

## 連携記事

ショットレスピーニング技術

# キャビテーションピーニングの原理と応用

A Principle and Application of Cavitation Peening Technology

祖山 均

Hitoshi Soyama

東北大学 大学院工学研究科  
教授

## 1 はじめに

金属などのショットを打ちつけるショットピーニングにより、金属材料表面近傍へ圧縮残留応力導入や加工硬化を生じさせて、疲労強度向上や応力腐食割れ抑止などが可能である<sup>1)</sup>。ショットピーニングでは、固体接触により材料表面の表面粗さが増大してしまうが、ショットを用いない(ショットレス)ピーニングであるキャビテーションピーニングやレーザピーニングでは、表面粗さの増大を抑えながら、圧縮残留応力の導入が可能である。図1には一例としてショット

ピーニングとキャビテーションピーニングで処理した合金工具鋼表面の様相<sup>2)</sup>を示す。キャビテーションピーニングにより表面粗さの増大を極力抑えてショットピーニングと同等の $-800\text{MPa}$ の残留応力を導入できる。

キャビテーションピーニングとは、一般に流体機器に致命的損傷をもたらすキャビテーション気泡崩壊時の衝撃力<sup>3)</sup>を、ショットピーニングのごとく、圧縮残留応力導入<sup>4-9)</sup>や疲労強度向上<sup>2,10-17)</sup>などに有効利用するピーニングであり、現在、原子力発電プラントの応力腐食割れ抑止<sup>18)</sup>などに実用化されている。キャビテーション衝撃力を活用したピーニングは、ショットを用いないので、キャビテーション・ショットレス・ピーニング<sup>12,19)</sup>あるいは単にキャビテーションピーニング(以下では単にCPと記す)<sup>20,21)</sup>と呼ばれている。キャビテーション衝撃力により塑性変形が生じ、やがて質量損失を伴う損傷が生じるが、CPでは、質量損失を生じる前の塑性変形のみが生じる段階で処理を終えるので、加工面に損傷が生じることはない。また、CPは、水中に高速水噴流(ウォータージェット)を噴射してキャビテーションを発生させるが、高速水噴流の液塊や液滴の衝突時の衝撃力による加工ではなく、キャビテーション衝撃力による加工である。したがって、不必要に高速水噴流の噴射圧力を増大した場合には有効なピーニング効果を得ることができないばかりでなく、高速水噴流による損傷の危険性がある。なお高速水噴流の衝撃力を用いたウォータージェットピーニングでは、加工領域が限定されるが、溶接熱影響部の疲労強度を向上することは可能である<sup>22)</sup>。一方、CPでは、キャビテーション噴流の流動機構を把握することによりキャビテーション衝撃力を強化して、低コストで効果的なピーニングを広範囲に行うことが可能である。

ここでは、ショットレスピーニング技術の一つであるCPを取り上げ、キャビテーションの発生方法であるキャビテーション噴流ならびにCPについて、その原理と方法および効果について概説する。

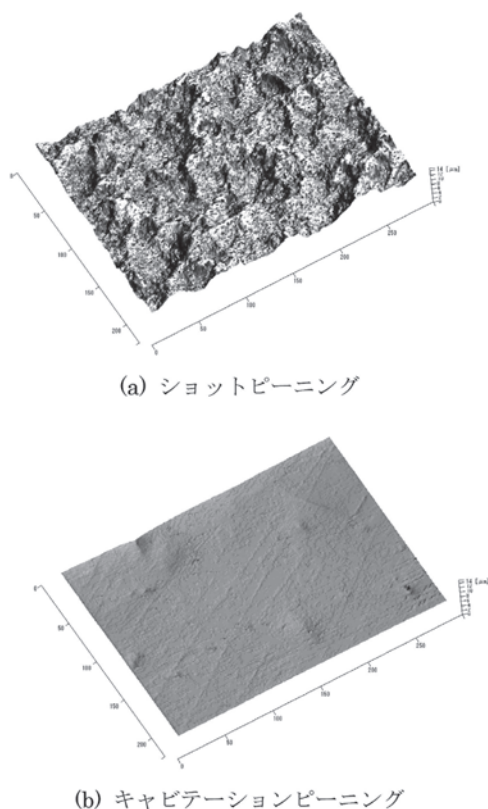


図1 ピーニング処理面の様相(合金工具鋼)<sup>2)</sup>

## 2 キャビテーション噴流

キャビテーションとは、液体の流速が増大して液体の飽和蒸気圧まで圧力が低下して、液体が気体になる現象である<sup>3)</sup>。一般に、水中の微細気泡などを核（これをキャビテーション核と呼ぶ）として相変化が生じてキャビテーション気泡を発生し、流速が低下すると圧力が回復してキャビテーション気泡が崩壊する。この崩壊時に気泡が局所的に変形してマイクロジェットを生じたり、崩壊後の再膨張により衝撃波を生じるので、これらのマイクロジェットや衝撃波により金属材料に塑性変形を付与するような衝撃力が発生する。

