

報告

[1008] ハイパフォーマンスコンクリートを用いた工場製品の製造実験

正会員○本間雅人 (日本コンクリート工業)

正会員 丸山武彦 (日本コンクリート工業)

富山勝三 (日本コンクリート工業)

1. はじめに

一般にコンクリート工場製品は、部材厚が薄く、鉄筋が密に配筋されているためコンクリートの充填が困難な場合がある。そのため、施工にはバイブレータが不可欠であり、労働者は多大な労力を必要とし、工場周辺では大きな騒音が問題となることもある。近年、ハイパフォーマンスコンクリート（以下HPコンクリートと称す）に代表されるような、締固めを必要とせずに高い品質を得られる可能性のあるコンクリートが研究、開発されている〔1〕。これらは、本来現場施工を対象としているが、工場製品の製造にも有効と考えられる〔2〕。

本報では、工場においてHPコンクリートを実製品に適用し、現行設備によるHPコンクリートの適用性および得られた製品の品質などについて報告する。

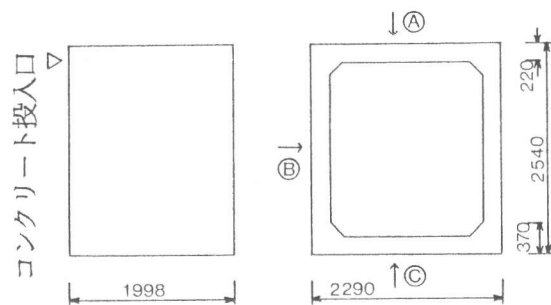
2. 実験概要

2.1 対象製品

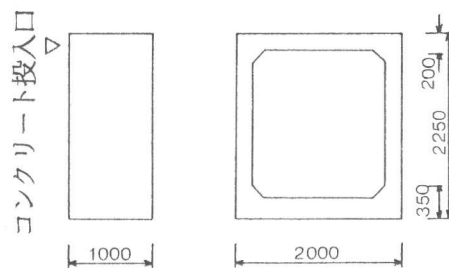
製造実験に用いた製品の形状を図-1に示す。これらは一般にボックスカルバートと呼ばれる工場製品であり、製品1は壁厚22cmで、壁配筋は縦方向に@12cmのD16ダブル配筋、横方向に@20cmもしくは@30cmのD13ダブル配筋である。製品2は壁厚20cmで、壁配筋は縦方向および横方向ともに@20cmのD16ダブル配筋である。型枠は鋼製で、通常使用している型枠バイブレータはあらかじめ取り外してある。製品1の型枠および配筋状態を写真-1に示す。

2.2 HPコンクリートの配合、練りませ、打ちこみ

実験に用いた配合を表-1に、それぞれの使用材料を表-2に示す。製品1および2は製造



製品1



製品2

図-1 製品の形状

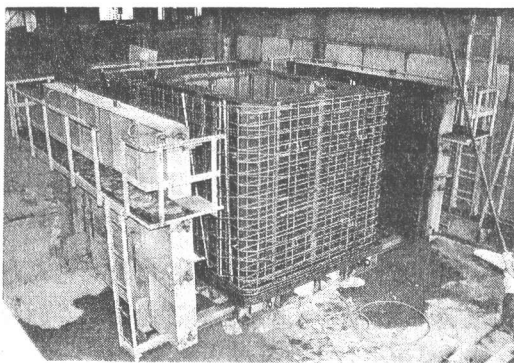


写真-1 型枠および配筋状況 (製品1)

表-1 HPコンクリートの配合

配合	粗骨材の最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kgf/cm ²)						
					W	C	Slag	S	G	Ad1	Ad2
1	20	2.0	33.5	49.3	183	173	374	781	829	6.56	0.04
2	20	2.0	34.0	48.9	179	168	358	793	843	15.8	--

工場および時期が異なるため、2種類の配合を必要とした。これらの配合は、基本配合を東京大学の岡村研究室に依頼し、試験室における練りませ試験および実機を使用しての試し練りから、充填性、可使用時間および強度などを考慮して決定したものである。練りあがったHPコンクリートの評価はスランプフロー値によって行い、壁厚が一般の構造物に比べて薄いことを考慮して、スランプフロー値は60~70cmを目標とした。また、材料分離抵抗性は、鉄筋間隔5cmのメッシュにHPコンクリートを通わせて確認した[1]。

