

住友セメント㈱ ○峰松敏和、佐々木真、内田美生

1. まえがき

超速硬セメントコンクリート（以下、ジェットコンクリートと呼ぶ）を寒中コンクリートとして用いた場合、その速硬性を効果的に利用でき、普通コンクリートと比較して有利になると考えられるが、この場合には、その凍結融解に対する抵抗性を把握しておく必要がある。

本報告は、このジェットコンクリートの凍結融解に対する基礎的な性状を明らかにするための実験を行ない、さらに、若干の検討を加えたものである。また、超速硬セメントを用いる場合には、鋼繊維補強コンクリートとする場合が多いこと、並びに、普通セメントにおいては鋼繊維の混入によって凍結融解抵抗性が大きく改善されることを考慮して、超速硬セメントを硬化体とした鋼繊維補強コンクリート（以下、ジェットSFRCと呼ぶ）についても同様な検討を実施した。

2. 実験概要

実験は、表-1に示すように単位セメント量（水セメント比）、繊維混入率、AE剤の有無を因子として取り上げ、試験開始材令を初期養生3時間以上で基準強度(240kg/cm^2)以上となる短期材令（3～5時間）および材令28日（ $C=400\text{kg/m}^3$ のジェットコンクリートおよび $C=430\text{kg/m}^3$ のジェットSFRC）の2種とし、養生は全て 20°C 湿空（R.H.90%以上）とした。試験方法は $10\times 10\times 40\text{cm}$ の供試体を用い、ASTM-C668の水中急速凍結融解試験に準ずるものとし、圧縮試験は $\phi 10\times 20\text{cm}$ の供試体を用い、凍結融解試験開始前と一部別途に凍結融解作用後の試験も実施した。使用材料の一覧を表-2に示す。また、配合は全てスランプが $3\pm 1\text{cm}$ となるように水セメント比を変化させ、AEコンクリートの空気量は $4.5\pm 0.5\%$ に規定した。

3. 試験結果および考察

凍結融解試験結果を図-1に示す。また、図-2に、この結果から求めた耐久性指数と水セメント比との関係および凍結融解試験終了時の重量変化率を相対動弾性係数と同様に扱い求めたものを重量耐久性指数と呼び、これと水セメント比との関係を示した。

これらの結果に基づくと、短期に試験を開始したプレーンコンクリートの場合は、試験開始直後の相対動弾性係数が100%以上となっているが、その後の凍結融解抵抗性は、水セメント比の大きなものほど急激に低下している。また、これらをAEコンクリートとした場合には、水セメント比が大きい場合でも耐久性指数は100%以上となっており、AE剤の添加により、耐久性が大きく改善されている。さらに、材令28日で試験を開始した場合には、プレーン、AEコンクリートの双方とも耐久性指数は90～100%で、重量耐久性指数も大きく、実用上十分な耐久性を有するものと考えられる。

一方、鋼繊維が凍結融解抵抗性におよぼす影響を比較すると、同一水セメント比では、いずれの場合もジェットSFRCの方が優れており、この傾向は試験サイクルが長い場合に、より顕著となると思われる。

すなわち、ジェット系コンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、ジェットコンクリートで $W/C=36\%$ 以上、ジェ

表-1 実験因子および水セメント比

単位セメント量 (kg/m^3)	繊維混入率0%	繊維混入率1%
	プレーン A E	プレーン A E
300	49	48
330	43	—
360	39	38 46
400	(38)	(35) 41
430	—	(38) (37)

注) 数字は水セメント比、()は短期および長期、他は短期

表-2 使用材料

セメント	超速硬セメント $\rho=3.04$
細骨材	川砂(鬼怒川産) $\rho=2.57$ F.M=2.71
粗骨材	砕石(茨城県岩瀬産) $\rho=2.66$ F.M=6.68 $G_{\text{max}}=20\text{mm}$
鋼繊維	$0.5\times 0.5\times 30\text{mm}$ 、波型せん断、引張強度 $=74.8\text{kg/mm}^2$
高性能減水剤	ポリアルキルアリスルホン酸系 ($C\times 2\%$)
凝結遅延剤	超速硬セメント用凝結遅延剤 ($C\times 0.2\%$)

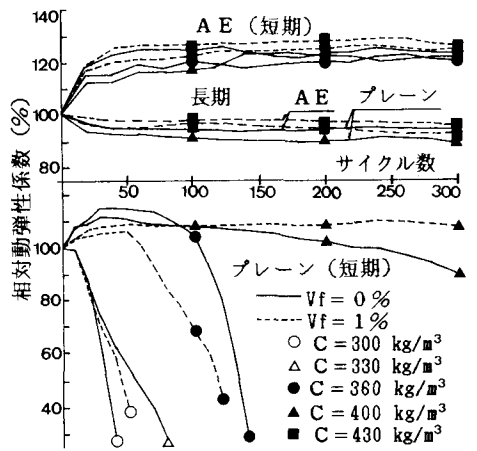


図-1 凍結融解試験結果

ットSFRCでW/C=38%以上のプレーンコンクリートで初期に凍結融解にさらされるもの以外は、おおむね良好と考えられる。

また、凍結融解試験時に相対動弾性係数が100%以上となる理由の一つとして、吸水による動弾性係数の増加が考えられるが、他にも次のようなことが考察できる。

図-3および図-4は、本実験の結果およびこれまでの種々の実験結果に基づいて、ジェット系コンクリートの凍結融解試験開始前のたわみ振動に基づく動弾性係数と圧縮強度との関係および積算温度と圧縮強度（養生温度5~30℃）との関係を水セメント比別に示したものである。

