

## 報告書（Ⅲ）

### 架設・維持補修のロボット化の現状と動向

架設・維持補修分科会

# 架設・維持補修のロボット化の現状と動向

## 目 次

第1章	まえがき	1
第2章	架設・維持補修作業の現状	2
	2-1 架設	
	2-2 足場	
	2-3 床版	
	2-4 維持補修	
	2-5 その他	
	2-6 キーワードよりみた自動化、ロボット化	
第3章	架設、維持補修のロボット等の事例	9
第4章	架設、維持補修のロボット化の問題点	29
	4-1 架設	
	4-2 足場	
	4-3 床版	
	4-4 維持補修	
	4-5 その他	
第5章	架設、維持補修のロボット化の将来展望	32
	5-1 架設	
	5-2 足場	
	5-3 床版	
	5-4 維持補修	
	5-5 その他	
第6章	あとがき	35

## 第1章 まえがき

建設業界の代名詞としての「3K」の表現は聞き飽きた感が強い。しかしながら、ごく一部の職種を除けば、その実状は依然として変化を見ないようである。

また、昨今の低成長期を経て、21世紀初頭には高齢化社会に突入することは、紛れもない事実である。

さらに、若年層の建設業離れも増加しており、労働者や熟練工の不足が危機的な状況になるのも時間の問題と思われる。また、社会の発展に伴い、交通網の早期整備が不可欠なため、用地確保が困難な昨今、短期間に工事を行う必要がある。

これらを解決するための方策として、もっとも効果的と思われるのが自動化・ロボット化である。これらは、労働者や熟練工の作業や危険作業を自動化することにより、工期の短縮、より安全な作業環境、コストダウン等を目標としている。

近年、色々な場所で自動化・ロボット化が試みられているが、どれも工程の一部を担っているだけであり、まだ、建設業界が抱えている問題の解決には到っていない。

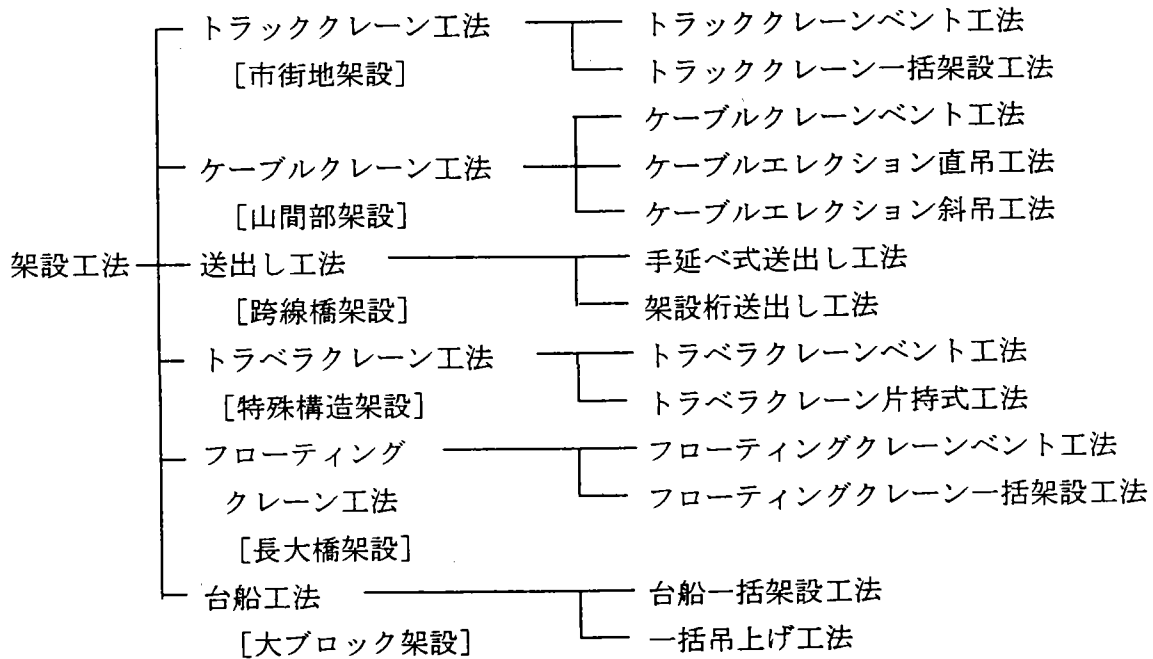
よって、今後、自動化・ロボット化を行うための参考として、現在までの現状把握、工法や事例の紹介等を行い、問題点の抽出・将来展望について検討を行う。

