

# 締固め不要コンクリートの適用による コンクリート工事の省力化に関する一検討

加藤和彦\*・申 鉉穰\*\*・國島正彦\*\*\*

本文は、締固め不要コンクリートを用いた施工と従来コンクリートを用いた施工の施工性を比較検討したものである。東京大学のコンクリート研究室で開発された締固め不要コンクリートは、フレッシュな状態では流動性および材料分離抵抗性を備え、硬化後は耐久性に優れている。ここでは、締固め不要コンクリートを通常の鉄筋コンクリート構造物に適用した場合を想定して検討を行った。

**Key Words** : self-placeable concrete, constructability, men power requirement, construction period

## 1. はじめに

コンクリート構造物は半永久構造物と考えられ、耐久性が大きいことがコンクリートの大切な長所の一つとされてきた。丹念に設計され施工されたコンクリート構造物は、50年や100年の歳月を経ても、その表面は苔蒸すことはあれ、なお構造物としての機能および役割を十分に果たしている。一方、半永久的であるはずのコンクリート構造物が想像以上の早期に劣化して、補修が必要になった場合もある。コンクリート構造物の劣化は、材料、設計および施工の過程における様々な原因が考えられ、それぞれの過程においてコンクリートの耐久性を高める様々な方策が検討されている<sup>1),2)</sup>。設計過程では従来の耐荷力に重点がおかれた設計手法に加え、耐久性を検討するための耐久設計指針<sup>3)</sup>が提案されている。施工過程でコンクリート構造物の耐久性を高めるためには入念で丁寧な施工を行うという人間学的な要素が大きな割合を占めていることに直面せざるを得ない難しさがある。人間学的な要素が大きい場合には、出来上がった構造物の耐久性にばらつきが生じ易くなることを考慮すれば、施工過程において耐久性を高める有効な手段の一つとして、材料の技術革新、すなわち高い性能を有するコンクリート材料の開発を行うことが理想である。現時点のアプローチの一つに、岡村らが取り組んでいるハイパフォーマンスコンクリート（以下、HPC）の開発<sup>4),5)</sup>がある。HPCとは流動性および材料分離抵抗性に優れた、施工過程における人間学的な要素の影響を受けないで、耐久性の良いコンクリート構造物の実現を目指したものである。HPCを流し込むだけで型枠内の隅々までコン

クリートが行き渡れば耐久性に優れた構造物の実現に大きく近づくことになる。

近年のコンクリート構造物は、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。しかし、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、物を生み出す産業としての魅力が少なくなりつつある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<sup>6)</sup>して、近代化を推進する<sup>7)</sup>ことが急務であり、その対策としてHPCの適用が考えられるのである。HPCを用いることで工事の省力化や工期短縮等を実現し、1日も早く施工の近代化を果たし、それと同時に耐久性の大きい世の中に誇れるコンクリート構造物を現場の技術者や作業員の普通の努力で建設できるようにしたいものである。

本研究はRC橋脚を対象にして、コンクリート工事の省力化および合理化を目的として、締固め不要コンクリートを用いた場合の施工性について検討したものである。

## 2. これまでのコンクリート構造物の施工についての検討

現在普及が進められている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、硬化後は耐久性に優れたコンクリートと定義づけられている。HPCのこれらの性質がコンクリート工事の施工性を高める上で有効であることは十分に推定できるが、その程度については必ずしも明らかになっていない。現状ではHPCは、コンクリートの充填しにくい場所や締固め作業が困難な場所に用いられることが多いのである。しかし、HPCを広く普及させるには、HPCに対する一般的認識を共有することが大切であると考えられる。そこで、HPCの普及がどの程度コンクリート工事の省力化

\* 正会員 元東京大学工学部受託研究員  
(清水建設(株)土木本部技術企画部)  
(〒157-07 港区芝浦1-2-3)

\*\* 工博 東京大学工学部土木工学科

\*\*\* 正会員 工博 東京大学工学部土木工学科 教授

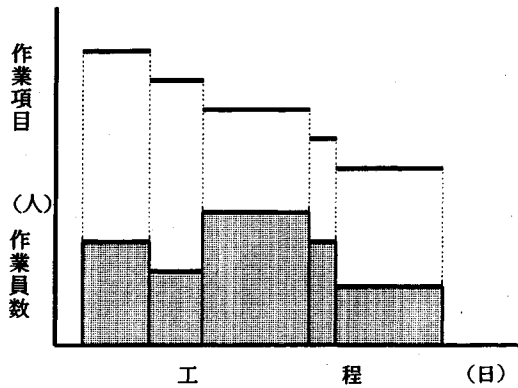


図-1 施工過程の表現方法

および合理化に対して効果的であるかを検討するために、HPCを用いた施工とこれまでの一般的な施工を詳細に比較することが一つの方法として考えられる。本研究では、一般的な施工を標準施工と称した。

(1) 標準施工

標準施工は、現時点の我国における一般的かつ平均的な施工方法と考えた。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。本検討ではHPCを用いた施工との比較を行うために、便宜的に標準施工を決定することとした。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<sup>(8),(9)</sup>し、図-1に示す様な方法で施工過程を表現することとした。図-1の縦軸上段には作業項目、下段には作業員数、横軸には工程を示した。上段のバーチャートでは、作業項目の種類および作業項目毎の所要日数を示し、下段では各作業項目毎に必要な延べ作業員数を示した。

