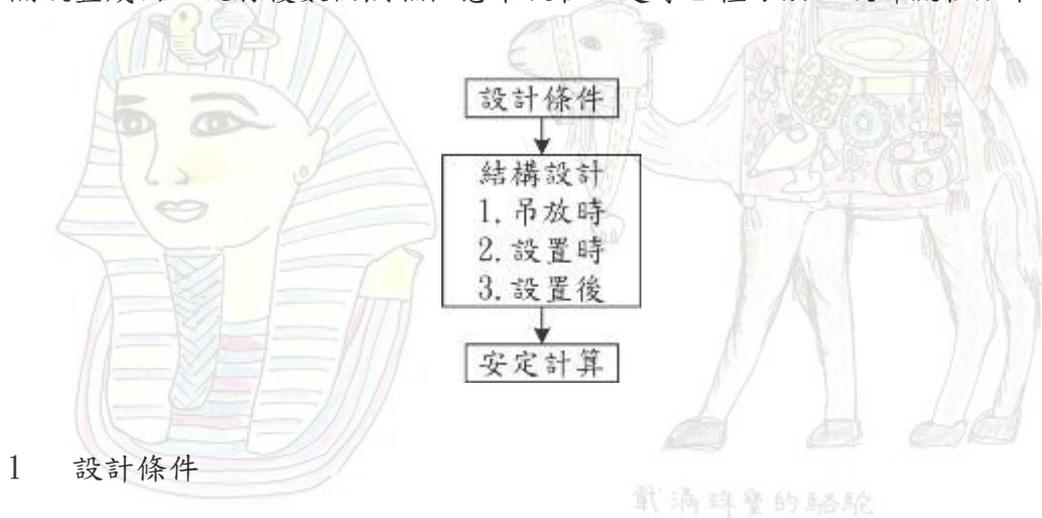


## 沉設魚礁

沉設魚礁是利用自重沉設於海中的結構物，依結構形式可分為鋼筋混凝土製、鋼製及多種材料組合而成的複合形式。魚礁設置方法可分為將單體魚礁以一定間隔設置成面，及將複數個魚礁任意堆放在一起等2種方法。設計流程如下



設計時應考量：

- ① 潮位
- ② 波力
- ③ 潮流力
- ④ 漂砂影響
- ⑤ 風影響
- ⑥ 材料(鋼材、混凝土、其他材料、單位體積重量)

2011 埃及尼羅河之旅

## 2 結構設計

檢討吊放、設置時及設置後，作用於魚礁外力的安全性。

### 1) 吊放

檢討製制、組合、移動、裝載至沉設作業船等利用起重機吊上時的安全性。混凝土魚礁在拆模時，尚未達其應有強度，搬運時容易發生變形或損壞，應檢討吊掛掛環位置，個數及搬運時期。鋼製魚礁應注意吊具位置、個數及吊具強度守。等。

2) 設置時

檢討魚礁著底時的衝擊力，可依下式計算魚礁著底時的位移量  $\varepsilon$  決定

$$a\varepsilon^3 - b\varepsilon - c = 0 \quad (1)$$

$$a = \frac{gK}{3\gamma_w V}$$

$$b = g \left( \frac{\gamma_g}{\gamma_w} - 1 \right) - \frac{C_d A}{4V} V^2$$

$$c = \left( \frac{\gamma_g}{\gamma_w} + C_{MA} \right) \frac{V^2}{2}$$

$v$ : 魚礁著底速度(即起重機的吊下速度，最大可採 0.8m/s)

$V$ : 魚礁實際容積( $m^3$ )

