

報告

[1151] 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

正会員 ○三浦信一（前田建設工業技術研究所）
 正会員 牧野英久（前田建設工業技術研究所）
 正会員 小野義徳（小野田セメント研究所）
 正会員 小沢一雅（東京大学工学部土木工学科）

1. はじめに

近年の建築物は高層化、大型化が進み、鉄筋は太径でかつ過密配筋となり、鉄骨の形状も複雑化している。これらの部材は、締め固めが行いにくく、充填性の高いコンクリートが求められており、種々の提案がなされている。そこで筆者らは、東京大学の岡村研究室において考案・開発された、ハイパフォーマンスコンクリート(以下、「HPC」)のレデーミクストコンクリート工場での生産性向上を考慮し、普通ポルトランドセメントと高炉スラグの二成分系を採用した。[1, 2]

この二成分系のHPCの施工性を検討するために、柱、梁、スラブからなる実物大模型を用い打設実験を行い、打設したコンクリートの品質も確認した。本報は、その施工性実験について報告するものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

打設実験は埼玉県比企郡滑川町内で1990年10月21日～11月8日にかけて実施した。この実験では、実機レベルでの製造・運搬の実現性、コンクリート品質の経時変化、ポンプ圧送性、コンクリートの自由落下に耐え得る分離抵抗性、流動性、締め固め不要の充填性、横流しに耐え得る均一性、硬化組織の健全性を確認した。

2.2 実験方法

2.2.1 試験体

実験に用いた実物大模型を図-1に示す。模型は、柱、壁からなる試験体2体(図上)と柱、梁、開口部を含む壁、スラブ、階段からなる試験体1体(図下)である。試験体はRC5階建て集合住宅の2階部分を参考に設定し、壁配筋は縦筋、横筋共に@250(mm)のダブル配筋とした。(写真-1)型枠材は、コンクリート打設状況、流動状況、充填状況を確認するため透明型枠を採用した。打設実験はコンクリート供給能力の関係上、この3試験体を6分割してそれぞれ別々の日に実施した。

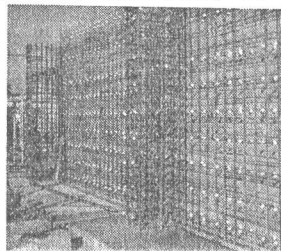


写真-1 配筋状況

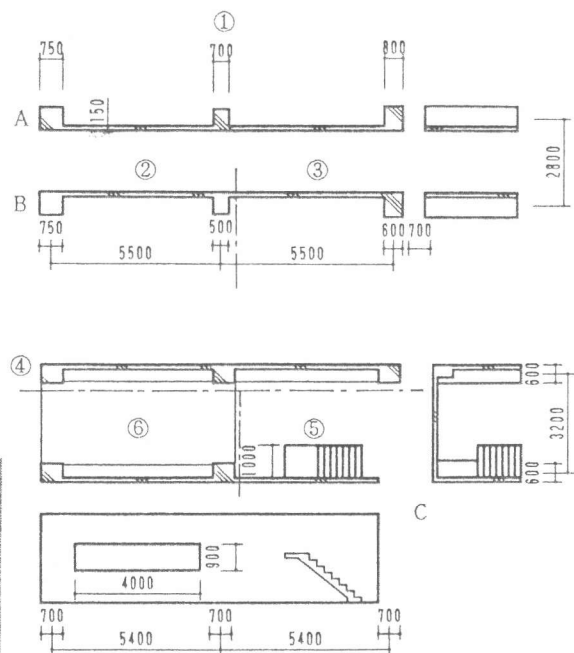


図-1 実物大模型

2. 2. 2 配(調)合・製造・運搬・品質

実験に用いた配合を表-1に示す。このコンクリートの配合要因に関する考え方は、参考文献[2]に示されている。製造時の品質管理はスランプフローで行い、練り上がり時に50~60cmを目標とした。

製造は、強制2軸練りミキサ(容量1m³)を有する市中のレデーミクストコンクリート工場(埼玉県鴻巣市)で行った。その練りませ手順を図-2に示す。高炉スラグはミキサ上に設けた投入口より人力で投入した。増粘剤は、あらかじめ高炉スラグ中に混入して用いた。

