

報告

[1004] ハイパフォーマンスコンクリートの実構造物における施工性

正会員○高橋 秀樹 (西松建設技術研究所)  
 正会員 宮下 剛士 (西松建設技術研究所)  
 杉山 嘉則 (麻生セメント中央研究所)  
 北崎 賢治 (福岡コンクリート工業)

1. はじめに

近年、構造物は大規模化・高層化が進み、密な配筋やコンクリートの充填が困難な複雑な形状の部材の施工が要求されている。しかし熟練作業員の不足から、コンクリートの打込みや締固め作業が困難になり、施工不良による品質低下が大きな問題となっている。

このような状況の下で、コンクリート工事の省力化そしてコンクリートの高性能化を目的として、東京大学・岡村研究室においてハイパフォーマンスコンクリート(以下、「HPC」)が開発された[1]。HPCは、高耐久性を有し、流動性・充填性かつ分離抵抗性に優れているために、締固めを行わなくても施工が可能とされている。HPCについては、施工実験を含めた研究は各所で実施されているが、実際の構造物への適用は現時点では極めて少ない。

本報告は、このコンクリートを実構造物に適用し、実際に使用した状況と併せて実施した実験の内、主にHPCの施工性についてとりまとめたものである。

2. 実構造物におけるHPCの施工実験

HPCを使用する場合、コンクリートの製造時に構造物の品質が決定される。このために実際の施工では、使用材料に見合った適切な配合の選定、プラントでの製造方法や綿密な施工計画の立案が要求される。

そこで、HPCを実構造物に適用し、同時に施工における問題点の抽出とそれらに対する対策を把握することを目的とした一連の実験を行った。

2.1 適用構造物

実施工に適用した構造物は、麻生セメント(株)中央研究所の付属建屋(車庫)部分であり、これを図-1に示す。なお、壁の配筋は縦横25cm間隔(D10、ダブル)である。

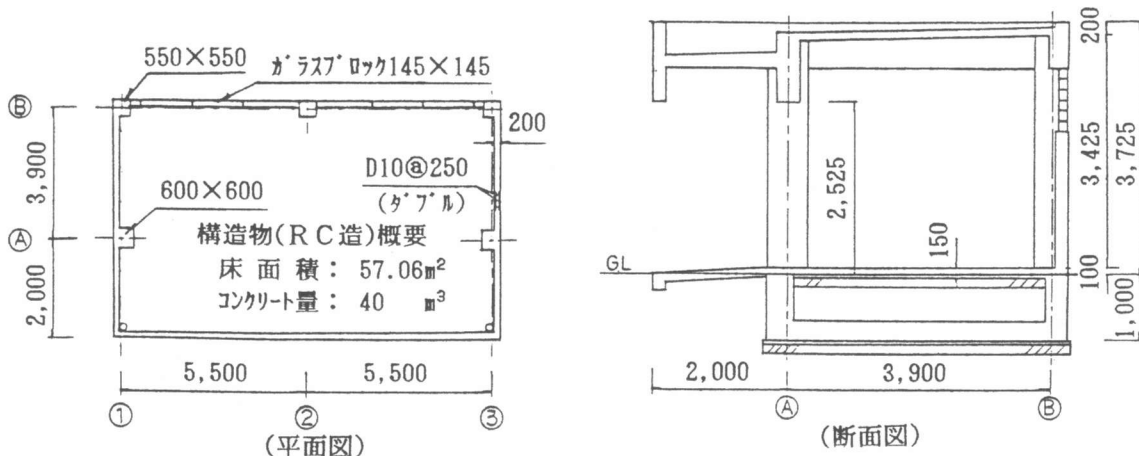


図-1 対象構造物

## 2.2 HPCの製造・運搬および打込み方法

表-1 コンクリートの配合

### (1) 使用材料と配合

HPCでは、混和材料の品質（スラグやフライアッシュの比表面積、高性能AE減水剤の種類）がコンクリートの配合や品質に大きく影響を与える。

施工に用いたHPCの配合を表-1に、使用材料を表-2に示す。

### (2) HPCの製造および運搬方法

HPCの製造は、生コン工場において、2軸強制練りミキサ（容量2m<sup>3</sup>）で行い、アジテータ車の運搬量は混練2回分の4m<sup>3</sup>とした。

