

自升式海洋結構載台之安裝與穩定度分析

林裕桀¹, 馮瑞裕²

¹財團法人船舶暨海洋產業研發中心, 工程師

²士盟科技股份有限公司, 應用工程師

Abstract

Soil with its non-linear viscous elastic properties is hard to describe with traditional material model which plays an important role to decide jack-up structure type and installation procedures. In the field of marine engineering, the stabilities and safety assessment are key issues to design the platform. This study implemented CEL to simulate jack-up settlement drilling process on seafloor which would be the initial statement to sustain wave impact load. Under wave impact stage, the same technique was used. A clear view of drilling process and stability evaluation was demonstrated.

Keywords : settlement, jack-up, stability, wave impact, seafloor

1. 前言

在人口高漲、建築物持續增加的今日，陸地可用面積已漸趨於飽和，在台灣這類島嶼國家，土地之使用更顯侷促。台灣為一海島國家，山坡地面積佔總面積約 70%，可用陸地面積僅有 3 成左右，因此，離岸工程、填海造陸實為一項未來發展之趨勢。

離岸工程，顧名思義為海上相關之工程作業，包括範圍相當廣泛，如風力機、海上工作載台、施工船舶、填海工程等，皆為發展離岸工程不可或缺的一環；早在 1960 年代，國外即有相關的團隊投入研究，著重在可移動式之離岸結構發展，並使用於開發石油與天然氣工業。

相對於一般線性材料而言，土壤之非線性行為為較難以掌握之課題，尤其海洋結構物之安裝影響因素又較陸上結構更為複雜，需要在安全上有更精確的評估與考量，因此，不僅需要探討海洋結構物安裝時，土壤可承受與否，對於波浪、海流與結構物間相互的影響，亦不容忽視。

本研究以有限元素法，配合 CEL 之耦合方法與 general contact 之接觸技術，導入波浪衝擊負載，以進行海上平台之動態穩定性分析。

2. 研究動機

因應能源短缺、能源需求量持續攀升且使用傳統能源造成之氣候暖化現象，大量開採傳統能源已非有效之解決辦法；唯有確保環境生態之穩定，才能達到人類社會之永續發展，於此前提下，再生能源以成為各國努力之目標。再生能源種類繁多，諸如太陽能、水力、風力、地熱能等；近年來，由於風能設施成熟之技術、環境成本需

求較低，以逐漸成為各國發展再生能源之首選。

台灣擁有四面環海、東北季風吹拂與日照時間較長等優勢，於太陽能、風力發電上皆具備不錯之先天條件。以建置風力發電機而言，不僅需評估附近之風場環境，於維護上、對生物環境之影響，皆為需考量之因素。而台灣地峽人稠、建築物密集，可使用建置之環境較少，因此離岸風力發電機已成為必要之發展趨勢。

離岸風電機具有較高風能與穩定風速之優點，於建置上則需要海上工作平台之輔助，這一類的平台在設計上，缺乏了動態穩定性的評估與規格，台灣沿海潮流變動劇烈，在實際導入工程應用前，擬以數值計算方法進行評估，以降低工程實務上的風險

2.1 研究方法

本文擬以有限元素法模擬自升式海洋結構載台之安裝並進行相關之穩定度分析，其中安裝方式係利用樁腳穿透海床，深入土壤，以固定載台，而土壤之變行為屬於大變形、非線性，又牽涉到接觸、收斂、多相流體描述等複雜之耦合，單一之網格描述方法無法有效模擬，須仰賴 CEL 之流固耦合方法進行模擬，以處理移動邊界、自由液面、接觸收斂、網格之扭曲變形等問題，其相關之流程如圖 2.1。

