

## V-26

## 高圧下で養生されたコンクリートの気泡組織と耐凍害性について

室蘭工業大学工学部 学生会員 清野 和徳  
 室蘭工業大学工学部 正会員 菅田 紀之  
 室蘭工業大学工学部 フェロー 尾崎 認

## 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な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、高圧下で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。一方、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る圧力の増加が予想される。

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や耐凍害性に及ぼす気泡構造を調べ、従来の普通コンクリートとの比較検討をするものである。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料・配合

使用した供試体の配合を表-1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(比重3.15, 略号C)と高炉スラグ微粉末(比重2.89, 比表面積6000 cm<sup>2</sup>/g, 略号BS)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(比重2.97)のみを用いた。使用骨材は、白老産の陸砂(比重2.73, 粗粒率2.73, 略号S)および白老産碎石(比重2.66, 粗粒率6.68, 略号G)を使用した。混和剤は、高流動コンクリートにはポリカルボン酸系高性能AE減水剤(略号SP)を使用し、普通コンクリートには天然樹脂酸塩系AE剤(略号AE)を使用した。

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容器の概略図を示す。これは、フレッシュコンクリート供試体を容器内に入れ、蓋をして密閉しガスボンベで窒素ガスを送り込むことで、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。

## 2.2 試験方法

圧縮強度試験(JIS A 1108)は、 $\phi 10 \times 20$  cmの供試体を用い、材齢14日および28日にそれぞれ行った。硬化コンクリートの気泡分布の測定は、各供試体( $\phi 10 \times 20$  cm)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<sup>2)</sup>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2.0~5.0 mm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3.2 nm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、 $10 \times 10 \times 40$  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。

Air-Void System and Freeze-Thaw Resistance of Concrete Cured under High-Pressure  
 by Kazunori Seino, Noriyuki Sugata and Shinobu Ozaki

表-1 コンクリートの配合

|                    | 空気量の<br>範囲<br>(%) | W/B<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |       |      |
|--------------------|-------------------|------------|------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|------|
|                    |                   |            |            | W                       | C   | S   | G   | BS  | AE    | SP   |
| High Flowing Conc. | 3.0               | 35.0       | 50         | 160                     | 229 | 892 | 869 | 229 | -     | 5.73 |
| Normal Conc.       | 4.5               | 48.6       | 45         | 170                     | 350 | 819 | 982 | -   | 0.035 | -    |

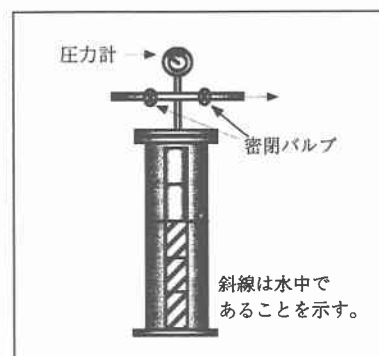


図-1 圧力容器概略図

### 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。これらの図で、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。また、供試体に作用する圧力が高くなると、水中養生よりも気中養生をした供試体の方が高い強度が確認されている。これは、圧力が高くな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伴う組織の緻密化による強度増加の効果が緩和されたためであると考えられる。

#### 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 $3\text{kgf/cm}^2$ 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

