

論文 高流動コンクリートの硬化後の諸物性について

関 博^{*1}・西澤 正浩^{*2}

要旨：増粘剤系および併用系の高流動コンクリートに関して、最長材齢 1 年までの実験を行った。その結果、1)スランプフローがほぼ同一のコンクリートでもVロート値は骨材の粒度に左右されるが、圧縮強度への影響は少ない、2)気中養生とすると標準養生の場合に比して圧縮強度や比抵抗の伸びが小さく酸素拡散係数は若干増加する、3)材齢 28 日の圧縮強度が同一のとき他の硬化コンクリートの品質は、普通コンクリートと増粘剤系はほぼ同等で併用系はこれらを上回る、4)比抵抗や酸素拡散係数は圧縮強度と相関性を有する、などが明らかになった。

キーワード：高流動コンクリート、骨材粒度、養生方法、圧縮強度、比抵抗

1. まえがき

高流動コンクリートが提唱されてからほぼ 10 年を経過し¹⁾、この間、多くの研究的・実験的な検討がなされ、施工実験が実施され、多くの種類の現状報告^{たとえば 2)}やシンポジウムなどの論文集^{たとえば 3)}などが刊行され、マニュアルも提示されている⁴⁾。

高流動コンクリートの耐久性を評価する場合には細孔構造や物質透過特性などの硬化コンクリートの諸特性を十分に把握することが必要があり、研究報告も提示されている^{たとえば 5)} 6)。

本文は高流動コンクリートに対して主に硬化コンクリートの観点から検討を加えたものであり、粗骨材の粒度による影響、養生方法の影響などに関して最長材齢 1 年までの実験を実施した。

2. 実験の概要

増粘剤系の高流動コンクリート（本文では増粘剤系と呼ぶ）、併用系の高流動コンクリート（本文では併用系と呼ぶ）を対象とし、さらに通常のコンクリート（本文では普通系と呼ぶ）を選び、合計 3 種のコンクリートを実験に

供した。実験はⅠ～Ⅲに分かれており、それぞれの概要は以下の通りである。

実験Ⅰ（気中養生）：気中養生におけるコンクリートの品質変化を捉えることを目的とし、材齢 1 年まで実験を行った。

実験Ⅱ（粗目骨材）：粒度として粗目の粗骨材を用い気中養生を行い、実験Ⅰにおける適切な粒度分布の骨材を用いたコンクリートと比較することを目的とし、材齢 28 日まで実験を行った。

実験Ⅲ（標準養生）：標準養生を行い、実験Ⅰの気中養生における品質との比較を試みたものであり材齢 1 年まで実験を行った。

3. 実験方法

3.1 供試体の作製

(1) 使用材料

表 1 は用いた使用材料を示している。表-2 および図-1 は骨材の試験結果および粗骨材のふるい分け試験結果を示しており、粗粒率は実験Ⅱが大きな値である。さらに、図-1 より、実験Ⅱで使用した粗骨材は粗目で、適切な骨材とは言い難い。

*1 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 工博（正会員）

*2 早稲田大学理工学研究科 大学院生

表-1 使用材料

コンクリート種別	セメント	細骨材		粗骨材		混和材	混和剤	
		実験Ⅰ・Ⅲ	実験Ⅱ	実験Ⅰ・Ⅲ	実験Ⅱ		混和剤①	混和剤②
普通系	普通ポルトランドセメント	山砂	粗目砂	石灰岩碎石	5号碎石	—	A E減水剤	—
増粘剤系	普通ポルトランドセメント	山砂	粗目砂	石灰岩碎石	5号碎石	—	増粘剤、高性能減水剤	空気量調整剤
併用系	高炉セメント	山砂	粗目砂	石灰岩碎石	5号碎石	石粉	増粘剤、高性能減水剤	空気量調整剤

表-2 骨材の試験結果

実験	骨材	比重	吸水率(%)	粗粒率(F.M.)	実積率(%)
Ⅰ・Ⅲ	細骨材	2.60	3.00	2.64	—
	粗骨材	2.70	0.48	6.47	59.5
Ⅱ	細骨材	2.58	3.50	3.18	—
	粗骨材	2.63	2.65	7.18	58.4

