

# 臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析

## Tsunami Affected Area and Flooding Possibility in Taiwan Coast

主辦單位<sup>1</sup>：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

合作單位<sup>2</sup>：國立中山大學海下科技暨應用物理海洋研究所

陳冠宇<sup>2</sup> 蘇青和<sup>1</sup> 陳陽益<sup>2</sup> 單誠基<sup>1</sup> 劉俊志<sup>2</sup>

Chen, Guan-Yu<sup>2</sup> Su, Ching-Ho<sup>1</sup> Chen, Yang-Yih<sup>2</sup>

Shan, Chen-Chi<sup>1</sup> Liu, Chun-chih<sup>2</sup>

### 摘要

本文主要研究目的在於建立高雄港外海嘯高度的快速預報模式，藉由 COMCOT 模式(Cornell Multigrid COupled Tsunami model)的線性淺水波方程來模擬高雄港外一定點的波源水位傳播，進而得到區域內各點對應於定點的互逆格林函數(reciprocal Green's Function)時間序列。互逆格林函數只要計算一個海嘯傳播的情況，因此可以大幅節省計算格林函數的時間。由於大多數海嘯的成因起源於海底地震，可根據斷層模式由地震參數計算出地震引發的海嘯水位分布。最後將各點的水位與其格林函數的乘績作加總，便可獲得定點的水位變化。利用事前已計算的格林函數，當未來發生海底地震時，可以節省計算的時間，加快預報速度。

關鍵詞：海嘯預報、互逆格林函數

### Abstract

This study is to develop a fast forecast system for the tsunami elevation outside the Kaohsiung Harbor based on the reciprocal Green's Function. The reciprocal Green's Function is the time series evolution of a point elevation outside the harbor and is computed by the COMCOT (Cornell Multigrid COupled Tsunami model). Instead of calculating the Green's function for every grid point in the domain, Reciprocal Green's function needs to compute just one case. Since most tsunamis are generated by submarine earthquakes, the initial source distribution can be obtained instantly from the fault parameters. After multiplying the corresponding Green's function, the surface elevation outside the Kaohsiung harbor is calculated by simple superposition. This approach can save lots of computer time so that the tsunami height can be forecasted very fast.

Keywords : Tsunami forecast, Reciprocal Green's function,

## 一、前言

格林函數的運用在傳統上觀察線性系統中波源所造成的反應，而格林函數通常以波源的振幅為單位，如果區域內各點的格林函數已經求得，只要計算起始波源的水位與其格林函數的乘積後進行加總，便可得知波源對各點所引起的水位變化。儘管海嘯波靠近近岸時會呈現高度非線性變化，但在水深深於50公尺的海域，線性淺水方程式能適用於描述其傳播過程(Shuto,1991)。

上述的格林函數(Green's Function，以下以GF簡稱)是表現區域內各點對應波源所產生的反應，即單波源全接收點(one- source-all-reciver)的形式，傳統上的GF是由s到r，s表示波源位置(source)，而r則為接收位置(reciver)。而其逆向的GF代表以r產生的波源振幅為單位，在s所造成的反應。

Loomis(1979)談到GF及其逆向GF對於s和r是呈現對稱的形式，亦即相同的波源出現在s所造成對r的反應相當於出現在r所造成對s的反應，Loomis所提的互逆特性可以提高計算各點GF的效益，只要計算s傳播後對所有r的GF，等同於得知當任何r出現波源時對s造成的反應。所以當海嘯發生時，僅需將各點r的起始水位作簡單的乘積加總便可得知s的水位變化。

有鑒於2004年南亞大海嘯所造成的災害，海嘯的預警便成為海岸防災重要的一環。對海嘯防災而言，人口密集的地點才是重點地區，而防災的目的在於有效減少生命財產損失。既然海嘯防災只注重在某些特定地點，那麼把計算時間花費在區域內的非重點地帶無疑是種浪費，本文根據Xu(2007)提出的all-source GF觀點，利用GF的逆向特性快速預報高雄港外海的海嘯高度。

