

# コンクリート橋の超省人化についての調査研究報告

村椿 良範\*<sup>1</sup>・佐藤 均\*<sup>2</sup>

## はじめに

我が国における社会資本整備の投資規模は、GNP 比率で約 5 % と、欧米諸国に比べ高い水準で推移してきている。しかし、国民所得や消費などの私的社會水準では欧米諸国の水準に達してきているものの、都市基盤や住宅などの社会生活水準は欧米諸国に比べ立ち遅れている状況にある。このため、21 世紀に向けて、豊かで住みよい、多様な価値観を実現する質の高い社会資本整備の推進が重要な課題となっている。

それら社会資本整備を実現するためには、その基盤となる建設技術の開発が不可欠である。建設省ではその技術開発の一環として、平成 2 年度より「建設事業における施工新技術の開発」（建設省総合開発プロジェクト）において、建設事業の各分野における施工の省力化、安全性の向上、苦渋作業からの開放、工期短縮等を目的とした技術開発を産・学等との連携のもと、総合的、組織的に研究を実施しているところである。

本報告は、「建設事業における施工新技術の開発」の研究テーマの一つとして実施しているもので、比較的小規模なコンクリート系の上部構造をケーススタディーとして、将来、大幅な省人化を余儀なくされた事態を想定した場合の材料、構造および工法等に係わる技術開発の方向性を探ったものである。

## 1. 概要

ほどなく訪れる 21 世紀初頭の建設事業の労務事情は、人口減少社会、高齢化社会等を背景に、今後ますます悪化していくものと考えられる。特に鉄筋工、型枠工などの特殊作業に従事する技術労働者や熟練した専門労働者が決定的に不足することが予測される。このような観点から、作業環境の改善・苦渋作業からの解放、施工の安全性の確保による建設労働者不足の解消、現場における施工の省人化・省力化とともに、現場施工技術の合理化を推進することが急務となっている。したがって本調査研究では、いかにして現場作業（現場労務工数）を

減らすかを技術開発の第一目標として、中小規模のコンクリート橋（支間 50 m 程度以下）をケーススタディーとして、超省人化の検討を行った。

検討内容としては、まず従来建設されているコンクリート橋の現場労務工数の実態を把握し、重点的な改善項目の内容をとらえるとともに、超省人化を図るうえで有効と考えられるアイデアの収集・整理を、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会に加盟している 38 社の実務者を対象とした、アンケート方式により行った。さらに、具体化するために超省人化を考慮したコンクリート橋の姿を想定し、今後の技術開発の方向性を示したので、その概要を紹介する。

## 2. 従来橋の現場労務工数の実態把握

省人化に係わる具体的方策の検討に当たっては、本研究で対象とする構造規模範囲について、現場施工における労務工数の実態を把握する必要がある。そこで、比較対象の橋種として「プレテンション方式単純 T げた橋（以下「プレテン T 桁」という）」、「ポストテンション方式単純 T げた橋（以下「ポステン T 桁」という）」、「場所打ち方式連続中空床版橋（以下「場所打ち床版」という）」、「場所打ち方式連続箱桁橋（以下「場所打ち箱桁」という）」の 4 橋種を選定し、それらについて主要作業に要する単位橋面積当たり（100 m<sup>2</sup>）の現場労務工数を「土木工事標準歩掛」にもとづいて算定した。その結果を表-1 に示すが、これについては以下のように整理できる。

- 1) 総現場労務工数の最も少ない橋種は工場製作を主体としたプレテン T 桁であり、その工数は他の橋種に比べ 1/3~1/5 程度となっている。このように、主構造のプレキャスト化は現場作業の省人化を図るうえで有効な手段と考えられる。
- 2) 主要作業別では、型枠作業、鉄筋作業、ケーブル作業に多くの労力を要している。また、支保工を必要とする「場所打ち床版」、「場所打ち箱桁」では、その作業に要する労務工数が全体の 1/4~1/3 を占

\*<sup>1</sup> Yoshinori MURATSUBAKI : 建設省 土木研究所積算技術研究センター システム課

\*<sup>2</sup> Hitoshi SATO : オリエンタル建設(株) (前: 建設省土木研究所部外研究員)

表-1 橋面積 100 m<sup>2</sup> 当たりの現場労務工数 (人)

