

論文 中流動コンクリートの調合法に関する実験的研究

小山田 英弘*1・松藤 泰典*2・小山 智幸*3・赤松 壘*4

要旨：本研究は、プラントで製造管理が容易に行える「スランプ 18cm 以上かつスランプフロー 50cm 以下のコンクリート」を中流動コンクリートとして定義し、材料分離を生ぜず、締固め作業を軽微なレベルに抑え、型枠の隅々に充填することが可能な中流動コンクリートの製造方法の確立を目的とする。調合方法及び各種物性について実験を行った結果、中流動コンクリートは普通コンクリートと比較してわずかな混和剤量の増量で必要十分な流動性を有し、現有設備での製造が容易に行えることを確認した。

キーワード：中流動コンクリート、スランプ、スランプフロー、充填性

1. 序

近年、建築構造設計上の複雑化や、労働者の高齢化の進行に伴い、流動性が高く、施工性の良いコンクリートに対する要望が高まり、自己充填性を有する高流動コンクリートに関する研究、開発が盛んに行われ実用化された。

一般に高流動コンクリートを採用する理由としては、省力化、施工欠陥の減少、高施工能率による工期短縮、騒音防止などの項目が挙げられるが、従来のコンクリートと比較すると、高性能 AE 減水剤を多量に使用するほか、各種の粉体材料や分離低減剤などを使用する機会が多いため、その製造及び品質管理には高い技術力が要求される。また、現在のところ、一部の工事を除いては従来のコンクリートと経済的に競合できず、一般に普及するには至っていない。

従って、普通コンクリートと高流動コンクリートの中間に位置する領域のコンクリートの必要性は高い。この領域のコンクリートとしては、高性能 AE 減水剤と分離低減剤や粉体材料との併用により、高流動コンクリートのやや流動性の小さいコンクリートとした梶田らの研究を始

め、ここ数年行われ始めてきている^{1),2),3),4)}。

筆者らは、普通コンクリートの規格と高流動コンクリートの規格の中間に位置する領域のコンクリートを中流動コンクリートと定義し、調合及び物性に関する実験を行ってきた^{5),6)}。中流動コンクリートは、普通コンクリートを基準として、混和剤の添加量をコントロールすることで、若干の振動締固めは必要とするものの、十分な流動性、充填性を有すること、かつ現有設備で容易に製造、品質管理が行えることを目標としている。

本報告は、中流動コンクリートの概念、調合方法の検討及び物性に関して行った実験についてまとめたものである。

2. 中流動コンクリートの概念

現在建築で使用されているコンクリートは、「日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」(以下 JASS5)において普通コンクリートはスランプ 18cm 以下、高流動コンクリートはスランプフロー 50cm 以上 70cm 以下と規定されている。即ち普通コンク

*1 九州大学助手 大学院人間環境学研究院 (正会員)

*2 九州大学教授 大学院人間環境学研究院 工博 (正会員)

*3 九州大学助教授 大学院人間環境学研究院 工博 (正会員)

*4 東広島市都市部都市整備課 工修

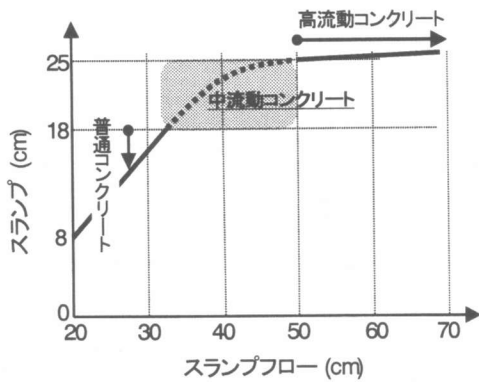


図-1 中流動コンクリートの概念

リートはスランブで、高流動コンクリートはスランブフローで定義されている。両者の間の未定義領域、つまりスランブ 18cm 以上かつスランブフロー 50cm 以下の領域に該当するコンクリートが中流動コンクリートである。中流動コンクリートの概念を図-1 に示す。

