

建設事業における
施工新技術の現状と課題

平成元年 3 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
// 施工研究室

「Copyright © (1989) 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、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

建設事業における 施工新技術の現状と課題

先端技術開発研究官	青木佑久
機械施工部 部長	嶋津晃臣
システム課 課長	常田賢一
〃 研究員	桐山孝晴
機械研究室 室長	長健次
〃 主任研究員	村松敏光
施工研究室 室長	苗村正三
〃 研究員	小野寺誠一

要 旨

施工合理化に対する取組みはこれまでも長く続けられてきたが、最近ではロボット化やプレハブ化といった施工新技術を開発・導入しようとする例が多くみられるようになってきている。本資料はこれら施工新技術の現状と今後の開発課題等についてとりまとめたものである。

キーワード：施工合理化、施工新技術、ロボット化、プレハブ化

ま え が き

我国におけるこの10年間の労働生産性の伸びは、製造業では約2倍であるのに対して建設業ではほぼ横ばいになっている。建設労働者の年齢構成については、この10年間で50才以上が5割増しであるのに対して30才未満は半減しており、高齢化が進んでいる。また、労働災害による死亡発生率をみると建設業は製造業の約5倍であり、労働環境の改善が望まれている。一方、我国における社会資本整備に対する要望はますます多様化・高度化してきており、最近では特に海洋・地中といった新しい空間の開発が注目されつつある。

従来、建設事業においてはその公共性ゆえに新技術の導入に起因する失敗が許され難い、あるいは各々が単一受注工事のゆえに同種大量生産方式を採用し難い等の理由から、技術革新の面で他産業に比較して立ち遅れているのは否めない。

このような背景から、近年、建設業においても建設工事等の一層の効率化、省力化、高品質化、安全性の向上、作業環境の改善を図り、さらに人が近づき難い場所での工事等をも促進するため、他産業において普及の著しいロボット化、プレハブ化等の技術開発によって施工合理化技術の向上を図る機運が高まってきている。

さらに、現場施工合理化技術を普及・促進するためには、その技術の研究開発を積極的に進めるとともに、行政的な面からも計画・設計の段階から現場施工合理化技術に合わせた標準化・規格化を図って施工技術の開発を支援し、これを積極的に活用する方策を進めることが重要である。

建設省においては土木研究所と建築研究所が共同担当して、昭和58～62年度に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」の研究を行い、建設分野における自動化技術の現状と問題点、今後の方向等について検討を進めてきた。さらに昭和63年9月には建設技術開発会議施工合理化部会に専門部会を設け、建設事業における施工合理化技術開発の方向と方策を検討することになっている。

一方、土木学会では建設用ロボット委員会を設けてロボット化技術の検討を進めている。また、日本土木工業協会でも各種のロボット化部会を設けて、ロボット化とその技術開発について検討を進めている。その他数多くの民間建設会社の技術研究所等においても、建設工事の施工合理化を図るために鋭意、施工自動化技術の研究を進めている。

本資料は今後の建設事業における現場施工合理化技術の研究・開発を進めるための参考資料として、施工の自動化、ロボット化の現状についてこれまで各界において進められてきた調査・研究の概要を示し、合わせて施工新技術の今後の研究・開発課題等について取りまとめたものである。

先端技術開発研究官 青木 佑久

目 次

まえがき

1. 施工新技術とは	1
1.1 施工新技術の背景	1
1.2 施工新技術の分類	2
2. 施工の自動化・ロボット化の現状	3
2.1 建設省総合技術開発プロジェクトによる研究・開発	3
2.2 (社)土木学会による実態調査	9
2.3 (社)日本建設機械化協会による実態調査	13
2.4 (社)日本土木工業会によるトンネル工事の自動化・ロボット化の検討調査	18
2.5 国際建設ロボットシンポジウムにおける開発動向	22
3. 施工のプレハブ化の現状	25
3.1 プレハブ化の特徴	25
3.2 土木分野におけるプレハブ化	25
4. 施工新技術の研究・開発課題	30
4.1 研究・開発課題の分類	30
4.2 施工・工法面の課題	32
4.3 計画・設計面の課題	34
あとがき	38
参考文献	39
—参考資料—	41
資-1. 建設技術高度化システムの概念設計例	43
資-2. 土木研究所における最近の施工新技術の開発事例	77

1. 施工新技術とは

1.1 施工新技術の背景

我国の社会資本整備はこれまで精力的に進められてきたが、そのストック量は欧米先進諸国と比較すればまだ大きく遅れをとっており、今後ともより一層の社会資本整備が望まれている。また、来たるべき21世紀の成熟社会を展望するならば、社会資本に対するニーズは単に量的なものにとどまらず、より質の高いものが求められるようになるものと思われる。さらに、その事業領域は地中・海洋・宇宙といったニューフロンティアへと広がっていくことが予想され、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ており、今までとは異なる事業環境が作られようとしている。

こうした中で、我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張の課題への取組みを開始している。しかしながら、その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抱えていることも事実である。建設事業、特に土木事業では自然を相手にすることがほとんどであり、現場条件が複雑かつ個別的であるために工事毎に条件が異なるという特殊性を有している。このため、建設分野では他の産業に比べて労働災害が多く、また過酷な作業環境や不安定な雇用条件は若者の土木離れの大きな要因となっており、そのために作業員の高齢化や熟練技能工の不足といった問題が生じている。また、建設業は他産業と比べて経営規模の小さい零細企業が大多数を占めているため生産性が停滞気味であり、研究開発の投資もあまり活発でないのが実情である。

一方、世界のトップレベルにある我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。そしてメカニカルエンジニアリングとエレクトロニクスの両技術が融合したメカトロニクス化が急速に進み、電気機械製造業や自動車産業では産業用ロボットの開発・実用化が図られ、それが製造工程の合理化、品質の向上、コストの低減等に反映されている。

これに対して建設分野、特に土木分野では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、土木技術のメカトロ化は今後の課題となっている。また、建設事業は極めて多様性に富む自然を主要な対象とするため標準的・規格的な取扱いが困難とされており、さらに現在の建設作業は技能的な手作業を基本に組み立てられているのが現状である。

従って、建設分野において現在の作業形態を踏襲したままロボット化等の施工合理化を行うことには自ずと限界があり、自動化・ロボット化を前提として作業形態のあり方を見直すといった逆の視点からの取組みが必要となる。また、施工の合理化は単に施工作業のみを対象とするのではなく、施工方法にも係わりのある構造物の形態そのものにも目を向ける必要があり、自動化・ロボット化しやすい構造物の形態について考えることが必要である。さらに今後は社会資本ストックの増大に

伴い、維持管理の合理化を考えた構造形態や施工法も考えておく必要がある。

以上のように、現在は建設事業を取り巻く環境の変化及び内部からの変革への要請等により、新たな視点で建設事業、さらにはその推進の基盤となる技術開発の方向を見定める時期にきていると言える。つまり、今後の技術開発にあたっては従来からの取組みとともに、設計・施工・維持管理等の幅広い視点から新しい施工合理化技術の開発にも取り組んでいくことが必要である。

1.2 施工新技術の分類

現在の施工作業については前述のように様々な問題点が指摘されているが、その大きな要因は現在の施工形態が主に野外で行われ、かつ作業の多くを作業員の手作業に頼っているというところにあると思われる。すなわち雨、風、塵埃、高・低温、湿気等の影響を受ける野外の作業環境は厳しく、作業員に苦痛を与えるとともに品質管理を困難にしている。また、手作業に頼る部分が多いため作業員の熟練度による品質のばらつきや危険・苦渋作業が生じ、生産性の向上にも自ずと限界があることになる。

施工合理化に対する取組みはこれまでも精力的に続けられてきたが、最近では建設事業が抱えるこれらの問題点を解決すべく、ロボット化やプレハブ化といった視点からの施工新技術を開発・導入しようとする例が多くみられるようになってきている。ここで施工のロボット化というのはこれまで作業員が手作業で行っていた作業を自動化、無人化してロボットに代行させようとする合理化手法であり、作業員を危険・苦渋作業から解放するとともに、品質や生産性を向上させることを目的としている。一方、プレハブ化はこれまで架設位置で作られていた部材等を工場等の架設現場以外の場所であらかじめ製作しておこうとする合理化手法であり、品質管理を容易にするとともに現場での作業を簡略化することを目的としている。

施工合理化のための技術の対象分野は多様であるが、ここでは対象とする施工面での新技術を次のように分類・整理した。

- ①ロボット化……メカトロニクス技術による建設作業の自動化・無人化
- ②プレハブ化……構造物の構成部材・単位の既製品化
- ③その他………新材料の利用等

ここで、施工とは広義には新たに構造物を建設する場合だけでなく、維持管理における補修・修繕さらには更新のための施工も含むこととする。

なお、本文では上記の分類のうち施工合理化に密接な関係のあるロボット化及びプレハブ化について検討することとした。

2. 施工の自動化・ロボット化の現状

2.1 建設省総合技術開発プロジェクトによる研究・開発^{1)・2)}

建設省土木研究所では昭和58年度～62年度にかけて「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」と題して、エレクトロニクス関連技術の建設事業への適用に関する研究を行っている。ここではその中からエレクトロニクスと建設技術発展の歴史、建設分野におけるメカトロ技術の現状と問題点、建設技術高度化ニーズの抽出等について概述する。

(1) エレクトロニクスと建設技術の発展の歴史

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・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2.1はこれらの融合と複合化の流れを各時代の代表的新技术と対比して示したものである。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いることがわかる。

一方、我国における建設技術の進展では、明治以降において西欧の施工技術とともに建設機械も導入された。そして、戦後の復興期には大型機械施工技術が採用され、その後の高度成長期には機械化施工が定着するようになり、安定成長期に入った最近では施工の自動化も始まっている。また、設計作業のコンピュータ化やOA化を始めとする情報処理・管理のエレクトロニクス化についても、主に装置の低廉化によって普及が進んでいる。図2.1からは、情報処理・通信技術、計測・制御技術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発展の契機になっていることが読みとれる。

なお、情報処理・通信およびメカトロニクスの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。

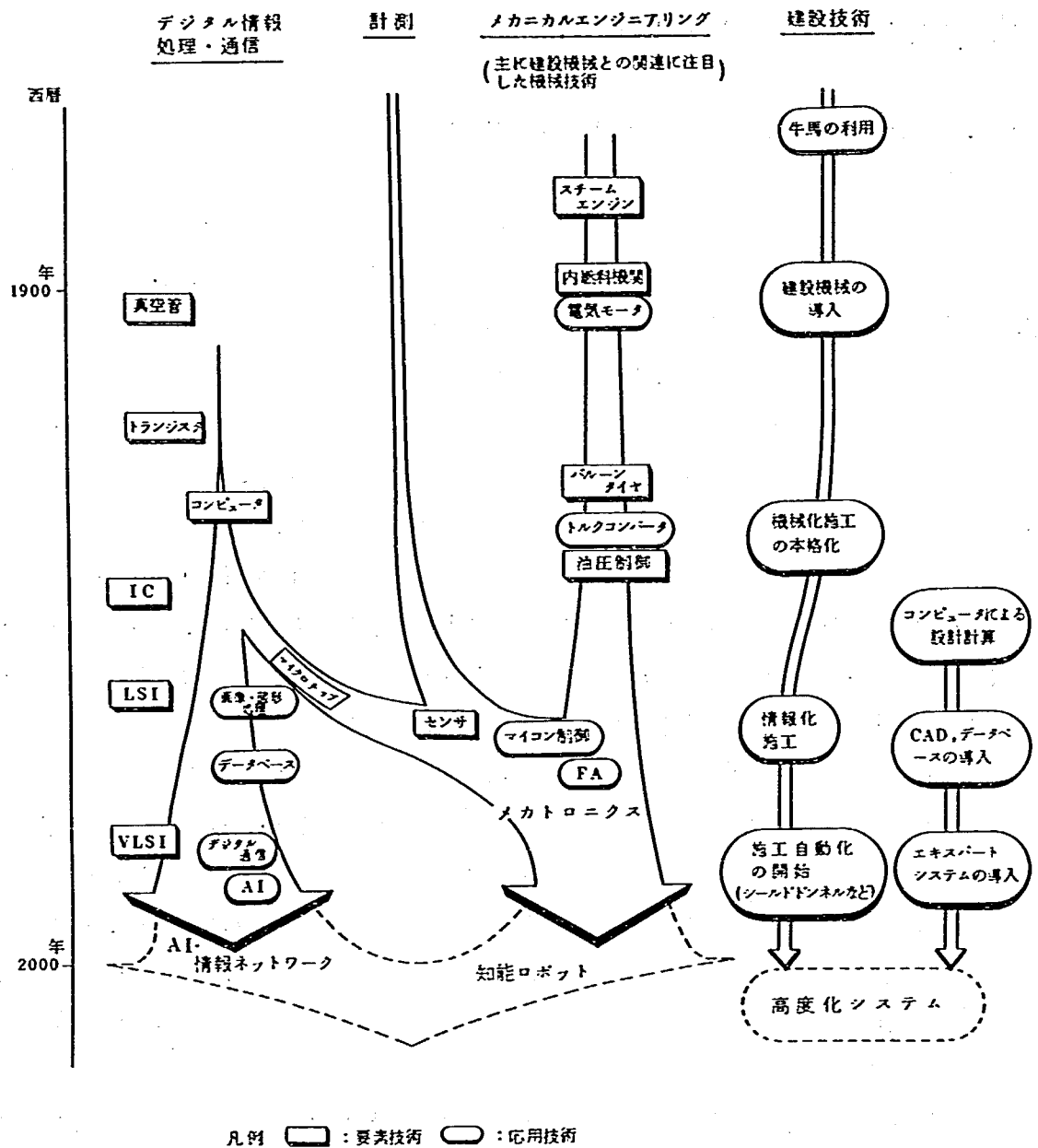


図2.1 エレクトロニクスとメカニカルエンジニアリングの融合と複合化

(2) 建設分野におけるメカトロ技術の現状

表2.1に示すように建設技術のメカトロ化の進展は次の3段階に分けられる。

- ① 人力の段階
- ② 単独の機械化の段階
- ③ 計測と作業の連携と自動化の段階

表2.1 メカトロニクス技術の段階

技術の段階 \ 分野	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 センサにより得られたデータの 自動解析処理	オペレータによる機械運転 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き 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	機械群による連携作業

現在のわが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みると、単独の機械化の段階にある技術が多い。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。例えば、油圧式パワーショベルではバケットの位置制御等にメカトロ技術が導入され、操作の簡易化が図られている。

一方、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みると、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、位置決めセンサ等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。同様の技術段階としてはシールド掘削機の位置制御等が挙げられる。また、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・排土装置等が実用化されている。

(3) メカトロ技術適用上の問題点

メカトロ技術を建設事業に適用する際の問題点は、次に示す技術上、経済上、制度・体制上の3つの視点から整理される。

①技術上の問題点

表2.2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解決すべき問題が非常に多く存在し、今後の開発が待たれている部分が多いことがわかる。

表2.2 建設用ロボット・産業用ロボットの比較

特 性 \ 種 別	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 ・塵埃大	・屋内主体 ・位置固定または固定ルート上移動 ・振動、騒音小 ・塵埃小
・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 ・mg 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

②経済上の問題点

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、環境条件が劣悪なためにコスト面で高くつくこと等の理由から、開発費用の回収が困難となりがちである点が挙げられる。従って、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、及びエレクトロニクス技術導入を積極的に図る必要のある分野（安全性の向上や物理的に不可能だった作業を可能にする必要のある分野等）が中心になるものと思われる。

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極めて多いため、技術開発あるいは技術導入に対して体制面及び制度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等が挙げられる。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) エレクトロニクスを用いた技術開発ニーズ

建設事業における潜在的な技術開発目的について、アンケート調査から得られた結果を工種別にまとめると次のようになる。

- ①土 工……安全性向上, 省エネ
- ②基礎・土留工……省エネ
- ③トンネル……技能工不足への対応, 安全性向上, 省力化
- ④鋼橋上部工……技能工不足への対応, 省力化
- ⑤舗 装……省資源

これを基に工種別、建設プロセス別により具体的な技術開発ニーズをまとめたものが表2.3である。

これらのニーズは機械関連と工法関連の技術に大別される。

- ・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, 作業ロボット等
- ・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, 自動化に伴う工法変化, 関連技術の開発等

(5) 建設技術高度化システムの概念設計

エレクトロニクス技術を利用した建設技術高度化システムの具体的なイメージの創出及び開発課題の抽出を行うために、代表的な工種・工程について概念設計をしている。これについて特に建設技術の自動化、ロボット化の視点から整理したものを参考資料-1に示す。

(6) 建設技術高度化の技術開発事例

本プロジェクトにおいて建設技術高度化のための具体的な技術開発を実施した。詳細は参考資料-2.1に示す。

表2.3 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

建設 プロセス		区分	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 of 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 of 自動化		
		施工	・深礎杭の施工 of 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 of 自動化 ・NATMの内空変位計測 of 自動化	・切端先端箇所地質の判別方法の開発	
		施工	・崩積み、搬出 of 自動化 ・発破・装薬 of 自動化 ・コンクリート吹付け of 自動化 ・小断面シールド機 of 自動化 ・セグメントの搬入、組立 of 自動化		
			・覆工点検 of 自動化		
	ダム	計測	・コア材含水比測定 of 自動化 ・締固め作業・締固め度測定 of 自動化		
		施工	・型枠移動、建込み of 自動化 ・岩盤清掃作業、グリーンカット of 自動化 ・コア材水分調整 of 自動化		
	橋	施工	・鋼橋塗装 of 自動化		
	梁	維持管理	・点検の遠隔コントロール化、迅速化 ・鋼橋塗装 of 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 ・現場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 of 自動化 ・作業船位置出し・誘導測定 of 自動化		
		施工	・水中発破 of 自動化 ・水中整地、捨石仕上げ作業 of 自動化		
	道路舗装	施工	・締固め度測定 of 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 of 自動化 ・足場の組立・解体作業 of 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		

2.2 (社)土木学会による実態調査³⁾

(社)土木学会建設用ロボット委員会は昭和62年に「自動化・ロボット化の現状調査」と題して、15の企業・団体（主にゼネコン・官庁）を対象として建設工事のロボット化の現状について調査している。当調査では報告のあった合計133件の開発事例について整理を行っているが、その概要は以下の通りである。

1) 開発体制

自社開発と共同開発が半々である。共同開発の場合も全額自社負担の例が多いことから施工者側主導型の開発体制であることがわかる。

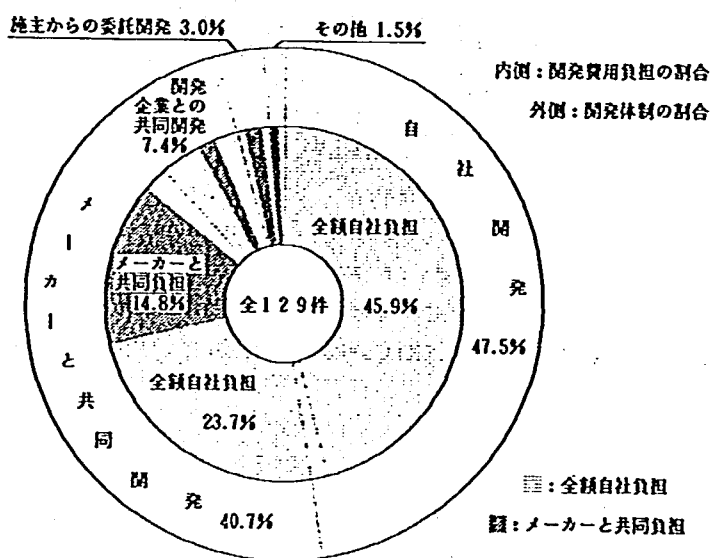


図2.2 開発体制と費用負担の割合

2) 開発時期

ロボットの大半がここ数年の内に開発されたものである。また、多くが実用化、現場採用の段階に達している。

表2.4 自動化・ロボット化の開発時期表

項目	回答数	比率 (%)
現在進行中	46	35
1984～1986	40	30
1980～1983	35	26
1979以前	9	7

2.5 自動化・ロボット化の段階

項目	回答数	比率 (%)
開発完了、現場採用	56	42
実用化に入った段階	24	18
試用の段階	23	17
試作の段階	18	14
開発完了、不採用	8	6

3) 対象工種

トンネル工が最も多く、約1/3を占めている。

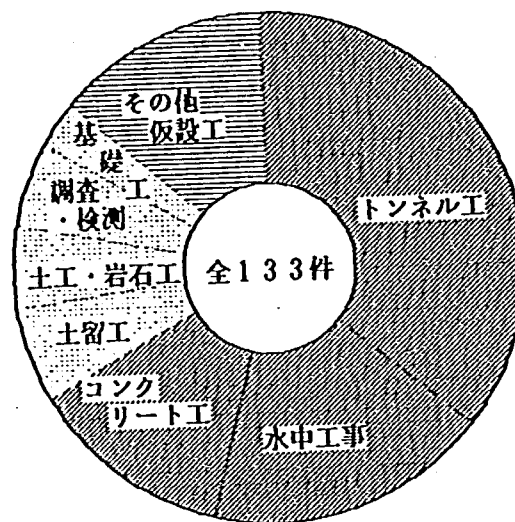


図2.3 工種別内訳

4) 作業内容

個々の作業のみを対象とする単体機械の自動化から工事全体を支援するシステムの自動化が要求されるようになってきていると考えられる。

表2.6 作業内容 (測量)

項 目	回答数	(%)
位 置 出 し	15	11
位置出し・位置決め	49	41
形状 (出来形等)	26	20

表2.7 作業内容 (施工)

項 目	回答数	(%)
施 工 シ ス テ ム	31	23
掘 削 ・ 削 孔	30	23
コンクリート等打設	21	16

5) 自動化レベル

業務への適用性を確認しつつ半自動から全自動に移行しつつあるといえる。

表2.8 自動化・ロボット化のレベル

項 目	回答数	比率 (%)
全 自 動 運 転	49	37
半 (一部) 自動	48	36
計測のみ自動	25	18
リモコン操作	12	9

6) 開発目的

開発のねらいとして高い順に示すと次の通りである。省力化が最も高い評価を示している。

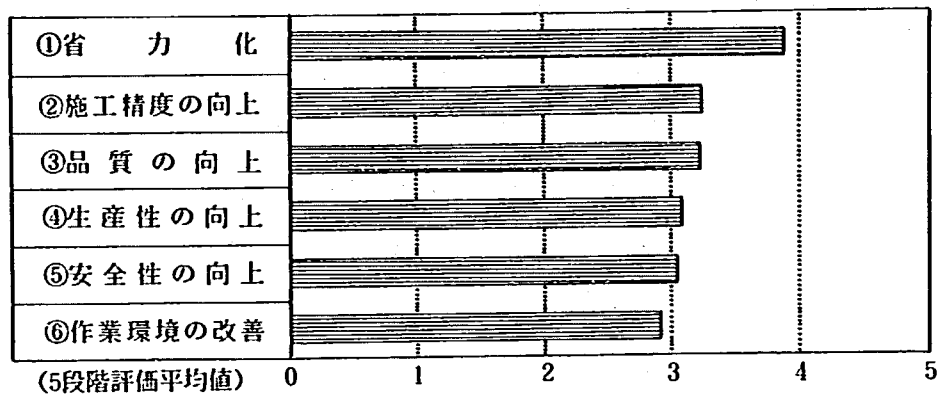


図2.4 開発のねらい（上位6項目）

7) メリット・デメリット

図2.5はメリットとデメリットで5段階評価の5と4の評価をした各項目別累積件数分布図である。6)で挙げられた開発目的が達成されている反面、専門技術者やエネルギーが増加してコストアップになっていることがわかる。

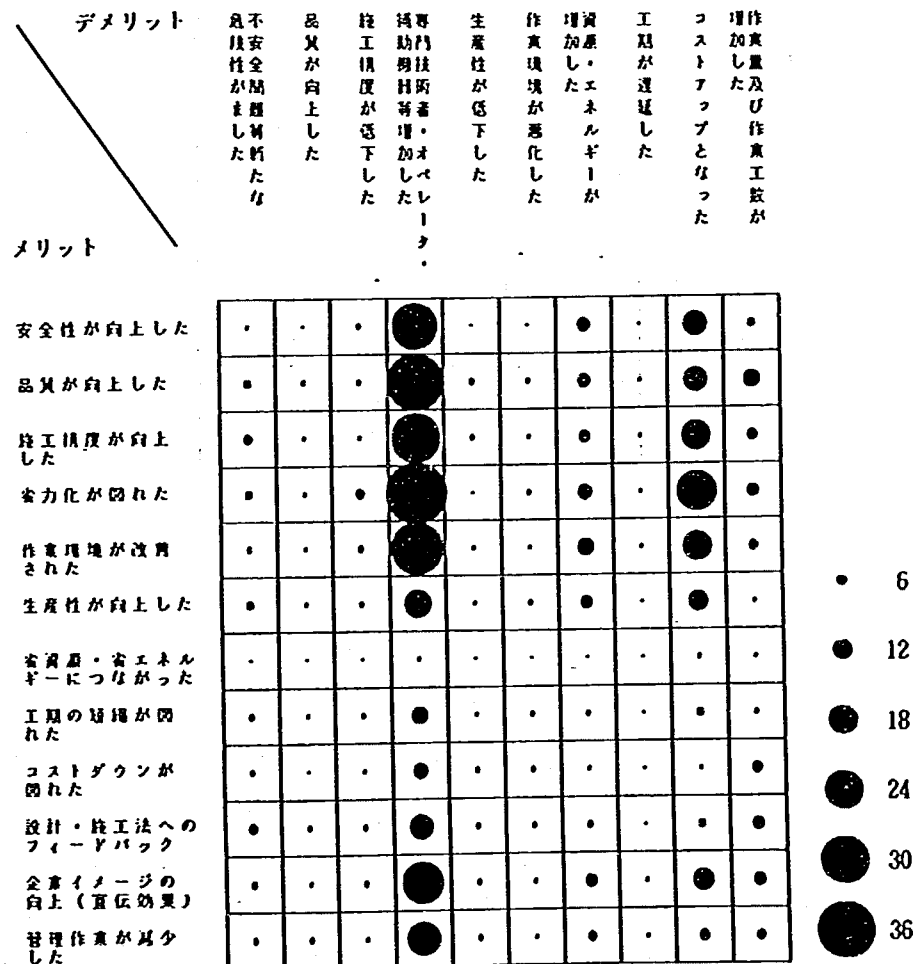


図2.5 メリット・デメリット

8) 阻害要因・開発課題

阻害要因は開発費用に関するものが最も多く、積算、要素技術がこれに続いている。開発課題は阻害要因に対応した内容になっている。

表2.9 自動化・ロボット化の阻害要因

項 目	回答数	比率 (%)
開 発 費 用	43	32
開発費用の回収	36	27
積 算 組 込 み	21	16
要 素 技 術	20	15
稼 動 率	19	14
そ の 他	126	—

表2.10 自動化・ロボット化の開発課題

項 目	回答数	比率 (%)
要素技術の開発	39	29
積算への反映	34	26
開発費用対策	31	23
施工方法の改善	20	15
評価方法の確立	19	14
そ の 他	36	—

2.3 (社)日本建設機械化協会による実態調査¹⁾

(社)日本建設機械化協会は昭和63年に「建設機械自動化アンケート調査」と題して、協会員の中から任意の439社(官庁関係12所、建設業65社、製造業322社、その他40社)を対象として建設機械の自動化について調査している。当調査では表2.12に示す合計133件の開発事例について整理を行っているが、その概要は以下の通りである。

1) 開発体制

全体の54%が共同開発である。水中工事、クレーン、ダム工事関係に共同開発が多く、基礎・土留工事・舗装工事関係に自社開発が多い。開発費用との関係では、5千万円を超えるものは共同開発が多く、それ以下のものは自社開発のものが多く見受けられる。

2) 開発時期

昭和60年以降急速に増えていることがわかる。

(調査が行われたのが63年2月のため、63年は少なくなっている。)

