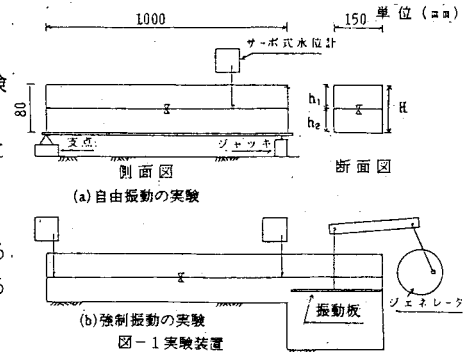


二層系界面波と水路境界との相互作用

神戸大学工学部 正 員 道奥 康治
 (株)間 組 正 員 鳥山 孝治
 神戸大学大学院 学生員 ○長谷川 憲孝

1. まえがき : 河川感潮部・湖沼・貯水池内の密度成層場においては潮汐変動, 風応力, 熱収支量の空間的・時間的不均一性, 気圧変化等様々な外力要因によって内部振動現象が生起する。底面粗度と躍層界面変動との相互干渉によって生じる境界混合や感潮部の底質輸送過程におよぼす内部振動現象の役割は重要である。本研究は壁面に粗度を配した実験水路内に二層系界面波を生起させ, 内部波動におよぼす境界粗度の摩擦効果を実験的・理論的に検討したものである。

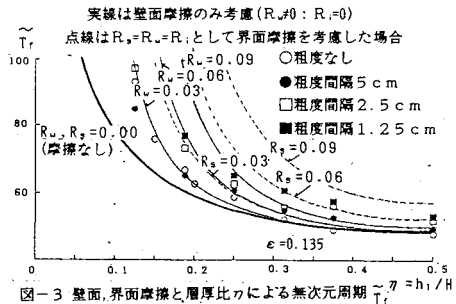
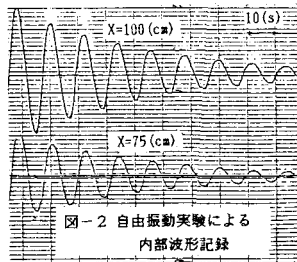
2. 実験方法 : 実験は図-1に示すように幅15cm, 長さ100cm, 高さ8cmの水路を用いて「水-テレピン油」の二層を形成させ行う。内部境界面の波形はサーボ式水位計で検出し, ペンレコーダーに記録する。自由振動は図-1(a)のように水路端を油圧ジャッキで持ち上げ, 静かにおろすことによって生起させる。強制振動は縦50cm, 横50cm, 高さ50cmのポケット部を水路端に接続し, 起振機によって所定周期の界面変動を水路端で与えることによって生起させる。粗度要素として水路側壁部に5mm×5mmの正方断面を有する塩化ビニル棒をはりつける。粗度間隔は5cm, 2.5cm, 1.25cmの3ケースとする。



3. 摩擦の評価方法 : 二層系における微小振幅内部長波の基礎方程式において, 水路壁面と内部界面での摩擦応力をLorentzの導いた摩擦係数により評価する。線形化された摩擦係数を角周波数で除し, 摩擦効果を表す係数を定義する。ここで壁面摩擦に関するパラメータを R_w , 界面摩擦を表すパラメータを R_i とする。なお, R_w と R_i の大きさは具体的には不明であるが, 仮に両者の摩擦効果が等しいとにおいて双方を考慮した場合の係数を $R_w=R_i=R_s$ とする。

4. 自由振動特性 :

図-2に示す内部波形記録より周期 T_i と減衰係数 α を読みとる。図-3に無次元周期 $\tilde{T}_i$ と無次元上層水深 $\eta = h_1/H$ (h_1 : 上層水深, H : 全水深)との関係を示す。実験結果は粗度要素により記号を分類している。理論値として, ①



$R_i=0$ として壁面摩擦のみ考慮し, R_w をパラメータとした場合(実線), および②上記のように界面摩擦を近似的に考慮して R_s をパラメータとした場合(点線)を各々示す。 R_w, R_s の値は理論値が実験にほぼ適合するように変化させている。粗度間隔が小さく壁面粗度が大きいほど, 実験値は摩擦を考慮しない場合の理論曲

線(図中太線)から離れて大きくなり、この傾向は水深比 η が小さくなるほど大きくなっている。摩擦を考慮した一連の理論曲線はこの傾向を定性的には概ね説明している。同様に縦

図-4 壁面摩擦と層厚比 η による波速の減衰

実線は壁面摩擦のみ考慮($R_w \neq 0, R_b = 0$)
点線は $R_w = R_b = R_i$ として界面摩擦を考慮した場合

(摩擦なし) $R_w, R_b = 0.00$
 $R_w = 0.03$
 $R_w = 0.06$
 $R_w = 0.09$
 $R_b = 0.03$
 $R_b = 0.06$
 $R_b = 0.09$