$A$ : 魚礁對海底面的全投影面積

$\gamma_g$ : 構材的單位體積重量

2011 埃及尼羅河之旅

$\gamma_w$ : 海水的單位體積重量

$g$ : 重力加速度

$C_d$ : 抗力係數

$C_{MA}$ : 附加質量係數

(1)式必要利用近似方法求解，下式為牛頓近似解

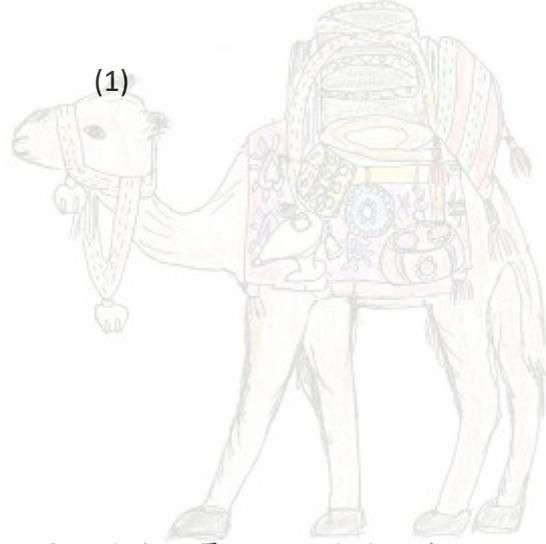
$$\varepsilon_{n+1} = \varepsilon_n - \frac{a\varepsilon_n^3 - b\varepsilon_n - c}{3a\varepsilon_n^2 - b} \quad (2)$$

首先令解的初期值  $\varepsilon_1$  為

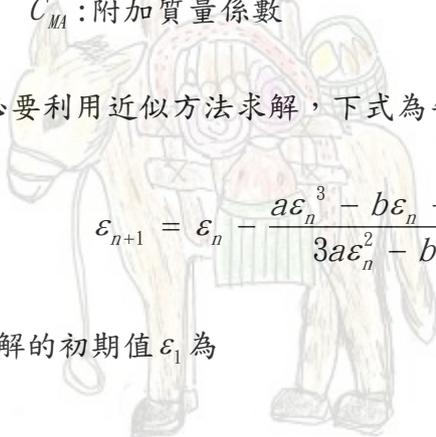
$$\varepsilon_1 = \sqrt[3]{c/a}$$

反復代入(1)式計算至

$$\varepsilon_{n+1} - \varepsilon_n < 0.0005$$



載滿科學的駱駝



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

$\varepsilon_{n+1}$  即為近似解  $\varepsilon$ ，但若  $\varepsilon_{n+1} \rightarrow 0$  時，表示此解非吾人所要的解，再以下式

$$\varepsilon_1 = \sqrt{b/a}$$

作為解的初期值，反復代入(1)式計算至

$$\varepsilon_{n+1} - \varepsilon_n < 0.0005$$

$\varepsilon_{n+1}$  即為  $\varepsilon$  的近似解。

著底時，魚礁構材斷面積  $S$  承受的單位長構材靜換算重量  $q$  為

$$q = S\hat{\gamma}_g = Sk\gamma_g$$

$$\hat{\gamma}_g = \frac{R}{V} = \frac{\varepsilon^2 K}{V}$$

$$k = \hat{\gamma}_g / \gamma_g$$

#### 2011 埃及尼羅河之旅

R: 地盤反作用力(kN)

K: 地盤反作用力係數(kN/m<sup>2</sup>)

$\hat{\gamma}_g$  表示將著底時的衝擊力換算成靜載重時的單位體積重量，底質為泥砂或砂礫時，地盤反作用力係數  $K$  約為 30,000~50,000kN/m<sup>2</sup>，岩盤時則須事先調查採適切值。

進行魚礁構材的結構計算時，應考量魚礁的吊放方法，海底地盤的凹凸地形及設置時的波、潮流狀況。假定拋放時的著底姿勢，以線性彈性模式利用骨架結構解析軟體進行結構計算分析。

### 3) 混凝土製魚礁

依下列順序決定構材及配筋：

- ① 計算作用於構材的彎矩及軸力，決定主筋。
- ② 依構材斷面積及鋼筋量，檢討對剪力的安全性。
- ③ 剪力不夠時，增加斷面積或用肋筋補強。
- ④ 肋筋直徑大於 6mm，間隔取小於構材斷面積最小尺寸或肋筋直徑 8 倍，兩者

