

探究岸基式波浪發電系統與不同週期與振幅 波浪互制內部之水動力特性

鄭明宏
海洋產業及工程研究中心副研究員

前言

最早從1995年台電公司進行核四進水口防波堤設置波浪發電可行性評估及初步設計報告，藉由共振式沉箱來進行提升波浪振幅，進而提升發電量。另2020國立海洋大學系統工程暨造船學系的林彥翔碩士論文-共振沉箱式波能發電模擬探討共振沉箱在某些特定波浪周期下放大波浪效果，並提升波能轉換效率。現行岸基式波浪發電系統與不同週期與振幅波浪互制下會造成極大的發電效益差異，為了解其主要影響機制，擬採用數值模式進行模擬，分析波浪與共振沉箱內間的相互作用，即水動力特性變化，以進一步探討波與結構物的機制來提升後續波能轉換效率。

研究方法與控制方程式

本次研究採用解析 Reynolds-averaged Navier-Stokes equations (RANS) 與 $k-\varepsilon$ 紊流模式來解析，其控制方程式包含以下：

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j'} \right) - g_i \quad (2)$$

\bar{u}_i 是指流場速度分量 (= $u_i + u_i'$)、 u_i 為平均速度分量、 P 表單位質量流體之壓力場、 g_i 為重力加速度、 ρ 為流場之密度、 ν 為運動黏滯係數。為了求解式(1)與式(2)，採用 $k-\varepsilon$ 紊流模式來模擬紊流傳輸，在紊流場中，有兩個具有代表性的物理量，一是紊流動能 k ，一是紊流消散率 ε 。採用 Boussinesq 渦旋黏滯性假設 (eddy viscosity) 來模擬雷諾應力：

$$-\overline{u_i u_j'} = \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (3)$$

式中 ν_t 是紊流渦動滯度， k 為紊流動能， δ_{ij} 為 Kronecker 函數， ν_t 概念的引入把求解雷諾應力的問題轉化為求解 ν_t 的問題

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

其中 P_k 為紊流動能產生項，當 k 、 ε 由傳輸方程 (4)、(5) 求出後， ν_t 即可由 k 、 ε 表示為 $\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ 。前項加入方程式(4)與(5)三式構成 $k-\varepsilon$ 紊流模式。模式中紊流常數分別為 $\sigma_k = 1.0$ 、 $\sigma_\varepsilon = 1.3$ 、 $C_\mu = 0.09$ 、 $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ 、 $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ 。

本次建立的數值網格如下圖1所示，其中在沉箱附近局部加密已獲得更好的計算成果。另外，水體初始與5點擷取點亦繪於圖1(c)-(d)

