論文　増粘剤含有流動化剤を使用した流動化コンクリートに関する基礎的研究

岸本　豪太[*1]・濱井　洋[*2]・高淵　稔貴[*3]・安田　正雪[*1]

要旨：本研究では，増粘剤含有流動化剤を使用した流動化コンクリートの品質評価，ならびに締固めが流動化コンクリートの材料分離抵抗性や硬化性状に及ぼす影響について実験的検討を行った。その結果，目標スランプフローの範囲において流動化したコンクリートは明確な材料分離は認められず，間隙通過性についても JIS A 1160 の基準値を概ね満足する結果となった。また，流動化コンクリートの硬化性状はベースコンクリートと同等以上の性能を有することが分かった。ただし，スランプフローが目標範囲を超える場合や締固めの加振時間によっては材料分離の危険性が生じるため，適切な加振時間を設定し施工する必要性がある。

キーワード：流動化コンクリート，増粘剤含有流動化剤，締固め，材料分離，硬化性状

1. はじめに

高流動コンクリートは過密配筋部や締固めが困難な部材の施工，作業の省力化等を目的にこれまで研究開発が進められており，近年では増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用し粉体量を低減した，普通強度領域の高流動コンクリートが普及し始めている[1),2)]。

建築工事ではこれまで JIS A 5308 の呼び強度 45 までの普通コンクリートにスランプフローで管理する製品が規定されていないため，レディーミクストコンクリート工場（以下，生コン工場）で製造する製品は建築基準法第 37 条の国土交通大臣認定を取得する必要があった。しかしながら 2019 年に JIS A 5308 が改定され，スランプフローで管理するコンクリートが呼び強度 27～45 の普通強度領域まで拡大されたことにより，今後この種のコンクリートの更なる使用拡大が期待される。

一方で，スランプフローで管理する普通強度領域のコンクリート，（以下，SFL コン）の JIS 認証を取得している生コン工場は現状少なく，建築現場においては SFL コンを容易に使用できないのが実態である。そのため，建築現場において SFL コン相当のものを使用する方法として，JIS 製品であるスランプ管理のコンクリートを施工者の責任において現場で流動化する方法が現状における最も実用的な手法と考えられ，様々な検討が行われてきている[3),4)]。JIS 製品であるスランプ管理のコンクリートを流動化した場合は，同じ呼び強度およびスランプフローの SFL コンよりも粗骨材量が多くなることが想定されるため，高流動コンクリートにおいて重要な流動性，間隙通過性，材料分離抵抗性への影響が懸念される。

また，SFL コンは従来の締固めを必要としないスランプフロー60cm 程度の高強度領域の高流動コンクリートとは異なり，スランプフローが 50cm 程度のコンクリートも含まれるため締固めを必要とする場合が考えられる。また，スランプフロー50cm 以上のコンクリートであっても，立上り部や開口部周りの未充填，まき込み空気の除去等を考慮し，若干の締固めを行う必要性が想定され，これらの場合には締固めによる材料分離抵抗性への影響も懸念される。

近年では日本建設業連合会[例えば 5)]や土木学会の委員会（以下，358 委員会）[6)]において SFL コンの品質評価や施工性の検討が行われており，SFL コンの配（調）合設計・施工技術に関する知見が整備されてきているが，流動化コンクリートに関する知見は少ない。

そこで本研究では，室内試験により現場添加型の流動化コンクリートを想定し，スランプ管理のコンクリートに増粘剤含有流動化剤を後添加したスランプフローで管理する流動化コンクリートの品質について，締固めの影響も考慮して評価するとともに，流動化前のコンクリートとの比較検討も行った。

2. 実験概要

2.1 実験ケース

表－1 に実験ケースを示す。実験は呼び強度 30，36 および 42 相当の，スランプ 18cm および 21cm のコンクリート（以下，ベースコンクリート）に増粘剤含有流動化

表－1　実験ケース

呼び強度相当	ベース		流動化後		流動化剤
	スランプ (cm)	空気量 (%)	スランプフロー(mm)	空気量 (%)	
30	18±2.5	4.5±1.5	500±75	4.5±1.5	VSP-F-A VSP-F-B
36	21±2.0		550±75		
42	21±2.0		600±100		