業 種	項目	プレテンT桁	ボステンT桁	場所打ち床版	場所打ち箱桁
		型 枠 作 業	21.5 (20.1)	86.8 (25.4)	89.8 (30.8)
業 種	鉄 筋 作 業	5.3 ( 5.0)	45.6 (13.4)	45.3 (15.6)	79.2 (16.1)
	コンクリート作業	5.9 ( 5.5)	23.3 ( 6.8)	13.7 ( 4.7)	13.1 ( 2.7)
	ケーブル作業	19.4 (18.2)	50.4 (14.8)	49.2 (17.0)	57.0 (11.6)
	PC 緊張作業	8.9 ( 8.4)	22.9 ( 6.7)	6.9 ( 2.4)	23.7 ( 4.8)
	架 設 作 業	13.3 (12.5)	49.8 (14.6)	0.0 ( 0.0)	0.0 ( 0.0)
	足 場 作 業	16.9 (15.9)	34.6 (10.1)	2.5 ( 0.9)	2.9 ( 0.6)
	支 保 作 業	0.0 ( 0.0)	0.0 ( 0.0)	72.7 (25.1)	160.6 (32.6)
	そ の 他	15.3 (14.4)	27.9 ( 8.2)	10.2 ( 3.5)	9.6 ( 2.0)
	合 計	106.5	341.3	290.1	491.9
	条 橋	長	93.88 m	92.56 m	99.30 m
件 支	間	6@15.00 m	3@30.00 m	4@24.60 m	2@39.00 m

注) ( )内の値は全現場労務工数に対する割合 (%)

めている。

次に、上記の条件に対して、普通作業員と熟練作業員(型枠工、鉄筋工、橋梁特殊工)の構成比を整理すると表-2のようになる。これによると各橋種とも熟練作業員主体の労務構成になっており、型枠、鉄筋およびケーブル作業において熟練工の占める割合が高く、今後の熟練工不足に対応するうえで重要な改善項目と考えられる。

### 3. コンクリート橋の超省人化に係わる材料および工法の提案

コンクリート橋の超省人化を図るうえで有効と考えられる材料および工法のアイデアを、最近の技術開発の動向を踏まえて整理する。なお、ここで提案するアイ

表-2 普通作業員と熟練工の構成比 (%)

形 式	プレテンT桁		ボステンT桁		場所打ち床版		場所打ち箱桁	
	普通	熟練	普通	熟練	普通	熟練	普通	熟練
型 枠 作 業	25	75	35	65	50	50	40	60
鉄 筋 作 業	35	65	35	65	30	70	30	70
コンクリート作業	70	30	50	50	50	50	50	50
ケーブル作業	25	75	30	70	30	70	30	70
PC 緊張作業	20	80	20	80	30	70	20	80
架 設 作 業	35	65	40	60	-	-	-	-
足 場 作 業	0	100	30	70	0	100	0	100
支 保 作 業	-	-	-	-	50	50	50	50
平 均	25	75	35	65	45	55	40	60

ディアは、以下に示す実務者を対象としたアンケート方式の結果にもとづくものである。

#### 3.1 アンケートの調査方法および内容

本研究で対象とした工程、調査の方法および内容は以下のとおりである。

##### (1) 対象工程

対象工程は、特殊橋梁を除くコンクリート橋

##### (2) 調査方法

調査方法は、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会に加盟している 38 社の実務者を対象としたアンケート方式