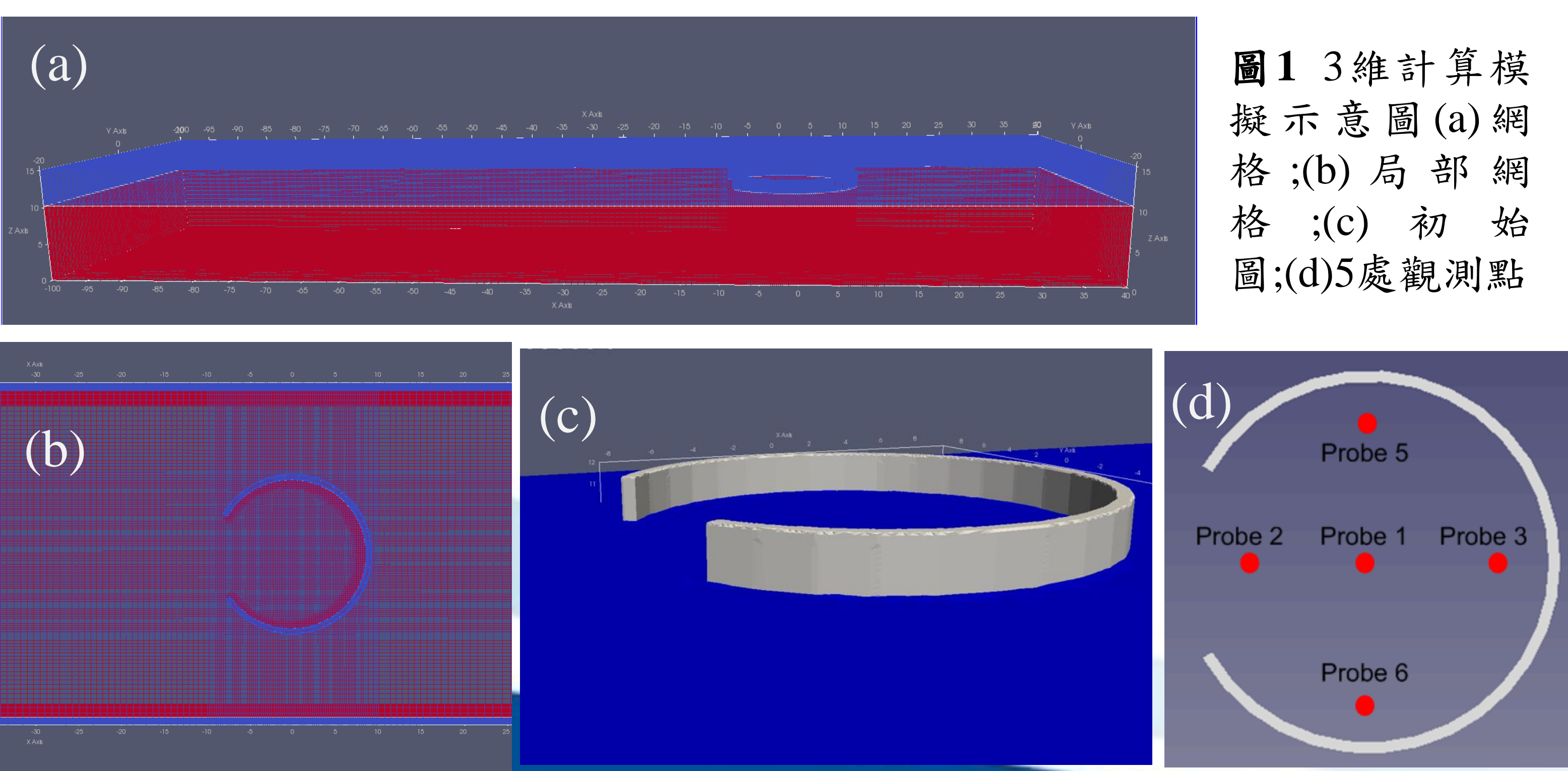


圖1 3維計算模擬示意圖(a)網格;(b)局部網格;(c)初始圖;(d)5處觀測點

初步成果

本試驗邊界條件：上游為造波邊界；下游則為吸收邊界；兩側採輻射邊界；底部為牆邊界；上方則為空氣開放邊界；結構物則為牆邊界。初始條件：總水深為10m；試驗水槽(長x寬x高) = 140 x 40 x 15 m；波浪週期 9 s；波高為2.43m (cnoidal wave)；圓內外半徑為9.14/9.71m；圓柱高為12m；圓開角為300°。其無浮體之計算結果繪製於下圖(2)-圖(5)中。圖2為5處所量測到的波型圖，可發現波進入到沉箱會受到內部影響有反射的現象出現，尤其是在上下(P4與P5)明顯波變形。圖3則為垂直流速的分布圖，亦可以看到越靠近邊界，受其反射影響會比起剛傳入時(P2)略微增大(P1, P3-P5)。

