

通過水流通過開放渠道之半圓柱體流體模擬

陳鈞華⁽¹⁾、宋建明⁽²⁾、甘俊二⁽³⁾

⁽¹⁾屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

⁽²⁾屏東科技大學土木工程系博士生

⁽³⁾七星農田水利基金會董事長、水利技師

摘要

本研究針對湍流通過開放渠道之半圓柱體流體，利用 FLUENT 軟體模擬，探討在數值分析中建模網格類型、影響計算模型對模擬結果的情況。模擬出流體最大、最小壓力值和發生區域；流體最大速度值和區域；流體軸向速度最大、小值和發生區域；流體最大速度值、區域。本研究的結果可幫助瞭解在湍流流場中 2 維半圓柱體於開放渠道之流體表面壓力、速度場分佈圖與分離點的移動情況。可提供研究開放渠道中湍流對於不同固體構造物之快速求解參考。

關鍵詞：數值分析、湍流理論、半圓柱體流體。

一、前言

由於湍流理論應用於剛、柔性物體上之研究，近幾年因為計算機和有限元素軟體越來越進步，漸漸地越來越受學者探討，張宏飛、曹紅松等，2006 年，以數值分析將湍流模型的選擇解釋的很清楚，不同的網格和流線需垂直的設置，不同的湍

流模型包括 S-A、 $K-\epsilon$ (標準、RNG、旋流修正)、K-W (標準、壓力修正)、RSM、LES、RNGK-E 模型分別說明應用情況，本研究依據此應用說明選擇標準 $K-\epsilon$ 模型，屬於完全湍流之高雷諾型態，模擬開放渠道中湍流流動的各種情形。

二、理論及方法與步驟

2.1 雷諾數平均理論模型

N-S(Navier-Stokes)方程式的對於要計算複雜幾何外形的高雷諾數湍流，一般都要計算到最小尺度的運動，但目前的數值模擬軟體是無法模擬出來的。解決方法通常是將雷諾平均 (Renelod ensemble-averaging) 和濾波，產生新的數值，再代入模型求解。

雷諾平均表示公式如下：

$$\bar{A} = \frac{\int A e^{-\beta H(q_1, q_2, \dots, q_m, p_1, p_2, \dots, p_N)} d\tau}{\int e^{-\beta H(q_1, q_2, \dots, q_m, p_1, p_2, \dots, p_N)} d\tau} \dots\dots\dots(1)$$

其中：

\bar{A} ：雷諾數 A 的平均

$\beta = \frac{1}{kT}$ ：動力係數，

H：Hamiltonian 係數

q_i 動量係數

p_i ：共軛動量係數

陳鈞華、宋建明、甘俊二
道之半圓柱體流體模擬

$d\tau$: 空間體積

2.2 標準 $k-\varepsilon$ 湍流模型理論

Launder and Spalding,1972 年提出標準 $k-\varepsilon$ 模型，在 FLUENT 軟體變成流場計算中主要工具之一，其為最簡單的完整湍流模型，如下式 (2) ~ (7) 構成了瞬態兩相(流、固體)湍流的基本方程組公式所示。

(1)連續方程式：

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_q \bar{v}_q) = 0 \dots\dots\dots(2)$$

(2)動量方程式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q \bar{v}_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \bar{v}_q \bar{v}_q) = \\ \alpha_q \nabla p + \nabla \cdot [\tau] + \alpha_q \rho_q \bar{g} + \alpha_q \rho_q \bar{F}_q \dots\dots\dots(3) \\ + \overline{F_{\text{lift},q}} + \overline{F_{\text{vm},q}} + \sum_{p=1}^n K_{pq} (\bar{v}_q - \bar{v}_p) \end{aligned}$$

(3)黏性應力張量：

$$[\tau] = \alpha_q \rho_q (\nabla v_q + \nabla v'_q) + \alpha_q (\lambda_q - \frac{2}{3} \mu_q) \nabla \cdot \bar{v}_q [I] \dots\dots\dots(4)$$

(4)湍流應力張量：

$$[\tau'_q] = \frac{2}{3} (\rho_q k_q + \rho_q \mu_{t,q} \nabla \cdot \bar{v}_q) [I] + \rho_q \mu_{t,q} (\nabla v_q + \nabla v'_q) \dots\dots\dots(5)$$

