綠色港灣結構可循環波能轉換分析

李賢華 國立中山大學海洋環境了工程學系教授 邱於芳 立道部運輸研究所 港灣技術研究中心主任 責度信 立道部運輸研究所 港灣技術研究中心副研究員

摘要

本研究的目的是以可再生之綠能系 統應用於港灣結構系統中,藉由瞭解海 洋波浪與海洋結構互制作用之機制,建 立起港灣結構與海洋波浪間之友善關 係,將海洋能特別是由波浪作用於港灣 結構造成結構振動的能量,進一步加以 利用轉換成有用的能源,該能源之利用 可包括轉換成電力或將波浪能轉化為其 他型式之能源儲存使用。另一方面亦能 降低港灣結構物在海洋環境下之運動, 使得港灣構造物更加平穩、船舶繫靠或 用具之操作也更加便利。

一、計畫概述

海洋工程設施之投資一向非常龐 大,如水深較深之防波堤每公尺造價達 百萬元,堤外拋石及消波設施之費用亦 所費不貲,在經濟效益上可節省工程建 設及維護費用。本計畫屬於創新前瞻、 技術開發之研究,藉由其研究成果不僅 可促成學界合作研究,亦可作為政策施 可定依據,以改善海洋環境品質,整體 研究過程與成果不僅可培育相關人才, 亦可增進公共服務設施之品質與效能, 並提供功能性較高之港灣結構物,讓臺 灣進一步邁入更高品質公共建設的時 代。

1.1 本計畫目的及其重要性

根據國際能源署可再生能源工作小

組,所謂綠色能源是指「從持續不斷地 補充的自然過程中得到的能量來源」, 舉凡如潮汐能、波浪能等,係大自然中 取之不盡,用之不竭的能源,一般具有 可回收或可再生的特性。

近年來,由於氣候變遷帶來的大自 然警訊,讓各國政府紛紛開始思考節能 減碳的重要性,有些國家轉而投資於核 能發電希望達到減碳的效果,但此舉卻 因 2011 年 3 月 11 日發生的日本福島核 災,讓許多國家原本信心十足的擴建核 廠計畫再次受到質疑,因而使綠色能源 受到各國學術、政府單位高度重視,使 其具有更大的發展空間。

綠色能源需具備可恢復、可補充以

及汙染低的特性,而更廣義的說,綠色 能源於生產或使用中能降低對於環境的 影響。地球上海洋面積佔71%,而陸地 僅29%,海洋蘊藏豐富的資源與能量, 所以充份利用海洋的能量,是人類解決 能源危機的一個很好的選擇。海洋能 要包括潮汐能、淀流能等加維 量和等,全世界海洋能的蘊藏量很大, 且海洋能源是取之不盡用之不竭的可 離 業就如鹽水的高腐蝕性,甚至有些設 備需能承受深海的高壓環境等都需仰賴 高成本及技術支援。

1.2 海洋能源的利用

- 潮汐能源:潮汐發電之原理為利用海水潮差驅動水渦輪機來發電。臺灣沿海之潮汐,最大潮差發生在金門、馬祖外島,約可達5公尺潮差,較具有發電之潛力。臺灣西部海岸大都是平直沙岸,圍築構造體來儲存漲退潮的海水,需花費較大之工程成本,但是若利用現有港灣地形來開發,在潮差較大的地方如臺中港,仍具有相當之潛力。金門和馬祖在天然條件上發展潮汐發電則具有相對優勢。
- 2.海流能源:海流發電是利用海洋中海 流的流動推動水輪機發電,一般均在 海流流經處設置截流涵洞的沈箱,並 在其中設置一座水輪發電機,視發電 需要增加多個機組,惟於每組間需預 留適當的間隔以避免紊流互相干擾。
- 3.波浪能源:海洋波浪是由太陽能源轉 換而成的,因為太陽輻射的不均匀加 熱與地殼冷卻及地球自轉造成風,風 吹過海面又形成波浪,是海洋能源中

能量最不穩定的一種能源。波浪能是 指海洋表面波浪所具有的動能和勢 能,水團相對於海平面發生位移時, 使波浪具有勢能,而水質點的運動, 則使波浪具有動能。波浪的能量與波 高的寬度,而水質點的能量與波 高的寬度,也和風力,能量的能量與波 (即風區)有關。貯存的能量通過大小取離 (即風區)有關。貯存的能量通過大小浪 調動而消散,其消散速度的大小浪 能量消散速度很慢,從而導致了波浪 能動複雜性,使它常常伴有局地風 和幾天前在遠處產生的風暴的影響。