3. 実験概要

3.1 使用材料

使用材料及びその物性を表-1 に示す。

3.2 試験項目及び試験方法

中流動コンクリートはプラントでの製造管理が容易に行えることを目的としているため、調合は普通コンクリートの延長として以下に示す条件で行った。

表-1 使用材料

材料	種類	物性	記号
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.15g/cm ³ 比表面積:3260cm ² /g	C
水	上水道水		W
細骨材	玄界灘産海砂	表乾密度:2.58g/cm ³ 最大寸法:5mm 実積率:65.2%	S
粗骨材	福岡県古賀産硬質砂岩	表乾密度:2.73g/cm ³ 最大寸法:20mm 実積率:58.8%	G
混和剤	AE減水剤	オキシカルボン酸系	Ex
	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系(通常タイプ)	SP-A
		ポリカルボン酸系(分離低減タイプ)	SP-B
高流動コンクリート用増粘剤(分離低減剤)	水溶性セルロースエーテル系	SCA	
混和材	高炉スラグ微粉末	比表面積:4000cm ² /g	B

①普通コンクリートを基準とする。

②高性能 AE 減水剤の使用量によりスランブ値及びスランブフロー値をコントロールする。

③単位水量の上限値は 185kg/m³ とする。

実験は、始めに、水セメント比 60%、単位水量 180kg/m³、170kg/m³ の 2 種類の普通コンクリートを基準とし、高性能 AE 減水剤の種類並びにその添加量を調節することで、調合に関する実験を行った。なお、材料分離の対策として細骨材率の調節及び分離低減剤の使用量の調節を行った(実験 I)。次に、材料分離対策として高炉スラグ微粉末を外割で置換した中流動コンクリートについて、品質管理の基準となる物性試験を行った(実験 II)。さらに、水セメント比を 45%、50%、55%とした中流動コンクリートについて実験 II と同じ物性試験を行った。またこのうち単位水量 180kg/m³ の試料について、充填性の評価を行った(実験 III)。

試験項目を表-2 に、調合及びフレッシュ時の試験結果を表-3 に示す。なお、目標空気量はいずれの実験においても 4.5±1.0%とした。

実験 III の充填性の評価は、テーブルバイブレータを使用し、加振回数を変化させた実験で行った。試験体はφ10×20cm の型枠に突き固め等の外力を加えずに試料を投入し、加振回数を 1~6 回とした各 6 本の試料を採取した。なお 1 回の振動時間は、実際に振動する時間がほぼ 1 秒となるようにした。加振回数の異なるそれぞれの試験体の質量をフレッシュ時及び材齢 1 日で測定し、密度を測定した。なお、振動機は振幅 0.8mm 回転数 2800r.p.m. のテーブルバイブレータを使用した。

表-2 試験項目

スランブ	JIS A 1101
スランブフロー	JASS 5 T-503
空気量	JIS A 1128
圧縮強度	JIS A 1108 (材齢28日、標準水中養生)
ブリーディング	JIS A 1123
乾燥収縮	JIS A 1129 (コンタクトゲージ法)

4. 実験結果及び考察

4.1 調合に関する実験（実験Ⅰ，実験Ⅱ）

図-2は中流動化に伴うスランプスランプフローの変化を表したものである。

単位水量 180kg/m³ 程度の中流動コンクリートの製造を目的としたものは、単位水量が比較的多いことから、AE 減水剤を通常タイプの高性能 AE 減水剤に置換し、その添加量を増量しただけでは、流動性は増加するものの材料分離が生じることが確認できた。細骨材率の増加に

より分離は軽減されるものの、完全には防止できなかった。さらに高流動コンクリート用増粘剤（分離低減剤）を添加した調合では良好な中流動コンクリートが得られた。AE 減水剤を分離低減タイプの高性能 AE 減水剤に置換した場合も、高性能 AE 減水剤の増量のみでの調合の変化では分離が生じたが、分離低減剤の添加により、やや分離の状態となり、さらに細骨材率を増加させたところ、目標とする領域にコントロールすることができた。

