

開水路流れに設置された円柱の振動特性について

今 本 博 健・武 山 正 人

ON THE VIBRATION CHARACTERISTICS OF CYLINDERS PLACED IN OPEN CHANNEL FLOWS

By *Hirotake* IMAMOTO and *Masato* TAKEYAMA

Synopsis

This paper deals with the vibration characteristics of hydraulic structures, using polycarbonate plastic cylinders placed in open channel flows for the first step of the whole research programs. The basic vibration characteristics of an isolated test cylinder by fluid forces, and the interaction effects of neighbouring cylinders to the vibration of the test cylinders are investigated.

The experimental results are as follows. 1) As the vibration phenomena are very important in this experimental conditions, it can not be treated the fluid forces only by the static approaches. 2) The interaction effects of neighbouring cylinders are much complicated, and it must be accounted of the fixing conditions of cylinders, in upper side or in lower side. 3) The dominant frequency of the drag direction is in accordance with the natural frequency of the test cylinder, but that of the lift direction is mainly controlled by the frequency of Karman vortex.

1. ま え が き

風力、波力あるいは流水による抵抗力などのいわゆる流体力に関する問題については、球あるいは円柱のまわりの流れについての研究に見られるように、古くから多くの秀れた研究がなされており、流体力学における基礎的分野を形成するに至っている。しかしながら、構造物に作用する流体力に関する従来の取り扱いにおいては、多くの場合構造物を剛体と仮定しており、振動現象の動的特性を把握しようとするものはきわめて少ない。また、流体力の解明においても静的ないしは平均的特性に主眼がおかれており、動的現象としての取り扱いが行なわれるようになったのはごく最近にすぎない。

本研究は、構造物に作用する流体力を解明するための第一段階として、開水路流れに設置された円柱に作用する流体力を取り上げ、以下に述べる2つの事項に重点をおくことにより流体力の動的現象としての把握に努めようとするものである。

1) 開水路流れに設置された円柱の振動特性に及ぼす固定位置の影響を明らかにするため、同一水理条件のもとで、上端固定円柱および下端固定円柱のそれぞれについてその振動現象を実測し、振動特性の差異について明らかにする。

2) 流れの中に数本の円柱が設置されている場合、すなわち円柱群においては、円柱間の相互干渉の効果により孤立円柱の場合に比しかなり異なった振動性状を示すものと考えられるが、本研究においては、2本あるいは3本の円柱を用い種々の相対位置における振動性状を実測し、その効果について明らかにする。

2. 実験装置および方法

2-1 実験装置

本研究に用いた実験水路は、幅 50 cm、深さ 33 cm、長さ 17 m の合成樹脂製直線水路であって、路床こう配は $\pm 1/10$ の間で任意に変化させることができるが、本実験においては水平状態において実験することとした。

実験用円柱の材質としては、種々の材質について検討した結果、弾性係数および応力-ひずみ履歴特性よりポリカーボネイト樹脂（弾性係数 $\approx 3 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 ≈ 0.32 ）を採用することにした。ポリカーボネイト樹脂は、弾性係数に関してはアクリル樹脂と大差ないが、応力-ひずみ関係、とくに残留ひずみが少ない点において秀れており、本実験における実験用円柱の材質としてはエポキシ樹脂とともに適したものであると考えられる。

実験用円柱は直径 1 cm、長さ 33 cm であって、円柱を鉛直に立てた場合の上端を固定するものと、下端を固定するものの2種の円柱を用いた。上端あるいは下端の固定については、完全固定の条件が満足されるようにとくに注意して行なった。

円柱の振動計測法としては、従来より各種の方法が提案されているが、本実験においては振動系をできるだけ単純化するようストレインゲージを実験用円柱に直接接着させる方法を用いることにした。ストレインゲージは上端および下端固定円柱のそれぞれについて、固定端より 20 mm の位置に流れ方向およびそれに垂直な方向に1枚ずつ接着されている。下端固定円柱ではゲージが水中に設置されるようになるため、とくに防水処理を慎重に行なった。

円柱の振動に関する計測システムのブロックダイアグラムを Fig. 2-1 に示す。この図に見られるように、流体力による円柱のひずみは、ストレインゲージによって取り出され、ストレインメーターによって増幅されたのち、磁気テープレコーダーによって記録される。磁気テープレコーダーを再生させ、ペン書きレコーダーによって記録紙上に書かせた記録より手動サンプリングすることにより、平均ひずみ量、変動ひずみ量の振幅特性、卓越周波数の計算を行なった。さらに、周波数分析器を用いてスペクトル解析を行なうとともに、これより卓越振動数を求めた。

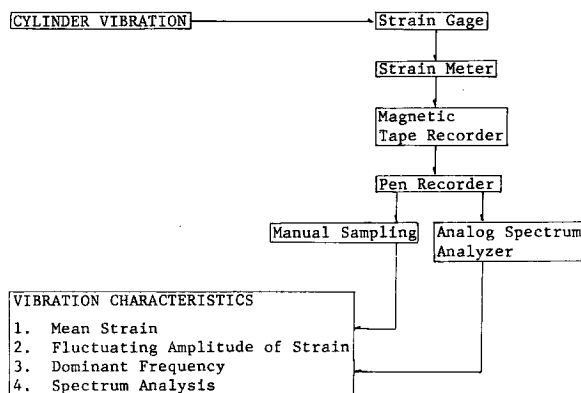


Fig. 2-1 The block diagram of the measurement system for cylinder vibration.

