

準高流動コンクリートの基本配合に関する研究

小松 誠児* 井戸 勇二**
 田中 英紀* 大村 隆一郎*
 藤原 敏弘* 瀬尾 正幸*

要 旨

振動締固めを必要としない、自己充填性を有する高流動コンクリートが開発され、当社としての実績も積み重ねている。しかし、高流動コンクリートは自己充填性を確保するために粉体量や混和剤添加量が多くなる上に、製造から打設終了まで煩雑な品質管理を実施する必要があるため、製造コストが普通コンクリートと比べて割高になることが指摘されている。そこで近年、補助的に加振を行うことで高流動コンクリートと同等の充填性能を有する、「準高流動コンクリート」が提案され研究がなされている¹⁾²⁾。

本研究では、準高流動コンクリートの開発、基本配合の確立を目的とし、様々な配合のコンクリートについて単位量、混和剤などの変動要因が充填性能に及ぼす影響を検討した。その結果、スランブフローが400～500mm程度の、流動性、充填性ともに優れた性能を有する配合が確認できた。

1. まえがき

近年、スランブフローが500～700mmで自己充填性を有する高流動コンクリートは、建築学会や土木学会において施工指針が作成され、振動締固めが困難または不可能な箇所への打設に適用されている。また、高流動コンクリートは振動締固めが不要であるため、施工上の欠陥が生じにくいという利点もある。しかし、製造においては煩雑で厳しい品質管理体制が必要であり、配合上は粉体量が多くなるため、普通コンクリートと比較してコストが割高となる。そこで、「自己充填性は期待しないが、普通コンクリートより流動性に優れる」より安価で製造や品質管理が簡易なコンクリートの出現が期待され、研究がなされている。このコンクリートは現時点においては公的に定められた名称が無く、「準高流動コンクリート」、「中流動コンクリート」、「充填コンクリート」等、それぞれの研究期間、使用目的によって様々であるが、ここでは「準高流動コンクリート」と呼ぶこととする。このコンクリートの性能としては「スランブフロー400mm～500mm、スランブ23cm程度、自己充填性は無いが僅かな締固め作業で確実に充填できる。」というものである。また、JIS規格

のスランブ21cmと土木・建築両学会で定義されている高流動コンクリートとの中間のフレッシュ性状に位置し、高流動コンクリートと普通コンクリートのそれぞれの利点を生かせるものと考えられる。

本実験では準高流動コンクリート開発の第一段階として、様々な配合の準高流動コンクリートに関して単位量や混和剤の変化がフレッシュ性状におよぼす影響を確認した。また間隙通過性試験(U形容器)を利用し、加振による充填性能についても検討を加えた。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表-1に使用材料を示す。細骨材は山砂と砕砂を、体積比で50:50に混合した。高性能減水剤SP-B及びCは、ポリエーテル系(ポリカルボン酸タイプ)の高性能減水剤と少量の増粘性分(セルロース誘導体)を含有した一液型高性能減水剤である。なお、SP-CはSP-Bの粘性を増加したタイプである。

2.2 配合

検討配合を表-2に示す。高流動コンクリートの種類

表 - 1 使用材料

材料名		種類・仕様
普通ポルトランドセメント		比重3.16
細骨材	山砂	福島県広野町産、表乾比重2.57、吸水率1.44%、洗い損失2.13%、粗粒率2.83
	砕砂	福島県新地町産、表乾比重2.63、吸水率2.03%、洗い損失4.57%、粗粒率2.94
粗骨材	砕石(2005)	福島県新地町産、表乾比重2.71、吸水率0.70%、洗い損失1.04%、粗粒率6.55
高性能AE減水剤	SP-A	カルボキシル基含有ポリエーテル系(ポリカルボン酸タイプ)
高性能減水剤	SP-B	一液型高性能減水剤
	SP-C	一液型高性能減水剤(粘性増加タイプ)
AE剤	-	アニオン系界面活性剤

