

II-19

波動場中の円柱に働く流体力に関する2、3の検討

北見工業大学工学部 学生員 奥村 慎也
北見工業大学工学部 正員 佐藤 幸雄

1. まえがき

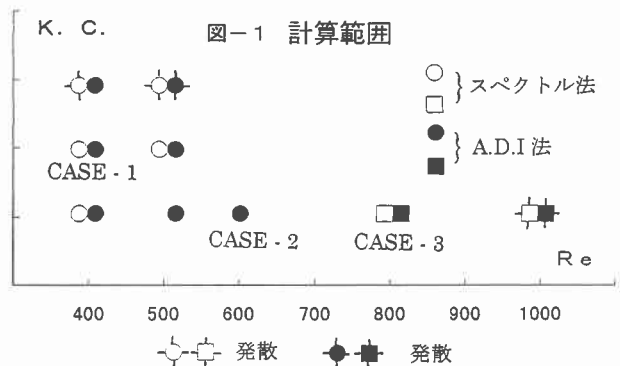
波動場中の円柱に働く流体力に関しては、今までに、レイノルズ数 Re が小さい $Re < 400$ の場合では $K.C.$ 数が $2.0 < K.C. < 4 \sim 12$ 程度について、奥村・佐藤(1996)によってスペクトル法による計算が行われ、計算の可能な範囲で流体力が求められている。レイノルズ数が $400 < Re < 800$ で大きい場合は、水平振動流であれば $K.C.$ 数の大小にもよるがスペクトル法によりある程度計算は可能であるが、波動場の場合となるとスペクトル法では計算値が発散する 경우가多く難しい状況にある。このような Re が大きい場合に渡部ら(1995)は水平振動流を用いた砂漣上の流れ構造を A.D.I.法により計算し得ることを示しているため、波動場への A.D.I.法の適用を試みた。しかし、水平振動流の円柱に働く流体力の場合は $K.C.=2 \sim 3$ のとき $Re=3000$ 程度まで計算が可能；佐藤・渡部(1996)であるのに対し波動場では $Re=1000$ 程度が限界と考えられる；奥村・佐藤・渡部(1995)。このようなことから、波動場場合には $400 < Re < 1000$ の範囲の流体力について未だ明確な計算結果が得られていない。本研究ではスペクトル法および A.D.I.法を使用して $400 < Re < 1000$ の Re 数と計算可能な $K.C.$ 数に対する円柱に加わる流体力求め、スペクトル法と A.D.I.法の場合および波動場と水平振動流の場合の流体力について、また、円柱のまわりの流れ構造について比較検討を行った。

2. 計算条件

解析方法および計算方法などについては、1. まえがきで記述した各参考文献中に詳細に示されているため省略することとし、ここでは今回計算を行った計算範囲および計算結果などについて記述することとする。今回行った計算条件について図-1に $K.C.-Re$ の関係図で示した。また同様の計算条件を表にして表-1に示した。

図-1ではまず、 $Re=400$ の $K.C.=2 \sim 4$ まではスペクトル法 (○印) と A.D.I.法 (●印) のいずれも計算が可能であるが、 $K.C.=6$ になるとスペクトル法は計算が発散 (○印) するが A.D.I.法では計算可能である。 $Re=500$ の場合は $K.C.=6$ になるとスペクトル法 (○印) および A.D.I.法 (●印) のいずれも計算不可能である。

また、 $Re=800$ のときは、 $Re=400, 500$ の場合と同一の無次元波長 $L=2420$ の場合は $K.C.=4$ スペクトル法、A.D.I.法いずれも計算は発散する。そこで無次元波長を2倍の $L=4840$ に長くした場合、すなわち、より振動流に近い値を使用したときは $K.C.=2$ となるが、スペクトル法 (□印) と A.D.I.法 (■印) のいずれも計算が可能である。しかし、 $L=4840$ であっても $Re=1000$ になると ($K.C.=2$) スペクトル法



A few Examinations for Fluid Force acting around Circular Cylinder in Wave Field,
by Shinya OKUMURA and Yukio SATO.