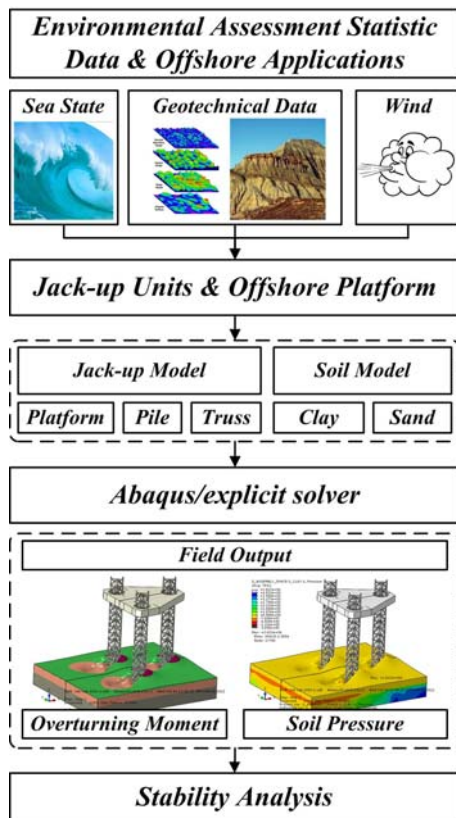


圖 2.1 海洋結構平台穩定度分析流程

2.2 有限元素法

如同 Benson[5]所提及的數值模型問題，因應拉格朗多(Lagrangian)網格遭遇大變形而導致數值計算無法收斂之處理方法為，在變形過大區域重新生成網格，爾後再將原來的求解結果轉換到新的網格上，繼續求解，如此重複的操作下，得到最後的結果。由上述的方法看來，不僅求解時間拉長，亦必須有一定的人力投入，實為曠日費時，徒增麻煩，尤拉(Eulerian)網格等方法因而陸續發展而出。

簡而言之，拉格朗多網格是將材料特性固定於節點上，隨著節點的移動而變形；以尤拉方法描述數值模型時，則是將座標固定在欲計算區域內，觀測此範圍內之數值變化，其中，計算網格為固定不動，材料特性可於計算空間中自由移動；Kee Kiat Tho and Chun Fai Leung 等人[6]計算結構基礎在不同土壤深度下之阻力，發現需在一定的穿透速度下才能有效減少動態分析之誤差。由於土壤性質不同，造成基礎沉陷速度與深度有所差異，將使得自升式結構載台有安裝風險的存在，因此 G. Qiu, S. Henke and J. Grabe [7]針對不同的土壤性質進行計算模擬。

3. 文獻回顧

3.1 海洋平台概述

當今世界面臨人口、資源、環境三大問題。隨著世界人口的增長與陸地資源因開發而加速枯竭，海洋資源的開發、世界環境的保護、資源的有效利用已成為世界各國普遍關注的問題。

傳統海洋平台之發展著重於石油、天然氣工業之開發，而隨著技術的發展於需求，其功能越趨多元、應用也越趨廣泛；而根據全球風能協會統計，截至 2011 年為止，風力能已達 238.4GW(圖 3.1)，成長快速且伴隨著陸地可建置風力發電機區域趨近飽和與離岸風力發電功率大為增加之情況下，海上施工平台之發展亦越顯重要，而按其不同之固定方式則分成下述類型。

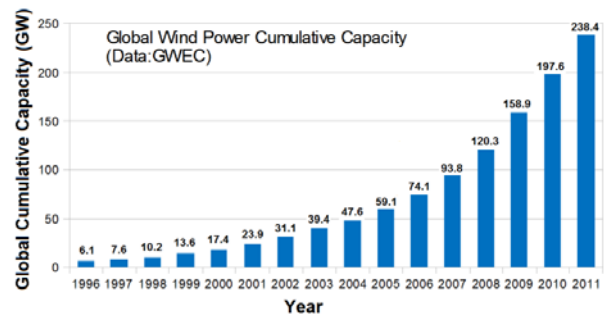


圖 3.1 世界風能資料統計[13]

