

淹水防護設施興建計畫成本效益分析

1. 淹水防護效益

淹水防護通常可考量下列 3 種效益，但是對②、③項目前尚無明確計測方法，故原則上只檢討①項。

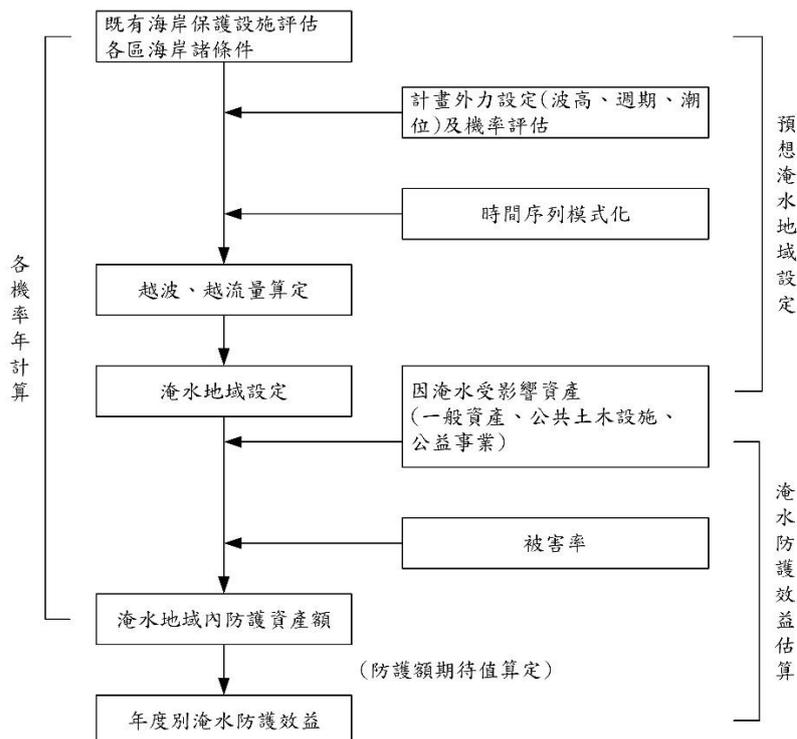
- ① 淹水預測地域內，評估一般資產、農作物、公共土木設施、公益事業等資產，設定受災率，依替代法估算受災減輕額。
- ② 暴潮、波浪、海嘯等災害致使精神上傷害估算
暴潮、波浪、海嘯等災害，因災害致使震驚、疲勞、恐懼等精神受害大，尤其對有海嘯危險性地域會產生生命危險恐懼感，必要估算排除此危險性產生的效果，可利用假想市場評估法(CVM)評估。
- ③ 暴潮、波浪、海嘯等災害致使人命損失估算
評估災害時死傷者的損失利益、醫院運送治療等醫療費等財產損害額，設定受災率，乘以災害發生機率可估算受災減輕額。

2. 淹水防護效益估算

1) 淹水防護效益估算流程

淹水防護效果是未實施事業時的預想淹水地域受災減輕，將預想淹水地域受防護的資產總額作為效益。

估算手法如下表，分成淹水地域設定及效益估算等 2 階段，淹水地域是對現狀海岸保護設施，對各機率年，依暴潮等預想外力來襲時的越波量等計算背後地淹水量而推定。再對各淹水地域背後地的各淹水高度設定受災率算出受災額，算出各機率年的總和得年度別淹水防護效益。



淹水範圍以外，因暴潮受災已被明確預想而且可合理加算效益時，可視為防護加計，例如道路、鐵路等生命線受災被切斷時，加入資產受災額，考量為至復原前機能障礙受災的防護效益。

2) 預想淹水地域設定

① 可實施模擬

實施模擬時可將模擬結果設定為淹水地域，製作淹水深規模別的淹水深表，由於無法設定相同機率，可依適切依據決定。

② 實施模擬有困難

實施模擬有困難時，可算出暴潮、海嘯引起越波、越流量，假定此越波、越流量會使護岸背後地淹水，可利用「高度淹水法」加以評估設定預想淹水地域，設定預想淹水地域的具體方法如下。

(1) 暴潮引起預想淹水地域設定

設定預想淹水地域，依觀測數據算出暴潮引起總越波、總越流量，再依地盤高數據依下述方法設定預想淹水地域。

設定時，將未實施設施時的預想狀況，與實施可防護預想計畫外力時(例如1/50 機率暴潮)設施時的預想狀況，進行評估其差別。未實施設施時發生的受災額與實施設施時發生的受災額間的差額為受災減輕額，即為淹水防護效益。

