

長方形柱 後流에 關한 實驗的 研究

南 青 都*

An Experimental Study of the Wake Flow Past a Rectangular Cylinder

C. D. Nam

Abstract

This paper describes characteristics of the flow pattern of the flow past a rectangular cylinder experimentally investigated. The width-to-length ratio of the section varied from 2 to 4. For the statistical treatment, autocorrelation coefficient, probability density function and power spectral density function are obtained by the digital processing technic through on-line system with a hot wire anemometer.

As a results, it was found that strong periodic coherent eddies structure is sustained to about $20H$ downstream from the cylinder. And nearer the cylinder in the wake, the number of turbulent eddies of a large scale coherent structure are comparatively much more dominant than that of a small scale one.

By the analysis of power spectrum, It was cleared that there exists a certain range of the width to length ratio between 2.5 and 3 of which the flow pattern changes abruptly with a sudden discontinuity in Strouhal number.

1. 序 論

流體를 取扱하는 工學的 諸裝置에 있어서 流體의 흐름은 대부분 亂流이고, 平均速度勾配가 비교적 큰 剪斷亂流이다. 亂流中에서의 平均剪斷速度는 攪亂에 의한 레이놀즈應力에 따라서 發生, 維持되므로 剪斷應力の 分布 特性이 바로 平均速度場을 決定한다고 할 수 있다. 또 레이놀즈應力の 發生은 서로 垂直한 速度變動에 의한 運動量의 擴散·混合을 意味하므로 實用工學的인 面에서 重要

한 問題로 擡頭되고 있으며, 따라서 에너지의 擴散·輸送에 있어서 剪斷亂流의 攪亂特性의 役割은 매우 重要하다고 할 수 있다.

그런데 亂流에 대한 研究는 60년대 後半에 이르러 Kline등¹⁾이 境界層흐름의 可視化 觀測에 의하여 空間的, 時間的으로 상당히 規則的인 舉動이 存在한다는 事實을 發見한 以來, 攪亂變動中에도 비교적 規則的인 運動이 存在하며, 그것이 攪亂을 發生시키는 것이 확인됨과 아울러 從來 攪亂의 長時間 平均構造로부터 組織構造(coherent

structure)에로 研究의 中心이 기울어져 自由亂流나 壁面噴流 어디에서나 이 組織亂流가 存在한다는 事實이 明確하게 되어 그것이 流體工學分野의 諸現象에 미치는 役割을 糾明하는데 注目되어 왔으며 同時에 攪亂의 計測機器나 大型컴퓨터의 온 라인에 의한 데이터처리기술의 進歩로 亂流에 대한 研究는 상당한 進展을 보게 되었다.

最近, 土木 建築에서 利用되고 있는 長方形斷面 構造物의 耐風安定성에 關聯하여 動的空力特性에 관한 研究가 많이 행해지고 있으며 그의 空力特性 이라고도 할 수 있는 均一流中의 靜止角柱에 限定 하더라도 後流渦, 時間平均 및 變動表面壓力, 時間 平均 및 變動揚力·抗力 등에 關한 數 많은 研究가 蓄積되어 있다²⁻⁴⁾. 一例로서 長方形斷面柱의 縱橫 比 B/H (B: 흐름의 水平方向의 길이 H: 흐름과 垂直方向의 높이)를 順次的으로 變化시키면 그의 空力特性이 B/H=0.67 및 2.8 附近에서 急變한 다는 사실이 밝혀져 있다⁵⁾. 그리고 縱橫比가 비교 적 작은 경우는 空力特性, 空力彈性特性에 대하여 상당히 詳細한 實驗的 研究가 행하여져 있다. 例 들 들면 Otsuki等⁶⁾, Nakamura等⁷⁾이나 閉鎖比 (blockage ratio)의 影響을 調査한 Awbi⁸⁾의 報 告가 있다. 또한 物體의 近接後流에 관한 研究로 는 物體周邊의 流動형태, 壓力分布 및 物體에 作用 하는 抗力 등과 같은 基本的인 特性에 대하여 Good等⁹⁾, Sakamoto等¹⁰⁻¹²⁾ 및 Arie等¹³⁾의 直立 平板, 傾斜平板, 長方形柱에 관한 實驗結果가 있 으며, Wedding等¹⁴⁾은 원주와 四角柱에 대한 變動 壓力의 確率密度에 관하여 그 振幅特性을 調査하 였다.

以上の 實驗結果들을 考察해보면 亂流剪斷層에 는 大規模의 組織構造(coherent structure)가 存 在하는 것이 分明하지만 그것은 오직 定性的인 것 이고, 流動의 力學的인 問題뿐만 아니라 生成構造 에 대해서도 明確하게 糾明되어 있지 않다. 그러 므로, 組織構造 및 流動의 力學的인 役割을 明確히 하기 위해서는 後流流動의 構造를 자세히 檢討할 必要性이 있다. 또한 建築物이나 各種 構造物의 高層化에 隨伴하여 構造物에 作用하는 空氣力의 評價가 構造強度上 必要할 뿐만 아니라 周期的으 로 流出하는 渦列이 構造物 등의 振動에 關聯되기

때문에, 渦生成構造를 밝히는 것도 매우 중요한 問題가 되고 있다.

따라서 本 實驗은 既報¹⁵⁾에 이어 흐름의 水平方 向의 길이와 直角方向의 길이의 比, 즉 縱橫比(B/H)가 2.0, 2.5, 4.0인 경우의 長方形柱가 均一流 動場에 놓여 있을 때 後流의 組織構造亂流의 流 動特性을 定溫度形熱線風速計를 利用하여 亂流에 너지 및 強度 剪斷應力 自己相關係數, 確率密度函 數, 파워스펙트럼 등을 求하였으며 後流의 速度變 動으로부터 渦의 發生頻度を 把握하기 위해 變動 成分으로부터 周波數分析을 通하여 스트로할數를 求하였다. 그리고 長方形柱 背面의 中點에서의 背 壓係數, 時間平均表面壓力分布 및 形狀抵抗係數 등 을 求해 長方形斷面柱 後流의 전반적인 流動特性 을 分析하였다.