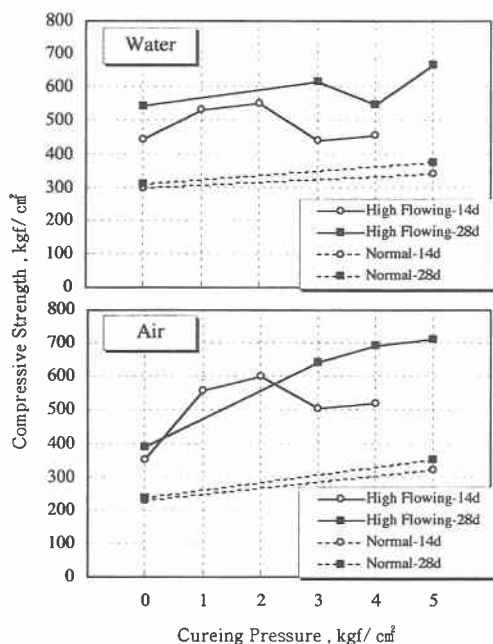


図-2 養生時の圧力と圧縮強度の関

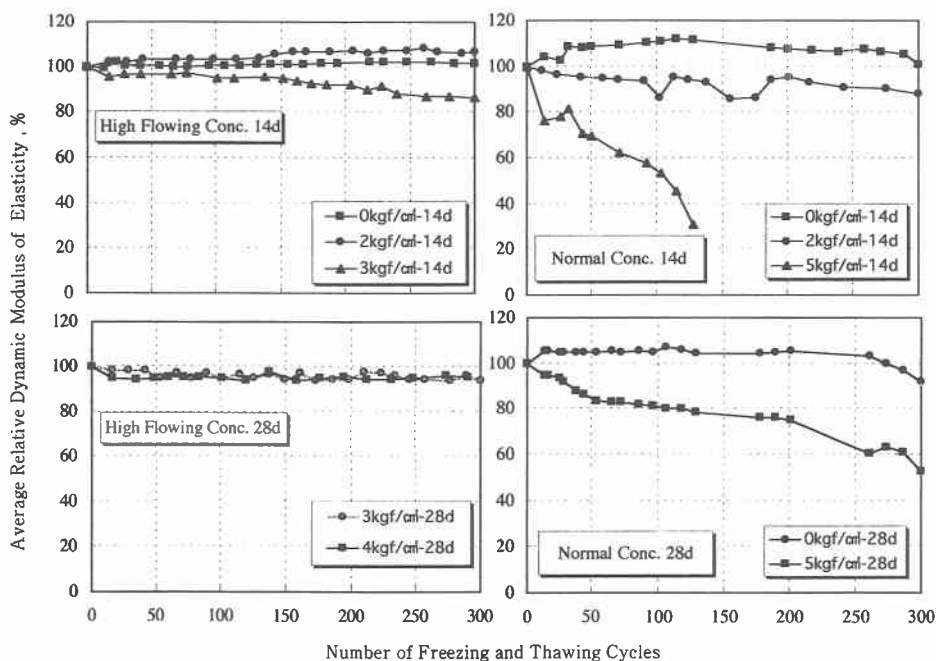


図-3 凍結融解試験結果

ず、十分な耐凍害性を示していると思われる。また重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。

これらのことから、普通コンクリートよりも高炉スラグを用いた高流動コンクリートの方が耐凍害性に優れていることが明確になった。

そこで、これらの結果の要因を明らかにするため、次節では気泡組織に関して検討を行った。

### 3.3 気泡組織

図-4は気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示したものである。図より、高流動コンクリートは気泡間隔係数の増大による耐久性指数の低下はほとんど見られない。一方、普通コンクリートは気泡間隔係数が大きくなるに従い耐久性指数が減少していることがわかる。

次に、養生時の圧力と気泡間隔係数との関係を図-5に示す。この図から、圧力の増大に伴い気泡間隔係数も増大することがわかる。このことから、圧力をかけたコンクリートは気泡間隔が大きくなるため、耐凍害性が劣るといえる。また、図-6に養生時の圧力と気泡数との関係を示す。このグラフから供試体にかかる圧力が大きくなるほど気泡数は減少することがわかった。これらの結果により、供試体に圧力をかけると気泡数が減少し、気泡間の間隔は大きくなることが明確になった。

しかし、このような気泡数のほかに気泡径の大きさも検討してみる必要がある。そこで、図-7に気泡分布性状として、各圧力における気泡径の分布を示す。この図から、普通コンクリートでは供試体に

