

横浜大林組技術研究所 正員 ○上野 孝之

〃 〃 大内 一

## 1 まえがき

RC製LNG地下貯槽を対象としたコンクリートおよび鉄筋の低温領域における諸物性は次第に明らかにされつつあるが、RC構造物の低温温度応力による非弾性挙動についての研究例はまだ少ない。

ここでは、RC円筒の内部を低温にして内外温度差を与えることにより生ずるひずみと変形を測定し、温度変化に対応するコンクリートの物性変化を考慮したRC構造物のひびわれ挙動について検討を行なった。以下実験の概要と結果の一部を述べる。

## 2 RC円筒の製作と実験方法

(1) コンクリートの配合と使用材料 コンクリートは表-1に示す配合とした。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、粗骨材は渡良瀬川産川砂利(比重2.57、吸水率0.98、粗粒度6.26)を、細骨材は旧利根川産川砂(比重2.59、吸水率1.6%、粗粒率2.82)を用いた。

(2) RC円筒の製作と養生 試験体は図-1に示すように、内径1.5m、外径2m、高さ1.5mでリングに加工した異形鉄筋(SD30、D13およびD22)を10cmの間隔で15本内面から5cmの位置に設置した。ひずみの測定を行なう鉄筋(A、B、C断面)はリングに加工した後切断してストレングージを貼付け、恒温槽内で温度特性(常温～80℃の範囲で自由収縮させたときの温度とひずみの関係)を試験し、再び切断部を溶接してリングにした。コンクリートの練り混ぜは0.25m<sup>3</sup>の強制練ミキサーを用い10バッチ混練した後、バッチ間変動をなくするためにミキサー車で全量を混練した。硬化後は散水養生し、型枠は材令45日ではずして円筒の内面と外面にストレングージ、熱電対を設置した後上端部および内面にゴム状コーティング剤を塗布して乾燥を防ぎ、材令60日で冷却実験を行なうまで散水養生した。

(3) 測定項目 コンクリートおよび鉄筋の温度(C-C熱電対70点)、鉄筋のひずみ(ストレングージ24点、CFLA-3東京測器研究所)、コンクリートの表面ひずみ(ストレングージ68点、CPL-20東京測器研究所)、円筒の外径変化(石英管とキャンチレバー型変位計6点)について測定を行なった。

(4) 冷却実験 図-1に示すように円筒の両端を断熱し、外表面は散水して一定温度となるようにした。内部は液体窒素を噴霧すると共にファンで攪拌して冷却した。内部温度のコントロールは測温抵抗体(Pt100Ω)と自動温度調整器によって行なった。温度とひずみは10分間隔でデジタル測定器を用いて自記記録した。冷却は図-2に示すステップで行なったが、

| 粗骨材の最大寸法(mm) | 粗骨材の範囲の範囲(cm) | 粗骨材の容積率(%) | 水セメント比W/C(%) | 細骨材の容積率s/a(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |       |      |      |      |
|--------------|---------------|------------|--------------|---------------|-------------------------|-------|------|------|------|
|              |               |            |              |               | 水W                      | セメントC | 細骨材S | 粗骨材G | 混和剤  |
| 25           | 21±1          | 4±1        | 56.6         | 48            | 192                     | 339   | 827  | 909  | 0.85 |

表-1 コンクリートの配合

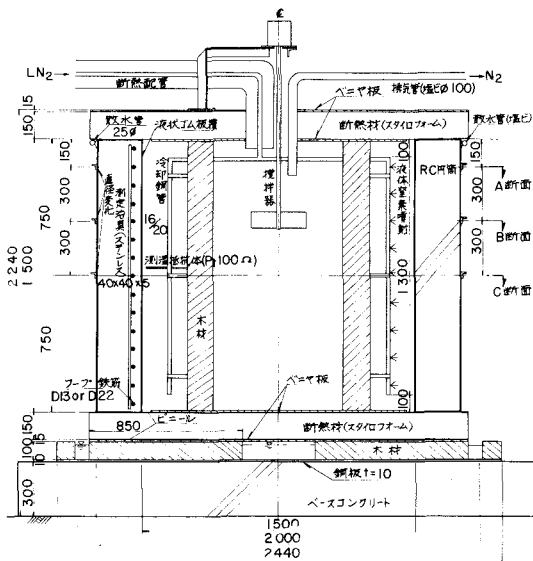


図-1 冷却実験装置断面図

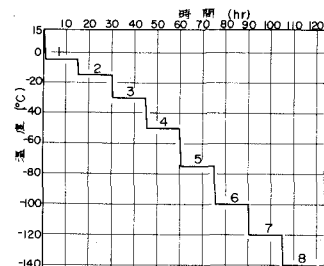


図-2 円筒内温度～時間

円筒部の温度分布が近似的に定常状態となるのに約12時間要した。なお、円筒試験体の冷却実験に先立ってテストピースを用いて常温～-80℃の温度範囲でコンクリートの圧縮強度、静弾性係数、ポアソン比、引張強度および鉄筋の引張強度、弾性係数についての試験を行なった。