## 第2章 架設・維持補修体系の現状

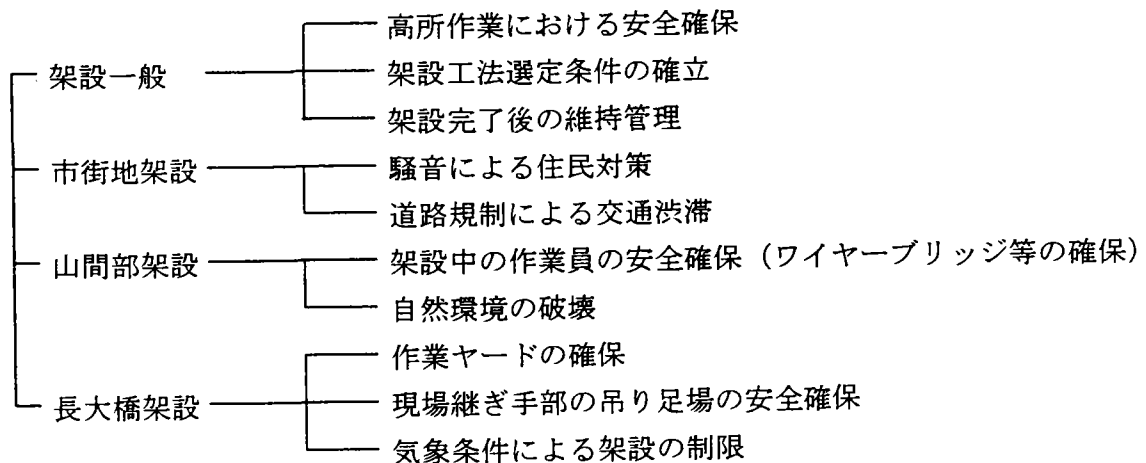
### 2-1 架設

#### (1) 架設の分類（現状）

架設工法を分類すると、以下のようになる。

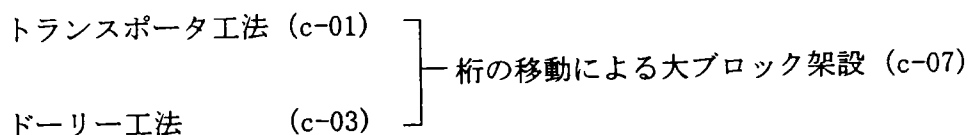


#### ※ 架設作業内容

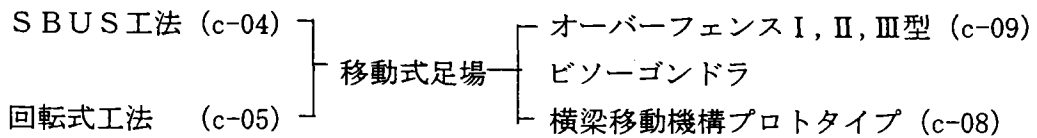


#### (2) 自動化ロボット化の現状（新工法）

##### 大型重機使用



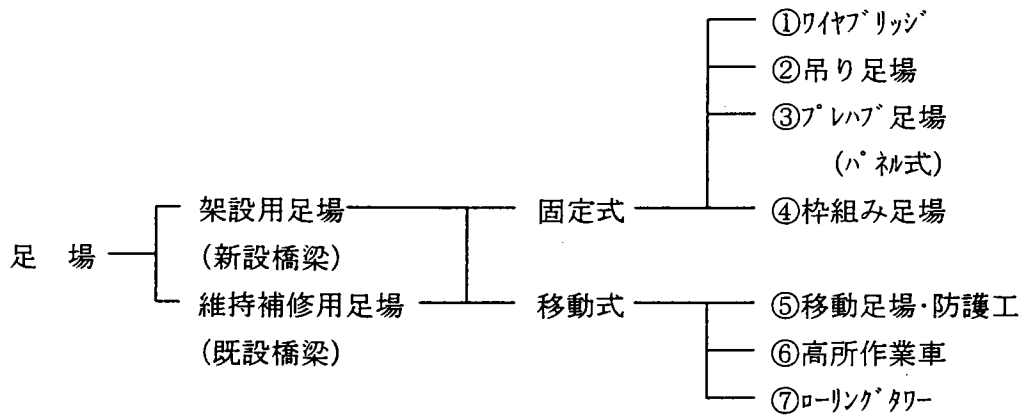
移動式機械使用



2-2 足場

(1) 足場の分類

現在使用されている足場を大別すると、以下のとおりである。



(2) 自動化・ロボット化の現状

足場作業の省力化・効率化が期待できる以下について、その特徴をまとめる。

- ③ プレハブ足場
- ⑤ 移動足場・防護工
- ⑥ 高所作業車

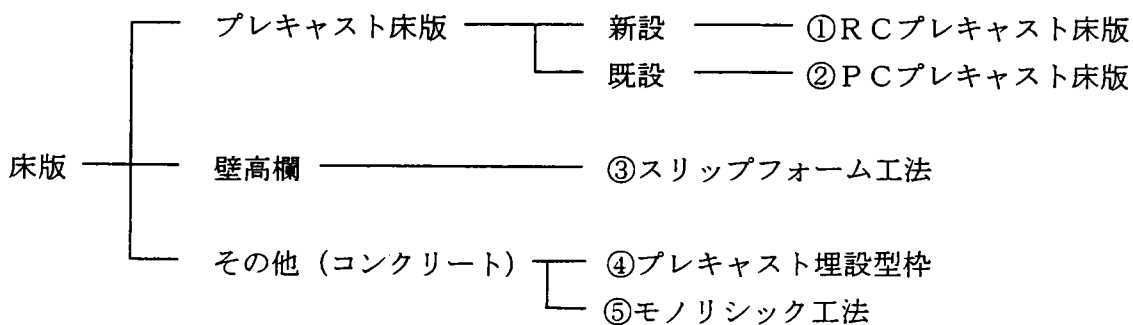
名 称	③プレハブ足場	⑤移動足場・防護工	⑥高所作業車
概 要	桁下地上で組立て、吊上げるタイプ	予め設けられたレールガイド上を走行	機械式移動足場(作業床)
使用条件	・桁下スペースが必要 ・桁下の通行止(規制)が可能なこと	・桁下のクリアランスが確保されていること	・桁下スペースが必要 ・桁下の規制が必要 ・地盤の強度・平坦性が確保されていること

## 2-3 床版

床版の自動化・ロボット化については、他の各分野と違って、ロボット化の事例はあまりなく、そのほとんどが省力化を目的とした床版のプレキャスト化となっている。

なお、床版の自動化の事例としては、壁高欄のスリップフォーム工法がある。

以下に床版の自動化・ロボット化の工法をツリーに示す。



## 2-4 維持補修

### ①点検システム

点検における自動化、ロボット化は一般にセンサーとして用いられている装置や手法を主としたシステムとなっている。

- ・ 赤外線→コンクリートのひび割れ、空隙診断→床版調査
- ・ レーザー光線→コンクリートのひび割れ診断→床版調査(テクノチェッ CAR)  
大型多関節アームロボット、車両搭載
- ・ 超音波→画像表示→コンクリートの空隙、鉄筋位置、厚さ、ひび割れ深さ
- ・ 写真→大判ポジフィルム→透過デジタイザ→画像処理→床版のひび割れ  
光波測距儀→距離測定→床版ひび割れ長さの測定
- ・ テレビカメラ (橋梁点検車搭載) →モニターで点検
- ・ 高力ボルトの緩み検知機

### ②交通規制

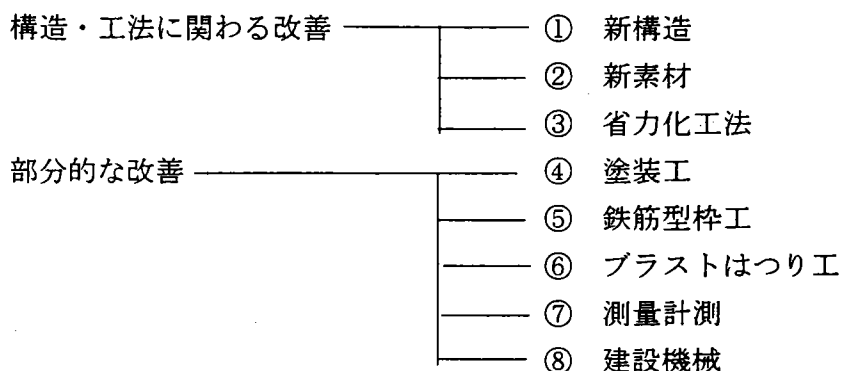
補修工事の際に、通行車両の切回しなどの交通規制は必須となる。ここに示す「ミニウェイ」は路面補修に利用されている立体道路式の仮橋でモジュール車両を連結組立し機能する。低速自走によって移動できることからメリットも多い。

### ③現場溶接ロボット

兵庫県南部地震により被災したコンクリートなどの橋脚に対する設計法の見直しが行われ、全国的に従来の設計震度によって設計された橋脚の補強法として鋼板巻き立てが多く採用されている。これに用いる溶接ロボットが開発されている。また、第2東名などの小主桁橋では、厚板のフランジを使用しているが、これを現場溶接によって連結しており、ここに用いる溶接ロボットもある。

## 2-5 その他

土木建設工事全般におけるロボット化（自動化、省力化）の動向を分類すると、以下のようになる。



### ①新構造

- ・ロボット化に移行し易い構造を追求する動きがある。また、採用例も見られる
- ・最小工数を目標にした構造で単純化されているので、ロボット化も推進し易い。
- ・新構造の省力化構造は、製造および架設工程において作業効率を追求したものであるが架設現場のロボット化から見ても構造が単純化しておりロボット開発が行いやすくなっている。

規格化を進めれば、さらに現場におけるロボット導入が容易になる。

### ②新材料

- ・コンクリート橋においては新材料を取り入れた構造の開発が進められているが、鋼橋のロボット化の参考となるものは現状見られない。

### ③省力化工法

- ・現場内でのブロック、単材の搬送は既存技術、既存機器に依存している。大型橋梁の特別なケースを除いては、新システムの開発・実用化の動きはない。
- ・現状構造で自動化省力化を限定した範囲で行う事例が多い。ブロック架設等の自動化は全体を通してのロボット化を考える必要がある。
- ・クローラークレーンの大型化が一つの方向としてある。大ブロック架設または一括架設がこの動きとマッチして今後進展すると考える。

### ④塗装工

- ・現場塗り替え塗装作業を自動化するための新設橋への要求事項の提案、自動化機に装備されるべき装置の提案があるものの、具体的な計画はない。
- ・縦屋外壁の塗装に適用した壁面ロボットの事例がある。超音波距離センサーを搭載し凹凸のある壁面に対応可能であり、形状に凹凸の多い鋼橋の参考となる。

### ⑤鉄筋・型枠工

- ・自動化がかなり進んでいて、ロボット化の一つの完成型とも取れるものである。プレアプ作業を自動化するという発想は橋梁でも多いに参考にできる。

## ⑥測量計測

- ・レーザ光線を用いた自動計測システム、超音波を用いたセンサー等個別技術は著しく進歩しており、鋼橋の架設の自動化・ロボット化をサポートできる状況にある。
- ・物を立体で認識するという技術はロボット制御では視覚センサーの役割を担うため、より高速で高精度な技術が望まれる。今後、建設ロボットを発展には知的制御と共に大きな役割をもつ技術である。

## ⑦ブラストはつり

- ・現地ブラストとして、コンクリートの表層はつり、鉄筋の錆落としにウォータージェット、ドライアイスの超音速噴射を用いる方法が実用化されている。構造物の塗装下地処理への適用の可否は不明。

## ⑧建設機械

- ・揺れ動く部材を掴むロボット、壁面に絵を描くロボット等の鋼橋架設のロボット化に応用できる要素技術は開発・実用化の方向にある。

## 2-6 キーワードより見た自動化、ロボット化

収集資料のキーワードより、架設におよび維持管理における自動化、ロボット化を分析してみる。

自動化、ロボット化は本来目的でなく手法であり、その目的として次のようなものが挙げられる。

- ①省力化・人員削減
- ②工費節減
- ③工期短縮、急速施工
- ④危険回避、高所作業の軽減
- ⑤品質確保、品質向上
- ⑥軽量化
- ⑦維持管理
- ⑧環境

一方、それに用いた手法としての要素技術としては、次のものが挙げられる。

- |             |                |
|-------------|----------------|
| ①ロボット       | ②自動化           |
| ③新工法        | ④新素材、複合構造      |
| ⑤プレキャストなど   | ⑥大ブロック化        |
| ⑦コンピュータ利用   | ⑧自走装置、車両       |
| ⑨標準化        | ⑩転用、再利用        |
| ⑪画像処理       | ⑫レーザー利用        |
| ⑬超音波利用      | ⑭3次元計測         |
| ⑮シュミレーション技術 | ⑯CCD、カメラ       |
| ⑰マニピレータ     | ⑱光通信           |
| ⑲圧縮空気       | ⑳FRP、ウォータージェット |