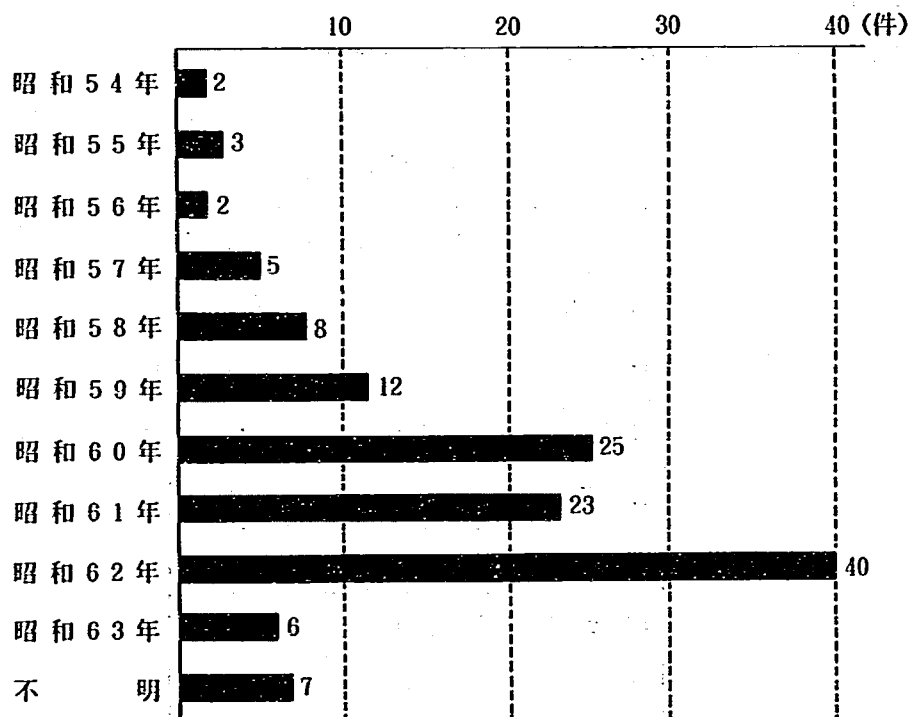


図2.6 開発年別分布

3) 対象工種

ここではシールド工とトンネル工が分けられているが、2つを合わせると32件で全体の約1/4を占め、最も多くなる。

建築工事用……24件（床仕上げ、壁面診断、塗装・吹付等）
 一般土木工事用……17件（油圧ショベル、鉄筋組立等）
 シールド工事用……17件（自動制御、管理・測定、セグメント組立等）
 トンネル工事用……15件（コンクリート吹付、削孔、断面測定等）
 海上・水中工事用……10件（水中掘削、骨材敷ならし、海底調査等）
 ダム工事用……9件（コンクリート運搬、ケーブルクレーン等）
 舗装工事用……7件（アスファルト・F、ロードヒータ車等）
 クレーン関係……7件（クレーンの運転・安全、玉掛具はずし等）
 基礎・土留工事用……6件（連続壁、基礎杭、ケーソン用ショベル等）
 その他……21件（コンクリート機械、下水管用機械等）

4) 開発目的

主たる開発目的では省力化、性能向上が上位にある。

表2.11 開発目的

項 目	主たる目的	従たる目的
省 力 化	26件	56件
性 能 向 上	22件	51件
安 全 性 向 上	14件	62件
作業環境改善	14件	56件
操作の容易化	13件	59件
精 度 向 上	12件	51件
無 人 化	11件	36件
施工費低減	8件	47件
省工・省資源	3件	7件

5) 問題点

問題点としてはコスト高、取扱い（操作・保守）困難、自重量、騒音、耐環境性、支援機構・熟練者の必要性等が指摘されている。

表2.12 工種別一覧表

番号	機械または装置名称	概 略 内 容	(注) 自動化の目的										共同 開発 年	問題点など
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

(トンネル機械)

1	コンクリート吹付ロボット	吹付ノズル角度・距離が自由に変わる	○										59	製造 故障、保守に難、作業範囲小
2	コンクリート吹付ロボット	壁面に常に直角一定距離を保つノズルの動き	●	○	○	○							60	自社
3	自動削孔、5連ジャンボ機	コンピュータによる自動削孔岩質で出力変わる	○	○	○	○	●			○	○		57	自社 重量大
4	NATM 用セグメントエレクタ	トンネル用のセグメント組立機			●								62	位置設定操作に難
5	NATM 吹付機械製作の自動化	吹付機と急結剤配合量調整の遠隔操作		○		●	○						63	自社
6	トンネル用防水シート貼り装置	防水シート貼り溶着する機械	○	○	○	●	○						58	自社 コスト高
7	吹付コンクリート形成装置	従来の吹付材を壁面に塗付けける方法の装置	○			○	○						62	建設 余廻りの大きい場合不利
8	トンネル断面測定装置	トンネル断面積の自動測定、データから作図					○	●					59	製造
9	支保工組立ロボット	支保工組立機械、均等把握、センサの開発が特徴				●	○						58	自社 センサの消耗大
10	NATM 吹付ロボット	動作点にマイクロスイッチ付、固定シーケンス	●	○			○	○					55	製造 粉塵リバウンド減少させる
11	自動換気システム	ガス・粉じんセンサにより動員角・回転数変化	●								○		62	製造 コスト高
12	自動さく岩機	ティーチングにより全自動さく岩機		○	○	○	○	○	○	○	○		58	製造 長時間エンコーダに誤差
13	トンネル内空断面測定機	トンネル断面の自動測定					○	●					59	
14	ロボットジャンボ	トンネル切羽の削孔自動化	○	○	○	○	○	○	○	○	○			湿度・粉塵対策
15	動員可変ピッチコントラフン	ガス粉じんセンサの信号により省エネ自動運転	●	○	○									建設

(ダム機械)

1	全自動コンクリート運搬機	パンカー線コンクリート運搬の自動化					○	○			○	○	61	製造 ケーブル切断 部品摩耗
2	グリーンカット車の自動運転	コンクリートの表面処理自動化、Water Jet						○	●				60	自社
3	ダムコンクリート自動打設 SY	パンカーから堤体までケーブルクレーンの自動化	○	○	○						○		60	建設
4	トランスファー車自動運転	パッチャPからケーブルクレーンまで自動運搬	○	○					●				62	製造
5	コンクリート自動運搬 SY	パッチャPからケーブルクレーンまで自動運搬	○	○					○	○			58	製造 ナイクルタイムがやや長い
6	ケーブルクレーン主索自動調整	軌道式ケーブルクレーンの主索の自動調整、記録	○	○	○				○	○			60	製造 ナージュ、ノイズ対策(バツ)
7	コンクリート運搬インクラ自動化	パッチャPから堤体までのコンクリート運搬	○	○	○					○	○		59	製造
8	自昇式ダム型枠	堤体型枠を段型→上昇→組立の自動化	○	○	○						○		62	自社 リフト
9	パンカー線の自動化	パッチャP～ケーブルクレーンまで運搬自動化	○	○					○				62	

(シールド機械)

1	セグメント自動組立ロボ	セグメントの搬送、組立、ボルト締付自動化	○	○	○								62	自社 機構が複雑
2	シールド用、資材搬送装置	セグメント外周をプラスチックシートで保護		○		●							62	建設 曲線進行に工夫
3	全自動、泥水式推進機	OAMS/A 運転、方向修正の自動化	○	○	○				○	○			56	自社
4	シールド機の自動掘削管理 SY	データ記録、フィードバック、保存、表示、給	○	○	○								57	自社 コスト高
5	シールド機、方向自動制御 SY	方向、位置の計測、計算、ジャッキ選択、方向予測	○	○	○				○	○	○		62	製造 土質別データフィードバック
6	セグメント自動組立ロボ	セグメントの搬送、組立、ボルト締付までの自動化	○	○					○	○			60	自社 コスト高
7	小口徑推進機位置自動表示	現在位置と予測位置を CRT に表示	○	○					○	○			61	自社
8	線形自動追従トンネル推進機	現在位置と予測位置を演算、修正ジャッキを選択	○	○					○	○	○		60	自社 土質変化に対応が遅れる
9	ジャイロによるシールド自動制御	ジャイロによる測定結果を演算ジャッキを選択	○	○					○	○	○		62	試験
10	ジャイロによる位置、姿勢制御	シールド機的位置、姿勢を CRT に表示	○	○					○	○	○		60	製造
11	トンネル、自動計測 SY	シールド機的位置、姿勢がリアルタイムで表示	○	○					○	○	○		61	取り扱いの改善
12	シールド自動化 SY	レーザトランシット、光検計で位置計測、指示	○	○					○	○	○		62	急曲線に対応
13	推進機自動制御 (TOMAC)	推進機的位置姿勢検出計測に沿うジャッキの選択	○	○					○	○	○			製造 小型化に改善
14	小口徑用リモコン、シールド	レーザ、モニターで位置確認、遠隔操作	○	○					○	○	○		56	製造 ケーブルの紐き換えに難
15	シールド自動掘削管理 SY	測量、運転、データ、添加剤、表示管理の自動化	○	○	○	○	○	○	○	○	○		58	自社 コスト高、ノンテ、センサ
16	シールド機自動掘削													
17	セグメント自動組立エレクタ	セグメントの供給から組立まで高精度に制御	○	○					○	○			61	建設 センサが十分でない

(基礎・土留機械)

1	連立用コンクリート打設ロボ	打設天端計測トレミ管の調整を自動コントロール	○	○					○	○			62	電力 バラノータ工夫、品質比較
2	オーガ用ウィンチ定速自動制御	オーガの巻き上げ速度をマイコンで定速制御		○					○	○			62	自社
3	連立掘削機自動制御 SY	厚壁掘削、計測、記録、保持、姿勢修正、運転自動化	○	○					○	○			61	自社 オペレータの養成
4	ケーソン掘削ショベルのテレコ	ケーソン掘削用ショベルの出入外検知	○	○					○	○			62	自社 コスト高、生産は不利
5	アンカーレス、マンドレル工法	ドレン材の共上り防止、ドレン材の自動切断装置	○	○	○	○	○	○	○	○	○		60	自社
6	長大連立掘削自動制御 SY	姿勢制御、運転の自動化、データ記録・表示	○	○					○	○			61	自社 振動に弱い

(土工一般機械)

1	バッテリー無人運転	前後監視センサにより地上モニターで監視する		○							○	○	60	自社 急曲線 R=60m まで
2	鉄筋配筋 (組立) ロボ	重量鉄筋の配筋をするロボット		○							○	○	59	電力
3	ミニバックホウの自動発回装置	設定位置で滑らかに自動停止する	○	○									61	自社
4	油圧ショベル自動法面掘削機	法面、水平掘削など設定掘削角度を保持する	○	○									62	自社 動作の再現性を速める
5	油圧ショベルバケット角度制御	設定された角度でバケット動作を一定に保持する	○	○									62	自社
6	油圧ショベルの無縁発掘装置	油圧ショベルの遠隔運転	○	○									60	自社 細かい操作に不向き
7	コーナパワージョベル	引溝、垂直掘り等定動作特殊掘削	○	○									61	自社

表2.12 工種別一覧表

番号	機械または装置名称	概 略 内 容	(注) 自動化の目的										共同 開発	問 題 点 な ど
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
【土木一般機械】														
8	無人ダンプ運行 SY	予定経路で無人運行する	○	○						○	○		計画	
9	ブルドーザの自動運転	均平作業の自動化運転		●						○	○		63 官庁 試映中	
10	法面自動掘削 SY	P・S で法面を自動掘削する		●						○			自社 試映中	
11	モータグレーダ自動ブレード	絶対平面のレーザ光線を受けブレード自動調整		○						○	○		55 自社 マーケットが少ない	
12	鉄筋自動組立クレーン	クレーン・アーム自動操作により配筋 (150kg)	○	○						●			60 製造 対象物変化大、高度技術要	
13	路盤締め固め管理ロボ	ローラ位置の自動計測と電磁法による締め固め、管理	○							○	○		62 自社 試映中	
14	建設作業用万能ロボ	油圧ショベルのアームを多目的に利用する								○	○		62 製造 把握力に限度	
15	無人パッテリコ	小断面トンネル等で無人運転する	○							○	○		62 製造	
16	掘削深さ自動測定機	掘削深さの自動測定と警報装置								○	○		60 製造 取付方法の工夫要す	
17	地滑り自動検知 SY	自動光波距離計、傾角係、反射プリズム三次元測定	○							○	○		59 製造 気象条件に左右される	
【建築用機械】														
1	型枠断ロボ	劣化、浮きん、剥離、割れ等の程度判断と位置データ								○	○		62 製造 試映中、重い、メンテ圧付	
2	ブレーシングクレーン	デスクリビュータ用クレーン、先端自在に移動		●						○	○		60 製造 コスト高	
3	自律走行床作業ロボ	回転式コチにより平滑で密な床面を仕上げる	○	○						○	○		62 製造 ロボ周辺技術の開発	
4	コンクリート床仕上げロボ	ジャイロによる自立法設置、障害物回避								○	○		61	
5	タイル剥離検知ロボ	壁面自由移動、位置、深さデータ記録 CRT に								○	○		61 自社	
6	型、切断 WATER-JET カッター	WATER-JET ノズル 4 軸自由度による操作	○	○						○	○		63 建設 機器のコンパクト化急務	
7	天井ボード貼りロボ	位置決め、保持 (釘打ちは手)	○	○						○	○		62 自社 試映中、小型軽量、能力 UP	
8	床仕上げ多機能ロボ	内装工事複数作業ロボ、ケレン、清掃、仕上げ	○	○						○	○		60 自社 試映、軽量化ケレン能力 UP	
9	鉄骨建て方ロボ	大はり昇降機構、水平移動、無軌道走行	○	○						○	○		60 自社 スパン、形状の汎用性	
10	ベランダ手摺り外面次付けロボ	手摺りをガイドとする	○	○						○	○		61 自社	
11	コンクリート床仕上げ左官ロボ	無軌道走行、障害物用センサ	○	○						○	○		62 自社 軽量、小型化、汎用性	
12	壁面自動目視らし機	エアハンマによる打撃、強度調整	○	○						○	○		59 自社 粉塵、騒音対策	
13	外壁自動次付け装置	ワイヤロープ懸架、無軌道走行	○	○						○	○		62 自社 試映中	
14	耐火被覆材次付けロボ	半流式耐火被覆材次付け	○	○						○	○		61 製造 操作に難度あり	
15	超高層ビル外壁塗装ロボ	外壁塗装ロボットフレッシュ								○	○		63 自社	
16	タイル剥離検知ロボ	セルフクライマツリ下式、打音解析 深さ 60cm 迄	○	○						○	○		59 自社	
17	ユニット鉄筋自動加工装置	現場鉄筋組立率化のため工場ユニット組立て	○	○						○	○		60 製造 水平度調整に難	
18	コンディスクレーン	デスクリビュータ付きクレーン、自動位置決め	○	○						○	○		58 製造 終了時屑清掃洗浄水処理	
19	水平デスクリビュータ	4 関節ブーム障害物をよけ簡単操作で打設位置に	○	○						○	○		58 製造 軽量化、設置の容易化	
20	コンクリート床自動仕上げ機	走行パターン設定、自動運転とラジコンによる	○	○						○	○		61 製造	
21	外壁自動調査機	壁面に真空吸着、無軌道、振動電極用放データ解析	○	○						○	○		58 製造	
22	型、床切断 WATER-JET CUTTER	カッターキャッチから切断、廃水回収まで自動化	○	○						○	○		63 試映中	
23	床仕上げ左官ロボ	軌道設定パソコンで軌道選択レーザ光で位置確認	○	○						○	○		62 建設 コンクリート硬化時間判断	
24	自動制御ブレーシングクレーン	レバー一本でブーム先端が自由に移動	○	○						○	○			
【海上機械】														
1	クラブバケット水平掘削装置	しゅんせつ用バケット深度、開口、水平移動自動化								○	○		62 製造	
2	海底調査潜水機 (RECUS)	海底地盤調査作業ロボ		●						○	○		54 官庁	
3	水中捨石ならし機	レーキ、ローラ、自動レベル調整		○						○	○		57 建設	
4	捨石ならし機	レーキ、ローラ、自動レベル調整機	○	○						○	○		57 製造	
5	しゅんせつロボ	全水没型、歩行、レベル、運転制御自動、監視 SY	○	○						○	○		62 電験 試映中	
6	水中排砂ロボ	水中サンドポンプ自走台車、土砂濃度 20% まで	○	○						○	○		59 電力 ヘドロ対策地上で脱水分離	
7	水中土工機 (バックホウ)	水中カメラと各種センサで船上 CRTV アニメ表示								○	○		61 支援機構の開発必要	
8	船位自動計測 SY	レーザ光とジャイロにより目標に自動追尾	○	○						○	○		62 製造	
9	しゅんせつ船運監視 SY	物理センサで船位、潮流、吸入、吐出、泥量 CRT に	○	○						○	○		59 製造	
10	航砂自動施工 SY	航砂時の操船管理の自動化	○	○						○	○		61 製造	
【舗装機械】														
1	アスファルト・F 自動操行	レーザ光による直線操行の自動化								○	○		61 自社	
2	ロードヒータ車の遠隔操作	サーフェス、リサイクリング用ロードヒータ	○	○						○	○		60 自社	
3	アスファルト・F の遠隔操作	多チャンネル汎用無軌道操作	○	○						○	○		60 自社	
4	舗装片型枠の移動キャタ	既型→運搬→組立自動省力化								○	○		62 自社	
5	コンクリート縦仕上げ機	高さ調整をサーボモータで高精度に								○	○		62 自社	
6	振動ローラ自動制御装置	振動ローラの操作自動化	○	○						○	○		62 自社	
7	アスファルト・F の自動運転	材料受けから全操作の自動運転	○	○						○	○		60 熟練者必要、電柱等障害物	

表2.12 工種別一覧表

番号	機械または装置名称	概 略 内 容	(注) 自動化の目的										共同 開発 年	問 題 点 など
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
【クレーン関係】														
1	ジブクレーンの自動運転 SY	118 ポイントの位置設定、高速、高精度運転	○				●						63	試験中
2	クレーンの安全装置	ケーソンの急激沈下でクレーンにかかる荷重を低減	○	○	○								62	製造
3	自動、玉掛けはずし装置	索等の玉掛け具を無線操作ではずす	○	○	○		○			○			60	製造
4	クレーンブーム接近警報装置	モニタにセンサ値をつけブーム接近でオベに警報	○	○	○								61	製造 電波障害
5	クレーンブーム高さ警報装置	ワイヤ、ブーム角度センサによりオベ警報	○	○	○								62	製造
6	自動給圧クラム付天井クレーン	焼却炉へ投入用、天井クレーン自動運転	●	○			○		○	○			60	製造 ノイズ、センサ故障
7	タワークレーンの自動運転 SY	目標指示、組込みデータにより自動運転	○	●	○					○			60	自社 試験中
【コンクリート機械】														
1	大型全自動パッチャP	計量はロードセル→記録保持	○	○	○	○	○		○				62	自社
2	小型全自動パッチャP	ミキシングPと制粒機を分離、遠隔操作	○	○	○	○	○		○				61	自社 データ処理集中管理検討
3	ダイワ・テレコン	コンクリートポンプ車無線遠隔操作	○	○	○				○	○			55	建設
【共通機械】														
1	鉄筋自動整理機	加工用鉄筋を加工機に整列供給	○	○	○	○	○		○				62	自社
2	ナイロ自動ライニング SY	ナイロ内型にライニング材を塗膜する機械	○		○				○				60	民間
3	型枠のクレーン、検収、整理 SY	型枠材の清掃、検収、積み重ねの自動機	○								○		61	自社 オペレータ不足
【下水管用装置】														
1	管更生機	下水管途中に枝管取付け孔を遠隔操作であける	○	○	○	○	○		○	○			62	自社 小口径、白り管は不利
2	管内自動測定機	管の白がり、枝管位置、方向等自動測定、記録	○	○	○	○	○		○	○			62	自社 小口径、白り管は不利
3	下水管更生機	老朽管を破砕、新管に置き換える、遠隔操作	○	○	○	○	○		○	○			62	自社 試験中
【各種機械】														
1	無人運転排水ポンプ	降雨量と水位を検知ポンプ台数、回転数自動選択	○	○						○	○	○	61	製造 運転・故障記録必要
2	圧力自動調整、送水ポンプ	消火栓等圧力を常に一定に送水する	○	○						○	○	○	54	官庁 風向、風速でバラツキあり
3	冷却水の熱交換と再循環 SY	エンジンの冷却水を熱交換冷却、再度利用する	○	○						○	○	○	62	製造
4	大型排水ポンプ自動運転 SY	降雨量、水位を検知ポンプ能力を選択する	○	○						○	○	○	57	官庁 起動、停止回数に問題
5	クリーンルーム検査ロボ	ワーク、清浄度測定、機器の移動、データ記録	○	○						○	○	○	61	製造 重い、追跡マーク設置頻度
6	型枠位置計測 SY	コンクリート型枠位置計測、図化出力	○	○						○	○	○	62	自社 雨天野外使用に問題
7	自動濁水処理 SY	コンパクト化運搬器へ付属素子、薬品投入自動	○	○					○				59	自社 試験中
8	長大柱塗装ロボ	尺とり式昇降、プログラマブルコントローラ	○	○						○	○	○	60	自社 オペレータの養成
9	アンカープレート自動装着機	ドレン材先端に共上り防止アンカーを自動取付け	○	○					○	○			61	製造 コスト高
10	移動式マニプレータ	原子力施設解体用、移動車、マニプレータ、TVカメラ	○	○						○	○	○	60	製造 操作に難、ケーブル処理
11	クリーンルーム測定機自動搬送車	測定機器の移動、遠隔操作または電磁誘導方式	○	○						○	○	○	59	建設 視野に死角あり
12	クリーンルーム内検査ロボ	自動位置検出、ワーク等の自動計測	○	○						○	○	○	61	自社 試験、取扱い簡素、荷目

(注) 自動化の目的 1. 作業環境改善 2. 操作の容易化 3. 安全性向上 4. 施工費低減 5. 性能向上
6. 精度向上 7. 省力化 8. 無人化 9. 省エネ化 10. 省資源
● 主たる目的 ○ 従たる目的

2.4 (社)日本土木工業協会によるトンネル工事の自動化・ロボット化の検討調査

前節までは施工の自動化、ロボット化の全体的な実態に関するものであったが、工種別にみた場合、トンネル工事に最も多くの事例がみられた。トンネル工事の自動化・ロボット化については、(社)日本土木工業会の土木工事技術委員会の2専門部会(建設工事ロボット化ビジョン研究専門部会、危険・苦渋作業ロボット化専門部会)が、各々昭和63年3月に報告書を取りまとめている。以下にその概要を示す。

(1) 建設工事ロボット化ビジョン検討(大深度シールド工法のロボット化)⁵⁾

本報告書はまず地下利用の将来ビジョンを検討することから始まり、そのために必要な建設技術としてシールドトンネルが不可欠であることを述べている。続いてシールド工法と大深度シールド工事の現状、シールド工法の自動化・ロボット化の現状と課題について整理を行い、最後に国家規模の将来的プロジェクトのケーススタディとして東京市街地再開発計画に関する検討を行っている。ここではその中からシールド工法の自動化・ロボット化の現状と今後の課題について示す。

1) シールド工法の自動化・ロボット化の現状

シールドトンネル工事は立坑、一次履工、二次履工の3工種作業に分けられるが、一般に一次履工を指してシールド工と称されている。図2.7にシールド工(一次履工)の作業構成とそれに対応した自動化システムを示す。

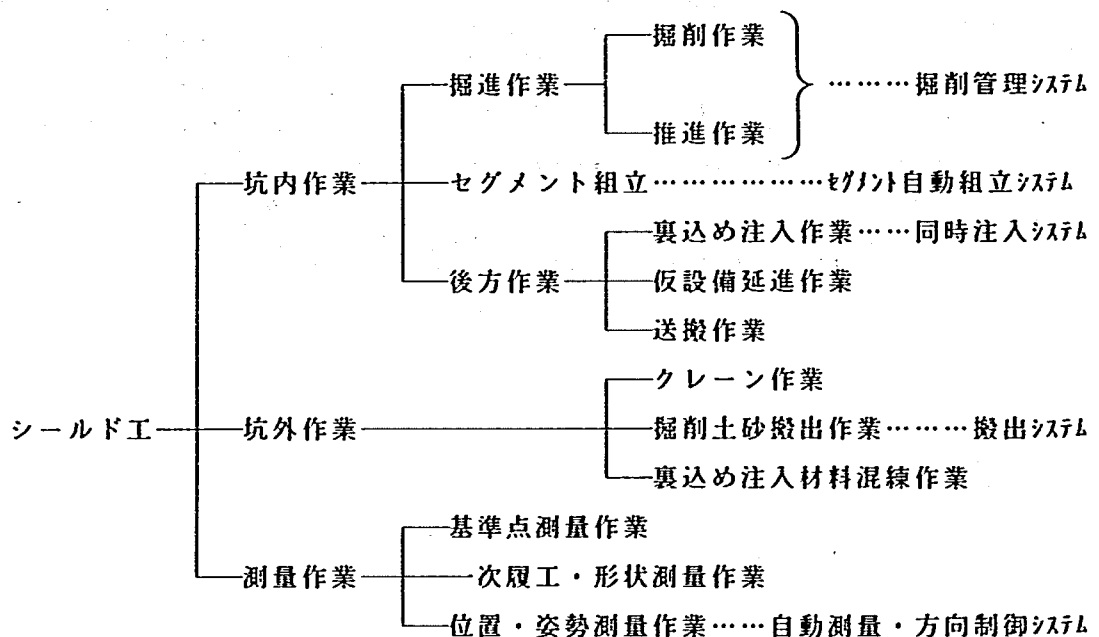


図2.7 シールド工の概略作業構成及び自動化システム

各システムの現状は次のように整理されている。

①掘削管理システム

密閉型シールドでは切羽面に作用する泥水や泥土の性状、泥水圧あるいは掘削土量等を測定し、その結果を目標管理値と比較して切羽面の崩壊防止に対処するという一連の作業がシステム化され、中央監視盤による遠隔操作によって作業が進められ、かなりの部分について自動化されている。

②セグメント自動組立システム

セグメント組立作業は一般に人手を介して行っているのが現状であり、早急にセグメント自動組立装置が開発されて実用化されることが望まれている。現在の研究開発状況は、標準セグメントについて試作装置が製作されて実験が行われているところであるが、近年中に実工事に採用されると考えられる。セグメント自動組立システムの例としてはさし込み型（セグメント外径1500mm，1リング組立時間5.5分），ピン結合（同3156mm，20分），ボルト結合（同3550mm，25分）がある。

③自動裏込め注入システム

自動裏込め注入システムは中央制御による掘削管理システムの1単位として組込まれることが多い。自動化については材料混合、供給から注入までの全作業が完全に一貫して自動化された例はないが、作業毎の自動化はかなり進んでいる。

④掘削土砂搬出システム

泥水式シールド工法では水流方式が採用されており、搬出システムとしては一般的に完成度が高く、掘削管理システムの1単位として位置付けられる。自動化にはまだ十分至っていないが、今後全体的なシステムの進歩とともに開発が進むと考えられる。土圧式シールドにおいては一般に鋼車方式、水流方式、ポンプ圧送方式の3種の方式を用いることが多いが、自動化の例は少ない。

⑤自動測量・方向制御システム

位置計測は一般に光学測量やレーザ測量が広く使用されており、方位計測にはこれらに加えジャイロスコープ、地磁気方位計等が使用されている。自動化については種々の測量方法が考えられており、既に実用段階に達したものもあるが、現実にはまだ人力による補助的な測量を必要とする場合が多い。方向制御はシールドジャッキの中から推進に使用するジャッキを選択して、ストローク調整によりシールド機に旋回モーメントを与えることで行われる。

2) シールド工法の自動化・ロボット化に対する今後の研究開発課題

現在、シールド工法を代表する泥水加圧、土圧系密閉型シールドは、他の分野に比して自動化・ロボット化は進み、特に掘削・推進作業においてはその自動化率も高い。しかし、シールド工法の全体システムを見た場合、その自動化・ロボット化には各作業項目及びシステムにおいて多くの問題を残しており、今後の開発が待たれている。具体的には次のような例を挙げている。

①仮設備延伸作業

各種の作業整理・標準化を行い、タイヤ式システムの導入及び多機能ロボットの開発が課題である。

②搬送作業

バッテリーカー等の無人搬送システムはトータル的なコスト面で導入が遅れている。その他、セグメント台車との関係におけるエクレーへの移送設備及び重量物に対する安全運行対策が課題である。

③測量作業

基準点測量に関しては地上からセンサ等を埋め込んで支援する方法等が考えられるが、高精度のセンサ開発が必要となる。一方、履工形状測量については現状トンネル断面測定機の開発が進み、その応用が可能と思われる。

④泥水循環、送排泥システム

泥水物性・管理の自動化及び異常時対応対策は切羽安定と関係して重要な課題である。

⑤セグメントの自動組立システム

セグメント自動組立システムの完成にはシステムの検討に加え、セグメントの改良及びトンネル断面やセグメント断面の規格化等の検討を行いサポートする必要がある。

その他の関連技術としては次の開発課題を挙げている。

- ・高感度の各種センサの開発（視覚機能・触覚機能・人工知能）
- ・要素技術の開発
- ・高性能マイクロプロセッサの開発
- ・高性能モーターの開発
- ・軽量で耐摩耗性材料の開発

（２）危険・苦渋作業のロボット化（山岳トンネル工事の自動化・ロボット化）⁶⁾

本報告書はまず土木工事における危険・苦渋作業の現状、自動化ロボット化の問題点等を明らかにし、次にケーススタディとしてトンネル工事の中から自動化・ロボット化対象作業を選定している。さらに、トンネル工事のシステムとしての自動化・ロボット化についてその開発仕様を提示・評価し、開発の方向と必要条件、今後の研究課題等を明示している。以下に各章毎の概要を示す。