なお、水深の計測は 1/10 mm 読みのポイントゲージにより、また局所的平均流速の計測は外径 6 mm の標準型ビトー管により行なった。また、流量は水路下流端に設けられた四角ぜきを用いて測定した。

2-2 実験方法

実験水路の路床こう配を測定用レベルを用いて水平に設定するとともに、上端固定用円柱および下端固定

用円柱をそれぞれ円柱の軸が鉛直になるように所定の位置に設置した。

実験開始前に本実験装置の検定をするため、円柱の固定端より 15 cm の点に種々の荷重を流れ方向、および流れ方向に垂直かつ水平方向（横方向）に加え、ゲージの接着位置が正確に設置されていることを確かめるとともに、応力—ひずみ関係を示す検定曲線を得た。本検定の結果、下端固定円柱の横方向のひずみ測定用のゲージは極力正確な位置に接着するよう注意したにもかかわらず、若干偏って接着されていることがわかったが、実験に支障をきたすほどではなかった。

つぎに、実験用円柱の動的特性を調べるため、円柱の自由端に若干の衝撃を与えた場合の振動特性を計測し、円柱の固有振動数および減衰係数の測定を行なった。同様の計測を水深 30 cm の静水中で繰り返し、水中での固有振動数および減衰係数の測定を行なった。

流れの中に数本の円柱が設置されている場合、円柱の振動性状は円柱相互間の干渉効果を受けると考えられる。このような現象を明らかにするため、Fig. 2-2 に示されるように、振動測定用円柱の周辺に 1 本あるいは 2 本の円柱を設置し、その効果を実験的に解明しようとした。Fig. 2-2 において、流れ方向の円柱間隔 l は測定用円柱を基準点とし流れ方向を正にとったときの距離であり、また横方向の円柱間隔 r は近接用円柱間の横方向の距離を表わす。したがって、 $r=0$ は近接用円柱が 1 本であることを意味し、流れ方向の同一軸上に近接用円柱および計測用円柱の 2 本の円柱が設置されている場合を表わし、 $r=l=0$ は孤立円柱の場合を表わすことになる。

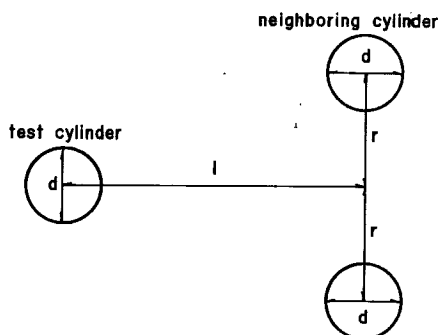


Fig. 2-2 The arrangement of cylinder.

Table 2-1 Hydraulic conditions for 3 experimental cases.

Case	Discharge (l/sec)	Water depth (cm)	Water temperature (°C)	Eddy viscosity (cm ² /sec)	Reynolds number $Re=UH/\nu$	Fround number $Fr=U/\sqrt{gH}$	Mean velocity (cm/sec)
1	54.5	30.0	11.6	1.250×10^{-2}	8.71×10^4	0.212	36.3
2	46.2	30.0	11.6	1.250×10^{-2}	7.39×10^4	0.180	30.8
3	35.7	30.0	11.6	1.250×10^{-2}	5.71×10^4	0.139	23.8

実験の概要はつぎの通りである。すなわち、流量 $Q=54.5$ l/sec に保ち、 $r/d=0, 3, 5$ の 3 ケースについて、それぞれ $l/d=-30, -20, -15, -10, -6, -3, 0, 3, 6, 10$ の 10 通り、合計 30 通りの組み合わせのもとでひずみ量の測定を行なった。孤立円柱に対しては、上記の水理条件の他に 2 種の水理条件のもとで実験を行なったが、各ケースにおける水理条件を Table 2-1 に示す。

3. 実験結果および考察

3-1 実験用円柱の動的特性

すでに述べたように実験用円柱はポリカーボネイト樹脂製であって、上端固定円柱および下端固定円柱と

も直径および長さはそれぞれ 1 cm および 33 cm であるが、実験用円柱の動的特性を明らかにするため、実験用円柱を流体力による振動現象計測時と同一の条件で固定し、空中ならびに水深 30 cm の静水中において固有振動数および減衰係数について自由振動の減衰特性より実験的に求めた。すなわち、円柱に一定量の外力を加え、この外力を急に取り除くと円柱は自由振動を開始するが、周囲の流体との粘性あるいは円柱固有の構造粘性などの効果により振動は減衰される。このような自由振動を円柱の固定端近傍に接着されたストレングージにより計測する場合、時間 t_0 におけるひずみ量を S_0 とすると t 時間後のひずみ量 $S(t)$ は次式によって表わされる。

$$S(t) = S_0 e^{-\alpha t} \cos 2\pi f_N t \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに、 f_N は円柱の固有振動数、 α は減衰係数である。

自由振動の減衰特性に関する計測結果の一例を Fig. 3-1 に示す。Fig. 3-1 を用いて卓越振動数および振幅の減衰率を読み取ることにより、固有振動数および減衰係数は容易に測定することができる。上端固定円柱および下端固定円柱の空中および水中におけるこれらの測定結果は Table 3-1 に示される通りである。

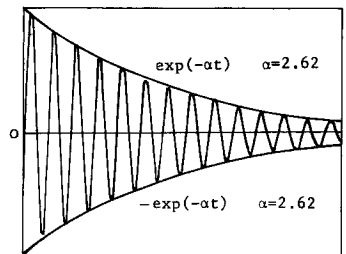


Fig. 3-1 An example for damping vibration of cylinder.