*1 東洋建設（株）　総合技術研究所　美浦研究所　(正会員)
*2 大末建設（株）　生産管理部
*3 東洋建設（株）　総合技術研究所　美浦研究所

剤を後添加し，目標スランプフローの範囲に流動化し各試験を行った。目標スランプフローの範囲設定は，呼び強度 30，36 および 42 相当の配（調）合でそれぞれ 500±75mm，550±75mm および 600±100mm とした。

スランプフローは各呼び強度ごとに設定範囲の下限，中央，上限を目標値とし 3 水準のスランプフローのコンクリートを作製した。なお，流動化剤は A 社および B 社の 2 種類を使用した。

2.2 使用材料，配（調）合および練混ぜ方法

表－2 に使用材料を，**表－3** にコンクリートの配（調）合を示す。流動化剤には増粘剤含有流動化剤を使用し，ベースコンクリートの混和剤は使用する流動化剤と同一メーカーのものを使用した。呼び強度 30 相当の配（調）合では AE 減水剤高機能タイプを，呼び強度 36 および 42 相当の配（調）合では高性能 AE 減水剤を使用した。

練混ぜには容量 100L のパン型ミキサを使用し，1 バッチの練り混ぜ量は 100L とした。はじめに細骨材・セメントを投入し，10 秒空練りした後に注水し 60 秒撹拌（呼び強度 42 相当は 90 秒），かき落としを行った後に粗骨材を投入し，さらに 90 秒（呼び強度 42 相当は 120 秒）撹拌した。

流動化剤は生コン工場からの運搬時間を想定し，練上り 30 分後に添加した。A 社製品を使用した配（調）合では流動化剤添加後 60 秒撹拌し，その後 5 分間静置した後に 15 秒練り返しを行い排出した。B 社製品を使用した配（調）合では流動化剤添加後，90 秒撹拌した後に排出した。なお，ベースコンクリートは練上り後 30 分間ミキサ内で静置した。

2.3 試験項目および方法

表－4 に試験項目および方法を示す。各試験は流動化前後で行い，粗骨材の沈下量評価試験および硬化試験はそれぞれ別バッチで練り混ぜたコンクリートで行い，流動化前の試験は練上り後 30 分に試験を行い，流動化を行わないベースコンクリートにおいても同様に試験を行った。また，乾燥収縮試験，空隙率試験および促進中性化試験は A 社製品を使用した配（調）合でのみ行った。

(1) スランプ，スランプフローおよび空気量試験

スランプ，スランプフローおよび空気量はそれぞれ JIS A 1101，JIS A 1150 および JIS A 1128 に準拠して試験を行った。なお，流動化前のフレッシュ性状は練上り 30 分後に試験を行った。

表－2　使用材料

材料名	記号	種類および物理的性質
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度 3.16g/cm^3
細骨材	S_1	陸砂：表乾密度 2.60g/cm^3，粗粒率 1.91
	S_2	砕砂：表乾密度 2.65g/cm^3，粗粒率 3.14
粗骨材	G	硬質砂岩砕石：表乾密度 2.66g/cm^3，実積率 62.0%
混和剤	Ad-A	AE 減水剤：標準形(高機能タイプ)，密度：1.04~1.12g/cm^3
	Ad-B	AE 減水剤：標準形(高機能タイプ)，密度：1.01~1.13g/cm^3
	SP-A	高性能 AE 減水剤：標準形，密度：1.02~1.10g/cm^3
	SP-B	高性能 AE 減水剤：標準形，密度：1.03~1.12g/cm^3
流動化剤	VSP-F-A	流動化剤：主成分：ポリカルボン酸系化合物と界面活性剤特殊増粘剤の複合体，密度：1.02～1.08g/cm^3
	VSP-F-B	流動化剤：主成分：ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘剤高分子化合物の複合体，密度：1.00～1.10g/cm^3

