

人工礁設計

人工礁(artificial reef)是模擬天然珊瑚礁擁有消減波效果的結構物，廣意包含潛堤。人工礁與潛堤不同處是，潛堤因堤頂寬狹堤面上水深較淺，利用波反射及強制碎波得到消減波效果，人工礁堤面水深較深，堤頂寬較寬，形同淺灘，致使波浪碎波得到消減波效果。

人工礁制衡漂砂機制與直接阻擋漂砂的突堤有異，是利用波高、波向等波浪因素引起的流，間接制衡漂砂。由於堤身沒於水下，就景觀而言是個良好工法，但其制衡漂砂效果比離岸堤低，要達到相同效果時，工程費會大幅提高。



摘自 <http://www.marunishigumi.co.jp/file/case/00590-1.jpg>

1. 設計基本原則

設計人工礁時必要考量自然條件、海濱利用狀況及安全性等，決定斷面形狀及平面配置。

2. 設計條件及作用外力

設計時考量下列事項：

① 潮位及波浪

人工礁直接制衡波浪，其消滅波效果受堤面水深及堤寬支配，即受潮位及波浪條件決定。設計時潮位及波浪條件依下列原則：

- ① 對波浪及暴潮採用設計高潮位及設計波。
- ② 為發展海灘使用，靜穩波浪時，採用 HWL 及 1~2m 波浪。
- ③ 安定海岸時，採用 HWL 及年數次波。
- ④ 制衡沿岸漂砂時，採用 MWL 及平均波。
- ⑤ 檢討堤身材料時，採用設計波與潮位間呈最嚴峻的條件。

② 海底地形及底質

海底坡度不會影響消滅波效果，但是陡坡處堤身過大時，會影響安定、施工及經濟性，通常人工礁設計於緩坡度海岸。

③ 漂砂

底質為細砂緩坡度海岸或沿岸漂砂存在海岸，人工礁有堆砂效果，但是堤面上的強制碎波會使水位上昇，在開口部形成向外海的流，大浪時可能產生向外海漂砂或沖刷開口部等問題。

④ 海濱利用狀況

設計人工礁時，海濱利用條件是重要因素，所需消滅波效果由靜穩域的利用條件及海濱形狀決定，堤面水深必須考量娛樂用遊艇或漁船的航行，平面配置應考量海濱流、海岸形狀等，不可對海岸利用有負面影響。

⑤ 施工條件

人工礁施工應考量：

- ① 材料來源
人工礁大部份採用石材，要確保供應源。
- ② 作業率
由於全部施工均在海上或水中作業，受波高及潮流影響，必要作事先調查。

③ 施工順序

依堤面水深，作業船可能無法在人工礁上面施工，應考量潮位差等因素，設計可施工斷面。

3. 結構型式

人工礁結構形狀原則上呈梯形狀，型式大致分為下列 4 類：

- ① 以拋石層構成堤心，表面被覆更大石材。
- ② 以拋石層構成堤心，表面被覆異型消波塊。
- ③ 全部斷面由混凝土消波塊構成。
- ④ 拋石基礎上配置混凝土框架式結構物。

