

京都大学防災研究所 正会員 土屋義人

〃 〃 〇 山下隆男

京都大学 大学院 学生員 岡 扶樹

1. 緒言 この十数年、高潮災害は減少する傾向にあるように見えるが、そのポテンシャルはむしろ、高まっていると考えられる。また、わが国では人口および社会活動が太平洋に面する湾奥に集中しているため、強風による吹き寄せ効果の卓越する湾内高潮に對して、最も危険な社会的地域性を有している。しかも、この種の高潮に對する数値予知には、複雑な境界条件とともに、表浪および吹送流に伴う湾内潮水の流動の影響を的確に評価することが予知精度の向上に必須である。そこで、表浪および潮水の流動特性を高潮の数値予知に十分考慮するために、本研究においては、まず吹き寄せに伴う潮水の流動特性を究明しようとするものである。

2. 実験装置および方法 実験には風洞を有する海岸表浪シミュレータを用い、最大吹送距離を52.9mとし、各実験装置を図-1に示すごとく設置した。ここに、Mはマノメータ、W.G.は波高計、Wは流速計、Vは流速分布測定位置を示す。実験は平均水位が定常になった状態を対象とした。流速分布の測定には、水素気泡法を用い、一定時間に多数枚の写真を撮影し平均することにより鉛直方向各点における流速を求めた。また、水位変動の測定には、マノメータとlow-pass

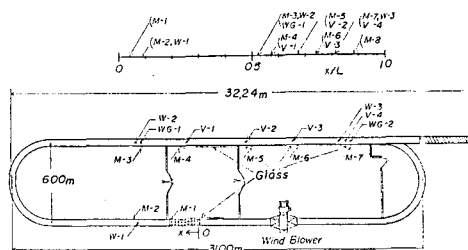


図-1 実験水槽および計測装置の配置図

filterに接続し周期10sec以上の変動のみ取り出すようにした容量式波高計を用い、流速の測定には小型のプロペラ式流速計を用いた。

3. 実験結果および考察 実験は表1に示す条件で行った。図-2の(a)および(b)は定常状態における流速分布の測定結果で、図中1, 2, および3の数字はフィルムからの読取率を示し、1は80%以上、2は50%~80%、3は50%以下である。図-2(a)に示すRun-1の流速分布測定の結果において、 U_1 , U_2 および U_3 は撮影間隔と枚数を変えて平均した結果で、 U_1 は2 sec間隔で3 min間の合計90枚から、 U_2 および U_3 は10 sec毎に2枚ずつ4 min間の合計48枚から得た結果である。

表1 実験条件

	吹送距離 F (m)	水深 h (cm)	流速 U (m/sec)	水温 T _w (°C)	室温 T _a (°C)	流速計 Δt _v (msec)	水位計 Δt _p (sec)
Run 1	52.9	43.88	5.00	5.6	4.1 3.8	0.1	0.87
Run 2	52.9	42.25	6.71	3.8	1.2 0.8	0.1	0.76

枚数の多い U_1 は当然滑らかな曲線となっているが、三者とも傾向およびオーダーがよく一致していることから、Run-2では5 sec間隔で4 min間に撮影した48枚の写真から平均して求めた。図-2(b)にその結果を示す。図中、V-1~V-4は図-1に示す各測定位置において測定した定常状態での流速分布であり、その場所的变化を表している。この図からわかるように、各点での流速の分布形は非常によく似ているが、V-1およびV-4とV-2およびV-3との値にはかなりの相違がある。これは後述するような表浪振動の影響であると考えられる。ここは紙面の都合上図面を割愛したが、水槽内の平均水位は送風開始直後、Run-1で約0.6mm、Run-2で約1.4mmの振幅で、その周期が約52 secの振動をし、これは時間とともに減衰し、約60 min後には消滅してしまう。しかし、その後も微妙な力の釣合の崩れから起る、振幅0.2mm程度の表浪振動が偶然的に生じ、これが流速分布に影響を及ぼしているものと考えられる。また、図-2の(a)と(b)との比較から、流速が大きくなるにつれ、流速の負の成分は鉛直方向に一様になる傾向にあることがわかる。