(2) J リングフロー試験

J リングフロー試験は JIS A 1159 に準拠し試験を行い，試験は流動化後に行った。リングは標準形を使用した。

(3) 粗骨材の沈下量評価試験

粗骨材残存率試験は，358 委員会で行った実験を参考に，内径 30cm，深さ 38cm 程度の円筒容器に試料を入れ，φ28，200Hz 程度のバイブレータを容器の底から 5cm 程度まで挿入し， 10 秒間加振した後，上層部から 2L 試料を取り出し，5mm のふるいを用いて洗い分析により取り出した粗骨材を表乾状態で質量を測定した。取り出した粗骨材質量を，配（調）合上の 2L 当たりの粗骨材質量で除すことで粗骨材残存率として定義して算出した。また，流動化後の粗骨材残存率をベースコンクリートの粗骨材残存率で除した値に 100 を乗じた値を，ベースコンクリートに対する粗骨材残存率として算出した。

(4) 圧縮強度および静弾性係数試験

圧縮強度および静弾性係数は 20℃60%R.H.の雰囲気で封かん養生を行った供試体で，材齢 7，28 および 91 日で JIS A 1108 および JIS A 1149 に準拠し試験を行った。

(5) 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験は，基長を 200mm とし，精度 1/1000mm のコンタクトゲージを用いて JIS A 1129-2 のコンタクト

表－3　コンクリートの配（調）合

配（調）合記号	呼び強度相当	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3) W	C	S_1	S_2	G	混和剤 種類	C×wt.%	流動化剤 種類	C×wt.%
30-A	30	49.0	44.9	183	374	543	229	958	Ad-A	1.5	VSP-F-A	0.20～0.30
30-B		49.0	44.9	183	374	543	229	958	Ad-B	1.2	VSP-F-B	0.30～0.60
36-A	36	44.0	49.0	172	391	599	252	894	SP-A	1.2	VSP-F-A	0.30～0.40
36-B		44.0	49.0	172	391	599	252	894	SP-B	1.3	VSP-F-B	0.35～0.70
42-A	42	39.0	47.4	174	447	562	237	894	SP-A	1.1	VSP-F-A	0.15～0.30
42-B		39.0	47.4	174	447	562	237	894	SP-B	1.1	VSP-F-B	0.325～0.55

ゲージ法に準拠し試験を行った。コンタクトチップは供試体の側面に取付けた。

(6) 空隙率試験

空隙率はφ150mm×h300mm の軽量型枠を使用し，材齢 28 日まで 20℃60%R.H.の雰囲気で封かん養生を行った供試体を上下方向に 3 等分にカットし，アルキメデス法 [7]を参考に上部，中部，下部についてそれぞれ空隙率を算出した。真空吸水期間は 1 週間，乾燥は 105℃で 3 日間以上行った。供試体は，型枠に試料を充填した後，締固めを行わないもの，振動台式振動機により締固めを 10 秒および 20 秒間行ったものを 3 水準作製し，締固めが供試体の上下方向の空隙率に与える影響を検討した。

(7) 促進中性化試験

促進中性化試験はφ125mm×h250mm の軽量型枠を使用し供試体を作製した。供試体は材齢 1 日に脱型後，材齢28日まで標準養生を行い，その後28日間20℃60%R.H.の雰囲気に静置した後，供試体上下面をアルミテープで覆い，20℃60%R.H.，CO_2濃度 5%の条件で促進中性化を行った。供試体は試料を型枠に充填した後，10 秒間振動台式振動機により締固めを行った。中性化深さは促進中性化期間 8 週において割裂した供試体を高さ方向に 3 分割し，それぞれ両端計 6 点の中性化深さを試験した。

3. 実験結果および考察

3.1 流動化の影響

(1) スランプフローおよび空気量

表－5 にベースコンクリートのスランプを，**図－1** に流動化剤添加率とスランプフローの関係を示す。

目標スランプフローの範囲に流動化するにはベースコンクリートのスランプフローが大きく影響し，VSP-F-A を使用した配（調）合ではベースコンクリートのスランプフローが大きかったため，少ない流動化剤の添加率で目標スランプフローの範囲に収まった。

写真－1 に SFL 上限まで流動化したコンクリートのスランプフロー試験後の写真を示す。呼び強度 30 相当の配（調）合にでは目標スランプフローの上限まで流動化しても目視による材料分離は認められなかったが，呼び

