論文　増粘型流動化剤を用いた流動化コンクリートの各種性状

小河俊博[*1]・齋藤　賢[*2]・神代泰道[*3]・一瀬賢一[*4]

要旨：新たに開発した増粘型流動化剤を用いてスランプフロー60cm を目標とした高い流動性を有する流動化コンクリートを対象として，ベースコンクリートの調合条件が流動化コンクリートの各種性状に及ぼす影響について実験的に検討した。その結果，ベースコンクリートのスランプを 15cm 以下とした場合，流動化剤の添加量の増加に伴う凝結遅延，ブリーディング量が増大すること，充填性を向上するにはベースコンクリートの単位粗骨材かさ容積を適切に設定すること，水セメント比が小さい方が経時に伴うスランプフローのロスが小さいこと，圧縮強度，乾燥収縮は流動化による大きな差異はないことが分かった。

キーワード：流動化コンクリート，増粘成分，流動化剤，スランプ，スランプフロー

1. はじめに

近年，増粘型高性能 AE 減水剤がトンネル覆工用のコンクリートに適用されている [1)]。増粘型高性能 AE 減水剤 [2)]は予め増粘剤成分を高性能 AE 減水剤に混合することでセメント量を増大させることなく，コンクリートに流動性と材料分離抵抗性を付与できることから，今後もさらに普及するものと思われる。一方でコンクリートの練混ぜ時ではなく，スランプで管理されたコンクリートに対して現場で添加して高い流動性のコンクリートが製造できれば，施工条件や打込み部位に応じてコンクリートの流動性を適切に設定でき，施工の自由度が広がる [3)]。そこで，増粘成分を含有した増粘型流動化剤を開発し，従来の流動化コンクリートよりも流動性を高めた流動化コンクリートについて各種性状を確認した。

2. 本研究における流動化コンクリート

日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」によれば流動化コンクリートのスランプは，調合管理強度が 33N/mm^2 未満の場合 21cm，33N/mm^2 以上の場合 23cm である。実際のコンクリート工事における過密配筋や締固めが困難な箇所においては，これまでの流動化コンクリートでは流動性が小さく，さらに流動化後のスランプの低下が大きいため，適用が難しい。このためスランプフローで管理される中流動あるいは高流動コンクリートが望まれる。本研究においては多糖類と曳糸性を有する水溶性ポリマーの 2 種類の増粘成分と分散剤（ポリカルボン酸系）を組み合わせた増粘型の流動化剤を新たに開発した。従来の流動化コンクリートより高い流動性と材料分離抵抗性を付与できる。本研究では，流動化後の目標スランプフローを 60cm とした高い流動性を有する流動化コンクリートについて，ベースコンクリートのスランプ，単位粗骨材かさ容積（以下，かさ容積），水セメント比（以下，W/C）などの調合条件が流動化後のコンクリートのフレッシュ性状，凝結時間，ブリーディング量，圧縮強度，乾燥収縮率などの各種性状に及ぼす影響について実験的に検討した。

3. 実験概要

3.1 コンクリートの調合

コンクリートの使用材料を**表－１**に示す。セメントは普通ポルトランドセメント，細骨材は陸砂，粗骨材は硬質砂岩，化学混和剤は AE 減水剤（以下，AE），高性能 AE 減水剤（以下，SP）および増粘成分を含有した流動化剤（以下，VSP）を用いた。ベースコンクリートの調合を**表－２**に示す。スランプ，かさ容積および W/C を調合条件とし，調合 No.1～5 は W/C=50%一定として，スランプを 8～21cm とした。スランプ 15cm までは AE，スランプ 18cm 以上は SP を用いた。

表－１　コンクリート使用材料

種類	記号	概要
ｾﾒﾝﾄ	C	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ，密度 3.16 g /cm^3
細骨材	S	陸砂，表乾密度 2.61g/cm^3，FM 2.66
粗骨材	G	硬質砂岩砕石，表乾密度 2.65g/cm^3 FM 6.78，実積率 58.8%
水	W	上水道
化学混和剤	AE	AE 減水剤
	SP	高性能 AE 減水剤
	VSP	増粘成分含有流動化剤

*1　日本シーカ株式会社　技術研究所　基盤技術グループ　（正会員）
*2　同　技術研究所　基盤技術グループ　マネージャー　博（工）　（正会員）
*3　（株）大林組　技術研究所　生産技術研究部　主任研究員　博（工）　（正会員）
*4　同　技術研究所　生産技術研究部　部長　博（工）　（正会員）