表 - 1 計算条件

K. C.	Re	スペクトル法	A.D.I法	A	ν	無次元波長 L
2.0	400	○	●	0.596	0.0032	2420
4.0		○	●	1.193	0.0064	
6.0		発散	●	1.789	0.0096	
2.0	500	○	●	0.596	0.0025	2420
4.0		○	●	1.193	0.0051	
6.0		発散	発散	1.789	0.0076	
2.0	600		●	0.596	0.0021	2420
2.0	800	□	■	0.321	0.0016	4840
2.0	1000	発散	発散	0.321	0.0013	4840

(□印)とA.D.I法(■印)のいずれも発散することが分かった。これに対して水平振動流の場合は図-1に示すK.C.-Reの範囲内ではスペクトル法により充分計算が可能な範囲である。以上の事から波動場の場合スペクトル法に比べてA.D.I法の方が若干計算範囲は広がると思われるが、大略的には同程度の計算方法といえる。また、振動流に比べると波動場の方が発散しやすいといえるが、これは振動流の場合は流速が零の静止状態から計算を始めているのに対して波動場の場合は水平流速を零の状態から始めているとしても、鉛直方向流速は最大流速となっているため、最初の1/4周期、すなわち $t=2\pi \times 1/4$ の時点で大きな剥離が発生することが一因と考えられるが、この点は明確ではなく今後検討が必要と考えられる。

表 - 2 計算CASE

K. C.	Re	計算方法	CASE
4	400	スペクトル法	CASE - 1.1
4	400	A.D.I法	CASE - 1.2
4	400	振動流	CASE - 1.3
2	600	A.D.I法	CASE - 2.2
2	800	スペクトル法	CASE - 3.1
2	800	A.D.I法	CASE - 3.2
2	800	振動流	CASE - 3.3

図-1中のCASEについては計算CASEの中より特徴的な場合を選び波動場におけるスペクトル法とA.D.I法それに水平振動流のそれぞれの場合の渦度、流れ関数および流体力の時間変化を比較するために使用したCASEであり、表-2に示した通りのものである。

