

## 第三章 數值模擬方法

根據前一章所言，本研究採用前處理器 Gambit (Fluent Inc.) 建立網格模型，並使用套裝軟體 Fluent (Fluent Inc.) 進行模擬計算；而本章節則針對相關參數的選用與模擬流程進行說明。

### 3.1 網格建立

本研究以 Gambit 建立網格模型，依邊界條件須求採用 Fluent 5/6 做為 solver，並匯出 .msh 檔供 Fluent 使用。研究中以建立方正的結構式網格為主，並儘量避免網格過於狹長之情形。

在計算模型中，緊臨針狀鰭片周圍的流場是變化最大且本研究最想觀察的，因此本研究在針狀鰭片邊界上的格點建置較密，並適時利用 boundary layer mesh 的功能來建立在針狀鰭片周圍較密而離針狀鰭片越遠越寬鬆的網格（但在菱形的柱體邊界上則無法使用）；此外本研究也使用 “link face meshes” 使 z 軸方向上兩個水平面（底板與遮蔽層）具有同樣的網格分佈，讓針狀鰭片 array 在 z 軸方向有同樣的橫切面網格分佈。

### 3.2 格點測試

#### 3.2.1 垂直及具傾斜角度擺置的模型格點測試

本研究根據以上模擬所使用的網格設定進一步提出了可能較佳

的網格建立方式。如 3.1 中所提，在針狀鰭片邊界上的格點建置較密是對針狀鰭片周圍流場觀察的基礎條件，所以觀察在模擬 Boyalakuntla et al. [13]研究時所使用的針狀鰭片圓周上的格點數目，以圓周及間距（間距上的格點密度隨著越接近針狀鰭片越密，以 0.97~1 的比例往兩邊集中，最靠近針狀鰭片的隔點與針狀鰭片距離和圓周上隔點間距離約略相同）上的格點密度作為參數，並提出九種不同的網格密度在三維流場下建立網格（如圖 3.1 所示），其中定義針狀鰭片為表面均溫的發熱體而底板與遮蔽層為絕熱表面、 $Ra_T=10^5$  以進行模擬，並以計算所得的散熱量多寡來確認其散熱量在不同網格密度下的穩定趨勢，找出在高準確度與節省計算時間的條件下最好的格線密度。本研究先將  $z$  軸方向格點密度定為 3 nodes/單位長度，再改變其他參數進行模擬，計算時將單位長度定為 1 公分，參數取決與計算結果如表 3.1 所示。研究發現編號 Face 5~8 彼此間結果差異甚小，因此吾人認為其各項參數範圍是可以在網格建立時被採用的。

在  $z$  軸方向上吾人認為在接近上下兩板處和中間的流場各有其複雜性，因此採用均勻格點分佈，在這部份本研究根據上述測試較佳的結果，選擇編號 Face 7 的  $xy$  平面網格結構，再改變  $z$  軸方向的格點密度以進行計算以找到在  $z$  軸方向最佳的格點密度，其計算結果如表 3.2 所示。研究發現，在  $z$  軸方向上所得到的結果差異不大，因此吾人認為該方向格點的在一定的疏密程度下，其流場對網格的疏密度不甚敏感，因此在該方向的網格疏密度可能可以隨計算量的需求做出調整。

由於本研究中，流體受針狀鰭片尺寸的影響而產生的變化甚為

強烈，因此在後續的研究中在採用以上格點測試時不以網格數量作為基準，而改以變換網格測試中的單位長度為針狀鰭片的特徵長度來採用格點測試的參考範圍。

為更進一步確認以上網格設置的可行性，本研究採用以上所述之網格設置，先建立了與 Boyalakuntla et al.[13]幾何條件相同之模型，總網格數約為 500,000，高於其論文[13]所提出的 300,000；本研究模擬其底板均溫、 $Ra_T=10^5$  的情況，得到了極相似的結果如圖 3.2 所示。

