

一般研究

複数ノズルウォータージェット分岐管部の 噴流特性に与える影響についての一考察

機 械 部 大 塚 裕 俊
後 藤 幸 臣
水 江 宏

1 まえがき

近年ウォータージェット加工技術の応用分野が広がり、半導体分野でのICのバリ取り(剥離)等に利用されるようになり、合理的なライン上の多数同時加工に際して複数ノズルヘッド(複数ノズル分岐ランナー)等が使用されるようになった。

複数ノズルヘッドとは図1に示すように、各ノズルチップを先端に有する支管(枝管)と直接的な主管からなる単純な構造であることが多い。

しかしこのような分岐管路の設計・製作の如何によっては分岐管内に不均一な局部的損失・乱れ等を生じることがあり、それが下流側のウォータージェットにも増幅等の作用により不適切な影響を与えてしまい、均一な壊食特性を得られない等の例が多い。

また、ノズル上流側管路部の形状等の物理的諸条件と、下流側のウォータージェットの噴流特性との関係についてはおおよそ経験的には知られていても、これまであまり問題とされてきていない。しか

し今後の複数ノズルをはじめとする応用技術の進展によっては、検討に値する問題となる可能性もある。

本研究ではノズルとして市販のオフィス型ノズルチップを用い、主管一支管よりなる単純な複数ノズルヘッドを、支管を変化させず主管径 D_1 を段階的に変えて数個作成し、管路部形状等の物理的パラメータによって各々のノズルによるウォータージェットの噴流特性(壊食特性)がどのように変化するかを実験的に示した。

この際、管路内部に発生する流れの挙動或は乱流等の局部的不均一性を定性的に把握するため、コンピュータシミュレーションを援用した。

2 実験装置及び方法

プランジャポンプにより水道水を加圧し、ノズルヘッドに送り込み、取付けられたノズルチップにより噴射させる。主管内圧力は主管終端部に取付けられた圧力センサーにて測定される。

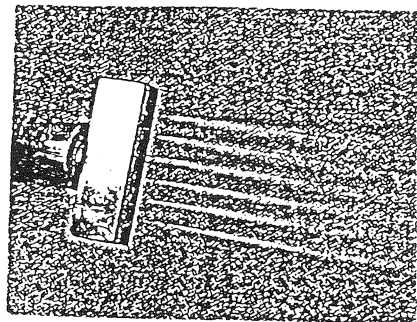
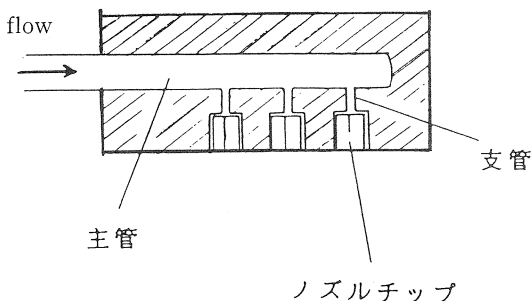


図1 複数ノズルヘッドの例

試験片はアルミニウム25mm角厚さ10mmを用い、スタンドオフ距離(ノズルから試片までの距離)を変えてその壊食量を測定した。

(1) 複数ノズルヘッドによる壊食試験

上記の実験装置のノズルヘッドとして主管径 $D_1 = \phi 3 \text{ mm}$ 、 6 mm 、 10 mm の3本の複数ノズルヘッド(支管は一律一定 $D_2 = \phi 2 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 長)を用い、壊食試験を実施した。圧力は $P = 100 \text{ kgf/cm}^2$ とした。支管数は4本である。

この実験条件下ではすべて支管(枝管)の形状が等しいだけでなく、等圧下では支管による流れへの影響も均一であると考えられる。このためこの実験により、(支管を除いた)分岐部の流れへの影響を比較することが出来る。

なお、実験に先立ち4個のノズルチップの形状誤差による影響を出来るだけ除くため、一定圧力下での噴出流量の測定を実施し、噴出流量の誤差が $\pm 1.5\%$ 以内の4個のノズルチップを選定した。これらのノズルチップによるシングルノズルとしての壊食特性もほぼ等しいことを確認した。ただしノズル口径 $d = 0.18 \text{ mm}$ である。

