

締固め不要コンクリートの施工に関する分析

Analysis upon Constructability of Self-placeable Concrete

○清水建設(株) 加藤和彦*
東京大学 渡邊法美**
東京大学 國島正彦***

By Kazuhiko KATO, Tunemi WATANABE, Masahiko KUNISHIMA

現場での施工を合理化し、施工現場の近代化を推進する対策の一つとして、新しく開発した技術を施工現場に用いることが考えられる。本研究では、新しく開発した技術を生かす道として、開発した技術を合理的に評価することにより、施工現場への適用を検討するためのアプローチの一つを提示した。開発した技術を合理的に評価する手段として、従来の標準的な施工と開発した技術を用いた施工を比較することを試みた。

本研究は新しい開発技術として、締固め作業が不要なハイパフォーマンスコンクリートを事例に、省人化および工期短縮について、従来の標準的な施工と比較することにより、ハイパフォーマンスコンクリートの施工現場への適用を評価した。従来の標準的施工を検討する過程で、公共事業の標準積算で考慮されてきた施工歩掛りを分析することにより、今後の施工歩掛りのあり方についても検討を行った。

【キーワード】 技術開発、省人化、工期短縮、施工歩掛り、ハイパフォーマンスコンクリート

1. はじめに

近年の土木構造物は、大型化と共に複雑な形状を有するもの、施工時に高い精度が必要なもの等、多様性と高い要求品質が求められる傾向にある。

建設業界を顧みれば、若年労働者の減少、建設現場労働者の高齢化や熟練工の不足等、構造的な問題が発生している。このような背景を考慮すれば、現場の施工を合理化して、近代化を推進する¹⁾ことが急務であり、その対策の一つとして新しく開発した技術を施工現場に用いることが考えられる。新しく開発した技術を施工現場で採用することを検討する場合、開発した技術を評価することが必要となり、評価方法として、コスト、品質、安全性、省力化等の様々な観点からの評価が考えられる。本研究では「開発した技術を生かす道」として、開発した技術と従来の施工を比較することで開発した技術を合理的に評価することを試みて、施工現場への適用の是非を検討するための一つのアプローチを提示した。

非を検討するための一つのアプローチを提示した。

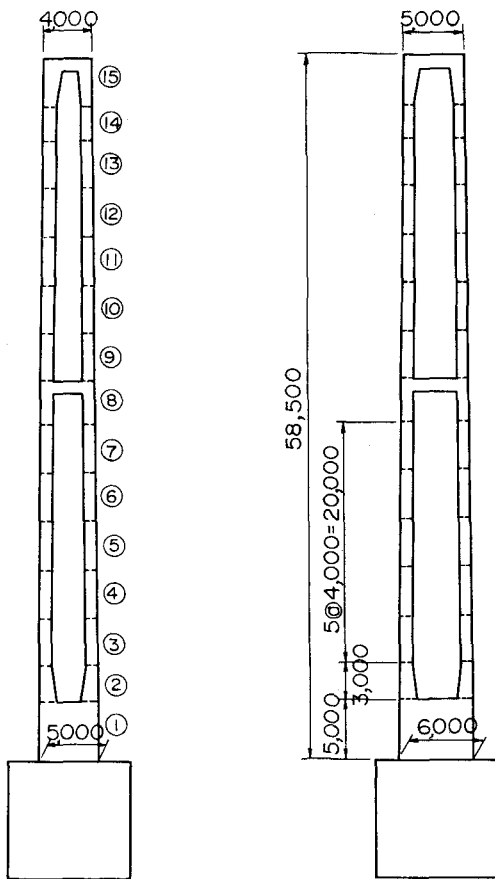
本研究では新しく開発した技術として、岡村らが取り組んでいるHigh Performance Concrete（以下HPC）^{2) 3)}を事例として、検討を行った。HPCはフレッシュな状態では流動性および材料分離抵抗性に優れていることから締固め作業が不要であり、硬化後には耐久性に優れたコンクリートと定義づけられている。従ってHPCを用いた施工を評価するための項目として、コスト、品質、安全性、省力化等が考えられるが、ここでは、省人化と工期短縮に着目してHPCの施工現場への適用性を評価することとした。

