

論文 コンクリート充填鋼管柱用高流動コンクリートの調合検討

高野肇*1・岩沢徹*2・中田善久*3・毛見虎雄*4

要旨 :高炉セメントB種を用いて、水セメント比、単位水量、高性能A E減水剤量および分離低減剤量を変化させたコンクリート充填鋼管柱用中詰めコンクリートの圧入施工実験に適用する高流動コンクリートの調合について検討した。その結果、ブリーディングのない充填性および流動性に優れた高流動コンクリートが得られる水セメント比と単位水量および分離低減剤量の関係が明らかとなった。

キーワード :高流動コンクリート,コンクリート調合,分離低減剤,ブリーディング,乾燥収縮

1. はじめに

コンクリート充填鋼管柱(CFT)は、コンクリートと鋼管が一体化することにより耐力および靱性に優れた構造形式である。このコンクリート充填鋼管柱に使用するコンクリートに要求される品質としては、①流動性に優れ、充填性が良いこと②ブリーディング水の発生が少なく、コンクリート充填後にダイヤフラム下面に空隙を作らないこと③硬化後の収縮が少ないこと等が挙げられる。

本研究は、圧縮強度60N/mm², 42N/mm²および27N/mm²のコンクリート充填鋼管柱用中詰めコンクリートの調合選定を目的としたもので、セメントの種類として高炉セメントB種を選定し、微生物系の分離低減剤を用いた高流動コンクリートの流動性、ブリーディング、圧縮強度および乾燥収縮等の基本性状について報告する。

2. 実験計画

2.1 実験概要

高流動コンクリートの調合検討は、水セメント比を60%、45%および30%とし、次に示す2シリーズの実験に大別して行った。

シリーズIは、水セメント比、単位水量および分離低減剤量の各因子が、コンクリートの流動性ブリーディングおよび材齢1日強度へ及ぼす影響について、主に実験計画法を用いて検討した。

シリーズIIは、コンクリートの流動性、養生温度と圧縮強度の関係および長さ変化試験による硬化後の収縮について検討した。

2.2 使用材料

実験に用いた使用材料の種類および品質を表-1に示す。

セメントは、高炉セメントB種を用いた。細骨材は、砕砂および細砂の混合砂(混合比8:2)を、粗骨材は、最大寸法20mmの碎石を用いた。

表-1 使用材料の種類および品質

セメント	高炉セメントB種(比重3.04)
細骨材	砕砂(表乾比重2.62, 吸水率1.05%, 粗粒率3.01)
	細砂(表乾比重2.57, 吸水率2.44%, 粗粒率1.73)
粗骨材	碎石(最大寸法20mm, 表乾比重2.66 吸水率0.583%, 粗粒率6.75, 実積率61.7%)
混和材料	高性能A E減水剤(ポリカルボン酸系) 分離低減剤(微生物系)

- * 1 山宗化学(株)技術部技術課課長代理 (正会員)
- * 2 西松建設(株)技術研究所研究部構造研究課 (正会員)
- * 3 西松建設(株)技術研究所技術部建築技術課主任 (正会員)
- * 4 足利工業大学教授 工学部建築学科, 工博 (正会員)

混和材料は、コンクリート用化学混和剤として、ポリカルボン酸系の高性能A E減水剤と微生物系の分離低減剤を用いた。

2.3 実験条件（因子と水準）

(1) シリーズ I

実験の因子および水準を表-2に示す。

水セメント比60%および45%は、単位水量170kg/m³, 180kg/m³の2水準、分離低減剤標準量, 2倍量の2水準を取り上げ、直交配列表L₈に割り付け、有意差検定を行った。

水セメント比30%は、既往の実験結果よりブリーディング水の発生はないと考え[1][2], 分離低減剤量を標準量とした単位水量の水準に関する実験について行った。

(2) シリーズ II

シリーズ I にて選定したコンクリート調合条件にて、流動性、養生温度と圧縮強度に関する実験を行った。

実験の因子および水準を表-3に示す。

水セメント比は、60%, 45%および30%の3水準、圧縮強度用試験体の養生条件は、10℃低温養生と20℃標準養生の2水準とした。また、硬化後の収縮について確認するため、各水セメント比のコンクリートについて長さ変化試験を行った。

