

FlowVision CFD-Abaqus雙向直接流固耦合 進行三維自由射流流體與結構動力互制行為研究

余傳濬、王文志
山衛科技有限公司
cloud@samwells.com

摘要

本文提出了一種新型流固耦合分析程序，可應用於研究離散可變形固體與多相流體的運動分析，流體程式是使用CAPVIDIA /TESIS所開發之軟體FlowVision HPC，固體運動與形變則是使用Abaqus加以求解。此一雙向流固耦合移動固體法，運動固體表面壓力是透過求解Navier-Stokes方程，利用流體體積法Volume-Of-Fluid (VOF)追蹤自由液面的運動，透過FlowVison-Abaqus的流固耦合技術實現流體壓力直接傳遞到固體表面，不需要第三方軟體即能達到無障礙的資料交換、計算。本文以自由噴流衝擊固體，觀察固體的變形與位移的結果，旨在使用FlowVision-Abaqus示範流固互制與固體接觸等兩項模擬功能

關鍵字：計算流體力學、有限體積法、有限元素法、流固耦合

ABSTRACT

Three dimensional fluid-structure dynamic interaction behaviors contain fruitful and complex physical phenomena and are interested to engineers for their design and analysis works. Computational mechanics is an effective way to assist engineers obtaining more detail information for this type of problem. This dissertation presents a newly developed fluid-solid interaction analysis algorithm. This algorithm can be used to investigate the motions of discrete deformable bodies in multi-phase viscous fluid. The CFD analysis in this computation algorithm uses the FlowVision HPC developed by the TESIS/CAPVIDIA and the motions of the solids are computed by a algorithm developed based on Abaqus. A two-way coupled moving solid algorithm is developed. The motions of solids are based on the surface pressure obtained from solving the Navier-Stokes equations. The free-surface kinematic is tracked by the volume-of-fluid (VOF) method. we propose an advanced technology to deal with the data exchange between CFD and FEM during the two-way coupling process without using any third party codes or interface software(e.g.).consequently, this researches reports an very detail and accuracy of result of co-simulation between FlowVision and Abaqus.

Keywords: CFD, Finite Volume method, finite element method, Fluid-Structure interaction

一、緒論

三維流體與結構動力互制行為內涵豐富而複雜的物理現象，可應用於相關之設計及分析工作之中，因而長久以來為工程師所關注，而計算力學正是一種有效的方法提供工程師獲得此類問題更多細部訊息。本文係以自由噴流衝擊固體，觀察固體的變形與位移的結果，旨在使用FlowVision-Abaqus示範流固互制與固體

接觸等兩項模擬功能

二、分析模型設定

2.1 有限元素模型

在有限元素分析軟體Abaqus的環境下建立兩塊立方體，給定重力加速度(9.8m/s²)，並限制其運動方向僅有X軸方向的移動(如圖1.所示)。元素類型與材料

參數為如下所示:

立方塊尺寸:10x10x10cm

元素類型:3D8R (10x10x10)

密度:1100 kg/m³

陽氏系數:50,000Pa

蒲松比:0.4

兩立方塊的介面使用

surface-to-surface contact接觸條件, 假設切線方向為無摩擦, 僅考慮normal-Pressure-Over closure: hard contact;而在摩擦條件的部分, 考慮兩塊方塊體與地面的摩擦力, 設定塊體與平面的摩擦係數為0.005 由於考慮暫態效應, 因此本研究使用Abaqus Dynamic Explicit進行求解法。

2.2 FlowVision CFD模型設定

流體求解區計算域尺寸1.5x0.5x0.5m的。入流邊界條件採用管徑0.02m的圓管給予流速4m/s, 當液體從噴管或孔口中噴出, 脫離固體邊界的約束, 在液體或氣體中作擴散流動, 形成射流。射流一般為紊流流型, 具有紊動擴散作用, 能進行動量、熱量和質量傳遞(如圖2.所示)。本研究使用Standard K-E方式來模擬射流1的紊流流型, 並且使用VOF法處理自由液面。工作流體為純水, 不可壓縮性, 流體密度:1000kg/m³, 液體黏滯係數0.001kg/m-s, 分析時間步的CFL係數設定為1。

2.3 FlowVision-Abaqus流固耦合方法:

流固耦合的求解思路有兩條:1. 整體求解;2. 交替求解。整體求解是將流體和固體的方程組聯立求解, 難度非常大, 一般採用的非常少。交替求解將流體和固體分成兩個單獨的求解域, 在求解過程中時刻交替的求解這兩個區域, 並在交替的過程中通過介面傳遞和交換物理量。交替求解演算法主要需要解決兩大難點:介面上網格單元的匹配以及流固區域的資料傳遞問題。Flowvision在設計之初就考慮到流固耦合的計算性能問題, 因此直接和Abaqus軟體廠商合作, 開放了Abaqus介面, 使得Flowvision能夠和Abaqus進行直

