

【整番】FE-19-TM-007	【標題】種々の断面形状における渦励振のストローハル数
分類：流れ(流体振動)/種別：設計メモ	作成年月：H19.9/改訂：Ver0.1 (H19.9) 作成者：N. Miyamoto

第一回訂正：引用誤記

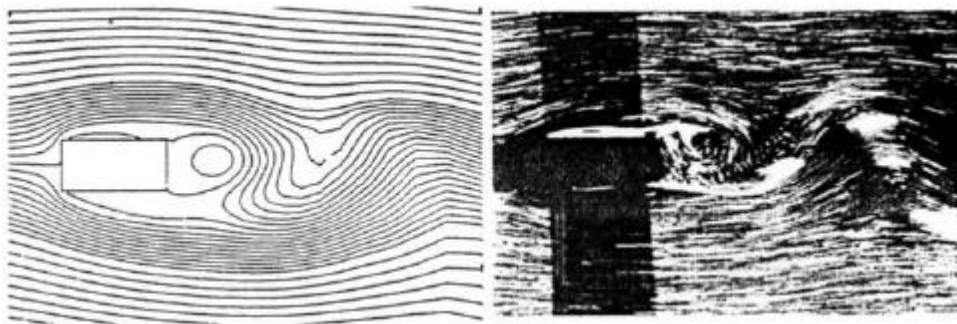
全 17 枚

1. ストローハル数 S_t は、(時間当たりの対流距離/物体の幅)の逆数として定義される無次元数で振動する流体现象(例えば)の尺度として使用される。この無次元数を用いると、流体の振動数 f は

$$f = S_t U / D \quad \text{-----(1)}$$

ここで U は流体の速度、 D は振動流体に曝される構造物(物体)の代表長さである。通常、ストローハル数 S_t には相似則が成立し、物体の幾何的条件(形状/迎角/角の丸みなど)及び物体周辺の粘性/乱れ(レイノルズ数など)が類似しておれば、実験データ等で得られたものと殆ど同じ値が再現できる。即ち、実験/解析によることなく物体周辺でおきるカルマン渦等の振動数(あるいは周期)を予測することができる。

本 TS は、カルマン渦など渦励振を対象に実験などから得られたストローハル数の公開データを集めたものであり、流体振動問題で十分活用できると思う。



2. ストローハル数データの一覧を表 1 に示す。種類は円柱、角柱、型柱(例えば形鋼材を用いた梁)、チューブ配列(熱交の管束)、その他の断面の 5 つ。断面形状の相似性、例えば、
 径は違っても同じ円柱、同じ辺長比の角柱、同じ寸法比の溝型鋼材など、
 が成立し、かつレイノルズ数に余り隔たりがなければ、該当する添付の資料からストローハル数 S_t を読み取って、前述の(1)式を用いて渦振動数 f を推定することができる。この場合、
 流体の速度(U) → 物体への近寄り流速(平均値)あるいはチューブ間ギャップ流速
 代表長さ(D) → 流れに直交する面における物体の最小投影幅
 を用いる。詳しくは、資料の図表を参照のこと。

3. 添付データを読む上で以下の点に留意のこと。

- (1) 資料は種々の文献資料を集めているので、記号は必ずしも U 、 D ではなく V 、 d 、 H とかになっていることもある。代表長さの定義については図表の中の S_t 式からも確認できる。
- (2) 文献資料によってはレイノルズ数($Re = UD/\nu$ = 流速 \times 代表長さ / 動粘度)が不明確なものもある。この場合、得てしてその形状ではレイノルズ数が効かず無視されていることが多い。ただ流況は実験可能な乱流域($10^3 \sim 10^5$)になっている筈である。レイノルズ数が大きく異なる場合や偏流が予想される場合は、採用値に幅をもたせるようにするのがよい。

(3) 場合によって相似性について判断できないこともある。その時は出典に直接アプローチする。

表 1. スローハル数データ一覧

区分	資料番号	形 状	パラメータ
円 柱	C-1	単一円柱(含平板)	Re 数
	C-2	単一円柱	Re 数
	C-3	テーパ円柱	テーパ度、Re 数
	C-4	2 つ円柱	ピッチ比
	C-5	後流円柱	寸法比
角 柱	R-1	正方形/長方形	辺長比、Re 数
	R-2	正方形	迎角
	R-3	正方形/長方形	辺長比、Re 数
	R-4	リエントラント形平板	角度/Re 数
	R-5	正方形/長方形	辺長比、角丸み、
	R-6	正方形/長方形	辺長比、迎角、角丸み
	R-7	正方形/長方形	迎角、角丸み、
型 柱	F-1	溝形/T 形ほか	形状、迎角
	F-2	T 形ほか	形状
	F-3	H 型鋼	形状、Re 数
	F-4	プレートガータ	形状
チューブ配列	T-1	各種配列	配列、ピッチ
	T-2	各種配列	配列、ピッチ
	T-3	各種配列	配列、ピッチ
種々の 断面	V-1	各種形状	形状、Re 数
	V-2	各種形状	形状、Re 数
	V-3	半円/三角形	形状、Re 数

資料番号 C-1

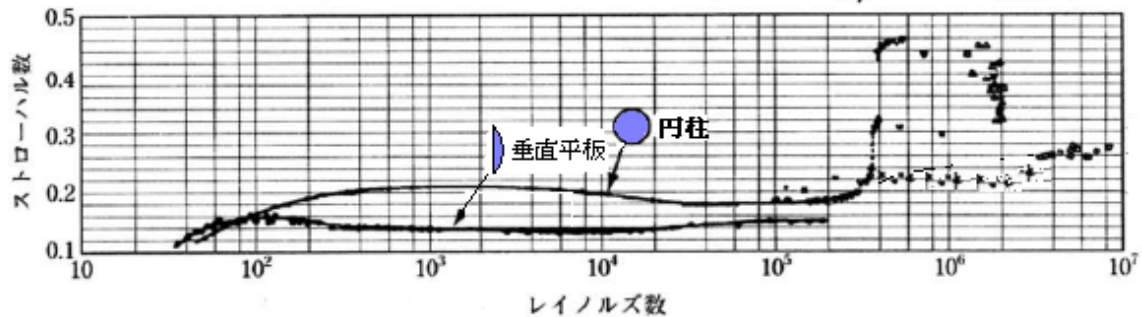
ストローハル数 $St = fD/U = F(Re)$ レイノルズ数 $Re = UD/\nu = \rho UD/\mu$ 

図 1.2-12 直交流による離散的渦発生振動数のレイノルズ数依存性

ストローハル数(S) はレイノルズ数に依存し 傾向的に次のようになる。 $10^3 < Re < 10^5$: $S \approx 0.21$ ($U_v/U = 0.75$, $h/d = 1$) (U_v = 渦の流出速度, h = 2重渦列の幅) $2 \times 10^6 < Re$: $S \approx 0.28$ ($U_v/U = 0.8$, $h/d = 0.8$)

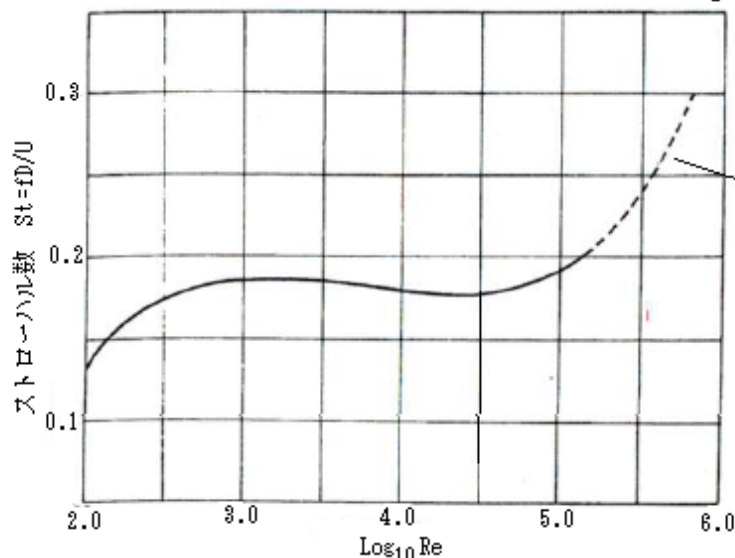
$3 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6$ の Re 域でデータがばらつくのは 軸にそって 流れの剥離機構が変化するからである。
その遷移境界は円柱の表面 粗さの影響を強く受ける。設計では下限側 0.3 以下 (?)

出典: JSME S-012「事例で学ぶ流体関連振動」 1.2.5 及び

機工便覧 A3編 力学・機械力学 12.8 カルマン渦による振動

資料番号 C-2

参考 4 図2 ストローハル数【JPI 7R-95-96より抜粋】

レイノルズ数 $Re = 69000UD$ U = 風速 (m/s), D = 塔槽類の直径 (m)

遷移域?

