

論文 特殊増粘剤を用いた高性能水中不分離性コンクリートに関する基礎的研究

竹中 寛^{*1}・末岡 英二^{*2}・上村 恭子^{*3}・網野 貴彦^{*4}

要旨：本研究は、特殊増粘剤の高性能水中不分離性コンクリートへの適用を目的とし、単位水量、特殊増粘剤添加量および単位粗骨材量などコンクリートの配合を変化させたときのレオロジー特性、間隙通過性、分離抵抗性を含むフレッシュ性状、および硬化性状についての実験的検討を行った。その結果、当該コンクリートは、従来の水中不分離性コンクリートに比べて単位水量の少ない配合で、高い水中不分離性を有し、スランプフロー600mm以上、水中での圧縮強度 60～70N/mm²程度を発揮可能であることがわかった。

キーワード：特殊増粘剤、水中不分離性、凝結時間、充填性、流動性、高強度

1. はじめに

海洋構造物の大型化、大深度化などの多様化に伴い、今後、水中不分離性コンクリートにも高強度化、高流動化、また同時に環境水域への負荷低減の観点から、高い水中不分離性を有することが、今後の需要になると想定される。従来の水中不分離性コンクリートは、所要の流動性を得るための単位水量は 200kg/m³以上となり、高強度を期待する場合、水セメント比から定まるセメント量が多くなることから、水和熱に起因する、温度ひび割れによる耐久性や止水性の低下などの諸問題が懸念され、高強度コンクリートへの適用は安易ではない。また水中不分離性混和剤などの影響により、通常のコングリートと比べ凝結遅延が大きくなるため、工程面での不都合が生じる恐れもある。

そこで本研究では、このような従来の水中不分離性コンクリートが抱える課題を改善すべく、新規の増粘剤（以下、特殊増粘剤と称す）を添加することにより単位水量を低減させ、かつ凝結遅延などの諸問題を抑制しうる、高性能水中不分離性コンクリートの基礎物性について実験

的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料を表－1に示す。本研究で用いた特殊増粘剤は、2種類の界面活性剤（VQ-A・VQ-B）が静電的に会合し、擬似ポリマーを形成することで粘性が付与される機構のもので、材料分離抵抗性や保水性が高く、また凝結遅延を抑制

表－1 使用材料

種類(記号)	産地・仕様
セメント(C)	高炉セメント B 種 密度 3.04g/cm ³ 比表面積 3880cm ² /g
細骨材 1 (S1-1)	茨城県鹿島産 陸砂 表乾密度 2.54g/cm ³ 吸水率 1.27% 粗粒率 2.45
細骨材 2 (S1-2)	茨城県笠間産 砕砂 表乾密度 2.57g/cm ³ 吸水率 2.50% 粗粒率 3.08
細骨材 3 (S2)	千葉県君津産 山砂 表乾密度 2.61g/cm ³ 吸水率 1.43% 粗粒率 2.56
粗骨材 1 (G1)	茨城県岩瀬産 砕石 表乾密度 2.66g/cm ³ 吸水率 0.62% 粗粒率 6.55
粗骨材 2 (G2)	北海道北斗産 石灰砕石 表乾密度 2.70g/cm ³ 吸水率 0.49% 粗粒率 6.70
増粘剤 1 (VQ-A・B)	A 剤：分散剤 B 剤：粘性付与剤
高性能 AE 減水剤(SP)	ポリカルボン酸系
水中不分離性混和剤 (AUA)	水溶性セルロースエーテル
助剤(SA)	メラミンスルホンサン系化合物
AE 減水剤(AE)	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体

*1 東洋建設(株) 技術本部 美浦研究所 材料研究室 工修 (正会員)

*2 東洋建設(株) 技術本部 美浦研究所 材料研究室 室長 工修 (正会員)

*3 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター 新材料・リニューアル技術グループ (正会員)