3.2 固定式

3.2.1 樁腳式

樁腳式平台主要由工作平台、圓管柱與樁腳構成，構造簡單，而材料上主要使用鋼材、鋼筋混凝土。其安裝方式為到達指定海域後，打樁至樁腳沒入海床中，爾後再將平台安置於圓管柱上並高於海平面。由於樁腳式平台適用土壤特性較為廣泛，構造亦較為簡單，因此為固定式平台中最為常見的一種，而且以廣泛使用於海上碼頭、燈塔、雷達站與水文氣象觀測站等各種用途上。

3.2.2 重力式

重力式平台主要是由自身重量維持穩定的固定式海洋平台，組成材料上一般以鋼筋混凝土為主，有少數則為鋼結構，其主要由上部結構、樁柱以及基座三部份所組成。由於以自身重量承受相關之作用力，一般重力式平台多擁有較大之基座，對海底土壤特性亦有一定要求，也因此安裝之前，需先於岸邊建造基座，而後於適當水域中加載下沉。

固定式海上平台於 1950 年代左右出現，其

特色為固定安裝後即不再移動；而由於其無法移動之特點，平台之穩定度較移動式平台為高，但也因為如此，相對成本高，多建造於較淺之水域。

3.3 移動式

3.3.3 自升式海洋平台

自升式海洋結構載台，大致可分成三大部份，載台、樁腳以及升降機構，一般載台形狀主要區分成三角形與方形兩種；而在樁腳的部份，則有圓柱、桁架等樣式，其中，桁架中又有三角桁架與四角桁架之區別，然而不論樁腳之形式為何，各樁腳皆為互相獨立、分別支撐載台重量；常用之升降裝置則分為齒輪式與油壓式，發展至今，已有著非常成熟之技術。由於其為移動式平台以及帶來之成本效益，令其成為離岸工程不可或缺之要角。自升式海洋平台為一可移動平台，並非永久固定之結構，因此在結構載台安裝前皆需重新評估其在不同位址之穩定性問題[1]；在移動時，由於樁腳需升起，高於載台甚多，造成重心高、穩度差與抗風能力問題，亦是移動式載台結構帶來不便之處。

現今離岸可移動自升式平台可使用水深約達 120 米，一般無自航能力，而典型之載台形狀為浮式之三角平台，並由三獨立桁架進行支撐(圖 3.2 圖 3.3)，對應不同水深則會有不同之尺寸配置，大致上在 100 到 205 公尺長之樁腳可對應 50 到 75 公尺之載台長。自升式海洋平台之安裝方式係到達指定水域後，令其樁腳落下至海床，接著升高平台並距離海平面約 1.5 公尺，後注入壓艙水令樁腳穿透海床，埋入土中，待平台接觸海平面之後，釋放壓艙水，重複上述步驟待樁腳埋入土中達一定深度後停止。於海上載台穩定性方面，主要影響因素為結構基礎與海床之相互作用，結構基礎之幾何與尺寸則有 Menzies and Roper[2]整理之，文章中包含 7 種形式，直徑大小在 11.0 到 20.1 公尺之間，各基礎可承受之壓力範圍介於 162.8 到 507.4 kPa，在一般黏土土質下，預應力的作用可令結構基礎穿透 6 到 20 公尺不等之深度。Kellezi 等人[3]模擬不同載重因子影響下，結構基礎之穿透以及相關之穩度分析；Dean and James 等人[4]則針對三腳式自升式平台受到水平作用力時之反應進行模擬，其中，彎矩、水平力以及垂直力皆為固定常數，並與試驗模型進行比較。

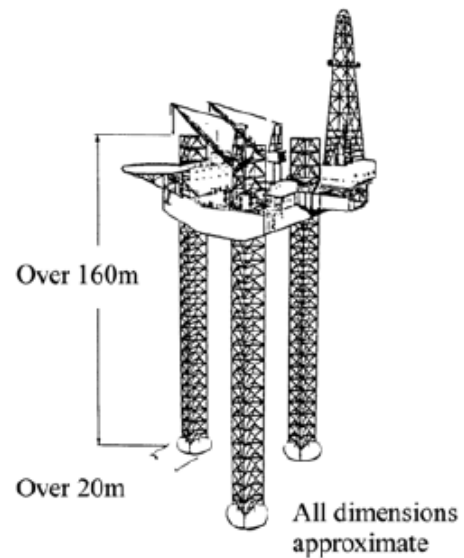


圖 3.2 典型自升式海洋平台[8]