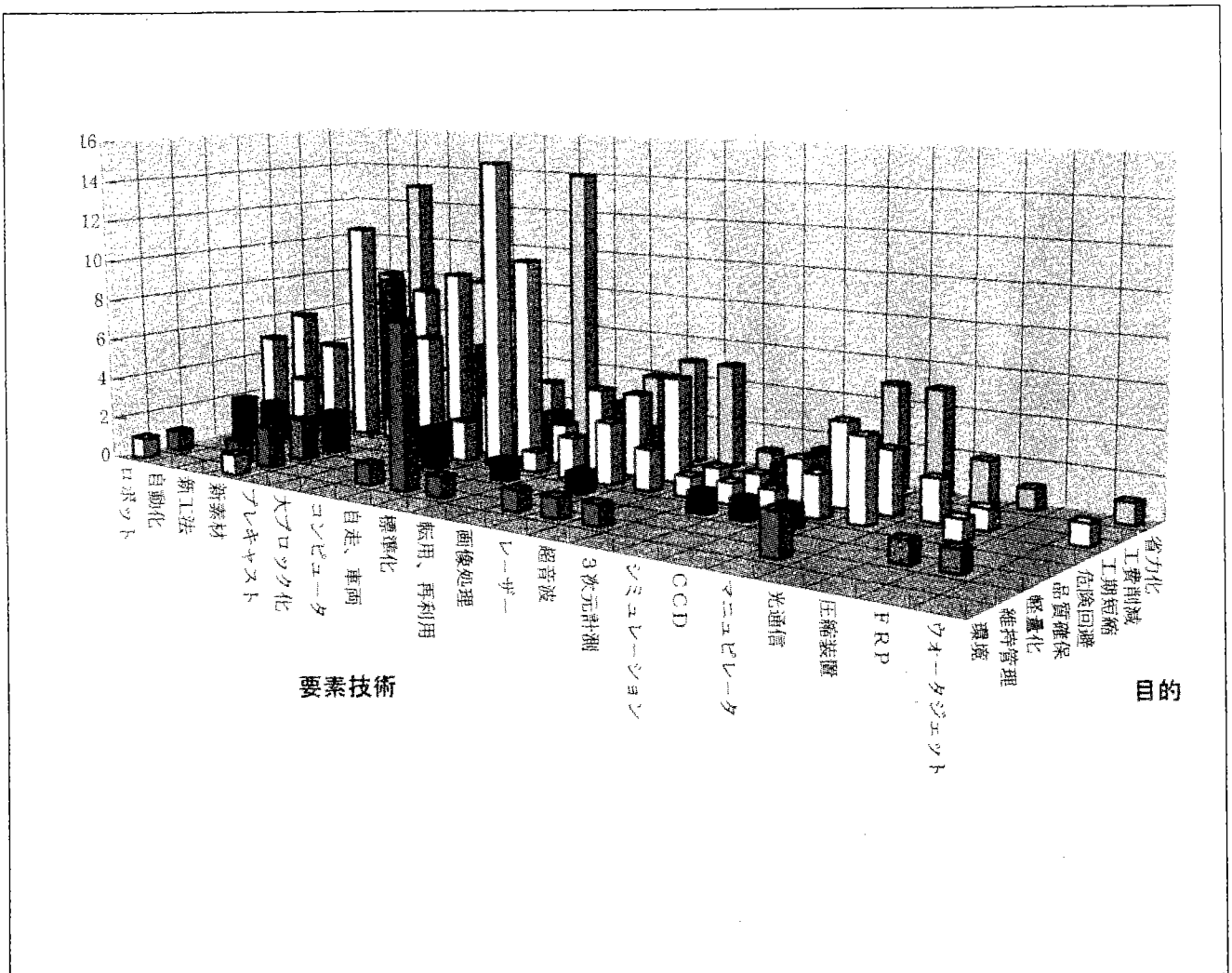
これらの目的と要素技術をマトリックスにして収集資料に出現する回数を表した図表を次ページに示す。

目的としての省力化などに対する手法としての要素技術のうち、従来から建設関連で用いられてきたものは、キーワードとして挙げられる回数も多い。しかし、ロボット、自動化を除いたものでは、比較的新しい技術や先端技術は挙げられる回数も少ないことがわかる。

・これらのことより、架設におけるロボット化・自動化は、現状では、新技術・先端技術などを用いてほとんどなされていないと考えられる。したがって、今後、新技術によるロボットなどの架設・維持管理分野への適用に弾みが付けば一挙に進展する可能性も高いと考えられる。その前に、現場作業の合理的な分析などしなければならないことも多いはずである。

## ロボット、自動化の目的と要素技術

	省力化	工費削減	工期短縮	危険回避	品質確保	軽量化	維持管理	環境
ロボット	8	2	6	5	2		1	1
自動化	8	1	4	3	2			
新工法	13	8	11	5			1	
新素材	3		1		2	2	2	1
プレキャスト	8		8					
大ブロック化	9	5	9	6				
コンピュータ	3	1	3	2	2		1	
自走、車両	14	2	10	15			8	
標準化	2	1	2	1	1		1	
転用、再利用	4	3	4	2				
画像処理	5	2	4	3	1		1	
レーザー	5		5	2			1	
超音波	1		1	1			1	
3次元計測	1	1	1	1	1			
シミュレーション	2	2	2	1	1			
CCD	5	1	4	2	1			
マニピレータ	5		3	4			2	
光通信	2		2					
圧縮装置	1		1	1		1		
FRP						1		
ウォータジェット	1		1					



### 第3章 架設・維持補修のロボット等の事例

今回の調査で調べた架設工に関するロボット化（自動化、省力化）の事例を下の9種に分類し、列記する。  
また、それらの概要を表にして示す。

a：構造・材料    b：仮設工    c：架設工    d：足場工    e：現場塗装工  
f：床版コンクリート工    g：舗装    h：維持補修工    i：その他

資料番号	一般名称	固有名詞
a-01	省力化に対応した橋梁構造	
a-02	FRPを導入した斜張橋のステー	
a-03	試験区間の橋梁形式について	
a-04	鋼橋工事の省力化工法	「省力化工法」
a-05	BT344 工区高架橋上部構造新設工事	「リフトアップ工法」
a-06	締固め不要の超流動コンクリート	「超流動コンクリート」
a-07	チタンによる腐食防止	
a-08	CO <sub>2</sub> を吸い込むコンクリート	
a-09	省力化を図った複合構造の橋脚	「ハイブリッド・スリップフォーム工法」
a-10	アラミド繊維をPC橋の緊張材に	
b-01	安全設備がユニットの中に組み込まれた折たたみ式ベント	「SSベント」
b-02	大型仮設から溶接をほぼ追放	「リキマン金具」
c-01	トランスポート工法による橋梁の撤去および架設における省力化施工	「トランスポート工法」
c-03	一夜で高速道路橋を架け替える	「ドーリー工法」
c-04	高所作業なしで橋桁を移動	SBUS工法
c-05	回転式架設工事	東北新幹線盛岡B1受桁
c-06	自動仮組立検査	「CATS」
c-07	トラッククレーンによる中アロック架設	汐入横断歩道橋
c-08	鉄道橋梁用移動機構	橋梁移動機構プロトタイプ
c-09	高所作業車	オーバーフェンスⅠ・Ⅱ・Ⅲ型
d-01	吊り橋、斜張橋のゴンドラシステム	ビソーゴンドラ
d-02	点検補修用作業車	本州四国連絡橋児島・坂出ルート
d-03	大型人工地盤構築工法	SF（セーフティフロア）工法
d-04	橋梁用自走作業床	トラベラープラットフォーム
d-05	枠はり式吊り足場	パーフェクト工法
d-06	足場等自動化に関する調査研究	
d-07	パイプ敷設用の移動足場	
e-01	現場塗替え塗装作業の自動化機械	
e-02	凹凸に対する外壁塗装ロボット	「壁面ロボット」
e-03	塗装状態の点検から再塗装までを行うロボット	塔点検補修ロボット
e-04	自走式塗装ロボット	自走式塗装吹き付け機
f-01	プレキャスト埋設型枠、レジンコンクリート製型枠	ASフォーム
f-02	RCプレキャスト床版	
f-03	プレキャストPC床版を用いた床版取替え工事	古川渡橋床版改良工事
f-04	プレキャストPC床版を用いた床版取替え工事	古川渡橋床版改良工事
f-05	プレキャストPC床版	YMスラブ
f-06	プレキャストPC床版	YMスラブ
f-07	左官ロボット	フラット君

f-08	シールドセグメント自動組立ロボット、 多目的ハンド、レベル自動計測ロボッ ト、自動配筋ロボット、コンクリート 直仕上げロボット等	
g-01	排水性舗装システム	パーミバインダー、パーミストーン
h-01	レーザー光線を利用したコンクリート 構造物のひび割れ自動計測車	テクノ・チェッ CAR
h-02	超音波コンクリート内部診断システム	
h-03	立体道路式路面補修車	MINIWAY (ミニウェイ)
h-04	赤外線センサーによる橋梁の調査	
h-05	写真による鉄筋コンクリート床版の点 検・診断システム	
h-06	テレビカメラ付き橋梁点検車	
h-07	高力ボルト緩み検知器	
h-08	可搬式多層盛アーク溶接ロボット	SD-ROBOシステム
h-09	超軽量・多目的簡易自動台車(溶接)	SY. mini (エスワイ・ミニ)
h-10	多目的ポータブルロボット(溶接)	NSロボ・マルチ
i-01	シミズ・オートマチック・キャリア・ システム	A-キャリア・システム
i-02	レーザー自動計測制御システム	鉄骨建入自動計測システム
i-04	レーザー自動計測制御システム	トンネル三次元マーキングシステム
i-05	デジタルスチルカメラを利用した計測 システム	
i-06-1	型枠・打設	NEW-TAPS工法
i-06-2	型枠・打設	自立式型枠兼用プレキャストパネル
i-06-3	鉄筋組立	鉄筋メッシュユニット自動組み立てシステム
i-06-4	鉄筋組立	鉄筋配列装置
i-07	ドライアイスで壁画を洗浄	ドライブラストシステム
i-08	揺れ動く部材をつかむロボット	スウィング・キャッチャー
i-09	壁画に絵を描くロボット	「壁面ロボット」
i-10	超高速ウォータージェットシステム	ハイドロミリング
i-11	ウォータージェットによるコンクリート 表層はつり工法	AB・JET工法
i-12	世界最大のクローラクレーン	スーパーウイングリフト3000
i-13	橋梁と基礎 vol.26No.8 「特集架設・ 改築の技術開発」の目次	
i-14	第11回建設用ロボットに関する技術 講習会「ライフラインの関連技術の ロボット化の現状と将来」	
i-15	特集：鋼構造物における自動化・ロボッ ト化 (JSSC No.41992)	
i-16	日経コンストラクション (1993.5.28/1994.5.24) 新工法の近況 一覧	

