

Cavitation in Two Liquid Phases of Helium using a Venturi Channel

○ 石井崇 (筑波大機能工学), 村上正秀 (筑波大機能工学)

Takasi ISHII and Masahide MURAKAMI

Institute of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

Helium has two liquid phases, He I and He II. We studied cavitation flows in two liquid helium phases using a Venturi channel. It is found that there are many differences in cavitation between He I and He II. It is found from pressure measurement, that the pressure loss in cavitation flow of He II is larger than of He I. It is also seen from visualization picture HeII cavitation bubbles rapidly grow up and numerous small vapor bubbles are generated in the primitive stage of cavitation flow. On the other hand, He I cavitation bubbles still remain in the state of massive individual tiny vapor bubbles until the collapse of the cavitation far downstream. It is recognized that there is a definite difference in the temperature decrease between He I and He II cavitation flows. Inside of a cavitation flow, the temperature decreases by maximum 100mK in He I, but in He II the temperature drop tends to saturate about 25mK whatever the flow velocity increases.

1. はじめに

液体ヘリウム (以下 L-He) は極低温の冷媒として、超伝導磁石や宇宙赤外線望遠鏡等の冷却に広く利用されている。L-He には He I (常流動流体) と He II (超流動流体) の2つ相が存在する。He II は粘性がない、熱が波動的に伝わるなどの特異な性質をもつ流体である。キャビテーションは流体機器の性能低下など悪影響をもたらすため、水に対する研究は数多くなされているが、L-He についての研究例は少ない。

我々はベンチュリ管路を用いて、L-He 流でのキャビテーションを研究している。その結果 He I と He II のキャビテーションでは様々な差異があることがわかった。測定項目は管路前後での圧力損失、流れ場の温度変動及びキャビテーションの可視化である。

2. 液体ヘリウム

液体ヘリウムはラムダ線と呼ばれる境界を境に性質が大きく変化する。高温側の He I は通常の流体の性質を示すが、低温側の He II は超流動流体であり特異な性質を示す。その中でもキャビテーションの発生に影響すると思われる物理的性質としては重要なものに超熱伝導が挙げられる。これは超流動においては、常流動と比較して極めて優れた実効的熱伝導性を持つ性質である。

3. 実験装置

内部を低圧、低温状態に保つための容器 (クライオスタット) と流動装置本体で構成される。実験装置主要部 (Fig.1) は L-He 中に浸されている。クライオスタット外部に設置された電動アクチュエータでベローズを収縮させることにより、ベンチュリ管路 (Fig. 2) 上部から L-He が流入する。

管路は2枚の石英ガラスの間に厚さ 3 mm の真鍮版を挟んだ

矩形断面の管路で、幅は最大 15mm、最小 5mm (スロート部) である。流速の増加により静圧が充分低下すると、スロート部の下流にキャビテーションが発生する。

圧力測定は、流れに際しての圧力損失をベンチュリ管路前後の圧力差を差圧型トランスデューサで測定した。温度計測は約 1mm² の薄型温度センサーで、スロート部から 25mm 下流の管路中央で行なった。可視化はクライオスタットの光学窓を通して、高速ビデオカメラとスチール写真で記録した。

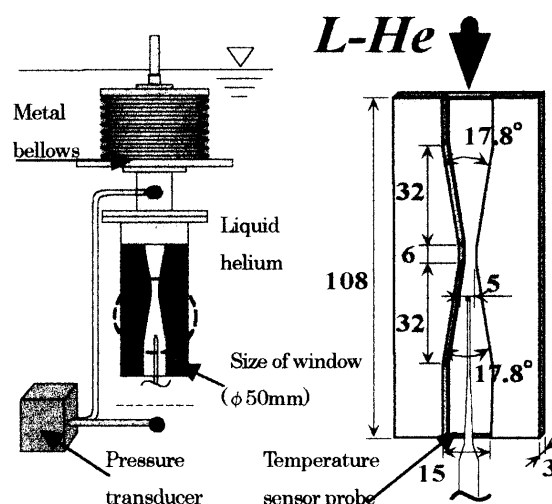


Fig.1 The schematic illustration of the key area of experimental system.

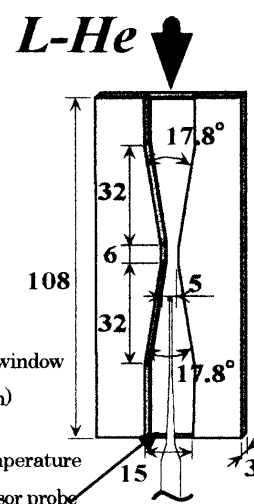


Fig.2 The detail of two-dimensional Venturi channel.

4. 結果

4. 1 圧力損失

Fig.3にスロート部における動圧 P_t と圧力損失の関係を示す。動圧が低い領域では、まだキャビテーションが発生していない。He IとHe IIの圧力損失の違いはほとんどない。しかし動圧が増して2kPaを越えた領域からキャビテーションが発生し始めると違いが出てくる。He IIの圧力損失はHe Iと比較すると初生領域では1.2kPa程、充分発達した領域でも0.8kPa程大きな値になっている。つまりHe IIでのキャビテーションはHe Iより規模が大きいと言える。

4. 2 可視化

Fig.4に液体ヘリウム中でのキャビテーション流の可視化写真を示す。上段: He I、下段: He IIで左側①は流速が比較的遅い領域でのキャビテーション初生状態、右側②は比較的速い領域でのキャビテーションが充分発達した状態である。