未實施設施時的預想狀況是，現有海岸保護設施的狀況下，未超過預想事業預想計畫外力時，預想對各再現機率年的波引起的災害。例如規劃海岸保護設施的預想計畫外力是再現機率為50年規模時的暴潮，對現狀設施估算出未超過預想計畫外力(再現機率50年)暴潮來襲時受災範圍(預想淹水地域)，估算受災額。

本手法是假定暴潮引起總越波、總越流量全部流入背後地。

① 既有海岸保護設施評估、該海岸諸條件

評估既有海岸保護設施，可參考過往設施設計斷面圖，設定折繞射係數可視過往海岸諸條件與現狀相差無幾。對發生越波災害地域的海岸保護設施，表示對預定外力無法發揮防護機能，不可使用過往資料，必要考量下列事項。

① 地盤下陷致使堤頂面下陷

② 堤腳水深變化

③ 老朽化引起龜裂

④ 侵蝕致使海底坡度變化

② 計畫外力設定(波高、週期、潮位)及機率評估

設定預想淹水地域，首先必要算定預想計畫外力以下的波引起越波、越流量。海岸保護設施不但防護暴潮，亦防護日常程度的小浪，因此評估效益時必要將外力以機率檢討取其總和。

i) 機率波高(波高、週期)計算

機率波計算，預想計畫外力以下即實施新事業時對堤高的計畫波高以下的各再現機率年波，求出機率波高在護岸前面的換算外海波高及週期。

具體而言，首先推估預想計畫外力以下任意 10~50 年(預想計畫外力 30 年則為 10~30 年)的機率波高(例如 1/10、1/20、1/30、1/40、1/50)。

各再現機率年換算外海波高是先計算外海機率波高 H_o ，再考量波浪變形結果(折射 K_r 、繞射 K_d 係數等)，將之換算成下式所示換算外海波高 H_o' 。

$$H_o' = K_r \times K_d \times H_o$$

估算機率波，[海岸工程](#)是使用機率波高解析結果及波浪變形結果(折射近 K_r 、繞射 K_d 係數等)求得，本文利用下述方法求出。

① 有機率處理資料

有機率處理資料時，依資料整理各再現機率的機率波高及週期。

② 無機率處理資料

無機率處理資料時，參考鄰近海岸海氣象條件類似的計畫波高及週期，推估各再現機率年的機率波。各機率波高可依下式計算，機率波高為外海波高時必要依上式換算成換算外海波高。

$$H_{1/n} = H_{1/d} \times K_{H_{1/n}}$$

$H_{1/n}$: n 年機率波高(=再現機率 n 年 H_o')

$H_{1/d}$: 再現機率 d 年機率波高(50 年(或 30 年) 機率波高)

$K_{H_{1/n}}$: 各機率波高間比(再現機率 d 年機率波高/n 年機率波高)

無機率波高解析結果資料，若海岸保護設施設計計畫波高採用過往最大波高時，可將過往最大波高對應適當機率年(例如 50 年)。週期宜對各機率波高設定，然而為簡化，通常使用計畫週期。

護岸前面設置離岸堤、潛堤時，必要考量其傳達率(透過率) K_1 ，使用下式所示 n 年機率換算外海波高 $H_{1/n}'$

$$H_{1/n}' = H_{1/n} \times K_1$$

ii) 機率潮位計算

使用推算機率波時的再現機率年，首先推算機率潮位偏差，再推算機率潮位。

① 潮位偏差

有機率解析結果資料時使用之，若無，預想潮位偏差與波發達相同隨風速變化，故採用各機率潮位偏差間比 $K_{\eta_{1/n}}$ 設定 n 年機率潮位偏差 $\eta_{1/n}$

$$\eta_{1/n} = \eta_{1/d} \times K_{\eta_{1/n}}$$

$\eta_{1/n}$: n 年機率潮位偏差

$\eta_{1/d}$: 再現機率 d 年機率潮位偏差(50 年(或 30 年) 機率潮位偏差)

$K_{\eta_{1/n}}$: 各機率潮位偏差間比(再現機率 d 年機率潮位偏差 / n 年機率潮位偏差)