(5)湍流黏度：

$$\mu_{t,q} = \rho_q C_\mu \frac{k_q^2}{\varepsilon_q} \dots\dots\dots(6)$$

(6)湍流動能(k_q)方程式：

三、結果與討論

3.1 半圓柱體建模分析步驟

1.首先分別輸入參數如下所示，

$$\rho_q = 1.0(\text{kg}/\text{m}^3); g = 9.81 (\text{m}/\text{s}^2);$$

$$\mu_{t,q} = 1 \times 10^{-6}; R(\text{圓柱固體半圓半}$$

$$\text{徑}) = 0.03(\text{m}); L(\text{直徑}) = 2 \times R(\text{m}); H(\text{模擬水層高}) = 0.075(\text{m}); \text{outlen}(\text{底層長度}) = \text{inlen}(\text{上}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q k_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \bar{v}_q k_q) = \\ \nabla \cdot (\alpha_q - \frac{\mu_{t,q}}{\sigma_k} \nabla k_q) + (\alpha_q G_{k,q} - \alpha_q \rho_q \varepsilon_q) + \\ \sum_{l=1}^N K_{lq} (C_{lq} k_l - C_{lq} k_q) - \sum_{l=1}^N K_{lq} (\bar{v}_l - \bar{v}_q) \cdot \\ \frac{\mu_{t,l}}{\alpha_l \sigma_l} \nabla \alpha_l + \sum_{p=1}^n K_{lq} (\bar{v}_l - \bar{v}_q) \frac{\mu_{t,l}}{\alpha_l \sigma_l} \nabla \alpha_q \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

式中： α_q 是第 q 相的體積分數，且所有相的總 α_q 和為 1。 t 是時間； $v_{q,q}$ 是 q 相流速； ρ_q 是 q 相密度； μ_q 和 λ_q 是 q 相的剪力和體積黏度； k_q 是 q 相的湍流動能； $\mu_{t,q}$ 是 q 相的湍流黏度； g 是重力加速度； K_{pq} 是相 p 和 q 間的動量交換係數； F_q 是 q 相外部體積力； $q_{\text{lift},q}$ 是相 q 升力； $F_{\text{vm},q}$ 是 q 相虛擬品質力。 $[I]$ 是單位張量矩陣； C_μ ， $C_{1\varepsilon}$ ， $C_{2\varepsilon}$ ， $C_{3\varepsilon}$ 是湍流模型常量； $G_{k,q}$ 是 q 相平均速度梯度引起的湍動能； C_{lq} ， C_{ql} 是多相流模型常數。

2.3 流體總壓力梯度理論

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \left\{ -k_p V_x |V| + \frac{f}{D_h} \rho V_x |V| + C_\mu V_x \right\} \dots\dots\dots(8)$$

k_p ：局部壓力頭損失(質量/長度³)； μ ：動力黏性係數(質量/長度*時間)； f ：摩擦係數； Re ：雷諾數； C ：FLOTTRAN(1/長度²)； V ：流體速度。

