

# 海表浮式太陽能板載台之 穩定性模擬分析

張明輝<sup>1</sup> 洪瑋廷<sup>1</sup> 蔡家揚<sup>2</sup> 馬維揚<sup>2</sup> 余基雄<sup>3</sup> 謝宛廷<sup>1</sup>

台灣大學海洋研究所<sup>1</sup> 行政院原子能委員會核能研究所<sup>2</sup> 崑崙科技有限公司<sup>3</sup>

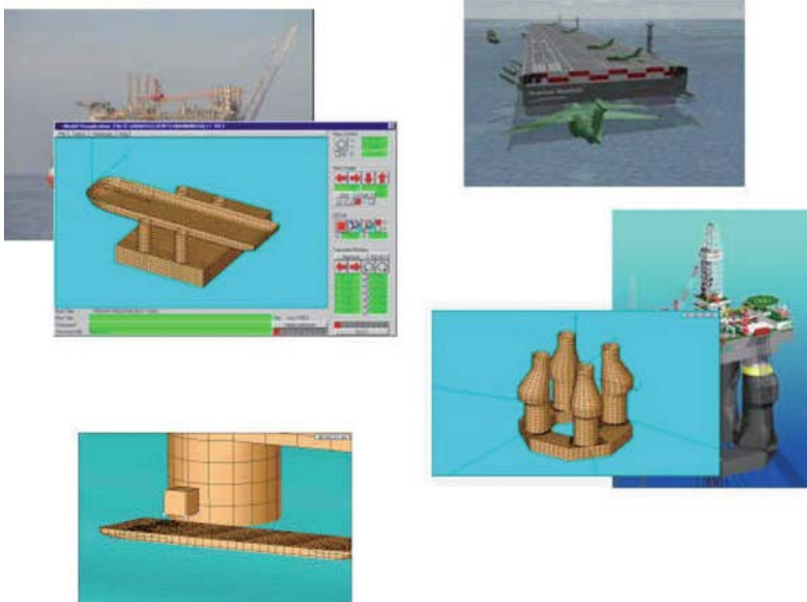
# 緣起

- 傳統發電方式：造成環境負擔、安全性考量。
- 綠能：在其生產過程中，對環境低污染甚或無污染的能源，包括太陽能、風力能、海洋能(波浪、洋流、溫差等)及地熱能等。
- 太陽能：台灣位處亞熱帶地區，具有光照充足的優勢來發展太陽能，且發電過程不會帶來環境汙染。但太陽能模組成本不低，另外，發電裝置太陽能光電板常需要無遮蔽物的大面積的土地，此關係到發電效率。

# 目的：太陽能優勢、問題、可解？

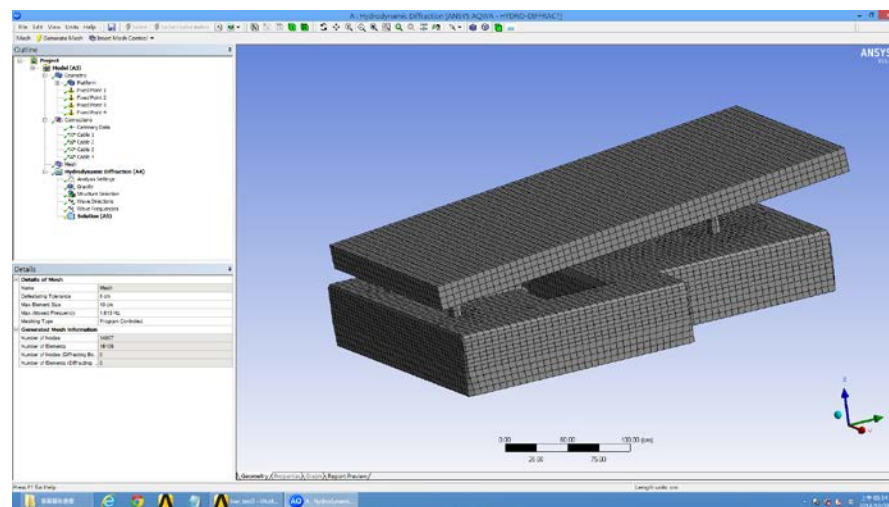
- 故將太陽能發電裝置設置於湖泊、河流、水庫甚至海洋等水面上等水表面有助於太陽能發電的進一步推廣，因為：
  - (1) 全球有半數以上的人口是居住在距離水岸約數至數十公里距離範圍內，方便供電輸送。
  - (2) 台灣地狹人稠，可用地短缺，此作法可解決大面積用地需求的問題，且需較少的能源基礎建設需求。
  - (3) 水面無遮蔽物且具有設備冷卻效果，有較高的發電功率，法國開發商Ciel el Terre公司的經驗顯示，由於水的有效冷卻效果，其發電效率可比裝置於陸地多10% (Choi et al., 2013a)。
  - (4) 水域提供設備與人的隔離，可避免人為破壞。
- 問題：浮動平台設計及其錨泊系統等技術性
- 本研究目的：設計合適的浮動平台並且提出適用之錨泊方式來固定浮動平台