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-3～表-5に示す。実験Ⅰと実験Ⅱは主に骨材の品質が異なる。実験Ⅲの併用系Hは実験Ⅰの併用系

と同一であり、併用系hは水セメント比を普通系、増粘剤系と同一とした。

(3) コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜには、40ℓ強制練りミ

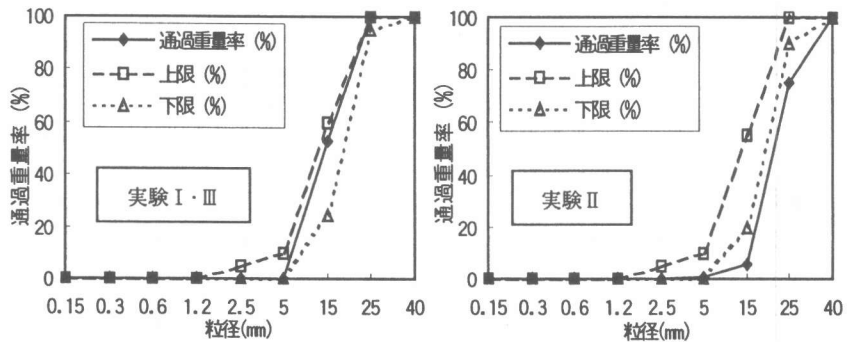


図-1 粗骨材ふるい分け試験結果 (図中の上限・下限はJISA1102に示された値。)

キサを使用し、図-2の方法で行った。

(4) 供試体の作製および養生

圧縮強度、比抵抗、ポロシチーおよび酸素拡散係数を測定するための円柱供試体(Φ100×

表-3 コンクリートの示方配合 (実験Ⅰ)

コンクリート種別	G _{max} (mm)	スランプ あるいは スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	水粉体比 W/(C+LS) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								
							水 W (kg)	セメント C (kg)	石粉 LS (kg)	細骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)	混和剤			
												AE減水剤 C+LS × (%)	増粘剤 W × (%)	高性能AE減水剤 C+LS × (%)	空気量調整剤 C+LS × (%)
普通系	25	8	4.5	50.0	—	42.5	157	314	—	772	1083	0.25	—	—	—
増粘剤系	25	65	4.5	50.0	—	52.3	180	360	—	899	851	—	0.2	3.0	0.0045
併用系	25	65	4.5	44.0	31.8	50.2	180	409	158	761	783	—	0.1	1.4	0.0030

表-4 コンクリートの示方配合 (実験Ⅱ)

コンクリート種別	G _{max} (mm)	スランプ あるいは スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	水粉体比 W/(C+LS) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								
							水 W (kg)	セメント C (kg)	石粉 LS (kg)	細骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)	混和剤			
												AE減水剤 C+LS × (%)	増粘剤 W × (%)	高性能AE減水剤 C+LS × (%)	空気量調整剤 C+LS × (%)
普通系	20	8	6.0	51.4	—	42.0	161	313	—	737	1037	0.25	—	—	—
増粘剤系	20	65	4.0	50.0	—	52.7	180	360	—	906	828	—	0.25	3.0	0.0045
併用系	20	65	6.0	44.0	32.0	49.6	176	400	154	737	763	—	0.1	0.8	0.0030

表-5 コンクリートの示方配合（実験Ⅲ）

コンクリート種別	G _{max} (mm)	スランプ あるいは スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	水粉体比 W/(C+LS) (%)	細骨 材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								混和剤			
							水	セメント	石粉	細骨材	粗骨材	AE減水剤 C+LS × (%)	増粘剤 W × (%)	高性能AE減水剤 C+LS × (%)	空気量調整剤 C+LS × (%)			
							W (kg)	C (kg)	LS (kg)	S (kg)	G (kg)							
普通系	25	8	4.5	50.0	—	42.5	157	314	—	772	1083	0.25	—	—	—	—	—	—
増粘剤系	25	65	4.5	50.0	—	52.3	180	360	—	899	851	—	0.2	3.0	0.0045	—	—	—
併用系H	25	65	4.5	44.0	31.8	50.2	180	409	158	761	783	—	0.1	1.4	0.0030	—	—	—
併用系h	25	65	4.5	50.0	31.8	52.3	180	360	206	790	748	—	0.1	1.7	0.0030	—	—	—