4. 風浪の影響を考慮した吹送流の理論および実験結果との比較 吹送流に関する理論的研究としては、

Reid (1957)の研究が著名である。この理論では、底面と水面におけるせん断応力 τ_b, τ_s の比をパラメータとして吹送流の流速分布を定式化しているため、風波による運動量の輸送を直接に評価することはできない。ここでは、吹送流の流速分布特性に風波の影響をあらわに入れた理論の展開を2通り試み、その結果を実験結果と比較考察する。そのうち1は、風波の水粒子の軌跡の鉛直方向の径のオーダーとしての混合距離を仮定する方法で、2は、波による鉛直方向の運動量流束を直接導入する方法である。前者の取り扱いは次のようである。等流状態を仮定し、混合距離を微小振幅波理論を適用して、次式で表わす。

$$l = l(z+z_0)(h-z) + \frac{ra \sinh(kz)}{i(\sinh kh)} \quad (1)$$

式(1)を用いて運動量輸送理論から次式を解く。

$$\tau_b + (\tau_s - \tau_b)z/h = \rho l^2 |d\bar{u}/dz| (d\bar{u}/dz) \quad (2)$$

ここに、座標は水底を原点として鉛直上向きに z 軸ととり、 a ；振幅、 k ；波数、 h ；水深、 l ；Kármán定数、 z_0 ；水底の粗さを示すパラメータ、および r ；波の影響を示す定数である。

後者は、平均流速 $\bar{u}$ 、乱れの変動速度 u' 、および波に伴う水粒子速度 u_0, u_0' を考慮し、水深は一定で水平方向の混合を無視して運動方程式を解くものである。すなわち、

$$\partial(\bar{u} \bar{w})/\partial z = -(1/\rho) \partial \bar{P}/\partial z, \quad \partial(\bar{u} u_0^2)/\partial z = -(1/\rho) \partial \bar{P}/\partial z - g \quad (3)$$

において、微小振幅波理論を用いれば、次式が得られる。

$$\rho l^2 |d\bar{u}/dz| d\bar{u}/dz = P(g + k a^2 \sigma^2 \coth kh) \sigma + \tau_s \quad (4)$$

$$l = l(z+z_0)(h-z+z_1)/h \quad (5)$$

ここに、 z_1 ；水面での粗さを示すパラメータ、 $\sigma = 2\pi/T$ 、 T ；周期、および σ ；水面勾配である。図-3は、式(1)および(2)から求められた流速分布とReidの理論結果とを著者らやBaines & Knappらの実験結果と比較したものである。

この図から次のことがわかる。0.4 < z/h < 0.7の領域において、両実験結果はよく一致するが、0 < z/h < 0.4ではBainesおよびKnappの実験結果は両理論結果と一致し、著者らの実験結果とかなり相違している。これは、著者らの実験では、吹送距離が長く、風波の影響が大きい場合を対象としているのに対し、BainesおよびKnappの場合は、風波の影響が比較的小さいうえ、水槽の半分に渡って設置されている傾斜板流槽のもどりの流れの影響が残っているためではないかと考えられる。しかし、その影響がどの程度であるかは明らかでない。なお、上述した2の波による鉛直方向の運動量流束を直接導入した方法による結果の詳細は講演時に述べる。

5. 結論 以上の結果から、風波の影響が大きい場合の吹送流の流速分布は、Reidの理論や混合距離に風波の影響を考慮した著者らの理論とはあまり一致せず、もどりの流れは、ほぼ全断面で一様になり、水面付近での強い前向き流れと明確に区別されることがわかった。今後、理論結果と実験結果の相違する原因を明らかにし、波の影響を考慮した吹送流れの流速分布特性を検討する必要がある。

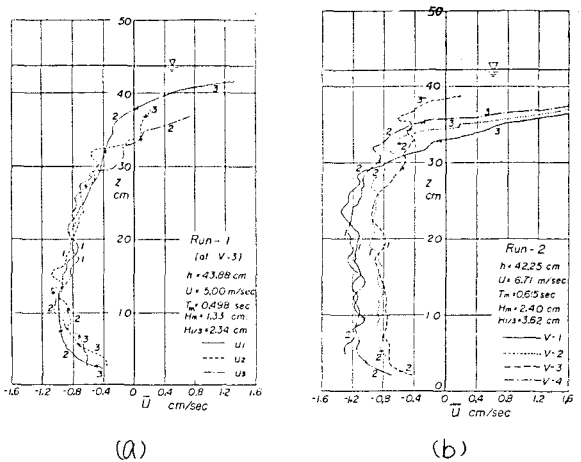


図-2 定常状態における吹送流の流速分布

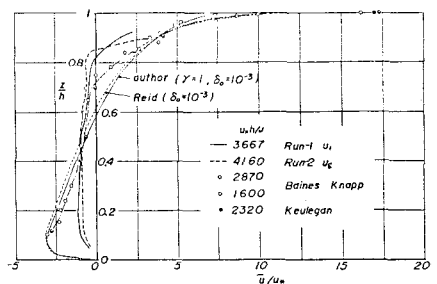


図-3 吹送流の流速分布の理論曲線と実験結果との比較