

論文 養生初期に圧力環境下に置かれた増粘剤系高流動コンクリートの強度および耐凍害性

菅田 紀之^{*1}・河原 昇生^{*2}

要旨：養生初期に圧力環境下におかれた増粘剤系高流動コンクリートの強度および耐凍害性、細孔構造の変化等について検討を行った。その結果、練混ぜ直後の養生初期に圧力を作用させると空気量および細孔容積が減少し強度が増加することが明らかになった。また、十分な耐凍害性を確保するためには8%程度の空気量が必要なこと、圧力により空気量が減少するにもかかわらず、耐凍害性が向上する場合があることを示した。

キーワード：高流動コンクリート、耐凍害性、強度、圧力、細孔構造

1. はじめに

コンクリート構造物の施工省力化あるいは品質の確保を目的として、高流動コンクリートが適用される例が多くなってきている。高流動コンクリートを使用した施工では、打込み速度の増加が可能であり、その場合には打込み高さも増加する。その影響として、型枠に作用する側圧の増加、コンクリート自体に作用する圧力の増加が挙げられる。しかしながら、養生初期から圧力環境下におかれた高流動コンクリートの特性に関する研究は、著者等¹⁾によるもののほか見当たらない。また、増粘剤系高流動コンクリートの耐凍害性は、普通コンクリートや粉体系高流動コンクリートと比較すると劣るという報告^{2)~4)}があり、増粘剤系高流動コンクリートを構造物の建設に使用していくためには、養生初期の圧力が耐凍害性等に及ぼす影響について明らかにしておく必要がある。

そこで本研究では、練混ぜ・打込み直後の養生初期から圧力環境下に置かれた増粘剤系高流動コンクリートの強度および耐凍害性について検討を行った。また、圧力による空気量および細孔構造の変化についても検討を行った。

2. 実験の概要

2.1 コンクリートの配合および材料

実験は、表-1および2に示すような配合および使用材料の増粘剤系高流動コンクリートについて行った。水セメント比を50%、単位水量を175 kg/m³とするコンクリートであり、セルロース系高分子化合物を成分とする増粘剤およびポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を用いて高流動化を行っている。目標スランプフローは65 cm、目標空気量は5.5%、7.0%、8.5%である。空気量の調整は、天然樹脂酸塩系のAE剤を用いて行った。

表-1 コンクリートの配合

目標空気量(%)	目標スランプフロー (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				SP (C×%)	V (W×%)	AE (C×%)
				W	C	S	G			
5.5	65	50	51.8	175	350	934	843	2.0	0.21	0.015
7.0						915	822			0.03
8.5						893	803			0.05

*1 室蘭工業大学講師 工学部建設システム工学科 工博(正会員)

*2 (株)シーイーサービス 工修

表-2 使用材料

材 料	記号	性質等
セメント	C	普通ポルトランドセメント 比重: 3.15
細骨材	S	陸砂 比重: 2.74
粗骨材	G	砕石 2005 比重: 2.65
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系
増粘剤	V	セルローズ系
AE 剤	AE	天然樹脂酸塩系

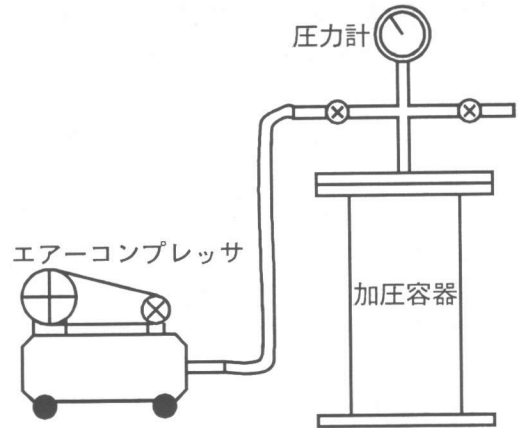


図-1 加圧装置

表-3 空気量およびスランプフロー

目 標 空 気量(%)	養生圧力 (MPa)	空気量 (%)	スランプフ ロー (cm)
5.5	0.1	5.3	61
	0.2	5.4	60
	0.3	5.3	61
	0.4	5.3	61
7.0	0.1	7.0	65
	0.2	6.0	61
	0.3	7.0	65
	0.4	7.0	65
8.5	0.1	8.3	66
	0.2	8.4	65
	0.3	8.3	66
	0.4	8.3	66

