

第II部門

可視化実験による波・流れ共存場における水理特性

大阪市立大学工学部	学生員	○金井 聡
大阪市立大学院工学研究科		岡崎 拓人
大阪市立大学院工学研究科	正会員	森 信人
大阪市立大学院工学研究科	フェロー	角野 昇八

1. 諸言

南海地震・東南海地震は、今世紀中に発生する確率が高いと言われている。これらの地震が発生した場合、紀伊半島を中心に大きな津波被害を引き起こすことが予想される。こうした中、津波への防災対策の必要性がより一層増しており、多くの研究が報告されている。陸上へ直接溯上する津波に対し、河川に侵入し溯上する津波では被害が沿岸部のみならず内陸部にまで及ぶ可能性がある。しかし、津波の河川溯上の問題は波と流れの相互干渉場であり、その扱いの難しさから知見がそれほど多くない。梅山ら¹⁾は混合長モデルを、畑ら²⁾はPIVによる可視化実験を用いて、時間平均した波・流れ共存場の底面近傍の乱流特性を明らかにしている。しかしながら、ほとんどの研究は底面近くのせん断流に注目したものであり、波高の変化と乱流特性の関係について調べた例はない。

そこで本研究では、このような波と流れの共存場における波高変化と水面近傍の流れの特性を把握することを目的とする。

2. 波・流れ共存場の波高変化および流速の関係

(1) 分散関係式

微小振幅波理論において規則波と定常流の共存する浅海波領域を仮定すると、以下に示す関係式が成り立つ。

$$\sigma = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = g|k| \tanh|\vec{k}|h \quad (2)$$

ここで、 σ は流れに対する相対角周波数、 ω は絶対角周波数、 k は絶対波数、 U は定常流速である。ただし、 U は波の伝播方向と流れの方向が相反する場合に正の値を取るものとする。また、流れによる波高増幅率の算定は、流れに速度勾配があると仮定した場合は以下のように表される。

$$\frac{a}{a_1} = \left[\frac{(1 + \frac{2k_1 h_1}{\sinh 2k_1 h_1})(1 - \frac{l_1}{l} \frac{U}{C_1})}{(\frac{l}{l_1} - \frac{U}{C_1})(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh}) + \frac{2U}{C_1}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

ここで、 a は振幅、 l は波長、 C は波速を表し、下添字“₁”は入射波成分を意味するとする。

(2) 波動成分と乱流成分および乱流エネルギーの関係
波・流れ共存場の流速 $u(z, t)$ を以下のように表す。

$$u(z, t) = \overline{U}(z) + \tilde{u}(z, t) + u'(z, t) \quad (4)$$

ここで、 $u(z, t)$ は瞬時流速、 z は静水面からの鉛直座標、 t は時刻、 $\overline{U}(z)$ は時間平均流速、 $\tilde{u}(z, t)$ は波動成分流速、 $u'(z, t)$ は乱流成分流速である。次に、周期 T をもつ規則波について位相平均流速は以下のように与えられる。

$$\langle u \rangle(z, t) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} u(z, t + mT) \quad (5)$$

ここで、 m は繰り返し回数、 M は最大繰り返し回数であり、乱流成分 $u'(z, t)$ は以下のようになる。

$$u'(z, t) = u(z, t) - \langle u \rangle(z, t) \quad (6)$$

$$\overline{u'}(z) = 0 \quad (7)$$

これより、乱流エネルギー K は次式で定義される。

$$K = \frac{1}{2}(u'^2 + w'^2) \quad (8)$$

3. 実験の概要

水槽内に発生させた定常流に対しそれと相反する方向に造波し、流れ場を溯上する波の波高変化と流速を計測した。実験には長さ20m、幅0.5m、深さ0.7mの循環式二次元造波水槽を用い、水深は全ケースを通して20cmとした。水槽の断面とポンプ式循環システムの概略を図1に示す。

波高変化は定常流速および入射波高、入射波周期を表1のように変化させることで60ケースの計測を行った。これらの条件を決定するにあたり、入射波の条件は流速を最大にした場合にも碎波が起らないという条件のもとで行った。また、波高の計測区間は3mとし、波高計を1m間隔に4台設置した。

流速測定にはPIVを用いて可視化実験を行った。流速測定は得られた波高変化の結果をもとに実験ケースを7ケースに絞り、入射波周期を1.6sに固定し定常流速を0, 5, 10, 15, 20cm/sと変化させた5ケースと、定常流速を10cm/sに固定し入射波周期を0.8s, 2.0sと変化させた2ケースを実施した。この時の入射波高は2cmで一定とした。

4. 結果および考察

(1) 波高変化について

計測された波高の空間変化の一例を図2に示す．全ての測定点において定常流の影響により波高が増加していることが分かる．そして，入射波高が小さい場合において波高の増幅率は式(3)で得られる計算値に近い値となった．また，空間変化に系統的な傾向は見られなかった．これは他のケースも同様であり，各ケース・各測定点において波高の変化率に差が見られた．次に波高の定常流速による変化を図3に示す．定常流速の増加に伴って波高も増加していることが分かる．波高の空間変化と同様に波高の増幅率は式(3)から得られる曲線に沿うように分布している．しかし，定常流速，入射波高がそれぞれ大きいケースにおいては，実験値は理論値より大きくなる傾向が見られた．これは定常流速，入射波高が大きいほど，線形理論では不十分となるためであると推察される．