１）建設業における労働災害の現状と対策

建設業における危険・苦渋作業と労働災害の間には関連性があると考え、労働災害及び業務上疾病発生状況の現状を述べている。

全産業の労働災害の中に占める建設業の比率は就労者数比率よりも大きいが、これは建設業の労働安全衛生管理とその対策が全産業の水準より一步遅れていることを示している。また、特に土木工事の労働災害発生状況調査によると、建設工事の中でもトンネル工事の死傷者発生度数率、じん肺症及び合併症の発生率が高い。これら労働災害低減対策としてこれまで安全管

理体制の確立及び安全衛生教育の推進、建設業者としての安全パトロールの推進、機械化及び機械の低公害化等が実施されてきたが、さらに自動化・ロボット化の推進が急務であるとしている。

2) 土木工事における自動化・ロボット化の現状と問題点

土木工事における工種別の自動化・ロボット化の現状を全般的に取り上げて調査し、大半の工種が単一作業の機械化・自動化にとどまっていることを言及している。この阻害要因として建設工事における自動化・ロボット化推進に関する問題点を抽出し、技術面、経済面、制度面等に関する問題点に整理している。これらの解決策として、建設業、機械メーカー、発注者の各々が努力していかなければならない基本施策を述べている。

3) 研究課題の選定

死傷者発生度数率、じん肺症及び合併症の発生率の高いトンネル工事のうち、山岳トンネル工事の自動化・ロボット化に関する調査研究結果について言及している。ここでは山岳トンネルの危険・苦渋作業の実態調査を行い、その解決策の方向としてトンネルボーリングマシン(TBM)による全自動化及び部分型枠一次履工工法を考えている。

4) 吹付け粉じんの防止対策

現在数社で開発が行われている部分型枠一次履工工法の調査を行い、その調査結果を基に建設業界としてさらに実用化に向けて本工法を推進するための開発仕様を明確化し、機械メーカー、建設業が目指す方向を示している。粉じん問題は建設業として早急に解決すべき問題であると考えられ、現在のトンネル掘削方式に対応したものについて検討し、一方式に絞り切れていない点もあるが現状に即した開発仕様を提案している。

5) トンネル工事の自動化・ロボット化

トンネル工事の切羽における作業の多様性を考慮の上、自動化・ロボット化にはTBM工法の発展が主な解決策と考え、現状におけるTBMの問題点を調査研究した上でその解決策を検討し、その結果を今後目指す開発仕様としている。そして、検討結果では建設業、機械メーカーともに前方予知技術、履工技術を中心に開発を進めなければならないことを示している。また、建設事業における自動化・ロボット化を推進するためには設計の標準化、開発コストの償却の問題等、ソフト面の改善が必要であることも述べている。

6) 今後の研究開発課題

4)、5)の研究成果を基に建設工事の法的規制の誘導、開発体制のあり方、設計及び施工の標準化、位置検出技術及び前方予知技術等の要素技術の開発等、今後の研究開発課題について言及している。また、信頼性の高い総合的なトンネル自動化システムの開発を推進するには、技術者から作業員までが先端技術を十分理解して、現場に密着した自動化・ロボット化へのニーズを明確にすることも重要であると結論付けている。

2.5 国際建設ロボットシンポジウムにおける開発動向^{7)・8)}

第5回国際建設ロボットシンポジウムは昭和63年6月6～8日にかけて東京で開催され、15ヶ国から500名に及ぶ参加者があった。研究発表（特別講演等も含む）は内外合わせて合計106件があり、建設作業におけるロボット化の方法論、システム技術、要素技術、適用事例、施工管理技術、AI、CAD等についての報告が行われた。

今回のシンポジウムでは従来の建設分野からの発表に加えてロボットを含む制御工学分野、コンピュータや人工知能を含む情報処理分野から積極的な参加が目立ったことが特徴である。機械分野からはロボットの移動や位置決め技術について、電子計算機分野からはロボット化をめぐるCADやAI技術についての研究成果が発表された。

国別の発表数をみると、論文発表件数83件のうちわが国が約3分の2の56件を占め、以下アメリカ10件、イギリス6件、フランス5件、西ドイツ2件と続く。わが国からの発表には基礎的研究とともに建設現場における試行や実用化を踏まえたものが多く、一方、海外からの発表にはCAD、AI並びに建設管理技術に関するものが目立ち、両者を合わせるとバランスのとれたものになっている。

具体的なロボットの開発事例等を工種別にみると、最も多いものはやはりトンネル工事用ロボットである。圧密調査、断面自動計測から発破、シールドセグメント組立、コンクリート吹付（図2.8参照）まで様々なものが開発されている。トンネル部門での発表（9件）は全て日本人によって行われており、山地が多くかつ過密都市を抱えるわが国のトンネル工事に対する関心の高さを反映している。その他の工種ではコンクリート工事（打設、床仕上げ等）、土工・基礎工（掘削、敷ならし等）等のロボットの開発事例が多く紹介されている。

維持管理のためのロボットも多く、水中、壁内部、管内表面、漏出等の検査を行う。外壁作業（塗装、仕上げ等）を行うロボットも多いが、これには壁を昇降する機能がポイントとなる（図2.9参照）。

建設ロボットは自らが移動する機能が重要となることが多く、それは移動に関して2つのセッションが設けられ、位置決めや自動走行の議論が行われていることからわかる。

この他では単に作業のロボット化にとどまらず、設計・管理のロボット化とも言えるCAD/CAMシステム、エキスパートシステムの発表が行われている。また、ロボット化に合わせて建設作業を見直そうとする動きもみられる。



Photo 2 Spraying robot type SL-2 for small cross sections
(Used for the work on the western side of the Kagosaka tunnel on the
East Fuji route of the Japan Highway Public Corporation)

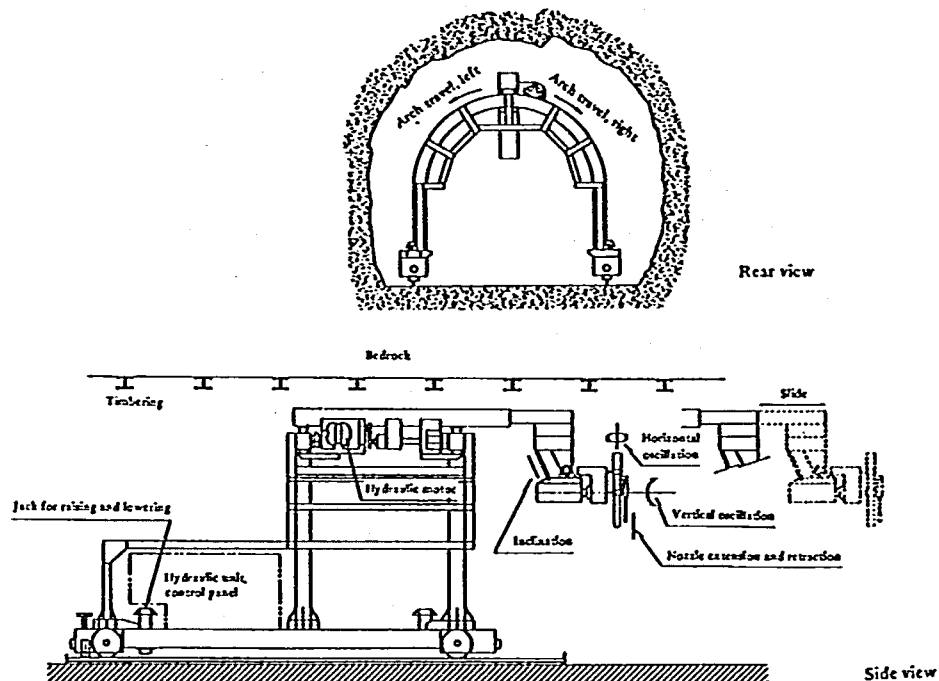


Fig. 1 Operation outline for the type SL-2

図2.8 吹付ロボット

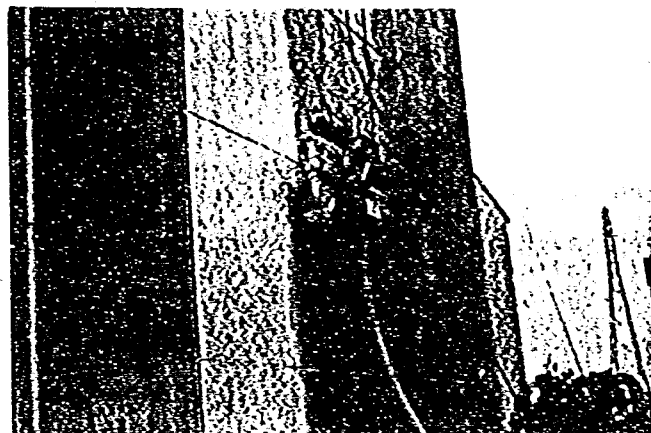
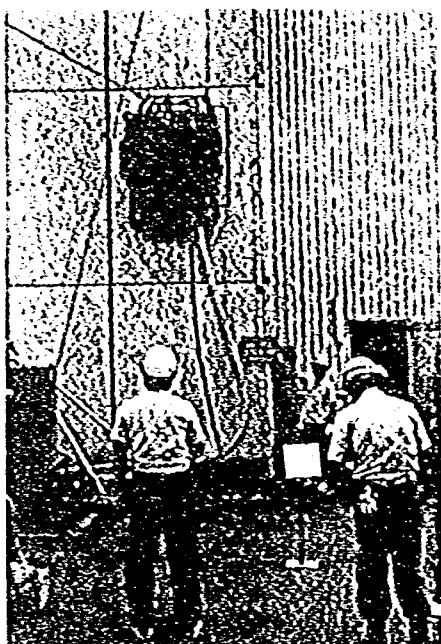


図2.9 外壁塗装ロボット

なお、本シンポジウムでは土木研究所から特別講演（わが国におけるロボット開発の国家的プロジェクト）として、総合技術開発プロジェクトの成果について報告している。また、シンポジウム終了後にはポストシンポジウムツアーとして筑波研究学園都市の国立研究機関の見学会が催されたが、この中で土木研究所では締固め計測ロボット（参考資料－2.1参照）等のデモンストレーション及び実物を使った説明と質疑応答が行われた。

3. 施工のプレハブ化の現状

3.1 プレハブ化の特徴

プレハブ化は住宅建築分野で普及が著しいが、これはあらかじめ工場で製作した外壁等のパネル部材を建設現場で組立てて建築物を構築するのが通常である。一方、土木分野においてもプレハブとは呼ばれていなくともそれに類する方法で構造物の構築が行われている。例えばコンクリート構造物ではPC桁、コンクリート舗装版、シールド工法のセグメント等のコンクリート製部材を、建設現場でコンクリートの打設を行わずに工場等で製作するプレキャスト化が進んでいる。また、プレハブ鋼矢板セル工法ではあらかじめ作業ヤードで鋼製矢板を組立てておいて、建設現場で集中打設を行って鋼矢板セルを構築している。

このようにプレハブ化の形態は多様化しつつあるが、それらを総称してプレハブ化と呼ぶと、その概念は「あらかじめ構築場所とは異なる場所において構造物の一部としての形状及び機能を有した部材あるいはブロック、ユニットを製作して、構築場所に移動して架設、設置、あるいは組立を行い構造物の構築を行うこと」と整理される。従って製作場所は工場に限定されるものではなく建設現場内の製作ヤードも考えられ、また対象材料もコンクリートだけでなく鋼あるいはその他の材料も対象となる。

プレハブ化の効果としては構築物の高品質化、現場作業の省力化、工期の短縮等が挙げられる。つまり、コンクリート工事には多くの職種や労働者が関与する必要があるが、しかも所要の強度を得るのに時間がかかるという問題点があるため、その部分を工場等で製作すれば工事の生産性はかなり向上する。また、工場等の場所では品質管理が容易であるので現場打ちでは避け難いひび割れの発生や耐久性の低下は少なくなり、コンクリートの品質や部材としての品質精度が改善される。

この他、プレハブ化には現場作業を簡略化・単純化するというメリットがあるが、これはロボット化にとってたいへん有利な条件となる。そのため、最近ではロボット化を行うためのプレハブ化という視点での研究も行われている。

3.2 土木分野におけるプレハブ化^{9)・10)・11)}

1) 橋梁上部工

プレハブ工法を用いた橋梁上部工としては表3.1のように多くの例がある。この間ブロック工法・押出し工法・エポキシ樹脂等の新技術が採用され、スパンの長大化や工期の短縮を可能にした。

表3.1 プレハブ工法を用いた橋梁上部工の例¹⁾

構造		昭和(年)									
		25	30	35	40	45	50	55	60		
単体橋	プレテン	長生橋(スラブ、スパン3.6m) 泰山橋 石山高架(スラブ) 近畿道 姫路バイパス									
	ポステン	東十郎橋(スパン7m) 大戸川橋梁(30m、1本打ち) 東京駅ホーム(10m) 上松川橋(10m、1本打ち) 城ヶ島大橋 第2陸羅川橋梁(fck=600kgf/cm ²) 茂市川橋梁(fck=800kgf/cm ² , トーラープ養生)									
	ポステン箱形	小内川橋梁 米神橋 名立川橋梁(加圧工法)									
連続橋		晴海橋梁(PC桁支点に連結) 愛知川橋(合成桁) 黒架道橋 多摩橋 神島大橋 加古川橋梁 首都高速AC10 4工区 新山下橋 (工科試験目的のブロック工法) 米代川橋梁(工科試験目的のブロック工法) 梶前大橋 敷島橋 佐波川橋 (押出し工法)									
	トラス他	岩鼻架道橋(fck=800kgf/cm ²) 安家川橋梁(fck=800kgf/cm ² , トーラープ養生) 横木沢橋梁(張出し架設) 速日ヶ峰橋(逆吊橋)									

この他にプレキャスト床版を利用した例として阪神高速道路大阪湾岸線高石入路、JR本四備讃線倉敷玉野線架道橋がある。また、本四連絡橋では桁等を大ブロックで製作・架設する工法や、ケーブルに百本前後の素線を工場であらかじめ束ねたプレハブパラレルワイヤストランドを用いる工法が採用されている。

2) 橋脚

ブロック工法によって施工された例としては二子棧道高架橋橋脚、小牧高架橋橋脚、荒川東高架鉄道橋橋脚、白岩棧道橋橋脚等がある。これらはフーチング部のみ場所打ちで、それ以外の部分は工場で製作されて現場に搬入されている。

3) トンネル・シェルター

トンネルのプレハブ工法に、あらかじめつくられた巨大なエレメントを所定の場所に曳航・沈設する沈埋工法があり、その代表例として首都高速湾岸線の東京港トンネルがある。シールド工事用セグメントによるトンネル工法もプレハブ化の例であり、覚王山トンネルや地下鉄工事に用いられている。

防雪用シェルターもプレハブ工法でつくられている。これまでは鋼製のものがほとんどであったが、秋田県の玉川スノーシェルターはプレキャスト曲面ユニットによるコンクリート製のシェルターである。

表3.2 魚見山トンネル 日当り工程

(1枚/11)

工 程 時 間	21	22	23	24	1	2	3	4	5
1. 仮舗装撤去		1.0 h							
2. 路盤修理・転圧			1.5 h						
3. 盲 排水		0.75 h							
4. RC版敷設				1 h					
5. 要込注入				0.5h					
6. 路肩コンクリート					1.5 h				
7. 養生							3 h		



図3.2 魚見山トンネル RC版敷設状況

7) 盛土・壁体等

軟弱地盤に対応した盛土材としてEPS（発泡スチロール）があり、一般国道1号沼津バイパス（沼津工事事務所）で用いられている。補強土（テールアルメ）壁工法は盛土の補強壁として、中央高速道路上野原地区や東海道新幹線近江八幡地区をはじめ道路や鉄道に多く用いられている。

なお、ボックスカルバート、側溝、擁壁等のコンクリート2次製品は小規模かつ部分的な構造物であるが、多種多様な製品開発が行われて幅広く利用されている。

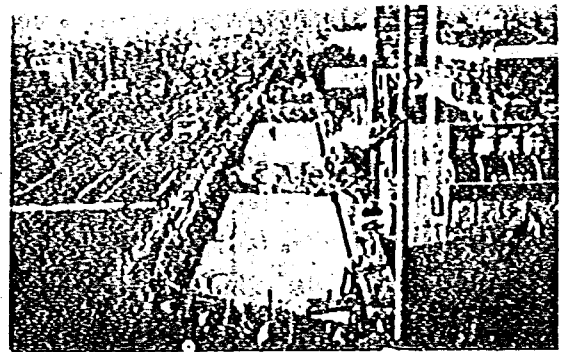
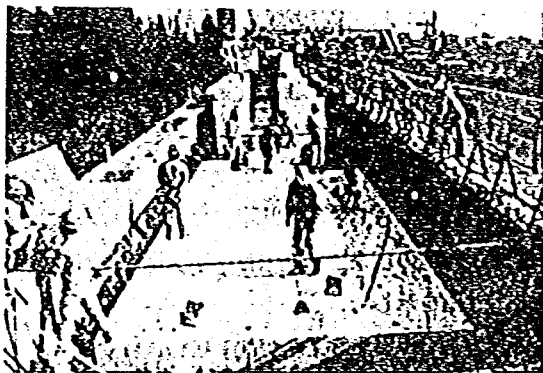


図3.3 沼津バイパス EPS材料の下層敷設状況（左）及び上層敷設状況（右）

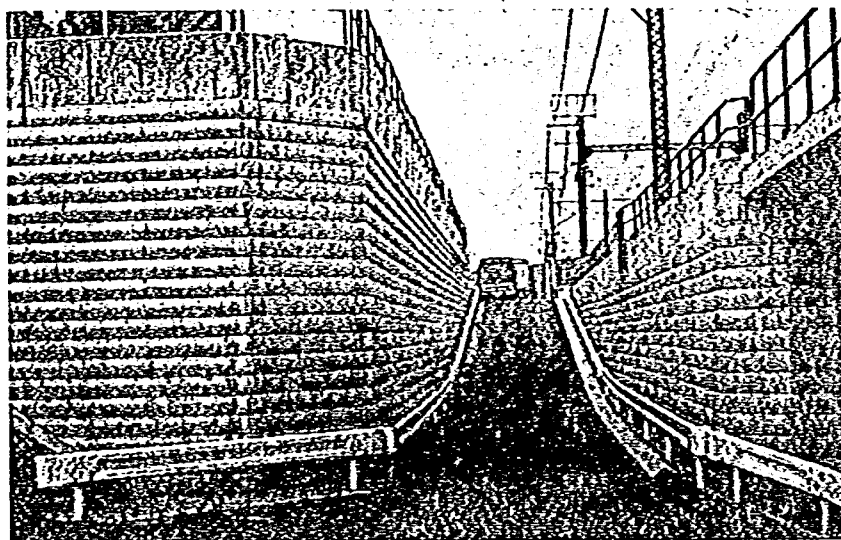


図3.4 東海道新幹線 鴨宮保守基地¹⁾

4. 施工新技術の研究・開発課題

4.1 研究・開発課題の分類

図4.1は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」において明らかにされた、建設技術高度化のための技術開発の方向を示したものである。ここでは建設事業側の取組みの段階として2段階を考えているが、第1段階のアプローチでは“個別作業のエレクトロニクス化”としてエレクトロニクス技術の導入、利用が図られるのに対して、第2段階のアプローチでは“エレクトロニクス化された個別作業の統合化”として、作業の単純化・標準化・連続化・複合化等によるロボット適合化工法の開発、あるいはロボット適合化工法による施工やメンテナンスを考慮した形状・構造設計の取組みの必要性が明示されている。

このように、今後施工新技術の開発を施工合理化の目的に合致するように効率的に進めるためには、施工技術といった狭い範囲だけでなく、施工に関連のある設計面あるいは維持管理面も含めた総合的な視点からの取り組みが必要となる。また、21世紀に向けて社会資本ストックが増大してその維持管理の重要性が増してくることが予想されるが、既設構造物の補修・修繕さらには更新のための施工法について考えることも必要である。

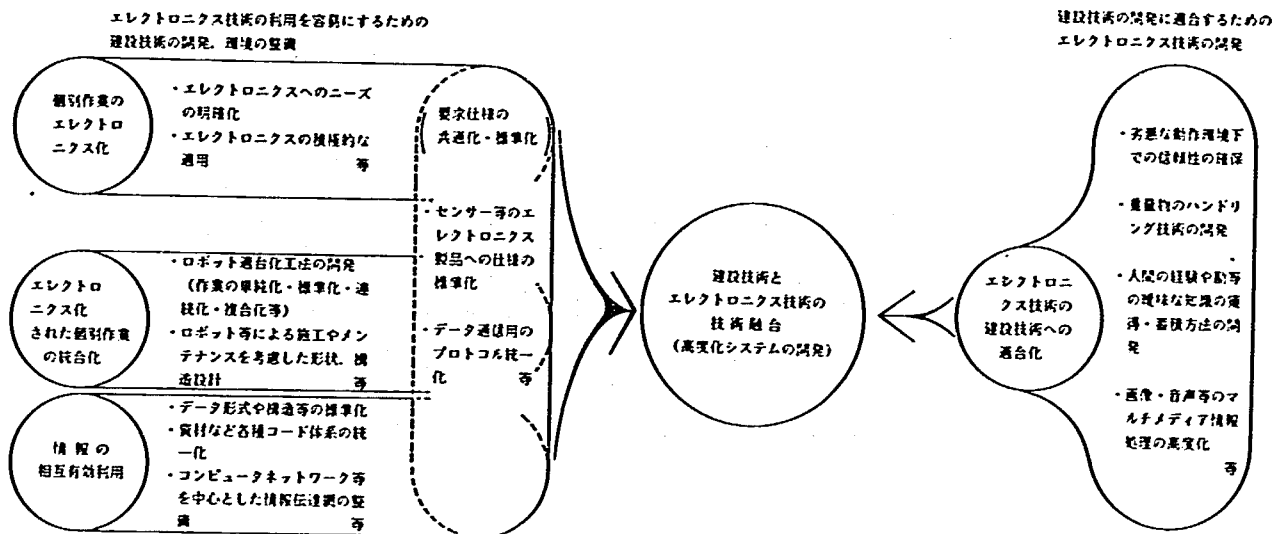


図4.1 建設技術の高度化のための技術開発の方向²⁾

図4.2は以上のような視点から新設及び維持管理における施工を対象とし、その合理化に関係する分野として構造物自身と設計面を取上げて、各々における施工合理化に係わる要因及び施工合理化のための視点を抽出して関連付けたものである。施工の合理化に関連する要因として、構造物自身においてはその形状、寸法等が係わりがあると考えられる。また、設計面ではその基礎となる基準・指針あるいは設計の手順・考え方等が係わってくる。さらに施工や維持管理においては、作業の手順や作業の内容自身等が関与するものと考えられる。

従って、施工の合理化あるいはそのための施工新技術の開発のための視点として、構造物自身の

面からは構造物の形状や寸法等の標準化や規格化あるいは単純化が、また設計面ではその標準化が、さらに施工面では作業の手順や内容の標準化・基準化あるいは簡易化が考えられる。これらの視点の具体的な施工合理化の方法として施工のロボット化と構造物のプレハブ化が位置付けられる。

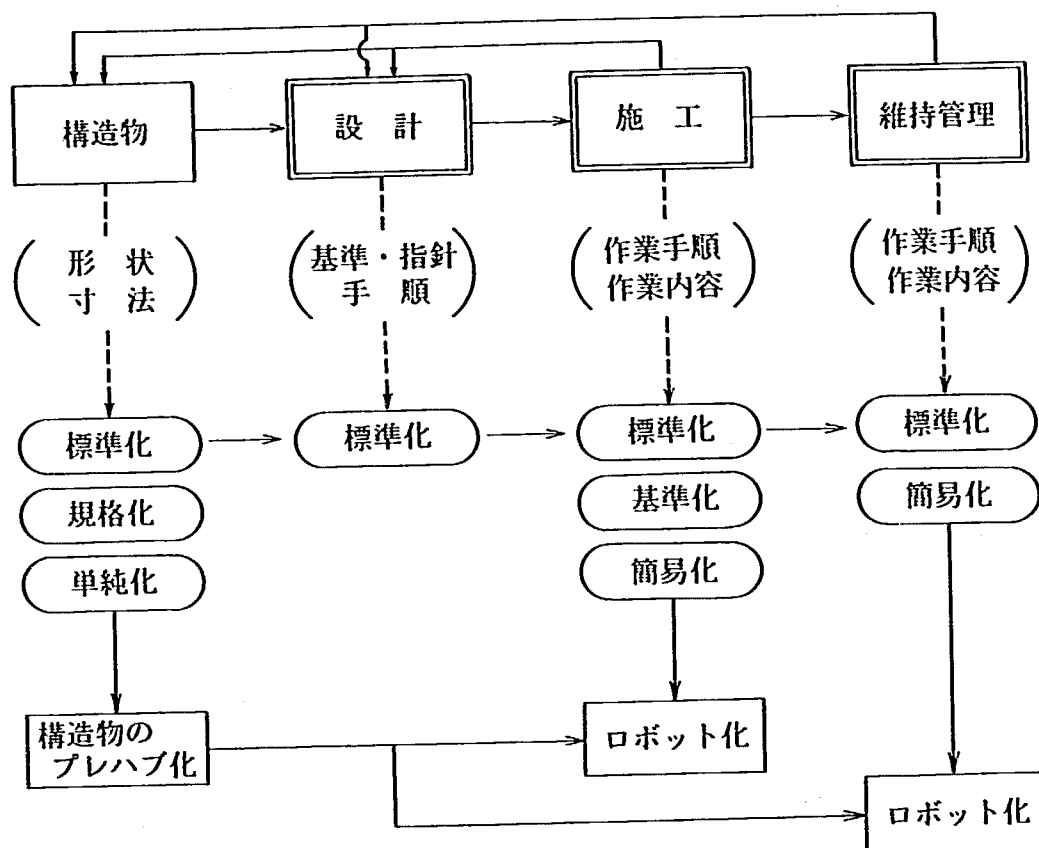


図4.2 施工・維持管理の合理化に係わる要因及び施工合理化の概念

このように施工の合理化のためには様々な取組みの対象や方法が考えられるが、従来はややもするとロボット化にしても既存の作業手順・内容を踏襲した現状肯定型の性格が強く、他方プレハブ化にしてもロボット化あるいは維持管理の合理化まで考えたものとはなり得ていないのが実情であった。また、施工の合理化あるいはプレハブ化、ロボット化を考えた構造物の標準化・規格化、設計の標準化については余り目が向けられなかったと言える。従って、これからの施工の合理化あるいは施工新技術の開発への取組みを考えた場合、技術面だけでなく計画や設計面についても合わせて考えることが必要である。

図4.3は施工合理化のための施工新技術の開発において考慮すべき技術関連課題を整理したものであるが、ロボット化、プレハブ化等の施工・工法面でのハード的な課題解決とともに、計画・設計面でのソフト的な課題解決の必要性があることを示している。そして、それらを相互に関連付けることによって効率的な施工合理化や施工新技術の開発が可能となるものと考えられる。次節以下では、これらの技術関連課題（施工・工法面ではロボット化、プレハブ化のみ）について個別の整理を行った。

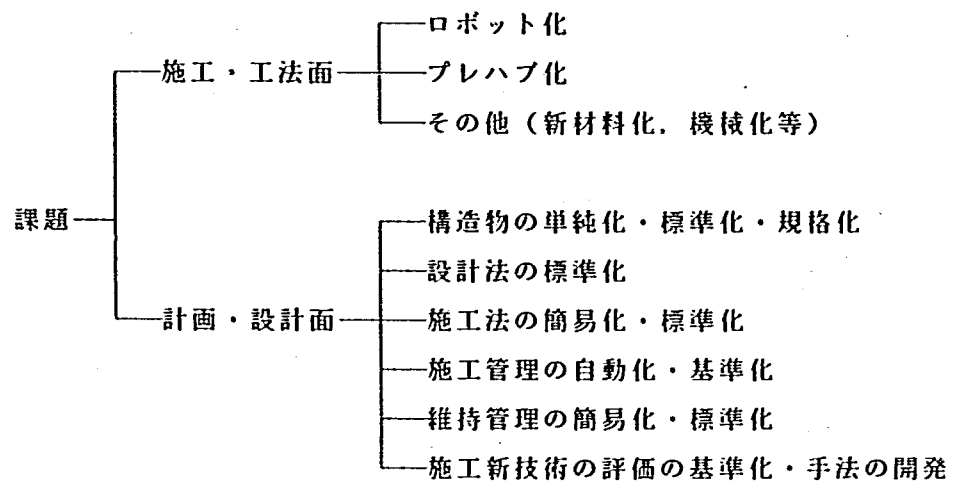


図4.3 施工新技術に関連する課題

4.2 施工・工法面の課題

(1) ロボット化

施工作業のロボット化を考える場合、ロボット化すべき対象の機能を明確にする必要があるが、ロボット関連技術として係わってくる技術は図4.4のように分類される。

建設用ロボットの開発の方向としては、これらの個別技術を対象として自動化、ロボット化を図ることも考えられるが、各技術を組合わせて1つのシステムとして稼動することがより効果的である。また、建設作業の流れを構成する各作業内容の単独の自動化、ロボット化にはその効用に限界があり、極端な場合は逆に障害となることも考えられるため、個別の要素技術を有機的に組合わせてシステム化する技術が必要である。このような場合、システムの円滑化のためには各技術のレベルが相互にバランスのとれたものであることが必要である。