圖 3.3 自升式海洋平台

3.3.4 座底式

除自升式平台外，座底式平台亦為移動型海上平台中的一種；座底式平台一般用於水深 30 公尺以內且海床平坦、土壤承载力較差之淺水水域，其上部為工作平台，用以承載相關設備，下部為浮箱，主要功能為壓載，中間的部份則以圓柱或桁架連接支撐(圖 3.4)。其安裝方法為到達指定水域後，將水注入浮箱內部，使整體重量增加而後達到下沉之目的，當作業完成後，則排除先前注入之水後升起。

座底式平台為較早期出現之移動式平台，雖然其可移動之優點令其在早期得到廣泛之應用，然而，相對於自升式海洋平台而言，由於座底式平台受限於使用水深較淺、海床地形等因素，其發展速度緩慢且較為少見。



圖 3.4 座底式平台

4. 參考文獻

- [1] SNAME. Site Specific Assessment of Mobile Jack-up Units. New Jersey: Society of Naval Architects and Marine Engineers; 2008.
- [2] D. Menzies and R. Roper, "Comparison of Jackup Rig Spudcan Penetration Methods in Clay", Offshore Technology Conference, 2008.
- [3] L. Kellezi, H.W.L. Hofstede and P.B. Hansen, "Jack-up Footing Penetration and Fixity Analyses", Taylor & Francis Group plc, London, UK, 2005.
- [4] E.T.R. Dean, B.G. James, A.N. Schofield and Y. Tsu, "Numerical Modeling of Three-leg Jackup Behavior Subject to Horizontal Load", Technical Report CUED/D-Soils/TR290, 1995.
- [5] D. J. Benson, "Computational Methods in Lagrangian and Eulerian Hydrocodes", Comput. Method Appl. Mech. Eng., 1992.
- [6] K. K. Tho, C. F. Leung, Y. K. Chow and S. Swaddiwudhipong, "Eulian Finite Element Technique for Analysis of Jack-up Spudcan Penetration", International Journal of Geomechanics, ASCE, 2012.
- [7] G. Qiu, S. Henke and J. Grabe, "3D FE Analysis of the Installation Process of Spudcan Foundation", Taylor & Francis Group, London, ISBN, 2011.
- [8] Mark J. Cassidy, "Offshore Foundation Systems for Resource Recovery: Assessing the Three-Dimensional Response of Jack-up Platforms", KSCE Journal of Civil Engineering, 2011.
- [9] Y. Zhang, B. Bienen, M. J. Cassidy and S. Gourvenec, "The Undrained Bearing Capacity of a Spudcan Foundation under Combined Loading in Soft Clay", Marine Structures, 2011.
- [10] L. Kellezi and H. Stromann, "FEM Analysis of Jack-up Spudcan Penetration for Multi-layered Critical Soil Conditions", GEO, Lyngby, Denmark, 2003.
- [11] L. Kellezi and G. Kudsk, "Spudcan Penetration FE Simulation of Punch-Through for Sand over Clay", 12 International Jack-up Conference, 2009.
- [12] L. Kellezi and P.B. Hansen, "Static and dynamic analysis of an offshore mono-pile windmill foundation", GEO, Lyngby, Denmark, 2003.
- [13] Global Wind Energy Council, GWEC.
- [14] www.zealot.com/forum/showthread.php?t=112243
- [15] www.turkish.martime.com.tr/news_detail.php?id=9708
- [16] xushpe.blog.163.com/blog/static/73908685201091443711418/