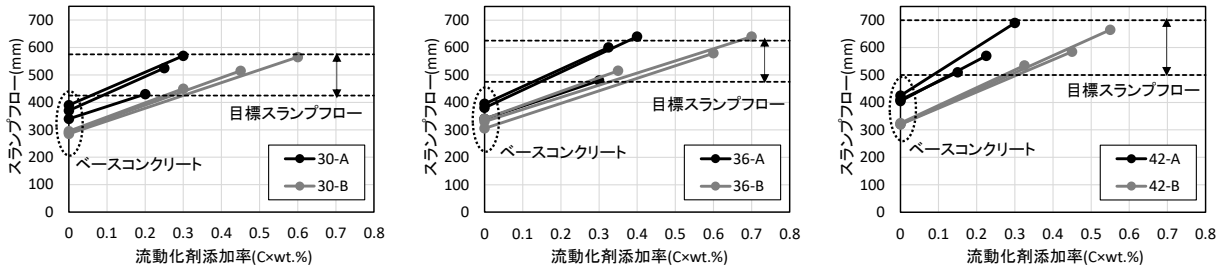
表－4　試験項目および方法

	試験項目	試験方法	流動化前		流動化後	
			A社	B社	A社	B社
フレッシュ試験	スランプ	JISA1101 準拠	○	○	－	－
	スランプフロー	JISA1150 準拠	○	○	○	○
	空気量	JISA1128 準拠	○	○	○	○
	J リングフロー	JISA1159 準拠	－	－	○	○
	粗骨材残存率	358 委員会参考	○	○	○	○
硬化試験	圧縮強度	JISA1108 準拠	○	○	○	○
	静弾性係数	JISA1149 準拠	○	○	○	○
	乾燥収縮	JISA1129-2 準拠	○	－	○	－
	空隙率	アルキメデス法	○	－	○	－
	促進中性化	JISA1153 参考	○	－	○	－

表－5　ベースコンクリートのスランプ

記号-	スランプ (cm)	記号-	スランプ (cm)	記号-	スランプ (cm)
30-A-base	20.0	36-A-base	20.5	42-A-base	21.0
30-A-0.2	20.0	36-A-0.3	21.0	42-A-0.15	22.5
30-A-0.25	20.5	36-A-0.325	21.5	42-A-0.225	22.5
30-A-0.3	20.5	36-A-0.4	21.5	42-A-0.3	22.5
30-B-base	16.5	36-B-base	21.5	42-B-base	20.0
30-B-0.3	18.0	36-B-0.35	22.5	42-B-0.325	21.5
30-B-0.45	17.5	36-B-0.6	20.5	42-B-0.45	21.0
30-B-0.6	17.5	36-B-0.7	21.5	42-B-0.55	21.0

※記号：配（調）合記号-流動化剤添加率(C×wt.%)