さらに、施工の省人化および工期短縮を検討する過程で、公共事業の標準積算で考慮されてきた施工歩掛りと実際の施工現場での施工歩掛りを比較、分析することにより、今後の施工歩掛りのあり方についても検討を行った。

2. 従来の施工についての検討

本研究では、HPCがどの程度コンクリート工事

* 土木本部技術企画部 03-5441-0558
** 工学部土木工学科 03-3812-2111
*** 工学部土木工学科 03-3812-2111



図－1 対象構造物の概略

表－1 第4リフトの施工数量

足 場 (m^3)	鉄 筋 (t)	型 枠 (m^2)	コンクリート (m^3)
154	13	136	68

の省人化および工期短縮に効果的であるかを合理的に評価するために、HPCを用いた施工とこれまでの一般的な施工を比較することとした。

(1) 構造物の概要

HPCを用いた施工と従来の施工を比較検討する構造物は、図－1に示す鉄筋コンクリート橋脚とした。比較検討するための作業項目は、足場工、鉄筋工、型枠工、コンクリート工とした。第4リフトの各作業項目の施工数量を表－1に示す。

表－2 一日当たりの作業員数

	足 場 工 (人/日)		鉄 筋 工 (人/日)		型 枠 工 (人/日)		コンクリート 工 (人/日)
	組立	解体	加工	組立	組立	脱型	打 設
最頻値	6	6	7	7	6	6	7
最小値	4	4	2	3	3	3	5
最大値	9	9	11	16	10	10	26

表－3 施工実態調査結果および建設省標準積算基準の施工歩掛り

	作業項目	足 場 工		鉄 筋 工		型 枠 工		コンクリート
		組立	解体	加工	組立	組立	脱型	打 設
調査工	平均値	0.33	0.19	1.31	2.23	0.19	0.1	0.1
		(人h/ m^2)		(人日/t)		(人日/ m^2)		(人日/ m^3)
結果	標準偏差	0.14	0.10	0.63	0.71	0.08	0.05	0.05
果態	変動係数	44	52	48	32	42	50	50
積建 算設 基準	歩掛り	0.094 人/掛 m^2		(組立のみ) D16～D25 3.1人日/t		0.32 人日/ m^2		0.1 人日/ m^3
		(0.68 人h/ m^2)		D29～D32 1.9人日/t				

(2) 橋脚での標準的な施工の設定

HPCを用いた施工と従来の施工方法を比較するためには、従来の施工方法について一般的かつ平均的な施工方法を設定する必要がある。構造物が同じであっても施工条件によって施工方法が様々であるのは当然のことであり、それらを一義的に定義するのは困難な場合もあるが、本検討では一般的かつ平均的な従来の施工方法を便宜的に設定し、標準施工と称することとした。施工の様態を一般的に表現する手段は様々な方法が考えられるが、ここでは、作業員数（マンパワー）と工程（時間）に着目し、⁴⁾標準施工を設定することとした。

標準施工での作業員数を決定するためには、各作業項目（足場工、鉄筋工、型枠工、コンクリート工）の1日当たりの作業員数および施工歩掛り（施工能力、生産性）を設定する必要がある。ここでは、公共企業体が行った数十基の橋脚の施工実態調査結果資料を分析することによって、コンクリート橋脚の標準的な施工実態を想定することとした。

a) 1日当たりの標準作業員数

各作業項目の1日当たりの作業員数は、施工現場の作業環境、労務事情、工事規模等の条件により決定されるものであり、施工現場毎にばらつきがあると考えられる。施工実態調査結果資料から求めた各作業項目の1日当たりの作業員数を表-2に示す。表-2から実際の施工現場においても、1日当たりの作業員数は大きくばらついているのが分かる。本研究では、表-2に示す最頻値を各作業項目の1日当たりの標準作業員数とした。