水中に高速水噴流を噴射すると、ノズル内部のはく離領域、あるいは高速水噴流まわりのせん断層に生じる渦コア中心部の圧力が低下した領域にキャビテーションが発生し、ノズル下流に流れるのに伴って大きなキャビテーション気泡雲を形成する。この気泡雲の破断は周期的に生じることが明らかになっている<sup>23)</sup>。このようなキャビテーションを伴う噴流をキャビテーション噴流と呼ぶ。キャビテーション流れの支配パラメータであるキャビテーション数 $\sigma$ は、キャビテーション噴流においてはノズル上流側圧力 $p_1$ とノズル下流側圧力 $p_2$ ならびに飽和蒸気圧 $p_v$ により次式で定義され、 $p_1 \gg p_2 \gg p_v$ より式 (1) のように簡略化して表される。

$$\sigma = \frac{p_2 - p_v}{p_1 - p_2} \cong \frac{p_2}{p_1} \dots \dots \dots (1)$$

なおここでは $p_1$ と $p_2$ は絶対圧力である。

図2には、加工面にキャビテーション噴流を衝突させた場合についてフラッシュランプを用いて撮影した様相を、図3には、キャビテーション噴流の流動機構を明らかにするために同様のキャビテーション噴流を高速度ビデオカメラを用いて10,000コマ/秒で撮影した様相を示す。図2および図3で白く見えているのがキャビテーションである。図2、3よりキャビテーション気泡雲が加工面に衝突した後、リング状の

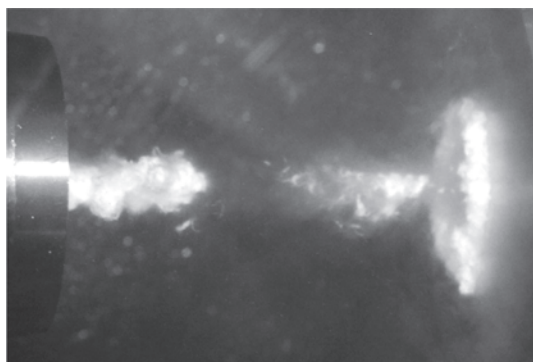


図2 水中キャビテーション噴流の衝突の様相

渦キャビテーションになり、やがて崩壊する様相がわかる。後述するように、キャビテーションが崩壊する領域において金属材料に塑性変形を付与するような衝撃力が発生している。

一般にCPでは、図2、3に示したように水中に高速水噴流を噴射してキャビテーションを発生させるが、Soyamaは大気中に低速水噴流を噴射し、その中心部に高速水噴流を噴射することにより、大気中に直接的にキャビテーション噴流を発生させることに成功した<sup>6,24)</sup>。本報では、この噴流を気中キャビテーション噴流と呼び、従来の水を満たした水槽に高速水噴流を噴射するキャビテーション噴流を水中キャビテーション噴流と呼ぶことにする。図4には、水中キャビテーション噴流と気中キャビテーション噴流の様相を示す。気中キャビテーション噴流では、低速水噴流の噴射圧力ならびにノズル形状により加工能力が大きく異なり<sup>6,24,25)</sup>、最適化した気中キャビテーション噴流は、図4 (b) に示したような低速水噴流表面の波状模様が特徴的で、その加工能力は、水中キャビテーション噴流より大であることが明らかになっている<sup>6,15,24)</sup>。その理由として、以下のようなことが挙げられる。キャビテーション崩壊後にも水中に微細な気泡が残留し（これを残留気泡と呼ぶ）、残留気泡がキャビテーション核となることによりキャビテーション気泡は大きく発達するが、キャビテーション気泡内部の気体量が増すためにキャビテーション気泡の収縮が緩慢となって衝撃波が弱くなり、キャビ

