

SMAC 方法應用於下射式閘門流
Application of the SMAC Method to Undergate Flows

計劃編號：NSC86-2621-E-032-008

執行期間：85年08月01日~86年07月31日

主持人：施清吉 淡江大學水資源及環境工程學系 教授

共同主持人：

一、中文摘要 (關鍵詞：下射式閘門流，渦度黏滯係數，
SMAC 方法)

下射式閘門流是屬於水工結構物的一種，一般應用在渠道上游以控制其流量。本文利用連續方程式以及雷諾運動方程式，以 SMAC 方法模擬一個二維、不可壓縮黏性流體流經一下射式閘門的流動。模擬的流況為：閘門上游有一水深 y_0 ，流速為 U_L 的水流由閘門上游遠處流經下射式閘門，閘門的開口高度為 a 。模擬的流況有二：分別為閘門開口高度 a 與上游均勻水深 y_0 比為 0.3 及 0.4；上游福祿數範圍為 0.2~0.25；摩擦係數 f 值的範圍為 0.01~0.025。模擬的重點包括渦度黏滯係數、閘門上、下游之自由面、閘門板上之壓力等。討論的重點包括質點分佈圖、流線、閘門上游及下游水面線、閘門板上壓力分佈等等。上游水面線與標準階梯法所求得的水面線相當接近；而閘門板上的壓力分佈與前人研究所得及理論一致。

英文摘要 (Keyword : Undergate flows, Eddy viscosity, SMAC method)

Underflow gate is one of the hydraulic structures, which is usually used as a control on open channel flows. Based upon the Reynolds equations of motions and the continuity equation, the method of SMAC (Simplified MAC) was utilized to simulate a two dimensional, incompressible viscous flow passing through the underflow gate. There is a uniform flow

with a depth y_0 and a velocity U_L upstream of the underflow gate. Values of the ratio of gate opening a and the inflow depth y_0 , 0.3 and 0.4, are investigated in this study. The range of the upstream Froude number is from 0.2 to 0.25; while that of the friction coefficient is between 0.01 and 0.025. The main awareness of this simulation are the eddy viscosities, water surface profiles and pressure distribution on the gate. The upstream water surface profile is in good agreement with those computed by the standard step method. Besides, the pressure distribution on the gate is also in good consistency with previously studies.

二、計畫緣由與目的

下射式閘門 (Underflow Gate) 是屬於水工結構物的一種，一般應用在渠道上以控制流量。本文利用 SMAC 方法模擬下射式閘門的流況，同時並探討模擬流況的各種物理現象以及模擬方法之優劣，最後並提出建議以提供後人參考。

三、研究方法與成果

研究方法 SMAC 方法是由 MAC (Marker and Cell) 方法演變而來的；同樣地，包括四大步驟。首先是構建問題。第二步驟為利用沿 x 與 y 軸的 Reynolds 運動方程式

分別求得下時段的暫時速度。兩運動方程式各含一深度平均渦度平均黏滯係數 (Eddy viscosity coefficient) ϵ_{tx} 與 ϵ_{ty} ; 所採用的經驗公式為 $\epsilon_{tx} = 0.45u \cdot h$ 與 $\epsilon_{ty} = 0.067u \cdot h$, 式中 u 為剪力速度, h 為水深。另一方面, $u_* = \sqrt{f/8U}$, 式中 f 為摩擦係數, U_h 為斷面平均速度。最後, 再假設 $Uh/U_0y_0=1$, U_0 與 y_0 為遠離閘門的均勻流 (沿深度) 速度與水深, 兩者均為已知之定值。這樣的話, 上述的渦度平均黏滯係數之值就可由摩擦係數的值間接求得。第三步驟與 MAC 方法相同, 利用速度勢能函數 ϕ 由連續方程式修正與疊代, 以求下時段之真正速度與壓力。與 MAC 方法不同的有二: 一是不採用壓力, 二是只有在疊代完成後才利用相關的邊界條件, 修正相關晶格之速度, 而不是每一次疊代都修正。第四步驟就是利用所求得下時段之真正速度, 計算原先流場內所有質點的新位置及所在的晶格位置。任何含質點的晶格就宣告為充斥晶格, 不論其內含多少個質點; 而不含質點的晶格為空晶格。此外, 鄰接空晶格的充斥晶格另宣佈為表面晶格, 即自由面之所在。SMAC 方法在處理自由面的依據為在自由面上的切應力與正應力 (Normal stress) 均為零, 而不採用一般的機動條件 (Kinematic condition) 。