200mm) を作製した。実験Ⅰおよび実験Ⅱでは材齢 28 日まで外気温で水中養生した後、外気温で気中養生を行った。一方、実験Ⅲでは脱型後も標準水中養生を継続した。図-3 は試験当日に至るまでの養生方法を示している。圧縮強度試験用供試体は上部を研磨して試験に供し、ポロシ

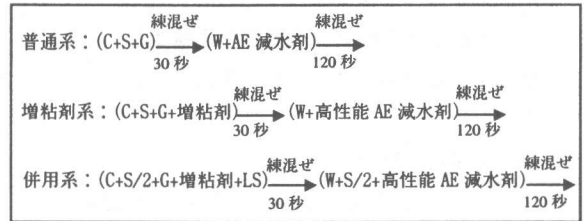


図-2 コンクリートの練混ぜ方法

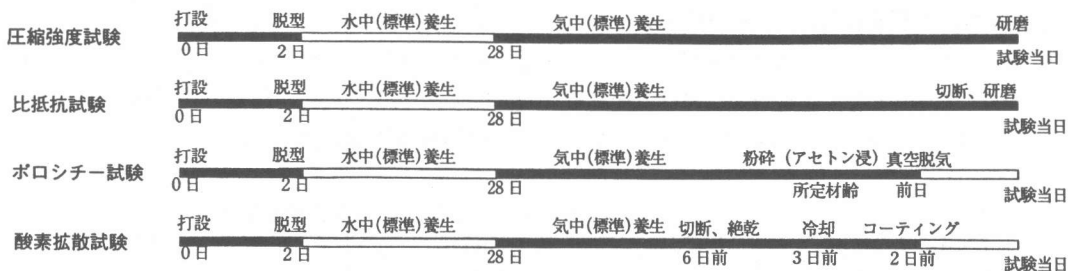


図-3 供試体の養生方法（気中養生の比抵抗供試体は試験前日に浸漬させ飽水状態にした。）

チー試験用供試体は上下に切断し、それぞれ 2.5mm～5mm に粉砕して用いた。比抵抗用および酸素拡散用の供試体を図-4 に示す。

3.2 フレッシュコンクリートの試験

(1) スランプフロー試験

広がった試料が安定した時点での直径を測定し、また、広がり直径 50 cm の円に達するまでの時間を測定し、50 cm 到達時間とした。

(2) V ロート試験

V ロートにより、流れ落ちるコンクリートのとぎれが目視された時点での時間を測定した。

(3) U ロート試験

文献 2) の U 型充填試験機に示されるように

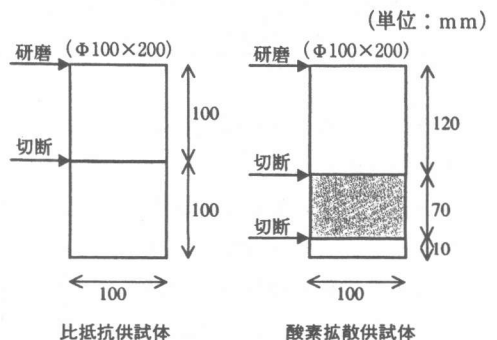


図-4 供試体の形状および寸法

障害鉄筋を通過して他方に充填される高さを測定した。²⁾

(4) 空気量測定

JIS A 1128 に従って測定した。

(5) コンクリート温度測定

温度計で測定した。

3.3 硬化コンクリートの試験方法

(1) 圧縮強度試験

JIS A 1108 に従って行った。

(2) 比抵抗測定試験

LCR メーターを用いて、周波数 1kHz における抵抗を求め、面積で除して比抵抗とした。

(3) ポロシチー試験（細孔径分布測定）

細孔径分布の測定は、水銀圧入式ポロシメータを用いた。

(4) 酸素拡散試験

コンクリート酸素・塩素イオン拡散装置を用いた。

4. 結果および考察

4.1 骨材の相違とコンクリートの性状

(1) フレッシュコンクリートの性状

表-6 は実験Ⅰおよび実験Ⅱにおけるそれぞれの性状を示している。高流動コンクリートの

(2) 硬化コンクリートの性状