間小者。

- ⑤ 鋼筋混凝土構材的容許應力參照「**混凝土**」，混凝土設計基準強度，魚礁構材厚大於 250mm 時為  $18\text{N}/\text{mm}^2$  以上。未滿 250mm，海底地盤為岩盤，或堆積 2 層以上時為  $21\text{N}/\text{mm}^2$ 。
- ⑥ 吊放、著底時的作用外力視為暫時載重，混凝土容許應力為表的 2 倍，鋼筋容許應力為表的 1.65 倍。
- ⑦ 鋼筋保護層，取主筋的直徑，但大於 20mm。場鑄採 25mm 以上。
- ⑧ 魚礁組合時，各魚礁設置接合螺絲(bolt)及螺帽，並考量防蝕。

#### 4) 鋼製魚礁

- ① 計算作用於構材的彎矩、剪力及軸力，決定構材斷面。
- ② 受壓縮力作構材檢查有無座屈發生，檢討構材長度及斷面。
- ③ 波浪等返復載重佔構材大部份容許應力時，應考量疲勞引起強度變化影響。
- ④ 為提昇魚礁整體強度，考量經濟性，盡可能將具有機能功能的水平版或遮蔽版以結構材設計。
- ⑤ 檢討構材安全性時，構材斷面應考量吊放、著底及防蝕等因素。
- ⑥ 鋼製構材的容許應力參照「**鋼材**」，吊放、著底時的作用外力視為暫時載重，容許應力為表的 2 倍。 2011 埃及尼羅河之旅
- ⑦ 由於魚礁形狀複雜，推算正確作用流體力有困難，通常對各構材的投影面積分別計算作用流體力。
- ⑧ 鋼材應符合 CIS 規格或同等品質者。
- ⑨ 防蝕參照「**防蝕**」。
- ⑩ 各魚礁的接合原則採焊接，使用螺絲(bolt) 及螺帽時應採同樣材質。

#### 5) 複合材料製魚礁

為確保魚礁的安定性、或提昇魚類的聚集及增殖效能，可採用複合材料。為確保安全性一般採用混凝土與鋼材組合，為提昇聚集及增殖效能的構材稱為效能構材，不一定要分擔結構應力。

設計作為提昇魚類的聚集及增殖效能的效能構材時，應注意：

- ① 效能構材的材料原則上與魚礁本體具有同等耐久性材料，避免採用會受波、流作用而損耗或劣質化的材料。使用塑膠等難分解性材料時，隨占魚礁構材大部份的鋼材腐蝕，應避免塑膠掉落海中。
- ② 設計效能構材時，應注意製作時、裝配至魚礁時、沉設時及設置後所受流體力，確保構材的安全性而決定其結構及強度。

作為效能材的石材或貝殼，可置於鐵絲網及塑膠容器內、或以混凝土等固化

劑固定。前者應檢討鐵絲網及塑膠容器的耐久性及強度，後者應檢討固化劑的強度及石材貝殼等的固著力。

- ③ 效能構材埋設於混凝土中或焊接於鋼材時，應注意增加的流體阻力。將作為效能構材的石材懸掛於結構物，不予以固定時，應注意石材的安定性。

### 3 安定計算

#### ① 滑動

檢討下列滑動安全率 F

$$F = \frac{\mu W}{P}$$

F: 安全率 (=1.2)

$\mu$ : 摩擦係數，參照「[摩擦係數](#)」

W: 扣除浮力的沉設魚礁重量 (kN)

P: 作用於沉設魚礁的波流水平力 (kN)

2011 埃及尼羅河之旅

#### ② 轉動

檢討下列轉動安全率 F

$$F = \frac{W * \ell_v}{P * \ell_A}$$

F: 安全率 (=1.2)

$\ell_A$ : 垂直於流向魚礁垂直面的投影面積重心至海底高度

$\ell_v$ : 魚礁重心對底面的投影點至最近轉動中心線間的距離

#### ③ 僅考量流時的流體力

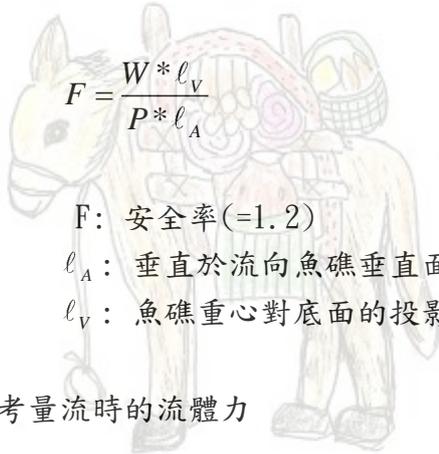
流速緩慢潮流，魚礁高度 z 處的流速為  $u_z$  時，作用於微小高度 dz 的力 dP 為