出典:

JPI 7R-95-96

「スカートに有する塔槽類の強度計算」

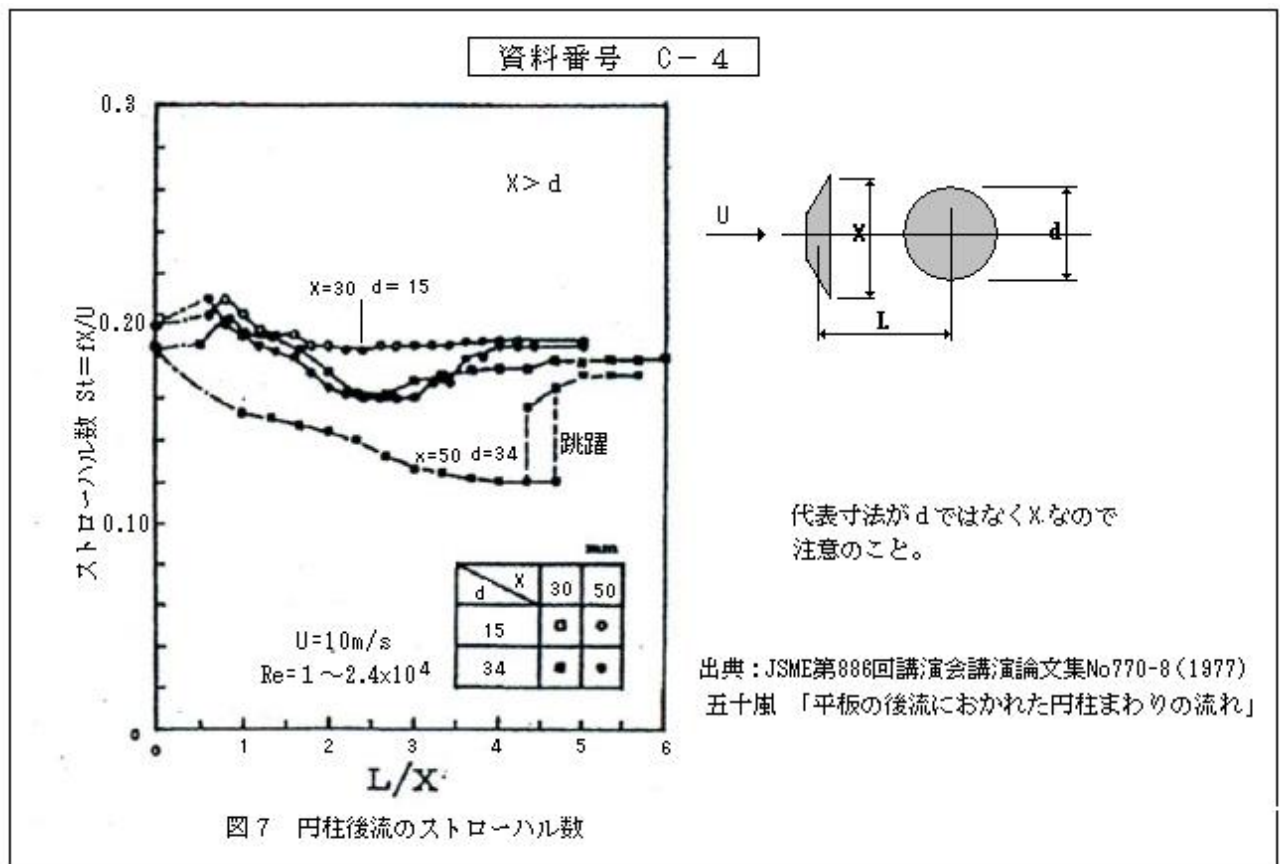
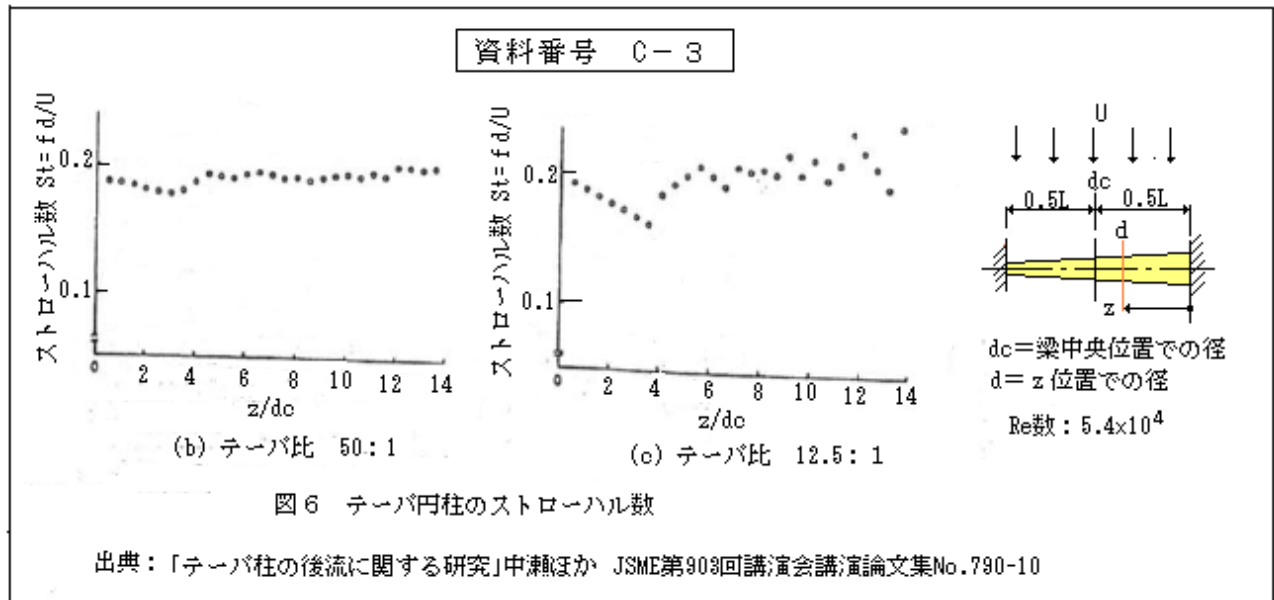
参考4. 風による塔の振動

