

V-14 若材令フライアッシュセメントコンクリートの強度発現性状と耐凍害性

北見工業大学 鮎 田 耕 一
北見工業大学 林 正 道
北見工業大学 猪 狩 平三郎

1. はじめに

エネルギー源の多様化の必要性から、石炭火力発電所の建設が急務とされている。従来から、石炭火発の比重が大きかった北海道でも、ここ数年全国平均より高い電力需要の伸びをまかなうために、新たな石炭火発が運転を開始している。これに伴い、副産されるフライアッシュの利用面の拡大が望まれている。フライアッシュを混和したコンクリートは、ワーカビリティの改善や水和熱の低減など、物性が改善される利点を持つが、一方で、若材令における強度の発現が遅いため、寒中コンクリートに用いる場合などには不利とされている。しかしながら、その特性を生かしてマッシブなコンクリートなどには、寒中コンクリートであっても積極的にその利用を図ることが望ましいと考える。そこで、本研究ではフライアッシュセメントコンクリートが若材令のとき受けた低温や乾燥が、強度発現性状や耐凍害性に及ぼす影響を検討し、その特性をコンクリート中の細孔（毛細管空隙）構造の面から考察した。

2. 実験方法

(1) 使用材料と配合

セメントはフライアッシュセメントB種（比重2.99, 比表面積 $3180 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）、骨材は川砂（比重2.64, 吸水率2.08%）、川砂利（比重2.68, 吸水率1.53%, 最大寸法 25 mm ）、混和剤はAE減水剤を使用した。なお、比較のために、普通ポルトランドセメント（比重3.16, 比表面積 $3110 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）も用いた。

コンクリートの配合は、 $W/C = 0.55$, $s/a = 0.34$ で、フライアッシュセメントでは $C = 249 \text{ kg}$ 、普通セメントでは $C = 260 \text{ kg}$ である。練りあがり性状は、スランプ $8 \pm 1 \text{ cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 0.5 \%$ 、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ である。

(2) 温度・水分条件

① 20°C 封かん養生、② 10°C 封かん養生、③ 20°C 50% RH 乾燥、の3条件で行った。封かん養生では、供試体を所定温度の恒温槽（湿度80～90% RH）にビニールで覆って、24時間（ 20°C ）、または48時間（ 10°C ）静置後、型枠を取り外し、ラップフィルムを巻き、ビニール袋に入れて密封した。封かん中の供試体の質量減少率は、若材令で0.01%wt.、材令28日で0.03%wt.以下であった。50% RH 乾燥では、打込み後、所定の温湿度の恒温恒湿室に置き、型枠の取り外しは24時間で行った。各条件とも、円柱供試体（ $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ ）の中心部に熱電対（CC線）を埋め込み、温度を記録して、積算温度の計算に用いた。

(3) 試験項目と方法

1) 圧縮強度試験：JIS A1108によって行い、供試体（ $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ ）の数は各条件に対して3個である。試験材令は、1, 2, 3, 5, 7, 14, 28日であるが、 10°C 封かん養生の場合には、材令1, 5日では行っていない。養生（乾燥）終了後に硫黄キャッピングを行い、試験材令1～5日の供試体は2時間、7～28日の供試体は4時間、養生（乾燥）条件と同じ温度の水の中に入れて、吸水させ、試験に供した。

2) 凍結融解試験： 20°C の封かん養生と50% RH 乾燥の条件の供試体を用いて行った。ASTM C666に準じて1サイクル4時間の水の中における急速凍結融解試験を行った。供試体（ $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ ）の数は、各条件に対して2個である。試験開始材令、試験開始前の吸水時間は、圧縮強度試験と同じである。

3) 細孔構造試験：圧縮強度試験終了直後の供試体の表層部からモルタル部分をはつとり、 $2.5 \sim 5 \text{ mm}$ の大きさに粉碎して試料とした。アセトン中で洗浄して、D-dry法で乾燥後、水銀圧入式ポロシメーターを用い、細孔半径 $38 \text{ \AA} \sim 56 \text{ \mu m}$ の細孔構造（細孔径分布と総細孔容積）を求めた。試験は各条件に対して3個の試料を用い、1個の試料の質量は3gである。

