

V-196

液体窒素を用いて製造した冷却砂の性質に関する研究

清水建設株式会社 正会員 木村 克彦
 清水建設株式会社 正会員 江渡 正清
 東京ガス株式会社 峯岸 孝二

1. まえがき

マスコンクリートの温度ひびわれ制御は、構造物の大型化に伴い重要な検討課題となっている。このような温度ひびわれ制御対策の一つにプレクーリング工法があり、古くから冷水や氷によるプレクーリングが実施されている。また、液体窒素（以下 LN_2 という）を用いたプレクーリング工法が近年わが国においても実施されるようになってきた。これらはコンクリート練りませ中または練りませ後に LN_2 をコンクリート中に噴入してプレクーリングする方法である。コンクリート練りませ前にその構成材料である細骨材を LN_2 によりマイナス数十度に冷却し、コンクリートを冷却する方法はまだ研究されていない。本報告は、主に基礎実験および実証実験で LN_2 を用いて製造した冷却砂の性質について報告するものである。

2. 実験方法^{(1), (2)}

2.1 冷却砂製造方法

コンクリートの主構成材料である細骨材を $-196^{\circ}C$ の LN_2 を用いて冷却砂を製造する。まず細骨材を動いている冷却砂製造装置（以下サンドクーラーという）に投入し、細骨材を攪拌しながら所定量の LN_2 を噴入する。すなわち砂の表面水は凍結し、さらに砂粒子の温度をマイナス数十度に冷却することができる。サンドクーラーの表面は断熱材で断熱し、熱ロスが小さくなるようにしている。また、サンドクーラーは密閉されており、気化した LN_2 は排気ダクトを通じて外部に排気する。実大規模のサンドクーラー（容量 $0.5 m^3$ ）を写真-1に示した。

2.2 試験・測定方法

冷却前後における砂の温度、含水率、吸水率、比重、粒度、 LN_2 噴入量について試験・測定した。砂温度は、C-C熱電対で、温度が安定するまで測定した。なお、実証実験では、冷却砂を発砲スチロールの箱に取り、Pt抵抗体およびC-C熱電対で温度が安定するまで測定したが、その差は小さかった。含水率は、乾燥による骨材の全含水量試験方法により試験した。その他の項目は、JISの方法に準じて試験した。 LN_2 噴入量は基礎実験では台ばかりで、実証実験では差圧流量計により測定した。サンドクーラーの温度を測定し、断熱効果を確認した。

2.3 実験要因及び水準

実験要因として単位砂量当たりの LN_2 噴入量、 LN_2 噴入時間、1バッチ当たりの砂量を取り上げ、その水準を1～3とした。基礎実験では表面水率も要因とした。実証実験における実験要因および水準を表-1に示した。なお、実証実験における実験要因において砂の表面水率は、実験期間を通じて極力一定となるように調整したが4～8%の範囲となった。

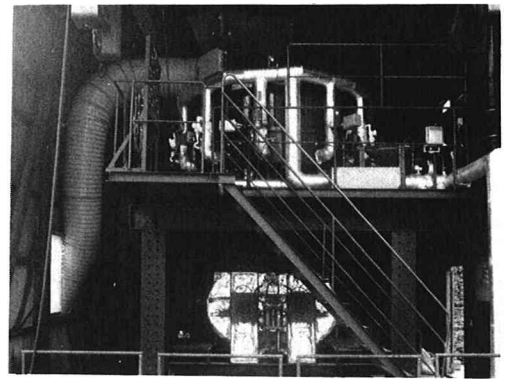


写真-1 冷却砂製造装置

表-1 実証実験での要因および水準

要 因	水準数	水 準
砂表面水率	1	自然状態での表面水率
LN_2 噴入量	3	0.25、0.33、0.42kg/kg
砂 量	3	500、750、1000kg
LN_2 噴入時間	3	40、70、130秒

3. 実験結果およびその考察

3.1 冷却砂の物理的性質

冷却前後における砂の粒度分布、比重、吸水率および含水率の差の試験結果を表-2に示した。

(1) 砂の粒度：実証実験時の冷却前後の粒度分布の一例を図-1に示した。なお、冷却後の砂温度は、基礎実験では0～-13.6℃、実証実験では0～-13.1℃であった。基礎実験では冷却前後における粗粒率（FM）の差はないが、実証実験では冷却前に比べて冷却後のFMが約0.1大きくなっている。