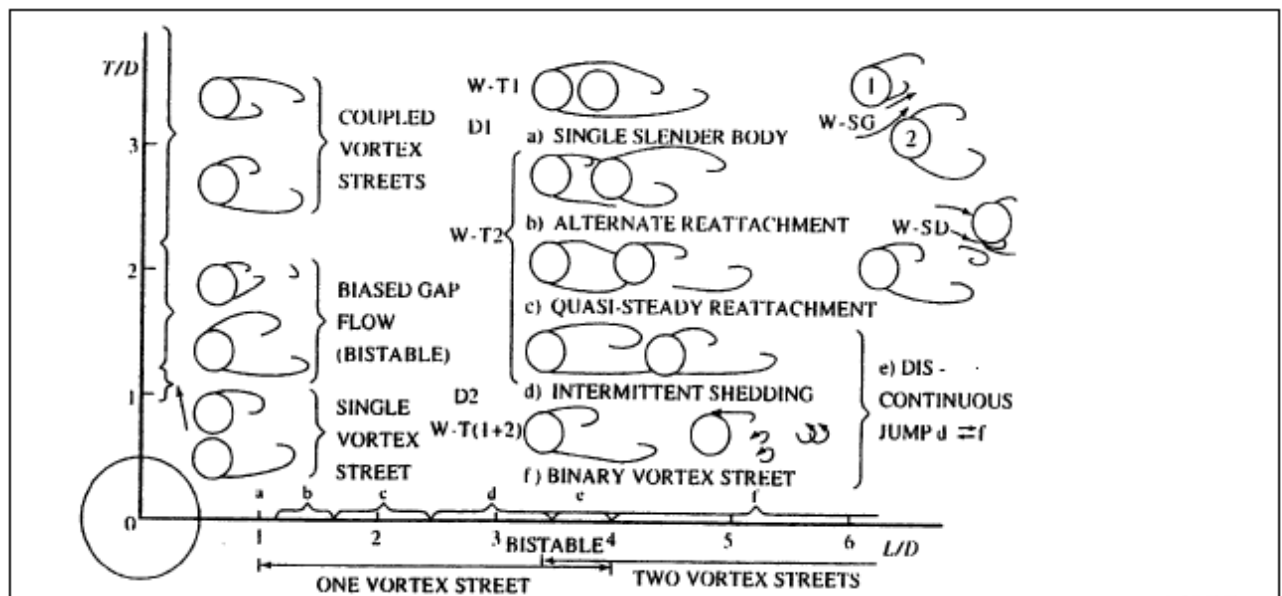
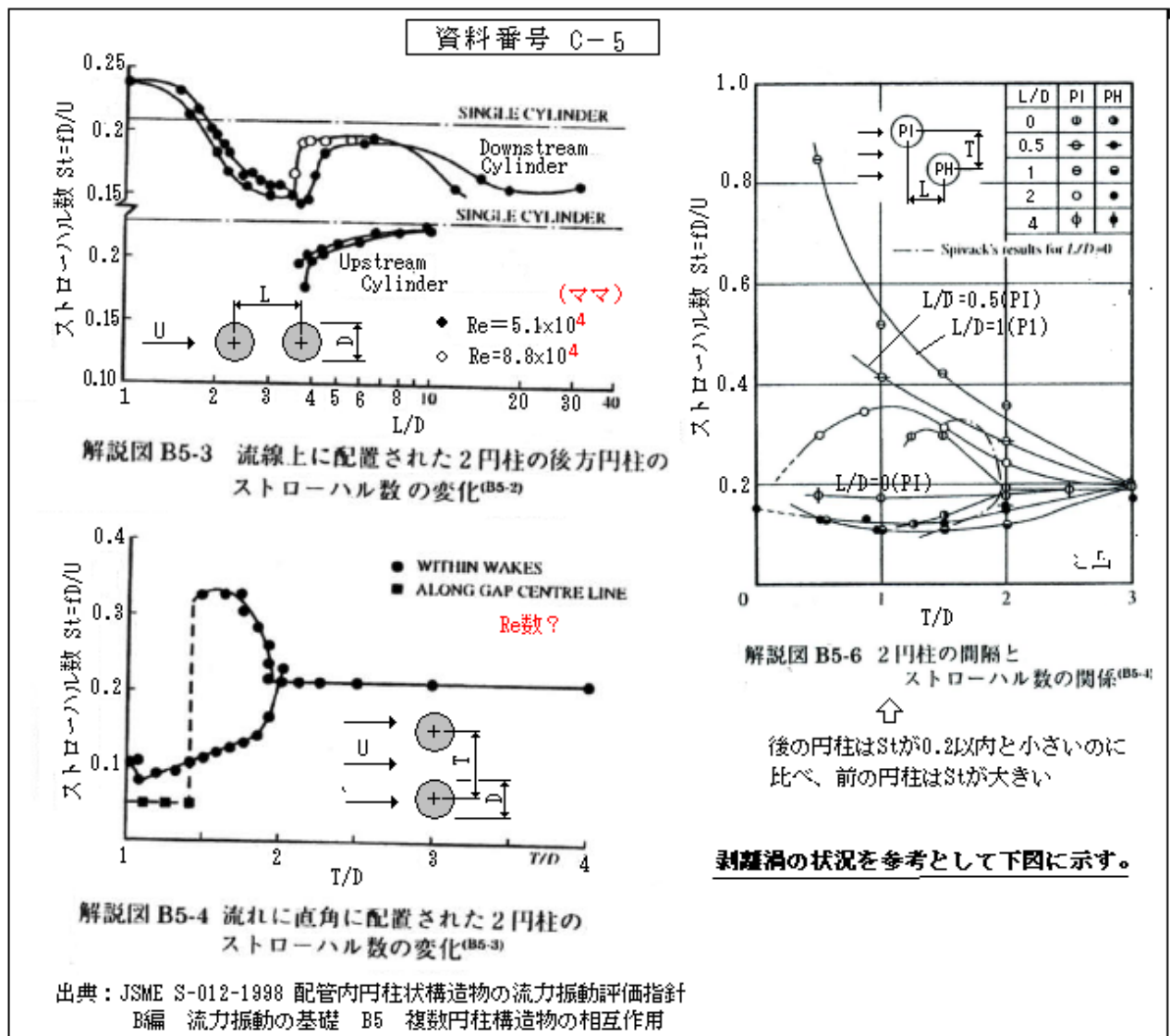
表 2.9-8 ストローハル数【煙突構造設計指針より抜粋】

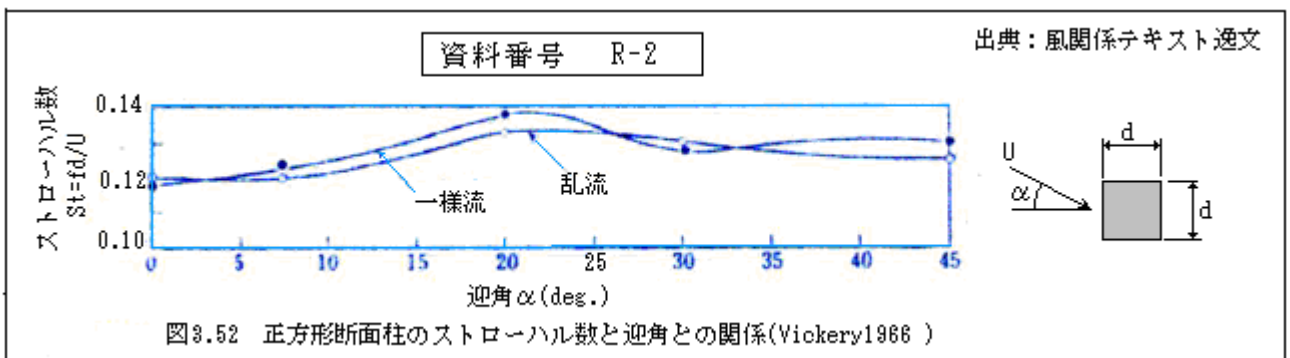
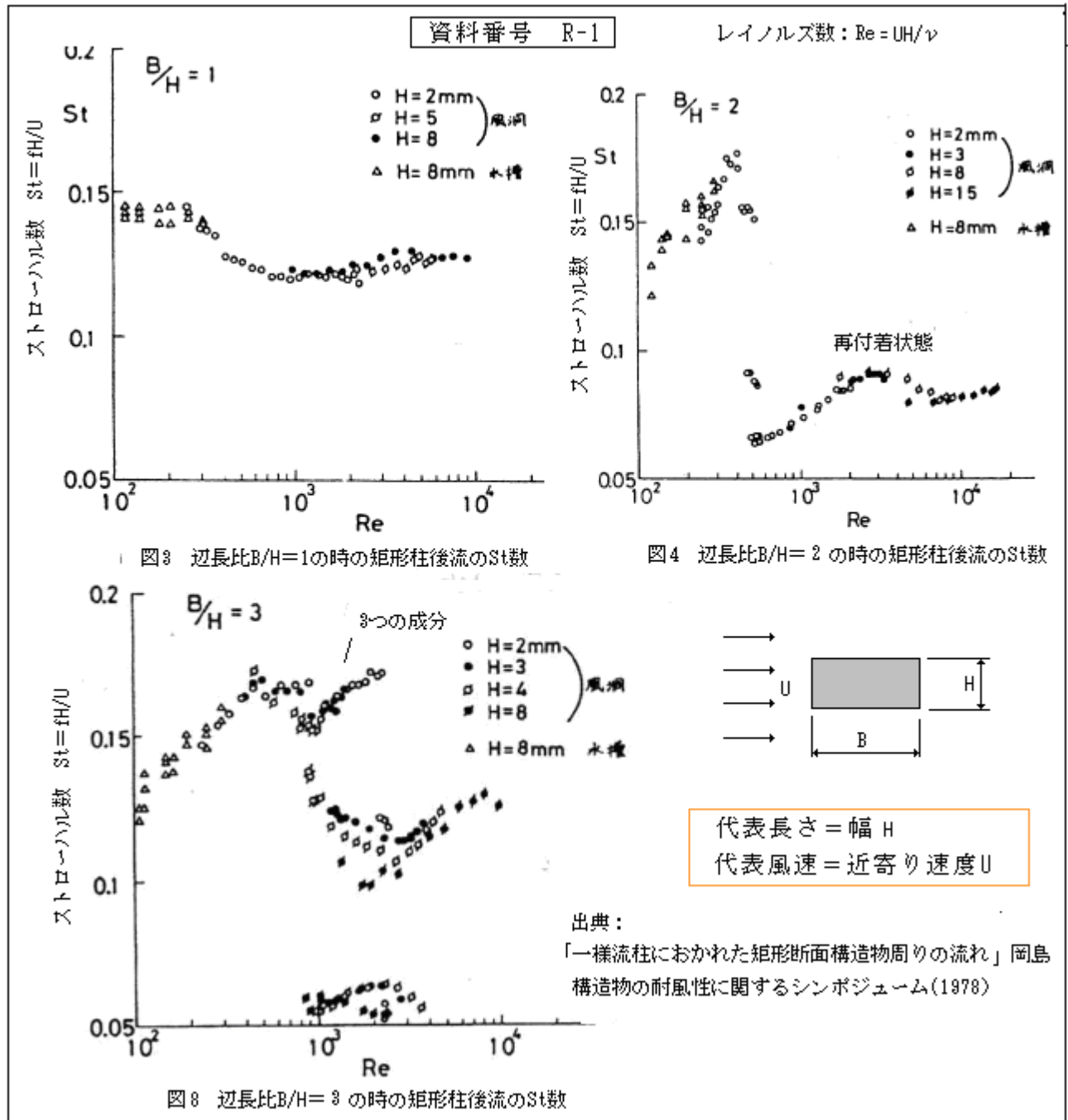
煙突の断面	$V_m \cdot D$ の値	
	$V_m \cdot D < 100$ の場合	$V_m \cdot D \geq 100$ の場合
円形断面	0.18	0.25
矩形断面	0.15	

