

詭譎多變的 近岸水流

■ 戴義欽

離岸流的流速可在很短的時間內增加到每秒 2 米以上，比奧運游泳選手還快，一旦陷入其中，會迅速被帶離海灘區，甚至到外海，讓人措手不及而造成意外。

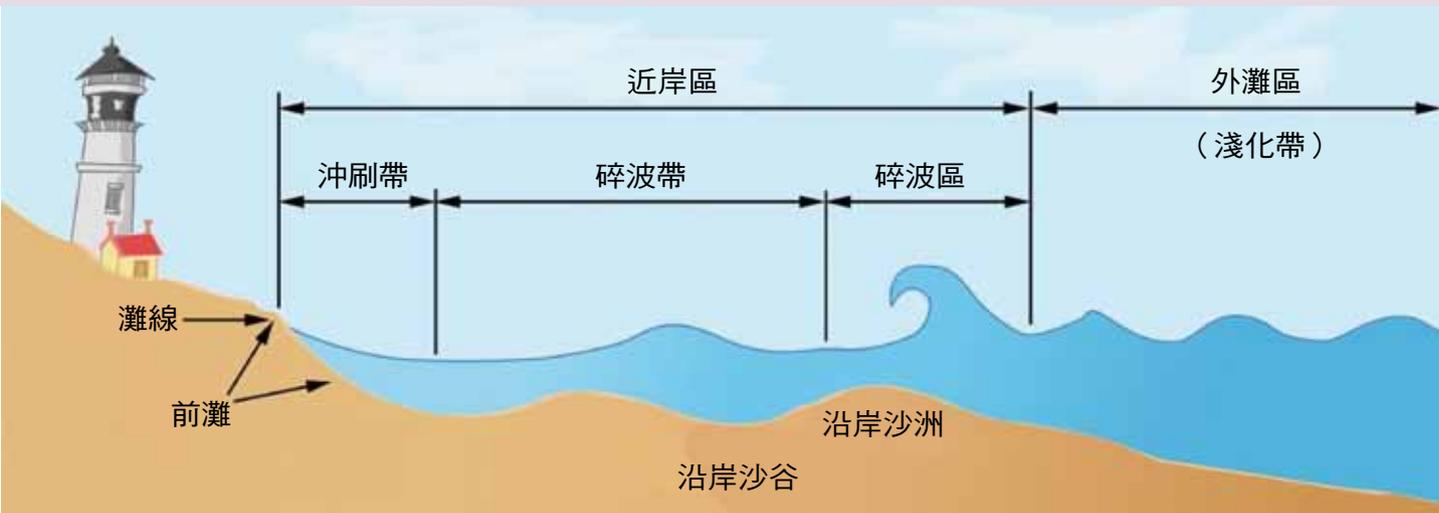
因各式洋流、潮汐及風力的作用，導致海水有質量及能量的傳輸，水面會隨時間變化而產生波浪，並向海岸區傳遞。沿岸區因海水較淺，波浪由外海行進到淺水區域時受到地形及海底摩擦力的影響，無法維持原來的形狀而破碎，並沿海灘斜坡面上溯，直到能量消耗殆盡後始退回海中。在上溯及退回的過程中，水流與地形以及波浪間的交互作用產生了近岸水流系統。

波浪的折射、淺化與破碎

波浪由外海向陸地行進時，傳遞速率因水深變化而改變，在較淺處傳遞速率較小，但頻率不會因而不同，因此波長會變短且改變行進的方向，也就是發生折射現象。波浪的折射與光線由空氣進入水或玻璃的情形相若，因為光線在水中的行進速度較在空氣中慢，因此行進方向會往射入面的法線方向偏折（入射角 $>$ 折射角）。

這一特性產生了一個有趣的現象，就是當海浪接近沙灘時，因折射作用波峰線往往趨向平行海岸線。因此，若仔細觀察沿岸附近的波浪由外海傳遞至陸地時，行進方向會偏折，使波峰線逐漸趨近與海底地形等深線平行。我們可由波峰線的轉折變化來推估水下的地形。

此外，因為波的傳遞實際上是一種能量的傳遞，在穩態下應遵守能量通率守恆，即各位置的能通率應該相等，當波速減緩時，損失的動能會轉變為位能。因此，當波浪由外海前進至淺水區時，波長會變短而波幅增高，這稱為波浪的淺化作用。例如海嘯在外海波高往往只有幾公分，但是一旦進入沿岸地區則可增長至數十公尺高，就是淺化作用的結果。若波高相對於波長或水深達到一極限時，波浪因無法維持形狀而碎波，釋放出的能量則驅使水體沿坡面湧上海灘。