4. 基本斷面設計

① 堤頂寬、堤面上水深

基本斷面設計依背後利用及制衡目標，將人工礁背後波高、水位維持至需求值，即依波浪傳達率及平均水位上昇量決定，通常由水工模型實驗或數值模擬分析推估。

2011 埃及尼羅河之旅

② 坡面坡度

坡面坡度約為 1:3~1:5 間

③ 堤趾水深

應考量施工性及經濟性，通常在低潮位時水深約 10m 處。

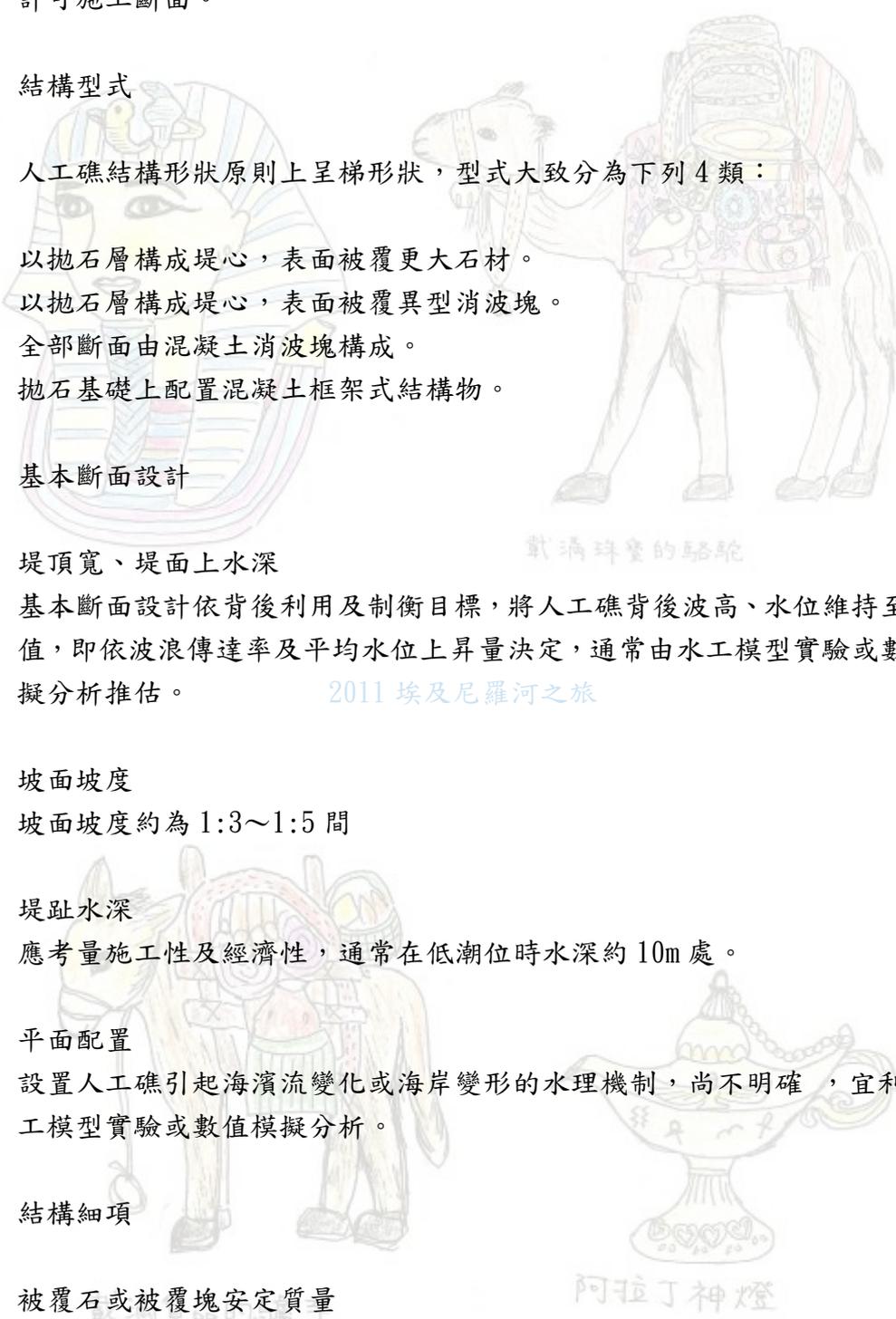
④ 平面配置

設置人工礁引起海濱流變化或海岸變形的水理機制，尚不明確，宜利用水工模型實驗或數值模擬分析。

5. 結構細項

1) 被覆石或被覆塊安定質量

依結構型式，必要估算被覆石、被覆塊或異形消波塊等的安定質量，安定性隨材料而異，可如下述依利用水工模型實驗得到估算式或估算圖加以推算。



(1) 拋石

宇多對拋石結構人工礁進行規模波水工模型實驗，得人工礁被覆材必要質量，可依下式估算。

$$M = K_t \frac{\rho_s (R + \bar{\eta})^2}{s^3 \cos^3 \phi}$$

M：堤體材料必要質量(t)

$$K_t : S_n^3 f_u^6 K_v$$

S_n ：安定係數(天然石=0.9)

$$f_u := U_{\max} / (gR)^{1/2}$$

K_v ：體積有關形狀係數(天然石=0.5)

$$s := (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$$

ρ_s ：拋石密度

ρ_w ：海水密度

ϕ ：人工礁坡面與水平呈角度 尼羅河之旅

$$R / H_o' > 7, \cos \phi = 1$$

R：人工礁面上靜水深

U_{\max} ：人工礁表面上向岸最大流速(m/s)