Table 3-1 Natural frequency and damping coefficient.

Fixed point of test cylinder	Natural frequency			Damping coefficient		
	in air (f_{NA})	in water (f_{NW})	ratio (f_{NW}/f_{NA})	in air (α_A)	in water (α_W)	ratio (α_W/α_A)
Upper Side	19.3 cps	14.2 cps	0.736	1.25 sec ⁻¹	2.60 sec ⁻¹	2.08
Lower Side	20.1	16.5	0.821	1.70	2.32	1.36

Table 3-1 に見られるように、実験用円柱が水中に設置された場合、上端固定円柱および下端固定円柱のいずれにおいても、空中に設置された場合と比較して、固有振動数が減少するとともに減衰係数は増加する傾向が見られる。この傾向は、実験用円柱が水中に設置された場合における相対加速度運動に伴う仮想質量が空中に設置された場合に比し大きくなること、ならびに水の粘性係数が空気粘性係数に比しはるかに大きいことより当然の結果と考えられる。また、本実験で用いられた上端固定円柱および下端固定円柱における固有振動数ならびに減衰係数を比較すると、空中に設置された場合においても、これらはいずれも異なった値を示しているが、この原因としては主として実験用円柱の材質の不均一性によるものと考えられる。また、上端固定円柱と下端固定円柱とについて、空中に設置された場合と水中に設置された場合との固有振動数比 (f_{NW}/f_{NA}) および減衰係数比 (α_W/α_A) を比較すると、前者については下端固定円柱、後者については上端固定円柱の方が大きくなっているが、本実験装置においては水の粘性による減衰力のモーメントあるいは仮想質量の大きさが、上端固定円柱では固定点が水面上 3 cm にあることから両者の間では異なったものとなり、上端固定円柱への効果が著しいためと考えられる。

3-2 平均流速分布

一般に、円柱の軸方向に流速こう配が存在する場合、円柱前面のよどみ線 (stagnation line) に沿って圧力こう配が生じ、流速の小さい方向への流れが生じるとともに、後流域においては接近流速が大きいほど圧力が小さくなり、流速の大きい方向への流れが生じる (Fig. 3-2)。このため流速の大きい点では、よどみ点における圧力低下および後流における圧力上昇が生じ、抗力の減少をもたらす、逆に、流速の小さい点では抗力の増大をもたらす。したがって、流速こう配のある場合、局所的抗力係数は一様流れの場合に比し流速の大きい点で減少し、流速の小さい点では逆に増加することになる。

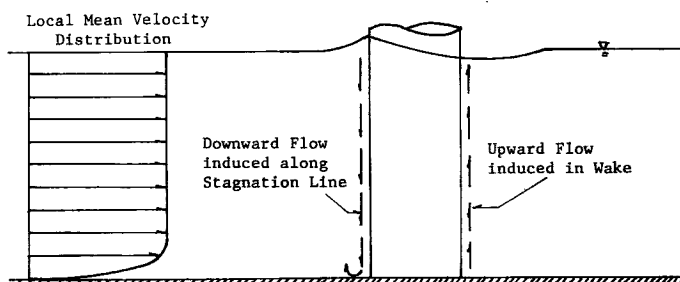


Fig. 3-2 Flow caused by pressure difference in the case of the presence of local mean velocity component.

Masch¹⁾ (1960) はこのような抗力係数におよぼす流速こう配の影響について研究し、抗力係数 C_D は Reynolds 数、物体の形状、流速こう配、ならびに円柱の細長比 (aspect ratio) の関数として表わされなければならないとしている。すなわち、

$$C_D = \frac{D}{\frac{\rho}{2} U^2 A} = \phi \left(Re, form, \frac{\Delta \bar{u}}{\Delta z} \frac{d}{U}, \frac{d}{y_0} \right) \dots \dots \dots (3.2)$$

ここに、 U は平均流速、 $\bar{u}$ は局所的平均流速、 d は円柱の直径、 y_0 は円柱の長さである。

通常の開水路流れにおいては、路床近傍を除いて流速こう配は一般に小さいが、流速こう配の影響を明ら

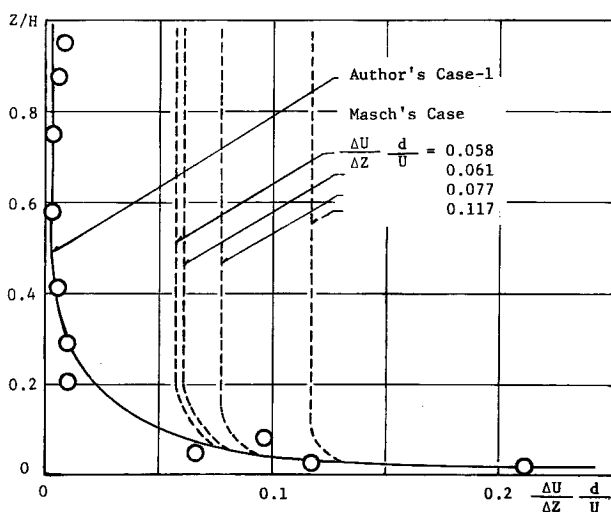


Fig. 3-3 Relative velocity gradient.