(2) 構造物の概要

HPCの施工性を比較検討する構造物は図-2に示すような鉄筋コンクリート橋脚とした。図-2に示す斜線部の橋脚本体施工について検討を行うこととし、橋脚を6リフトに分割して施工するものとした。標準施工を検討するために、作業項目を足場工、鉄筋工、型枠工およびコンクリート工に分類した。各作業項目の施工数量を表-1に示す。

(3) 橋脚の標準施工の設定

標準施工を設定するためには各作業項目の作業員数、工程および作業項目相互の前後平行作業の有無を決定する必要がある。作業員数を決定するためには、各作業項目の1日当たりの1パーティの作業員数および各作業項目の施工歩掛り(施工能力)を設定する必要がある。

a) 作業員数の検討

1日当たりの1パーティの作業員数と施工歩掛りを各

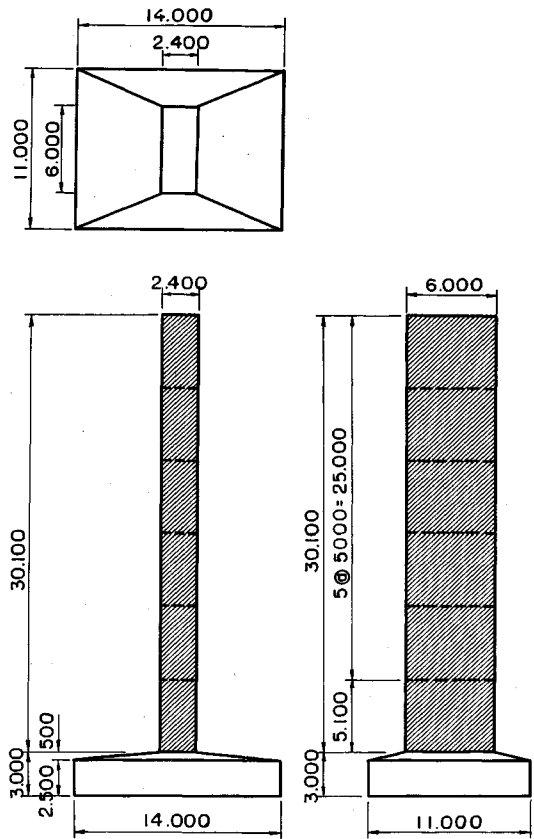


図-2 対象構造物の概略

表-1 モデル橋脚の施工数量

	足場 (m <sup>2</sup> )	鉄筋 (t)	型枠 (m <sup>2</sup> )	コンクリート (m <sup>3</sup> )
1リフト	130.6	9.8	84.3	72.2
総数量	783.4	58.6	505.7	434.4

作業項目毎に決定するために、公共企業体で行った数十基の橋脚の施工実態調査結果資料を使用し、これを詳細に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。

i) 1日当たりの作業員数 各作業項目毎の1日当たりの1パーティの作業員数は、それぞれの施工現場の状況により決定されるものであり、作業環境、労務事情および工事規模によってばらばらに決まっている。今回の施工実態調査資料においても、表-2に示すように相当のばらつきがあったが、本研究では各作業項目で最も頻度の多い人数を、その作業項目の1日当たりの標準作業員数とした。

ii) 作業項目毎の施工歩掛り 作業項目毎の単位作業数量当たりの所要作業員数、すなわち施工歩掛りを施工実態調査結果から整理すると表-3に示すようであ

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 (人/日)
	組立	ばらし	加工	建込み	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	組立	組立	脱型	打設	
調査工	平均値	0.33	0.19	2.19	0.22	0.10	0.84	
	(人h/m <sup>2</sup> )	(人h/m <sup>2</sup> )		(人日/t)	(人日/m <sup>2</sup> )	(人h/m <sup>3</sup> )		
結果	標準偏差	0.14	0.10	0.90	0.08	0.05	0.41	
果態	変動係数	44	52	41	36	50	49	
積算設 基準	歩掛り	0.094 人/掛m <sup>2</sup> (0.68 人h/m <sup>2</sup> )		D16~D25 3.1人日/t D29~D32 1.9人日/t		0.32 人日/m <sup>2</sup>		0.1 人日/m <sup>3</sup> (0.8 人h/m <sup>3</sup> )

る。表-3には建設省土木工事積算基準<sup>10)</sup>に規定されている値も併記した。施工実態の調査結果を整理すると、各作業項目の施工歩掛りは非常に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。施工実態調査の施工歩掛りをカイ二乗検定を用いて検定した結果、各施工歩掛りは正規分布を示しており、その分布を図-3~図-5に示す。図-3~図-5には、建設省積算基準の値および実施工の一例として、高橋脚現場実績の値も併記した。施工実態調査結果の平均値と建設省積算基準で規定されている値はほぼ同様となっているとともに、施工実態調査結果の平均値±1σの範囲内に建設省積算基準で規定されている値があることが明らかになった。本研究では、施工実態調査結果の平均値を標準施工における標準施工歩掛りとして用いることとした。

b) 工程の検討

足場工、型枠工(設置、脱型)、鉄筋工、コンクリート工(打設、養生)等の各作業項目の個別の工程は、その施工数量、1日当たりの1パーティの作業員数および施工歩掛りを設定すれば算定することができる。全体工程を合理的に設定するためには、各作業項目間の平行作業の可否が影響するが、ここではコンクリート養生期間中に次りフトの足場の組立および鉄筋の組立作業ができる可能性がある。すなわちコンクリート養生期間中に次の作業を全く平行して行わないと仮定することは、これまでの一般的な橋脚の施工過程実績からは、工程上余裕を見込みすぎることになり、平均的な工程として適当で