表-3 調合及びフレッシュ性状

実験	種類	調合記号	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)						混和剤		スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー(cm)	目視観察		
					W	C	S	G	B	SCA	添加量(Cx%)	種類					
I	中	普 A-1	60	46.3	180	300	807	993	-	-	0.20	Ex	18.0	35.0	●		
		A-2		46.3			807	993	-	-	0.75	SP-A	19.5	42.5	×		
		A-3		46.3					-	0.2	0.75	SP-A	20.5	45.5	●		
		A-4		50.0		180	300	870	925	-	-	0.75	SP-A	21.0	43.5	▲	
		A-5		46.3					-	-	0.75	SP-B	20.5	47.5	×		
		A-6		46.3				807	993	-	0.2	0.75	SP-B	23.0	48.5	▲	
		A-7		50.0				870	925	-	-	0.75	SP-B	21.5	41.5	●	
	中	普 B-1	60	46.6	170	284	829	1009	-	-	0.50	SP-A	18.0	35.5	●		
		B-2		46.6					-	-	0.75	SP-A	20.5	41.0	●		
		B-3		46.6			829	1009	-	-	1.00	SP-A	19.0	40.0	▲		
		B-4		46.6					-	0.2	1.00	SP-A	20.5	39.0	●		
		B-5		50.0		170	284	890	945	-	-	1.00	SP-A	20.0	39.0	●	
		B-6		46.6					-	-	0.75	SP-B	21.0	40.5	●		
		B-7		46.6			829	1009	-	-	1.00	SP-B	20.0	43.0	×		
		B-8		46.6					-	0.2	1.00	SP-B	21.0	40.0	●		
		B-9		50.0			890	945	-	-	1.00	SP-B	21.0	40.5	●		
		II	中	A-8	60	50.0	180	300	870	925	-	-	1.25	SP-A	21.5	44.5	●
				A-9		50.0					-	-	1.25	SP-B	22.5	41.0	●
A-10				45.6			783	993	27	-	1.00	SP-A	20.5	44.0	●		
A-11				45.6					27	-	1.00	SP-B	21.0	41.5	●		
A-12				44.7					60	-	1.00	SP-A	23.0	47.0	▲		
A-13				44.7			754	993	60	-	1.00	SP-B	21.5	44.5	●		
中	B-10		60	50.0	170	284	890	945	-	-	1.25	SP-A	20.0	39.0	●		
	B-11			50.0					-	-	1.25	SP-B	21.5	40.0	●		
	B-12			45.9					25	-	1.00	SP-A	19.5	37.0	●		
	B-13			45.9			807	1009	25	-	1.00	SP-B	20.0	38.5	●		
	B-14			45.1					56	-	1.00	SP-A	21.0	41.0	●		
	B-15			45.1			780	1009	56	-	1.00	SP-B	20.0	38.5	●		
	III		普 A-14	55	47.2	180	327	817	971	-	-	0.50	Ex	19.5	33.0	●	
			中 A-15		50.7			877	907	-	-	1.40	SP-A	22.5	40.5	●	
			普 A-16	50	46.4	180	360	792	971	-	-	0.50	Ex	19.0	29.0	●	
中 A-17			49.9			851	908	-	-	1.20	SP-A	21.0	37.0	●			
普 A-18		45	45.3	180	400	758	971	-	-	0.50	Ex	17.0	24.0	●			
中 A-19			48.8			816	909	-	-	1.10	SP-A	22.5	40.0	●			
普 B-16		55	47.5	170	309	843	986	-	-	1.30	SP-A	17.0	26.0	●			
中 B-17			51.8			918	906	-	-	2.40	SP-A	21.0	38.5	▲			
普 B-18		50	46.8	170	340	817	986	-	-	1.20	SP-A	17.0	31.0	●			
中 B-19			51.1			892	908	-	-	1.90	SP-A	21.5	45.0	●			
普 B-20		45	45.8	170	378	786	986	-	-	1.00	SP-A	17.5	27.5	▲			
中 B-21			50.1			860	909	-	-	1.60	SP-A	22.0	35.5	●			

