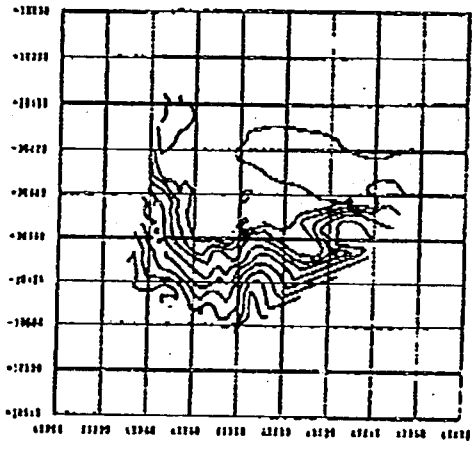


図9－5－4　地上測量結果

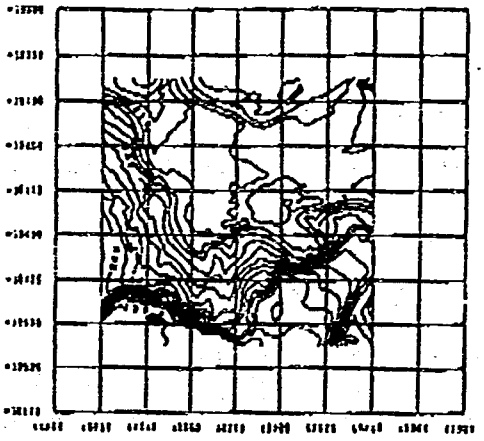


図9－5－5　手動計測結果

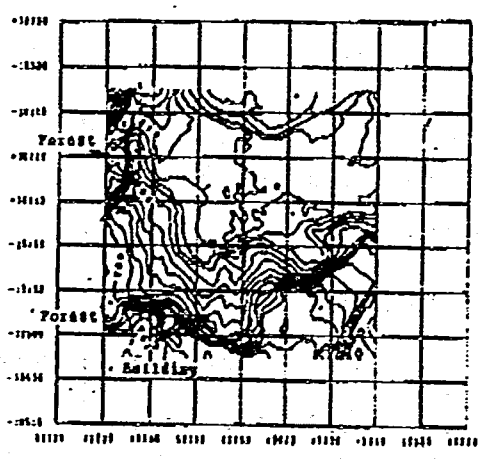


図9－5－6　自動計測結果

(4) 施工管理システムの開発

写真測量による出来形計測の自動化技術が大規模土工の施工管理に利用されるようになると、工事施工中の状況把握を従来よりも迅速かつ頻繁に行うことが可能になる。このような測量技術の発達に伴い、これに連動する施工管理技術もこれまでより高度化されたものが要求されてくる。すなわち、写真測量により頻繁に得られるデータを有効利用することで、パラメータとして入力が困難な機械作業効率や土量変化率の補正計算が行え、刻々と変化する現場に対応して迅速に再計画の行えるシステムが求められている。このような背景のもとで、本研究は写真測量による出来形計測データの利用を前提とした施工管理システムの開発を行った。なお、ここで言う施工管理とは工事管理全般のことを指すのではなく、写真測量のデータを十分に利用しうる管理（出来高管理）を検討対象としたものである。以下、システムの詳細と事例計算結果について報告する。

(a) 現況ＤＴＭの作成（DTM:数値地形モデル）

写真測量により計測された計測ＤＴＭと計画ＤＴＭ、原地形ＤＴＭを用いて現況ＤＴＭを作成する。これは、工事済み、未着工領域を入力し、工事済み領域は計画ＤＴＭを、未着工領域は現地形ＤＴＭを、工事中領域は計測ＤＴＭを用いて現況ＤＴＭを作成するものである。工事済みおよび未着工領域を入力するのは、測定誤差等によりこの領域から土砂が発生することなどを防ぐためである。

(b) 土量配分計画

現況ＤＴＭを計画ＤＴＭと比較することにより土量計算を行う。次に、ＤＴＭをまとめる形で任意の大きさの切盛りブロックを設定する。こうした作業の後で土量の配分計画を行う。土量配分計画は線形計画法の特殊な形で与えられる輸送問題として、仕事量最小の配分計画を立案することにした。また、通過点を指定することにより運搬路を設定することができるように制約条件を付加する機能を備えたものである。