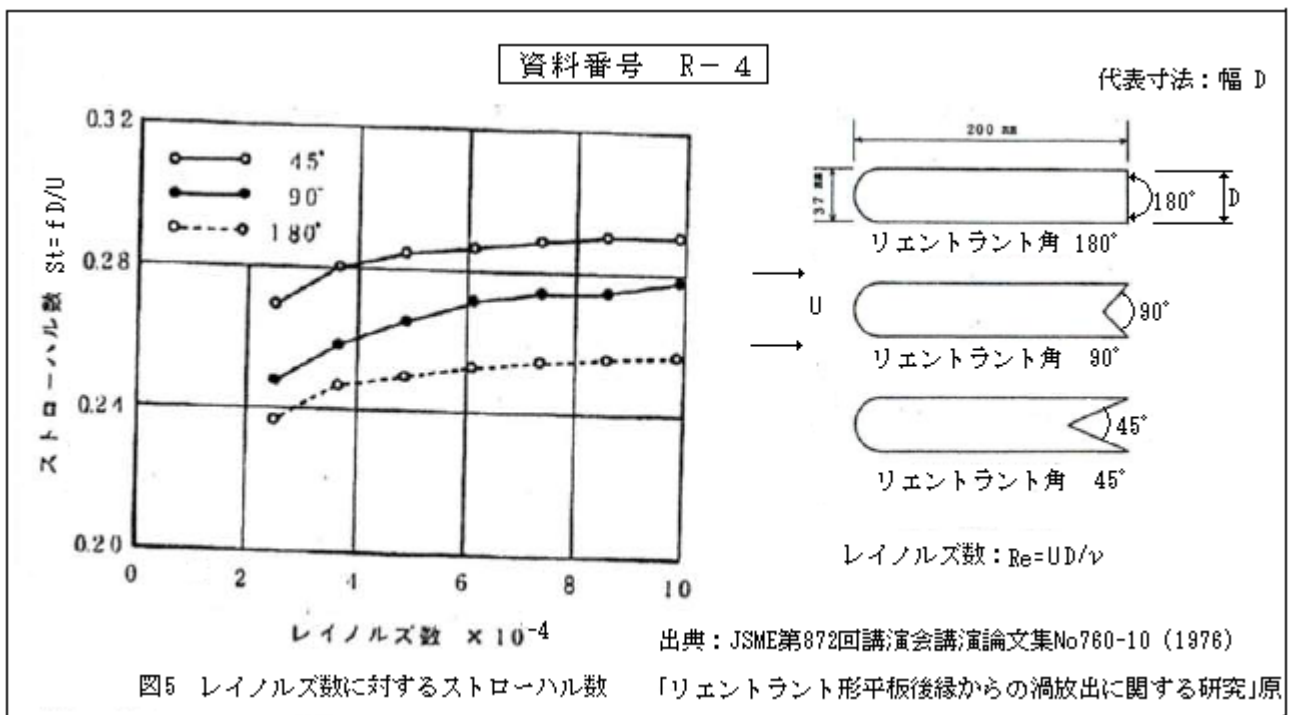
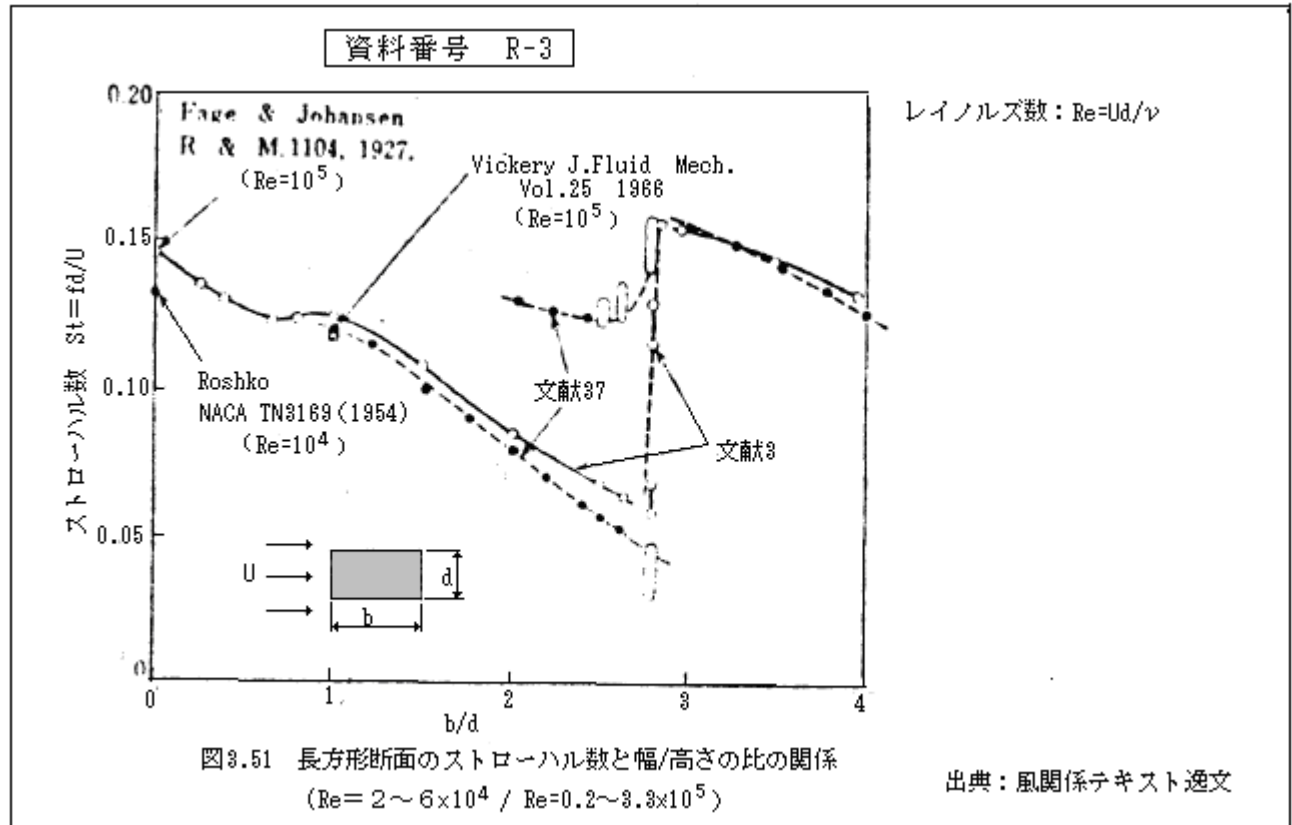
 $V_m D < 100 \rightarrow Re < 6.9 \times 10^6$ V_m : 最大風速 D : 煙突径