(2) 流速変化について

可視化実験より得られた時間平均流速と乱流エネルギーの分布を図4に示す．ここで，図中の $z=0$ は静水面を表している．流速ベクトルについては，波動成分および乱流成分の時間平均は微小であるので，図中の流速ベクトルの z 方向成分も微小となっている．また乱流エネルギーについては，上端の1cmは水面変動によるものと考えられるが，これを無視したとしても水面に近づくにつれ値が大きくなっていることが分かる．また， x 軸方向においても微小ながら空間変化が見られた．さらに他のケースと比較した場合，この傾向は定常流速の増加と共に顕著となることが分かった．

5. 結言

乱流エネルギーは定常流速の増加と共に増加し，特に水面近傍では大きな値を示した．このことが波高の変化率に関係しているのではないかと推察される．今後より詳細に現象を解明するためには，レイノルズ応力や流速せん断などのより細かい現象を解析する必要があると考えられる．

参考文献

- [1] 梅山ら(2003)：乱流混合モデルを用いた波・流れ共存場のオイラー平均流速分布解析，海岸工学論文集，第50巻，pp.36-40．
- [2] 畑ら(2005)：PIVによる流れと波の共存場における解析，第60回年次学術講演会公演概要集，CD-ROM．

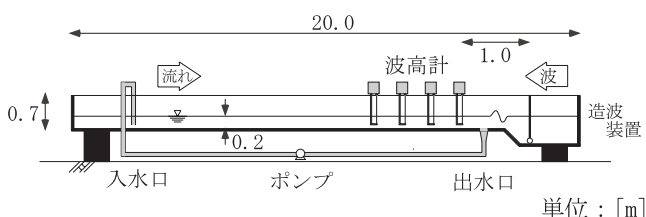
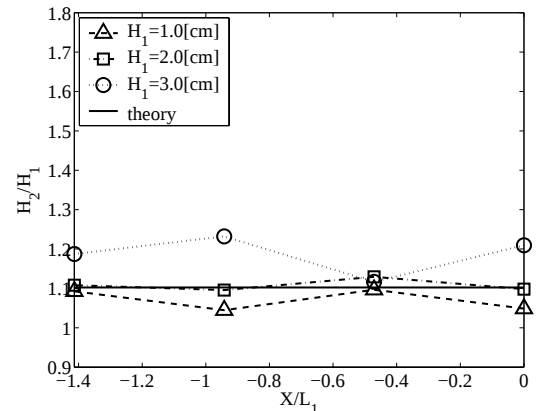
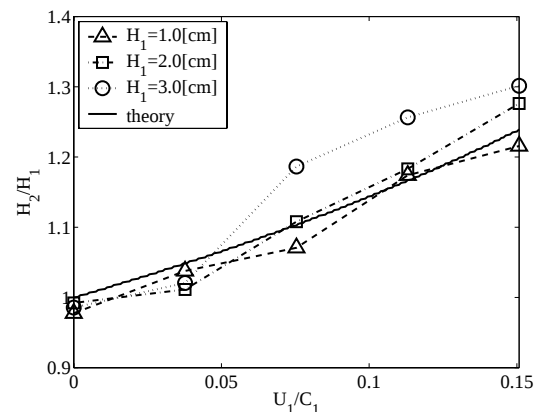
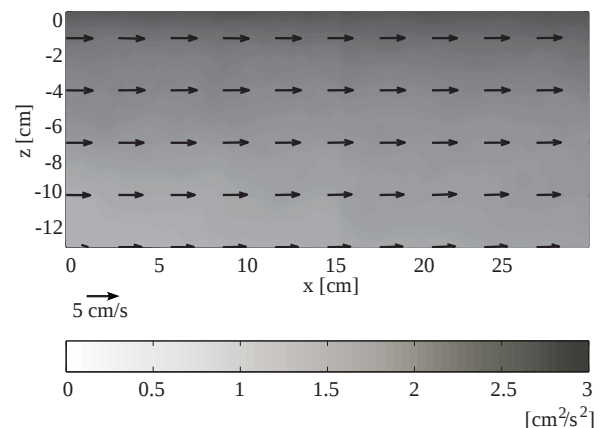


図1: 実験装置の概略

表1: 定常流と入射波の条件

No.	定常流速 U_1 [cm/s]	入射波周期 T_1 [s]	入射波高 H_1 [cm]
1	0.0	0.8	1.0
2	5.0	1.6	2.0
3	10.0	2.0	3.0
4	15.0	2.4	
5	20.0		

図2: 波高の空間変化 ($U_1=10$ [cm/s], $T_1=1.6$ [s])図3: 波高の増幅率と定常流速の関係 ($T_1=1.6$ [s])図4: 時間平均流速ベクトルと乱流エネルギーの分布 ($U_1=5$ [cm/s], $T_1=1.6$ [s])