室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

圧力環境下で養生されたコンクリートの気泡組織と細孔構造について

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 土木学会北海道支部
	公開日: 2013-03-22
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 清野, 和徳, 菅田, 紀之, 尾崎, 訒, 鮎田, 耕一
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1960

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

圧力環境下で養生されたコンクリートの気泡組織と細孔構造について

その他（別言語等）のタイトル	Air-Void system and pore structure of concrete cured under pressure condition
著者	清野　和徳，菅田　紀之，尾崎　?，鮎田　耕一
雑誌名	論文報告集
巻	55A
号	V-1
ページ	428-433
発行年	1999-02
URL	http://hdl.handle.net/10258/1960

V－1

圧力環境下で養生されたコンクリートの気泡組織と細孔構造について

室蘭工業大学　学生会員　清野　和徳
室蘭工業大学　正会員　菅田　紀之
室蘭工業大学　フェロー　尾崎　訒
北見工業大学　フェロー　鮎田　耕一

1. はじめに

近年、地下構造物の大型化・大深度化に伴い、より優れた流動性、充填性、低発熱性を兼ね備えた高品質かつ低コストの水中コンクリートが要求されている。また、大深度下では非常に大きな土圧や水圧を受けるため、高圧下に打設されるコンクリートがどのような影響を受けるのかを把握する必要があると思われる。また、地上の構造物でも高流動化に伴い打設速度や打設高さの増大によって側圧の増加が予想され、圧力の影響を把握する必要がある。

本研究は、フレッシュな状態から高圧下で養生された高炉スラグを用いた高流動コンクリートの強度特性に及ぼす細孔構造や気泡組織を調べ、従来の低発熱型特殊高炉セメントを用いた普通コンクリートとの比較検討をするものである。

表－1　コンクリートの配合

	空気量 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量（ℓ/m³）								
				W	C	F	S	G	V	M	P	A
High Flowig Conc	3.0	35.0	50.0	160	72.5	78.5	329.5	329.5	—	B× 1.05(%)	—	B× 0.012(%)
Normal Conc	4.5	48.6	45	170	118	—	300	367	B× 0.01(%)	—	B× 0.4(%)	—

表－2　使用材料

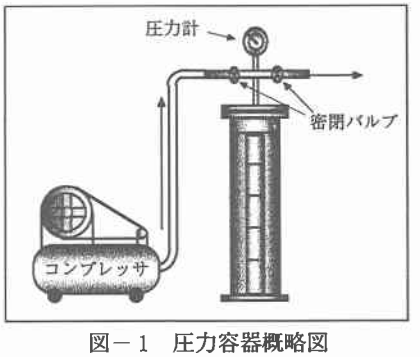
セメント	N	普通ポルトランドセメント　比重3.15　比表面積3270(cm²/g)
	L	低発熱型特殊高炉セメント　比重2.97　比表面積3470(cm²/g)
高炉スラグ微粉末	F	比重2.89　比表面積6040(cm²/g)
細骨材	S	白老産陸砂　比重2.71
粗骨材	G	白老産砕石　比重2.67
高性能AE減水剤	M	ポリカルボン酸系
空気量調整剤	A	天然樹脂酸塩特殊界面活性剤
AE剤	V	天然樹脂酸塩系
減水剤	P	リグニンスルホン酸系

2. 実験概要

2.1　コンクリートおよび養生方法

本実験で用いたコンクリート供試体の配合及び使用材料をそれぞれ表－1、表－2に示す。高流動コンクリートの結合材には、普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を使用した。また普通コンクリートでは低発熱型特殊高炉セメントのみを使用した。また、コンクリートの養生条件として、打込み直後に与える圧力を0～5 kgf/cm²とし、水中、大気中でそれぞれ28日間とした。

図－1に、圧力環境下でコンクリート供試体を養生する際に使用した装置の概略図を示す。これは、フレッシュコンクリート供試体を使い捨て型枠ごと容器内に入れ、密閉しエアコンプレッサーで空気を送り込むことで、容器内の気圧を上昇させ、フレッシュコンクリート供試体を圧力環境下で養生するものである。



図－1　圧力容器概略図

Air-Void system and pore structure of concrete cured under pressure condition
by Kazunori Seino , Noriyuki Sugata , Shinobu Ozaki and Kouichi Ayuta