架設・維持管理関係事例（構造、材料）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
a-01	省力化に対応した橋梁構造		JSSCNO.13(1994.)特集橋梁構造の合理化	日本道路公団	鋼橋における省力化工法を紹介し、入札制度の改革・海外企業の参入・内外価格差の問題等の激動の時代の中で、経済的で質の高い高速道路造りのための指標を示している。	省力化、合理化、コスト削減、第二東名神
a-02	FRPを導入した斜張橋のステー		日経コンストラクション(1993.03.)技術フラッシュ	熊谷組	日本で初めてFRPを斜張橋のステーケーブルに使用。6本のうち2本はCFRP、4本はGFRPを採用。また、ケーブルの紫外線対策として、フッ素樹脂塗装を施した外とう管を取り付けている。	FRP、斜張橋、新素材、CFRP、GFRP、小名路(こなじ)橋
a-03	試験区間の橋梁形式について		第二東海自動車横浜東海線(1993.10.)	日本道路公団名古屋建設局	新技術・新工法の導入等による経費の節減、省力化、工期の短縮等が可能な構造とする事を主眼とし、下記条件のもとに検討を行ったもの。1.工費の節減2.耐荷力・耐久性に優れる3.工期短縮4.合理的構造	第二東名神、工費節減、省力化、工期短縮、新工法
a-04	鋼橋工事の省力化工法	「省力化工法」	日本道路公団(カワカ)上信越自動車道栃木川橋	横河ブリッジ	製作上の省力化を図り、味付化へ移行し易い構造を採用。部材計測システムを用いた仮組立のシミュレーションを行い、立体仮組立を省略。架設は、桁組立ヤード内で床版設置までの全ての作業を行う一括送り出し工法を採用。床版には、部分取替え可能な2方向プレキャスト床版を採用。	栃木川橋、味付化、省力化、PC床版、仮組立省略、一括送り出し、新工法
a-05	BT344工区高架橋上部構造新設工事	「リフトアップ工法」	首都高速道路公団(カワカ)首都高速道路高速湾岸線(3期)	住重・高田・日塔BT344工区上部建設工事JV	隣接工区が架設済みで桁下高が限定されたため、折りたたみ機構を有するリフトアップバージを考案し、架設ブロック1,100tをリフトアップ工法にて架設した。	リフトアップ工法、リフトアップバージ、特殊工法

架設・維持管理関係事例（構造、材料）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
a-06	締固め不要の超流動コンクリート	「超流動コンクリート」	日経コンストラクション(1993.07.23)技術フラッシュ	フジタ	通常のコンクリート配合に増粘剤、高性能減水剤、AE剤を添加するタイプで、500kgf/cm <sup>2</sup> 以上の強度も可能。	超流動コンクリート、締固め不要、複合構造、新材料
a-07	チタンによる腐食防止		朝日新聞	新日本製鐵総合技術センター	鋼製橋脚の海水面付近の腐食防止のため、酸化被膜ができやすく腐食に強いチタンで橋脚を覆う方法を開発。	東京湾横断道路、腐食防止、チタン、省力化、新素材
a-08	CO <sub>2</sub> を吸い込むコンクリート		ジャフメイト	徳島大学工学部コンクリート研究室	RC構造物がCO <sub>2</sub> を吸収すると、鉄筋がさびる原因となるため、従来はCO <sub>2</sub> の吸収を抑える方向で研究が進んでいた。しかしながら、最近鉄筋に代わってカーボンファイバーやアラミド繊維等の新素材が使われ始め、これらの素材はさびないため、CO <sub>2</sub> をたくさん吸うコンクリートの開発へと転換した。	新材料、環境対策、特殊コンクリート
a-09	省力化を図った複合構造の橋脚	「ハイブリッド・スリップフォーム工法」	日経コンストラクション(1994.02.11)ズームアップ	日本道路公団福岡建設局、大林組	鋼管とコンクリートを一体化して複合構造とする「ハイブリッド工法」と、移動式型枠(スリップフォーム)を上昇させながら、順次コンクリートを打設していく「スリップフォーム工法」とを組み合わせたもので、組み合わせて使うのは今回が初めて。従来工法に比べ、工期・作業員とも4割減に。	省力化、複合構造、ハイブリッド工法、スリップフォーム工法、第二東名神
a-10	アラミド繊維をPC橋の緊張材に		日経コンストラクション(1994.01.14)技術フラッシュ	オリエンタル建設	従来のPC鋼材に代わって、アラミド繊維をPC橋の緊張材として使用。プレテンション方式で主桁緊張材として、またポストテンション方式で横締め緊張材として使用。	山中橋、新素材、維持管理、省力化、メンテナンス

架設・維持管理関係事例（仮設工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
b-01	安全設備がエントの中に組み込まれた折たたみ式ベント	「SSベント」	川重工事(カクウ)	川重工事	昇降用のクランプ・作業床が組み込まれており、横つなぎ材が手摺となる。ロック8本の着脱のみで組立・解体は完了。折りたたむと体積が1/5となるため、輸送・保管が効率的。	SSベント、折りたたみベント
b-02	大型仮設から溶接をほぼ追放	「リキマン金具」	日経コンストラクション(1993.02.26)ズームアップ「仮設」	大成建設、東急建設、新井組、青木建設他5社	仮設材を特殊な締付け金具(「リキマン金具」)で組立てるため、組立・解体のスピードが溶接に比べて速く、作業があまり天候に左右されない。また、リースで調達した仮設材を傷めずに返却できるため、仮設費の節減に効果あり。P型とG型の2種類がある。	リキマン金具、恵比寿カーテンプレス、万力

架設・維持管理関係事例（架設工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
c-01	トランスポート工法による橋梁の撤去および架設における省力化施工	「トランスポート工法」	橋梁(1992.05)	(株)ミック	大型重量物運搬用の自走式キャリアを用い、クレーンを使用せず旧橋桁を撤去したり、同様に新橋桁を架設する工法。施工時間の短縮及び作業の省力化を図った。	トランスポート、工期短縮、省力化、重量物運搬台車
c-03	一夜で高速道路橋を架け替える	「トローリ工法」	日経コンストラクション(1994.07.08)ズームアップ	日本道路公団	東名高速道路の本線橋の橋桁を一夜で撤去し、新しい桁に架け替える。重量物据付け用のトローリを使用。総重量300t。	トローリ、工期短縮、省力化、重量物運搬台車
c-04	高所作業なしで橋桁を移動	SBUS工法	日経コンストラクション技術フラッシュ	住友建設株式会社	100トンジャッキを4台内蔵したかさ上げ機を使用して、ベント材と橋桁を持ち上げ、横取りレール上を水平移動する。ジャッキ4台は、コンピュータによるシンクロ制御。最大ストローク1550ミリ(約40秒)最大積載重量400トン	一括架設、人員削減、特殊工法
c-05	回転式架設工事	東北新幹線盛岡BI受桁	回転式架設工事	住友重機械工業株式会社	鉄道を跨線する桁を鉄道線の横で組立を行い、回転工法によって架設を行う。回転台を2分割にすることで、撤去を容易にしている。	一括架設、回転台、特殊工法
c-06	自動仮組立検査	「CATS」	橋梁新聞平成6年1月11日「CATS」パンフレット	(株)横河ブリッジ、(株)横河技術情報	CCDカメラによる部材3次元計測とコンピュータによる仮組立シュミレーションで構成。CAD/CAMデータと突き合わせを行い、調整加工指示の機能もある。作業も屋内で流れ作業で行えるため、全体で工期が15～30%の削減になる。	仮組立省略、3次元計測、シュミレーション



架設・維持管理関係事例（架設工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
c-07	トラッククレーンによる中ブロック架設	汐入横断歩道橋	施工計画図	住友重機械工業株式会社	汐入駅前の交差点に十字型の歩道橋架設時に、一般交通を極力規制せずに架設するため、中ブロックに組立を行い、夜間にトラッククレーンにて架設を行う。	交通規制レス、中ブロック架設大型特殊台車
c-08	鉄道橋梁用移動機構	橋梁移動機構プロトタイプ	第17回鉄構塗装技術討論会発表予行集	(財)鉄道総合技術研究所	下フランジ上を車輪で移動する機構。スティフナ等の支障物は、クランプ機構と併用して移動する。	橋梁向け汎用移動機構、維持補修
c-09	高所作業車	オーバーフエンス I・II・III型	レンタルのニッケンカタログ	レンタルのニッケン	作業床を特殊な機構のアームに付け、高欄や防音壁をオーバーハングできる作業車。作業床範囲積載荷重 I 型+3200~-2550150kg II 型+4800~-4450200kg III 型+4900~-4420350kg	特殊作業車、維持保守

