

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

紊流場中矩柱體分離剪力層非穩定結構研究

Unsteady Structure of Separated Shear Layer of Rectangular Prisms in Turbulent Flows

計畫編號：NSC 89-2211-E-032-036

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：盧博堅 淡江大學水資源及環境工程系

計畫參與人員：劉忠諭 淡江大學水資源及環境工程系
郭城豐 淡江大學土木工程系

一、中文摘要

本研究將藉著風洞實驗來探討均勻紊流場流經二維矩形斷面柱體前緣後之分離剪力層之非穩定結構。由於渦旋脫離現象是交替產生，因而分離剪力層呈現非穩定之週期現象。此剪力層除了受柱體後部長度的影響外，亦受逼近流場的紊流強度及紊流尺度的影響。本研究控制逼近流之紊流強度、紊流尺度及模型高寬比來探討分離剪力層之非穩定結構。以求對流體與結構體間之交互作用能有更進一步的了解。

關鍵詞：風洞實驗、分離剪力層、紊流強度、紊流長度尺度。

Abstract

A series of wind tunnel experiments have been carried out to study the unsteady structures of the separated shear layers of two-dimensional rectangular prisms subject to homogeneous turbulence flow fields. Due to the alternating occurrence of vortex shedding, the separated shear layers have unsteady periodic structures. In addition to being affected by the after-body of the prisms, the separated shear layers are also influenced by the turbulence intensity and length scale of the approaching flow. In this study, the experimental parameters are the turbulence intensity and turbulence length scale of the flow, and depth-to-width ratio of the prisms,

The main purpose is to further understand the unsteady structures of the separated shear layers and the interaction between the approaching flow fields and the prisms.

Keywords: wind tunnel experiment, separated shear layer, turbulence intensity, turbulence length scale.

二、計畫緣由與目的

風力工程在近年高層建築營建工程急速發展之際，是個相當重要的研究課題。在前人的研究中知道鈍狀體受風力狀況是受模型的寬高比及逼近流場之紊流強度、紊流長度尺度等流場特性所影響[1-5]。

前人的探討只從模型表面壓力的量測來說明分離剪力層之結構。另外有些學者對分離剪力層做詳盡流場量測[6-9]-這些學者主要是探討流體流經銳緣長平板之分離剪力流及再接觸的流場結構。而由於不受尾跡渦旋脫離的影響，所以剪力流近似定常流狀況。

Lyn & Rodi[10]利用雷射都卜勒量測儀 LDA，利用條件取樣法，探討方柱體之脈動剪力層流結構。但此種結構如何受逼近流流場狀況，即紊流強度、紊流尺度的影響而再影響到尾跡渦旋的形成；以及柱體長度改變而造成再接觸，但是仍然有尾跡渦旋形成的情況下，其剪力流的結構機制又如何，此乃是本研究的主要目的。

三、實驗設置與方法

本計畫使用淡江大學結構風洞來執行風洞模型試驗。風洞之試驗斷面為 1.5mm 高 × 2.0m 寬 × 18.0m 長。

本計畫使用矩形木條桿件組合而成格網柵板置於實驗段前方，利用不同的模型與柵板間距產生所需的特定均勻紊流場，實驗所需的紊流強度 (u'/U) 及紊流尺度 (L_x/D) 如表一所示。

Table 1. The longitudinal turbulent intensity, u'/U , and length scale, L_x/D , of grid-generated turbulent flows.

Flow pattern	u'/U (%)	L_x/D
S	0.9	0.4
A	4.9	6.2
B	9.6	4.2
C	11.3	6.4
D	10.5	8.3
E	15.6	6.6

其中 u' 為順風向擾動速度均根值， U 為順風向平均速度， L_x 為順風向紊流長度尺度， D 為模型迎風面高度。

本計畫使用之矩柱體模型，其尺寸長為 100cm，寬(D)為 5cm，深(B)為 2, 3, 4, 5, 10, 15cm 等。模型兩端各連接 1m × 1m 之端板，模型之阻隔比為 1.7%，風速控制在雷諾數為 3.3×10^4 。

分離剪力流之量測，則使用裂膜探針 (split film probe) 連接一精度為 0.0025mm 之平移架上，以前緣銳角為起點，以順風向為 x 軸，橫風向為 y 軸。利用模型側邊中間孔的壓力訊號做條件取樣。利用相位平均法 (phase average) 求得各相位之紊流結構。