3. 実験結果と考察

(1) 圧縮強度の発現性状

1) 低温の影響

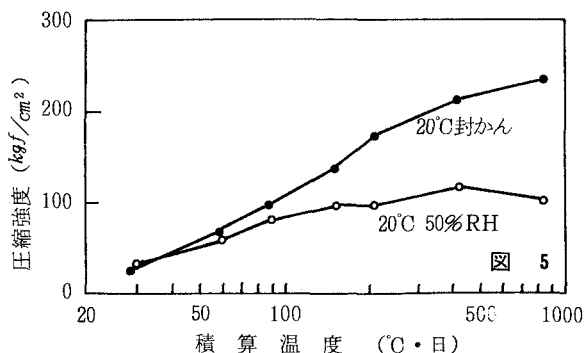
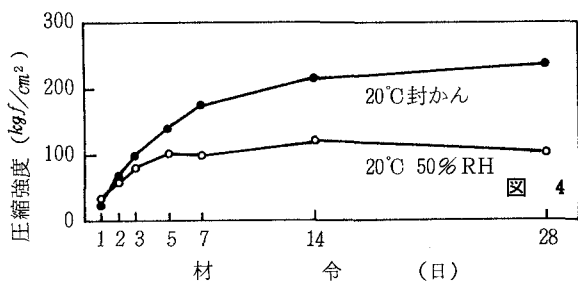
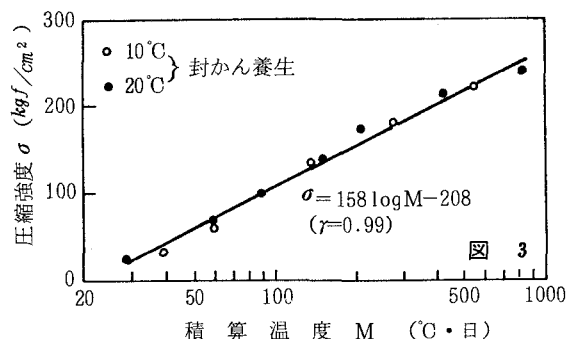
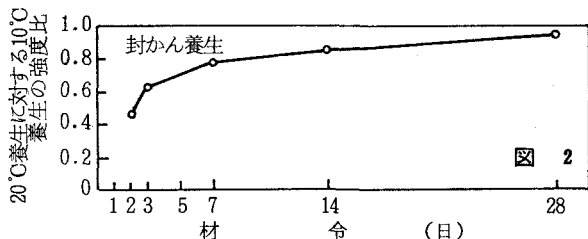
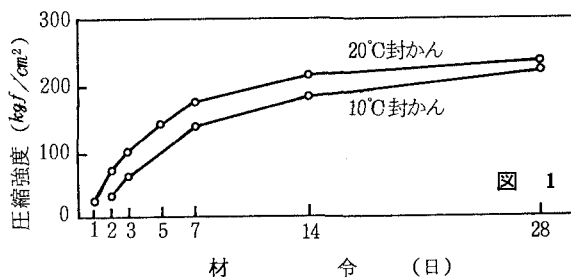
図1に、10℃と20℃で封かん養生した場合の圧縮強度の発現性状を示した。図2は、この結果から、各材令における20℃養生強度に対する10℃養生強度の比を求めたものである。10℃養生の場合、20℃養生に比べて、若材令における強度増進が特に少なく、材令3日で1/2強である。したがって、低温養生されることが一般的な寒中コンクリートでは、養生日数の管理に注意が必要となる。図3に、-10℃を基準とした積算温度（対数目盛）と圧縮強度の関係を示した。養生温度が異なっても、同一線上に測点があり、養生日数の管理には、積算温度方式が有用であることを示している。100～150 kgf/cm²の圧縮強度を得るのに必要な積算温度は、90～190℃・日であり、20℃養生で、3.0～6.3日なのに対して、10℃養生では、4.5～9.5日となる。