② 機率潮位

機率潮位是如下式所示，朔望平均高潮位(HWL)加上機率潮位偏差，各自獨立設定。

$$\text{再現機率 } n \text{ 年潮位} = HWL + \eta_{1/n}$$

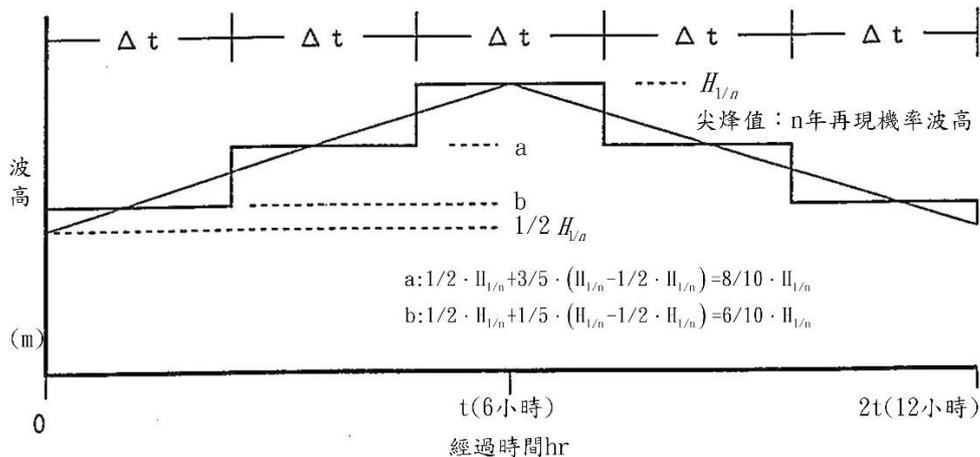
③ 時間序列模式化

預想背後地淹水，必要考量波浪、潮位的時間變化求出越波量，將暴潮歷時實施模式化。具體而言，使用上述「計畫外力設定(波高、週期、潮位)及機率評估」所示結果，實施對預想計畫外力相關時間序列歷時實施模式化，配合海岸狀況整理如下。

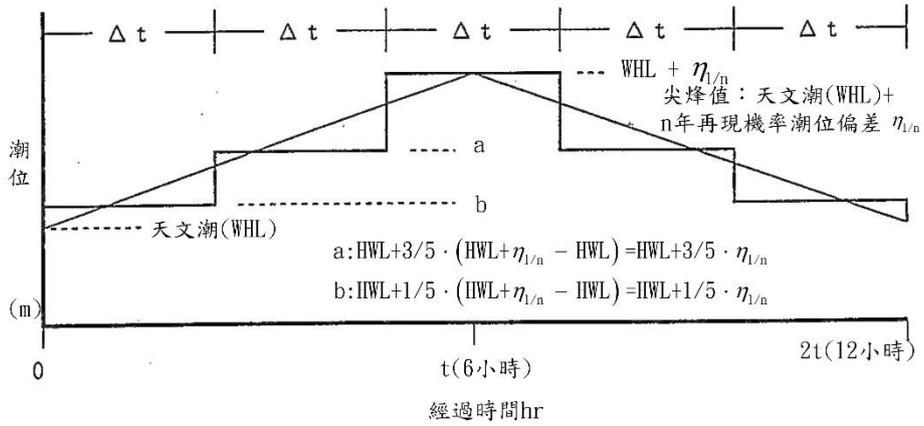
i) 封閉型海岸

封閉型海岸以靜水面為基準，實施 6 小時後達尖峰，12 小時後降至 $1/2 \times H_{1/n}$ 的時間序列模式化。將時間間隔 Δt 近似為階段狀，到達尖峰為 t ，返至原點時間為 $2t$ (12 小時或 24 小時)，取 5 等分即 $\Delta t = 2/5t$ ，亦可設定其他時間間隔作適宜適當分割。