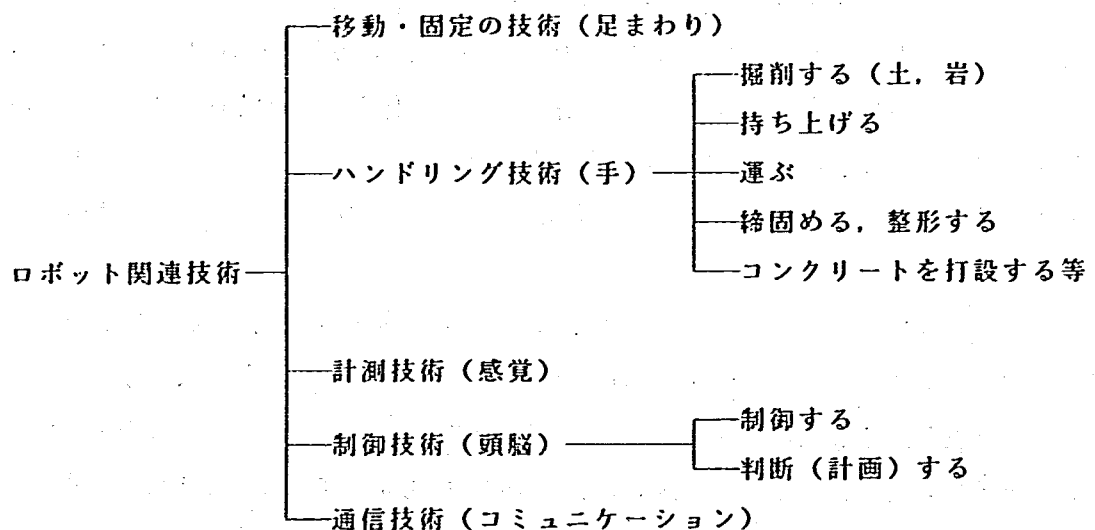


図4.4 ロボット関連技術の体系

今後のロボット化に関する技術的課題としては、以下の事項が考えられる。

- ①機器の小型軽量化
- ②独立内蔵型動力源の開発
- ③機器の耐環境性の向上
- ④無人走行・移動技術の開発（位置確認技術）
- ⑤重量物ハンドリング技術の開発
- ⑥センサ機器の開発
- ⑦情報処理・判断技術
- ⑧複数ロボットの制御技術
- ⑨使用性の向上

このうち①と⑤については、重量物の重みに耐えるためには自らも重量化せざるを得ないため、両立の難しい課題である。これを解決するためには、軽量でありながら十分な強度を持つ材料をロボット・土木構造物双方が利用することが必要である。②もロボットの移動の自由度を増す上で重要な課題であるが、パワーや小型軽量化というニーズといかに両立させていくかが問題となる。

③は機器が厳しい作業環境にも耐えることができるようにしようという課題であるが、将来の開発が期待される地中・海洋・宇宙等のニューフロンティアではさらに厳しい作業環境が予想されるため、この課題の重要性は増していくものと考えられる。また、ロボット自身の危険防止（転落、衝突等）対策も必要である。

④は自らがあまり移動する必要のない産業用ロボットとは異なり、建設用ロボットが解決しなければならない難しい課題である。障害物の多い建設現場でいかにして自己位置の検出や周辺環境の把握を行うか、⑥のセンサ機器の開発が重要な鍵を握ることになる。

ロボットにどの程度の判断力（知能）を期待するかということも、ロボットと人間の役割分担ということも含めて考えるべき課題であり、エキスパートシステム等を用いた⑦の情報処理・判断技術の開発が必要である。また、作業全体をロボット化するためには⑧の複数ロボットを制御する必要性も生じてくるが、そのためにはロボット間の通信技術が重要となる。

ロボットが現場に広く受け入れられるためには⑨のようにロボットの操作や維持管理が容易であることも重要である。

（２）プレハブ化

建設事業の周辺環境について将来を展望してみれば、地中・海洋・宇宙といった厳しい環境におかれるニューフロンティアへの事業領域の拡大、高度集積化した都市部のように施工条件が制約される事業の実施、高齢化社会の到来に伴う建設就業者の高齢化、熟練労働者の減少、さらには社会資本ストックの増加による維持管理・更新の増加等の変化が予想され、プレハブ化がロボット化とともに施工合理化の有力な手段と考えられるようになってきている。このようなプレハブ化に対するニーズの多様化に伴って、プレハブ化の技術開発課題も接合部における耐力・防

水性の確保や状況変化に対する臨機応変の対応といった従来のものに加え、安全性等の作業環境の向上を考えたプレハブ化、あるいは設計や維持管理も考慮したプレハブ化等の新たな視点もまた必要とされるようになってきている。

今後のプレハブ化推進の基本的考え方としては、次の5点を挙げることができる。

- ①品質・施工性の向上に加えて経済性、作業の省力化、安全性の一層の向上を図る。
- ②現行の施工作業のプレハブ化から、プレハブ化を考えた設計・施工法の整備・開発を図る。
- ③部分的なプレハブ化のみならず、構造系としてのプレハブ化を図る。
- ④維持管理・更新の合理化も考えたプレハブ化を図る。
- ⑤ロボット化を考慮したプレハブ化を図る。

以上のような考え方を踏まえて、プレハブ化を今後発展させるためには次のような技術開発を行うことが必要である。

- ①簡便・確実に変化に対応できる接合技術の開発
- ②施工誤差を吸収しやすい部分プレハブの開発
- ③新素材を活用した軽量・高耐久部材の開発
- ④プレハブ用の施工機械の開発（専用機械、アタッチメントの改良等）
- ⑤プレハブ部材・ユニットの組立技術の開発

4.3 計画・設計面の課題

(1) 構造物の単純化・標準化・規格化

施工の合理化、特に建設ロボットの導入を根本から考えるためには、施工対象となる構造物自体についても考えておく必要がある。構造物の形状や寸法が単純（シンプル）、単一であればあるほど自動化、無人化のための必要要素が低減されるため、取組みは容易になる。

しかし、土木構造物の場合、その立地条件や地質条件に左右されることが多く、それらに合わせて経済性を追求した構造形態を基本とするあまり構造物毎の特殊性が強調されることになり、それが建設ロボットの汎用化を阻害する一因となっているのが現状である。例えば、トンネル建設において内空断面の寸法・形状がトンネル毎に異なる場合、各々の断面寸法・形状に応じた個別の設計法、施工法及び維持管理方法を取らざるを得なくなり、セグメント・支保工等の資材の汎用化やロボット化が円滑に行われない要因となる。逆に、トンネルの内空断面が標準化されたならば、断面的には多少余裕のある設計になる場合もあるが、施工法の標準化や建設ロボットの開発・普及さらには維持管理の標準化、ロボット化が容易となるため、総合的な視点からのメリットは計り知れないものになる。

従って、要求される機能を満足する範囲内での構造物の単純化をはじめとして、構造物の構造形態の簡素化や標準化、寸法等の規格の統一を考えることが必要である。このような構造物の標準化等は構造物のプレハブ化を容易とし、さらにプレハブ化は建設ロボットの開発や普及をやすくする。また、プレハブ部材の大型化により手作業からの解放や機動性の向上、サイクルタイ

ムの低減が図られる等、構造物の単純化・標準化・規格化はプレハブ化、ロボット化のための有効な手段となるといえる。

以上のように、従来あまり取組みがなされていなかった、プレハブ化、ロボット化を考慮した構造物のあり方について、積極的な調査・研究を進めることが必要である。

(2) 設計法の標準化

施工対象となる構造物の形態等が決まると具体的な構造物の設計に入るが、設計段階においても施工の合理化を考慮することが可能であり、またその必要性も高いと考えられる。構造物の標準化・規格化が考慮されている場合は勿論のこと、既存の構造物の形態や設計基準を前提とした場合であっても、設計の実務の段階で施工合理化のための配慮や工夫が可能である。それが設計法の標準化であるが、これについては既に建設省において長年にわたって土木構造物の標準設計として取組みがなされている。現行の設計の標準化では、次のような点に配慮している。

①できる限り単純化すること。

②使用資材は全国的に入手容易であり、種類や形状寸法は極力整理し、多岐にわたらず、また市場寸法や規格寸法に合わせ、剰材や残材が出ないようにする。

③仮設物（型枠、支保工等）材料も容易に入手でき、1回限りで消耗することなく、繰り返し転用できる断面形状をもった構造物とすること。

すなわち、構造物の断面を決めるとき、応力計算ばかりではなく市販の鋼製型枠が使用でき、支保工も市場寸法のもので間に合うように考慮し、棒鋼類はできる限り規定の長さになるよう配慮し、加工図は現場の便宜を考えてcm単位にする等の簡素化に努めている。また、図面に記載した単位は工種に係わらずmmとしたが、形状や配置はラウンドナンバーとし、現場で作業者が暗誦できるような数値を選ぶようにしている。さらに、類似している構造物の間には相互に関連性をもたせ、地形による多少の変動に対応できるようにしている。

このように標準設計は諸々の要素を組み合わせるから、注文設計に比べれば純材料は増加してくる場合もあり、工費がかさむことも考えられる。しかし、設計の標準化は単に構造物のみに対する経済性の追求あるいは狭い意味の技術的に精緻な設計の実施等とは発想を異にするものであり、仮設資材の減少、作業の容易性等の施工合理化の観点からは有効な手段であると考えられる。従って、構造物設計の基準等を満足し、機能上許容される範囲内で設計の標準化についての創意工夫を行うことも施工合理化の一手法と考えられる。

以上のように、今後も引続き構造物の設計面での標準化を進める必要があるが、現場への設計の標準化に対する認識の浸透及び実務化を図るためには設計の標準化に関する調査・研究及び設計プログラム等の関連技術の開発が必要である。

(3) 施工法の簡易化・標準化

施工は個々の施工作業の組合せから成り、作業手順に従って一連の流れの中で進められているが、施工の合理化を考える場合、現在行われている施工作業の内容及び組合せや手順について見直しを行うことが必要である。

例えば、現場作業となっている鉄筋の加工・組立を建設位置で行わず、あらかじめ工場等の別の場所で加工・組立しておいて運搬・架設することにより、鉄筋の加工・組立作業が省力化されるとともに機械施工も可能となり、工期の短縮、施工精度や安全性の向上が図られる。また、ダム建設におけるRCD（Roller Compacted Dam）工法は大容積のコンクリートを、品質を確保しながら短い工期で打設する工法として考案されたものであるが、従来小規模に行われていたコンクリート打設・締固めの作業に機械力を導入して作業性の向上を図っている。そして、機械の導入を足掛りとして自動化、ロボット化さらにはフィールドオートメーション化といった一層の施工の高度化、合理化を図ることも可能としている。

このように、施工作業の自動化、ロボット化を考える場合、現在機械化の行われていない作業をいかに機械化するか、また逆に機械化しやすいように工数を始めとする作業内容や作業手順をいかに簡易化、標準化するかがポイントとなる。このためには、まず現行の作業内容・手順等について詳細な把握・分析をしておくことが前提となり、それによりどの部分で作業が省略あるいは簡易化できるかが明らかとなる。さらに、機械化することによりメカトロニクス化、自動化、ロボット化といった次の段階の技術レベルに高めることが容易となる。このため、施工の合理化の手法として施工法の簡易化や標準化を図ることは必須であると言える。

以上のように、施工法について施工合理化の観点から取り組むことは基本であり、施工の簡易化や標準化に関する調査・研究及び関連技術の開発を進めることが必要とされる。

(4) 施工管理の自動化・基準化

施工のロボット化、プレハブ化を図る場合、施工と密接な係わりのある品質管理、出来形管理、検査方法等について合理的な対応を取っておくことが新技術の円滑な導入のために必要となる。

施工の自動化においては、地形・土質等の条件の検知や施工状況の把握のための計測の自動化が行われ、さらに計測結果を施工作業を行う建設ロボットにフィードバックする連携システムが考えられるが、その場合、迅速にかつ質の高い構造物を構築するためには、所定の精度が得られる計測の自動化技術、計測結果を建設ロボットに伝える通信技術、さらに計測結果の集計・処理を行い施工作業を管理する自動化技術等の開発が必要である。また、計測そのものについても建設ロボットによる自動計測に必要な非破壊検査技術の開発、ロボット計測として適切な測定位置・範囲、測定頻度、測定精度等について検討し、測定法の基準化を図ることが必要である。

以上のように、施工の所定の目的を達するための施工管理の面において、今後は施工と連携した管理システムに係わる調査・研究及び技術開発が必要である。

(5) 維持管理の簡易化・標準化

施工の合理化の観点から考えられた構造物の単純化・標準化・規格化は、維持管理においても自動化、ロボット化等の合理化を促進することになる。つまり、構造物の形態が単純化されていることにより、塗装、清掃、設備補修等の作業性が向上するとともにロボット化が容易となる。また、構造形態が規格化されていることは補修資材の汎用的な利用を可能とするとともに、ロボット化においてもその機構を単純化することが可能となる。さらに構造物のプレハブ化、ユニット化、ブロック化等の部品化を行えば、損傷箇所の部分的な交換によって補修工期を短縮したり交通障害のような工事の影響を低減したりすることが可能になり、さらには構造物の更新の合理化を図ることもできる。

一方、維持管理用ロボットの導入を効果的に進めるためには、それに対応した維持管理手法を考えることが必要である。点検あるいは補修における実施箇所・範囲、頻度、内容等、さらには更新の時期、方法等について作業の標準化・マニュアル化を図ることが必要である。

以上のように、従来は施工と維持管理の相互の関連にあまり眼が向けられていなかったが、今後は施工の合理化を維持管理の合理化に結び付けたり、維持管理面も含めた施工法について考慮することが必要であり、維持管理の簡易化、標準化に関する調査・研究及び技術開発が必要である。

(6) 施工新技術の評価の基準化・手法の開発

従来において使用実績のない施工新技術について、その技術開発及び普及・活用を適正に図るためには、ロボット化、プレハブ化等に対するニーズ、シーズの整合性、現場への適応性、技術開発の可能性、開発費用、開発体制等について総合的に判断することが必要である。建設分野では開発された新技術の汎用性が重要とされるため、妥当な見通しの下で綿密な開発計画を立てることが要求され、施工新技術の適正な評価が必要とされる。

このように、施工新技術の開発の前提または第1ステップとも言える、対象となる技術開発の評価及びパイロット事業を通じた開発技術の評価（導入時あるいは経年時）について、基本的な考え方を検討して基準化を図るとともに、総合的な評価手法の研究・開発を行う必要がある。

あ と が き

一般に施工新技術の課題を考える場合、技術開発とともに開発技術の普及・活用についても考えることが必要であるが、本文の研究・開発課題においては前者の技術開発に関わる部分に主眼を置いて検討を行った。これは、土木研究所という研究機関としての眼で施工新技術への取組みを考えた場合、深い係わりを持つのが技術開発であることから焦点を絞ったためである。

このようなことから、本文では今後の研究・開発課題の考え方において、施工・工法面での技術開発及びそれに係わる計画・設計面での関連技術に分類し、従来から眼を向けられているロボット化、プレハブ化のみならず、構造物の形態や設計の考え方にさかのぼって課題の抽出を行うようにした。そして、計画・設計面では構造物の標準化・規格化、設計の標準化に加えて、施工法の標準化・簡易化及び施工管理の自動化・基準化の重要性を位置付けるとともに、維持管理にまで眼を向けてその簡易化・標準化にも言及した。さらに、ロボット化、プレハブ化等の施工新技術の開発・導入に際して前提となる技術の総合評価手法の開発・基準化の必要を明確にした。

なお、本文では、施工新技術の具体的な開発課題については特に明記せずに、建設省総合技術開発プロジェクトの成果からロボット化・自動化に関係のある部分を抽出して参考資料として添付した。

施工新技術を導入した施工合理化については、今後建設省を挙げて取組みが本格化する段階にあるが、土木研究所としても役割を明確にした上で、本文で検討した研究・開発課題を参考にしながら取組みの方向を明示するとともに、施工合理化のための具体的な技術開発課題及び関連技術課題について調査・研究及び開発を遂行していくことが使命であると考えられる。

－ 参 考 文 献 －

- 1) 建設省土木研究所：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
- 2) " : 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，土木技術資料，Vol. 31 № 2，平成元年2月
- 3) 土 木 学 会：自動化・ロボット化の現状と今後の課題，昭和62年9月
- 4) 中 島 利 美：建設機械自動化アンケート調査結果，建設の機械化，№460，昭和63年6月
- 5) 日本土木工業協会：建設工事ロボット化ビジョン検討報告書，昭和63年3月
- 6) " : 危険・苦渋作業のロボット化 報告書，昭和63年3月
- 7) シンポ運営委員会：第5回国際建設ロボットシンポジウム結果報告書，昭和63年7月
- 8) " : 5th International Symposium on Robotics in Construction PROCEEDINGS, Vol. 1, Vol. 2, 昭和63年6月
- 9) 加 賀 秀 治：プレハブ化の動向，セメント・コンクリート，№500，昭和63年10月
- 10) 福 澤 公 夫：土木構造物のプレハブ化（9）に同じ
- 11) 土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法 設計・施工マニュアル，昭和57年8月

この他，建設省技術研究会論文集（昭和61～63年）を参照している。

参 考 資 料

資－１．建設技術高度化システムの概念設計例

- 1. 1 ダム
- 1. 2 トンネル
- 1. 3 海洋構造物
- 1. 4 土留掘削（施工）
- 1. 5 橋梁（維持管理）
- 1. 6 道路舗装（維持管理）

資－２．土木研究所における最近の施工新技術の開発事例

- 2. 1 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での開発事例
 - (1) 土の締固め度の管理システム
 - (2) ブルドーザ位置決めと排土板制御
 - (3) 工事情報データベースシステム
 - (4) 写真測量自動化技術と土工管理への応用
- 2. 2 その他の代表的な開発事例

資－１．建設技術高度化システムの概念設計例

ここでは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」においてまとめられた建設技術高度化システムの概念設計例について紹介する。

1.1 ダム

(1) 調査・計画・設計

1) 現行工程

既存資料の収集 → 現地踏査 → 物理探査法等の概略調査法の検討 → 物理探査等の概略調査 → 概略調査結果の解析 → 概略設計 → リモートセンシング調査等による詳細調査法の検討 → ボーリング等による詳細調査 → 調査データの解析・整理 → 詳細設計 → 詳細施工計画

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

①調査

- ・既存データの収集・整理が限られた範囲である。
- ・現地踏査は多大の人手を要し、危険で苦渋な作業である。
また、調査エリアが限定される。
- ・斜面等でのボーリング等の調査は危険で苦渋な作業であり、多大の費用がかかることからデータ収集に限度がある。

②設計

- ・限られた情報量と調査精度から、施工実施段階での地質・盛立て材等の設計変更事例が多い。
- ・用土計画、材料特性、仮設備等の総合的検討に基づく最適堤体設計に時間がかかる。

③施工計画

- ・盛立て計画等部分的にコンピュータ化が進んでいるが、総合的レベルではシステム化されていない。

3) 改善策の検討

- ・リモートセンシングを利用した調査。
地質の概略把握（岩盤深度、断層の有無）、地下水位、地形調査。
- ・センサの投下による各種グラントルスデータの収集。
- ・不整地走行の可能なロボットによる現地調査用機材の搬入・据付・計測の自動化を図る。
- ・エキスパートシステムによる地質等データの総合的評価、地質構造等の推定・内挿。
- ・地質等データを3次元データとしてデータベース化を図り、保存する。
- ・地質データベースを基にしたCADを行う。

4) 技術開発課題

① センサ技術

- ・ リモートセンシング用センサの開発及びデータ処理技術の開発
- ・ 遠隔無人計測可能な安価なセンサ及びデータ伝送技術の開発
- ・ センサ投下技術, リモコンプラットフォームの開発

② 不整地走行用ロボット等

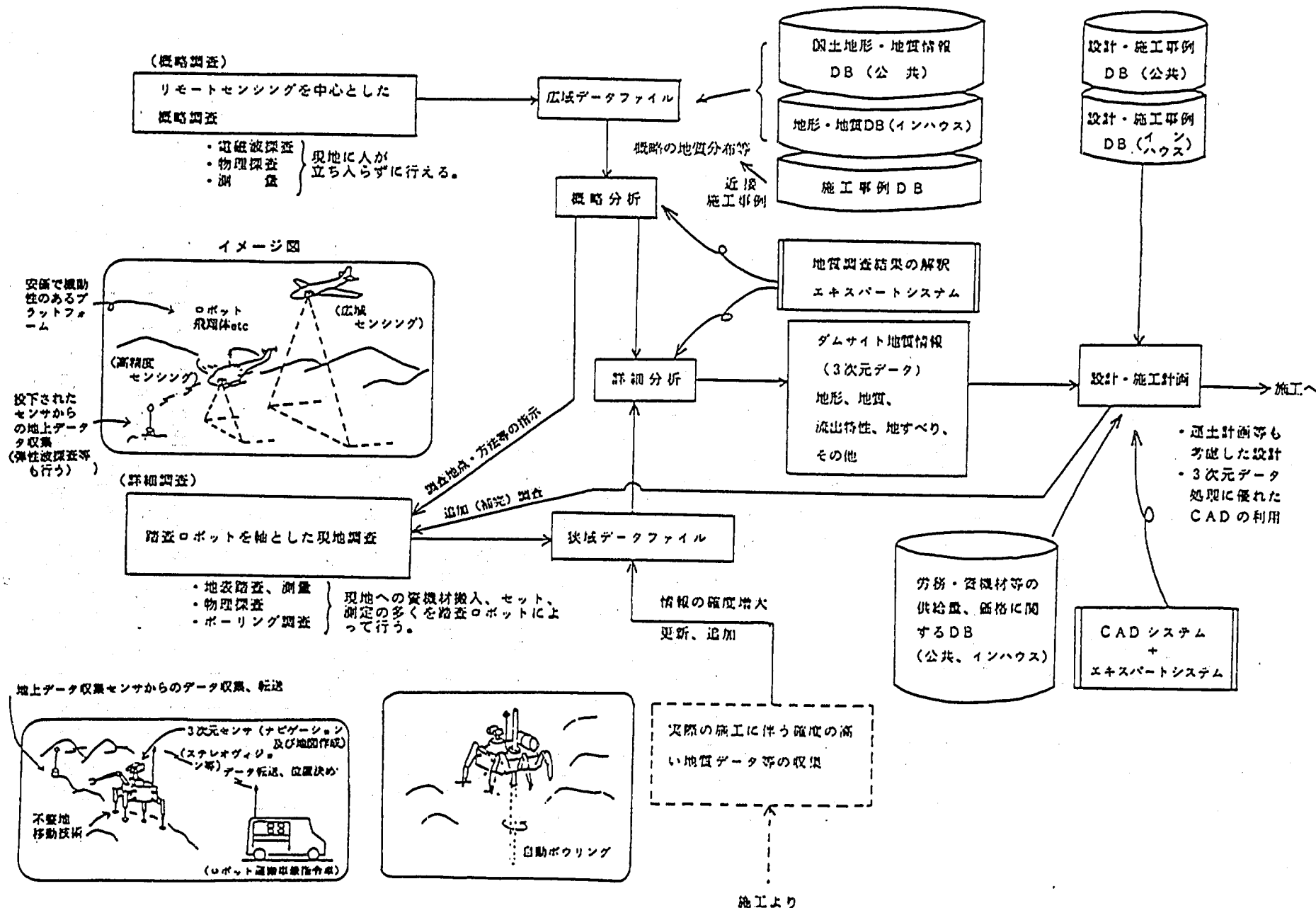
- ・ 不整地走行ロボット
- ・ 自動ボーリングマシン
- ・ ロボットナビゲーション技術 (障害物回避, 位置決め等)

③ 地質データの解析

- ・ 地質データ解釈のためのルール蓄積
- ・ 地質データ解釈のためのエキスパートシステム
- ・ 3次元データの処理技術向上

④ ダム堤体設計

- ・ 設計・施工事例の集積・整備
- ・ 設計の最適化ルールの蓄積
- ・ ダム堤体設計のためのエキスパートシステム
- ・ 3次元データの処理技術向上



付図1.1 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

(2) 施工 (コンクリートダム)

1) 現行工程

準備工事 → 転流工 → 原石山準備工・土捨場造成工 → 堤体掘削工・基礎処理・
検査 → 骨材製造 → コンクリートプラント設備工 → コンクリート製造・品質検
査 → 堤体打設・締固め・検査 → コンジット・ゲート据付 → 仮施設撤去・原
石山法面処理 → 仮排水路閉鎖 → 湛水

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

①堤体掘削

- ・岩盤仕上げや岩盤清掃仕上げ程度の判断基準が定量化されていない。
- ・ダム工事での死亡災害のうち14%が掘削作業に伴うものである。
- ・硬岩掘削は発破によるために機械化（自動化）が困難で、装薬・結線等は熟練者の手作業である。
- ・岩盤清掃の最終段階は人力による手作業のため人員の確保が困難で非効率的である。

②コンクリート工

- ・コンクリートの品質管理には熟練を要し、人手が必要である。
- ・締固め管理がリアルタイムにできない。
- ・グリーンカット（打継処理）の管理基準が不明確である。
- ・型枠スライドは高所作業となり、危険である。
- また、多大のスペースと労力を要し効率的でない。
- ・普通コンクリートの場合、締固め時間の制約から施工法・施工量が制約される。
- ・コンクリートの製造・運搬・打設が断続的な作業となる。
- ・コンクリート表面養生が必要である。
- ・設備周りではRCD工法が適さない。

③基礎処理工（グラウチング工）

- ・ボーリングの削孔速度が遅く、効率的でない。
- ・岩盤対象が変化に富むため、グラウチングの施工管理と熟練を要する。

3) 改善策の検討

①堤体掘削システム

・掘削作業用ロボット（発破方式）

発破の自動化・高精度化を図るため、自動削孔・自動装薬・無線発破を図る。
十分な岩質データを基にした最小発破による飛散防止、騒音・振動の防止を図る。
全自動削孔機、全自動装薬機、全自動ブルドーザ、全自動ショベル、
全自動ダンプトラック、全自動法面仕上げ・吹付け機