## 二、研究方法

### 2.1 模式設定

本文使用海嘯數值模式 COMCOT (Liu et al.,1998)計算水位傳播，模式可選用的淺水方程式包含線性或非線性兩者，既然線性淺水方程式足以描述海嘯波在海域深度超過 50 公尺的變化，在此採用線性的部分((1)-(3)式)，不考慮非線性及摩擦力的影響。模式區域範圍在東經 117° 至 125° ，北緯 19° 至 27° (圖 1)，網格點 481\*481，解析度 1 分。首先在高雄港外海離岸約 3 公里的地方選取水深 22.4 公尺的定點 s(圖 2)，並且給予水位高度 1 公尺當成波源振幅，經模式計算水位傳播 3 小時(圖 3-5)，除 s 點之外，所有的點皆視為接收點 r，而 s 點即為之後海嘯高度預報的水位點。此研究的目的是在海岸防災，因此希望能了解海嘯波越接近岸邊的威脅，儘管 s 點的深度不到 50 公尺會稍微影響到預報的準確度。

$$H_t + Q_x + R_y = 0 \quad (1)$$

$$Q + gdH_x = 0 \quad (2)$$

$$R + gdH_y = 0 \quad (3)$$

其中  $H$  為水位高度， $Q$ 、 $R$  各為  $x$ 、 $y$  方向的流量， $d$  為總水深， $g$  為重力加速度。

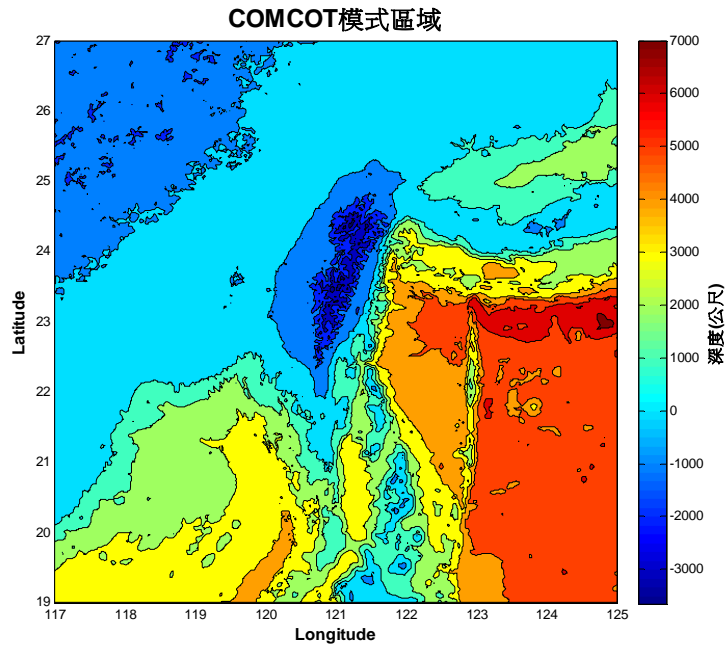


圖 1、海嘯數值模式計算區域圖

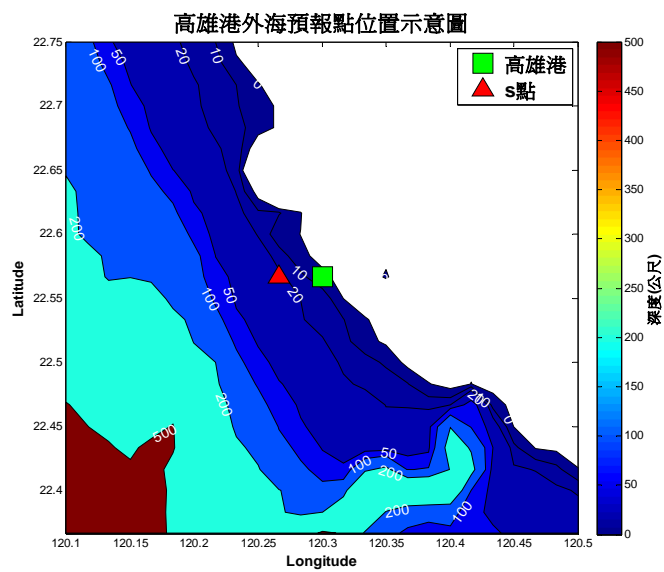


圖 2、海嘯高度預報點(s 點)位置圖