製造時の品質管理は、スランプフロー値55±5cmおよび空気量2±1.0%を目標とした。

練りませ手順を図-2に示す。

HPCの運搬は、アジテータ車を使用し、工場と現場はすぐ近くにあったが、実施工を想定して、運搬時間を30分とした。

### (3) HPCの打込み方法

HPCの打込みには、ポンプ車を使用した。打込みは、筒先を柱部分に挿入してコンクリートを自由落下させ、パイプレタによる締固めを行わず、壁に横流しして、行なった。また、流動状況を観察するため、8m<sup>3</sup>/h程度の打込み速度で行い、総打設量は約40m<sup>3</sup>であった。

## 2.3 実験項目および内容

### (1) 施工性（充填性、流動性等）確認実験

コンクリートの流動性および充填性などの施工性を確認するために、図-3に示すような開口部（ガラスブロックを後に施工）を設けて壁に段差をつけ、コンクリートの流れの障害物を作った。さらに、図-4に示すφ100mmの円筒型枠を25cm間隔で、10列、4段の計40本を埋め込み障害物の影響を確認できる構造とした。

また、パイプレタを使用した場合の流動性状の確認も併せて行った。

型枠は、目視およびビデオカメラ等で充填性を確認できるように透明の亚克力型枠を使用し、打込み時には、亚克力面に流動勾配を書き込み、流動状況を確認した。

粗骨材の最大寸法 (mm)	水結合材比 W/P (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			水	結 合 材 P			細骨材	粗骨材	混和剤
				セメント	スラグ	フライアッシュ			
20	29.9	51.0	160	156	177	203	816	810	4.29 (P×0.8%)

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (比重 3.16 比表面積 3,320cm <sup>2</sup> /g)
高炉スラグ	(比重 2.89 比表面積 4,040cm <sup>2</sup> /g)
フライアッシュ	(比重 2.30 比表面積 4,500cm <sup>2</sup> /g)
細骨材	海砂 (比重 2.58 FM 2.63)
粗骨材	砕石2005 (比重 2.66 FM 6.66)
混和剤	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)

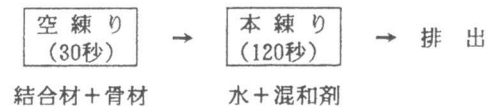


図-2 練りませ手順

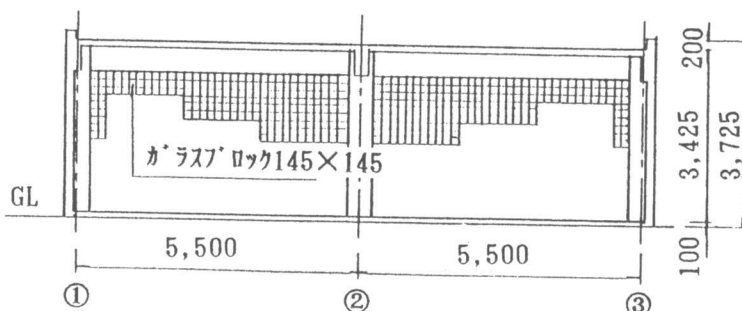


図-3 B通壁展開図

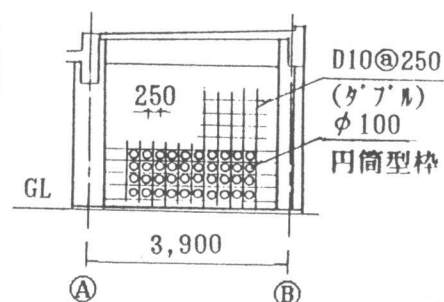


図-4 1通壁展開図

(2) ポンプ圧送実験

HPCは流動性は高いが、一般のコンクリートに比べると高粘性を有しているため、ポンプ圧送性について確認する必要が考えられ、ポンプによる打ち込みとした。ポンプの配管状況は図-5に示すとおりであり、従来のコンクリートとして算出した場合の水平換算長さは150.4mであった。ポンプ車は、高吐出圧力を有し、高粘性コンクリートにおいても吸入効率が高い機種として、ピストン式ポンプ車（IPF110B-7E21）を使用した。