表－２　コンクリート調合

No.	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	かさ容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)				添加率(C×%)		
						水 W	ｾﾒﾝﾄ C	細骨材 S	粗骨材 G	AE	SP	VSP
1	8	50	4.5	46.3	0.650	160	320	838	988	0.50	－	2.00
2	12	50	4.5	46.4	0.625	165	330	830	975	0.60	－	1.70
3	15	50	4.5	47.9	0.600	170	340	846	935	0.60	－	1.50
4	18	50	4.5	50.1	0.575	170	340	885	896	－	1.20	0.60
5	21	50	4.5	51.7	0.550	175	350	903	856	－	1.15	0.70
6	18	50	4.5	54.4	0.525	170	340	960	819	－	1.30	0.60
7	18	50	4.5	45.6	0.625	170	340	806	975	－	1.00	0.60
8	18	45	4.5	49.2	0.575	170	378	853	896	－	1.00	0.75
9	18	40	4.5	48.1	0.575	170	425	817	896	－	1.00	0.50

また, 調合 No.4, No.6 および No.7 は, スランプ 18cm, W/C=50%として，かさ容積を 0.575，0.525 および 0.625 m^3/m^3 とした。調合 No.4，No.8 および No.9 はスランプ 18cm ，かさ容積を 0.575 m^3/m^3 として W/C を 50%，45% および 40%とした。流動化後のスランプフローは 60±7.5cm，空気量は 4.5±1.5%を目標とした。コンクリートの練混ぜは室内用 2 軸強制練りミキサーを用い，セメント・骨材を投入後 10 秒間空練りを行い，水・化学混和剤を投入してから 90 秒間練り混ぜた。流動化コンクリートの製造はベースコンクリートの注水から 15 分後に一旦ミキサー内へ戻してから流動化剤を添加し，90 秒間練り混ぜて排出した。

3.2　試験項目

フレッシュコンクリートの試験項目を**表－３**に示す。フレッシュコンクリートの試験はスランプ，スランプフロー，O ロート流下試験，U 形充填試験(障害ランク 2)，空気量について行った。流動化後 30 分，60 分および 90 分で経時に伴うスランプフロー，O ロート流下時間，空気量の変化を確認した。硬化過程として凝結試験，ブリーディング試験を実施し，硬化コンクリートの性状として圧縮強度，静弾性係数，長さ変化の測定を実施した。試料は採取後 20±3℃, 相対湿度 60±5%の環境で脱型まで保存した。

4.　実験結果

4.1　フレッシュコンクリートの試験結果

ベースおよび流動化コンクリートのフレッシュコンクリートの試験結果を**表－４**に示す。

(1) 流動化剤の添加率とスランプフロー増大量の関係

所要のスランプフローを得る為の流動化剤の添加率を**図－１**に示す。ベースコンクリートに AE を使用してスランプを 8～15cm とした調合 No.1～No.3 については，添加率は 1.5～2.0%であった。一方 SP を使用してスランプ 18 および 21cm とした調合 No.4～No.9 の添加率は 0.5～0.75%であり，AE を使用した場合に比べ少なくなった。

流動化剤 C×0.1%に対するスランプフローの増大量を**図－２**に示す。ベースコンクリートに AE を使用した調合 No.1～No.3 のスランプフローの増大量は 1.9～2.6cm であった。一方 SP を使用した No.4～No.9 の増大量は 3.1～6.9cm であり，SP を使用した場合の方が AE を使用した場合に比べスランプフローの増大量は大きい傾向であった。以上のことからベースコンクリートに AE を用いた場合は， SP を用いた場合よりも流動化剤の添加率は大きくなることが分かった。