$$dP = C_{Dz} \gamma_w B_z \frac{u_z^2}{2g} dz$$

$C_{Dz}$ : 高度 z 處的抗力係數



載滿珠寶的駱駝



$\gamma_w$ : 海水的單位體積重量

$B_z$ : 高度  $z$  處的構材寬

將上式對魚礁高度作積分即可得作用於全體魚礁的水平流力。當魚礁高度小於/10 水深時， $u_z$  以魚礁頂部流速  $u_T$  代表之， $C_{Dz}$ ， $B_z$ ， $dz$ (投影面積)以魚礁整體數值表示，即可推算  $P$ 。魚礁由複數的不同形狀魚礁塊構成時，可分別計算。任意高度的水平流速可利用海圖或潮汐表的表層流速  $u_H$ ，依下式計算

$$u_z = Ku_H(z/h)^{1/7}$$

$$K \begin{cases} = 1.6(\text{主流方向}) \\ = 1.2(\text{垂直主流方向}) \\ = \sqrt{\cos \alpha + 1.5}(\text{任意方向}) \end{cases}$$

$H$ : 設置水深

$z$ : 從海底算起高度

$\alpha$ : 主流方向與設計流速方向間角度

海、潮流卓越季節，於設置位置對實測海、潮流作 15 日以上觀測，利用調和分析，取最大合成值為  $u_H$ ，再依上式計算  $z$  處水平流速。

④ 僅考量波浪時的流體力

① 非碎波領域

最大波力  $P$  可以下列方法求得

$$u = u_m \sin \theta$$

$$u_m = \pi \frac{H}{T} \coth 2\pi D/L$$

$$P_D = C_D A \frac{\gamma_w}{2g} u_m^2$$

$$P_M = C_M V \frac{\gamma_w}{g} \frac{2\pi}{T} u_m$$

當  $2P_D < P_M$  時  $P = P_M$

當  $2P_D > P_M$  時  $P = P_D + \frac{P_M^2}{4P_D}$

$u$ : 魚礁頂部波引起水粒子的水平流速

$C_M$ : 質量係數

$C_D$ : 抗力係數

$A$ : 垂直波進行方向垂直面的全投影面積(構成魚礁各構材的總合)

$V$ : 魚礁的全實際容積

$D$ : 魚礁高度

$H$ 、 $T$ 、 $L$ : 設置位置的有義波高、週期及波長

魚礁頂部水深大於  $L/2$  時，可忽略波力。

載滿珠寶的駱駝

④ 碎波領域

碎波帶內作用於魚礁的全波力可依下式計算

$$P = C_D A \frac{\gamma_w}{2g} u^2$$

$u$ : 碎波帶內底層流速

若在碎波帶內無法忽略潮流時，可依下式計算

$$P = C_D A \frac{\gamma_w}{2g} (u^2 + u_m^2)$$

⑤ 波、流共存時的流體力

波、流共存時，計算出下式所示  $P$  為最大時的相位  $\theta$ ，即可求出最大流體力。

$$P = P_D \left( \sin \theta + \frac{u_T}{u_M} \right)^2 - P_M \cos \theta \quad (3)$$

令  $\alpha = u_T / u_M$ ,  $\beta = P_M / 2P_D$ ,  $S = \sin \theta$ ,  $C = \cos \theta$ ，則從下式

$$S^4 + 2\alpha S^3 + (\alpha^2 + \beta^2 - 1)S^2 - 2\alpha S - \alpha^2 = 0$$

求出滿足下列條件的實根  $S$  及  $C$ ，代入(3)式即可求得最大流體力。

$$C_i(S_i + \alpha) + \beta S_i = 0$$

$$1 - 2S_i^2 - \alpha S_i + \beta C_i < 0$$



回海洋水產土木設施設計



載滿珠寶的駱駝

2011 埃及尼羅河之旅



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