記号：Ⅰ：実験Ⅰ，Ⅱ：実験Ⅱ，Ⅲ：実験，普：普通コンクリート，中：中流動コンクリート，

●：良好 ▲：やや分離 ×：分離

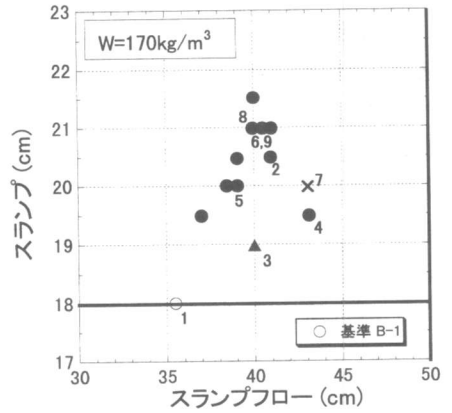
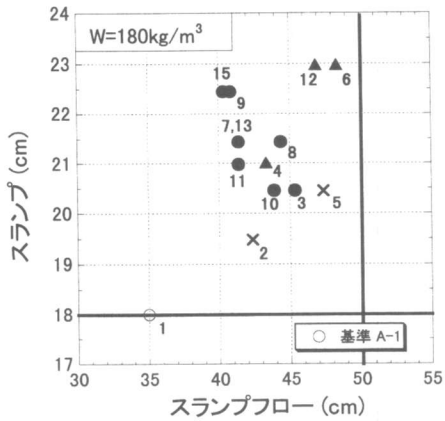


図-2 スランプ-スランプフロー関係

このように単位水量が比較的多い場合には、全体的に粘性が不足する傾向にあるが、高性能 AE 減水剤や細骨材率を適切に調節することによって、中流動コンクリートが得られた。また、使用した高性能 AE 減水剤の量はセメントに対して 0.75% 程度、コンクリート 1m³ 当たりでは約 2.2kg と、通常の高流動コンクリートに対してかなり少なく、中流動化によるコスト上昇は小さいものと予想される。

次に、単位水量 170kg/m³ 程度の中流動コンクリートの製造を目的としたものは、単位水量が比較的小さい場合であるが、高性能 AE 減水

剤の添加量及び、細骨材率の調節により中流動化が可能なが分かる。また単位水量が 180kg/m³ の場合と異なり分離低減剤は必ずしも必要ではないことが確認された。

4.2 物性に関する実験（実験Ⅱ，実験Ⅲ）

図-3 に材齢 28 日の圧縮強度試験結果を示す。水セメント比 60% の場合の普通コンクリートと中流動コンクリートの圧縮強度の比較では、中流動コンクリートの圧縮強度は、やや低下したがこれは空気量が多かった（6.0% 程度）ことによるものであると考えられる。水セメント比 45%、50%、55% とした普通コンクリート