b) 作業項目毎の標準施工歩掛り

施工実態調査結果資料から整理した各作業項目の施工歩掛りの値を表-3に、その分布を図-2～図-4に示す。表-3および図-2～図-4には、建設省土木工事積算基準⁹⁾に規定されている値を併記した。また、実施工の一例として、図-1に示す高橋脚現場実績の値も図-2～図-4に併記した。表-3に示すように、各作業項目の施工歩掛りの調査結果は大きなばらつきがあり、その変動係数(標準偏差/平均値)は40%～50%にも達していることがわかる。各作業項目の施工歩掛りが大きくばらついている原因としては、施工現場での作業環境、工事規模等の違いによることは当然考えられるが、施工業者の能力の違いによって、施工歩掛りにばらつきが生じることも考えられる。

高橋脚現場実績を例にとると、足場組立での高橋脚の施工歩掛りは、建設省標準積算基準値とほぼ同等の値となっている。鉄筋の組立での高橋脚の施工歩掛りは、建設省標準積算基準値に比べ効率の良い値となっている。この理由として、全鉄筋量の75%程度が同径の鉄筋であったこと、形状の同じ鉄筋が多かったこと、1回当たりの取扱い量が多かったこと等が考えられる。型枠組立での高橋脚の施工歩掛りは、建設省標準積算基準値と比べ効率の良い値となっている。この理由として、型枠を木製の大パネルとし、タワークレーンを用いたことが省人化に寄与したと考えられる。以上、この高橋脚の現場では、足場組立、鉄筋組立、型枠組立の3工種を総合的に考えれば、その施工歩掛りは建設省標準積算基準値よりも効率の良い値になると予想される。一方では、施工現場、施工業者の違いによっては、総合的な施工歩掛りが公の積算基準値に比べ効率の悪

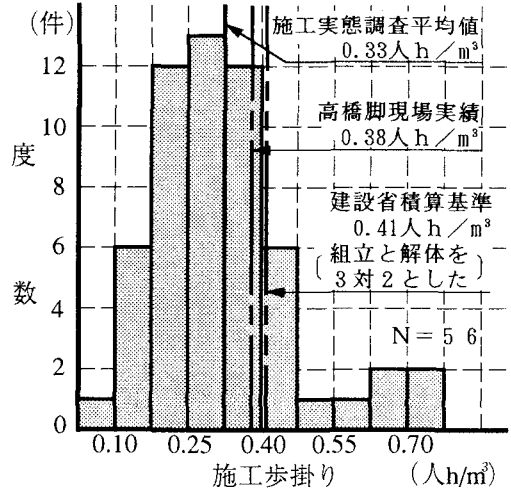


図-2 足場組立の施工歩掛りの分布

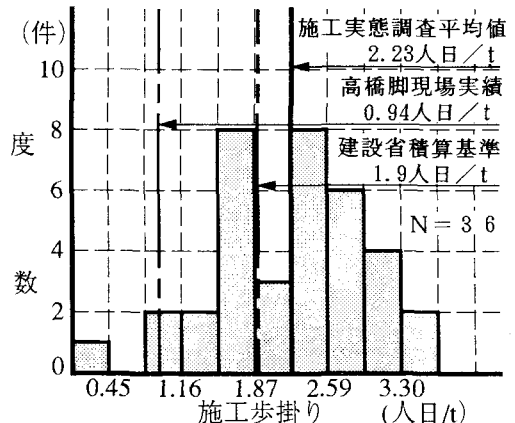


図-3 鉄筋組立の施工歩掛りの分布

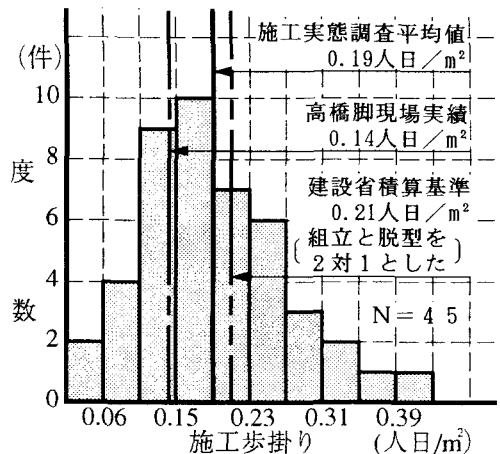


図-4 型枠組立の施工歩掛りの分布

くなる場合が起こることも十分に予測される。従って、標準的な施工歩掛りを決定して、その歩掛りに基づき工事費を積算するということの意義と意味について十分に検討することは、今後の重要な課題と考えられる。