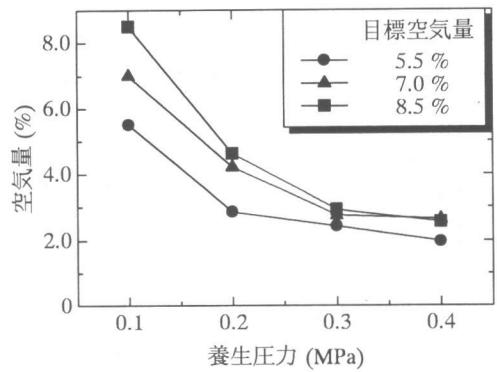


図-2 空気量の変化

2.2 養生方法

コンクリートの加圧養生は、20℃に設定された恒温室内において図-1に示すような装置を用いて行った。型枠にコンクリートを打込み上面をラップにより塞ぎ封緘状態とし、そのコンクリートを加圧容器内に設置しエアークンプレッサーにより所定の圧力まで加圧を行った。作用させた圧力は、0.1 MPa(常圧)から0.4 MPaまで0.1 MPa 間隔で4種類である。これは打込み時の圧力が液圧で作用するものと仮定した場合、打込み高さが約12 mまでの圧力に相当する。加圧期間は3日間とし、その後脱型し20℃の水中で養生を継続した。加圧圧力が0.1 MPa(常圧)の場合には室温が20℃の恒温室内において3日間封緘養生を行い、脱型後20℃

の水中で養生を継続した。

表-3は各試験ケースにおける練混ぜ直後におけるスランプフローおよび空気室圧力法によって測定された空気量である。

3. 試験結果および考察

3.1 空気量

図-2は養生初期の圧力と空気量の関係を示している。空気量は、加圧養生終了時において測定したコンクリートの単位容積質量の変化を用いて算定した。図より、いずれのケースにおいても圧力が増加することにより空気量が減少していることがわかる。圧力が0.2 MPaの場合における空気量は常圧時(0.1 MPa)の52%から60%であり、ボイルの法則(常圧時の50%)より

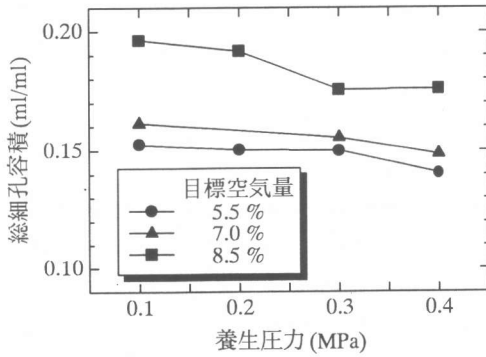
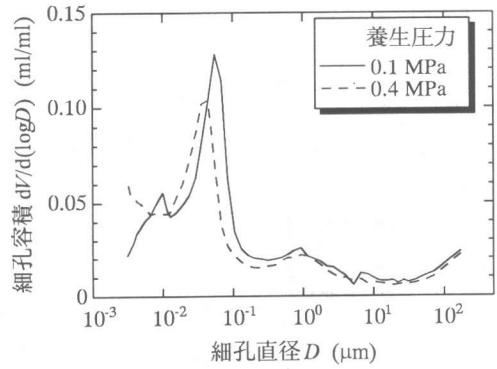


図-3 総細孔容積の変化

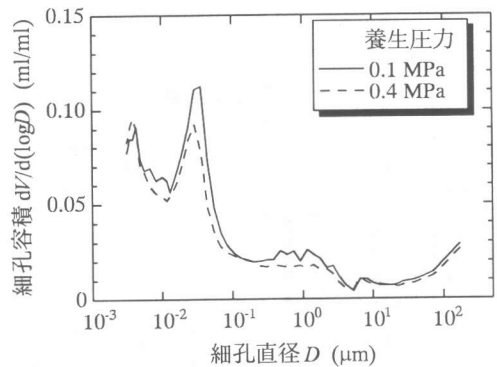
も若干大きくなっていることがわかる。また、圧力が0.3 MPa および0.4 MPaの空気量はそれぞれ常圧時の34%から44%および30%から38%であり、圧力が0.2 MPaの場合と同様に、ポイルの法則(それぞれ33%および25%)よりも大きな値になっている。以上より、圧力の作用により当初導入した空気が減少することがわかった。