四、結果與討論

在紊流場中，流體自前緣銳角分離後，形成剪力層。沿著柱體側面的發展可以由 (Fig.1(a)) 中看出，在 $X/D=0.20$ 中有很明顯的超出自由流擬似噴射流突起。此突起沿著下游則逐漸減少，速度剖面亦趨於平滑。然加速度及減速度相位之速度差則往後緣加大。在剪力層中，亦出現最大之紊流強度 (Fig.1(b))，其位置和最大的速度梯度 (Fig.1(c)) 相吻合，紊流強度及速度梯度亦是沿著側面往下游擴散開

來。加速相位及減速相位的差異性在短矩柱中 ($B/D=0.4, 0.6, 0.8$ 及 1.0) 相當明顯。尤其以 $B/D=0.6$ 最顯著。表示其後尾流渦漩之強度最大，而長矩柱 ($B/D=2.0$ 及 3.0) 則不明顯 (Fig.2)，此由於長矩柱，剪力層受再接觸的作用，尾跡渦漩於更下游形成，造成邊界層非穩態現象較不明顯。引入紊流強度及尺度在加速相位及減速相位間之差異，隨著紊流強度及尺度的增加，其間之差異則變小。隨著紊流強度及尺度的增加，剪力層中的最大平均紊流強度則隨著向外延伸，其剪力層之渦漩厚度亦增厚 (Table 2)。在本實驗中尺度的影響微小。

Table 2. Vorticity thickness (δ_w/D), where δ_w is defined as $(\bar{u}_{\max} - \bar{u}_{\min}) / (d\bar{u}/dy)_{\max}$.

B/D	X/D	S	A	B	C	D	E
0.4	0.20	0.055	0.061	0.066	0.080	0.083	0.100
0.6	0.20	0.060	0.070	0.075	0.076	0.076	0.088
0.8	0.20	0.063	0.071	0.073	0.090	0.084	0.095
1.0	0.25	0.068	0.091	0.098	0.105	0.154	0.135
2.0	0.25	0.089	0.096	0.106	0.113	0.122	0.123
3.0	0.25	0.073	0.084	0.099	0.138	0.115	0.127

流體流經矩柱體，會在前緣銳角分離，然後捲增，並在柱體後形成渦漩而脫離。紊流強度及尺度會影響剪力層的形成。其作用為加強其混合，使得捲增增加，因此剪力層變厚。但相對的則減低其結構的整體性，使得結構變為較鬆散。且在非穩定的脈動差異性減低。本實驗的結果驗證前人只以側邊的壓力量測來說明界層的變化，以及前人只以平均值來描述邊界層，本文則探討剪力層非穩態的結構。

五、計畫成果自評

本計畫成果已投稿於 Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics [11]。

六、參考文獻

- [1] Lee, B. E., The effect of turbulence on the surface pressure field of a square prism, J. Fluid Mech., Vol. 69, pp.263-282 (1975).
- [2] Saathoff, P. J. and Melbowne, W. H., Effects of free-stream turbulence on surface pressure fluctuations in separation bubble, J. Fluid Mech., Vol. 337, pp. 1-24 (1997).
- [3] Li, Q. S. and Melbourne, I H., An experimental

- investigation of the effects of free-stream turbulence on stream wise surface pressures in separated and reattaching flow, *J. Wind Eng. Indust. Aerodyn.*, 54/55, 313-323 (1995).
- [4] Nakamura, Y. and Ozono, S., The effects turbulence on a separated and reattaching flows, *J. Fluid Mech.*, Vol. 178, pp.477-490 (1987).
- [5] Nakamura, Y. and Ohya, Y., The effects turbulence on the mean flow past two-dimensional rectangular cylinders, *J. Fluid Mech.*, Vol. 149, pp. 255-273 (1984).
- [6] Kiya, M. and Sasaki, K., Structure of large-scale vortices and unsteady reverse flow in the reattaching zone of a turbulent separation bubble, *J. Fluid Mech.*, Vol. 154, pp463-491 (1985).
- [7] Ruderich, R. and Fernholz, H.H., An experimental investigation of a turbulent shear flow with separation, reverse flow and reattachment, *J. Fluid Mech.*, Vol. 163, pp.283-322 (1986).
- [8] Castro, I. P. and Haque, A., The structure of a turbulent shear layer bounding a separation region, *J. Fluid Mech.*, Vol. 179, pp.439-468(1987).
- [9] Castro, I. P. and Epik, E., Boundary layer development after a separation region, *J Fluid Mech.*, Vol. 374, pp.91-116 (1998).
- [10] Lyn, D. A. and Rodi, I, The flapping shear layer formed by flows separation from the forward corner of square cylinder, *J. Fluid Mech.*, Vol. 267, pp.353-376 (1994).
- [11] Lu, P. C., Cheng, C. M., Lai, C. W. and Chang, C. W., The unsteady structures of separated shear layers of rectangular prisms in turbulent flows, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* (2001). (Submitted)