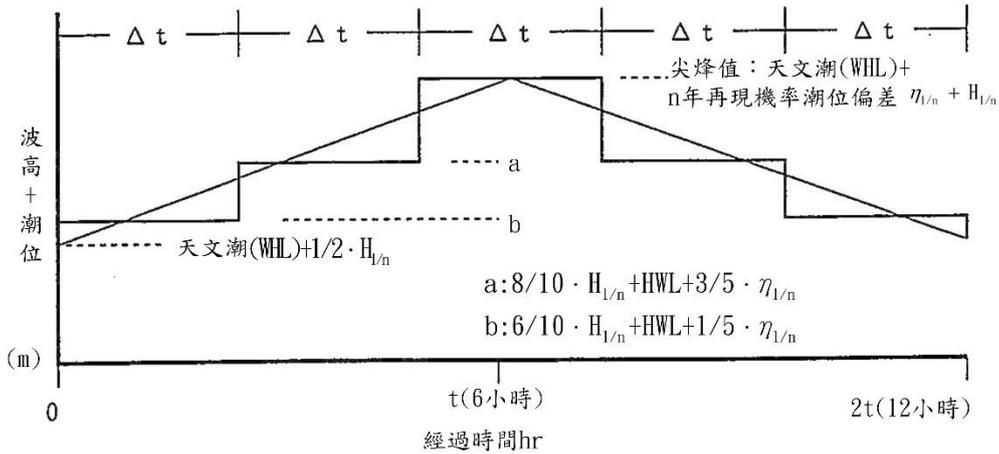
下圖為封閉型海岸換算外海波高時間序列模式化。



下圖為封閉型海岸潮位時間序列模式化。



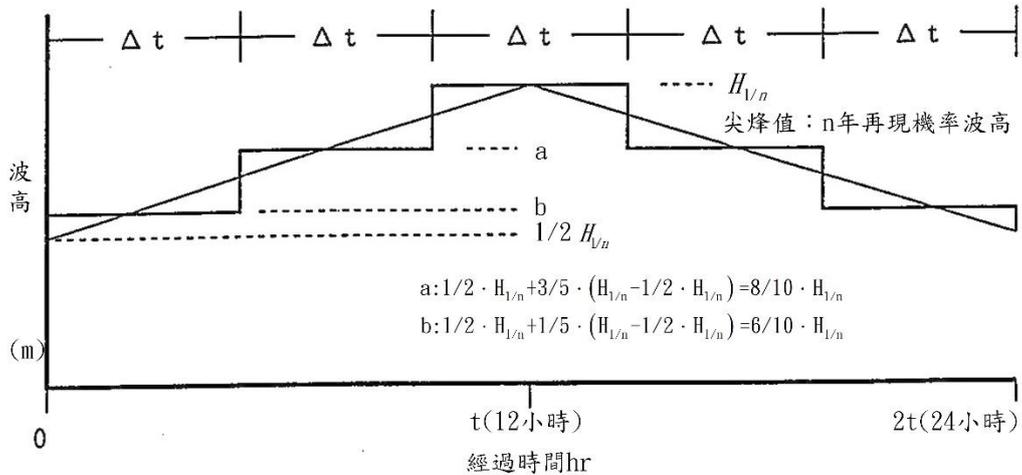
下圖為封閉型海岸波高與潮位重疊時間序列模式化。



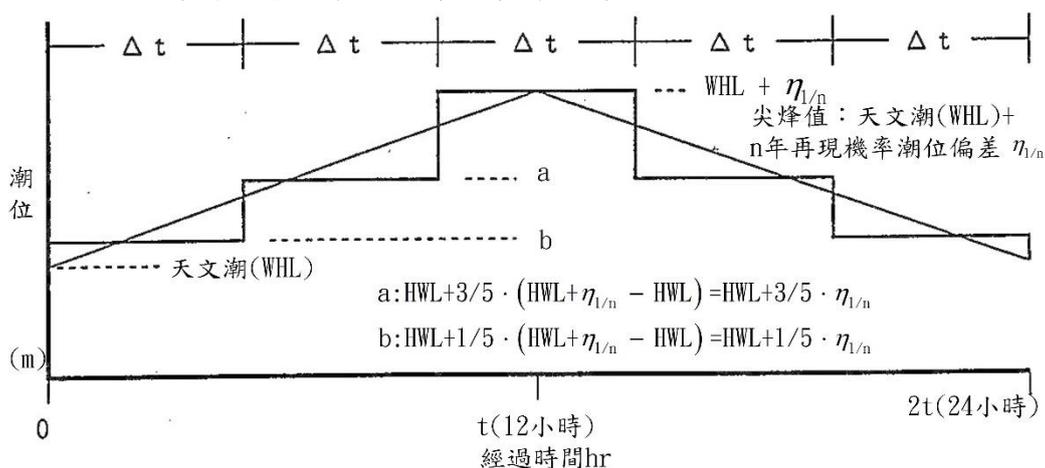
ii) 開放型海岸

面對外海的海岸，實施 12 小時後達尖峰，24 小時後降至 $1/2 \times H_{1/n}$ 的時間序列模式化

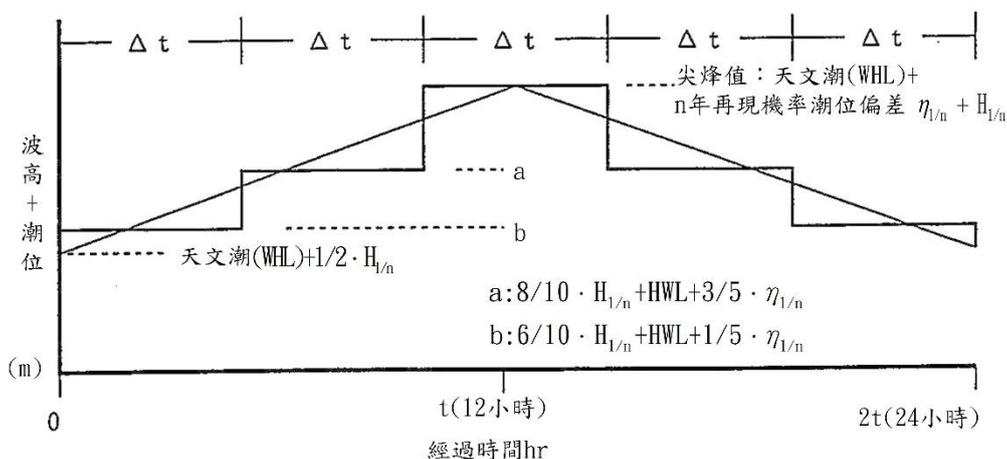
下圖為開放型海岸換算外海波高時間序列模式化。



下圖為開放型海岸潮位時間序列模式化。



下圖為開放型海岸波高與潮位重疊時間序列模式化。



④ 越波、越流量設定

i) 越波量計算

使用上述整理的換算外海波高、週期、潮位及既有海岸保護設施相關數據(例如堤腳水深、堤高等)、該海岸諸條件(海底坡度),計算各再現機率年、各時間間隔的越波量,進而計算總越波量。

ii) 越流量計算

既有海岸保護設施的現狀堤高在機率潮位以下時,可利用下列公式計算越流量,與越波量計算相同,有地盤下陷或必要修正機率潮位時要特別注意,越流原則上背後地的淹水位不會超過堤頂,即呈完全越流。越波持續時間如同上述來襲暴潮的時間歷時模式。