# 模擬



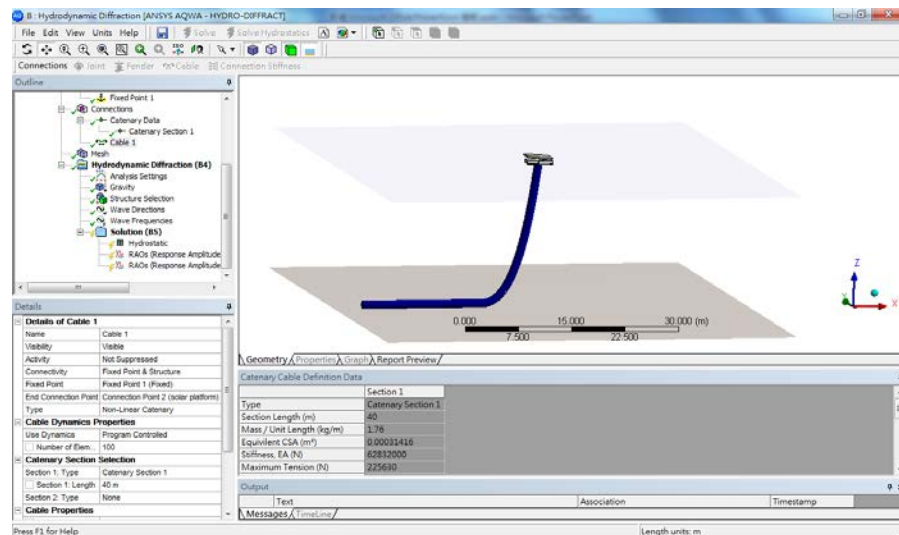
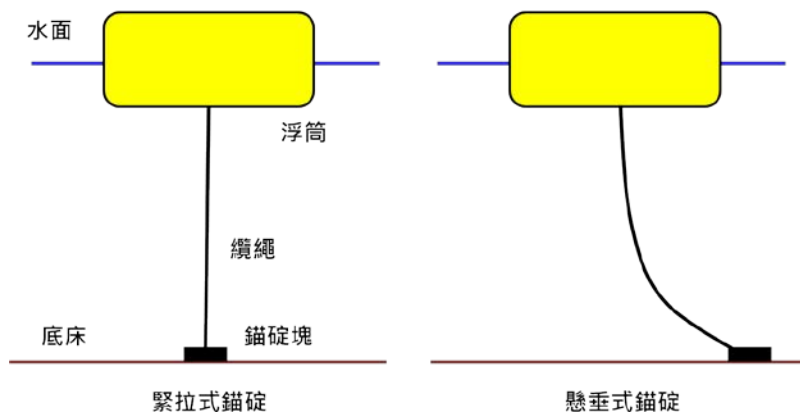
- AQWA是為ANSYS公司所發展的工具，此軟體發展約已30多年，可進行複雜浮動平台幾何圖形的建立並計算平台運動及錨繩受力程度及其三維運動，常應用在船舶、波浪發電機與海事工程結構物之設計，包括單點附帶儲槽，浮式生產儲存卸載系統，半潛式平台，張力腳平台等海上石油天然氣卸油平台，以及船舶，再生能源系統(包括波浪發電機，潮流發電機，海上風力發電機)，防波堤等。
- 可以計算錨繫平台在海中的靜水特性以及受到風、波浪、流作用時平台之動力特性

# 模型建立



- 平台主體由數個中空浮筒單元所集合而成，浮筒彼此間由導柱、鋼架螺絲組、短螺栓組與側面固定栓來鎖固成一平台，平台總長度353.5cm，寬度252.5cm、高度50cm。太陽能板則配置於平台上方，由太陽能板導柱連接於平台上。
- 平台材質採用中空HDPE，密度約為 $0.95\text{kg}/\text{cm}^3$ ，厚度設定為2 cm；導柱設定為鋼材，密度約為 $7.85\text{kg}/\text{cm}^3$ ，太陽能板重量為88 kg。經計算後，太陽能平台總重約503.34kg，重心位置為 $(x, y, z)=(0.155\text{m}, 0\text{m}, 0.179\text{m})$ ，慣性矩 $(I_{xx}, I_{yy}, I_{zz})=(320.37\text{kgm}^2, 651.69\text{kgm}^2, 862.31\text{kgm}^2)$ 。將平台放置於密度為 $1.025\text{kg}/\text{cm}^3$ 的海水中時，由平台的切水面積 $6.3756\text{m}^2$ 可換算平台的沒水深度為0.077m。