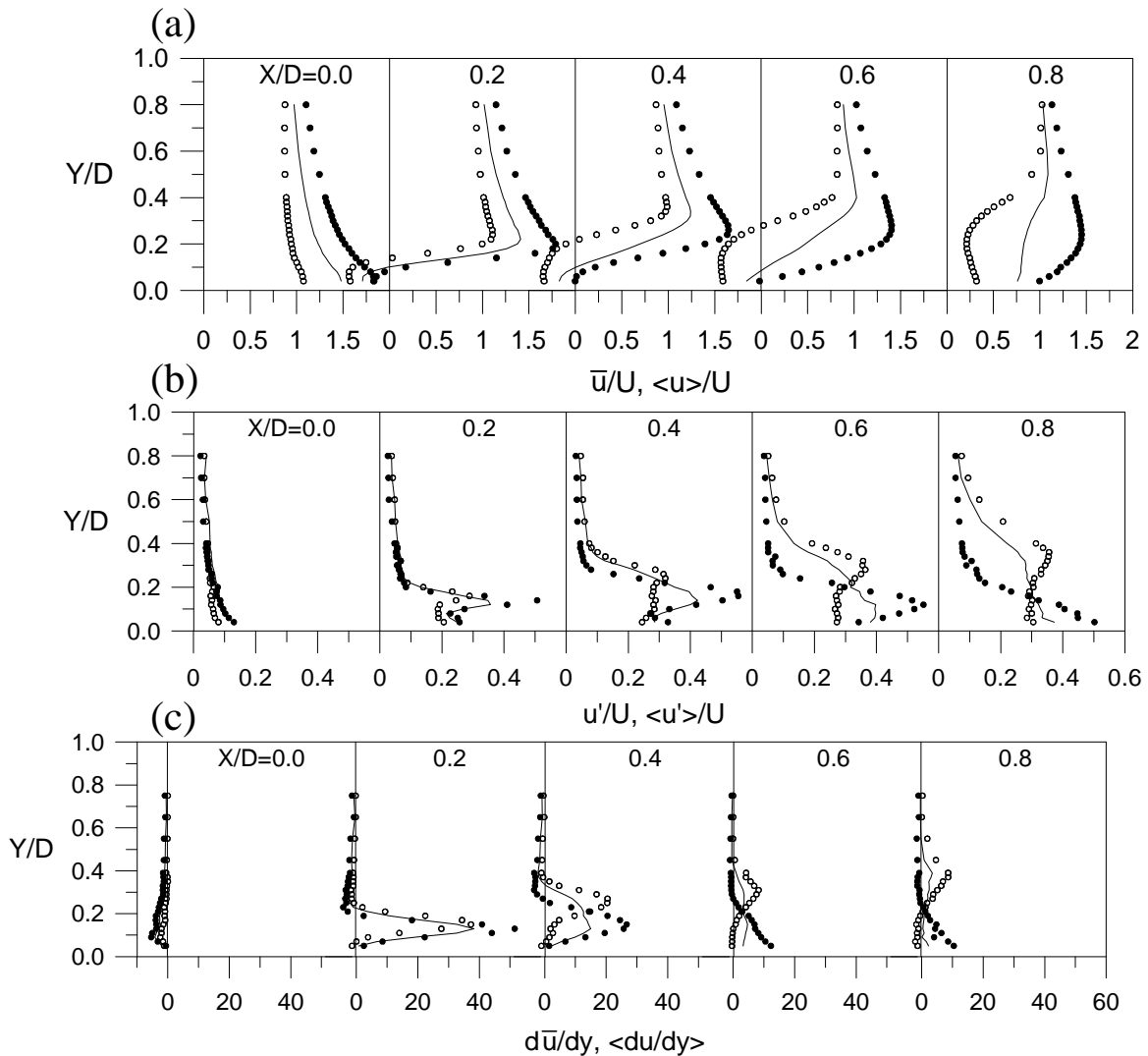


Fig. 1. Downstream development of the (a) velocity, (b) turbulence intensity, and (c) velocity gradient profiles of the separated shear layer along the lateral side in smooth flow when $B/D = 0.6$, where — is the time-average, • is phase 3 (acceleration), o is phase 9 (deceleration), \bar{u} is the mean velocity, U is the approaching flow velocity, u' is the root mean square of fluctuating velocity, and $\langle \rangle$ indicates phase-average.