- ・掘削作業用ロボット（機械掘削法式）

土砂の掘削集積，積込，運搬の自動化を図る。

全自動リッププル，全自動法面圧削仕上げ機，全自動スクレーパ型集土機，

全自動ホッパー，全自動ダンプトラック

- ・施工管理システム

デジタルステレオ画像や能動的2次元レンジファインダーの利用による面的3次元計測を図る。

稼働実績データ，出来型データ，新規取得地質データを結合させ，ロボット稼働・施工能率・地質状況の把握及びロボット作業プログラムへのフィードバック機能をもたせる。

出来型自動計測システム，施工実績データ収集処理システム，

施工管理エキスパートシステム

②コンクリート打設工

コンクリートの連続自動生産・輸送・打設・検査を図る。

- ・全自動バッチャープラント

全自動コンクリート品質管理システム全自動コンクリート温度管理制御システム

全自動配合数量制御管理システム，コンクリートプラントエキスパートシステム

- ・コンクリート施工ロボット

コンクリート施工ロボット，全自動コンクリート輸送機，全自動敷均し機，

全自動締固め・計測機，全自動清掃機，全自動型枠機

- ・ロボット制御システム

ロボット稼働監視システム，出来型・品質自動計測システム，

施工実績データ収集システム，施工管理エキスパートシステム

4) 技術開発課題

①堤体掘削

- ・安全性が高く，機械の取扱いに適した火薬

- ・ロボットのナビゲーション技術

- ・画像処理技術

- ・2次元レンジファインダ技術

- ・多量の地形，地質データの統合処理技術

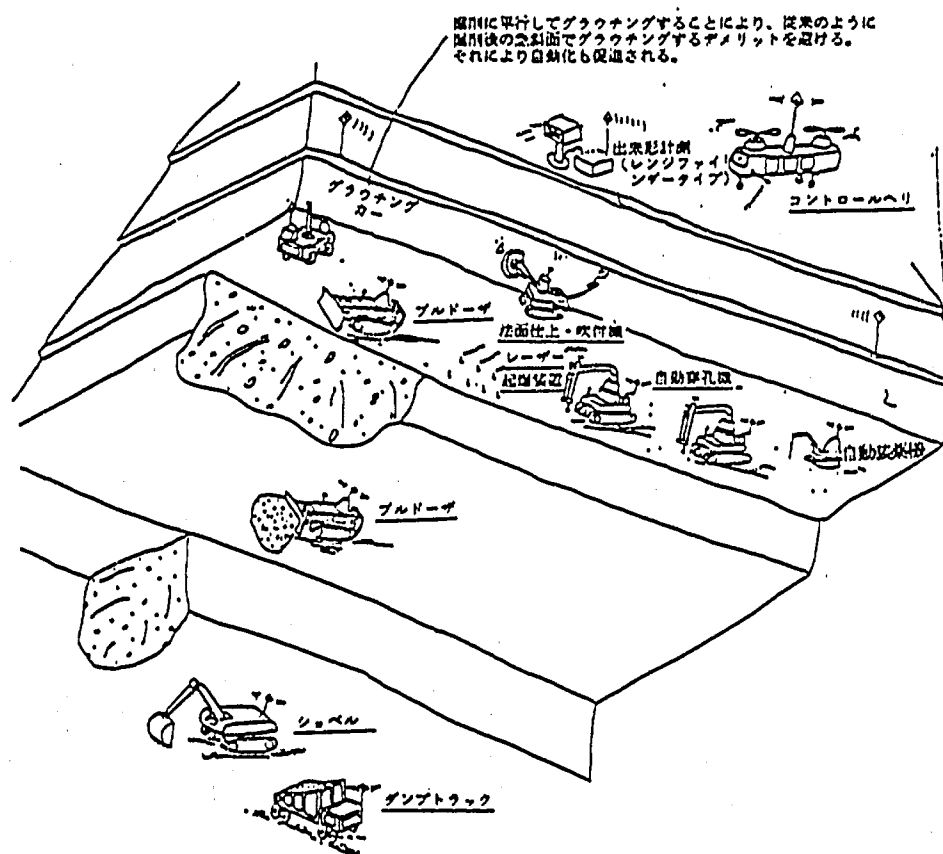
- ・ロボット群制御の容易な施工手順

②コンクリート工

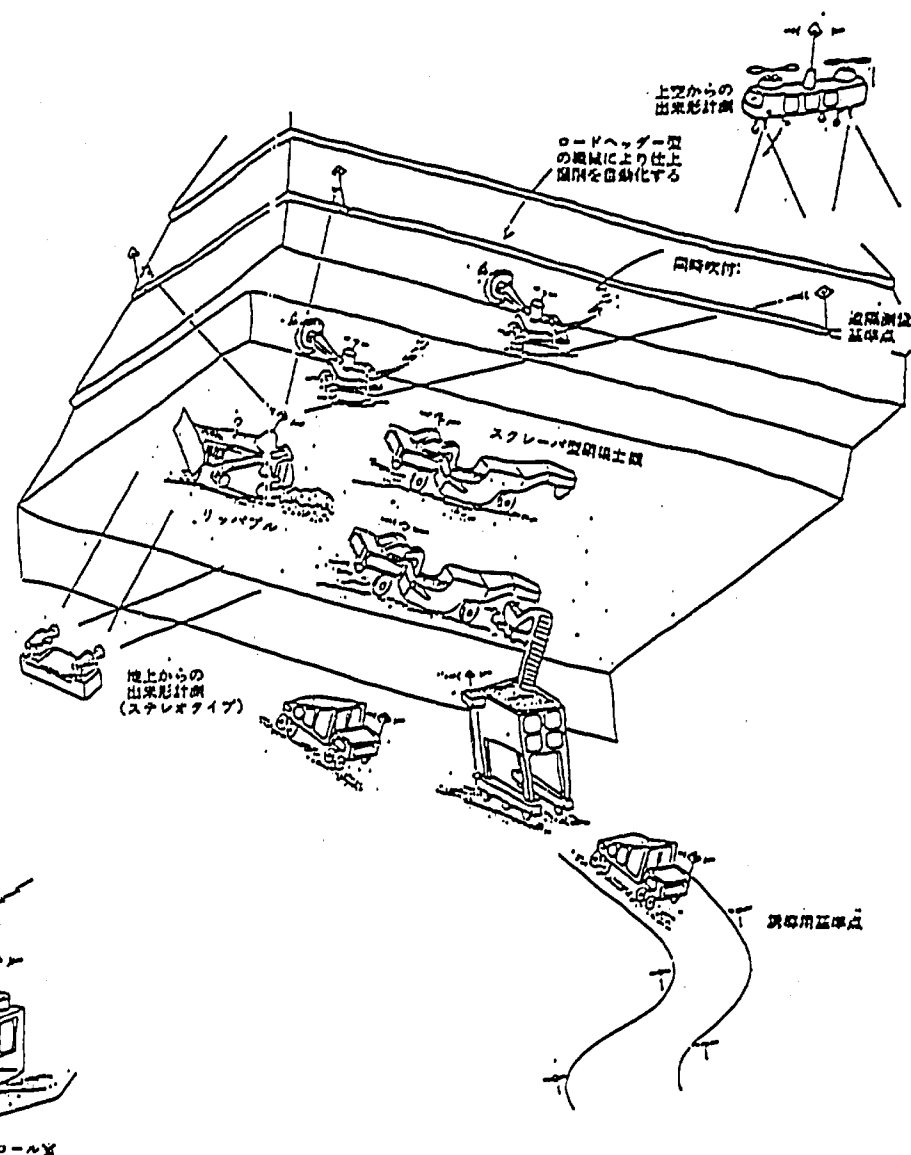
- ・連続生産から輸送・打設に至るプロセスの高度化

- ・締固め度のリアルタイム計測

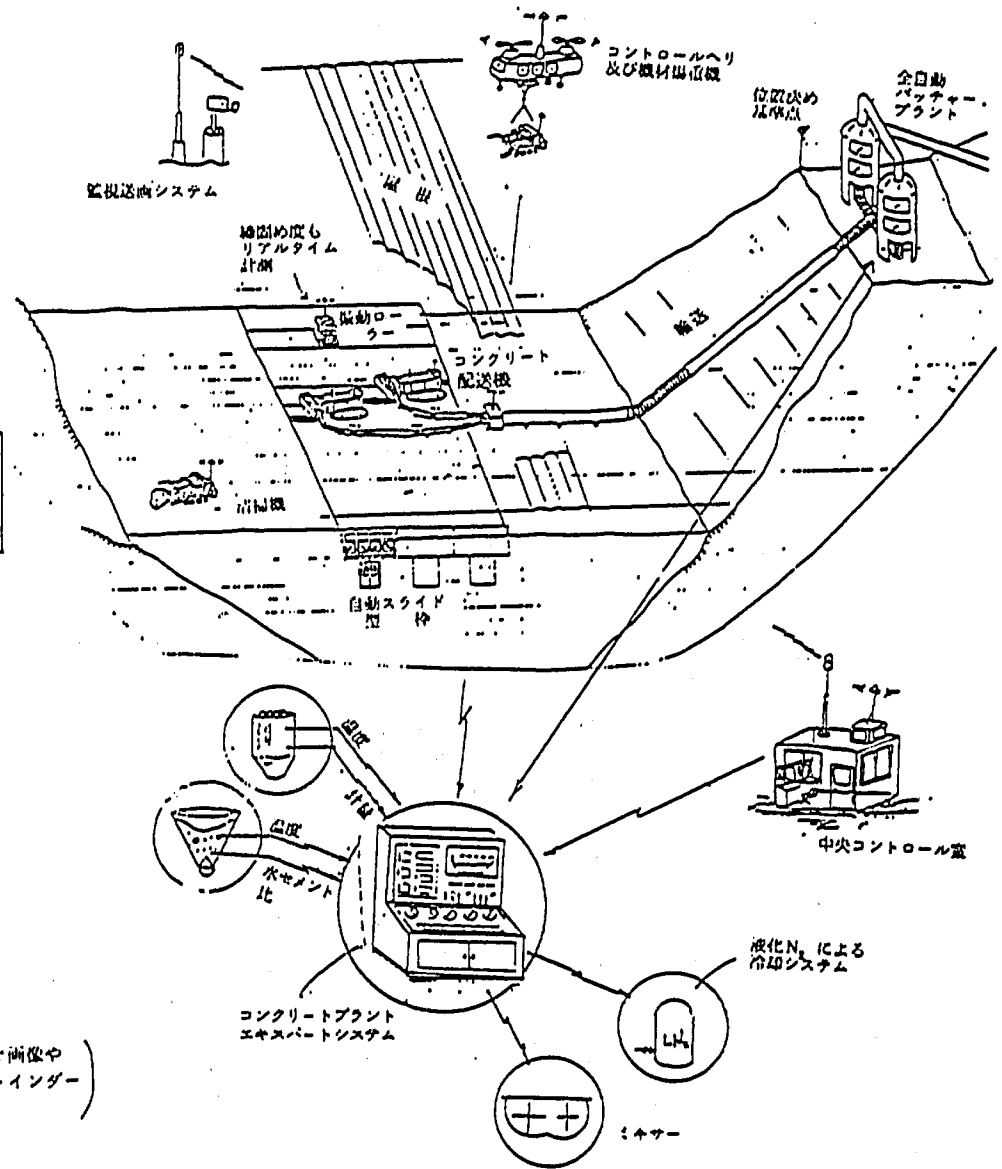
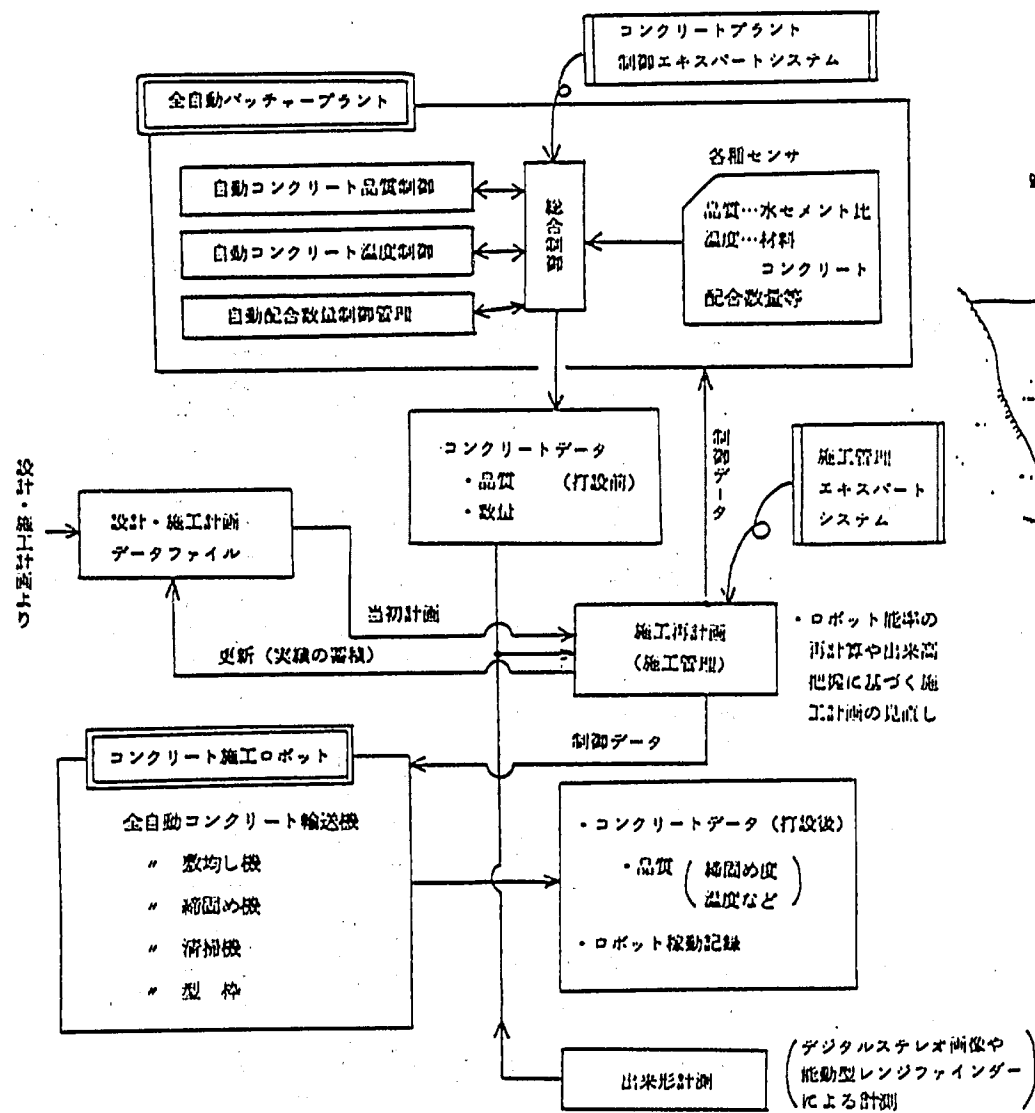
(発破方式)



(機械掘削方式)



付図1.2 堤体掘削のイメージ図



付図1.3 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

(3) 施工 (フィルダム)

1) 現行工程

準備工事 → 転流工 → 原石山準備工・土捨場造成工 → 堤体掘削工・基礎処理・
検査 → 仮設備工 → 盛立て材掘削・堤体盛立・締固め・品質検査 → 洪水吐コン
クリート打設・検査 → 仮設備撤去・原石山法面処理 → 仮排水路閉鎖 → 湛水 →
検査

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

①堤体掘削

- ・狭所、高所での人力作業は非能率的で危険も多い。
- ・基礎掘削後の法面崩壊・発破による基礎地盤の緩み。
- ・硬岩掘削は発破によるために機械化(自動化)が困難で、装薬・結線は熟練者の手作業である。
- ・岩盤清掃の最終段階は人力による手作業のため人員の確保が困難で非能率的である。
- ・掘削面の地質判別はハンマーによるため、経験と熟練を要する。
- ・仕上げ程度の判断基準が定性的である。

②基礎処理工 (グラウチング工)

- ・ボーリングの削孔速度が遅く、能率的でない。
- ・対象岩盤が変化に富むため、グラウチングの施工管理と熟練を要する。
- ・地盤・地質に適したグラウチング技術が未確立。

③堤体盛立工

- ・コア材は天候の影響を受けやすく、盛立て施工可能日数が限定される。
- ・設備作業に金がかかり、盛立て工程に影響する。(埋設計器)
- ・リップラップ盛立て作業の施工効率が悪い。
- ・転圧速度、回数、均一な巻き出し厚の管理が合理的かつ十分でない。
- ・品質管理に多大の時間と人手を要する。
- ・廃棄岩の判別は経験と熟練によっており、明確な基準がない。

④湛水試験

- ・漏水検定方法、判断基準が確立されていない。
- ・堤体の安全性の予測方法、判断基準が確立されていない。

⑤洪水吐け等工事

- ・検査廊等の斜面コンクリート打設は施工性が悪く、危険も多い。
- ・洪水吐け工事ではコンクリート運搬・打設工法が合理化・確立されていない。

3) 改善策の検討

①原石山掘削用ロボット

- ・発破方式（発破の自動化・高度化を図る。）
全自動削孔機，全自動装薬機，全自動ブルドーザ，全自動ショベル，
全自動ダンプトラック，全自動法面仕上げ・吹き付け機
- ・機械掘削方式（土砂の掘削集積・積込・運搬の自動化を図る。）
全自動リッププル，全自動法面圧削仕上げ機，全自動スクレーパ型集土機，
全自動ホッパー，全自動ダンプトラック

②堤体掘削用ロボット

原石山掘削用ロボットと同じ。

③堤体盛立て用ロボット

- 運搬・巻出し・転圧締固め計測ロボットの稼働を群制御し，自動化を図る。
- ・施工用ロボット
全自動ブルドーザ（巻出し），全自動ローラ（転圧），
全自動ダンプトラック（土取場よりの運搬）
- ・ロボット制御システム
ロボット稼働監視システム，出来型・品質管理計測システム，
施工実績データ収集システム，施工管理エキスパートシステム

4) 技術開発課題

①堤体掘削・原石山掘削

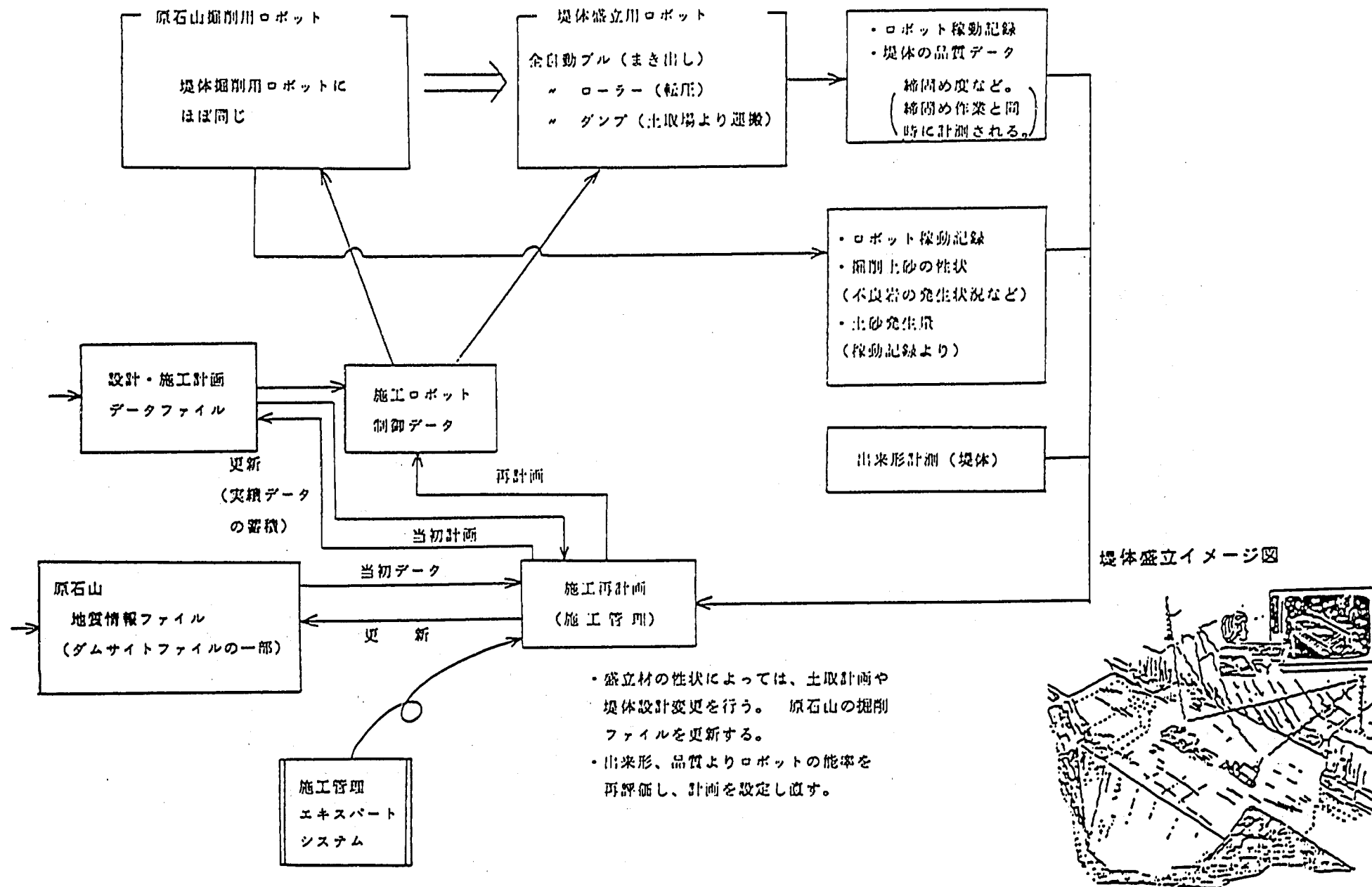
- ・安全性が高く，機械の取扱いに適した火薬
- ・ロボットのナビゲーションシステム
- ・画像処理技術
- ・2次元レンジファインダ技術
- ・多量の地形・地質データの統合処理技術
- ・ロボット群制御の容易な施工手順

②堤体盛立て

- ・締固め度のリアルタイム計測

③ロボット技術

- ・位置決め，姿勢制御等のロボット技術



付図1.4 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

(4) 維持管理

1) 現行工程

調査・設計・施工データの整理 → 貯水池の水質・堆砂状況の点検 → 堤体の漏水・変位等の点検 → 放流施設等の点検 → 周辺地山の斜面崩壊、地すべり等の点検

検査項目 貯水池：水質（濁度）、堆砂

堤体：漏水量、揚水圧、変形等

放流施設：ゲート等

周辺地山：地すべり、斜面崩壊等

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

①維持管理情報の処理・管理

- ・ダム安全性の向上
- ・専門家不足

②点検作業

- ・危険作業
- ・精度の高いデータの効率的収集、迅速な処理、適切な措置

③その他

- ・維持管理保守データの解析手法・判断基準が確立していない。
- ・貯水池再開発技術が確立していない。
- ・湛水池内の地すべり機構が解明されていない。

3) 改善策及び技術開発課題

①点検機器

堤体内埋設センサ（リアルタイム計測）：漏水量、揚水圧

堤体・放流施設等点検ロボット：堤体外観・ゲート本体・周辺の点検

貯水池調査船（リモコン・ブイロボット）：水中モニターロボットによる水質・堆砂データ収集

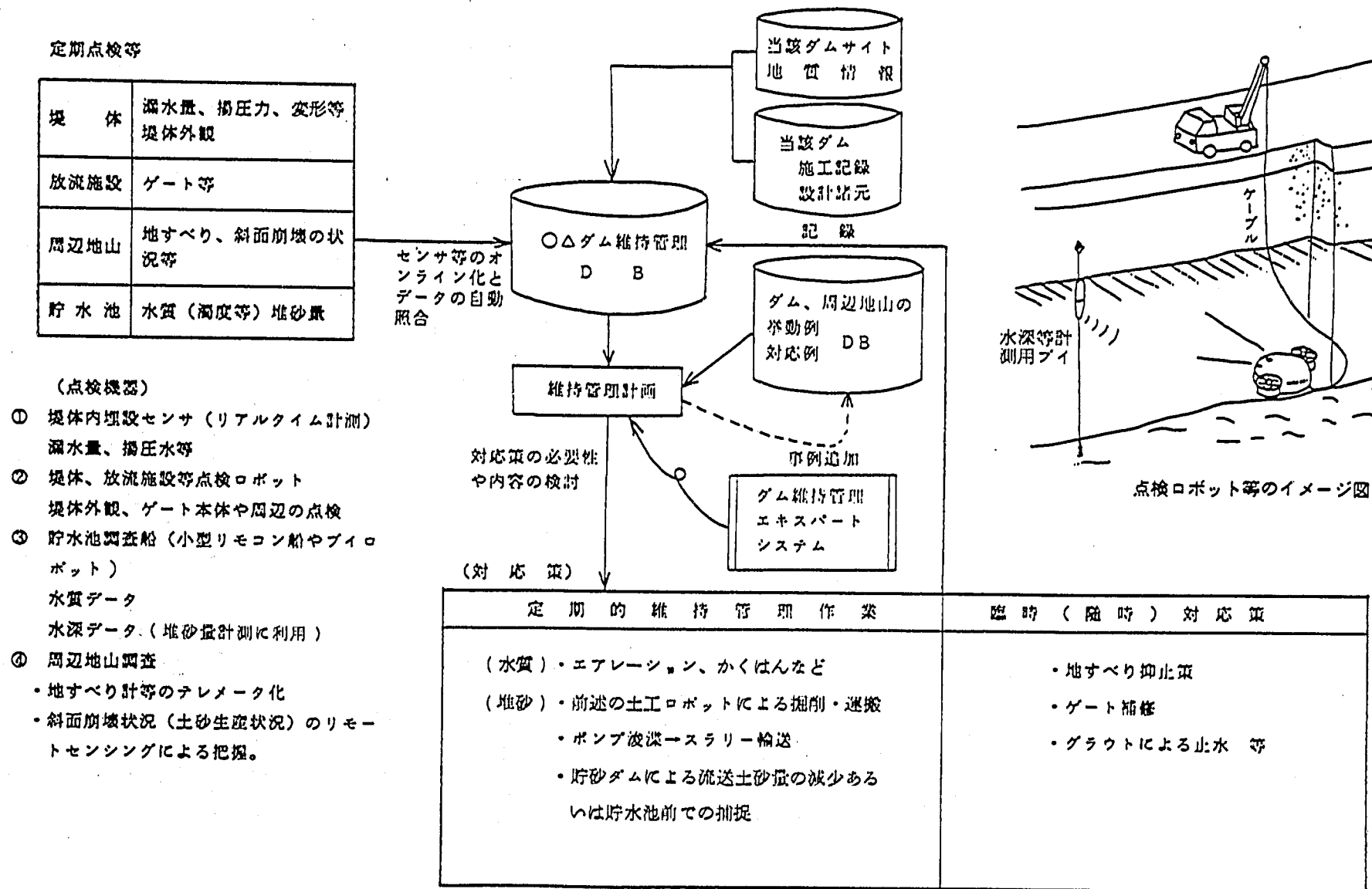
周辺地山調査システム：地すべり計等のテレメータ化

斜面崩壊状況等のリモートセンシング

デジタルステレオ画像処理による自動計測

②工法関連

- ・ダムの維持管理に必要なルールの蓄積
- ・当該ダムに関するデータの蓄積
- ・データの処理・解析・判定手法の確立



付図1.5 ダムの維持管理に関する高度化システムの概念

1.2 トンネル

(1) 施工（シールドトンネル）

1) 現行工程

準備工 → 掘進 → ずり搬出 → セグメント組立 → 履工

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

- ・セグメント組立等で重作業が多い。
- ・坑内において位置あるいは形状計測が困難である。
- ・掘進面周辺の地質の状況や障害物の事前把握方法が十分でない。
- ・履工のコンクリート打設の品質管理が十分でない。

3) 改善策の検討

①高度化された作業フロー

掘進 → 自動ずり搬出 → 自動セグメント組立 → 自動履工システム

②中心的課題

- ・地質等調査（地下埋設物データベース）

リモートセンシング，地下レーダ，データフォーマットの統一化，

自動ボーリング，3次元データ

- ・設計（CAD）

エキスパートシステム，3次元データの処理技術の向上

- ・施工

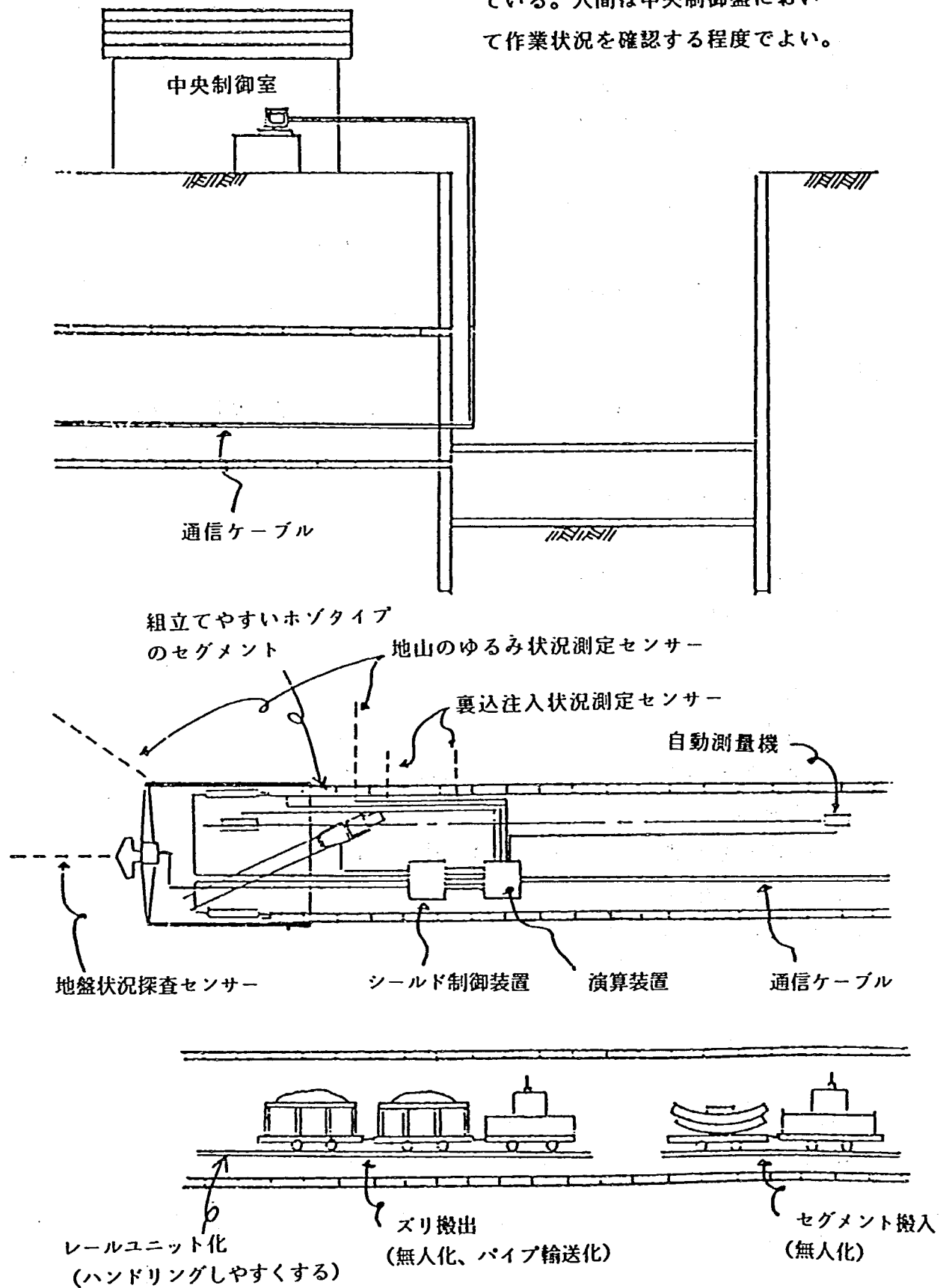
自動ずり搬出（一部実施中），自動セグメント組立（一部実施中），

コンクリート打設管理の自動化，自動測量システム

4) 技術開発課題

- ・前方地山の状況把握（リモートセンシング技術の向上）
- ・シールド径の規格化
- ・エキスパートシステムの開発

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。



付図1.6 シールドトンネル施工のイメージ

(2) 施工 (山岳トンネル)