かにするため、本実験における局所平均流速分布の測定結果より $\Delta \bar{u} / \Delta z \cdot d / U$ を計算すると Fig. 3-3 のようになる。Masch の実験における $\Delta \bar{u} / \Delta z \cdot d / U$ は 0.058~0.117 であるのに対し、本実験においては路床近傍を除いて 0.005 程度であって、流速こう配の影響もかなり小さいものと考えられる。

3-3 孤立円柱の振動特性

本実験においては、流体力による上端固定円柱の流れ方向のひずみ量 (USD) および横方向のひずみ量 (USL)、下端固定円柱の流れ方向のひずみ量 (LSD) および横方向のひずみ量 (LSL) の測定を行なった。測定結果の一例を Fig. 3-4 に示す。Fig. 3-4 に見られるように、時間 t におけるひずみ量 $S(t)$ は、概略的に低周波数の変動成分 $S_l(t)$ と高周波数の変動成分 $S_h(t)$ の2成分より構成されると見なすことができる。すなわち、

$$S(t) = S_l(t) + S_h(t) \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$S_h(t)$ は $S_l(t)$ のまわりの変動成分であって $\overline{S_h(t)} = 0$ となり、卓越周波数を f_0 とすると、

$$S_h(t) = S_a(t) \sin 2\pi f_0 t \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

と表わすことができる。また、横方向の振動については幾何的相似性より、

$$(S_l)_{lateral} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

と考えられる。

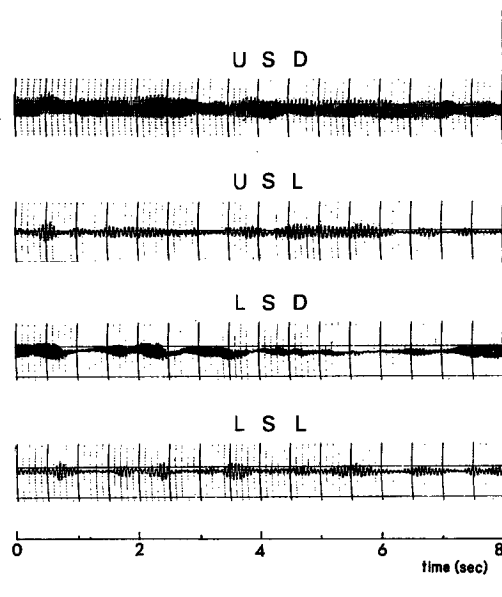
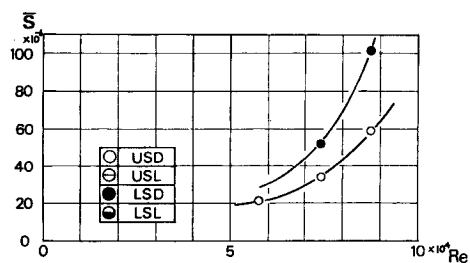


Fig. 3-4 The vibration of isolated cylinder.

本研究においては、USD, USL, LSD, LSL の4種のひずみ量の測定結果より、それぞれ、 $\overline{S(t)} = \overline{S_l(t)}$, $S_a(t)$ および f_0 についての解析を行なった。なお、データの読み取りは 0.4 秒ごと (2.5 cps) に 40 秒間にわたる 100 個について行なった。解析結果を Figs. 3-5 および 3-6, ならびに Table 3-2 によって示す。Table 3-2 において a は振動記録の読み取り値を表わし、検定曲線によりひずみ量に変換したものである。これらの解析結果に見られるように、平均ひずみ量 $\bar{S}$ は Reynolds 数が増加するにしたがって大きくなるが、横方向の平均ひずみ量は (3.5) 式に示されるように 0 となると考えられるのに対し、とくに下端固定円柱ではかなり大きなひずみ量がでている。これは実験用円柱自体の不均一性および円柱の固定法などに問題点があることのほか、とくにストレインゲンの接着位置の不正確さが大きな原因となっている。

Table 3-2 The vibration characteristics of isolated cylinder.