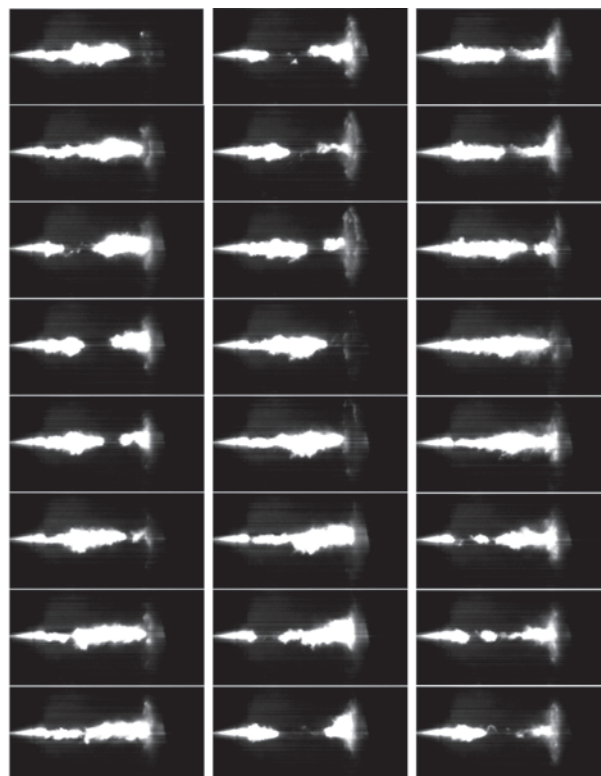
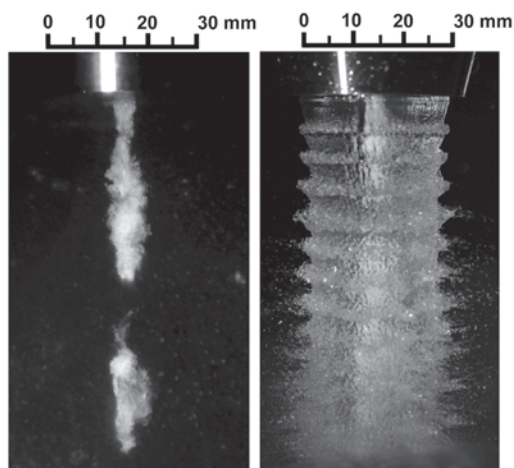


図3 キャビテーション噴流の衝突の様相(10,000コマ/sで撮影)

ーション噴流の加工能力が低下する。これはクッション効果と呼ばれている。一般の水中キャビテーション噴流では、残留気泡がキャビテーション噴流中に取り込まれてクッション効果により衝撃力が低下するが、気中キャビテーション噴流では残留気泡を含まない低速水噴流で高速水噴流を包含するためにクッション効果を生じないので、気中キャビテーション噴流の加工能力の方が大となると考えられる。また、気中キャビテーション噴流では、低速水噴流を噴射しているので、噴流衝突面の圧力が増大し、キャビテーション崩壊場の圧力が大となるために気泡が激しく崩壊し、その結果、衝撃力が大となると考えられる。なお図4 (b) に見られる波状模様は、キャビテーション気泡雲の破断周波数と等しいことがわかっている<sup>24)</sup>。

これらの知見を基にして、伴水噴流水中キャビテーション噴流などが提案されており、図5には種々のキャビテーション

ン噴流ならびに気中水噴流 (いわゆるウォータージェット) の模式図と各種噴流をアルミニウム製試験片に一定時間噴射した様相を示す。いずれも同じノズルを用いて、一定の噴射圧力で噴射した。図5では、損傷領域が加工領域を、損傷量が大なるほど加工能力が大であるとみなすことができる。気中水噴流では、液滴や液塊の衝突により噴流中心部が損傷する。一方、水中および気中キャビテーション噴流では噴流中心部にわずかに損傷が認められるが、主損傷領域はキャビテーションが崩壊するリング状を呈する。 $\sigma = 0.014$ においてキャビテーション噴流による損傷量の時間変化率が最大となる<sup>26)</sup> ことから、キャビテーション噴流の中では密閉可能な水槽を用いて $\sigma = 0.014$ とした加圧型水中キャビテーション噴流の加工能力が最も大であり、次いで気中キャビテーション噴流の加工能力が大である。また単に水中に高速水噴流を噴射した水中キャビテーション噴流よりも、高速水噴流の周囲に低速水噴流を噴射した伴水噴流水中キャビテーション噴流のほうが加工能力が大である<sup>27)</sup>。以上の傾向は、これらのキャビテーション噴流による圧縮残留応力導入においても同様な傾向が確認されている<sup>28)</sup>。なお気中水噴流は、切断などのごく狭い領域を加工するのに適しており、水中および気中キャビテーション噴流はピーニングなどの表面処理に適しているといえる。



