

養生初期に圧力を受ける石灰石微粉末を用いた粉体系高流動コンクリート

High Fluidity Concrete with Limestone Powder under High Pressure at Early Age

室蘭工業大学大学院 ○学生員 河原昇生 (Nobuo Kawahara)  
室蘭工業大学工学部 正 員 菅田紀之 (Noriyuki Sugata)

1. まえがき

高流動コンクリートは、通常用いるコンクリートに比べて流動性、材料分離抵抗性、充填性などが優れており、近年、建設作業の省力化および効率化など施工性の向上の目的で適用される例が出てきている。また、高流動コンクリートが使用される施工では打設速度や打設高さが増大する傾向にある。このような施工を行なった場合、コンクリートの自重による側圧およびコンクリート自体に作用する圧力の増加が予想される。フレッシュなコンクリートが圧力を受け硬化するとコンクリートの特性が変化するものと考えられるが、この様な圧力環境下で養生されたコンクリートの性質に関する研究は、著者等の研究<sup>1)</sup>以外に、ほとんど行なわれていないのが現状である。また、粉体系高流動コンクリートには種々の材料が用いられているが、粉体量を確保するためにセメント量の増大、あるいはフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末等の混和材を用いる場合が多い。このため、設計上必要な強度を超えて高強度化される傾向にあり、経済的に不利になる。そこで、所要強度は確保するものの必要以上に超えず、経済的に有利な高流動コンクリートとするため、石灰石微粉末を用いることが考えられる<sup>2)~4)</sup>。

本研究では、石灰石微粉末を用いた粉体系高流動コンクリートが養生初期のフレッシュな状態から圧力を受けた場合の強度および耐凍害性について検討を行った。また、

コンクリートの空気量および細孔構造の変化を調べ、その特徴および強度などとの関係を検討した。

2. 実験概要

2.1 養生方法

コンクリートの養生は、練混ぜ、型枠への打ち込み後に型枠上面をラップで包み、それを圧力容器内に入れ0.2~0.4MPaの圧力を与えながら3日間行ない、その後脱型し、常圧(0.1MPa)で20℃の水中養生を11日間あるいは25日間行なった。養生圧力0.1MPaの供試体においては、打設後恒温室において3日間封緘で養生し、その後脱

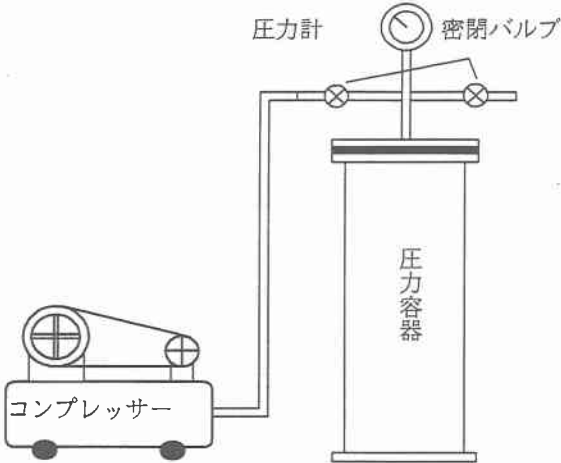


図-1 加圧養生装置

表-1 使用材料の種類

| 材料         | 略号 | 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  | 白老産陸砂 (比重 2.69)        |
| 粗骨材        | G  | 白老産碎石 2005 (比重 2.65)   |
| 混和材        | Ls | 石灰石微粉末 (比重 2.73)       |
| 高性能 AE 減水剤 | SP | ポリカルボン酸系               |
| AE 剤       | AE | 天然樹脂酸塩                 |

表-3 フレッシュコンクリート性状

| 養生時の圧力 (MPa)  | 空気量 (%) | スランプフロー (cm) |
|---------------|---------|--------------|
| 0.1, 0.3, 0.4 | 5.3     | 63 ~ 64      |
| 0.2           | 5.5     | 65 ~ 67      |
| 0.1, 0.3, 0.4 | 7.8     | 69 ~ 71      |
| 0.2           | 7.5     | 63 ~ 64      |

表-2 コンクリートの配合

| 空気量 (%) | スランプフロー (cm) | W/C (%) | W/P (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m³) |     |     |     |     | SP (C %) | AE (C %) |
|---------|--------------|---------|---------|---------|------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|
|         |              |         |         |         | W          | C   | Ls  | S   | G   |          |          |
| 5.0     | 65±5         | 50      | 33      | 49.4    | 170        | 340 | 175 | 815 | 822 | 1.34     | 0.016    |
| 7.5     |              |         |         |         |            |     |     | 781 | 788 |          | 0.03     |

