

空気流中の水噴流の運動

東北大学工学部 学生員 ○金倉隆志
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫
東北大学工学部 正 員 山路弘人

1. はじめに

海岸堤防上の越波の動態を明らかにするための第一歩として、風の中での水流ジェットの運動を調べ、この問題の解析手法の検討に資することとする。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図-1に示す。風洞本体は長さ135cm、幅15cm、高さ20cmである。一端に設置したファンにより風洞内に空気流を送り、この空気流中にヘッドタンクから水流をノズルを通して噴出させる。その運動は写真によって解析した。ノズルとしては円形($d = 0.6\text{ cm}$)および矩形($3\text{ cm} \times 0.3\text{ cm}$)の2種類を用い、噴出方向は鉛直下向きかつ空気流に直角方向とした。空気流速 U およびジェットの初速 v_0 を表-1に示す。

図-1 実験装置

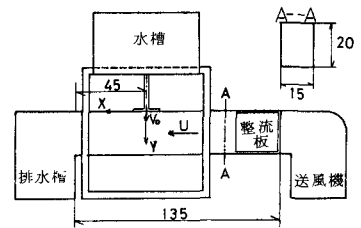


表-1 U 、 v_0 、 y_0 、 h_0 の諸値

		$U(\text{cm/sec})$	$v_0(\text{cm/sec})$	$y_0(\text{cm})$	$h_0(\text{cm})$
円形ジェット	A	467	190	/	/
	B	663	193	/	/
	C	769	193	8.87	1.57
	D	919	194	7.22	1.83
	E	980	194	6.86	2.18
く形ジェット	A	467	189	/	/
	B	663	189	9.32	4.36
	C	769	189	8.13	5.05
	D	919	189	6.49	5.23
	E	980	189	6.13	5.7

3. 運動の観察と解析

3.1 現象の観察

風速 $U = 0$ の場合、水流ジェットは初速 v_0 を持つ自由落下となる。ジェット断面積は y 軸方向に漸減してゆく。この断面積減少より計算した速度増加は質点の自由落下の式より求めた値にほぼ一致した。さて風速 U を増加させるとジェット軸は風方向に曲げを受け（矩形ジェットの方が強く曲げられる）さらにある風速以上では径路途中で水流が切れそれぞれ水漬となって飛び散るような点（以下C.P.と言う）が現われる。C.P.の鉛直距離、水平距離、およびその点における水流の風に直角方向の幅をそれぞれ y_c 、 x_c 、 h_c とする（ y_c および h_c の値は表-1に示す）。 U の増加とともに y_c は減少し、 h_c は増加することが観察された。

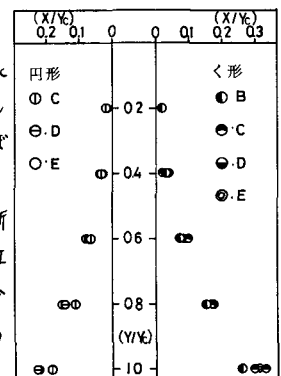
3.2 現象の解析と考察

径路、厚さ、幅をそれぞれ風速との関係で考察する。ジェット断面は風を受け軸方向に刻々変化したが、解析上円形ジェットは楕円、矩形ジェットは長方形と仮定する。

〈径路〉 U と y_c の関係は、円形ジェット、矩形ジェットともに U の増加に伴い y_c は小さくなる。また y_c を用いて、 y/y_c および x/y_c なる無次元量で径路を表わしたものが図-2である。図より無次元量で表わしたジェットの径路は U によらず、ほぼ同一曲線にのると結論できる。

〈厚さ〉 ジェット出口より噴出したジェットの厚さは、初め重力の影響により漸減する。しかし次第に風の影響を受け再び漸増し、C.P.に至る。厚さ最小となる位置はジェット出口の形状、 U によらずほぼ一定で $y = 4\text{ cm}$ 前後である（円形の場合無次元表示で $y/d = 6.7$ ）が、最小厚さは U が大きいほど小さい。円形ジェットの、ケースCで0.31cm、ケースDで0.34cm、ケースEで0.33cmであった。

図-2 径路の無次元表示



〈幅〉 円形ジェットおよび矩形ジェットのY軸方向距離と幅の拡がりの関係を図-3に示した。図より円形の場合C.P.まではほぼ直線的であり、C.P.以後指数関数的に拡がるこがわかる。直線部分の傾き m の値は、ケースCで0.11、ケースDで0.16、ケースEで0.22であった。この m と風速の2乗(U^2)がほぼ直線的な関係があるこが確認できる。この関係はジェットの幅方向への拡がりのメカニズムが水流前後での風速による圧力差に関係あるこから推論できる。矩形ジェットの方は、C.P.の前後とも直線関係が認められず、風速 U との関係を定量化するに至らなかった。

3.3 C_D および C_D とレイノルズ数との関係

同じ風速 U を受けても円形ジェットと矩形ジェットでは軸の曲率が異なる。これは風圧の効果の差によるものと考えられるので、その表現中の $C_D(V)$ を求めるこにした。図-4に示す微小部分を考え、これに働くジェット軸に垂直な方向の力の釣り合いは次の通りである。

$$\Delta\phi + \Delta Mg \cos \alpha = C_D \frac{\rho}{2} (U \sin \alpha)^2 dF$$

これより求めた C_D をレイノルズ数($Re = h U \sin \alpha / \nu$)との関係で図-5に示す。図中実線は円柱の C_D 曲線である。図より円形ジェットの C_D は円柱の C_D よりも小さく平均が0.8程度である。又矩形ジェットの C_D は円柱の C_D よりも大きく平均が1.7程度である。

3.4 C.P.の条件

水流がちぎれて水滴の集合体となるC.P.は次のような条件から決められるであろう。すなわち風圧のなす仕事と表面張力のなす仕事の比がある一定値に近づくこ、もはや水は一体になっているこが出来ない。簡単な考察からこの比は $(U \sin \alpha)^2 / h$ として与えられる。写真により実際にC.P.におけるこの比を求めるこ、円形ジェットの場合は $(3.04 \sim 3.45) \times 10^6$ 、矩形ジェットの場合は $(1.11 \sim 1.58) \times 10^5$ 程度であった。

4. 結び

円形および矩形ジェットについていくつかの実験と考察を行った。今後の課題としてはC.P.の生じる条件をさらに進めて定式化し、水流ジェットの領域、その後の水滴のあつまりとなる領域の区別をするこ、それぞれの領域内での水流の運動を解析する方程式群をつくるこ、などがある。また、ジェットの断面形状をおさえるなど、実験の精密化が望ましい。最後に、この研究の一部は、文部省科学研究費によって行われたこを付記する。

参考文献 Abramovich

The Theory of Turbulent Jets, MIT press.

図-3 水流噴流の幅方向への拡がり

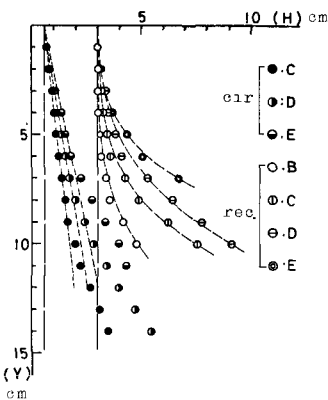


図-4 力のつりあい

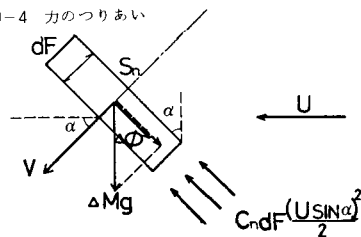


図-5 $C_D - Re$ 曲線

