

# V-435 ドライアイスを用いたプレクーリング工法の研究

## —その2 冷却コンクリートの特性—

三井建設（株） 正会員 澤村 秀治 正会員 本郷 善彦  
正会員 竹内 光 穂垣 卓志

### 1. はじめに

マスコンクリート構造物の水和過程で発生する温度ひびわれを制御する方法として、あらかじめ冷却したコンクリートを打設するプレクーリング工法はその効果が大きく、最近では、 $-19.6^{\circ}\text{C}$ の液体窒素を用いて骨材やコンクリートを冷却する方法あるいは、真空冷却法等の工法が実用化されている。本研究は、新たな冷却媒体としてドライアイスを用いたプレクーリング工法の実証試験を行い、冷却コンクリートのスランプ、空気量、強度特性、中性化について検討した結果を報告する。

### 2. 試験概要

使用したコンクリートの配合を表-1に示す。コンクリートの温度水準は、荷卸地点で $20^{\circ}\text{C}$ 、 $15^{\circ}\text{C}$ 、 $10^{\circ}\text{C}$ 、未冷却（ $23\sim 25^{\circ}\text{C}$ ）とし、1水準約 $20\text{m}^3$ のコンクリートを打設した。出荷時点及び荷卸時点でコンクリート温度、スランプ、空気量を測定し、荷卸地点で、各温度水準毎にテストピースを採取し、強度試験及び中性化試験に供した。

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (cm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水/セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	S	G	混和剤 (C×%)	
									AE減水剤	超遅延剤
25	12±2.5	4±1	60.4	43.8	165	273	813	1080	1.5	0.075

### 3. スランプ、空気量

各レミコン車毎のコンクリートのスランプ及び空気量の測定結果を表-2に示す。スランプは、出荷時13cm、荷卸時12cmを目標としが、冷却コンクリートのスランプは、未冷却コンクリートに比べ、出荷時で1.4cm、荷卸時で2.5cm大きかった。また、運搬によるスランプロスもほとんどなく、逆に、若干大きくなった。この理由は、コンクリートの温度が低いことにもよるが、超遅延剤による効果が大きいと考えられる。一方、空気量の値は、未冷却と冷却でほとんど変わらず、冷却による影響がないことが分かった。

表-2 スランプ、空気量

項目	サンプル数	平均値	標準偏差	
				スランプ (cm)
スランプ	未冷却	出荷時	13.4	1.0
		荷卸時	12.7	2.5
	冷却	出荷時	14.8	1.5
		荷卸時	15.2	1.9
空気量	未冷却	出荷時	4.2	0.5
		荷卸時	4.4	0.6
	冷却	出荷時	4.2	0.7
		荷卸時	3.9	0.7

### 4. 強度特性

試験時に採取したコンクリート供試体の圧縮強度試験結果を図-1に示す。一般的にコンクリートの打設温度が低いと長期材令で強度が増加することが知られているが、本試験結果も打設温度 $10^{\circ}\text{C}$ 以外の冷却コンクリートでは28日以降、15~20%未冷却に比べて強度が増加している。

### 5. 中性化抵抗性

本工法は、水、セメントと炭酸ガスが接触して、炭酸カルシウムが生成されることがないように、ドライアイスで骨材を冷却し、炭酸ガスの排気を確認した後、水、セメントを投入して、冷却コンクリー

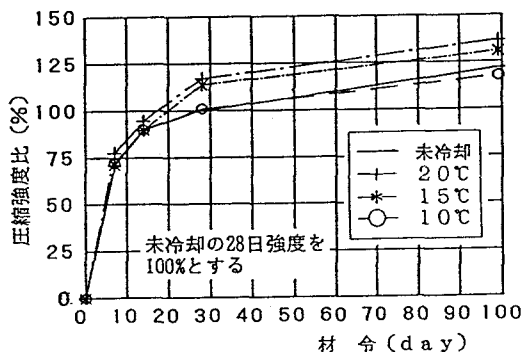


図-1 コンクリートの圧縮強度

トを製造するシステムであるが、未昇華のドライアイスの残留、あるいは、骨材表面水中への炭酸ガスの溶解等によって、コンクリート中に炭酸イオンが侵入する可能性が考えられる。そこで、打設した冷却コンクリートの中性化に対する抵抗性を確認するために、水中養生、促進試験、屋外暴露の3種類の養生条件で中性化の比較試験を行った。試験条件をまとめたものを表一3に示す。中性化深さは、割断面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧し、端面の未発色部分の長さを12点測定し、平均値を求めた。なお、屋外暴露については、現在も試験を継続している。

