

(54) プレテンション用高流動コンクリートに関する実験的研究

- (株)富士ピー・エス 本店技術部 正会員 左東 有次
 福岡大学 工学部 添田 政司
 福岡大学 工学部 大和 竹史
 (株)富士ピー・エス 福岡支店技術部 成富 勲公

1. まえがき

近年、「ハイパフォーマンスコンクリート」[1]をはじめとする高流動コンクリートの研究が各方面で行われている。この高流動コンクリートの使用は、部材断面が小さく、鋼材が密に配置されているPCの工場製品では、施工の合理化、省力化などに有効であると考えられる。しかしながら、工場で生産されるプレテンション方式のPC部材は、生産性の観点から早期強度が必要であるが、これまでの研究では早強性に着目した高流動コンクリートに関する研究は少ないようである。

筆者らは、これまでの室内試験により、早強ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を併用した高流動コンクリートが、流動性、充填性に優れているという結果を得ている[2]。

そこで、本研究では早強性を有するプレテンション用の高流動コンクリートの開発を目的として、室内試験および実機によるPC中空桁の打設実験を行い、充填性、強度発現性等を確認した。また、打設方法の違いによる表面気泡の発生状況や材料分離状況についても、実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験に用いた結合材、骨材、混和剤は表-1に示す通りである。結合材は、早強ポルトランドセメントと高炉スラグを併用で使用した。なお、細骨材、粗骨材は室内試験と打設実験で異なるものを使用した。

表-1 使用材料の材料特性

種 別		記号	材 料 特 性
結合材	早強ポルトランドセメント	HP	比重:3.14、比表面積:4630cm ² /g
	高炉スラグ微粉末	BS	比重:2.91、比表面積:3810cm ² /g
細骨材	山 砂	S1	比重:2.57、粗粒率:3.05、吸水率:1.84%、実績率:64.2%
	砕 砂	S2	比重:2.73、粗粒率:2.93、吸水率:2.27%、実績率:66.1%
粗骨材	碎石1(Gmax=20mm)	G1	比重:2.82、粗粒率:6.64、吸水率:1.25%、実績率:56.3%
	碎石2(Gmax=20mm)	G2	比重:2.76、粗粒率:6.77、吸水率:0.74%、実績率:57.0%
混 和 剤		SP	ポリカルボノ酸系高性能AE減水剤(空気量調整剤混入)

2.2 コンクリートの配合

本研究では、表-2に示す3種類の配合のコンクリートを基本として実験を行った。それぞれの配合は、使用した骨材の種類が異なるため、良好な流動性と充填性を得られるように配合を修正した。

高炉スラグの置換率の選定は、配合No. 1を基本に高炉スラグの置換率を変化させた6種類の配合とした。

また、これらの配合は流動性を調整するため、混和剤量を結合材量に対して1.3%から2.2%まで変化させた。モデル桁の打設実験は配合No. 2、表面気泡の発生状況確認試験は配合No. 3を基本配合とするコンクリートを使用した。

表-2 コンクリートの基本配合

配合No.	BSの比率 (%)	Vw/Vp (%)	W/P (%)	s/a (%)	設計空気量 (%)	単位量(kg/m ³)							
						結合材P		W	細骨材		粗骨材		S P (P×%)
						HP	BS*		S1	S2	G1	G2	
1	0	100	31.8	50.7	2.0	592	—	188	786	—	840	—	2.2
2	50	94	31.1	52.2	2.0	309	287	186	802	—	—	787	1.5
3	50	92	30.4	50.9	2.0	308	285	180	—	838	—	818	1.5

*:結合材全体に対する容積比

2.3 コンクリートの目標性能

コンクリートのフレッシュ性状は、スランプフロー試験とU型充填性試験 [3] により管理し、硬化性状は圧縮強度試験により管理した。それぞれの目標性能を表-3に示す。プレテンション製品では、材齢1日でプレストレスを導入するため、材齢1日の圧縮強度の目標値を350kgf/cm²以上とした。

表-3 コンクリートの目標性能

スランプフロー	60~70cm
U型充填高さ	25cm以上*
圧縮強度 (σ1)	350kgf/cm ² 以上
圧縮強度 (σ28)	500kgf/cm ² 以上