(c) 重機配置計画

重機配置計画とは、線形計画法を用いて運土作業に対し運転損料が最小となるような機械系の設定、機械系の割付けを行うもので、最適な機械の組合せを検討するものである。

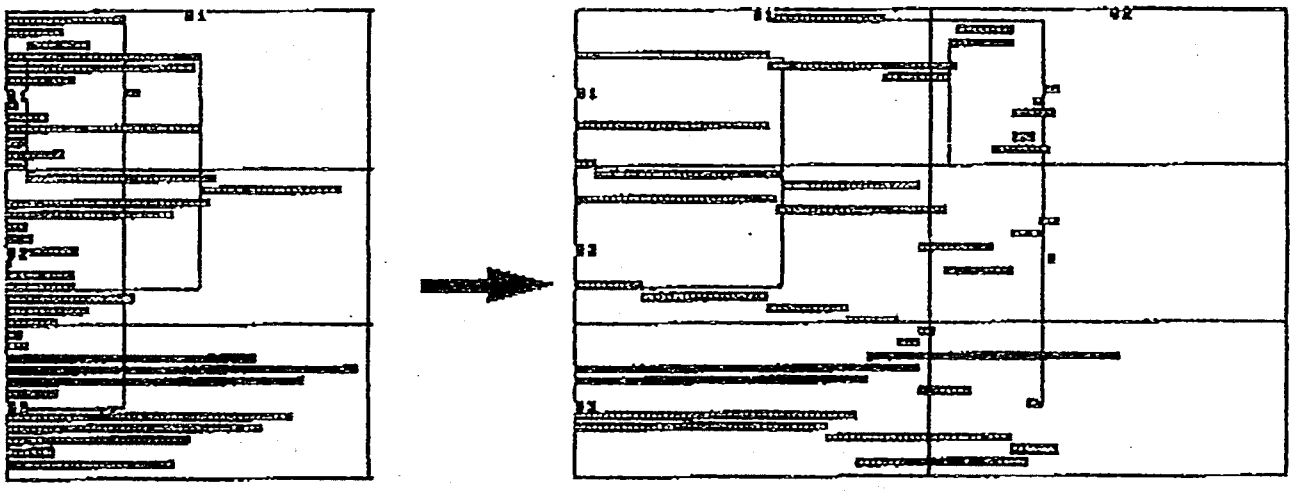
機械系の設定は、機械の組合せとその能力より決定される。機械の組合せは、1)手持ちの機械を最大限有効に利用するケース、2)与えられた作業を最大限有効にこなす機械を選定するケースの２つの場合の適用が可能となっている。機械系の能力は、クリティカルな施工能力（機械系を構成する機械のうち単位時間当りの施工土量が最小の施工能力 Q m^3 / hr.）と施工コスト（単位土量当りの運転損料 C円/m^3）をパラメータとして条件付け

られるものである。

機械系の割付けは、コスト（運転損料）最小を目的関数とした機械系割付けモデルを作成し、線形計画法を用いて計算するもので 1)ひとつの運土作業に対して複数の機械系の割付けを許すモデル（線形計画問題：改訂シンプレックス法）、2)ひとつの運土作業に対してひとつの機械系を割付けるモデル（ 0－1型整数線型形計画法：分枝限定法）の2つの手法により行った。

(d) 工程計画

重機配置計画終了後、ＰＥＲＴ手法、ネットワーク図を用いて機械系の制約を考慮した工程計画の立案を行う。工程計画は日程計算、ネットワーク図の作成、山崩し計算から求められるものである。すべての計算終了後、計画の評価値として工期日数および工費の計算を行った。図９－５－７に山崩し計算の説明図を示す。