圧送は、先送りモルタル、普通コンクリート（呼び強度 240kgf/cm<sup>2</sup>、スランブ18cm）に引き続きHPCを圧送したが、比較のため普通コンクリートについても管内圧力を測定した。

ポンプ圧送試験は、圧送速度（吐出量）を20、40、60m<sup>3</sup>/hと変化させ、それぞれについて管内の圧力を測定することにより行った。なお、管内の圧力の計測は、ひずみゲージ式圧力変換器を使用し、計測箇所は図-5に示すP<sub>1</sub>～P<sub>8</sub>の計8箇所とした。

また、HPCについては圧送のピストンストローク数より圧送効率の測定および圧送前後のコンクリートの品質試験を実施した。

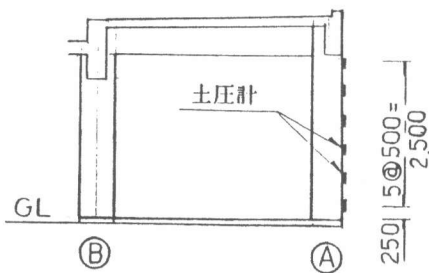
(3) 側圧および温度測定実験

型枠にかかる側圧の測定は、構造物の柱（B-2）と、本体とは別に作成する柱試験体（80cm×80cm×H300cm）に、土圧計（有効受圧面 φ200mm）を50cm間隔で、合計6箇所取り付けけた2ケースを実施した。これは本構造物では、コンクリートの打上がり速度が一定とならず硬化の影響などが考えられるためである。