また、施工実態調査結果資料の各作業項目の施工歩掛りはばらついているものの、その平均値は建設省標準積算基準値とほぼ同様の値となっており、施工実態調査平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内に建設省標準積算基準値があることが明らかになったことから、本研究では、施工実態調査平均値を標準施工歩掛りとして用いることとした。

c) 橋脚 1 リフトの標準施工

図-1 に示す橋脚 1 リフト当たりの標準施工を図-5 に示す。図-5 の縦軸上段には作業項目、下段には作業員数、横軸には工程を示す。上段のバーチャートでは、作業項目の種類および各作業項目の所要日数を示し、下段の網掛け部は、各作業項目の延べ作業員数を示す。

標準施工での作業手順は、足場工、鉄筋工および型枠工は連続作業とし、各作業終了後に次作業を行うこととした。コンクリート打設は、型枠組立作業終了後の翌日の 1 日間で行うこととした。コンクリートの養生日数は、土木学会コンクリート標準示方書⁷⁾より 5 日間とした。

3. 締固め不要コンクリートを用いた施工の検討

(1) 施工方法の検討

HPC の締固め作業が必要でないという特性は、コンクリート工事の省力化に有効であり、本研究において考慮した HPC の最大の利点と言える。HPC を用いた合理的な施工方法を検討するにあたり、通常のコンクリートの代わりに HPC を用いる場合だけでなく、HPC の利点をさらに活かすことができる様々な構造形式や施工方法を組み合わせた場合についても検討を行った。

a) 通常の施工で HPC を用いた場合

本施工方法は、足場工、鉄筋工および型枠工は従来通りとし、コンクリートを HPC に置き換えた施工である。施工手順は、標準施工と同様である。ただし、型枠工では、コンクリートの打設圧を液圧として、型枠組立を行う必要がある。HPC を用いることにより、コンクリート打設時に作業員を締固め作業から開放し工事騒音を低減できると共に、打設計画を容易にし柔軟性を持たせることができる等、様々な利点が考えられる。

b) プレキャスト型枠と HPC を用いた場合

ここでは、足場工および鉄筋工は従来通りとし、型枠をプレキャスト型枠とし、HPC を用いた場合について検討を行った。施工手順は、標準施工と同

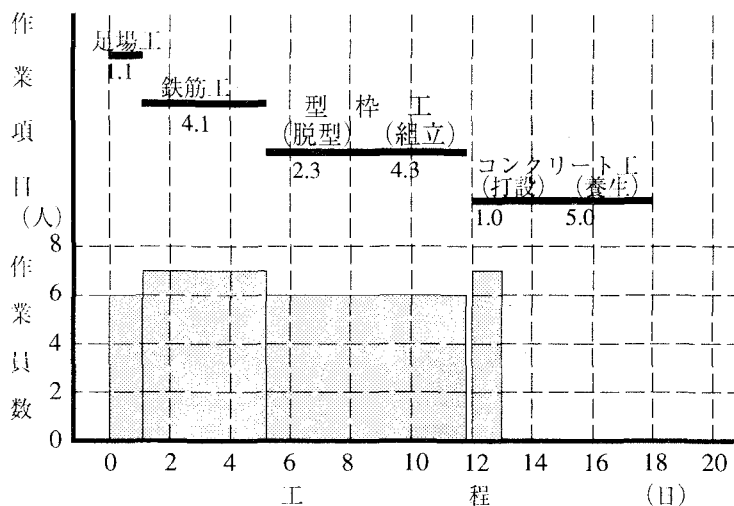
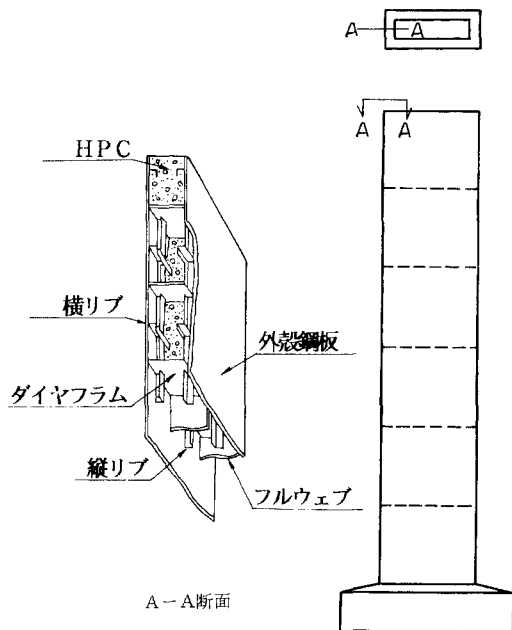