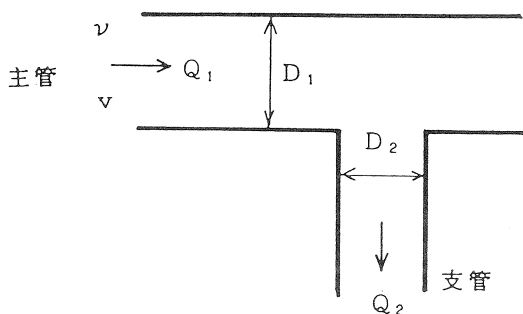
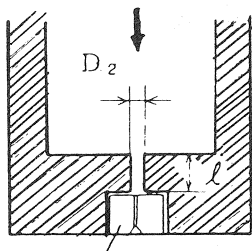


図2 分岐部のモデル化



ノズルチップ

図3 シングルノズルヘッド

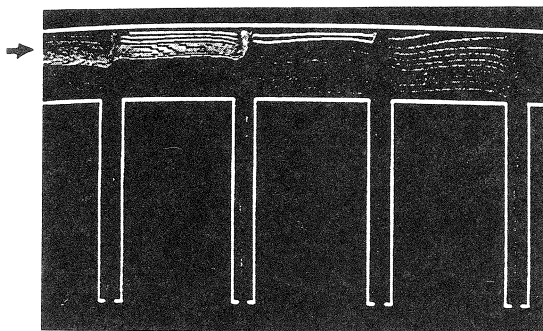
なお、この分岐管部を図2に示すようにモデル化することにより、以下のような3つのパラメーターを抽出することができる。

レイノルズ数 $(Re) = \text{主管径 } D_1 \text{ (代表的長さ)} \times \text{主管流速 } v / \text{粘性係数 } \nu$

分 岐 比 = 支管径 D_2 / 主管径 D_1

分 流 比 = 支管流量 Q_2 / 主管流量 Q_1

flow

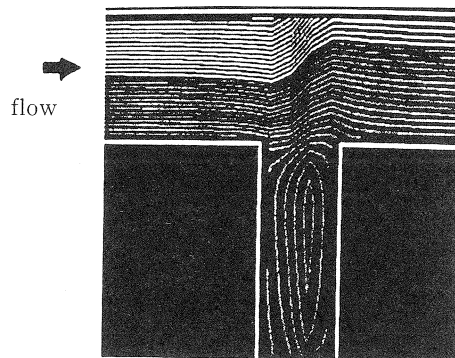


$\rho = 1000 \text{ kgf/m}^3$

$\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ kgf/m} \cdot \text{sec}$

主管入口 $Re = 8000$

図4 複数ノズルヘッド分岐管路内のシミュレーション例(流線)



$\rho = 1000 \text{ kgf/m}^3$

$\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ kgf/m} \cdot \text{sec}$

主管 $Re = 6600$

分岐比 = $4 / 9$

分流比 = $1 / 4$

図5 分岐管路内のシミュレーション例(流線・部分)

分岐部（主管-支管接続部）での流れの挙動及び損失・乱れの規模等には以上のような要因が関与していると考えられるので、壊食実験と並行して、これらのパラメーターを変化させて、コンピューターシミュレーションを実施し、流れの挙動等の定性的な把握を試みた。

利用した流体解析ソフトウェアは乱流モデルとして κ - ϵ モデルを採用しており、この κ (乱流エネルギー) を乱れの規模を表わす仮の指標とした。

- (2) シングルノズルヘッドによる壊食実験
 (1)で検討した分岐部での影響の他に、支管(枝管)

それ自身による損失影響も無視できないので、支管の形状のみをパラメーターとして、噴流特性（壊食特性）との関係を調べた。

ノズルヘッドとしては図3に示すようなシングルノズルヘッドを用い、管長 $l = 8 \text{ mm}$ を一定として管径を $D_2 = 0.7 \text{ mm}, 0.9 \text{ mm}, 1.2 \text{ mm}, 2.0 \text{ mm}$ と変化させ壊食実験を実施した。ノズルチップは(1)と同様である。