1) 現行工程

準備工 → 削孔 → 装薬 → 爆破 → ずり搬出 → 吹付 → ロックボルト
→ 一次履工 → 二次履工

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

- ・作業環境が悪い。
- ・坑内において位置あるいは形状計測が困難である。
- ・地質の状況や障害物の事前把握方法が十分でない。

3) 改善策の検討

①高度化された作業フロー

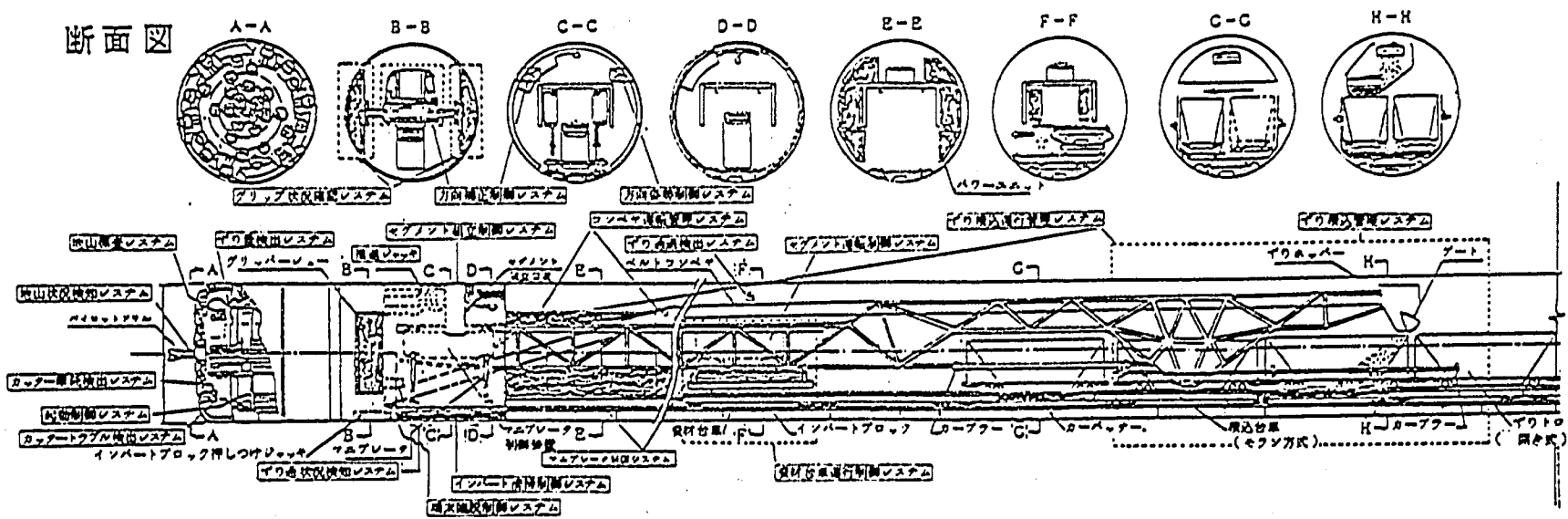
掘進 → 自動ずり搬出 → 自動履工システム

②中心的課題

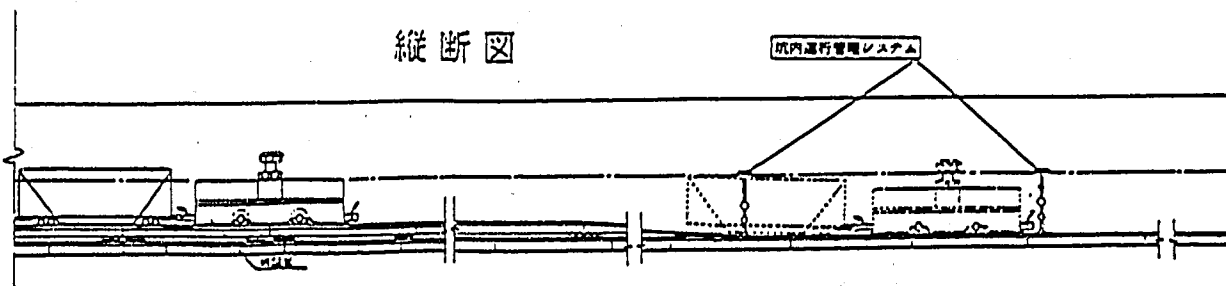
- ・地質等調査 (地下埋設物データベース)
リモートセンシング, 地下レーダ, データフォーマットの統一化,
自動ボーリング, 3次元データ
- ・設計 (CAD)
エキスパートシステム, 3次元データの処理技術の向上
- ・施工
自動ずり搬出 (一部実施中), 自動発破

4) 技術開発課題

- ・前方地山の状況把握 (リモートセンシング技術の向上)
- ・切羽の無人化
- ・自動装薬システムの開発



縱斷圖



付図1.7 山岳トンネルの全自動全断面型掘削システム概念図

(3) 維持管理

1) 現行工程

定期点検 → 補修計画作成 → 補修工事

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

- ・簡単な目視が中心である。
- ・現道交通に障害を与える。また、作業が危険である。

3) 改善策の検討

①点検作業

点検用自走台車、もしくは点検車（通常の台車にセンサ等を取付けたもの）により点検を行う。そのため、現道交通に障害を生じない。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。

②補修作業

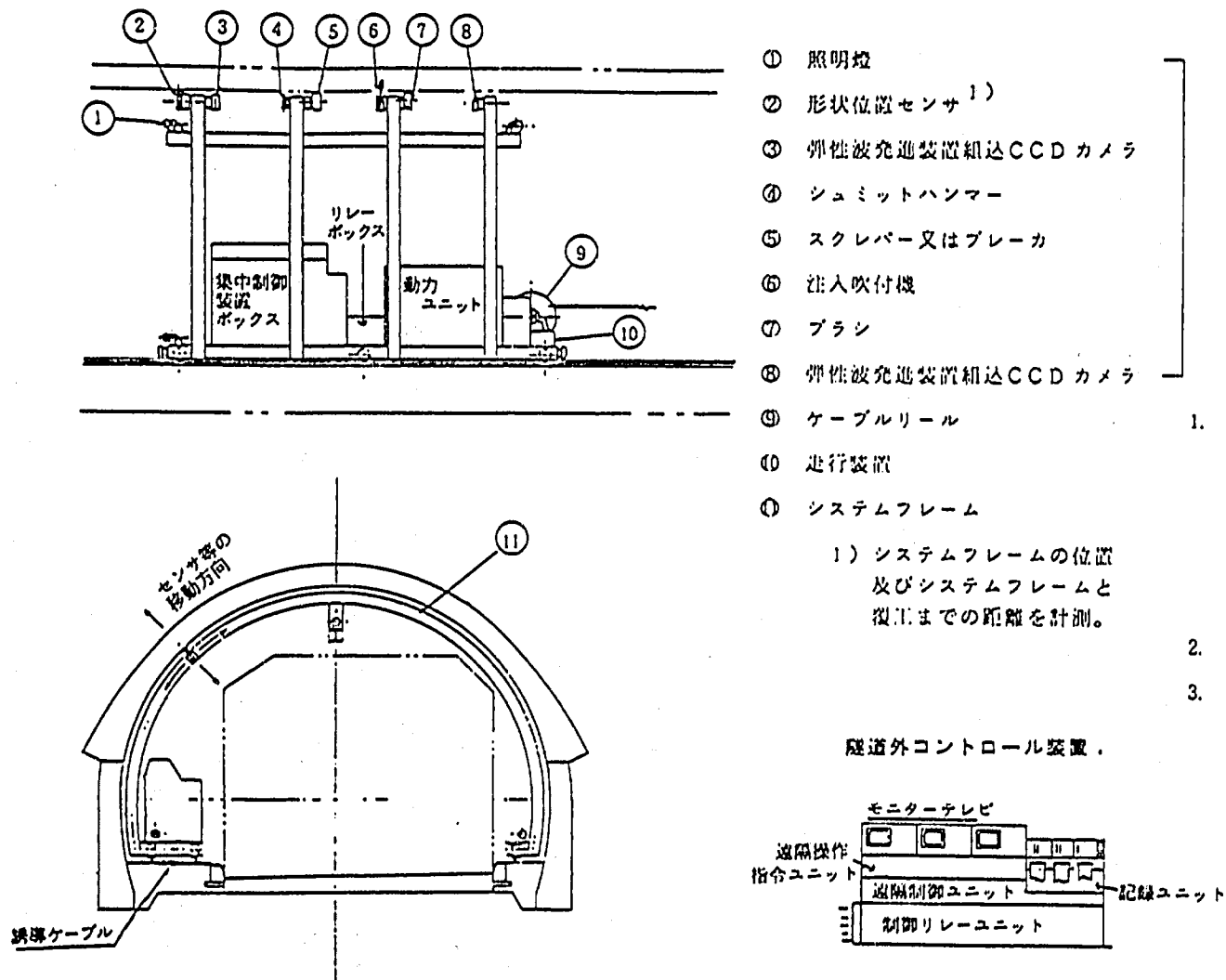
補修用自走台車にコンクリート切削機や吹付機等を目的に応じて装置することにより、現道交通への障害を最小に抑えることができる。さらに作業も自動化されることにより、危険作業（高所作業、現道上作業）が減少し、精度向上も得られる。

③維持管理情報の処理・管理

トンネルの維持管理情報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。

4) 技術開発課題

- ・トンネル点検補修用移動台車（付図1.8参照）
- ・電磁波等による履工圧計測センサ
- ・レーザ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（深さ、広さ）
- ・補修用自走台車
- ・補修状況の検知センサ（切削量の計測等）
- ・コンクリート切削カッタ等を操作するマニピュレータ
- ・トンネルの維持管理に必要なルールの蓄積
- ・該当トンネルに関する過去のデータの蓄積



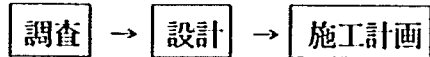
1. 長大トンネル等については点検・補修車とその軌道を専用化できる。一般トンネルについては、軽量化を図り、さらにシステムフレームを伸縮・折りたたみ可能な構造とする。専用運搬車で対象トンネルへ運搬し、到着後はフレームを伸ばすことで、すぐに点検・補修等を行える。
2. センサ等については、使用目的に応じて脱着する。
3. 補修使用時は、フレームに防護カバーをはり、切削屑等は、ダクトで吸引し、飛散を防ぐ。

付図1.8 トンネル点検・補修車イメージ

1.3 海洋構造物

(1) 調査・計画・設計

1) 現行工程



2) 現行工程の問題点の抽出・整理

- ・調査範囲（海洋）が非常に広大である。
- ・気象・海象など収集すべきデータが多岐にわたる。
- ・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を行う必要性が高い。

3) 改善策の検討

①海洋調査

- ・データ収集の効率化、同時化、精緻化
- ・センサの高精度化（能力向上）
- ・調査作業の高度化

②設計・施工計画

- ・波況・流況等の大規模・高速シミュレーション
- ・設計結果のよりビジュアルな表現
- ・施工状況に応じた迅速な設計（施工計画）変更

4) 技術開発課題

①データ収集の効率化、同時化、精緻化

- ・リモートセンシング等による広域・同時データ収集
 - ・調査船・調査ロボット等による点的データ収集
- } 組合せ

②センサの高精度化（能力向上）

- ・海底地形スキャナー（パワーアップと指向性向上）
- ・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・低周波音波探査機の精度向上
- ・自己位置検出装置（GPS等を利用したポジショニングセンサ）

③調査作業の高度化

- ・大気圧潜水服（高強度の新素材）
- ・水中モニターロボット
- ・データの収集・リレー技術

④波況・流況等の大規模・高速シミュレーション

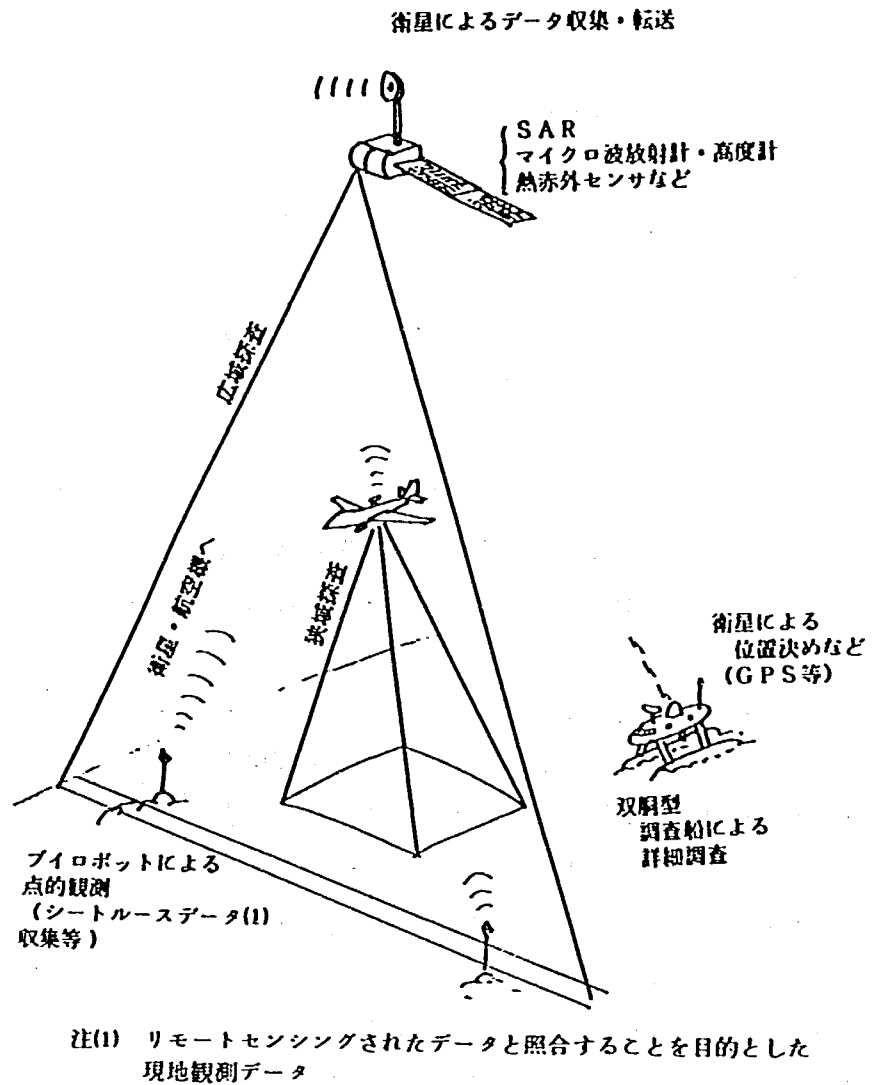
- ・情報管理の高度化（ネットワークされたデータベースシステムの整備）
- ・シミュレーション技術の確立（構造物による海象変化の予測）

⑤設計結果のよりビジュアルな表現

- ・自動設計システム（デザイン機能等ソフト面を重視したシステム化）

⑥施工状況に応じた迅速な設計（施工計画）変更

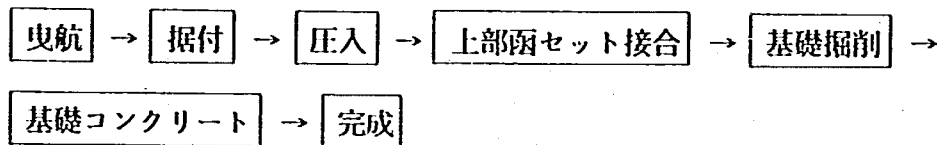
- ・対象地域海象等DBのデータ更新の高速化・効率化
- ・経験的判断要素のエキスパートシステム



付図1.9 海洋調査イメージ

(2) 施工

1) 現行工程 (海中基礎工の場合)



2) 現行工程の問題点の抽出・整理

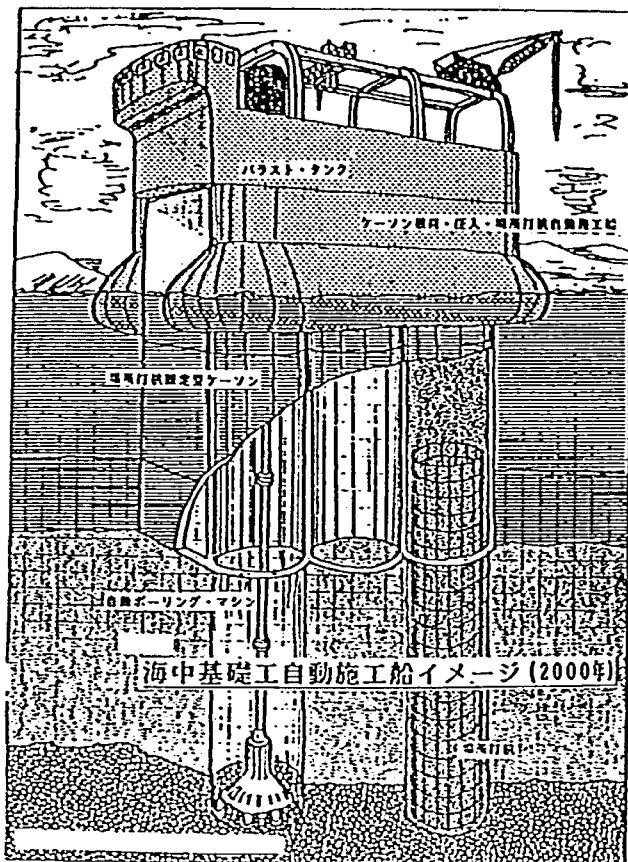
- ・ 堅固な足場の確保が難しい。
- ・ 水中作業が避けられない。
- ・ 施工に伴う種々の汚染が発生・拡散し易い。
- ・ 水中での動力の発生が困難。

3) 改善策の検討

- ① 施工作业
 - ・ システム化施工船による施工
 - ・ 構造物のユニット化・プレハブ化
 - ・ 環境汚染の少ない施工法
- ② 施工管理
 - ・ 施工状況に応じた迅速な設計 (施工計画) 変更

4) 技術開発課題

- ① システム化施工船による施工
 - ・ 自己位置検出装置 (AI による動揺補正, 人工衛星を用いた位置計測)
 - ・ 水中モニター用ロボット
- ② 構造物のユニット化・プレハブ化
 - ・ ユニット化に対応した規格化・システム化
 - ・ ユニット化に合わせた設計思想・基準の導入
 - ・ 軀体等の自動化製作ヤード
- ③ 環境汚染の少ない施工法
 - ・ ユニット構造物の現地組立施工
 - ・ 密閉型施工
- ④ 施工状況に応じた迅速な設計 (施工計画) 変更
 - ・ 経験的判断要素の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



付図1.10 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。

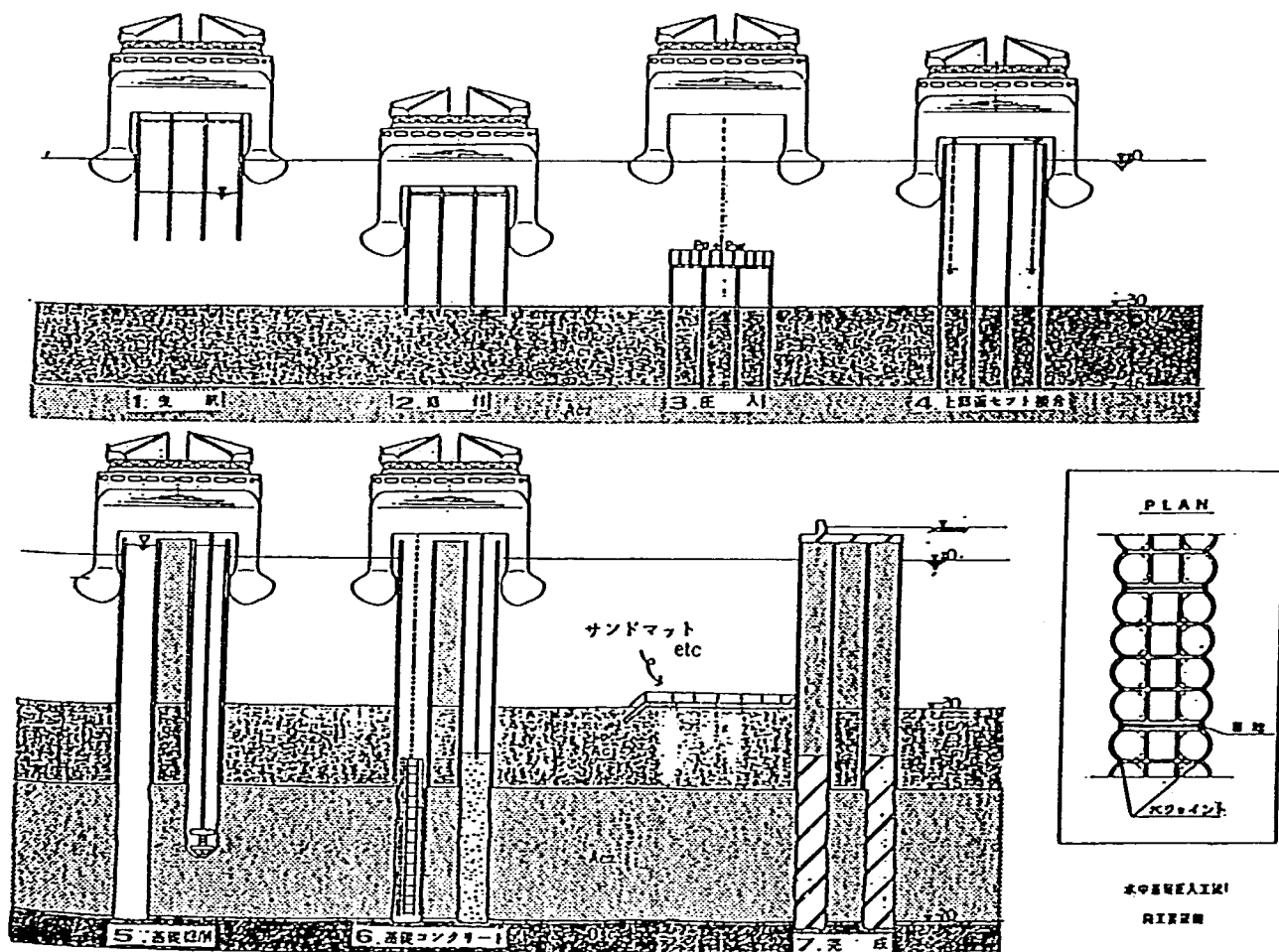
(2) 海中作業の低減

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 におけるマウンド拘し等）が不要になる。

(3) 構造上のメリット

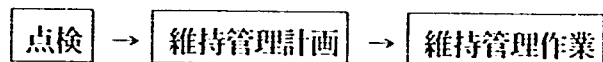
本イメージでは、軟弱地盤でも特に地盤改良を必要とせず、また場所打ち杭と一本化した剛体基礎が得られる。また、内部への中詰め材料は、構造上外部の海水と接触しないため、廃棄物や不要材料を固化して使用することも可能である。

応用：護岸・橋脚・防波堤等



(3) 維持管理

1) 現行工程



2) 問題点の抽出・整理

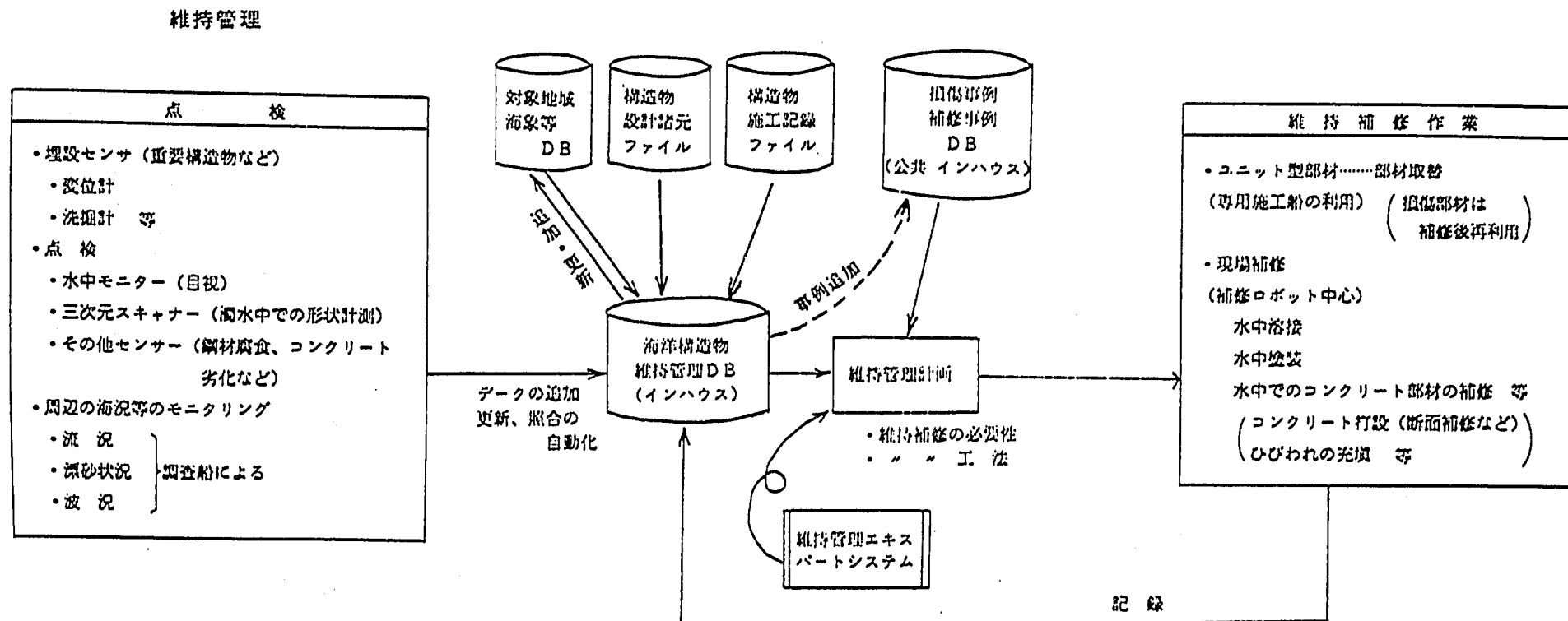
- ・水中作業は困難・危険が多い。

3) 改善策の検討

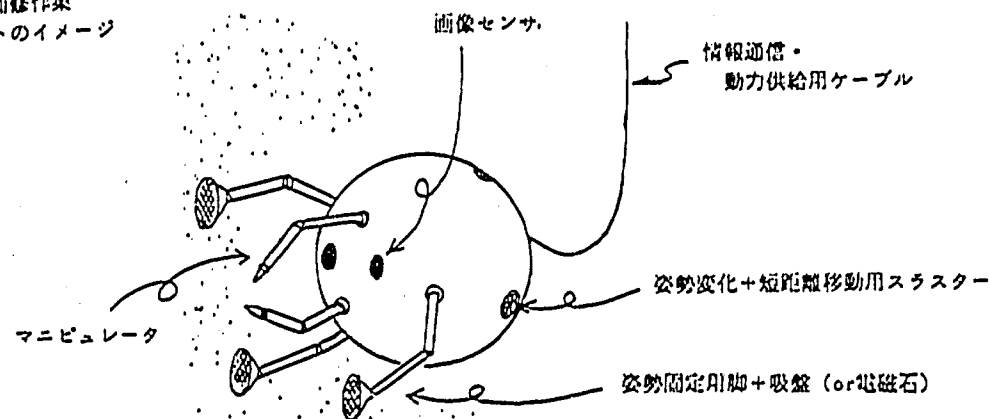
- ①点検
 - ・埋設センサー（重要構造物）
 - ・水中モニター（一般構造物）
 - ・モニタリング（周辺海況等）
- ②維持管理計画
 - ・エキスパートシステム
- ③維持管理作業
 - ・構造物のユニット化
 - ・リモコン型補修ロボット
 - ・作業環境の向上

4) 技術開発課題

- ①埋設センサ
 - ・変位計・埋設計等
- ②水中モニター
 - ・高精度3次元スキャナー（濁水中での形状計測）
- ③モニタリング
 - ・調査船による流況・漂砂状況・波況等の観測
- ④エキスパートシステム
 - ・海洋構造物の損傷や補修事例などの実績の把握とそれに基づく知識ベースの構築
- ⑤構造物のユニット化
 - ・各ユニットごとの交換・補修
- ⑥リモコン型補修ロボット
 - ・水中への情報通信・動力供給
 - ・水中溶接・水中塗装・水中コンクリート補修等の技術の確立
- ⑦作業環境の向上
 - ・大気圧潜水服