図-5 標準施工での 1 リフト当たりの施工

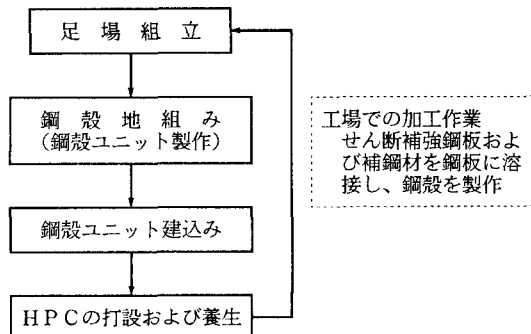


図－6 サンドイッチ構造の概要

様に、足場工、鉄筋工、プレキャスト型枠工およびコンクリート工である。プレキャスト型枠は、施工現場の寸法に合わせて工場で加工する。施工現場では型枠の脱型作業を省略できる。ポリマータイプ、ポリマー含浸タイプ⁸⁾、グラスファイバー混入タイプ等が既に実用化されている。

c) 鋼・コンクリートサンドイッチ構造にHPCを用いた場合

ここで述べるサンドイッチ構造とは、鋼板の間にコンクリートを充填することにより、鋼とコンクリートが一体化して外力に抵抗するように設計された構造⁹⁾である。本構造は、土木学会コンクリート委員会鋼・コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会¹⁰⁾（岡村甫委員長）等で研究されている。サンドイッチ構造では、通常のコンクリートでは充填が困難なため、締固め不要コンクリートとの組合せが有効と考えられている。また、本構造では、鋼殻が型枠として機能すること、鉄筋を用いないこと、鋼殻の製造は工場で行うこと等、現場での作業を大幅に削減することが期待できる。ただし、サンドイッチ構造を橋脚に用いる場合は、鋼殻の局所座屈やコンクリートのせん断破壊等の検討が必要であるが、



図－7 サンドイッチ構造での施工手順

これらの問題が解決されたものとしてHPCを用いた施工についての検討を行った。図－6にサンドイッチ構造を橋脚に用いた場合の構造概要を示す。この構造での耐荷性能は、図－1に示す橋脚と同等になるように鋼板厚を定めた。また、橋脚の外周寸法は図－1に示す橋脚と同じとし、その壁厚は80cmとした。図－7に本構造での橋脚1リフト当たりの施工手順を示す。

- ①鋼殻を工場で製造する。鋼殻は鋼板にせん断補強鋼板や補鋼材を溶接したものである。図－1に示した橋脚を想定した場合、鋼殻の大きさは、4m×1m×0.8mとする。
- ②工場で作成した鋼殻を、現場で橋脚1リフト分の大きさに地組みする。鋼殻は橋脚1リフト当たり4個のコーナー部と14個の壁面部である。鋼殻地組みとは、これら18個の鋼殻を橋脚1リフトの形状に現場で組み立てることである。地組みした鋼殻を鋼殻ユニットと称する。
- ③鋼殻ユニット1リフト分をクレーンで橋脚に据え付け、下部リフトと溶接で一体化する。
- ④HPCの打設を行う。