(a)水中キャビテーション噴流 (b)気中キャビテーション噴流

図4 キャビテーション噴流の様相

### 3 CPの効果

#### 3.1 圧縮残留応力の導入

図6には、CPの効果の一例として、ステンレス鋼SUS316Lを、ノズル直径 $d = 0.35\text{mm}$ 、 $p_1 = 300\text{MPa}$ 、 $p_2 = 0.1\text{MPa}$  (大気圧) と、 $d = 2\text{mm}$ 、 $p_1 = 30\text{MPa}$ 、 $p_2 = 0.1\text{MPa}$  の水中キャビテーション噴流で処理した場合について、残留応力の深さ方向の分布を示す<sup>29)</sup>。処理速度はいずれも $60\text{mm/min}$ であ

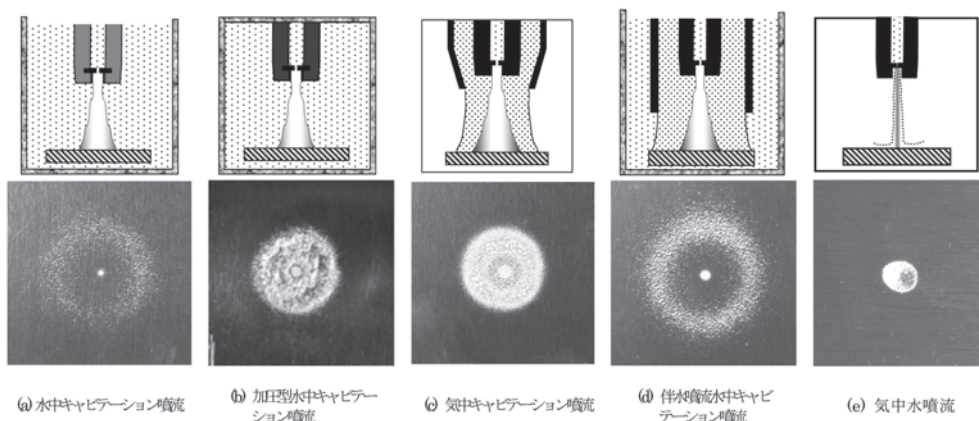


図5 高速水噴流および種々のキャビテーション噴流の模式図と噴流の加工領域

る。なおいずれの水中キャビテーション噴流も、流量と噴射圧力の積で示される噴流パワーはほぼ等しい。すなわち、高速水噴流を噴射するプランジャポンプのモータの所要電力は等しいが、明らかに $p_1=30\text{MPa}$ の水中キャビテーション噴流を用いた方が $p_1=300\text{MPa}$ の水中キャビテーション噴流を用いるよりもステンレス鋼に大きな圧縮残留応力を深くまで導入できることがわかる。これは、 $p_1=30\text{MPa}$ では $\sigma=0.003$ であるが、 $p_1=300\text{MPa}$ では $\sigma=0.0003$ となりキャビテーション数が極端に小さくなるので、高速水噴流まわりのせん断層の領域が狭いために、キャビテーション気泡雲が十分に発達しないためである。当然のことながら30MPaのプランジャポンプのほうが300MPaのプランジャポンプよりも、初期コストならびにランニングコストが安価であるので、 $p_2$ 一定の条件では不必要に $p_1$ を大とするよりも $d$ を大とした方が効率良くピーニングできる。また気中キャビテーション噴流により、SUS316Lに500MPa以上の圧縮残留応力を導入することも明らかになっている<sup>25)</sup>。