成果 上游福祿數 Fr (或 Fr_*) 之值介於 $0.2 \sim 0.25$; 摩擦係數或因數 f 值的範圍為 $0.01 \sim 0.025$, x 方向之計算網格為 120 行, y 方向為 25 列, 所以共有 3000 個計算晶格; 再加上流場四週的虛擬晶格, 故總共為 $122 \times 27 = 3,297$ 個晶格。以在側入流速度 U_1 與其水深 y_0 分別為速度尺度與深度尺度, 結果的展示均為無因次。採用均勻晶格, 其無因次大小為 0.05 , 無因次間距為 0.001 , 每一個晶格放置 16 個晶格。閘門間隙設為 $0.4 \times y_0$ 與 $0.3 \times y_0$ 等兩種。模擬結果計有: 質點分佈、流線圖、閘門上游及下游水面線與閘門板上之壓力分佈。

四、結果與討論

1. 質點分佈:

模擬的下射式閘門的情況有以下幾種。以不同的上游均勻流水深 y_0 和閘門的各種開口高度 a 之比值模擬流況, 共分為二種, a/y_0 分別為 0.3、0.4。圖一、二分別為不同 a/y_0 之質點分佈圖, 由圖上的顯示可推斷, 以不同的閘門開口高度比模擬得的流況並無明顯的不同。然而, 由觀察其質點分佈圖, 以下幾種現象值得一提:

(i) 由質點分佈與 Harlow (1965) 及 Hirt (1976) (示於圖三、四) 的結果所做的比較, 發現閘門下游的水位都有壅高的趨勢。一般在自然界的閘門下游水位並不會雍高。究其原因可能是因為水流經閘門後, 流況轉為超臨界流, 使其動能增加, 加上渠底又為水平, 無法有效宣洩排除此動能。因此, 只好產生一水躍 (經檢驗, 下游最高水位的斷面福祿數為 0.868496 , 故可證明其產生水躍) 以減少此動能並將其轉為位能。針對此情況筆者曾嘗試在閘門下游設一跌水以宣洩此水流, 如圖五所示, 其結果顯示閘門下游的水流較無壅高之情況。另外, 為使閘門下游能較有效地宣洩水流, 筆者參考渠道中摩擦係數的範圍 (Subramanya, 1992) , 嘗試在閘門設一較小之摩擦係數, 其結果如圖六所示, 由此可看出若渠底摩擦阻力減小, 下游較無壅高之傾向。另一種可能的原因是目前所採用的連續出流條件可能較無法處理超臨界流。

(ii) 由圖上可明顯看出, 其質點分佈依高度分為三區。接近渠底部分為第一區, 自由面部分為第三區, 其間則為第二區, 此區為質點集中的地區。由圖一、二的質點分佈圖可以很明顯看出, 第二區部分的質點來自渠底及自由面。

(iii) 閘門上游的質點在渠底有偏離的現象。檢驗靠近渠底的質點, 發現在閘門上游部分仍有質點存在 (上游靠近渠底晶格, 其內的質點數均超過 11 個, 下游也至少有 1 個) , 但圖一、二並未能顯示這些質點, 其原因目前不得而知。

2. 水面線:

水面線是以模擬晶格每行內最高的質點為代表, 其

結果示於圖七、八。由圖上可知水面線呈震盪的現象，且當 a/y_0 值較大時，水面線的洩降 (drawdown) 較大。圖七、八並附由標準階梯法 (Standard Step Method) 所算出的水面線。閘內上游水面線與前人比較示於圖九。由圖八可看出其與標準階梯法所算出的水面線，位置相當接近。但閘門下游的水面線與階梯法算出的水面線則又有相當大的差異，故不適合以本方法模擬。

3. 閘門板上之壓力分佈

閘門板上的壓力分佈示於圖十。由圖可看出閘門開口比較大者，其壓力較小。若此圖與流線圖做一對照，可知在閘門開口附近，因流線彎曲使得離心力變大。因此，在閘門開口之附近，其壓力並非靜水壓分佈，如圖十之左前半部分所示。而閘門板上層部分之流線彎曲較不那麼劇烈，故其壓力分佈近似於靜水壓分佈。如圖九之右半部份所示。

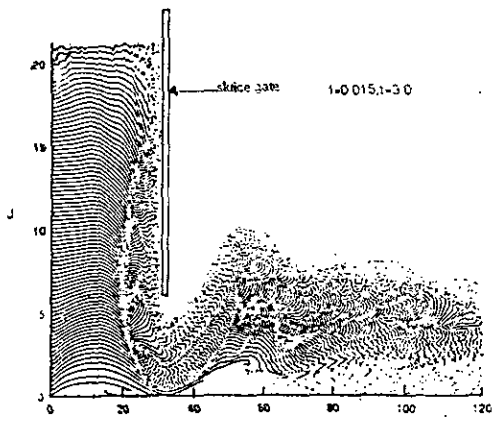
4. 模擬流況所應注意的現象

本研究曾嘗試在每個晶格放入四個質點，但因質點最後流光了而作罷，而改為每一個晶格放入 16 個質點模擬此種流況。在模擬中，有時會因表面晶格的向上速度太快，致使有一個或兩個質點飛濺到表面晶格之外的空晶格中，此時程式會判定此晶格為表面晶格。但這一、兩個質點並不足以代表。因此，在執行判斷晶格種類之前，可設一副程式，將晶格中只有一個或兩個質點的晶格判定為空晶格，以期獲得較正確的結果。準壓力 $\theta (= \tilde{p} / \rho)$ 值的設定有兩種。一種設法是設定每個晶格的準壓力為 0，另一種是設定流體在每個晶格內的壓力分佈為靜水壓分佈。但是經模擬後結果顯示其模擬時間並無多大差異，如果準壓力設為 0，則可減化壓力求取的步驟。

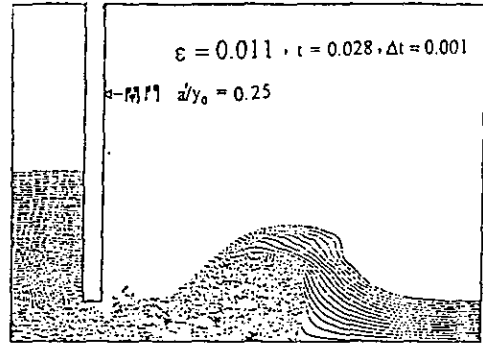
五、參考文獻

1. Amsden, A. A., and F. H. HARLOW, "The SMAC Method: A Numerical Technique for Calculating Incompressible Fluid Flow", Los Alamos Scientific Laboratory Report, LA-4370 May 1970.
2. Fischer, H. B., and T. Hanamura, "The Effect of Roughness Strip on Transverse Mixing in Hydraulic Models", Water Resource Res., Vol. 11, no.2, pp. 362-364, April 1975.
3. HIRT, C. W., "Heuristic Stability Theory for Finite Difference Equation", Journal of Computational Physics 2, Vol. 2, pp. 339-355, 1968.
4. HARLOW, F. M., et al., "The Marker and Cell Method Used to Simulate the Flow of Water from a Sluice Gate", Science, 149, pp. 1092-1093, Sep., 1965.
5. 邱亦鴻，「下射式閘門流況數值模擬」，私立淡江大學碩士論文，pp. 51，1994年6月。
6. 林富松，「應用 MAC 法於下射式閘門流況之數值模擬」，私立淡江大學碩士論文，pp. 51，1994年6月。
7. 周恆毅，「自由跌水流之數值模擬」，私立淡江大學碩士論文，pp. 46，1994年6月。
8. 謝惠紅，「SMAC 方法應用於下射式閘門流」，私立淡江大學碩士論文，pp. 14、20，1995年7月。