此外，本研究也採用上述網格之格點設置與前節所述之邊界條件和計算範圍簡化之模式和 Bejan et al.[10]的實驗結果作比對；如同 Bejan et al.[10]對於加熱方式的設定，本研究也採用表面均勻熱通量的加熱方式，並以得到的柱面平均溫度計算其 Ra 值，得到的結果如圖 3.3 所示，本研究與實驗結果在較低的間距直徑比上有較接近的結果（Bejan et al.[10]所採用的間距定義為加熱柱表面與表面之間的最短距離），然而在間距過大的情況下由於實驗配置中加熱柱較少，本研究所採用計算範圍以對稱方式簡化的配置會產生較大的誤差，然而這並非數值與實驗之間的誤差所造成，因此不予進行比較。而由較小間距的比較結果發現，本研究數值結果與前人實驗之誤差約在 5%以下。

根據以上格點測試，吾人確信以上所述之網格設置有其可信度。因此在之後的研究即以該格點設置作為標準，依針狀鰭片的形狀或其幾何條件進行必要的調整；例如在正方形的針狀鰭片 array 中，由於針狀鰭片後方的流場更為混亂，因此正方形針狀鰭片陣列

在間距處的網格就有加密的必要，又或者在交錯式的狀況下由於有網格對準的問題，也有在間距處加密的必要。以上等等皆做為在原有網格設置參數下網格調整之考量以進行模型之建立。

### 3.2.2 水平擺置的模型格點測試

而在加熱板水平擺設的建模上，首先必須做的測試是取得一可以適用於如第二章中所列之邊界條件之計算範圍，並設法降低計算之網格數，在這部份由於針狀鰭片陣列的計算模型需要比平板更密的網格才能計算出較詳細的結果，因此在格點測試上本研究首先以加熱平板與計算範圍的四分之一的空間在固定底板熱通量的情況下進行模擬，以取得較適當的計算範圍。



#### 3.2.2.1 水平擺置的加熱平板計算模型格點測試

然而以三維計算水平加熱板模型所需取得的範圍其計算量仍十分龐大，因此吾人先採用二維之模型如圖 3.4 所示，以 Y 方向為重力方向進行計算，以原長為 100mm（實際計算範圍為 50mm）、厚度為 2mm 之加熱平板，固定的底板熱通量，改變 XY 之邊界範圍並進行格點測試，加熱板周圍 50mm 是由幾乎不改變比例的網格（ratio<1.02）占據，超過該範圍後的網格分布則按 ratio=1.04~1.06 的比例漸疏。其測試結果如表 3.3 所示。為判斷網格大小與邊界範圍是否達到穩定，吾人以觀察底板加熱表面平均溫度和在 y=150mm 處的氣流最大上升速度  $v_{\max}$  是否穩定以進行判別。從結果可以判

斷，邊界範圍約在加熱範圍的 6~10 倍就可以得到合理的結果，而結果在最密網格大小至 0.4mm/interval 左右時即達到穩定。

然而這樣的網格在三維的計算上有網格數量過於龐大的問題；且 N.O. fp2 的底板與外界空氣溫差 (92.5K) 和較佳的網格與計算範圍 (89.5K) 誤差在 3% 左右，因此為了減少網格計數量，本研究採用 N.O. fp2 的網格設定轉換到三維進行計算（但在紊流的計算則以垂直方向網格較密的模型進行計算）。然而，在三維的計算上，由於過遠的邊界會導致器流入口的面積大增，大量的空氣因壓差而被引入，因而使得氣流在越往平板接近時受到擠壓而產生局部高壓之情形，部分較低溫的氣流被往外擠而產生在入口處有回流的情形發生。

上述情形雖然不是不合理的狀況，但確實增加了流場的複雜程度，因此吾人回到二維的網格測試，試圖縮小計算範圍，在容許的誤差情況下找出較小且較能避免複雜情況發生的計算範圍，其網格結果如表 3.4 所示。由於在不改動最密網格大小的情況下，縮小計算範圍至 150~200mm 所得到的結果和大範圍計算的結果在吾人所選取的判定條件下相差不大，因此本研究即試圖採用該範圍尺寸與網格設定，轉換至三維進行計算，所得到的結果確實較少有回流的發生，且回流發生位置與大範圍之三維流場接近，相關結果則容後討論。雖然 150mm 立方的計算範圍在一般認定上並不夠大，但本研究為現實考量仍採用此範圍進行水平擺設之加熱平板或針狀鰭片陣列的流場研究。