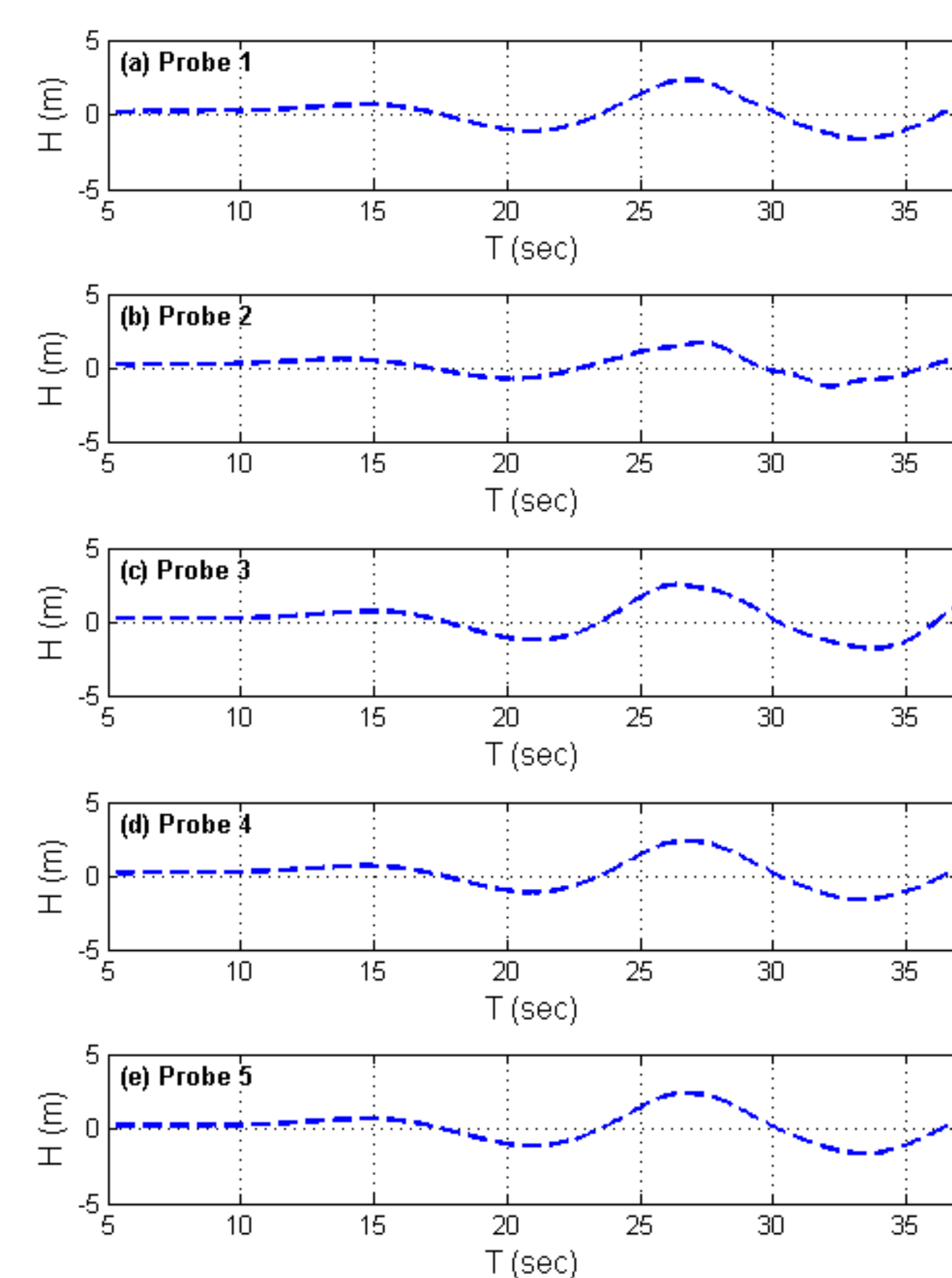


圖2 無浮子-共振沉箱之5點位之波形圖

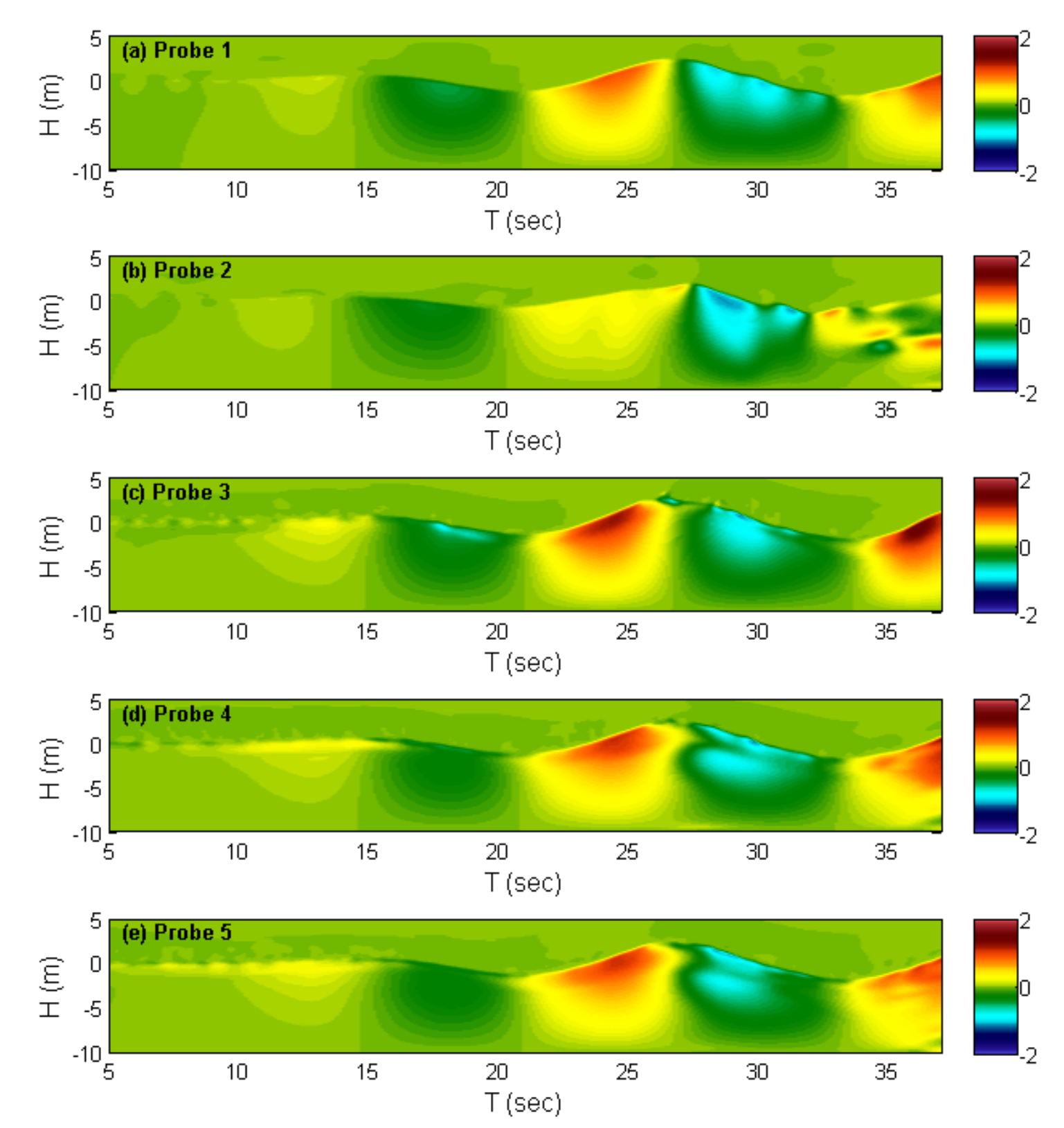


圖3 無浮子-共振沉箱之5點位之垂直流速圖

圖4則側向流速的分布圖，受其反射影響會在上下觀測點可以看到有明顯的流速變化(P4-P5)。圖5則水平流速的分布圖，由途中可以明顯看到，在傳入沉箱時有最大的水平流速(P2)，越往內部傳遞水平流速明顯減少(P1-P3)，而上下兩冊則受到反射則會有更嚴重的衰減出現(P4-P5)。