練りませには、工場内に設置されているパン型強制

練りミキサ(容量1m³もしくは0.75m³)を使用した。練りませ手順を図-2に示す[3]。高炉スラグは、専用のサイロがなかったため、ミキサの投入口から人力で投入した。また、高性能AE減水剤も通常使用しているものと異なるため、あらかじめ計量しておき、混練水に混入した。骨材は、その表面水率を測定し、骨材量および混練水量を補正した。1回の練りませ量は、製品1で0.6m³、製品2で0.4m³である。

練りあがったコンクリートは、スランプフローなどを測定した後、ただちに型枠に打ちこんだ。打込みは、壁中央部のみから行い、一度当て板に落としてから型枠内を落下させ、締固めをいっさい行わずに流動させた。

表-2 HPコンクリートの使用材料

記号	材料名	物性	配合1	配合2
C	普通ポルトランドセメント	比重	3.16	3.16
		比表面積	3320cm ² /g	3370cm ² /g
Slag	高炉スラグ微粉末	比重	2.89	2.89
		比表面積	6080cm ² /g	6180cm ² /g
S	細骨材	種類	川砂	砕砂
		比重	2.58	2.60
		粗粒率	2.77	2.64
G	粗骨材	種類	玉石碎石	碎石
		比重	2.66	2.64
		粗粒率	6.61	6.55
Ad1	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系		
Ad2	増粘剤	セルロース系		

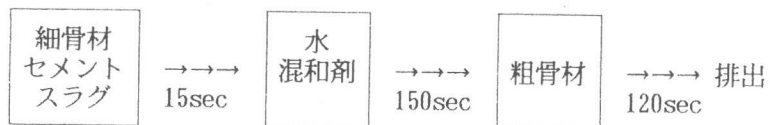


図-2 HPコンクリートの練りませ手順

2. 3 製品の品質調査

製品の表面仕上がりを調べるために、脱型後の表面を目視観察し、気泡をトレースして、画像処理装置によって気泡発生率（製品表面積に対する気泡の面積比）を測定した。また、製品内部の充填状況を調べるために、製品からコアを採取して、断面の粗骨材および気泡をトレースし、画像処理装置によって粗骨材面積および空隙率を測定した。また、コアの圧縮強度を測定した。加えて、供試体を採取し、蒸気養生および標準養生による各種強度の経時変化を測定した。

3. 実験結果

3. 1 製造実験結果

練りあがり直後のHPコンクリートの性状を図-3に示す。製品1の製造時は、練りまぜ毎に細骨材の表面水率を測定して、毎回異なる現場配合を求めた。その結果、目標スランプフロー値を満足しなかったものは1つだけであった。このケース

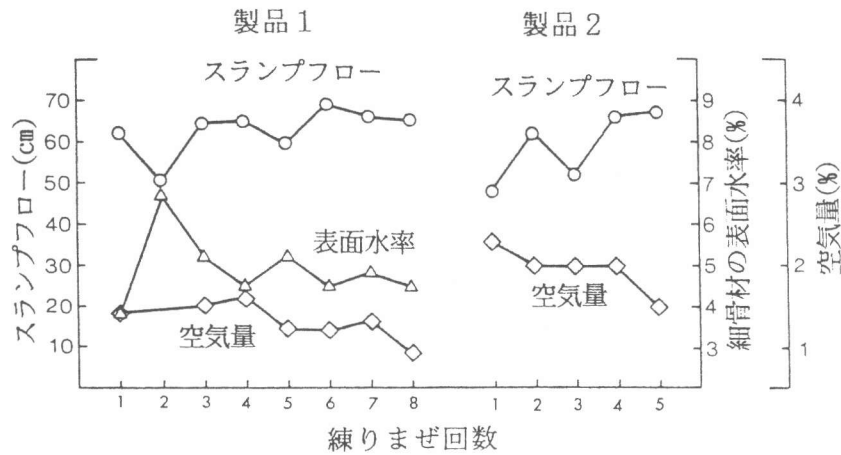


図-3 練りまぜ直後の性状

は表面水の補正が不適當であったと考えられ、そのほかは、安定したスランプフロー値を示した。スランプフロー値は、練りまぜ直後より30分程度経過したほうが5cm程度大きくなり、その後、90分が経過するまで練りまぜ直後の値を保った。これは、主に混和剤の性質に起因するものと考えられる。空気量が比較的小さいのは、製品表面の気泡を減じる目的で、空気量調整剤を若干量添加したためである。製品2の製造時は、実験開始直前に細骨材の表面水率を測定して、以後の表面水率は同一の値を用いた。その結果、スランプフロー値に変動がみられた。この原因としては、骨材の表面水率の変動のほか、粗骨材の粒度分布の変動や混和剤が所定量添加されなかった可能性などが考えられる。また、スランプフロー値が目標範囲に入っていれば、HPコンクリートの鉄筋間隔5cmのメッシュの通過率は80%以上であった。