*4 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター 新材料・リニューアル技術グループ 工修 (正会員)

表-2 コンクリートの配合表

CASE	W/C (%)	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	Gvol (ℓ/m ³)	単位量(kg/m ³)						混和剤	
					W	C	S1	S2	G1	G2	VQ (W×%)	SP (C×%)
1	35	650	4.5	289	175	500	831	—	769	—	4.0	1.5
1-2							—	852	—	777	5.0	1.25
2							732	—	769	—	4.0	1.0
2-2							—	751	—	777	6.0	1.5
3-a				315	195	557	665	—	838	—	3.0	0.65
3-b											4.0	0.9
3-c											5.0	1.4
4				345			589	—	918	—	5.0	2.0

表-3 比較配合(水中不分離コンクリート)

CASE	W/C (%)	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	Gvol (ℓ/m ³)	単位量(kg/m ³)						混和剤		
					W	C	S1	S2	G1	G2	AUA	SA	AE
5	55	530	4.0	352	220	400	658	—	931	—	2.5	8.0	1.0

するなど従来の増粘剤とは異なる特性を有する材料である。本研究では上記特殊増粘剤の骨材の違いによる影響を確認するため、2水準の骨材(S1-G1, S2-G2)を用いて検討を行った。なお、S1にはS1-1(陸砂)とS1-2(砕砂)を7:3で混合した混合砂を用いた。

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合表を表-2に示す。コンクリートの配合は、高強度コンクリートへの適用を考慮して水セメント比を35%で一定とし、目標スランプフロー650±50mm、目標空気量4.5±1.5%となるよう高性能 AE 減水剤の添加量を調整した。また検討水準は、単位水量を従来の水中不分離性コンクリートに比べ低い175kg/m³、195kg/m³の2水準、単位粗骨材量を289ℓ/m³、315ℓ/m³、345ℓ/m³の3水準、特殊増粘剤添加率(W×wt%)を3～6%の範囲で変化させた。

また本研究では、コンクリートの性状評価の指標として、表-3に示す一般的な水中不分離性コンクリートを作製し、当該コンクリートとの性状比較を行った。

2.3 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは、強制2軸ミキサ(公称容量55リットル)を用いて練混ぜ容量45リットルとし、図-1に示すとおり行った。なお、混和剤は練混ぜ水に内割で添加した。

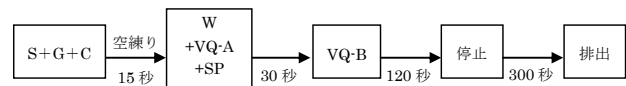


図-1 練混ぜ方法

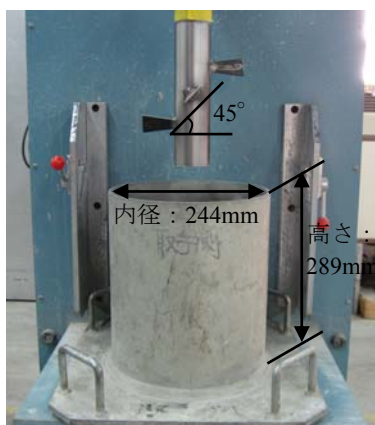
表-4 試験項目および方法

対象	試験項目および方法	
フレッシュコンクリート	スランプフロー	JIS A 1150
	空気量	JIS A 1128
	単位容積質量	
	コンクリート温度	棒状温度計
	水中分離度(懸濁物質質量・pH)	水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)付属書2に準拠
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝結時間	JIS A 1147
	レオロジー特性	コンクリート：回転翼型粘度計(図-2参照) モルタル：R型回転粘度計(円板型ロータ 半径7.31mm)
	U形充填試験	JSCE-F511(流動障害：R2)
硬化コンクリート	水中流動試験	図-3参照
	圧縮強度	JSCE-F504(試験体作製) JIS A 1108(圧縮強度試験) 材齢7, 28日(水中・気中)