図-5 は実験Ⅰおよび実験Ⅱにおける硬化コンクリートの圧縮強度および比抵抗を図示している。本図によると材齢 28 日の併用系が大きな圧縮強度および比抵抗の値を示しているが、骨材の相違に関しては大きな相違は認められなかった。フレッシュコンクリートで若干の分離性状が確認されており、実構造物で型わく内をコンクリートが流動する際には、その影響が現れると思われるが、小さな供試体での硬化性状にはその差が明確に生じていないと考えられる。

4.2 供試体の上下層における品質の相違

図-6 は $\Phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体を上下層に切断したものに関して比抵抗の測定結果を示したものである。

本図において上部は下部よりも若干比抵抗は低い値を示していた。高流動コンクリートは上下層の差が普通コンクリートより小さいことを予想したが、今回の供試体の大きさでは明確な相違が認められなかった。

表-6 フレッシュコンクリートの試験結果

実験	コンクリート 種別	スランプフロー (cm)	50 cm到達時間 (sec)	V ロート (sec)	U ロート (cm)	空気量 (%)
実験Ⅰ	増粘剤系	67.0	6.0	21.7	33.8	5.2
	併用系	67.0	3.7	10.0	36.0	5.2
実験Ⅱ	増粘剤系	61.7	10.0	55.7	—	5.8
	併用系	65.2	7.0	22.0	—	5.9

スランプフロー値には大きな相違が認められないが、V ロートは実験Ⅱが極めて大きな値となり、スランプフロー時の流動先端部分は骨材の分離が認められた。これは主に実験Ⅱの粗骨材が比較的粗目のため微粒分が不足し、良好なワーカビリティが得られなかったためと思われる。

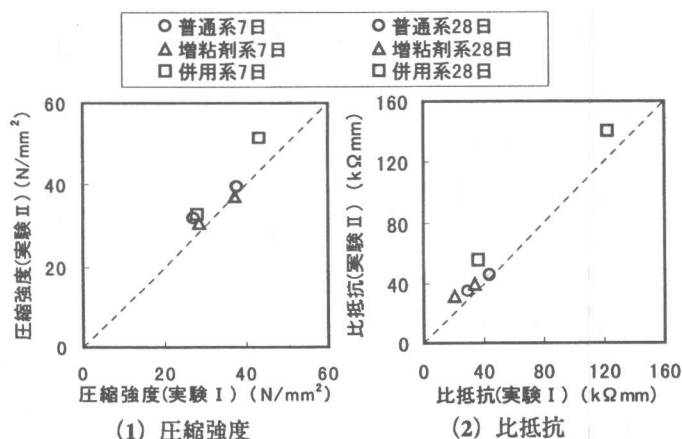


図-5 骨材の相違による硬化コンクリートの性状

4.3 養生条件、材齢による品質の変化

図-7 は材齢による圧縮強度、比抵抗および酸素拡散係数の変化を示している。

本図によると、圧縮強度や比抵抗は材齢と共に徐々に増加するが、その増加傾向は実験Ⅰ（気中養生）と実験Ⅲ（標準養生）で大幅に相違している。実験Ⅰでは早い材齢で強度の伸びが鈍化する傾向があるが、実験Ⅲでは材齢1年に至るまで強度は順調に増加しており、本実験に用いた寸法の供試体（ $\Phi 100 \times 200\text{mm}$ ）では養生条件の相違が明確に現われている。比抵抗は材齢28日で類似の圧縮強度を有している場合に、普通系と増粘剤系はほぼ同様の値を示している。一方、材齢が経過す