	Case	USD	USL	LSD	LSL
$\bar{S}$	1	59.1×10^{-6}	3.61×10^{-6}	102.0×10^{-6}	35.6×10^{-6}
	2	34.3	5.93	51.7	17.8
	3	20.7	2.49	—	19.1
$\bar{a}$	1	8.473	4.752	5.226	3.943
	2	8.993	2.181	26.080	4.569
	3	7.395	2.654	—	1.961
$\bar{S}_a$	1	338.9×10^{-6}	171.1×10^{-6}	80.48×10^{-6}	60.33×10^{-6}
	2	348.0	85.06	430.32	77.67
	3	88.0	33.18	—	8.83
$\sqrt{\bar{a}^2}$	1	1.884	2.278	2.358	2.018
	2	1.050	0.725	1.474	1.118
	3	5.558	1.613	—	0.714
$\sqrt{\bar{S}_a^2}$	1	75.36×10^{-6}	81.99×10^{-6}	36.31×10^{-6}	30.87×10^{-6}
	2	40.65	28.27	24.33	19.00
	3	66.14	20.16	—	3.21
Dominant frequency (cps)	1	15.5	7.7	17.3	8.5
	2	15.0	14.7	16.8	16.8
	3	14.1	14.3	—	16.5(5.0)
Natural frequency (cps)	in Air	14.2		16.5	
	in Water	19.3		20.1	
Strouhal number $St = \frac{fD}{U}$	1	0.427	0.212	0.477	0.234
	2	0.487	0.477	0.545	0.545
	3	0.592	0.601	—	0.693(0.210)


 Fig. 3-5 The relation between $\bar{S}$ of isolated cylinder and Reynolds numbers.

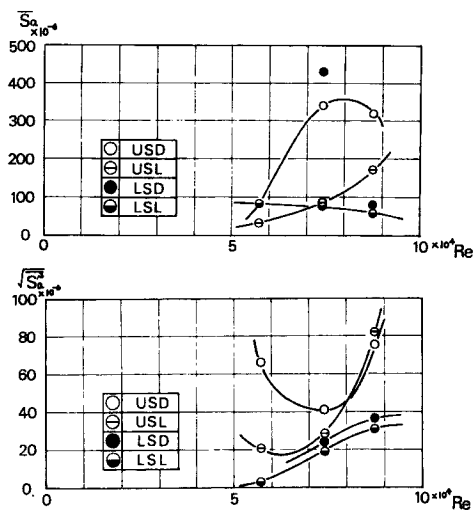


Fig. 3-6 The relation between $\bar{S}_a$ or $\sqrt{\bar{S}_a^2}$ of isolated cylinder and Reynolds numbers.

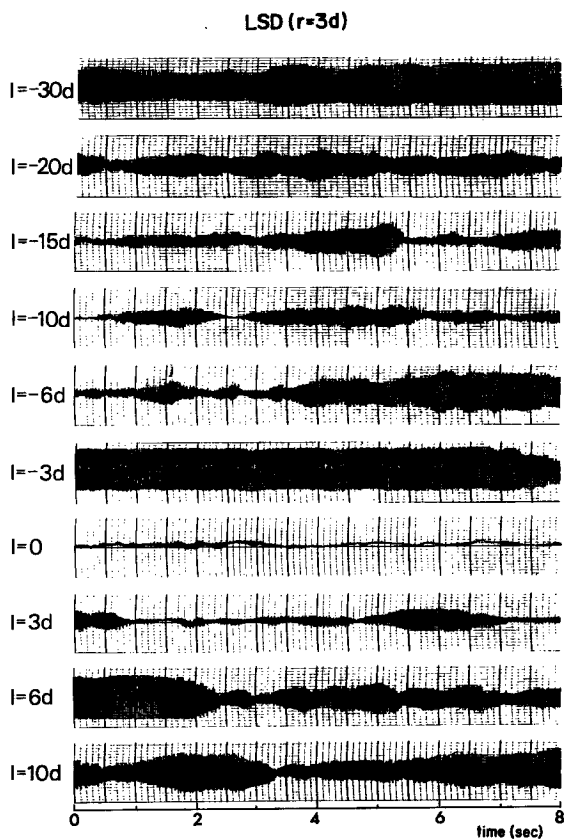


Fig. 3-7 The vibration of test cylinder affected by neighboring cylinders.

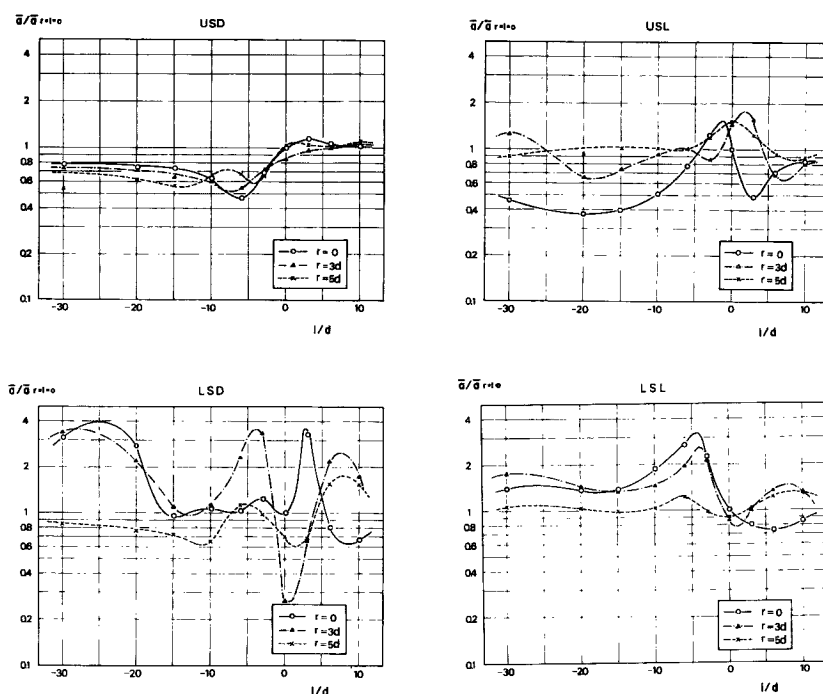


Fig. 3-8 The relation between $\bar{a}/\bar{a}_{\tau=L=0}$ of test cylinder with neighboring cylinders and l/d .

