

洋流能關鍵技術(動態電纜與設施錨碇系統)

鄭明宏、李傳宗
海洋產業及工程研究中心

一、前言

海洋能相較於風能及太陽能，其形式眾多，主要包括：波浪能、潮汐能、海流能和溫差能等。目前在海洋能中，國際上除了潮汐能發電技術已較成熟且有商業化運轉之外，其他形式的發電技術仍屬新興發電技術，目前未臻成熟，尚待進一步的深入研究。於110年度本院執行「洋流能關鍵技術開發與推動(2/4)」其中對錨碇繫纜技術部分，因洋流發電必須定置於海上會遭遇水深及離岸距離之問題，如何將機組所發之電力收集及運送上岸之中繼浮台成為主要關鍵技術之一。為推動台灣國際級洋流能測試場規劃，其所需用到的動態電纜和錨碇系統。本計畫關於動態電纜及錨碇系統將先以數值模式計算，再採用特定條件進行水工試驗以驗證數值結果。在本海報僅先介紹數值模式模擬結果

二、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：

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

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

$\bar{u}_i$ 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、 T_c 為纜繩之影響力[計算詳見計畫報告]。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 $\sigma_k = 1.0$ 、 $\sigma_\varepsilon = 1.3$ 、 $C_\mu = 0.09$ 、 $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ 、 $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ 。

