

V-193

液体窒素を用いたブレーキングによる暑中コンクリートの施工

大阪ガス（株）技術部 正会員 直井 彰秀
 （株）大林組 土木技術部 正会員 ○原田 暁
 （株）大林組 土木技術部 佐藤 哲司
 （株）大林組 土木技術部 正会員 若松 岳

1. はじめに 大阪ガス姫路製造所内に建設されたPC製LNG 防液堤は、水密性と高耐久性が求められることから、これまでに、コンクリートの材料・配合面での改良の他に、PC tendon用シーすを利用したパイプクーリングと型枠面に散水するポストクーリングを採用し、温度ひびわれを防止してきた。今回、同種の防液堤において液体窒素によるブレーキング工法を採用し、暑中コンクリートの温度ひびわれを防止した。本報告は、その品質および計測管理結果について報告するものである。防液堤断面図を図-1に示す。

2. 工事概要 防液堤の形状は、内径91m、設計最大液深14m、壁厚0.7mの円筒形PC構造物である。全高を6分割して施工し、液体窒素によるブレーキング工法は上部の第5、6ロットに採用し、第1～4ロットまでは、従来通りのポストクーリングを行なった。コンクリートの冷却は現場でトラックミキサー車に液体窒素を直接投入する方法とした。打設量は、第5ロットが670 m³、第6ロットが480 m³で、2台のブーム付きポンプ車により打設した。なお、従来のポストクーリングを上部ロットに採用しなかったのは、①7、8月の酷暑期の施工であること、②シーす間隔が広くなり冷却管が別途必要なこと、③第6ロットの部材厚が700～1400mmと大きくなること等のためである。

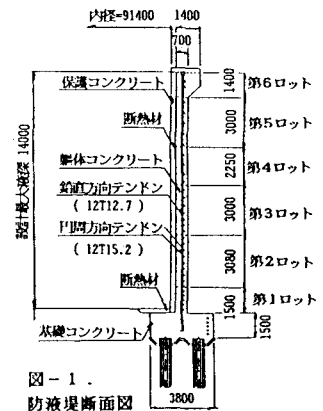


図-1 防液堤断面図

表-1 コンクリートの配合

3. 使用材料および配合 セメントは中沸熱ポルトランドセメント（強度管理材令91日、設計基準強度 400kg/cm²）、混和剤は遅延形AE減水剤と標準形流動化剤、粗骨材は碎石、細骨材は海砂を使用した。配合は表-1に示すとおりである。

Gmax	スランプ	空気量	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)					
(mm)	(cm)	(%)	(%)	(kg)	W	C	S	G	Adm.	Pl.
40	6.5 ↓ 12.0	4.5 ↓ 4.5	42	3.6	157	374	638	1151	0.94	3.0

Adm.: AE減水剤 Pl.: 流動化剤

4. 品質管理方法 **4-1. 品質管理項目** フレッシュおよび硬化コンクリートの品質管理試験は、現場到着時、冷却後、流動化後について50m³に1回の割合で行なった。コンクリート温度測定は、以上の箇所に加え、ポンプ圧送時および打込時にも随時実施した。また、打設したコンクリートの温度は、躯体の4つの断面に設けた計測点で常時計測し、うち1断面では有効応力計により温度応力を計測した。さらに、冷却の効果を把握するため、躯体と同一断面のダミー壁を冷却せずに打設し、温度計測を行なった。品質管理フローを図-2に示す。

4-2. 打設温度の管理 ひびわれを完全に防止するための目標として、過去の実績や、既往の資料を参考に、温度ひびわれ指数を2.0以上とした。これを満たす打設温度は、FEM 温度応力解析を行なった結果、両ロット共22℃以下とする必要があり、管理基準は打設箇所で21±2℃と設定した。

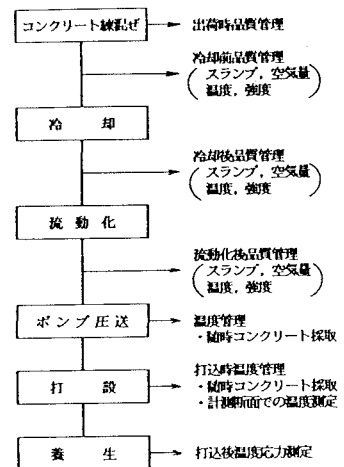


図-2 品質管理フロー

5. 施工結果

5-3. フレッシュおよび硬化コンクリートの品質管理結果
スランプ、空気量、圧縮強度について、冷却前後の比較を図-3に示すが、冷却による悪影響は認められなかった。