記 號

- B : 角柱의 흐름方向의 1邊의 길이 (mm)
- $b_{1/2}$: 後流半幅(half width)
- C_d : 形狀抵抗係數(drag coefficient)
- $C(\tau)$: 自己相關係數(autocorrelation function)
- C_p : 壓力係數(pressure coefficient ; $(P-P_0)/\{(1/2)\rho U_0^2\}$)
- C_{pb} : 背壓係數(base pressure coefficient ; $C_{pb} = (P_b - P_0)/\{(1/2)\rho U_0^2\}$)
- $E(f), E(k)$: 파워스펙트럼 密度函數(power spectral density function)
- f : 周波數(Hz)
- f_s : 渦流流出周波數(vortex shedding frequency)
- H : 角柱의 흐름方向과 直角인 1邊의 길이(mm)
- P : 角柱表面의 靜壓
- P_0 : 角柱背面 中點의 靜壓
- P_0 : 角柱上流 均一流의 靜壓
- $P(u), P(v)$: 確率密度函數(probability density function)

- Re : 레이놀즈數(Reynolds number ;
 $Re=U_0 \cdot H/\nu$)
- $R(\tau)$: 自己相關係數(autocorrelation coefficient)
- St : 스트로할數(Strouhal number ;
 $St=f_s H/\mu$)
- t : 時間(sec)
- U_0 : 主流 速度(m/s)
- U : x方向 平均速度(m/s)
- U_c : 後流中心線上에서 x方向 無次元速度
- ΔU : x方向 平均速度 缺損
- ΔU_m : 後流中心線上的 平均速度 缺損
- u,v,w, : x, y, z方向의 速度變動成分
- $\sqrt{\bar{u}^2}, \sqrt{\bar{v}^2}, \sqrt{\bar{w}^2}$: u, v, w의 r.m.s값
- V : y方向 平均速度(m/s)
- x,y,z, : 直交座標係
- τ_0, ρ : 流體의 動粘性係數, 密度
- : 時間平均

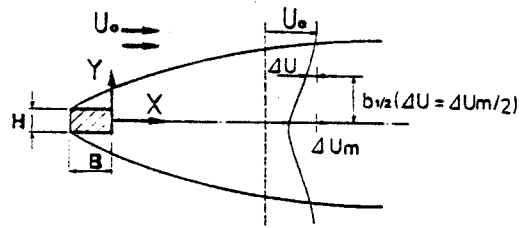


Fig. 1 Schematic diagram of the wake flow past a rectangular cylinder

行도록 하고 亂流의 解析에 必要한 各種 統計值와 周波數 分析等은 C.T.A(KANOMAX社, Model 1011)브릿지에서 나오는 두 出力을 汎用波形分析機(D-6000, Model 611)를 거쳐 GPIB카드(IEEE488)을 通하여 마이크로컴퓨터(IBM-PC/AT)로 連結하여 오프라인 프로그램에 의해서 處理되도록 하였으며 그 結果는 그래픽으로 출력한 후 프린트 하였다. 이때, 한번에 處理하는 데이터의 標本개수는 여러조건등을 勘案하여 4096개로, 標本時間은 $100\mu s$ 로 固定하였으며 또한 測定上의 誤差를 最大限 줄이기 위하여 한 포인트당 10번씩 標本하여 平均을 取하였다. 또한 周波數分析을 위해서 센서의 位置는 $x/H=6.0\sim 12.0$ 範圍에서 오실로스코프의 波形이 비교적 깨끗한 位置를 選定하여 결정하였다. 이때 받은 속도데이터는 FFT 알고리즘을 이용하여 파워스펙트럼 密度를 求하고 나타난 스펙트럼分布에서 피크值에 해당하는 振動數로부터 流出渦(shedding vortex)의 스트로할數를 求하였다. 그리고 그밖의 亂流의 特性值는 自己相關係數를 變動成分에서부터 求하고 이를 Simpson法으로 積分하여 積分時間 및 積分길이 尺度를, 確率密度函數를 利用하여 亂流信號에 의해서 發生되는 모멘트성분등을 계산하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

1) 風洞裝置

實驗에 사용된 風洞에 關해서는 既報¹⁵⁾에 詳細히 나와 있으므로 여기서는 省略한다. 流速測定時 主流速度는 7.0m/s($Re=6500$)에서, 周波數分析을 위해서 主流速度는 3~12m/s範圍에서 測定하였으며, 또한 壓力測定은 10m/s($Re=9300$)으로 하였다.

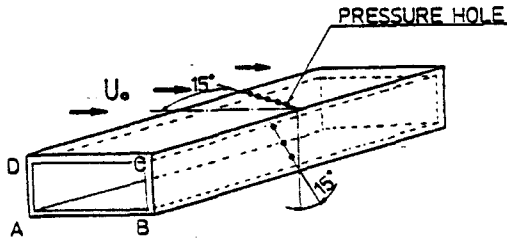
2) 平均速度, 亂流强度 및 스트로할數 測定

速度 測定을 위한 모델은 縱橫比 $B/H=2.0, 4.0$ 에 대하여 각각 두께 H를 4.2mm와 14.5mm의 두가지 경우로 하여 實驗區間 入口에서 부터 750mm인 지점에 主流方向과 垂直되게 z방향으로 設置하였다(Fig. 1). 이때 두께 14.5mm인 角柱에서도 閉鎖比는 約 4.6%이므로 角柱로 인한 壁面 效果는 無視할 수 있다¹⁶⁾.

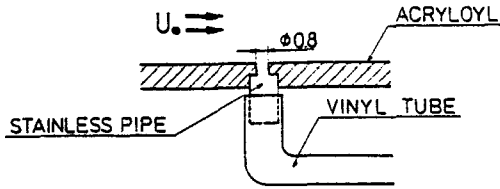
그리고 熱線프로브의 補正과 亂流信號의 測定은 컴퓨터(IBM-PC/AT)에 의해 온라인으로 遂

3) 壓力 測定

壓力 測定用 試驗片은 Fig.2(a)에 나타난 바와 같이 두께(H)가 14.5mm이고 縱橫比(B/H)는 각각 2.0, 2.5, 3.0, 4.0의 4가지이며 全長이 303mm인 四角柱로서 表面이 매끈한 아크릴를 사용하여 4面中 2面에 8~12개의 靜壓 測定用 구멍을 적당한 間隔을 두고 뚫었다. 靜壓孔은 測定孔 相互間의 干涉을 避하기 위하여 흐름方向에 대하



(a) Position of pressure holes



(b) Geometry of the static pressure holes

Fig. 2 Configuration of specimen

여 15°경사를 주어 壓力孔의 形狀으로 인한 影響을 最大限 줄이도록 하여 지름 0.8mm의 구멍을 뚫고{Fig. 2(b)} 구멍이 없는 面의 測定은 구멍이 뚫린 面을 반시계방향으로 180°回轉시켜 計測하였다. 靜壓孔에는 內徑1.2mm의 스텐레스튜우브를 適當한 크기로 삽어 비닐호스와 연결하여 스캐닝상자 뒷면에 테이프로 접착시켰다.