* 技術研究所 ** 東京支社

表 - 2 検討配合

種類	記号	W/C (%)	単体量					高性能(AE)減水剤種類
			水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	高性能(AE)減水剤 (kg/m ³)	A E 剤 AE(kg/m ³)	
粉体系 準高流動 コンクリート	S-1	43.8	175	400	0.36	2.80	0.016	SP-A
	S-2	43.8	175	400	0.34	3.00	0.012	
	S-3	43.8	175	400	0.32	3.00	0.012	
	S-4	43.8	165	377	0.34	3.39	0.011	
	S-5	41.3	165	400	0.34	3.60	0.012	
	S-6	41.3	175	424	0.34	2.97	0.013	
増粘剤系 準高流動 コンクリート	V -1	50.0	175	350	0.36	2.98	0.014	SP-B
	V -2	50.0	175	350	0.34	3.15	0.014	
	V -3	50.0	175	350	0.32	3.33	0.011	
	V -4	50.0	165	330	0.34	3.63	0.013	
	V -5	47.1	165	350	0.34	3.85	0.014	
	V -6	47.1	175	372	0.34	3.35	0.015	
	V -1	50.0	175	350	0.36	4.20	0.025	SP-C
	V -2	50.0	175	350	0.34	4.55	0.007	
	V -3	50.0	175	350	0.32	4.73	0.014	
	V -4	50.0	165	330	0.34	5.28	0.026	
	V -5	47.1	165	350	0.34	5.25	0.021	
	V -6	47.1	175	372	0.34	4.46	0.022	

としては、粉体を多量に使用し材料分離抵抗性を確保するもの(粉体系) 増粘剤(分離低減剤)を使用し材料分離抵抗性を確保するもの(増粘剤系) その両者の効果を併用したもの(併用系)がある。本実験では粉体系、及び増粘剤系の高流動コンクリートに着目し、これを基に準高流動コンクリートの配合を検討することとした。高流動コンクリートが割高となる原因の1つに、使用する粉体量が多くなることが挙げられる。そこで今回の配合では、粉体量をできるだけ少なくし、かつ材料分離抵抗性を確保することを目標とした。具体的な項目としては、以下の通りである。

単位セメント量を少なくする。

単位粗骨材量を大きくする。

単位水量を少なくする。

また、増粘剤系の場合は練混ぜ作業時の増粘剤投入時間が不可欠だが、今回はSP-B及びCといった増粘成分含有の一液性高性能減水剤を使用し、省力化を果たしている。

目標管理値は、スランプ23cm程度、スランプフロー450 ± 50mm、空気量4.5 ± 1.5%とした。

2.3 実験方法

コンクリートの練混ぜは、強制二軸練りミキサ(容量100ℓ)を用いて行い、練混ぜ90分後まで表-3に示す試験項目について、フレッシュ性状を確認した。なお、練混ぜ量は1バッチあたり70ℓとし、環境温度は20 ± 3とした。

また、練混ぜ30分後に、振動締固めを実施した際の充填性能の確認を以下に示す実験要領で実施した。実験に

表 - 3 試験項目と試験方法

試験・測定項目	試験・測定方法
スランプ	JISA1101
スランプフロー	土木学会高流動コンクリート施工指針 土木学会規準(案) B法
空気量	土木学会高流動コンクリート施工指針 土木学会規準(案) B法

表 - 4 棒形振動機仕様

項目	仕様
型式	EBF28N
製造元	林製作所
外径(mm)	28
振動数(VPM)	12000 - 13000
出力(W)	220

は流動障害R2を設置したU形充填試験器を使用した。図-1に概略図を示す。

A室にコンクリートを投入する。ここで突き棒による突きや叩き等を行わないで、A室の上端まで連続的に流し込むようにする。上面をこてでならした後、そのまま1分間静置する。

仕切りゲートを一気に開き、コンクリートが流動障害を通過しながらB室に流動し、停止するまで静置する。その時点でのB室下端からコンクリート上面までの高さを測り、これを初期充填高さとする。

棒形振動機(表-4参照)を先端から200mm、A室内のコンクリート中に挿入する。加振を開始し、同時に加振時間とB室の充填高さを測定する。なお、棒形振動機は常にコンクリート中に、200mm挿入された状態で加