山崩し前のネットワーク図　　山崩し後のネットワーク図

図9－5－7　山崩し計算の説明図

(e) 評価及び再計画

工程計画により得られた評価値（工期日数、工費）により計画全体の評価を行い、必要があれば任意の計画段階から再計画を実施する。また、複数の出来形計測結果を得られた場合は、土量変化率および機械の作業効率を計算し再計画を実施する。このプロセスを繰り返すことにより施工管理計画全体の最適化が逐次行われ、迅速かつ経済的な施工が可能になるものと考えられる。

(f) 事例計算結果

対象とした現場は規模４７ha、約１００万㎥の土地造成現場で、３回の写真測量で得られた計測DTMと計画DTMを地形データとして使用した。表９－５－１に施工管理システムで

検討した代替案作成結果（事例計算結果）を示す。この結果から次に示す事項が考察できる。

① チーム数制約は、工費への影響は小さいが工期に大きな影響を及ぼす。

② 日稼働可能時間制約は、工期、工費ともに影響を及ぼす。

③ 順序指定は、クリティカル作業に係わる場合については工期に影響を及ぼす。

④ 稼働制限時間制約は、運転損料の割安な機械系の選択が工費縮小に効果があり、チーム数を考慮してチーム間の稼働時間の偏りをなくすことが工期短縮につながる。

⑤ 機械系の構成は、組合せ機械の能力バランスをとることが工期、工費の縮小につながり、上位機種を選択した方が稼働時間が短くなり工期、工費を縮小する。

⑥ 運搬路の変更は、仕事量の減少につながる変更がないかぎり大きな効果はない。

割付け手法の選択は、コンピュータ等の制約もあり小さなモデルで行った。工費は、線形計画法で解いた場合179,600,000円、0－1整数線形計画法で解いた場合183,300,000円となり、線形計画法で解いたケースの方がよい結果となった。これは、0－1整数線形計画法の制約が大きいために生じた現象で、将来的には目的に沿った手法の選択を行っていくべきであろう。

表9－5－1　代替案作成結果（事例計算結果）

プロセス名	再計画	ケース番号	代替案作成の観点	工期（日）	工費（千円）	運転損料 供用損料
総合評価	原計画	1	【原計画】	99	259,200	185,300 73,900
	工程計画	2	【チーム数制約】 チーム数を増やす	84	259,600	185,300 74,300
		3	【チーム数制約】 チーム数を減らす	101	259,200	185,300 73,900
		4	【日稼働可能時間】 日稼働時間を増やす	90	252,300	185,300 67,000
		5	【運土作業の順序指定】 遊休をなくす	98	258,700	185,300 73,400
	重機配置計画	6	【稼働制限時間】 稼働時間の偏りをなくす	92	290,500	206,200 84,300
		7	【稼働制限時間】 割安な機械系の選択をする	109	244,000	174,200 69,800
		8	【機械系の構成変更】 機械を上位機種に変更	84	245,000	172,900 72,100
		9	【機械系の構成変更】 構成機械の能力差をなくす	96	246,600	174,300 72,300
	配分計画	10	【運搬路の変更】	99	259,200	185,500 73,700

(g) 出力結果

事例計算をした時に出力される結果を図９－５－８～図９－５－１２に示す。図９－５－８は等高線図、図９－５－９は景観線図、図９－５－１０は断面図、図９－５－１１は土量分布図、図９－５－１２は配分計画図である。