本次建立的數值模擬示意圖如下圖1所示，在此呈現一個張緊式浮式構造物受波浪通過，浮體運動與纜繩受力情況。

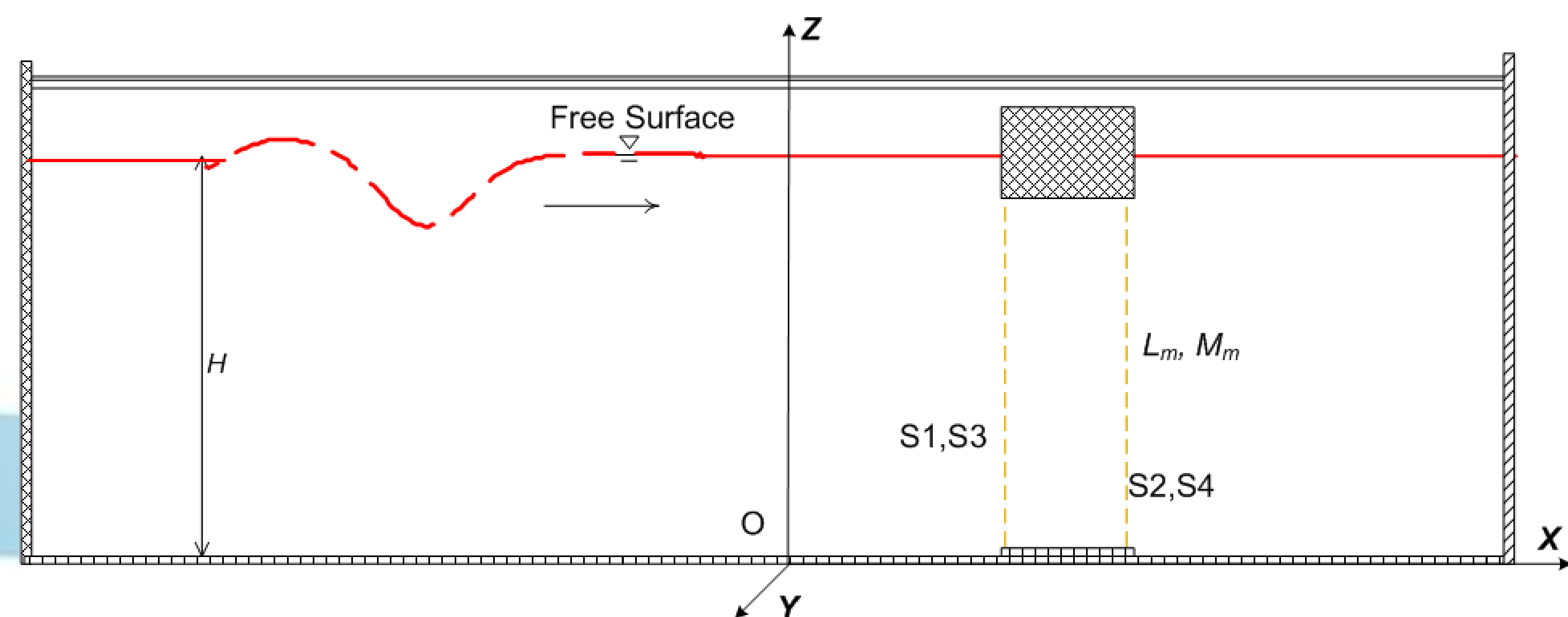


圖1 3維計算模擬張緊式浮體受波浪示意圖

三、初步成果

張緊式浮式構造物(4點錨定)受波浪之影響，三維的浮式構造物與表面波之連續圖繪製於圖2。該組圖為一個週期內三維繫纜型浮式結構物運動情況，即時間為選取(A)波前源、(B)1/4波長處、(C)1/2波長處與(D)3/4波長處。表面波剛碰觸浮式構造物時，略微在初始位置移動(圖2A)，因為此案例採用四條纜繩固定，而當表面波之波谷傳至時，則浮式結構物有稍微往後與往下移移動(圖2B)；等到波谷與波峰轉折通過，浮式構造物會稍微回復到初始水位，但是受到波浪影響，會有翻轉移動的現象產生(圖2C)；等後方波峰到時，則結構物有往右與往上抬升(圖2D)。等其通過後，又會稍微回復到初始的狀態。