2) 乾燥の影響

図4に、20℃の封かん養生と50%RH乾燥の場合の圧縮強度の発現性状を示した。乾燥の場合、材令3日以降の強度増進はほとんど望めない。寒中コンクリートでは、凍結をおそれるあまり温度管理に気をとられ、水分供給に対する配慮がおろそかにされがちであるが、強度確保のためには十分な湿潤養生が必要であることを示している。図5に、積算温度との関係を示した。水分条件が異なれば積算温度が同じであっても圧縮強度に違いがでることを示しており、積算温度方式による強度の管理は、乾燥の影響をあまり受けない部材内部のような部分に対して有効であっても、乾燥の影響が大きい露出面や小断面部材では無理が生じるといえる。一方、凍結は露出面や小断面部材ほど厳しく作用するので、寒中コンクリートでは乾燥されやすい箇所の強度確保に十分な配慮が要求される。

(2) 耐凍害性に及ぼす乾燥の影響

図6に、20℃の封かん養生あるいは50%RH乾燥後に、急速凍結融解試験を行った結果の2, 3の例を示した。図7は、この結果から、凍結融解試験開始材令と凍結融解300サイクル終了



後の耐久性指数の関係を示したものである。乾燥後に凍結融解作用を受けたコンクリートは、耐久性指数が60に達しておらず、寒中コンクリート工事で、春までに受ける凍結融解の繰返し作用に対して十分な抵抗性をもたせるためには、湿潤養生が欠かせないことを示している。ただ、凍結融解試験開始材令が3日までは、50%RH乾燥の方が封かん養生より、相対的に耐久性が高い結果になっている。このことは従来から指摘されているように、湿潤養生後、寒気にさらず前に乾燥させ、コンクリート中の水分を少なくさせることの有用性を示しているといえよう。

3) 細孔構造からの検討

1) 低温の影響

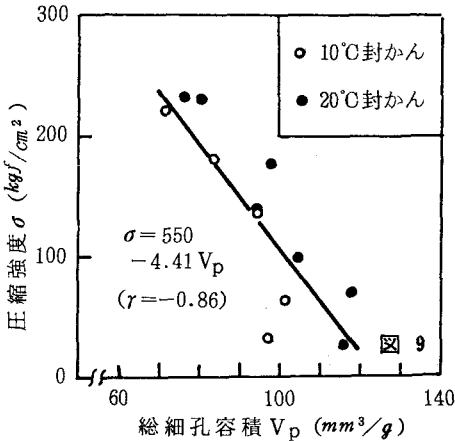
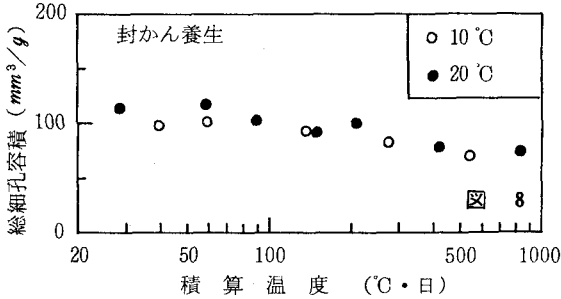
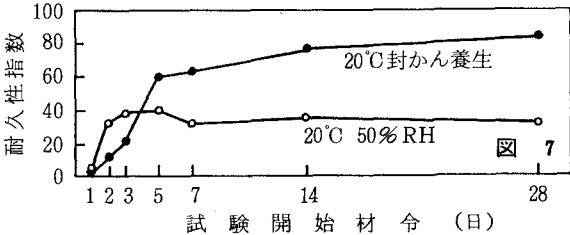
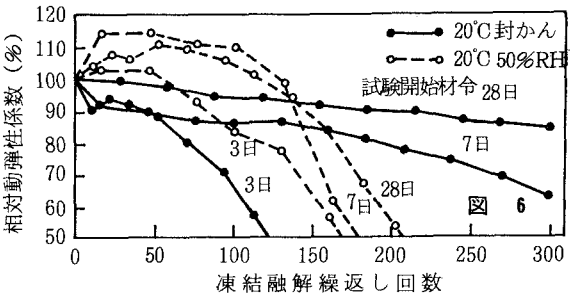
図8に、10℃と20℃で封かん養生した場合の総細孔容積と積算温度との関係を示した。積算温度が同じであれば、温度条件が総細孔容積に及ぼす影響は認められない。図9は、総細孔容積と圧縮強度の関係を示したもののだが、両者に相関関係が認められる。これらのことから、低温養生であっても所要の積算温度が得られるまで養生を行えば、細孔構造がち密化し、強度発現に悪影響を及ぼさないことが明らかである。