接的流固耦合計算, 不需要借助任何中間平臺就可以進行資料互換, 效率非常高, 而且中間沒有網格的轉換以及邊界條件的插值處理, 因此計算出來的結果精度非常高。

1) 不需要網格轉換。傳統的流固耦合計算過程中, CFD網格和CAE網格是不匹配的, 因此在流固邊界處傳遞資料時首先需要匹配網格。Flowvision採用基於SGGR方法的直角笛卡爾網格, 能夠不失真的類比物體的邊界, 完全將物體的邊界作為網格的一部分。當物體的邊界發生移動或者變形時, Flowvision能夠自動捕捉邊界的構型並重新生成邊界網格。因此在進行流固耦合計算過程中, 當Abaqus完成結構的有限元計算之後, Flowvision直接讀取Abaqus的資料檔案中的網格資料, 並根據新的結構體外形重新生成流體邊界層網格, 這個過程是非常迅速且沒有任何失真的。

2) 邊界處無數據轉換誤差。流固耦合的計算誤差除了網格變換外, 主要來源於流固邊界處的資料傳遞誤差。流體傳遞給固體壓力的資料, 是需要通過插值的, 而插值會帶來誤差。Flowvision在每一次交替計算過程中直接把固體的外形當成流體新的邊界, 且固體外形無誤差的成為Flowvision流體網格的邊界層網格的一部分, 固體最外層網格的外向面自然成為流體網格的邊界面, 力的資料不需要通過插值就直接成為固體的力的邊界條件。

三、結果與討論

圖3.為自由射流沖擊固體的流場結果, 本文利用FlowVision與Abaqus直接流固耦合的能力, 將射流的衝力直接傳遞給固體。圖4.與圖5.分別為有限元的應力與應變與自由射流與固體位移時序圖時序圖。當時間為1.033E-2秒時, 由於射流才剛沖擊到固體表面。在這個瞬間, 流場結構還非常完整, 因此力量非常集中, 再加上固體還處於靜止的狀態, 因此可以觀察到在固體的沖擊面上形成非常明顯的應力與應變的熱點。然而隨著時間的推進(如圖4.(b)所示), 可以清楚觀察到沖擊面

上的應先隨著固體的後退逐漸變小。但是由於摩擦力的關係，固體的位移速度呈現先昇後降的趨勢，因此只過一小段時間(如圖 4.(c))噴流再次跟上方塊位移的速度，沖擊面的應力與應變又再一次增大起來。這整個過程便是流體力學與固力互制行為的標準模式。圖 6 至 8 分別給出了整個過程中，立方塊的位移速度、噴流沖擊力以及其動能的時間歷程變化。由這以上結果可知，流體與結構動力互制行為，內涵豐富而複雜的物理現象，並證實本文所提出的流固耦合方法，可以確實捕捉到這些重要的物理現象，提供豐富的數據資料供研究人員深入探討其物理機制，建立正確的物理預測模型，進而發揮到各式水力與固力工程問題。

四、結論與未來展望

本分析應用 FlowVision-Abaqus 流固耦合能力，示範流固互制與固體接觸等兩項模擬功能。文獻[2]中，作者曾經使用 MSC.Dytran 進行類似的技術探討，然而作者指出，所應用之 MSC.Dytran 軟體係對時間域採用顯式之數值積分法，因而為了符合數值計算收斂準則之需求，所採用之計算時間距 (Time Interval) 甚短，一般在 10^{-6} 至 10^{-14} 秒間，結果引致電腦計算時間甚長。本法測試結果發現計算時間距約在 10^{-3} 至 10^{-4} 之間，因此可知計算速度遠遠在 MSC. Dytran 之上。另一方面，本研究結果證實，Flowvision 與 Abaqus 的流固耦合技術可以有效處理複雜流況與固體動力學耦合的問題，可輕易且適切地使用力控制及位移控制進行物體運動由連續至不連續之狀態分析，所以此新發展之流固耦合方法將可應用於地震、泥石流、風、浮木、洪水引起之複合式災害及結構損壞之診斷評估問題