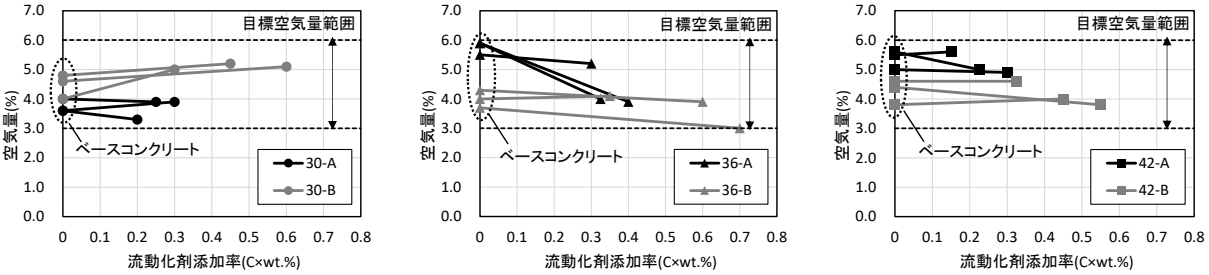


a)　呼び強度 30 相当　　b)　呼び強度 36 相当　　c)　呼び強度 42 相当

図－1　流動化剤添加率とスランプフローの関係

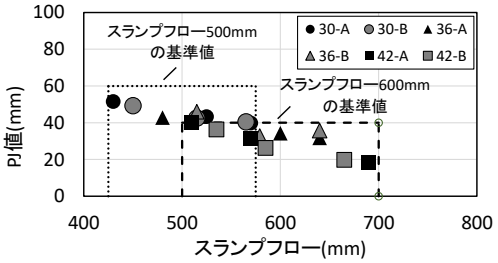
a)　30-A　流動化後(SFL 上限)　　b)　36-A　流動化後(SFL 上限)　　c)　42-A　流動化後(SFL 上限)　　d)　42-B　スランプフロー試験外周部拡大