### 3.2.2.2 水平擺置的針狀鰭片陣列計算模型格點測試

本研究亦嘗試將平板縮為原長 40mm 的情況下測試計算範圍在 150mm 與 60mm 時的差異，結果發現，平板原長 40mm、計算範圍 60mm 的流場分佈與平板原長 100mm、計算範圍 150mm 的流場分佈較為相似，確認計算範圍與特徵長度之比例有較大之關連，因此在之後的針狀鰭片陣列的網格密度測試即採以計算範圍 60mm 之標準。

而在針狀鰭片陣列的網格密度測試上，本研究採用正方形的針狀鰭片陣列，其針狀鰭片寬 2mm，高 10mm，連接於原長為 40mm、厚 2mm 的底板上，依第二章所述之邊界條件、上段所述之計算距離，在底板輸入均勻熱通量  $1000\text{W/m}^2$ ，以所能容忍的計算網格數量下進行格點測試，由於間距大小的不同可能造成所需網格密度的不同，因此在測試時對兩種間距的針狀鰭片陣列進行格點測試，採用的間距分別為 10mm 和 4mm。在網格測試的範圍上，吾人以垂直網格在 0.67~0.5mm/interval 的基礎上進行測試，並發現底板表面溫度隨垂直網格密度變動之比例較小，因此便採用了固定的垂直網格比例：0.5mm/interval。而水平最密網格則在 0.5~0.25mm/interval 的範圍上進行測試，結果發現在不同的間距上網格密度的要求確實不同，由於過密的網格在實際範圍之計算上很難被採用，因此本研究僅能找到結果隨網格縮小而逐漸收斂的趨勢，選取一較為可行之網格設置併判斷其未來可能之誤差。詳細結果如表 3.5 所示，本研究根據結果選擇的網格設置分別為編號 SH\_s10\_4 和 SH\_s7\_1，而其未來可能的誤差則在 3%~8% 左右。而本研究亦在針狀鰭片陣列的計算範圍上略為改動，由於得到的結果極為接近，故足以確認該計算範

圍的倍率亦可使用在針狀鰭片陣列的模型建立上。

本研究在未來的模型建立上，將參考由以上測試結果得到的最佳格點密度來進行網格建立。

### 3.3 模擬參數

#### 3.3.1 通用參數

在垂直及具小傾斜角度擺置之針狀鰭片陣列的部份，本研究將針狀鰭片陣列的底板訂在寬 10cm、高 10cm，採用空氣入口溫度為 285K，相關流體性質則按 285K 時空氣性質設定之。底板與針狀鰭片的溫度定為 335K（溫差 50K），底板與針狀鰭片材質為鋁合金 ( $k_s = 202.4 W/m \cdot K$ )，而遮蔽層定義為固體絕熱表面，重力加速度則隨所需 Ra 值而調整大小。

而在水平擺置之針狀鰭片陣列的部份，為配合前人之實驗[14]印證，本研究將針狀鰭片陣列的底板訂在長 10cm、寬 10cm、底板厚度 2mm，並加入固態傳導之計算：採用空氣入口溫度為 298K，相關流體性質則按 298K 時空氣性質設定之；底板與針狀鰭片材質為鋁合金 ( $k_s = 121 W/m \cdot K$ )，而針狀鰭片陣列周圍至邊界面為止定義為固體絕熱表面，重力加速度固定為  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ，並改變底板熱通量以改變 Ra 值的大小。

### 3.3.2 變因參數

#### 3.3.2.1 底板垂直擺放之針狀鰭片陣列

本研究先探討底板垂直擺放的情形，首先希望確立針狀鰭片形狀對流場的影響，在形狀的選取上本研究採用圓形、正方形、90 度角菱形、鈍角 120 度菱形、90 度角菱形其中對稱的兩角修圓、鈍角 120 度菱形其中對稱的兩角修圓等六種形狀進行模擬，相關參數的選擇參考於文獻回顧中前人所選擇的參數範圍：

