

岬灣的 驗證規劃及創造

■ 許榮中

以靜態平衡岬灣的觀念配合軟體，
可在螢幕上驗證天然及人工灣岸的安定性，
預測大型海岸結構的建造與延伸對下游海灘的影響，
規劃靜態平衡灣岸以保護海岸或提供遊憩親水設施。

與海岸相關主要名詞

世界上臨海諸國的經濟活動，不論是開發海埔新生地、建造各類商漁港或設置濱海工業區等，都與海洋或海岸環境有很密切的關係。若是地處颱風盛行地區，因常易遭暴潮巨浪侵襲，除了必須為防災減災而建造各種海岸防護工程外，也須兼顧生態保育及景觀遊憩的要求。然而一般社會大眾對海岸相關名詞的認知，往往與海岸專業者不同，因此有必要先予以澄清。

依據國內外海岸工程專書及手冊指出，與海岸相關的主要名詞定義如下：

海岸地帶一是指發生海灘變遷的主要地帶，包含一般人所稱的「海岸」、「海灘」及「內灘」。

海岸一由後灘灘台的陸側到不受平常潮波影響的沙丘及高台地。

海灘／海濱一由後灘灘台的陸側到低潮灘線（即「前灘」的海側）。

內灘／近岸一由低潮灘線延伸到「碎波帶」外緣。

外灘一由碎波帶外緣往深水方向延伸的海域。

灘面一在高潮線以上的前灘部分，是波浪碎波後海水溯升、溯降及滲透的斜坡地帶，通常呈陡坡的凹陷弧狀。

灘台一灘面陸側以上的後灘部分，由波浪堆積作用形成，是平常波浪不會到達且近似平坦的地帶，但在颱風暴潮巨浪侵襲時，可能會被侵蝕後退。侵蝕型海岸無灘台；細沙海灘因溯升小，幾無灘台；中砂（中值粒徑 0.25 ~ 0.50 公釐）與粗砂海灘，灘台較發達。

海岸線一灘台／後灘的陸側與砂丘或高台地的交界線。

海灘線／海濱線一海水與陸地的交界線，主要隨潮位的時間變化及海灘坡度而變，因此「低潮灘線」是低潮時海水能接觸到的海灘界線。

海灘是一重要的休憩及經濟活動區，也是吸收波浪能量，保護國土與居民生命財產的緩衝區。

碎波帶一由外海入射到近岸（內灘）區內的波浪，因動力不安定所形成的不規則破碎帶。波浪斜向入射碎波後，產生沿岸流與沿岸漂砂。

總而言之，在不同的水深、潮位、底質及海床地形起伏的情況下，波浪由深海斜向入射，經「外灘」傳遞到「內灘」，歷經淺化、折射與結構物的反射或繞射，以及與其他波動相互作用，直到在「碎波帶」碎波後產生沿岸流，波能大量消滅。然後海水在低潮線上的「前灘」及「灘面」上溯升、湖降及滲透，進一步以海灘沉積物（礫石、砂灘）消滅所剩餘的能量，現象非常錯綜複雜。

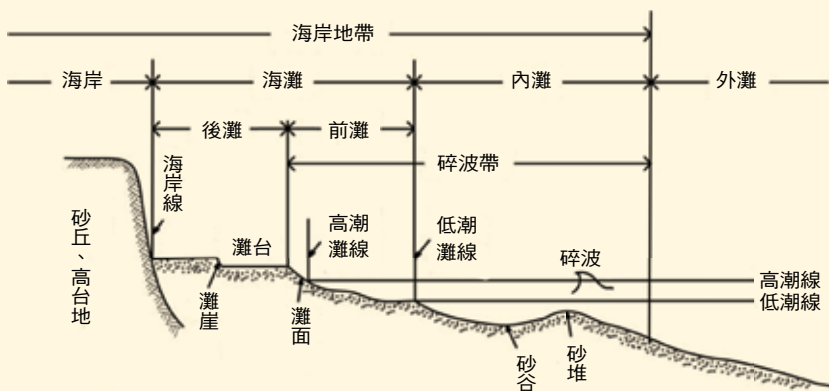
「海灘」是由砂或礫石等非固結性堆積物所覆蓋的海濱。由於海灘的砂粒、礫石容易被波浪帶動，於暴浪時會侵蝕後退乃至消失，小浪時又再回淤，更因受人工設施的影響而改變，是一重要的休憩及經濟活動區，也是吸收波浪能量，保護國土與居民生命財產的緩衝區。因此如何防止海灘侵蝕是海岸工程的重要課題。

岬灣地形的世界觀

世界各地的天然海岸是各種岩岬、丘陵地、土壤（塊石、卵礫石、砂、泥）、沼澤、砂丘或河口三角洲所組成的平直或凹凸的地形。若在碎波帶與外灘有長短適當的天然岩盤、離島或人工構造物（突堤、離岸堤、港埠防波堤等）的岬頭伸入海中，鄰近又有砂礫分布，在當地優勢波浪的長期作用下，在岬頭下游或兩岬之間可望形成「岬灣海灘」。這種岬頭與砂灘交替的地貌，雖然台灣少見，卻約占全世界海岸的50%。