壓力데이터는 스캐닝상자를 通하여 미리 전기량과 壓力, 그리고 速度간에 相關關係를 求한 微細壓力計(Micromanometer, Model FCO12)를 거쳐 汎用波形分析機(D-6000, Model 611)로 받아서 컴퓨터(IBM-PC/AT)로 처리하였다. 試驗片은 實驗區間入口에서 부터 900mm인 지점에 主流方向과 垂直되게 z方向으로 設置하였고 實驗 시작 전 壓力 시험을 通하여 試驗片이 主流方向과 水平이 되는것을 確認한 後 本試驗에 臨하였다.

試驗片을 實驗區間에 設置한 狀態에서 갑자기 主流가 흐르게 되면 처음에는 流動이 不安定하여 前面壓力이 變하므로 風洞作動後 약간 時間이 經過하여 흐름이 安定되어 壓力變化가 생기지 않은 定常狀態가 되었을 때 각 지점의 表面壓力를 測定하였다. 또한 5孔 피토티관에 의한 試驗部 上流의 速度및 靜壓는 피토티관의 出口를 스캐닝상자를 通하여 微細壓力計와 連結하여 實驗中에 主流의 變動事項을 隨時로 點檢할 수 있게 하였다. 以上에

서 얻은 試驗片의 흐름방향에 대한 前面과 背面의 時間平均表面壓力分布로부터 形狀抵抗係數等을 求하고 縱橫比에따라서 表面壓力의 分布를 比較하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 亂流 剪斷應力, 自己相關係數, 確率密度函數

斷面 縱橫比 B/H=2, 4의 경우 時間平均速度分布, 레이놀즈剪斷應力, 自己相關係數, 確率密度函數等은 既報¹⁵⁾ B/H=3의 경우와 거의 비슷한 경향을 나타내므로 여기서는 省略한다.

3.2 파워스펙트럼密度函數

Fig. 3은 x/H= 6에서 v變動成分의 파워스펙트럼密度函數(power spectral density function)를 나타낸 것이다. 後流中心線上에서 보다는 y/H=1 및 2인 위치에서 卓越周波數가 나타나며 B/H=4인 경우는 62.1Hz이다. 이 사실은 自己相關係數에서 나타난 結果와 一致한다. 또한 y/H=0 및 1인 위치에서의 ∫ E(F)dF 값, 즉 에너지 값(v²)은 비슷하나 y/H=2인 위치에서의 에너지의 값은 상당히 적다. 이러한 結果는 亂流에너지의 分布에서도 잘 나타나 있다. Fig. 4는 x의 각 위치에서 求한 파워스펙트럼密度函數로서 卓越周波數에서는 變化가 거의 없으나 下流側으로 흘러갈수록 에너지의 크기는 점차 줄어들고 있다. Fig. 5는 x/H=10인 지점의 後流中心에서 u, v變動成分의 파워스펙트럼分布를 나타내고 있는데 u變動成分보다 v變動成分이 강한 에너지를 나타내는 周波數가 存在하는 것을 알 수 있는데, 이는 渦流流出周波數에 해당된다. 또한 600Hz이상에서 파워스펙트럼의 u, v成分이 거의 같게 나타나는데 이것은 그 以上の 周波數領域에서는 小規模 亂流構造에서 局部的으로 等方性(local isotropy)이 이루어지는 에너지 消散領域(energy dissipation region)이 되고 있기 때문이다.

3-3. 渦流流出 周波數

長方形斷面柱 周圍의 흐름은 원주와는 달리 剝

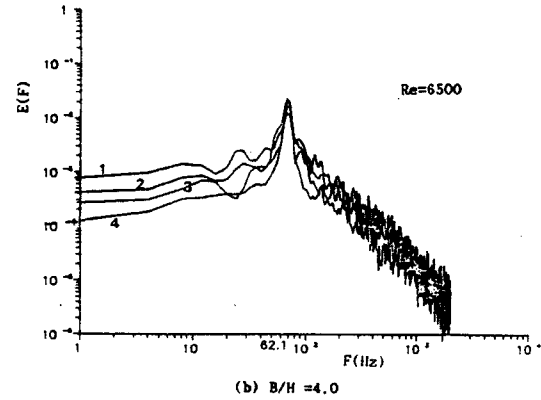
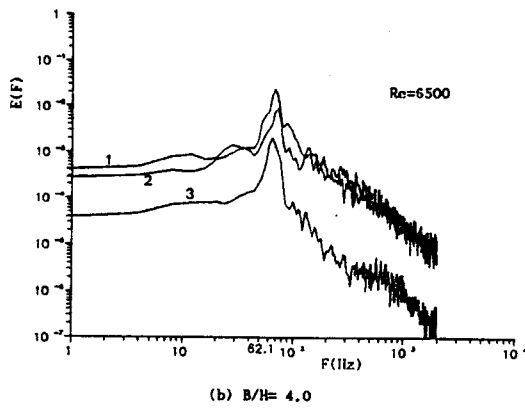
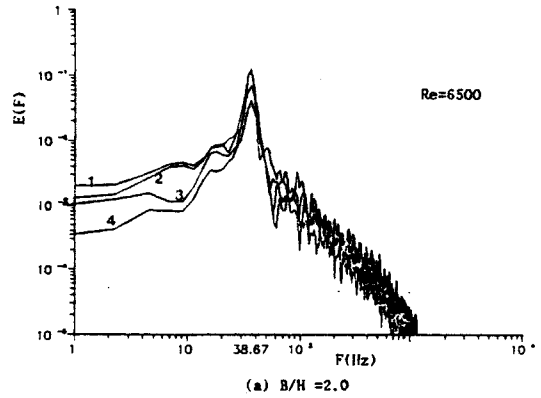
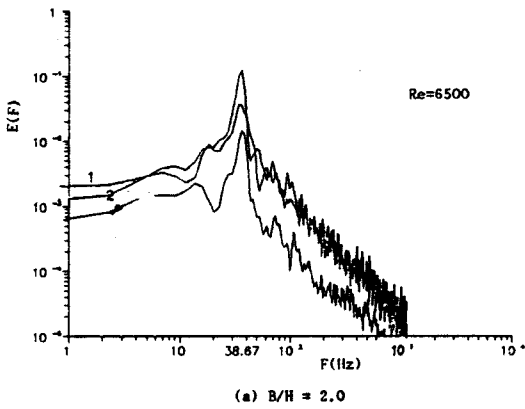


Fig. 3 Power spectral density function at $x=6H$ along the y -direction (1; $y/H=0$ 2; $y/H=1$ 3; $y/H=2$)

Fig. 4 Power spectral density function along the x -direction (1; $x/H=4$ 2; $x/H=6$ 4; $x/H=20$)