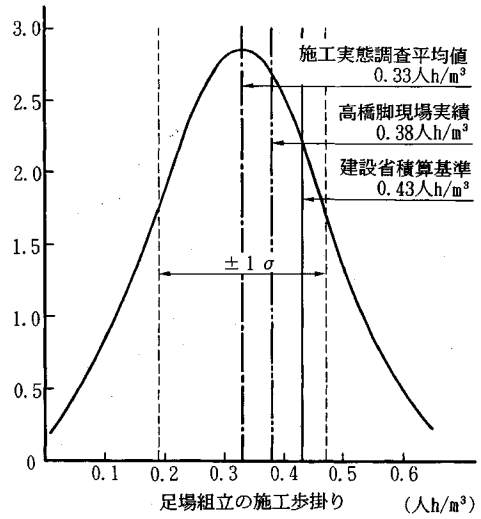


図-3 足場組立の施工歩掛りの分布

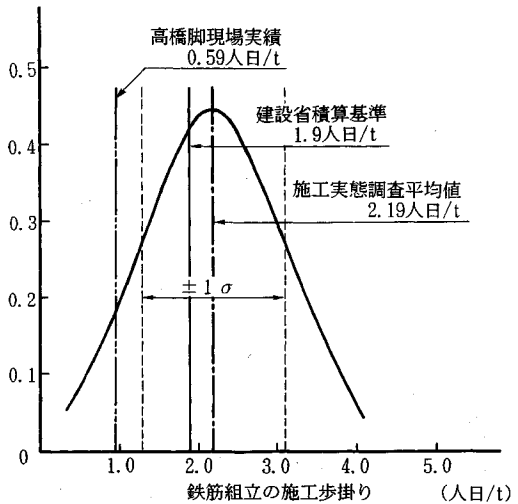


図-4 鉄筋組立の施工歩掛りの分布

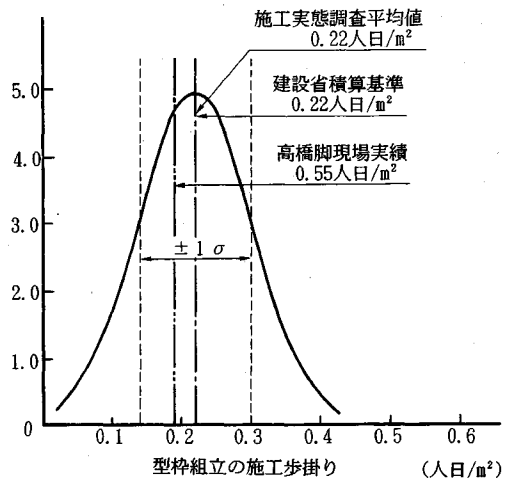


図-5 型枠組立の施工歩掛りの分布

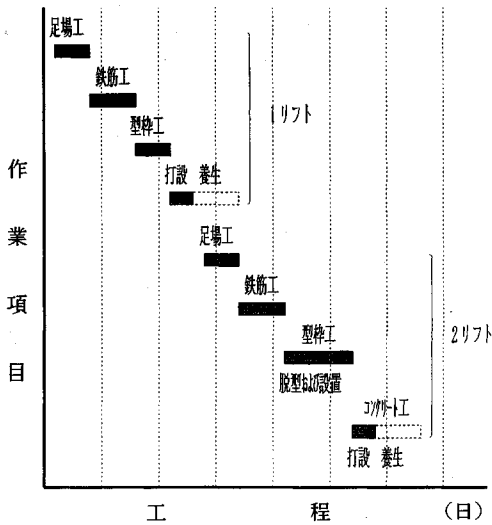


図-6 標準施工工程

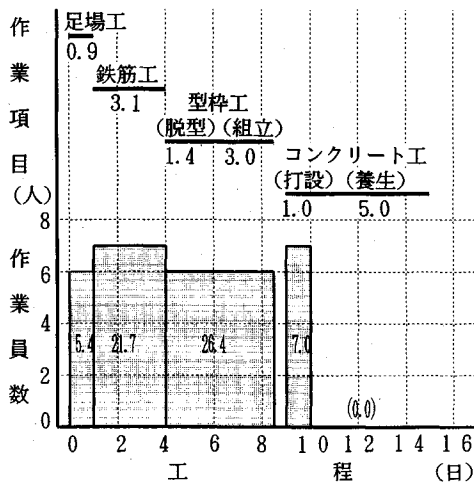


図-7 標準施工での1リフト当たりの施工工程

ないと考えた。一方コンクリート養生期間中に次作業の足場組立および鉄筋の組立までを平行して行うとすることは、実際の現場における施工業者の能力の違いによって工程を消化できない現場が少なくない可能性があると考え、本研究においてはコンクリートの養生期間中には次リフトの足場組立まで行うことが適当であると考えた。図-6に標準施工の工程を示す。

c) 橋脚1リフトの標準施工

図-2に示す橋脚1リフト当たりの標準施工は図-7に示すようであり、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ただちに次作業を行うとした。コンクリート打設は、型枠作業終了後の翌日の1日間で行うとした。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<sup>13)</sup>の規定より5日間とした。