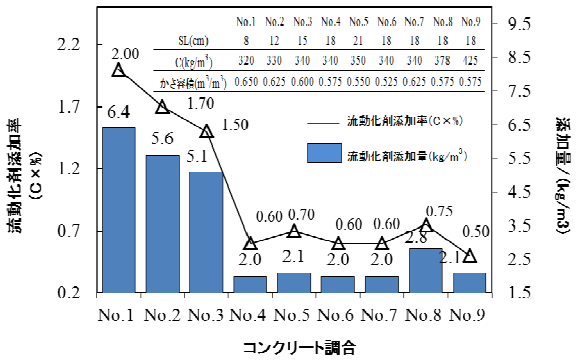
表－３　コンクリートの試験項目

分類	項目	試験方法	備考
ﾌﾚｯｼｭ ｺﾝｸﾘｰﾄ	ｽﾗﾝﾌﾟ	JISA 1101	±2.5cm
	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ	JISA 1150	60±7.5cm
	分離抵抗性	目視	
	O ロート	JSCE-F512	
	U 形充填	JSCE-F511	障害 R2
	空気量	JISA 1128	4.5±1.5%
	温度	JISA1156	
硬化過程	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ	JISA1123	
	凝結試験	JISA1147	
硬化性状	圧縮強度	JISA1108	標水 7，28，91 日
	静弾性係数	JISA1149	
	長さ変化（乾燥収縮）	JISA1129	標水 7 日後，基長し乾燥開始

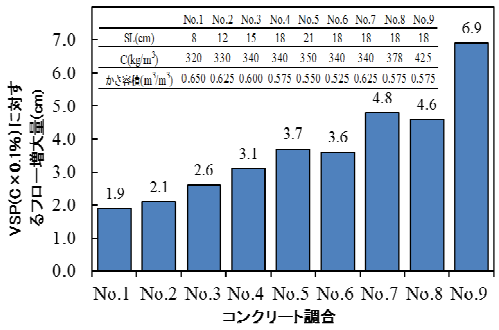
表－４　フレッシュコンクリートの試験結果

No.	分類	AE (%)	SP (%)	VSP (%)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ (cm)	ﾌﾛｰ時間※ (秒)	空気量 (%)	CT (℃)	Oﾛｰﾄ (秒)	U 形充填(cm，秒)		
											充填高さ	到達時間	充填時間
1	ベース	0.50	-	-	8.0	21.0	-/-	3.9	18	-	-	-	-
	流動化	-	-	2.00	26.0	60.0	7.4/31.1	5.3	19	12.7	28.4	-	10.6
2	ベース	0.60	-	-	12.0	23.5	-/-	5.3	19	-	-	-	-
	流動化	-	-	1.70	26.0	60.0	5.4/26.0	5.4	20	7.3	30.9	10.1	15.3
3	ベース	0.60	-	-	14.0	25.5	-	4.7	20	-	-	-	
	流動化	-	-	1.50	27.0	64.0	3.3/26.8	5.8	21	4.1	28.5	-	6.3
4	ベース	-	1.00	-	19.5	31.0	-/-	4.2	20	-	-	-	
	流動化	-	-	0.60	26.0	62.5	6.4/28.0	4.8	20	4.0	28.0	-	11.1
5	ベース	-	1.05	-	21.0	37.0	-/-	4.8	20	-	-	-	-
	流動化	-	-	0.70	27.5	67.0	4.2/31.0	5.0	21	3.7	33.6	3.4	17.5
6	ベース	-	1.30	-	20.5	38.5	-	4.8	19	-	-	-	-
	流動化	-	-	0.60	26.0	59.5	4.5/24.1	4.9	19	3.9	32.8	5.3	10.5
7	ベース	-	1.00	-	20.5	37.0	-	4.6	20	-	-	-	-
	流動化	-	-	0.60	26.5	63.5	4.1/23.8	4.3	19	10.0	28.6	10.8	17.7
8	ベース	-	1.00	-	19.5	32.0		4.9	19	-	-	-	-
	流動化	-	-	0.75	27.5	67.5	3.7/37.0	4.5	19	5.6	34.0	6.3	23.3
9	ベース	-	1.00	-	20.0	32.0	-	4.8	19	-	-	-	-
	流動化	-	-	0.50	27.5	67.0	4.3/38.9	3.0	19	5.7	34.1	4.0	8.9