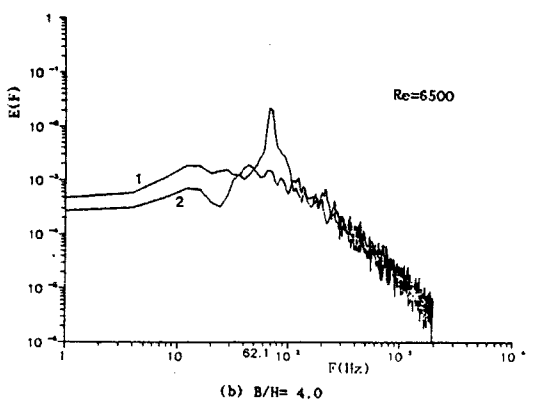
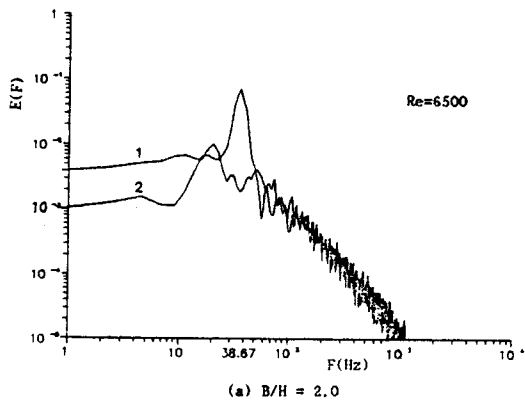


Fig. 5 Power spectral density function at $x=10H$ along the wake center line (1; u ; 2; v)

離한 剪斷流와 物體와의 사이에 干涉이 強하며 縱橫比(B/H)가 變함에 따라서 干涉의 程度도 變한다. 또한 Re 數에 의해서 剝離한 흐름에 있어서 亂

流에 遷移하는 位置가 變하기 때문에 흐름은 다시 複雜하게 된다. 本實驗의 結果는 가장 重要한 파라미터의 하나인 Re 數의 影響에 주목하여 整理

하였다.

3.3.1 B/H=2.0인 長方形斷面柱의 경우

Fig.6은 增加하는 Re數에 대하여 縱橫比가 2.0인 長方形斷面柱 表面 後流에서의 파워스펙트럼과 St數 그리고 信號變動波形을 나타낸 것이다. Re=780附近에서 두개의 支配的인 피크를 가지는 周波數가 생기는 흥미로운 現象이 Fig.6(a)에 나타난다. 두개의 피크 가운데 보다 낮은 周波數는

높은 周波數의 하나의 副調和(subharmonic)로 여겨진다. Re數의 增加와 더불어 Fig.6(b)에서 보듯이 파워스펙트럼상의 보다 높은 周波數의 消滅을 隨件 하면서 낮은 周波數 成分이 增加하는 것이 보인다. Fig.8(a)는 Re數와 St數와의 關係를 나타낸것이다. Re數의 增加에 따라 St數의 크기 도 점점 增加하다가 Re=2.0x10³에서 極大로 되며 그 以後 거의 St = 0.08~0.09로 一定하게 維持된다.

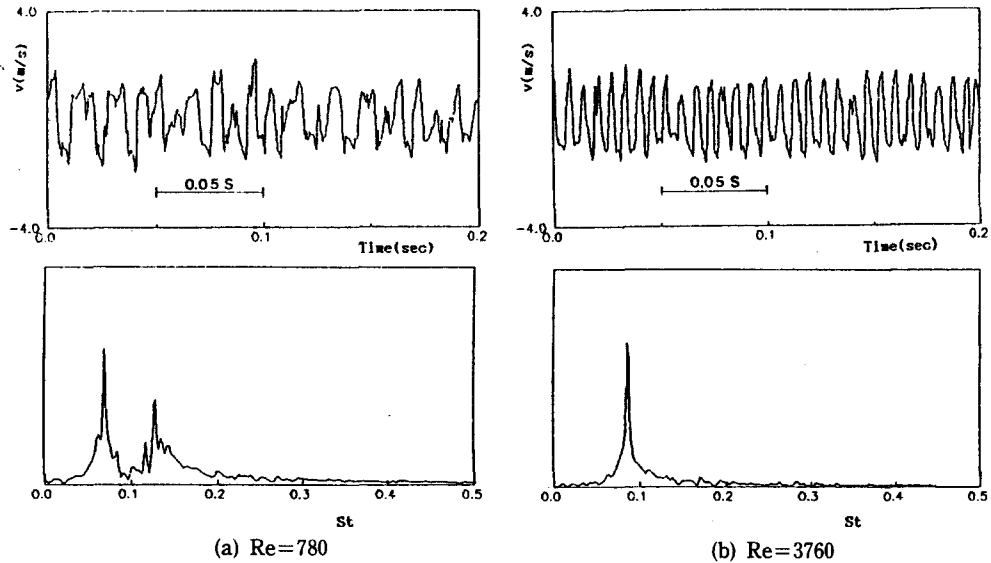


Fig. 6 Signal traces and power spectra of fluctuating velocity in the wake with B/H=2.0

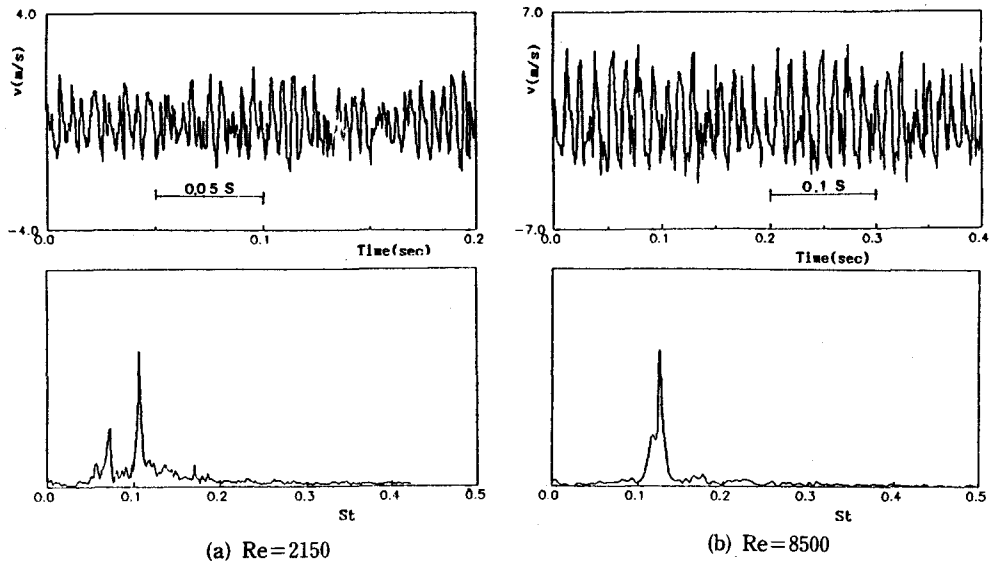


Fig. 7 Signal traces and power spectra of fluctuating velocity in the wake with B/H=2.5

