

鴻池組技術研究所

正員

大橋 昭

11

正昌

松生隆司

大阪府立工高専

柳井田勝哉

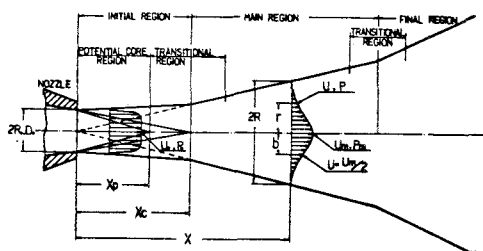
1. 研究概要 : 高速水噴流技術の応用範囲は様々な分野に広がりをもせ、国の内外において開発研究が多数行なわれている。しかし、これらの応用研究の基礎となる噴流特性に関しては、殆んど明らかにされていない。著者らはこの点に注目して、複雑な気中乱流水噴流の特性を実験および理論的に体系づけた。この噴流特性を各種材料の破砕に関する研究に役立てることは極めて重要である。前報は低強度モルタル（普通セメント、フライアッシュ、川砂： $d \leq 1.2 \text{ mm}$ ）の破砕実験から若干の考察を行つたが、本報においてはピトー管測定法を主体とした水中水噴流特性の解析を含めて、モルタル材料の気中および水中の破砕特性を総合的に論じ、その結果の概略を報告する。

2. 水中水噴流特性 : 図1に水中水噴流の基本構造と主な記号を示す。同相中の乱流噴流については、Tollmien

ら多数の研究者によつて解明されており、気中水噴流実験を中心にして、噴流拡がり： $b \propto X$ ，噴流軸上速度： $U_m/U_o \propto X^{-1}$ なる関係が確かめられている。一方、著者らは気中水噴流の研究から、数種の流動状態相の重ね合せから成る複雑な噴流構造と、霧化領域に至るまでの各噴流領域の特徴について知り得た。ゆえに水中水噴流を単に様な拡散過程とみなさず、気中水噴流の構造および特性と比較すれば、新たな実験上の知見を得ることが予測される。破碎実験用ノズルのピトー管測定法による結果を図2に示す。主要区(Main Region)における流圧減衰特性は安定した分布を示し、十分に発達した乱れとノズル出口で形成される境界層の影響が減少したことが分かる。また $Re$ 数およびノズル形状により流圧減衰特性が変化することから、気中水噴流と同じく初期区長 $X_c^{(2)(6)}$ を導入して図3に無次元整理した。この結果は、水中水噴流においても遷移過程を考慮した $X_c$  ( $4 \leq X_c/D_o \leq 17$ )が、噴流特性を代表する重要な因子となることを示唆している。主要区と末期区は、( $2.5 \leq X/X_c \leq 4$ )の遷移過程を境に区分され、そしてその流圧減衰特性は次式のように示される。

|     |                          |                                               |
|-----|--------------------------|-----------------------------------------------|
| 主要区 | $P_m/P_o = (X_c/X)^2$    | $U_m/U_o = X_c/X (= \sqrt{P_m/P_o})$          |
| 末期区 | $P_m/P_o \propto X^{-3}$ | $U_m/U_o \propto X^{-3/2} (= \sqrt{P_m/P_o})$ |

また主要区と末期区の境界は、気中水噴流において明らかにした連続長さ(3)<sup>5(4)5</sup>)に相当するものと推定され、末期区における著しい流圧減衰を考慮すれば、有効な破碎領域として初期区および主要区までに限られることを示している。なお同一ノズルの気中と水中のXc値を比較すれ