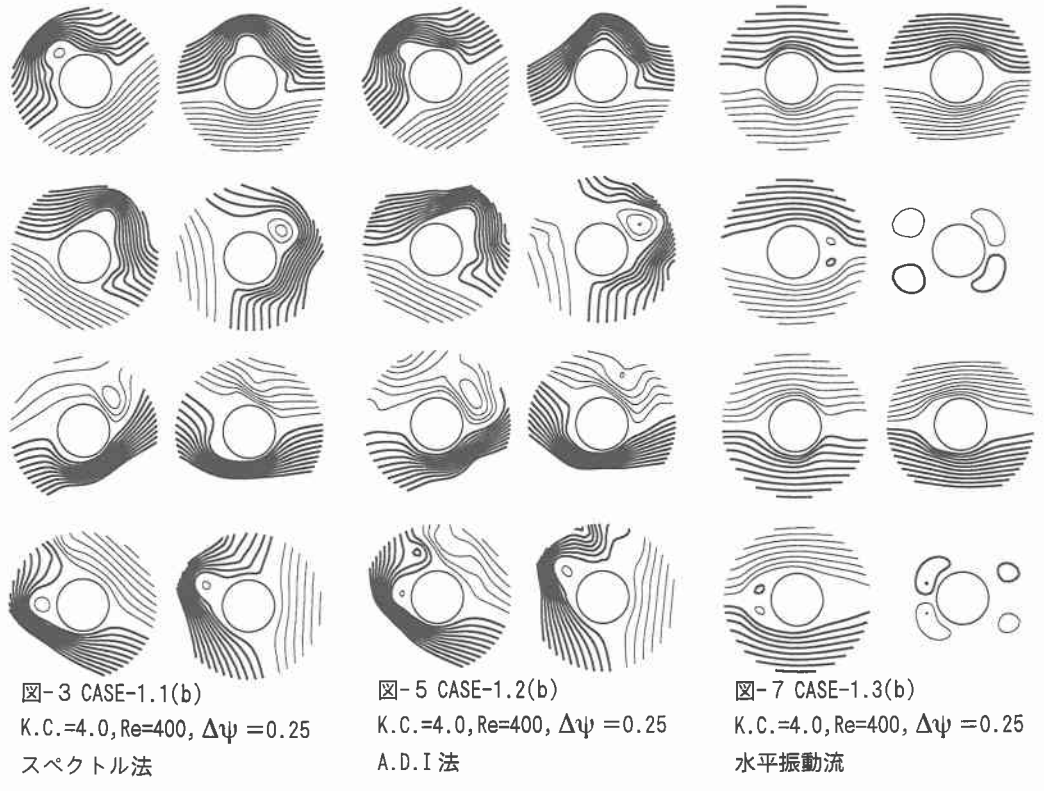
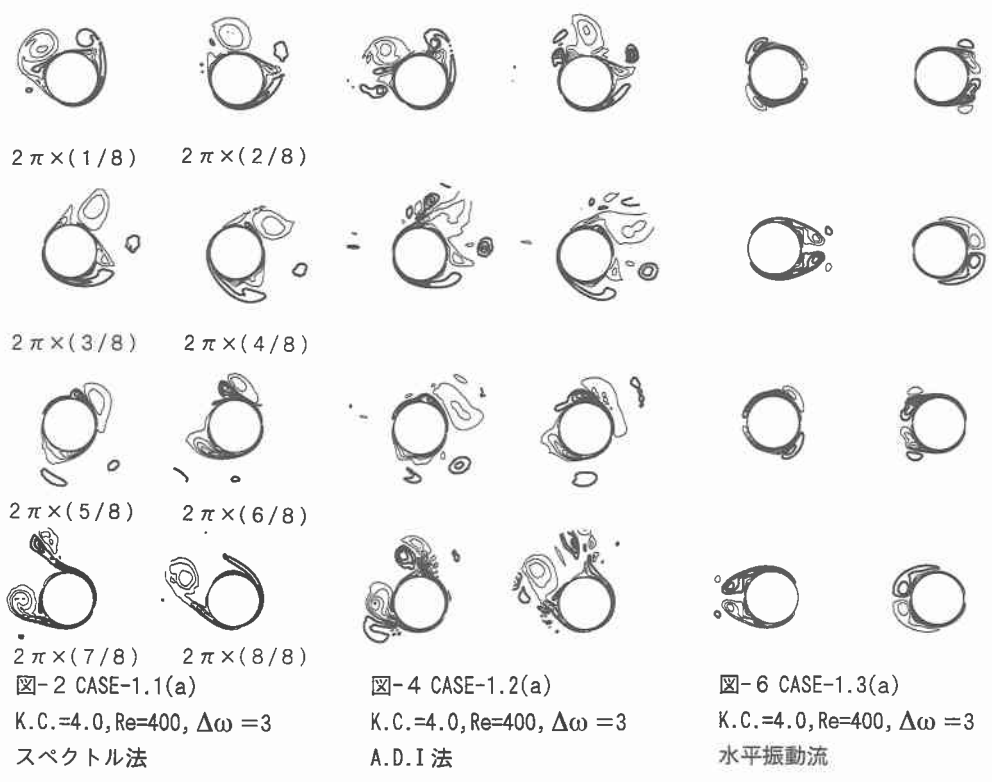
K.C.数およびReの式は波動場、振動流についてはそれぞれ以下のようなものである。

$$\begin{aligned}
 \text{波動場} ; \quad K.C. &= \pi A \frac{\cosh k(-d+h)}{\sinh kh} & K.C. &= \pi A \\
 Re &= \frac{2A \cosh k(-d+h)}{\nu \sinh kh} & \text{振動流} ; \quad Re &= \frac{2A}{\nu}
 \end{aligned}$$