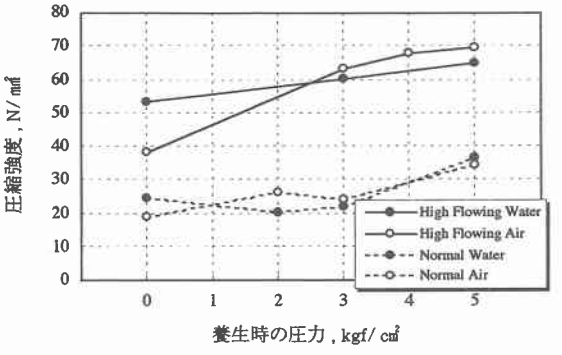
2.2　試験方法

圧縮強度試験（JIS A 1108）は、φ10×20 cmの供試体を用い、材齢28日で行った。硬化コンクリートの気泡分布の測定は、各供試体（φ10×20cm）の中央部分を切断したものを入念に研磨し、画像解析システム[1]により断面部分の気泡数、分布、気泡間隔係数について調べた。細孔構造の測定は、供試体中央部のコンクリートから採取した2.5～5.0mmのモルタル部分について水銀圧入式ポロシメーターを用い、細孔直径3.2nm以上の全細孔量、細孔径分布の測定を行った。凍結融解試験に用いた供試体については、10×10×40 cmの角柱で、材齢14日、28日まで所定の養生を行った後に、JSCE-G501に準じて1サイクル4時間として水中凍結水中融解試験を行った。さらに、凍結融解サイクルに伴うコンクリート供試体の劣化を評価するため、たわみ振動による一次共鳴振動数および質量の測定を行った。

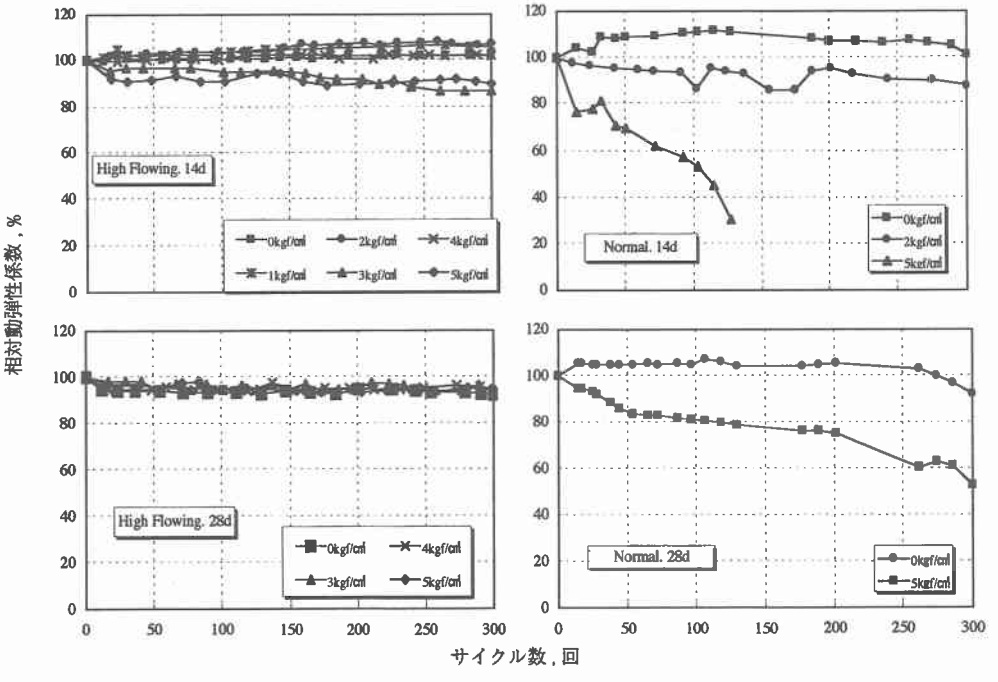
3.　実験結果および考察

3.1　圧縮強度

図－2は、養生時の圧力の影響を検討するために普通コンクリートと高流動コンクリートの養生時における圧力と圧縮強度の関係を示したものである。この図より、養生時の圧力が高いものの方が高強度を示すという傾向が見られた。また、コンクリートの単位容積