架設・維持管理関係事例（足場工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
d-01	吊り橋、斜張橋のゴンドラシステム	ビソーゴンドラ	ビソーゴンドラパンフレット	日本ビソー株式会社	主塔用は、吊りワイヤーとゴンドラを使用する吊り橋のメインケーブルは、ハンドケーブル上を走行するキャリヤとゴンドラを使用。斜張橋のメインケーブルは、走行ケーブルを仮設してキャリヤとゴンドラを使用。	高所作業床、ゴンドラ、移動作業床
d-02	点検補修用作業車	本州四国連絡橋児島・坂出ルート	本州四国連絡橋公団第二建設局パンフレット		桁外面・桁内面・塔外面を橋梁本体を回避しながら、作業車が移動する。	移動足場、維持補修
d-03	大型人工地盤構築工法	S F(セーフティフロア)工法	大成建設パンフレット	大成建設株式会社	人工地盤の仮設構台を2分割に組立後、旋回クレーンにより一括に仮設し、所定位置まで横移動を行う工法。結合部も無人で行われ、スパン100mで約2時間で仮設を行う。	交通規制省略、大型仮設機材、回転クレーン特殊工法
d-04	ビソーゴンドラシステム [特殊構造物編]	ビソーゴンドラ	ビソーゴンドラパンフレット	日本ビソー株式会社	主塔用は、吊りワイヤーとゴンドラを使用する吊り橋のメインケーブルは、ハンドケーブル上を走行するキャリヤとゴンドラを使用。斜張橋のメインケーブルは、走行ケーブルを仮設してキャリヤとゴンドラを使用。	高所作業床、ゴンドラ、移動作業床
d-05	ビソーゴンドラシステム [建物編]	ビソーゴンドラ	ビソーゴンドラパンフレット	日本ビソー株式会社	建築構造物のゴンドラシステム。屋上で移動走行装置付きのものや固定式のものまで、現場条件に合わせて、選択できる。	高所作業床、ゴンドラ、移動足場、維持補修、建築構造物用

架設・維持管理関係事例（足場工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
d-06	橋梁用自走作業床	トラベラープラットフォーム	パンフレット	(株)宮地鐵工所(株)三井三池製作所	橋梁作業の改善と安全性向上に役立つ自走作業床で、危険な吊り足場の組立解体から解放される。わずかの道路路肩占有で路面を自走する。橋脚や照明柱を簡単な操作で通過できる。橋梁上の道路は、簡易な交通規制で作業が可能。	自走、作業床、自走作業床
d-07	移動防護工		図面	30t低床式セミトレーラに搭載して移動。トレーラ付き架台、枠組、床梁、メッシュシートから構成される。	防護工、移動防護工	
d-08	橋梁用自走作業床	トラベラープラットフォーム	パンフレット	(株)三井三池製作所	橋梁作業の改善と安全性向上に役立つ自走作業床で、危険な吊り足場の組立解体から解放される。わずかの道路路肩占有で路面を自走する。橋脚や照明柱を簡単な操作で通過できる。橋梁上の道路は、簡易な交通規制で作業が可能。	自走、作業床、自走作業床
d-09	枠はり式吊り足場	パーフェクト工法	カタログ	(株)杉孝	枠はりを主材とする橋梁工事および塗装工事の吊り足場である。防護工、作業床、吊り材等から構成される。枠はり式吊り足場は、足場の組立、解体を地上で、できる限り昼間作業で行い、一括して吊り上げ、吊り下げ、移動を行う工法。	足場、吊り足場、一括吊り上げ、吊り下げ工法、ヤモリ工法、ハイランド工法
d-10	足場等自動化に関する調査研究		足場等自動化に関する調査研究-第2報-社団法人日本鋼構造協会H3.10		現場塗装の自動化を図る上での諸問題、自動化が進んでいる工場塗装の実状、自動化応用可能等の周辺機器等について資料の調査を行い、橋梁の塗り換えに対する検討を行っている。	塗装、足場、自動化

架設・維持管理関係事例（足場工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
d-11	自動化が進む鉄骨生産工場の生産情報処理と自動化の推進			彌生建設工業(株)	彌生建設工業(株)古川工場の自動化システム導入の経緯、ねらい、それに伴う作業の変化等について。	自動化、鉄骨
d-12	パイプ敷設用の移動足場			製品ニュース	住友金属プラントック(株)	橋梁の下面にパイプを添架する工事に使用する橋桁に沿って自由に動かせる移動式足場。紀州大橋のガス配管工事用に開発。

架設・維持管理関係事例（現場塗装工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
e-01	現場塗替え塗装作業の自動化機械				現場塗替え塗装作業を自動化機械により行うための諸条件。箱桁用自動塗装機。鈑桁外主桁腹板外面用自動塗装機。鈑桁主桁下フランジ用自動塗装機。	塗装、塗り替え、自動化機械
e-02	凹凸に対する外壁塗装ロボット	壁面ロボット	日経コンストラクション（1993.07.23） 「技術フラッシュ」	カジマメカトロエンジニアリング、フジケミ東京、旭サナック、田村	高所作業の低減、塗装品質の安定化を狙って開発。超音波距離センサーを搭載し、建物の形状に応じて吹き付けノズル部が自動的に伸縮するのが特徴。凹凸のある壁面でも常に一定の距離を保って吹き付けを行う。塗装能力は、人力作業の約3倍。	ロボット、塗装、品質安定、高所作業の軽減
e-03	塗装状態の点検から再塗装までを行うロボット	塔点検補修ロボット	日経コンストラクション（1997.02.28）	本州四国連絡橋公団	小型テレビカメラ、ケレン用のブラシ、塗装装置を搭載したロボットで点検から再塗装までを1台で行うロボットは3個の磁石車輪で、銅製の塔に密着し、自走する。オペレーターは搭載したテレビカメラにより塗装のさびの発見、ケレン、再塗装を遠隔操作する。	塗装、塗り替え、点検、塗装ロボット
e-04	自走式塗装ロボット	自走式塗装吹き付け機	日経コンストラクション（1997.02.28）	NTT	吹き付け機のアームは7つの関節を持ち、先端にスプレーガンを取り付けてある。スプレーの経路や速度をダイレクトティーチング方式でコントロール、移動架台には、コンプレッサー、テレビモニター、塗料を改造ワイヤーを利用して自走する。	塗装、自走式吹き付け機

架設・維持管理関係事例（床版コンクリート工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
f-01	プレキャスト埋設型枠、レジンコンクリート製型枠	ASフォーム	日経コンストラクション(1994.10.14)技術フラッシュ	清水建設(株)、麻生セメント	レジンコンクリートで成形したパネル。設置後、コンクリートを打設して、構造物と一体化する。	型枠、一体化、プレキャスト、埋設型枠
f-02	RCプレキャスト床版		パンフレット	日本道路公団、大谷櫻井鐵工(株)	磐越自動車道・塩差橋に使用したRC床版および主桁製作の省力化。RC床版のプレキャスト化。プレキャスト床版ブロックの連結工法。RC連結工法。PC連結工法。	プレキャスト床版、省力化
f-03	プレキャストPC床版を用いた床版取替え工事	古川渡橋床版改良工事	パンフレット	プレキャストPC床版を用いた床版取替え工事	プレキャストPC床版、床版取替え工事	
f-04	プレキャストPC床版を用いた床版取替え工事	古川渡橋床版改良工事	上木施工35巻4号(1994.4)	プレキャストPC床版を用いた床版取替え工事	プレキャストPC床版、床版取替え工事"4-a-02	凹凸に対する外壁塗装味ット
f-05	プレキャストPC床版	YMスラブ	橋梁新聞(H6/11/11)	横河メンテック	ハンチなしの平板で地覆も一体製作。打継ぎ目にキャップケーブル等によるポストテンション導入、半幅施工等の分割施工可能。支保工、型枠不要。現地施工容易。設計荷重の8倍の耐荷力、200万回繰り返し試験でクラック無し。	プレキャスト床版、PC床版、半幅施工、分割施工、ポストテンション目地

架設・維持管理関係事例 (床版コンクリート工)

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
f-06	プレキャストPC床版	YMスラブ	カタログ	横河メンテック	ハンチなしの平板で地覆も一体製作。打継ぎ目にキャップケーブル等によるポストテンション導入、半幅施工等の分割施工可能。支保工、型枠不要。現地施工容易。設計荷重の8倍の耐荷力、200万回繰り返し試験でクラック無し。	プレキャスト床版、PC床版、半幅施工、分割施工、ポストテンション目地
f-07	左官ロボット	フラット君	土木学会誌(1990/2)	清水建設(株)	コンクリートの直仕上げ工法に適用。建築の土間・床、道路の舗装、各種タンクの底盤、蓋等に使用。エンジン駆動で人間の8～10倍(500～1000m <sup>2</sup> /h)の能力。人工数減少は平均30%弱。3組の回転鏝を自転・公転させ、走行ローラにより自走。	直仕上げ工法、モノリシック工法、エンジン駆動、回転鏝、走行ローラ、自走
f-08	シールドセグメント自動組立ロボット、多目的ハンド、レベル自動計測ロボット、自動配筋ロボット、コンクリート直仕上げロボット等		パンフレット	鹿島建設(株)	建設現場におけるロボット・自動化技術として、シールドセグメント自動組立ロボット、多目的ハンド、レベル自動計測ロボット、自動配筋ロボット、コンクリート直仕上げロボット、タイル壁面剥離検知システム、原子炉廃炉解体ロボット等を紹介。	ロボット、自動化、多目的ハンド、自動計測、自動配筋、直仕上げ、タイル剥離検知

