

第十一屆全國風工程學術研討會

以不同紊流模式之數值模擬分析探討半球體結構物於定常性氣流下之氣動力特性

張閔捷¹ 羅元隆²

¹國立臺北科技大學土木工程系/碩士生

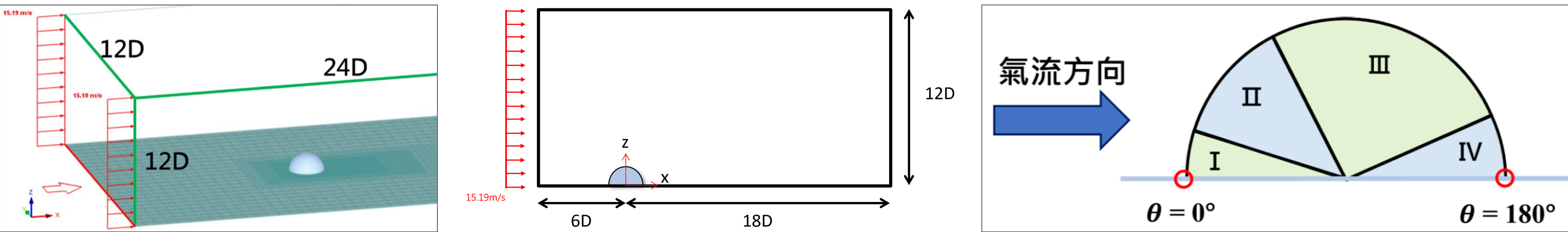
²國立臺北科技大學土木工程系/教授

研究摘要

本研究比較開源軟體 OpenFOAM 與商業軟體 Rwind 在定常氣流下模擬半球體結構的氣動力行為。研究模型為直徑 30 公分、高度 15 公分之半球體，分別採用 RANS、URANS 與 DDES 三種紊流模型進行數值模擬，並與實驗數據比對。將半球中央線區分為馬蹄渦(I)、表面剪力流區(II)、分離區(III)與尾流區(IV)取均方根誤差 (RMSE) 作為定量評估指標，結果顯示三種方法在平均風壓係數與擾動表現上存在差異，其中 DDES 整體表現最佳，能有效捕捉尾流與擾動特徵；URANS 次之，RANS 則最差。