図-3より、動弾性係数と圧縮強度との関係は、一般に言われているように、圧縮強度の増加に伴ない動弾性係数も増加することが明らかである。また、図-4においても一般の場合と同様に積算温度の増加に伴ない圧縮強度が増大しており、さらに、5℃程度の低温においても十分な強度発現性を有していることが明らかである。これらの結果を考慮すると、超速硬セメントの早期強度発現性に基づいて、凍結融解試験実施中にも強度が増大することが考察できる。

そこで凍結融解作用後の圧縮強度試験を実施することとし、繊維混入率0および1%のAEコンクリートについて、初期養生3時間で凍結融解試験を開始し、10または20サイクルまで実施した後、供試体を30℃で2時間融解し、圧縮強度試験を実施した結果を図-5に示す。また、図-4の積算温度と圧縮強度との関係に基づいて、初期養生時および融解時の積算温度の和から求めた推定圧縮強度も併記した。

この図に基づくと、初期に凍結融解試験を開始したジェット系コンクリートの圧縮強度は、初期養生時および融解時の積算温度から求めた推定強度より大きく、凍結融解試験下においても強度が増大することが明らかである。また、鋼繊維が凍結融解作用時の強度発現におよぼす影響を比較すると、ジェットSFRCの方が若干優れているようである。

すなわち、ジェット系コンクリートの場合に初期に凍結融解試験を開始したAEコンクリートまたは低水セメント比のプレーンコンクリートの相対動弾性係数が100%以上となる理由としては、試験開始時の吸水による動弾性係数の増加も考えられるが、本実験の結果に基づく凍結融解環境下における強度発現性も寄与すると考えられる。

これらの結果に基づくと、ジェット系コンクリートは積算温度等に基づいて初期強度を確保したAEコンクリート等であれば、比較的初期に凍結融解状態にさらされても十分な耐久性を有することが明らかである。

4. まとめ

- 1) ジェット系コンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、高水セメント比のプレーンコンクリート以外はおおむね良好である。
- 2) 初期に凍結融解作用を受けたAEコンクリート等においては、その耐久性指数が100%以上となったが、これはジェット系コンクリートが凍結融解試験のような低温環境下においても強度の発現性を有するためと考えられる。
- 3) ジェットSFRCの凍結融解に対する抵抗性は、同一水セメント比のジェットコンクリートより優れている。

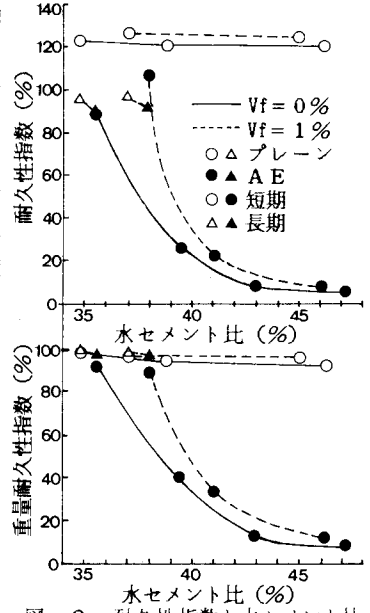


図-2 水セメント比と水セメント比

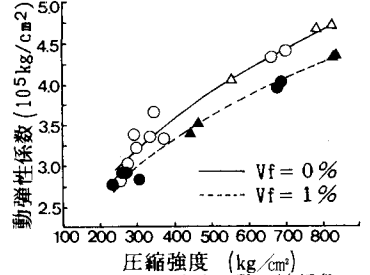


図-3 圧縮強度と動弾性係数

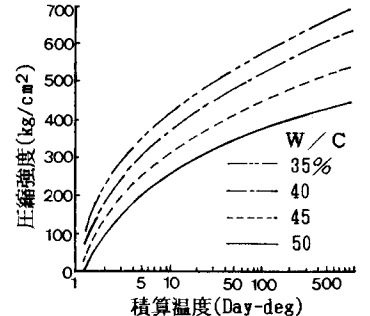


図-4 積算温度と圧縮強度

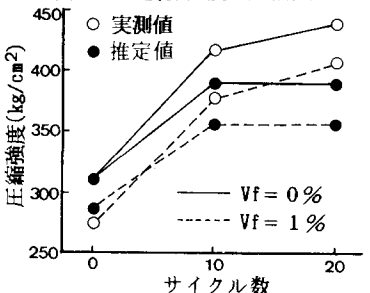


図-5 凍結融解作用後の圧縮強度