図－2　養生時の圧力と圧縮強度の関係

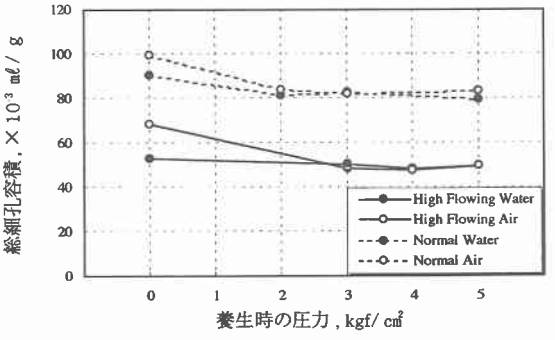


図－3　凍結融解試験結果

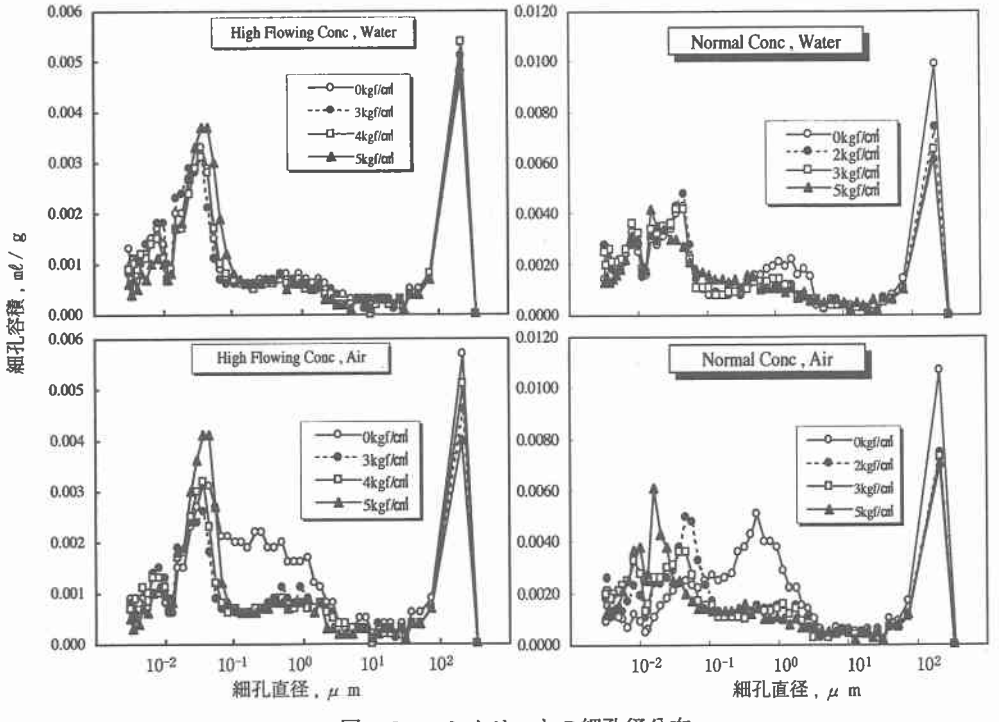
質量の測定では、高圧下で養生したものが常圧下で養生されたものに対して1～2.5%程度大きい値が確認された。この理由として、圧力による締め固め効果と気泡の体積減少のためにコンクリートの組織がより密実になるためであると考えられる。ただし、普通コンクリートの場合2、3kgf/cm²の圧力下では水中養生を行ったものでは常圧で養生したものに比べ圧縮強度の減少が見られた。これは圧力を受けると水中養生の場合、供試体内部への浸水が起こる可能性があり、そのため圧力増大による組織の緻密化による強度増加の効果が減少したためであると考えられる。高流動コンクリートの場合にこの現象が起きない要因としては、水結合材比が普通コンクリートに比べ小さいこと、粘性が強いことなどにより供試体内部への水の侵入が起こりにくいことが考えられる。