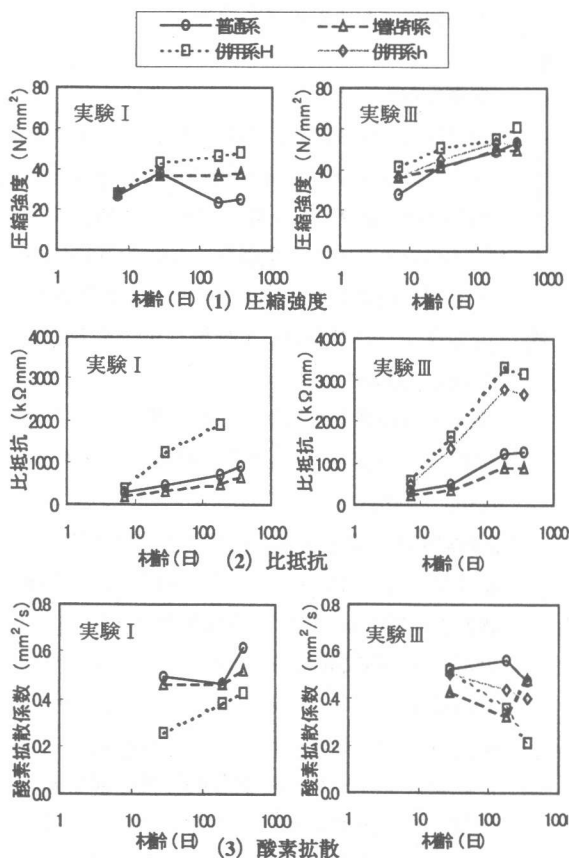


図-7 材齢による硬化コンクリートの品質変化

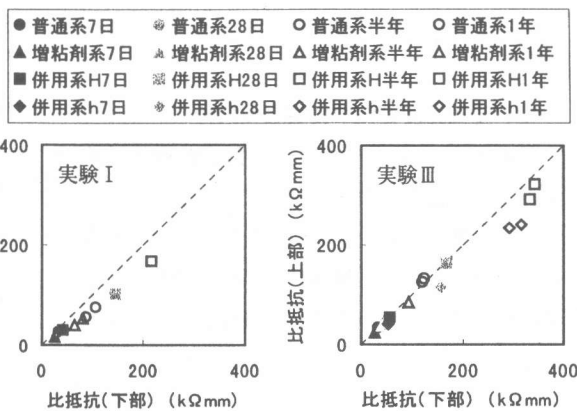


図-6 コンクリート上下層における比抵抗の相違

るに伴い併用系の比抵抗は他に比して大きな値を示しており、セメントの種類などの影響によるものと考えられる。

酸素拡散係数は実験Ⅲでは材齢と共にコンクリートが緻密化する傾向を示しているのに対して、実験Ⅰでは徐々に値が増す方向にあり養生方法が圧縮強度における場合と同様にコンクリートの品質に大きな影響を与えることを示している。比抵抗における場合と同様に増粘剤系は普通系とはほぼ類似の酸素拡散係数を示しているが、併用系はこれよりも小さな酸素拡散係数であり、より緻密度が高い値となっている。