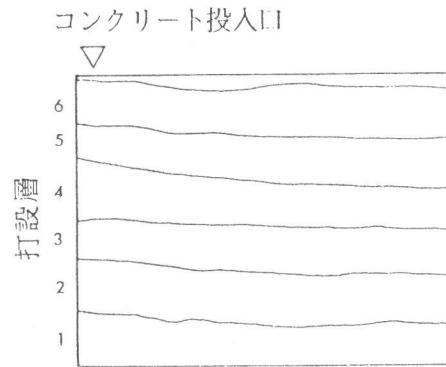


図-4 HPコンクリートの流動状況

打込み速度は、HPコンクリートの流動状況を観察しながら調節しており、比較的流動性の高い場合（スランプフロー値で65~70cm）は約25m³/hour、比較的流動性の低い場合（スランプフロー値で50~60cm）は約10m³/hourであった。型枠に打ち込まれたHPコンクリートは、締固めを行わなくとも型枠の隅々にまで充填された。製品1のB面における流動勾配を図-4に示す。図中の線は流動がほぼ停止した時のコンクリート上面である。流動が停止したときのコンクリート上面の勾配は、2~5°程度とかなり緩やかであった。また、スランプフロー値が比較的大きかった

コンクリートの上面には、セメントに含まれていたと思われるフライアッシュに起因する未燃カーボンが浮き上がっていた。

通常、打込み終わったコンクリートは、ブリージングがほぼ終了してから、コテなどによって打込み面を仕上げるが、HPコンクリートの場合はブリージングがほとんど発生しないため、打込みが終了した後、ただちに打込み面を仕上げた。しかし、余剰水の上昇がほとんどなく、粘性が高いこともあって、コテ仕上げは行いにくい。打込み終了2時間後から温度60℃の蒸気養生を開始し、5時間の保持を行った。

3.2 硬化した製品の品質

型枠から脱型された直後の製品を写真-2に示す。製品表面には、かなり克明な色むらがみられた。これは、型枠に塗布された離型剤の塗りむら、および型枠と硬化したコンクリートの隙間からの蒸気の侵入によるものと考えられる。部分的に青みがかっているのは、高炉スラグに含まれている Fe^{2+} および Mg^{2+} が還元状態にあるため、材令の経過と共に酸化して白色化するため、問題にはならないと考える。また、製品の表面にジャンカ、豆板などの欠陥はみられなかったが、いくらかの気泡がみられた。気泡は、図-5に示すように、コンクリート投入口付近、比較的スランプフロー値の小さいコンクリートが打ち込まれた部分、両側から流動してきたコンクリートの合流した部分および最上部に比較的多くみられた。また、製品表面(B面)の気泡発生率および気泡数の測定結果を図-6に示す。気泡発生率および気泡数は、打込み高さによってかなりの違いがみられ、目視観察の結果をおおむね裏付けている。平均気泡発生率は、製品1で0.44%、製品2で0.24%となり、打込み高さの高い製品1のほうが気泡が多かった。気泡の多くは、コンクリートが落下時に鉄筋にあたって巻き込ん