点検、補修作業
ロボットのイメージ



付図1.11 海洋構造物維持管理の高度化システムの概念

1.4 土留掘削（施工）

1) 現行工程

①一般土留工

掘削位置測定 → 埋設物調査・確認 → 土留壁（鋼矢板等）打設 → 掘削
→ 腹留め等設置 → 基礎処理 → 構造物設置 → 埋戻し

②地中連続壁

掘削位置測定 → 埋設物調査・確認 → 泥水処理装置付帯設備工 → 掘削
→ 泥水・土砂分離 → 廃泥水処理 → 掘削壁面検査 → 泥水・根固め材の置換 →
鉄筋等立て込み → 掘削 → 基礎処理 → 構造物設置 → 埋戻し

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

①一般土留工

- ・切築等が掘削作業の障害となる。
- ・土留内掘削，切築設置作業に地盤の崩壊等の危険が伴う。
- ・施工可能深度が限られる。

②地中連続壁

- ・連続壁の剛性が不十分なため，施工深度が地盤の安定性から限られる。
- ・掘削精度が十分でなく，地盤条件の変化に対応が困難である。
- ・掘削壁面の検査が難しい。
- ・安定泥水の管理に経験と熟練が必要で，人手を要する。

3) 改善策の検討

①施工情報管理システム

土圧，変位等の現場計測データで土留壁の安全判定及び設計・施工の合理化を図る。
この安全性の判定基準のために土留壁の現場計測データのデータベース化を図る。

②大規模土留壁

全自動地中連続壁施工システムにより本体構造物を兼ねた連続壁を全自動施工する。

また，地中連続壁内全自動掘削・排土システムにより連続壁内をバックホウ等の無人掘削機で掘削するとともに，無人・自走排土ホッパーにて掘削土を連続排土する。

- ・全自動地中連続壁掘削機
- ・全自動泥水管理・処理機
- ・全自動掘削機
- ・全自動排土用ホッパー
- ・壁面自動整形・清掃機
- ・掘削用ロボット群制御システム

③小規模土留壁

セグメントを組立てることにより土圧・水圧に対処する。また，壁面の掘削は自動掘削シ

システムにより回転カッターあるいはバケットによる自動掘削、パイプによる揚土を行う。

4) 技術開発課題

①情報管理システム

- ・土留掘削に関する各種データの収集とデータベース化
- ・土留の安定に関する判定のルールの蓄積

②大規模土留

- ・全自動壁面掘削機

姿勢制御システム	: 傾斜・位置等のセンサ技術
障害物除去システム	: 障害物の検知センサ, 回避, 除去
壁面検査システム	: 崩壊等のセンサ技術
掘削管理のためのエキスパートシステム	

- ・全自動泥水管理・処理システム

泥水品質の自動計測システム: 濁度, 比重等のセンサ技術
泥水自動調合システム

- ・鉄筋自動組立システム

自動鉄筋組立, 溶接, 立て込みシステム, スライム検知センサ及び除去システム

③掘削ロボット等

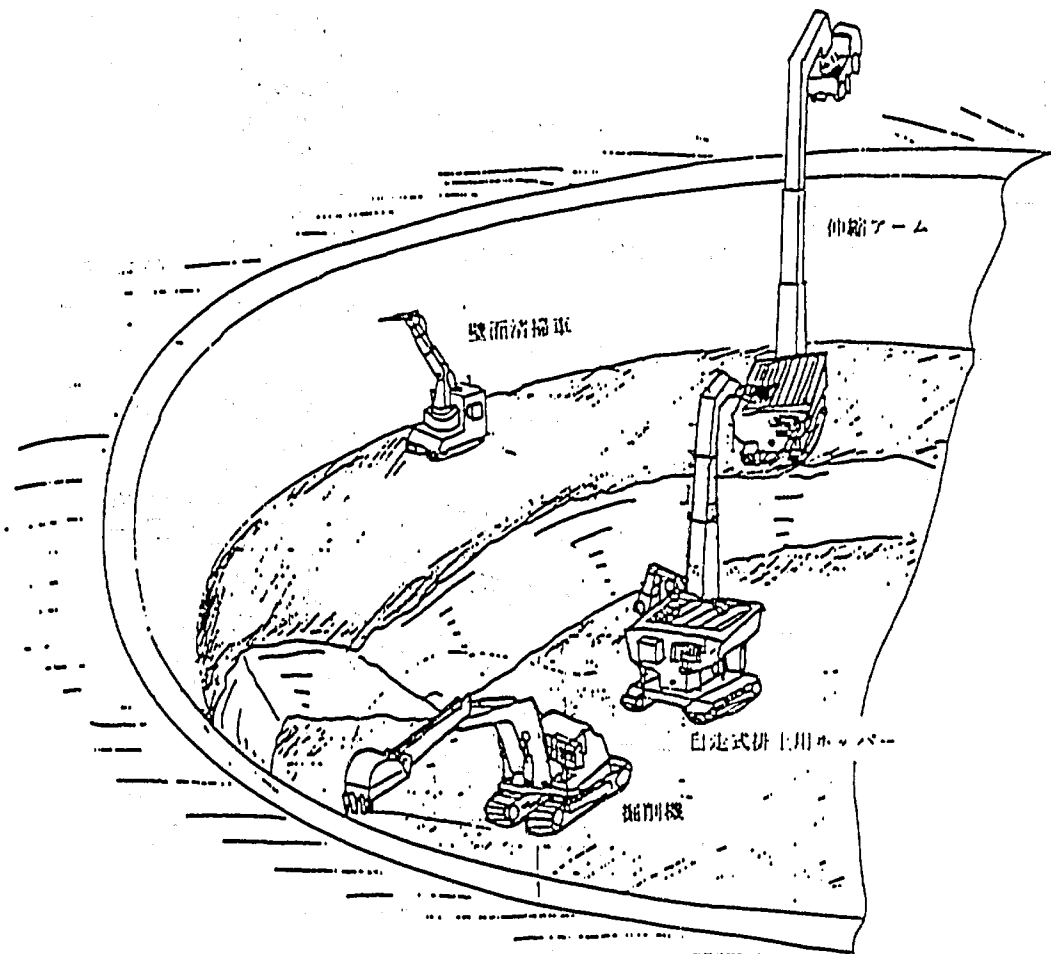
- ・位置制御システム : 傾斜・位置等のセンサ技術及び掘削・制御技術
- ・土量・掘削面検査システム : 土量・崩壊等のセンサ技術
- ・掘削管理のためのエキスパートシステム

④ロボット群制御システム

⑤小規模土留

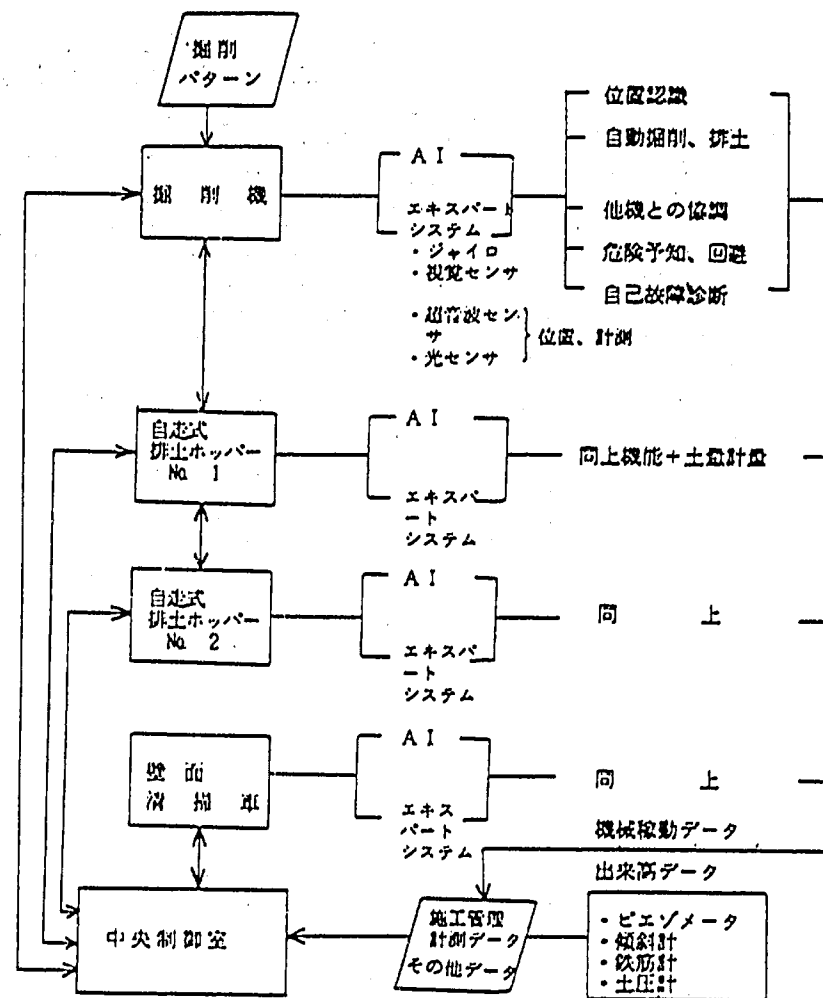
セグメント自動組立機, 自動組立しやすいセグメント形状の開発, 自動揚土機

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)



付図1.13 連壁内自動掘削・排土システムの概念図

1.5 橋梁（維持管理）

1) 現行工程

点検 → 維持管理計画 → 維持管理作業

2) 現行工程の問題点の抽出・整理

①現場作業面

- ・高所足場上での作業が多い。
- ・点検や補修等，人間の熟練技能や経験に依存する部分が多い。

②情報処理面

- ・補修工法や時期の選定等，経験的判断に基づいて処理される事項が多い。
- ・これまでの橋梁の損傷・補修事例等の蓄積が十分でない。

3) 改善策の検討

①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により無人化する。
- ・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。

②データ処理管理

- ・各橋梁の履歴を全てデータベース化する。
- ・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により支援される。

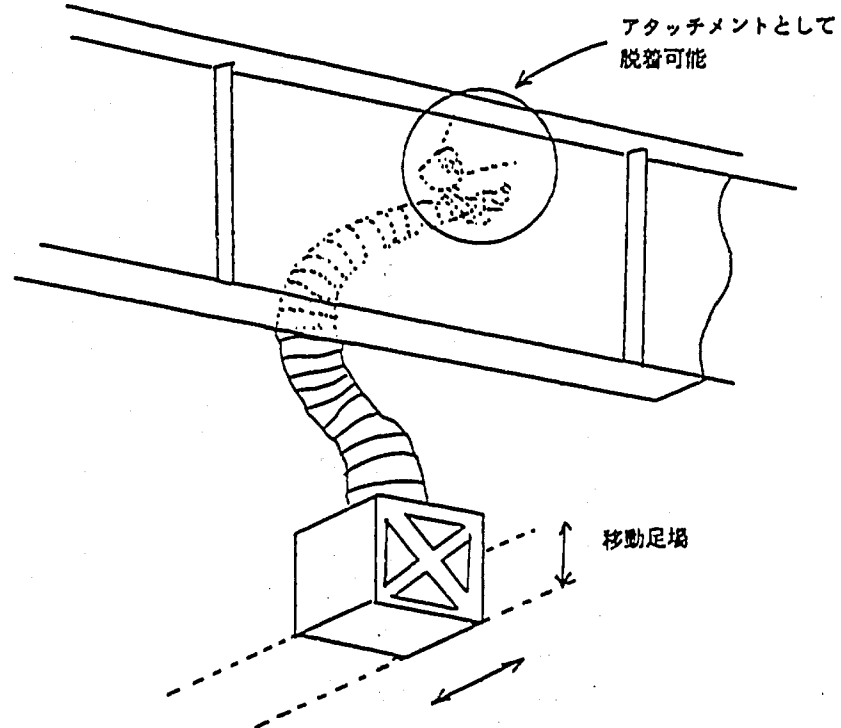
4) 技術開発課題

①維持管理作業

- ・複雑な橋梁構造に対応できる軽量マニピュレータ
- ・軽量ロボット足場
- ・各種点検用センサ

②データ処理管理

- ・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の蓄積



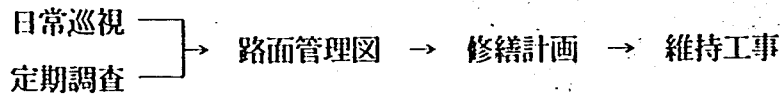
アタッチメントの例

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

付図1.14 点検・塗装用ロボットのイメージ図 (足場装着タイプ)

1.6 道路舗装（維持管理）

1) 現行工程



2) 現行工程の問題点の抽出・整理

- ・巡視・点検の精度がよいくない。
- ・点検・補修作業が現道上で行われるため、交通障害となる。
また、作業が危険である。
- ・路面損傷の発見から補修までにタイムラグがある。

3) 改善策の検討

①舗装状況の計測

車載型センサにより舗装の維持管理に必要なデータを高速・高精度で収集する。

路面の3次元座標（轍掘れ、縦断凹凸、段差）、摩擦抵抗、舗装構造、
ひび割れ・ポットホールの発生状況、舗装のたわみ

②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

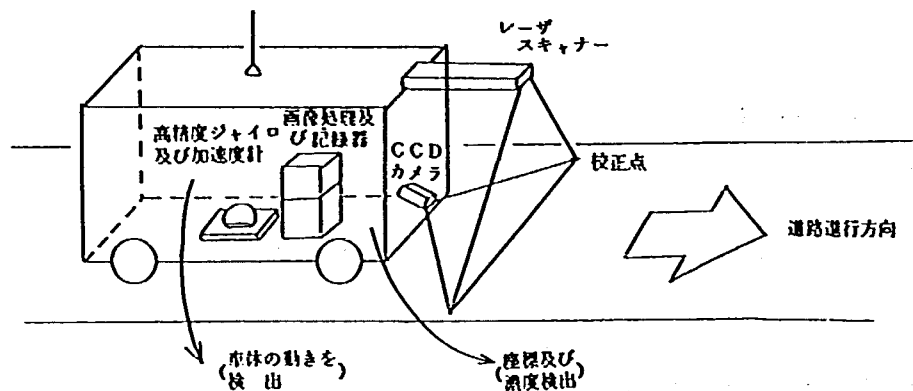
4) 技術開発課題

①舗装状況の計測

- ・高精度な位置・姿勢計測センサ
- ・非破壊検査技術の向上（超音波探査等）

②補修作業の自動化

- ・立体交差型ロボット
- ・コンクリート・アスファルト切削能率の向上
- ・低振動・高速高密度締固め機の開発
- ・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



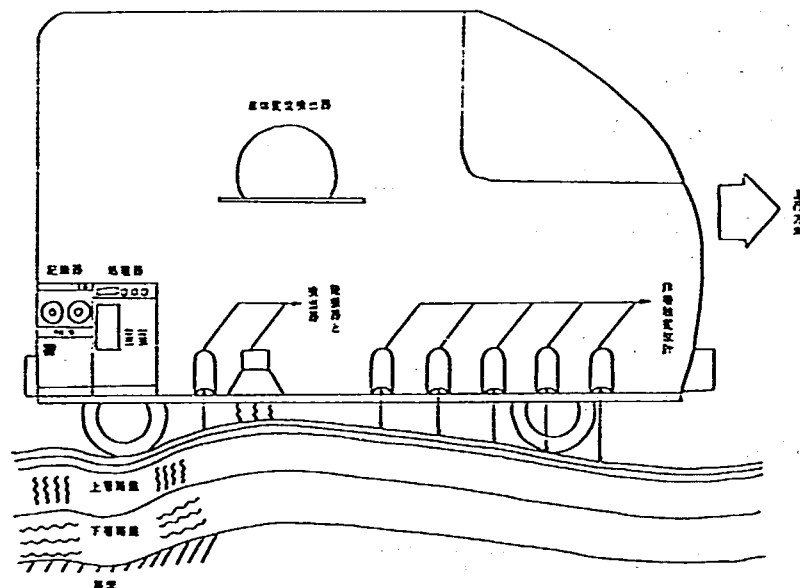
(計測手順)

- 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・交換する。
- 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。

付図1.15 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られた非接触変位計は、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。

付図1.16 舗装構造計測システムのイメージ

概念設計における技術開発課題のとりまとめ

概念設計の対象とした6つの建設事業に関する高度化システムの検討から、技術開発課題を抽出してとりまとめると、付表1.1のようになる。

付表1.1 概念設計における技術開発課題のとりまとめ

工程	技 術 開 発 課 題	
	機 器 ・ 工 法 関 連	情 報 関 連
調 査 設 計	リモートセンシング技術 ○ センサ（地質、水位、地形など） ○ 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 自動化・ロボット ○ 調査用不整地走行ロボット ○ 自動ボーリングマシン ○ ロボットナビゲーション技術 海洋調査 ○ 海底地形スキャナー ○ 大気圧潜水服 ○ 水中ボーリングマシン ○ 水中モニタロボット ○ 土質用磁気探査機 ○ 多点水中設置センサ ○ 上記に関する海洋調査船	データ・ベースシステム ○ 国土・地形・地質情報 ○ 設計・施工事例情報 ○ 地下埋設物情報 ○ 地籍・固定資産情報 ○ 労務・資機材情報 ○ 海洋情報 画像処理、CADシステム等 ○ 地質用三次元情報処理 ○ 三次元データ用CAD ○ 最適設計CAD エキスパートシステム（ES） ○ 地質データ解釈ES ○ 設計、施工計画用ES

工程	技 術 開 発 課 題	
	機 器 ・ 工 法 関 連	情 報 関 連
施 工	ロボット ○ 掘削等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 ○ 点検・塗装ロボット ○ ロボット用各種点検センサ 自 動 化 ○ 全自動バッチャプラント ○ 運搬、まき出し、転圧・締固め度計測の自動化（群制御） ○ 締固め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 海洋構造物等のユニット化 制御性のよい火薬 橋梁施工用移動ロボット足場 可搬組立式鋼橋床板 立体式路面補修フリート 高速道路補修システム 舗装のプレハブ化 舗装材料の改良	エキスパートシステム ○ 施工管理用 E S ○ ダム用コンクリートプラント E S ○ 補修工法決定用 E S データベースシステム ○ 施工事例情報 D B ○ 労務・資機材管理用 D B ○ 土留掘削事例 D B 出来形計測用画像処理システム ユニット化・プレハブ化による自動化 適合法に関する規格化
維 持 管 理	点検の無人化・自動化 ○ 水中モニタロボット、センサ ○ トンネル点検・補修車 ○ 橋梁点検・補修ロボット ○ 車載型センサによる舗装の高速自動計測	エキスパートシステム ○ 点検データ解釈・診断 E S ○ ダムの臨時対応用 E S ○ トンネル維持管理用 E S データベース ○ 損傷事例 ○ 補修事例 画像処理、CADシステム等 ○ 三次元スキャナーによる形状計測、認識 ○ 舗装 CAD

資-2. 土木研究所における最近の施工新技術の開発事例

2.1 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での開発事例

(1) 土の締固め度の管理システム

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のために必要となる。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になる。

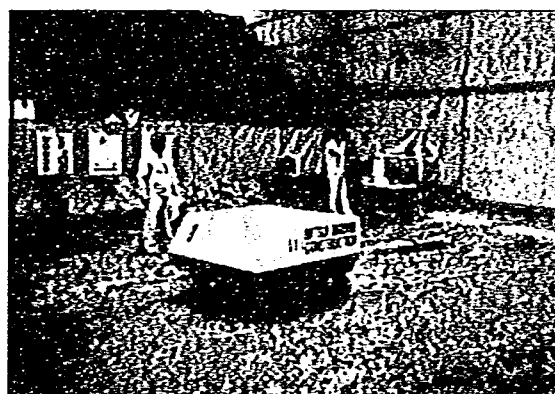
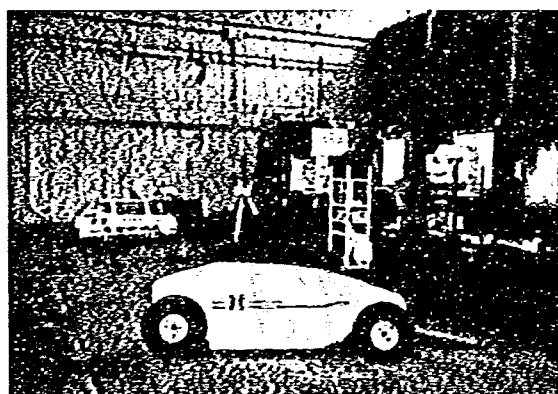
位置の計測ではリアルタイムの計測と処理が要求されることにより次の2方式を採用し、システムに取り入れた。

- ・点滅光源を用いた追尾・測角による位置検知
- ・方位センサと走行距離によるジャイロ方式位置検知

土の締固め度を測定する方法は次の3方式の中から選定した。

- ・電磁波法 ・インピーダンス法 ・散乱型R I法

以上の方式を組み合わせる3種類の土の締固め管理システムを開発、その確認実験を行い、性能が確認された。今後の課題としては、できるだけ多くの現場で使用して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。



付図2.1 電磁波法とインピーダンス法の締固め管理システム (左)

及び拡散型R I法の締固め管理システム (右)

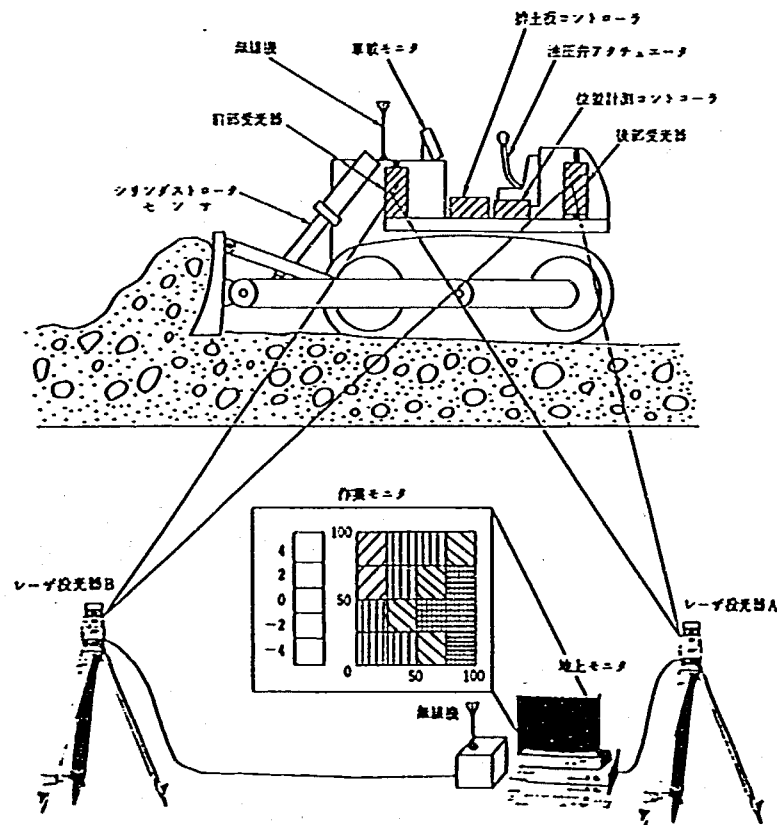
(2) ブルドーザ位置決めと排土板制御

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。

システムの全体構成を付図2.2に示す。本システムは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なくなる方向に排土板を制御する方式を採用した。また、位置計測は絶対位置に対して十分な検出精度を得るものとしてレーザ燈台方式を採用した。

今回の研究ではごく単純な平面の整地を対象としたが、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も本システムの発展応用によって対応できると考えられる。



付図2.2 ブルドーザ位置確認と排土板制御システムの構成

(3) 工事情報データベースシステム

建設事業が高度化するにつれて技術情報の役割は重要性を高めており、調査・計画→設計→施工→維持保全という業務の中で、全ての業務に共通した要素である技術情報が各々の業務を結びつける機能を果たしている。従って、業務の流れをより効果的にして建設技術全体の高度化を図

ろうとするとき、各種の技術情報を的確に提供するシステムが必要となる。その1つが工事情報データベースシステムであるが、それは各種の技術情報を提供することによって技術レベルの高度平準化を図ることを目的としており、将来の技術的進歩の基礎づくりを行うものである。

本研究はまず工事情報データベースシステムのニーズや既存のシステムに関する調査から始め、続いて建設情報管理高度化システムの将来像についての検討を行い、それに基づいて工事情報データベースシステムの開発を行った。そしてその適用性を調査するために、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軟弱地盤改良工事を対象に検討を行った。

開発の目的は以下の通りである。

- 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、情報量等についての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) ハードウェア及び基本的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理し、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。

工事情報データベースシステムで取扱う情報は建設工事全般にわたるものであるが、本研究においては高速道路建設の軟弱地盤処理工を対象として収集データの範囲を検討した。付表2.1に1つの工事区あたりの蓄積情報の一覧とその取扱い区分を示す。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。

工事情報データベースシステムの利用用途の1つとして軟弱地盤改良工事を取上げてその適用性について検討した結果、過去の実績と経験情報を迅速に入手することが可能になれば的確な設計・施工法の選定が可能となり、問題が生じた場合においても対策手法の検討が過去の実績に基づいた確かなものとなることがわかった。また、画像データベースの導入に関しては多くの有用性が考えられ、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画像データベース技術は十分に利用価値の高いものと考えられる。

本研究では工事情報データベースシステムのパイロットモデルを構築するとの目的から、データベースの運用システムについてはデータの入力、蓄積、検索、表示といった基本機能に限定している。従って、今後の課題としては蓄積されたデータの管理機能やシステムの分散化等、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。特にシステムの分散化についてはデジタル総合サービス網の整備が進みつつあり、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ので十分に検討する必要がある。

付表2.1 1つの工事区あたりの蓄積情報の一覧とその取扱い区分

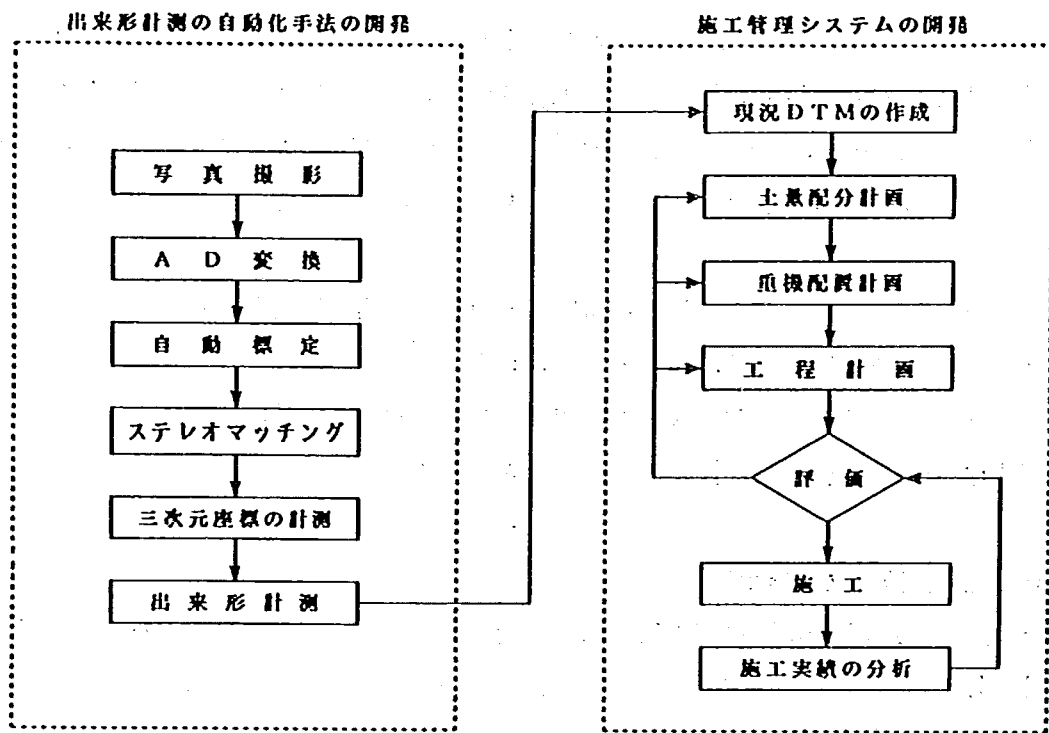
情報分類			基 本 情 報		詳細情報（軟弱地盤改良工事情報）		
取扱い区分			工事区概要情報	地質情報	軟弱地盤改良工事概要情報	軟弱地盤改良工法情報	軟弱地盤動態観測情報
数値・文字データ			路線名 工事名 工事場所 工事区間（KP） 工事区間（STA） 施設名 上部構造物 発注者名 設計者名 施工者名 工 期 工 費	地質柱状図 ・柱状図番号 ・調査地点（STA） ・調査地点標高 ・深度毎地質分類 ・深度毎 N 値	工期（改良工） 工費（改良工） 地 形 土 質 軟弱地盤層厚 改良規模 改良目的 許容沈下量 特記事項	使用工法名 設計数量 使用機械（数量含む） 改良効果	動態観測項目 ・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（1/25000） 一般平面図（1/10000）	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	一般横断面図 一般縦断面図	地質推定縦断面図	縦断面	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				