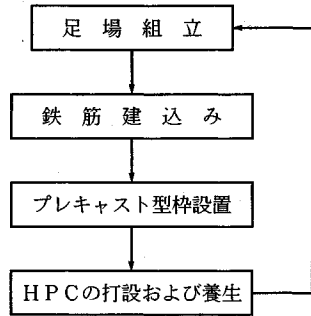


図-8 プレキャスト型枠を用いた場合の施工手順

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の最大の利点といえる。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と考えられ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した。橋脚を想定してHPCを用いた4通りの施工方法を立案した。

a) これまでのコンクリートをHPCで置き換えた場合

足場工、型枠工および鉄筋工等の施工方法は従来通りとし、コンクリートのみをHPCに置き換えた場合である。HPCを用いた施工では締固め作業が不要となるため、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、さまざまな利点が考えられる。施工の手順はこれまでの施工方法と大差がない。

b) プレキャスト型枠を組み合わせる場合

足場工および鉄筋工等の施工方法は従来通りとし、型枠にプレキャスト型枠を用いる場合について検討を行った。プレキャスト型枠は、ポリマータイプ、ポリマー含浸タイプ<sup>12)</sup>、グラスファイバー混入タイプのように既に一部で実用化されており、施工現場の寸法に合わせて工場で加工するものである。プレキャスト型枠を用いることにより現場での型枠脱型作業が省略できる。図-8に1リフト当たりの施工手順を示す。

c) 鋼・コンクリート合成構造にプレキャスト型枠を組み合わせる場合

現場における工事の省力化および工期の短縮を目的として、構造を合成構造とし、プレキャスト型枠を併用する方法について検討を行った。その概要を図-9に示す。

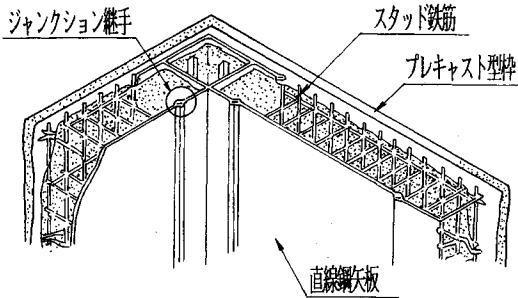


図-9 鋼・コンクリート合成構造にプレキャスト型枠を組み合わせた場合の構造概要

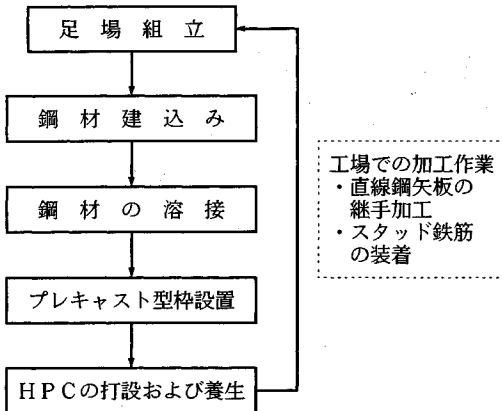


図-10 鋼・コンクリート合成構造にプレキャスト型枠を組み合わせた場合の施工手順

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、鋼矢板厚および鉄筋量を定めた。また、橋脚の外周寸法は図-1に示す橋脚と同等とし、その壁厚は60 cmとした。この構造を実用化するためには、ピア部と桁、ピア部とフーチング部の接合の検討、鋼材とコンクリートの付着の検討等を解決することが必要であるが、これらの問題が解決されたとしてHPCを用いた施工についての検討を行った。図-10に施工手順を示す。

- ①足場工は従来通りの方法で行う。
- ②工場にて直線鋼矢板の加工を行う。直線鋼矢板にスタッド鉄筋を装着し、鋼矢板両端部を継手加工する。
- ③加工した直線鋼矢板を現場に搬入し、建込みを行う。
- ④直線鋼矢板の建込み後、鉄筋の組立、プレキャスト型枠の設置を行う。
- ⑤HPCの打設を行う。

d) 鋼・コンクリートサンドイッチ構造を用いた場合  
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<sup>13)</sup>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<sup>14)</sup>(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、鋼殻が型

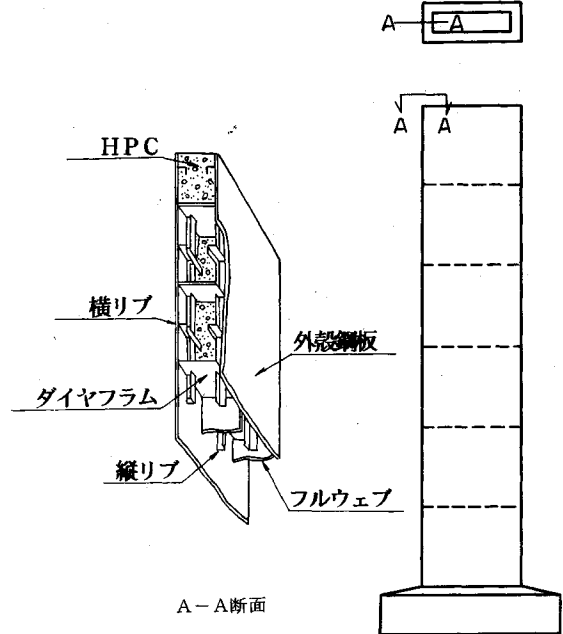


図-11 サンドイッチ構造を用いた場合の構造概要

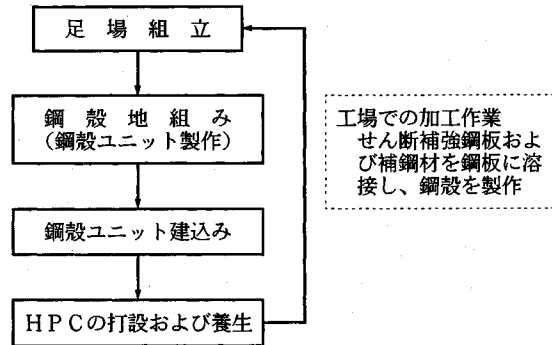


図-12 サンドイッチ構造での施工手順

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、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、これらの問題が解決されたとしてHPCを用いた施工についての検討を行った。