$\tilde{c}_0$
 $\eta = h_1/H$
 $e = 0.135$
 粗度間隔 5 cm
 粗度間隔 2.5 cm
 粗度間隔 1.25 cm

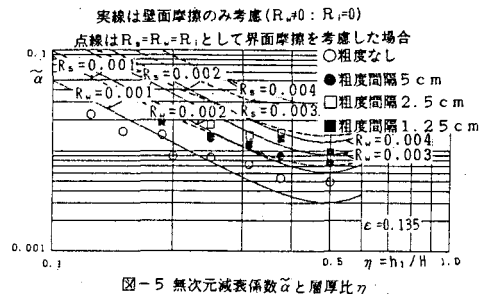


図-5 無次元減衰係数 $\tilde{\alpha}$ と層厚比 η

軸に摩擦を考慮した場合の波速 $\tilde{c}$ と摩擦を考慮しない場合の波速 $\tilde{c}_0$ の比 $\tilde{c}/\tilde{c}_0$ と η の関係を実験値とともに図-4にプロットする。波高の減衰係数 α に無次元化を施して $\tilde{\alpha}$ とし、水深比 η との関係を理論値・実験値について示すと図-5のようになる。この場合実験値に適合すべき R_w, R_b の値は図-3における周期の場合に得られた R_w, R_b の値に比してかなり小さい。このことを明確に見るために無次元周期 $\tilde{T}_r$ と無次元減衰係数 $\tilde{\alpha}$ との関係を水深比 η をパラメータとして図-6に示す。理論値は周期を過小評価している。このことは本解析のように摩擦力を線形近似すること起因していると推察される。

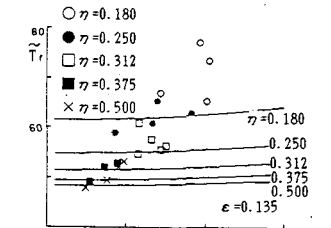


図-6 無次元減衰係数 $\tilde{\alpha}$ と無次元周期 $\tilde{T}_r$ による層厚比 η の分類

5. 強制振動に対する内部応答特性： 実験データより波数を求め、縦軸に無次元波数 $\tilde{k}$ 、横軸に自由振動周期 T_f を強制振動周期 T_e で除した $\nu = T_f/T_e$ をとり、実験値とともに示すと図-7のようになる。粗度間隔によらず摩擦効果を考慮しない場合の理論値(実線)とよく照合し、波数に関しては摩擦の影響はみられない。図-8は縦軸に湾奥部($x = \ell$)での振幅 $\eta_0(\ell)$ を入口での界面変位 z で除した無次元振幅 $\tilde{\eta}_0(\tilde{x}) = \eta_0(\ell)/z$ をとり、横軸に ν をとった場合の応答曲線である。実線は摩擦を考慮しない場合の理論値であるが、特に共振周期近傍において実験値は摩擦の影響が顕著に表れ波高が減衰している。 ν にともなう強制振動波形の変化を図-9に例示する。縦軸は波形を入口での振幅 z により無次元化したもの、横軸は無次元水路長 x/ℓ で、粗度要素を設置しない場合の実験値を示している。

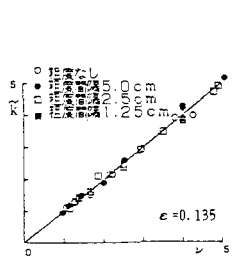


図-7 周期比 $\nu = T_f/T_e$ と波数 $\tilde{k}$ の関係(強制振動)

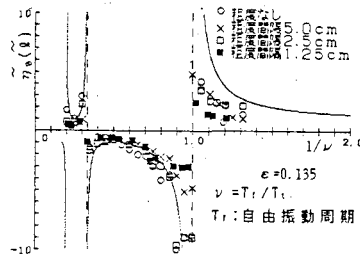


図-8 強制振動による応答曲線

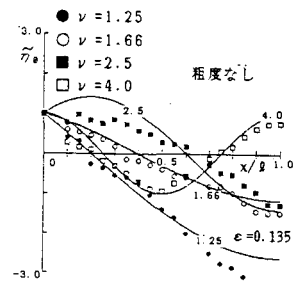


図-9 ν にともなう強制振動波形の変化(実線は摩擦を無視した場合)

6. あとがき： 内部変動周期や内部応答変位におよぼす壁面粗度の影響が定性的に明らかにされた。しかし摩擦効果を定量評価するためには振動流場における実用的な摩擦法則を確立するとともに壁面摩擦力と内部界面摩擦力とを分離するための合理的方法を講じなければならない。