

論文 減水剤および増粘剤を後添加して充てん性を高めたコンクリートの基礎的性質

川西 貴士*1・近松 竜一*2・中島 裕*3・浜中 昭徳*4

要旨：部材の接合部などの鋼材が密に配置される部位は、一般部と比べて高い充てん性が必要となる。そこで、減水剤と増粘剤を後添加することで、構造条件や施工条件から所要となる充てん性を付与したコンクリートの基礎的性質について検討した。その結果、減水剤とともに増粘剤を後添加することで、配合を変えずに高い流動性と所要の材料分離抵抗性を付与できること、硬化後の圧縮強度や耐久性は同等であることなどを実験により明らかにした。

キーワード：充てん性, 材料分離抵抗性, 流動性, 減水剤, 増粘剤, 現場添加

1. はじめに

均質性が高く、所要の性能を有する耐久的なコンクリート構造物を造るには、適切な充てん性をコンクリートに付与するとともに、打込みおよび締固めを適切に行う必要がある。

耐震設計の見直しにより鋼材量が増加し、部材の接合部などの鋼材が密に配置された部位は、一般的な部位より高い充てん性をコンクリートに付与する必要がある。密実な充てんを達成するワーカビリティの考え方¹⁾を図-1に示す。コンクリートの充てん性は、流動性と材料分離抵抗性によって定まる性能である。配筋の高密度化に伴い流動性を向上させる場合、併せて材料分離抵抗性も高める必要がある。

コンクリートに付与する充てん性のレベルを最も厳しい施工条件に合わせて一律に設定することは、経済性を考慮すると必ずしも得策ではなく、構造条件や施工条件に応じて充てん性を適宜調整できることが望ましい。

コンクリートの流動性を現場で増大させる方法には、流動化コンクリートがある²⁾。しかし、単に流動化剤を添加して流動性を大きくしただけでは材料分離が生じるため、あらかじめ単位粉体量や細骨材率を高めるなど配合を調整する必要がある。

現場の打込み状況に併せて、荷卸し箇所で配合を変えずにコンクリートの充てん性を適宜増大させようとすると、単位粉体量や細骨材率を高めることは困難であり、後添加する減水剤の他に、材料分離抵抗性を高めるための増粘剤を併用する方法が効果的となる。

そこで、減水剤とともに増粘剤を後添加したコンクリートの基礎的性質について実験的に検討した。なお、本論文では、減水剤と増粘剤を組み合わせた混和剤を“充てん性改善剤”と称すことにする。

2. 減水剤と増粘剤を後添加したコンクリートの充てん性の評価

2.1 コンクリートの品質

土木学会の指針¹⁾によると、鋼材量が 200kg/m^3 以上で鋼材の最小あきが 100mm 未満の施工条件の場合、打込みや締固めに必要な最小スランブは 12cm で、荷卸し箇所の目標スランブは 15cm に相当する。そこで、目標スランブ 15cm を想定した過密配筋部を模擬した2種類の方法で、内部振動機による加振下での充てん試験を実施し、減水剤とともに増粘剤を後添加したコンクリートの充てん性を評価した。

試験に用いたコンクリートは3ケースとした。Case-1として、目標スランブを 8cm としたベースコンクリート、Case-2として、Case-1のベースコンクリートに減水剤のみを後添加し、流動性を増大させたコンクリート、さらに、Case-3として、減水剤と増粘剤を後添加し、流動性と材料分離抵抗性を高めたコンクリートを用いた。した

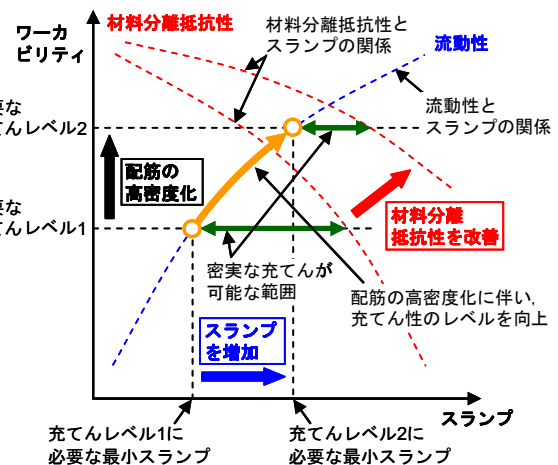


図-1 密実な充てんを達成するワーカビリティの考え方¹⁾

*1 (株)大林組 東京本社技術本部技術研究所生産技術研究部 副課長 工修 (正会員)