3.3.2 B/H=2.5, 3.0인 경우

Fig. 7은 縱橫比가 2.5인 경우의 파워스펙트럼과 St數를 나타내었다. 비교적 낮은 Re=(0.8~2)×10³의 範圍에서는 2가지 종류의 形態가 感知되는데 그 중 낮은 St數의 모드가 支配的이며, 나타나는 卓越周波數는 한개이고 그 St數는 Re數의 增加에 따라 점차 增加한다. 그러나, Fig. 7(a)에서 보듯이 Re>2×10³에서는 複數個의 卓越스펙트럼成分이 나타나며 일시 높은 쪽의 St數成分(St=0.13)의 파워쪽이 강하게 된다. Re數가 점차 增加하면 다시 한개의 卓越스펙트럼이 감지된다 {Fig. 7(b)}.

Fig. 9는 縱橫比 3.0의 경우를 나타내었다. 이때 Re數에 대한 St數는 비교적 낮은 Re數의 구간에서는 한개의 피크를 가지면서 점점 增加하다가 Re=(0.9~3)×10³의 비교적 넓은 구간에 걸쳐서 複雜하게 나타난다. Re數가 Fig. 9(a)와 (b)에서 보듯이 그 값이 1240 近方에 이르면 두개의 다른 종류의 信號가 感知되는데 그것들은 크거나 周波數에서 아주 다르며 비교적 긴시간에 걸쳐서 번갈아 가며 나타나는 것을 볼 수 있다. 비교적 규칙적인 작은 振幅의 變動波形은 St=0.16에서 예리한 피크를 나타내며 편의상 形態I이라한다 {Fig. 9(a)}. 形態I의 波形사이에서 생기는 큰 振幅의 스펙트럼分布를 보면 가장 卓越한 周波數의 St數의 값은 0.06이지만 0.12附近에서도 작은 피크가 認知되며 이 狀態를 形態II라 한다{Fig. 9(b)}. 그것은 分離와 再附着이라는 두개의 다른 流動形態의 混合을 暗示한다고 볼 수 있다. 본 實驗에서 두 形態 사이는 약10~20sec정도의 시간적 間隔을 두고 間歇的으로 交替되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이 Re數의 領域에서는 Fig. 11(a)에서 보듯이 한부분의 Re數에서 3개의 별개의 St數가 표시될 수 있다.

結局 B/H=3.0의 長方形斷面柱의 경우 Re=(0.9~3)×10³의 過度領域에서는 Re數의 增加에 따라서 먼저 높은 St數의 形態 I이 消滅하고 다음에 남은 2종류의 St數成分을 가진 形態II 가운데 점차 높은 쪽의 St數成分이 支配的으로 되며 {Fig. 9(c)} 그 값은 Re數의 增加에 따라 增加하다가 Re>9.5×10³에서 거의 一定(St=0.16)하게

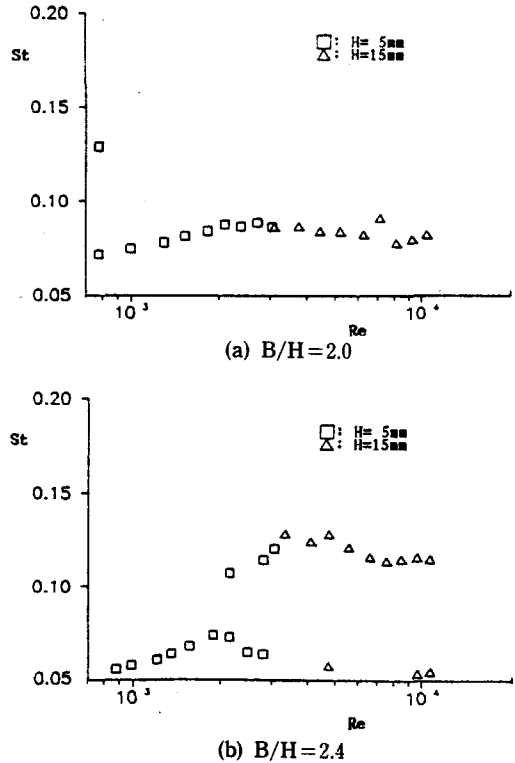


Fig. 8 Variation of Strouhal number with Reynolds number with B/H 2.0 and 2.5

維持되는데 그 이유는 亂流의 影響이 再附着된 流動을 支配하기 때문이라고 볼 수 있다.

3.3.3 B/H=4.0의 경우

Fig. 10은 縱橫比가 4.0인 경우를 나타내었다. 斷面柱의 形狀이 B/H=4.0과 같이 가늘고 긴 斷面柱에서는 본 實驗의 Re數의 範圍에서 볼 때 試驗片의 上·下面에 각각 交互로 再附着하는 소위 周期的인 再附着흐름이 安定되어 흐름의 變化가 크지 않으며, St數의 값은 Re=2.3×10³에서 St는 0.145로 最大가 되고 그 以後로 거의 一定하다 {Fig. 11(b)}. 그리고 波形을 보면 스펙트럼分布에서 하나의 피크를 만들 정도로 들어오는 信號도 깨끗하며 이를 이용하여 自己相關係數를 求해보면 역시 周期的이고 規則的인 모양을 볼 수가 있다.

Fig. 12는 Re≥2.8×10³의 範圍에서 각 縱橫比에 대하여 Re數에 따른 St數의 變化를 나타내고 있다. 그 結果 각 縱橫比에서 St數의 分布는 Re數에 따라 큰 變化를 보이지 않으나, 縱橫比에 따라서