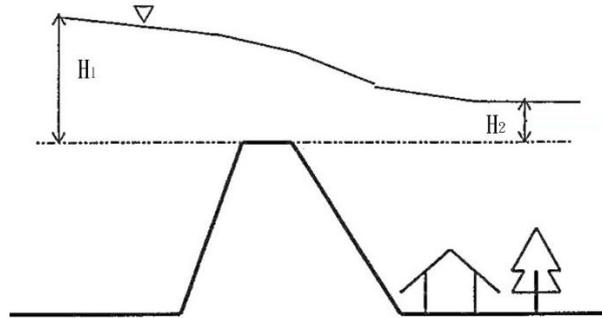
$$q = 0.35H_1\sqrt{2gH_1}$$

q: 越流量

$$H_2 \leq 2/3H_1 \quad (\text{完全越流})$$

H₁: 以堤頂為基準的護岸前面水位高

H₂: 以堤頂為基準的護岸後面(背後地)水位高, 由於考量完全越流, H₂=0



⑤ 淹水地域設定

i) 背後地地盤高數據製作

由護岸堤高、地形條件等預想可能最大淹水地域, 將之以適當網格(例如 100m×100m)加以分割, 依等高線讀取各網格的代表地盤高。假定護岸堤高以上不會淹水, 因此可以堤高以上地盤、河川作為邊境, 平坦土地處則對實際可能發生淹水範圍適切設定之。

ii) 高度淹水法設定淹水地域

① 各再現機率年淹水地域設定

首先利用越波、越流量設定各再現機率年淹水地域, 再使用假定淹水高度相差不大, 總越波量、總越流量全部灌入背後地的「高度淹水法」。高度淹水法估算方法如下

(1) H-V 曲線製作法

使用預想淹水地域各網格的地盤高資料, 從最低地盤高開始以 $\Delta H=20\text{cm}$ 的間隔上昇水位, 求各水位 H 的淹水量 V, 求得 H-V 曲線。