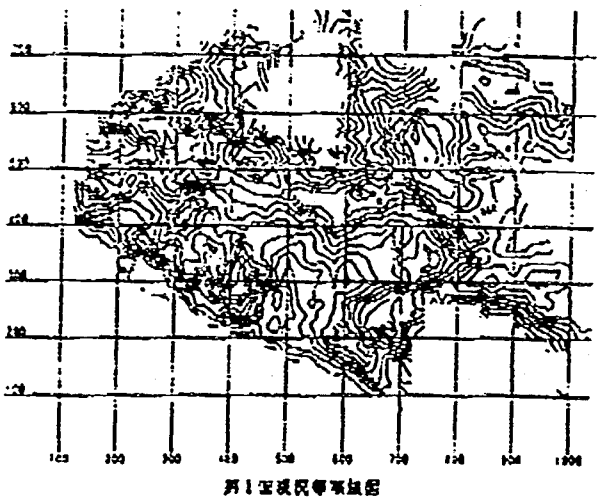


図9－5－8　等高線図



図9－5－9　景観図



図9－5－10　断面図

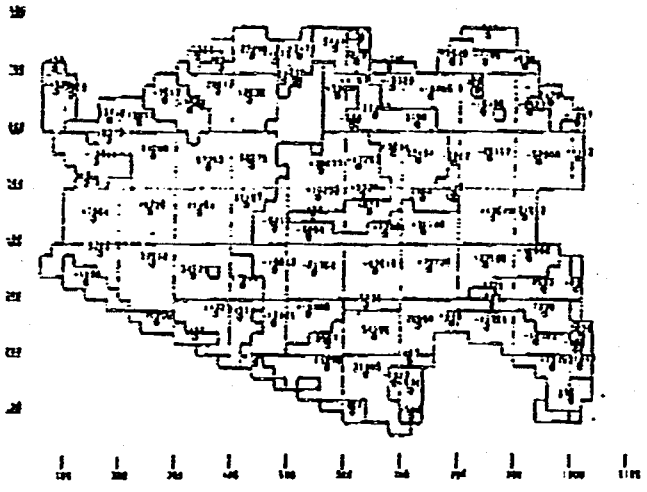


図9－5－11　土量分布図

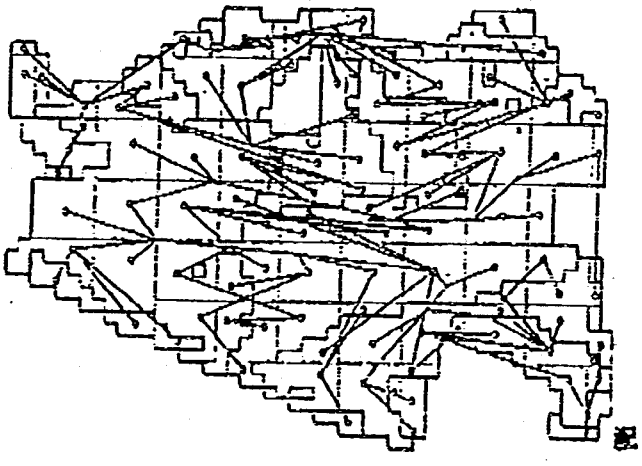


図9－5－12　配分計画図

(5) おわりに

今回の共同研究により、1)写真測量の自動化により図化機等の専用機器の使用を必ずしも必要としない出来形計測システム、2)写真測量による迅速な出来形計測を前提とし、現場での有効利用を考慮したパーソナルコンピュータによる施工管理システムが開発された。双方とも精度、速度、操作の簡易性において十分な実用性を持ち、施工管理技術の高度化に大きく資することとなった。今後は、その内容を一層充実させ具体的な運用を考えていきたい。

第１０章　結　　論

前章までに検討してきた本研究の成果をまとめると以下のとおりである。

(1)　２１世紀を展望した建設技術の高度化の方向を明らかにした。

すなわち、建設技術の発展の経緯および建設事業の抱える課題の現状分析に基づいて、２１世紀を展望した社会・経済・技術環境の変化に対応する建設技術高度化の方向を、次の３つに整理した。

(a)　ニーズの多様化等に対応したより良質な社会資本の蓄積と維持管理の充実に資する技術

(b)　危険・苦渋作業の多さ、技能工の不足、生産性の伸び悩みなど、現在の建設業がかかえる問題点の解決に資する技術

(c)　ニューフロンティアの開発や国際的な技術競争力育成など、建設業の新たな発展に資する技術

(2)　エレクトロニクスおよび建設技術の特性を踏まえて、エレクトロニクスを利用して建設技術の高度化を図るにあたっての基本的な考え方を提示した。

すなわち、より効率的、効果的に高度化を図るためにエレクトロニクスを建設技術に適合させるだけではなく、建設技術側でエレクトロニクスを適用し易くするための技術開発を行うことが不可欠であり、その方向としてエレクトロニクス化された作業の統合化と情報の相互有効利用という２つの考え方を示した。