運搬にはトラックアジテータ車を用いた。運搬によるフレッシュコンクリートの性状変化を把握するため、出荷時、荷卸し時及び荷卸し後の性状変化を捉えるために経時的にスランプフローあるいはVF(S)値を測定した。

表-1 二成分系HPCの基本配合表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプフロー の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水結合 材比 (%)	細骨 材率 (%)	単用量 (kg/m ³)						
					水 W	セメント C	高炉スラグ Sg	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Add1	混和剤 Add2
2.0	5.5 ± 5	2.0 ± 1.0	33.6	50.3	178	169	360	808	823	0.02	8.43

C: 普通ポルトランドセメント

比重: 3.16、比表面積: 3300cm²/g

Sg: 高炉スラグ

比重: 2.91、比表面積: 6000cm²/g

S: 陸砂: 砕砂 = 5 : 5

比重: 2.57、FM : 2.83

G: 川砂利: 碎石 = 4 : 6

比重: 2.65、FM : 6.73

Add1: セルロース系増粘剤

Add2: 高性能AE減水剤

2. 2. 3 打設実験

打設実験計画を表-2に示す。柱、壁からなる試験体においては、HPCの基本的な流動特性の把握し、柱、梁、開口部を含む壁、スラブ、階段からなる試験体では、実構造物への適応性を検討した。コンクリート打設は、スクイーズ式ポンプ車を用い、

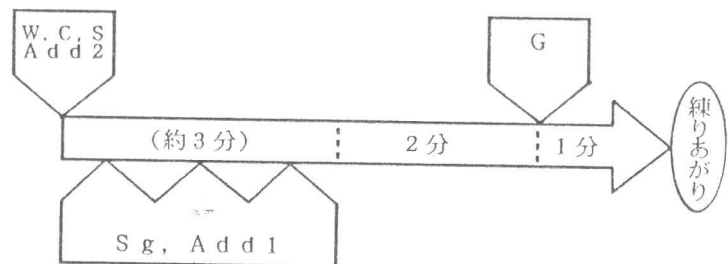


図-2 練り混ぜ手順

ブームを利用して行った。打設速度は、10, 20, 30(m³/hour)と変化させた。打設は、主として柱のみから行い階高分(約3m)を自由落下させ、壁に横流しし、バイブレーター及びたたき等による締め固めは一斉行わないこととした。打設時の自由落下高さは、理想的には1m以内とすべきだが、現実にはVH分離打設(梁下部分の垂直部材とスラブ、梁の水平部材を2段階に分けて、コンクリート打設する方法)を採用しない限り難しく、階高分落下させる施工が行われていることが少なくない。一般にコンクリートは自由落下させることにより分離する可能性があり、また、横流しすることにより不均一になる可能性がある。本実験では透明型枠により、HPCの打設状況の確認、流動状況・勾配の測定、鉄筋周り、入隅部、開口部への充填状況の観察等を行った。従来の軟練りコンクリートでは、打設後にコンクリートが沈下する恐れがある。実験では、スラブ、梁、壁の沈下量をコンプレッソメーターを用い測定した。

表-2 打設実験計画

試験体	打設区分	構成部材						打設速度 (m ³ /h)	目的・課題	打設方法	実験結果 (流動勾配)
		柱	壁	梁	スラブ	階段	開口部				
A	1	○	○					10	基本的な流動特性	型枠内にポンプ筒先を挿入し、コンクリート天端に近接させ、コンクリートを自由落下させない	図-4
B	2	○	○					30		高打設速度への適応	"
B	3	○	○					30	自由落下への適応性	ポンプ筒先よりのコンクリートをあて板に受け、型枠天端よりコンクリートを自由落下させる	
C	4	○	○	○				30	梁を有する柱・壁への流動状況	"	図-5
	5		○			○		10	階段部への流動性	"	
	6	○	○	○	○		○	20	開口部周りへの流動性 スラブへの施工性	"	図-6