※ﾌﾛｰ時間：50cm 到達時間／停止時間



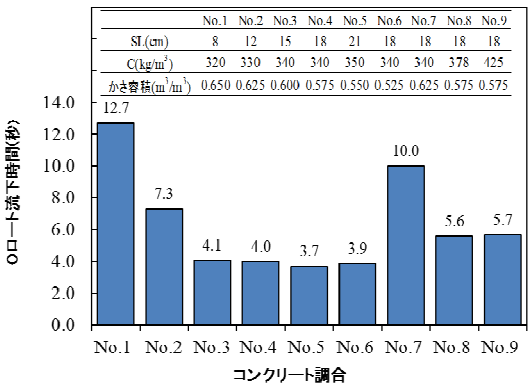
図－１　流動化剤の添加率および添加量



図－２　流動化剤　(C×0.1%) に対するフロー増大量

(2) Ｏロート流下時間

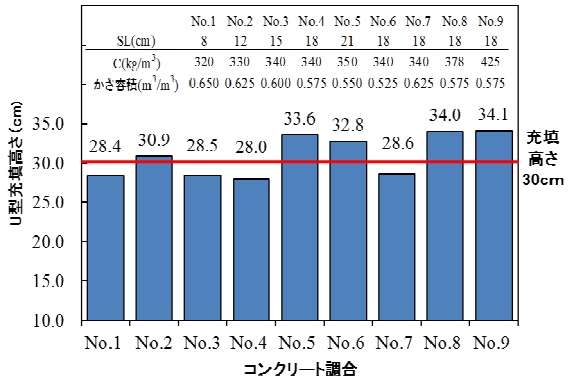
流動化コンクリートのＯロート流下時間を**図－３**に示す。W/C=50%とした調合 No.1～No.7 については，ベースコンクリートのかさ容積が大きい方が流下時間が長くなった。一方，かさ容積を 0.575 m^3/m^3 とし，W/C を変えた調合 No.4，No.8 および No.9 を比較すると，W/C が 50%から 45 もしくは 40%と低下した場合，流下時間が若干長くなり，粘性が増大する傾向であった。



図－３　Ｏロート流下試験結果

(3) U 形充填試験

U 形充填試験結果を**図－４**に示す。W/C=50%とした調合 No.1～No.7 を比較するとスランプフローが 60cm 以上であっても，かさ容積が 0.575m^3/m^3 以上となると，自己充填性ランク 2 （充填高さ 300mm 以上）を満たさないケースが見られた。かさ容積 0.550m^3/m^3 以下ではスランプフロー60cm 程度で自己充填性ランク 2 を満足した。一方，W/C を 45%あるいは 40%とした調合 No.8 および No.9 については，かさ容積が 0.575 m^3/m^3 でも，自己充填性ランク 2 を満足した。以上のことから充填性を向上するためのかさ容積の目安は W/C=50%で 0.550 m^3/m^3 以下，W/C=45%以下では 0.575 m^3/m^3 以下となる。



図－４　U 形充填試験結果

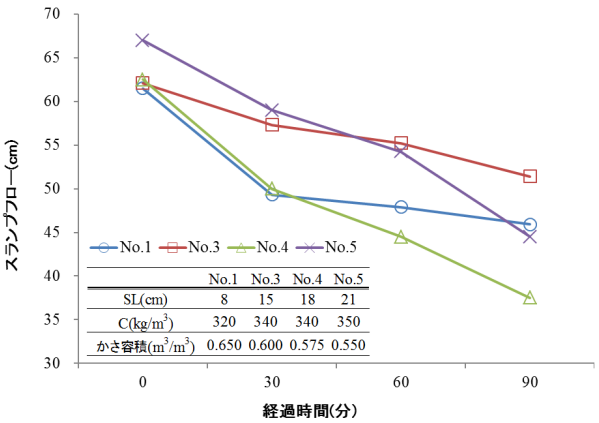
(4) フレッシュ性状の経時変化

ベースコンクリートのスランプの違いの影響について，W/C=50%，スランプを 8～21cm とした調合 No.1，No.3 ，No.4 および No.5 についてスランプフローの経時変化を**図－５**に示す。スランプ 18cm と 21cm を比較すると 21cm とした方がスランプフローのロスは小さかった。一方，スランプ 8cm および 15cm とした場合は，スランプ 18cm よりも保持が良好な結果となったが，これは AE を用いたコンクリートであり，流動化剤の添加量が多かったためと考える。ベースコンクリートのかさ容積の違いの影響について，W/C=50%，スランプ 18cm とし，かさ容積を 0.575, 0.525 および 0.625 m^3/m^3 とした調合 No.4, No.6 および No.7 についてスランプフローの経時変化を**図－６**に示す。かさ容積の違いによるスランプフローの経時変化に大きな差異は見られなかった。ベースコンクリートの W/C の違いの影響について，スランプ 18cm，かさ容積を 0.575 m^3/m^3 とし，W/C を 50%，45%および 40%とした調合 No.4，No.8 および No.9 についてスランプフローの経時変化を**図－７**に示す。W/C=50%よりも W/C=40%あるいは 45%と W/C の小さい方が流動化後 60 分においてスランプフロー55cm 以上を保持し良好な結果となった。

