

V-53 高性能減水剤を用いた超速硬セメントコンクリートの低温養生条件下での強度発現特性

豊田工業高等専門学校 正員 中嶋 清 実
 豊田工業高等専門学校 正員 河野 伊知郎
 名古屋工業大学 正員 吉田 弥 智

1. はじめに

超速硬セメントを寒中コンクリートに使用する場合、高性能減水剤を用いるのが一般的である。しかしながら、高性能減水剤を用いた寒中コンクリートの研究はまだ十分行われていない。したがって、本報告は超速硬コンクリートを若材令で凍結させることによって凍害の程度を知るとともに、凍害を受けないためには、どの程度の強度を必要とするのか明らかにしようとしたものである。また、超速硬コンクリートを若材令で凍結させ、水と接触させて融解させた場合と、水と接触させないで融解させた場合には、凍害の程度に大きな差が認められるが、その原因を明らかにしようとしたものである。

2. 実験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの配合、使用材料は、セメント：〇社製超速硬セメントおよび普通セメント、粗骨材：静岡県天竜川産の川砂利（比重=2.66, F M=6.76, 粗骨材の最大寸法=25mm）、細骨材：岐阜県揖斐川産の粗砂（比重=2.61, F M=3.06）と愛知県木曽川産の細砂（比重=2.58, F M=1.68）を重量比7:3の割合で混合した混合砂、専用凝結遅延剤：〇社製セッターを単位セメント量に対して0.2%添加、高性能減水剤：K社製高性能減水剤（MT-150）をセメント量に対して0.2%添加、である。

超速硬コンクリートおよび普通コンクリートの配合は試し練りより決定した。所要のスランブを 7.5 ± 1.5 cm、単位セメント量を 350 kg/m^3 とし、スランブ試験を行い、同じワーカビリティを得るための単位水量および最適細骨材率を決定した。このようにして決定した結果を表-1に示す。

(2) 実験方法、供試体は直径10cm、高さ20cmの円柱供試体を使用した。コンクリートの練り混ぜは100ℓのパンタイプ強制練りミキサーを使用し、練り混ぜ時間を3分間とした。供試体の養生は、+20℃の標準養生のみ恒温恒湿室を使用し、その他に関しては恒温槽（内容積408ℓ、温度調節精度 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 、温度範囲-40℃～+85℃）を使用した。また、積算温度を計算する場合には、供試体のうける正確な温度履歴を知る必要がある。本実験においては、供試体の中心部に熱電体を埋め込み、供試体の内部温度を測定した。

実験Ⅰは、若材令に-20℃で凍結させ、そのまま凍結を継続させる実験である。コンクリートを打設してから供試体を+20℃の恒温恒湿室に保管し、保管時間を変えて、目標の凍結直前強度になるまで時間が経過した後、型枠のまま-20℃の恒温槽に移した。念のために水分が蒸発しないように型枠の上部をビニール袋で封かんした。目標の凍結直前強度は10～300 kgf/cm^2 の範囲とした。材令1日以上ものは、材令1日で脱型し、医療用水枕に供試体を入れ、水を満たした。この時の水は+4℃程度の水を使用した。そして、恒温槽で所定材令まで保管した。所定材令に恒温槽から取り出し、+20℃の恒温水槽に水枕のまま1時間程度つけ、水枕の水および供試体内部の水を完全に融解させた。融解後の供試体については直ちにイオウキャッピングを行い、圧縮強度試験を行った。

表-1 コンクリートの配合

実験Ⅱは、若材令に-20℃、-10℃、-5℃で凍結させ、供試体を所定材令になった時に溶解させる際、供試体をビニール袋で封かんする場合と、直接水と接触させる場合の実験である。

実験Ⅲは、超速硬コンクリートを初期材令で凍結させ、水と接触させて融解さ

コンクリートの種類	スランブの範囲(cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					凝結遅延剤 (g/m ³)	高性能減水剤 (cc/m ³)
				水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G		
						細砂 S1	粗砂 S2			
超速硬	7.5 ± 1.5	37	45	117	350	196	685	1022	700	7000
普通	7.5 ± 1.5	33	41	128	350	177	619	1087	—	7000