写真－1　スランプフロー試験後の試料

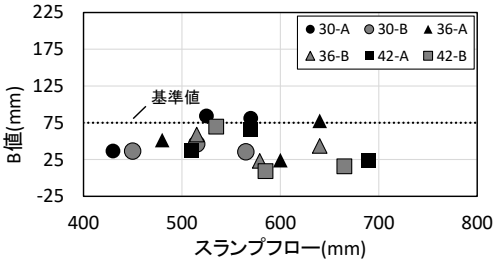


a)　呼び強度 30 相当　　b)　呼び強度 36 相当　　c)　呼び強度 42 相当

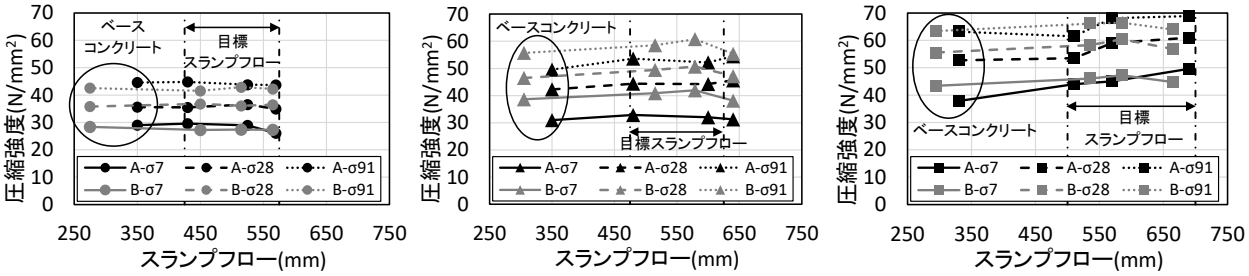
図－2　流動化剤添加率と空気量の関係



図－3　スランプフローと PJ 値の関係

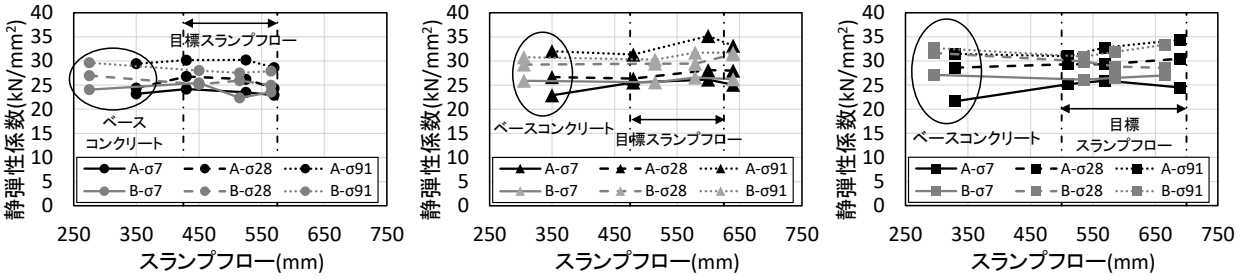


図－4　スランプフローと B 値の関係



a)　呼び強度 30 相当　　b)　呼び強度 36 相当　　c)　呼び強度 42 相当

図－5　スランプフローと圧縮強度の関係



a)　呼び強度 30 相当　　b)　呼び強度 36 相当　　c)　呼び強度 42 相当

図－6　スランプフローと静弾性係数の関係

強度 36 および 42 相当においては材料分離気味とも判定できるような状態であった。

図－2 に流動化剤添加率と空気量の関係を示す。VSP-F-A および VSP-F-B においては添加率が倍程度異なるが，目標空気量の範囲内に収まった。

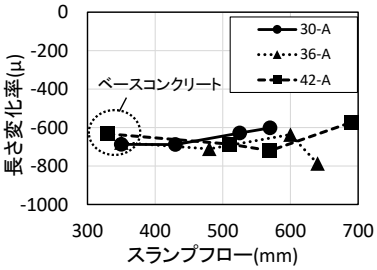
(2) 間隙通過性

図－3 にスランプフローと J リングフロー試験における PJ 値の関係を示す。スランプフローと PJ 値は相関関係が認められ，これは増粘剤含有の混和剤を使用したコンクリートにおける既往の研究 [8]と同様の傾向を示している。また，PJ 値は JIS A 1160「増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用した高流動コンクリートのワーカビリティーの評価基準」における間隙通過性の評価基準を満足した。

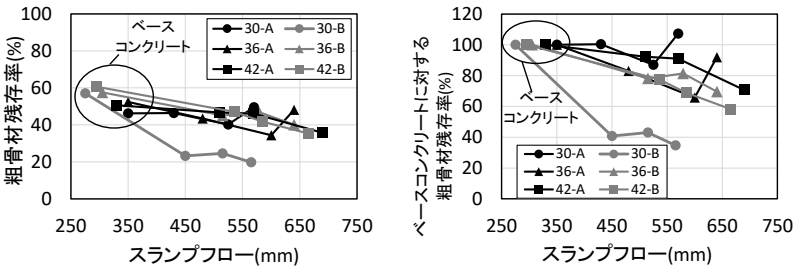
図－4 にスランプフローと J リングフロー試験における B 値の関係を示す。B 値については一部 JIS A 1160 における評価基準を上回っているものもあるが，概ね基準値を満足しており，流動化により作製したコンクリートも良好な間隙通過性を示す結果となった。基準を一部上回ったものについては，スランプフローで管理するには粗骨材量が多かったと考えられる。

(3) 圧縮強度および静弾性係数

図－5 にスランプフローと圧縮強度の関係を，**図－6** にスランプフローと静弾性係数の関係を示す。全ての配(調)合において，流動化後の圧縮強度はベースコンクリート



図－7　乾燥収縮試験の結果



a)　配（調）合に対して　　b)　ベースコンクリートに対して

図－8　スランプフローと粗骨材残存率の関係

と比べ同程度かそれ以上を示す結果となった。呼び強度 42 相当ではスランプフローの増加にともない圧縮強度が増加傾向にあるのは，流動化によりセメントの分散性が向上し，水和反応に好影響を及ぼしたものと考えられる [9]。なお，材齢にともなう強度増進については流動化による影響はみられなかった。