3.2 細孔構造

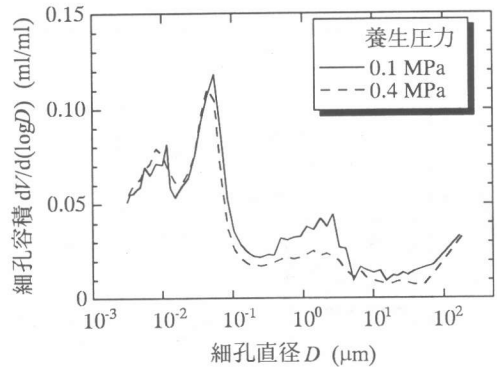
細孔容積の測定は水銀圧入式ポロシメータを用いて行った。測定範囲は3 nm から340 μm であり、この範囲の総細孔容積を示すと図-3のようになる。図より空気量が多いほど総細孔容積が大きいことが分かる。また、養生初期における圧力を大きくすると総細孔容積が減少していることがわかる。圧力が0.4 MPaの場合における容積の減少率は、目標空気量が5.5%および7.0%に対しては8%、目標空気量が8.5%に対しては10%である。図-4は各目標空気量のコンクリートの細孔分布を示している。空気量により直径10 nm以下の細孔分布が異なっているが、他の範囲ではほぼ同様な分布を示している。目標空気量が5.5%の場合、50 nmから60 nmのピーク値が圧力の作用を受け減少し、分布全体も細孔径の小さいほうに変化していることがわかる。また、1 μm 前後の分布は若干小さくなっていることがわかる。目標空気量が7.0%の場合には、10 nmから6 μm の範



(a) 目標空気量 = 5.5%



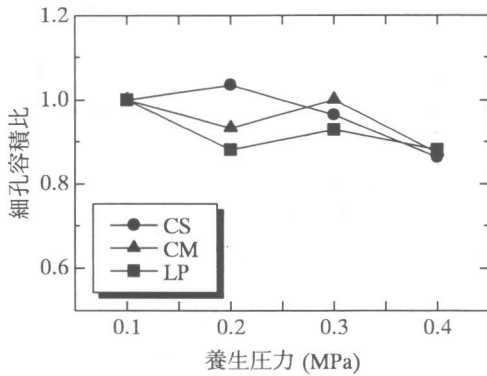
(b) 目標空気量 = 7.0%



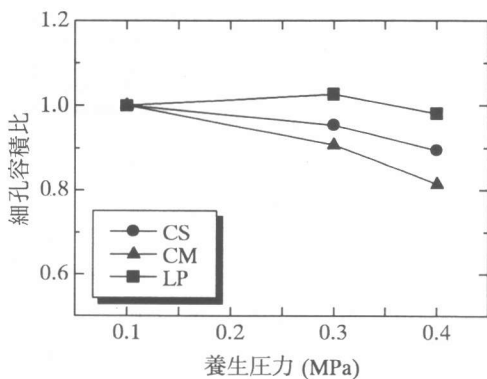
(c) 目標空気量 = 8.5%

図-4 細孔分布

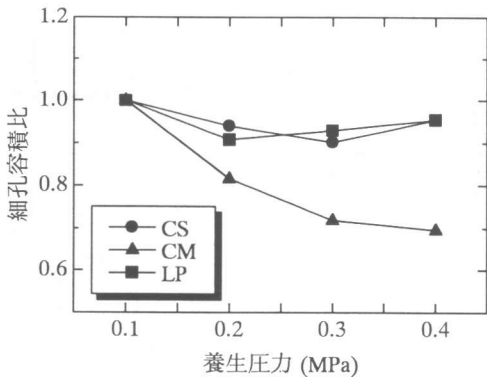
囲の細孔容積が減少している。目標空気量が8.5%の場合には、60 nmから100 μm の範囲の細孔容積が減少している。特に、1 μm 前後の細孔が減少していることがわかる。また、目標空気量が多いほど、50 nm前後の細孔の圧力



(a) 目標空気量 = 5.5 %



(b) 目標空気量 = 7.0 %



(c) 目標空気量 = 8.5 %

図-5 細孔容積の変化

による減少量が小さくなり、1 μm 前後の細孔の減少量が大きくなっていることもわかる。

次に、細孔の分布状況を考慮して細孔の範囲を以下のように区分し検討を行う。

① : 11 nm から 180 nm の範囲, 小さな毛細

管空隙 (CS)

② : 180 nm から 6 μm の範囲, 毛細管空隙 (CM)

③ : 6 μm 以上の範囲, 大きな毛細管空隙および気泡 (LP)

それらの範囲における細孔容積の変化を示すと図-5のようになる。各範囲における細孔容積は、常圧時(0.1 MPa)における細孔容積に対する比で示している。目標空気量 7.0 %における LP の範囲以外の細孔容積は、圧力を受けると減少するという傾向が見られる。一般に、CS および CM の範囲における毛細管空隙中の水の凍結が凍害の要因となるといわれている。養生初期において圧力を受けた場合、この範囲の細孔容積が減少していることより凍害の要因は減少するといえる。目標空気量が 5.5 % の場合、0.4 MPa の圧力を受けることにより、各範囲の細孔容積は 12 % から 16 % 減少している。目標空気量が 7.0 % の場合には、CS の範囲の細孔が 11 %、CM の範囲の細孔が 19 % 減少している。目標空気量が 8.5 % の場合には、CM の範囲における細孔の減少が大きく、減少量は 30 % である。一方、CS および LP の範囲における細孔の減少は 5 % であり小さい。図-4 においても示されているが、CM の範囲における細孔の減少は、空気量が多いほど大きいことがわかる。