図7には、鍛造金型用の熱処理を施した合金工具鋼SKD61

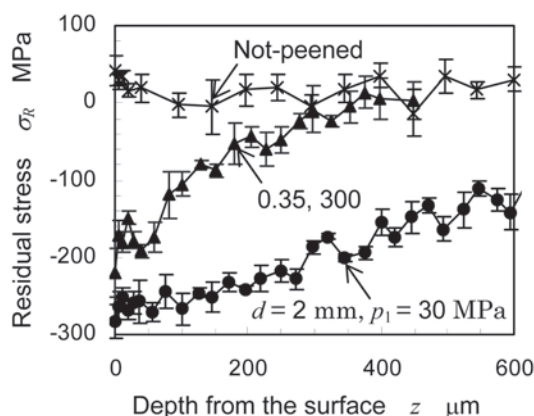


図6 ステンレス鋼への圧縮残留応力の導入

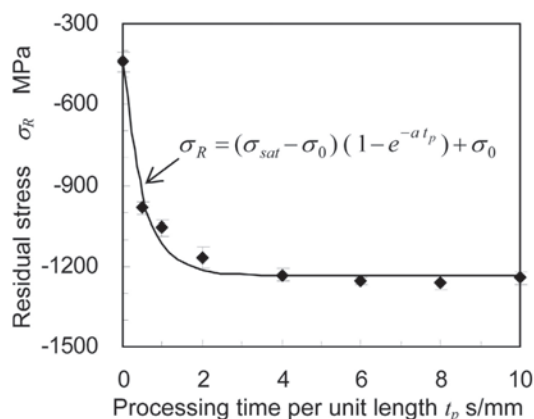


図7 合金工具鋼への圧縮残留応力の導入

を気中キャビテーション噴流で処理した場合の表面の残留応力を示す。図7より気中キャビテーション噴流により合金工具鋼に圧縮残留応力を導入できることがわかる。なお確率論に基づいた塑性変形理論により、気中キャビテーション噴流で処理した材料表面の残留応力 $\sigma_R$ の経時変化は次式で表される<sup>25)</sup>。

$$\sigma_R = (\sigma_{sat} - \sigma_0)(1 - e^{-at_p}) + \sigma_0 \quad (2)$$

ここで $\sigma_0$ は初期残留応力、 $\sigma_{sat}$ は飽和残留応力、 $a$ は定数、 $t_p$ は単位長さあたりの処理時間である。図7のデータを用いて、 $\sigma_0 = -440\text{MPa}$ として準ニュートン法で $\sigma_{sat}$ と $a$ を求めると、それぞれ $-1233\text{MPa}$ と $1.91$ であり、求められた曲線を図7中に実線で示す。なお $\sigma=0.014$ 、 $d=2\text{mm}$ の水中キャビテーション噴流で処理した場合には、合金工具鋼に $300\mu\text{m}$ 程度まで圧縮残留応力を導入できることが実証されている<sup>9)</sup>。

### 3.2 ミクロ歪の低減

図8には、図7に示したCPで処理した合金工具鋼表面の残留応力を計測した際の半価幅を示す。熱処理した合金工具鋼のような金属多結晶材料をキャビテーション噴流で処理した場合には、明らかに回折X線の半価幅が低減している。なお、合金工具鋼に限らず、クロムモリブデン鋼やチタン合金、ステンレス鋼など熱処理や機械加工などにより歪が導入された多結晶金属材料表面をキャビテーション噴流で処理した場合にも回折X線の半価幅は低減する<sup>30)</sup>。いうまでもなく、単結晶材料や、歪を有しないか、あるいは歪がかなり小さい材料の場合には、キャビテーション噴流により表面近傍の材料内部に塑性変形が導入されることが確認されている<sup>31,32)</sup>。なおキャビテーション崩壊時の内部の温度が数千℃に達するとの報告<sup>33)</sup>があるが、金属を焼きなますほどの熱量と時間を

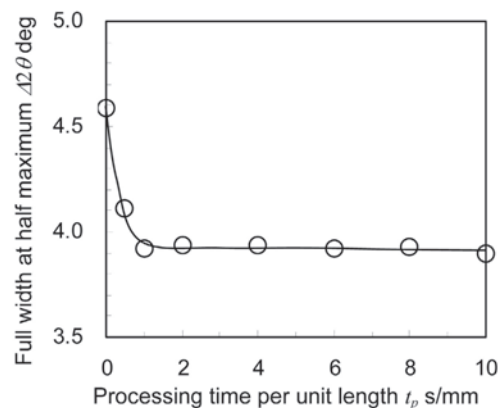


図8 合金工具鋼からの回折X線分布の半価幅のキャビテーションピーニングによる減少

生じないので、キャビテーション噴流にさらした金属表面の結晶粒が粗大化するとは考え難い。よって、半価幅の低減は、結晶粒が粗大化しないとすれば、回折X線の半価幅に影響する結晶粒間あるいは結晶内の歪（マイクロ歪と呼ぶ）が低減することを意味している。

そこでCPによるマイクロ歪の変化を示すために、図9には、図7、8と同じ試験片を用いて(110)面のマイクロ歪をファンダメンタルパラメータ法で評価した結果を示す。解析法の詳細は既報<sup>8)</sup>を参照されたい。なお図9では、 $t_p = 10\text{s/mm}$ においてマイクロ歪が最も小さいと仮定してファンダメンタルパラメータ法で結晶粒径とマイクロ歪を算出し、 $t_p = 0.5 \sim 9\text{s/mm}$ についてはこの結晶粒径を用いてマイクロ歪を算出している。図7と9よりX線回折による残留応力とマイクロ歪を評価した結果、熱処理した合金工具鋼を気中キャビテーション噴流で処理すると、圧縮残留応力を導入しながらマイクロ歪を低減できることがわかる。