##### (3) 調査内容

調査内容は、超省人化を図るうえで有効と考えられるアイデアと、そのアイデアに関して予想される省人化の度合および開発時期である。

1) アイディアの分類は、「目的とする効果」と「技術分野」との関連を表-3のように定義した。

表-3 目的とする効果と技術分野との関連

目的とする効果	技術分野	計 画 ・ 設 計	材 料	工 法
省 人 化		ライフサイクル全期間にわたって、計画・設計段階(整形タイプの採用やハカマ筋の省略等)における現場投入人員の削減可能と思われるアイデア	ライフサイクル全期間にわたって、現場投入人員の削減可能と思われる材料によるアイデア	ライフサイクル全期間にわたって、現場投入人員の削減可能と思われる工法によるアイデア
耐 久 性		耐久性を意識した、計画・設計段階(構造計算にとられないデザイン断面の単純化・露出面積の小さい断面形状等)におけるアイデア	耐久性を意識した材料によるアイデア	耐久性を意識した工法によるアイデア
再 利 用		これから予想される新設橋において材料・部材等を新たに活用する計画・設計段階(将来の地球規模の資源を考慮)におけるアイデア	再利用を意識した材料・部材活用によるアイデア	再利用を意識した材料・部材活用する工法によるアイデア
維持・管理		これから予想される新設橋の維持・管理作業時の計画・設計段階(耐久性の延進策、余裕のある路線幅等)におけるアイデア	これから予想される新設橋の維持・管理作業を削減する材料によるアイデア	これから予想される新設橋の維持・管理作業を削減する工法によるアイデア
撤 去		これから予想される新設橋の撤去作業時の計画・設計段階(跨道、跨線橋の桁下空間での交通開放可能等、現場でやりやすい解体、搬出等)におけるアイデア	これから予想される新設橋の撤去作業を削減する材料によるアイデア	これから予想される新設橋の撤去作業を削減する工法によるアイデア
再 建 設		同じ路線上(既設下部の使用)および、交通開放可能な再建設の計画・設計段階(ゆとりのある路線計画等)でのアイデア	再建設を考慮した材料によるアイデア	再建設を考慮した工法によるアイデア

◇研究報告◇

① 目的とする効果は、「省人化」、「耐久性」、「再利用」、「維持・管理」、「撤去」、「再建設」の6分類。

② 技術分野は、「計画・設計」、「材料」、「工法」の3分類。

2) さらに、提案されたアイデアについて、以下の分類にもとづいた省人化の度合と、その開発時期のある程度の幅をもたせて予測する。なお、開発時期については、「研究試行中または課題を検討中」と「将来の課題」とに大別した。

◎: 50%以上の効果がある

○: 30~50%の効果がある

△: 0~30%の効果がある

3.2 調査結果

(1) アンケートの有効回答

アンケートの有効回答は、調査依頼38社に対して28社であった。

(2) 提案されたアイデアの件数および内容

1) アイディアの件数

今回の調査で提案されたアイデアの総数は64件であり、その内訳は以下のとおりである(表-4)。

① 目的とする効果では、省人化に係わるアイデアが22件と最も多く全体の1/3を占め、次いで耐久性に係わるものが18件であった。

② 分野別では、材料、工法および計画・設計に係わるアイデアの件数が各々34、21、9件となってお

表-4 各アイデア件数の集計表 (件)

効果 分野	研究試行中または課題検討			将来の課題			合計
	計画設計	材料	工法	計画設計	材料	工法	
省人化	3	3	5	2	7	2	22
耐久性	0	3	3	2	8	2	18
再利用	0	1	2	1	5	1	10
維持・管理	0	0	1	0	2	1	4
撤去	0	1	2	0	4	2	9
再建設	0	0	0	1	0	0	1
合計	3	8	13	6	26	8	64
	24			40			

り、材料に係わるものが全体の半数を占めている。

③ 開発時期別では、アイデアの総数64件に対して「研究試行中または課題を検討中」に係わるアイデアが24件、「将来の課題」に係わるものが40件となっている。

2) アイディアの内容

表-5~6は、提案されたアイデアを整理したものである。なお、表中の評価の欄に示す数値は、アンケート調査で得られた各アイデアに対する省人化度合の予測結果をもとに、50%以上の省人化率を3点、50~30%を2点、30%未満を1点とした場合の加重平均であり、その値が各アイデアの省人化度合を判断する目安となるものである。また、予測年度の欄に示す数値は、ある程度の幅をもたせたアイデアの開発予測年度の中心位置を示した。

表-5 「研究試行中または課題を検討中」

効果	評価	予測年度	計画・設計	評価	予測年度	材料	評価	予測年度	工法
省人化	2.35	2007	新構造の開発(中間横桁不要, 横締め不要)	1.96	2006	早期強度発現コンクリート(蒸気養生不要)	2.44	2007	型枠ロボット
				1.75	2007		2.55	2006	
	2.51	2007	集中生産	1.85	2007	高強度軽量コンクリート	2.70	2011	型枠不要自動コンクリート打設ロボット
	2.29	2010	設計から施工までの一環システム				1.85	2003	全天候施工法(支保工, 現場ヤード)
耐久性				1.71	2005	乾燥収縮補償コンクリート	1.74	2006	新しい補修・補強工法
				1.51	2004	高強度鉄筋	1.66	2002	打継目地の耐久性向上施工法
				1.30	2006	磁場水を利用した新材料	1.66	2003	健全度の診断方法
				1.88	2003	再利用可能型枠	1.60	2003	新しい補修・補強工法
再利用							1.61	2003	健全度の診断方法
							2.22	2007	自動検査ロボット
維持管理									
撤去				1.55	2006	高強度軽量コンクリート	1.70	2003	新しい補修・補強工法
							1.69	2001	プレキャスト埋設型枠
再建設									