3.2 凍結融解試験結果

圧力と養生期間の異なる水中養生を行った高流動コンクリートと普通コンクリートの相対動弾性係数と凍結融解サイクル数との関係を図－3に示す。高流動コンクリートに関しては、養生期間が14日で3kgf/cm²と5kgf/cm²の圧力のもので若干の動弾性係数の低下が認められたものの、それ以外の全ての条件では凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の低下は認められず、十分な耐凍害性を示していると思われる。また重



図－4　養生時の圧力と総細孔容積の関係



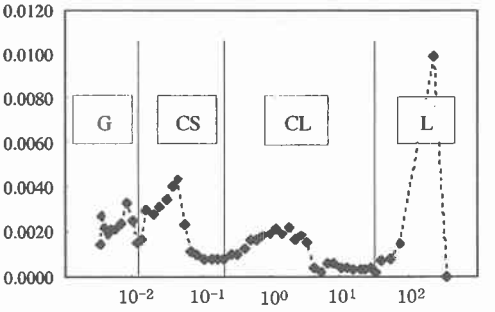
図－5　コンクリートの細孔径分布

量変化についても同様で、スケーリングもほとんど認められておらず、耐凍害性に優れていると考えられる。また普通コンクリートに関して、同様の検討を行った結果、養生期間14日のものが28日のものに比べ早いサイクルでの相対動弾性係数の低下が確認された。また、圧力が大きい程、相対動弾性係数の低下は著しいことがわかる。これらのことから、この実験の範囲内では高流動コンクリートに関しては耐凍害性に悪影響をおよぼすような要因は見られなかったが、普通コンクリートでは養生時に受ける圧力がコンクリートの内部の組織に何らかの変化を与えていると推測される。そこでこの様な圧縮強度の増加や耐久性の要因として、細孔構造と気泡組織の変化に着目し検討を行った。

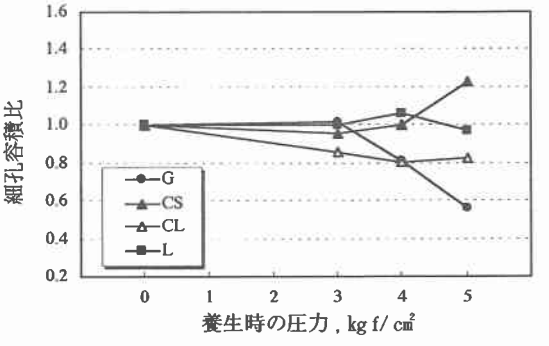
3.3 細孔構造

図－4は、養生時の圧力と総細孔容積の関係を示したものである。この図より養生時の圧力の高いものの方が総細孔容積は減少するという傾向が見られた。次に細孔径の分布を図－5に示す。水中養生したものに関しては、圧力をかけたものは常圧のものに比べ比較的大きな径を持つ毛細管空隙の減少が見られ、また小さな径の毛細管空隙が増加するという傾向が見られた。気中養生に関しては、水中養生のものに比べ水和が十分に進んでいないため常圧では大きな細孔が多く見られるのに対し、圧力をかけたものでは、圧力を受けることによって比較的大きな空隙の減少が見られた。また、この様な傾向は普通コンクリートに関しても同様に見られた。これらの細孔径の変化について、より詳しく調べるために図－6に示すように、ゲルの一部と考えられる範囲をG、毛細管空隙の比較的小さいものの範囲をCS、毛細管空隙の大きなものの範囲をCL、大きな空隙をLとし、その範囲で細孔容積と養生時の圧力の関係について検討を行う。図7～10は養生時の圧力と細孔容積の関係を示している。細孔容積は常圧時に対する比としている。

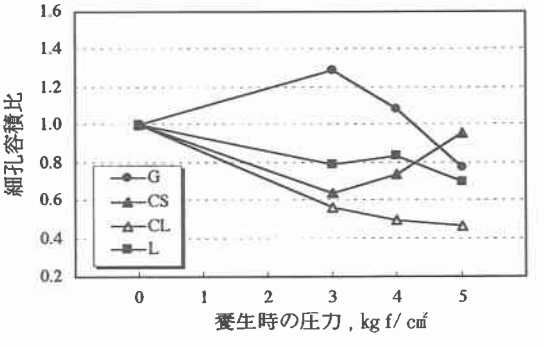
高流動コンクリートの水中養生したものは、圧力を受ることによって、ゲル空隙の範囲で減少が見られた。高流動コンクリー