# 錨碇系統設計



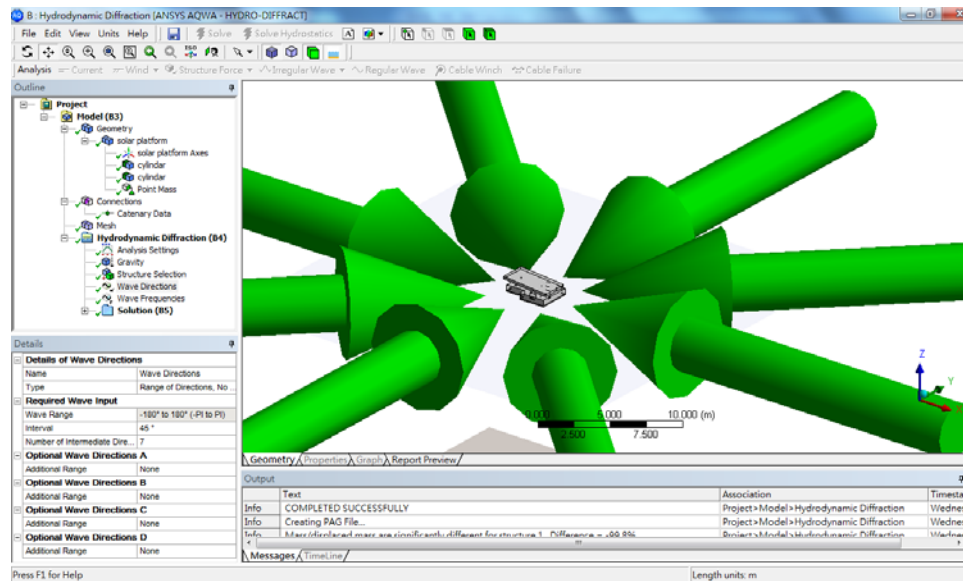
- 纜繩可分為緊拉式(taut)與懸垂式(catenary)兩種。緊拉式錨碇系統其纜繩長度低於水深高度，其功能可限制浮筒的運動範圍；而懸垂式纜繩長度則會大於水深數倍以上，可提供浮體更多的運動自由度，能讓浮體隨波浪上下起伏。
- 本研究初步規劃採用單點懸垂式繫纜型態(single point catenary mooring)，主要考量原因包含：
  - (1) 水位變化(一般湖泊的枯/豐水期變化及海水漲退潮)的影響將導致水深差異可達1~2m，若採用緊拉式設計，則可能導致水位蓋過平台
  - (2) 纜繩過短，受到波浪水位起伏的影響，容易導致波浪直接拍擊平台上的太陽能板與相關設備裝置，導致儀器功能的損壞與失效，且在有水流的作用下，其在纜繩緊拉狀態時之下拉力會將平台拖入水中。
  - (3) 以纜繩張力的觀點來看，採用懸垂式繫纜設計時，平台可以隨波浪起伏與縱移之運動，纜繩不易因發生瞬間緊拉現象導致繩索產生極大的張力而斷裂(breaking)