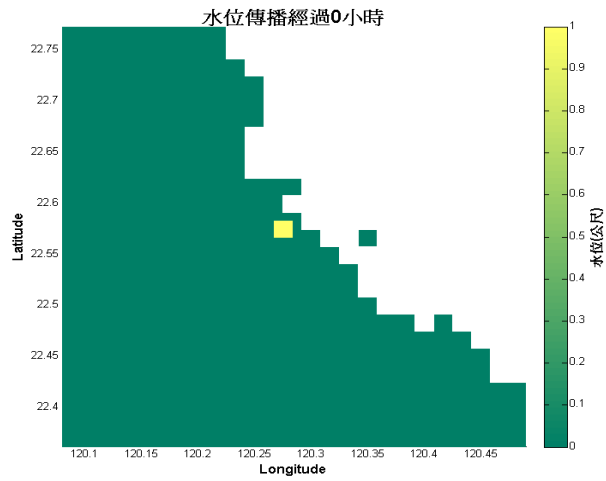


圖 3、模式在 s 點設定 1 公尺初始水位

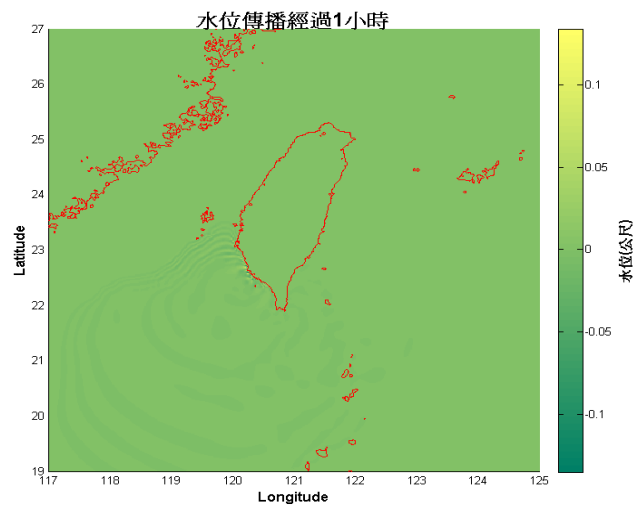


圖 4、s 點初始水位傳播 1 小時後

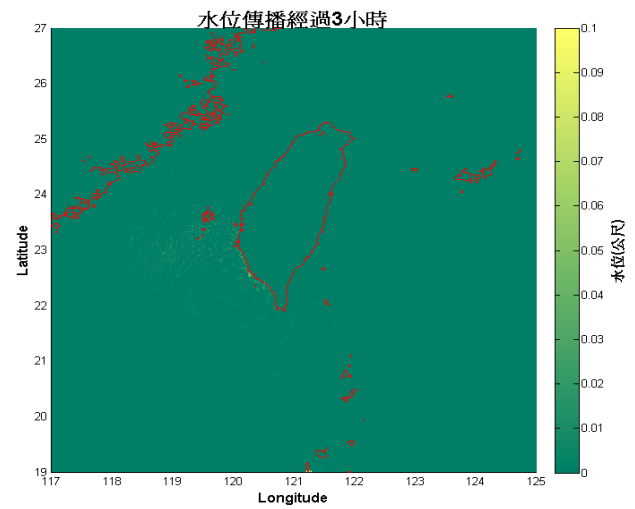


圖 5、s 點初始水位傳播 3 小時後

## 2.2 格林函數的計算與逆向格林函數的驗證

為了解區域內任何 r 點發生海嘯時，其當地水位將對 s 點位置的造成多大的水位高度，故先計算所有 r 點對應 s 點的 GF。首先將 3 小時內各 r 點的水位經(4)式正規化便是 s 點傳播至各點的 GF 值，又因波源振幅為 1 公尺，所以模式計算後的水位值即為 GF 值。再根據 GF 的逆向性質，r 點對應 s 點的 GF 等同於 s 點對應 r 點的 GF((5)式)。只要透過(6)式作簡單的乘積與加總就可到 s 點在海嘯發生後的 3 小時水位變化。

$$GF_r^s = \frac{r\text{點水位}}{\text{波源振幅}} \quad (4)$$

$$GF_s^r = GF_r^s \quad (5)$$

$$H_{s,t} = \sum_{r=1}^N \sum_{t=1}^M (GF_{r,t} * H_{r,1}) \quad (6)$$

其中(6)式的  $H_{s,t}$  為 s 點在時間 t 的水位高度， $GF_{r,t}$  為各 r 點在時間 t 的 GF， $H_{r,1}$  各 r 點的起始水位高度，N 為 r 點總數，M 為總時間長度。