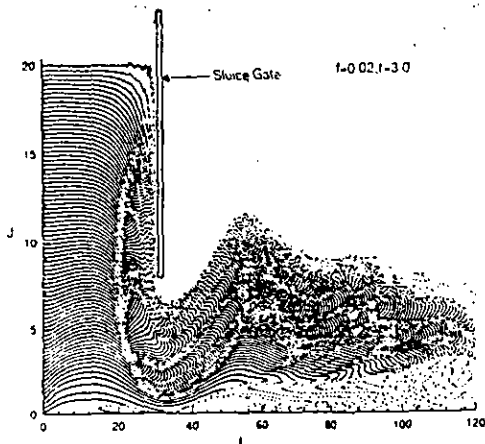
六、圖表



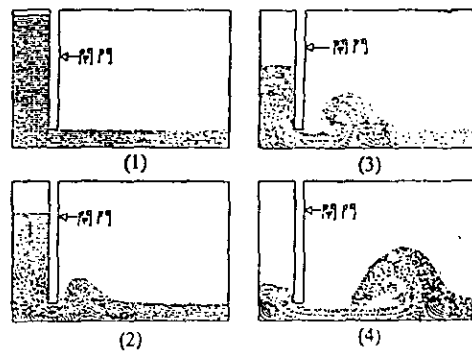
圖一 $a/y_0=0.3$ 之質點分佈圖



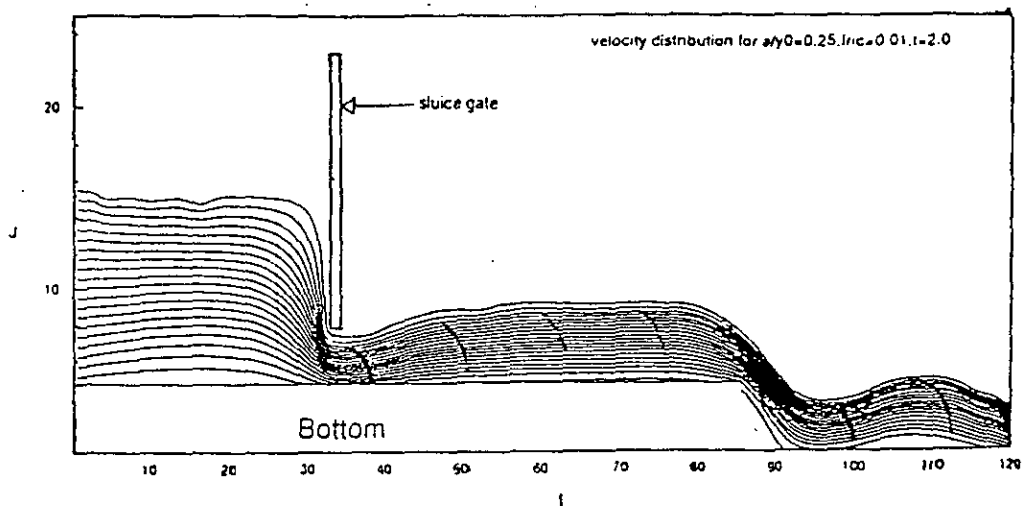
圖三 Hirt 模擬下射式閘門的質點分佈圖



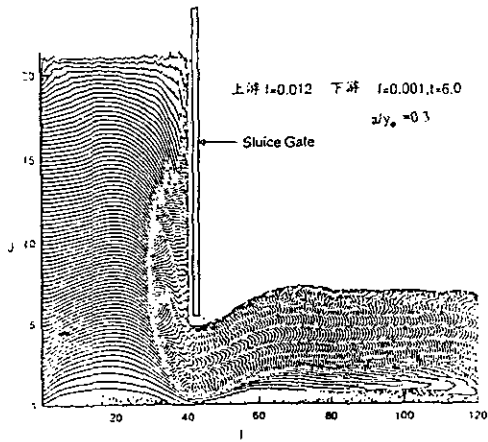
圖二 $a/y_0=0.4$ 之質點分佈圖



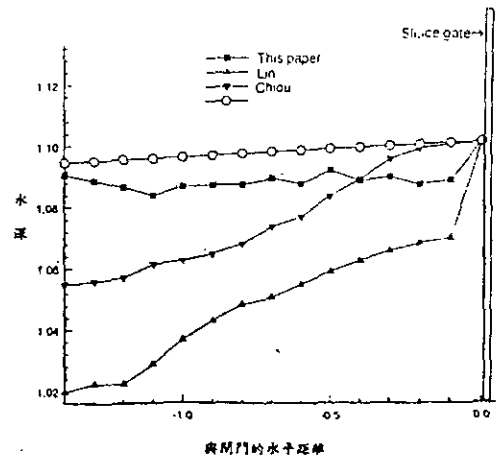
圖四 Harlow 模擬下射式閘門的質點分佈圖