$$V = \sum v_{i,j}$$
$$v_{i,j} = (H - G_{i,j}) \Delta S$$
$$H = H + \Delta H$$

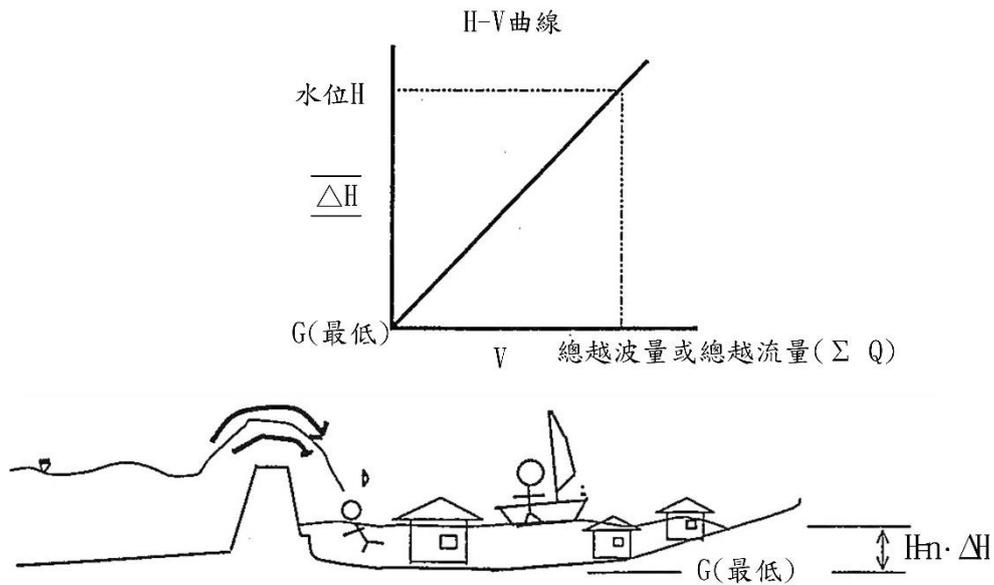
$v_{i,j}$: 水位 H 時網格(i, j)的淹水量

$G_{i,j}$: 網格(i, j)的地盤高

ΔS : 網格面積

(2) 從 H-V 曲線估算淹水位

總越波量或總越流量全部灌入預想淹水地域, 可從 H-V 曲線反算淹水量對應的淹水位 H($H \leq G$), 淹水深由淹水位 H 減去各網格地盤高求得。



設定淹水地域順序如下。

- ① 考量歷時、海岸寬，求出各 Δt 間隔的總越波量或總越流量，對其歷時合計。
- ② 準備背後地地盤高資料。
- ③ 總越波量或總越流量全部灌入背後地，計算各再現機率年淹水地域，利用表計算製作簡潔的各機率年淹水深表。
- ④ 淹水深規模別淹水地域設定
對各機率年，將上述淹水深表以顏色區分地盤高 45cm 以下、地盤高 45~94cm、地盤高 95~144cm、地盤高 145~244cm、...，設定淹水深規模別淹水地域(淹水深表)。

(2) 海嘯引起預想淹水地域設定

① 預想地震海嘯設定

i) 實施海嘯模擬

使用模擬結果。

ii) 未實施海嘯模擬

① 預想地震規模

設定預想地震規模依下列事項

- i. 地域防災計畫等已設定預想地震者，使用設定值。
- ii. 地域防災計畫等未設定預想地震者，設定會對計算範圍產生嚴重災害的地震。

② 預想地震海嘯設定

i. 預想海嘯諸元

設定預想海嘯諸元時，參考過往海嘯資料，例如水位痕跡等。

ii. 利用極值統計解析推算方法例

將各地域過往地震資料的海嘯諸元，利用極值統計解析推算方法如下。

1. 利用地震相似法則補正海嘯諸元，推定各地震規模的海嘯諸元
 預想地震規模小於下式表示最大地震規模時，補正海嘯諸元，斷層寬 W 、滑動量 U 與地震規模 M 間的關係式如下。

$$\log W = aM + b$$

$$\log U = aM + b$$

a 、 b ：斷層參數(參考地震相關資料)

依地體區分別最大地震規模的斷層參數設定地體區分別最大地震規模的斷層寬 W_{max} 、滑動量 U_{max} ，斷層寬比 R_w 、滑動量 R_u 可依下式求出。

$$R_u = U/U_{max} \quad , \quad R_w = W/W_{max}$$

依地震機率年規模，例如 $M=6$ 、 7 、 8 等時的海嘯高 H 及持續時間 T 可依下式求出。

$$H = R_u \times H_{max} \quad , \quad T = R_w \times T_{max}$$

H_{max} ：最大地震規模的海嘯高(參考地震相關資料)

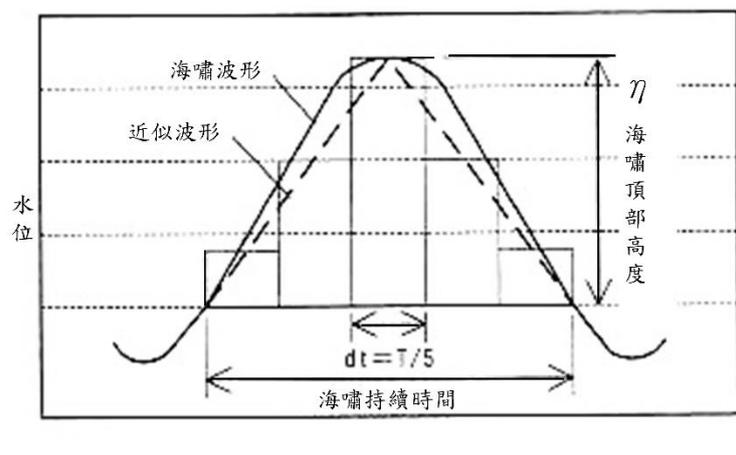
T_{max} ：最大地震規模的持續時間(參考地震相關資料)