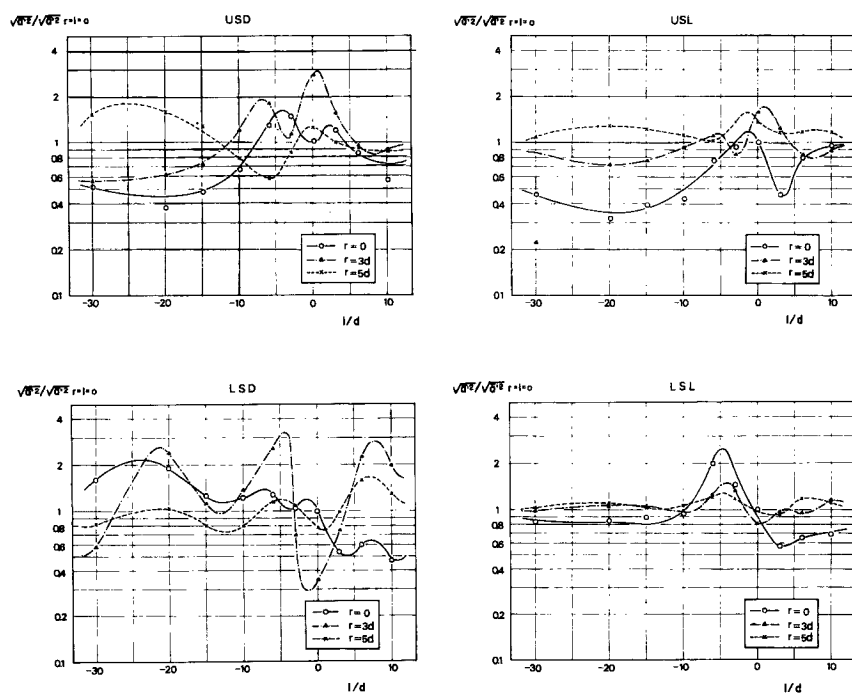


Fig. 3-9 The relation between $\sqrt{\bar{a}}/\sqrt{\bar{a}_{\tau=L=0}}$ of test cylinder with neighboring cylinders and l/d .

ものと考えられる。また、 $\bar{S}_a$ は Reynolds 数によって複雑に変化しており、平均ひずみ量 $\bar{S}$ に比しはるかに大きく、円柱の振動現象を平均量のみで取り扱うことの危険性を示しており、今後の重要な研究課題になることと考えられる。

つぎに、卓越周波数について考えると、Table 3-2 に示されるように上端固定円柱、下端固定円柱ともに流れ方向の振動については、円柱の水中における固有振動数に近い値であるのに対し、横方向の卓越周波数は case 1 以外では、固有振動数に近く、case 1 ではかなり低い値を示している。これらの周波数を用いて Strouhal 数を計算すると Table 3-2 に示すようになる。従来の研究によると、円柱後流域に発生するカルマン渦に関する Strouhal 数は、Reynolds 数が $10^3 \sim 10^5$ の範囲では $0.16 \sim 0.20$ となっているが、本実験における case 1 の横方向の振動に関する Strouhal 数はこの値に近く、case 1 では安定したカルマン渦列が発生していると考えられる。なお、Table 3-2 の LSL に関する () 内の値は 2 次の卓越周波数に関するものである。

3-4 円柱群における相互干渉効果

流れのなかに多数の円柱が設置されている場合、ある円柱より発生した渦が他の円柱への流体力に大きな影響を与えるということは十分に予想されることであるが、この問題に関する研究は比較的最近に始められたばかりである。Laird et al.²⁾ (1960) は静水中において上端固定円柱を動かした場合の抗力の特性について研究し、上流側円柱の後流による流体力の変化について実験的検討を加えているが、Laird らによる実験は、本質的には静的なものであって、平均抗力における上流側近接円柱の効果について考察しているのみで、振動現象を対象としていない。

本研究においては、孤立円柱の振動特性に関する実験結果より、全流体力における変動成分の大きさに着目し、主として振動現象における円柱群の効果を対象とした。

Fig. 3-7 は種々の円柱位置の組み合わせにおけるひずみ変動量の測定結果を示したものである。以下においては簡単のため S_a を単に a と表わすこととする。これらの測定結果より円柱の相対位置における $\bar{a}$ と孤立円柱における $\bar{a}$ との比 $\bar{a}/\bar{a}_{r=l=0}$ および変動量の比 $\bar{a}^2/\bar{a}_{r=l=0}^2$ との関係を Figs. 3-8 および 3-9 に示す。これらの図より上端固定円柱の流れ方向のひずみ量の振幅平均は近接用円柱が上流側にある場合、孤立円柱の場合に比し若干小さくなるのに対し、下流側にある場合は逆に大きくなっている。一方、上端固定円柱の横方向ならびに下端固定円柱の流れ方向および横方向のひずみ量の振幅平均はきわめて複雑に変動しており、円柱群の相互干渉の効果は上端固定円柱の場合より下端固定円柱の場合の方が大きいという傾向のほか、現段階ではその定性的特性について明確な結論を下すことは不可能である。