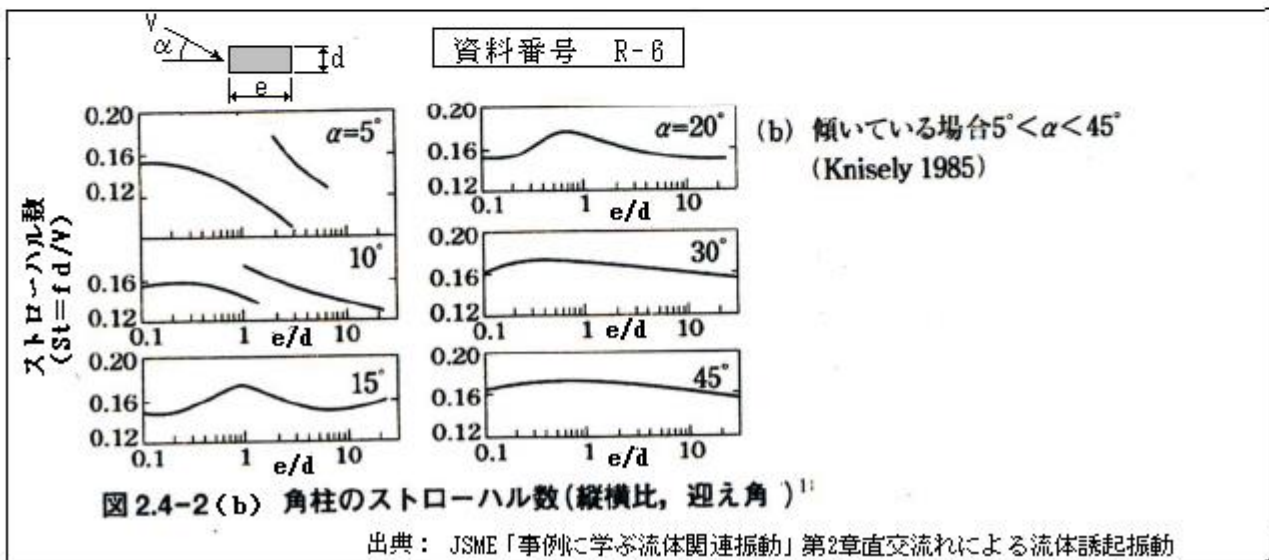
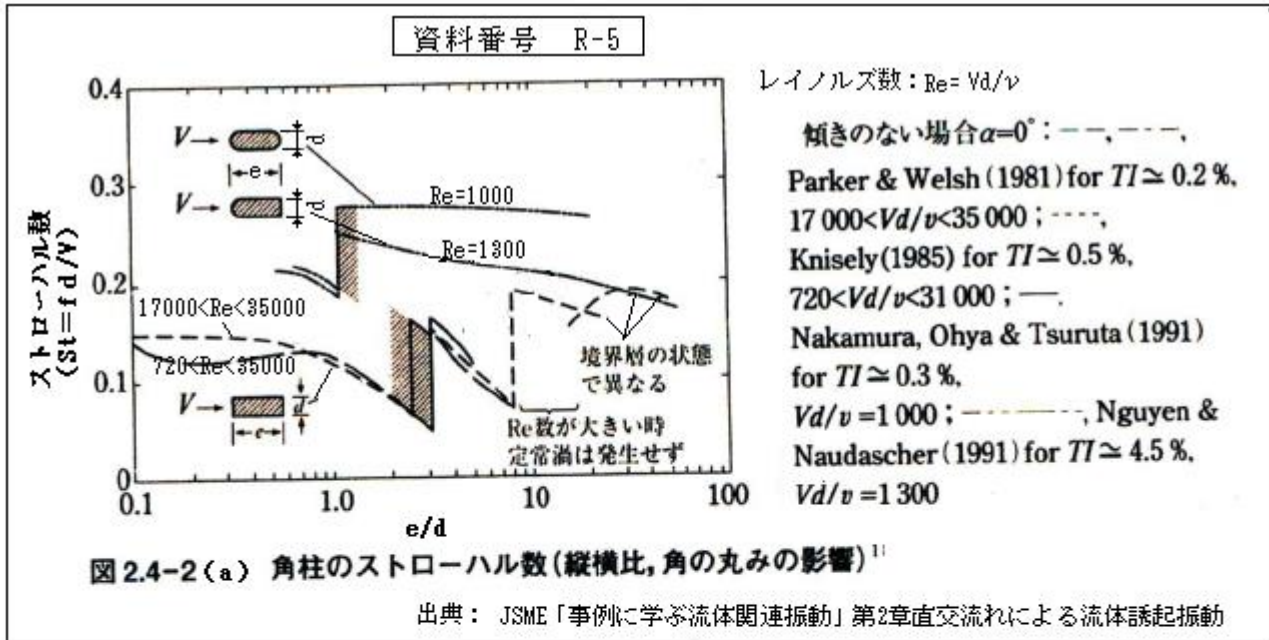
遷移域は下限界で設定?











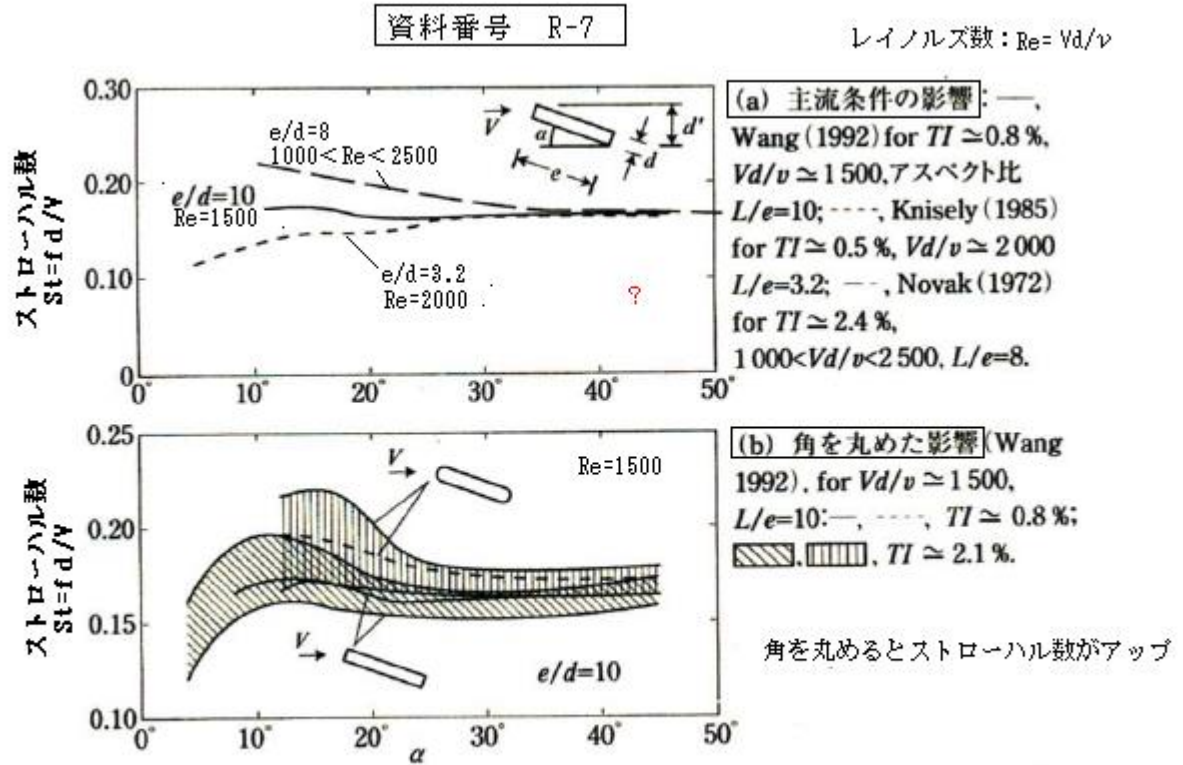


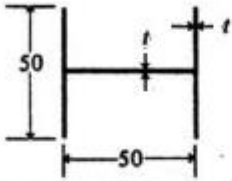
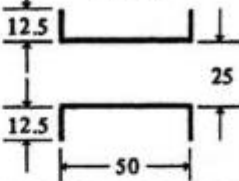
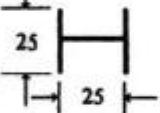
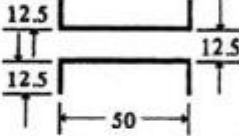
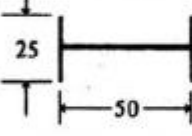
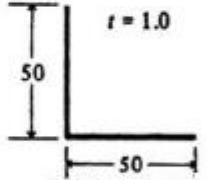
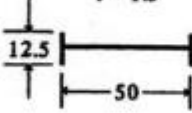
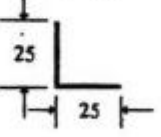
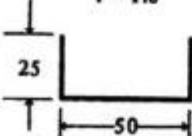
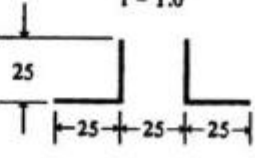
図 2.4-3 縦横比の大きな角柱 ($e/d=10$) に対するストローハル数の角度依存¹⁾

出典: JSME「事例に学ぶ流体関連振動」第2章直交流れによる流体誘起振動

資料番号 F-1

①/②

TABLE 3-1. Strouhal Numbers for a Variety of Shapes (Ref. 3-23)

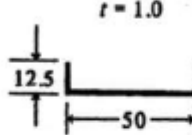
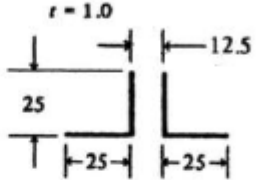
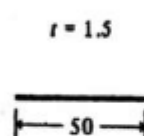
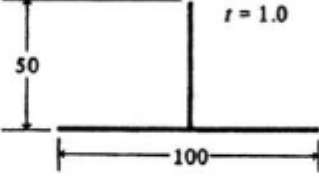
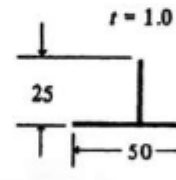
Wind	Profile Dimensions (mm)	Value of S	Wind	Profile Dimensions (mm)	Value of S
→ ↓	$t = 2.0$ 	0.120 0.137	↓	$t = 1.0$ 	0.147
→	$t = 0.5$ 	0.120	↓	$t = 1.0$ 	0.150
↓	$t = 1.0$ 	0.144	← ↑ ↙	$t = 1.0$ 	0.145 0.142 0.147
↓	$t = 1.5$ 	0.145	← ↓ ↙	$t = 1.0$ 	0.131 0.134 0.137
↓ ↑	$t = 1.0$ 	0.140 0.153	→ ↓	$t = 1.0$ 	0.121 0.143