H_o' ：換算外海波高(m)

H：人工礁堤腳水深(m)

$\bar{\eta}$ ：人工礁水位上昇量(m)

$$\bar{\eta} = \begin{cases} 0.2H_o' - 0.1R, & R / H_o' < 2 \\ 0, & R / H_o' \geq 2 \end{cases}$$

f_u 是依下列式子求得的堤體表面最大流速無因次係數 阿拉丁神燈

① $0 < R / H_o' < 0.5$

i. $0 < H'_o / h < 0.3$

$$f_u = \left[7.5 \exp \left(-0.80 - 2.5 \frac{R}{H'_o} \right) + 0.20 \right] \left(2.5 \frac{H'_o}{h} \right)^{1.2}$$

ii. $0.3 < H'_o / h < 0.4$

$$f_u = 10 \left(0.058 + C_1 + C_2 \right) \left(\frac{H'_o}{h} - 0.30 \right) + C_3$$

$$C_1 = 7.5 \exp \left(-2.5 \frac{R}{H'_o} \right) \left(\exp \left(-0.80 - C_4 \right) - 0.32 \right)$$

$$C_2 = 7.5 \left[\exp \left(-1.2 - 2.5 \frac{R}{H'_o} \right) - \exp \left(-1.2 - 2.5 \frac{R}{H'_o} - C_1 \right) \right]$$

$$C_3 = 0.71 \left[7.5 \exp \left(-0.80 - 2.5 \frac{R}{H'_o} \right) + 2.0 \right]$$

$$C_4 = \frac{H'_o}{R} - 2.0$$

iii. $0.4 < H'_o / h < 0.6$

$$f_u = 7.5 \exp \left(-2.5 \frac{R}{H'_o} - 2.0 \frac{H'_o}{h} - C_4 \right) + 0.20 + C_2$$

iv. $0.6 \leq H'_o / h$

$$f_u = 7.5 \exp \left(-2.5 \frac{R}{H'_o} - 2.0 \frac{H'_o}{h} \right) + 0.20$$

② $0.5 \leq R / H'_o$

i. $0 < H'_o / h < 0.4$

$$f_u = 10 (0.058 + C_1 + C_2) \left(\frac{H'_o}{h} - 0.30 \right) + C_3$$

ii. $0.4 \leq H'_o / h$

$$f_u = 7.5 \exp \left(-2.5 \frac{R}{H'_o} - 2.0 \frac{H'_o}{h} - C_4 \right) + 0.20 + C_2$$

上述實驗式是在海底坡度為 1/30 的條件下求得，海底坡度差異極大時可能會不適用，尤其是陡坡度海岸，堤腳水深淺時，依上述實驗式會求得必要質量過小的結果。 $R/H'_o > 1.0$ ， $R < 0$ ， $H'_o/h > 1.5$ ， $R/H'_o < 0.1$ 且 $H'_o/h > 0.4$ 等條件非屬實驗對象，不在適用範圍。

本實驗式是以拋石等幾乎均勻材料構成數層厚的被覆工變形為對象，評估其安定性，因此不可直接適用於單層混凝土塊排列，必要利用水工模型實驗取得所需質量，若無法覓得適當方法時，可令 $S_n = 0.9$ 、 $K_v = 0.5$ 。人工礁頂部被覆材料的必要質量，可依下式減輕。

$$X/H'_o \leq 5, \quad M_c/M_{\max} \geq 1.0$$

$$5 \leq X/H'_o \leq 10, \quad M_c/M_{\max} \geq 0.4$$

$$10 \leq X/H'_o, \quad M_c/M_{\max} \geq 0.1$$

X : 人工礁外海端的向岸距離(m)

M_{\max} : 依(a) 式求得必要質量(t)

M_c : 人工礁外海端的向岸 X 距離處人工礁頂部被覆材料的必要質量(t)