1.3 臺灣海洋能源的利用及波浪能源的 發展

臺灣四面環海且因屬海島性氣候, 沿海地區之波浪受季風影響終年持續不 斷,在海洋環境方面大致可分為東、西 兩個部分。臺灣東臨太平洋,水深可達 數千公尺;西面臺灣海峽,水深則僅約 200 多公尺;北方海域和東海相接;南 方則與巴士海峽相鄰。冬天明,臺灣有 東北季風的吹拂,而夏天則有西南季風 影響,造成海面的擾動及混合,在這樣 的往復作用下,風浪、湧浪之形態相當 複雜多變。基於上述因素,波浪能源的 蘊藏量可說是十分豐富。

波浪發電的部分以臺灣東北角龍洞 的波能最高達11.56kW/m,其次較高者 為澎湖、東吉島、國光平臺與成功測站, 均達 9kW/m 以上。以目前波浪發電技 術,波浪能量大於10Kw/m 就具有開發 價值。因此,東北角海域、鵝鑾鼻外海、 花蓮外海、以及澎湖西北海域均具有波 浪發電之潛能,總合上述各點我們便以 波浪能發電作為海洋能發電主力進行後 續之評估發展,期望能將臺灣得天獨厚 的海洋能優勢做到最佳的發展應用。

波浪發電是波浪能利用的主要方 式,除此之外,波浪能還可以用於抽水、 供熱、海水淡化以及製氫等。波浪能利 用的關鍵是波浪能轉換裝置。通常波浪 能要經過三級轉換:第一級為受波體, 它將大海的波浪能吸收進來;第二級為 中間轉換裝置,它優化第一級轉換,產 生出足夠穩定的能量;第三級為發電裝 置,與其它發電裝置類似。

二、沉箱堤為基礎之波浪發電轉換系統與現行港灣設計基準之相合性 研究

本研究研議之波能轉換系統,初始 構想中即將其納入港灣構造之防波堤系 統中,因此在設計及規劃時,必須能符 合港灣設計之相關規範。在前期相關計 畫中,雖未完全考慮港灣構造與波能帶 換系統納入港灣構造為一體時,在規範 使用上之相容性,但經初步的結構安全 分析以及水工試驗之結果發現,波能轉 造物並不會造成安全上之顧慮。但港灣 設計時因考慮安全因素使用之設計 週期通常較長,而波能轉換系統為求轉 換之效能,則以日常波浪做為設計基 準,兩種型式的結構之間確實存在相容 性之問題。

2.1 浪條件之考慮

為了符合港彎構造設計基準,目前 初步規劃波能結構系統之構造安全基準 將與所附屬之結構物一致。另外亦可將 置入波能轉換系統之防波堤視為另一種 型式之防波堤,設計及功能性分析則分 別考慮兩種結構之滿足條件,但在安全 性分析時則一體考慮。例如波浪條件在 波能轉換系統設計時,將分別有功能性 分析時之波浪條件,以及安全性分析時 之波浪條件。功能性分析時之波浪條件 將以日常波浪做為設計基準,而安全性 分析時之波浪條件原則上將與防波堤設 計時之回歸週期波浪條件一致。

2.2 外力條件

當防波堤結合了波能轉換系統後, 基本上所有的環境外力條件亦將與防波 堤設計時所要求的相同;除了靠海側波 浪作用的方式與傳統防波堤有些許差異 之外。其中包括碎波之考慮,因波浪作 用在波能轉換系統氣室內,並在其間產 生震盪作用,在轉換成機械能後進而消 耗波浪之能量。原則上經過適當設計, 結合波能轉換系統之防波堤,其反射波 能量將大幅降低。

2.3 結合波能轉換系統防波堤安定性檢 核

由於防波堤安定性檢核時,主要以 靜力分析為主,當防波堤結構結合波能 轉換系統後,其分析方法不至於改變, 固可以利用同樣的分析方法分別進行直 立壁體之安定性檢核、堤基安定檢核以 及整體結構之安定檢核。 2.4 波能擷取系統與防波堤共構之設計流程