ここで、各無次元量については、A；水平方向最大流速の振幅、 ν ；動粘性係数、h；水深、d；没水深、k；波数($k=2\pi/L$ 、L；波長)である。計算メッシュは θ 方向について、MM=64、 ζ 方向はNN=64で、計算周期はいずれも3周期までである。1周期間の計算ステップは $\Delta t=2\pi/NT$ 、NTはスペクトル方でNT=16000、A.D.I法でNT=4000である。A、 ν の値については表-1に示す通りである。

3. 計算結果と考察

図-2はK.C.=4、Re=400の場合のスペクトル法による渦度のContours図であり、図-4は同じ条件のA.D.I法を用いた渦度のContours図である。図-2に対応した流れ関数のContours図は図-3であり、図-4に対応したものは図-5に対応している。これらの図-2～図-5を比較すると大略的には渦度および流れ関数共に同様なContours図得られスペクトル法とA.D.I法の計算法は正しいと思われるが、流れ関数の場合はほぼ同様なContours図が得られるのに対し渦度のContours図は全く同じ図とはならずA.D.I法の場合にやや乱れが大きく生じているといえる。図-6は同じK.C.=4、Re=400の水平振動流の場合の渦度のContours図であり、波動場とは同一条件とはならないが、同程度の波動場と対比して見るために掲載したも



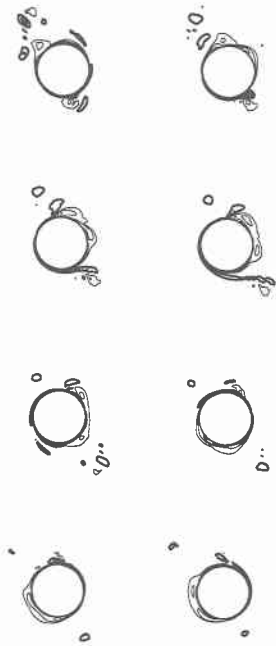
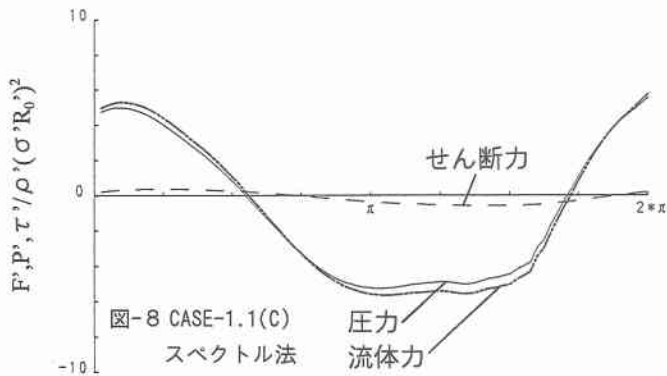