# 自然環境設定

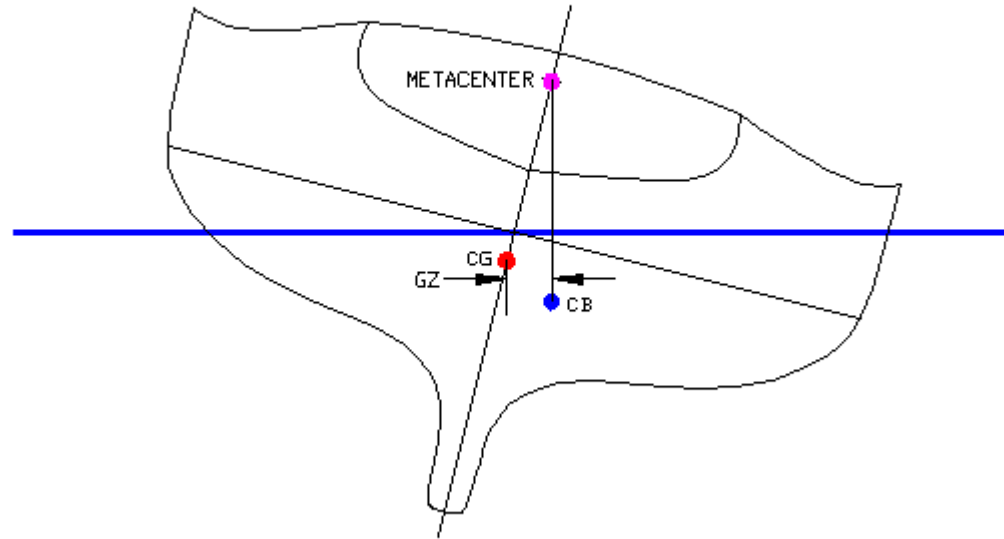
## 三種風力環境及對應波高

條件	最大風速(m/s)	示性波高(m)	對應週期(s)
輕風	3.3	0.2	4
和風	7.9	1	6
強風	13.8	3	8

## 波浪風向



# 靜態穩定分析結果



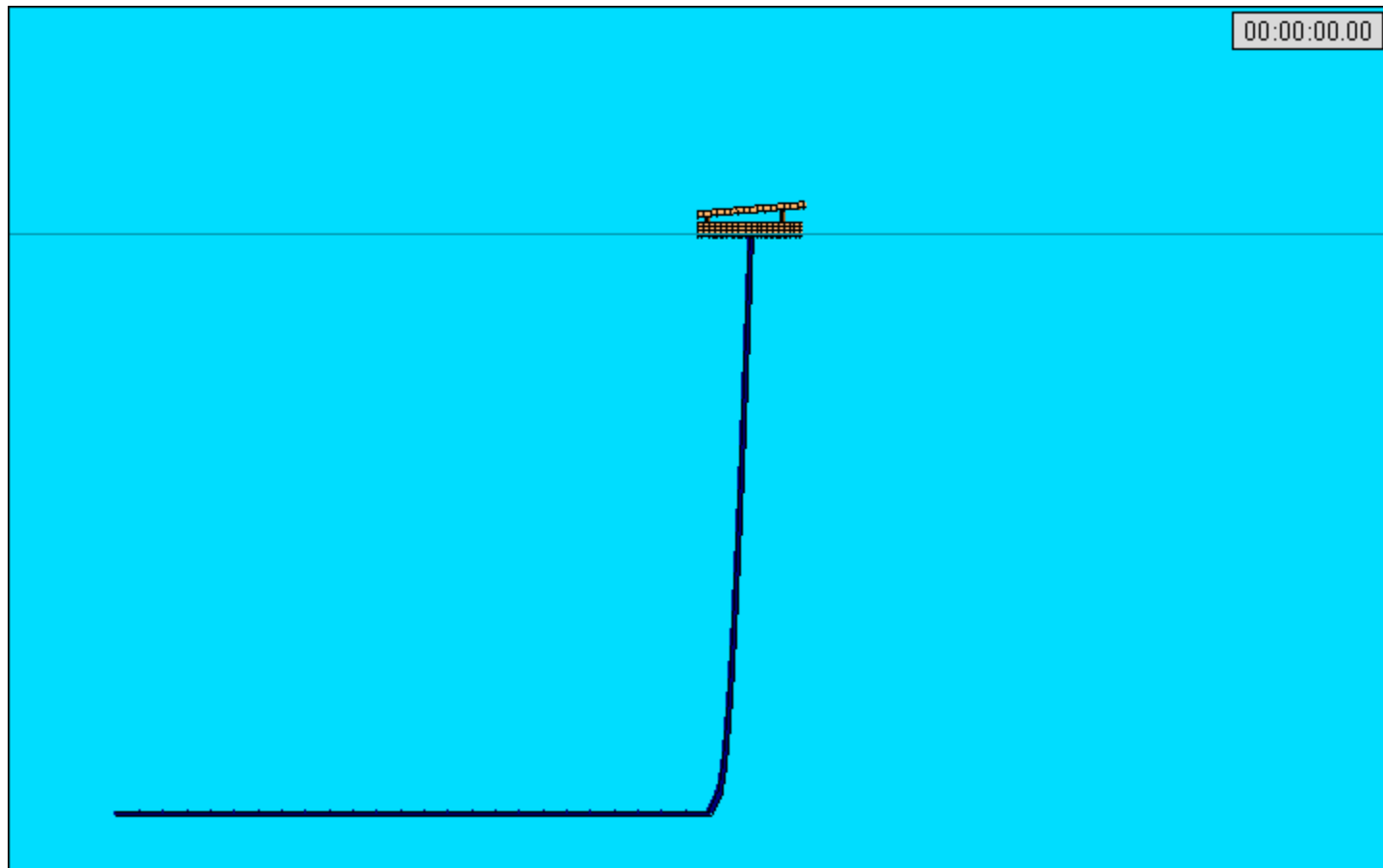
- 在微小角度搖晃下，預判斷浮體在靜止水域中之穩定性(stability)可由計算浮體定傾高度 (metacenter height) 決定之，以下簡稱GM，定義為重心(gravity)與傾心(metacenter)兩點之間的相對距離。
- 當浮體GM值為正值時，浮體屬於穩定系統，即於靜水狀態下給其一外力使其傾斜後，浮體將產生一反方向的回復力矩(Restoring Moments)，在移除外力作用後，浮體可以自由擺盪回到初始位置而不發生翻覆現象，反之若GM值為負值，則浮體屬於一不穩定狀態，於外力作用下會因為無足夠回復力矩扶正下容易發生翻覆。由AQWA計算結果，浮體繞x軸方向旋轉的GMX為5.88m，單位角度水體的回復力矩為8.85 N.m/°；繞Y軸方向旋轉的GMY為13.71m，單位角度水體的回復力矩為20.62 N.m/°，由GMX與GMY皆為正值可初步判斷現階段所設計的浮體是屬於穩定系統狀態。