まず①初生状態で比較するとHe Iではキャビテーションが発生してもすぐ消滅し始め、下流になるに従い気泡の規模は減少している。また気泡形態は無数の微細な泡の集合で、画像では黒っぽく見える。それに対しHe IIではキャビテーション発生後も気泡の育成は持続し、より下流の領域でも気泡の規模は拡大し続けている。個々の気泡形態は比較的大型の泡から成り、He Iより透明感がある。

②の充分発達した状態では、流速の増加によってスロート部で流れがベンチュリ管壁から剥離し、流路中央は比較的気泡の少ない流れとなり、その中央と管壁の間は気泡の多い領域となった。He Iでは流路中央流と気泡の多い壁面側のキャビテーション流の境界面は凹凸が激しい状態なのに対して、He IIでは境界面は滑らかである。

またHe II領域近傍のHe Iでの初期温度($T = 2.20\text{K}$)では、He Iでのキャビテーションにも関わらず、He IIでの特徴に酷似したキャビテーションを観察した。

4. 3 温度変化

Fig.5に動圧と温度変化量の関係を示す。まず $T = 2.20\text{K}$ で40 mK以上温度が低下していることから、この初期温度においてキャビテーションによるHe IからHe IIへ相変化が生じていることを確認できた。(転移温度2.17K) またHe Iでは動圧の増大に伴い、より温度が低下し、同じ動圧ならば初期温度が高いほど温度低下量が大きくなった。しかしHe IIでは20mKほど温度低下した後は、動圧が増加してもそれ以上はほとんど温度は低下しない。そして初期温度が異っても温度低下量はそれぞれほぼ等しい結果が得られた。

5 参考文献

- [1] 牧正根, 石井崇, 小林清, 村上正秀: 低温工学 35 (2000) 16-21
- [2] P.L.Walstrom, J.G.Weisend II and S.W. Van Sciver: Cryogenics 28 (1988) 101-109
- [3] D.E. Daney: Cryogenics 28 (1988) 132-136
- [4] P.R.Ludtka and D.E.Daney: Cryogenics 28 (1988) 96-100
- [5] M.S.Pettersen, C.naud, S.Baliba and H.J.Maris: Physica B 194-196 (1994) 575-576

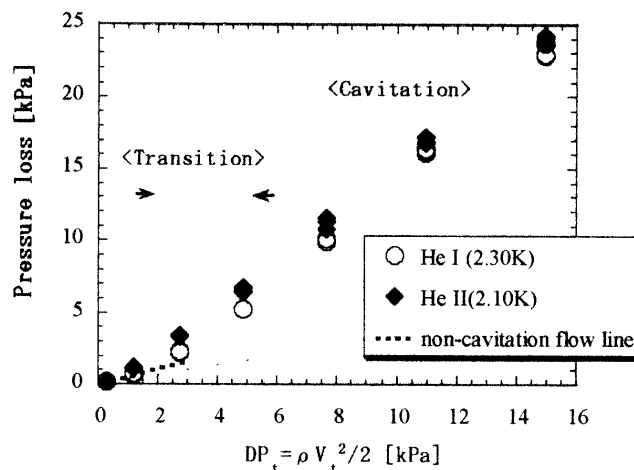


Fig.3 Relation between the dynamic pressure evaluated at the throat and the pressure loss.

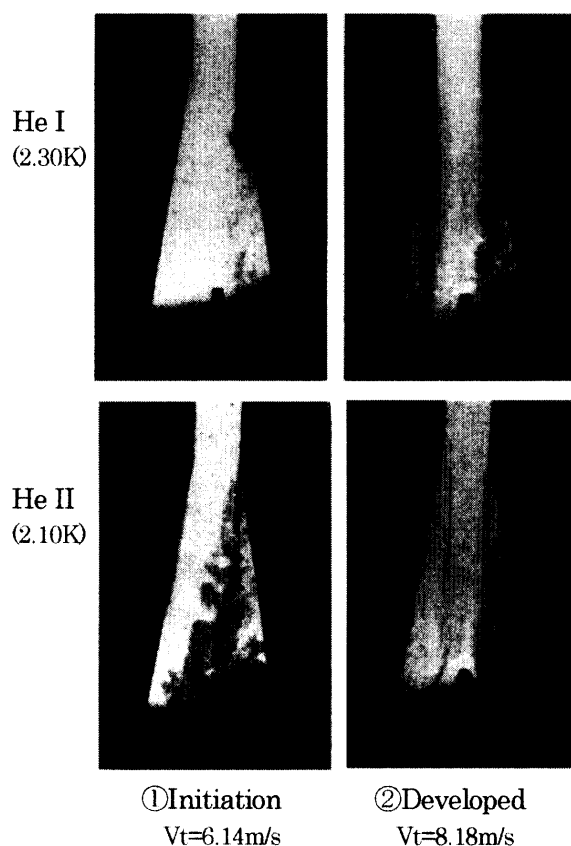


Fig.4 Visualized pictures of cavitation of He I and He II

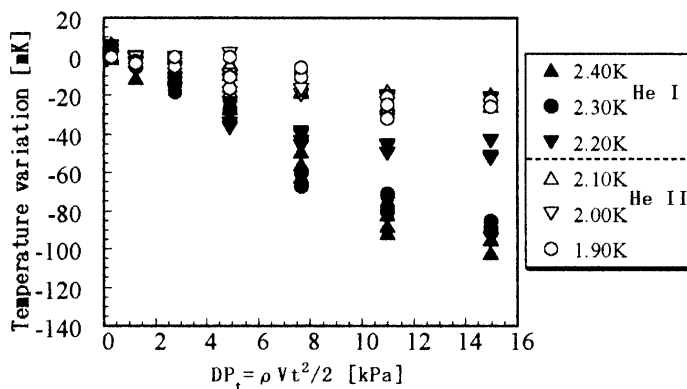


Fig.5 The temperature variation induced in cavitation.