図-11 CASE-2.2(a)
K.C.=2.0, Re=600, $\Delta\omega = 3$
A.D.I法

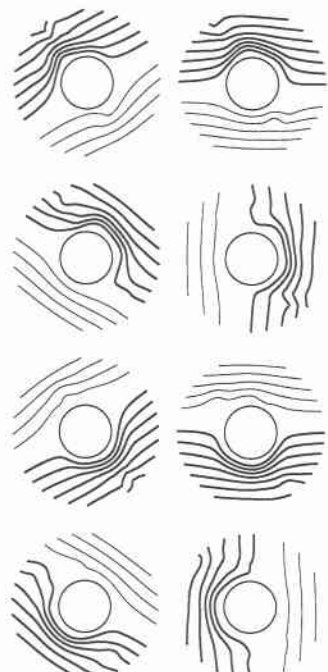
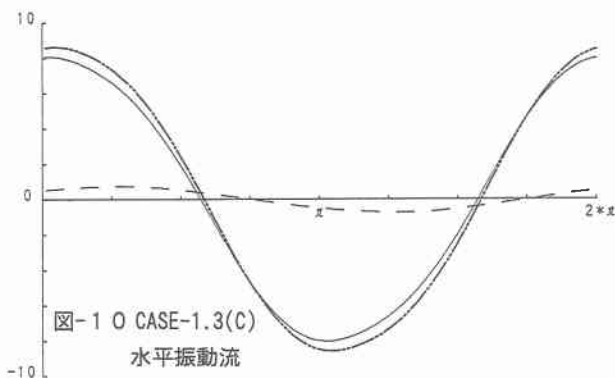
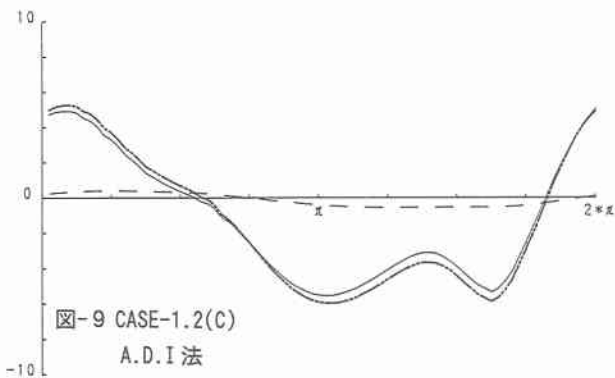
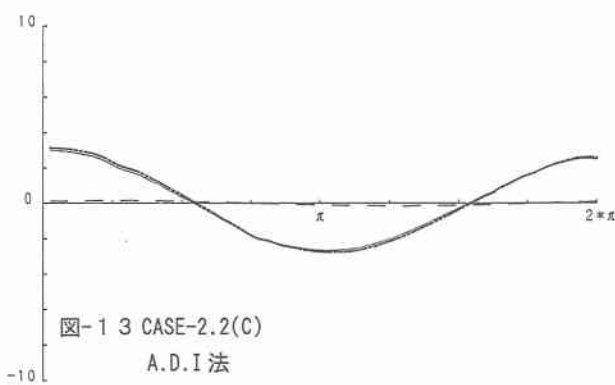


図-12 CASE-2.2(b)
K.C.=2.0, Re=600, $\Delta\psi = 0.25$
A.D.I法



のである。図-6に対する流れ関数の Contours 図は図-7である。水平振動流の場合はスペクトル法に基づくものであり、円柱表面に生じる剥離渦に乱れは発生しない状態といえる。また、水平振動流の場合でも A.D.I.法により計算したとき剥離渦に乱れが生じるが、その程度は波動場に比べて少ないことが確かめられていることを付記する。

つぎに、円柱表面に働く流体力について、スペクトル法、A.D.I.法および水平振動流の場合について対比してみると、それぞれ、図-8波動場（スペクトル法）、図-9（A.D.I.法）および図-10水平振動流の場合である。図-8のスペクトル法の負圧力の部分に対して図-9の A.D.I.法では剥離渦が複雑に発生することによる高周波成分が現れるが、流体力の最大値 F_{max} の値は正負共に $F_{max}=5$ 程度でスペクトル法、A.D.I.法のいずれの場合もほぼ等しい値となっている。図-10の水平振動流の場合は F_{max} の値は波動場の場合より大きく、 $F_{max}=8$ 程度で、これはポテンシャル流の $F_{max}=2 \times K.C.$ 数に等しい値となっている。

つぎに、 $Re=600$ については $K.C.=2$ で波動場の A.D.I.法の場合のみであるが、渦度、流れ関数の Contours 図を図-11、12に示し、流体力の時間変化をについては図-13に示した。図-11では A.D.I.法による場合がスペクトル法（図の掲載は無し）より剥離渦の発生がやや大きく現れると考えられる。しかし、流体力の時間変化では、 $K.C.$ 数が小さいこともあり高周波成分は現れずスペクトル法と同等と考えられる。また流体力の最大値 F_{max} についてもほぼ $K.C.$ 数に比例して小さくなっているといえる。