# 動態穩定分析結果1

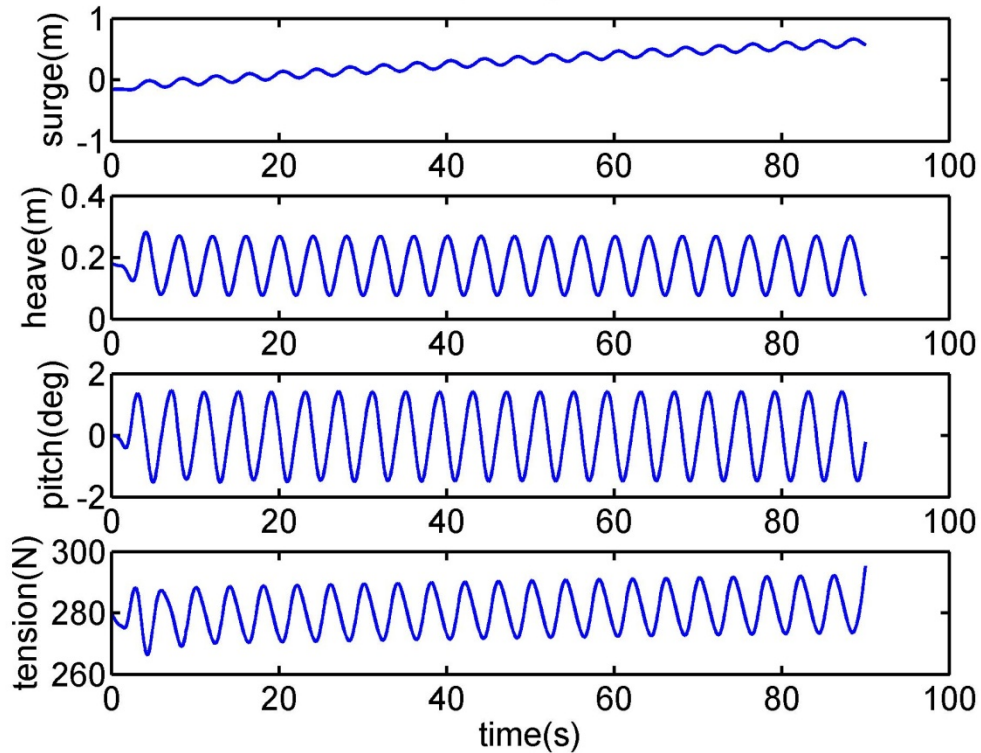
$H=0.2\text{m}$ ,  $T=4\text{s}$ ,  
 $C=3.3\text{m/s}$