2. 推定任意地震的**再現期**

決定預想地震的再現期目前有難度，依適切依據設定。

3. 海嘯波形模式化

預想背後地淹水，必要考量海嘯的時間變化估算越流量，故將海嘯歷時如下圖模式化，將持續時間 5 等分，使用將海嘯高直線近似呈三角形分布的時間變化模式。



② 預想淹水地域設定

i) 實施海嘯模擬

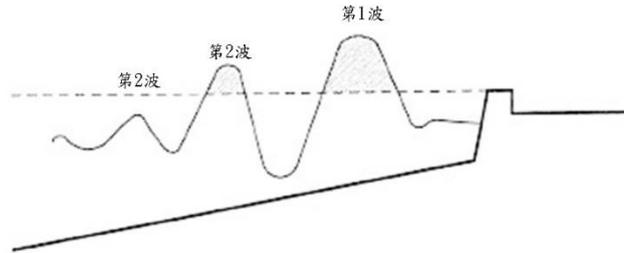
依模擬結果設定，製作淹水深規模別淹水深表，決定海嘯機率目前有難度，依適切依據設定。

ii) 未實施海嘯模擬

預想海嘯淹水地域，計算各地震規模海嘯引起越波、越流量，利用上述高度淹水法加以評估，淹水地域設定如同暴潮，但是必要考量下列事項。

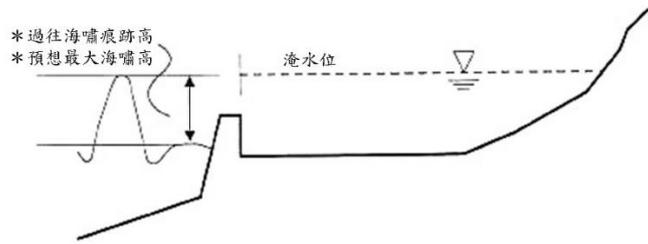
① 來襲海嘯波數設定

推定淹水地域海嘯諸元是以超過護岸高者(無護岸時為地盤高)為對象，通常考量第1波及第2波即可。



② 淹水地域設定

利用推估暴潮或異常波浪時淹水地域的高度淹水法，設定海嘯淹水地域，護岸背後縱深短等地形特性致使淹水高超過護岸高時(無護岸時為地盤高)，護岸高以上視為淹水，淹水高以過往海嘯痕跡高或預想最大海嘯高為上限。



(3) 水門、水閘、抽水站防護預想淹水地域設定

① 水門、水閘

水門、水閘宜作為堤防或護岸的附屬設施一併計算防護效益，單體興建時，水門、水閘防護預想淹水地域設定方法為，未實施事業時，對計畫外力的暴潮等無法發揮防護機能，預想會從開口部流入海水，可利用高度淹水法設定淹水地域。

② 抽水站

暴潮時具有可防止內水災害機能的抽水站，未實施事業時，預想無法適切排除降雨等流入河川水、都市排水、農地排水等，可利用高度淹水法設定淹水地域。

3) 預想淹水地域資產受災額估算

將預想淹水地域內一般、農地資產受災額等個別累計，考量土地高度利用、事業進度等，估算年度別資產受災額。

(1) 淹水地域內住家數、辦公室數、農地面積、農漁家數等計測

掌握再現機率年淹水地域內住家數(戶口數)、公司數、農地面積、農漁家數等。

① 掌握住家數

從住宅地圖讀取各機率年淹水規模住家數，例如將國土基本圖作與淹水深表同樣的網格切割，從地圖讀取淹水地域內全部建物作為住家數，與淹水深表對照，依各機率年、各網格及各淹水深規模整理，淹水地域最大範圍採用計畫外力(例如 50 機率)者其作業效率佳。

② 掌握水田、旱田面積

與住家數同樣，掌握水田、旱田面積。

③ 掌握公司從業員數

估算公司資產，利用現況調查掌握公司從業員數，無詳細資料時可依下列方法。

i) 再現機率年別公司數

再現機率年別公司數(利用現況調查) =

鄉市鎮內公司數 x (再現機率年別淹水地域內住家數/鄉市鎮內住家數)

ii) 再現機率年別公司從業員數

再現機率年別公司從業員數 =

再現機率年別公司數 x 鄉市鎮內公司平均從業員數

④ 掌握農漁家數

對再現機率年別淹水地域，利用現況調查掌握農漁家數。

⑤ 應用國土利用資訊

可利用全國戶口普查、土地利用資訊等，住家數不明時可使用戶口數。

(2) 一般、農地資產受災額估算

利用前項求得資料，估算各淹水規模的房屋、家庭用品、公司資產、農作物、農漁家資產別受災額。各資產估算依下列公式，依各機率年、各網格及各淹水深規模整理，求其總和，受災率如下。