注) 評価: 合計点数(◎:3点 ○:2点 △:1点)/件数 □は評価が2.0以上を示す。

表-6 「将来の課題」

効果	評価	予測年度	計画・設計	評価	予測年度	材 料	評価	予測年度	工 法
省人化	2.29	2010	ゆとりのある路線計画	2.14	2006	高曲げ引張強度コンクリート	2.64	2005	無足場施工法
	2.34	2006	平面形状の単純化	2.34	2002	溶接可能鉄筋	2.85	2003	全自動プレテン製造システム
				2.25	2005	鉄筋組立て用の接着剤			
				2.22	2004	軽量大型支保工			
				1.92	2004	軽量型枠（新素材）			
				1.62	2011	形状記憶剛材			
				1.25	2002	透明型枠			
耐久性	1.64	2004	構造計算にとられないデザイン	1.85	2005	錆びない鉄筋	2.15	2013	ノンメタルコンクリート橋
	2.19	2006	露出面積の少ない断面形状	2.10	2007	高曲げ引張強度コンクリート	2.19	2010	劣化防止技術
				2.46	2013	維持不要コンクリート			
				2.14	2007	耐久性向上（回復）混和剤（材）			
				2.03	2010	中性化しないコンクリート			
				1.70	2008	海砂使用可能コンクリート			
				1.81	2007	アルカリ性骨材反応防止添加剤			
再利用	2.00	2008	材料（骨材、鉄筋、PC鋼材）の分離改修	1.99	2008	再利用コンクリート	1.95	2013	ノンメタルコンクリート橋
				1.85	2006	再生骨材			
				1.74	2009	産業廃棄物利用コンクリート			
				1.87	2008	耐久性向上（回復）混和剤（材）			
				1.68	2004	軽量型枠（新素材）			
				2.37	2013	維持不要コンクリート	2.12	2011	若返り（延命）工法
				2.00	2010	中性化しないコンクリート			
撤去				2.34	2015	溶解コンクリート（撤去用）	2.51	2010	大型解体ロボット
				1.70	2011	形状記憶剛材	2.34	2007	横過道路供用中の橋梁撤去工法
				1.92	2005	軽量大型支保工	1.86	2012	若返り（延命）工法
				1.70	2004	軽量型枠（新素材）			
再建設	2.18	2007	余裕のある路線幅						

注）評価：合計点数（◎：3点 ○：2点 △：1点）/件数 □は、評価が2.0以上を示す。

### 3.3 アンケート調査からみる今後の課題

アンケート調査の結果から、将来に対する現状の取り組み姿勢として以下のことが把握できる。

#### （1）開発時期別に見た省人化技術への取り組み状況

アイデアの総数 64 件に対して、「将来の課題」に係わるアイデアが 40 件、「研究試行中または課題を検討中」に係わるものが 26 件となっており、今後将来に向けてさらに具体的な取り組みが必要であると考えられる。

#### （2）目的とする効果別に見た省人化技術への取り組み状況

省人化に係わるアイデアが 22 件と最も多く全体の約 1/3 を占め、次いで耐久性に係わるものが 18 件、再利用に関するものが 10 件、撤去に関するものが 9 件となっている。省人化は現実の問題として積極的に取り組まれているものと思われる。

#### （3）予測年度別に見た省人化技術

表-5～6 に示したアイデアの開発予測年度を、年度

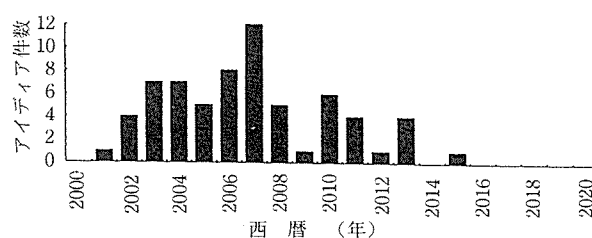


図-1 各予測年度ごとのアイデア数

ごとに集計すると図-1 のようになる。これによると現在提案しているアイデアは、2010 年にほぼ達成されると予測されるが、このためには新技術に対するかなり積極的な取り組みが必要と思われる。