図10には、気中キャビテーション噴流で処理した合金工具鋼を透過電子顕微鏡TEMで観察した様相と回折像を示す<sup>34)</sup>。気中キャビテーション噴流により、 $t_p = 10\text{s/mm}$ で $20 \times 15 \times 18\text{mm}$ の立方体試験片を処理し（CP材と記す）、この立方体試験片の表面から直径 $\phi 3\text{mm}$ 円筒型試験片をワイヤカットで切り出し、表面から厚さ $80\mu\text{m}$ までエメリ紙で裏面を研磨した後、厚さ $20\mu\text{m}$ 程度まで両面を電解研磨してTEM用試験片を作製した。表面からの深さ $80\mu\text{m}$ において、 $400\text{MPa}$ 程度の圧縮残留応力が存在することと、未処理材に対してCP材のほうが回折X線の半価幅が小さいことを確認している<sup>34)</sup>。図10よりラスマルテンサイトが認められ未処理材では灰色に見えることから転位がランダムに存在し、CP材では濃淡が明瞭になっているので転位が移動している可能性がある。回折像より、未処理材の場合は回折像がストリーク状に見えるが、CP材ではスポット状になっており、この事実もCPによる転位の移動を示唆している。これまでに、高

周波領域の振動による転位の移動が報告<sup>35)</sup>されており、キャビテーション崩壊時には衝撃波を生じることから、CPは、圧縮残留応力を付与する塑性変形を生じながら、衝撃波により転位を移動させてマイクロ歪を低減する加工であるといえる。

### 3.3 疲労強度向上

CPによる疲労強度向上の一例として、図11には、CPで処理した歯車を動力循環型疲れ試験により評価した結果を示す<sup>2)</sup>。詳細は、既報<sup>2)</sup>を参照されたい。Littleの方法<sup>36)</sup>を用いて $10^7$ 回における疲労強度を求めると、CPでは $418\text{Nm}$ であり、未処理の $337\text{Nm}$ やショットピーニングの $376\text{Nm}$ より

