

V-140 低温液化ガス用コンクリート部材の貯液性能に関する研究—その2

東京大学工学部 正員 前川 宏一, 同 正員 岡村 甫
 大阪ガス㈱ 正員 浅井 邦茂
 ㈱大林組 正員○長谷川 宏, 同 正員 鎌田 文男

1. はじめに

低温液化ガス用コンクリート部材の貯液限界を確認するために、液化窒素(LN₂)を用いて貫通ひびわれを有する部材の貯液性能に関する実験を実施した¹⁾。本報告では、低温液化ガスは極低温沸点流体であるため、通常の単相流だけの解析とは異なるひびわれ断面内の一次元気液二相流モデルを用いたシミュレーションを行い、実験結果と比較した。

2. 基礎方程式および数値シミュレーション方法

気相(N₂)と液相(LN₂)は完全に混合し、両相の平均速度に差がないとすると、圧縮性とひびわれ幅を考慮した気相および液相の連続の式、気液混合相の運動方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_l C w] + \frac{\partial}{\partial x} [\rho_l C w u] + A = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_g (1-C) w] + \frac{\partial}{\partial x} [\rho_g (1-C) w u] - A = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} [\rho_l C w u + \rho_g (1-C) w u] + u \frac{\partial}{\partial x} [\rho_l C w u + \rho_g (1-C) w u] \\ = - \frac{\partial}{\partial x} [w P] - [C \tau_l + (1-C) \tau_g] \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここに、 ρ は流体の密度、 C はひびわれ断面内において液相が占める体積比率、 w はひびわれ幅、 u は混合相の断面平均流速、 A は蒸発量、 P は混合相に作用する圧力、 τ は流体の粘性による摩擦損失である。添字 l, g はそれぞれ液相、気相を表す。蒸発量は、LN₂の飽和蒸気圧と作用圧力の差と液相の体積比率との積に比例するものと仮定した。摩擦損失 τ については鈴木らの研究²⁾や渡部の研究³⁾を参考にして定めた。

数値シミュレーションにおいては、離散化の方法として差分法を適用し、式(1)～(3)の差分方程式を導き、以下に示す初期条件、境界条件の下で平均速度 u 、圧力 P および液相の体積比率 C について解くこととした。

$$\text{初期条件: } u(x, 0) = 0, \quad P(x, 0) = 0, \quad C(x, 0) = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{境界条件: } P(0, t) = P_L, \quad P(L, t) = P_{atm}, \quad C(0, t) = 1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 P_L は貯槽内圧力、 P_{atm} は大気圧を示す。式(1)～(3)の差分方程式は非線形連立方程式となるため、その数値計算方法としてNewton-Raphson法を適用した。また、シミュレーション上の仮定を次のようにした。①液相は非圧縮とし、気相については圧縮性を考慮する。②液相の物性値は -193°C での値を用い、気相の物性値は温度依存性を考慮する。③ひびわれ幅は実験で初期に測定した値とし、流体の温度分布は各時刻での測定結果から得られたひびわれ面の温度分布に等しいとする。

3. シミュレーション結果および考察

図-1に漏出ガス量の経時変化を示す。実験No.1-3における計算値は実験値に良く一致している。一方、実験No.2-1の計算値は実験値の2倍程度の値を示しているが、時間とともに流量が増加する傾向を定性的に

とらえている。図-2に示す漏出ガス量の実験値と計算値との比較から、シミュレーションで得られた流量は実験値の概ね0.5~2倍程度の範囲内に収まっており、ひびわれ幅の解析結果に及ぼす感度を考慮すると、実用上十分な精度であると考えられる。ひびわれ断面内で液相が占める体積比率の経時変化を図-3に、これに対応する供試体断面の温度分布を図-4に示す。これらの図から、部材の冷却に伴って液相の存在する領域が拡大していき、これによってひびわれ断面からの冷却がさらに進展していくことがわかる。また、液相領域が拡大するにつれて、液相の流量は増大し、蒸発量もそれに伴って増加するので、漏出ガス量が時間とともに増加していくことが説明できる。