3 結果及び考察

- (1) 複数ノズルヘッドによる壊食試験
 主管径 $D_1 = \phi 3 \text{ mm}, 6 \text{ mm}, 10 \text{ mm}$ の複数ノズ

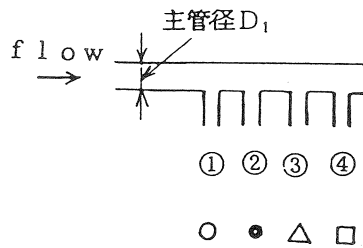
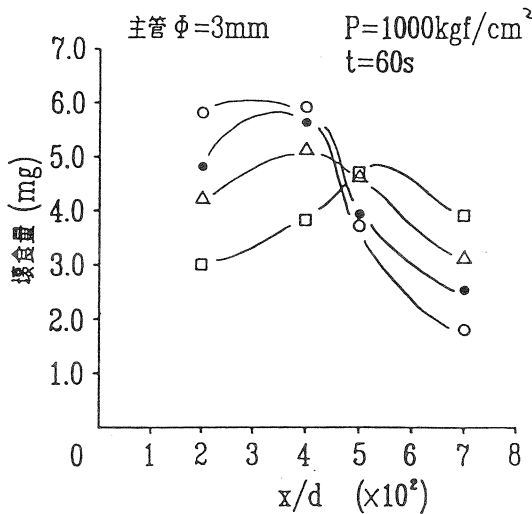


図6 主管径 $D_1 = \phi 3 \text{ mm}$ 複数ノズルヘッドによる壊食曲線

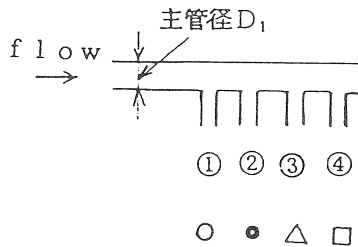
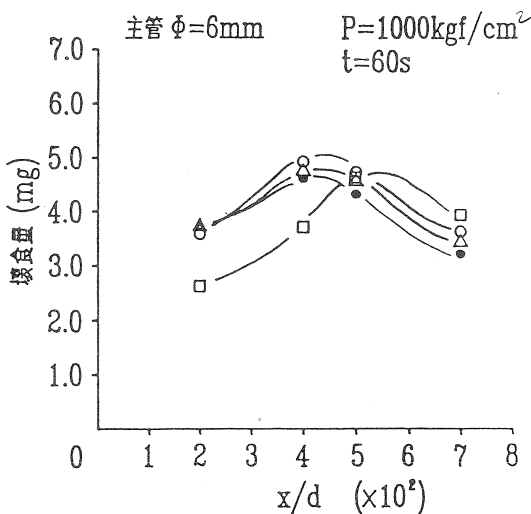


図7 主管径 $D_1 = \phi 6 \text{ mm}$ 複数ノズルヘッドによる壊食曲線

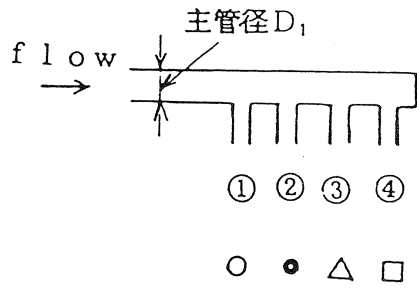
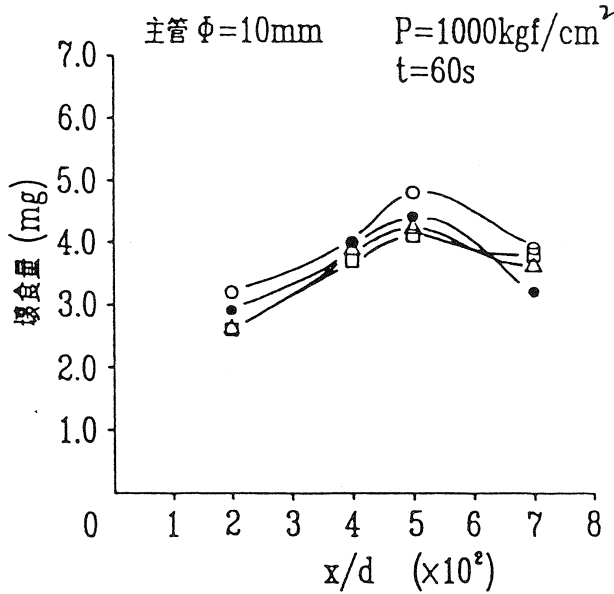


