

耐震強化設施興設計畫成本對效果分析

1. 效益發生機制

耐震強化設施興設計畫，依計畫內容產生效益各異，具體依下列效益計測。

1) 耐震強化碼頭(緊急物質用)

① 運送效益

- i. 免除震災時緊急物質運送成本增大
- ii. 免除震災時一般物質運送成本增大

② 設施受害免除效益

2) 耐震強化碼頭(航線物質用)

2011 埃及尼羅河之旅

① 運送效益

免除震災時航線物質運送成本增大

② 設施受害免除效益

耐震強化碼頭效益，可依「運送效益」及「設施受害免除效益」計測。緊急物質用與航線物質用的耐震強化碼頭，其處理貨物各異，用不同架構推估。設施受害免除效益則不論緊急物質用或航線物質用，均使用相同架構。

2. 效益發生期間設定

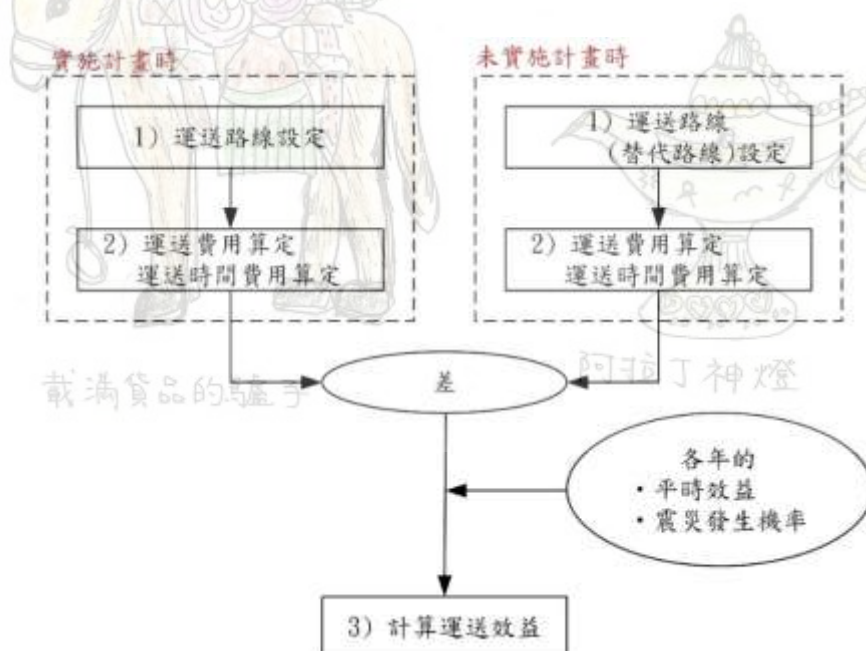
港灣的復原期間為 2 年，因此效益發生期間最長為 2 年。必要修復或繫留設施供用期間最終年發生地震時，效益發生期間未滿 2 年。效益發生期間，是對應耐震強化碼頭種類的要求性能及其設施必要機能適切設定，效益發生期間可如下細分。

項目	時段	內容
第1階段	震災發生至第2日間	地震或火災避難階段 守護人命為最優先
第2階段	震災發生第3日至1週間	應急對策第1期 確保衣食住，復原生活線為最重要
第3階段	震災發生1週後至1個月間	應急對策第2期 恢復都市機能，開始上班、上課
第4階段	震災發生1個月後至2年間	結束應急對策 實施全面復原活動

震災時段		1日	2日	3日	4日	~1週	~1個月	~2年
效益發生期間		第1階段		第2階段			第3階段	第4階段
對象物質	耐震強化碼頭 (特定緊急物質用)	緊急物質運送						一般物質運送
	耐震強化碼頭 (標準緊急物質用)	修復必要期間 (約1週)					緊急物質運送	一般物質運送
	耐震強化碼頭 (特定航線物質用)	航線物質運送						

3. 運送成本增大免除效益

4.