また、柱試験体においては、型枠天端より1m下がりの中心および型枠内面にひずみゲージ式の温度計を設置し、7日間の温度測定を実施した。なお、外気温も併せて測定した。

土圧計および温度計の取付け位置を図-6に示す。

ケース1：構造物の柱



ケース2：柱試験体

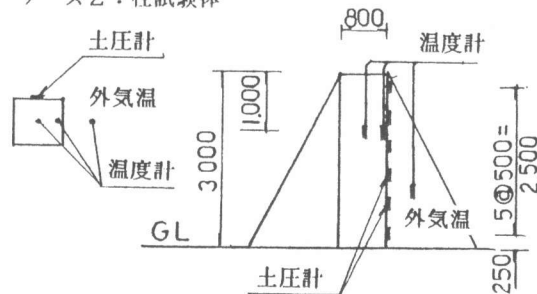


図-6 測定器取付け位置

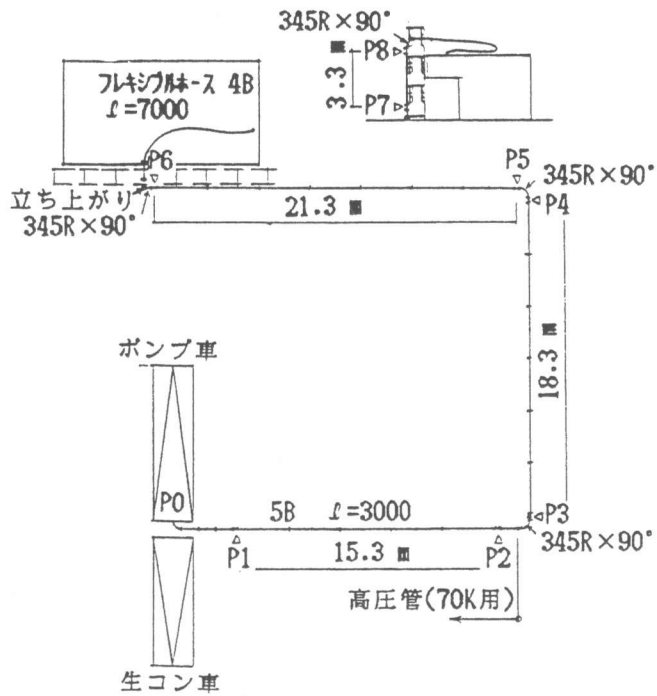


図-5 配管形状および管内圧力計測位置図

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 施工性

##### (1) 充填性

構造物全般における充填状況は、コンクリートを自由落下させたにもかかわらず、豆板や巣等の欠陥は全く見あたらず良好であった。

また、充填状況を確認するために設けたφ100mmの開口部まわりについては完全に充填されていた。

しかし、B通り壁の開口部まわりについては30cm程度の回り込みはあったものの、スランプフローが予定より小さかったり、また連続して打込みができなかったことなどのため、全ては充填できなかった。(図-7参照) この段差のある開口部まわりについては、HPCの充填状況から、スランプフローを大きくしたり、打込み間隔を小さくして連続的に打込めば充填は可能であると考えられた。

なお、充填できなかった開口部まわりについては、打込み終了時に上部より充填を行ったが、コールドジョイントは生じず、結果的にHPCの充填性および打継ぎについても良好であることが確認できた。

##### (2) 流動性

コンクリートの打込みは、B-3通り柱から行ない、約10m<sup>3</sup>打込んだ時点で、打込み位置をB-2通り柱に変更した。このときの流動勾配は10

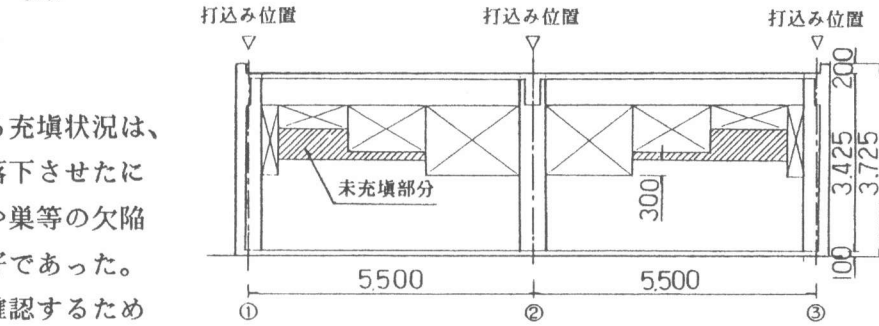


図-7 充填状況

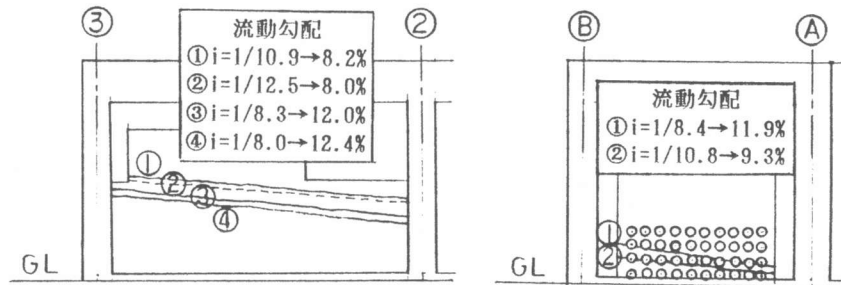


図-8 流動勾配図

%程度であった。アクリル型枠部分における流動勾配を図-8に示すが、同様に約10%であった。

また、開口部等の障害物の影響は受けずに流動することが確認できた。

なお、コンクリートの打込み中はコンクリートヘッドは保たれるが、打込みが中断されると10cm程度の下がりを生じ、勾配は緩くなる傾向を示した。

##### (3) 表面仕上げ

HPCは、前述のように高流動性を示すが、高粘性を有するため、屋根スラブにおける表面の引均しでは普通コンクリートの数倍の力を要し、引均しの目的で高周波バイブレータを使用した。ほとんど効果がなかった。

また、ある程度の平坦性は得られるが、木ゴテ、金ゴテ共に表面仕上げは困難であり、仕上げ精度を要求される場合には、スランプフローを大きくするなどの何らかの対策の必要性を感じた。