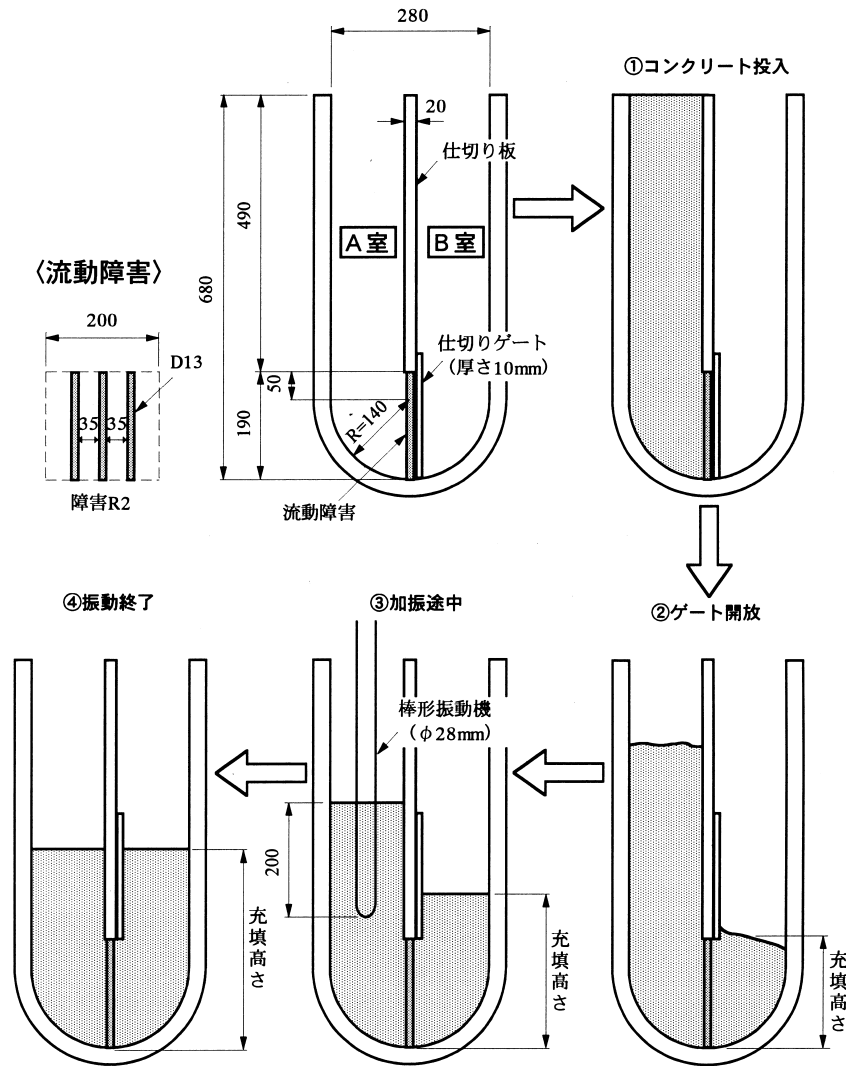


図 - 1 充填性能確認実験概要図

振を継続する。

加振はA室とB室が同じ高さになるまで行う。

加振に要した時間が短いほど、振動締め固めによる充填性能が優れていると判断できる。

3. 実験結果及び考察

3.1 粉体系準高流動コンクリート

図 - 2 に粉体系準高流動コンクリートのスランブフロー経時変化と充填性能確認実験の結果を示す。

スランブフローに関して目標管理値(450 ± 50mm)がほぼ90分間にわたって得られていることがわかる。ただし、いずれの配合においてもスランブフローは経時で緩やかに減少する傾向を示し、配合の違いによる顕著な変化は確認できなかった。

充填性能確認実験では、配合の違いにより異なる結果が得られた。以下に各変動要因における適量を検討した。

単位粗骨材量の変化について、S-1、2、3を比較すると、単位粗骨材量0.34m³/m³のS-2の充填性能が最も良好であった。

単位水量の変化について、S-2、5を比較すると単位水量の多い配合であるS-2(W=175kg/m³)の方が充填性能が良好であった。

単位セメント量の変化について、S-2、6を比較すると、単位セメント量の少ない配合であるS-2(C=400kg/m³)の方が、加振に対する充填性能が優れている結果となった。