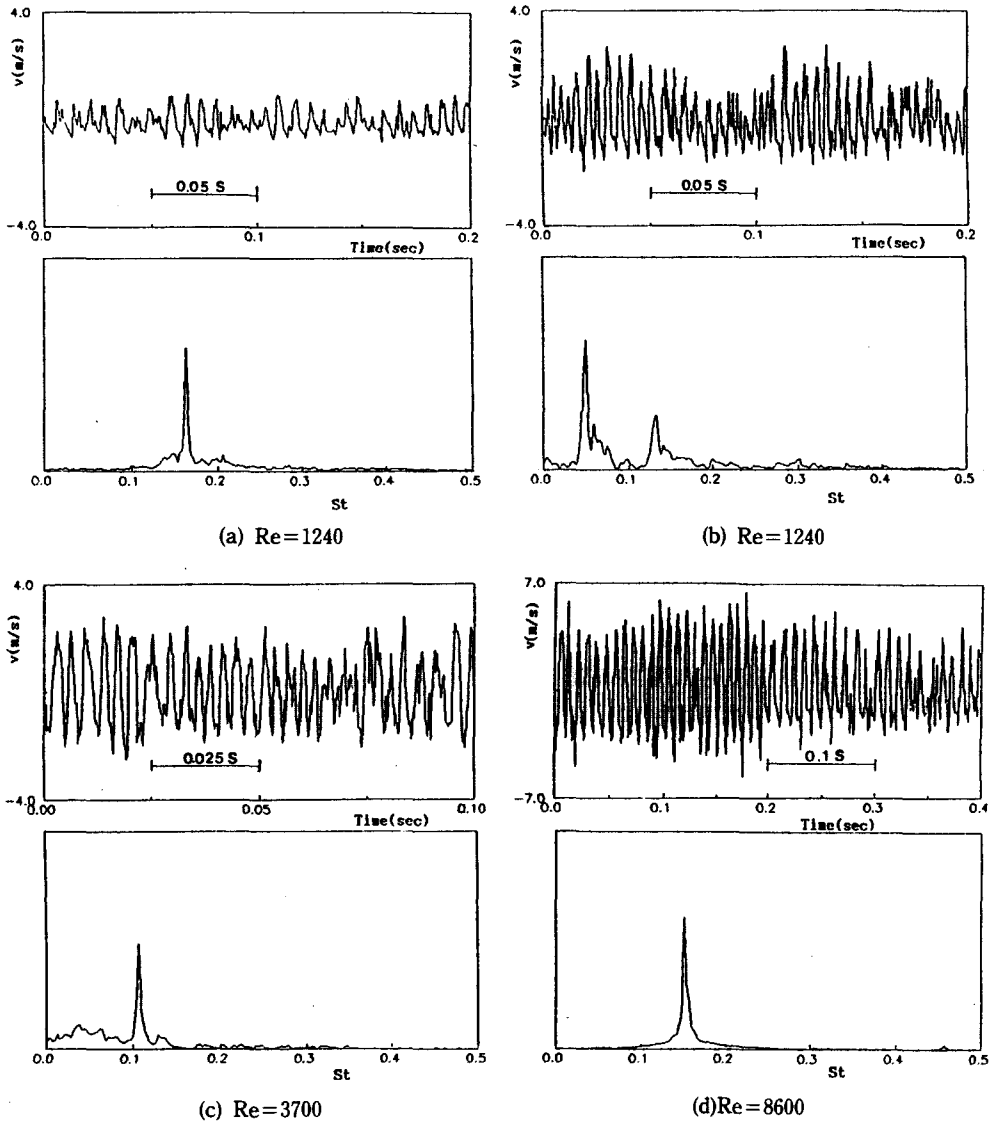
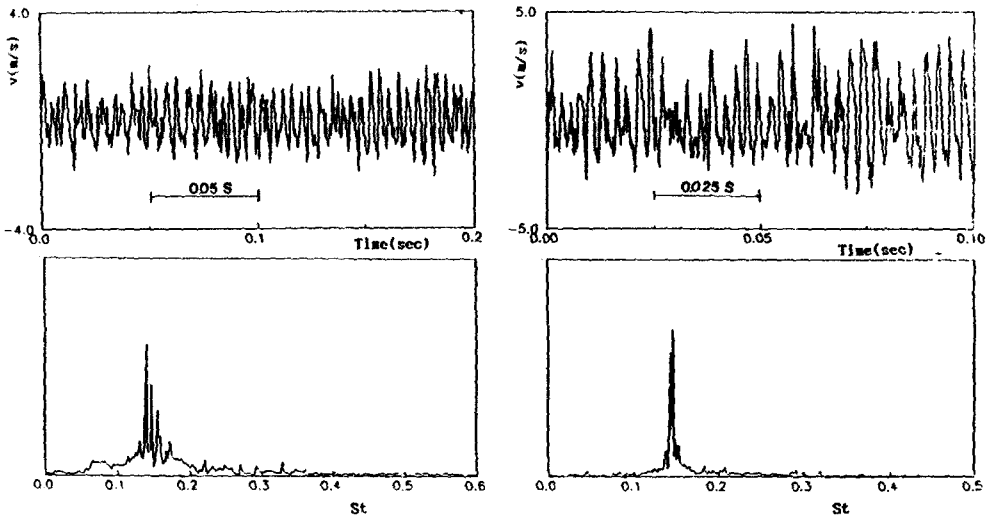


Fig. 9 Signal traces and power spectra of fluctuating velocity in the wake with $B/H=3.0$

는 3.0, 4.0, 2.5 및 2.0의 順으로 작은 값을 나타낸다. Fig. 13은 縱橫比에 대한 St數의 變化를 나타내고 있다. 縱橫比 $B/H < 2.5$ 에서 St數는 縱橫比의 增加와 함께 減少하지만 $2.0 < B/H < 3.0$ 範圍에서는 $St=0.06$ 에서 0.15 로 急增하는 Re數의 領域이 있다. 다시 縱橫比가 $3.0 \sim 4.0$ 으로 크지면 $St=0.15$ 에서 縱橫比의 增加에 따라서 減少하고 4.0 에서 $St=0.135$ 로 된다.

以上과 같이 $B/H \geq 2.0$ 인 長方形柱의 경우를 보

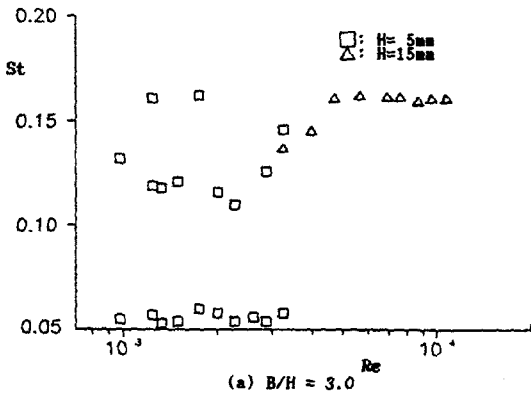
면 St數의 값이 急激히 變化하는 Re數의 領域이 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 流動形態(flow pattern)의 變化는 전적으로 Re數에 依存한다고 볼 수 있다. 물론 매우 낮은 Re數에서는 長方形柱 先端의 裏面에서 定常的인 再附着이 있고 결국 流動은 後端에서 剝離하게 된다. 적당한 Re數에서는 先端에서의 流動形態가 발달되고 剝離된 流動 그 자체는 완전히 角柱로 부터 離脫될 수 없고 渦流流出동안 上面이나 혹은 下面에 再附着