1) 效益計測概念

耐震強化碼頭興建時的運送成本(運送費用及運送時間費用)，與未耐震強化碼頭興建利用替代港時的運送成本的差，即為效益，其計測流程如上。

2) 「未實施計畫時」替代路線設定

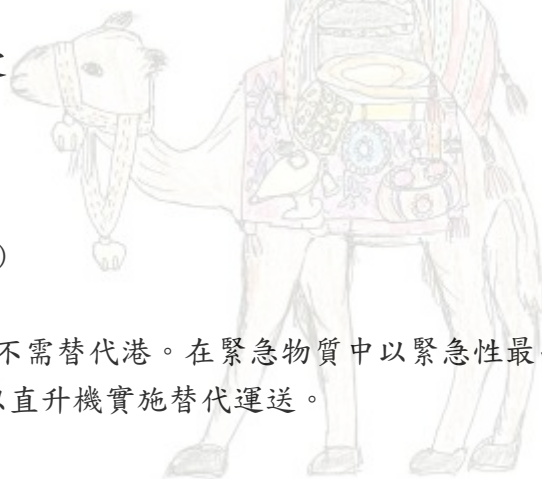
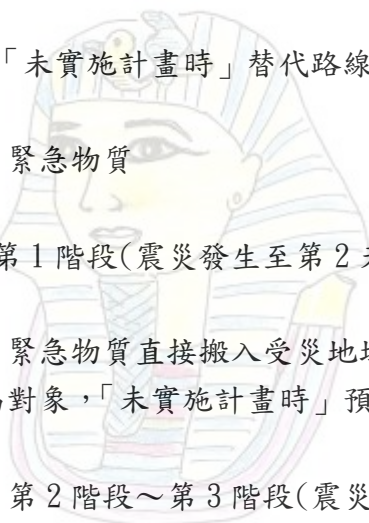
① 緊急物質

i. 第1階段(震災發生至第2天間)

緊急物質直接搬入受災地域，不需替代港。在緊急物質中以緊急性最高物質為對象，「未實施計畫時」預想以直升機實施替代運送。

ii. 第2階段～第3階段(震災發生第3天至1個月間)

緊急物質預想運送至替代港，再以陸上運輸運送至對象地域。替代港必要考量地震引起預想受災區域、震災時能保持港灣機能及有餘力處理貨物的近傍港灣。離島或地理因素預想替代港有困難時，可至第3階段可利用直升機運送。第2階段～第3階段的運送路線設定例如下圖。