架設・維持管理関係事例（床版コンクリート工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
g-01	排水性舗装システム	パーミインダー、パーミストーン	日経コンストラクション・技術フラッシュ (93/3)	東亜道路工業	高粘度改質アスファルト、透水性樹脂(開粒度樹脂)コンクリートを使用し、排水性舗装に浸透する雨水を排水樹にスムーズに流下させる。空隙率を大きくできる。	排水性舗装、高粘土改質アスファルト、透水性樹脂コンクリート、開粒度樹脂コンクリート、空隙



架設・維持管理関係事例（維持補修工）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
h-01	レーザー光線を利用したコンクリート構造物のひび割れ自動計測車	テクノ・チェツCAR	日経コンストラクション・技術フラッシュ(92/12/11)	首都高速道路技術センター、コマツ、コマツシステム	全長10.25m、レーザー計測装置と伸縮・展開可能大型多関節アームロボットにより、床版等を9m四方、地上15mまで連続計測できる。幅0.2mm異常のひび割れを識別できるフライングスポット法計測。開発中のデータ解析システムを組み込みコンクリート構造物の健全度自動診断を完成する。	レーザー計測、コンクリート構造物、ひび割れ計測、健全度、多関節アーム
h-02	超音波コンクリート内部診断システム		日経コンストラクション・技術フラッシュ(93/8/12)	清水建設(株)	超音波を使用したコンクリート構造物内部の空隙、鉄筋位置、厚さ、ひび割れ深さ等の画像表示システム。センサーコンクリート表面上で一直線に動かして、10~20mm毎に超音波診断。フロッピーディスクを介してコンピュータで画像処理する。	超音波、コンクリート構造物、内部診断、空隙、鉄筋位置、ひび割れ深さ、画像表示
h-03	立体道路式路面補修車	MINIWAY(ミニウェイ)	カタログ	阪神高速道路公団	モジュール車両を連結し屋根部を仮橋とし、下部、側部空間で路面補修を行う。通常の70%の交通量を確保。最大縦断勾配:6%、幅員:運搬時(2.55)・設置時(3.10m)、最小半径:200m、薄層舗装、3t以下の車両の走行可能。トレーラで輸送、低速自走可能。モジュールは約12mで連結全長は88m。補修機器・材料、発電機を搭載。	モジュール車両、仮橋、低速自走、路面補修、立体道路式仮橋
h-04	赤外線センサーによる橋梁の調査		カタログ	(株)イスミック、石川島播磨重工業(株)	赤外線センサーによる僅かな表面温度差より、コンクリート構造物のひび割れ、浮きを診断。幅0.1mm以下のひび割れを抽出、遠距離からの調査、コンクリート内部の空隙までを調査可能な健全度診断法。	赤外線センサー、コンクリート構造物、ひび割れ、浮き、空隙、健全度診断
h-05	写真による鉄筋コンクリート床版の点検・診断システム		カタログ	三井造船(株)、(株)きもと	コンクリート床版のひび割れ等を6×7版で撮影し、反射プリズム不要の光波測距儀を用い縮尺率で室内の透過型デジタイザに同尺度に投影しパソコンに入力する。点検報告書等を画像処理して作成する。本システムでは、足場不要、現地作業の短縮、高精度な損傷度判定が可能。	6×7版ポジフィルム、ひび割れ、損傷度調査、透過型デジタイザ、光波測距儀

架設・維持管理関係事例 (床版コンクリート工)

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
h-06	テレビカメラ付き 橋梁点検車		橋梁の点検・補修・ 補強に関する新技術 ・新工法；(社)日 本橋梁建設協会	三井造船(株)	4tトラックに搭載した橋梁点検装置を橋梁上面に 設置し、先端に取り付けたズームレンズ付きテレビ カメラを通じて点検を行う。	テレビカメラ、モニター、 4トントラック
h-07	高力ボルト緩み検 知器		鋼橋の点検・補修・ 補強に関する新技術 ・新工法；(社)日 本橋梁建設協会	三井造船(株)	既設の高力ボルトの緩み点検について検知器を用い て点検する。「高力ボルト緩み検知器」はハンマー 部を判別器の2つから構成され、ハンマーをM22高 力ボルトのナット側に差込み側面を打撃する。その 場で反発力や加速度波形を解析し、残留軸力が10t 以下のボルトを判別する。	ハンマー、判別器、反発力 、加速度波形、残留軸力
h-08	可搬式多層盛アー ク溶接ロボット	SD-ROBOシスカ タログシステム		住金溶接工業(株)	小型軽量で、簡単に持ち運びのできるロボット本体 と独自の多層盛溶接アルゴリズム、また、標準溶接 条件を内蔵した制御盤の組合せにより従来機種では 不可能であった中厚板の下、横、立向き多層盛溶接 を溶接やロボットに関する知識がなくても簡単な操 作で実現	可搬式、多層盛アー ク溶接、溶接ロボット
h-09	超軽量・多目的簡 易自動台車 (溶接)	SY.mini (エ カタ ログ スワイ・ミ ニ		住金溶接工業(株)	非常に小型軽量(本体重量7kg)で、簡単に持ち運 びできる。また、オシレート機構により溶接技量が 不要で、全姿勢溶接への適用が可能である。	軽量、オシレート機構、簡 易溶接自動台車
h-10	多目的ポータブル ロボット(溶接)	NSロボ・マルチ	カタログ	日鐵溶接工業(株)	小型軽量で持ち運び、セッティングが容易である。 また、自動タッチセンシングのデータを基に演算を 行い溶接施工条件を生成する。溶接降雨条件の変更 、修正および保存が対話方式で入力することで容易 にできる。	軽量、自動タッチセンシ ング、対話方式入力

架設・維持管理関係事例（その他）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
i-01	シミズ・オートマチック・キャリア・システム	A-キャリア・システム	土木学会誌(1990.2月)	清水建設(株)	シールドトンネルの長い距離をシステム化する搬送行程を取り扱ったものであり、地上のセグメントを立体ストックラックで保管・管理し、使用順に従ってラックから出庫、立杭・トンネル内を経て、シールドマシンのセグメントエレクターに至るまでの一連のセグメント搬送を、完	シールドトンネル、地下開発、F A化、中央監視装置、光指令LAN、省力化
i-02	レーザー自動計測制御システム	レーザー自動鉛直システム	土木学会誌(1993.11)	大成建設(株)	レーザーを自動制御して一度に鉛直点を最上階まで移すことが可能である。計測方法は、送光部の基準点にレーザー鉛直装置を設置し、真上の方向(天頂角0度)にレーザー光を発振し、施工階の受光部ではレーザーをターゲットで受け画像解析して鉛直点を決定している。	鉄骨建て入れ精度、レーザー鉛直装置、CCDカメラ、画像処理装置、光通信装置自動制御装置、レーザー、省力化
i-03	レーザー自動計測制御システム	鉄骨建入自動計測システム	土木学会誌(1993.11)	大成建設(株)	全天候ルーフの天頂部に設置されたレーザースキャニング装置が、約25m上から鉄骨柱頭を計測(測角・測距)して三次元位置(X, Y, Z)を求め、設計の座標や高さとの変位量を表示する。	鉄骨柱の精度管理、レーザースキャニング装置レーザー、自動化施工システム、省力化
i-04	レーザー自動計測制御システム	トンネル三次元マーキングシステム	土木学会誌(1993.11)	大成建設(株)	事前に装置の位置、トンネルの線形、レーザーの照射パターンを登録し、切羽面を内蔵距離計で測定することによって、自動的に照射パターンを正確にプロットできる。なお、本システムの性能は最大照射距離250m、精度は±5mm/100mで、大断面トンネルや曲線トンネルに特に有効である。	NATM工法、トンネル掘削、マーキング、レーザーマーキング装置、レーザー、省力化
i-05	デジタルスチルカメラを利用した計測システム		日経コンストラクション(1992.12.11)技術フラッシュ	三井建設(株)、東京理科大学リモートセンシング研究所	左右2方向から撮影した現場写真を、ICメモ리카ードにデジタル情報として記憶させEWS上に表示、2枚の写真の同一点を選択すると、自動的に作業現場の地形や土量などの三次元情報を算出する。	デジタルスチルカメラ、ICメモ리카ード、EWS、出来形管理、測量、省力化

架設・維持管理関係事例（その他）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
i-06-1	型枠・打設	NEW-TAPS工法	日経コンストラクション(1993.5.28)新工法の近況一覧	飛島建設	スリップホーム工法に、断面形状や壁厚寸法が変化する場合にも対応できる機能を付加した。	型枠、打設、スリップホーム工法、新工法、省力化
i-06-2	型枠・打設	自立式型枠兼用プレキャストパネル	日経コンストラクション(1993.5.28)新工法の近況一覧	奥村組ほか	型枠材と構造材兼用のプレキャストコンクリート製パネル。コンクリート底版に自立させて使用する。	型枠、打設、プレキャストコンクリート製パネル、新工法、省力化
i-06-3	鉄筋組立	鉄筋メッシュユニット自動組み立てシステム	日経コンストラクション(1993.5.28)新工法の近況一覧	清水建設(株)	鉄筋ユニットの制作を、配筋装置や結束装置などで自動化した。	鉄筋、鉄筋ユニット、新工法、省力化
i-06-4	鉄筋組立	鉄筋配列装置	日経コンストラクション(1993.5.28)新工法の近況一覧	鹿島	現場で鉄筋を網状に配列することができ、また壁の横筋をすだれ状に配置できる装置。	鉄筋、鉄筋の配列、新工法、省力化
i-07	ドライアイスで壁面を洗浄	ドライブラストシステム	日経コンストラクション(1994.8.12)技術フラッシュ	ショーボンド建設	米粒大のドライアイスのペレットと圧縮空気とを混合してショット材とし、超高速で噴射するもの。養生シートの設置、作業後のショット材の回収が不要で、ノズル交換により噴射時の圧力を変えることが可能。ブラスト装置重量は175Kgと軽量であり、足場上にも設置できる。	ドライアイス、圧縮空気、ショット材、洗浄、軽量化