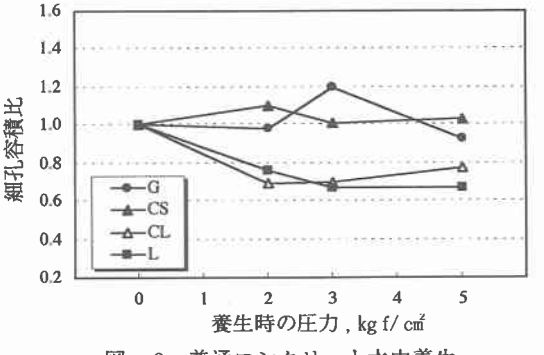
図－6　細孔領域の分け方



図－7　高流動コンクリート水中養生

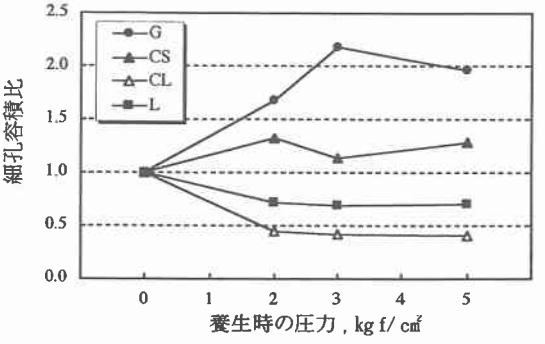


図－8　高流動コンクリート気中養生



図－9　普通コンクリート水中養生

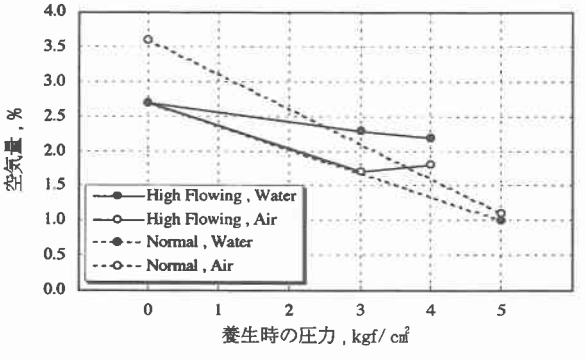
トの気中養生の場合ではゲル空隙の範囲で一度増加傾向を示しその後減少していくという傾向が見られた。その他については圧力に伴い減少傾向にあるといえる。気中養生のものがゲル空隙の範囲で一度増加するのは、圧力をかけたものが封緘養生であるのに対し、常圧のものは成形後一日で気中に放置して養生しているため、水和が十分ではなく、ゲル空隙の容積が小さく出てしまったことによるものと考えられる。普通コンクリートの水中養生の場合は小さな空隙に関しては若干増加し、大きな空隙の減少が見られた。ここからは圧力を受けた際に圧縮強度が若干低下する要因は見られなかった。これはモルタル試料作成の際に供試体の表層部と中心部の区別をせずに試料を採取したため、浸水による細孔の変化については確認することが出来なかった。普通コンクリートの気中養生のものでも水中養生のものと同様な変化を示すがその増減の割合はより顕著であった。これらのことから養生時に圧力を受けると細孔径のピークが小さな方に移動するといえる。またその傾向は養生が不十分な気中養生の場合に顕著である。細孔径のピークが移動することによりコンクリートの組織は緻密化し、耐凍害性も向上すると考えられるがそのような傾向は見られなかった。そこで次に気泡組織に着目し検討を行った。