為了驗證由模式所計算出的 GF 是否符合(5)式，在此選擇 s 點設置起始波源進行模式水位傳播，之後各別在 c1 與 c2 點(圖 6)設置同樣波源進行傳播，由這三次模擬可得到 s、c1、c2 三點相互傳播的 GF (圖 7)，基本上互傳的結果相一致，儘管由數值模式計算產生的誤差導致了微小差異。

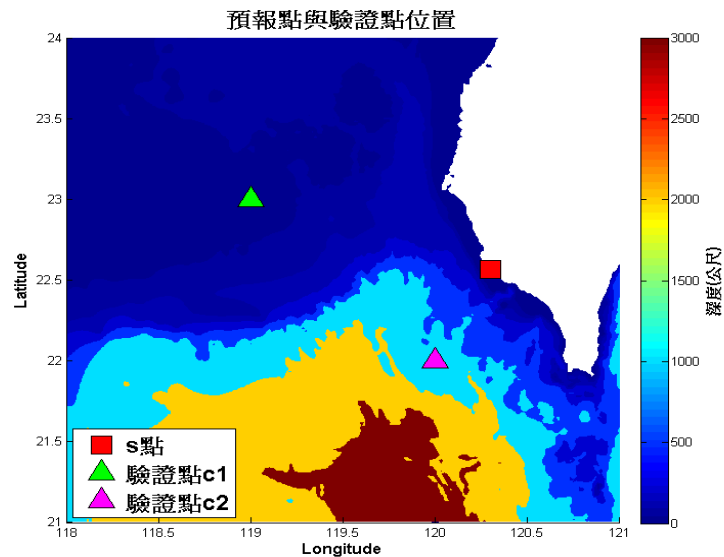


圖 6、逆向 GF 驗證點的位置圖

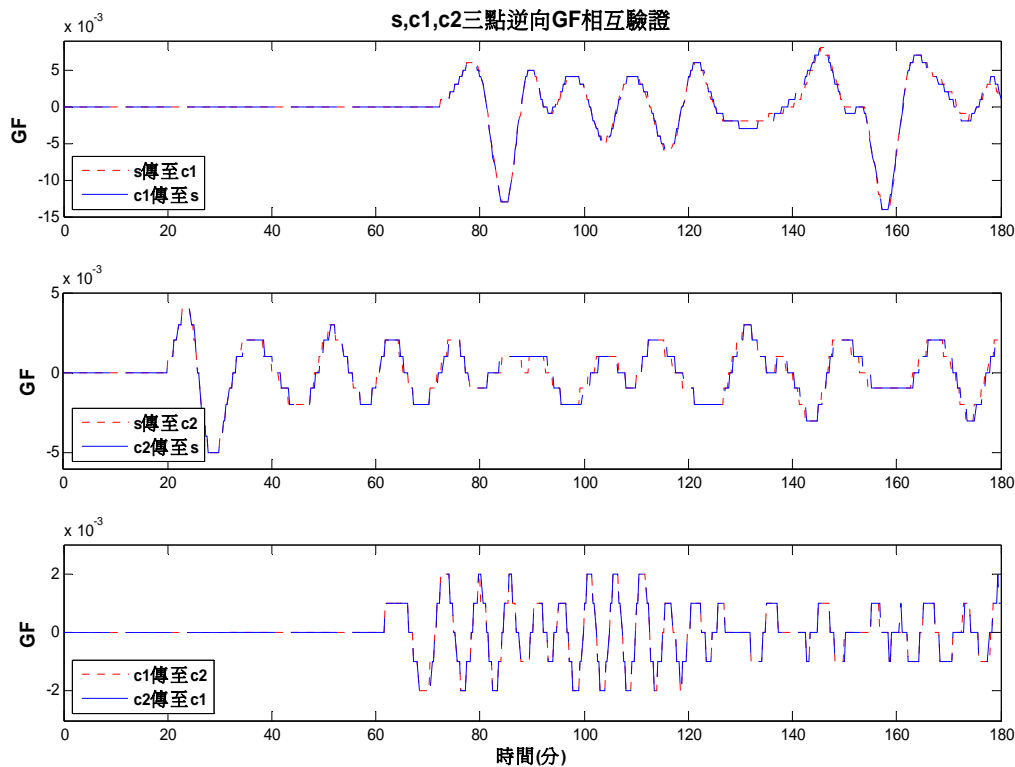


圖 7、利用 s、c1 及 c2 三點互相驗證 GF 與逆向 GF 的一致性。

### 三、高雄港外海預報的應用

#### 3.1 海嘯波源驅動模式

由於大多數的海嘯成因起源於海底地震，所以本文的海嘯水位藉由海底斷層模式來驅動，基本上起始海水面的變動是利用海床位移量的計算來產生水位，假設海水為不可壓縮，而海床視為剛體，當海床產生錯動，則垂直方向上的海水面也會產生瞬間的變動，亦即地震與海水面變動的發生視為同一時間。海床位移量是由走向滑距(strike-slip displacement)及傾向滑距(dip-slip displacement)所構成，本文使用的斷層模式是Mansinha and Smylie(1971)的彈性半空間錯移模型(elastic half-space dislocation model)主要是計算走向滑距及傾向滑距在垂直地表方向的分量，即垂直位移的總量。