3.3 圧縮強度

材齢 28 日における圧縮強度を示すと、図-6のようになる。強度は、常圧時の強度 (f_{c1}') に対する比で示している。目標空気量が 8.5 % のケースにおいて、養生圧力が 0.3 MPa から 0.4 MPa へ増加しても強度の増加が示されていないが、圧力が増加するに従い強度も増加する傾向にあることがわかる。0.4 MPa の圧力を作用させた場合、目標空気量 5.5 % では 21 %、7.0 % では 37 %、8.5 % では 40 % の強度増加があり、目標空気量が多いほど圧力による強度の増加が大きいようである。この圧縮強度の増加は、圧力の作用により空気量が減少したこと、

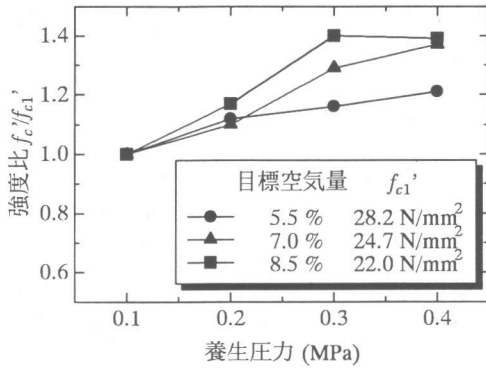
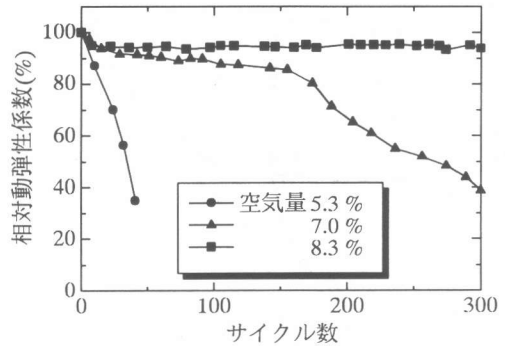


図-6 圧縮強度

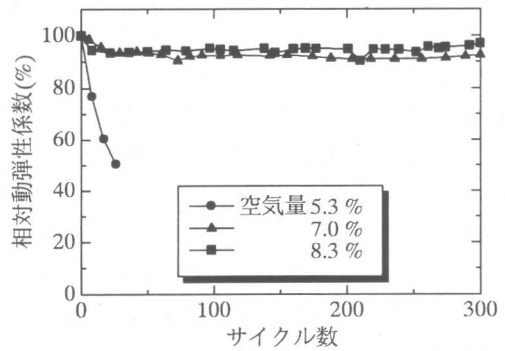
および細孔容積が減少し組織が密実になったことによるものと考えられる。

3.4 耐凍害性

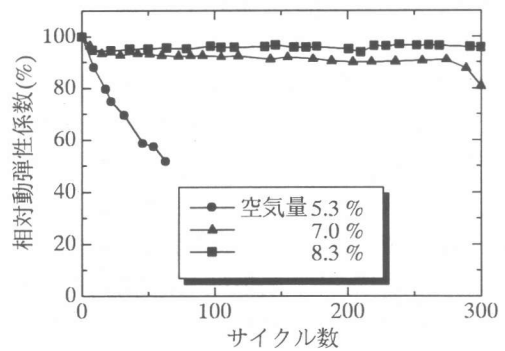
耐凍害性を検討するために、凍結融解試験を材齢 14 日のコンクリートに対して行った。図-7 は凍結融解試験の結果を示している。養生圧力が 0.1 MPa (常圧) の結果に関して検討すると、空気量が 5.3 % の場合、32 サイクルの凍結融解により相対動弾性係数が 56 % に減少しており、十分な耐凍害性が得られていないことがわかる。また、空気量が 7.0 % の場合には、170 サイクル程度までは相対動弾性係数の値が 80 % 以上であるが、その後減少し 300 サイクルにおいては相対動弾性係数が約 40 % になっている。空気量が 8.3 % の場合には、300 サイクルの凍結融解が作用しても相対動弾性係数が 95 % 程度であり、十分な耐凍害性を有しているといえる。養生初期の圧力を 0.3 MPa とした場合の凍結融解試験結果に関しては、空気量が 5.3 % の場合、常圧において養生を行った場合と同様に急激な相対動弾性係数の減少が示されており、17 サイクルの凍結融解作用により 60 % まで減少している。しかしながら、空気量が 7.0 % の場合には、300 サイクルにおいても 90 % 以上の相対動弾性係数を維持しており、十分な耐凍害性を持っているものといえる。空気量が 8.3 % の場合には、300 サイクルの凍結融解作用が作用しても、95 % 程度の相対動弾性係