最後に、 $Re=800$ の場合についてみてみると、 $K.C.$ 数が小さい $K.C.=2$ のときであるが、CASE-1 ($Re=400$) の場合と同様に波動場（スペクトル法、A.D.I.法）および水平振動流の3 CASE について比較してみると、渦度については図-14、CASE-3.1(a)、図-15、CASE-3.2(a)、および図-16、CASE-3.3(a) ようになる。波動場の場合、図-14のスペクトル法では剥離渦は円柱の表面に極少々現れる状態であるが、これに対して図-15の A.D.I.法では円柱表面に比較的大きな渦の発生が見受けられる。また図-16の水平振動流の場合も A.D.I.法と同程度の剥離渦の発生が見られる。

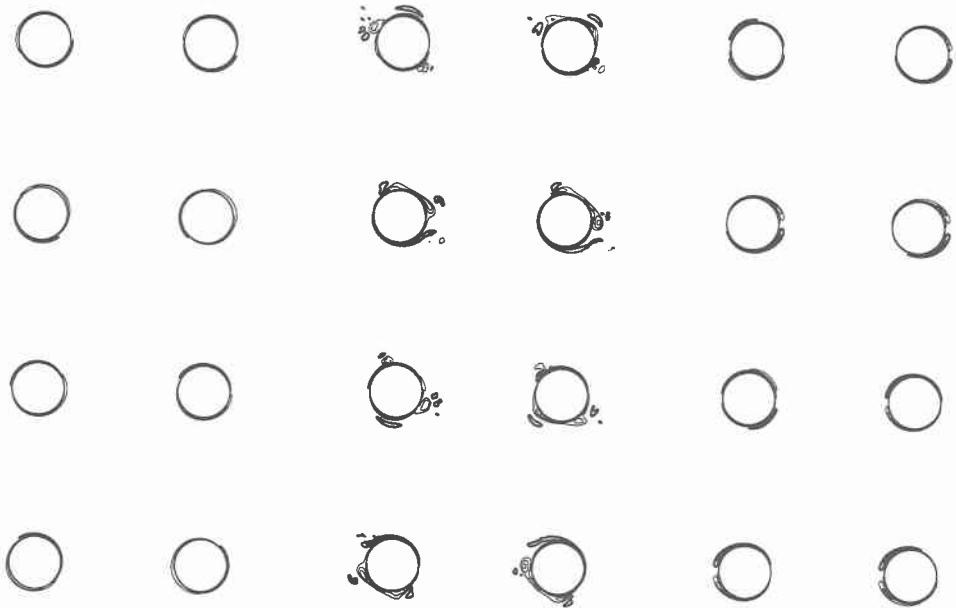
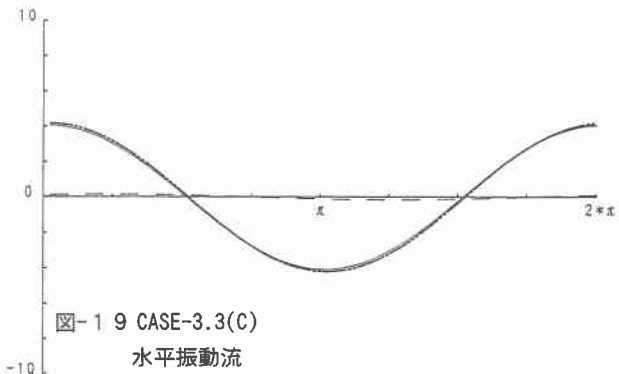
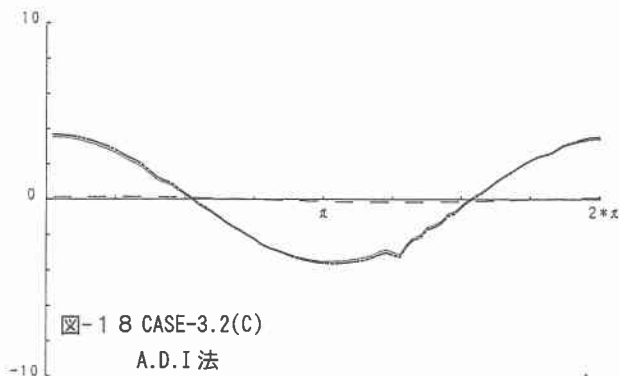
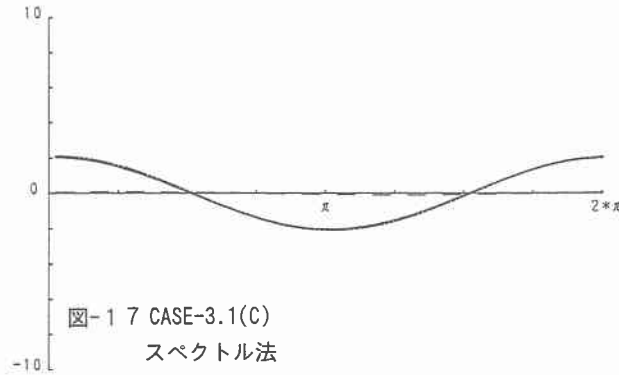


