

風洞水槽において吹送流と帰還流の境界面が風波と

水面下の乱流構造に与える効果

水野 信二郎 正会員 広島工業大学建設工学科

徳市 匡 圭 学生会員 広島工業大学大学院工学研究科

キーワード: 風波、一次循環流と2次流の間の相互作用、乱流

1. 研究の目的

風洞水槽において水面上に風を吹かせると、吹送流と帰還流が発生する。本研究では、風に加えて周期1秒の造波機による規則波を発生し、風波と規則波の間の相互作用を考える。従来この種の実験は、波と波の間の相互作用として考えられて来たが、本研究では水路の風に直交する鉛直断面内に2次循環流が発生しているために、造波機の波を加えるとこの2次循環流の強さが変化し吹送流と帰還流の境界面が上下に移動する効果に注目する。境界面の変位が水面下の乱流構造に強い影響を与える実験結果を発表する。

2. 実験と実験結果

実験は、小型風洞水槽（長さ=13 m、幅、 $B=30$ cm、風洞部高さ=30 cm、水槽の水深、 $D=25$ cm）の片端に造波機を取りつけて行った。風速を約7 m/sに固定して風波を発生させたケースと、風波の発生場に造波機による周期1秒の規則波を加えた実験ケースを次の4ケースで行った。

(A1) 風波のケース

(A2) 風波に逆行する規則波を加えたケース

(B1) 風波のケース、但し、風波が(A1)とは逆 向きに進むケース

(B2) 風波と同じ向きに規則波を加えたケース。

上記の4ケースで、水面下の風に直交する鉛直断面内で2成分 Laser Doppler 流速計により流速2成分（風向きの水平流速成分、 U ；鉛直上向き流速成分、 W ）の断面分布を測定し、測定結果を相互比較した。図1に U と W の水平横分布を3ケース（A1、A2、B2）に対して示す。なお、B1はA1とほぼ同じ分布のため省略。流速の横方向分布は15点、（壁面から1 cm離れた位置から2 cm間隔で他方の壁面の直前の1 cmまで）、鉛直分布は風波のケースでは10点（水面下2 ~19 cmの間を2 cm間隔）従って合計150点、規則波のケースでは水面下2 cmを除く9点で、合計135点を同一風速と周期1秒の規則波の条件下で計測した。乱流構造を解析するために、計測のサンプリング時間は20Hz、1点の計測時間を204.8秒で記録した。

図1は3ケースの平均流速（ U 、 W ）の水平横分布の比較である。横軸 y/B は無次元横座標（各断面の左下の数字は静止水面からの深さ(cm)を表す）。全ケースに共通して、流速 W は水路中央で上昇し、側壁付近で下降する鉛直循環流を形成した。この鉛直循環流のパターンは、海や湖の水面付近に風が原因で発生する Langmuir 循環流に類似している。まず W 成分は、ケースA1に相対的にA2では著しく減少し、B2ではやや増加している。この様に規則波を加えると鉛直循環流の強さが増減する理由は、1977年に Craik-Leibovich によって発表された CL2 機構でうまく説明できる。実は、本研究は CL2 機構が妥当か否かをチェックするために行った実験でもある事を付記する。他方、 U 成分は共通に水路中央で最も遅い放物線型流速分布が得られた。ケースA2では U がA1に比べて水面付近では風方向に、水底付近では風向に逆行する向きに増加していて、風向きの循環流（1次循環流）が規則波を加えると、約1.5倍増加した。意外だったのはケースB2の場合で、計測した断面の大部分ではほぼ断面一様に弱い逆流が発生し、風向きの吹送流は規則波の谷よりも浅い深度に限られる事を示唆する。