ポロシティーの変化に関しては、図-8 に示す通り実験Ⅲの結果では材齢と共に全空隙量が減少している。養生条件による相違も明確であり、標準養生に比較して気中養生

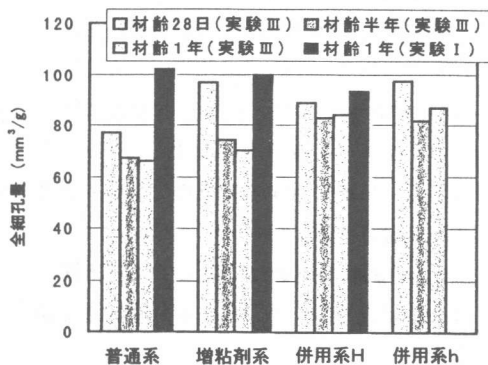


図-8 材齢による全細孔量の変化

の場合は大きな値となっている。

4.4 圧縮強度と他の物性との関係

図-9 は圧縮強度と比抵抗、酸素拡散係数の関係を示したものである。

圧縮強度と全細孔量に明確な関係は見られなかったが、比抵抗と酸素拡散係数に関しては圧縮強度の増加に伴いそれぞれ増加および減少傾向が見られる。

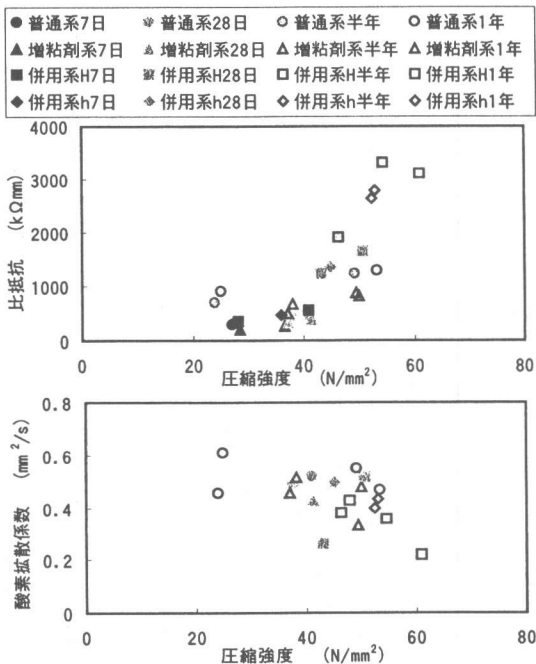


図-9 圧縮強度と他の物性の関係

5 まとめ

本実験の範囲では以下の事項が明らかになったと思われる。

- (1) フレッシュコンクリートではほぼ同一のスランプフローを有する高流動コンクリートであっても、分離に対する抵抗性は骨材の粒度に大きく影響される。
- (2) 供試体の比抵抗に関しては、下層コンクリートは上層コンクリートよりも大きな値を示した。
- (3) 気中に静置した供試体の硬化コンクリー

トは標準養生の供試体に比して、材齢の経過による圧縮強度や比抵抗の伸びは小さく、酸素拡散係数は若干増加する傾向にあった。

(4) 材齢 28 日ではほぼ同一の圧縮強度を有する硬化コンクリートの比抵抗、全細孔量、酸素拡散係数に関しては、普通系と増粘剤系はほぼ同一の値であり、併用系はこれらを上回った。

(5) 酸素拡散係数は比較的圧縮強度と比較的良好な関係を有するようであった。

謝辞：本研究の実施に当たっては佐野清史氏（東洋建設(株)）、竹内博幸氏（五洋建設(株)）、守分敦郎氏（東亜建設(株)）に多大の御助力を頂いた。また、実験は卒論生の岡本俊哉君（現 オリエンタルコンサルタンツ(株)）、久保寺勝行君（現 西松建設(株)）、伊藤真君（現 鉄道建設公団(株)）に担当頂いた。ここに関係者各位に慎んで感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 岡村甫、前川宏一、小沢一雅：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、232pp、1993.9
- 2) 超流動コンクリート研究委員会報告書（Ⅱ）、日本コンクリート工学協会、279PP、1994.5
- 3 自己充填コンクリートセミナー論文報告集、土木学会、コンクリート技術シリーズ No.19、204pp、1997.5
- 4) 港湾の施設を対象とした高流動コンクリートのマニュアル、沿岸開発技術研究センター、115pp、1997.5
- 5) 新宮康之、松本典人、佐野清史、宮川豊章、藤井学：高流動コンクリートの細孔構造と物質透過性に関する一考察、高流動コンクリートシンポジウム論文報告集、土木学会、コンクリート技術シリーズ No.10、113pp～118pp、1996.3
- 6) 長岡覚、杉山隆文、辻幸和、橋本親典：高流動コンクリートの物質移動特性に関する一考察、高流動コンクリートシンポジウム論文報告集、土木学会、コンクリート技術シリーズ No.10、119pp～122pp、1996.3