## 4. 超省人化橋梁の将来ビジョン

コンクリート橋に係わる労務工数および省人化を図るうえで有効と考えられる材料・工法のアイデア等をもとに、支間 25 m 程度以下の小規模橋梁と、支間 25～50

◇研究報告◇

mの中規模橋梁に対して、省人化橋梁のイメージづくりを行い、それらについて省人化率に関する机上評価を行った。

4.1 超省人化橋梁の全体像

超省人化橋梁の概要は以下のとおりである（図-2～3）。

- 1) 構造形式は、支保工を省略するために、連数に係わらず桁は単純形式とする。ただし、ジョイント部については、車両の走行性への配慮から桁の移動量に応じて自在に体積変化する物質を充填し、舗装部を連続させたノージョイント構造とする。
- 2) 主桁はプレキャスト化を基本とする。材料については高強度材、高引張鋼材、軽量骨材等を使用し、主桁の軽量化を図る。また、主桁製作の合理化を図るために、超流動コンクリートや鉄筋に代わるスパ

イラル形状の新素材等を使用する。

- 3) 横締め鋼材には、新素材等を使用し、グラウト作業を行わないものとする。

- 4) 主構造の規格化および標準化を推進し、設計の省力化を図る。

4.2 省人化度合の評価

表-7は、前項で述べた超省人化橋梁および、その支間長に対応する従来橋梁との両者について、現場作業に要する年間労務工数と、それをもとに算出した超省人化橋梁の省人化率を推定したものである。ここで、年間総現場労務工数は各橋種の年間施工量（コンクリート数量）と一橋当たりの現場労務工数をもとに、また一橋当たりの現場労務工数は、省人化橋梁についてはアンケート調査において実務者が予測する材料および工法の省人化率を、従来橋梁については、「土木工事標準歩掛」よ