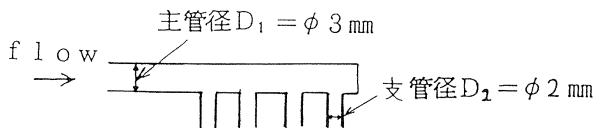
図8 主管径 $D_1 = \phi 10\text{mm}$ 複数ノズルヘッドによる壊食曲線

ルヘッドによる壊食試験の結果(図6~8:噴射時間 $t=60\text{s}$ 、圧力 $P=1000\text{kgf/cm}^2$)によれば主管内径 D_1 が小さくなるに従って各ノズルの最大壊食量は大きくなる傾向にあり、同時にそのピーク位置を示すスタンドオフ距離は小さくなる(ノズル側に近づく)傾向がある。また、各ノズルの壊食特性のパラッキも大きくなる。

ただし、高圧水供給位置から一番遠い距離にあるノズル④については主管径の変化にもかかわらずほぼ一定の壊食特性を示す。

また、主管径 $D_1 = 3\text{mm}$ の複数ノズルヘッド(ノズルチップ4個)についての流線のシミュレーション結果を図4に示す。分岐部の流線の分布状況が4つの分岐部で明らかに異なっている。

また、前述したパラメータ(レイノルズ数、分岐比、分流比)を変えて分岐部の流れの挙動のシミュ



	①	②	③	④
分岐比	2/3	2/3	2/3	2/3
分流比	1/4	1/3	1/2	1/1
主管Re	8.0	6.0	4.0	2.0
	$\times 10^3$			

図10 複数ノズルヘッド各部での各パラメータの変化の例

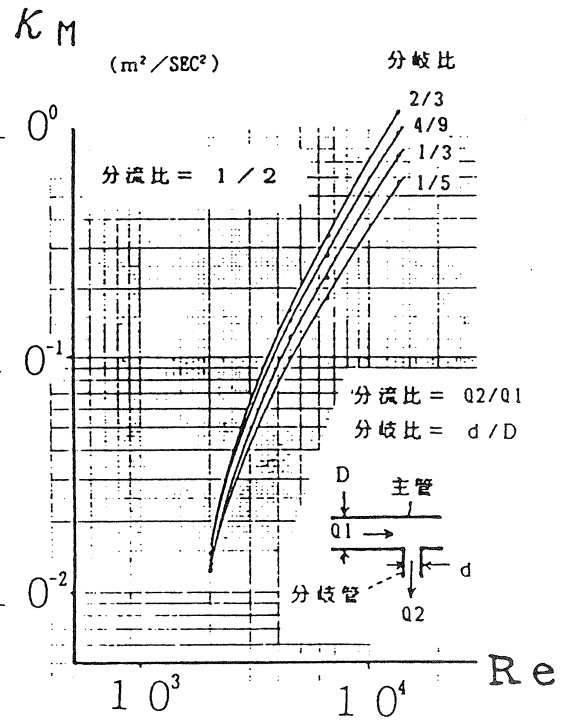


図9 シミュレーションによる K_M の変化の例

レーションを実施した例を図5に示す。これによって乱流エネルギー κ の分布も得られるのでこの最大値 K_M を乱れの仮の指標とすることにより、定性的ではあるが図9に例示するような、各パラメータによる乱れへの寄与の把握が可能となる。ただし、等圧下でノズルからの流量は一定と仮定している。