陸地與海面的交界稱為灘線。海灘可分為近岸區與外灘區。近岸區又分為沖刷帶、碎波帶（或稱激浪帶）及碎波區。在碎波帶的外緣水下可能有沙洲（或稱沿岸沙洲），在沖刷帶與沙洲間則有沙谷（或稱沿岸沙谷）。在碎波區以外到大陸階的外緣則稱為外灘區。

海灘地形

濱海地區地形的形成除了當地的地質條件以外，也深受波浪作用的影響。而波浪的特性也會因風向、海床地形及水深而改變，彼此相互影響。台灣西岸的海岸地形普遍是沙岸型式，若稱陸地與海面的交界線為灘線，則以碎波區外緣為界，海灘主要可區分為近岸區與外灘區。

近岸區又區分為沖刷帶、碎波帶（或稱激浪帶）及碎波區（或碎波點）。在碎波帶的外緣水下可能有沙洲（或稱沿岸沙洲、沿岸汀洲），在低潮時，這些沙洲可能露出水面，在沖刷帶與沙洲間則存在著沙谷（或稱沿岸沙谷）。在碎波區以外到大陸階（continental shelf）的外緣是外灘區的範圍，這區域是波浪自外海向陸地行進時開始受到海底地形影響的區域，因此也稱為淺化帶。

當外海波浪抵達外灘範圍時，開始受到海底地形的影響，海底的沙粒沉積物會被帶離海床，配合波峰與波谷變化的牽引，

以逐步跳躍的方式向碎波帶傳輸。在波浪破碎後，碎波帶內底床的沙粒會隨著一波波碎浪湧上海灘，也會隨著坡面回流再退回海中。若回流時部分水體滲入沙中，再從沙粒隙縫滲流回海中，原先隨碎浪上溯的沙粒就很容易沉留在灘面上。

但如果灘面沙粒隙縫含水飽和，大部分的上溯水體會沿坡面回流退回海中。這時回流水體下層會因上溯時的沙粒沉降，造成比重增大產生較大的侵蝕力，而攜回更多灘面上的沙粒。因此，當波浪作用強烈時，也就是在大風浪狀況下，海灘會呈現被沖蝕的狀態；而當波浪和緩時，海灘則呈現堆積成長的狀態。

在不同的波浪條件下，海灘會呈現各式的風貌。波浪作用強烈時，由灘面侵蝕下來的沙粒會往外灘方向移動，並堆積在碎波帶的外緣，與外海傳輸來的沙粒沉積物形成沿岸沙洲。在碎波帶外緣形成的沿岸沙洲也有助於入射波浪的破碎，使撲向灘頭的水體能量減小，能夠減緩海灘的侵蝕，是一種大自然的護灘機制。

沿岸流不僅會影響碎波的位置，且與海岸漂沙的傳輸有密切的關係，是影響海岸線變化的重要因素。

長期在同一波浪條件作用下的海灘會呈現出3種平衡的海灘斷面：正常型海灘、暴風型海灘、中間型海灘。前者是指在波浪作用和緩的情形下，沙粒會由沙洲處被推移至前灘位置堆積；第二型海灘是指波浪的作用強烈，海灘的前灘部分被嚴重侵蝕，沖刷下來的砂粒則多半堆積在沿岸沙洲處；第三型海灘則介於正常型與暴風型之間。

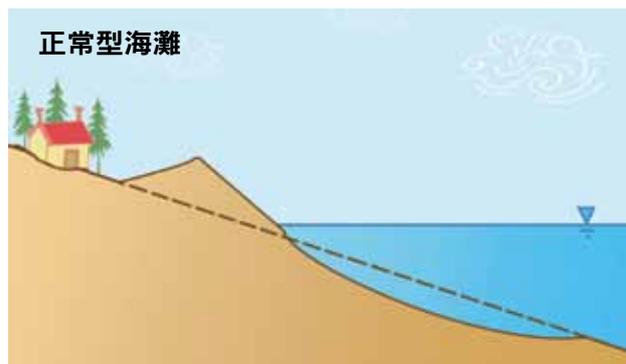
近岸水流系統

上述平衡的海灘斷面僅局部存在，實際的海域是三維不規則的地形，且經常隨著波浪條件的改變而變化。波浪由外海向陸地行進至碎波區破碎，其後剩餘的能量則轉換為位能造成水位的變化，促使水體流動並與入射波浪交互作用形成近岸水流系統。