(3)　エレクトロニクスを利用した建設技術の高度化にあたっての基本的な考え方に基づいて、代表的な工種および建設情報の処理・管理について高度化システムの概念設計を行い、その具体的な姿を例示した。

すなわち、ダム建設高度化システム、トンネル建設高度化システム、土留掘削高度化システム、海洋構造物建設高度化システム、橋梁維持管理高度化システム、道路舗装維持管理高度化システム、建設情報管理高度化システムの６工程を対象として概念設計を行った。さらに、これらの高度化システムの構築に必要な要素技術をメカトロニクス関連と情報処理・通信関連に分けて抽出し、その開発の可能性や方向について事例的な検討・整理を行った。

(4)　建設技術の高度化システムや要素技術の将来環境における有効性や課題を把握することを目的として、高度化システム等による効果や影響を体系的に把握し、評価する手法を開発し、高度化システムの概念設計事例をケーススタディとして、概念設計事例および評価手法の有効性を検証した。

すなわち、上記(3)で取上げた事業別の高度化システムの概念設計例を対象として、評価主体別の評価項目により高度化システムの評価を行い、各システムの導入による影響、効果を明らかに

するとともに、提案した評価方法の適用の可能性を明らかにした。

(5) 建設技術高度化システムの開発をより効率的に進めるために、技術開発の手順、開発体制および開発環境の整備の3つについて検討し、開発の展望としてとりまとめた。

すなわち、技術開発の手順として、要素技術では建設事業での独自の基礎的研究が必要な技術の開発への取組みを、他方、システム構築では安全性向上の面で大きな効果の期待できる技術開発に着手することが望ましいことを示した。

また開発体制については、開発にあたって基礎研究の重要性が高くなること、システムの規模が大きいこと等を考慮して、学・官・民の協調や長期的な研究開発計画が必要であり、民間での基礎研究への助成等の施策も重要であるとした。

さらに、開発環境の整備としては新技術の評価、公共事業等での積極的な採用などに加え、無人化・自動化推進の観点からの構造物の設計の考え方および法制度等の見直し・整備の必要性を指摘した。

(6) エレクトロニクスを用いた技術開発ニーズに基づいて、調査・計画、施工に関する具体的な技術開発課題を取上げ、官・学・民の共同研究等により開発・研究を行った。

すなわち、ブルドーザ位置ぎめと排土板制御、土の締固め度の管理システム、工事情報データベースおよび写真測量自動化技術の4課題を開発事例として開発研究を行い、本プロジェクトの期間内においてシステムの具体化が実現された。

以上のように、本総合技術開発プロジェクトでは、昭和58年度から5ケ年にわたってエレクトロニクスを利用した建設技術の高度化のためのシステムや要素技術について、21世紀に向けての技術開発の展望から具体的なシステム、技術の開発に至るまで、幅広い研究、開発を実施し、数多くの成果を得るに至った。しかしながら、本プロジェクトの終了時期頃から建設事業におけ自動化、無人化等のための技術開発の必要性の認識や要請が急速に高まってきており、今後は本プロジェクトの成果の主旨を汲んだ具体的な高度化システムや要素技術の開発と、さらにはその普及を図ってゆくことが必要であり、それにより本プロジェクトもより一層の効果を発揮するものと期待される。

エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発

土木研究所資料　第2711号
平成元年2月(1989)
嶋津晃臣，常田賢一
長　健次，苗村正三
他

要　旨

本報告書は，建設事業の効率化，省力化，安全性の向上，品質・精度の向上を図るため，最近特に進歩の著しいエレクトロニクス関連技術の適用条件を調査・研究し，エレクトロニクスを活用した調査，計画，設計，施工及び維持保全の高度化システムについて，概念設計，技術開発課題の抽出による技術開発の展望を行うとともに，具体的な高度化システムの開発を行い，さらにその評価手法を開発し，建設技術の高度化のガイドラインとして体系化を図る等，建設技術の高度化のための研究・開発の成果をとりまとめたものである。

キーワード：建設事業，エレクトロニクス，高度化システム，技術開発，要素技術，評価手法，開発事例

郵便はがき

四十円切手をはって下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

企画部システム課　御中

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2711号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印