水中養生の供試体では、どの水準も中性化は確認されなかった。次に、促進試験の中性化深さ測定結果を図一2に示す。横軸には材令の平方根をとって示したが、この図より中性化の進行が $X = k\sqrt{t}$  ( $X$ : 中性化深さ(mm),  $k$ : 中性化速度定数,  $t$ : 時間(day)) で表されることが分かる。得られた中性化速度定数を比較すると、いずれの温度水準でも未冷却と同程度か、若干小さくなっており、ドライアイス冷却媒体として用いても中性化が促進されることがないことを確認した。さらに、自然状態では中性化していないと考えられる内部コンクリートについて、炭酸カルシウムが生成されているかどうかを確認するために、示差熱分析によって、 $10\phi \times 20\text{cm}$ の供試体中央部分から採取したモルタル中の水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの割合を求めた。粗骨材に石灰碎石を用いているため、あらかじめ粗骨材に起因する炭酸カルシウムを差し引いた結果を図一3に示す。

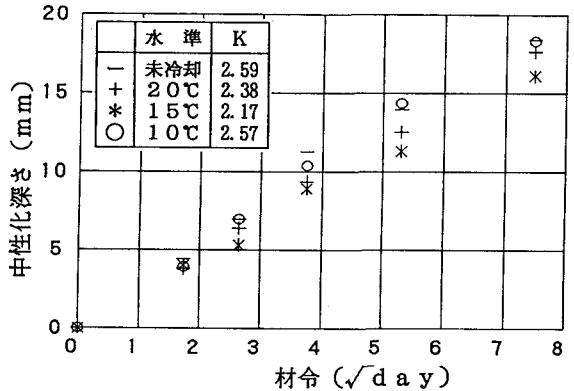
未冷却の水中養生、 $20^\circ\text{C}$ の気中養生、 $10^\circ\text{C}$ の水中養生の試料から、 $\text{CaCO}_3$ が検出されたが、その値は小さく、ドライアイスの昇華に起因する炭酸ガスによって生成されたものかどうかは確認できなかった。しかしながら、いずれの試料も十分な $\text{Ca(OH)}_2$ が存在しており、中性化に対する悪影響はないと考えられる。

6. おわりに

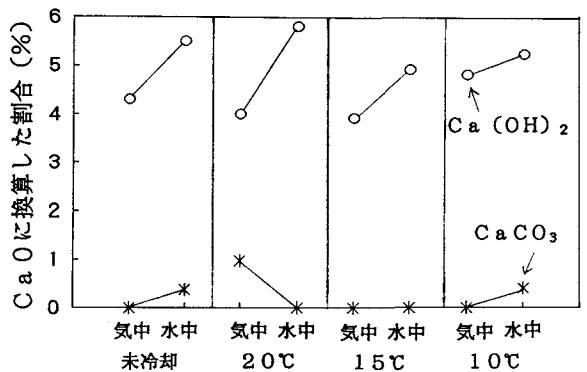
冷却コンクリートの強度は、未冷却コンクリートに比べ約15%増加し、ドライアイス冷却媒体として用いても、中性化に対する悪影響はないことを確認した。今後は、鉱物組成や細孔径分布等、微細組織面からドライアイス冷却コンクリートの特性を検討していきたいと考えている。最後に、本研究の実施にあたり、多大な御協力をいただいた横須賀小野田レミコン株式会社及び共同研究者の日本酸素株式会社関係者に心から感謝いたします。

表一3 中性化試験条件

試験名	養生条件	試験材令
標準試験	$20^\circ\text{C}$ 水中養生	7, 14, 28, 99日
促進試験	14日間水中養生後、 $20^\circ\text{C}$ 、湿度 60%、 $\text{CO}_2$ 10%	3, 7, 14, 28, 56日
暴露試験	14日水中養生後、屋外暴露	1, 3, 5年
化学分析	① 28日気中養生 ② 28日水中養生	—



図一2 中性化促進試験結果



図一3 Caの化学分析結果