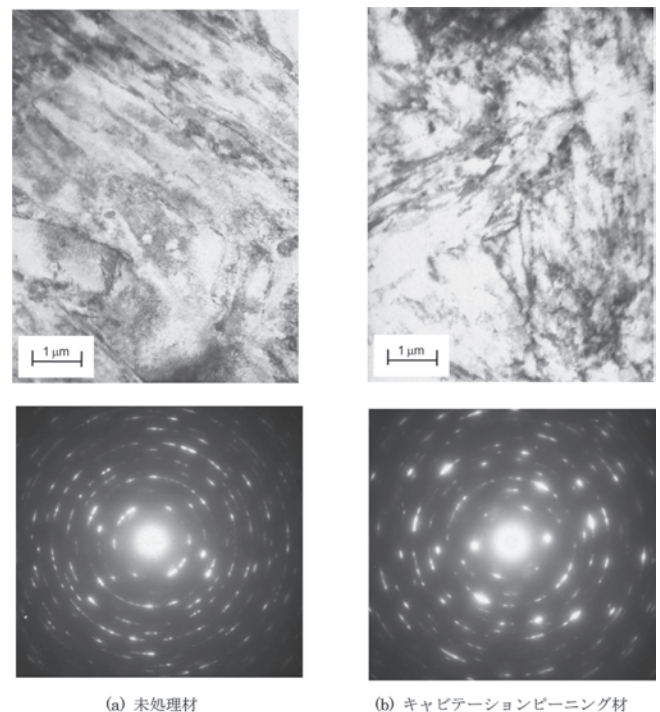


図10 透過電子顕微鏡による合金工具鋼の観察結果<sup>34)</sup>

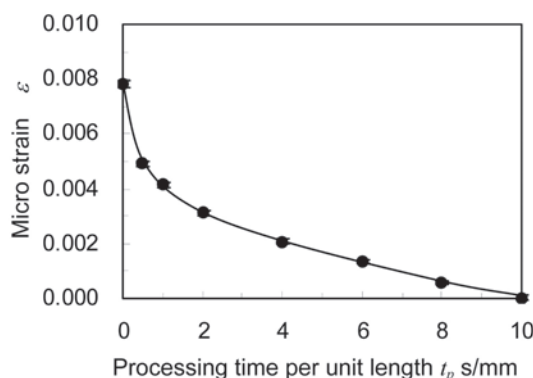


図9 キャビテーションピーニングによる合金工具鋼のマイクロ歪低減

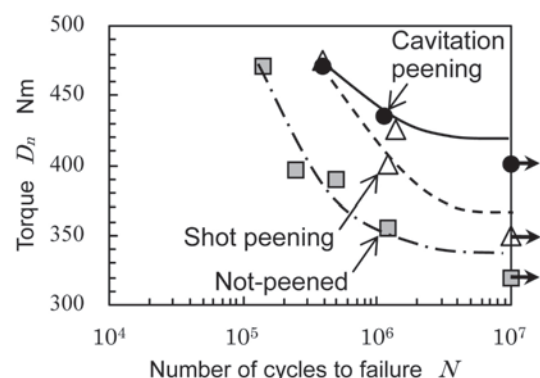


図11 キャビテーションピーニングによる歯車の疲労強度向上<sup>2)</sup>

も疲労強度が大であり、CPにより未処理に対して疲労強度を24%向上できることがわかる。本試験条件は、歯元折損を生じる事例であるが、ピitting損傷に対してもCPによる処理が効果的であることが判明している<sup>37)</sup>。また、金属ベルト式CVT用エレメントの疲労強度をCPにより48%向上できることも実証されている<sup>16)</sup>。なおこれまでに回転曲げ式疲労試験や平面曲げ式疲労試験により、ばね鋼<sup>10,11)</sup>、アルミニウム合金<sup>12,14)</sup>、クロムモリブデン鋼<sup>13)</sup>、ステンレス鋼<sup>15,17)</sup>などの種々の金属材料のCPによる疲労強度向上も実証されている。上記以外にも、CPが、チタン合金のフレットング抑止<sup>38)</sup>や耐水素脆化性に優れたステンレス鋼SUS316Lの水素脆化抑止<sup>39)</sup>に効果的であることや、CPによる亀裂進展速度の抑止効果<sup>40)</sup>も実証されている。

### 3.4 降伏応力向上

CPやショットピーニング、レーザピーニングなどによる処理は表面層のみ改質されているので、一般の引張試験では母材の影響が大きいため、表面改質層の降伏応力を評価できない。図12には、微小押込み試験を用いた逆問題解析により、CPで処理した表面近傍の降伏応力を評価した結果を示す<sup>41)</sup>。供試材にはステンレス鋼SUS316Lを用い、伴水噴流水中キャビテーション噴流を用いてCPを行った。未処理材の疲労強度は277MPaであったが、同条件のCPにより疲労強度は362MPaに向上した。このとき、未処理材の降伏応力が約300MPaであるのに対し、CPで処理した場合には表面近傍の降伏応力は $498 \pm 59$ MPaであり、50 $\mu$ m程度の深さまで降伏応力が顕著に向上していることが判明し、この降伏応力向上が疲労強度向上の一因であると考えられる。また、電気自動車やハイブリッド車の駆動用モータの小型高性能化を目指して、電磁鋼板をCPで処理して局所的強度向上を図った結果、CPにより電磁鋼板の降伏応力を22%向上できることが実証されている<sup>42)</sup>。

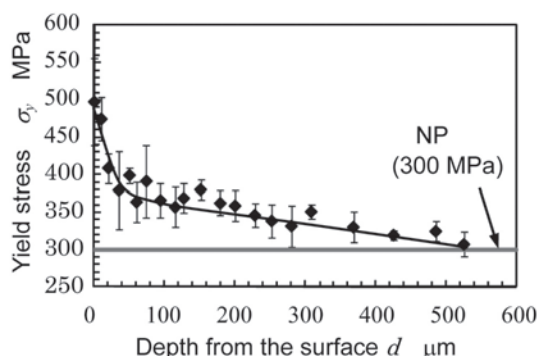


図12 キャビテーションピーニングによるステンレス鋼の降伏応力向上<sup>41)</sup>

## 4 おわりに

本報では、ショットレスでピーニングできるキャビテーションピーニングCPを取り上げ、キャビテーションを発生させるキャビテーション噴流ならびにCPの原理とその効果について紹介した。本報が表面改質に関わる技術者・研究者の一助となることを期待する。

なお本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金[基礎研究 (A) 20246030]によったことを記す。