|                                |                                           |
|--------------------------------|-------------------------------------------|
| $R_e, D_e$ : ノズル半径, 長さ         | $J_e$ : ノズル出口の噴流速度 ( $= W_e P_e / \rho$ ) |
| $X_e$ : ノズル出口位置任意位置の距離         | $P_t$ : 初期噴流圧力 (大気圧)                      |
| $x$ : $X$ における任意位置             | $P_e$ : 初期噴流圧力 ( $= W_e P_e / \rho$ )     |
| $X_p$ : 噴流長さ                   | $w$ : 一軸圧縮強度 ( $50 \sim 300$ MPa)         |
| $X_e$ : 初期位置                   | $\sigma$ : 噴流長さ                           |
| $R$ : 噴流半径                     | $U_t$ : ノズルのトラス速度                         |
| $r$ : 任意半径 (任意 $U_m / 2$ )     | $N$ : 噴流の噴射数                              |
| $U_e, P_e$ : ノズル出口の速度, 圧力      | $N$ : 噴流の噴射に關する決定式                        |
| $U_m, P_m$ : $X$ における軸上の速度, 圧力 | $N$ : 噴流の噴射に關する決定式                        |
| $U, P$ : $X, r$ における速度, 圧力     | $N_e$ : レイノルズ数 ( $U D_e / \nu$ )          |

図 1 水中水噴流の構造と記号

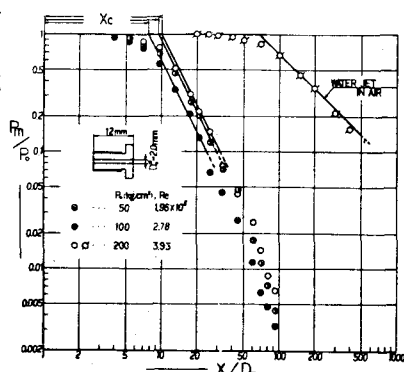


図2 破碎実験用ノズルの流圧特性

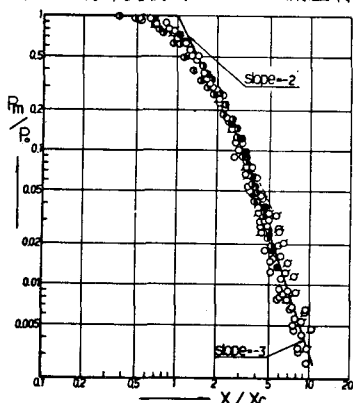


図3 各種ノズルの流圧特性

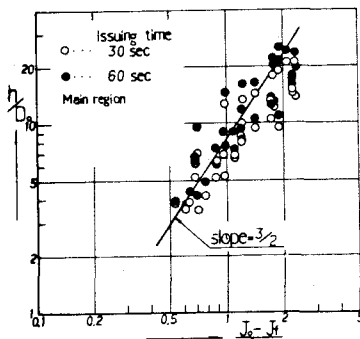


図4 気中破碎特性(固定)

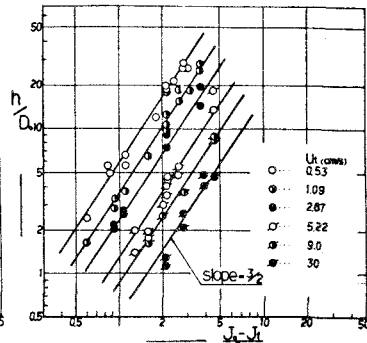


図5 気中破碎特性(移動)

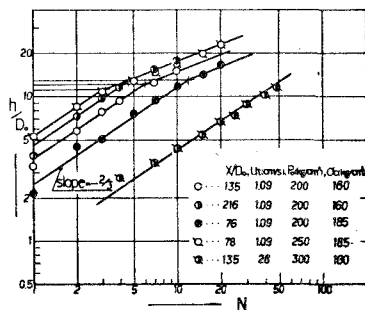


図6 気中破碎特性(繰返し)