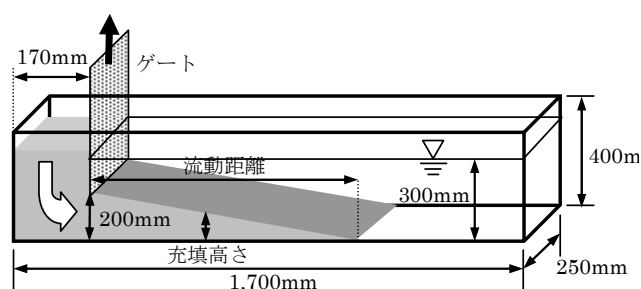
2.4 試験項目および方法

コンクリートの試験項目および方法を表-4に示す。

コンクリートのレオロジーは図-2に示す回転翼型粘度計を用い、回転数を0～50rpmまで10rpm間隔で上昇、下降させ、各回転数における10秒間の平均トルクを測定した。なおレオロジーの評価は、攪拌が十分に行われた状態の流動曲線を示すといわれる、下降時の測定値のみを用い、これらが従来の水中不分離性コンクリートと同様に擬塑性流体の挙動を示す¹⁾ことから、



図－2 回転翼型粘度計



図－3 水中流動試験機

表－5 実験結果一覧表(フレッシュ性状)

CASE	スランプ フロー (mm)	空気 量 (mm)	懸濁 物質 量 (mg/ℓ)	pH	ブリー ディン グ率 (%)	凝結時間(h)		U 形充填試験		コンクリートレオロジー (見かけ)		モルタルレオロジー	
						始発	終結	充填 高さ (mm)	60s 充填 高さ (mm)	非ニュートン 粘性係数 (N・m・s)	非ニュートン 粘性指数	非ニュートン 粘性係数 (Pa・s)	非ニュートン 粘性指数
1	613	3.5	92.7	11.0	0	13.81	15.61	348	282	12.52	0.35	—	—
1-2	598	4.6	48.0	11.1	0	—	—	—	—	—	—	—	—
2	678	3.7	51.7	10.7	0	13.69	16.19	350	237	10.64	0.25	71.11	0.58
2-2	610	3.6	29.0	11.0	0	—	—	335	178	—	—	—	—
3-a	652	3.6	78.0	10.9	0	10.25	12.43	353	218	9.66	0.28	64.80	0.55
3-b	653	3.1	36.0	10.6	0	13.60	16.49	350	192	11.13	0.26	77.64	0.52
3-c	651	3.1	25.3	10.4	0	18.3	20.8	354	178	12.42	0.27	69.29	0.62
4	636	3.3	38.3	10.6	0	13.43	15.82	352	165	13.55	0.28	66.87	0.61
5	581	3.6	35.3	10.6	0	37.55	43.35	338	260	6.49	0.45	130.65	0.48

$T=pN^q$ なる式 (T: トルク, N: 回転数) に近似することで見かけの非ニュートン粘性係数 (p) および見かけの非ニュートン粘性指数 (q) を算出し、スランプフローとの相関を評価する指標とした。またモルタルについては、R 型回転粘度計を用い、コンクリートをウェットスクリーニングして採取したモルタルを、0～100rpm まで 20rpm 間隔で上昇、下降させ、コンクリートと同様、下降時の各回転数におけるずり応力から非ニュートン粘性係数および粘性指数を算出した。

当該コンクリートと従来の水中不分離性コンクリートの水中流動状況 (流動距離、充填高さ) を比較するため、図－3 に示す試験機に高さ 30cm まで水を張り、水中流動試験を行った。この試験では、図中左側の柵の部分にコンクリートを充填した後、ゲートを 20cm 引き上げ、開口部から流出するコンクリートの流動状態を 5 分間隔で 20 分間測定した。なお、ここでは配合 3-c、および配合 4 のみを試験対象とした。