- (1) 比較不同形狀在單一個均溫針狀鰭片在二維流場下(忽略  $z$  方向)，具有相同的特徵直徑 ( $\sqrt{A}$ , 形狀高度)、 $Ra$  值時的散熱效能(總散熱量)。並改變特徵直徑大小 (2, 5, 10 mm)、 $Ra$  值 ( $10^2 \sim 10^5$ ) 以觀察其趨勢。
- (2) 比較特徵直徑  $D=5\text{mm}$  的不同形狀針狀鰭片於固定尺寸的對正式針狀鰭片陣列在三維流場下具有相同的  $Ra$  值時的散熱效能。並改變  $S_x/D$  與  $S_y/D$  值 (2~4)、 $H$  值 (10mm、25mm、50mm)、遮蔽層與針狀鰭片頂的間距 (0mm、10mm、25mm、50mm、或除去遮蔽層。以觀察黏滯力減小對流場與散熱效能的影響)、 $Ra$  值 ( $10^5 \sim 10^7$ ) 以觀察其趨勢，並藉由鰭片分佈之空隙度等條件比較其散熱效能。
- (3) 根據(2)選出圓形與效能最好和最壞的兩種形狀比較特徵直徑  $D=5\text{mm}$  的針狀鰭片分別在對正式和交錯式兩種配置下改變其他幾何條件如(2)中所列以進行計算並比較兩者流場特性之異同和效能。



- (4) 根據(2)選出圓形與效能最好和最壞的兩種形狀比較特徵直徑  $D=2\text{mm}$  的針狀鰭片在對正式配置下改變其他幾何條件： $S_x/D$  與  $S_y/D$  值（2~4）、 $H$  值（4mm、10mm、20mm）、遮蔽層與針狀鰭片頂的間距（0mm、4mm、10mm、20mm、或除去遮蔽層。以觀察黏滯力減小對流場與散熱效能的影響）、 $Ra$  值（ $10^5 \sim 10^7$ ）以觀察其趨勢及流場特性，並藉由鰭片分佈之空隙度等條件比較其散熱效能。
- (5) 模擬並比較圓形針狀鰭片在特徵直徑  $D=5\text{mm}$  下該組模型（包括其他參數的改變）在不同擺設角度（ $\psi = 0, 30$  度）下的散熱情形，以研究在相當的限制條件下改變擺設角度對於流場與散熱效能之影響。



### 3.3.2.2 底板水平擺放之針狀鰭片陣列

在該部分本研究先以驗證前人的實驗結果[14]為主，首先計算邊長為 2mm 的正方形針狀鰭片陣列，設定其間距為 4~10mm、柱高為 10mm 進行模擬計算。並將針狀鰭片改為在垂直擺放模擬結果較優勢的形狀，和正方形針狀鰭片陣列所得到之結果進行比較。

表 3.1 xy 平面格點測試之各項參數與結果

NO.	周長	間距	出入口	Total		
	Nodes /單位長度	Nodes /單位長度	Nodes /單位長度	cells	熱傳量 (W)	誤差
Face 1	8.91	5	3.33	7424	1.1822	3.28%
Face 2	9.55	5.5	3.67	8576	1.1708	2.28%
Face 3	10.19	6	4.00	10512	1.1556	0.95%
Face 4	10.82	6.5	4.33	11936	1.1522	0.66%
Face 5	10.82	6	4.67	13472	1.1448	0.01%
Face 6	10.82	7	4.67	13632	1.1455	0.07%
<b>Face 7</b>	<b>11.46</b>	<b>7</b>	<b>4.67</b>	<b>14560</b>	<b>1.1447</b>	<b>--</b>
Face 8	11.46	7.5	4.67	15488	1.144	-0.06%

表 3.2 z 軸方向上格點密度測試之各項參數與結果

NO.	Nodes /單位長度	熱傳量(W)	誤差
L. 1	2.2	1.1446	0.00%
L. 2	2.6	1.1448	0.02%
L. 3	3	1.1447	0.01%
<b>L. 4</b>	<b>3.2</b>	<b>1.1446</b>	<b>--</b>
L. 5	3.4	1.1444	-0.01%
L. 6	3.6	1.1443	-0.03%