(2) 作業員数および工程の検討

前述した3通りの施工方法について、作業員数および工程を検討した。

a) 通常の施工でHPCを用いた場合

通常の施工方法でコンクリートをHPCに置き換えた場合の施工部掛りは、足場工および鉄筋工は標準施工と同様である。型枠工では、コンクリートの打設圧を側圧と考えるため、施工部掛りを標準施工に比べ10%増とした。コンクリート工では、従来

表－４　H P Cとプレキャスト型枠での施工歩掛り

作業項目	足 場 工		鉄 筋 工		型 枠 工		コンクリート打設
	組立	解体	加工	組立	組立	脱型	
平均値	0.33	0.19	1.31	2.23	0.24	0	2
	(人h/m ²)		(人日/t)		(人日/m ²)		(人日)

の打設時に必要であった締固め作業およびポンプ筒先の盛替え作業は必要ないと考えた。必要な作業はコンクリートの充填性の確認と考え、作業員数は２人とした。従って、橋脚１リフト当たりの作業員数は８１．１人であり、施工日数は１９日である。

ｂ）プレキャスト型枠とH P Cを用いた場合

足場工、鉄筋工は従来通りとし、型枠にプレキャスト型枠を用いてH P Cを打設する場合について、作業員数および工程を求めた。各作業での施工歩掛りを表－４に示す。足場工および鉄筋工は標準施工と同様である。プレキャスト型枠設置時の施工歩掛りは、これまでの施工事例を参考にし、さらにコンクリートの打設圧が液圧であることを考慮し、標準施工に比べ２５％増とした。型枠脱型作業は省略できた。H P C打設時の作業員数は２人とした。以上の施工歩掛りを用いて求めた橋脚１リフト当たりの作業員数および施工日数を図－８に示す。

ｃ）鋼・コンクリートサンドイッチ構造にH P Cを用いた場合

表－５　H P Cとサンドイッチ構造での施工歩掛り

作業項目	足 場 工		鋼殻地組み		鋼殻ユニット建込み	コンクリート打設
	組立	解体	建込み	ボルト	ト建込み	
平均値	0.33	0.19	12	580	8	2
	(人h/m ²)		個／日	本／日	人日／ユニット	人日

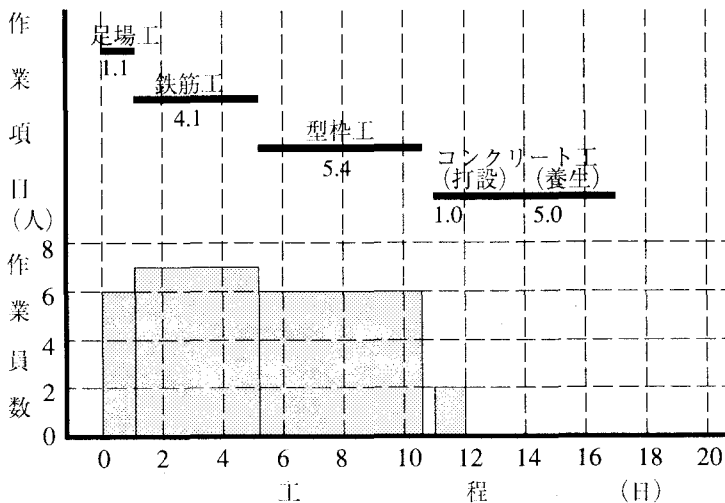
サンドイッチ構造を用いてH P Cを打設する場合について作業員数および施工日数を求めた。各作業項目の施工歩掛りを表－５に示す。

①足場組立：施工歩掛りは標準施工と同様とした。

②鋼殻地組み：鋼殻地組み作業には、鋼殻建込み作業とボルト止め作業がある。鋼殻建込みは、１８個の鋼殻を橋脚１リフト分の形状に設置し仮止める作業である。鋼殻建込みの施工歩掛りは、建設省土木工事積算基準を参考にして、１２個／日とした。仮止めた鋼殻のボルト止め作業の施工歩掛りは、建設省土木工事積算基準を参考にして５８０本／日とした。鋼殻地組み作業に必要な作業員数は８人とした。