對一個平衡安定的灣岸而言，若減少由其上游輸入的沿岸漂砂或灣內河川的輸砂，則在當地優勢波浪作用下，灘線會逐漸後退。當上述輸砂完全被攔截時，即「零輸砂」情況，灣線最終會向陸側退縮而達到「靜態平衡」。只有已達到靜態穩定的岬灣，在「零輸砂」情況下，其灘線才可保持不變。

但當颱風暴浪侵襲時，所有的海灘包括平直及靜態平衡岬灣，都不能免於在瞬



海岸相關名詞定義

藉由最少的人工設施，配合人工養灘，就可創造靜態平衡的灣岸，保護海岸並提供親水遊憩的空間。

間被波浪侵蝕，灘砂也被挖取，而在內灘或外灘海域形成「砂堆」。颱風過後，靜態平衡岬灣內大部分砂堆的砂粒都可能逐漸回復到灣岸內，這種海灘的侵蝕與恢復是大自然循環的過程，也是岬灣海岸自保的天然機制。

世界上有許多安定的天然岬灣，值得觀察、比較、模仿，尤其是它的平面形狀、岬頭布置及當地優勢波浪的入射方向等。藉由最少的人工設施，配合人工養灘，就可創造靜態平衡的灣岸，保護海岸並提供親水遊憩的空間。

海岸科學家 Krumbein 與 Yasso 曾以對數螺旋線的數學式，描述天然岬灣的灣線平面形狀，Moreno and Kraus 則以雙曲線切線

模式驗證任意灣岸的形狀。然而這兩種數學模式都有缺點，諸如未能區分岬灣的安定性、沒考慮入射波浪在岬頭的方向、不能預測大型岬頭延伸或移位對下游海岸的影響等。

目前唯有由 Hsu and Evans 推導的拋物線灣岸經驗式，因採用了上游岬頭與波浪繞射的工程意義，所以最具實用價值。加上配合巴西學者 Klein 等人於 2003 年所研發的電腦軟體（MEPBAY），就可在螢幕上直接驗證天然與人工灣岸的安定性，靜態平衡、動態平衡或侵淤並存的海線自然調整等 3 類，因而獲得國內外海岸工程界的普遍認同與採用。



在啟動 MEPBAY 程式後，下載巴西 Santa Catarina 省的 Taquarinas-Taquaras 海岸影像，選定上、下游控制點（H、E）及下游灘線的切線點（W）後，在螢幕上可見到既有灣線與預測的靜態平衡灣線吻合，因此可判定是「靜態平衡灣岸」。（圖片來源：Google Earth 影像）



美國加州的 Doran 砂洲海灘屬於動態平衡灣岸，因為既有灣線在以南導流堤堤頭為上游控制點（紫色點 H2）所預測的靜態平衡灣線（紫色點線 E2B2）的海側；若其上游沿岸漂砂或灣內河川輸砂全部消滅一即「零漂砂」情況，既有灣線可能後退到預測的靜態平衡灣線（白色點線 E1B1）；最佳改善策略是延伸北導流堤到 H3 點，使既有砂洲灣線轉型為自然的靜態灣線（黃色點線 E3B3）。（圖片來源：Google Earth 影像）

靜態岬灣的應用

Google Earth是近年來研究海岸不可或缺的工具，由它選取有代表性的灣岸影像，以MEPBAY軟體（<http://siaiacad17.univali.br/mepbay>）為平台，可：（1）驗證天然與人工灣岸的安定性—靜態或動態平衡等3大類型；（2）預測大岬頭（新增或改變人工突堤、離岸堤或港埠防波堤長度等）的下游海灘在「零漂砂」情況的靜態平衡灣線；（3）規劃靜態平衡灣岸，配合人工養灘及適當的海岸緩衝帶，以保護海岸或提供遊憩親水設施。

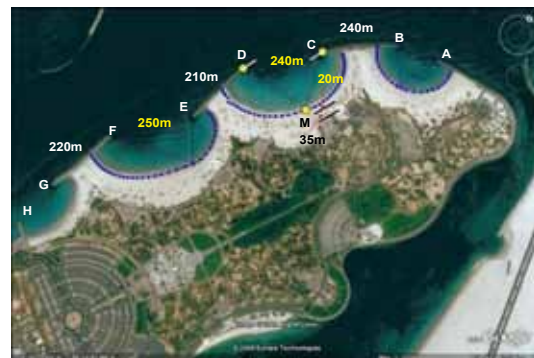
驗證既有灣岸的安定性 在啟動MEPBAY程式後，下載巴西Santa Catarina省的Taquarinhas-Taquaras海岸影像，選定上、下游控制點及下游灘線的切線點後，在螢幕上可見到既有灣線與預測的靜態平衡灣線吻合，因此可判定是「靜態平衡灣岸」。

再者，美國加州的Doran砂洲海灘是一個「動態平衡灣岸」，因為既有灣線在以南導流堤堤頭為上游控制點所預測的靜態平衡灣線的海側；若其上游沿岸漂砂或灣內河川輸砂全部消滅—即「零漂砂」情況，既有灣線可能後退到預測的靜態平衡灣線；最佳改善策略是延伸北導流堤，使既有砂洲灣線轉型為自然的靜態平衡灣線。