架設・維持管理関係事例（その他）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
i-08	揺れ動く部材をつかむロボット	スウィング・キャッチャー	日経コンストラクション(1994.8.12)	鹿島	ロボットのマニピレータの先端にレーザー投光器とCCDカメラで構成する視覚センサーを取り付け、レーザー光が当たった部分をカメラで撮影して、吊り荷の位置と姿を把握するもの。	ロボット、マニピレータ、レーザー光、レーザー投光器、CCDカメラ、視覚センサー
i-09	壁面に絵を描くロボット	「壁面ロボット」	日経コンストラクション(1994.10.14)技術フラッシュ	東急建設、石川島播磨重工業	ファンにより壁面との間を真空に近づけ壁面に吸着、アーム上のスプレーガンが往復し塗料を噴射する。地上のコンピュータにスキャナーで原画を読み込み複雑な模様や色を再現可能。足場不要。寸法:0.8×1.25×0.45m重量:80kg	ロボット、塗装、スキャナー読み込み足場不要
i-10	超高速ウォータージェットシステム	ハイドロミリング	カタログ	株式会社渡辺組・大倉アクアテック株式会社	噴射装置を懸架したトラクタを走行させることにより超高压水を噴射し、コンクリート構造物等のはつり作業を行うシステム。システム構成：超高压水発生装置2台超高压水噴射装置1台コンクリートのはつり深さ：最大40cm用途：舗装板・床版・ビル壁面・ダム越流面等	超高压水、はつり、超高压水発生装置、超高压水噴射装置、トラクタ
i-11	ウォータージェットによるコンクリート表層はつり工法	AB・JET工法	東急コンストラクション	東急建設	ノズルから回転噴射されるウォータージェットによりコンクリート表層のはつり・洗浄、鉄筋の錆落としまで行う工法。粉塵が発生しないことにより、作業環境の向上、工期の短縮、騒音・振動の低減等の効果が得られる。	ウォータージェット、噴射、はつり、鉄筋の錆落とし、スィベルジョイント(特許出願中)
i-12	世界最大のクローラクレーン	スーパーウイングリフト3000	橋梁新聞(94.11)	ミック	総重量約2170t、最大吊能力1200t、最大作業半径176mの世界最大のクローラクレーンで、リーブヘルプ社(ドイツ)製。ミック(本社名古屋市)が22億円で購入した。重量物の据付、鋼構造物の組立・解体に威力を発揮する。	工期短縮、省力化

架設・維持管理関係事例（その他）

資料番号	一般名称	固有名称	資料名	施工業者名	概要	備考
i-13			橋梁と基礎 vol.26No.8「特集架 設・改築の技術開発 」の目次		架設・改築の技術開発-目次-鋼橋架設：省力化工法 、一括架設他PC橋架設：張り出し工法、大型移動支 保工他急速施工・近接施工：回転支保工、急速架設 工法、簡易組立橋、可動式立体道路他	省力化、急速施工
i-14			第11回建設用ロボッ トに関する技術講習 会「ライフライン関連技術 のロボット化の現状と 将来」	(平成5年1月土木学 会)	表紙のみ	
i-15			特集：鋼構造物にお ける自動化・ロボッ ト化(JSSCNo.41992)		「建築鉄骨における例」工作図・原寸・型取り段階 、切断・孔明け段階、溶接段階「橋梁における例」 前段階(板継ぎ溶接工程、切断工程、罫線工程、孔明 け工程)、後段階(組立工程、溶接工程)	工場製作・ロボット化
i-16			日経コンストラクシ ョン (1993.5.28/1994.5.24) 新工法の近況一覧		1993.5.28[橋関連]：吊り床版工法[仮設関連]：鋼材運 搬機械工事用仮設屋根1994.5.24[橋関連]：PC斜張橋 斜材、プレキャスト床版[仮設技術]：資材運搬技術(大量 の資材を垂直・水平方向に運搬)	吊り床版工法、鋼材運搬、 資材運搬

## 第4章 架設・維持補修のロボット化の問題点

### 4-1 架設

架設における新工法では、一括架設など大きな重量物の運搬、吊上げなどを行う事例が多い。一方、これらの新工法を用いるケースが多いという現状ではないため、十分な自動化がなされない。しかし、工期短縮などの目的を達成するものである。

自動仮組立て検査は、部材単位の3次元自動計測の結果を用いてコンピュータの上で数値的に組立てるものである。現状では、鈑桁、箱桁を対象に行っているが、鋼床版、トラス、アーチなどの複雑なものへの発展には至っていない。また、部材精度-応力-変位の関係など実績も組込む必要がある。

橋梁架設現場および維持補修作業でロボットから見た問題点を挙げる。

- ・ワーク構造に統一性がない

究極の多品種少量生産の製造物であるので、当然の理由である。

- ・ロボットの作業空間に障害物が多い（作業空間が狭い）

原価単位が重量なため、構造的に複雑でも重量が小さいものを求めてきた結果、複雑な構造になっている。また、ガス管等の配管が桁構造内に存在する場合も多く作業空間を狭くしている原因でもある。

- ・ワーク付近にロボットの適当な足場がない

橋梁は空間に存在する構造物であるために、ロボットが下から簡単に届くような構造は少ない。

- ・ワークが大型なので、ロボットが自走せざるを得ない。またロボットも大型になる。

橋の重量単位がトン単位なので自動コンベアのようなワーク移動装置を作成することは難しく、それを現場で実現するには不可能であり可能であってもコストがかかる。

- ・同一単純作業がない

構造が橋毎に異なっている上に、保守作業は1橋中でも同一作業は全くない。

### 4-2 足場

ここでは、足場作業の省力化及び自動化・ロボット化を阻害する要因について考えてみる。

- ・単管パイプ・クランプ及び吊りチェーンを材料とする足場の組立・解体作業には、含まれる作業種類が煩雑なため、自動化・ロボット化が困難である。
- ・作業は複数の作業員による共同作業であり、ロボット化に適さない。
- ・パイプ足場の構成部材（パイプ、クランプ、チェーン等）は単純なものばかりで、故障の心配が少なく、取扱い・維持管理が容易である。また、損傷のあるものは簡単に交換することも可能である。
- ・使用目的（例えば、架設足場と床版足場）による構造（耐荷力）の相違がある場合でも、パイプ足場の場合には（例えば、おやごパイプの間隔を変えることで）容易に対応できる。

- ・既存の橋梁には、ロボットを移動させるための設備（レール、ガイド等）が設置されていない場合が多く、新たにこれを設置しなければならない。また、橋体そのものがかろうじて建築限界をクリアしている場合が多く、桁下に移動足場・防護工等を新たに設置する場合には制約が多い。
- ・橋体の構造形式・形状等が多岐にわたり統一性がないため、自動化・ロボット化にむけては、大きな障害となる。
- ・橋体の構造が複雑（横桁・対傾構・横構等）で、ロボットの移動を妨げる要因となる。
- ・ロボットあるいはその移動設備に汎用性をもたせることが困難で、開発しても採算性が期待できない。

これらをまとめると、①従来の橋体が画一的な配慮もなかったこと、②足場は橋体より吊下げられることから軽量でなければならないため、また、狭い空間であることなどから、現在のロボット技術などは人力を代行できるレベルに至っていないこと、③足場を担当する業者に潤沢な資本がないことなどから、移動防護工などのような形式で自動化などが考えられてきている。

#### 4-3 床版

床版の自動化・ロボット化を行う上で、障害となると思われる事項についてまとめる。

- ①プレキャスト床版は省力化を目指したものであり、試験施工した橋梁は増加しつつある。しかし、経済性と構造的に課題が残っている。また、施工時には、プレキャスト床版を置く作業ヤードが必要となり、都市内の施工はヤードの確保が困難である。
- ②高欄のスリップフォーム工法は、最終仕上げを行う際、人力施工（こて作業）が必要となる。また、収縮目地を入れるため、コンクリート硬化後カッターで切断する必要がある。
- ③プレキャスト埋設型枠は、普通型枠に比較して高価なものである。また、目地処理等、人力が必要となる。
- ④モノリシック工法は、コンクリート工事の最終段階のみを自動化しているため、あまり際立った人工数の減少にはなっていない。

#### 4-4 維持補修

##### ①点検システム

点検・診断に新技術として、超音波などを利用したシステムが挙げられている。しかし、信頼性あるいは精度はまだ十分でない。

点検・診断では、目視による専門家の判断が重要である。しかし、広い範囲で損傷の度合も異なることからどこにどのような密度で損傷があるかといった程度の初期点検に新技術のシステムは記録性において有効である。

##### ②交通規制

道路の路面の補修等では、交通の切回しを立体的に行うことによって、よりよい補修工法が採用できることも多い。



ミニウェイは高価な仮橋である。また、長距離の適用も制限がある。

### ③現場溶接ロボット

溶接ロボットによって施工した場合であっても溶接の品質がまったく高いということではなく、自身の熱を受け鋼板が変形するなど、多くの要因によって溶接部に欠陥を巻込むこともある。現在では、その検査と評価の技術が確立していない。