2.4 高流動コンクリートの調合

シリーズ I およびシリーズ II の実験に用いた高流動コンクリートの調合を表-4に示す。

コンクリートの調合は、水セメント比にかかわらず、単位粗骨材かさ容積を0.5m³/m³一定とした。スランブフローは、高性能A E減水剤量により調整した。

2.5 実験項目および実験方法

フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの実験項目および実験方法を以下に示す。

(1) フレッシュコンクリート

スランブフロー試験；土木学会基準「コンクリートのスランブフロー試験方法（案）」に準じた。50cmフロー時間；スランブフロー試験時におけるスランブフロー値が50cmに到達するまでの時間を測定した。

空気量試験；JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」によった。

V_{7.5}ロート試験；Vロート試験方法(案)に準じた[3]。

表-2 シリーズ I 実験の因子と水準

因子	水準		
	1	2	3
水セメント比 (%)	60	45	30
単位水量 (kg/m ³)	170	180	—
分離低減剤量	標準量	2倍量	—

表-3 シリーズ II 実験の因子と水準

因子	水準		
	1	2	3
水セメント比 (%)	60	45	30
養生温度 (℃)	10	20	—

表-4 高流動コンクリートの調合

シリーズ	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブフロー (cm)	目標空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
I	20	60 ± 5	4.5 ± 1.5	60	55.5	170	283	1002	819
					54.4	180	300	960	819
				45	53.4	170	378	921	819
					52.1	180	400	874	819
				30	48.5	170	567	757	819
					46.7	180	600	705	819
II	20	50 ± 5	4.5 ± 1.5	60	54.4	180	300	960	819
		60 ± 5		45	52.1	180	400	874	819
		60 ± 5		30	48.5	170	567	757	819

ブリーディング試験；JIS A 1123「コンクリートのブリーディング試験方法」に準じた。

(2) 硬化コンクリート

圧縮強度試験；JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」によった。

長さ変化試験；JIS A 1129「モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法」によった。

2. 6 練混ぜ方法

ミキサは、公称容量50ℓの強制練り式ミキサを使用し、1バッチ当たりの練混ぜ量は30ℓとした。材料の投入順序および練混ぜ時間は、細骨材(1/2)、セメント、分離低減剤、細骨材(1/2)、練混ぜ水(混和剤含む)にて45秒間、粗骨材を投入後45秒間とした。

3. 実験結果

シリーズIにおける実験結果を表-5に、シリーズIIにおける実験結果を表-6に示す。

なお、シリーズIでは、材齢1日圧縮強度を参考値として求めた。

表-5 実験結果(シリーズI)

シリーズ	因子			高性能 A E 減 水剤量 (C×%)	フレッシュコンクリートの品質					材齢1日 圧縮 強度 (N/mm ²)		
	水セメント比 (%)	単位 水量 (kg/m ³)	分離低 減剤量 (W×%)		スランブ (cm)	スランブ フロー (cm)	50cm フロー時間 (秒)	空気量 (%)	ブリーデ ィング量 (mℓ/cm ²)		コンクリ ート温度 (℃)	
I	60	170	0.1	2.4	24.5	56×53	10.7	5.6	0.01	20.5	1.73	
			0.2	3.9	24.0	53×52	28.2	3.4	0	20.5	0.41	
		180	0.1	1.4	24.0	54×53	11.8	5.6	0.04	21.0	3.63	
			0.2	2.6	24.5	56×53	17.8	4.4	0	20.5	1.25	
		45	170	0.1	1.5	25.5	64×62	7.2	4.0	0.02	21.0	5.29
				0.2	1.7	26.0	59×60	9.1	5.7	0	21.0	2.89
	180		0.1	1.1	25.0	58×57	3.8	3.4	0.03	21.5	6.89	
			0.2	1.3	26.0	57×61	4.9	3.8	0	21.0	5.88	
	30	170	0.1	1.2	26.0	60×60	5.3	3.9	0	21.0	15.3	
		180	0.1	1.1	26.5	59×62	6.7	4.5	0	20.5	16.0	

表-6 実験結果(シリーズII)

シリーズ	水セメント比 (%)	分離低 減剤量 (W×%)	高性能 A E 減 水剤量 (C×%)	フレッシュコンクリートの品質					硬化コンクリートの品質			
				スランブ (cm)	スランブ フロー (cm)	50cm フロー時間 (秒)	Vポート 流下時間 (秒)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)			乾燥*1 収縮率 (X10 ⁻⁴)
									材齢7日	材齢28日	20℃	
II	60	0.2	2.6	23.5	47×44	—	—	3.7	22.9	30.4	34.9	6.4
	45	0.2	1.3	25.5	55×57	8.2	15.7	3.6	33.1	39.7	45.1	5.6
	30	0.1	1.2	27.0	63×64	5.5	12.5	3.8	46.1	58.2	66.2	5.4