澳洲昆士蘭省外海 Great Keppel 島的西北部有河口砂洲及自然岬灣，也都屬於「靜態平衡灣岸」。阿拉伯聯合大公國的Dubai 境內的 Mamzar Beach Park，則是一處成功的人工遊憩灣岸，也屬於「靜態平衡灣岸」。



澳洲 Great Keppel 島上河口砂洲及天然岬灣屬於靜態平衡灣岸（圖片來源：Google Earth 影像）



Dubai 的 Mamzar Beach Park 是一處靜態平衡的人工灣岸（圖片來源：Google Earth 影像）



花蓮港東防波堤延伸導致化仁與南濱海岸侵蝕及北濱淤積，若東防波堤由A點退到B點（減少250公尺），則預測的新靜態平衡灣線（EB'）趨近既有灘線，海岸侵蝕幅度可望大幅減輕。（圖片來源：Google Earth 影像）



西班牙 Pedregalejo 海岸的人工岬灣是成功轉型的觀光景點（圖片來源：Google Earth 影像）

預測大岬頭下游海灘的靜態平衡灣線

商漁港主防波堤或河口導流堤的長短與方向，會影響下游海岸的變遷；若堤身太長，必導致下游侵蝕、遮蔽區的淤積，甚至航道淤塞。以花蓮港為例，其東防波堤在 1988 年延伸 1,800 公尺後，導致南側的化仁與南濱海岸遭受侵蝕，北濱淤積，阻塞了美崙溪的排水；結果相關單位以建造 16 座離岸潛堤來因應。若東防波堤減少 250 公尺，則預測的新靜態平衡灣線趨近既有灘線，海岸侵蝕幅度可望大幅減輕。

再以日本千葉縣東京灣區的檢見川（Kemigawa）海岸為例，若能配合適量的人工養灘，預期可達到的靜態平衡灣岸，也可由 MEPBAY 估繪。

規劃靜態平衡灣岸 多年來我國與許多國家的海岸防護工法，大都以建造剛體結構為主，缺少海岸地貌的宏觀及創造永續海岸環境的積極思維，這作為遠不如日本的海岸社區示範及義大利與西班牙在地中海區的人工遊憩灣岸。



新加坡 Sentosa 島上的人工岬灣群（圖片來源：Google Earth 影像）



日本千葉縣檢見川海岸的預期人工養灘結果（圖片來源：Google Earth 影像）



台南安平在商漁港防波堤之間創造人工岬灣
（圖片來源：Google Earth 影像）

高雄西子灣海岸復育完成的人工岬灣（圖片來源：
Google Earth 影像）

其實在工程實務上，可先通盤考量相關海岸的安定性，運用「靜態平衡灣岸」的觀念，針對被侵蝕的平直海岸或灣岸，以 MEPBAY 或西班牙的全國通用軟體 SMC 在適當的位置布設人工岬頭（改良式的突堤與離岸堤等），再配合人工養灘與適度的海岸緩衝帶，創造安全、自保、美觀及親水的近自然灣岸，以提供親水遊憩的空間，增加觀光資源，並促進社會繁榮。

西班牙西南部的 Pedregalejo 海岸，位於 Malaga 東方 5 公里處。在 1980 年代之前，它原是一處荒僻的小漁村，但政府運用離岸堤與複合型突堤規劃人工岬灣，配合養灘，成功轉型為一個觀光景點，是一個常被引用的案例。另新加坡的聖淘沙是一個著名的觀光島，其西南側海岸則是滿布人工岬灣；它東南方的 Seringat 島也在 2001 至 2008 年間以整併兩個小島及填海造陸方式，建造了一個靜態平衡岬灣。

自 2004 年來，我國的海岸工程顧問公司已應用靜態岬灣的概念規劃了多處岬灣，包括：（1）花蓮南北濱；（2）新北市白沙灣；（3）台南安平，以港埠擴建及航道濬深的土方，在商漁港防波堤之間配合兩座約 300 公尺的馬刺型突堤完成岬灣；（4）高雄西子灣，以兩座 160 公尺的馬刺型突堤岬頭配合近海抽砂養灘，建造人工岬灣、復育海灘；（5）屏東大鵬灣，以馬刺型突堤、魚尾型突堤及離岸堤配合人工養灘，預期在近年內打造 3 個岬灣等。

對人工灣岸有興趣的讀者，可由 Google Earth 查察世界上各式的灣岸影像，在綜合比較結構物與岬灣的類型後，應能有更深入的了解。

許榮中

中山大學海洋環境及工程學系

深度閱讀資料

Hsu, J.R.C., M.J. Yu, F.C. Lee and L. Benedet (2010) Static bay beach concept for scientists and engineers: a review. In: Hydrodynamics and Applications of Headland-Bay Beaches, Special Issue, J.R.C. Hsu and A.H.F. Klein Eds., *Coastal Engineering*, **57** (2), 76-91.