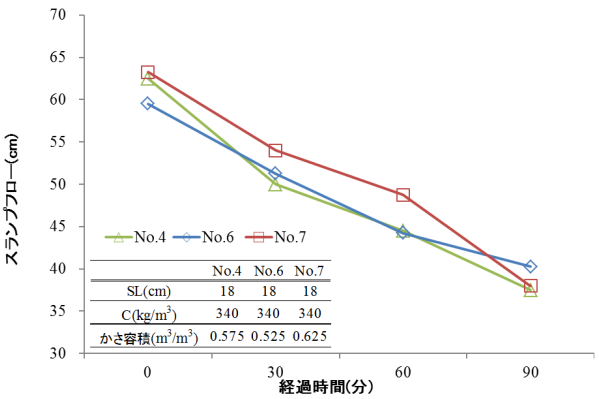
4.2 硬化過程の試験結果

(1) 凝結試験

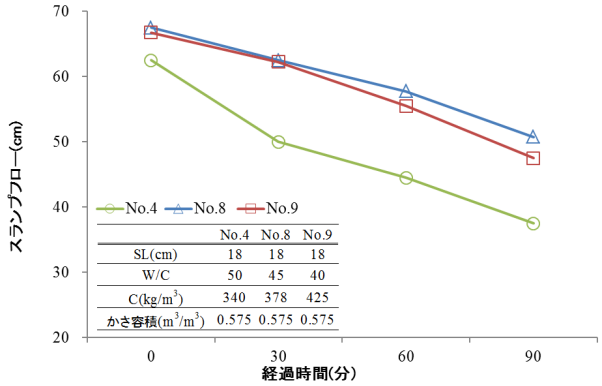
凝結試験の結果を**図－８**に示す。ベースコンクリートに AE を用いた調合 No.1 と No.3 については，ベースコンクリートの始発に対して流動化コンクリートの始発は 5 時間以上遅延する結果となった。これは流動化剤の添加量が多かったため凝結が遅延したと考えられる。その他の調合については，ベースコンクリートの始発より 1～1.5 時間遅れる程度であり，著しい遅延はなかった。



