9 1 3 液体中で接触する固体壁面の相対運動により固液界面に発生するキャビテーションの観察

Observation of cavitation on liquid-solid interface caused by relative motion of solid walls contacting in liquid

○ 村上 健二 (岡山大院) 正 鷲尾 誠一 (岡山大)

正 高橋 智 (岡山大) 正 出口 真次 (岡山大)

Kenji MURAKAMI, Okayama University, 3-1-1, Tsushimanaka, Okayama City, Okayama Pref.

Seiichi WASHIO, Okayama University

Satoshi TAKAHASHI, Okayama University

Shinji DEGUCHI, Okayama University

Key Words: Cavitation inception, Relative motion

1. 緒言

伝統的なキャビテーション初生理論の前提である「液体中に常時遍在する微小気泡核」という考えに対する疑問に端を発し、著者らの研究室では油を使ったキャビテーション初生の観察に長年取り組んできた。その結果、キャビテーションは流れのほく離する壁面に突如生まれる極微小空洞から始まることを発見し、これまでに様々なほく離流れでその事実を確認した⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。初生した空洞は成長後分裂し、下流に多くの微小気泡を供給する。これがいわゆるキャビテーション核として、下流の乱れにおいて肉眼でも見えるようなキャビテーション気泡へと成長することも分かっている。

一方、我々のグループは最近流れのほく離とは別の空洞初生メカニズムが存在することを見出した⁽⁵⁾。それは液体中で接触する二つの固体壁面の相対運動に起因するもので、運動に伴い接触点近傍に突如微小な空洞が生じる。この現象の一例は、軸受の油膜破断現象として古くから知られていたが、そのメカニズムは伝統的なキャビテーション核の考え説明されていた⁽⁶⁾⁽⁷⁾。しかし液体に微小気泡が常時遍在するという前提は自然の摂理に反する。壁面間の相対運動による空洞初生も流れのほく離におけるそれと同様、固液界面の破れに起因するのではないかと考えている。今回、固体接触に起因する空洞初生現象を詳しく調べ、上記の考えを検証する目的で、新たに装置を作製し、現象の詳しい観察を行った。

2. 実験装置

2-1 固体壁面の法線方向相対運動

二つの接触する壁面の法線方向相対運動を観察する実験装置を図1に示す。密閉円筒容器の内部で、2枚の板バネ（ばね板鋼，SK4，厚さ0.5 mm）により、図2に示す試験片を把持する。電磁石に電流を流し、板バネに接着したネオジム磁石との間の反発力で板をたわませて試験片を固定壁に接触させる。その後、この電流を切ってバネの力により試験片が離れる時の接触面の様子を観察する。容器には固体の接触部を横及び上の2方向から観察できるように観察窓と採光窓を設けている。接触面を浸す液体としてはVG46マシン油（動粘度 $0.73\text{cm}^2/\text{s}@30^\circ\text{C}$ ）を使用する。実験装置を油圧回路につなぎ、一回のテストごとに発生、残留する気泡を油を流して除去するとともに、容器内の加圧にも使用する。また容器内圧力の減圧は真空ポンプ（到達真空度 10^{-2}Pa ）を用いて行う。

キャビテーションの初生を詳細に観察するため、最大倍率

300倍の実体顕微鏡と、最大40,500FPSまで記録可能な高速ビデオカメラを用いる。なお照明にはメタルハライドライト(150W)を用いる。実験を行うに当たっては、観察容器部に十分に油を流して気泡やコンタミナントを取り除いた後、容器内を10気圧で30分以上加圧して残留気泡を溶解させる。さらに実験開始前には容器内を真空まで減圧し、観察視野内に気泡が現れて来ないことを確認する。なお実験中の容器内の圧力は、抵抗線ひずみゲージ式圧力計（定格5.0MPa）を用いて測定する。

Fig. 1 Experimental vessel to observe cavity inception caused by normal motion of contacting solids

Fig. 2 Test piece and wall

2-2 固体壁面の接線方向相対運動

二つの接触する壁面の接線方向の相対運動を観察する実験装置を図3に示す。油を入れた円筒容器内で速度可変モータに繋いだアクリル製の円盤を回転させ、その表面に試験片を接触させて、接線方向の相対運動を作り出す。試験片は図のように直角に繋いだ二枚の板で支持し、水平な板に張った歪ゲージで押し付け力を測定する。容器は、固体の接触部を横及び上の2方向から観察できるように観察窓と採光窓を設けており、固体接触面を中心に観察する。実験を行うに当たっては、容器内をコンプレッサーで5気圧で30分以上加圧して残留気泡を溶解させる。さらに実験開始前には容器内を真空中で減圧し、観察視野内に気泡が現れて来ないことを確認する。

Fig. 3 Experimental vessel to observe cavity inception caused by tangential motion of contacting solids

3. 実験結果

3-1 固体壁の法線方向運動による初生空洞

観察容器内を真空中に保ち、固体壁の接触面に焦点を合わせて試験片($\phi 1.2$)が接触状態から等加速度運動(3.6m/s^2)で法線方向に遠ざかる様子を上から4,000FPSで撮影した結果を図4に示す。

Fig. 4 Cavity produced between two solids moving away in normal direction

Fig. 5 Cavity produced at contact point when a solid piece is sliding on a plane wall

0s時は二つの壁面は接触しており、5ms後にアクリル片が壁から離れる時に空洞が発生して、その後壁から離れるにつれて空洞は成長している。

3-2 固体壁の接線方向運動による空洞初生

観察容器内を真空中に保ち、試験片と円盤の接触点に焦点を合わせて反時計回りにアクリル円板が静止状態から等加速度運動(1.29m/s^2)を行う様子を下から4,000FPSで撮影した結果を図5に示す。0s時は回転開始の瞬間でその40ms後に接触点から空洞が発生し、そのまま接触点に停留しながら成長している様子がわかる。

4. 結言

二つの固体壁が接触状態から法線方向に遠ざかる場合、及び接触しながら接線方向にすべる場合、両者の接触点近傍で空洞が初生する。空洞は真空よりも高い圧力でも初生するが、圧力が高い程その後の成長は小さく、大気圧下では空洞は消滅する。

また二つの固体壁が衝突して跳ね返ると、やはり接触点に空洞が初生することが確認された。このような空洞からちぎれた気泡が流れの中でキャビテーションを引き起こすことが予想される。

謝辞

本研究を行うために不可欠であった実験装置の設計、製作に関して多大なるご協力、ご助言をいただいた 田村 義彦 技術専門職員、工作センターの技術専門職員の方々に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 鷲尾・他3名, 機論(B)65-633(1999), 1643.
- (2) 鷲尾・他3名, 機論(B)66-651(2000), 2912.
- (3) 鷲尾・他2名, 機論(B)69-681(2003), 1120.
- (4) 菊井・他2名, 6th International Symp. on Cavitation, 2006
- (5) 多田 中四国機械学会, 2006
- (6) 中原綱光, 潤滑, 26, 3(1981)146-152
- (7) D. Dowson&C. M. Taylor, Proc. 1st

Leeds-Lyon Symp. on Tribology, p15