

第四章 結果分析與比較

4-1 實驗結果

本章將實驗所得之流場速度向量、流場流線圖並將所得到之結果作一分析討論。由於後陷階梯流之流場具有擾動量之影響，單憑幾張影像之結果並不足以代表整個流況，因此須利用時均化平均多張影像之結果。並為能明瞭後陷階梯流渦流結構在空間中之分佈情況，本文計算空間中各點之渦度進行分析。渦度場之定義為 $2\omega = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)$ ，利用 CPIV 法所量測之速度分佈，並利用中央差分的方式得到流場中的渦度分佈值。而剪流層受到流域突然擴張的影響，產生逆向的壓力梯度而迫使流場向下彎曲。本文根據 CCD 所拍攝之影像及速度向量剖面圖來判斷再接觸點的位置，以速度向量剖面圖可以看出流場向下彎曲並與壁面重新接觸，定義該接觸位置為復合點。

4-1-1 CPIV 量測實驗檢測

為了驗證 CPIV 實驗之準確性，以案例 IV 上游段(取像範圍 A)，距離階梯前 4 cm 作為探討。此流場上游入流量由流量計得到為 100 l/min，且水深 4.3 cm、渠寬 20 cm，通水斷面積 86 cm²，因此斷面平均流速為 19.4 cm/s；而由實驗結果計算出之平均流速（將一固定斷面上之速度值平均）為 19.1 cm/s，誤差為 0.015。因此，利用 CPIV 法可應用於後陷階梯流。此外，根據分析所得之結果，如圖 4-1 所示，

為進至階梯位置前之流場分佈得知，此流場為完全發展流。

4-1-2 案例 I 實驗結果

取案例 I 為範例，說明各位置實驗結果。此案例階梯高 1.5cm、上游入流量為 20 l/min、上游水深 1.5cm。

1. 位置 A 區（主流發展區）實驗結果

擷取試驗之原始影像大小為 4cm×3cm，如圖 4-2 所示，經由影像分析及時均化計算結果，於後陷階梯前之速度向量分佈，如圖 4-3 所示，於圖下方空白處為階梯位置，以穩定流況進至位置 B 區，如圖 4-4 所示為流場之流線圖，且進入階梯前為完全發展之情況，而由圖 4-5 渦度場之渦度較強的地方發生在上下兩邊界之處。且當流體到達階梯處時，由於流域的面積突張，而形成了分流現象(flow separation)。

2. 位置 B 區（迴流影響區）實驗結果

緊接於 A 區之後為流場在進入階梯後 0 至 4 公分斷面位置，由於此區水深突擴之影響產生迴流現象，以階梯高度為基礎，流況呈現兩層現象，於上層部分為以射流方式進入此區，其流速為較快之區域，下層部分為迴流區域，其速度相對於上層，屬於流速慢，且為發生渦流之區域。擷取 B 區之原始影像大小為 4cm×3cm，如圖 4-6 所示，經由影像分析及時均化計算結果，於後陷階梯之速度向量分佈，如圖 4-7 所示，於上、下層流速梯度相差過大，因此，於圖 4-7 下方

似乎為一空白值，為詳細展示下層流速分佈，利用放大效果顯示速度向量，如圖 4-8 所示為下層影像分析結果之速度向量圖。所得之流速分佈流線化，其結果如圖 4-9 所示，為流場之流線圖，此結果於下層有三個渦流產生(兩大一小)。藉由流場於各位置之速度差分析其渦度強度分佈，如圖 4-10 所示，為渦度強度分佈圖。並可看出在複合線處渦度值較大。

3. 位置 C 區（迴流影響區）實驗結果

此區緊接於 B 區之後，為流場在進入階梯後 4 至 8 公分斷面位置，此區與 B 區有相似之結果，亦為迴流區域，且有明顯之上、下兩層有強烈之流速差異。擷取 C 區之原始影像大小為 4cm×3cm，如圖 4-11 所示，經由影像分析及時均化計算結果，於後陷階梯之速度向量分佈，如圖 4-12 所示，為速度向量圖，由於速度差異大，因此將圖 4-12 下半部速度場放大顯示，如圖 4-13 所示。圖 4-14 與圖 4-15 分別為流場之流線圖與渦度強度分佈圖。

4. 位置 D 區（邊界層再生區）實驗結果

此區緊接於 C 區之後，為流場在進入階梯後 8 至 12 公分斷面位置，此區為迴流區域之臨界區，即複合長度（reattachment length）發生區，擷取 C 區之原始影像大小為 4cm×3cm，如圖 4-16 所示，經由影像分析及時均化計算結果，於後陷階梯之速度向量分佈，如圖 4-17

所示，為速度向量圖，由於速度差異大，因此將圖 4-17 之下半部速度場放大顯示，如圖 4-18 所示，並藉由圖 4-19 之流線圖可顯示出流場已經離開複合點，並離開邊壁往上發展。將上述所得之結果於階梯高度之 1 倍至 6 倍位置處，將其速度分佈繪出，如圖 4-21 所示，為案例 I 各無因次位置之速度剖面圖，虛線部分為複合線，並根據實驗結果於此案例之複合點約在階梯後 9.6cm 處，複合點約發生在 6.4 倍階梯高度處。

其餘案例之複合長度結果整理如表 4-2，相關結果展示如圖 4-22 ~圖 4-138。

4-2 無因次複合長度與雷諾數之關係

明渠流中，雷諾數為表示慣性力相對於黏滯力的影響。本實驗改變不同上游水深、入流量、階梯高度，並以階梯高度為特性長度定義雷諾數，並發現當雷諾數較大時，迴流區範圍變小，複合長度亦變小。經由半對數回歸，得到無因次複合長度(X_r/H_s)與雷諾數(Re)之關係式(如圖 4-139)為：

$$X_r / H_s = -0.9589 \ln(Re) + 13.943 \quad (4-1)$$

4-3 無因次複合長度與福祿數之關係

明渠流中，福祿數為表示慣性力相對於重力之比值。因為流場中福祿數會隨液面之變化而改變。因此本實驗以入流處之位置定義福祿

數，並發現當福祿數較大時，迴流區範圍變小，複合長度亦變小。經由半對數回歸，得到無因次複合長度(X_r/H_s)與福祿數(Fr)之關係式為(如圖 4-140)：

$$X_r / H_s = -1.0889 \ln(Fr) + 5.2275 \quad (4-2)$$