表 3.3 二維水平板模形計算範圍與格點測試之結果 (1)

condition	NO.	水平最密網 格(mm/int)	x 邊界 (mm)	垂直最密網 格(mm/int)	y 邊界 (mm)	T <sub>b</sub>	y=150mm 處的 v <sub>max</sub> (m/s)
L=100mm t=2mm g:Y q=500W/m <sup>2</sup>	fp1	2	400	0.67	400	390.59	0.35069
	<b>fp2</b>	<b>1</b>	<b>400</b>	<b>0.67</b>	<b>400</b>	<b>390.65</b>	<b>0.35746</b>
	fp3	0.5	400	0.67	400	388.40	0.35538
	fp4	0.4	400	0.67	400	387.05	0.35277

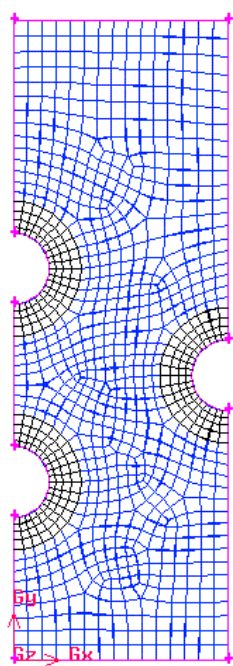
$T_0=298K$	fp5	0.4	300	0.67	300	387.06	0.35418
	fp6	0.4	500	0.67	500	386.99	0.35308
	fp7	0.4	550	0.67	550	387.00	0.35349
	fp8	0.4	500	0.5	500	387.49	0.35365
	fp9	0.4	500	0.4	500	388.81	0.35542

表 3.4 二維水平板模形計算範圍與格點測試之結果 (2)

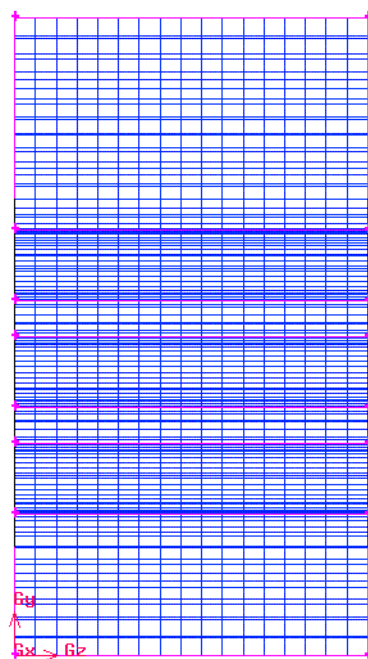
condition	NO.	水平最密網 格(mm/int)	x 邊界 (mm)	垂直最密網 格(mm/int)	y 邊界 (mm)	$T_b$	y=150mm 處的 $v_{max}$ (m/s)
同表 3.3	fp2	1	400	0.67	400	390.65	0.35746
	fp2-2015	1	200	0.67	150	390.89	0.35771
	<b>fp2-1515</b>	<b>1</b>	<b>150</b>	<b>0.67</b>	<b>150</b>	<b>390.88</b>	<b>0.35732</b>

表 3.5 水平擺設之針狀鰭片陣列模型計算範圍與格點測試之結果

$q=1000W/m^2$	NO.	水平最密網格 (mm/int)	X 邊界 (mm)	垂直最密網格 (mm/int)	Y 邊界 (mm)	$T_b$
s=10mm d=2mm L=40mm t=2mm	SH_s10_1	0.5	60	0.5	60	51.72
	SH_s10_2	0.5	60	0.67	60	51.28
	SH_s10_3	0.5	80	0.5	80	51.70
	<b>SH_s10_4</b>	<b>0.33</b>	<b>60</b>	<b>0.5</b>	<b>60</b>	<b>48.84</b>
	SH_s10_5	0.28	60	0.5	60	47.20
	SH_s10_6	0.25	60	0.5	60	44.90
$q=1000W/m^2$	N.O.	水平最密網格 (mm/int)	X 邊界 (mm)	垂直最密網格 (mm/int)	Y 邊界 (mm)	$T_b$
s=7mm d=2mm L=40mm t=2mm	<b>SH_s7_1</b>	<b>0.33</b>	<b>60</b>	<b>0.5</b>	<b>60</b>	<b>34.37</b>
	SH_s7_2	0.25	60	0.5	60	31.54
	SH_s7_3	0.22	60	0.5	60	29.03