また、ブリーディング試験および凝結時間試験、レオロジーの測定は配合 1-2、2-2 を、U 型充填試験は配合 1-2 を除き、その他の試験については全ての配合で実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

フレッシュ性状に関する実験結果一覧表を表－5 に示す。

(1) 分離抵抗性

コンクリートの懸濁物質質量および pH を図－4 に示す。

特殊増粘剤を用いた当該コンクリートの懸濁物質質量は添加率の増加に伴い減少し、単位粗骨材量 (Gvol) が 315ℓ/m³ の場合 (配合 3-a～3-c)、特殊増粘剤の添加率を 3.0% から 5% に増加することで 60% 程度減少した。これは添加量の増加に伴いコンクリートの材料分離抵抗性が向上したためであると考えられ、水中不分離性混和剤

の懸濁物質量の性能規定 50mg/l以下とするためには、少なくとも 4.0%以上の添加が必要であるといえる。また、特殊増粘剤添加率を 4.0%で一定とした場合の単位水量（配合 1, 2）および Gvol（配合 2, 3-b, 4）による影響をみると、ともに増加することで懸濁物質量が減少する傾向があり、単位水量を 195kg/m³、Gvol を 315l/m³に設定することで、従来の水中不分離性コンクリート（配合 5）と同程度の懸濁物質量となることがわかる。単位水量による影響については、その増加に伴い特殊増粘剤の絶対量が高くなるため、分離抵抗性が向上したためであると推測され、Gvol による影響については、Gvol の増加に伴いモルタル絶対量が減少し、モルタルの溶出量が少なくなったためであると考えられる。また骨材の違いによる影響（配合 1-2, 配合 2-2）については、田沢ら²⁾により骨材種（形状）が水中不分離性コンクリートのスランプフローに影響を及ぼすことが示されていることから、本研究の場合もコンクリートの性状が変化し、所要のスランプフローを確保するための特殊増粘剤の添加率が変わり、懸濁物質量に違いがでたものと考えられる。

pH については、全ての配合において水中不分離性混和剤の性能規定である 12 以下となり、配合による差異は殆どなかった。

(2) 凝結時間およびブリーディング

コンクリートの凝結時間を図-5 に示す。

特殊増粘剤の添加率の増加に伴い（配合 3-a～3-c 参照）若干の凝結時間の遅延が生じるものの、当該コンクリートは始発時間が 10～18 時間程度、終結時間が 12～21 時間程度と何れも従来の水中不分離性コンクリート（配合 5）と比較して大幅に凝結遅延を抑制することができ、早期に強度発現が求められる構造物等への適用にも有効であるといえる。