*1 保存期間90日の試験結果

4. 考察

4. 1 シリーズI

(1) スランブフロー試験結果

水セメント比45%および30%のコンクリートは、単位水量と分離低減剤量の実験因子にかかわらず、全て目標スランブフロー内となった。一方、単位粉体量(単位セメント量)が少ない水セメント比60%のコンクリートは変形性が小さく、高性能A E 減水剤量の調整により、分離抵抗性を損なわずに流動性を大きくするには限界がみられ、目標スランブフローを幾分下回る結果となった。

(2) 50cmフロー時間

水セメント比60%および45%のコンクリートにおける50cmフロー時間に及ぼす要因効果を

図-1(a), (b)に示す。

50cmフロー時間は、水セメント比の主効果に危険率1%で有意差がみられ、分離低減剤量の主効果に危険率5%で有意差がみられた。

主効果の影響としては、水セメント比が大きく(60%)、分離低減剤量が多い(0.2%)場合に50cmフロー時間は長くなる。

後者の影響については、分離低減剤量の違いによるコンクリートの变形速度の差が考えられる。前者に関しては、水セメント比60%はスランプフローが幾分小さく、かつ、スランプフロー試験時に上方からコンクリートが広がったことによる影響が考えられる。

(2) ブリーディング試験結果

水セメント比60%および45%のコンクリートにおけるブリーディング量に及ぼす要因効果を図-2(a), (b), (c)に示す。

ブリーディング量は、単位水量の主効果および単位水量と分離低減剤量の交互作用に、危険率5%で有意差がみられ、分離低減剤量の主効果に、危険率1%で有意差がみられた。

主効果の影響としては、単位水量が小さく(170kg/m³)、また分離低減剤量が多い(0.2%)場合にブリーディング量は少なくなる。

単位水量と分離低減剤量の交互作用としては単位水量の大きい(180kg/m³)場合に、分離低減剤量を多く(0.2%)することによりブリーディング量は少なくなる。

なお、水セメント比30%のコンクリートは、単位水量の大小にかかわらず、いずれもブリーディング水の発生はみられなかった。

(3) 材齢1日圧縮強度試験結果

水セメント比60%および45%のコンクリートにおける材齢1日強度に及ぼす要因効果を図-3(a), (b), (c)に示す。

材齢1日強度は、水セメント比と単位水量の主効果に、危険率1%で有意差がみられ、分離低減剤量の主効果に、危険率5%で有意差がみられた。主効果の影響としては、水セメント比が小さく(45%)、単位水量が大きく(180kg/m³)、