*:投入側の荷重は無載荷

3. 高炉スラグ置換率の選定

3.1 実験方法

練り混ぜは、50ℓ練りの二軸強制練りミキサーを使用した。練り混ぜ方法は、結合材、細骨材に対して30秒間空練りを行い、一次水(全量の90%)を投入し90秒間練った後、粗骨材と混和剤を含む残りの二次水を投入し、さらに90秒間練り混ぜた。養生は一般のプレテンション製品と同様に常圧蒸気養生を行った。養生方法は、プログラム蒸気養生槽により、前置き20℃を3時間、昇温勾配20℃/時間、温度保持65℃を3時間、降温勾配5℃/時間の蒸気養生を行い、その後、試験材齢まで20℃の水中で養生した。

流動性の評価方法は、土木学会基準「コンクリートのスランプフロー試験方法(案)」(JSCE-1990)に規定されている試験方法に準拠したスランプフロー試験により行った。充填性の評価は、U型充填性試験により行った。円柱供試体の端面処理は研磨機を用いて行い、JIS A 1108に準じて圧縮強度試験を行った。試験材齢は、蒸気養生後の1日及び28日とした。

3.2 実験結果および考察

表-2の配合No. 1を基本とし、単位骨材量、単位水量および水粉体容積比(Vw/Vp)を一定として、結合材中の高炉スラグの置換率を変化させた高流動コンクリートの試験練りおよび圧縮強度試験を行った。

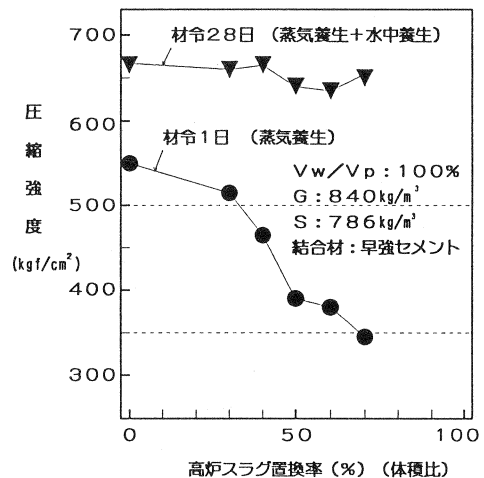


図-1 高炉スラグの置換率と圧縮強度の関係

いずれの配合ともスランプフロー値、U型充填高さは目標値を満足していた。

高炉スラグの置換率と材齢1日、28日の圧縮強度の関係を図-1に示す。材齢1日強度は、高炉スラグの置換率が大きくなるほど低下していることが認められる。特に、高炉スラグの置換率が30%を越えるとその傾向が顕著である。しかしながら、高炉スラグの置換率が60%以下ならばプレストレスの導入時に必要な350 kgf/cm²の強度を満足している。一方、材齢28日強度は、高炉スラグの置換率による強度差はほとんど見られず、目標強度の500kgf/cm²を十分に満足している。以上のことより、高炉スラグと早強セメント併用の結合材は、高炉スラグの置換率が60%以下ならば、プレテンション用の高流動コンクリートに適用可能であることが確認できた。

4. モデル桁の打設実験

4.1 実験方法

高流動コンクリートのプレテンション製品への適用性を確認するために、図-2に示すプレテンション方式PC中空桁を模したモデル桁への打設実験を工場にて行った。このモデル桁はJIS桁に比べてPC鋼材、スターラップとも多く、高流動コンクリートの充填性を厳しくしている。高炉スラグの置換率は、室内試験結果をもとに若干余裕を見て50%とした。コンクリートの配合は表-2の配合No. 2とした。高流動コンクリートの練り混ぜは、0.5m³練りのパン型強制練りミキサー使用し、0.4m³ずつ3回に分けて行った。練り混ぜ順序は室内試験と同じとした。練り混ぜ時には、事前に砂の表面水率を測定し、配合修正を行った。コンクリートの運搬、打設はバケットを取り付けたフォークリフトにて行った。

コンクリート打設時の材料分離を調べるため、図-2に示す位置よりコンクリートを採取し、粗骨材の洗い出し試験を行い、粗骨材率として評価した。

モデル桁は蒸気養生後材齢1日で脱枠し、所定の材齢まで屋外で気中養生した。材齢28日に図-2に示す位置よりコア抜き(φ100mm)を行い、コアを切断研磨して円柱供試体(φ100mm×200mm)を製作した。また、強度発現に対する養生の影響を確認するため、モデル桁打設時に円柱供試体(φ100mm×200mm)製造し、表-4に示す3種類の条件で養生を行った。