せた場合、供試体表面にクラックが発生し、強度低下を起こすが、その原因を明らかにするためにに行ったものである。実験はセメントペースト供試体で行った。積算温度 $30^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 程度の供試体を -20°C で24時間凍結させ、その後供試体を $+20^{\circ}\text{C}$ の恒温水槽の中で融解させた。セメントペーストを融解させる際、供試体をビニール袋で封かん（バック有り）したものと、直接水と接触（バック無し）させる場合を行った。融解後、24時間で供試体のクラック部分から、直径10mm程度の破片を採取した。試料は採取後の水和を止めるためアセトンに浸漬した。アセトン中の試料を用いて、示差熱分析、および電子顕微鏡による観察を行った。

3. 結果および考察

図-1は実験Ⅰより求めた圧縮強度と積算温度の関係である。図-1より、高性能減水剤を使用した超速硬コンクリートの強度は、凍結直前強度が $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度以上でなければ、その後の強度の伸びは期待できないことがわかる。それにひきかえ、普通コンクリートの場合には $15\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度であっても、その後の強度の伸びが期待できる。この理由は、超速硬セメントは初期の強度発現過程で水と接触すると、わずかなカルシウムフルオロアルミネート（ $\text{C}_{11}\text{A}_7\text{CaF}_2$ ）の水和増進でも微細な水和物の水隙空間の領域にエトリンガイトを生成し、その膨張圧のために強度阻害を受けるからである。

図-2は実験Ⅱより求めた凍結直前強度と材令28日における圧縮強度の伸びである。図-2より、凍結を解くときに、供試体を水と接触させる場合と、ビニール袋で封かんして融解させる場合には大きな差があることがわかる。ちなみに、凍結直前強度が $100\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度で、 -5°C 、 -10°C 凍結の場合、封かんすれば標準養生した時とほぼ同程度の強度を発現するが、直接水と接触させると、標準養生供試体強度の30%程度に低下する。

30%程度に低下したのは供試体に発生したクラックのためであり、その原因を追求するために示差熱分析を行った結果が表-2である。示差熱分析より、クラックの入った水接（バック無し）の供試体の方がクラックの入らなかった封かん（バック有り）の供試体よりもエトリンガイトが多くできていることが判明した。このことより、クラックの原因に、エトリンガイトが関係しているものと考えられる。

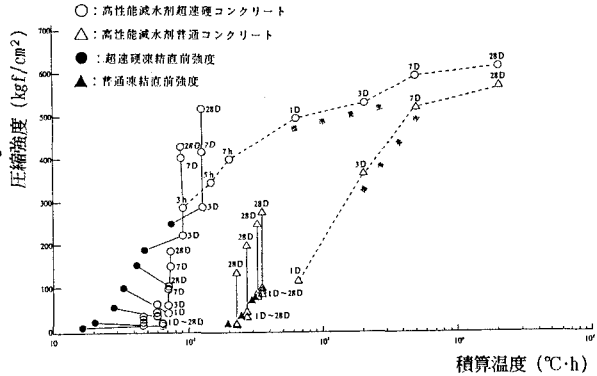


図-1 若材令に -20°C 凍結を受けた高性能減水剤使用コンクリートの強度と積算温度の関係

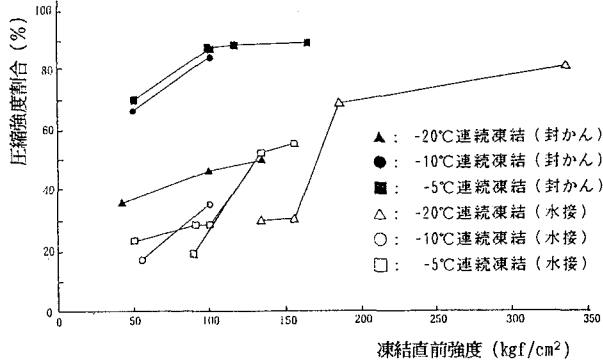


図-2 凍結直前強度と材令28日における圧縮強度の伸び（凍結を継続した場合）

表-2 示差熱分析結果

項目	全吸熱量 (mj/mg)	Ettringite の吸熱量 (mj/mg)
試料		
封かん融解後24時間 (バック有り)	391.0	219.9
水接融解後24時間 (バック無し)	418.4	228.5