以上の検討結果から、今回の粉体系準高流動コンクリートの配合においては単位水量175kg/m³、単位セメン

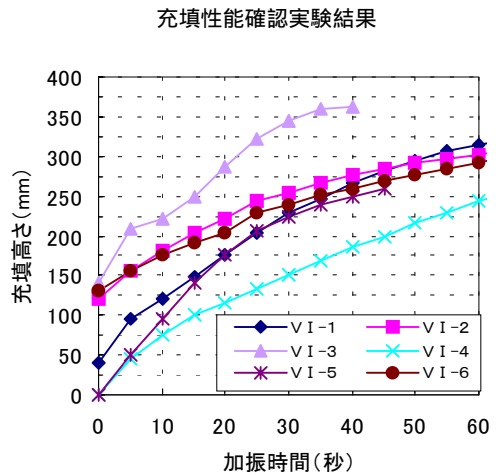
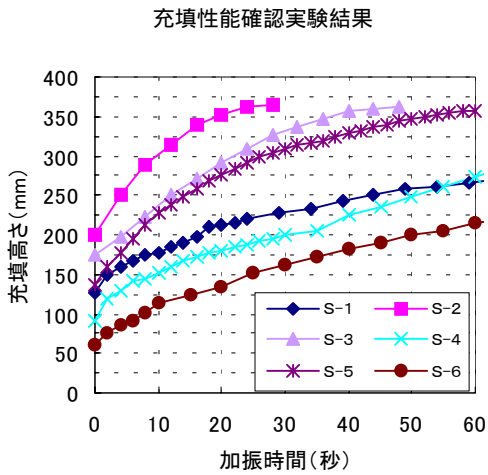
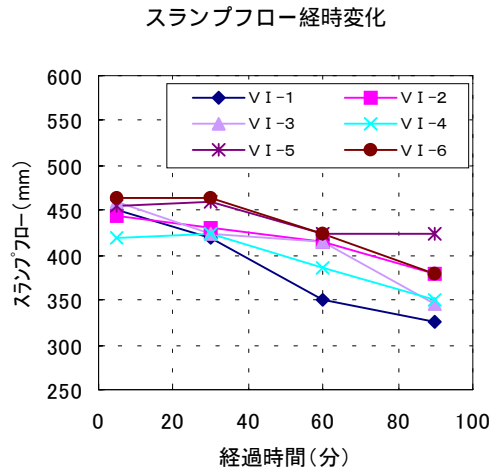
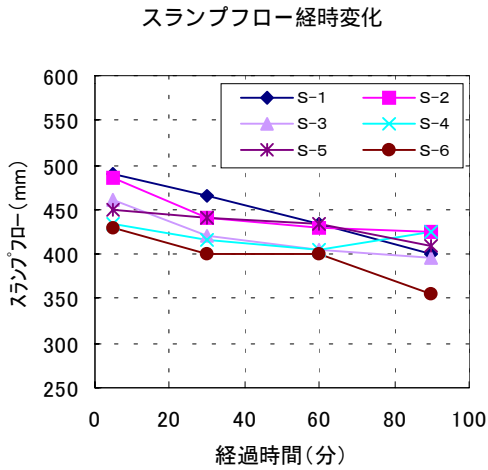


図 - 2 粉体系準高流動コンクリート

図 - 3 増粘剤系準高流動コンクリート (SP-B 使用)

ト量 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位粗骨材量 $0.34\text{m}^3/\text{m}^3$ の S-2 が最適配合であると考えられる。

3.2 増粘剤系準高流動コンクリート (SP-B 使用)

図 - 3 に SP-B を使用した増粘剤系準高流動コンクリートのスランプフロー経時変化と、充填性能確認実験の結果を示す。

90 分を通じて、スランプフローの目標管理値を満足する性能を保持できたのは、1 配合のみであった。スランプフローは経時で低下する傾向にあり、配合要因の変動による明確な違いは確認できなかった。

充填性能確認実験結果に関して、以下に各変動要因における適量を検討した。

単位粗骨材量の変化について、VI-1、2、3 を比較すると、粗骨材量が最も少ない配合である VI-3 ($\text{VG}=0.32\text{m}^3/\text{m}^3$) の加振による充填性能が良好であった。

単位水量の変化について、VI-2、5 を比較すると加振後 30 秒以降はほぼ同様の挙動であるが、加振前の充填高さは VI-2 の方が大きい。単位水量の多い VI-2 ($W=175\text{kg}/\text{m}^3$) の方がやや充填性能があると思われる。VI-2、6 の比較から、単位セメント量の変動が充填性能におよぼす影響は見られない。

以上の検討結果から、SP-B を使用した、増粘剤系準高流動コンクリートの配合においては、単位水量 $175\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位粗骨材量 $0.32\text{m}^3/\text{m}^3$ の VI-3 が最適配合であると考えられる。

3.3 増粘剤系準高流動コンクリート (SP-C 使用)

