

氏 名	あ べ よし ひさ 安 部 良 久
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 59 年 11 月 14 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 33 年 3 月 明治大学工学部機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	磁わい振動キャビテーション試験法および同試験法 による損傷と材料の機械的性質との相関に関する研 究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 村井 等 東北大学教数 嶋 章 東北大学教授 大場利三郎 東北大学教数 前川 一郎

## 論 文 内 容 要 旨

材料のキャビテーション損傷を実験的に定量する方法の一つに磁わい振動試験法がある。これは液中の試験片を数 kHz で上下振動させ、その下面（損傷面）の質量減少をもって損傷を定量するものである。これに対して、液中の振動面の下面に平行にごく近接して静置した試験片に間接的に損傷を起こさせる方法がある。前者を直接法、後者を間接法と呼ぶことにする。これらのいずれの試験法も他の方法に比べて装置が簡単であるばかりでなく試験時間が短かく、試験液も自由に選択できるといふ得がたい長所があるために、材料のキャビテーション損傷試験法としてしばしば用いられ、既に多くの成果が報告されている。

しかしながら、それら試験の多くは試験器毎に、あるいは試験の実施者毎に、振動周波数や振幅、試験片の寸法や形状、試験液や容器の寸法や冷却法、試験液の取り扱い法、試験時間や測定時間間隔、試験結果の整理法等試験法が異なり、試験結果も相互に差異があった。また、同一試験における試験結果の再現性も良好ではなかった。よって、試験法の規格化が企図され、直接法について下記の提案および制定がなされている。

すなわち、1958年にニッケル管を使用した磁わい振動キャビテーション試験法の暫定規格案（Robinson 案）がアメリカで提案された。その後の技術的進歩、特に発振器に超音波加工機用に作られたものがそのまま使用されるようになったこともあり、周波数が次第に高くなり、The American Society for Testing and Materials (ASTM) によっても規格が制定されてい

るが、その基礎としたデータは必ずしも十分とは言い難く、試験相互間の斉一性も試験結果の再現性も十分であるとは言い難い。

静置試験片を用いた間接法については、遠藤が報告している。これによれば柔らかい材料やもろい材料の損傷試験も容易であり、また、損傷機構の究明や観察などにも有効であるが、振動面と試験片の被損傷面（以下試験面という）が近接するため直接法と違った要因も現われ得ることが報告されている。

一方、磁わい振動キャビテーション試験法を用いて、材料の物性とキャビテーション損傷との相関を見出そうとする研究も公表されているが、未だ普遍的な相関は見出されていない。これは、上述の通りこの試験法の再現性が不十分であったこと、ならびにこの試験法によるキャビテーション損傷の機構が解明されていないことに因る処が大きい。損傷機構の解明および材料の物性と損傷との相関の究明は、また、この試験法によって得られるキャビテーション損傷と流れの系によって得られるそれとの相関を明らかにするというこの試験法の一つの問題点の解明に資することにもなる。

本論文は、この磁わい振動キャビテーション試験法によって得られる試験材料損傷量の試験結果の信頼性を高めること、ならびに損傷の機構および損傷量と材料の機械的性質との相関を究明することを目的として次の研究を行った。すなわち、同試験法の直接法については、試験片の形状および直径ならびに試験液の容器の寸法などの因子が損傷量とその経時変化に及ぼす影響を実験的に究明して、試験結果の再現性を高めうる試験片の新しい形状および寸法を提示し、材料の損傷の度合および耐損傷性と損傷要因の比較を適確に表示するそれぞれの量および試験法を示した。間接法については、試験面と振動面との距離、試験面の直径および振動面の振幅などの因子が損傷量に及ぼす影響を実験的に究明し、損傷の度合を適確に表示する量の上記の指摘の妥当性を再確認するとともに、その量と上記因子との関係を求めた。さらに直接法を用いて、試験面に発生する気泡の挙動および試験面の損傷状態とその経時変化を詳細に観測して、本試験法における損傷機構を解明し、それをモデル化した仮定に基づいて、試片の最大平均損傷率を、材料の機械的性質ならびに試験周波数および振幅を用いて推算する半経験式を理論的に導いた。

得られた結果の主なるものを要約すると次の通りである。

- (1) 試験結果の再現性が高い試片形状として、新しいみぞ付試験片が推奨される。  
なお、試片直径は16mmとすると耐損傷性と損傷要因の比較に適正な結果が得られる。
- (2) 試験液容器は液中波の波長 $\lambda$ に対する相対直径 $D/\lambda > 1.37$ 、相対高さ $H/\lambda > 1.11$ が望ましい。
- (3) 損傷量は平均損傷率 $MDPR^*$ で表示するのが妥当である。
- (4) 材料の耐損傷性および損傷要因の比較には最大平均損傷率 $\max MDPR^*$ を採るのが妥当である。
- (5) 試験時間は $\max MDPR^*$ が明りょうに現われる時間とする。  
なお、損傷計測の時間間隔は一定とせずに、 $\max MDPR^*$ が求められるような各材料に適したものとすることが望ましい。
- (6) 間接法による $\max MDPR$ は、試験面上にほぼ一様な損傷模様が現われる領域（ $0.3 < x \leq$