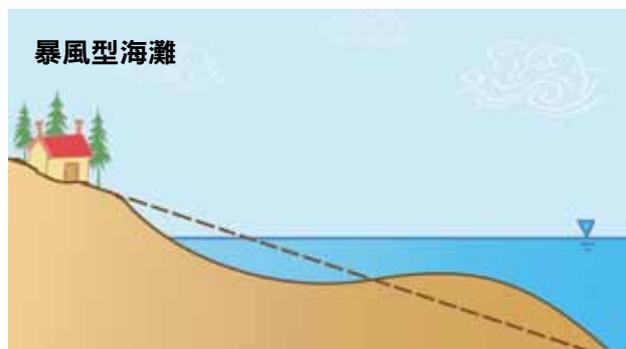
近岸流的流動方向與碎波區底床地形及波浪行進入射的角度都有密切的關係，依流動方向可區分為沿岸流、向岸流及離岸流（裂流）。流動方向與海岸線平行的水流稱為沿岸流，與海岸線垂直流向海岸線的稱為向岸流，垂直流向外海的則稱為離岸流或裂流。

沿岸流不僅會影響碎波的位置，且與海岸漂沙的傳輸有密切的關係，是影響海岸線變化的重要因素。離岸流則把碎波帶內的漂流物（包含泳客）帶向外海，是造成海濱溺水的主要原因，可說是海濱戲水泳客的隱形殺手。

沿岸流經常發生於波浪斜向入射海岸線時，斜向入射的波浪會沿著海岸線漸進破



正常型海灘，沙粒會由沙洲處被推移至前灘位置堆積。



暴風型海灘，海灘的前灘部分被嚴重侵蝕，並多半堆積在沿岸沙洲處。



中間型海灘，介於正常型海灘與暴風型海灘之間。

離岸流並不會把人牽引至水底， 但是強勁的水流會把戲水的泳客帶向外海，是造成溺水意外的主因。

碎波並驅動沿岸流。沿岸流的流速與波浪強度成正比，並與入射角有關，在相同強度的波浪條件下，入射角與海岸線呈 45° 的波浪可驅動最強的沿岸流。

沿岸流的範圍涵蓋整個碎波帶的範圍，其流速由沖刷帶往外逐漸增強，在碎波帶中心部分達到最大值，然後逐漸減弱於外灘外。沿岸流往往伴隨著離岸流構成近岸流循環系統，當沿岸流遭遇障礙物時，水流會被導引改變行進方向，促使離岸流發生或增加離岸流的強度。

海濱戲水的殺手

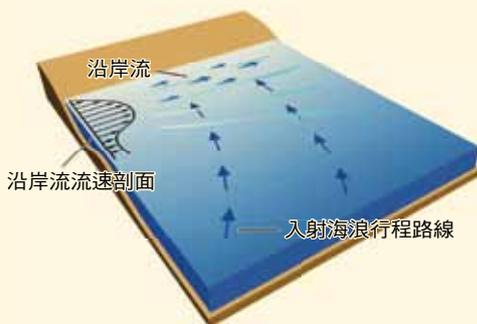
波浪在碎波區破碎後，帶著釋放出來的能量湧上海灘，直到能量耗盡後再退回海中。在上湧的過程中，有兩種較特殊的水流：回流與離岸流。當水體湧上海灘時，上層海水持續上溯運動而下層海水迅速向外海流動，這下層向外海流動的水流稱為

回流。當站在沙灘體會海水上湧時，可感受到腳底的沙被掏空而站立不穩，便是由於回流淘沙的作用。

另外，碎波帶的海水湧向海岸，水體被推擠而轉向沿著海岸線流動，直到出現缺口再流回海中，這局部流向外海的水流稱為離岸流。又因這離岸水流發生在波浪行進方向的缺口處，所以也稱為裂流。因此，當波浪在碎波區的碎波強度強弱不一時，便容易產生離岸流。值得一提的是，離岸流並不會把人牽引至水底，但是強勁的水流會把戲水的泳客帶向外海，是造成溺水意外的主因。