(2) 比重および吸水率：比重は、基礎および実証実験ともに冷却前後で差がない。吸水率は実証実験において冷却前に比べて冷却後の方が約0.2%小さくなっているが、試験のバラツキなどを考慮すれば冷却前後において差はないと考えられる。

(3) 含水率：基礎実験では含水率が2～12%の砂を冷却し平均0.4%含水率が減少した。これに対して実証実験では含水率は平均0.6%減少している。このように含水率、すなわち砂の表面水が減少するのは、表面水が瞬間的に凍結するときにわずかに蒸発するためと考えられる。また、含水率の減少分は、いずれの実験でも約0.5%と小さい。

3.2 冷却砂製造効率

冷却砂製造効率は、文献1に示した式で算定した。基礎実験では、冷却砂製造効率の平均値は約74%、実証実験では約88%である。効率は、サンドクレーの容量が大きいほど、また容量に対して砂量が多いほど高くなる傾向が認められた。

4. まとめ

以上、本実験の結果得られた主な成果を示すと次の通りである。・液体窒素により0～-130℃まで細骨材を冷却、凍結させても粒度、比重および吸水率の変化はない。・液体窒素により細骨材を0℃以下に冷却することにより含水率は0.4～0.6%減少する。

本研究は、東京冷熱産業との共同研究で行った。

参考文献

- (1) 木村他3名：液体窒素で冷却した砂を用いたコンクリートの製造に関する研究，第10回コンクリート工学年次講演会投稿中 1988
- (2) 栗田他3名：液体窒素で冷却した砂を用いたコンクリートの性質に関する研究，第10回コンクリート工学年次講演会投稿中 1988

表-2 冷却砂の試験結果

項目		基礎実験			実証実験		
		n	$\bar{x}$	$\sqrt{v}$	n	$\bar{x}$	$\sqrt{v}$
比重	冷却前	1	2.59	-	3	2.49	0.01
	冷却後	6	2.59	0.01	3	2.50	0.01
吸水率	冷却前	1	2.27	-	3	3.07	0.06
	冷却後	6	2.26	0.02	3	2.90	0.11
粗粒率	冷却前	1	2.90	-	6	2.69	0.10
	冷却後	6	2.90	0.05	6	2.77	0.09
ΔT_m		37	0.4	0.87	152	0.6	0.86

基礎実験：鬼怒川産川砂 実証実験：広島県瀬戸田町（海砂）

ΔT_m ：冷却前後の含水率の差 n：サンプル数

$\bar{x}$ ：平均値 $\sqrt{v}$ ：標準偏差

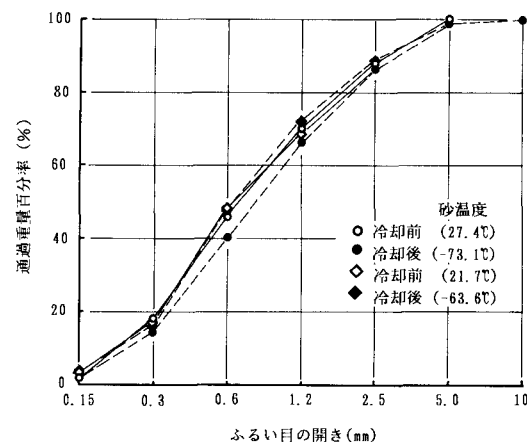


図-1 細骨材の粒度分布

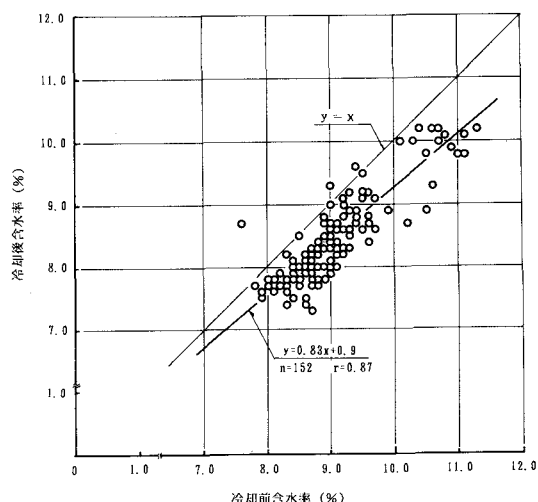


図-2 冷却前後における含水率の関係