図-11に橋脚にサンドイッチ構造を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60 cmとした。図-12に本構造での橋脚1リフト当たりの施工手順を示す。

- ①鋼殻を工場に製造する。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-2に示した橋脚を想定した場合、鋼殻の大きさは、長さは1リフト

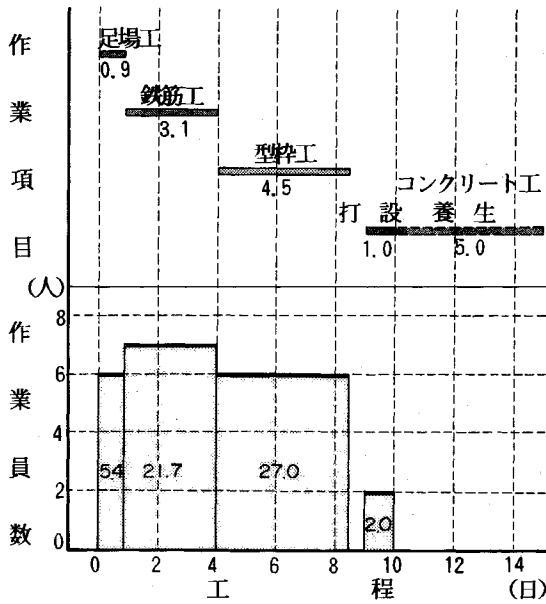


図-13 これまでのコンクリートをHPCで置き換えた場合

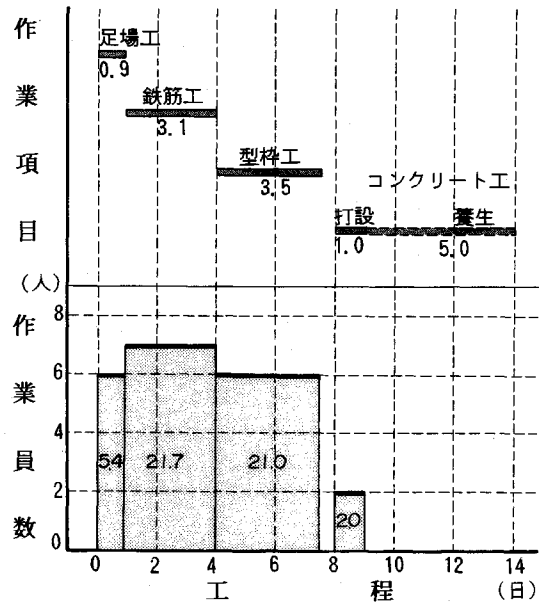


図-14 プレキャスト型枠と組み合わせた場合

分 (5 m), 幅は 1 m 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。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つけ、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 4 通りの施工方法について、図-2 に示す橋脚について作業員数および工程を検討した。

##### a) これまでのコンクリートを HPC で置き換えた場合

従来の施工方法で HPC を用いた場合は、コンクリート打設のみが従来とは異なる。HPC 打設時には、従来の打設時に必要であったコンクリートの締固め作業ならびにポンプ筒先の盛替え作業は必要ないと考えられる。打設時のコンクリート充填性の確認は必要と考え、必要な作業人員は 1 回の打設当たり 2 人と考えた。図-13 に 1 リフト当たりの作業員数および工程を示す。

##### b) プレキャスト型枠を組み合わせた場合

従来の施工方法に加えてプレキャスト型枠を用い、HPC 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、作業員数および施工日数は以下に示すように想定した。

- ①足場組立：施工歩掛りは従来工法と同じ 0.33 人 h/m<sup>3</sup>。施工数量も従来工法と同じであるため、作業員数および施工日数も従来工法と同様とした。

- ②鉄筋組立：施工歩掛りは従来工法と同じ 2.19 人日/t とした。施工数量も従来工法と同じであるため、作業員数および施工日数も従来工法と同様とした。

- ③型枠工：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から通常の型枠の 15% 増であることから、0.25 人日/m<sup>2</sup> とした。施工数量は従来工法と同じであるため、型枠設置時の作業員数および施工日数は従来工法の 15% 増であった。プレキャスト型枠では脱型作業は省略できた。

- ④コンクリート工：1 回の打設は 1 日で行い、2 人の作業員を必要とした。

以上の施工歩掛り、作業員数および施工日数を用いて、図-14 に橋脚 1 リフト当たりの作業員数および工程を示す。

##### c) 鋼・コンクリート合成構造にプレキャスト型枠を組み合わせた場合

合成構造にプレキャスト型枠を組み合わせて HPC を打設する場合について、作業員数および工程を求めた。各作業項目毎の施工歩掛り、作業員数および施工日数は以下のとおりである。

- ①足場組立：施工歩掛りは従来工法と同じ 0.33 人 h/m<sup>3</sup> とした。本構造では橋脚が内空となるため、橋脚内側にも足場が必要となる。従って施工数量は、従来工法に比べ 18% 程度増えるため、作業員数および施工日数は 18% 増とした。

- ②鋼材建込み：運輸省港湾土木請負工事積算基準<sup>15)</sup>を参考にし、直線鋼矢板建込みの施工歩掛りは、30 分/枚とした。直線鋼矢板の建込みは、4 人で行うものと