また、ブリーディングについては全ての配合において発生せず、特殊増粘剤による高い保水性が確認された。

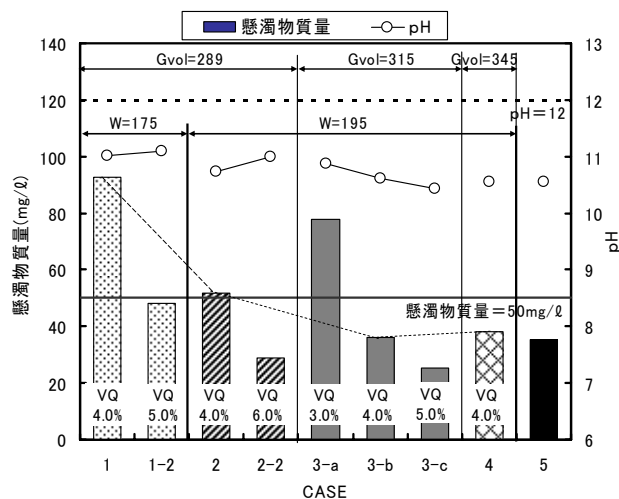


図-4 懸濁物質量および pH

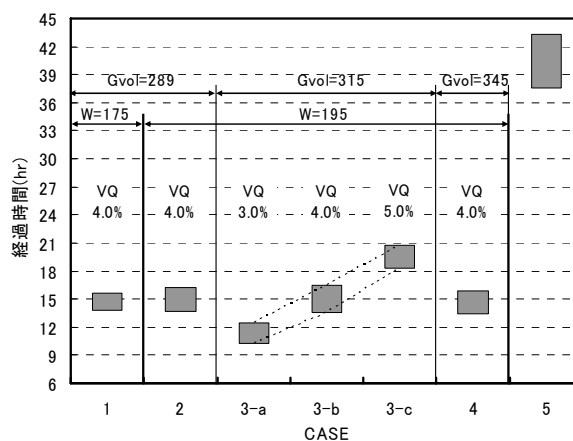


図-5 凝結時間

(3) 間隙通過性

U 形充填試験機の充填経過時間と充填高さの関係を図-6 に、また充填開始 60 秒後の充填高さを図-7 に示す。

特殊増粘剤を用いた当該コンクリートは非常に間隙通過性に優れ、Gvol による影響等は殆どなく充填高さが 350mm 程度まで上昇することから、水中 RC への適用性も十分に有しているといえる。また一方で粘性が高く、スランプフロー試験において静止まで 15 分程度要するように、U 形充填試験においても 8 分程度の長い充填時間を要した。この特性は図-7 に示されるとおり、特殊増粘剤の添加率（配合 3-a～3-c 参照）の増加による影響を受け、添加量が増加するのに伴い長時間の充填時間を要する。またこの充填時

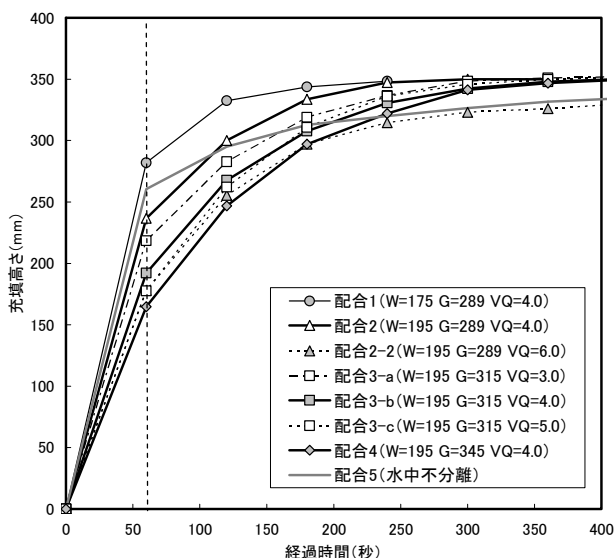


図-6 充填経過時間と充填高さの関係

間については単位水量や Gvol による影響も受け、両者の増加に伴い長くなることがわかる。

(4) レオロジー特性

スランプフローとコンクリートおよびモルタルの見かけの非ニュートン粘性係数の関係を図-8に示す。当該コンクリートのスランプフローと見かけの非ニュートン粘性係数との間に若干ではあるが相関性がみられ、スランプフローの増加に伴い見かけの非ニュートン粘性係数が減少する傾向を示した。

スランプフローとコンクリートおよびモルタルの見かけの非ニュートン粘性指数の関係を図-9に示す。角田ら¹⁾によると、水中不分離性コンクリートにおいては、スランプフローの増加に伴い見かけの非ニュートン粘性指数が増加することを示唆しているが、特殊増粘剤を用いた当該コンクリートは、スランプフローの増加に伴い、見かけの非ニュートン粘性指数は若干の減少傾向を示した。これはモルタルによる結果と相反するものであり、この特性については今後更なる検討が必要と思われる。