## 4-5 その他

### ①新構造

架設現場が千差万別であり、橋梁の一品設計、製作であることから、架設ロボットのコンセプトはまだ明確にされていない。このため、ロボット化に向けた新構造の検討は包括的なものより、部分的なところに留まっている。

ロボット化に適した新構造の開発は、ロボット化の進む方向と相互に影響しあうことから、ロボット化の開発の中に位置づけることが必要である。

### ②新素材

ロボット化に向けた新素材の利用は今後重要な課題と考えるが、現状その段階にまで至っていない。

### ③省力化工法

架設現場の地形等を利用した省力化架設が行われている。しかし、特殊条件下での施工であることより、施工頻度の高い状況下でのロボット化に即結び付くかは疑問である。

### ④塗装

橋梁構造が多岐にわたることよりロボットに汎用性を持たせるのが困難である。ロボットの規格化、橋梁構造の標準化が課題である。

### ⑤鉄筋・型枠

スリップフォーム工法や鉄筋の配材・結束の自動化が鋼橋の床版や壁高欄に応用可能な技術と言えるが、鋼橋のこれら工事量が自動化に採算面で合うかが問題である。また、桁上での作業であり、自動化装置の設置や材料の供給方法も検討すべき課題である。

### ⑥ブラストはつり工

周囲への粉塵の影響が大きな問題、これを如何に抑制するかが課題である。

### ⑦測量・計測

測量機器は大幅な進歩を見、精度向上、省力化に寄与しているが、測点の確認設置は、人に依らざるを得ず、完全な自動化には限界がある。

### ⑧建設機械

架設自動化機械には、大型ブロックを取り扱い、かつ微妙な動きが要求される点、桁ブロックの製作精度が必ずしも満足がいくとは限らない点、機械設置場所が必ずしも安定した場所とはならない点が主要な問題点である。

## 第5章 架設・維持補修のロボット化の将来展望

### 5-1 架設

#### ・移動式クレーン

ほとんどの架設現場で最も多用されている移動式クレーンは、ロボット化の対象として最も有望である。高齢者なども働く現場で、人の動きまでも感知した安全性の高いロボットを目標にして、当面は繰返し作業を高精度で制御できる程度の自動制御などが考えられる。

また、フックなども自動制御あるいは遠隔制御できれば安全性が向上するであろう。

#### ・高所作業車

高所の作業では接近するための階段などを省略するばかりでなく、機材などの運搬も代行できるものである。したがって、現在の足場上での作業程度ならば、かなり小型化した高所作業車が可能と考えられる。ブームは、マニピレータのごとく先端に位置する作業者が自在に空間を移動できるようなものが目標となるであろう。当面は、多関節アームのブーム、目標位置への自動的な移動程度の制御が期待できる。

#### ・橋体構造の標準化

足場の自動化・ロボット化に不可欠な橋体の標準化を推進しなければならない。吊金具などの位置、大きさなどの標準化によって吊型のロボットの仕様が規格化できるなど、橋体の形状そのもの、附属品などを含めて標準化が必要となる。

大きなブロック組立てロボットから主桁が順次送出されて架設するような工法も考えられ、この場合にも標準化が重要である。標準化では、部材数の少ない形式がより有望となる。

### 5-2 足場

足場作業の省力化及び自動化・ロボット化にむけて、今後検討していかなければならないと考えられる項目をとりあげ、将来にむけての提案としたい。

- ・使用目的に応じて、その都度、足場の構造を変更しなくてもすむような足場構造を考案し、それに相応しい強度と耐久性を持ち、かつ取扱い易い重量の材料を選定する。
- ・橋体の主要寸法の統一（例えば、主桁間隔を統一することにより、移動足場に汎用性をもたせる）を図る。また、ロボットの移動を妨げる横桁・対傾構・横構の構造、設置位置等の見直しを行う。
- ・新設橋梁にあっては、将来の移動足場・防護工の設置やロボット化にむけて、レール・ガイド等の取付けを想定した設計を行う。
- ・移動足場・防護工及びロボットの走行に支障のない桁下クリアランスを確保した全体計画を行う。
- ・足場の組立・解体作業を行うことのできる高性能・万能ロボットの共同開発を行う。

### 5-3 床版

床版の自動化・ロボット化は、現段階ではプレキャスト床版を使用し、なるべく現場でのコンクリート打設を無くし、工期の短縮を図ることが目的となっている。ただし、施工ヤードの確保が可能となる地域（山岳部等）での施工となっているため、今後は、都市部でも可能となるような施工方法の検討が必要となる。また、床版接合方法や床版と桁の結合方法についても、今後確立していく必要がある。

壁高欄については、最終仕上げが手作業であり、足場等がまだ必要なことから、最終仕上げの自動化が可能となれば、かなりの工期短縮になると思われる。

桁端部の施工は埋殺し型枠でコンクリート打設を行っているのが、現状であるが、プレキャスト埋設ブロックを用いれば、強度の確保にもつながり、効果的であると思われる。

### 5-4 維持補修

維持管理での自動化、ロボット化は現状がごく初期的技術に限られていることから、今後様々な開発が期待される。

点検・診断システムでは、記録性から診断までを含むとすれば、エキスパートシステムのようなものが考えられる。この範囲で現在の緊急課題として挙げられている自動超音波探傷装置がある。しかし、手探傷に比較して十分な精度・信頼性が得られていないことから現状は研究段階の範囲である。また、コンクリート内の鉄筋位置の検出システムも同様であり、その精度と検出作業の手軽さの両立までが期待される。

橋梁の健全度モニタリングなども有効な点検・診断システムとなると考えられる。

調査した中には、別の項目に塗装ロボットなどもあるが、補修作業のロボット化も考えられる。現在は、点検、塗り替えなどのための点検・検査車を取付けた橋梁も多いが、補修作業の自動化にまでおよぶものはない。

仮橋なども大型のロボット化の対象としては有望であろう。しかし、このような機材は、稼働率を上げることが必要となる。災害用の橋梁などもあるが、自動化などは行われていない。

一方、補修の施工ロボットとして、震災後、耐震補強のひとつである鋼板巻立て工法に対して、専用溶接ロボットがでてきた。

このように、補強工法が画一的な場合にはロボット化が促進されると考えられることから、補修工法も自動化などと共に考えるのが望ましい。

自動化、ロボット化が作業者の省力化と大きく関係するところであるため、その要求の出处に開発意欲と資金が十分な場合にのみ促進されると考えられる。この観点から、維持補修の主体は、橋梁などの管理者であること、1次的な作業者でないことから、補修用の自動化・ロボット化が遅れていると考えられる。しかし、維持補修は今後大きな市場へと変化することから、作業者の立場から危険作業などの代行などのロボット化、あるいは、管理者の立場から損傷の初期検知などの点検システムなどが今後の課題として考えられる。

## 5-5 その他

### ①新構造

コストダウンを目的に新しい構造を模索段階であるが、今後は鉄桁や箱桁を中心に構造が提案されると思われる。より作り易くするために簡略化され、さらに規格化されれば現場ロボットも導入し易くなると考える。

### ②省力化工法

桁ブロックの架設、または地組は、輸送車両からクレーンで取り、そのまま架設するのが、最もシンプルで効率的と言える。したがって輸送されてきたブロックを、例えば自動架設機のようなものに預けてから、架設していく工法は将来も省力化に繋がるか疑問である。むしろ周辺部材の取付け等に活路があるものとする。

### ③その他

塗装等の作業にはロボット化、自動化は十分期待できる。センサー・制御技術を始めた周辺技術の水準、建築工事や土木工事での事例から積極的導入を考えるなら十分対応できるものとする。塗装ロボットに適した構造の標準化、コスト面からの施工規模の検討が話題とする。

## 第6章 あとがき

架設および維持管理におけるロボット化、自動化の現状は他分野の状況と比較した場合、決して十分といえない。ロボット化や自動化を阻む要因が多く散在しており、投資意欲も高くない。

一方、危険な作業もおおく、また、作業者の高齢化と後継技能者の不足が現実に行進する中で、容易に実現できればという期待も大きい。

そこで、本部会の中に「架設・維持管理グループ」を設け、雑誌、パンフレットなどの資料調査を行ってきた。この調査によれば、ロボット化、自動化の現状は従来からの技術からあまり隔たりのない範囲で実現できるものがほとんどであり、先端技術を用いるようなロボットや自動化機械などはあまりなかった。

しかし、維持管理などはその仕事量が今後加速度的に増加するであろうことは誰もが推測していることであり、また、そのための十分な予算を確保することも難しそうであることなどから、ロボット化、自動化について①既設の橋梁に適用できる汎用性を有した実現②今後架設される新設橋梁での標準化による単純化した実現が期待される。ロボットを考えると同時に橋梁本体なども構造を変えたり改造したりすることを前提に、他分野で実現されている先端技術を利用すれば、いくらかの実現が可能であろう。また、それに関連、刺激されて、更なる進展が期待できる。

この報告をまとめるにあたって、当グループもメンバーの他、安倍英彦教授（部会長）、成宮隆夫副部会長、また、溶接グループ、塗装グループの幹事の方々に多くの助言をいただき、どうにか完成させることができ謝意を表したい。