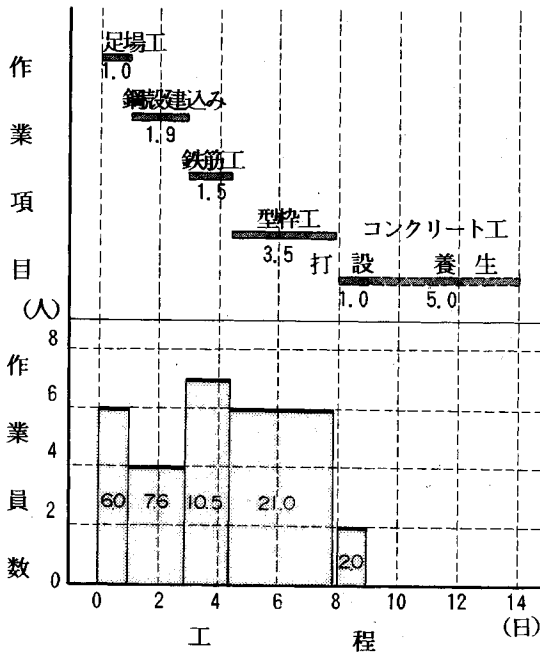


図-15 鋼・コンクリート合成構造にプレキャスト型枠を組み合わせた場合

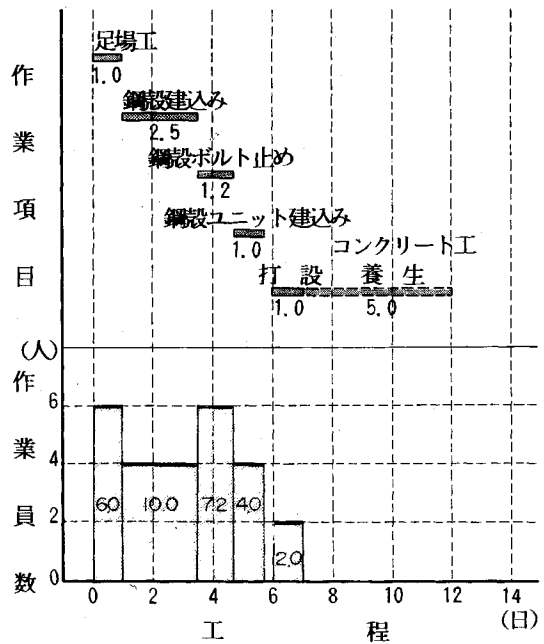


図-16 鋼・コンクリートサンドイッチ構造を用いた場合

した。施工数量は、直線鋼矢板の枚数は26枚とし、4ヶ所のコーナー部はUコラムを用いた。

- ③鉄筋組立：施工歩掛りは従来工法と同じ2.19人日/tとした。本構造では、工場で直線鋼矢板に縦筋を装着しているため、現場での組立が必要となるのは横筋であることから、現場での施工数量は従来工法の半分とした。作業員数および施工日数は従来施工の半分とした。
- ④型枠工：プレキャスト型枠の施工歩掛りは従来工法の15%増とした。施工数量は従来工法と同じであることから、作業員数および施工日数は従来工法の15%増とした。プレキャスト型枠では型枠脱型作業は省略できた。
- ⑤コンクリート工：1回の打設は1日で行い、2人の作業員を必要とした。

以上の施工歩掛り、作業員数および施工日数を用いて、図-15に橋脚1リフト当たりの作業員数および工程を示す。

d) 鋼・コンクリートサンドイッチ構造を用いた場合  
 サンドイッチ構造を用いてHPCを打設する場合について、作業員数および工程を求めた。各作業項目毎の施工歩掛り、作業員数および施工日数は以下のとおりである。

- ①足場組立：施工歩掛りは従来工法と同じ0.33人h/m<sup>3</sup>とした。本構造では橋脚が内空となるため、橋脚内側にも足場が必要となる。従って施工数量は、従来工法に比べ18%程度増えるため、作業員数および施工日

数は18%増とした。

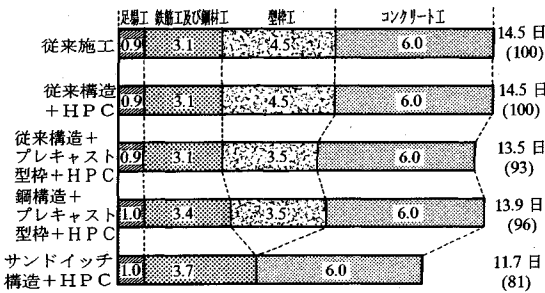
- ②鋼殻地組み：工場で加工された鋼殻は、橋脚1リフト当たり4個のコーナー部および10個の壁面部である。ここでの鋼殻地組みとは、これら14個の鋼殻を橋脚1リフト分の形に現場で組み立てて、鋼殻ユニットを製作することである。鋼殻を地組みするためには、鋼殻を所定の位置に設置しそれらをボルト止めする作業が必要である。鋼殻設置の施工歩掛りは、建設省土木工事積算基準を参考にして、60分/個とした。鋼殻のボルト止めの施工歩掛りは、建設省土木工事積算基準を参考にして、580本/日とした。鋼殻地組み作業に必要な作業員数は、6人とした。
- ③鋼殻ユニット建込み：ここでの鋼殻ユニット建込みとは、地組みした鋼殻ユニットを橋脚に設置し、さらに溶接する作業である。ここでは、鋼殻ユニット設置および溶接を1日かけて行うこととし、必要な作業員数は6人とした。
- ④コンクリート工：1回の打設は1日で行い、2人の作業員を必要とした。