静弾性係数は，流動化による影響は小さいが，流動化することで若干の増加傾向を示した。

(4) 乾燥収縮

図－7 に乾燥収縮試験の結果を示す。スランプフローと乾燥期間 13 週における長さ変化率の関係をみると，流動化が乾燥収縮に及ぼす影響は小さいと考えられる。

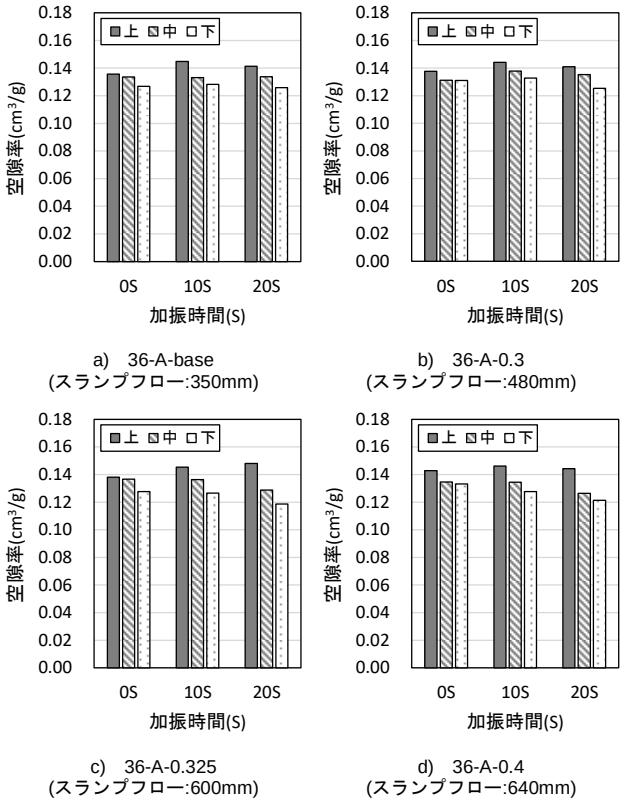
3.2 締固めの影響

(1) 締固めが材料分離抵抗性に及ぼす影響

図－8a）にスランプフローと配（調）合に対する粗骨材残存率の関係を示す。ベースコンクリートにおいても締固めにより粗骨材残存率が 60%程度まで低下したのに対し，スランプフローの増加にともない粗骨材残存率が小さくなる傾向が確認された。

図－8b）にスランプフローとベースコンクリートに対する粗骨材残存率を示す。30-B では流動化後に大きく粗骨材残存率が小さくなっているものの，他の水準についてはスランプフローを設定範囲の上限まで流動化しても，ベースコンクリートに対して概ね 60%以上の粗骨材残存率を示す結果となった。30-B はセメント量が少なく，かつ流動化剤の添加率も多くなったため，粗骨材残存率が小さくなったと考えられる。

358 委員会で行った検討 [6]では，自己充填性を有する高流動コンクリートの加振時間 0 秒における配（調）合に対する粗骨材残存率が 70%程度であったことを受け，材料分離を許容できる加振後の粗骨材残存率の目安を 70%と考察している。今回の結果はその目安を下回る結果となった。本実験では加振時間を 10 秒で一定として評価しており，上記の目安を満足させることを前提とすれば，ベースコンクリートにおいてもこの加振時間は過大であったと推察されるが，流動化コンクリートで過大に加振を行うことによりさらに粗骨材残存率は低下する傾向を示し，ベースコンクリートに対して概ね 60%以上



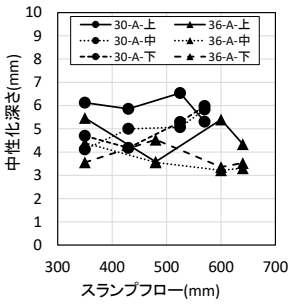
a)　36-A-base
(スランプフロー:350mm)

b)　36-A-0.3
(スランプフロー:480mm)

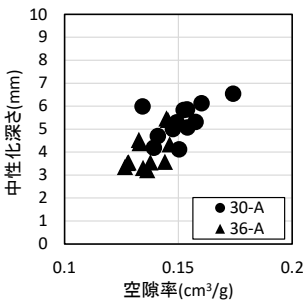
c)　36-A-0.325
(スランプフロー:600mm)

d)　36-A-0.4
(スランプフロー:640mm)

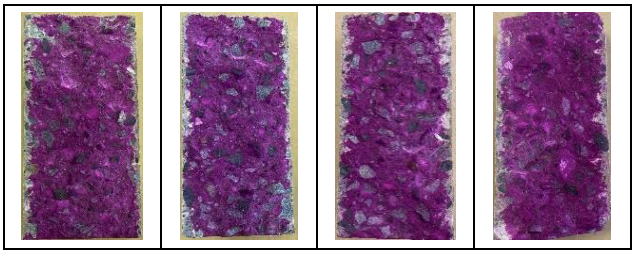
図－9　締固めが上下方向の空隙率に及ぼす影響



図－10　スランプフローと中性化深さの関係



図－11　空隙率と中性化深さの関係



写真－2　促進中性化期間 8 週の中性化深さ（30-A）

であった。スランプフローの増加にともない締固めによる材料分離の危険性が大きくなるため，施工の際には適切な加振時間を設定し，施工を行う必要があると考えられる。

(2) 締固めが硬化後の品質に及ぼす影響

図－9 に 36-A の配（調）合における，締固めによる上下方向の空隙率を示す。全てのスランプフローにおいて加振することで上部の空隙率が増加する傾向がみられた。

また，スランプフローが大きくなるにともない上部から下部にかけての空隙率の差が大きくなる傾向が認められた。これは締固めにより骨材が沈下していることが原因と考えられ，その傾向はスランプフローが大きくなることでより顕著に表れている。