出典: R.D.Blevins "Flow-induced vibration" 3.3 Strouhal number

資料番号 F-1

2/2

TABLE 3-1. Strouhal Numbers for a Variety of Shapes (Ref. 3-23)

Wind	Profile Dimensions (mm)	Value of S	Wind	Profile Dimensions (mm)	Value of S
↓		0.145	→		0.135
↑		0.168			
→		0.156	→		0.160
↓		0.145			
本データは乱流のときのもので推定される。			→		0.114
			↑		0.145

本テーブルの利用は下記による。

ステップ1: 検討対象フレームとだいたい相似したフレームを選ぶ。

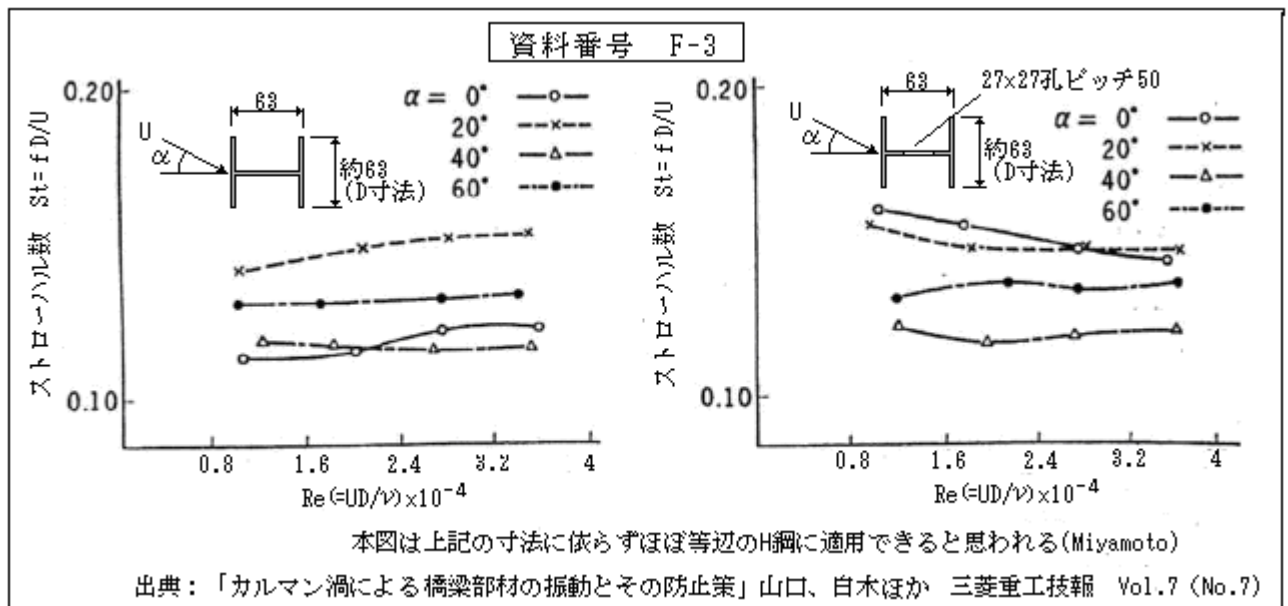
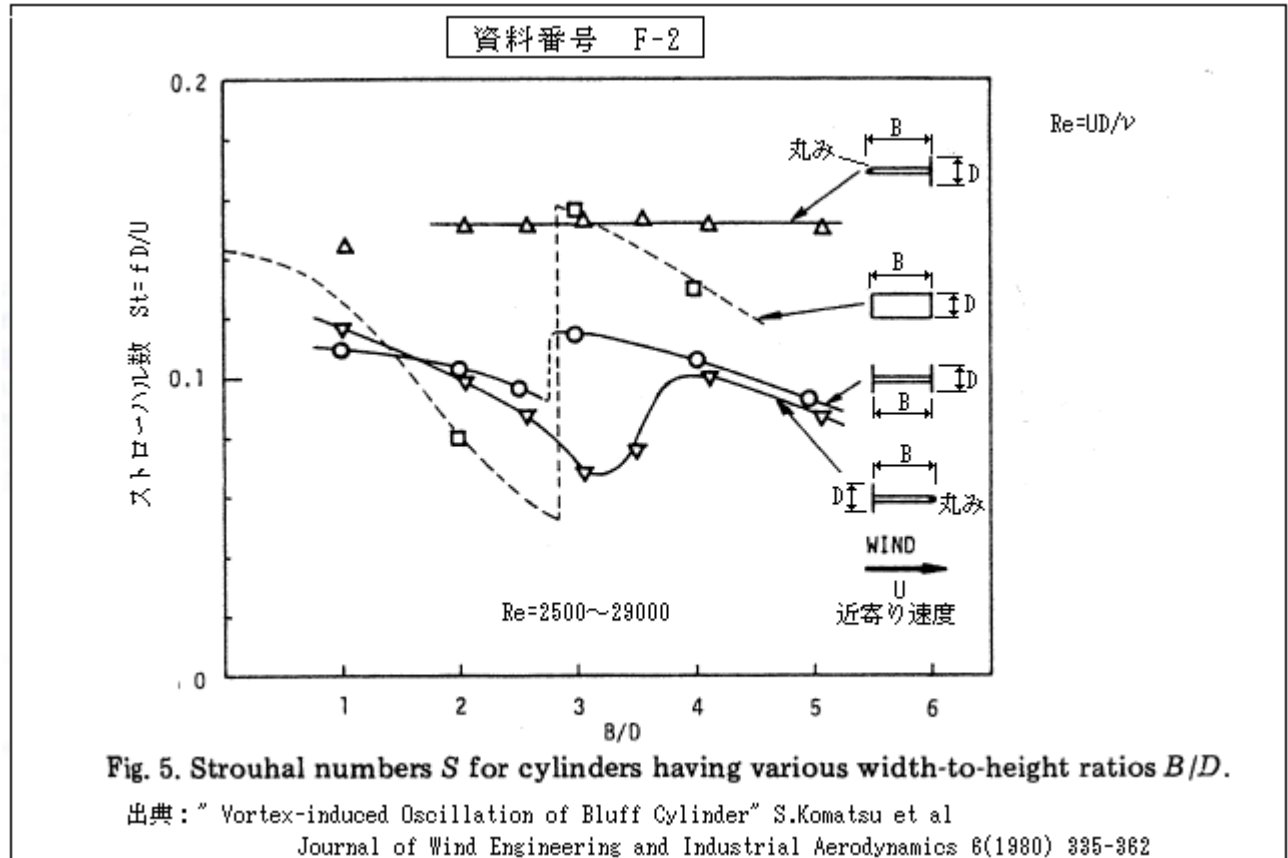
ステップ2: 風方向をあわせ、ストローハル数(S)を読み取る。

ステップ3: 風方向に直交した辺の長さのうち最大のものを[代表長さ]とする。

ステップ4: 渦放出振動数 f を次式より求める。

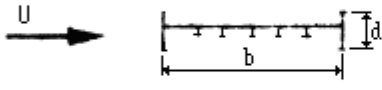
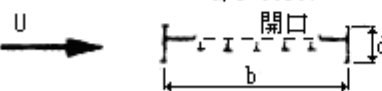
$$f = [\text{ストローハル数}] \times [\text{近寄り速度}] / [\text{代表長さ}]$$