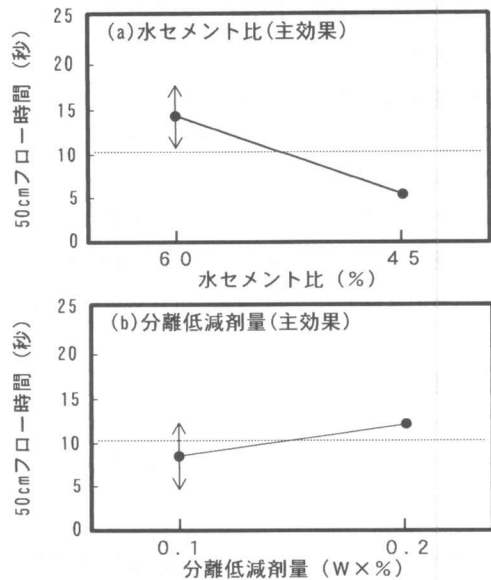


図-1 50cmフロー時間に及ぼす水セメント比と分離低減剤量の影響

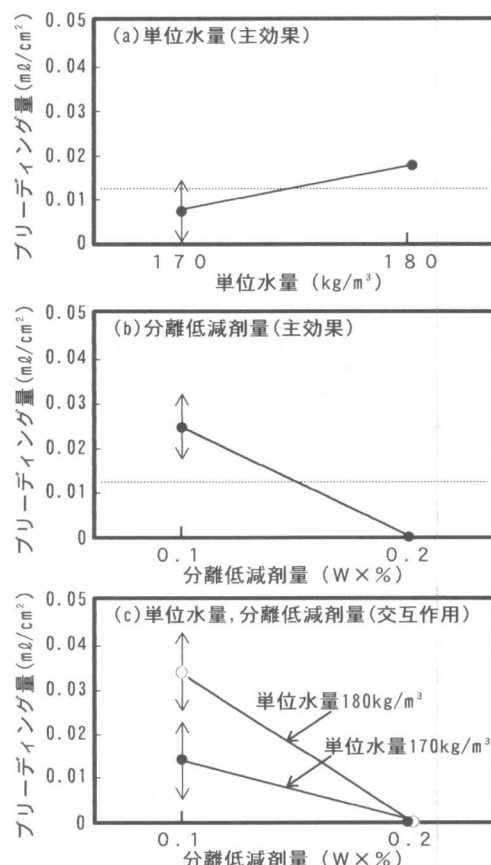


図-2 ブリーディング量に及ぼす単位水量と分離低減剤量の影響

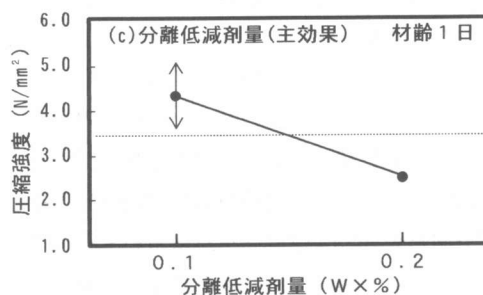
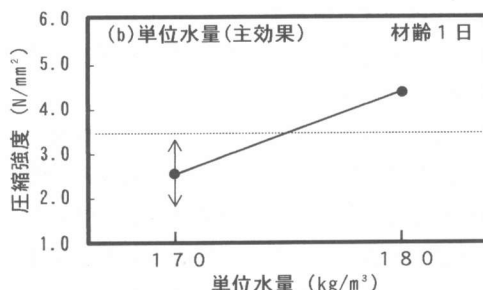
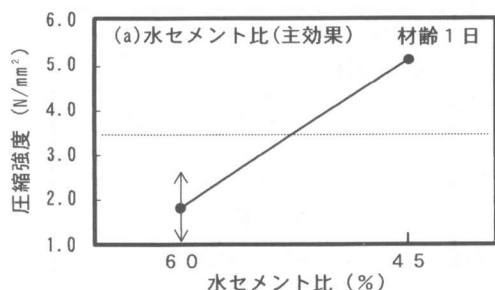


図-3 材齢1日強度に及ぼす水セメント比と単位水量および分離低減剤量の影響

分離低減剤量が少ない(0.1%)場合に材齢1日強度は大きくなる。

これは、高性能A E減水剤量の多少による凝結時間の違いが起因したものと考えられる。

水セメント比30%のコンクリートは、単位水量の大小にかかわらず、材齢1日強度に大差はみられなかった。

シリーズIの実験結果より、シリーズIIのコンクリート実験に用いる各水セメント比のコンクリートの単位水量および分離低減剤量の組み合わせは、以下の条件とした。

水セメント比60%および45%のコンクリートは、高性能A E減水剤量に起因する凝結時間への影響を小さくするために単位水量は180kg/m³とし、ブリーディングを少なくするために分離低減剤は2倍量(単位水量に対して0.2%添加)とした。

水セメント比30%のコンクリートは、単位水量の大小にかかわらず材齢1日強度に大差がなく、かつブリーディング水の発生がないことから、単位水量は170kg/m³とし、分離低減剤量は標準量(単位水量に対して0.1%添加)とした。

なお、水セメント比60%のコンクリートについては、スランプフローの目標値を50±5cmとした。

4.2 シリーズII

(1) スランプフロー試験結果

水セメント比45%および30%のコンクリートは、いずれも目標スランプフローを満足し、シリーズIにおける実験の再現となった。一方、水セメント比60%のコンクリートについては、シリーズIに比べ、スランプフローは幾分小さい結果となった。

(2) 50cmフロー時間

50cmフロー時間は、フレッシュコンクリートの変形速度を表す簡易指標として利用されている。水セメント比45%および30%のコンクリートにおける50cmフロー時間は、それぞれ8.2秒および5.5秒(スランプフロー50cm速度として3.7cm/秒および5.4cm/秒)となり、既往の室内実験および実施工において目標とした管理値内となった[4]。