以上の施工歩掛り、作業員数および施工日数を用いて、図-16に橋脚1リフト当たりの作業員数および工程を示す。

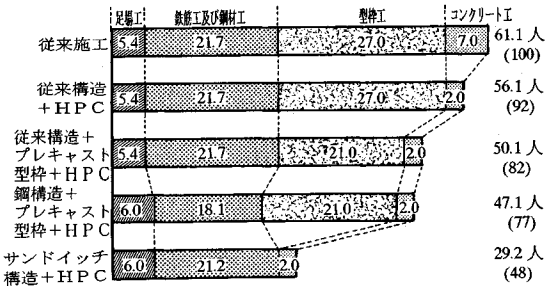
### (3) 標準施工とHPCを用いた施工の比較

これまでの検討をもとに標準施工とHPCを用いた施工との比較を、図-2に示す橋脚1リフト分の施工日数および作業員数について整理した。

図-17に橋脚1リフト当たりについて、標準施工と



図一七 各施工方法の施工日数の比較 (1リフト当たり)



図一八 各施工方法の作業員数の比較 (1リフト当たり)

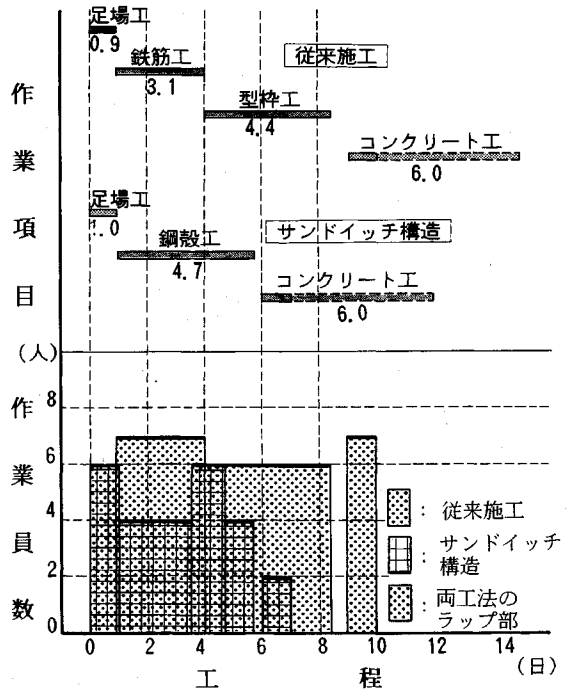
HPCを用いた施工の施工日数の比較結果を示す。図一七より、標準施工に対するHPCを用いた施工の施工日数の低減率は、プレキャスト型枠を用いた場合や合成構造とプレキャスト型枠を組み合わせた場合では、数パーセント程度にすぎないが、サンドイッチ構造を用いた場合では、20%程度となった。サンドイッチ構造を用いることで型枠工を省略することにより、工程を20%程度削減することができた。さらに、コンクリートの養生日数は標準施工からサンドイッチ構造まで等しく5日間としているが、HPCでは1日程度の養生で所定の耐久性を得られると考えられている<sup>16)</sup>。HPCの養生日数を1日で良いと仮定すると、施工日数の低減率は、従来構造でHPCを用いた場合では28%、サンドイッチ構造でHPCを用いた場合では47%にもなる計算結果が得られた。

図一八に橋脚1リフト当たりについて、標準施工とHPCを用いた施工の作業員数の比較結果を示す。図一八より、標準施工に対するHPCを用いた施工の作業員数の低減率は、従来構造でHPCを用いた場合が10%程度、プレキャスト型枠を用いた場合および合成構造にプレキャスト型枠を併用した場合が20%程度、サンドイッチ構造を用いた場合では、50%程度となった。また、サンドイッチ構造を用いた場合では、鋼製のボルト止めや溶接作業は必要となるものの、鉄筋工および型枠工を省略でき、工種を減らすことができた。

施工現場では労務管理上、作業項目毎の1日当たりの作業員数が変化しないことが望ましい。各施工方法の1

表一四 一日当たりの作業員数の平均値および標準偏差

	従来施工	従来構造+HPC	従来構造+プレキャスト型枠+HPC	鋼構造+プレキャスト型枠+HPC	サンドイッチ構造+HPC
平均値 (人/日)	6.4	5.9	5.9	5.3	4.4
標準偏差 (人/日)	0.5	1.4	1.5	1.5	1.3



図一九 従来施工とサンドイッチ構造を用いた施工の比較

日当たりの作業員数の平均値および標準偏差を表一四に示す。表一四より1日当たりの作業員数の平均値は、従来施工が最も大きく、サンドイッチ構造でHPCを用いた場合が最も小さくなっていった。1日当たりの作業員数のばらつきの程度は従来施工が最も小さいのに対し、HPCを用いた施工では何れの場合もそのばらつきは大きくなっていった。この原因の一つに、HPCを用いることによりコンクリート打設時の作業員数を従来施工の1/3程度に低減できたのに対し、他の作業項目の作業員数は従来施工と同等もしくは最大で4割程度しか低減出来なかったことが挙げられる。施工現場では、1日当たりの作業員数のばらつきは小さい方が望ましいことから、今後は延べ作業員数を減らし、かつ一日当たりの作業員数のばらつきを小さくするように施工方法を工夫する必要があると考えられた。