出典: R.D.Blevins "Flow-induced vibration" 3.3 Strouhal number



資料番号 F-4

表3.7 プレートガーダ橋断面のストローハル数

	ストローハル数 $St=0.091$
	ストローハル数 $St=0.111$

$$f = StU/d$$

d = 代表長さ
 U = 近寄り速度

出典：風関係テキスト逸文

資料番号 T-1

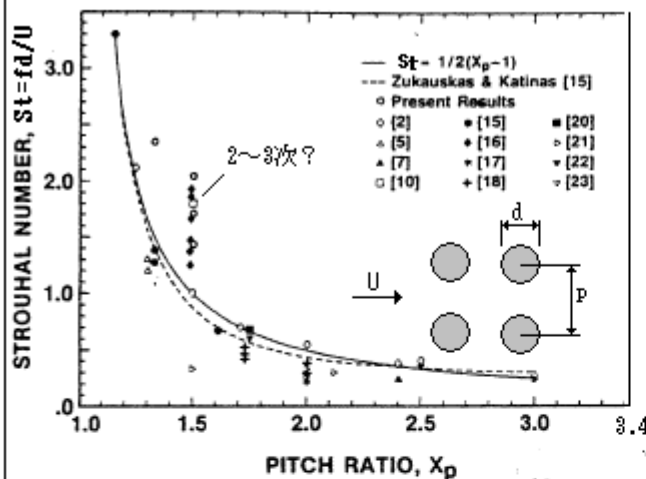
レイノルズ数($Re=Ud/\nu$): 200~4000

Fig. 2 Strouhal numbers for square in-line arrays

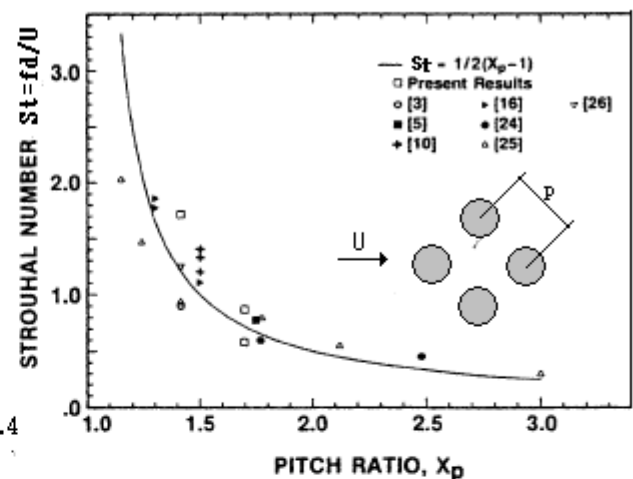


Fig. 4 Strouhal numbers for rotated square arrays

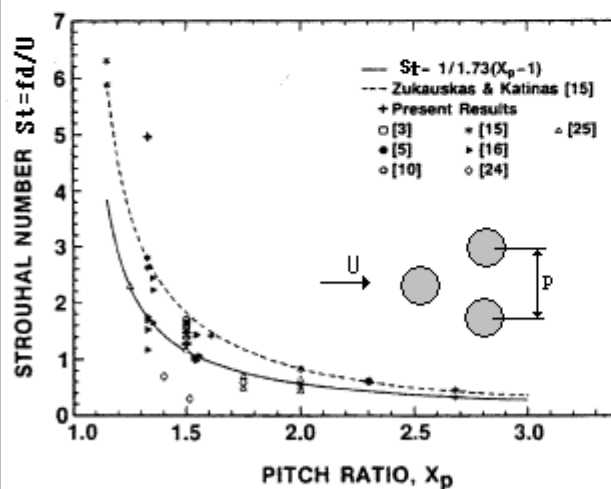


Fig. 6 Strouhal numbers for normal triangular arrays

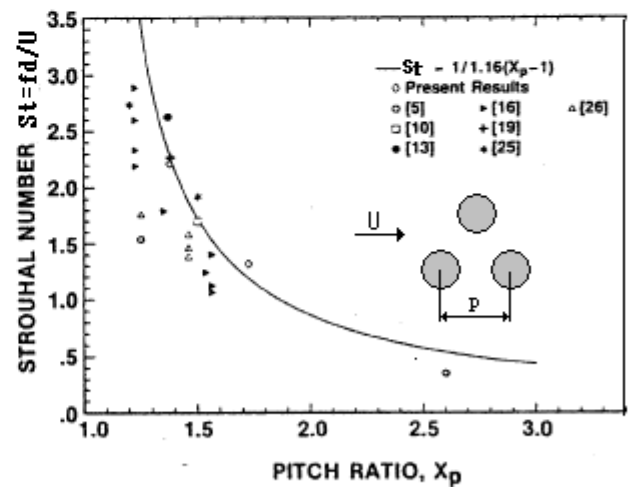


Fig. 8 Strouhal numbers for parallel triangular arrays

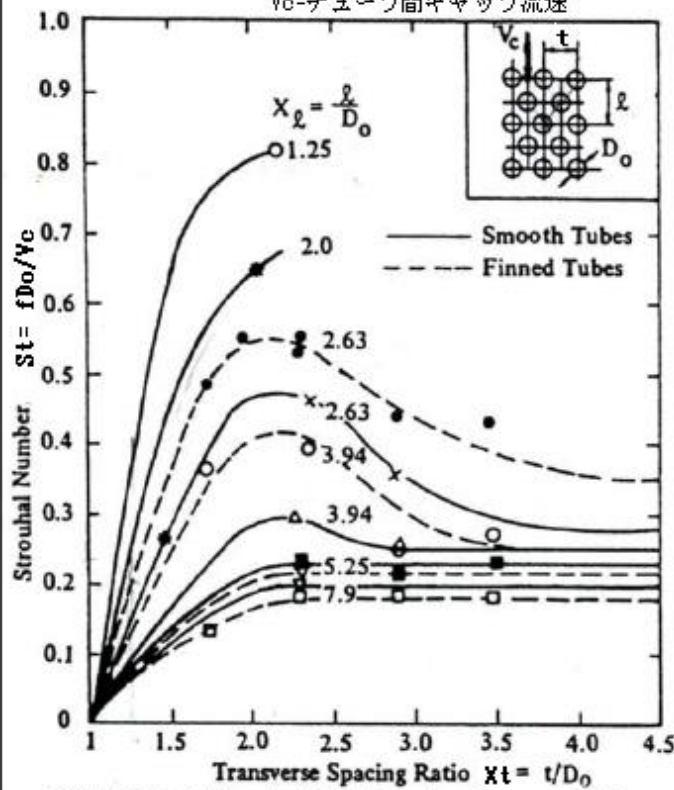
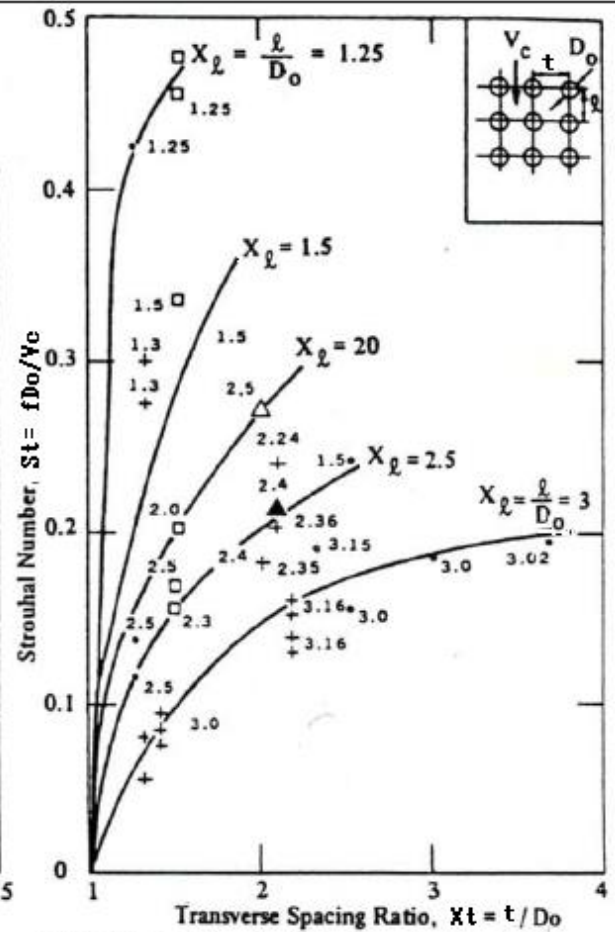
原文ではStはSuになっている。念為

出典：「Strouhal number for Heat exchanger tube arrays in the cross flow」 D.S.Weaver
Journal of P.V.T may 1987 Vol.109