また、円柱の相対位置と卓越周波数 f_0 との関係 (Fig. 3-10) より、上端固定円柱および下端固定円柱の流れ方向の卓越周波数は円柱の相対位置によってあまり変化しないのに対し、横方向の卓越周波数は円柱の相対位置によって大きく変化していることがわかる。これは主として後流に発生するカルマン渦に支配さ

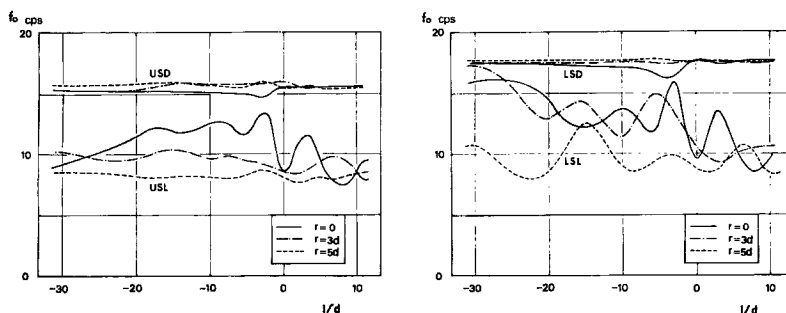


Fig. 3-10 The relation between dominant frequency of test cylinder with neighboring cylinders and l/d .

れる横方向の卓越周波数が、後流の特性の影響を受けやすいためと考えられる。

Fig. 3-11 は周波数分析器によってスペクトル解析を行なった結果を示したものである。解析は $r=0$ の場合、すなわち近接用円柱が1本の場合で、 $l=-3d$, $l=0$, $l=3d$ の3ケースについて行なった。**Fig. 3-11** よりわかるように、上端固定円柱および下端固定円柱の流れ方向の卓越周波数は、すでに振動の記録から直接読み取ることにより求めた卓越周波数の項で述べたように、円柱の相対位置による変化はほとんど見られないが、流れに直角方向（横方向）の卓越周波数は円柱の相対位置によって大きく変化している。とくに上流側に近接用円柱が存在する場合、横方向の振動は孤立円柱の場合の横方向の卓越周波数の他に別の卓

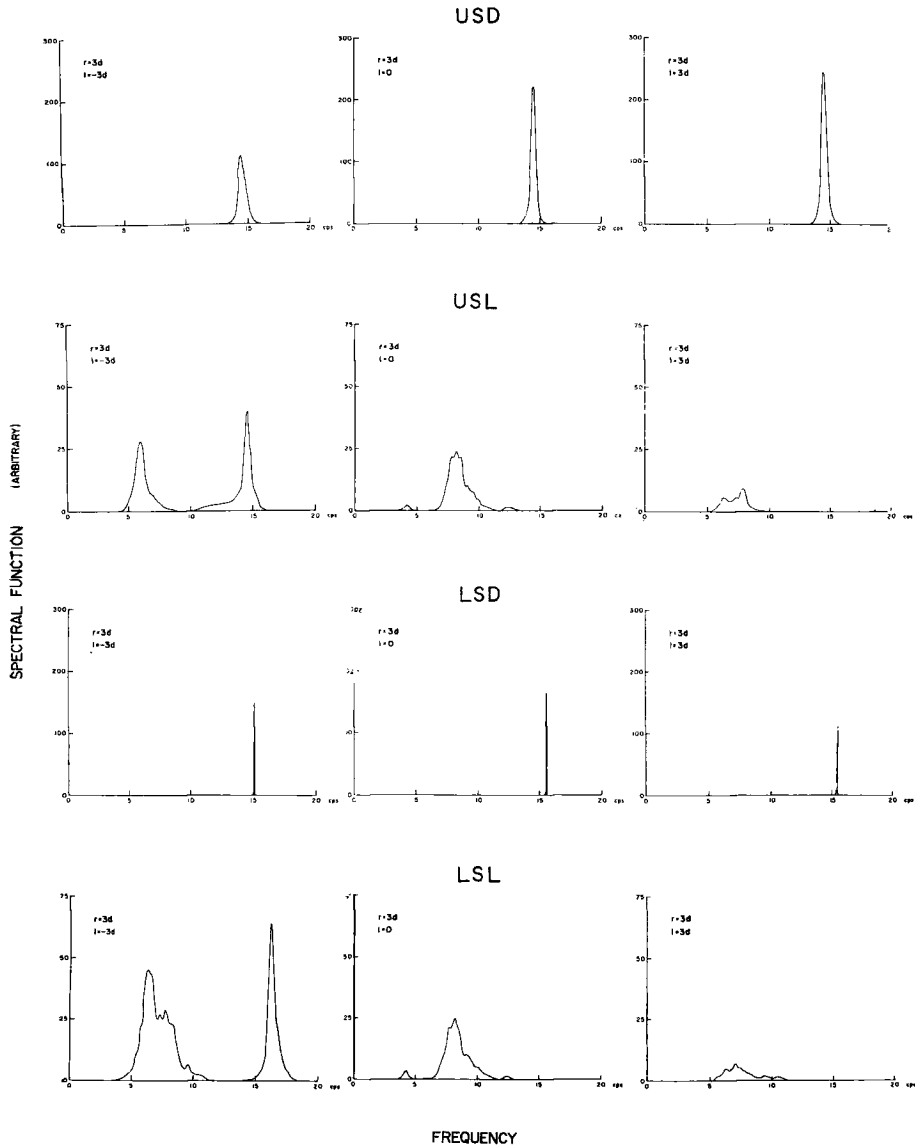


Fig. 3-11 The spectra of vibration of test cylinder with neighboring cylinders.