図-14 CASE-3.1(a)
 $K.C.=2.0, Re=800, \Delta\omega = 3$
 スペクトル法

図-15 CASE-3.2(a)
 $K.C.=2.0, Re=800, \Delta\omega = 3$
 A.D.I.法

図-16 CASE-3.3(a)
 $K.C.=2.0, Re=800, \Delta\omega = 3$
 水平振動流



これらの各 CASE について流体力（水平力）に時間変化を示したものが図-17、18および図-19である。図-17のスペクトル法では図-14の渦度の値を見て分かるように剥離渦の発生が小さいことから流体力は波動場におけるポテンシャルの圧力と同程度の値を示しているといえる。図-18のA.D.I法の場合は図-15に見られるように剥離渦が若干大きく現れるのが見られ、また乱れを伴っていることから流体力の時間変化曲線にも乱れの状況が見られる。この場合の流体力の最大値 F_{max} は $F_{max}=3.8$ 程度で図-17のスペクトル法の場合より若干大きい値を示すことが特徴的といえる。図-19の水平振動流場合、 $F_{max}=4.0$ 程度の値となり、ポテンシャル流と同等の値を示していることと、剥離渦の規模が同等のA.D.I法の場合と同様の値となっているといえる。

4. まとめ

波動場の場合スペクトル法とA.D.I法では同程度の $K.C-Re$ の計算範囲であり、流体力（水平力）については Re が小さいときはスペクトル法、A.D.I法は同程度の値となるが、 Re が大きくなると、A.D.I法の方が若干大きな値を示し振動流と同程度の値を示す。

振動流の場合、大きい Re に対する計算にA.D.I法は有効であるが波動場の場合は何らかの工夫が必要である。今後さらに検討する余地がある。

<参考文献>

- 1) 奥村慎也・佐藤幸雄（1996）；波動場における円柱に加わる流体力，
土木学会北海道支部論文報告集，第52(B) pp.280-285
- 2) Watanabe, Y・Saeki, H・Hamanaka, K（1995）；Numerical study on the energy loss and the waves attention over the rippled bed, Proc. of 15th Inter. off shore and polar eng. conf., Vol III, pp.64-69
- 3) 佐藤幸雄・渡部靖憲（1996）；水平振動流中の円柱の表面に剥離を伴う場合の流体力について，
海岸工学論文集，第43巻 pp.911-915
- 4) 奥村慎也・佐藤幸雄・渡部靖憲（1995）；波動場中の円柱のまわりの流れ構造について，
海岸工学論文集，第42巻 pp.831-835