輕風



# 輕風下穩定度

H=0.2m, T=4s, C=3.3m/s

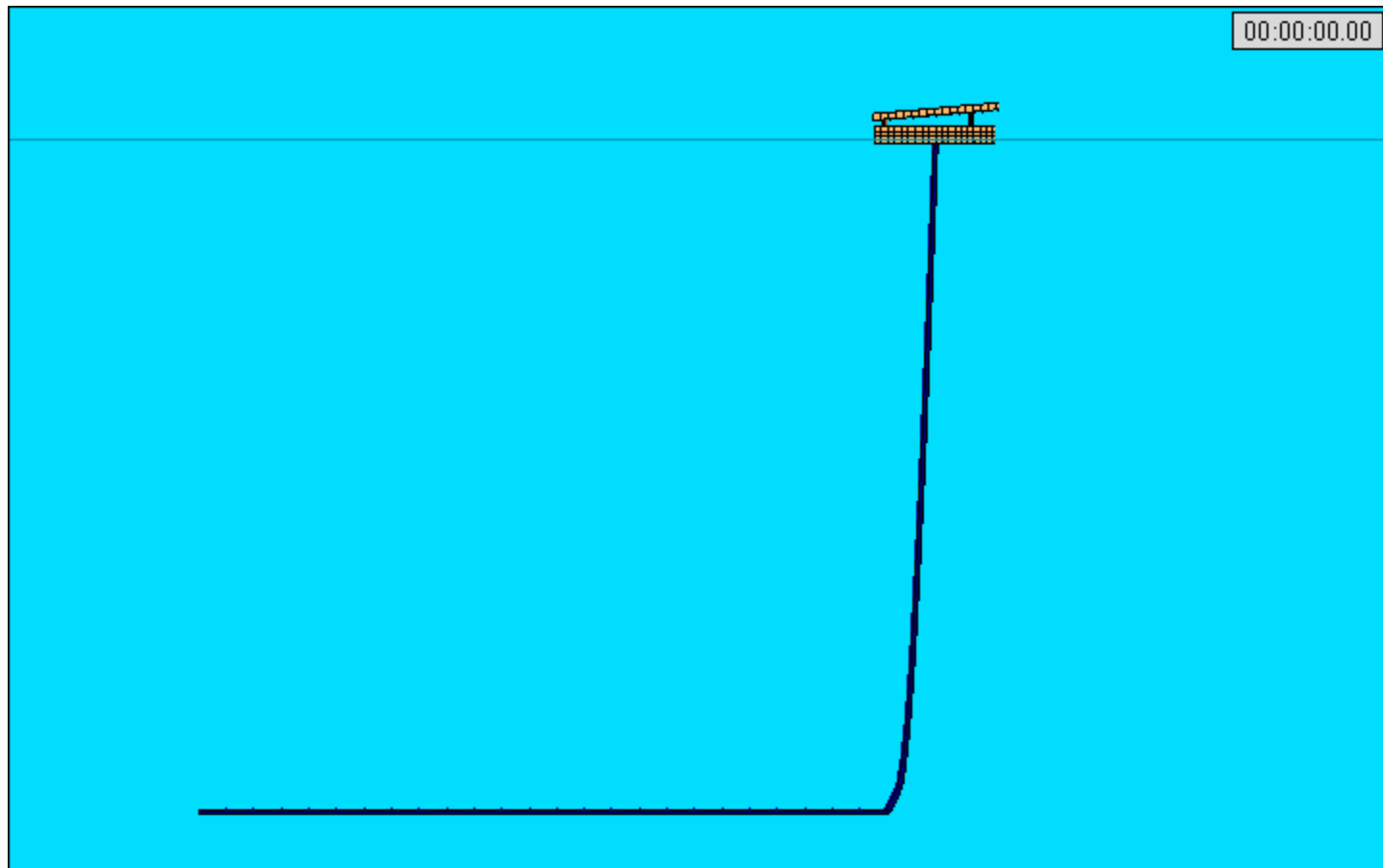


在清風條件下，平台整體的動態行為大致上與入射波浪具有相同的震盪周期，平台在surge方向的運動變化於90s時間內移動量約為於0.9m，heave方向上的運動振幅約0.095m，pitch最大搖晃角度為1.4deg，纜繩最大張力約為290N，由以上之動態反應來看，平台對清風作用下的動態反應不大。