*2 (株)大林組 東京本社技術本部技術研究所生産技術研究部 担当課長 工博 (正会員)

*3 太平洋マテリアル(株) 開発研究所基盤研究グループ サブリーダー 工博 (正会員)

*4 太平洋マテリアル(株) 開発研究所高機能建材グループ サブリーダー 農修 (非会員)

表-1 コンクリートの配合

配合 No.	水セメント比 W/C	細骨材率 s/a	単位量 (kg/m ³)				減水剤添加率 (Cx%) WR	充てん性改善剤 (kg/m ³)	
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		減水剤 SP	分離低減剤 VM
Case-1	55.0	46.0	165	300	819	991	0.25	-	-
Case-2								0.32	-
Case-3								0.40	0.13

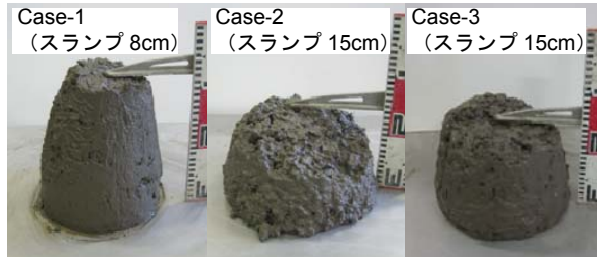


写真-1 実験に用いたコンクリートのスランブの状況

がって、Case-2 と Case-3 については、充てん性を高めた後の目標スランブを 15cm とした。

実験に使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。使用材料は、セメントには普通ポルトランドセメント、細骨には陸砂 (表乾密度 2.62g/cm³, 吸水率 1.54%, 粗粒率 2.69), 粗骨材には碎石 2005 (表乾密度 2.65g/cm³, 吸水率 0.73%, 粗粒率 6.63) を用いた。また、減水剤として、AE 減水剤 (リグニンスルホン酸系) を用いた。充てん性改善剤は、トラックアジテータへの現場添加を想定して粉末状とし、ポリカルボン酸系の減水剤とスターチ系の増粘剤を使用した。

Case-1~3 のスランブ試験の状況を写真-1 に示す。配合を変えずに流動性のみを改善した場合は、荒々しい状態となり、粗骨材の分離が認められた。しかし、増粘剤を用いた Case-3 は、円錐台形のスランブ形状を呈しており、良好なプラスティシティが得られた。

2.2 U 型充てん装置を用いた加振下の間げき通過性試験

(1) 実験概要

減水剤と増粘剤を後添加したコンクリートの充てん性を評価するために、高流動コンクリートの「充てん装置を用いた間げき通過性試験方法 (JSCE-F 511)」に記載されている U 型容器を用いて、内部振動機による加振下での間げき通過性試験を実施した。過密配筋部を想定して、流動障害には、障害 R1 (D10 を 5 本配置、鋼材のあき 35mm) を用いて実験を行った。

実験の概要を図-2 に示す。A 室に、A 室の容積に相当するコンクリート量 (17L) を投入した後、A 室中央上部より φ30mm の内部振動機を作動させながら A 室内に挿入し、B 室の充てん高さが 200mm に達するまでの時間を測定した。また、加振終了後 B 室内のコンクリートを採取し、5mm のふるいで洗い出し、粗骨材の質量を測定した。

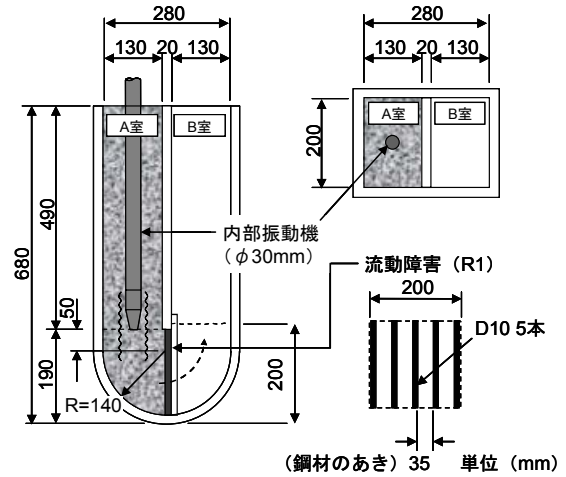


図-2 試験概要 (U 型容器)