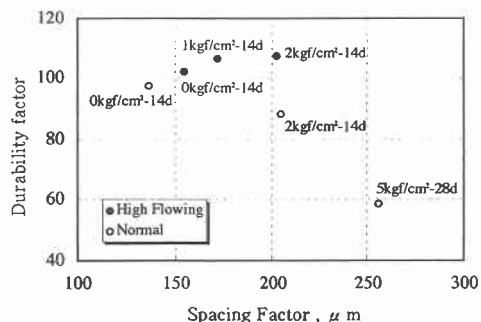


図-4 気泡間隔係数と耐久性指数の関係

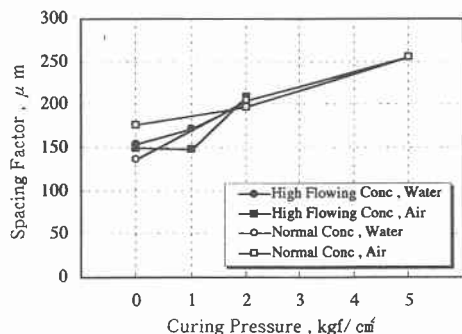


図-5 養生時の圧力と気泡間隔係数

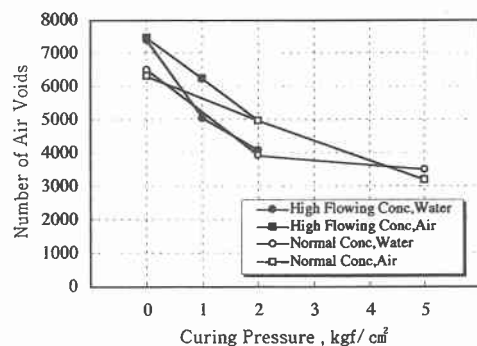


図-6 養生時の圧力と気泡数の関係

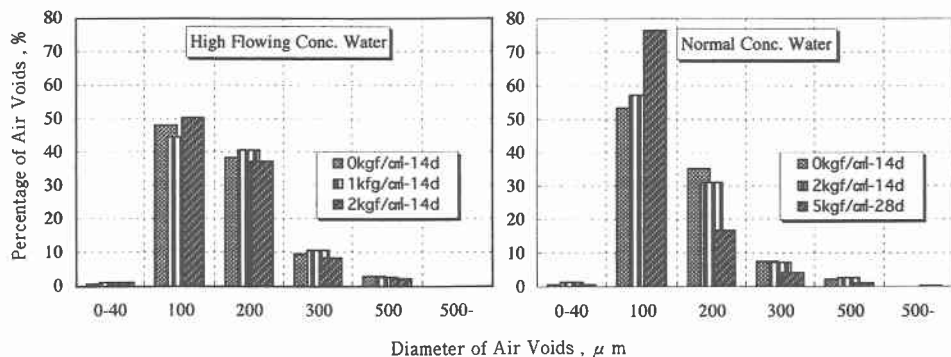


図-7 気泡分布性

圧力を加えることで、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下の微細な気泡数は増加し、反対に $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上の比較的大きな径を持つ気泡数は減少していることがわかる。このことから $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下の微細な気泡数が増えるということは耐凍害性にむしろ良い影響を与えると考えられるが、空気量そのものが減少していることから、必ずしも良い影響を与えるということは考えにくい。これらのことから普通コンクリートの場合、フレッシュな状態から加圧すると気泡数が減少し、気泡間隔が大きくなり、耐凍害性能は低下すると考えられる。しかし、高流動コンクリートに関しては同じような傾向が見られるにもかかわらず、十分な耐凍害性能を示している。これらの要因を調べるために、さらに細孔構造についても検討を行った。

### 3.4 コンクリートの細孔構造

ここでは耐凍害性に影響を及ぼすと考えられる毛細管空隙に着目し、圧力との関係を図-8に示す。この図から、総細孔容積は圧力に比例して減少することがわかる。また、毛細管空隙も総細孔容積の減少に伴い同様に減少している。また、いずれの養生期間においても普通コンクリートより高流動コンクリートの方が総細孔容積は小さくなる傾向にあり、高流動コンクリートは普通コンクリートに比べ総細孔容積が小さいため耐凍害性に優れているといえる。

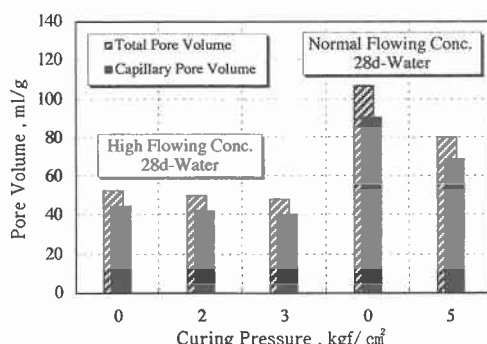


図-8 養生時の圧力と細孔容積の関係

## 4. まとめ

本実験の範囲内で得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) 高流動コンクリート、普通コンクリートともに養生時の圧力が大きいほど、圧縮強度が大きくなる傾向にある。
- (2) 水中養生した高流動コンクリートは、高圧下においても300サイクルの凍結融解に対しても十分な耐凍害性を示した。一方、普通コンクリートは早いサイクル数で相対動弾性係数の低下が見られる。
- (3) 高流動コンクリート、普通コンクリートともに養生時の圧力が大きいほど、気泡数が減少に、それにより気泡間隔係数が大きくなる傾向が見られる。
- (4) 高流動コンクリートの方が普通コンクリートよりも総細孔容積は小さな値となり、これは圧力に伴い小さくなる傾向にあった。

## おわりに

本研究では、北見工業大学に空気泡の測定をお願いした。また、細孔測定には日鉄セメント（株）のポロシメーターを使わせていただいた。ここに記して深く感謝申し上げます。

## 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）