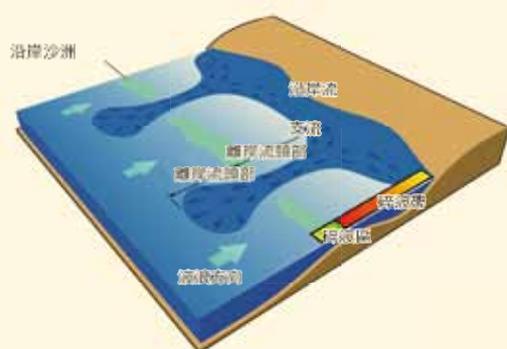
許多海灘都可以觀察到離岸流，一般而言，其流速大約是每秒 $0.2 \sim 0.5$ 米。但是在特定的水下地形與海灘的形狀，再搭配合適的潮汐與波浪條件，離岸流的流速可能在很短的時間內增加到每秒 2 米以上，比奧運游泳選手還快，游客一旦陷入其中，會迅速被帶離海灘區甚至到外海，讓人措

沿岸流示意圖



斜向入射的波浪會沿著海岸線漸漸破碎並驅動沿岸流，沿岸流的流速由沖刷帶往外逐漸增強，在碎波帶中心部分達到最大值，然後逐漸減弱於外灘外。

離岸流結構示意圖



波浪破碎後海水帶著能量湧向海岸，水體相互推擠而轉向沿著海岸線流動，直到出現缺口再流回海中形成離岸流，離岸流包含支流、頸部與頭部 3 個部分。



在向岩岸地形傳遞的波浪群中出現缺口處發生離岸流

手不及而造成意外。離岸流在水體質量傳輸量大且集中的地方，最容易發生，須特別留意。

因為離岸流是水體被推擠返回海中的水流，所以常發生在沿岸沙洲低凹處、錐狀海灘或月彎形海岸，以及突堤、防波堤附近，其水流寬度由數米至二十餘米不等。離岸流中的強力水流可能只維持到碎波區外緣，也可能延伸至碎波區以外上百米處，不可輕忽其潛在的危險。

有幾種方式可協助判別離岸流的所在：帶狀往外灘延伸、攪動泡沫的水流；海水顏色明顯與其他地方不同的區域；泡沫、海藻或水沙混合濁流向外海延伸的帶狀區域；向海岸傳遞的波浪群中出現缺口且看似平靜的地方，這也是最容易造成意外的地方，因為這缺口處未必伴隨攪動泡沫。

此外，配戴偏振光型的太陽眼鏡可減緩水面反光的干擾，比較容易判斷上述離岸流存在的特徵。



堤岸外的離岸流



堤岸旁的離岸流



海灣內的離岸流

如何避免離岸流意外

國內新聞媒體對於海濱溺水事件的描述，多歸咎於瘋狗浪、水位落差或暗流等，對於離岸流著墨較少。但依據美國國家氣象局統計，超過 80% 在海灘地區的溺水事件都是因戲水泳客陷入離岸流所造成的。因此，除了避免陷入離岸流外，如何在遭遇離岸流時自救以及助人，是不可或缺的常識。以下提供一些要領：

— 不要單獨在海濱游泳，盡可能選擇有救生員的海濱。

— 下水前先觀察，避開可能發生離岸流的區域，尤其在退潮時段水流較強勁的地方。

— 一旦被牽引入離岸流中，記得保持

冷靜並維持體力；先平行於海岸線游泳以求脫離離岸流，若可感受到風向，最好選擇順著風向游；一旦脫離離岸水流，往往可順著向岸水流回到岸邊。

— 若無法脫離離岸流，請保持冷靜，維持漂浮並面向海岸舞動雙手求救。

— 若發現或懷疑有人陷入離岸流，可嘗試拋給能協助漂浮的物品（如救生圈、浮板等），並呼喊告知上述脫離離岸流的方式；同時報警協助，千萬不可貿然下水試圖營救，以免自己也陷入離岸流中。

戴義欽

成功大學水利及海洋工程學系

深度閱讀資料

美國國家海洋暨大氣總署有關離岸流的介紹

<http://www.ripcurrents.noaa.gov/overview.shtml>

有關離岸流的影片

http://www.youtube.com/watch?v=wH_yg4hqW8 及

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=M9OMIKsTuqY