図 - 4 に SP-C を使用した増粘剤系準高流動コンクリートのスランプフロー経時変化と、充填性能確認実験の結果を示す。

スランプフローの経時変化には、配合要因の変動によ

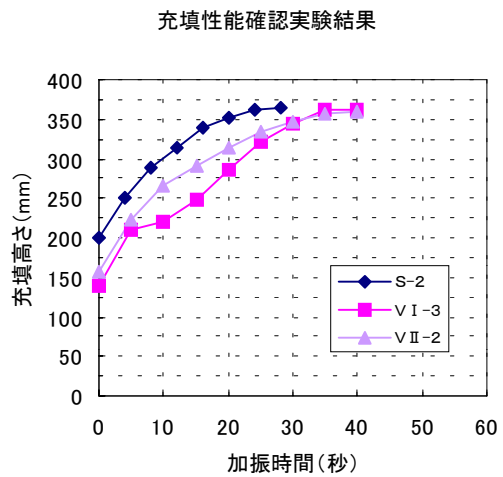
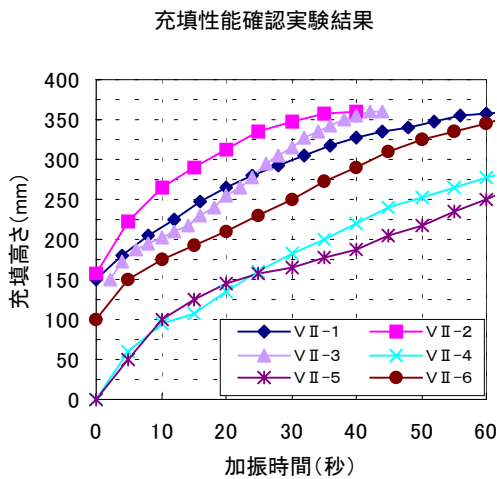
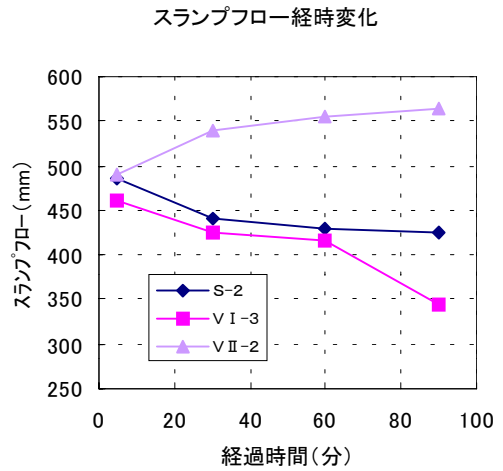
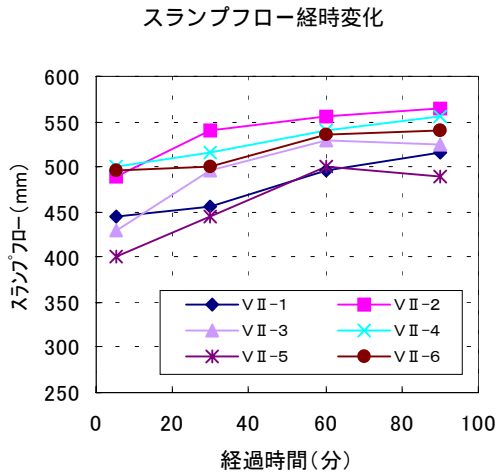


図 - 4 増粘剤系準高流動コンクリート (SP-C使用)

図 - 5 3種類の準高流動コンクリートの比較

る明確な違いは見受けられない。いずれの配合においても、経時で大きくスランプフロー値が増加し、SP-Bを使用した増粘剤系準高流動コンクリートのスランプフロー値と逆の結果となった。SP-CはBよりも増粘性分が多く、練混ぜ直後のスランプフローを管理値内に収めるためには、高性能減水剤量をSP-B使用時よりも多くする必要があった。このため、時間の経過とともにスランプフロー値が増加する傾向を示したと考えられる。

充填性能確認実験結果に関して、以下に各変動要因における適量を検討した。

単位粗骨材量の変化について、VII-1、2、3を比較すると、粗骨材量が最も少ない配合であるVII-2 ($V_G=0.34\text{m}^3/\text{m}^3$)の加振による充填性能が優れていた。単位水量の変化について、VII-2、5を比較すると、単位水量の多い配合であるVII-2 ($W=175\text{kg}/\text{m}^3$)の方が充填性