(a)



(b)

圖 3.1 格點測試模型示意

(a) xy 平面圖(Face 7) , (b) yz 平面圖(L. 3)

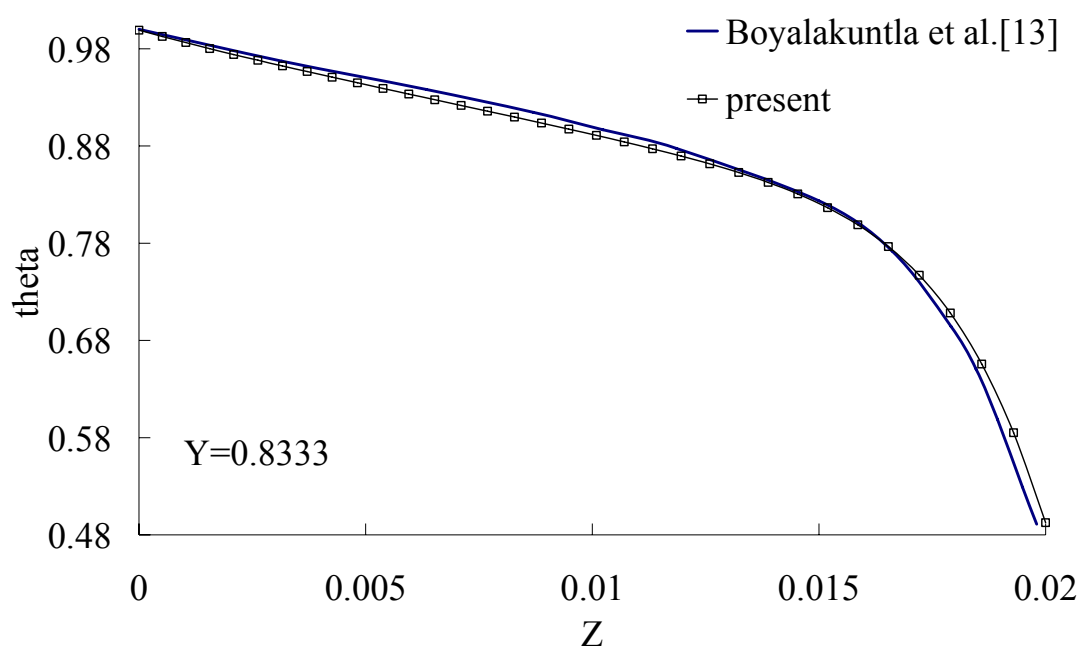


圖 3.2 格點測試----本研究與 Boyalakuntla et al.[13]模擬結果之比對

