

アリヂストン液化ガス(株)研究所

正 木 寿一郎

鹿島建設技術研究所

岩 城 良

〃

〇村 山 八洲雄

1. まえがき 鋼LNG船のうち、船殻の一部がタンクの強度部材を形成する場合、日本海事協会の規準等により、タンク槽に二次防壁を設けることが義務づけられている。二次防壁はタンクのメンブレンが破損したとき、船殻材料を低温脆性破壊から守り、LNGの船外流出による二次災害を防ぐ機能を持っている。一方、プレストレストコンクリート(PC)船殻の場合は、コンクリートや緊張材およびPC部材の低温衝撃強度は常温時に比べて遜色ないことが知られており、船殻材が直接LNGに接したときの強度と止液性等が十分であれば、二次防壁の省略も可能と考えられるのである。本実験は、二次防壁を省略したPC船殻を想定し、LNGの代りに液体窒素(LN₂)を用い、PC部材が直接液に接するときの挙動を調べるために実施したものである。

2. 実験方法 試験体の形状寸法を図-1に示す。コンクリート(最大骨材寸法20mm)の圧縮強度は $\sigma_{28}=40.5 \text{ kg/cm}^2$ で、実験時の強度も同じである。緊張材(F100, SEEE)の降伏点および引張強さはそれぞれ 173 kg/mm^2 、 193 kg/mm^2 、鉄筋(D16, SD30)については 36.7 kg/mm^2 、 55.5 kg/mm^2 であった。緊張力は各60とし、緊張後クラウトした。

冷却に先立ち図-2の要領で、合成応力度が上縁で 23 kg/cm^2 、下縁で 102 kg/cm^2 となるように載荷したのち、上面に液高7cmになるようにLN₂を貯液した。貯液は試験体内の温度が定常状態になったとみなされる26時間継続し、その間、変形はジャッキによって貯液前の状態に保持した。鋼材のひずみ測定は、全て配筋筋の位置(ひびわれ断面に一致)で行った。

3. 実験結果

(1) 断面内温度分布; 図-3に示すとおりである。

(2) ひびわれ; 定常状態での主要なひびわれは配筋筋に添って部材を貫通しており、上面では幅 $0.15 \sim 0.20 \text{ mm}$ 、下面で $0.10 \sim 0.12 \text{ mm}$ 、間隔は配筋筋間隔と同じ20cmであった。

(3) 鋼材ひずみ; 図-4より、初期ひずみを加算した緊張材の最大ひずみは約 7500×10^{-6} で弾性範囲内にあることが分る。鉄筋には降伏ひずみ相当のひずみが発生した。

(4) 破壊に対する安全度; 定常状態の試験体はほぼ純引張状態で、軸力は330tであった。試験体の軸引張強度を、緊張材の規格引張強さ、鉄筋の規格降伏点および温度低下による各強度の増加分の和と考えると約430tとなり、安全度は1.3程度と推定される。

(5) 止液性; 貫通ひびわれの発生にも拘らずLN₂の漏洩はなかった。これ

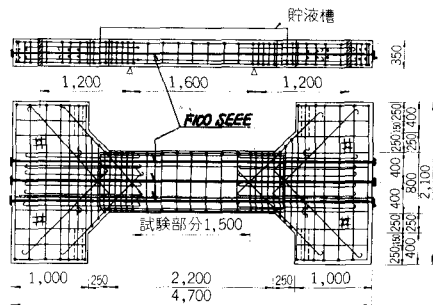


図-1 配筋図

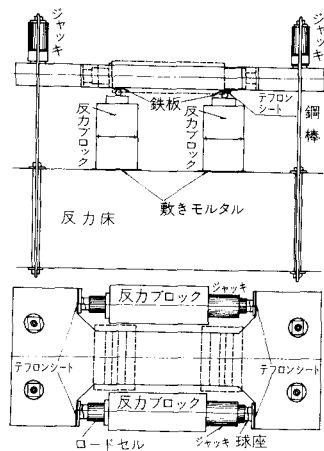


図-2 載荷要領

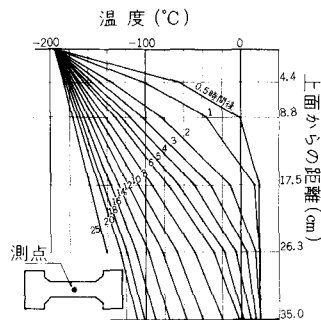


図-3 断面内温度

は、沸点温度まで冷却されるのは試験体の極く一部であり、ひびわれに浸透したLN₂は直ちに気化してしまうためである。この現象は、過去に実施した類似実験(図-5)の結果からも説明づけられる。