2.5 波能撷取系統與防波堤共構之安定 計算

防波堤之安定計算主要包括了直立 部之安定計算,堤基部之安定計算,以 及整體堤防結構之安定計算。以下僅就 直立部之安定計算作一說明,其餘請酌 參附件。

直立堤之堤體、合成堤之直立部、 斜坡堤之上部結構、消波塊覆蓋堤之直 立部等之滑動、傾覆及底面承載力之檢 討應以滑動之安全率,在波壓作用時 1.2 以上,地震時 1.0 以上為標準;另外, 傾覆之安全率在波壓作用時為 1.2 以 上,地震時為 1.1 以上為標準。

以模型試驗能確認堤體之安全時, 滑動之安全率小於1.2亦可。

1.壁體滑動分析

堤體之滑動檢討必須滿足下式:

 $F \le f * V/H$

上式中

v:作用於堤體之垂直合力(t/m)
H:作用於堤體之水平合力(t/m)
f:堤底與基礎之摩擦係數
F:安全係數,平常時1.2以上,地震時 1.0以上
2.傾倒分析

堤體之傾倒檢討必須滿足下式 :

 $F \leq V \cdot l_V/H/l_H$

上式中.

lv:作用於堤底之垂直合力 (t/m)

- l_H:作用於堤體之水平合力(t/m)
- V:堤體後趾與堤体垂直合力作用線間 之距離(m)
- H:堤體底面至水平合力作用線間之高 (m)
- F:安全係數,平時為1.2以上,地震時 為1.1以上
- 2.6 波能撷取系統與防波堤共構之安定 計算實例分析



圖 2.1 波能截取系統尺寸圖

波能擷取系統與防波堤共構之安定 計算實例分析中,其系統中單一氣室之 尺寸如圖 2.1 所示,而該系統在海中之 受力情形則如圖 2.2 所示。

本研究中分別考慮傳統分析中(即 現行港灣設計基準中)所使用之 Goda 之 外力分布情形,以及使用數值方法分析 且考慮波能擷取系統氣室的情形下,結 構體之受力分布情形。以下則為壁體滑 動分析檢核及壁體傾倒分析之檢核計算 結果。



圖 2.2 外力作用於波能截取系統示意圖

RC 單位體積重: 2.45 ($tonf/m^3$) 面積: 427.75(m^2) 單位寬度重: V=427.75×2.48=1047.99 (tonf/m) 側向合力= (P1+P2)×h12+P1×h22Goda: $P1=24133(N/m^2)$, $P2=17271(N/m^2)$ Ansys: $P1=21837(N/m^2)$, $P2=9285(N/m^2)$ 將數值代入側向合力公式,得 H1、H2 Goda: H1=37.458(tonf/m)

Ansys: H2=29.088 (tonf/m) **1.壁體滑動分析** F \leq f*V/H, f:壁體底面與基礎之摩擦係數 Goda:F=16.79 \geq 1.2 (OK) Ansys:F=21.62 \geq 1.2 (OK) **2. 壁體傾覆分析** F \leq V \cdot l_V/H/l_H, l_V=8.6m, l_H=8.74 m (in Goda), 10.53m(in Ansys)

Goda : F=27.53 \ge 1.2 (OK)

Ansys : $F=29.43 \ge 1.2$ (OK)

三、波浪發電轉換系統之進出風口設計及發電系統之扇葉翼型設計

應用於波浪能擷取系統中的渦輪 一直不斷的在發展演變,從最開始的 常規渦輪至自整流式的渦輪機,其研 究及改良仍在進行中,一般常用的渦 輪種類可概略分成兩種,一為衝擊式 渦輪(Impulse turbine),另一類為反動式 渦輪(Reaction turbine),空氣渦輪的分 類如圖 3.1,其運作方式及特性如圖 3.2。衝擊式渦輪之作用原理為流體撞 擊渦輪葉片造成推動的力量,推動葉 片造成渦輪旋轉,該渦輪具有較低的 啟動風速,但只能接受單一方向之氣 流;反動式渦輪的作用原理為流體通 過葉片時因葉片之幾何條件造成上方 氣流與下方氣流速度的差異而產生之 壓力差,推動葉片造成渦輪旋轉,該 渦輪需要較高的啟動風速,但可以接 受不同方向之氣流。