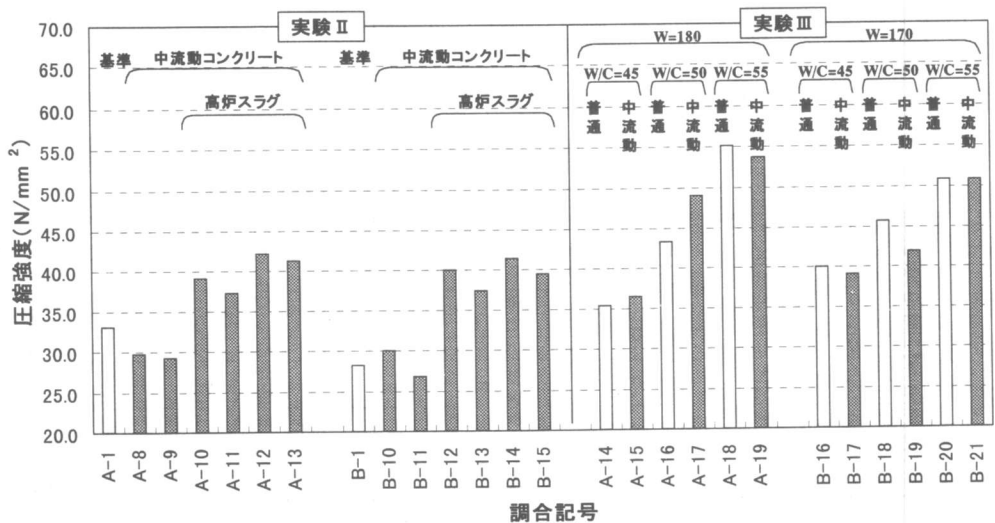


図-3 圧縮強度試験結果

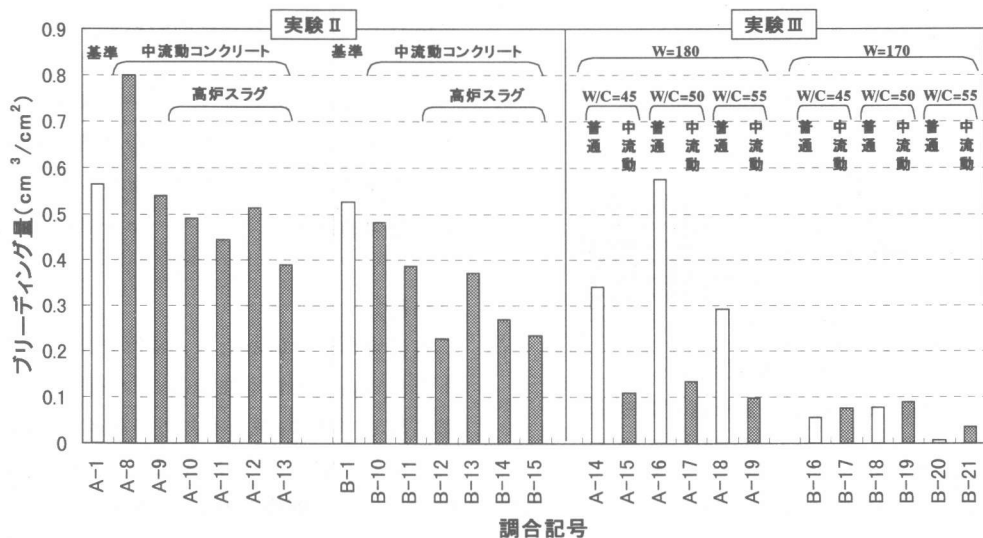


図-4 プリーディング試験結果

と中流動コンクリートの圧縮強度の比較では、両者に明確な差は認められない。したがって、圧縮強度においては、中流動化よりもむしろ空気量の変化により差が生じる場合があり、空気量を管理することで、普通コンクリートと同様の調合設計が適用できると考えられる。

図-4 にプリーディング試験の結果を示す。図より分離傾向のやや大きい単位水量 180kg/m^3 の調合において、中流動コンクリートの方がプリーディング量が多い場合が生じたが、全体的に同程度か少なくなった。また高炉スラグ微粉末を添加した調合においてはこの傾向がより顕

著であった。水セメント比 45%、50%、55% とした普通コンクリートと中流動コンクリートの比較では、単位水量 180kg/m^3 の調合においては、中流動化に伴い著しい減少傾向が認められる。単位水量 170kg/m^3 の調合においては、僅かにプリーディング量は増加しているが、基準値を大きく下回っていることがわかる。これらのことから、中流動コンクリートは普通コンクリートと比較して、材料分離抵抗性は高いことが推察される。