図9等の結果により他の条件が変化しなければ、 Re 数・分岐比・分流比が各々大きいほど、乱れの規

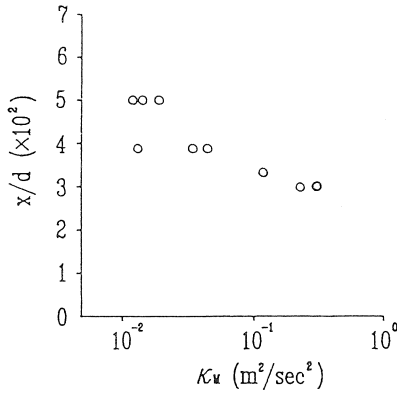


図11 KMと壊食量最大位置
(ピーク位置 x/d) の関係

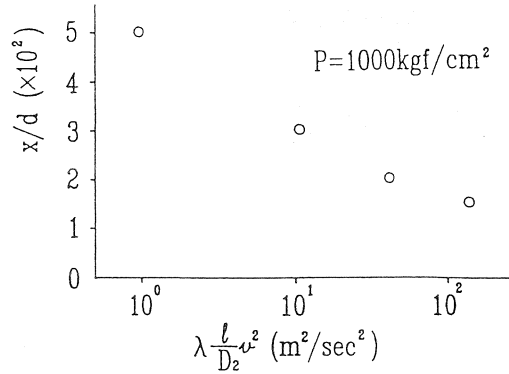


図13 管摩擦損失と壊食量最大位置
(ピーク位置 x/d) の関係
(シングルヘッドによる)

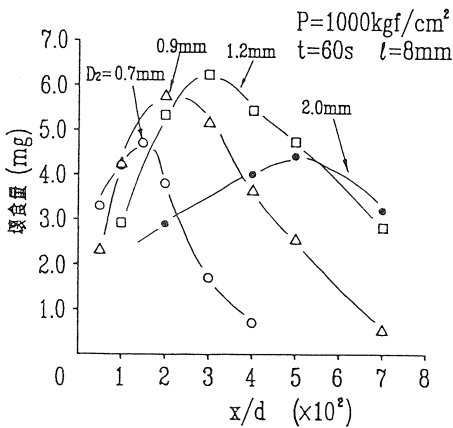


図12 l/D_2 による壊食曲線の変化
(シングルヘッドによる)

模が大きくなる傾向にあることがわかる。

主管径 $D_1 = \phi 10\text{mm}$ の複数ノズルヘッドの場合を例にあげれば図10に示すように各①～④ノズル部で各々パラメータが異なっているのがわかる。

これらによるシミュレーション結果(KM)と、実験によって得られた最大壊食時のスタンドオフ距離の関係を示すと図11のようになる。管路内の乱れの規模が大きくなると上記距離が小さくなる(ピーク位置 x/d がノズル側に近づく)のがわかる。

(2) シングルノズルヘッドによる壊食試験

図12に支管径 $D_2 = \phi 0.7\text{mm}, 0.9\text{mm}, 1.2\text{mm}, 2.0\text{mm}$ の場合のシングルノズルによる壊食試験の結果

を示す。噴射時間=60s、圧力 $P=1000\text{kgf/cm}^2$ である。

これによって $1/D_2$ が大きくなれば、等圧下 ($P=1000\text{kgf/cm}^2$) で最大壊食時のスタンドオフ距離が小さくなっているのがわかる。また、管路 ($1-D_2$) による管摩擦損失(この場合の損失・乱れの指標とする)と上記スタンドオフ距離との関係を示すと図13のようになる。

4 結 言

複数ノズルヘッド及びシングルノズルヘッドを用いて壊食実験を行い、複数ノズルヘッド分岐管部(主管-支管)の管路形状等の物理的諸条件によって発生する局部的損失・乱れが下流のウォータージェットの噴流特性に及ぼす影響を調べた。

その結果ノズル上流側の分岐部及びその周辺における損失・乱れの規模が大きくなる程、最大壊食を示す位置でのスタンドオフ距離が短くなるのがわかった。

5 文 献

1. 小林, ウォータージェット技術開発の現状と将来展望, ターボ機械, 17-11, 1989 pp 674-680
2. T. Suu and K. Fujii, Dividing Flow mechanisms in Turbulent flow, Trans. SHASE No.25, Jun, 1984
(平成2年度日本ウォータージェット学会広島講演会で発表)