表-4 養生条件

	蒸気養生	後養生
CASE1	○	気中(屋外)
CASE2	○	20°C水中
CASE3	×	20°C水中

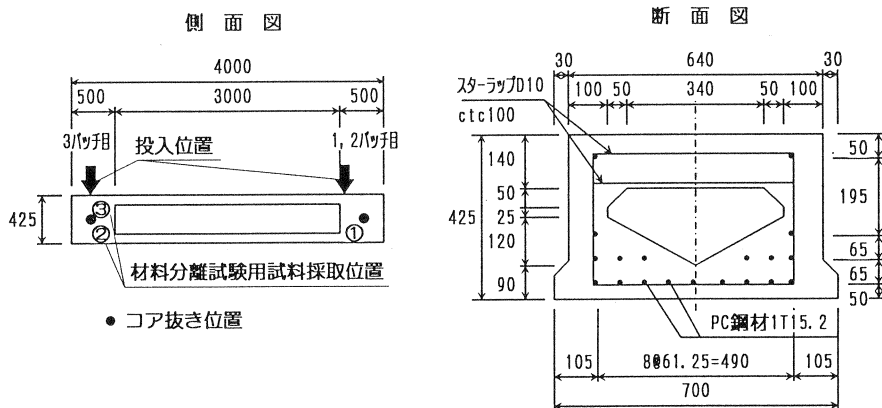


図-2 打設実験用モデル桁一般図

4.2 実験結果と考察

練り上がり直後のコンクリートの試験結果を表-5に示す。1バッチ目はミキサー内部が乾燥していたためか、スランプフローは49cmと目標値より若干小さかったが流動性は問題なかった。一方、2、3バッチ目はスランプフロー値、U型充填高さとも目標値を満足しており、流動性、充填性とも良好であった。このことより、従来のプラント設備を使用しても、細骨材の表面水管理を十分に行えば、高流動コンクリートの製造は可能であることが確認できた。

コンクリート打設は、全く締め無しで行ったが、コンクリートの流動性、充填性は良好であった。コンクリート表面の仕上げは、こて均し後ほうき目仕上げを行ったが、ブリージングがないため、こて仕上げが難しかった。

コンクリート打設時に採取したコンクリートの粗骨材率を表-6に示す。採取場所①、③の粗骨材率は設計値に対して若干少ないが、その差は5~13%と小さいため、材料分離は起こしていないと判断できる。一方、採取場所②は設計値に対して約30%粗骨材量が少なくなっている。これは、採取場所②がコンクリートの流動距離が長く、また、密に配置されたスターラップにより流動時に粗骨材が阻害されたため、モルタル分のみが先に流れたのではないかと考えられる。

次に、モデル桁から採取したコア供試体と打設時に作製した円柱供試体の各材齢の圧縮強度試験の結果を図-3に示す。材齢1日の圧縮強度は、モデル桁と同じ条件で養生した供試体において500kgf/cm²以上であり、強度は目標値を十分満足していた。材齢28日強度は標準養生、蒸気養生+水中養生、蒸気養生+気中養生の順番になった。これは、蒸気養生+気中養生では材齢2日以降に水分の供給がないため、高炉スラグの潜在水硬性が十分に発揮できなかったものと推察される。一方、コア供試体の圧縮強度は2本とも600kgf/cm²以上発現しており、目標とした500kgf/cm²は十分に満足していた。そのため、高炉スラグ置換率が50%の高炉スラグと早強セメント併用の高流動コンクリートは、プレテンション用高流動コンクリートに適用可能であると考えられる。

高流動コンクリートの充填状況は、脱枠後の観察では、表面にジャンカ等は見られず、隅々まで良く充填されていた。しかしながら、側面部には最大直径20mm程度の大きな気泡が見られた。これは、コンクリートの流動時などに巻き込んだ気泡が表面に現れたと考えられる。そこで、表面の気泡の発生が打設方法に影響されると考え、打設方法の種類を変えて検討を加えた。