(3) Vロート試験結果

水セメント比45%および30%のコンクリートにおけるVロート流下時間は、それぞれ15.7秒および12.5秒(相対ロート速度比として0.64および0.80)となった。

高流動コンクリートの充填性の評価に関する一指標として、Vロート試験における相対ロート速度比は、0.5~1.0と示されており[5]、本実験結果はその範囲内となった。

(4) 圧縮強度試験結果

セメント水比と材齢28日における圧縮強度の関係を図-4に示す。

養生温度条件にかかわらず、セメント水比と圧縮強度は直線関係を示した。本実験の10℃低温養生における材齢28日の圧縮強度は、標準養生時の約9割程度となり、養生温度による影響は、それほど大きくない結果となった[6]。

(5) 長さ変化試験結果

長さ変化試験による試験結果を図-5に示す。

保存期間90日における各コンクリートの乾燥収縮率は、 5.4×10^{-4} ~ 6.4×10^{-4} となり、JASS 5『高流動コンクリートの材料・調査・製造・施工指針(案)・同解説』に示された6か月において 8×10^{-4} 以下の目標値を満足するものと考えられる。

なお、水セメント比60%の乾燥収縮率がやや大きくなったことについては、高性能A E減水剤量が大きく異なったことが一因と考えられる。

5. まとめ

本実験結果より得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 微生物系の分離低減剤を使用することは、ブリーディングを低減するために有効な手段である。
 - (2) 単位水量と分離低減剤量には交互作用がみられ、単位水量が大きい場合に分離低減剤量を多くすることにより、ブリーディングは低減できる。
 - (3) 分離低減剤量は、流動性を確保するために使用する高性能A E減水剤量に影響を及ぼすため水セメント比別に単位水量の選定と併せたコンクリート調合条件を検討する必要がある。
 - (4) 適正な単位水量と分離低減剤量の組み合わせにて実施した、水セメント比45%ならびに30%のフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの性状は良好であった。
- 今後は、さらに微生物系の分離低減剤を使用した高流動コンクリートの特性を確認し、実機試験結果との関連性を把握した後、コンクリートの調合条件を選定していく予定である。

【参考文献】

- [1] 飛坂 基夫：低水セメント比コンクリートのフレッシュ時における物性，セメント技術年報41，pp. 261~264，1987
- [2] 友澤 史紀，野口 貴文，小野山 貫造，清水 昭之，榊田 佳寛，浜田 勝：各種高流動コンクリートの流動性および硬化後の性質に関する実験的研究，超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集，pp. 47~54，1993. 5
- [3] 坂田 昇，伊藤 宏一，若松 岳，小澤 一雅，岡村 甫：フレッシュコンクリートの充填性評価のためのロート試験，土木学会第47回年次学術講演会概要集 V-268，pp. 566~567，1992. 9
- [4] 土木学会：高流動コンクリートに関する技術の現状と課題，pp. 97~105，1996
- [5] 岡村 甫，前浦 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，pp. 35~47，1993
- [6] 瀬古 繁喜，和泉 意昇志，井上 和政：高炉セメントB種のみを結合材として用いた高流動コンクリートの硬化物性について，超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集，pp. 175~180，1993. 5

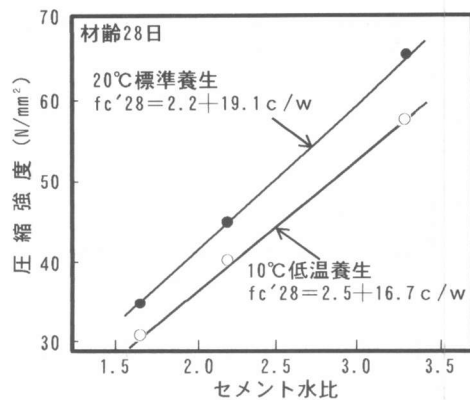


図-4 セメント水比と圧縮強度の関係

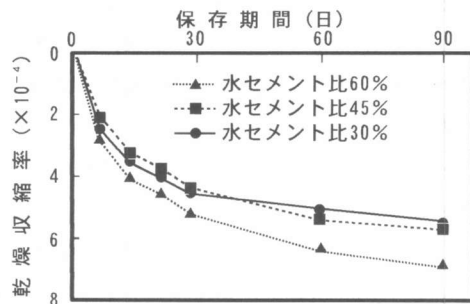


図-5 長さ変化試験結果