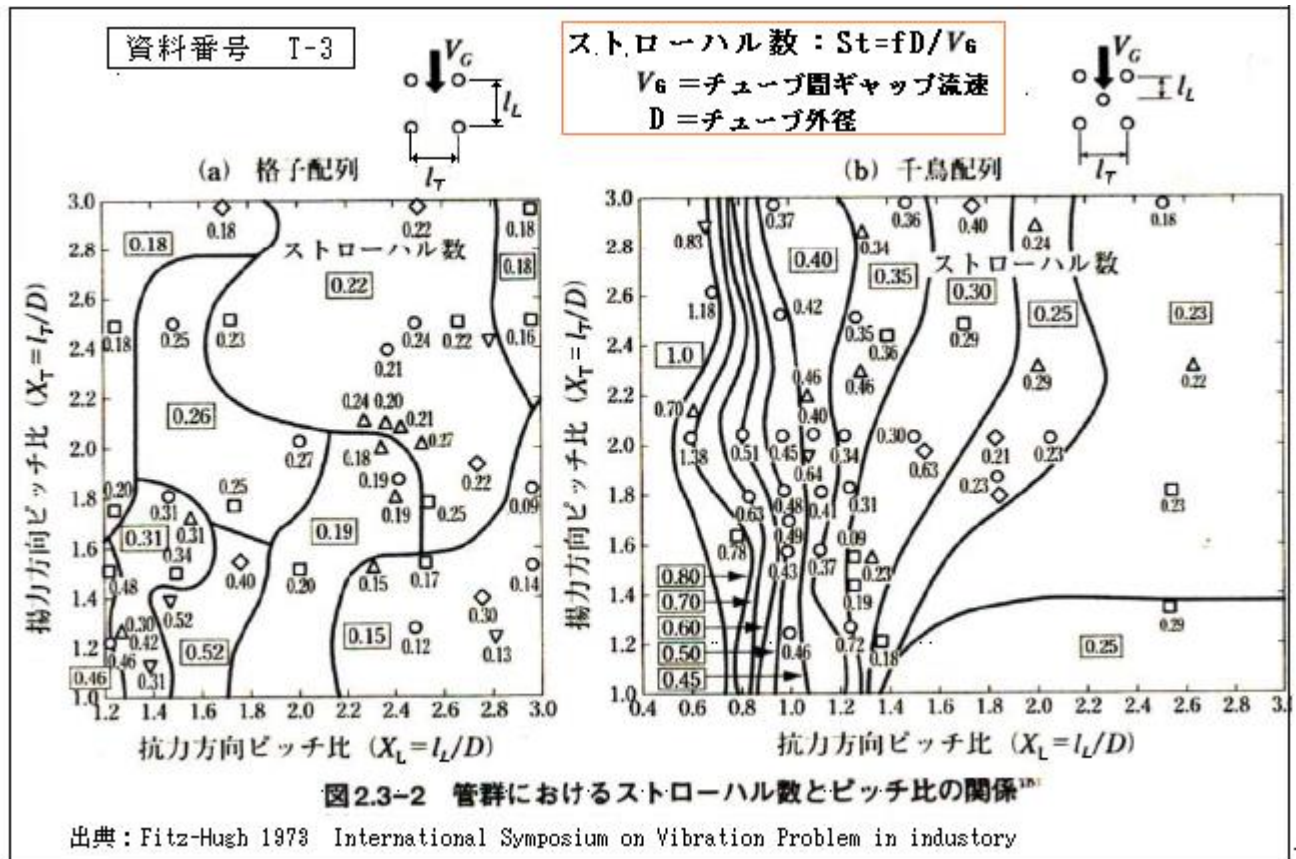
資料番号 I-2

$$f = \text{渦振動数} = St V_c / D_o$$

 D_o = 代表長さ (チューブ径)

 V_c = チューブ間ギャップ流速
FIGURE 7-1 Strouhal Numbers for Staggered Tube Banks by Chen ⁽¹⁾FIGURE 7-2 Strouhal Numbers for Inline Tube Banks by Chen ⁽¹⁾

出典: HTRI Report No. STV-1 Tube Vibrations in Shell-and-tube Heat Exchanger 7.1







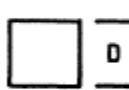
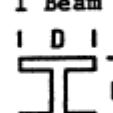
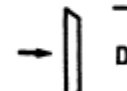
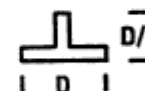

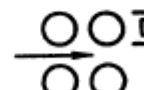
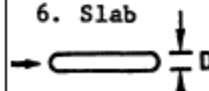
ストローハル数 $St=fD/U$		資料番号 V-2	レイノルズ数 ($Re=UD/\nu$): $10^4 \sim 10^5$					
Section	Strouhal Number, St					Section	Strouhal Number, St	
1. Circle 	Re	<30	50	500	10^3	7. Right Angle 	$\rightarrow 0.13$ $\leftarrow 0.24$ $\nearrow 0.13$	
	St	0	0.13	0.20	0.21			
	Re	10^4	10^5	10^6	10^7			
	St	0.20	0.19	0.21	0.23			
2. D Section 	$\rightarrow 0.16$ $\leftarrow 0.21$ $\uparrow 0.21$ 矢印は風向き					8. Channel 	$\rightarrow 0.14$ $\leftarrow 0.13$	
3. Square 	$\rightarrow 0.12$ $\nearrow 0.16$					9. I Beam 	$\rightarrow 0.14$ $\uparrow 0.12$	
4. Thin Plate 	Re	40	200	10^3	10^4	10^5	10. T Beam 	$\rightarrow 0.14$ $\uparrow 0.14$
	St	0.13	0.17	0.15	0.14	0.13		
5. Isosceles Triangle 	$\rightarrow 0.15$ $\leftarrow 0.19$					11. Tube Array 	$0.2 < St < 0.5$ for U equal to velocity in gap between tubes. See Ref. 10-140.	
6. Slab 	$\rightarrow 0.20$ (trailing edge is bluff)							

Table 10-16. Strouhal Numbers for Various Sections.

出典: R.D.Blevins 「Applied Fluid Dynamics Handbook」 (Van Nostrand Reinhold Company)

Table 10-16. Strouhal Numbers for Various Sections.

出典: R.D.Blevins 「Applied Fluid Dynamics Handbook」 (Van Nostrand Reinhold Company)

資料番号 V-3

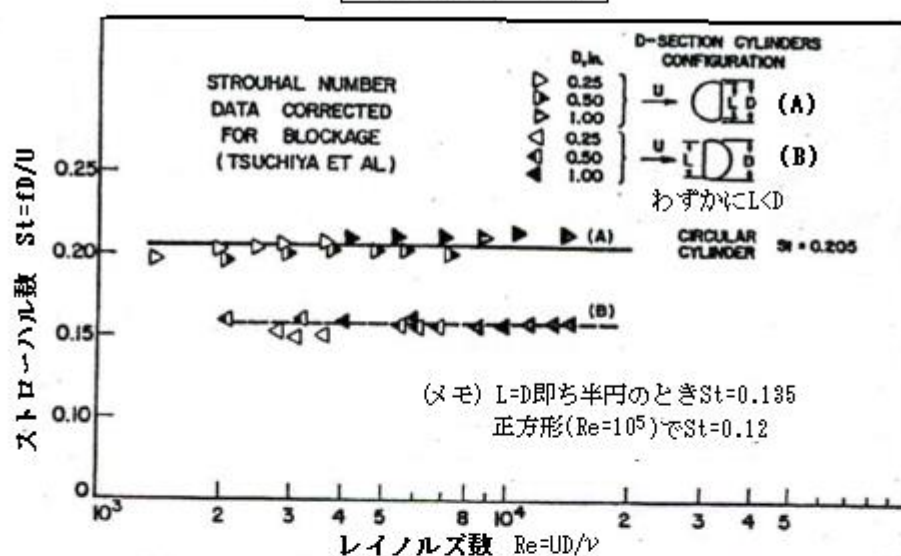


Fig. 2 Blockage-corrected Strouhal number versus Reynolds number characteristic for D-section cylinders

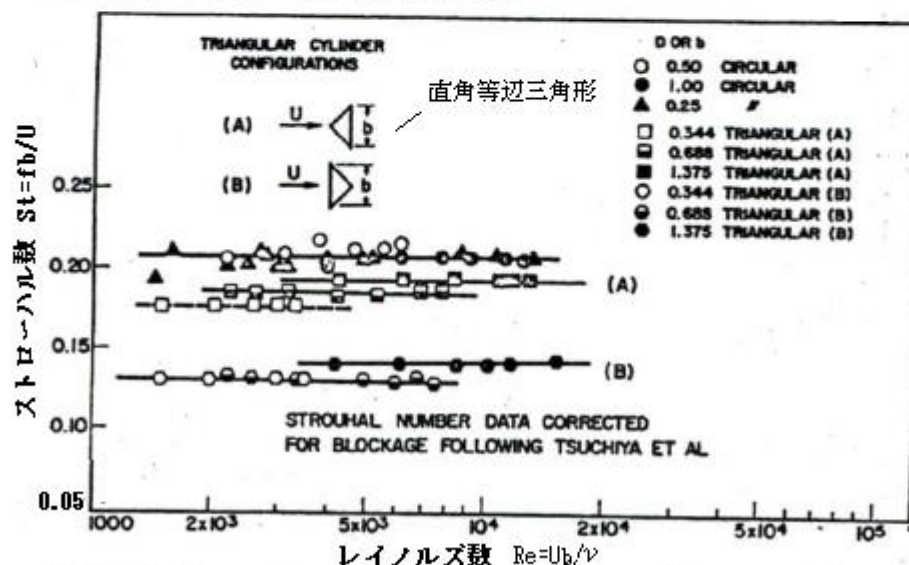


Fig. 3 Blockage-corrected Strouhal number versus Reynolds number plot for triangular cylinders

出典: Technical-brief [Vortex Shedding from Slender Cylinders of Various Cross Section]
trans.ASME Journal of Fluid Engineering (Sept.1973)