表-5 コンクリートの試験結果

バッチ No.	1	2	3
スランプフロー(cm)	49.0	61.0	61.0
U型充填高さ(cm)	—	—	30.5
空気量(%)	2.2	—	—

表-6 コンクリートの粗骨材率

採取場所	粗骨材率	試料の採取方法
①	0.318(0.95)	上部を流れてくるのを採取
②	0.228(0.68)	下から流れてくるのを採取
③	0.290(0.87)	上部を流れてくるのを採取
設計値	0.334	

注) ()内は測定値/設計値を表す。

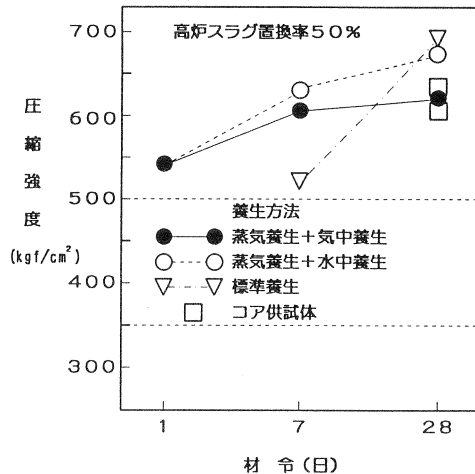


図-3 コア供試体と円柱供試体の圧縮強度試験結果

5. 打設方法の違いによる表面気泡の発生状況確認試験

5. 1 実験方法

打設方法の違いによる表面気泡の発生状況を確認するため、図-4に示す供試体の打設実験を行った。供試体へのコンクリート打設は、表-7に示す投入位置と振動締固めの異なる3種類の方法で行った。バイブレータは、壁打ちバイブレータ(振動数9000rpm、振幅0.6mm)を側枠面の片側のみに1台使用した。締固めは、コンクリート投入開始から完了まで継続的に行った。コンクリートの配合は表-2の配合No. 3とし、3つの供試体とも同じバッチのコンクリートを使用した。コンクリートの練り混ぜ、運搬は前記のモデル桁と同じ方法で行った。

供試体は材齢1日で脱枠後、側面の表面気泡を方眼紙にトレースし、気泡の大きさ、数を測定した。次に、材齢28日経過後、供試体を図-4の位置で切断した後、切断面の粗骨材を紙にトレースし、画像解析にて粗骨材の面積を測定した。