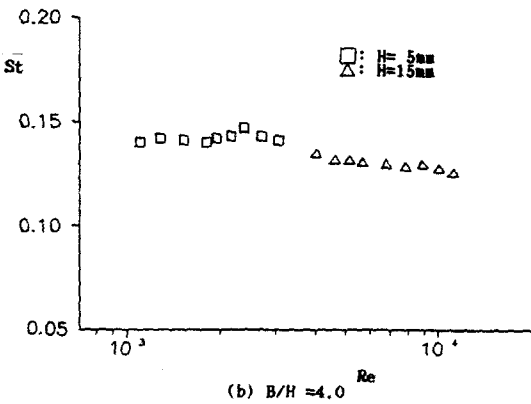
(a) $Re=1800$

(b) $Re=2700$

Fig. 10 Signal traces and power spectra of fluctuating velocity in the wake with $B/H=4.0$



(a) $B/H = 3.0$



(b) $B/H = 4.0$

Fig. 11 Variation of Strouhal number with Reynolds number with $B/H=3.0$ and 4.0

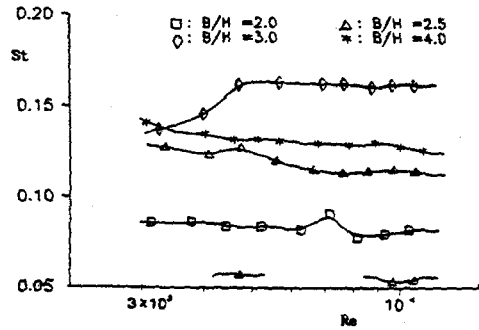


Fig. 12 Variation of Strouhal number with Reynolds number for width-to-length ratio

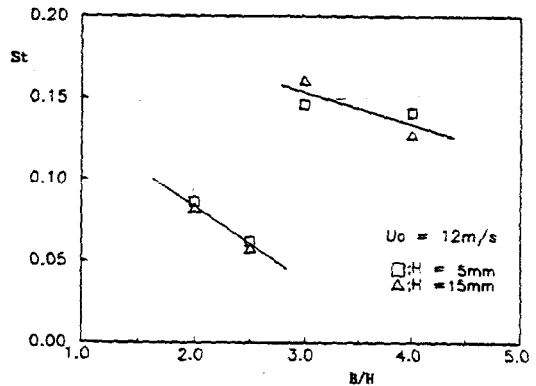


Fig. 13 Correlations of Strouhal number vs width to length ratio

하게 된다. 그러나 Re數가 좀더 增加하게 되면 剝離된 流動은 後流의 擴張으로 인하여 不連續的인 St數의 變化를 나타내면서 表面에서 갑자기 分離된다.

이러한 臨界Re數의 範圍는 縱橫比 2.0인 경우에는 본 實驗의 Re數範圍에서는 나타나지 않으나 이보다 더 작은 Re數의 範圍라고 생각되며 2.5인 경우에는 $Re = (0.8 \sim 2) \times 10^3$ 이고 3.0인 경우에는 $Re = (0.9 \sim 3) \times 10^3$ 까지 遲延된다. 縱橫比가 커지면 커질수록 臨界값이 더 높아 지는데 그 理由는 角柱의 後體(after body)길이의 增加가 剝離된 流動의 膨脹을 抑制하면서 그 자신이 側面에 附着하려고 하기 때문이라고 생각된다.

그러나 縱橫比가 비교적 큰 4.0인 角柱에서는 St數의 심한 變化는 나타나지 않는데 거기서는 先端에서 剝離된 流動은 上面이나 下面에 再附着된 채로 있는 것 같다. 따라서 Re數가 增加함에 따라 파워스펙트럼分布에서 2개의 피크가 나타나는 縱橫比의 領域은 2.0, 2.5에서부터 좀 더 큰 값, 즉 3.0으로 옮겨가는 것을 볼 수 있으며 縱橫比의 臨界값 또한 Re數의 函數라고 看做된다.

以上的 周波數分布을 위하여 받은 速度變動信號는 그 檢出時間의 길이에 따라서 스펙트럼分布가 變化하거나 한쪽의 卓越周波數만 觀察되는 경우가 있으나 본 實驗에서는 여러시간 間隔으로 信號를 받아서 共通的인 傾向을 나타내는 것만 分析에 利用하였으며 實驗上의 制約으로 비교적 넓은 區間의 Re數領域에서는 測定을 하지 못하였다.

3.4 時間平均壓力分布와 形狀抵抗係數

Fig. 14는 長方形柱의 側面 및 背面에서의 時間平均壓力分布圖이다. 縱橫比 2.0에서 보면 側面의 壓力係數는 背壓係數보다도 低下하고 後端 B, C 方面에서의 壓力係數는 不連續으로 되어있다(Fig. 14(a)). 그리고 縱橫比 2.5는 2.0에 比해서 側面에서의 壓力係數가 약간 增加하는 것을 알 수 있다(Fig. 14(b)). 그러나 縱橫比가 3.0以上으로 커지면 先端으로부터의 剝離剪斷層이 側面上에 再附着하기 때문에 後端 B, C附近에서 壓力係數는 回復하고, 背壓係數도 현저히 回復하고 있다(Fig. 14(c)). 側面上的 先端 A, D附近의 壓力係數는