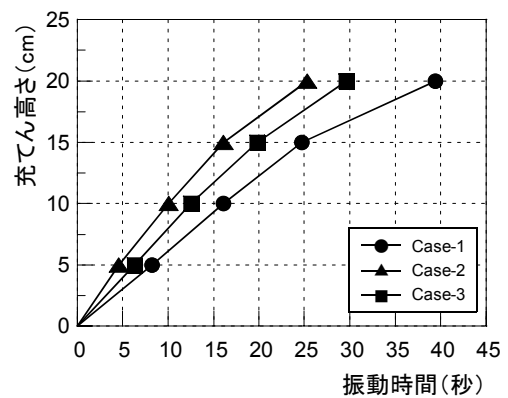


図-3 振動時間と充てん高さの関係

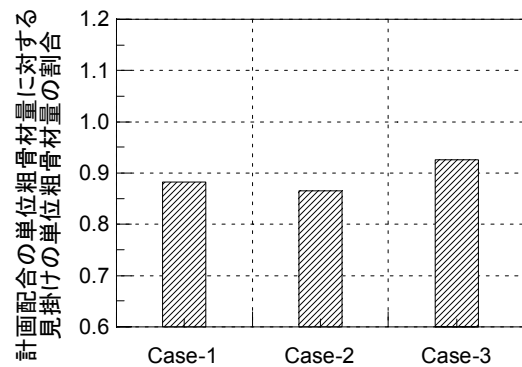


図-4 見掛けの単位粗骨材量の比較

(2) 実験結果および考察

振動時間と充てん高さの関係を図-3 に示す。充てんに要する振動時間は、スランブ 8cm の Case-1 が一番長かった。Case-2 は、Case-3 に比べて、増粘剤を添加していないため、コンクリートの粘性が小さく、短い振動時間で充てん高さ 200mm に達した。

加振後、B 室から採取したコンクリートの粗骨材質量と B 室に充てんされたコンクリート容積から見掛けの単位粗骨材量を算出し、表-1 に示す当初の計画配合の単位粗骨材量で除した割合を図-4 に示す。Case-3 は、Case-1 に比べて 5%程度大きい値となった。また、増粘

剤を添加していない Case-2 は、一番小さい値を示した。流動障害部で粗骨材が集積し、モルタルが多く流れ出したものと考えられる。Case-3 は、増粘剤を添加することで、Case-1 や Case-2 と比べて材料分離の程度が低減されたことを示している。

2.3 過密配筋部モデル試験体充てん試験

(1) 実験概要

壁部材の過密配筋部をモデル化した図-5 に示すような試験体を用いて加振下の充てん試験を行った。型枠の寸法は、幅 200mm×厚さ 600mm×高さ 600mm とした。配筋は、主筋は、D22 を 2 段配置とし、2 本配置した（鋼材のあき 52mm）。配力筋は、D13 を 50mm 間隔で配置した（鋼材のあき 37mm）。鋼材量は 233kg/m³ であった。

中心から見て内側の鉄筋の間に充てんできるコンクリート量（30L）を練り混ぜ、鉄筋の間に打ち込んだ。打込み完了後、型枠中央上部よりφ30mm の内部振動機を作動させながら挿入し、内部振動機の先端が型枠底面から 100mm の位置に到達した段階で、さらに 15 秒間振動させた。

(2) 実験結果および考察

充てん試験後、脱型した状況を写真-2 に示す。中央部と型枠端部で充てん高さの差を測定すると、Case-1 で 18cm、Case-2 で 5cm、Case-3 で 3cm となり、充てん性改善剤として減水剤および増粘剤を添加したコンクリートの落差が最も小さい結果となった。スランブ 8cm の Case-1 は、鉄筋の間げきに粗骨材が集積し、モルタルが分離して流れたことが原因と考えられる。