表-7 打設方法

供試体名	投入位置	締固め
A	固定	無
B	移動	無
C	移動	有*

*:片側の側枠面に壁打ちバイブレータ(振動数9000rpm、振幅0.6mm)1台使用

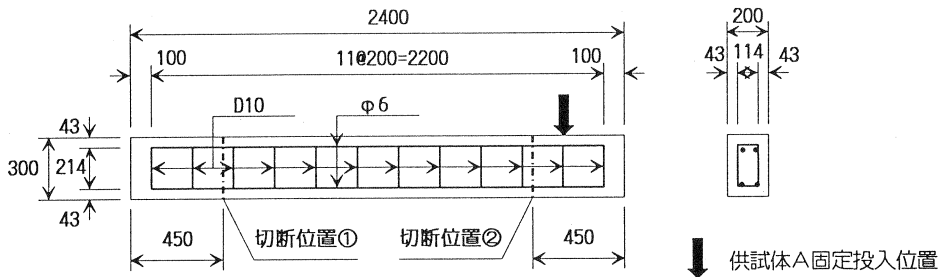


図-4 打設実験供試体一般図

5. 2 実験結果と考察

コンクリートの練り上がり直後の試験結果を表-8に示す。スランプフロー値、U型充填高さとも目標値を満足しており、流動性、充填性も良好であった。

表-8 コンクリートの試験結果

スランプフロー (cm)	U型充填高さ (cm)	空気量 (%)
64.0	30.3	1.5

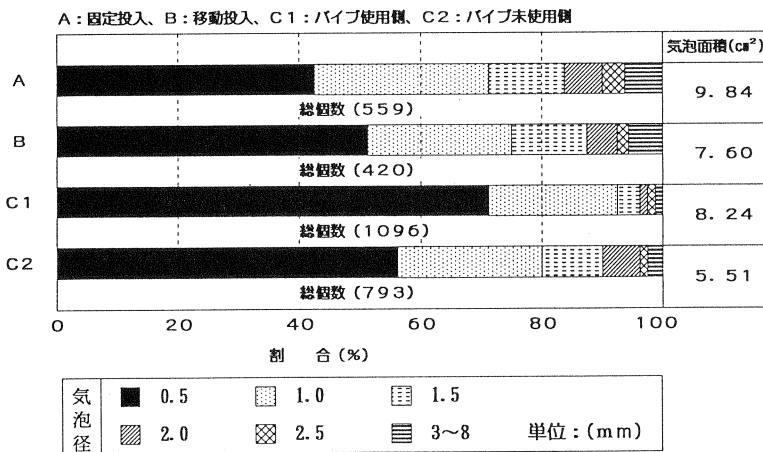


図-5 各打設方法での表面気泡の気泡径毎の割合と気泡数、気泡面積

打設方法別の表面気泡総個数に占める気泡径の割合と、気泡数、気泡面積の関係を図-5に示す。供試体AとBを比較すると、供試体Aに比べてBの方が気泡径、気泡面積とも小さく気泡数も少ない。これは、供試体Aが固定投入で、コンクリートの流動距離が長いため、コンクリートの流動時に鉄筋などの障害物を通過するときに空気を巻き込んだのではないかと推察される。次に、供試体BとC1、C2を比較すると、供試体C1、C2の方が気泡数は多いが、気泡径3mm以上の大きな気泡の割合は少ない。これは、バイブレータで振動を与えることで、大きな気泡が分散されたと考えられる。ただ、供試体Cでは、バイブレータを使用した面の方が使用しない面より気泡面積が多くなっているが、これは、振動により供試体表面に内部の気泡が引き寄せられたのではないかと推察される。

各供試体の切断面の面積に対する粗骨材面積率を図-6に示す。供試体Aでは、投入位置②より先端部①の方が粗骨材率が少なくなっている。これは、コンクリートの流動時にスターラップにより粗骨材が阻害され、モルタル分が多く、流動したためと考えられる。供試体BとCを比較すると、粗骨材率は大きな違いが認められない。また、供試体Cの切断面の観察でも粗骨材の沈降は認められなかった。このことより、高流動コンクリートを壁打ちバイブレータを用いて締め固めを行っても、材料分離は生じていないと推察される。以上より、表面の気泡を低減するためには、コンクリート打設時の投入場所を移動させ、壁打ちバイブレータ等で適度な微振動を与えることが有効であると考えられる。

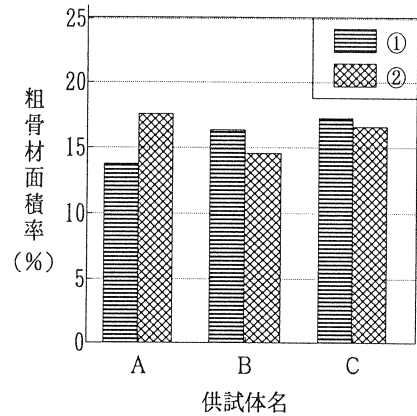


図-6 各供試体の粗骨材面積率

6. まとめ

プレテンション用の高流動コンクリートに関する室内試験と打設実験を行った結果、本研究の範囲内で以下のようなことが明らかになった。

- ①高炉スラグと早強セメントを併用した高流動コンクリートは、高炉スラグの置換率が60%以下ならば、常圧蒸気養生後の材齢1日で350kgf/cm²以上の早強性があった。
- ②高炉スラグと早強セメントを併用した高流動コンクリートは、プレテンション方式PC中空桁を模したモデル桁への充填性が良好で圧縮強度も十分に発現した。
- ③高流動コンクリートの表面気泡を少なくするには、コンクリート打設時の投入箇所を移動させ、適度な微振動を与えることが有効である。

なお、今後は高流動コンクリートの耐久性、乾燥収縮、クリープ等について検討を行う予定である。

最後に本研究を行うにあたり(株)ポゾリス物産 浅野氏、日本セメント(株)清水氏のご協力をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 岡村甫・前川宏一・小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート，技報堂出版，1993
- [2] 左東有次・添田政司・大和竹史・徳光卓：早強性を有する高流動コンクリートに関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，16-1，PP.219-224，1994
- [3] 新藤竹文・松岡康訓・S. Tangtermsirikul・坂本淳：超流動コンクリートの基礎物性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，13-1，PP.179-184，1991