2. 2. 4 硬化コンクリートの品質確認

表面及び内部の充填状況を確認するために、脱型後の表面状況（豆板等）を観察し、部材厚方向の超音波伝搬速度を測定した。また、構造体内部の充填状況・均一性を確認するために、試験体を切断あるいはコア抜きして得られた断面の骨材面積率、コアの単位容積重量、コア圧縮強度を測定した。

3. 実験結果

3. 1 製造・運搬・品質

製造直後のHPCには高炉スラグ及び増粘剤によると思われるフロックが若干見られたが、約40~50分要し運搬した後は、このフロックが減少していた。フレッシュコンクリートの試験結果を図-3に示す。HPCのスランプフロー値は練りあがり後ある一定の時間増加しその後減少することがあり、本実験でこの傾向がみられる。また、スランプフロー値が大きすぎると分離する傾向が見られVF(S)値が小さくなる。[2]

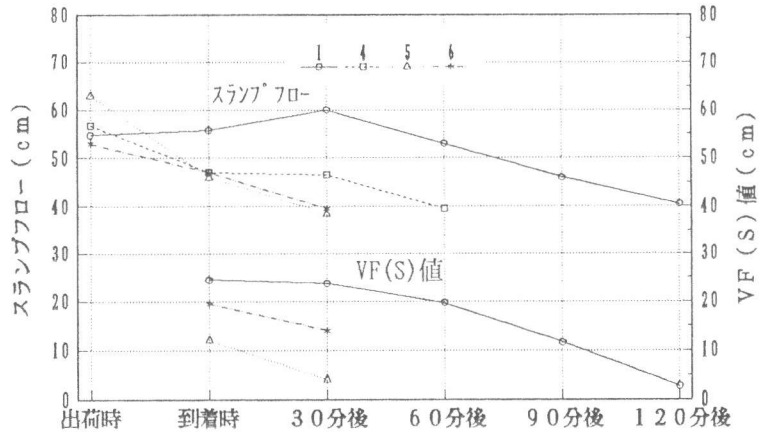


図-3 フレッシュコンクリートの試験結果

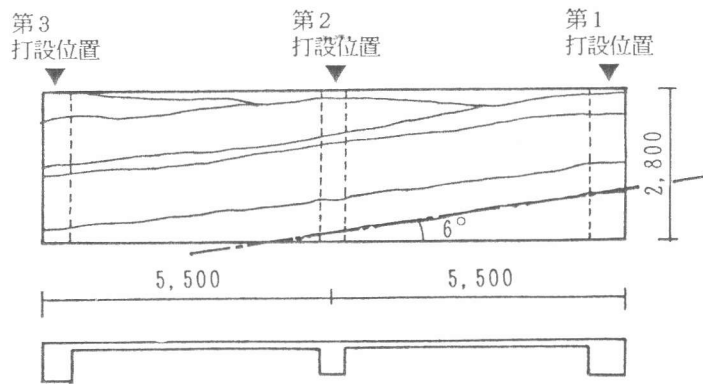


図-4 流動勾配（柱及び壁の試験体：A-①）

3. 2 打設実験結果

全般に全ての試験体でHPCは良好に流動し、締め固めを行う必要がなかった。

柱及び壁からなる試験体（A-①）の流動勾配を図-4に示す。図中の線は、HPC流動上面の経時変化をあらわす。この試験体では、HPCの基本的な流動特性を把握することを主目的としたため、打設の影響による品質変化が最小限になるように、ポンプ筒先を型枠内に挿入しコン

クリート打設天端に近接させ打設した。打設は柱のみから行い壁に流すこととした。まず図の右側の柱より投入し、型枠天端に達したら一時圧送を停止させHPCを自己流動させ、停止後さらにこの柱より打設した。型枠天端付近までHPCが打ち上がった後、次に中の柱、最後に左側の柱と移動させて打設し、流動勾配は約6°であった。透明型枠より、流動するHPC表面には若干の気泡が見受けられた。打設時に空気を巻き込んだためとおもわれる。