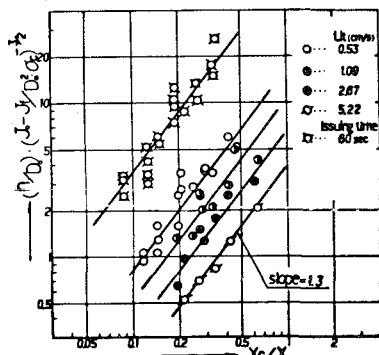


図7 水中破碎特性

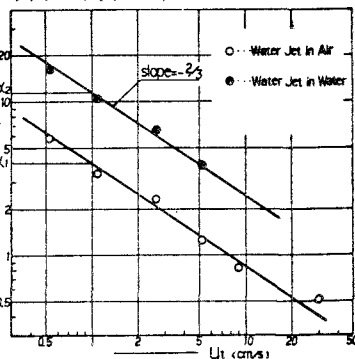


図8 ノズル移動速度の影響

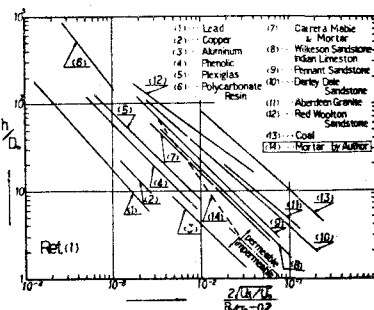


図9 各種材料の気中破碎特性

は、 $X_c(\text{水})/X_c(\text{気}) \approx 0.11$  が得られ、また主要区における噴流拡がり(は  $b \propto X$ )を、そして半径方向速度分布は Tollmien 分布を満足している。

3. 破碎特性 : 高速水噴流による破碎特性を定量的に把握することは、材料の物性および力学面からみても極めて困難なことであることが分る。破碎に関する研究の多くは、一定の材料に対する噴流初期区の破碎効果を直接示すことに止まり、わずかに Nikonov と Cooley<sup>1)</sup> が材料物性値に簡便な一軸圧縮強度を用いて、各種材料の破碎特性を整理している。噴流の各領域あるいは噴流圧力に対応した破碎現象には各々特徴があり、破碎量、径あるいは溝幅の一般式を求めるのは容易でないが、破碎深さ  $h$  は他に比べて破碎効果をよく示す。気中水噴流の主要区においては噴流軸上速度が減衰せず、 $h$  もほぼ一定値を示し、約 20 ~ 30 秒の固定噴射で急激な初期破碎が終了することが分かった。よつて噴流が破碎面上で有する運動量と材料の被破碎仕事に基づく運動量の平衡式を考慮して、 $(J_0 - J_f) / D_0^2 \sigma_c$  の無次元量を適用する。なお初期破碎が生じる最小運動量  $J_f$  は、本実験から  $J_f = f(P_f / \sigma_c \approx 0.23)$  が得られた。一方、水中水噴流の主要区では噴流軸上速度の減衰特性が  $U_m / U_0 = X_c / X$  で示され、 $X_c / X$  の無次元量を噴流の運動量減衰因子として導入することが必要となる。図 4. 5. 6. 8. に気中破碎特性を、そして図 7. 8. に水中破碎特性を示す。図 9. は Cooley による各種材料の破碎特性に、本実験結果を挿入したものである。噴流圧力の実用範囲として、 $P_0 / \sigma_c = 0.5 \sim 1.5$  が確認された。噴流主要区の破碎特性を要約すれば、次式のようにまとめられる。

|           |                                                                                        |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 気中<br>水噴流 | $\frac{h}{D_0} = 4.0 \left( \frac{J_0 - J_f}{D_0^2 \sigma_c} \right)^{1/2} U_t^{-2/3}$ |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|

|           |                                                                                                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水中<br>水噴流 | $\frac{h}{D_0} = 1.5 \left( \frac{J_0 - J_f}{D_0^2 \sigma_c} \right)^{1/2} \left( \frac{X_c}{X} \right)^{1/3} U_t^{-2/3}$ |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

参考文献: 1. Proc. 1st, 2nd & 3rd Inter. Symp. Jet Cutting Tech. BERA ('72, '74, '76)

2. K. Iyanaga, Proc. 2nd Inter. Symp. Jet Cutting Tech. BERA ('74)

3. 柳井田、大橋、日本機械学会誌、750-16 ('75)

4. 柳井田、大橋、日本振動学会誌、('76)

5. 柳井田、大橋、第26回応力連合会論議 ('76)

6. 柳井田、大橋、日本振動学会誌、vol. 93, 1072 ('77)

7. 柳井田、大橋、土木学会全国大会論議 ('76)

8. G. N. Abramovich, The Theory of Turbulent Jet, MIT Press. ('63)

9. N. Rajaratnam, Turbulent Jets, Elsevier ('76)