（４）写真測量自動化技術と土工管理への応用

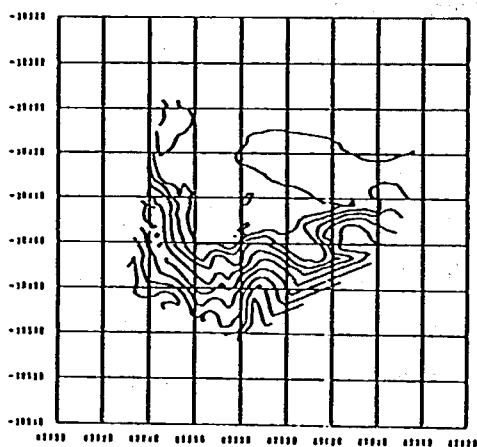
土工事における出来形計測は一般にスタジア測量により行われているため、計測費用や計測時間の点に問題が残されていた。また、一部では航空写真による出来形計測が検討されているがこの方法でも解析に時間を要し、迅速な処理が困難であると考えられる。このため、出来形計測結果を施工管理に反映させることは難しい状況にあった。そこで、本研究はデジタル画像処理技術を写真測量に適用することで遠隔自動測定手法を開発するとともに、出来形の自動計測を前提とした施工管理手法を提案し、土工事における出来形計測から施工管理までの一貫したシステムを開発することを目的として行われた。

本研究の内容は付図2.3 に示すように大きく2つに分けられる。

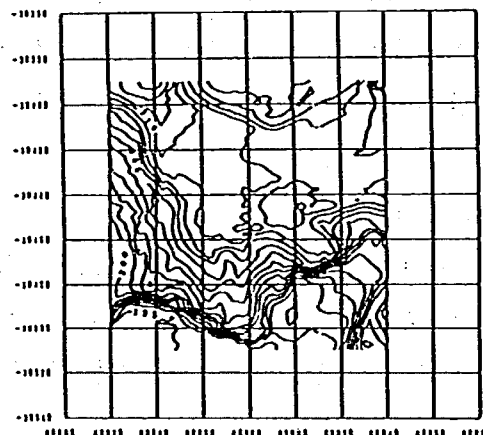
出来形計測手法に関しては主として精度の高いAD変換装置（CCDエリアセンサを搭載したフラットベット型）の開発と自動標定及びステレオマッチングに関するソフトウェアの開発を行った。そして、自動計測が最も苦手とする崖（7～10m）を含む土地造成現場を対象に検討を行った結果、自動計測結果は地上測量結果、手動計測結果と比較して良好な精度を示した。また、図化表現能力において自動計測結果は地上測量結果を上回り、出来形計測に十分使用できると判断される。計測時間については従来法（地上測量、図化機による手動計測）の数分の1であり、十分に迅速化されたと評価できる。（付図2.4～2.6参照）



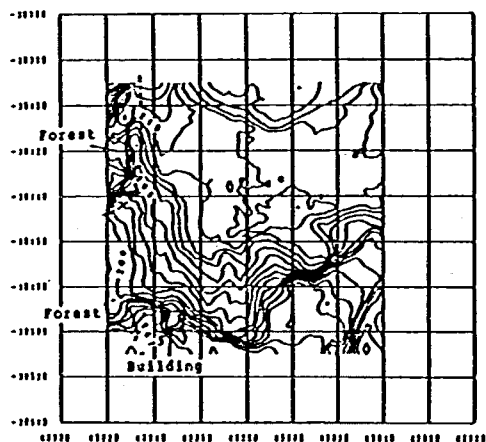
付図2.3 土工事における出来形計測から施工管理までのシステムの流れ



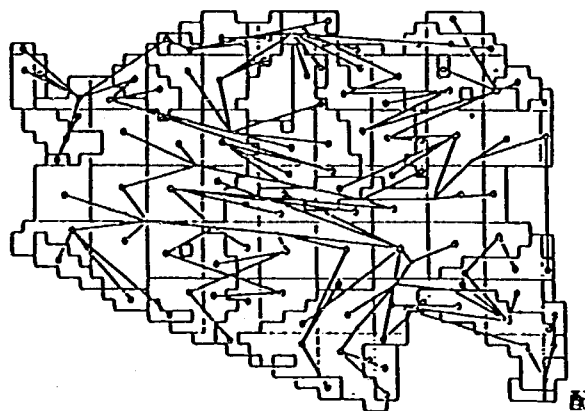
付図2.4 地上測量結果



付図2.5 手動計測結果



付図2.6 自動計測結果



付図2.7 配分計画図

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、規模47ha、約100万m²の土地造成現場を対象に、3回の写真測量で得られた計測DTM（数値地形モデル）と計画DTMを地形データとして使用して事例計算を行った。その出力結果の一例を付図2.7に示す。

本研究の結果、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と、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。

2.2 その他の代表的な開発事例

本事例集は、概ね過去10年間に建設省土木研究所が開発した施工及び施工管理手法に関する新技術並びに新材料について、土木研究所のシステム課や各研究室、新潟試験所に対し「施工技術に関するアンケート調査」を行い、その結果を取りまとめたものである。

ただし、ここで紹介する開発事例は、アンケート調査によること、またアンケートの中で「施工・施工管理・材料」及び「開発」について、その内容、範囲を特に規定していなかったことから、取り上げられた新技術もしくは新材料は、土木研究所が開発した全ての施工技術を取りまとめたものでなく、主要な開発の概要であることに留意されたい。

また、土木研究所においては従来から河川・道路等をはじめとする各種の構造物の「設計・施工法」等について研究を実施しており、設計法や施工法等についての各種の基準や指針等の成果を上げるとともに、従来工法の改良や新工法の開発、あるいはその方向を示してきた。しかし、ここでは、これらのソフトな基準等を除外するとともに、ハードな技術についても、ある程度具体的な実施例があるものに限定した。さらに、ハードな施工技術であっても、諸外国からの導入や評価のみ行なったものについても省いている。

開発技術の名称： 土木構造物の設計の標準化		研究室名： システム課
開発時期： 昭和 年	特許の有無： 有 ☒ 出願中	開発主体： <u>単独</u> 共同

技術の概要： 省内における土木工事の共通的な構造物の標準化と規格化を図るために、各種土木構造物の標準設計と自動設計プログラムの開発を行っている。現在までに全29巻の標準設計の制定と18工種の自動設計プログラムの開発を行っており、土木構造物の設計、積算、施工等の合理化、省力化、設計の基準化、精度の向上に寄与している。

標準設計・自動設計の整備状況

(昭和62年9月現在)

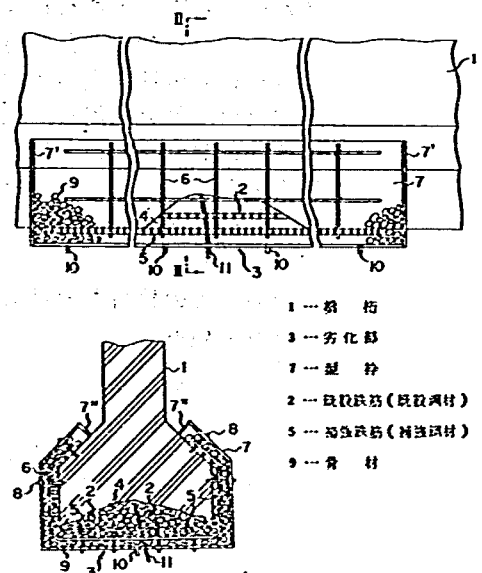
区 分		標準設計	自動設計	区 分		標準設計	自動設計
土木構造物	側溝類	—	—	基礎工	壁式基礎	SS7 711B	SS7
	暗渠類	SS4 711B	SS2		ラーメン式基礎	—	SS2
	側溝類	SS2 711B	—		ボスピン工法基礎	SS4 711-17B	SS4
	側溝・涵管	SS2 711-18B	—		プレテン基礎工法(1けた、2けた)	SS4 711-19B	SS2, SS4
土木構造物	橋断面造橋	SS3 711B	SS3	土木構造物	プレテン工法基礎	SS4 711B	SS4
	地下断面造橋	SS3 711B	—	土木構造物	P.C. 鋼造橋	—	SS4
土木構造物	重力式橋台	SS2 711B	SS2		プレートガーダー橋(合成)	SS3 711-20B	SS4
	造橋式橋台	SS2 711-7B	SS2	土木構造物	H形鋼橋(合成)	SS4 711-21B	SS3
土木構造物	投込式橋台	—	SS2		鋼鋼造橋	—	SS3
	ボックス式橋台	—	SS4	基礎工	くい基礎	—	SS2
土木構造物	突出式橋台	SS2 711-12B	SS2		ケーソン基礎(ケーソン・ニューマチック)	—	SS2

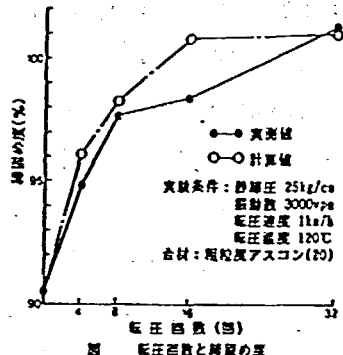
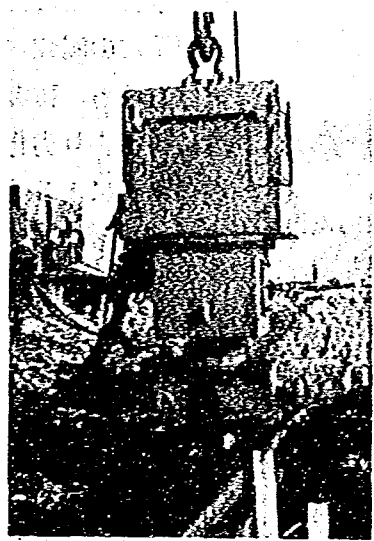
注1)：○は標準設計または自動設計の対象工種。
 注2)：標準設計の○内は、標準設計の版・改定年度と色番号を表す。
 注3)：自動設計の○内は、自動設計の一般公開年度を表す。

開発技術の名称： プレキャストコンクリートによる橋梁補修方法		研究室名： コンクリート研究室
開発時期： 昭和60年	特許の有無： 有 ☐ 無 ☒ 出願中	開発主体： <u>単独</u> 共同

技術の概要： 構造物の維持管理の建設事業に占める割合は年々増加しつつあり、このため適切な維持管理手法の開発が望まれている。この中で、老朽化したり劣化したコンクリート構造物の補修方法も、確実かつ容易なものが望まれている。

塩害により劣化したコンクリート橋桁では、鉄筋の腐食により下面のかぶりのコンクリートが断面欠損していることが多い。それまでの補修は、コンクリートと物理的、熱的性質がかなり異なり、しかも非常に高価な有機系材料で欠損した断面を復元する方法で行われていた。このためコンクリートを特性の近い、安価な材料で、しかも比較的容易に施工できる補修工法を開発を行った。これは図のように欠損した断面部にセメントモルタルを用いたプレバックドコンクリートを施工するものである。この工法により母材のコンクリートとほぼ同等の物性を有する断面を回復できる。



開発技術の名称：アスファルト舗装の振動締め固め		研究室名：機械研究室
開発時期：昭和60年	特許の有無：有 ☒ 無 ☐ 出願中	開発主体： ☒ 単独 ☐ 共同
技術の概要： アスファルト舗装においてわだち掘れは舗装の寿命を極端に縮める要因であり、その軽減は大きな課題であった。その対策として高密度締め固めが有効であることより、効率的な締め固め技術および機械の開発を進めた。 アスファルトの締め固めは締め固めを施工する振動ローラの振動輪の径が大きいほど、また振動数が高いほど施工効率が高いことを明らかにした。		
		 実験条件：砂締圧 25kg/cm² 振動数 3000rpm 振圧速度 11m/分 振圧温度 120℃ 素材：粗粒質アスコン(20) 図 振動数と締め固め率
開発技術の名称：油圧式超高周波振動杭打ち機		研究室名：機械研究室
開発時期：昭和56年	特許の有無：有 ☐ 無 ☒ 出願中	開発主体： ☒ 単独 ☐ 共同
技術の概要： 住宅などの近くでの基礎工事は騒音振動が問題となる。そのような場所では騒音振動の少ない工法が用いられるが、施工能率は低いものであった。そのため、鋼矢板等の打ち込みにおいて施工性を損なわずに低騒音・低振動化を可能にする杭打ち機の開発を行った。 本杭打ち機は、土中の振動の伝播の減衰が高周波振動ほど大きいことを利用し、従来の振動子回転型の機械よりもはるかに高い振動数で打ち込む機械である。このために油圧式振動子を採用し、アクチュエータの開発からはじめ、何度かの試作と実験を経て、低騒音低振動の杭打ち機の開発に成功した。 なお、この杭打ち機は製品化され、すでに120台ほど販売されている。		
		

開発技術の名称: ケーソンの遊星式拡底掘削工法及び支持方式		研究室名: 施工研究室
開発時期: 昭和56年	特許の有無: (有) 無 出願中	開発主体: (単独) 共同

技術の概要: 従来のオープンケーソン工法では、ケーソン刃下部を掘削できなかったため、周辺地盤の摩擦が大きく、ケーソンの沈設時には重量物の搭載による圧入工法が用いられていた。このためにケーソンの転倒の危険性のほか、施工精度にも問題が生じていた。

本工法は、遊星式の拡底掘削機によりケーソン刃先部及びケーソン周辺地盤を掘削し、周辺地盤の影響を切るとともに、ケーソンをH鋼で支持する状態にすることに特徴があり、吊り下げ用のジャッキ操作によって容易にケーソンを沈設できるものである。

本工法は、沖縄県の伊計橋の下部工の施工をはじめ広く採用されており、最近では、この支持方式は北浦大橋の施工でも用いられている。

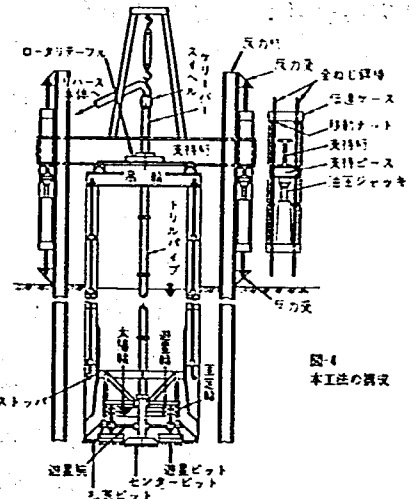


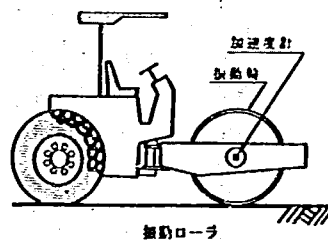
図-4 本工法の構造

開発技術の名称: 振動ローラによる土の締固め管理手法		研究室名: 施工研究室
開発時期: 昭和62年	特許の有無: 有 (無) 出願中	開発主体: (単独) 共同

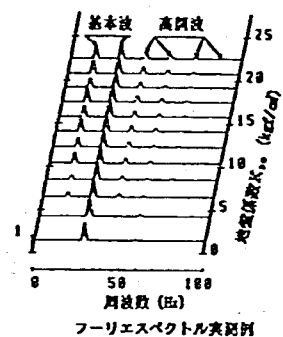
技術の概要: 盛土の締固め管理は、転圧作業中に締固め状況をリアルタイムに把握し、転圧作業にフィールドバックされるのが望ましい。

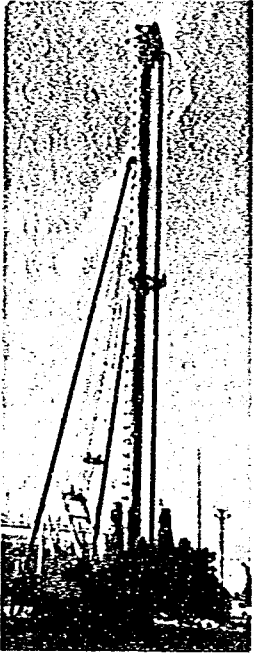
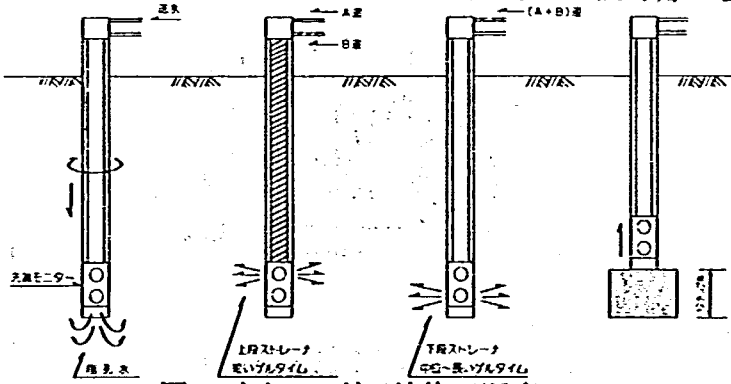
本振動ローラによる締固め管理手法は、転圧作業中の振動ローラの振動輪の振動加速度変化から地盤の動的な強度を求めようとするもので、リアルタイムの締固め管理を行うことができる。

具体的には、図のように転圧回数とともに振動輪の振動加速度には基本周波数の整数倍の振動が卓越するようになり、この周波数の振動の変化を把握・解析することで地盤の強度(地盤係数 K_v)を求められる。



$$\text{ひずみ率(\%)} = \frac{\text{高周波の実効値}}{\text{基本波の実効値}} \times 100$$



開発技術の名称：粉体噴射攪拌工法		研究室名：施工研究室
開発時期：昭和55年	特許の有無：(有) 無 出願中	開発主体：(単独) 共同
技術の概要： 昭和40年代後半に開発された従来の軟弱地盤の深層混合改良工法では、改良材は、地中まで圧送するために地盤改良としては不必要な水を大量に混入し、スラリー状で用いられている。本工法は、この余分な水を使用せず空気圧で粉体状のまま直接改良材を軟弱土と混合・攪拌するもので、高い改良効果を期待して開発された。 本工法の特徴は、前述の無水の改良材を用いることと軟弱地盤中において攪拌翼によって十分に原地盤と改良材とが攪拌・混合されることで均質で高い強度の改良体を得ることができる。 現在、粉体噴射攪拌工法は、DJM工法と呼ばれ、代表的な地盤改良工法として、北海道から九州まで全国で幅広く用いられている。		 写真 二軸型・本体
開発技術の名称：2重管複層注入工法		研究室名：施工研究室
開発時期：昭和55年	特許の有無：(有) 無 出願中	開発主体：(単独) 共同
技術の概要： 本工法の特徴は、一つの注入工程の中で、2つのモードの異なる注入を行うことにあり、注入効果が高く、作業性、経済性、安全性に優れた薬液注入工法の開発を目指して開発されたものである。注入方法としては、まず、瞬結性の注入材で1次注入を行い、2次注入材の逸脱防止のためのパッカーを形成するとともに、水みちや粗い地層を充填し、地盤を均質化する。その後、ゲルタイムの長い浸透性の注入材で2次注入し、限定された範囲内で土の構造を破壊することなく土粒子の間隙に注入材を浸透させるものである。 本工法はバイモード工法と呼ばれ、関西方面を中心に広く用いられている。		 図 バイモード工法施工順序

開発技術の名称：ロータリー式サウンディング技術		研究室名：施工研究室
開発時期：昭和62年	特許の有無：有 ☒ 無 ☐ 出願中	開発主体： ☒ 単独 ☐ 共同

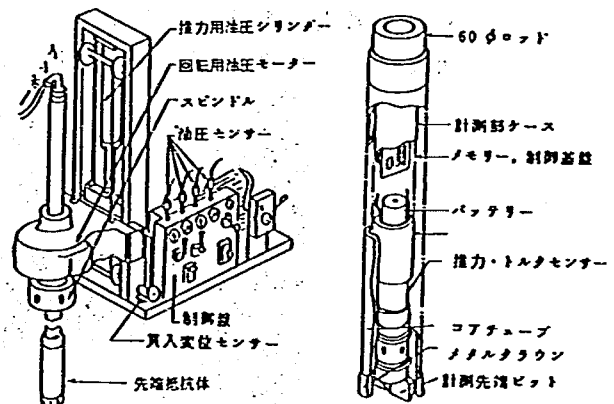
技術の概要： 本技術は、薬液注入工法や深層混合処理工法等の改良効果の確認、改良地盤強度の推定等、施工後の管理手法として開発されたものである。

本技術の概要は、切削能力を持つ先端抵抗体をボーリングマシンにより一定の貫入速度で改良地盤に回転貫入させ、その際の貫入速度、貫入推力、回転トルク等から改良地盤強度を推定するものである。

それらの測定データはロッド先端で計測され、先端抵抗体内部に内蔵されているメモリーバックに経過時間毎に記録される。貫入速度およびロッドの回転数は地上部において別途測定される。

図は、先端抵抗体の概要図を示す。先端部の貫入推力や回転トルクのセンサーを先端部に設けたので、ボーリング孔壁の摩擦力等の影響を除去でき直接測定できることに特徴がある。

なお、将来的には本技術を通常地盤のサウンディングへの利用も考えている。

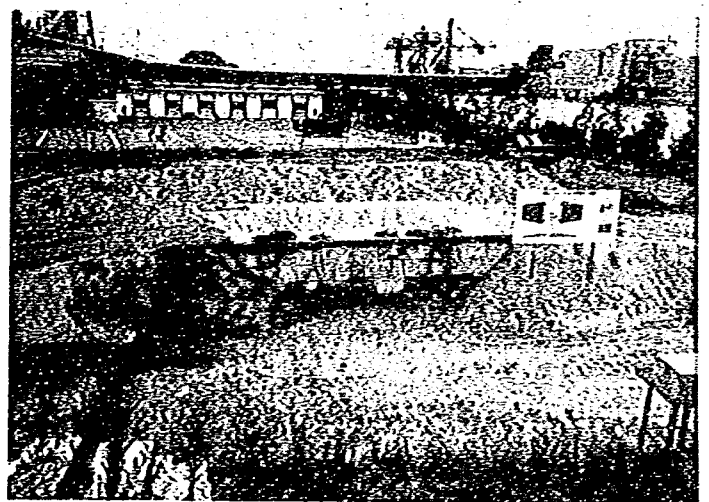


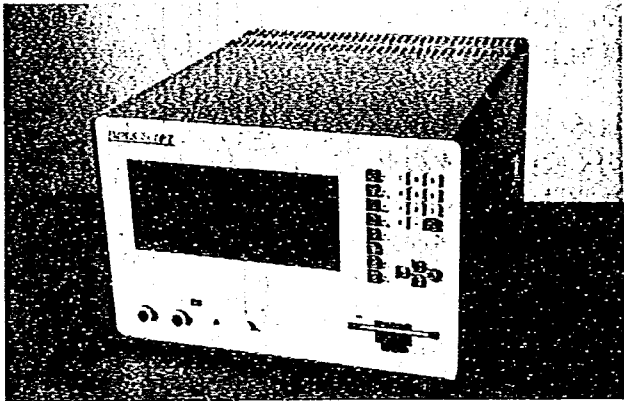
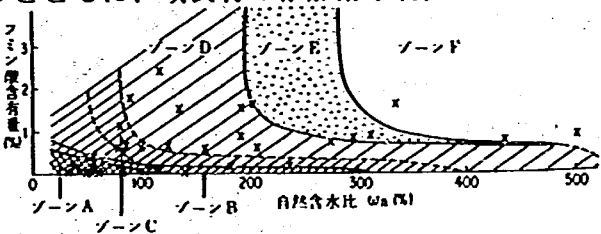
図一 先端抵抗体の概要

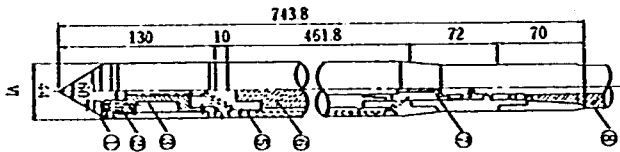
開発技術の名称：石炭灰利用の軽量発泡コンクリートの開発		研究室名：施工研究室
開発時期：昭和62年	特許の有無：有 ☐ 無 ☒ 出願中	開発主体：単独 ☒ 共同 ☐

技術の概要： 本技術は、石炭灰の軽量で、自硬性であるという特徴を生かし、現在処理に困っている石炭灰を利用して良質な土木材料を開発したものである。

本技術で開発した石炭灰の利用による軽量発泡コンクリートは、石炭灰にセメント、発泡剤等を添加して製造したもので、その比重は $0.8 \sim 1.05 \text{ t/m}^3$ と通常の土質材料の半分程度の重さである。また、軽量発泡コンクリートは、難透水性であり、洪水により浸水しても浮力がほとんど働かないという特徴を持っており、軟弱地盤上での軽量盛土や擁壁の裏込め材などに利用できる。なお、この軽量発泡コンクリートの製造・施工法としては、①現場で混合・打設する現場打設方式、②あらかじめ軽量発泡コンクリートを製造し、現場で積み上げるプレキャスト方式の2方式があり、現場の条件に応じて利用方法を取ることができる。



開発技術の名称：杭の動的支持力測定技術		研究室名：施工研究室
開発時期：昭和63年	特許の有無：有 <u>無</u> 出願中	開発主体：単独 <u>共同</u>
技術の概要： 本技術は、費用と時間がかかる杭の静的載荷試験にかえ、杭の支持力を動的に推定する新しい杭の施工管理手法である。 具体的な杭の支持力の計測方法は、杭頭をハンマーで打撃し、このときの杭頭の応力と杭の粒子速度を測定し、これらから杭の周面支持力と先端支持力を分離計測するものである。本手法によると実時間で杭の支持力を計測でき、施工した杭の全数を管理することができる。なお、本技術については、現在現場での適用性について試験・調査を実施しているところである。		
		杭の動的支持力測定装置 (D-PAS)
開発技術の名称：高有機質土の簡易土質分類手法及び改良効果判定手法		研究室名：土質研究室
開発時期：昭和60年	特許の有無：有 <u>無</u> 出願中	開発主体： <u>単独</u> 共同
技術の概要： 河川や湖沼などに堆積しているヘドロ等の高有機質土のセメント、石灰等による土質改良では、有機質土に含まれる水の水量や水質、さらに腐植物の種類によって改良効果が大幅に異なることが知られていたが、土木研究所においてこの土質改良効果に大きな影響を及ぼす有機質がフミン酸であることを突きとめた。また、この結果を基に改良効果についての土質分類方法として土中の水分量とフミン酸含有量によって判別する簡易な手法の開発を行った。さらに、土質判別する時に必要なフミン酸含有量の測定方法についても吸光光度法による簡易な手法も合わせて開発した。 また、強度のある程度強い改良土についても強度測定が可能なようにフォール・コーン試験を改良し、泥土・高有機質土等を土質改良する際の簡便な品質検査手法の開発を行うとともに、改良材の添加効果判定のための標準試験法としての確立を行った。		
		
図 自然含水比とフミン酸含有量による土質区分		

開発技術の名称： 振動式貫入試験機による地盤液状化判定手法		研究室名： 動土質研究室
開発時期： 昭和56年	特許の有無： ⑦ 無 出願中	開発主体： ⑦ 単独 共同
技術の概要： 現在、地盤の液状化の判定には、標準貫入試験が主に用いられているが、この方法では、ボーリングに時間と費用がかかり、また、連続したデータを取ることができない。 本手法の振動式貫入試験機は、土質調査用サウンディングの先端コーンにパイプレータを装着したものであり、コーンの振動によりコーン周辺地盤に局部的に地震時と類似の液状化現象を発生させることができる。このため、コーン振動時のコーンの貫入抵抗は、地盤の液状化特性を反映したものとなり、本手法により簡便で、精度のよい液状化判定を行うことができる。		
		① ボラスメタル ② 間源水互用圧力変換器 ③ 先端再杭用荷重変換器 ④ 変換器用ケーブル ⑤ パイプレーター ⑥ パイプレーター用電源コード ⑦ ロッド
図-1 振動式貫入試験機断面図 (先端貫入抵抗、間源水互測定用検出器付)		
開発技術の名称：		研究室名：
開発時期： 昭和 年	特許の有無： 有 無 出願中	開発主体： 単独 共同
技術の概要：		

建設事業における施工新技術の現状と課題

ISSN 0386-5878

土研資料 第2777号

平成元年3月(1989)

青木 佑久 嶋津 晃臣 常田 賢一 桐山 孝晴
長 健次 村松 敏光 苗村 正三 小野寺誠一

要 旨

施工合理化に対する取組みはこれまでも長く続けられてきたが、最近ではロボット化やプレハブ化といった施工新技術を開発・導入しようとする例が多くみられるようになってきている。本資料はこれら施工新技術の現状と今後の開発課題等についてとりまとめたものである。

キーワード：施工合理化、施工新技術、ロボット化、プレハブ化

○

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切
手をはって
下さい。

建設省土木研究所

企画部 システム課 行

茨城県つくば市旭一番地

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

○

○

土木研究所資料 第2777号

「建設事業における

施工新技術の現状と課題」

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○