載滿貨物的駱駝

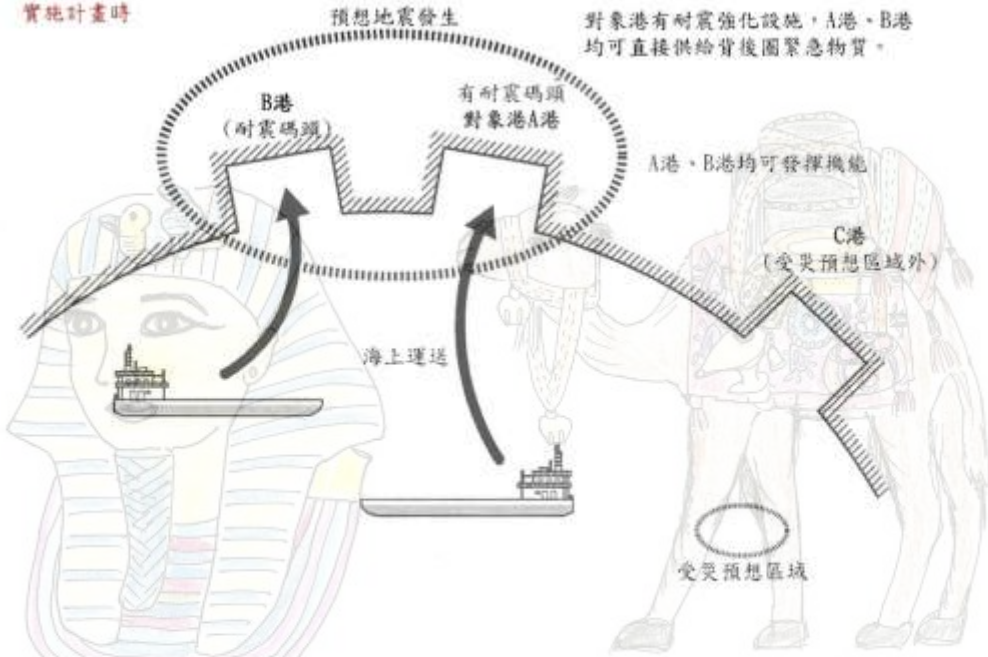


載滿貨品的驢子

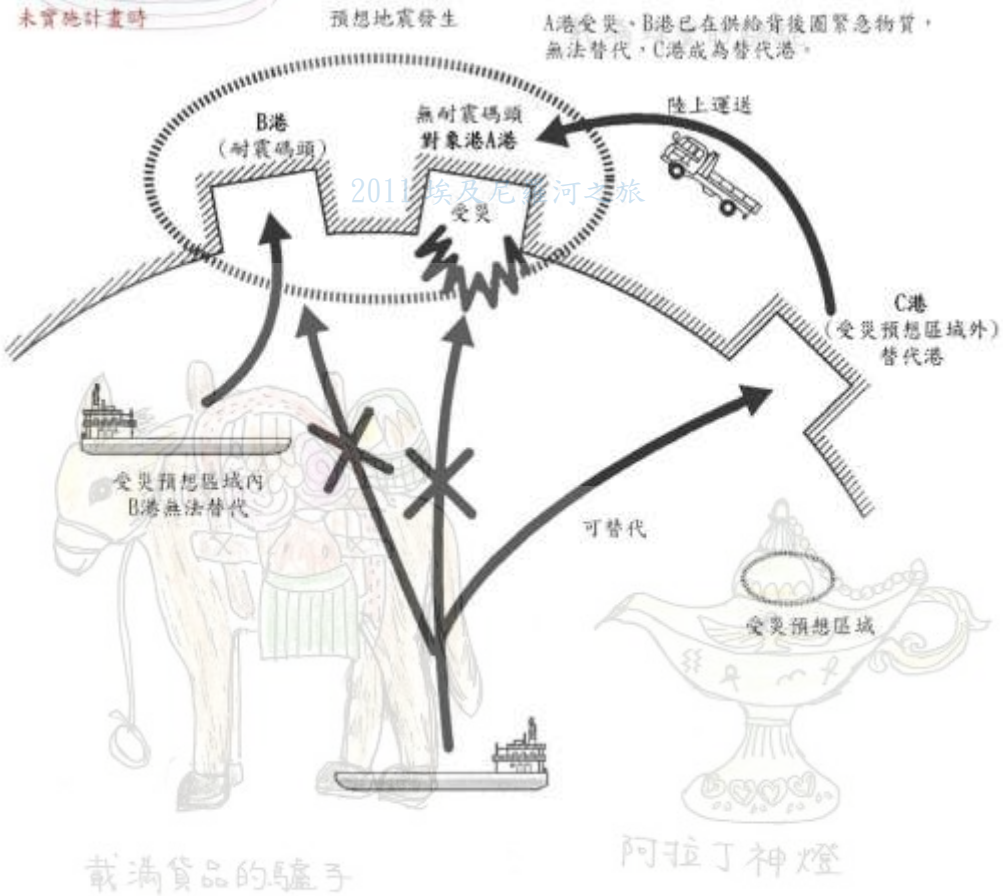


阿拉丁神燈

實施計畫時



未實施計畫時



② 震災後一般物質

災後一般物質，預想可利用鄰近港灣運送貨物，替代港必要考量對象地震的受災預想區域，選定設施規模同等的鄰近港灣作為替代港。

震災後應急對策告一段落，進入第4階段，即開始進行全面復原對策，「實

施計畫時」可處理一般物質，「未實施計畫時」設定替代港。

在地震受災預想區域，無耐震強化碼頭通常無法維持正常機能的可能性高。鄰近港灣的耐震強化碼頭即使維持正常機能，但是因必要供一般物質利用，有無法作為替代港的可能，設定時宜加留意。預想地震的受災預想區域內，替代港的耐震強化碼頭，在受災時處理貨物量會多於平時，必要考量其處理貨物能力。