脱型後側面を観察すると、Case-1 は 4 本、Case-2 は 1 本、砂すじが発生した。締固めによりブリーディング水が型枠際を浮上したものと考えられる。なお、Case-3 については、砂すじは発生しなかった。

Case-2 は、型枠端部に未充てん部が発生した。減水剤のみで流動性を増加したため、粗骨材が分離して型枠端部に集積し、その間げきにモルタルが充てんされなかったものと考えられる。増粘剤を併用した Case-3 は、ほとんど空隙もなく、密実に充てんされていた。

3. 充てん性を高めたコンクリートの基礎物性

3.1 フレッシュコンクリートの品質と圧縮強度特性

(1) 実験概要

減水剤および増粘剤を後添加したコンクリートの各種品質を確認した。実験は、セメントの種類を普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種の 2 種類、ベースコンクリートの目標スランブを 8cm と 15cm の 2 種類変化させた 3 シリーズとし、それぞれベースコンクリートと充てん性改善剤を添加したコンクリートについて、品質を比較した。

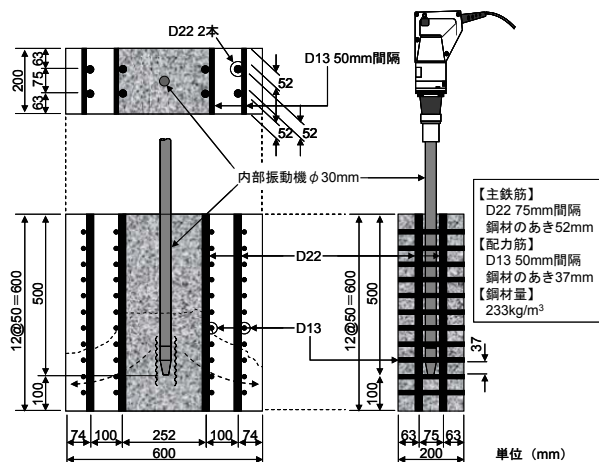


図-5 充てん試験体の概要

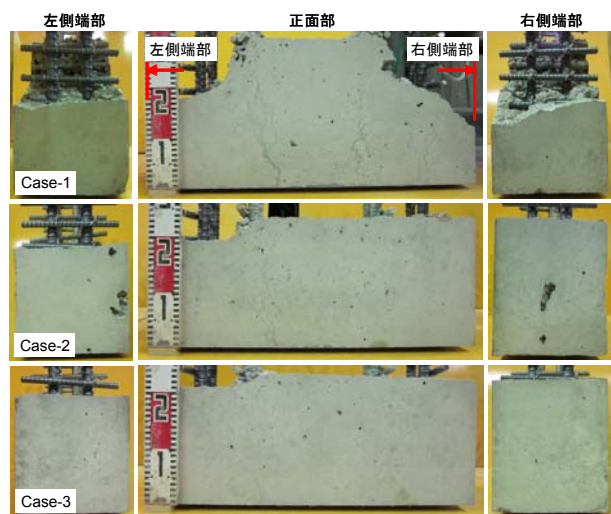


写真-2 充てん性試験結果

充てん性改善剤は、2 章に示したものと同一の製品を使用した。減水剤は添加量を一定とし、増粘剤の添加量を調整した。充てん性改善剤を使用することで、スランブ 8cm のコンクリートは 15cm 程度、スランブ 15cm のコンクリートは 21cm 程度にスランブを増大させることを目標とした。細骨材には陸砂（表乾密度 2.61g/cm³、吸水率 2.02%、粗粒率 2.51）、粗骨材には砕石 2005（表乾密度 2.65g/cm³、吸水率 0.76%、粗粒率 6.61）を用いた。また、減水剤として、AE 減水剤（リグニンスルホン酸系）を用いた。コンクリートの配合を表-2 に示す。

コンクリートの練混ぜは、二軸強制練りミキサ（公称容量 60L）を用いて行い、1 バッチの練混ぜ量は 40L とした。ベースコンクリートの練混ぜ時間は 60 秒とした。ベースコンクリートの練上りから 30 分後に充てん性改善剤を添加し、60 秒間練り混ぜた。

試験項目を表-2 に示す。各々の試験は、JIS に準拠した。スランブ試験および空気量試験は、充てん性改善剤の添加前後で実施した。その他の試験は、それぞれベースコンクリートと充てん性改善剤を添加したコンクリートについて、品質を比較した。