層長度)=5*R。建立參數後接續建模模，為 FLUID141 單元建立流體區域瞬態和穩態流體模型，通過 3、4 個節點劃分網格，如圖 1 所示。

陳鈞華、宋建明、甘俊二
道之半圓柱體流體模擬

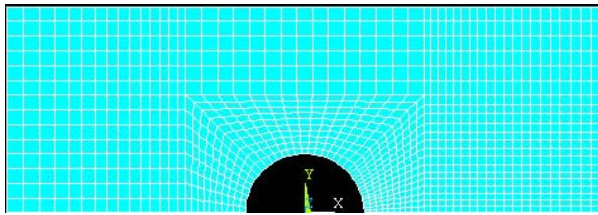


圖 1 劃分網格模型

2.節點和單元荷載中的流、固體交互分析，使用 SF(固體)命令和 FSIN(流體)命令交互加以標記，如圖 2 所示。

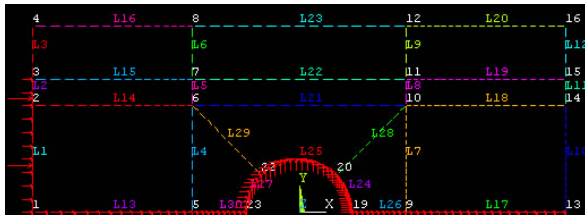


圖 2 流、固體交互單元荷載模型

3.FLUID141 分佈阻力

最後，經由流體總壓力梯度公式後以數值進行迭代分析並輸出結果。

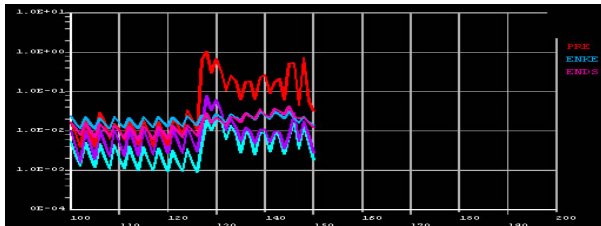


圖3迭代分析曲線圖

4.並接續對於 FLOTTRAN CFD 單元，根據動量、質量守恆分別可得速度、壓力，並繪製如圖 4、5、6、7 所示。

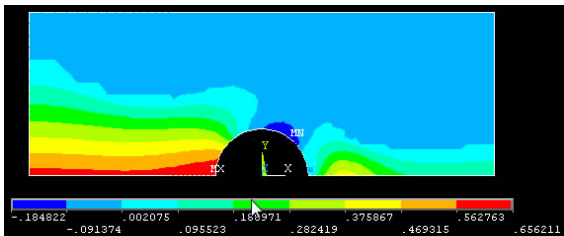


圖4 流體壓力場分佈圖

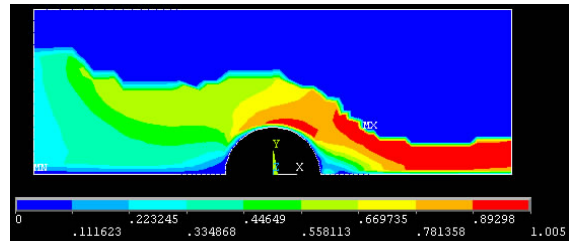


圖5 流體速度場分佈圖

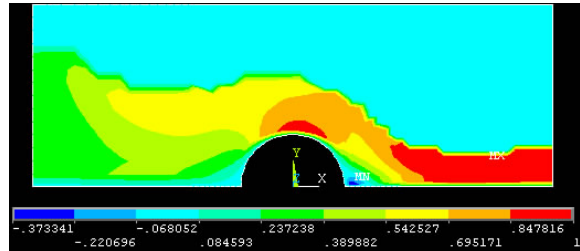


圖6 流體軸向速度場分佈圖

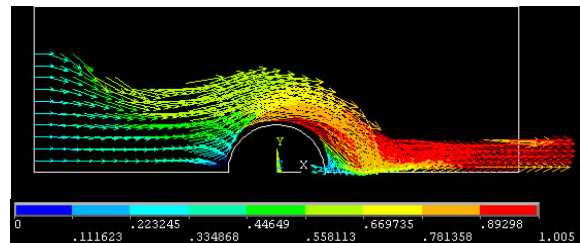


圖7 流體速度場分佈圖

3.2 標準 $k-\varepsilon$ 湍流求解結果

首先模擬出流體最大、最小壓力值分別 $0.656(\text{kgw}/\text{m}^2)$ 、 $-0.184(\text{kgw}/\text{m}^2)$ ，最大壓力值分佈於前半部，最小壓力值分佈於半圓柱固體表面的 $3/4$ 的後半部位置上，如圖 4 所示；流體最大速度值為 $0.005(\text{m}/\text{s})$ ，其分佈於半圓柱固體表面的 $3/4$ 的後半部位置上區域和後半部的底面積上為冲刷部分，如圖 5 所示；流體軸向速度最大、小值分別為 $0.848(\text{m}/\text{s})$ 、 $-0.373(\text{m}/\text{s})$ ；流體軸向速度最大值分佈於半圓柱固體表面的 $1/2$ 的位置上區域，如圖 6 所示；以流體速度分佈圖，分離部分為圓柱的前 $1/4$ 位置開始分離至 $1/2$ 位置被湍流冲刷不分離，接續 $3/4$ 的位置分離位移最大，如圖 7 所示。

四、結果與建議

- 1.本研究基於高雷諾數($Re > 2320$ 、流速高、黏性低)足以引起湍流之流體(標準 $k-\epsilon$ 湍流)並考慮在平均流動下湍流波動速度的固、流介面的模擬。
- 2.由本研究得知半徑為 0.03m 的半圓柱體並無嚴重影響湍流速度，後半部最大流速為 1.005(m/s)，軸向最大流速 0.847(m/s)。
- 3.根據本研究模型，可接續探討不同摩擦係數的固體，設置多個不同位置之半圓柱體後所產生的湍流變動壓力、速度強度，並後續探討當不同湍流發生時的緊急配置模式。

參考文獻

- 1.張宏飛、曹紅松、趙桿東、朱基智，2006，數值仿真中湍流模型的選擇，彈箭與製導學報，中北大學機電工程學院，1996。
- 2.Launder B.E., Reece G.J., Rodi W., "Progress in the development of a Reynolds-Stress turbulence closure." Journal Fluid Mech., 68(3), April (1972) pp. 537-566.
3. 網址：<http://stoneszone.net/notes/turbulentModel.html>