離島等地理因素，鄰近無適宜替代港時，可利用外海裝卸，外海裝卸有困難品項例如建設重機具，可利用大型直升機運送。

③ 震災時航線物質

震災時航線物質預想利用鄰近港灣運送，替代港必要備有同等規格以上的貨櫃處理站。替代港必要考量該港處理航線是主航線或其他航線，並對個別地震的受災預想區域，適切設定。

3) 效益計算

依下列各式計測第 t 年的緊急物質 B_{1t} 、震災後一般物質 B_{2t} 、震災時航線物質 B_{3t} ，合計為運送效益。

$$B_{1t} = P(t) \times [C_1(WO) - C_1(W)]$$

$$B_{2t} = P(t) \times \left\{ \sum_j \left[(C_2(WO))_j - C_2(W) \right]_j \times \frac{Q_j}{R} \times \frac{1}{W} \right\} \times \sum_{k=1}^R \frac{1}{(1+i)^{k-1}}$$

$$B_{3t} = P(t) \times \left\{ \sum_j \left[(C_3(WO))_j - C_3(W) \right]_j \times \frac{Q_j}{R} \times \frac{1}{W} \right\} \times \sum_{k=1}^R \frac{1}{(1+i)^{k-1}}$$

$C_1(W)$ ：「實施計畫時」緊急物質運送成本(元/年)

$C_1(WO)$ ：「未實施計畫時」緊急物質運送成本(元/年)

$C_2(W)$ ：利用該港耐震強化碼頭，震災時一般物質陸上運送成本(元/輛)

$C_2(WO)_j$ ：利用替代港，震災時一般物質的陸上運送成本(元/輛)

$C_3(W)$ ：利用該港耐震強化碼頭，震災時航線物質陸上運送成本(元/輛)

$C_3(WO)_j$ ：利用替代港，震災時航線物質的陸上運送成本(元/輛)

$P(t)$ ：計算開始第 t 年耐震強化碼頭發揮機能的「1 級~2 級地震動」的發生機率

$$P(t) = \left(\frac{1}{75} - \frac{1}{X} \right) \left(\frac{74}{75} \right)^{t-1}$$

1 級地震動(再現期 75 年)：一般碼頭的設計震動規模

2 級地震動(再現期 X 年)：耐震碼頭的設計震動規模

X ：2 級地震動再現期(年)，依地域防災計畫決定。

右邊第 1 項：第 t 年發生 1 級以上 2 級以下地震動機率

右邊第 2 項： $t-1$ 年間不會發生 1 級以上地震動機率

Q_j ：復原期間該耐震強化碼頭處理貨物量(噸)

j ：背後圈

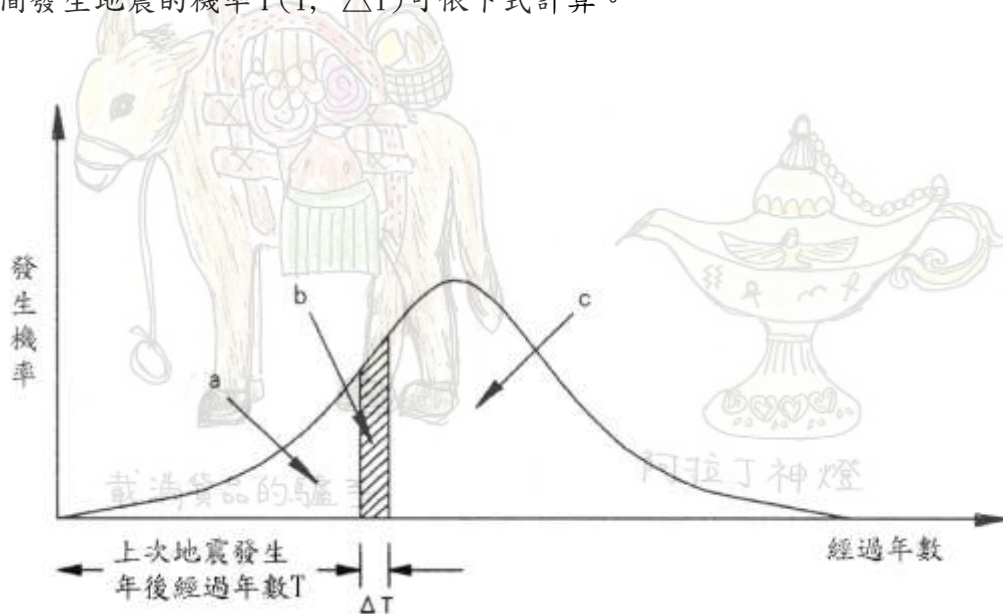
R ：復原期間(預想 2 年)