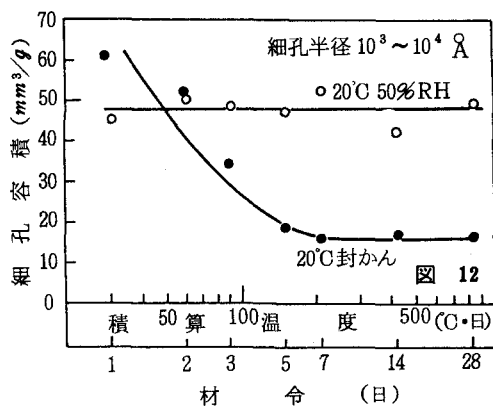
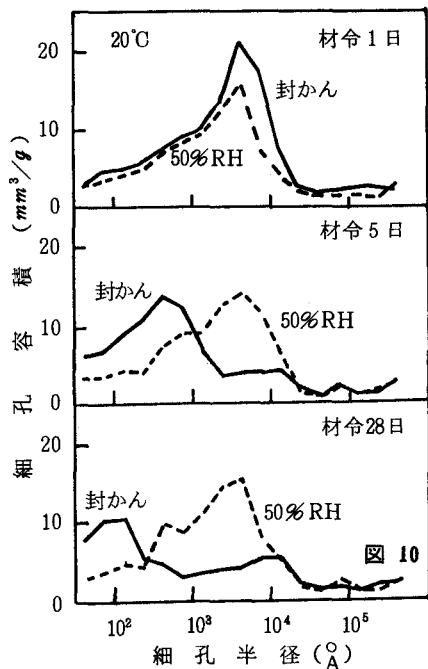
2) 乾燥の影響

図10に、20℃の封かん養生と50%RH乾燥の場合の材令の経過に伴う細孔構造の変化を示した。封かん養生の場合には、材令の進行に伴い細孔容積のピークが細孔半径の小さい方に移動しており、細孔構造がち密化していることを示している。一方、乾燥の場合には、材令1日で多く存在した半径数千Åの細孔が、材令28日でもまだ多く存在している。図11は、総細孔容積と耐久性指数の関係を示したものであるが、両者には相関が認められる。すなわち、材令が経過しても乾燥によって細孔が粗大なままのコンクリートの耐凍害性は小さい。図12は、半径が $10^3 \sim 10^4 \text{ \AA}$ の細孔の容積と材令の関係を示したものであるが、乾燥下にあると、この範囲の大きさの細孔が、材令が進行しても少なくならないことを示している。-20℃程度まで温度が下がるにつれて凍結する水分は、ほぼこの範囲の大きさ以上の細孔の中に存在していると考えられるので、乾燥が耐凍害性に悪い影響を与える原因は、凍結可能水量が多く存在しているためといえよう。

3) セメントの種類の影響

以上の結果は、フライアッシュセメントコンクリートについてである。セメントの種類によって細孔構造





が変化するかどうかを調べるために、普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較した。その結果が図13である。母体セメントや単位セメント量が異なるために厳密な比較はむずかしいが、強度や耐凍害性と密接な関係がある総細孔容積は、W/Cが同じ配合条件の場合には、フライアッシュセメントコンクリートの方が普通ポルトランドセメントコンクリートより若材令では少ない傾向にある。

4. ま と め

フライアッシュセメントコンクリートが、若材令で低温（10℃）や乾燥（50%RH）を受けたときの強度発現と耐凍害性について調べた。その結果、水分逸散がない場合には、圧縮強度の発現は積算温度、総細孔容積と強い相関があること、乾燥は強度発現、耐凍害性に極めて悪い影響を及ぼし、これは細孔構造が粗大なためであること、などを明らかにした。