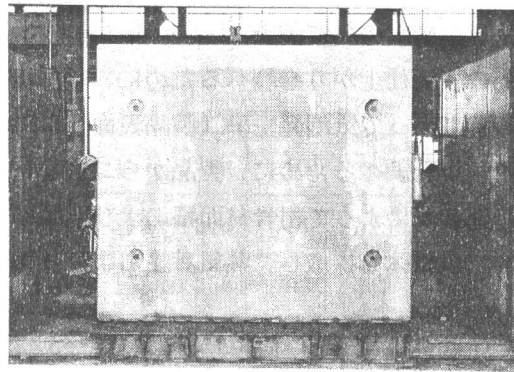


写真-2 製品1

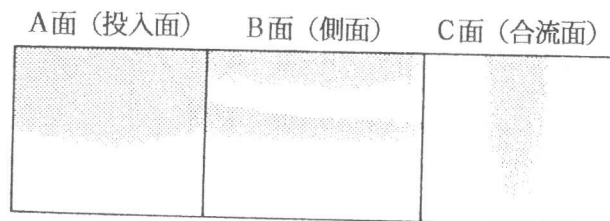


図-5 製品1の気泡の発生位置

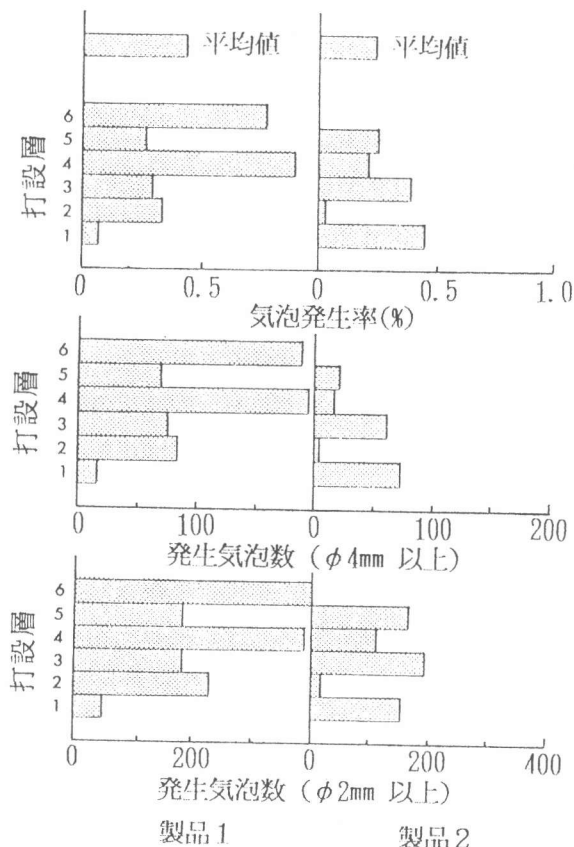


図-6 製品表面の気泡発生率

だものと考えられ、打込み高さの高い場合は、打込み方法を改善する必要があると思われる。また、普通コンクリート（スランプ8cm）をバイブレータを使用して打ち込んだ従来製品1の平均気泡発生率は0.49%であった。このことから、HPコンクリートは、バイブレータを使用しなくとも従来製品と同程度の仕上がりが得られることが確かめられた。

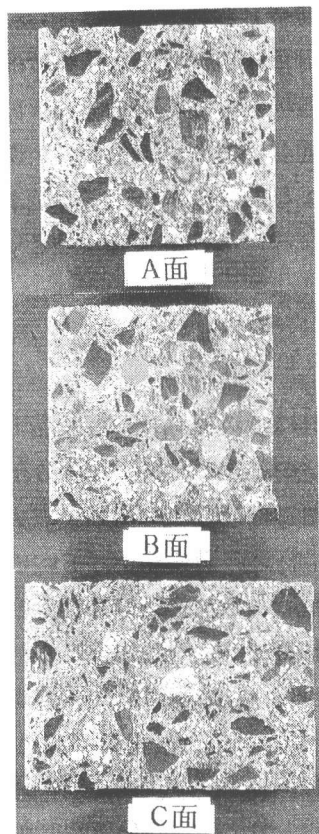


写真-3 コアの断面

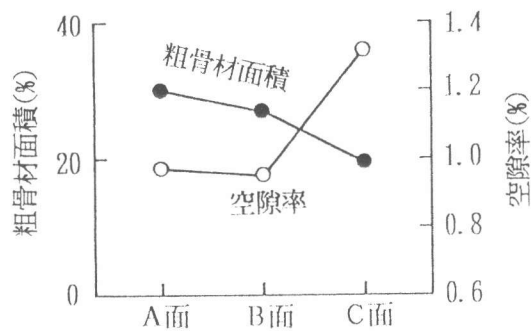


図-7 コンクリートコアの粗骨材面積および空隙率

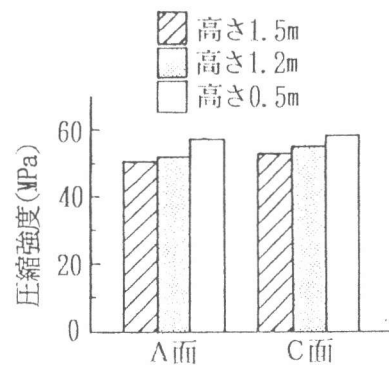


図-8 コンクリートコアの圧縮強度

写真-3にコアの断面、図-7に製品1から採取したコアの切断面の粗骨材面積および空隙率を示す。A面、B面、C面の順で、粗骨材面積は減少し、空隙率は増大している。これは、コンクリートの流動距離が