圖 3.1 空氣渦輪分類圖



圖 3.2 衝擊式與反動式渦輪比較(Emoscopes, wikipedia)

最先使用於震盪水柱式波浪發電 系統中的渦輪為一種具有整流閥的簡 易衝擊式渦輪,整流閥的用意旨在將 震盪水柱式波浪發電系統中的雙向氣 流整合成單向氣流,但也導致了氣流 動能的損失、設計趨於複雜化以及設 備維護的困難等問題,促使往後的震 盪水柱式波浪發電系統研究開始偏向 採用無需整流系統的渦輪。

因此,許多具自整流功能的渦輪 於 1970 年代開始出現,威爾斯渦輪 (Wells turbine)即為此時期的產物(圖 3.3),而由於它的應用方便以及成本等 考量,在 1976 年開始廣泛的使用於各 種型式的波浪能量擷取系統中。



圖 3.3 威爾斯渦輪(Wells turbine)立體構造示意圖(Shinya Okuhara, 2013)

威爾斯渦輪(Wells turbine)為一種 雙向式葉片設計(見圖 3.4),常見於水 力與風力發電的應用,因為其特殊的 葉片設計,當葉片受氣流力影響時, 大部分的氣流會往轉軸的斜面流動, 少部分的氣流則流向葉片外沿,葉片 上的合力以靠近轉軸的斜面較大,因 此無論風力由哪邊吹入,此種渦輪都 保持相同的旋轉方向,圖 3.5 為威爾斯 渦輪葉片受氣流時示意圖。



圖 3.4 威爾斯渦輪葉片剖面



圖 3.5 威爾斯渦輪葉片受氣流時情形



圖 3.6 酒田港發電裝置使用之威爾斯渦輪(NACA 0021)

3.2 威爾斯渦輪葉片翼型設計

3.2.1 NACA 0021 文獻數據

參考美國航空諮詢委員會 (NACA),還原編號NACA0021,整理 出揚升係數、阻抗係數、力矩在不同 雷諾數與攻角間之關係(圖3.8至圖 3.11),因NACA0021之對稱設計,在攻 角為0時葉片在y方向之合力為零,無 揚升力與力矩作用。但若攻角改變 時,會因葉片上下表面流體流速的改 變產生壓力差,與流體作用於葉片表 面,使得葉片產生揚升力與力矩作 用。葉片之阻抗係數則是因流體流動 方向之投影面積為主要變因,但在攻 角為正負5度時並無明顯的上升,可視 為定值。



圖 3.7 NACA 0021 翼型剖面



圖 3.8 不同雷諾數阻抗係數對應揚升係數





圖 3.10 不同雷諾數攻角對應力矩係數



圖 3.11 不同雷諾數下阻抗係數對應攻角

3.2.2 NACA0021 葉片數剖面值模擬

以ANSYS軟體模擬NACA0021與 NACA0021剖面在攻角0度、正負10 度、正負20度在相同流速下之流場情 況,之後會與NACA0024比較何種頁面 設計適合在本系統使用。以此模擬可看 出NACA0021剖面在各攻角下之流場 變化。可以看出在攻角為0度時流場為 上下對稱的狀態,這代表葉片是處於合 力為0的狀態,因此渦輪不會轉動。當 攻角出現時背風面的流速加快,根據伯 努力方程式速度較快的區域會產生較 小之壓力,因此葉片產生壓力差而推動 葉片使渦輪轉動。(如圖3.12~3.14)



圖 3.12 NACA 0021 攻角 0 度流場分析



圖 3.13 NACA 0021 攻角 10 度流場分析



圖 3.14 NACA 0021 攻角負 10 度流場分析

3.3 渦輪設計

根據文獻奇數葉片之渦輪設計與 增加葉片受風面積有助於提高渦輪之 轉速與發電效能,設計兩種葉片型 式,第一種為較典型之雙斜翼設計(圖 3.15a)、第二種為變形式雙斜翼(圖 3.15b),觀察何種渦輪幾何可提高渦輪 轉速。

雙斜翼為一種較為傳統的渦輪葉 片設計,單斜翼則是改良其部分設 計,包含較小的迎風面積、較長的尾 翼設計、葉片的最末端距離軸心較 遠,表示單斜翼具有較低的啟動風 速、較多的有效受風面積、對於軸心 可產生較大的力矩。