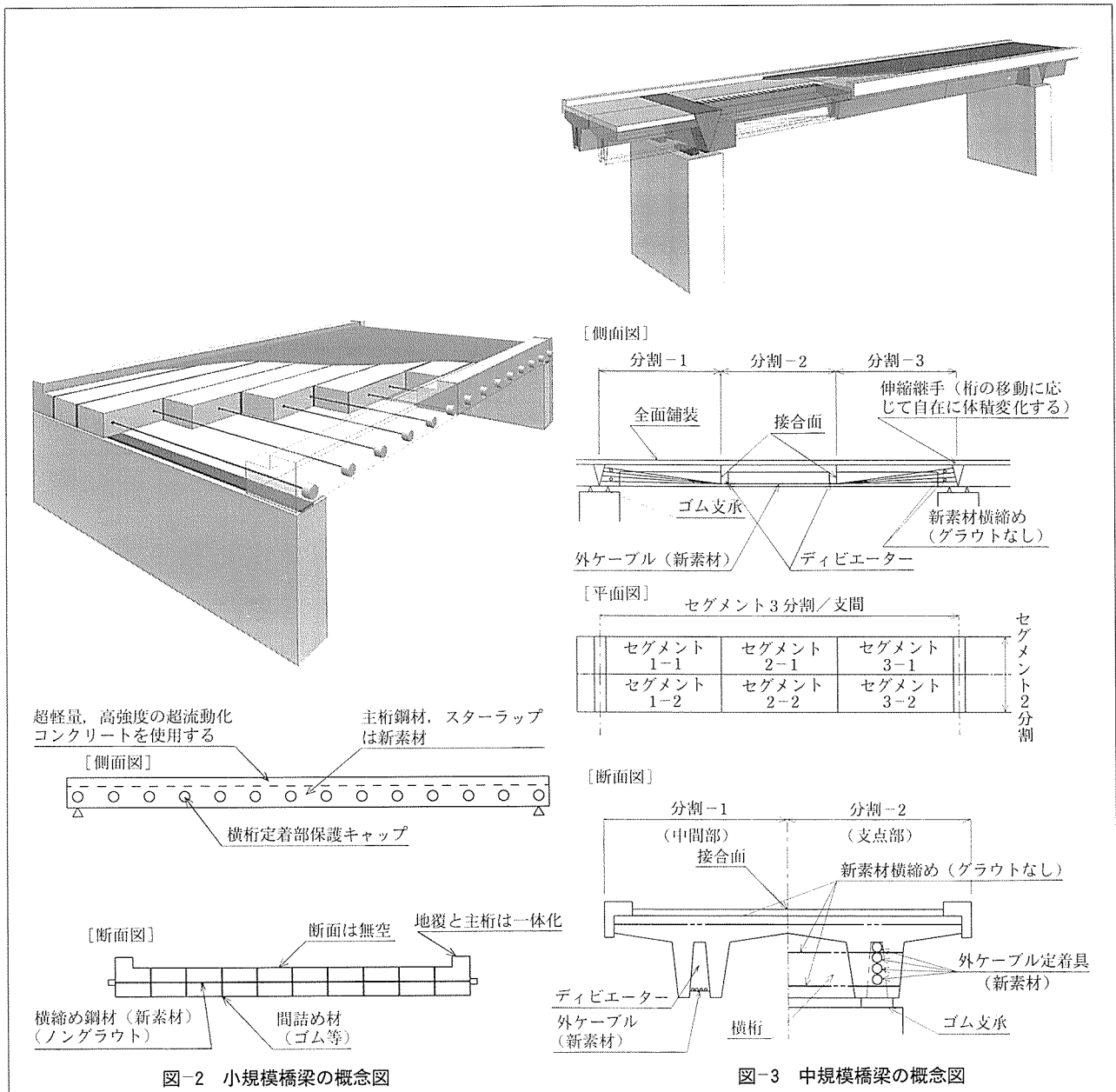


図-2 小規模橋梁の概念図

図-3 中規模橋梁の概念図

表-7 省人化橋梁の省人化率

橋種	年間総現場労務工数(人)		省人化率 (%)	
	従来橋梁	省人化橋梁		
小規模	プレテン床版	115 000	8 000	35
	プレテンT桁	241 000	67 000	72
中規模	ポステンT桁	2 150 000	620 000	71
	場所打ち床版	401 000	134 000	66
	場所打ち箱桁	2 260 000	674 000	70
合計		5 167 000	1 503 000	71

り推定した。

これによるに、小規模橋梁の初期建設に係わる省人化率は、他の橋種に比べて現場作業が最も少ない「プレテンション方式単純床版橋」で35%、「同T桁橋」で約70%の推定結果となった。一方、中規模橋梁については、主構造のプレキャスト化および支保工の要しない構造を基本としているため、省人化率の推定値が約70%である。

## 5. 今後の技術開発の方向性

コンクリート橋の超省人化を実現するためには、材料、構造等に関する技術開発への取組みが従前にも増して必要となる。本テーマで提案した超省人化橋梁は一つの方向性を探ることを主目的としたものであり、その内容については必ずしも十分とは言えない部分もあるが、ここでは、これまでの検討を通じて、施工の合理化および生産性の向上を図るうえで有効と考えられる材料、構造等に関する技術開発の方向性を以下に整理してみた。

### (1) 材料について

- ① コンクリートの軽量化、高強度化、流動化に関する技術開発
- ② 耐腐食性およびグラウトを必要としない緊張材
- ③ 施工性の良い(塗布作業が容易でかつ高強度)接着材

### (2) 構造について

構造の一例としては、以下のものがあげられる。

- ① 主桁および横桁を一体化したプレキャスト化構造、外ケーブル構造
- ② 鋼とコンクリートの複合化構造(スターラップの代替、ウェブのメタル化等)
- ③ 中間横桁、支承、伸縮装置を省略する構造

### (3) 施工機械について

- ① 無足場でも施工可能な大型運搬架設機械や自動緊張ジャッキ、接着剤塗布ロボット
- ② 自動配筋、鉄筋溶接、自動打設、自動清掃、品質管理等、工場でのシステム化

### (4) 設計の標準化について

施工の合理化および生産性の向上のためには、それに従事する労務者の慣れに依存するところが大きであることから、そのための設計標準化を推進する必要がある。

## おわりに

本報告で取り上げたテーマは、最近の労務者の高齢化や技能労働者不足を背景として、将来的にもますます厳しくなると予想される21世紀の初頭を想定した場合のコンクリート橋に係わる材料、工法等の技術開発の方向性について、ケーススタディを試みたものである。

その検討に際しては初期建設のほかに、維持管理、撤去あるいは再建設といった視点も加え、コンクリート橋の省人化を図るうえで有効と考えられる幾つかのアイデアを提案した。しかし、その内容については必ずしも十分とは言えない部分も多くあるが、今後、関係各位において、この分野の積極的な取り組みが望まれるところである。

最後に、本検討に当たって有益な御指導と御助言を賜った茨城大学 岩松幸雄教授、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会に厚く御礼申し上げます。

【1994年10月20日受付】