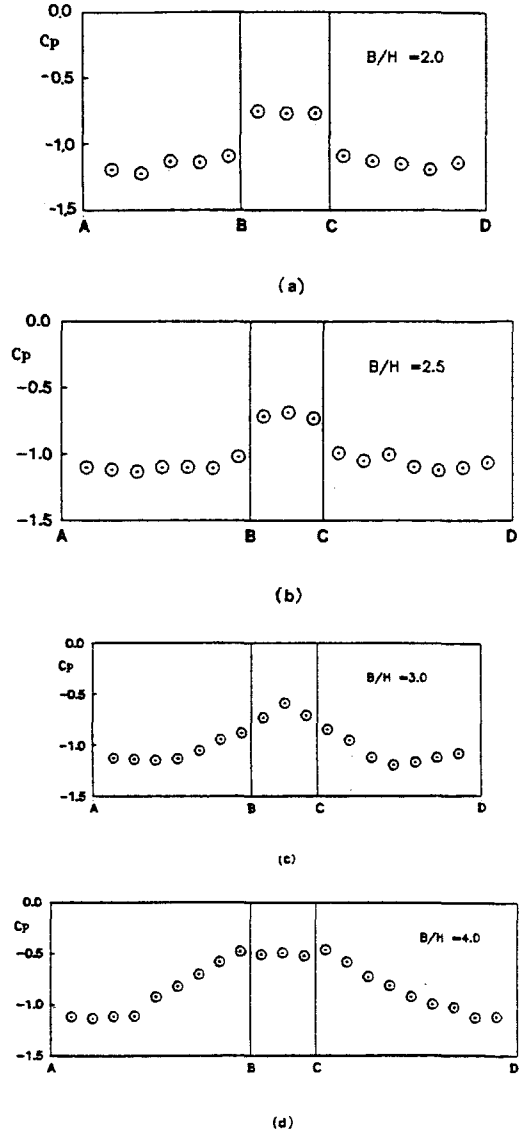


Fig. 14 Pressure distributions

縱橫比의 增加에 대해 점차로 增加하지만 背壓係數에는 이와같은 傾向이 없다. Fig. 15는 背面 B, C의 中點에서 測定한 背壓係數와 위의 壓力分布로부터 求한 形狀抵抗係數를 나타내고 있다. 본 實驗區間에서는 縱橫比의 增加에 따라 背壓係數는 조금씩 增加하나 形狀抵抗係數는 減少하는 傾向을 나타내고 있으며, 이러한 사실은 Nakaguchi等⁵⁾, Bearman等¹⁷⁾의 實驗結果와도 잘 一致하고있다.

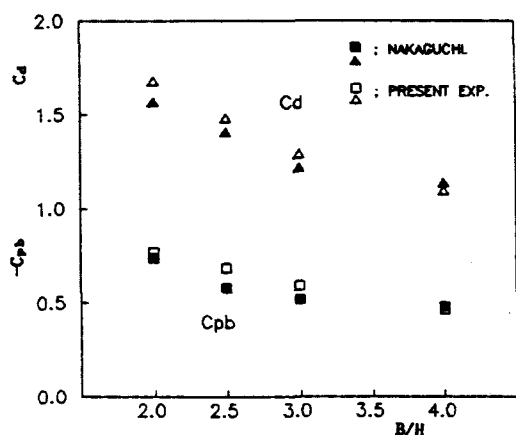


Fig. 15 Base pressure and drag coefficients

4. 結 論

均一한 速度場에 놓인 長方形柱 後方의 비교적 近接한 後流의 流動에 關하여 熱線風速計를 利用한 온라인 시스템으로 亂流構造의 基本的인 特性과 渦流流出周波數 및 壓力係數等을 調査하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 長方形柱의 St數는 Re數의 函數로써, 또는 縱橫比(B/H)의 函數로써 決定되어진다. 縱橫比(B/H) 2.5와 3.0 에서 St數의 不連續性이 나타나고 流動形態가 갑자기 變하는 Re數의 領域이 發見된다.

2. 縱橫比(B/H)가 3.0 이상으로 되면 剝離剪斷層이 側面上에 再附着하여 後端附近의 壓力係數는 回復된다. 또한 側面上의 先端附近의 壓力係數는 縱橫比의 增加에 따라 점차 增加한다. 縱橫比의 增加에 따라 背壓係數는 漸進的으로 增加하나 形狀抵抗係數는 減少한다.

參考文獻

- 1) Kline, S. J., Reynolds, W. C., Schraub, F. A. and Runstadler, P. W., "The Structure of turbulent boundary layers", J. Fluid Mech., Vol. 30, 1967, p. 741-773.
- 2) B. J. Beckery, "Fluctuating lift and drag on a long cylinders of square cross-section in a smooth and in a turbulent stream", J. Fluid

Mech., Vol. 25, 1966, p. 481-494.

- 3) A Okajima, "Strouhal numbers of rectangular cylinders", J. Fluid Mech., Vol. 123, 1982, p. 379-398
- 4) H. Sakamoto and S. Oiwake, "Fluctuating forces on a rectangular prism and a circular cylinder placed vertically in turbulent boundary layer", J. Fluids Eng. Trans. ASME, Vol. 106, 1984, p. 160-166
- 5) Nakaguchi, H., Hashimoto, S., J. Jpn. Soc. Aero. Space Sci., Vol. 16, No. 168, p. 1-5.
- 6) Otsuki, Y., Washizu, K. Tomizawa, H. and Ohya, A. J. Sound Vib., Vol. 34, No. 2(1974), p. 233-248.
- 7) Nakamura, Y. and Mizota, T., ASCE: J. Eng. Mech. Div., Vol. 101, No. EM6(1975), p. 855.
- 8) Awbi, H. B., J. Ind. Aerodyn., Vol. 3, No. 44, (1978), p. 285-306.
- 9) M. C. Good and P. N. Joubert, "The form drag of two-dimensional bluff plates immersed in turbulent boundary layers", J. Fluid Mech. Vol. 31 Part 3, 1968, p. 547-582
- 10) 坂本弘志, 森谷優, 有江幹男, 亂流境界層内におかれたにふい物體周邊の流れに關する研究(第1報, 垂直平板の抗力), 日本機械學會論文集(第2部) 41卷 342號, (昭50), p. 526-536
- 11) 坂本弘志, 森谷優, 有江幹男, 亂流境界層内におかれたにふい物體周邊の流れに關する研究(第2報, 傾斜平板 作用する流體力)", 日本機械學會論文集(第2部) 42卷 357號, (昭 51), p. 1442-1451
- 12) 坂本弘志, 森谷優, 有江幹男, 亂流境界層内におかれたにふい物體周邊の流れに關する研究(第3報, 半圓柱に作用する流體力), 日本機械學會論文集(第2部) 42卷 362號, (昭 51), p. 3224-3232
- 13) 有江幹男, 木谷 勝, 田村尙敬, 小杉雅夫, 高岡勝也, "亂流境界層の中にある長方形柱 周邊の流れに關する研究(第2報, フローパタンおよび壓力分布)", 日本機械學會論文集 41卷 343號(昭 50-3) p. 847-854
- 14) J. B. Wedding, J. M. Robertson, J. A. Peterka and R. E. Akins, "Spectral and probability-density nature of square-prism separation-

- reattachment wall pressure”, Trans. ASME J. Fluids Eng, Vol. 100, 1978, p. 485-492
- 15) 南 青都, 趙爽吳, 夫 禎淑, “長方形柱後流의 2次元 亂流特性”, 韓國舶用機關學會誌 第14卷 1號, 1990, p. 62-71
- 16) C. Farell, S. Carrasquel, O. Guven, V.C. Patel
Trans. ASME Ser. I, J. Fluids Eng., Vol. No 99, 1977, p. 470-479
- 17) Bearman, P. W. and Trueman, D.H.
Aeronaut. Q., Vol. 23, 1972, p. 229-237