表-2 コンクリートの配合および品質試験結果

シリーズNo.	セメントの種類	ベースコンクリートの目標スランブ(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m ³)				減水剤添加率(Cx%)	充てん性改善剤 (kg/m ³)		試験時期※1	スランブ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)	凝結時間 (h-m)		圧縮強度 (N/mm ²)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		減水剤 SP	増粘剤 VM					始発時間	終結時間	材齢 7日	材齢 28日			
																				W/C	s/a	
I	普通ポルトランドセメント	8	55.0	43.0	162	295	785	1057	0.25	-	-	添加前	8.5	4.5	4.1	4-50	6-40	27.9	35.5			
										0.30	-	-	添加前	8.0	5.5	-	-	-	-	-	-	-
											-	-	添加後	15.5	5.1	-	-	-	-	-	-	-
										0.10	-	-	添加前	8.0	4.7	3.5	5-30	7-35	28.1	37.3	-	-
											-	-	添加後	13.5	4.6	-	-	-	-	-	-	-
										0.15	-	-	添加前	8.5	4.9	3.4	5-30	7-35	25.8	34.5	-	-
											-	-	添加後	13.5	5.1	-	-	-	-	-	-	-
										0.20	-	-	添加前	8.5	4.8	3.0	5-45	7-25	26.2	35.4	-	-
											-	-	添加後	11.5	4.6	-	-	-	-	-	-	-
										II	高炉セメントB種	8	55.0	41.5	159	289	759	1087	0.25	-	-	添加前
0.20	-	-	添加前	8.0	5.0	-	-	-	-											-	-	
	-	-	添加後	13.5	5.3	-	-	-	-											-	-	
0.07	-	-	添加前	8.0	4.9	2.4	6-30	9-45	15.9											29.4	-	-
	-	-	添加後	13.0	5.2	-	-	-	-											-	-	-
III	普通ポルトランドセメント	15	60.0	46.0	175	292	826	984	0.25											-	-	添加前
										0.30	-	-	添加前	15.0	5.0	-	-	-	-	-	-	
											-	-	添加後	22.0	3.7	-	-	-	-	-	-	
										0.10	-	-	添加前	15.5	4.7	4.2	6-45	9-10	24.4	33.8	-	-
											-	-	添加後	19.5	3.9	-	-	-	-	-	-	-
										0.20	-	-	添加前	15.5	4.6	4.5	6-40	9-00	21.7	32.6	-	-
-	-	添加後	19.5	3.6	-	-	-	-	-		-	-										

※1 添加前: 充てん性改善剤を添加する前のベースコンクリート, 添加後: 充てん性改善剤を添加した直後

(2) 実験結果および考察

コンクリートの品質試験結果の一覧を配合と併せて表-2 に示す。また、増粘剤添加量とスランブおよび空気量の増加量の関係を図-6 に示す。スランブについては、増粘剤の添加量を増すほど、増加量が減少した。減水剤の添加量を 0.3kg/m³ とした場合、増粘剤の添加量を 0.1~0.15kg/m³ 程度混入することで、所要のスランブとなり、良好なプラスチックティーが得られた。空気量については、増粘剤の添加量が変化しても、特に有意な差が認められず、安定した値を示した。高炉セメント B 種を使用した場合、充てん性改善剤の使用量は、普通ポルトランドセメントを用いた場合の 7 割程度で同程度のスランブ増加量となった。

増粘剤添加量とブリーディング率の関係を図-7 に示す。ベースコンクリートに比べて、充てん性改善剤を添加したコンクリートは、ブリーディング率が低減された。

増粘剤の添加量と凝結時間の関係を図-8 に示す。また、増粘剤添加量と圧縮強度の関係を図-9 に示す。増粘剤の混入により、ベースコンクリートに比べて、大きい配合で 1 時間程度の凝結時間が遅延する傾向が認められた。しかし、材齢 7 日の時点でベースコンクリートと同程度の圧縮強度が確保されており、硬化後の品質に及ぼす影響は小さい。