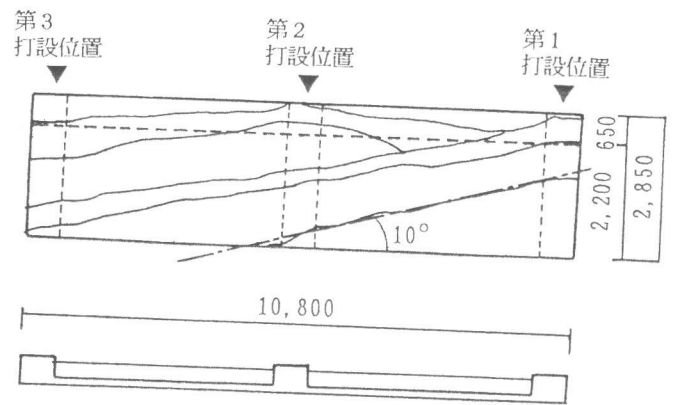


図-5 流動勾配（柱、壁及び梁の試験体：C-④）

柱、壁及び梁からなる試験体（C-④）の流動勾配を図-5に示す。この試験体では、ポンプ筒先よりのコンクリートを一旦あて板に受けて梁筋の上より自由落下させた。打設位置・順序は前記試験体と同一とした。打設速度を30(m³/hour)と速くしたため図-4の試験体より流動勾配が10°と大きくなっている。透明型枠からの観察では、自由落下させたことによる分離は認められなかった。

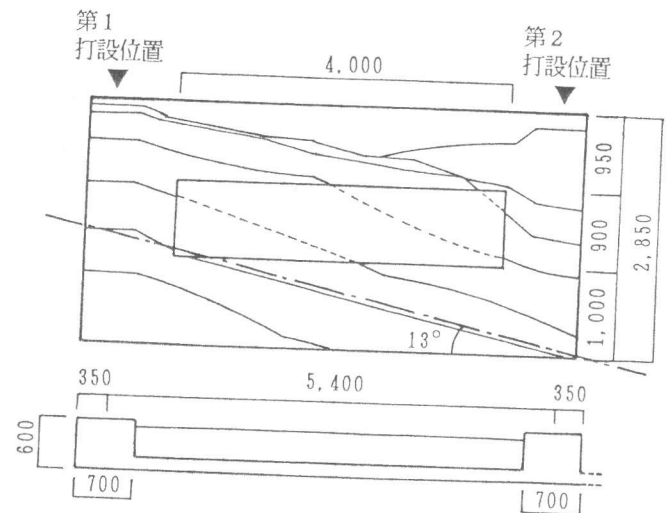


図-6 流動勾配（開口部を有する壁：C-⑥）

階段型枠（C-⑤）にはフタをして、階段付きの壁の型枠天端より図-5の試験体と同じ方法により、10(m³/hour)で打設した。

コンクリートは壁型枠から階段型枠に良好に流れ階段部分及び踊り場（厚さ：150mm）の型枠の隅々まで行き渡った。階段型枠部分が高さ250mm程度の箱状になっているが、このなかでもHPCは、ゆるやかな流動勾配を保持しながら充填されていった。

柱、梁及び横長な開口部（900*4,000(mm)）のある壁（C-⑥）の流動勾配を図-6に示す。打設は図-5と同じ方法で左端の柱より片押しで行ったが、この部分より打設したコンクリートは開口部下部を完全に充填しさらに開口部右側に沿って上昇した。開口部上部に沿って流動したコンクリートが開口部右上部に達したとき、開口部右側より上昇したものと的高低差は、約400(mm)と小さかった。図より、HPCの流動勾配は開口部があっても影響が少ないことが確認される。

スラブ部分ではHPCは粘性が高いため、木ゴテ押さえが行いにくいことが確認された。

一般に、軟練りのコンクリートでは、打設後数時間内の沈下が考えられるが、測定結果（図-7）より沈下量は最大で1.5mm程度であり問題となるほど大きい値ではない。また、鉄筋に沿っての沈下ひびわれも見らない。従来のコンクリートでは、数スパン