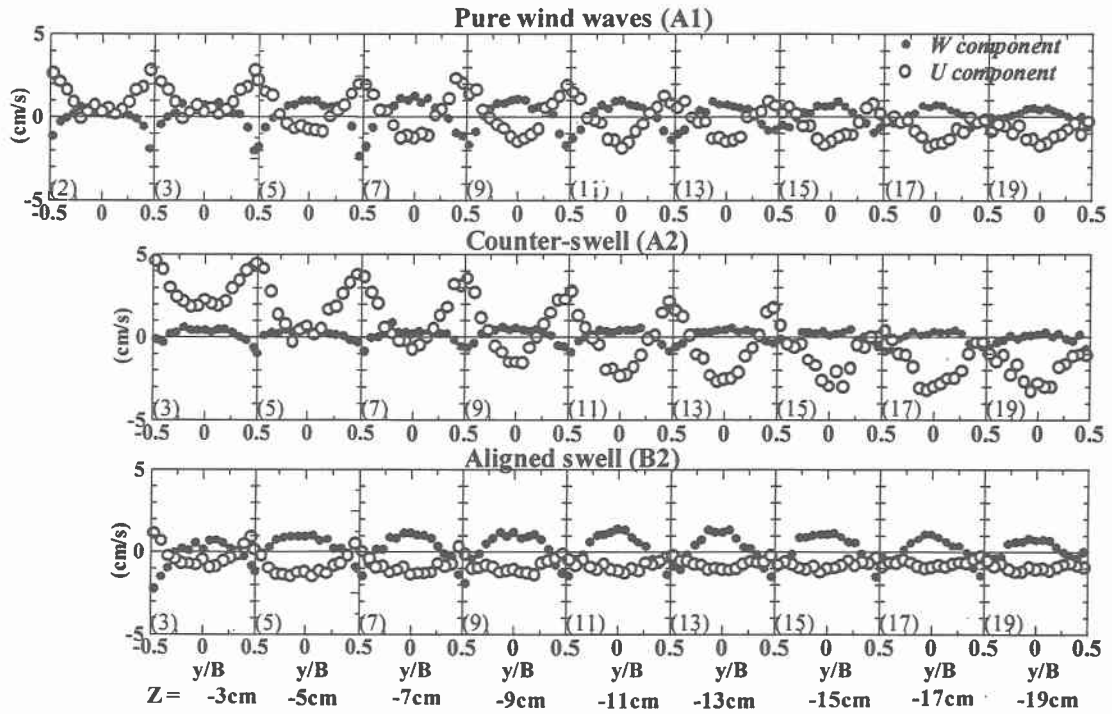


図1 3ケースの流速 (U,W) の水平横分布

U=0 の等値線、即ち吹送流と帰還流の境界面を図2に上記の3ケースについて示す。規則波を加える向きにより、境界面の位置が大きく変化する事に注目して頂きたい。風波のケース A1 では水路中央で帰還流域が入道雲のように立ち上がり境界面が $z/D = -0.2$ 付近にあるが、側壁では水底付近まで下降し、鉛直循環流の影響が強く見られる。A2 では鉛直循環流の減衰と共に境界面が若干下降気味であるが、ケース B2 では境界面が逆に水路全体にわたり異常なほど水面に接近している。何故、このような事が B2 で起こるのか？このケースでは鉛直循環流が強いため、水路中央の上昇流が強く境界面を水面付近まで押し上げたと考えられる。その結果、水面と境界面間の境界層の厚さが非常になくなるため風による流速シアを強めて強い鉛直混合が水槽全体に発生し水路の大部分で平均流速が均一化して、弱い逆流域が水面付近まで拡大したと考えられる。ここでは示さないが、水面下の乱流構造は3つのケースで大きく異なっている。

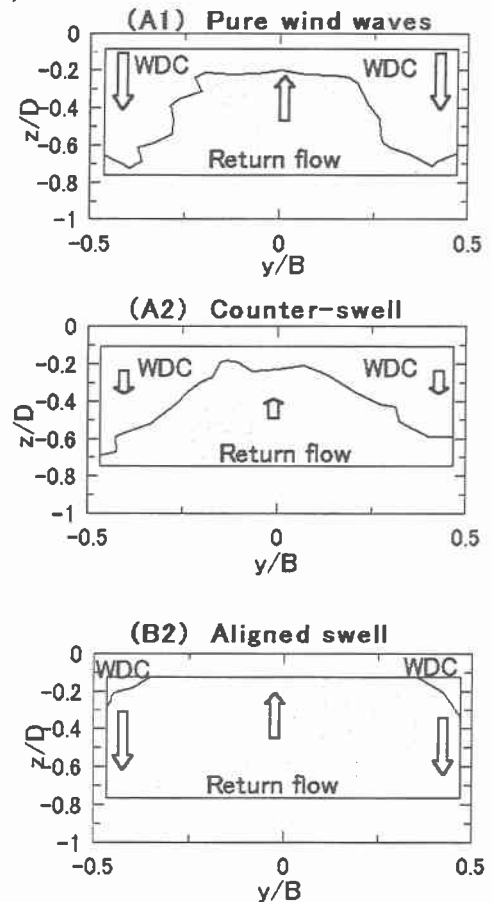


図2 風波のケース A1 に規則波を加えた場合の吹送流と帰還流の境界面の変化。