3.2 耐久性および収縮特性

(1) 実験概要

コンクリートの硬化後の耐久性および収縮特性を確認するため、中性化促進試験、凍結融解試験および長さ変化試験を実施した。それぞれの試験について、ベースコンクリート (Case-1) と充てん性改善剤を添加したコンクリート (Case-2) を比較した。

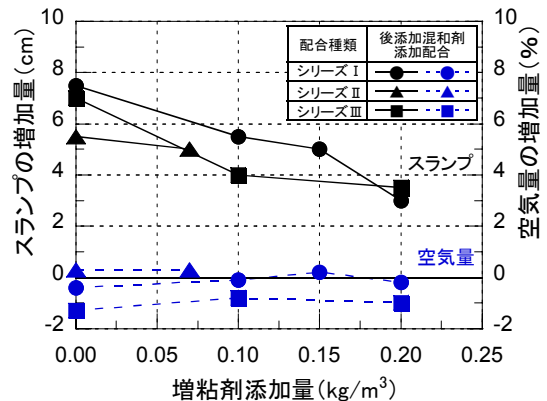


図-6 増粘剤添加率とスランブおよび空気量の増加量の関係

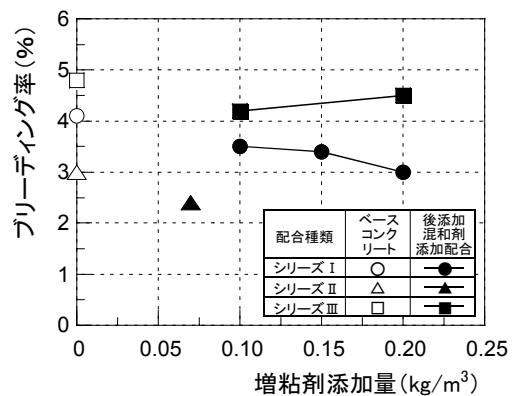


図-7 増粘剤添加量とブリーディング率の関係

使用したコンクリートの配合を表-3 に示す。セメントには普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材には陸砂 (表乾密度 2.56g/cm³, 吸水率 1.91%, 粗粒率 2.56), 粗骨材には砕石 2005 (表乾密度 2.64g/cm³, 吸水率 0.53%, 粗粒率 6.76) を用いた。また、減水剤として、AE 減水

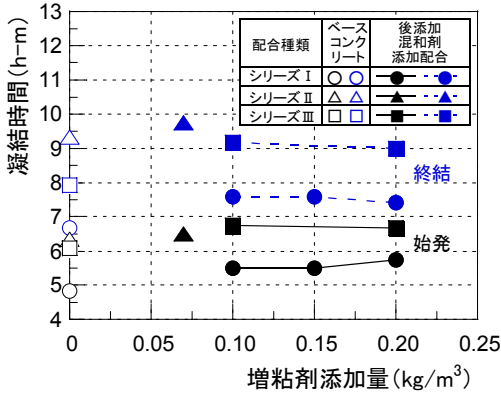


図-8 増粘剤添加量と凝結時間の関係

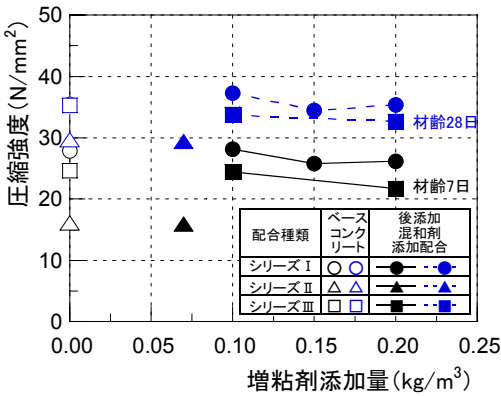


図-9 増粘剤添加量と圧縮強度の関係

剤（リグニンスルホン酸系）を用いた。コンクリートの練混ぜは、パン型ミキサ（公称容量 55L）を用いて行い、1 バッチの練混ぜ量は 40L とした。ベースコンクリートの練混ぜ時間は 120 秒とした。充てん性改善材の添加方法は、3.1 節と同様とした。

試験は、各種 JIS 規格（中性化促進試験：JIS A 1153、凍結融解抵抗性：JIS A 1148 A 法、長さ変化試験：JIS A 1129-2）に準拠して実施した。試験体の寸法は、いずれの試験も 10×10×40cm とした。