本文進行兩次試驗來了解發生海嘯對s點的水應影響，第一次試驗代入斷層模式所用的參數引用陳(2007)的2006年恆春大地震斷層參數，其參數來源為世界地震網Harvard CMT，使用的地震規模為Kanamori(1977)提出的地震矩規模(moment magnitude,  $M_w$ )，因第二場地震對水位影響不大(陳,2007)，所以僅採用第一場地震的斷層參數。第二次試驗假設震央在東經 $119.5^\circ$ 、北緯 $21.5^\circ$ 發生地震矩規模高達8的海底地震所引發的海嘯，兩次試驗的斷層參數如表1、2。

表 1、第一次試驗的斷層參數

震央位置	東經 120.52° 北緯 21.81°
震源深度	19600 公尺
斷層長度	37358 公尺
斷層寬度	18679 公尺
平均滑移量	1.1008 公尺
strike direction	165 度
dip angle	30 度
slip angle	-76 度
地震矩規模	7.0

表 2、第二次試驗的斷層參數

震央位置	東經 119.5° 北緯 21.5°
震源深度	5000 公尺
斷層長度	60000 公尺
斷層寬度	30000 公尺
平均滑移量	15 公尺
strike direction	329 度
dip angle	15 度
slip angle	110 度
地震矩規模	8.0

### 3.2 預報點水位計算結果

由第一次試驗將表 1 的參數代入斷層模式所得的海嘯起始水位如圖 8。經由(6)式計算出的 s 點預報水位結果如圖 9。預報結果顯示 s 點受海嘯作用引起的最大水位僅 7、8 公分(接近第 40 分鐘及第 150 分鐘)，對高雄港近岸產生不了威脅。