竹田等利用不規則波實驗提案下列安定質量估算式。

$$M = \frac{\rho_r H_{1/3}^3}{K_D (\rho_r / \rho_w - 1)^3 \cos \alpha}$$

① $0.2 \leq h / L_{1/3}$

$$K_D = \left[-104 \left(h / L_{1/3} \right)^2 + 42 \left(h / L_{1/3} \right) - 1.1 \right] \exp \left\{ \left[50 \left(h / L_{1/3} \right)^2 - 13 \left(h / L_{1/3} \right) + 1.7 \right] \left(d / H_{1/3} \right) \right\}$$

② $0.1 < h / L_{1/3} \leq 0.2$

$$K_D = \left[-104 \left(h / L_{1/3} \right)^2 + 42 \left(h / L_{1/3} \right) - 1.4 \right] \exp \left\{ \left[50 \left(h / L_{1/3} \right)^2 - 13 \left(h / L_{1/3} \right) + 1.7 \right] \left(d / H_{1/3} \right) \right\}$$

③ $h / L_{1/3} \leq 0.1$

$$K_D = \left[5.3 \left(h / L_{1/3} \right) + 1 \right] \exp \left[10.5 \left(h / L_{1/3} \right) - 0.2 \right] \left(d / H_{1/3} \right) + 0.5$$

(2) 拋石以外

拋石以外被覆材安定質量，必要利用水工模型實驗確認。

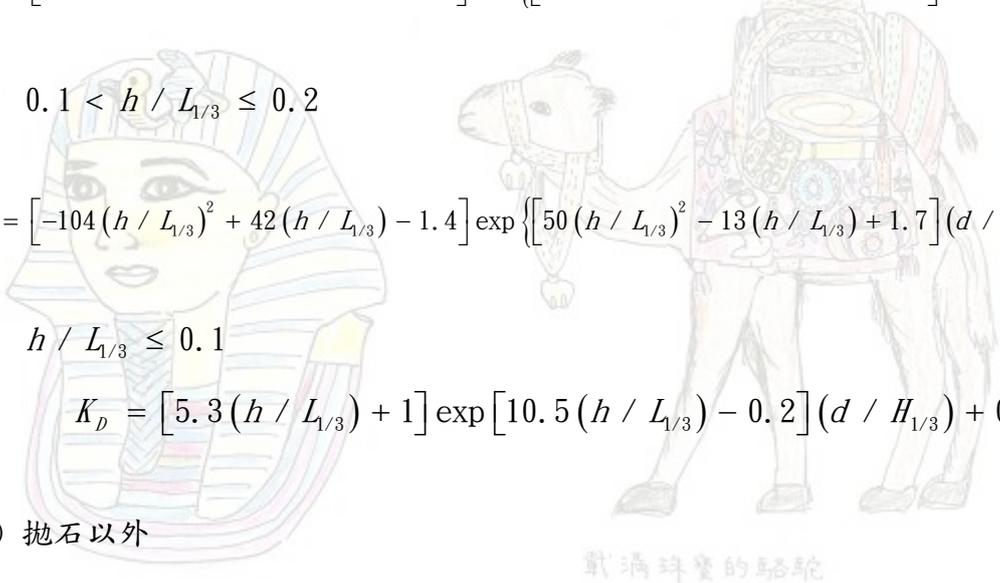
2) 中填工

2011 埃及尼羅河之旅

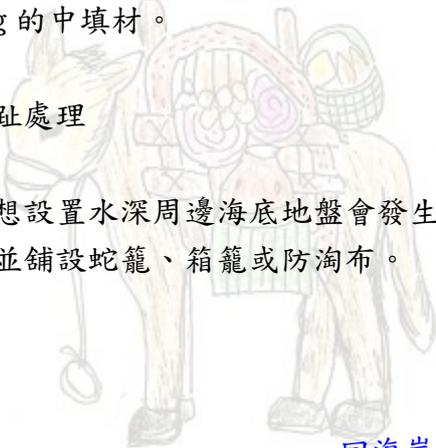
中填工是人工礁的堤心，不可發生下陷、散落引起的變形，海底面與被覆工接合面必要小心處理。人工礁通常設置於砂質海底地盤上，宜採用每個質量 10 ~ 500kg 的中填材。

3) 坡趾處理

預想設置水深周邊海底地盤會發生變動時，必要保護坡趾，可將中填工埋入坡趾，並鋪設蛇籠、箱籠或防淘布。



載滿珠寶的駱駝



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

回海岸設施設計