4. おわりに

シミュレーションで得られた漏出ガス量は実験値の0.5~2倍程度であり、実用上十分な精度であると考えられる。また、漏出ガス量はひびわれ幅とともに温度分布に依存する。今後の課題としては、①蒸発および摩擦損失に対してより実際の現象に即したモデルを導入すること、②今回のシミュレーションでは、流体の温度として、実験で得られたひびわれ面の温度分布を用いたが、潜熱も考慮したエネルギー保存式と連立して予測シミュレーションを行うことができるように改良していくことなどが挙げられる。

《参考文献》

- 1) 岡村ほか：低温液化ガス用コンクリート部材の貯液性能に関する研究-その1、土木学会第45回年次学術講演会、平成2年9月
- 2) 鈴木ほか：ひびわれの生じたコンクリート壁からの気体漏洩に関する基礎的実験、日本建築学会構造系論文報告集、昭和62年3月
- 3) 渡部：発電所廃棄物陸地貯蔵・処分用コンクリートピットの水密性に関する研究、電力中央研究所報告、昭和62年9月

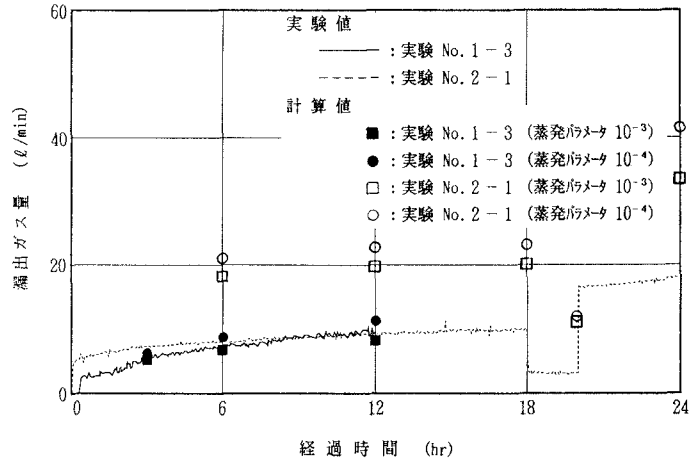


図-1 漏出ガス量の経時変化の比較

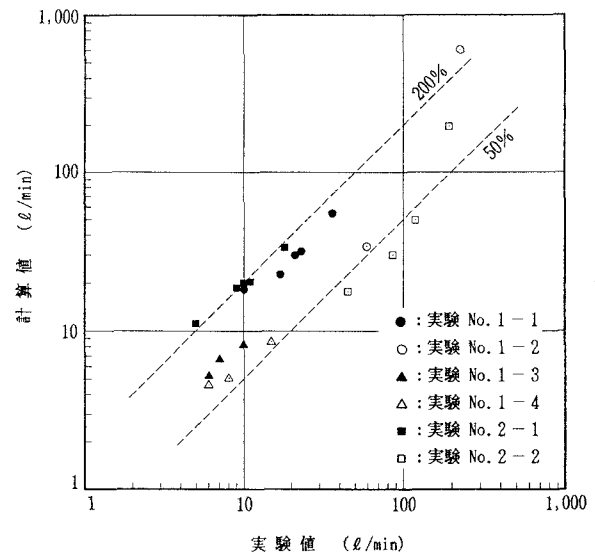


図-2 漏出ガス量の実験値と計算値との比較

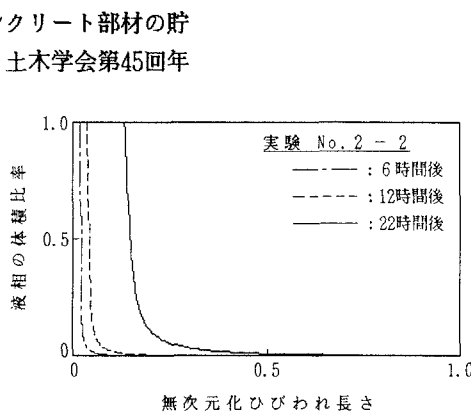


図-3 液相の体積比率の経時変化

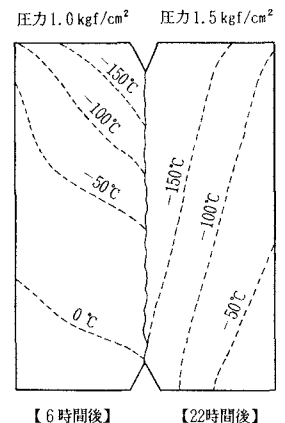


図-4 供試体温度分布