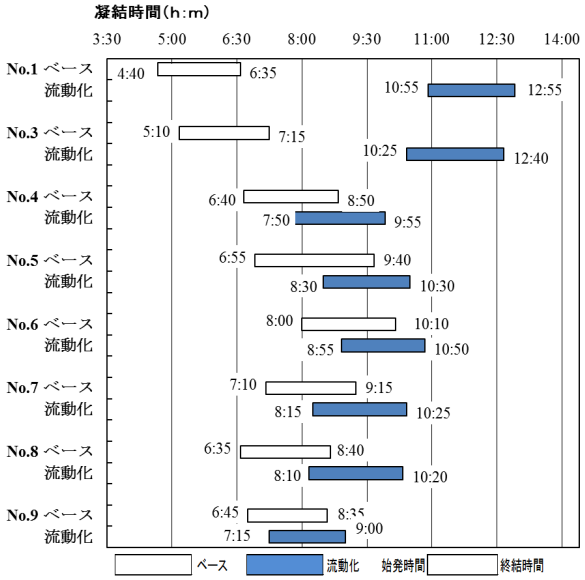
図－５　スランプフロー経時変化（スランプの影響）



図－６　スランプフローの経時変化（かさ容積の影響）



図－７　スランプフローの経時変化（W/C の影響）



図－８　凝結試験結果

(2) ブリーディング試験

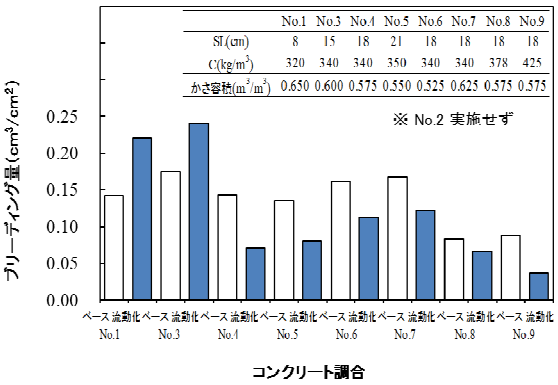
図－９にブリーディング試験の結果を示す。ベースコンクリートにAEを用いたコンクリート調合No.1とNo.3については，ベースコンクリートよりも流動化コンクリートの方がブリーディング量は多くなった。一方，その他の調合についてはベースコンクリートよりも少ない結果が得られた。調合 No.1 と No.3 については，流動化剤の添加量が多く，凝結も遅延しているため，ブリーディング量が多くなったものと考えられる。実用的には流動化コンクリートの凝結の始発はベースコンクリートの終結以内，ブリーディング量はベースコンクリートより少ないことが望まれるため，調合 No.1 や No.3 のように流動化剤を過剰に添加して流動性を向上させて用いるのは望ましくないと考えられる。調合 No.1 のスランプ増大量は 18cm，スランプフロー増大量は 39cm，調合 No.3 のスランプ増大量は 13cm，スランプフロー増大値は 38.5cm であった。以上のことから流動化剤の過剰添加による凝結遅延，ブリーディング量の増大を防ぐには，流動化によるスランプの増大量は 13cm 以内，スランプフローの増大量は 38cm 以内とすることが目安となる。

4.3 硬化コンクリートの試験結果

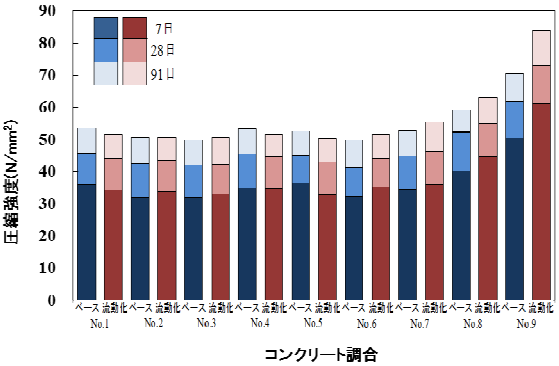
(1) 圧縮強度試験

図－１０に圧縮強度試験の結果を示す。W/C=50%とした No.1～No.7 については調合条件の違いによる圧縮強度の大きな差異はなかった。流動化剤の過剰添加により凝結が遅延した No.1 と No.3 についても，強度発現の阻害はなかった。図－１１にベースコンクリートと流動化コンクリートの圧縮強度の関係を示す。流動化コンクリートの圧縮強度はベースコンクリートの 0.95～1.2 倍の範囲であり，ほぼ同じであった。差異の要因としては主として流動化にともなう空気量の変動が考えられる。特に空気量の低下が大きかった調合 No.9 の強度はやや大きく増大した。図－１２にベースコンクリートと流動化コンクリートの静弾性係数の関係を示す。流動化コンクリートの静弾性係数はベースコンクリートの 0.95～1.1 倍の範囲であり，圧縮強度の場合とほぼ同じであった。