卓越周波数が現われている。高周波の卓越周波数は円柱の固有振動数に一致するもので、これは明らかに上流側におかれた近接用円柱の流れ方向の振動による影響であろうと考えられる。また、低周波の卓越周波数は上流側近接用円柱から発生するカルマン渦列の影響によるものと考えられる。

4. 結 語

開水路流れに設置された円柱に作用する流体力、およびそれによる円柱の振動現象に関しては、従来より主として模型実験により多くの秀れた研究がなされているが、実際現象との相似性について、つぎのような問題点が指摘される。すなわち、

1) 実験用円柱の剛性が大きく、応力—ひずみ関係が直線的でないものが多い。

2) 流体力の測定のため、板ばねなどによって円柱を固定し、板ばねのひずみ測定より流体力を測定することが多いが、このような装置では振動系が複雑となり解析が困難となる。

3) 開水路流れのように流れの特性が鉛直方向に変化している場合、固定端の位置によって円柱の振動は大きく影響されると考えられるが、従来の研究においては上端固定円柱が広く用いられ、実際の土木構造物に用いられるような下端固定円柱を用いることはほとんどない。

本研究においては、以上のような問題点を取り除くため、実験用円柱として剛性の小さなポリカーボネイト樹脂（商品名：タキロン）を用いるとともに、ストレインゲージを円柱に直接接着し流れ方向および流れ方向に垂直かつ水平方向（横方向）の振動現象を同時に測定できるようにした。また、上端固定円柱と下端固定円柱との振動現象における差異を明らかにするため、同一水理条件で上端固定円柱および下端固定円柱を用いることにした。

本研究の結果明らかとなった事項を列挙するとつぎの通りである。

1) 固有振動数および減衰係数について

自由振動における構造物の振動数および減衰係数は、構造物の周りの流体の物理的性質、とくに粘性係数によって変化する。本研究に用いた実験用円柱（ポリカーボネイト樹脂製、直径 1 cm、長さ 33 cm）の固有振動数および減衰係数の測定結果によると、固有振動数については水中における場合より空中における場合の方が大きく、減衰係数については逆に水中の方が大きくなる。また、とくに減衰係数は空中の場合と水中の場合とを比較すると上端固定円柱において差異が大きくなったが、これは水深（30 cm）に比し円柱の長さ（33 cm）が大きく、水の粘性力によるモーメントが上端固定円柱の場合の方が大きくなったためと考えられる。

2) 平均流速こう配の影響

平均流速の場所的分布において、流速こう配が存在する場合、流体力は流速こう配の影響を受けることが知られているが、本研究での水理条件のもとでは、底面近傍を除いて流速こう配はかなり小さく、流速こう配に伴う円柱近傍の 2 次流に対する考慮はほとんど不必要と考えられる。

3) 孤立円柱の振動特性

従来の研究においては、主として横方向の振動に主眼が置かれ、流れ方向の振動はあまり注目されていないが、本実験結果によると、流れ方向の振動現象を無視することはできず、上端固定円柱および下端固定円柱いずれの場合においても流れ方向および横方向の二種の振動現象を考える必要性のあることが認められた。本実験においては流れ方向の振動はほぼ固有振動数に近い卓越周波数で振動しているのに対し、横方向の振動数は、Strouhal 数一定の仮定で説明できる卓越周波数をもつことが多いことが明らかにされた。また、平均ひずみ量は流速とともに増加するのに対して、変動ひずみ量はかならずしも流速とともに増加するとはかぎらず、変動量の取り扱いの困難性とともにその重要性が確かめられた。

以上のような振動現象における機構の解明は、今後のより詳細な実験によって求めてゆかなければならない。

4) 円柱群における相互干渉効果

円柱群においては、それぞれの相対的な位置関係により、円柱相互間の干渉効果が現われる。本研究においては、種々の流れ方向および横方向の相対位置における振動現象を測定した結果、きわめて複雑な干渉効果の存在が確かめられ、上流側円柱による影響は円柱直径の数十倍のオーダーの下流側地点にまでおよぶということのほか、とくに下流側円柱の存在が上流側円柱の振動現象に影響することには新たな注意を必要とするものと思われる。

参 考 文 献

- 1) Masch, F. D., and W. L. Moore: Drag Forces in Velocity Gradient Flow, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 86, No. HY7, Proc. Paper 2546, July, 1960, pp. 1~11.
- 2) Laird, A. D. K., C. A. Johnson, and R. W. Walker: Water Eddy Forces on Oscillating Cylinders, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 86, No. HY9, Proc. Paper 2652, Nov., 1960, pp. 43~54.