3.0mm, xは振動面と試験面の距離)内において, 概略的に次のような面間距離 x の簡単な式で表示できる。

$$\max \text{MDPR} = K_0 e^{-\beta x}$$

ここで,  $\beta$ は材料に無関係な定数 ( $0.545 \text{mm}^{-1}$ ) であり,  $K_0$ は材料の機械的性質に関する定数である。

- (7) 間接法による  $\max \text{MDPR}$  は,  $0.3 < x < 0.5 \text{mm}$  においては, 試片の直径に依存しない。しかし, x が  $0.5 \text{mm}$  より大きくなれば, 各直径の試験片での  $\max \text{MDPR}$  は直径に対して一定とならず, しかも定性的な傾向も示さず, 大いにばらつく。その原因は, 連続的に通水されている供試液の物性の変化に起因するものであるから, 供試液の物性を一定に保てば, x が大きくなっても  $\max \text{MDPR}$  は一定となる。
- (8) 振動面の振幅が増大すると,  $\max \text{MDPR}$  が現われる x は大となる。なお,  $x = 1.0 \text{mm}$  においては, 直接法による結果に近い傾向を示す。
- (9) 直接法における試験面損傷の様相は, 初期における一様な進行と, ピットが生成した後の段階的な進行とに分けることができること, ならびにピット生成後の段階的進行の詳細を明らかにした。
- (10) 初期損傷段階においては, 損傷量は損傷深さの2乗に比例する。
- (11) 最大損傷量は, ピット径, 気泡径の範囲内ではピットの深さに比例する。
- (12) 磁わい振動キャビテーション試験法の直接法による試験材料の最大平均損傷率を, 材料の機械的性質ならびに試験周波数および振幅を用いて推算する半経験式を理論的に導いた。それは材料の機械的性質によって定義される臨界衝撃速度  $V_{mc}$  を用いて次式で示される。

$$\max \text{MDPR}^* = \left( \frac{5.85 \times 10^{-12} - 1.93 \times 10^{-6} f}{f - 1.13 \times 10^4} \right) \frac{6 \times 10^{-6} f (2a\omega^3)^2}{E^2 V_{mc}^2} \times \exp \left( \frac{2.1 E^{\frac{4}{3}} V_{mc}^2}{(2a\omega^3)} e^{-10^{-3} V_{mc}^2} \right)$$

ここに,  $V_{mc} = \frac{\sigma_B}{\rho_0 C_0}$

$\max \text{MDPR}^*$ : 最大平均損傷率  $\text{mm}^3/\text{mm}^2/\text{min}$ ,  $f$ : 周波数  $\text{Hz}$ ,  $2a$ : 全振幅  $\text{m}$ ,  
 $V_{mc}$ : 臨界衝撃速度  $\text{m/s}$ ,  $\sigma_B$ : 引張強さ  $\text{N/m}^2$ ,  $E$ : 縦弾性係数  $\text{N/m}^2$ ,  $\rho_0$ : 密度  $\text{kg/m}^3$ ,  
 $C_0$ : 音速  $\text{m/s}$ 。

## 審 査 結 果 の 要 旨

磁わい振動キャビテーション試験法は、材料のキャビテーション損傷を定量する方法の一つとして、装置が簡単で、試験時間が短く、試験液が自由に選択できるなどの長所があるために、しばしば用いられ、アメリカ材料試験協会（ASTM）によって規格が制定されてもいる。しかしながら、試験相互間の斉一性および試験結果の再現性が十分でない、液体の流れの系におけるキャビテーション損傷との対応が明らかでないなどの欠点がある。本論文はこれらの問題点の解消に資することを目的として行った研究を取りまとめたもので、全文5章からなる。

第1章は緒論である。

第2章においては、本試験法の中の試験片を振動させる直接法について、まず試験結果の再現性を損なう原因を実験的に究明している。ついでその原因に影響を及ぼす試験法の各因子について詳細な実験、考察を行い、みぞ付試験片の考察、試片の直径、試験液容器の寸法、試験時間などの最適値および試験結果の表示法の提示など、試験結果の再現性を高めるための有用な新しい方法を提案している。

第3章は本試験法中の振動面に近接静置した試験面を損傷させる間接法に関するもので、前章において提示した振動子を用いて、試験面の直径および振動面との距離  $x$  の影響を実験的に究明し、再現性の高い試験結果の表示法および  $x$  の範囲、試験面直径の影響、ならびに最大平均損傷率と  $x$  との関係式を提示している。

第4章は本試験法におけるキャビテーション損傷量と各種材料の機械的性質との相関を究明したものである。すなわち、まず第2章において提示した試験法を用いた実験によって、損傷の経時変化を詳細に観察して損傷の機構を究明し、ついでその機構に基づいた損傷過程の解析模型を用いて最大平均損傷率と材料の機械的性質との相関を、加振周波数および振幅を用いて推算する半経験式を導き、試験結果とのよい一致を示している。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、磁わい振動キャビテーション試験法による試験結果の再現性を高めるための新しい方法、ならびに損傷量と材料の機械的性質との相関を求める半経験式を提示したもので、流体力学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。