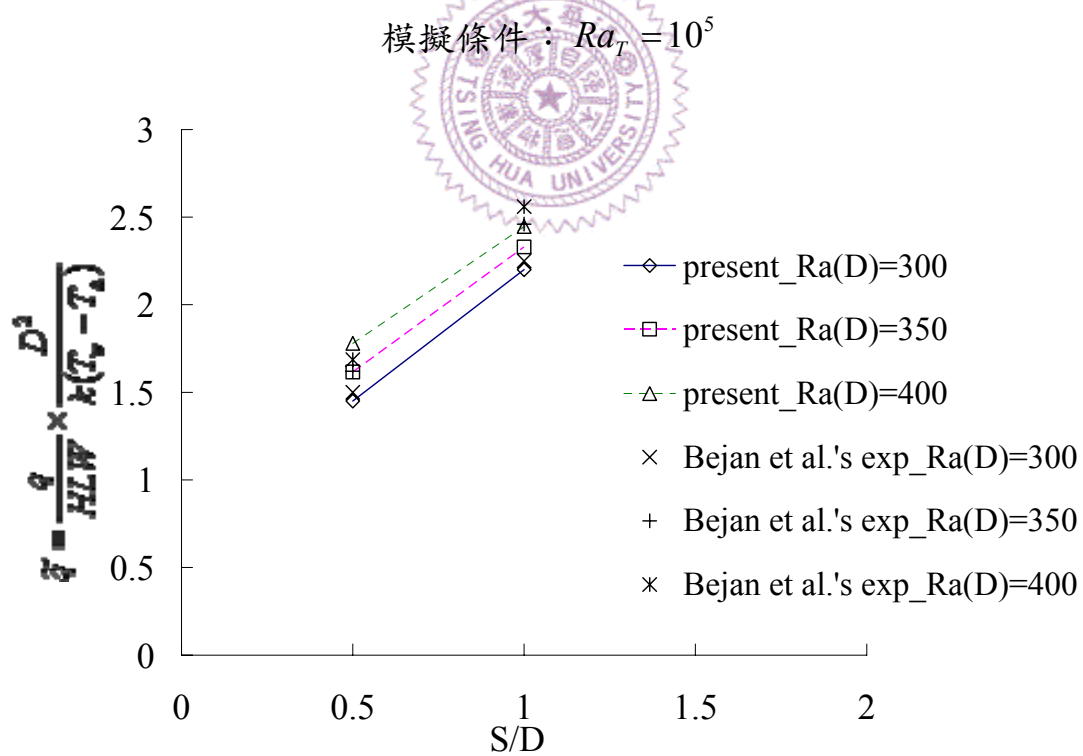


圖 3.3 格點測試---- Bejan et al.[10]實驗結果與本研究模擬結果比較



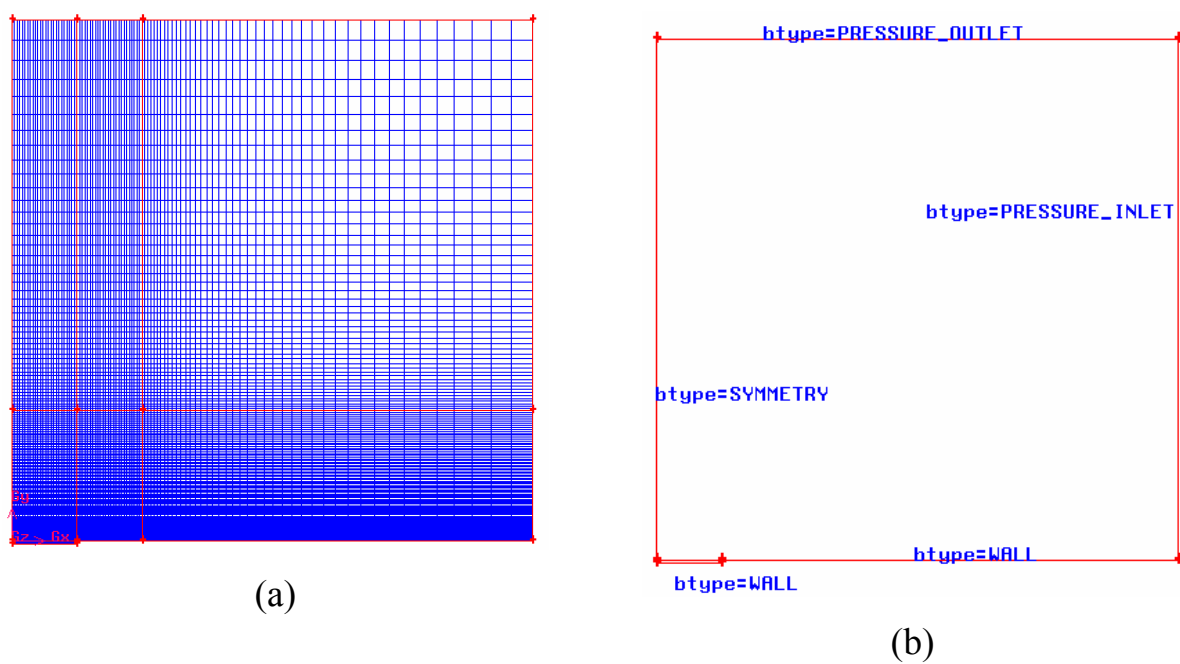


圖 3.4 二維水平板模型示意

(a) 格點示意，(b) 邊界條件示意