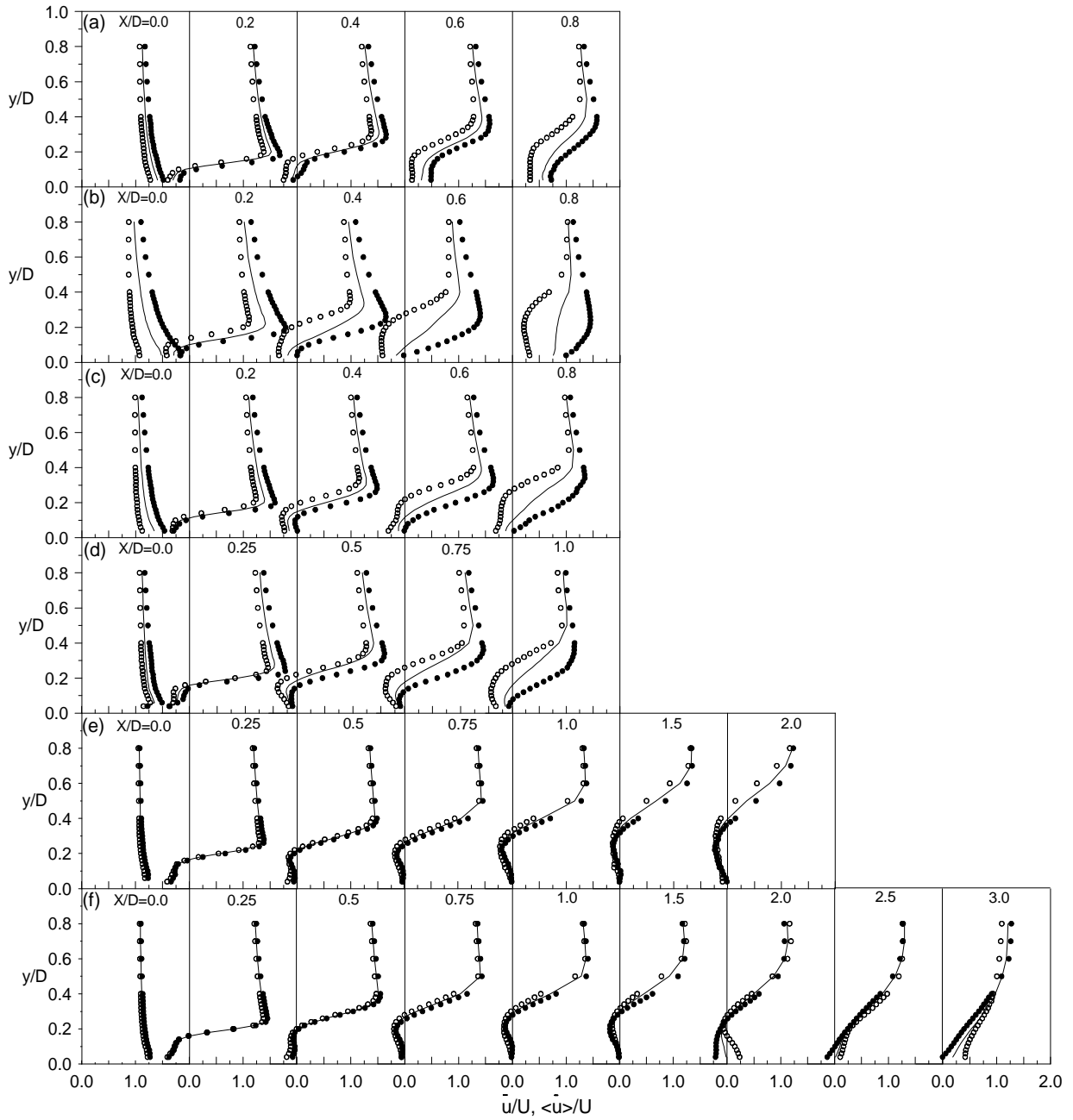


Fig. 2. Comparison of velocity profiles of the separated shear layers when (a) $B/D = 0.4$, (b) 0.6 , (c) 0.8 , (d) 1.0 , (e) 2.0 , and (f) 3.0 , where the symbols are the same as in Fig. 1 except \circ indicates phase 12 (deceleration) when $B/D = 1.0$ and 2.0 , \bullet indicates phase 2 (acceleration) when $B/D = 3.0$, and \circ is phase 6 (deceleration) when $B/D = 3.0$.