型と同じく水中養生を行なった。図-1に本研究で使用した加圧養生装置の概略を示す。压力容器内に型枠ごとコンクリートを入れ、その後ボルトで密閉し、コンプレッサーを用いて、压力容器内に空気を送り込み、所定の圧力(0.2~0.4MPa)に設定した。

2.2 コンクリート

本研究のコンクリート製作に使用した材料を表-1に示す。コンクリートの配合は表-2に示すとおりであり、セメントには普通ポルトランドセメント(比重:3.15)を使用し、細骨材として陸砂(比重:2.69)、粗骨材として碎石(比重:2.65)、高性能 AE 減水剤にはポリカルボン酸系、AE 剤には天然樹脂酸塩系を使用した。また、材料分離抵抗性を増大させるために石灰石微粉末(比重:2.73)を用いた。水セメント比は50%、水粉体比は33%、単位水量は170kg/m<sup>3</sup>である。また、目標空気量が5.0%のケースと7.5%のケースの2種類を用意し、目標スランプフローを65cmとした。各試験ケースのフレッシュ性状を表-3に示す。

練り混ぜ方法は、まず細骨材、セメントおよび石灰石微粉末を10秒間混ぜ、その後、水、AE 剤および高性能 AE 減水剤を添加し60秒間混ぜ、最後に粗骨材を投入し90秒間練り混ぜるというものである。

3. 実験結果

3.1 単位容積質量および空気量

図-2に養生圧力と単位容積質量の関係を示す。この図より、養生圧力が増大するに伴い、単位容積質量が増加するという傾向が空気量5.0%および7.5%の両ケースにおいて見られる。また、常圧での単位容積質量が約2.3g/cm<sup>3</sup>であるのに対し、養生時に圧力が作用することにより、約2.4g/cm<sup>3</sup>まで増大している。図-3に養生時の圧力と硬化コンクリートの空気量の関係を示す。空気量は単位容積質量から算出したものである。また、ボイルの法則より求めた空気量変化も比較のため示している。この図より、両ケースともボイルの法則より求めた曲線と、ほぼ同じような曲線になっており、養生圧力と空気量は反比例の関係にあることが判る。また、養生圧力0.4MPaにおいて空気量は約1~2%程度まで低下している。以上より、養生初期に圧力が作用することにより、空気量が減少し単位容積質量が増大することが判った。

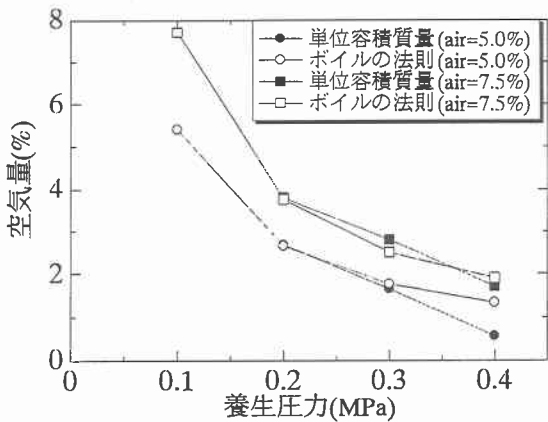


図-3 養生圧力と空気量の関係

3.2 細孔構造

細孔構造の測定は、材令28日で供試体中央部の試料を採取し、2.5~5mmの粒径に粗粉碎したモルタル試料を用いて行なった。これをデシケータにて保存し水和反応を停止させ、炉乾燥させた後、水銀圧入式ポロシメーターにより測定した。測定範囲は細孔直径で3.2nm~350μmまでとして、細孔容積、細孔径分布を求めた。図-4は、養生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、養生圧力の増加に伴い総細孔容積が減少していることが判る。空気量が5.0%の場合では、養生圧力が0.4MPaの総細孔容積は、常圧時に比べ9.5%の減少が見られる。それに対し空気量が7.5%の場合は、約25%の減少が見られた。図-5は細孔直径を横軸に取り、細孔容積の分布を示したものである。また、細孔容積の変化が判りやすいように養生時の圧力が0.1MPaと0.4MPaのものを比較している。この図よりコンクリートを圧力環境下で養生することにより、細孔直径0.1~10μmの細孔が減少するという傾向が見られる。空気量7.5%のケースでは、常圧におけるその範囲の細孔容積が大きいため、より減少する傾向が高い。また、10μm以上の細孔も減少していることが判る。それ以外の細孔範囲では大きな変化は見られない。この細孔変化についてより詳しく調査するため、細孔分布のピークを考慮して細孔直径の範囲を区分し検討を行なう。微細な毛細管空隙とゲル空隙の一部と見なされる範囲を