作業員数と工程について、標準施工とサンドイッチ構造を用いた施工方法との比較を図一十九に示す。図一十九より、サンドイッチ構造でHPCを用いた場合の作業員



数および工程は、従来施工の作業員数および工程の中に納まっていることがわかった。

#### 4. 結 論

本研究では構造物の耐久性を高め、施工の合理化を図る手段の一つとして HPC の適用を考えた。そして、コンクリート工事に HPC を用いることがどの程度効果的であるかを検討するために、これまでの一般的な施工と HPC を用いた施工の比較を、締固め不要コンクリートの使用に着目して試みた。これまでの一般的な施工方法を標準施工と称し、その作業員数と工程を設定して HPC を用いた施工と比較することにより、HPC の特徴および有効性を客観的に提示することを試みた。本研究における標準施工は、公共企業体の施工実態調査結果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 1 日当たりの作業員数および施工歩掛りの検討を行ったが、それらの値は非常にばらついており、各作業項目での施工歩掛りの変動係数は 40~50% であった。調査対象の施工条件の違いにより、これらのばらつきが生じ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もばらつきが生じることも考えられる。従って標準施工を一律に設定することの意味と有効性に関しては、今後の重要な検討課題であると考えられる。

HPC を用いた施工方法としては、プレキャスト型枠や鋼構造を用いた場合など 4 通りの施工方法について検討を行った。これまでの一般的な施工方法とした標準施工と HPC を用いた施工方法のような新しい技術を比較する場合、低コスト化および技術の差別化の概念に基づいての比較をすることが必要であろう。本研究は技術の差別化についても検討したと言える。本研究により得られた主な成果は以下に示すようである。

施工性の面からは、HPC を用いた 4 通りの施工方法は、標準施工に比べ共通して以下の利点が考えられた。

- ①コンクリート打設時の締固め作業を省略することにより、作業員を苦渋作業から開放する事ができる。
- ②コンクリート打設時の騒音を大幅に小さくできる。
- ③コンクリートの打設計画を容易にすることができる。

施工日数および作業員数の低減という省力化の面からは、HPC を用いた 4 通りの施工方法は、標準施工に比べそれぞれ以下の利点が考えられた。

- ①コンクリート工事の施工方法は従来通りとし、通常のコンクリートの代わりに HPC を用いる場合は、施工日数は標準施工と同様であり、作業員数は 10% 程度削減できたが、施工過程における省力化の効果は小さいと考えられる。
- ②従来の施工方法に加えてプレキャスト型枠を用い、HPC を打設する場合は、施工日数は 10% 弱削減でき、作業員数は 20% 程度削減できると考えられる。

③鋼・コンクリート合成構造にプレキャスト型枠を組み合わせて HPC を打設する場合は、施工日数は 5% 程度削減でき、作業員数は 20% 程度削減できた。

④鋼・コンクリートサンドイッチ構造を用いて HPC を打設する場合は、施工日数は 20% 程度削減、作業員数は 50% 削減でき、施工過程での省力化の効果が大きいことが明らかになった。

以上、本研究における成果を要約すると、HPC はサンドイッチ構造等と組み合わせることによりコンクリート工事の施工性を向上させ、施工現場での省力化を図るうえで有効な新材料であることが明らかになった。従って HPC を一般的に用いることができるような製造システム、発注制度、品質管理制度を実現することが、コンクリート工事ひいては土木界の近代化に繋がる道であると考えられる。

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。本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(試験研究(B)03555106)を受けて行ったものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 國島正彦・岡村 甫：総合評価に基づくコンクリート構造物の耐久性設計、コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関するシンポジウム論文集, 1988年4月。
- 2) 國島正彦・渡辺泰充：コンクリート構造物の耐久性に及ぼす設計過程の影響, 土木学会論文集, 第421号/VI-13, pp.165~174, 1990年9月。
- 3) コンクリート構造物の耐久設計指針(試案), コンクリート・ライブラリー, 第65号, 土木学会, 平成元年8月。
- 4) 岡村 甫・國島正彦・前川宏一・小沢一雅：「締固め不要」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一, 土木施工, 1989年10月。
- 5) 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。
- 6) 苗村正三：建設事業における施工新技術の開発, セメント・コンクリート, No.523, 1990年9月。
- 7) Shin Hyun-Yang : A New Methodology for Evaluating a New Construction Technology from the Viewpoint of Constructability, Modern Techniques in Construction, Engineering & Project Management, pp.161~166, March 1992.
- 8) 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.
- 9) Masaji Kominato : Planning and Monitoring Projbct with Visual Scheduling Managbment Application to the actual project, Graduate School of Design 9301 Independent

Thesis, Harvard University, Spr. 1991.

- 10) 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，1992年3月。
- 11) 平成3年制定コンクリート標準示方書施工編，土木学会1991年9月。
- 12) 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。
- 13) 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。
- 14) 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，1992年7月。
- 15) 運輸省港湾局編集，運輸省港湾土木請負工事積算基準平成元年度改訂版，社団法人日本港湾協会，1989年5月。
- 16) 宇野洋志城・西田徳行・下村 匠：ハイパフォーマンスコンクリートの強度発現特性，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，V-299，pp.628～629，1992年9月。  
(1992.10.27 受付)

## A STUDY ON THE CONSTRUCTABILITY OF SELF-PLACEABLE CONCRETE

Kazuhiko KATO, SHIN Hyun Yang and Masahiko KUNISHIMA

The objective of this study is to compare the constructability of self-placeable concrete with that of conventional concrete and examine its efficiency. Self-placeable concrete developed at the University of Tokyo, in Concrete Engineering Laboratory, could be filled everywhere in the formwork without any consolidation procedure. This concrete possesses the flowability and segregation resistance under fresh concrete and durability under hardening stage. This study discusses about the efficiency of the self-placeable concrete which is applied to the usual reinforced concrete structures.