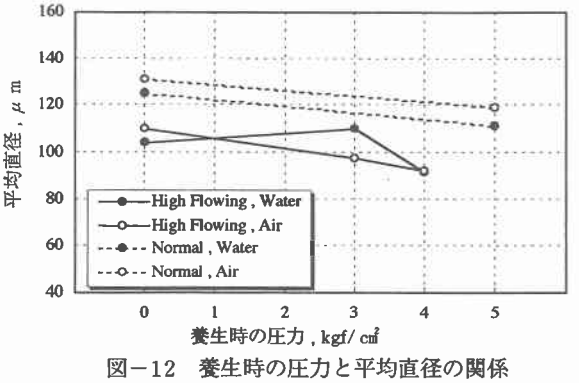
図－10　普通コンクリート気中養生

3.4　気泡組織

図－11～14に硬化コンクリートの気泡組織の測定結果を示す。空気量に関しては高流動コンクリート、普通コンクリート共に圧力の増大に伴い減少傾向がみられた。また平均直径に関しては、普通コンクリートでは圧力に伴い小さくなっており、またそれにより気泡間隔係数は大きくなっている。またこのとき気泡数も同様に減少している。一方、高流動コンクリートでは圧力により平均直径は小さくなるが、間隔係数や気泡数の増加あるいは減少といった傾向は見られない。これらのことにより、圧力が増加することよって空気量は減少するが、高流動コンクリートでは気泡数がさほど変化せずに個々の気泡が小さくなるのみで間隔係数があまり大きくならず強度、耐久性

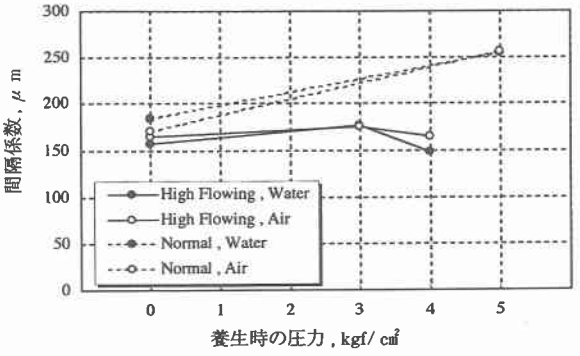


図－11　養生時の圧力と空気量の関係



図－12　養生時の圧力と平均直径の関係

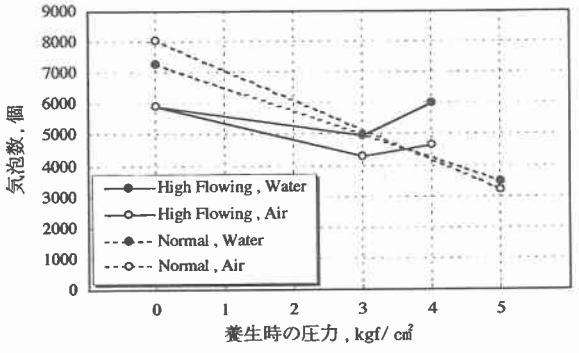
に関しては優れているといえる。それに対し、普通コンクリートでは気泡数が大幅に減少することにより空気量が減少し、間隔係数が増大するということが明らかになった。これにより強度は増加するが耐久性は低下しているものと考えられる。



図－13　養生時の圧力と間隔係数の関係

4　まとめ

本研究の目的は打込み直後から圧力を受けるコンクリートの強度や耐久性に影響を与える細孔構造や気泡組織の変化を明らかにすることにある。そこで、打込み直後に与える圧力を0～5 kgf/cm²、養生条件として水中と大気中養生、コンクリートの種類として高流動コンクリートと普通コンクリートに対し、これらの材令28日における細孔構造、気泡組織について比較検討を行った。本研究の範囲内でまとめると以下のようになる。



図－14　養生時の圧力と気泡数の関係

1) 高流動コンクリート、普通コンクリートともに養生時に受けた圧力が大きいほど、圧縮強度は大きな値を示す。
2) 圧力を受けることによって減少する細孔は0.2 μm以上である。0.01 μm以下の細孔は圧力により増加することもあり、これらにより細孔径分布のピークは圧力を受けると小さな径の方に移動するといえる。また、この傾向は養生が不十分な大気中養生のものに関して顕著に現れた。
3) 圧力による空気量の減少は、気泡の大きさが小さくなることによるが、フレッシュコンクリートの性質によって異なり、気泡数の減少による影響が大きい場合もある。
4) 細孔径が小さくなることと空気量の減少により圧縮強度は大きくなるが、気泡数の減少による空気量の減少および間隔係数の増大は耐凍害性に悪い影響を与える。

[参考文献]

1)　鮎田耕一、桜井宏、田辺寛一郎：硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析、土木学会土木学会論文集、第420号、V-13、pp81-86（1990）