W ：卡車平均裝載噸數(噸/輛)

i ：折扣率

2011 埃及尼羅河之旅

長期評估機率，是對各地震考量平均發生間隔、最終發生年後經過時間及今後該地震發生機率等加以評估。最新地震發生後 T 年未發生地震，其後 ΔT 年間發生地震的機率 $P(T, \Delta T)$ 可依下式計算。



$$P(T, \Delta T) = \frac{b \text{面積}}{b \text{面積} + c \text{面積}}$$

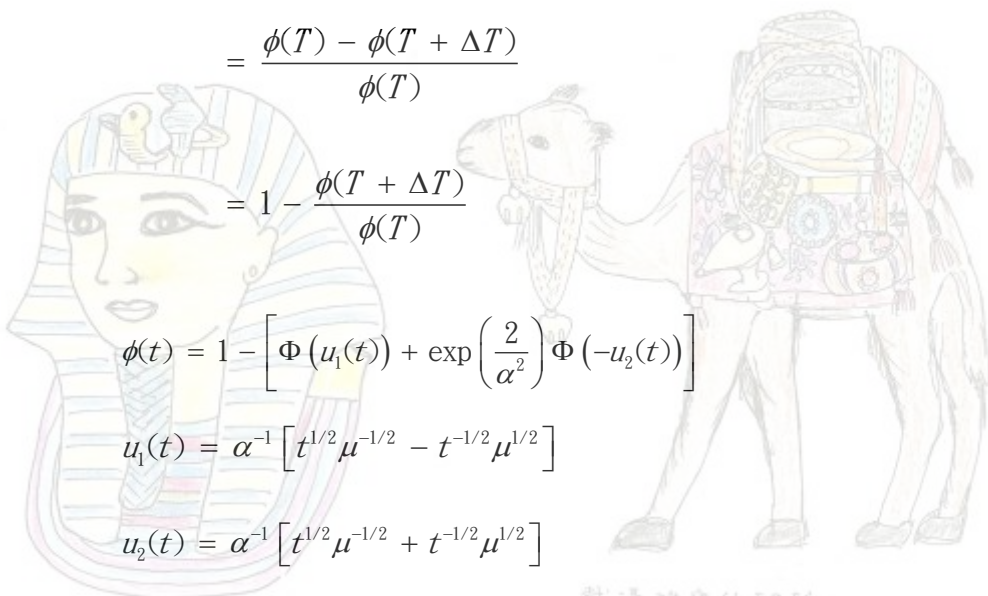
$$= \frac{\phi(T) - \phi(T + \Delta T)}{\phi(T)}$$

$$= 1 - \frac{\phi(T + \Delta T)}{\phi(T)}$$

$$\phi(t) = 1 - \left[\Phi(u_1(t)) + \exp\left(\frac{2}{\alpha^2}\right) \Phi(-u_2(t)) \right]$$

$$u_1(t) = \alpha^{-1} \left[t^{1/2} \mu^{-1/2} - t^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

$$u_2(t) = \alpha^{-1} \left[t^{1/2} \mu^{-1/2} + t^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$



載滿珠寶的駱駝

$$\Phi(z) \equiv \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \int_{-\infty}^z e^{-u^2/2} du \quad : \text{標準正規分布的累積分布函數}$$