(6) ガス密性; ひびわれ部からのN₂ガスの漏洩は、酸素濃度測定器等でも検知できなかった。別途行った乾燥空気による透気試験の結果(図-6)から推定すると、試験体のひびわれ1本あたりのN₂ガスの漏洩は、1 cc/s 程度であることがわかる。

(7) 常温回復後の部材性能; 貯液前後の常温での軸引張剛性を比べると、貯液後で若干の剛性低下があったが、アレストレスの損失はなく、想定作用荷重の範囲で、荷重と変位や鋼材ひずみは直線関係であることが分った。

4. 解析的検討 以上のようにかなり苛酷な条件下ではあったがこの実験で用いたPC部材はメンブレンの破損に対して満足できる強度と使用性をもっていることが分った。そして、この強度と使用性は主として部材内温度、緊張材応力度およびひびわれ幅に支配されることが分った。つぎにその算定法について述べる。

(1) 温度; 試験体下面の温度が0°Cに達した頃着霜した。霜は時間経過とともに成長し断熱材の機能を果たすため、着霜を無視する通常の熱伝導計算法では非現実的な値を与えてしまう。霜の先端温度を0°Cとし、霜厚と試験体温度分布から推算した霜の熱伝導率および単位熱流($\text{kcal/m}^2\text{h}$)による霜の成長速度はそれぞれ0.075 $\text{kcal/m}^2\text{h}$ 、 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m/h}$ であった。これらの値は氷への昇華熱、氷の熱伝導率、霜の密度(0.03~0.07 g/cm^3)という考えからも大略説明できる。本実験に対し上記の値を用いて行った熱伝導計算結果は、図-7に示すように実測値によく近似する。

(2) 応力およびひびわれ幅; 配力筋にひびわれ分散効果があるため、ひびわれ断面での部材剛性を用いた応力算定法によっても図-4に示すように、緊張材の応力度をほぼ算定できることが分った。また、従来の多くのひびわれ算定式は、この実験に関して過大評価(安全側)となった。これは、実験では前述のひびわれのほかにヘアクラックも多々あること、コンクリートよりも鋼材の温度収縮率が大きく、ひびわれを抑制する傾向にあること等によると考えられる。

5. あとがき 今回実施した実験は、完全拘束下の部材を対象としたものである。今後、構造系としての挙動ならびに評価法を明確にする必要があると考えている。

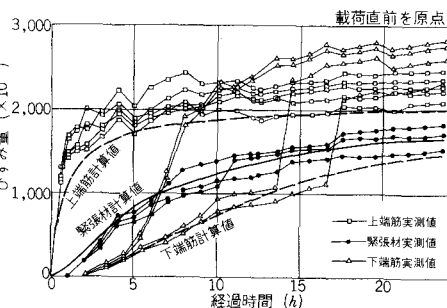


図-4 鋼材ひずみ変化

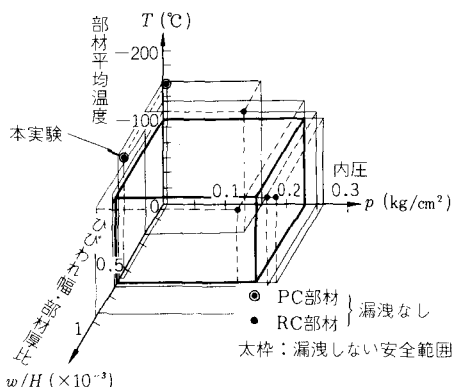


図-5 LN₂の漏洩しない範囲

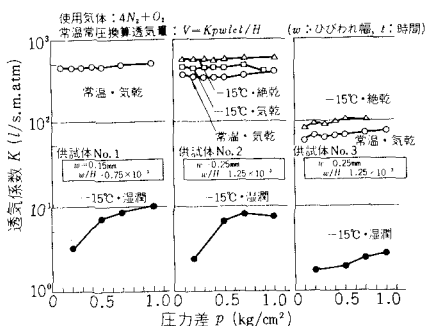


図-6 ひびわれ部透気係数

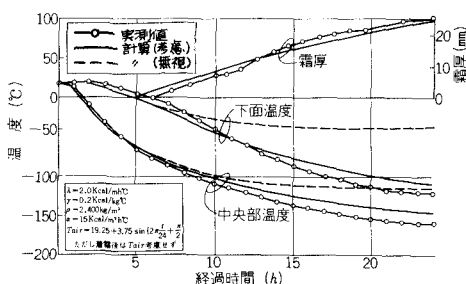


図-7 着霜を考慮した熱伝導計算

参考文献 PCバージ研究開発グループ, PCバージに関する開発研究(その3), 鹿島建設技術研究所年報 Vol.27, 1978