### 3 実験結果と考察

リング筋D22を用いた試験体（鉄筋比  $p = 1.5\%$ ）の実験結果の一部を図-3、4に示した。図-3は円筒断面の温度分布が近似的に定常状態になったときの内外表面平均温度差（ $\Delta T$ ）と直径変化（ $\delta$ ）を示したもので、変位計で測定した値と、コンクリートの外表面の平均圧縮ひずみ（ $\bar{\epsilon}_{c\theta}$ ）から算定した値とがよく近似している。図-4は内外表面平均温度差（ $\Delta T$ ）とリング筋の平均温度応力ひずみ（ $\bar{\epsilon}_{s\theta}$ ）を示したものである。図-3、4の計算値は無限長軸対称積層円筒殻の定常温度分布における温度応力<sup>1)</sup>の近似解である。破線はひびわれを考慮した非弾性計算値（ひびわれ発生後ひびわれ直交方向の剛性を零とした）であり、実線は温度変化に対応してコンクリートの線膨張係数（ $\alpha_c$ ）と静弾性係数（ $E_c$ ）のみの変化を考慮した弾性計算値である。なお、温度分布は両者ともすべて同一とした。ここに、鉄筋の静弾性係数  $E_s = 2.1 \times 10^6$ 、線膨張係数  $\alpha_s = 12.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、コンクリートのポアソン比  $\nu_c = 1/6$ 、ひびわれ発生ひずみ  $\epsilon_{cr} = 100 \times 10^{-6}$  である。なお、コンクリートの温度変化に対する  $\alpha_c$  と  $E_c$  の値は表-2と図-5に示す。直径変化およびコンクリート表面のひずみの実験値はA、C断面では弾性計算値に近似し、B

断面では非弾性計算値に近似している。鉄筋のひずみの実験値はA、C断面では弾性計算値の近傍にあるか、あるいは多少下まわっており、B断面では非弾性計算値よりかなり大きくなっている。特にB断面で鉄筋のひずみの実験値が計算値より大きくなっているのは鉄筋とコンクリートの付着がまだ十分ある状態で、ひびわれが鉄筋のひずみ測定位置の近傍に集中して発生したものと推定される。図-6は各温度段階における

C断面引張側で測定したコンクリートのひずみ分布を示したものである。内壁表面平均温度が-12℃（内外表面平均温度差 $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$ ）になるとひずみは部分的に急に増大するところがあり、以後 $\Delta T$ の増加に伴うこの傾向はさらに増長されている。したがって鉄筋ひずみ分布も一様でなくなり、鉄筋ひずみよりRC構造としての平均的な挙動を正確に推定するには若干問題があるように思われる。

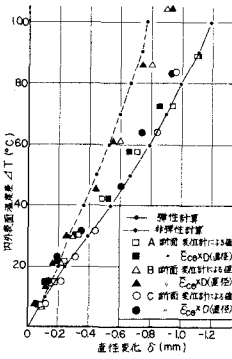


図-3  $\Delta T \sim \delta$

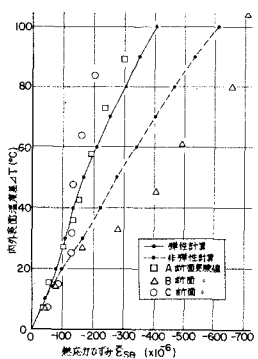


図-4  $\Delta T \sim \bar{\epsilon}_{s\theta}$

| 温度範囲℃                                            | 20～0 | 20～-10 | 20～-20 | 20～-30 | 20～-40 | 20～-50 | 20～-60 | 20～-70 | 20～-80 |
|--------------------------------------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 線膨張係数 $\alpha_c \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ | 11.2 | 12.5   | 12.7   | 12.9   | 10.9   | 11.3   | 10.6   | 9.9    | 9.2    |

表-2 コンクリートの平均線膨張係数

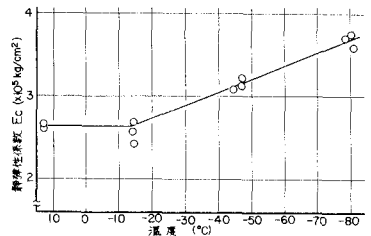


図-5 静弾性係数～温度

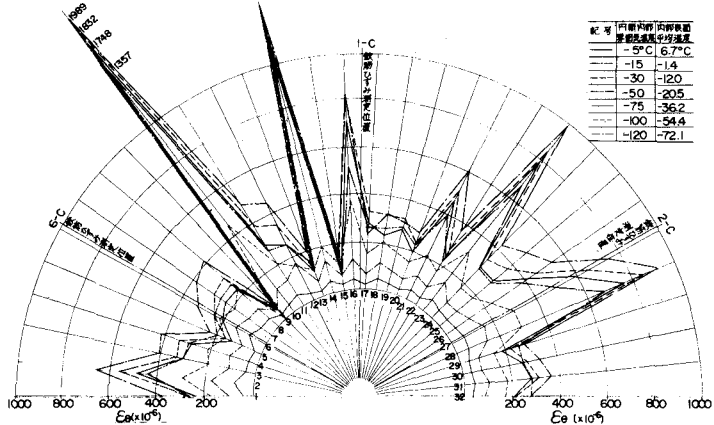


図-6 円筒内表面ひずみ分布（C断面）