③鋼殻ユニット建込み：鋼殻ユニットの建込み作業は、地組みした鋼殻ユニットを橋脚に設置し、溶接する作業である。鋼殻ユニット建込みの施工歩掛りは、橋脚１リフト分を１日で行うとし、作業員数は８人とした。

④コンクリート工：橋脚１リフト分の打設は１日で



図－８　H P Cとプレキャスト型枠を用いた施工

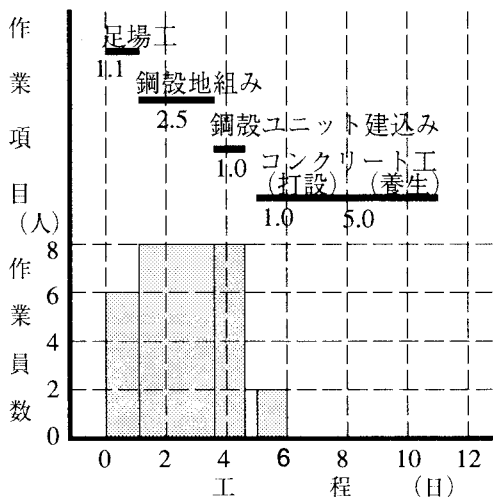


図-9 HPCとサンドイッチ構造を用いた施工

行い、作業員数は2人とした。

以上の施工歩掛りを用いて、橋脚1リフトあたりの作業員数および工程を図-9に示す。

(3) 標準施工とHPCを用いた施工の比較

これまでの検討をもとに、標準施工とHPCを用いた施工の比較を施工現場での施工日数および作業員数について整理した。

図-10および図-11に標準施工とHPCを用いた施工について、施工現場での橋脚1リフト当たりの施工日数および作業員数の比較結果を示す。図-10より、従来構造にHPCを用いた場合およびプレキャスト型枠にHPCを用いた場合では、作業日数の低減率は小さいが、サンドイッチ構造にHPCを用いた場合では、施工現場での作業日数を40%程度低減することができた。図-11より、従来構造にHPCを用いた場合は、作業員数の低減率は小さいが、プレキャスト型枠にHPCを用いた場合では、作業員数は15%程度低減できた。さらに、サンドイッチ構造にHPCを用いた場合では、施工現場での作業員数を55%程度低減することができた。サンドイッチ構造にHPCを用いた場合では、鉄筋工および型枠工を省略することにより、施工現場での作業日数および作業員数の低減に大きく寄与することがわかった。

4. 結論

本研究では、新しく開発した技術を施工現場に適用するための手段の一つとして、新しく開発した技術を用いた施工方法とこれまでの一般的な施工方法

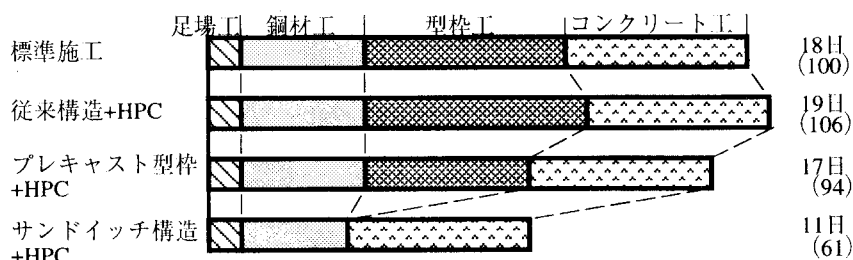


図-10 各施工方法の現場施工日数の比較 (橋脚1リフト当たり)

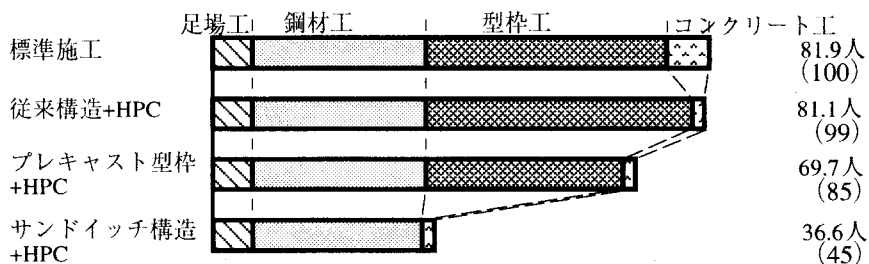


図-11 各施工方法の現場作業員数の比較 (橋脚1リフト当たり)