渦輪的轉動為一種動態平衡的表 現,偶數葉片具的受力較為對稱有比 奇數葉片安定的動態平衡,原因在於 受力較為對稱,這也代表偶數葉片所 造成的震動與噪音較奇數葉片來的 小,但也造成偶數葉片需要較大的啟 動風速與轉速較低的現象;奇數葉片 則相反,具有較低的啟動風速與較高 的轉速,但具有較大的震動與噪音。 雖奇數葉片渦輪具有上述之缺點,但 結構材料與設計可以削弱震動與噪音 帶來的衝擊,故選擇奇數葉片之渦輪 設計。

根據本計畫之水工模型上方氣流 孔大小(70 mm)設計威爾斯渦輪尺寸, 於 SketchUp 軟體建立渦輪模型,再以 3D 列印方式製作成品,成品圖如圖 3.16、圖 3.17。初步測試結果發現,單 斜翼之設計有助於提升轉速且具有減 小啟動風速之現象,但確實結果仍需 要往後之實驗來驗證。

45



圖 3.15a 單斜翼威爾斯渦輪葉片



圖 3.15b 雙斜翼威爾斯渦輪葉片



圖 3.16 3D 列印威爾斯渦輪實體模型單斜翼與雙斜翼



圖 3.17 3D 列印威爾斯渦輪葉片實體模型 Ⅱ

3.4 出風口與氣流導流設計

根據文獻設計製作導流管,目的 在於削弱氣流吸入與排出時之渦流 現象,以減少氣流之能量損失。根據 圖 3.18(a)為直壁式出風口設計,當其 管壁厚度(t)與出風口直徑(D)的比值 大於 0.05 時可得最小壓損係數 (K)0.5。圖 3.18(b)為斜壁式出風口設 計,當斜壁與外壁夾角為 60 度時管 壁厚度(t)與出風口直徑(D)的比值為 0.25 時可得最小壓損係數(K)0.1。圖 3.18(c)為曲面式出風口設計,當曲壁 之曲率半徑(r)與出風口直徑(D)的比 值大為 0.1 時可得最小壓損係數 (K)0.06。因 3D 列印機可以克服出風 口管壁加工難度與成本,故以圖 3.18(c)為設計參考,設計出風口與導 流盤之管壁曲率。本計畫之波能轉換 系統因實驗縮尺的原故,出風口直徑 為 7 公分,最佳管壁曲率則應大於 0.7 公分可得最小壓損係數 0.06。以 SketchUp 繪製導流盤(圖 3.19)、馬達 安裝基座(圖 3.20)、導流管(圖 3.21)。





圖 3.19 導流盤與其曲率剖面



圖 3.20 馬達基座



圖 3.21 馬達上基座與導流管及曲率其剖面

四、試驗結果分析

4.1 氟流速度結果比較

經過15 組波浪條件測試,各個模型 所表現的氣流速度試驗結果如下表 4-1,可看出各模型都在週期1.2 sec 時 有較佳的氣流速度表現,並於週期 1.8 sec 左右時有最低值出現,後又有上升 趨勢。

氣流速度		波高 H(cm)						
(m/s)		4	6	8	10	12		
	1	5.52	7.17	8.23	8.81	9.38		
	1.2	6.19	8.11	9.88	12.53	12.85		
週期	1.4	5.42	7.18	8.6	9.96	11.32		
T(sec)	1.6	5.9	8.1	9.57	10.41	11.49		
	1.8	4.01	5.53	6.89	8	8.76		
	2	6.64	8.24	8.35	10.18	14.85		

表 4-1 模型於不同波浪條件下之氣流速度結果

4.2 能量擷取率結果比較

同樣經過15 組波浪條件測試,各個 模型所表現的能量擷取率試驗比較結果

如下表 4-3,可看出能量擷取率同樣於 週期 1.2 sec 時有較佳的表現,週期 1.8 sec 時有最低值出現。

能量擷取率		波高 H(cm)						
氣流速度能/入射波能		4	6	8	10	12		
週期 T(sec)	1	0.17	0.17	0.14	0.11	0.09		
	1.2	0.21	0.21	0.21	0.28	0.21		
	1.4	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13		
	1.6	0.16	0.18	0.17	0.14	0.13		
	1.8	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05		
	2	0.21	0.17	0.10	0.12	0.26		