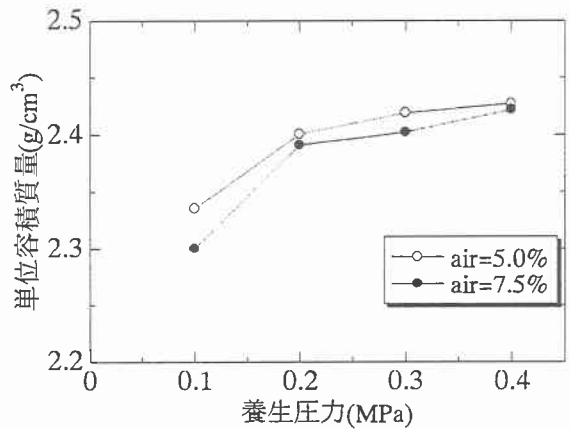


図-2 養生圧力と単位容積質量の関係

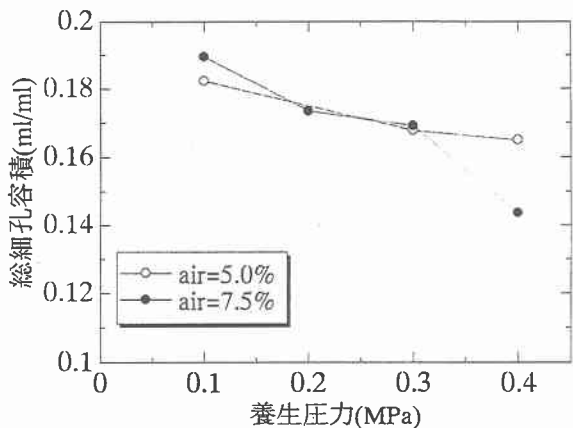
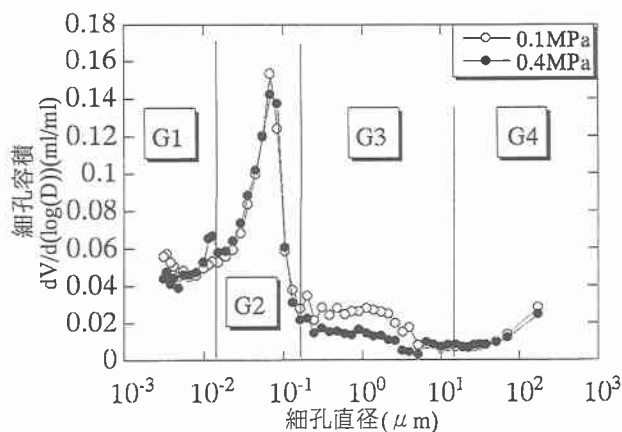
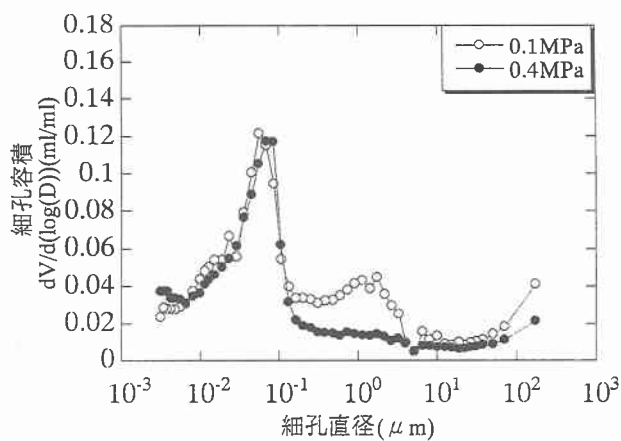