能が良好であった。

単位セメント量の変化について、VII-2、6を比較すると、単位セメント量の少ない配合であるVII-2 ($C=350\text{kg}/\text{m}^3$)の方が、加振に対する充填性能が優れている結果となった。

以上のことから、SP-Cを使用した、増粘剤系準高流動コンクリートにおいては単位水量 $175\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位セメント量 $350\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位粗骨材量 $0.34\text{m}^3/\text{m}^3$ のVII-2が最適配合であると考えられる。

3.4 3種類の準高流動コンクリートの比較

図 - 5 に3種類の準高流動コンクリートのそれぞれから選出してきた配合について、スランプフロー経時変化、及び充填性能確認実験の結果を比較したものを示す。

スランプフローの経時変化に関して、練り混ぜ直後から3配合それぞれに異なる挙動を示す。すなわち、粉体系

の場合は緩やかに減少し、SP-Bを使用した増粘剤系の場合は、大きく減少する。またSP-Cを使用した増粘剤系の場合は、大きく上昇する。但し、今回設定したスランブフローの目標管理値である450 ± 50mmを経時90分にわたり満足するのは粉体系のものだけであった。

充填性能確認実験結果について比較すると、3種類の配合の間に顕著な違いは見られない。

今回の配合の選出に当たっては、準高流動コンクリートの特徴、すなわち「僅かな振動締固めにより高流動コンクリートと同等の充填性能を得る。」という点に、より着目している。3種類の準高流動コンクリートから選出されてきた配合は、スランブフローの保持性能よりも充填性能を、より重視した結果であり、このため、スランブフロー経時変化に大きな違いが現れる結果となった。以上のことから今回の配合においては、より安定したフレッシュ性状(スランブフロー値)といえる粉体系のS-2が、準高流動コンクリートとして優れた配合であったと考えられる。

3.5 単位量の比較

本実験における準高流動コンクリートの配合について、JIS規格のスランブ21cm配合の普通コンクリート及び、一般的な粉体系高流動コンクリートのそれと比較すると表-5のようになる。スランブ21cmの普通コンクリートと比較してみると、単位水量、粗骨材絶対容積は同程度であるが、単位セメント量が63kg/m³増加している。著しく充填性能は向上するものの、普通コンクリートよりコストがやや割高となることが予想できる。高流動コンクリートを比較してみると、単位水量、単位粗骨材量は同程度であるが、単位セメント量が100 ~ 200kg/m³程度の低減が可能となった。振動締固めの手間は増すが、高流動コンクリートより、コストが割安となることが期待できる。

表 - 5 単位量の比較³⁾

種類	水	セメント	粗骨材
単位	kg/m ³	kg/m ³	m ³ /m ³
普通コンクリート(JIS SL=21cm)	175	337	0.36
準高流動コンクリート(S-2)	175	400	0.34
高流動コンクリート(粉体系)	155~175	500~600	0.28~0.33

3.6 加振による充填性能評価について

本実験においては、U形容器による間隙通過性試験を基に、充填性能確認実験を実施し準高流動コンクリートの加振による充填性能の評価を試みた。今回は、A室とB室の高さが同じになるまでに要する時間を計測したが、30秒以上の長時間加振を行うと材料が分離する傾向が見られた。ゆえに、この評価方法によるとき、準高流動コンクリートは加振開始から30秒以内に、A室とB室の高さが同じになることが求められる。今回の実験結果を見ると、そのためには加振前の初期充填高さが100 ~ 200mm程度必要で、かつ加振直後の充填高さの伸びが、大きいことが必要であると考えられる。

4.まとめ

- (1) スランブフローが400 ~ 500mm程度の、流動性、充填性ともに優れた性能を有する配合が確認できた。
- (2) 今回の配合に関して、準高流動コンクリートは高流動コンクリートに比べて単位セメント量を低減させることができる。
- (3) 今回の配合においては、粉体系の方が増粘剤系よりもフレッシュ性状が良好であった。
- (4) 準高流動コンクリートは短時間の加振により高流動コンクリートに匹敵する充填性能を発現するが、加振がコンクリートの性状におよぼす影響度を詳細に調査する必要がある。また、振動締固めによる充填性能の評価方法に関しても、検討が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 榊田佳寛ほか：準高流動コンクリートの基礎研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp975 ~ 978、1998
- 2) 安田正雪ほか：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、pp415 ~ 420、1999
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー 93、高流動コンクリート施工指針、1998.7