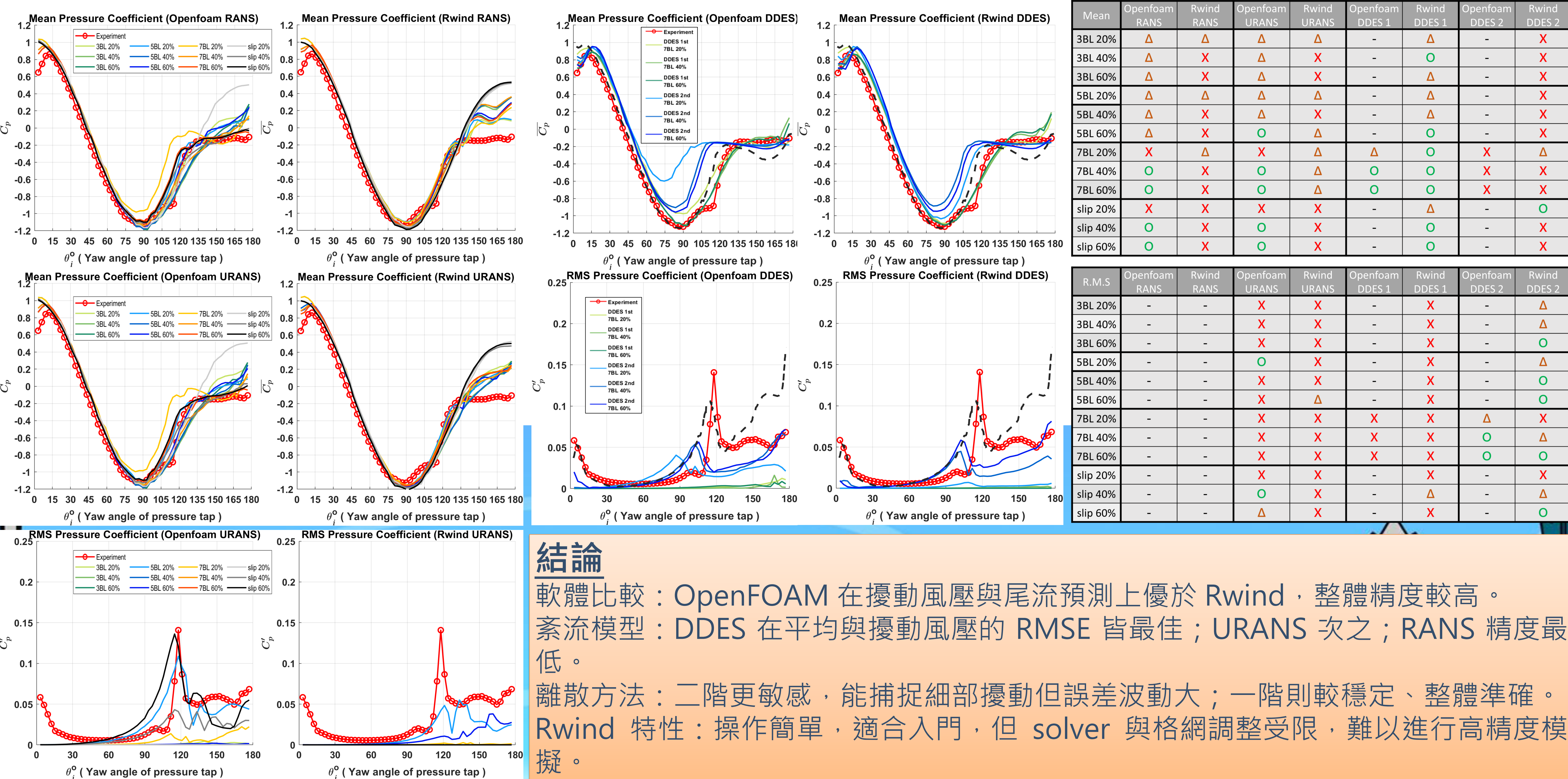
研究方法

模擬條件：固定雷諾數 $Re = 3.12 \times 10^5$ ，來流設定為平滑流場，分析半球體中央子午線的平均風壓係數與擾動風壓係數。
比較對象：採用 RANS、URANS、DDES 三種紊流模型，分別於 OpenFOAM 與 Rwind 平台下進行不同格網條件模擬，並與實驗數據 (游滄佳, 2024) 比較。
誤差評估：使用均方根誤差 (RMSE) 與加權評分法作為主要指標，並將流場分區為馬蹄渦區 (0°–30°)、剪力流區 (30°–75°)、分離區 (75°–135°)、尾流區 (135°–180°)。
權重設定：15%、10%、40%、35%，強調分離與尾流區的準確度。
評分方式：經正規化處理，誤差越小得分越高，並計算平均與擾動總分作為整體表現評估依據。



研究結果

結果顯示三種方法在平均風壓預測上有明顯差異，URANS 較 RANS 準確，而 DDES 在尾流區誤差幾乎消除，表現最佳，亦能更有效捕捉擾動現象。此外，比較不同軟體發現 OpenFOAM 在各模擬條件下皆優於 Rwind，顯示其求解品質更佳。進一步分析 DDES 模型的一階與二階離散法，結果指出二階方法對擾動捕捉最敏感，但需高密度格網才能降低誤差；相對地，在 Rwind 格網限制下，一階 DDES 則展現較穩定的模擬效果，而二階方法仍具潛在應用價值。



Mean	Openfoam RANS	Rwind RANS	Openfoam URANS	Rwind URANS	Openfoam DDES 1	Rwind DDES 1	Openfoam DDES 2	Rwind DDES 2
3BL 20%	△	△	△	△	-	△	-	X
3BL 40%	△	X	△	X	-	○	-	X
3BL 60%	△	X	△	X	-	△	-	X
5BL 20%	△	△	△	△	-	△	-	X
5BL 40%	△	X	△	X	-	△	-	X
5BL 60%	△	X	○	△	-	○	-	X
7BL 20%	X	△	X	△	△	○	X	△
7BL 40%	○	X	○	△	○	○	X	X
7BL 60%	○	X	○	△	○	○	X	X
slip 20%	X	X	X	X	-	△	-	○
slip 40%	○	X	○	X	-	○	-	X
slip 60%	○	X	○	X	-	○	-	X

R.M.S	Openfoam RANS	Rwind RANS	Openfoam URANS	Rwind URANS	Openfoam DDES 1	Rwind DDES 1	Openfoam DDES 2	Rwind DDES 2
3BL 20%	-	-	X	X	-	X	-	△
3BL 40%	-	-	X	X	-	X	-	△
3BL 60%	-	-	X	X	-	X	-	○
5BL 20%	-	-	○	X	-	X	-	△
5BL 40%	-	-	X	X	-	X	-	○
5BL 60%	-	-	X	△	-	X	-	○
7BL 20%	-	-	X	X	X	X	△	X
7BL 40%	-	-	X	X	X	X	○	△
7BL 60%	-	-	X	X	X	X	○	○
slip 20%	-	-	X	X	-	X	-	X
slip 40%	-	-	○	X	-	△	-	△
slip 60%	-	-	△	X	-	X	-	○

結論

軟體比較：OpenFOAM 在擾動風壓與尾流預測上優於 Rwind，整體精度較高。
紊流模型：DDES 在平均與擾動風壓的 RMSE 皆最佳；URANS 次之；RANS 精度最低。
離散方法：二階更敏感，能捕捉細部擾動但誤差波動大；一階則較穩定、整體準確。
Rwind 特性：操作簡單，適合入門，但 solver 與格網調整受限，難以進行高精度模擬。