(a) 養生圧力 = 0.1 MPa (常圧)



(b) 養生圧力 = 0.3 MPa



(c) 養生圧力 = 0.4 MPa

図-7 凍結融解試験結果

数を維持していることがわかる。養生初期の圧力を 0.4 MPa とした結果については、養生圧力を 0.3 MPa とした場合とほぼ同様な結果になっている。また、空気量が 7.0 % の場合については、養生初期において圧力を受けると耐凍害性が向上していることがわかる。

図-8 は空気量と耐久性指数の関係を示して

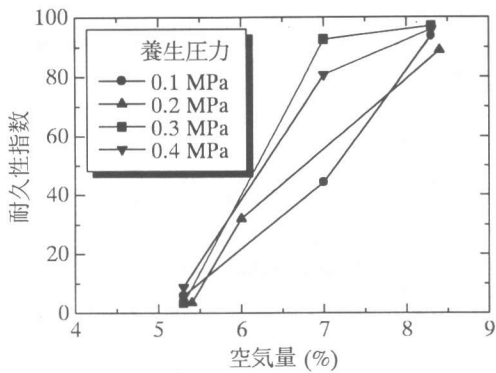


図-8 耐久性指数

いる。図より空気量が5.3%程度では、いずれの養生圧力においても耐久性指数が10以下であることがわかる。また、80以上の耐久性指数を得るために必要な空気量は、養生圧力0.1 MPa(常圧)および0.2 MPaに対しては8.3%、0.3 MPaおよび0.4 MPaに対しては7.0%であることがわかる。以上より、十分な耐凍害性を確保するためには8%程度の空気量を確保する必要があるといえる。また、空気量を多くした場合に強度が低下することを考慮して配合を決定する必要があるものと思われる。図-8にも示されているが、一般に空気量以外の条件が同じであれば空気量が少ないほど耐久性指数は小さくなる。しかしながら、空気量が7.0%の場合、圧力の作用により空気量が減少したにもかかわらず耐久性指数が大きくなっている。これは、凍害の要因である毛細管空隙が圧力を受けることにより減少した効果が、凍害を緩和する空気量の減少の影響よりも大きかったためであると考えられる。

4. まとめ

本研究では、養生初期に圧力環境下におかれた増粘剤系高流動コンクリートの強度および耐凍害性について明らかにする目的で、目標空気量を5.5%、7.0%、8.5%とする高流動コンクリートに練混ぜ・打込み直後に0.1 MPa(常圧)から0.4 MPaの圧力を作用させ、強度および耐凍害性について検討した。また、空気量および細

孔構造の変化について検討を行った。その結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 養生初期に受ける圧力が高いほど空気量は小さくなる。
- 2) 圧力が高いほど細孔容積は減少する。直径180 nmから6 μmの細孔は空気量が多いほど減少量が多い。
- 3) 養生初期に受ける圧力が高いほど圧縮強度は高くなる。強度増加率は、空気量が多いほど大きい。
- 4) 十分な耐凍害性を得るためには、8%程度の空気量が必要である。
- 5) 圧力を受けることにより耐凍害性が向上する場合がある。

謝辞：本研究における細孔の測定は、日鐵セメント(株)所有の水銀圧入式ポロシメータを使用して行いました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 菅田紀之・尾崎諷・鮎田耕一：高圧下で養生されたコンクリートの強度および耐凍害性について、セメント・コンクリート論文集、No. 53, pp.417~422, 1999.
- 2) 須藤裕司・鮎田耕一・佐原晴也・竹下治之：増粘剤を添加した高流動コンクリートの耐凍害性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14, No.1, pp.1003~1008, 1992.
- 3) 佐原晴也・庄司芳之・竹下治之・鮎田耕一：増粘剤を添加した高流動コンクリートの耐凍害性の向上方法に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14, No.1, pp.1009~1014, 1992.
- 4) 山川勉・捧剛明・早川和良・鮎田耕一：分離低減剤を用いた高流動コンクリートの耐凍害性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15, No.1, pp.155~160, 1993.