

フジタ工業技術本部 正会員 青 景 平 昌
 同 上 正会員 和 泉 四 郎
 同 上 正会員 後 藤 哲 雄

§ 1. はじめに

低温下で使用するRC構造物の熱的挙動を検討する目的で、方形型の低温液体貯蔵槽のモデル供試体を作製し、正常な運用状況を考慮した冷却貯溜実験、冷却加圧実験、ガス透過実験と液密断熱材（一次防壁）の破損を想定した異常漏洩実験等を行なった。これらの実験の内、本報告は正常運用状況に近い冷却貯溜実験で得たRC部材の温度変化およびそれに伴うひずみ発生に関する結果をとりまとめたものである。

§ 2. 供 試 体

供試体は $4 \times 4 \times 2.5$ mの方形型で形状寸法と配筋を図-1に示す。断面は内側から一次防壁（プラスチックフォーム）、保冷層（気相を含む根太構造）およびRC部材で構成した。各構成部材は 2.0 t/m^2 の内圧と温度応力に耐え、かつ異常漏洩時にも液密性能を損なうような過大なひびわれが発生しないことを考慮して決定した。RC部材は断面中央に配置したPC鋼棒（SBPR- $\phi 17$ 高張）によって 15 Kg/cm の面内プレストレスを導入し、鉄筋はSD-30を、またコンクリートは普通骨材コンクリートを使用した。供試体は四隅を単純支持し横方向の移動を自由にした。

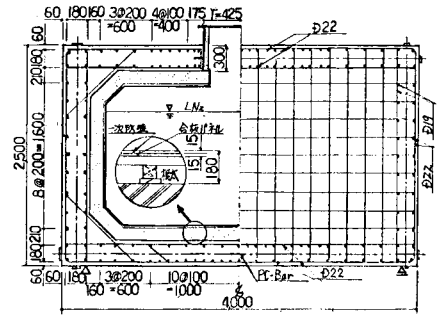


図-1 供試体の形状寸法および配筋図

§ 3. 材料特性

使用コンクリートの強度特性を図-2に示す。テストピースは現場水中養生し、試験前に気乾状態にしたもので含水率は6%程度であった。また本実験のコンクリートの最低温度（ -30°C 程度）までの平均的な線膨張係数、熱伝導率、弾性係数はそれぞれ $9.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、 $1.6 \sim 1.8 \text{ Kcal/mhr}^\circ\text{C}$ 、 $2.9 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ である。

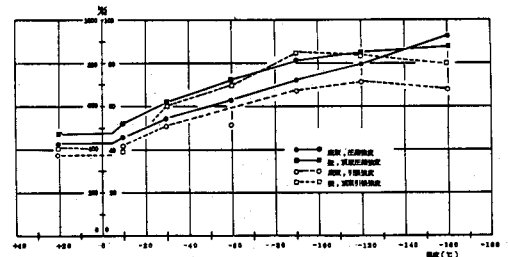


図-2 コンクリート強度と温度の関係

§ 4. 実験方法および計測方法

実験は液体窒素（ LN_2 ）を貯溜する前処理として行なうクールダウンの冷却速度の違いによって、「徐冷」と「急冷」の二種に分けて合計6回行なった。「徐冷」は約6時間で、また「急冷」は約1時間で底版内面を -19.6°C まで冷却した。冷却に伴う温度、ひずみ、収縮変形等を1～2時間毎に測定した。温度とひずみの測定はそれぞれC-C熱電対と低温ゲージを用いた。ひずみゲージの温度補償は自由収縮状態の被測定体試験片における各温度の出力を実測出力から差し引いた。したがって、以下に示すひずみは温度補償後の値で、温度応力に相当するひずみ量を示している。なお、各実験は全て同一の供試体を用いて行なった。

§ 5 実験結果および考察

本供試体は方形型で底版、側壁、頂版等の構成部材はその形状寸法、温度の影響等がそれぞれ異なるので、温度変化および発生ひずみの傾向も異なる結果となった。特に頂版はハッチ開孔部の影響で他の部材に比較して特異な挙動を示したが、ここでは一般的な形状で、温度変化および発生ひずみ量が最も大きい底版中央断面の実測結果を中心に報告する。なお、底版は外気温の変動による影響を受けたが、約60時間後にはほぼ定常に達した。また発生ひずみ量から判断してコンクリートにひびわれの発生はないと推定した。