① 暴潮

受災率如下表，係依英國海岸興建效果手冊(The Economic of Coastal Management)的海水受災係數(淡水受災額乘以係數)。

| 淹水深規模 | | 地板 以下 | 地板以上 | | | | |
|-------|------|----------|------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| | | | 50cm 以下 | 50~ 99cm | 100~ 199cm | 200~ 299cm | 300cm 以上 |
| 資產種類 | | | | | | | |
| 房屋 | | 0.045 | 0.151 | 0.229 | 0.480 | 1.000 | 1.000 |
| 家庭用品 | | 0.021 | 0.189 | 0.489 | 0.889 | 1.000 | 1.000 |
| 公司 | 折舊資產 | 0.101 | 0.278 | 0.589 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 庫存資產 | 0.056 | 0.166 | 0.401 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 農漁家 | 折舊資產 | 0 | 0.187 | 0.308 | 0.416 | 1.000 | 1.000 |
| | 庫存資產 | 0 | 0.259 | 0.555 | 0.859 | 1.000 | 1.000 |

②海嘯

海嘯高 2m 以下地域是 0.5，2m 以上地域是 1.0。

(3) 各資產估算式

①一般資產額(住家、家財、公司)估算

* 房屋=房屋平均地板面積 x 房屋數(戶口數) x 房屋 1m²單價 x 受災率

* 家庭用品=戶口數(房屋數) x 1 戶口家庭用品評估額 x 受災率

* 公司資產=從業員數 x 從業員平均公司資產額 x 受災率

從業員平均公司資產額=∑產業大分類別從業員折舊及庫存資產單價
X(該鄉鎮市產業別從業員數/該鄉鎮市從業員總數)

②一般資產額(農作物、農漁家資產)估算

海水淹水時受災率=1。

* 農作物=農作物單價 x 農作物單位面積收穫量 x 耕作面積(水、旱田別)
x 受災率

* 農漁家資產=農漁家折舊及庫存資產單價 x 農漁家數 x 受災率

③農地資產額估算

* 海水淹水農地受災額

作為生產基盤農地，因暴潮等海水淹水致使農作物減收受災額可依農地資產額估算，除受災年的受災額外，未來 5 年間農作物減收受災額亦可估算為農地資產額，海水淹水致使農作物減收率如下表。

| 年數 | 受災年 | 第 1 年 | 第 2 年 | 第 3 年 | 第 4 年 | 第 5 年 | 第 6 年 |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 減收率 | 1.00 | 1.00 | 0.80 | 0.60 | 0.40 | 0.20 | 0 |

* 暴潮海嘯農地受災額

暴潮海嘯致使農地受災，農地被破壞，必要重新投資才能耕作，估算受災額考量預想淹水地域農地狀況，可利用累計方法。通常使用平均受災率(例如 36%)，依下式估算效益。

效益=水旱田別單位面積整建費 x 防護地域內水旱田別面積 x 受災率

(4) 公共土木設施、公益事業等受災額估算

防護地域內公共土木設施(橋樑、道路、公園等)、公益事業等受災額(電力、瓦斯、自來水等)受災額，可依累計防護地域內存在資產額加以估算，受災率明示出處所在適切使用，無受災率資料時可使用上述房屋受災率。鐵公路受災致使交通中斷、上下水道設施停止等致使受災額，可從實估算。

利用累計方式估算有困難時，不得已時，可將海岸災害(波浪、暴潮、海嘯)引起一般資產受災額與農作物受災額的合計值，公共土木設施、公益事業等受災額(不含停止營業者)依過往(例如 20 年間)平均比例，估算公共土木設施、公益事業等受災額，注意必要使用全國平均比例，不宜使用地方別的比例。

3. 成本估算

成本效益分析是以該事業的事業費及維護管理費為成本，因實施事業消失的財貨或材料的價格作為成本，以社會經濟而言，僅為扣除移轉消費稅的計算價格，必要將成本以基準年度的實質價格加以統一。

① 事業費

事業費包含全部的工程費、用地費及補償費。

② 維護管理費

維護管理費包含改良費、營運費及維護修繕費。

i) 改良費

水門等機械類更新相關費用，適切加計必要額。

ii) 營運費

例如設置海水浴場，養灘、海灘清掃等必要費用，加計為營運費。

iii) 維護修繕費

例如海岸保護設施維護、保養等等必要費用，加計為維護修繕費。

③ 稅

成本效益分析的成本是使用從各項成本扣除消費稅的值，從包含消費稅的成本扣除消費稅的方法如下。

$$\text{成本實質值} = (\text{包含消費稅的建設費、維護費等}) / (1 + \text{消費稅率 } a(5\%))$$