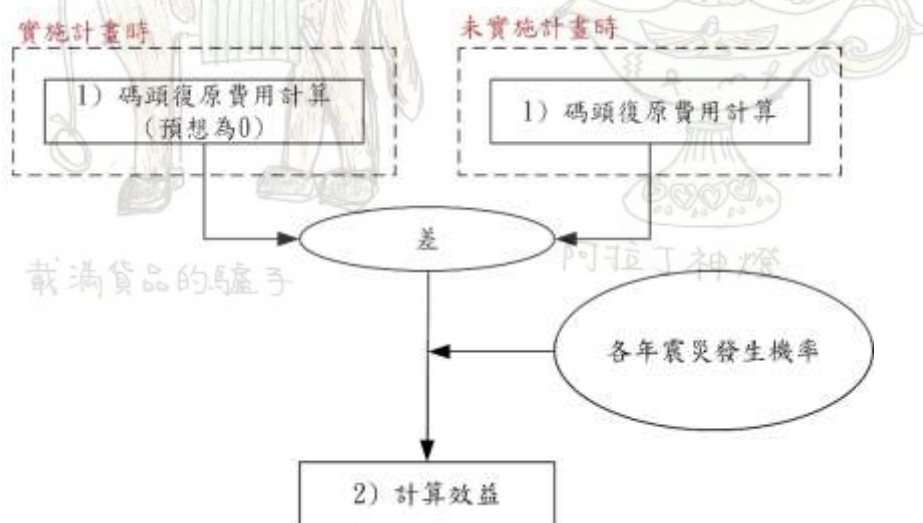
α : 活動間隔分散(0.18~0.24, 平均約 0.22)

μ : 平均活動間隔(年)

t : 經過時間(年)

5. 設施受害免除效益

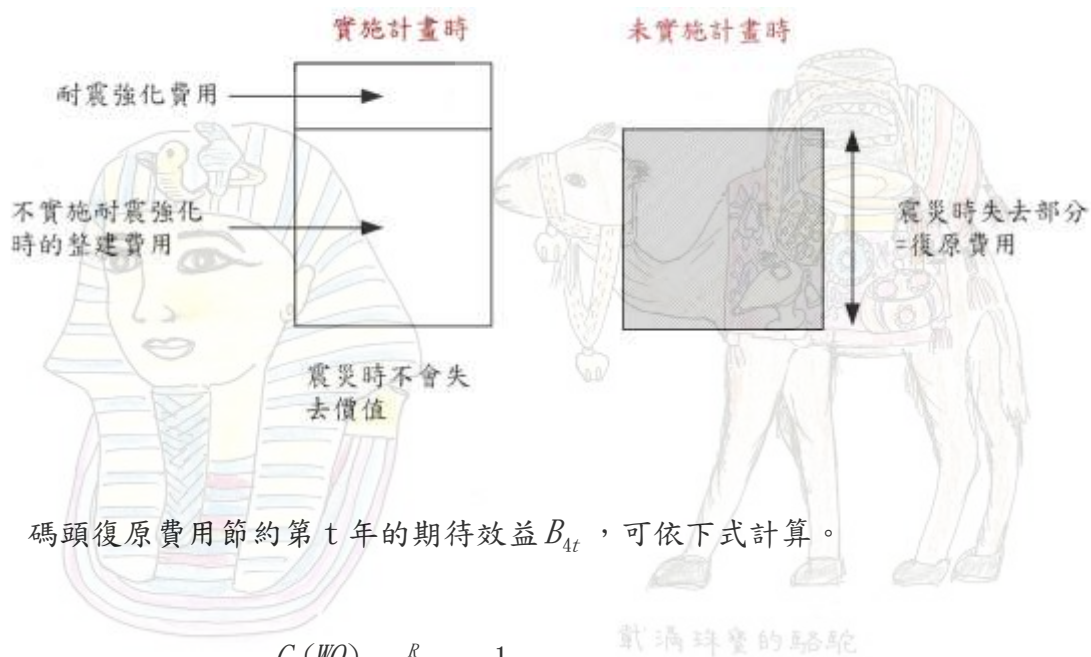
耐震強化碼頭震災時可免於損壞，免除復原追加支出，可計測追加復原費的效益，其計測流程如下。



載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈

復原費用概念如下表所示。



碼頭復原費用節約第 t 年的期待效益 B_{4t} ，可依下式計算。

$$B_{4t} = P(t) \times \frac{C_4(WO)}{R} \times \sum_{k=1}^R \frac{1}{(1+i)^{k-1}}$$

$C_4(WO)$ ：耐震強化致使可節約復原費用(元)

2011 埃及尼羅河之旅



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

回海岸港灣事業成本效益分析