表 4-2 模型於不同波浪條件下之能量擷取率

4.3 有負載渦輪轉速比較

在有負載情況下不管是高週期或低 週期,渦輪均能啟動旋轉。而在較大波 高情形下,在同樣週期時,其旋轉速率 亦較高。

轉速(rpm)		波高 H[cm]					
		4	6	8	10	12	
週期 T[sec]	1.2	2851.0	5227.1	7542.9	7584.3	8202.4	
	1.6	3106.9	5680.7	6886.9	7823.1	8527.9	
	2	3935	7059	7353	7496	8124	

表 4-3 不同波浪條件下產生之單斜渦輪轉速(負載馬達)

五、結論

本計畫之目標為結合港灣構造物, 發展綠能與產業共生之機制,同時延長 港灣結構物之使用年限。其方法為藉由 瞭解海洋波浪與海洋結構互制作用之機 制,建立起港灣結構與海洋波浪間之友 着關係,將海洋能特別是由波浪作用於 港灣結構造成結構振動的能源,途能源之 加以利可包括轉換成有用的能源,該能源之 利用可包括轉換成電力或將波浪能轉化 規劃中亦具體揭櫫;進行以波浪能撷取 為主之綠能系統研究,並以結合於港灣 構造物波浪能撷取之系統之研究為主。

一、波浪能擷取系統與港灣構造物結合

在法規面之探討

臺灣現有港灣設計實務上,並無具約 束力之具體規範,僅有由交通部所頒佈之 參考規範。工程實務上,各顧問公司或設 計單位在進行港灣碼頭設計時,所參考之 規範包括了臺灣、日本或者歐美各國之相 關規範,其中又以日本的規範為大宗。臺 灣的參考規範也因地緣及同為海島地形, 基本上參照日本的規範彙編而成。在參考 時主要以與設置波能轉換系統相關之結構 型式為主,本研究中應用到之港灣構造為 外廓防波堤,尤其為沉箱型式之防波堤構 造。

本研究中蒐集了以上所述之臺灣現行 規範,並針對有影響的部分進行分析及檢 討,發現港灣設計規範與波能擷取系統之 設計雖有差異,但整體相合性並無太大問 題。經結構安全分析以及水工試驗之結果 發現,波能轉換系統納入港灣構造物後, 對於港灣構造物並不會造成安全上之顧 處。但港灣設計時因考慮安全因素使用之 設計波浪週期通常較長,而波能轉換系統 為求轉換之效能,則以日常波浪做為設計 基準,兩種型式的結構之間若以防坡堤之 安全考慮為主時,則須增加波能轉換結構 之安全係數。

二、波能轉換系統結合港灣構造對安全性 之影響

港灣結構無論為防波堤結構或碼頭結 構,本具有其設置之功能,若增加了附設 之波能轉換系統,是否將增加原結構之負 擔如受力增加、或結構功能減損等?如果 發生以上對原結構之安全產生疑慮或影響 其原來使用之功能性時,該附屬設施或構 造之設計則有問題。本階段的研究中,在 波能擷取系統對於原結構物在安全的促進 上,進行了港灣結構結合波能轉換構造後 之結構安全分析。其分析過程則依照目前 港灣構造物中,其在規劃設計時所使用之 相關規範及設計準則進行。

根據分析結果顯示經過詳細之規劃及 設計後,設置於防波堤上之波能轉換結構 及設備,不至於對原結構造成影響。兩種 型式的結構之間考慮設計條件之相容性 後,於符合港灣設計規範的條件下,波能 擷取系統及轉換結構不僅不至於妨害原結 構之安全及其使用功能,波能擷取系統對 於原結構物在安全的促進上,具有更正面 的幫助,而對於原結構功能性的改善上亦 具有正面之助益。

三、效能改進之實體模型試驗成果

在前階段的研究中,所建立之波浪能 擷取系統為固定氣室使湧進波浪,氣室內 波浪進入時之前後搖擺及上下起伏則造成 空氣之震盪,再利用此震盪之氣流,經過 整流及引導以推動氣旋式渦輪系統來發 電。此波浪能擷取系統初步規劃附設於港 口外廓防波堤之外側,但在波浪引導或集 中方式上並未做任何之設計。一般為了加 強或集中波浪能量,在波浪入口處均有相 關之設計。本階段研究中,則在進氣口及 氟流導引功能上作進一步的改善,另外在 渦輪系統如葉片數量及渦輪型式上亦作了 相關改善措施。