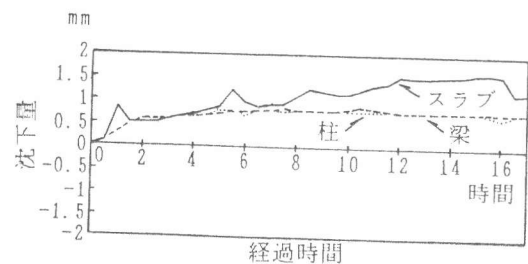


図-7 コンクリート沈下量

を通して流動させた場合、ペーストと骨材が比重の違いより分離することにより、砂じまの発生、ブリージング水が局所的に溜まることによるぜい弱層の形成等の可能性が高いが、HPCを用いた本実験の範囲では認められなかった。

3.3 硬化コンクリートの品質確認

イ) 表面状況

脱型は、材令5～7日で行った。材令1カ月の躯体状況を写真-2に示す。脱型後の一部の試験体のコンクリート表面には、若干の豆板（全表面積の0.01%未満）が認められたが、表層のみで内部まで連続したものではない。ただし打設時に、巻き込み気泡が観察された試験体では、脱型後の表面にも多少の空気泡が見受けられた。また、HPCは多量の高炉スラグを含んでおり、初期の急激な乾燥収縮ひびわれが懸念されたが、特にみられなかった。材令4カ月経過後の観察でも、顕著なひびわれはみられなかった。

ロ) 内部充填状況

壁及び柱からなる試験体（A-①）の超音波伝搬速度の測定結果を図-8に示す。測定ピッチは縦・横500(mm)ピッチで計105箇所において実施した。この試験体は右端の柱より打設し左側に流動させたが、超音波伝搬速度値は、左端の柱では4.23～4.37km/s、中央の柱では4.23～4.30km/s、右端の柱では4.26～4.33km/sであり高さ方向及び流動方向ともにほぼ均質な状態にあることが確認された。試験体切断面よりの観察で、梁のような比較的密な配筋部分や階段部分、柱脚部のように形状が複雑で充填されにくい部分でもコンクリートは密に充填されていることが確認された。一例として、階段部分の切断面を写真-3に示す。

柱、梁、壁、スラブの各部分からコアを採取して、

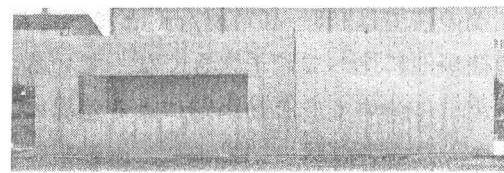
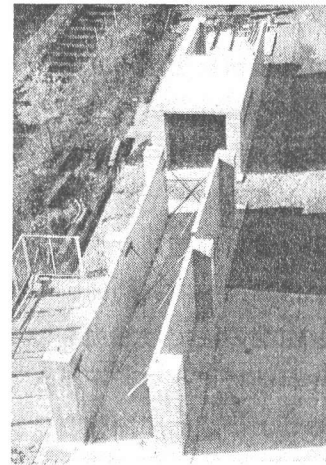


写真-2 躯体状況

- 4.16km/s以下
- 4.28～4.17km/s
- ◎ Ave. = 4.29km/s
- ◆ 4.29～4.40km/s
- ◇ 4.41km/s以上