以上のことを考慮すると流動化コンクリートの圧縮強度と静弾性係数はベースコンクリートと同等で 0.95～1.2 倍の範囲であった。



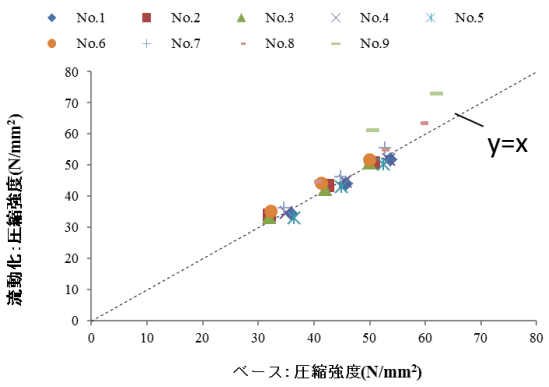
図－９　ブリーディング試験結果



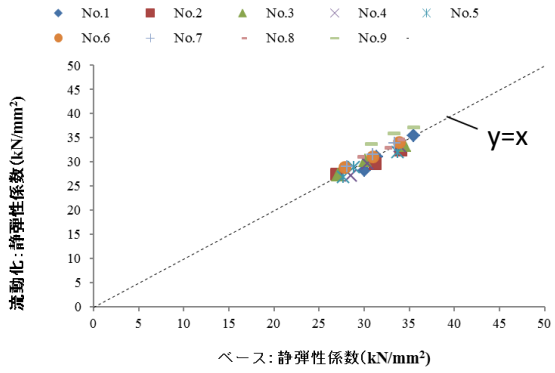
図－１０　圧縮強度試験結果

(2) 長さ変化試験

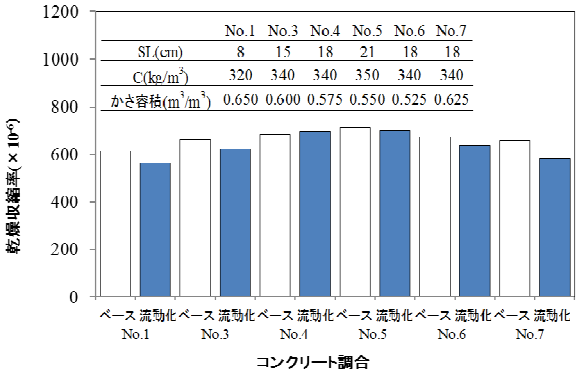
材齢 182 日の乾燥収縮率を図－１３に示す。乾燥収縮率はいずれも 800×10^{-6} 以下であり，600 から 700×10^{-6} の範囲であった。かさ容積を $0.55m^3/m^3$ とした No.5 が最も大きく，$0.65\ m^3/m^3$ とした No.1 が最も小さく，ベースコンクリートのかさ容積の影響が見られた。図－１４にベースコンクリートと流動化コンクリートの乾燥収縮率の関係を示す。流動化コンクリートの乾燥収縮率はベースコンクリートより増加することはなく，全体的にはやや小さくなる傾向であった。



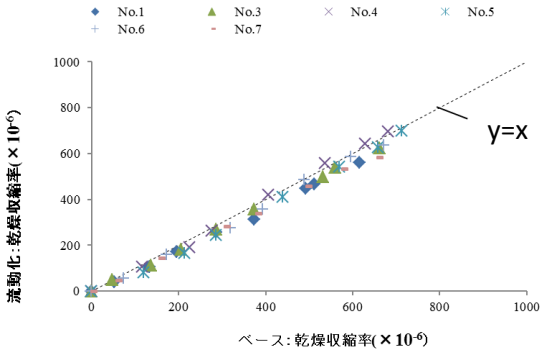
図－１１　流動化前後の圧縮強度の関係



図－１２　流動化前後の静弾性係数の関係



図－１３　乾燥収縮率（材齢 182 日）



図－１４　流動化前後の乾燥収縮率の関係

5　まとめ

新たに開発した増粘成分を含有した増粘型流動化剤を使用した高い流動性を有する流動化コンクリートについて，ベースコンクリートの調合条件が流動化コンクリートの性状に及ぼす影響を実験的に検討した。その結果を以下にまとめる。

(1)　ベースコンクリートに AE 減水剤を用いた場合，高性能 AE 減水剤を使用した場合に比べ，流動化剤の添加によるスランプフローの増大量は小さく，所要の流動性を得るための添加率が大きくなる。

(2) O ロート流下時間および U 形充填試験結果より充填性を考慮するとベースコンクリートの単位粗骨材かさ容積は水セメント比が 50%では 0.550m^3/m^3 以下，水セメント比が 45%以下では 0.575m^3/m^3 以下とするのがよい。

(3) ベースコンクリートのスランプを 15cm 以下とした場合，流動化剤の添加量の増加に伴う凝結遅延，ブリーディング量が増大するため，流動化によるスランプの増大量は 13cm 以内，スランプフローの増大量は 38cm 以内に設定するのがよい。

(4) ベースコンクリートの水セメント比が小さい方が経時に伴うスランプフローのロスが小さい。

(5) ベースコンクリートと流動化コンクリートの圧縮強度と静弾性試験係数はほぼ同等であり，乾燥収縮率もベースコンクリートに対して流動化コンクリートは増加することはなく，全体的に乾燥収縮率はやや小さくなる傾向であった。

参考文献

1)　桜井邦昭，近松竜一，谷口信博，秋好賢治：トンネル覆工用増粘剤系中流動コンクリートの実用化検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，p.p.1343～1348，2011

2)　小河俊博，神代泰道，一瀬賢一，齋藤　賢：増粘型高性能 AE 減水剤を用いた中・高流動コンクリートの性状，その 1　実験概要とフレッシュ性状，日本建築学会学術講演梗概集, p.p.1067～1068，2013

3)　神代泰道，並木憲司：高性能な流動化コンクリートの開発，大林組技術研究所報，No.77，2013