図-5 は、材齢 1 年時における普通コンクリートと中流動コンクリートの長さ変化率を示す。

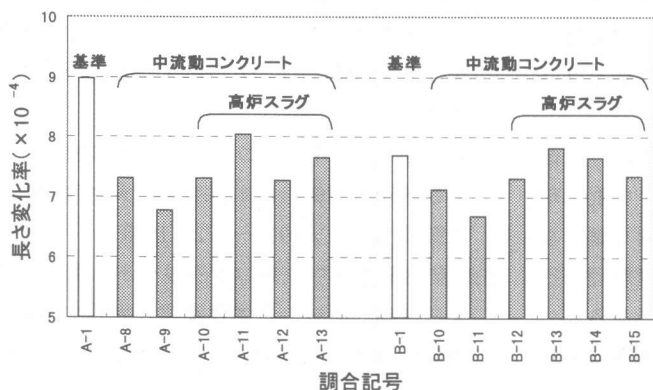


図-5 乾燥収縮試験結果

図より、中流動コンクリートの長さ変化率は普通コンクリートと比較して同程度か若干小さくなることが確認できた。

4.3 充填性に関する実験

図-6 にテーブルバイブレータを用いた締固めに伴う密度の変化を示す。同図は、振動を 1 回与えた後の密度を 0 とし、密度の変化がほぼ安定する振動 6 回後の密度を 1 として、その間の密度の変化と加振回数の関係をプロットした

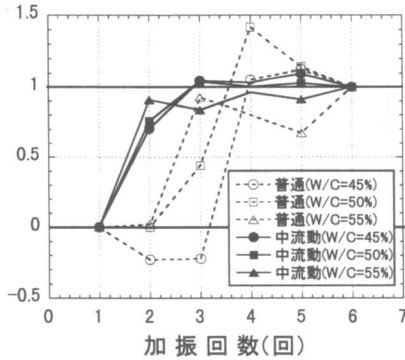


図-6 振動による密度の変化

ものである。これにより、締固めに伴う密実性の向上を評価するものとする。ここで、試験体により若干のばらつきはあるものの、変化が安定する加振回数6回時における密度は、空気量試験の際の単位容積質量とほぼ同じであった。図より、中流動コンクリートは、いずれも加振回数3回で密度の変化は安定しているが、普通コンクリートは水セメント比55%を除き、加振回数4回で安定していることが分かる。即ち、中流動コンクリートは流動性が高いため普通コンクリートよりも、少ない振動で密度の変化は安定し、中流動コンクリートが充填性に優れていることが確認された。

5. まとめ

普通コンクリートの規格と高流動コンクリートの規格の中間に位置する未定義領域のコンクリートを中流動コンクリートと定義し、調査方法、物性試験、及び充填性に関する実験を行った。結果をまとめると以下のようになる。

- ①細骨材量の調節、高炉スラグ微粉末、分離低減剤の添加により、普通コンクリートの混和剤の添加量を僅かに増量することで材料分離のない、かつ現有設備で容易に製造、品質管理が行える中流動コンクリートが製造可能である。
- ②普通コンクリートと比較して、圧縮強度に差はなく、ブリーディング量、乾燥収縮率はいずれも同程度かあるいは若干小さくなるといえる。
- ③中流動コンクリートは、普通コンクリートと

比較して、少ない振動締固めにより充填できるといえる。

このように中流動コンクリートは優れた流動性、コストパフォーマンス、製造及び品質管理面で普通コンクリートと高流動コンクリートの利点を兼ね備えたコンクリートであるといえる。

【謝辞】

本研究の遂行にあたり、福岡県生コンクリート工業組合、(株)竹本油脂の協力を得ました。実験に際しては、九州大学文部技官津賀山健次氏、及び本学大学院生宮田淳仁氏(現(株)鹿島建設)、田才繁氏(現(株)鹿島建設)、稲富敬氏の協力を得ました。末尾ながら記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 梶田佳寛他：準高流動コンクリートに関する実験的研究 その1～その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp.975～978, 1997
- 2) 梶田佳寛他：分離低減剤を用いた準高流動コンクリートの調合と諸性質, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.361～366, 1998
- 3) 安田正雪他：準高流動コンクリートの振動締固め方法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.415～420, 1999
- 4) 末岡英二他：振動を受けた中流動コンクリートの基礎性状について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.427～432, 1999
- 5) 松藤泰典他：中流動コンクリートの製造に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(A-1), pp.971～972, 1998
- 6) 松藤泰典他：中流動コンクリートの製造に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(A-1), pp.389～392, 1999