#### 3.2 ポンプ圧送性

##### (1) 圧送前後のHPCの品質変化

圧送前後における品質の変化を表-3に示す。スランプフロー値以外は変化が少なく圧送の影響

響はほとんどみられない。スランプフロー値は減少傾向を示し、圧送の影響がみられた。これは、スランプフロー値がスランプの倍程度の敏感さを示すこと、原因として圧送による脱水等が考えられる

表-3 圧送前後の品質の変化

車番	採取場所	採取時間	フレッシュコンクリート				硬化コンクリート					
			スランプフロー値 (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (t/m <sup>3</sup> )	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>			単位容積重量 t/m <sup>3</sup>		
							3日	7日	28日	3日	7日	28日
5	工場	12:54	55.5	1.7	2.32	29.5	-	341	541	-	2.39	2.37
	荷取	13:23	51.5	1.8	2.34	30.0	257	394	549	2.42	2.42	2.39
	筒先	13:43	45.0	2.4	2.33	30.0	244	362	526	2.39	2.41	2.39
7	工場	13:27	54.0	2.3	2.32	30.5	-	394	547	-	2.39	2.38
	荷取	13:56	47.5	2.4	2.30	30.0	266	380	556	2.40	2.41	2.39
	筒先	14:14	42.0	2.5	2.32	29.5	281	394	549	2.40	2.40	2.39

が、データも少ないこともあって、今後さらに調査・検討していく必要がある。

(2) ポンプ圧送性

圧送試験における吐出量と水平管1m当りの管内圧力損失の関係を図-9に示す。

コンクリートの圧送性を支配する配管の圧力損失に関しては、粘性が高いため図-9のように、普通コンクリートの2~3倍程度の値(吐出量によって異なる)を示したが、ブリージングや粗骨材の分離が少ないこともあって、ポンプ閉塞もなく、圧送は可能であった。