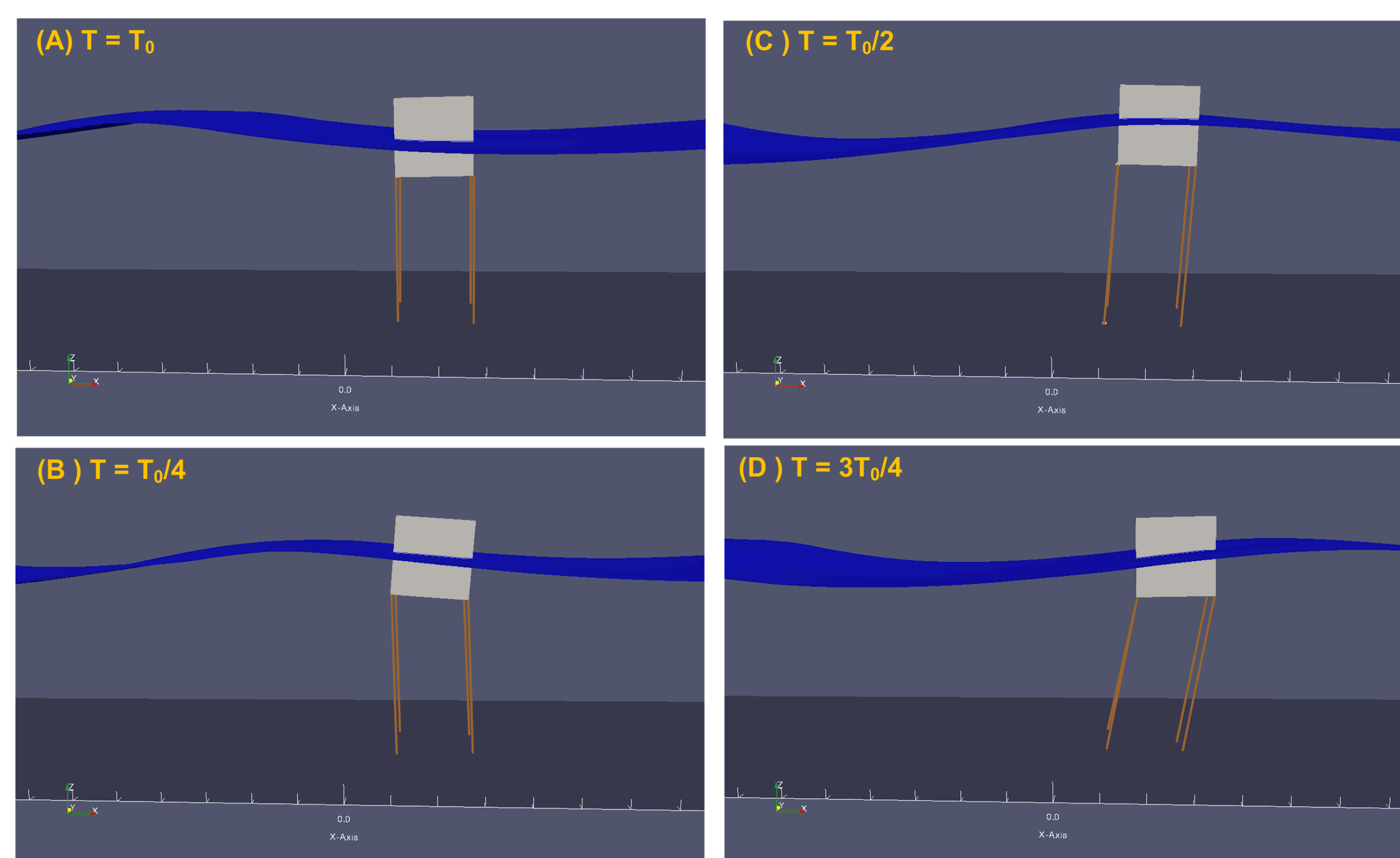


圖2 張緊式浮式構造物受波之運動連續圖

探討 4 條纜繩的特性，計算出纜繩長度變形量與端點受力情況 (負值表示張力，而正值為壓力)，兩部分繪製於圖3A-D。由組圖18中可看出纜繩變形量與受力明顯分成兩部分，即前方(S1與S3)及後方(S2與S4)。受側向影響較小，在變形量與受力部分幾乎相近。然其位置不同，因S1與S3為位於浮式結構物左邊，而S2與S4位於結構物右側，所以前兩者會比後兩者更早反應。在纜繩長度變形量部分(圖3A)，雖然波浪同過該結構物對波形幾乎無影響，但左邊纜繩受到結構物直接接觸到波浪，所以其變形量會略大於後側。四條變化亦是由小逐漸增大達穩定週期性變化，大小約在0.04 - 0.05之間。在纜繩受力部分(圖3B-D)，左側的纜繩在水平部分亦會比右側來的略大(圖3B)；在側向部分，受到波浪影響不大所以張力與其他兩軸部分明顯較少(圖3C)；在垂直張力部分，不像水平會有一段水平的現象。但因為多錨的影響，故其所受張力比起前小節也是略微減小(圖3D)。

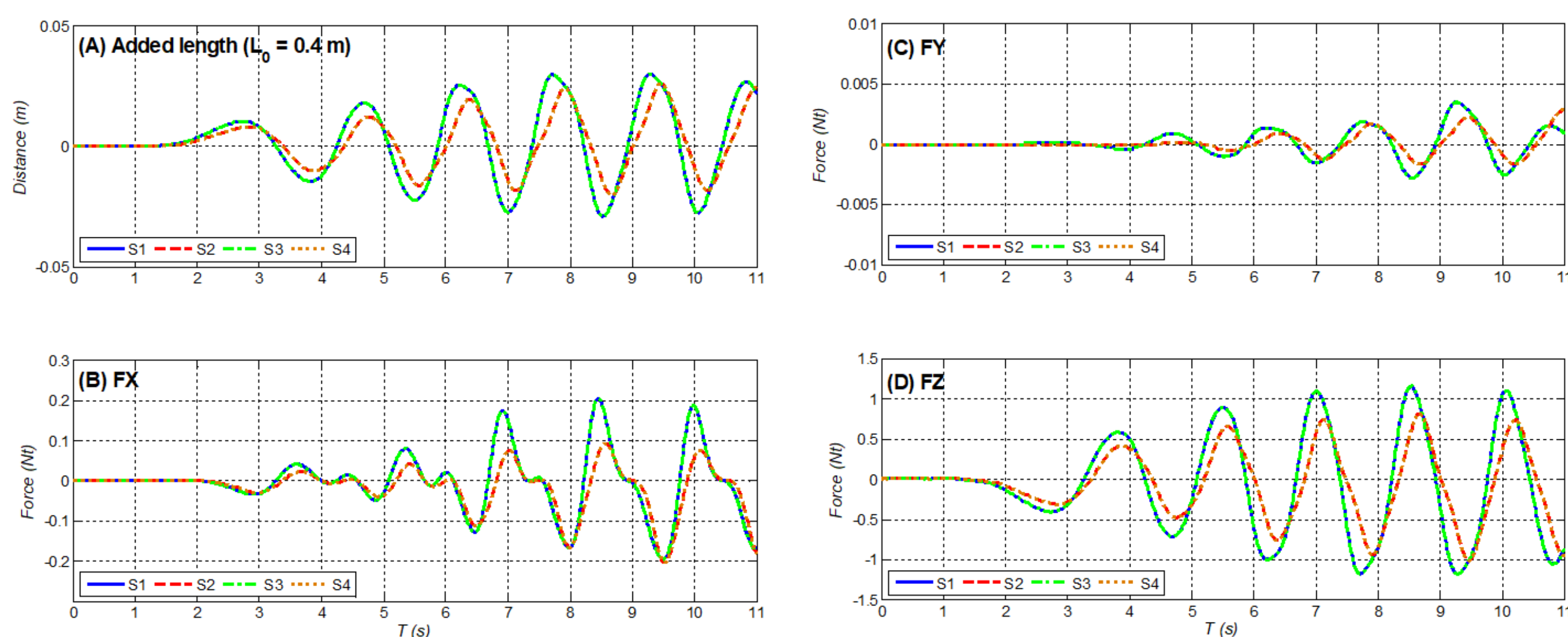


圖3 纜繩變形量與三方向受力圖

四、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。