### 参考文献

- 1) ショットピーニング技術協会編著：金属疲労とショットピーニング，(2004)
- 2) H.Soyama and Y.Sekine：Inter. J. Sustainable Eng., 3 (2010) 1, 25.
- 3) 加藤洋治編著：キャビテーションー基礎と最近の進歩ー，横書店，(1999)
- 4) 祖山均，山内由章，井小萩利明，大場利三郎，佐藤一教，進藤丈典：噴流工学，13 (1996) 1, 25.
- 5) H.Soyama, K.Sasaki, D.Odhiambo and M.Saka：JSME Inter. J., 46A (2003) 3, 398.
- 6) H.Soyama：J. Eng. Mater. Technol., Trans. ASME, 126 (2004) 1, 123.
- 7) H.Soyama, D.Odhiambo and S.Mall：Tribology Lett., 17 (2004) 3, 501.
- 8) H.Soyama and N.Yamada：Mater. Lett., 62 (2008) 20, 3564.
- 9) 関根裕一，祖山均：自動車技術会論文集，40 (2009) 3, 861.
- 10) H.Soyama：JSME Inter. J., 43A (2000) 2, 173.
- 11) H.Soyama, T.Kusaka and M.Saka：J. Mater. Sci. Lett., 20 (2001) 13, 1263.
- 12) H.Soyama, K.Saito and M.Saka：J. Eng. Mater. Technol., Trans. ASME, 124 (2002) 2, 135.
- 13) D.Odhiambo and H.Soyama：Int. J. Fatigue, 25 (2003) 9-11, 1217.
- 14) 祖山均，佐々木圭，斎藤建一，坂真澄：自動車技術会論文集，34 (2003) 1, 101.
- 15) H. Soyama：J. Mater. Sci., 42 (2007) 16, 6638.
- 16) H.Soyama, M.Shimizu, Y.Hattori and Y. Nagasawa：J. Mater. Sci, 43 (2008) 14, 5028.
- 17) H.Soyama, Y.Sekine and Y.Oyama：ISIJ Inter., 48 (2008) 11, 1577.
- 18) 齋藤昇，榎本邦夫，黒沢孝一，守中廉，林英策，石川哲也，吉村敏彦：噴流工学，20 (2003) 1, 4.

- 19) 祖山均：軽金属, 56 (2006) 1, 56.
- 20) 祖山均：まてりあ, 45 (2006) 9, 657.
- 21) 高桑脩, 西川雅章, 祖山均：砥粒加工学会誌, 54 (2010) 10, 574.
- 22) 祖山均, 高桑脩, 小山洋祐：日本材料学会第59期学術講演会講演論文集, (2010) , 375.
- 23) 祖山均, 山内由章, 安達保則, 佐藤一教, 進藤丈典, 大場利三郎：日本機械学会論文集, 59B (1993) 562, 1919.
- 24) H.Soyama : J. Fluids Eng., Trans. ASME, 127 (2005) 4, 1095.
- 25) H.Soyama, T.Kikuchi, M.Nishikawa and O.Takakuwa : Surface & Coatings Technology, 205 (2011) 10, 3167.
- 26) 祖山均：材料, 47 (1998) 4, 381.
- 27) H.Soyama, K.Nishizawa and M.Mikami : Proc. 7th Inter. Symp. Cavitation, (2009) Paper No. 12, 1.
- 28) H.Soyama, K.Nishizawa and M.Mikami : Proc. 9th Pacific Rim Inter. Conf. Water Jetting Technol., (2009) , 133.
- 29) H.Soyama and O.Takakuwa : J.Fluid Sci. Technol., 6 (2011) , in Press.
- 30) 祖山均, D.O.Macodiyo : ショットピーニング技術, 15 (2003) 3, 141.
- 31) D.J.Flannigan and K.S.Suslick : Nature, 434 (2005) 7029, 52.
- 32) D.O.Macodiyo, H.Soyama and M.Saka : J. Mater. Sci. Lett., 22 (2003) 2, 115.
- 33) 祖山均, 齋藤卓, D.O.Macodiyo, 林一夫：噴流工学, 22 (2005) 2, 18.
- 34) 高桑脩, 松本洋明, 千葉晶彦, 祖山均：ショットピーニング技術, 21 (2009) 2, 86.
- 35) I.Ostrovskii, N.Ostrovskaya, O.Korotchenkov and J.Reidy : IEEE Trans. Nuclear Sci., 52 (2005) 6, 3068.
- 36) R.E.Little : ASTM STP, 511 (1972) , 29.
- 37) M.Seki, H.Soyama, M.Fujii and A.Yoshida : Tribology Online, 3 (2008) 2, 116.
- 38) H.Lee, S.Mall and H.Soyama : Tribology Lett., 36 (2009) 2, 89.
- 39) O.Takakuwa, T.Ohmi, M.Nishikawa, A.T.Yokobori Jr. and H.Soyama : Strength, Fracture and Complexity, (2011) , in press.
- 40) O.Takakuwa, M.Nishikawa and H.Soyama : Key Eng. Mater., 452-453 (2011) , 641.
- 41) 西川雅章, 高桑脩, 祖山均：日本機械学会論文集, 76A (2010) 770, 1367.
- 42) O.Takakuwa, M.Nishikawa and H.Soyama : Mater. Sci. and Technol., (2010) , doi : 10.1179/026708310X12712410311695.

(2010年12月27日受付)