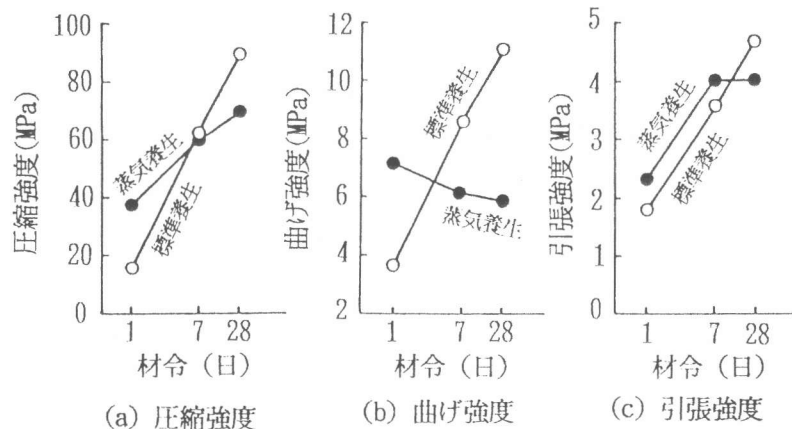


図-9 HPコンクリートの各種強度

長くなるにつれて、粗骨材の分離が進行し、空気を巻き込みながら型枠に充填されていることを示している。図-8に材令17日におけるコア圧縮強度を示す。コアの強度は、自重による締固め効果のため、下方にいくほど大きくなっている。また、コアの採取面の違いによる強度の差はみられなかった。これらのことから、比較的スランプフロー値の大きなHPコンクリートは、流動距離が長くなると若干粗骨材の分離が見られるものの、それによる充填性の低下および強度低下などの悪影響は少ないと考えられる。

蒸気養生および標準養生を施した、HPコンクリート（配合2）の各種強度の経時変化を図-9に示す。なお、蒸気養生を施した供試体は、試験材令まで温度20℃、相対湿度60%で保存した。

標準養生を施したH Pコンクリートの各種強度は材令と共に大きく増加し、材令28日における圧縮強度は87MPa(892kgf/cm²)、曲げ強度は10.9MPa(111kgf/cm²)、引張強度は4.6MPa(47kgf/cm²)に達した。蒸気養生を施したH Pコンクリートの各種強度は若材令で大きい、その後の強度増加は標準養生に比べると小さく、曲げ強度や引張強度は増加が鈍化するか逆に減少した。この原因としては、水の補給がないため水和があまり進まなかったこと、乾燥により生じた内部の微小なひびわれによる強度の低下などが考えられる。

4. まとめ

本実験の結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 骨材の表面水を測定し、現場配合を補正すれば、コンクリート製品工場の現行設備を使用してもH Pコンクリートの製造は可能である。しかし、粗骨材の粒度分布の変動などから、練りあがったH Pコンクリートのスランプフロー値にはいくらか変動がみられた。
- (2) H Pコンクリートは、打込み終了後ただちに打込み面を仕上げるができるが、ブリージングによる余剰水の上昇がないことや粘性の高いことから、コテ仕上げは行いにくい。
- (3) 締固めを行わずに製造したH Pコンクリート製品の気泡発生率は、パイプレータを用いて締固めた従来コンクリートと同程度か若干少ないが、打込み方法を改善すれば、さらに気泡を低減できるものと考えられる。
- (4) 比較的スランプフロー値の大きなH Pコンクリートは、流動距離が長くなると若干粗骨材の分離がみられるものの、それによる充填性の低下および強度低下などの悪影響は少ないと考えられる。
- (5) 蒸気養生を行ったH Pコンクリートは、早期に高強度が得られるが、標準養生を行ったものに比べて、以後の強度増加は鈍化する。

5. おわりに

本実験を通じて、東京大学の岡村教授ならびに小沢講師に貴重など示唆を頂きました。また、H Pコンクリートの練りませ試験および各種測定には(株)エヌエムビー中央研究所の皆様のご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

[参考文献]

- [1] 小沢、前川、岡村：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
- [2] 佐原、竹下、横田：実構造物を対象とした締固め不要な高流動コンクリートの打設実験、コンクリート工学年次論文報告集、VOL.12、No.1、pp.291-296、1990
- [3] 三浦、牧野、小野、小沢：二成分系のハイパフォーマンスコンクリートの実物大模型による施工性の検討、コンクリート工学年次論文報告集、VOL.13、No.1、pp.869-874、1991