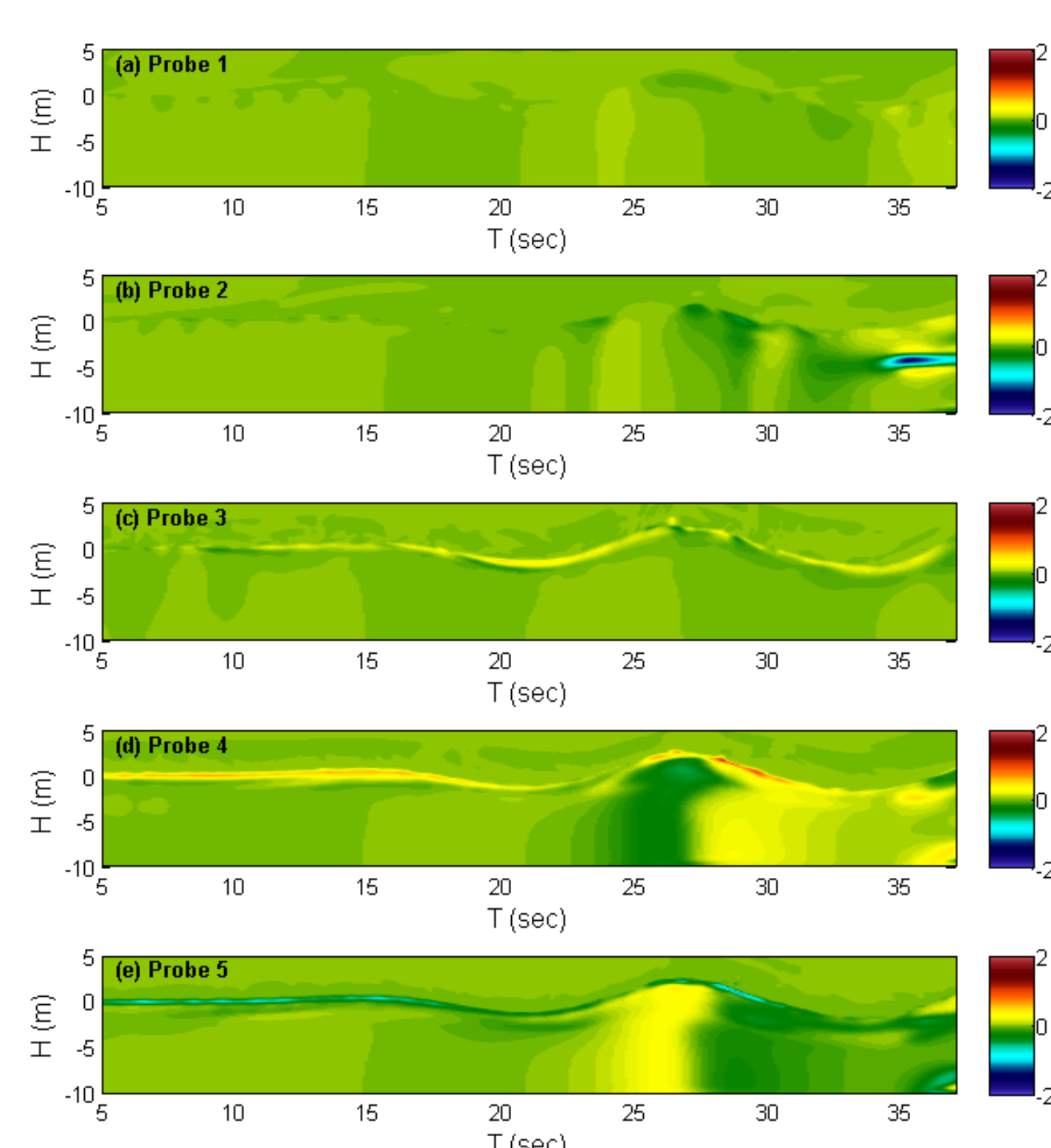


圖4 無浮子-共振沉箱之5點位之側向流速圖

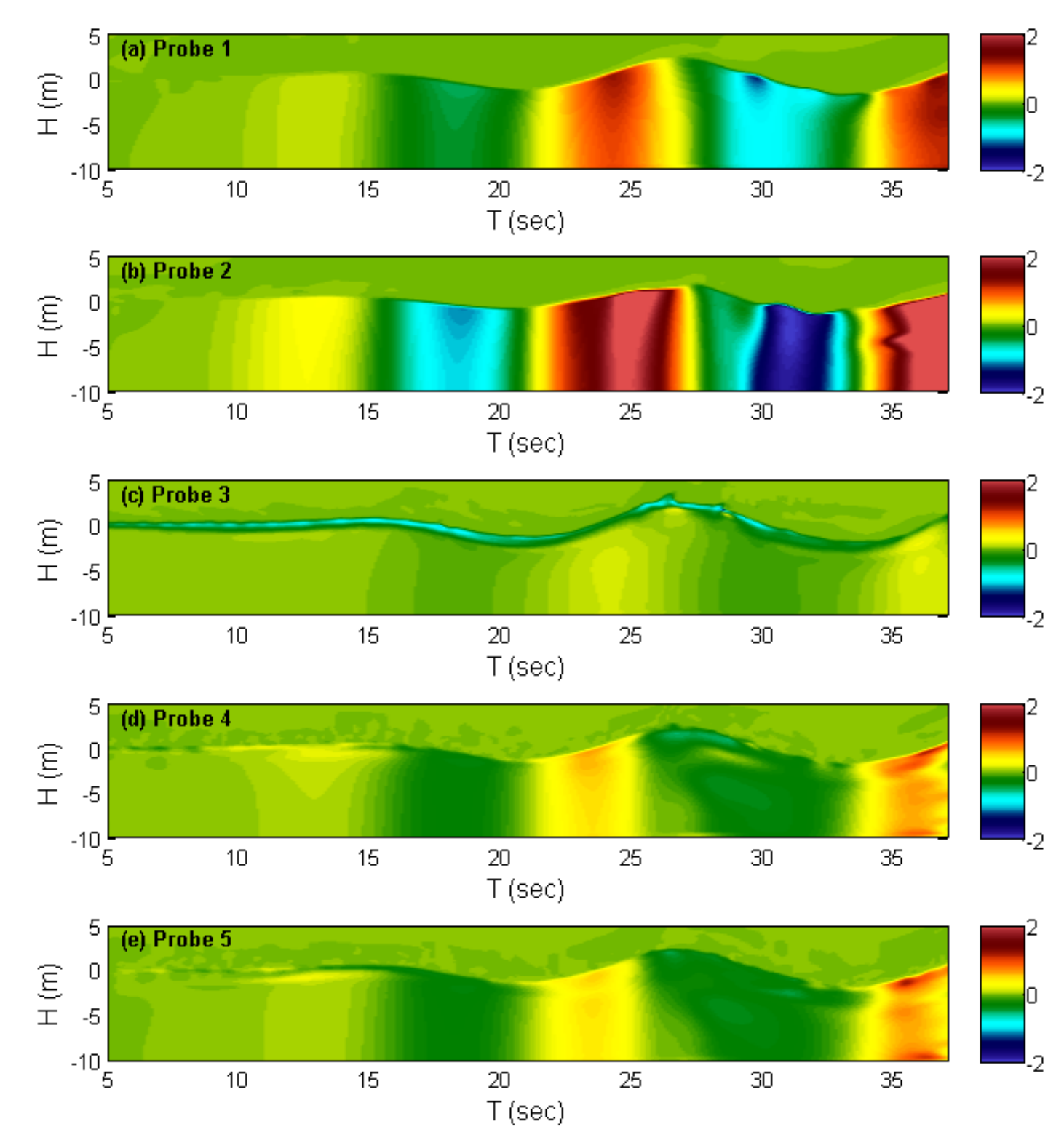


圖5 無浮子-共振沉箱之5點位之水平流速圖

小結

本海報先以無浮子之共振沉箱做簡單的波通過之流場變化，更多的研究內容將成呈現於今年的成果報告中。