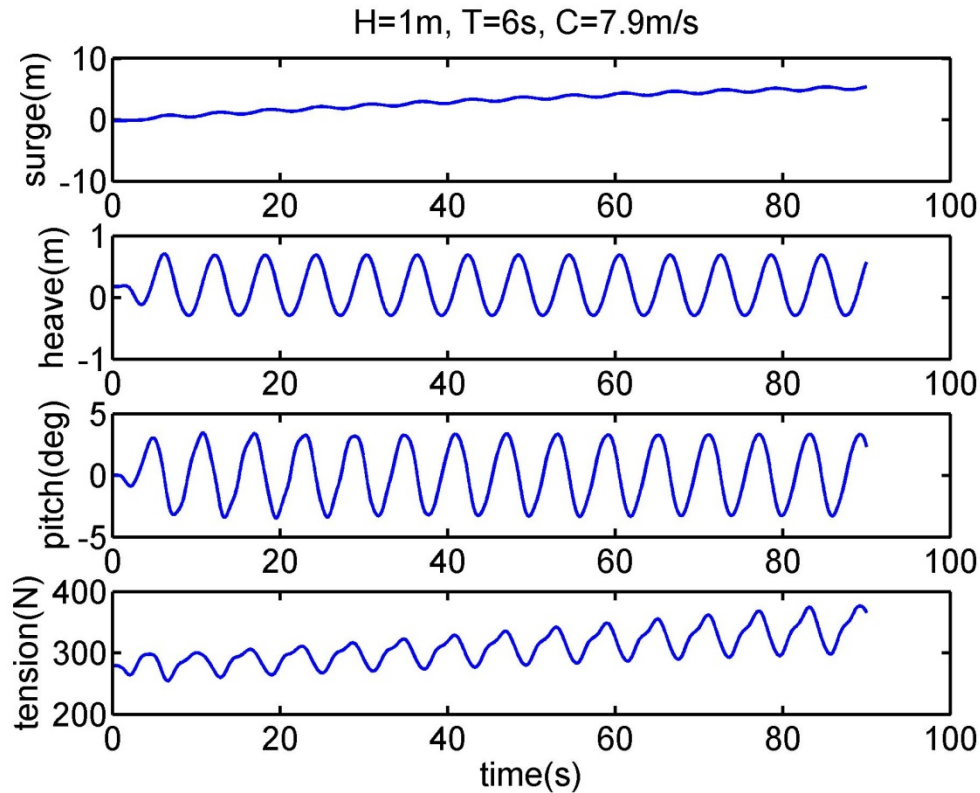
# 動態穩定分析結果2

和風

$H=1\text{m}$ ,  $T=6\text{s}$ ,  
 $C=7.9\text{m/s}$



# 和風下穩定度

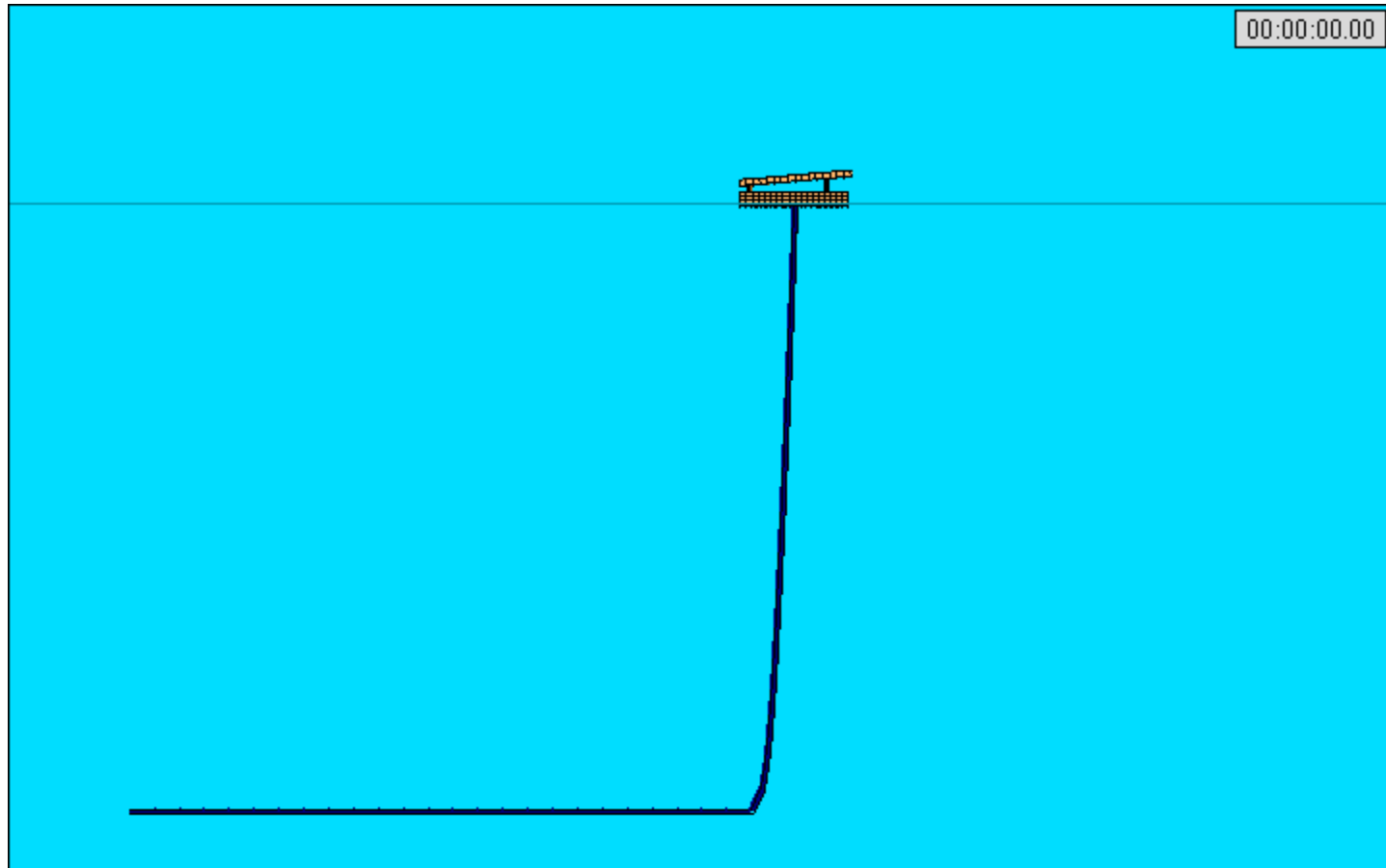


在和風條件下，受到波浪週期與風速增大的影響，平台在surge方向的運動變化於90s時間內移動距離可達5.23m，heave方向上的運動振幅約0.476m，pitch最大搖晃角度為3.33deg，纜繩最大張力隨時間逐漸增加可達376.6N，由以上之動態反應來看，於風速較大的和風作用下的平台的動態反應明顯的增加。

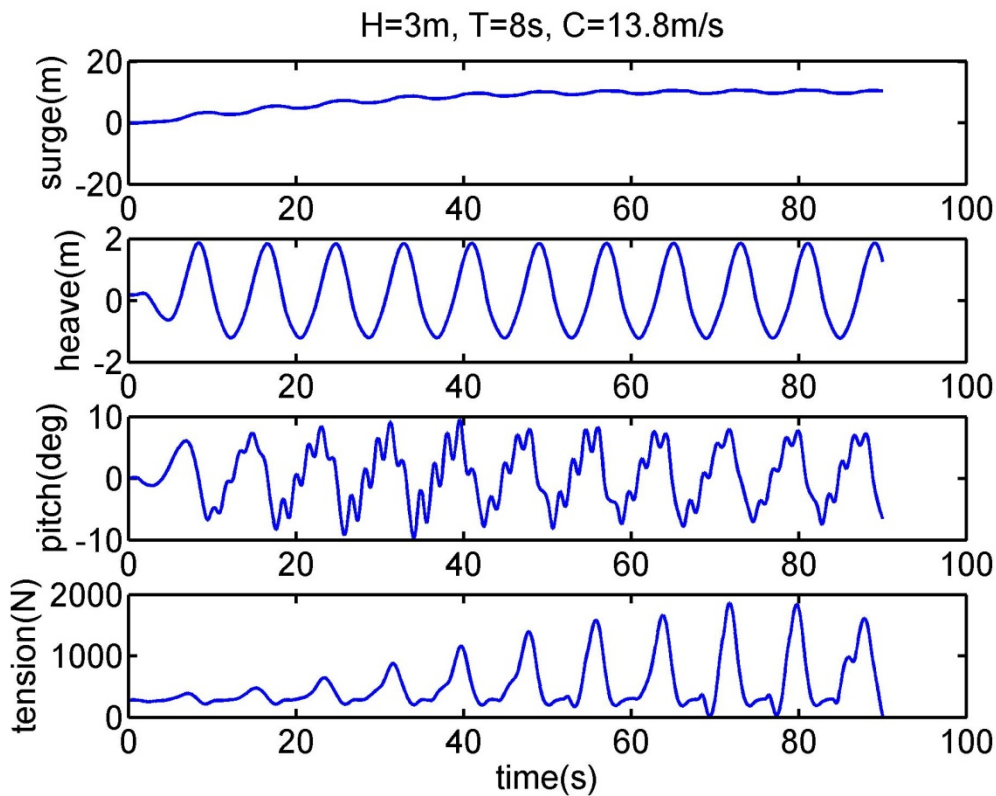
# 動態穩定分析結果3

$H=3\text{m}$ ,  $T=8\text{s}$ ,  
 $C=13.8\text{m/s}$

強風



# 強風下穩定度



在強風條件下，此時風速已達13.8m/s，平台在surge方向的運動變化於90s時間內移動距離可達10.54m，heave方向上的運動振幅約1.527m，pitch最大搖晃角度為7.67deg，纜繩最大張力隨時間逐漸增加可達1839N，值得注意的在高風速與大浪高的作用下，平台的pitch搖晃角度呈現鋸齒狀的波形現象。

所承受最大張力僅1839N，低於一般鋼索耐拉強度。實驗結果也建議，在一般狀態下，所使用之鋼索最好可以抵抗1800N以上的張力。

# 總結

本研究採用ANSYS AQWA作為模擬軟體，其功能與簡單的介面化的操作，可協助開發者有效率的進行太陽能板平台的設計與分析，並且可透過模型的參數化建立，協助使用者進行平台的最佳化設計。本研究已經建立可用工具與模型，可支援後續的研究工作。

尚待克服之困難:極端環境模擬