図-4 養生圧力と総細孔容積の関係

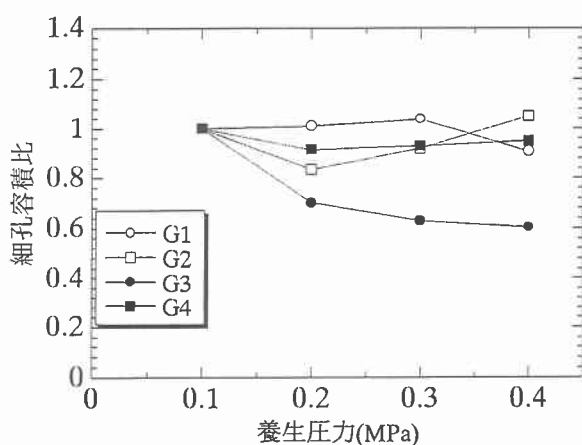


a) 空気量が 5.0% の場合

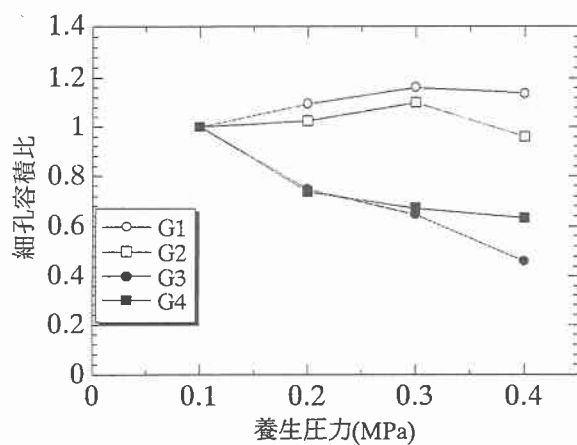


b) 空気量が 7.5% の場合

図-5 細孔径分布



a) 空気量が 5.0% の場合



b) 空気量が 7.5% の場合

図-6 各範囲における細孔容積の変化

G1、毛細管空隙の比較的小さなものを G2、毛細管空隙の比較的大きなものを G3、大きな空隙を G4 と定義する。図-6 は養生圧力の増加に伴う各範囲における細孔容積の変化を示している。細孔容積の変化は 0.1MPa (常圧) 時の容積に対する比として示す。この図より、G3 および G4 の範囲において養生圧力の増大に伴い細孔容積は減少しており、空気量が 5.0% の場合では G3 の範囲の細孔は約 40% の減少が見られ、G4 の範囲の細孔は 5% 程度減少している。空気量が 7.5% の場合では、G3 の範囲の細孔は約 55% の減少が見られ、G4 の範囲の細孔は約 40% の減少が見られた。また、G1 の範囲では約 15% の増加が見られた。これらの結果より、圧力増加に伴い比較的大きな毛細管空隙および気泡が減少することが判る。

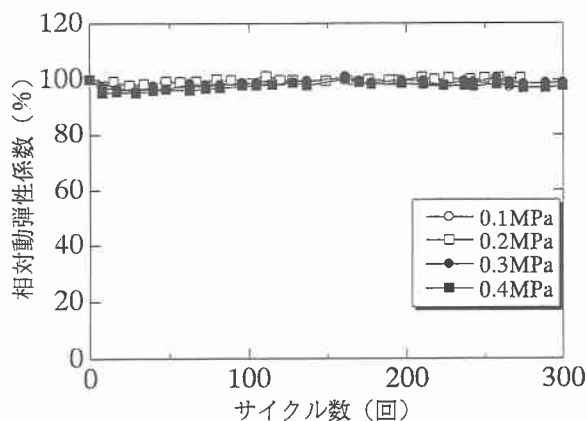
### 3.3 凍結融解試験結果

凍結融解試験は、試験開始材令を 14 日とし、300 サイクルまで行なった。凍結融解試験におけるサイクル数と相対動弾性係数の関係を図-7 に示す。この図を見ると空気量 5.0% では全ケースにおいて相対動弾性係数 95% 以上を維持しており、十分な耐凍害性が得られている。空気量 7.5% の場合では、養生圧力 0.4MPa のケースのみ若干の低下傾向が見られているが、相対動弾性係数 90% 以上を

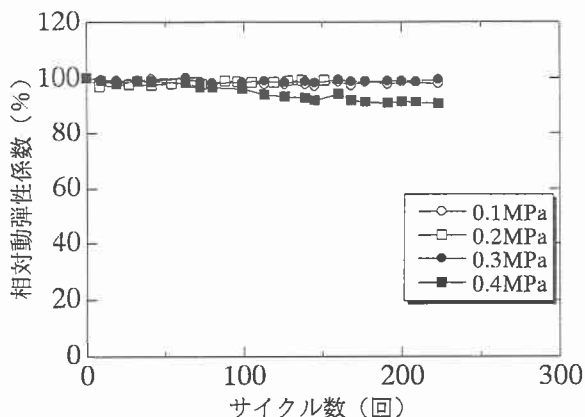
維持している。その他のケースにおいては、相対動弾性係数 95% 以上を常に維持している。よって本研究における配合では十分な耐凍害性が得られることが判り、養生初期圧力が作用しても耐凍害性に大きな影響は見られないことが認められる。圧力が作用することにより空気量が減少し耐凍害性の低下が予想されるが、凍害の要因とされている大きな毛細管空隙(0.1~10 μm の範囲)<sup>9)</sup>も同じく減少するため、双方の耐凍害性に対する影響が相殺し合い、耐凍害性は低下しないものと考えられる。