(2) 実験結果および考察

促進中性化試験の結果を図-10 に示す。ベースコンクリートと充てん性改善剤を添加した配合で、中性化速度係数はどちらも 2.8mm/√週であり、顕著な差はない。

凍結融解試験の結果を図-11 に示す。ベースコンクリートと充てん性改善剤を添加したコンクリートの両者とも 300 サイクルを超えた段階で、相対動弾性係数は 90% 以上確保されており、十分な凍結融解抵抗性が確保できた。質量減少率についても、有意な差は生じていない。

長さ変化試験の結果を図-12 に示す。6 ヶ月の段階で 800×10^{-6} 程度の乾燥収縮ひずみが確認された。乾燥収縮ひずみについても、ベースコンクリートと充てん性改善剤を添加した配合で有意な差は認められない。

減水剤と増粘剤を後添加しても、ベースコンクリートと同等の耐久性および収縮特性が確保できた。

表-3 ベースコンクリートの配合

配合 No.	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)				減水剤添加率 (Cx%)	充てん性改善剤 (kg/m³)	
			水	セメント	細骨材	粗骨材		減水剤	分離低減剤 VM
	W/C	s/a	W	C	S	G	WR	SP	VM
Case-1	55.0	46.0	165	300	801	1031	0.25	-	-
Case-2								0.30	0.10

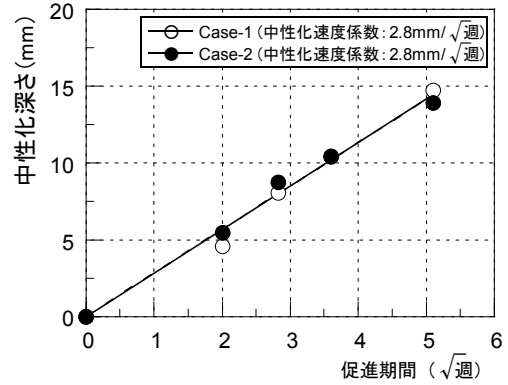


図-10 促進中性化試験結果

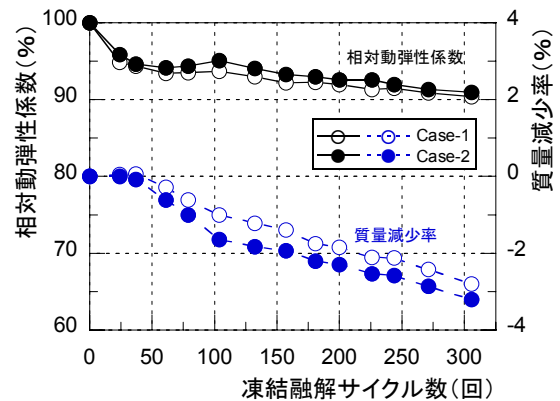


図-11 凍結融解試験結果

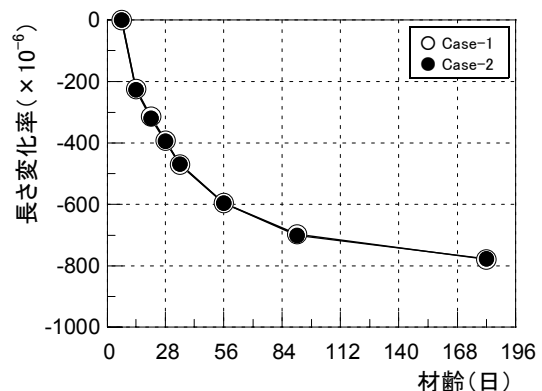


図-12 長さ変化試験結果

4. トラックアジテータによる練混ぜ性能の検証

4.1 実験概要

充てん性改善剤を現場添加する場合、トラックアジテータへ直接添加する必要がある。トラックアジテータ内で攪拌した場合、コンクリートの品質の変動が少なく、均一性が確保されることを確認する必要がある。そこで、