図－10 にスランプフローと中性化深さの関係を，**写真－2** に促進中性化期間 8 週における中性化深さを示す。中性化は呼び強度によらず，上部において中性化が進行しやすい傾向がみられた。なお，呼び強度 42 相当は促進中性化期間 8 週では中性化の進行はみられなかった。

図－11 に空隙率試験における上部，中部，下部の空隙率とそれぞれの中性化深さの関係を示す。空隙率試験と中性化試験の供試体は，寸法および養生方法は異なるものの，空隙率の値が大きくなると中性化が進行しやすくなる傾向がみられた。

締固めが上下方向の耐久性に及ぼす影響に関しては，本実験では供試体レベルでの検討であったが，実大部材で締固めの影響がより顕著に表れる可能性が考えられるため，今後の検討が必要である。

4. まとめ

本研究では増粘剤含有流動化剤を使用した流動化コンクリートにおける品質評価および，締固めが流動化コンクリートの材料分離，硬化性状へ与える影響を検討した。以下に得られた知見を示す。

(1) 本研究で設定したスランプフローの範囲で流動化を行った結果，明確な材料分離は認められなかったものの，範囲の上限まで流動化することで材料分離気味の判定を得る可能性がある。

(2) J リングフロー試験における間隙通過性の評価は設定スランプフローの範囲においては SFL コンの基準値を概ね満足する。

(3) 流動化が圧縮強度および静弾性係数へ及ぼす影響は小さかった。

(4) 締固めを行う場合，加振時間によっては材料分離が生じる恐れがあるため，適切な加振時間を設定する必要がある。

(5) 締固めにより上下方向の空隙率は上部が大きくなり，その傾向はスランプフローの増大にともない大きくなる。

(6) 締固めによる上下方向の空隙率の差が生じ，空隙率が大きくなることで中性化が進行しやすくなる傾向がみられた。

謝辞

本研究の実施にあたり，（株）フローリック，ポゾリスソリューションズ（株）の多大なるご協力をいただきました。ここに深謝の意を表します。

参考文献

1) 小泉信一：増粘剤含有高性能 AE 減水剤を用いた高流動コンクリートの現状，GBRC，Vol.42，No.1，2017.1

2) 古川雄太，大岡督尚，五十嵐浩行，阿合延明：増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を用いた高流動コンクリートの諸性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，2014，pp.1432-1437

3) 赤星博仁，伊藤敦，河野政典：高炉セメントを用いた現場添加型高流動コンクリートの適用　その 1 実機実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp799-800，2018.9

4) 伊藤敦，赤星博仁，河野政典：高炉セメントを用いた現場添加型高流動コンクリートの適用　その 2 実機実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp801-802，2018.9

5) （例えば）河野政典，梅本宗宏，宮野和樹，金森誠治，神代泰道，依田和久：高流動性コンクリートの材料分離抵抗性の評価に関する研究　その 1　全体概要とフェーズ 1 材料分離抵抗性試験のスクリーニング実験の概要，日本建築学会大会学術講演梗概集. Pp767-768，2018.9

6) コンクリート技術シリーズ，締固めを必要とする高流動コンクリートの配（調）合設計・施工技術研究小委員会（358 委員会）委員会報告集，土木学会，2020

7) セメント・コンクリート化学　解説付きデータ集，一般社団法人セメント協会，2016.6，pp.245

8) 小泉信一，鈴木澄江，鹿毛忠継，桝田佳寛：増粘剤含有高性能 AE 減水剤使用した高流動コンクリートのワーカビリティーの評価，日本建築学会技術報告集，Vol.25，No.59，pp.5-10，2019.2

9) 松尾茂美，菅俣匠：超高強度コンクリート用高性能 AE 減水剤，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp891-892，1995.