### 3.4 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験は、φ10×20cm の供試体を各ケース 3 体作製し、材令 28 日で行なった。図-8 に養生圧力と圧縮強度の関係を示す。常圧(0.1MPa)での強度は空気量が 5.0% で約 40N/mm<sup>2</sup>、空気量が 7.5% では約 30N/mm<sup>2</sup> である。養生圧力 0.2MPa での強度は、常圧(0.1MPa)での強度に比べ約 25~30% の強度の増加が見られ、養生圧力 0.2MPa 以上では強度に大きな変化は見られなかった。これは、コンクリートの組織の緻密化に繋がる空気量および比較的大きな空隙の減少量が常圧から圧力 0.2MPa の間にかけて大きく、それに比べて 0.3、0.4MPa の圧力を加えた時に減少量が小さかったためであると考えられる。



a) 空気量が5.0%の場合



b) 空気量が7.5%の場合

図-7 凍結融解試験結果

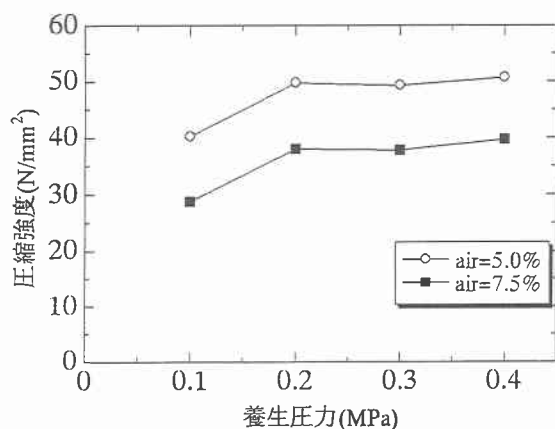


図-8 養生圧力と圧縮強度の関係

#### 4. まとめ

本研究では、材料分離抵抗性を増大させるために石灰石微粉末を使用した粉体系高流動コンクリートが打ち込み時に受ける側圧の増加を想定し、打設直後から圧力環境下で養生されたコンクリートの特性について検討した。養生時の圧力は0.1MPaから0.4MPaまで変化させ、養生圧力が圧縮強度、耐凍害性に及ぼす影響を検討し、また、それらと細孔構造との関係を加えて検討した。その結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 養生時に圧力を受けることにより約0.1~10 $\mu$ mの大きな毛細管空隙が減少し、空気量が大きなケースでは養生時に圧力が加わることにより10 $\mu$ m以上の細孔も減少する。
- 2) 石灰石微粉末を添加した高流動コンクリートは空気

量5.0%程度で十分な耐凍害性を得ることができる。また、養生時に圧力が加わることにより空気量が減少するが、凍害の主因である細孔も減少するため、互いの影響が相殺することにより耐凍害性は損なわれない。

- 3) フレッシュコンクリートを圧力環境下で養生することにより、圧縮強度が増加する。これはフレッシュコンクリートが養生時に圧力を受けることで空隙および気泡容積が減少し、コンクリート組織が緻密になったためである。

#### 参考文献

- 1) 菅田紀之・尾崎詔・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) 浜田二郎・加藤英昭・横須賀誠一・渡部嗣道：石灰石微粉末を用いた高流動コンクリートの品質に関する実験研究：コンクリート工学年次論文報告集、vol.17、No.1、pp.135-138、1995
- 3) 綾野克紀・阪田憲次・小川鑑・金子泰治：石灰石微粉末を用いた超流動コンクリートの配合に関する研究：コンクリート工学年次論文報告集、vol.15、No.1、pp.167-172、1993
- 4) 岩城一郎・日向哲朗・三浦尚：石灰石微粉末を添加したコンクリートの強度発現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.19、No.1、pp.265-270、1997
- 5) 岡本修一・魚本健人：細孔構造からみた凍結融解による劣化機構に関する基礎研究：コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19、No.1、pp.901-906、1997