(5) 水中流動性

特殊増粘剤を用いた当該コンクリートの配合(配合 3-c)、および従来の水中不分離性コンクリート(配合 5)における、水中流動実験結果を

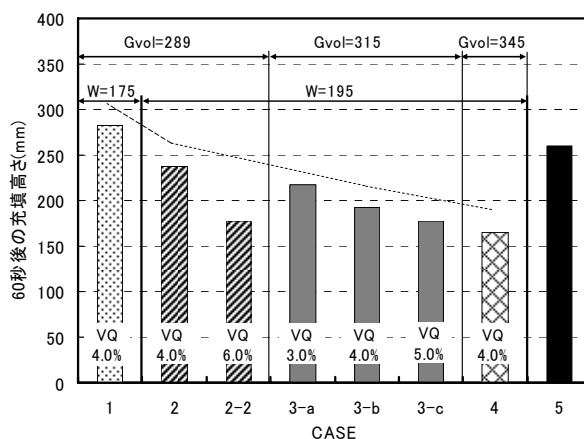


図-7 60秒後の充填高さ

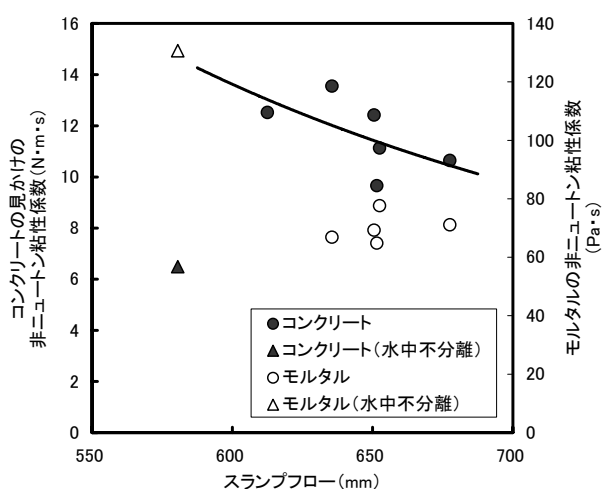


図-8 スランプフローと見かけの非ニュートン粘性係数の関係

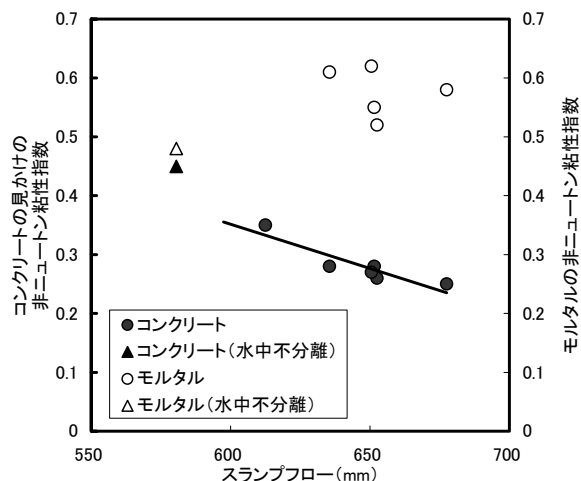


図-9 スランプフローと見かけの非ニュートン粘性指数の関係

図-10、図-11に示す。図-11より、特殊増粘剤を用いた配合 3-c は従来の水中不分離性コンクリートの配合 5 に比べ、水中での流動速度は遅いものの流動距離が長く、(スランプフローに