を比較することにより、新しく開発した技術の評価することを考えた。新しく開発した技術として、締め作業が不要なHPCを例にとり、HPCを用いた施工と一般的な施工との比較を行った。本研究では、これまでの一般的な施工方法として標準施工を考えた。標準施工は、公共企業体の施工実態調査結果資料を分析することにより決定した。標準施工を設定する過程で施工歩掛りの検討を行ったが、各作業項目での施工歩掛りは非常にばらついていた。施工歩掛りのばらつきは、施工条件の違い、施工業者の能力の違い等の理由によることが考えられるが、このようなばらつきを考慮して施工歩掛りを決定し公共事業の積算に反映させることは、今後の重要な検討課題と考えられる。

HPCを用いた施工と標準施工との比較では、HPCを用いた3通りの施工方法について比較検討を行った。HPCを用いた施工と標準施工を比較した結果、従来の施工方法でHPCを用いた場合には、HPCが施工現場での工期短縮および省人化へ寄与する程度は小さいが、HPCの利点を生かすことのできる構造形式と組み合わせることにより、HPCを用いた施工方法は施工現場での工期短縮および省人化に大きく寄与することが分かった。特に、通常のコンクリートでは充填が困難なサンドイッチ構造と充填性の優れたHPCを組み合わせた施工方法は標準施工と比較した場合、施工現場での作業員数および作業日数を40%～55%程度も低減することができ、HPCを用いた施工は施工現場での工期短縮および省力化に非常に有効であることが分かった。今後は、コストも含めた総合評価としての比較検討が必要と考えられる。

本研究の実施にあたり、東京大学岡村甫教授、小沢一雅助教授から御示唆と有為な御助言を頂きましたことを厚く御礼申し上げます。日本道路公団技術管理課橋梁研究室および新日本製鉄(株)鋼構造研究開発センターから貴重な資料を提供して頂きましたことを心より感謝致します。

【参 考 文 献】

- 1) Shin Hyun-Yang : A New Methodology for Evaluating a New Construction Technology from the Viewpoint of Constructability, Modern Techniques in

Construction, Engineering & Project Management, pp161 ~166, March 1992

- 2) 岡村 甫・國島正彦・前川宏一・小沢一雅 : 「締め作業不要」のコンクリート・ハイパフォーマンスコンクリートへの挑戦, 土木施工, 1989年10月
- 3) 小沢一雅・前川宏一・岡村 甫 : ハイパフォーマンスコンクリートの開発, 第11回コンクリート工学年次論文報告集, pp. 699~704, 1989年7月
- 4) Spiro N. Pollalis・Yasuo Ueda : A Visual Scheduling and Management System for Construction Projects, United States Patent, Patent Number 5,016,170, Date of Patent, May, 14, 1991
- 5) Masaji Kominato : Planning and Monitoring Project with Visual Scheduling Management Application to the actual project, Graduate School of Design 9301 Independent Thesis, Harvard University, Spr. 1991
- 6) 建設大臣官房技術調査室監修, 建設省土木工事積算基準平成4年度版, 土木工事積算研究会編, 平成4年3月
- 7) 平成3年制定コンクリート標準示方書施工編, 土木学会, 平成3年9月
- 8) 新藤竹文・松岡康訓・内藤隆史・横田和直 : PIC 版複合部材の屋外暴露に関する研究, 第12回コンクリート工学年次論文報告集, pp. 645~650, 1990年6月
- 9) 上田多門・塩屋俊幸 : 鋼コンクリート系サンドイッチ構造, コンクリート工学vol. 30, 1992年5月
- 10) 鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案), コンクリートライブラリー, 第73号, 土木学会, 平成4年7月