上游為靜止的水流入下游，圖(1)、
(2)、(3)、(4)分別為連續不同的四個時
段所模擬得的結果



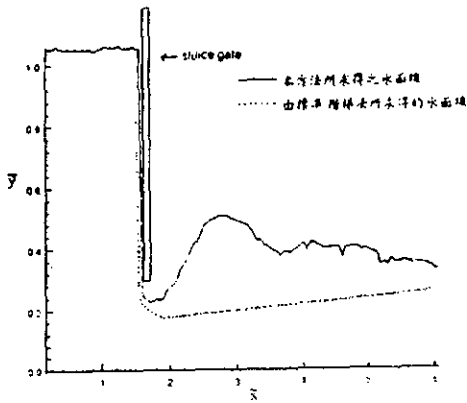
圖五 具自由跌水之下射式閘門流線圖



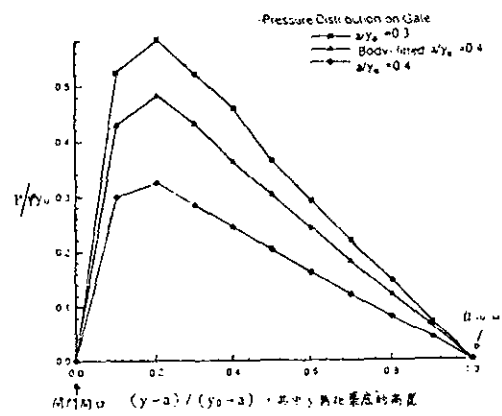
圖六 閘門上下游摩擦因子不同之下射式閘門質點分佈圖



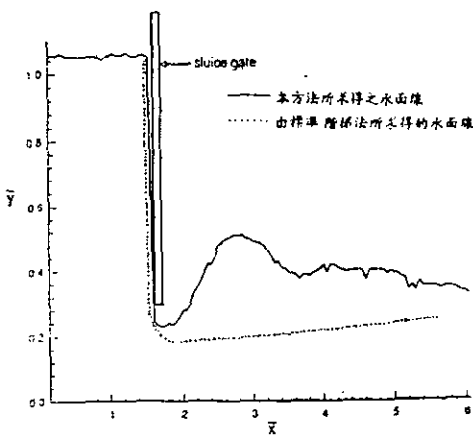
圖九 $a/y_0=0.4$ 之上游水面線與前人比較圖



圖七 $a/y_0=0.3$ 之自由水面圖



圖十 閘門板上壓力分佈圖



圖八 $a/y_0=0.4$ 之自由水面圖