市中の生コンプラントのレディーミクストコンクリートを用いて、充てん性改善剤を現場添加したコンクリートの品質を確認した。

コンクリートには、レディーミクストコンクリート(24-8-20N)を用いた。使用材料として、細骨材には陸砂(表乾密度 2.60g/cm³, 吸水率 1.47%, 粗粒率 2.20)と砕砂(表乾密度 2.70g/cm³, 吸水率 1.89%, 粗粒率 3.20)を 7:3 の容積割合で混合して使用した(混合砂の粗粒率 2.51)。粗骨材には石灰砕石 2005(表乾密度 2.70g/cm³, 吸水率 0.89%, 粗粒率 6.61)を用いた。減水剤には AE 減水剤(変性リグニンスルホン酸系)を用いた。コンクリートの配合を表-4 に示す。充てん性改善剤は、減水剤を 0.30kg/m³, 増粘剤 0.10kg/m³ の割合で使用した。コンクリート量は 4m³ とし、高速攪拌時間は 90 秒とした。

アジテータードラム内での品質のばらつきを検証するため、攪拌終了直後、1m³ 排出後、2m³ 排出後および 3m³ 排出後にそれぞれコンクリート試料を採取し、スランプおよび空気量を測定した。また、攪拌直後と 1m³ 排出後に採取した試料は、練り舟にて静置し、20 分経過ごとに品質の経時変化を測定した。

4.2 実験結果および考察

トラックアジテータによる攪拌後のコンクリートの排出状況とベースコンクリートと充てん性を改善したコンクリートのスランプの状況を写真-3 に示す。充てん性改善剤の添加により、スランプを 18cm まで増加しても、良好なスランプ形状を示し、粗骨材の材料分離は認められなかった。

各排出段階で採取した試料のスランプおよび空気量の推移を図-13 に示す。スランプについては、荷卸しからの経過時間に伴い低下する傾向が認められるが、ばらつきは少なく、アジテータードラム内での品質は安定していた。空気量については、充てん性改善剤を添加して高速攪拌した後も、品質に大きな変動はなく、ばらつきは、1%以下であった。

5. まとめ

減水剤と増粘剤を組み合わせた混和剤を後添加したコンクリートについて、フレッシュコンクリートや硬化コンクリートの品質を確認した。また、実際の施工を想定して、トラックアジテータにて攪拌した場合の品質を確認した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 減水剤と増粘剤を調整して後添加することで、配合を変えずに充てん性を高めることができる。
- (2) 減水剤と増粘剤を調整して後添加することで、ブリーディングを低減できる。凝結時間は若干の遅延が認められるが、材齢 7 日においてベースコンクリートと同等の圧縮強度が得られる。

表-4 コンクリートの配合 (24-8-20N)

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m ³)				減水剤添加率 (C _x %)	充てん性改善剤 (kg/m ³)	
		水	セメント	細骨材	粗骨材		減水剤	分離低減剤
W/C	s/a	W	C	S	G	WR	SP	VM
56.5	44.0	158	280	815	1064	1.0	0.30	0.10



写真-3 コンクリート排出状況およびスランプの状況

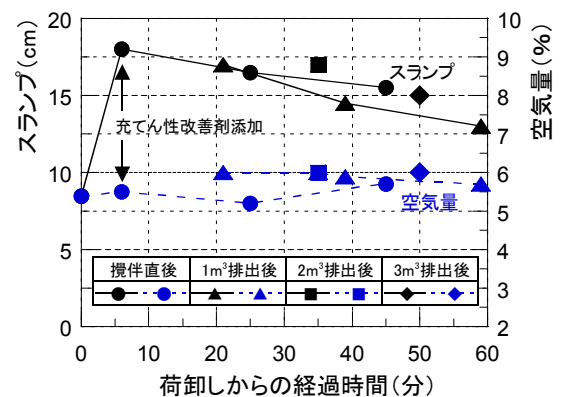


図-13 各排出段階におけるスランプと空気量の推移

- (3) 減水剤と増粘剤を後添加した場合も、ベースコンクリートと同等の中性化や凍結融解に対する抵抗性が確保できる。また、乾燥収縮ひずみも同程度となる。
- (4) トラックアジテータに減水剤と増粘剤を後添加して攪拌することにより、充てん性が高いコンクリートを製造することができる。

参考文献

- 1) 社団法人土木学会：施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー第 126 号，2007.3
- 2) 社団法人土木学会：流動化コンクリート施工指針(案)，コンクリートライブラリー第 51 号，1983.10