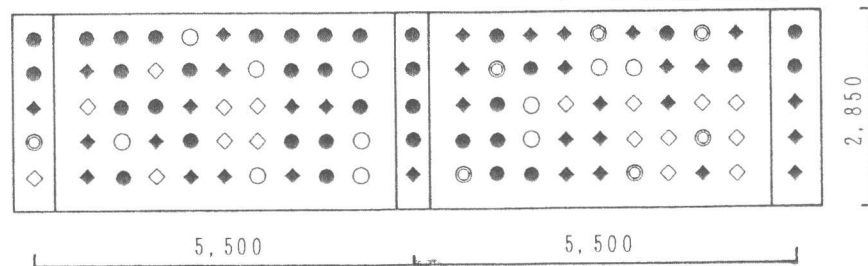


図-8 超音波伝搬速度測定結果

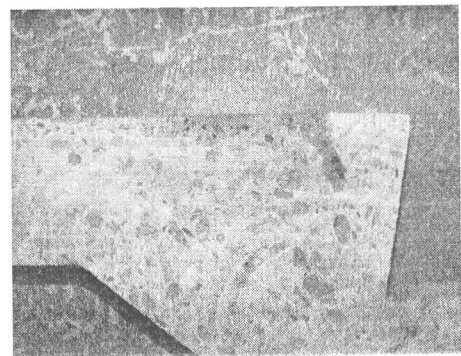


写真-3 階段部分の断面図

骨材分布、単位容積重量の測定、圧縮強度試験を行った(C-④)。それぞれの測定項目に対する柱部分の試験結果を図-9~11に示した。この試験体(流動勾配は、図-5)でのコンクリート打設順序は、右端の柱、中央の柱、左端の柱、そして左端より右端までの梁の回し打ちである。骨材面積率(骨材面積/コンクリート面積)は、右端の柱では28.2~35.0%、中央の柱では25.1~26.1%、左端の柱では29.8~32.9%となっており、中央の柱が他に比べて若干小さくなっている。材令91日のコア供試体圧縮強度は、右端の柱では380~425kgf/cm²、中央の柱では468~532kgf/cm²、左端の柱では333~407kgf/cm²となっており、中央の柱が他に比べて若干大きくなっている。単位容積重量については流動距離による差異は認められなかった。各試験の結果より、流動距離や高さによって若干差が認められるが、全体としてほぼ均質な状態にあることが確認された。

4. まとめ

スランプフローが50~60cmである高流動コンクリートである二成分系のハイパフォーマンスコンクリートを用いて実物大模型の試験体により打設実験を行った。このコンクリートは、締固めを行わなくても型枠の隅々まで均質に充填されることを目標の一つとして開発されたものだが、打設実験において十分な流動性と充填性が、硬化コンクリートの確認によって充填性、均質性、健全性が確認された。今後はSRCへの適用、さらに既往の合理化施工技術との適合性を検討し、施工技術を確認するとともに実構造物への適用へと発展させたいと考えている。

[謝辞]

この打設実験を行うにあたり東京大学岡村甫教授のご指導を賜りました。また、製造に際して鴻巣レミコンはじめ多くの方にご協力いただきました。ここに記して感謝いたします。

[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, 1989
- 2) 中島, 梶田, 牧野, 三浦: 二成分系のハイパフォーマンスコンクリートの配合に関する一考察 コンクリート工学年次論文報告集, 1991

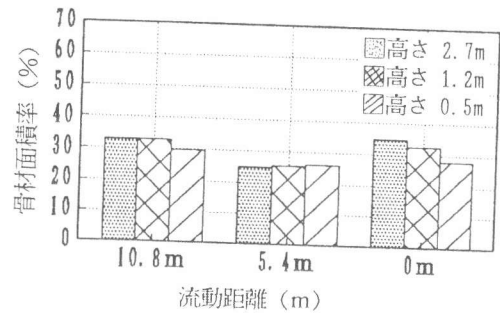


図-9 流動距離・高さと骨材面積率との関係

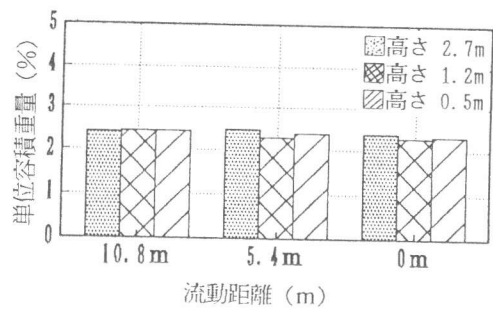


図-10 流動距離・高さと単位容積重量の関係

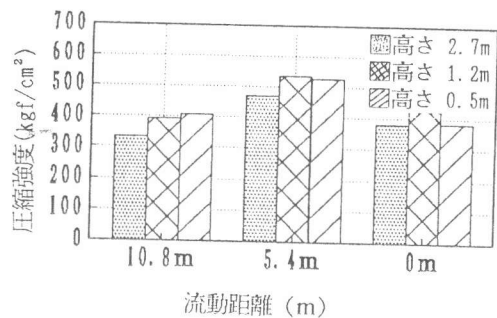


図-11 流動距離・高さとコア圧縮強度の関係