在氣流改善上,發現氣流經過導流設 計後,確實能增進其氣流速度,經過波能 轉換為氣流能量之換算後,波能擷取率亦 有提高之效果。而在葉片型式及翼型改善 上亦有具體成果,在試驗中發現經過改善 後之葉片,在較低氣流速度下亦能旋轉, 尤其在有負載的情況下。而在較高波高的 波浪作用下,其旋轉之穩定性亦較大。

- 參考文獻
- dhurshah, R. and Samad, A., 2012, Bi-directional flow turbines for wave energy extraction, Proc. National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power (FMFP2012), Dec 13-15, Gujarat, India.
- Gorban, Alexander N. Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow. Journal of Energy Resources Technology. 2001,December, 123: 311–317.
- 3. http://airfoiltools.com/airfoil/details? airfoil=naca0021-il

- 4. http://m-selig.ae.illinois.edu/
- 5. Oscillating Water Column Wave Energy Converter Evaluation Report.
- Paolo Boccotti, Comparison between a U-OWC and a conventional OWC, Ocean Engineering, Vol. 34, 2005, pp 799–805.
- 7. REN21 · Renewables 2011: Global Status Report.
- 8. S Takahashi, H Nakada, H Ohneda,
 [¬] Wave Power Conversion by a Prototype Wave Power Extracting Caisson in Sakata Port _→, 23rd.

- Shinya Okuhara, Manabu Takao, Akiyasu Takami, Toshiaki Setoguchi, Wells Turbine for Wave Energy Conversion, Open Journal of Fluid Dynamics, 2013, 3, 36-41.
- Karthikeyan, Abdus Samad, Rameez Badhurshah, Review of air turbines for wave energy conversion, 2013 International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy.
- 藍振洋,波浪發電原理與系統開發, 工業技術研究院。
- 12.李順晴、吳俊樺、鄭先良,鐵板燒機 臺排風管路排氣過程模擬,中國機械 工程學會第二十四屆全國學術研討 會論文集,2007,CSME-358-363。
- 13.林繼謙,岸基震盪水柱式波浪發電系統之設計,國立成功大學系統及船舶機電工程學系碩士論文,2008。
- 14.林啓聖、鐘智印、郭玉樹,振盪水柱 波浪發電防波堤受力及氣流反應,第
 34 屆海洋工程研討會論文集,2012,
 P.797-802。
- 15.林志遠、戴明杉、林坦霆、王永正、 張達元,「小型威爾斯渦輪葉片設計 改良與製造驗證」,全國精密製造研 討會論文集,2012。
- 16.謝榮華,波浪作用下垂直與水平柱體 受力行為及減力設施之實驗研究,國 立中山大學海洋環境及工程學系碩 士論文,2001。
- 17.交通部運輸研究所,高雄港觀測波浪 資料專刊(2001~2008年)(下冊),
 2009。
- 18.交通部運輸研究所,高雄港觀測波浪

資料專刊(2001~2008 年)(上冊), 2009。

- 19.交通部運輸研究所,臺中港觀測波浪
 資料專刊(1994~2008 年)(上冊),
 2009。
- 20.交通部運輸研究所,臺灣港灣構造物 動態資訊管理系統建置之研究 (4/4),2013。
- 21.交通部運輸研究所,花蓮港觀測波浪 資料專刊(1990~2008年)(上冊), 2009。
- 22.交通部運輸研究所,花蓮港觀測波浪
 資料專刊(下冊)(1990~2008 年),
 2009。
- 23.交通部運輸研究所,基隆港觀測波浪
 資料專刊(1999~2008 年)(下冊),
 2009。
- 24.交通部運輸研究所,基隆港觀測波浪 資料專刊(1999~2008年)(上冊), 2009。
- 25.交通技術標準規範港灣類工程設計 部,港灣構造物設計基準,防波堤設 計基準及說明,2006。
- 26.英華威風力發電集團 Infravest,臺灣 風力發電發展現況。