(1) 底版中央断面の温度変化

「徐冷」と「急冷」の温度経時変化を図-3に示す。いずれの場合もLN₂が溜り始めてからRC部材内面の温度が降下し始めており、平均冷却速度はそれぞれ1.07と1.13℃/hrで両者の差はほとんど認められず、定常状態において断面内温度差は最大になった。これは貯溜性能を確保するための断熱材が介在しておれば冷却速度の設定は一次防壁の耐熱性能で決まることを示している。定常状態の断面内温度分布からRC部材の熱伝導率を逆算すると1.8~1.9 Kcal/mhr℃となり、材料試験結果よりも若干大きめの値を示した。図-5に示した鉄筋とコンクリートの温度を比較すると、鉄筋は周囲のコンクリートとほぼ同一の温度を示し、断面内での不均一な温度分布は認められない。

(2) 底版中央断面のひずみ変化

「徐冷」と「急冷」のひずみ経時変化は温度の場合と同様に時間的ズレがあるだけでほぼ同じ傾向を示した。図-4は「徐冷」の場合のひずみと対応する温度の経時変化を示す。冷却に伴って内側に引張、外側に圧縮ひずみが発生し、ひずみ量は引張ひずみの方が大きく軸方向の引張応力が発生していることを示している。内側鉄筋ひずみは定常に達する前の30時間当りからほぼ一定となり、その後の温度変化に反応していない。またコンクリートの冷却表面のひずみは30時間までは鉄筋とほぼ同じ値を示すが、その後は逆に減少する傾向が認められる。前者の原因は30時間以後の断面内温度差がほぼ一定となることから、ひずみがこの温度差の影響を受けるものと思われる。後者は以後の実験でも同様に認められた傾向で、コンクリートの非弾性的な性質の影響と思われる。

(3) 底版中央断面の鉄筋とPC鋼棒のひずみ分布

定常状態における底版中央の温度と鉄筋(PC鋼棒)のひずみ分布を図-5に示す。ひずみは初期温度あるいは定常温度が各実験で異なるにも拘わらずほぼ同じ値の分布を示し、冷却側鉄筋に約125μの引張ひずみがまた外側鉄筋に約40μの圧縮ひずみが発生した。断面内温度差による曲げひずみ発生量は9~10μ/℃で曲り拘束した時の値にほぼ一致している。したがってこの種の方型貯蔵槽においても、定常状態の鉄筋応力は主として部材断面の温度差によって生ずる温度応力が支配的であることが認められた。

§ 6. おわりに

本報告は社団法人・日本海洋産業開発協会の委託研究事業として行なった「昭和52年度LNGの海洋輸送・備蓄一貫システムの研究」のうち「大型バースモデル低温実験」の一部をまとめたものであり、当協会および西沢紀昭部会長をはじめ、共同で実験を行なった石川島播磨重工業株式会社の関係各位に深謝致します。

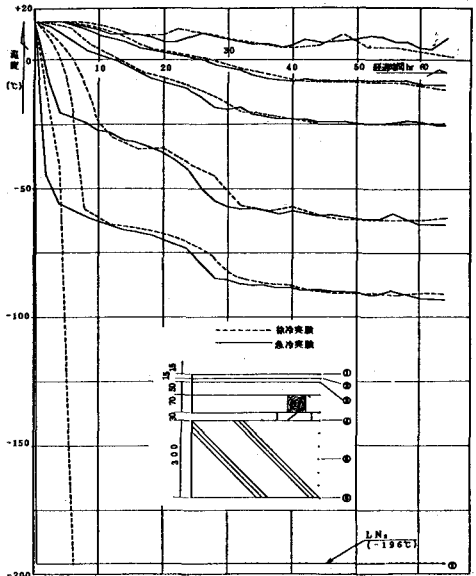


図-3 底版中央断面の温度経時変化

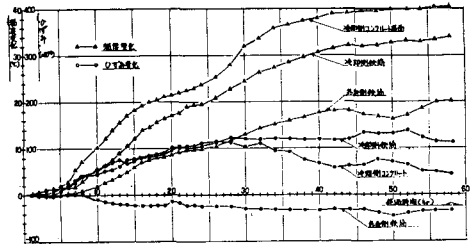


図-4 断面内の温度およびひずみ経時変化

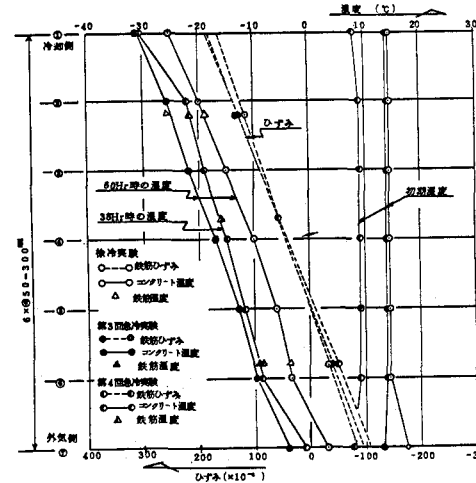


図-5 断面内の温度とひずみ分布