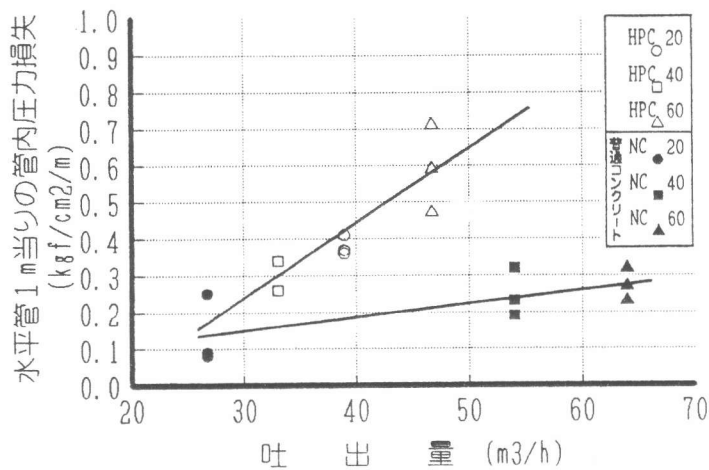


図-9 吐出量と管内圧力損失

圧送効率については、吐出量60m<sup>3</sup>/hのときで89%と普通コンクリートと同程度であった。

(3) 側圧

構造物(車庫)の柱と、柱試験体における、高さ(経時変化)と側圧(経時変化)の関係をそれぞれ図-10、11に示す。

柱試験体については、打上がり高さ9m/hとほぼ一定で速かったため、側圧はほぼ液圧(単位体積重量×打込み高さ)で作用していた。

構造物の柱については、最初B-3通り柱から打込み、その後B

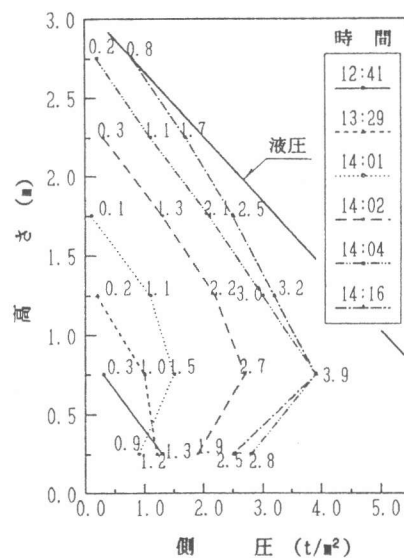


図-10 構造物の柱の側圧

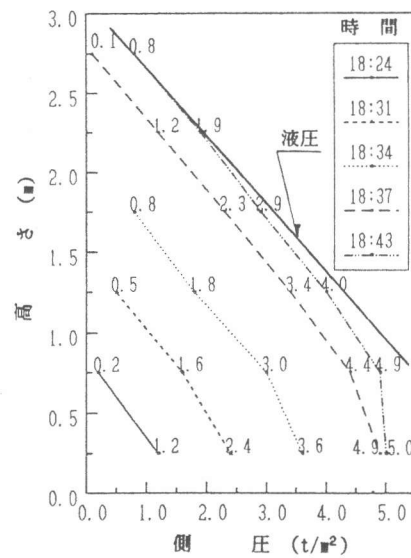


図-11 柱試験体の側圧

ー2通りの柱を打込んだ。そのため、高さの半分位までは比較的打上がり速度が 1 m/hと遅く、また打込み中の気温が30℃を越えていたことから、側圧の線が折れてゆっくり打上がる場合の側圧を示した。その後、柱の天端までは打上がり速度が6 m/hと速くなったため、側圧は直線状を示し、液圧が作用したと考えられる。このように、構造物における最大の側圧は、柱低層部の硬化による影響等がみられて、柱試験体における側圧より約2割程小さい値を示した。

HPCの側圧は、流動性があるため大きな側圧が作用することが予想されたが、軟練りコンクリートの側圧と同様に液圧が作用し、しかも打込み速度や気温、コンシステンシー等の影響を受けるようである。

また、型枠部材の設計を行う場合は、打込み速度等にもよるが、液圧として算定した値を用いる必要がある。

#### (4) コンクリートの温度

柱試験体のコンクリート温度の履歴を図-12に示す。図より、柱中心における温度上昇量は約25℃で、この値は断熱温度上昇試験における温度上昇値36℃より低かった。

この差は、柱試験体の大きさや打込みが夕方終了し、最初の養生が夜であり、さらに少量であるが降雨があったことなどの環境の影響によるものも考えられる。

何れにしても、普通コンクリート

の値より低く、単位結合材量が $536\text{kg}/\text{m}^3$ のコンクリートとしては低発熱であり、高強度コンクリートやマスコンクリートの施工にも有効である。

#### 4. おわりに

施工および実験の結果、HPCの生コン工場での製造、アジテータ車での運搬、ポンプ圧送による打込み、型枠にかかる側圧等から、その施工性を確認することができた。また、締固めを行わなくても高品質なコンクリートの施工が可能であることがわかった。

このように、HPCはコンクリート施工の省力化、コンクリート構造物の品質向上を図る上で大きな威力を発揮するものと考えられるが、今後は施工技術の確立を図るとともに課題として残されている構造物の要求性能に合わせた品質管理手法の確立を図っていくことを考えている。

#### [謝辞]

本施工および実験にあたっては、東京大学・国島教授ならびに小沢講師より貴重なご意見ご指導を賜りました。ここに記して謝意を表します。

#### [参考文献]

- 1) 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、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.11、No.1、PP.699-704、1989

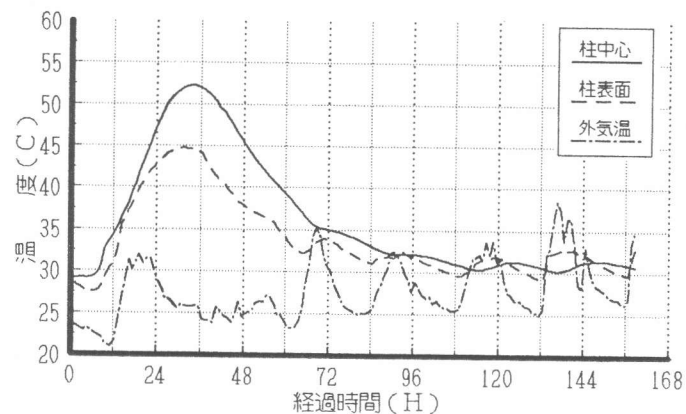


図-12 コンクリート温度の履歴