五、參考文獻

- [1] 王茂興, “消能塊混泥塊流場行為分析”, 中興工程 第 113 期 2011 年 10 月, pp.25-35

六、圖片

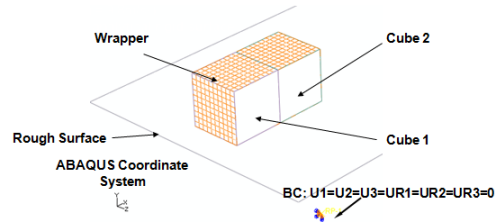


圖 1. 有限元模型設定

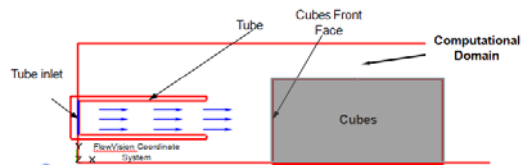


圖 2. CFD 模型設定

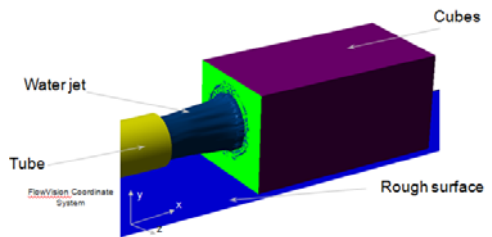
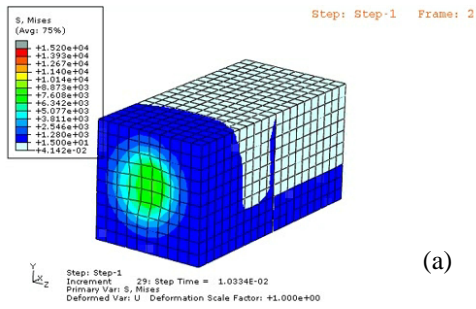
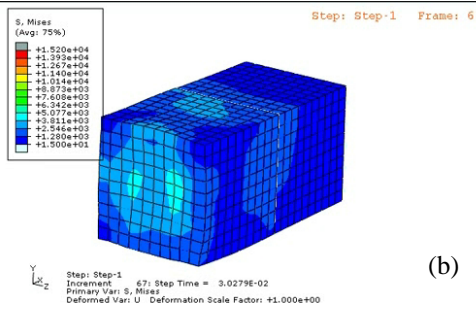
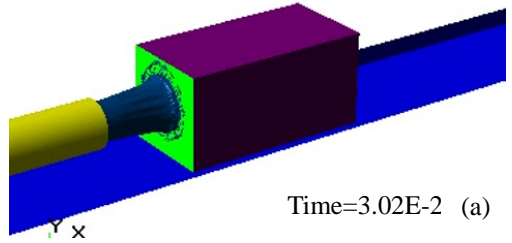


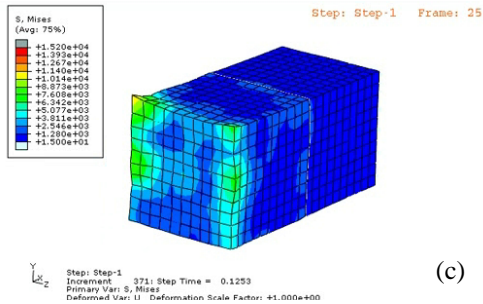
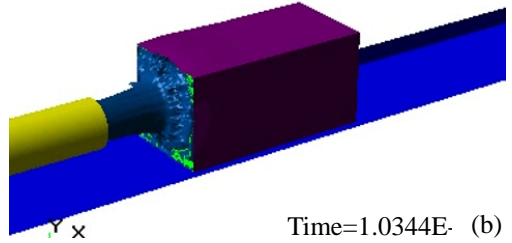
圖 3. 自由射流沖擊固體的流場結果



(a)



(b)



(c)

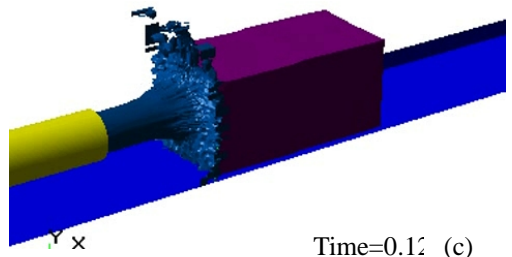


圖 4.有限元應力應變時序圖

圖 5. 自由射流與固體位移時序圖

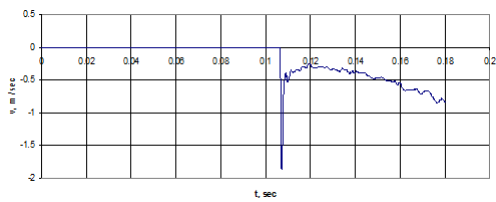


圖 6.立方塊位移速度計算結果

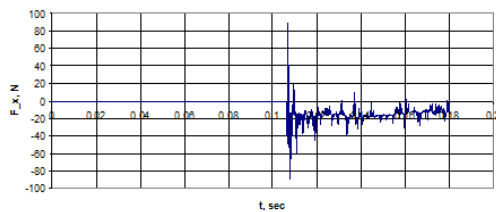


圖 7.射流沖擊在固體表面力量的計算結果

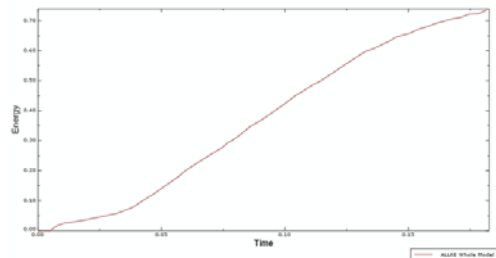


圖 8.方塊體動能變化的計算結果