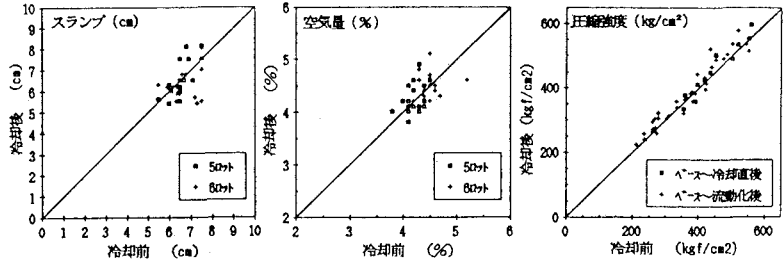


図-3 冷却前後のスランプ、空気量、圧縮強度 ($\sigma_3 \sim \sigma_{91}$)

5-2. フレッシュコンクリートの温度管理結果

①. 冷却量 生コン車 1 台当りの冷却量は、第5ロットが12℃、第6ロットが15℃で、冷却時間は各々3.5分、4.5分を要した。また、冷却に要した液体窒素量は 13kg/m³℃であった。

②. 打設温度の管理結果 入荷時および打設時のコンクリート温度変化を図-4に示すが、ほぼ基準値内で打設温度を管理することができた。午後は、2社のプラントのコンクリート温度が異なったために、管理値内での打設温度のバラツキが若干大きくなった。

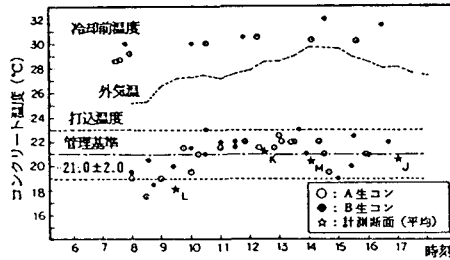


図-4 コンクリート打込み温度管理結果 (6ロット)

③. 冷却後から打設までの温度上昇量 各計測

位置におけるコンクリート温度の平均値を図-5に示す。冷却直後から打込みまでの温度上昇量は、曇天の第5ロットで3℃、晴天で気温の高い第6ロットで5℃であった。

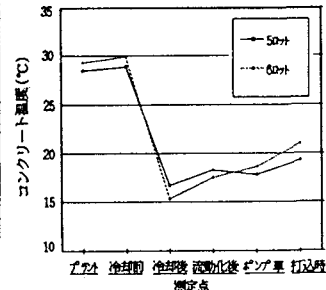


図-5 各計測点におけるコンクリートの温度測定値

5-4. 打設コンクリートの温度応力計測結果

①. 冷却による最高温度低下量 冷却無しのダミー壁と躯体との温度計測結果を比較 (表-2) すると、部材厚の大きい第6ロットは冷却量 (-8.5℃) が最高温度の低下に十分反映している (-9.3℃) のに対し部材厚の小さい第5ロットでは、冷却量 (-8.1℃) に比べて、最高温度低下量が小さく (-6.6℃)、打設後の外気からの吸熱の影響が見られた。

②. 温度応力 温度ひびわれ指数が2.0となる引張強度に対して発生引張応力は小さく、温度ひびわれに対する所定の安全性を確保することができた。なお施工後の目視検査の結果、ひびわれは認められなかった。

7. まとめ 1日約 700m³におよぶ暑中コンクリートの打設に対しても、液体窒素を用いたブレーキングにより、所定の温度管理基準値内で打設し、温度ひびわれを防止できることを

実証した。今後は、①冷却後から打設までの温度上昇量を低減する、②部材厚の薄い場合は打設後の吸熱を抑制する、ことの2点に配慮することにより、本工法の経済性をさらに高めることが可能である。

表-2 コンクリート温度計測結果 (℃)

断面	第5ロット		第6ロット	
	打込温度	最高温度	打込温度	最高温度
躯体温度				
L	19.0	37.9	18.1	46.0
K	19.6	38.0	21.2	48.4
M	20.8	39.4	21.4	47.7
L	20.6	38.5	19.5	47.2
平均	20.0	38.5	20.1	47.3
ダミー				
②	28.1	45.1	28.6	56.6
差①-②	-8.1	-6.6	-8.5	-9.3

②: 無対策ダミー壁

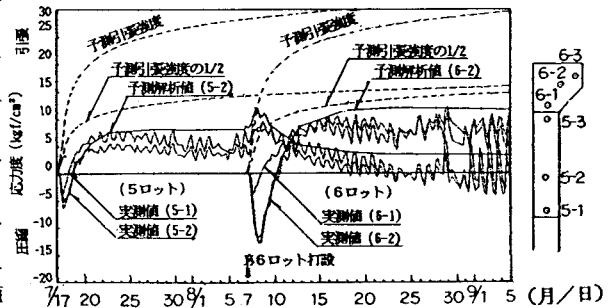


図-6 温度応力の経時変化 (第5, 第6ロット)