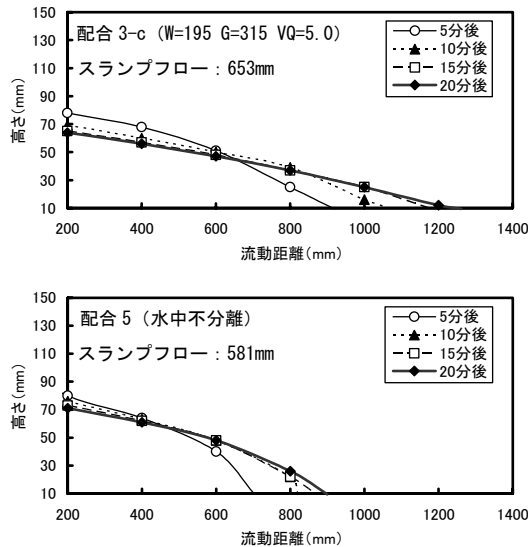


図-10 流動距離と流動高さの関係

若干差がある配合ではあるが) セルフレベリング性が高いことがわかる。

3.2 硬化性状

コンクリートの圧縮強度および水中/気中強度比を図-12 に示す。図に示すとおり、特殊増粘剤を用いた当該コンクリートの、材齢 28 日における水中強度は $60 \sim 70 \text{ N/mm}^2$ 程度であり、また水中/気中強度比は殆んどの配合で 90%程度と高い結果となった。

4. まとめ

本研究の範囲で、以下の結論が得られた。

- (1) 当該コンクリートは、単位水量が 195 kg/m^3 以下の低い設定でも、従来の水中不分離性コンクリートと同程度の高い分離抵抗性を有する。
- (2) 当該コンクリートは、従来の水中不分離性コンクリートに比べ、高強度配合での単位セメント量を削減できる。
- (3) 当該コンクリートは、従来の水中不分離性コンクリートと異なり、凝結時間の遅延を大幅に抑制できる。
- (4) 当該コンクリートは高い間隙通過性、およびセルフレベリング性を有し、水中 RC 構造物への適用も有利であると考えられる。

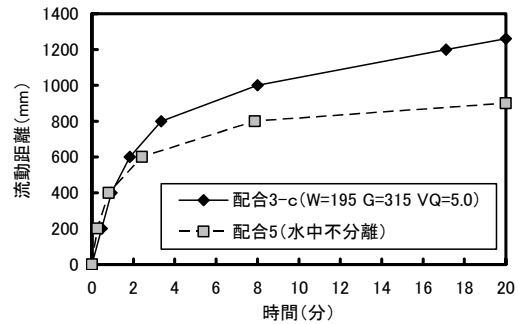


図-11 流動時間と流動距離の関係

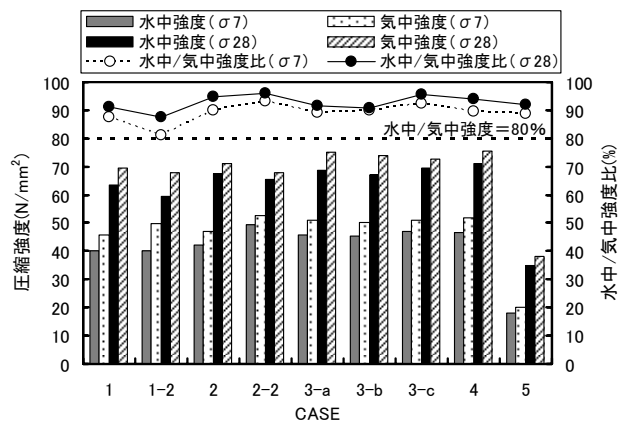


図-12 圧縮強度および水中/気中強度比

- (5) 当該コンクリートのレオロジー定数は、スランプフローと相関があり、スランプフローの増加に伴い、コンクリートの見かけの非ニュートン粘性係数は減少する。
- (6) 本研究における検討配合においては、水中/気中強度比が 90%程度であり、 $60 \sim 70 \text{ N/mm}^2$ 程度の高い水中強度が期待できる。

なお、実施工への適用については、ポンプ圧送性の評価等を含め、更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 角田忍・浅野文男・児島孝之：水中不分離性コンクリートのコンシステンシー評価に関する研究，水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集，pp.29-36，1990.8.8
- 2) 田沢栄一・米倉亜州夫・笠井哲郎・津川恵介：骨材および混和材の種別が水中不分離性コンクリートの流動特性に及ぼす影響，水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集，pp.45-52，1990.8.8