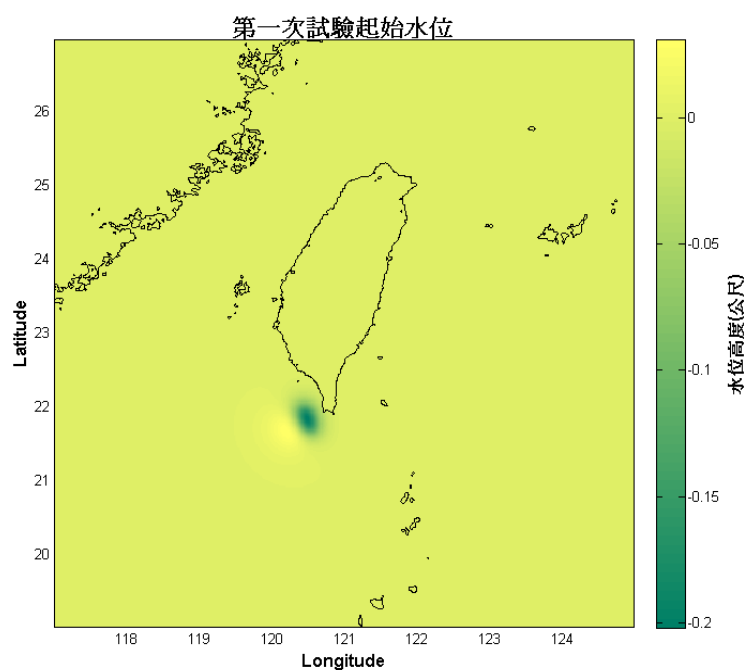


圖 8 利用斷層模式所模擬的第一次試驗水位

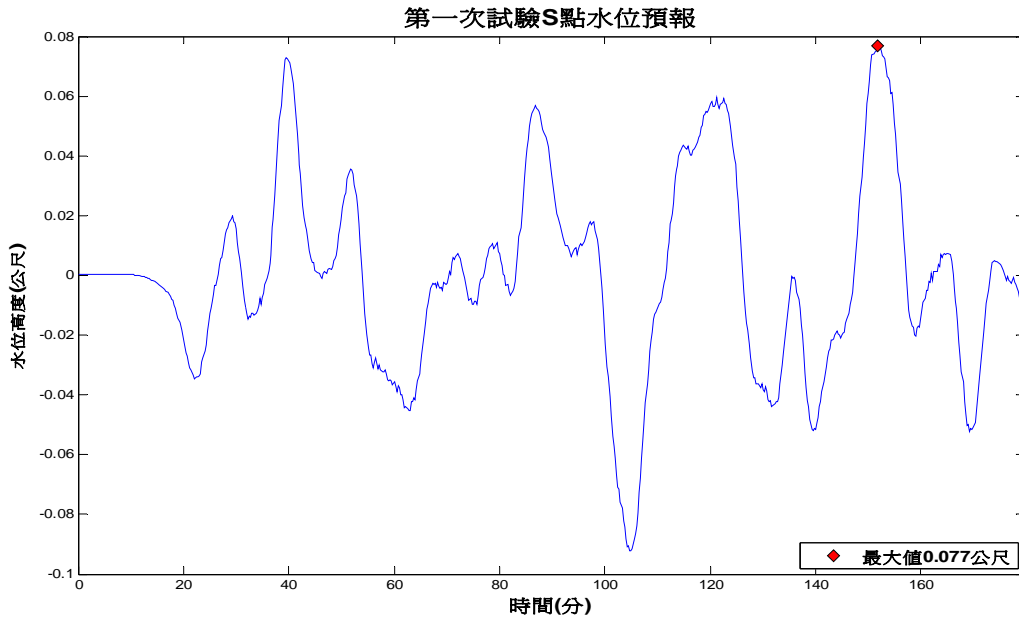


圖 9、第一次試驗在 s 點的海嘯高度預報

第二次試驗將表 2 的參數代入斷層模式所得的海嘯起始水位如圖 10。經由(6)式計算出的 s 點預報水位結果如圖 11。預報結果顯示 s 點受海嘯作用引起的水位最大值達 4.486 公尺(接近第 37 分)，最大波高約 8 公尺，對高雄港近岸威脅甚大。

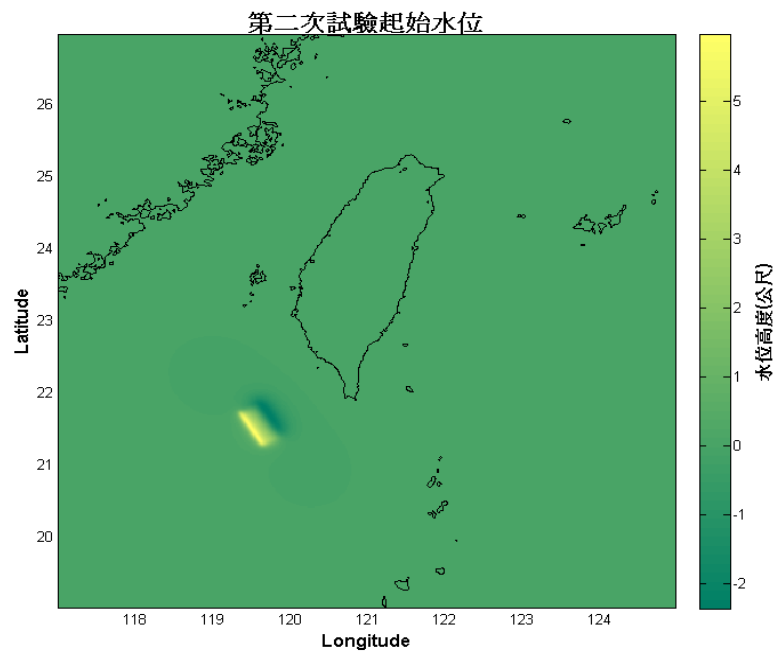


圖 10、第一次試驗在 s 點的海嘯高度預報



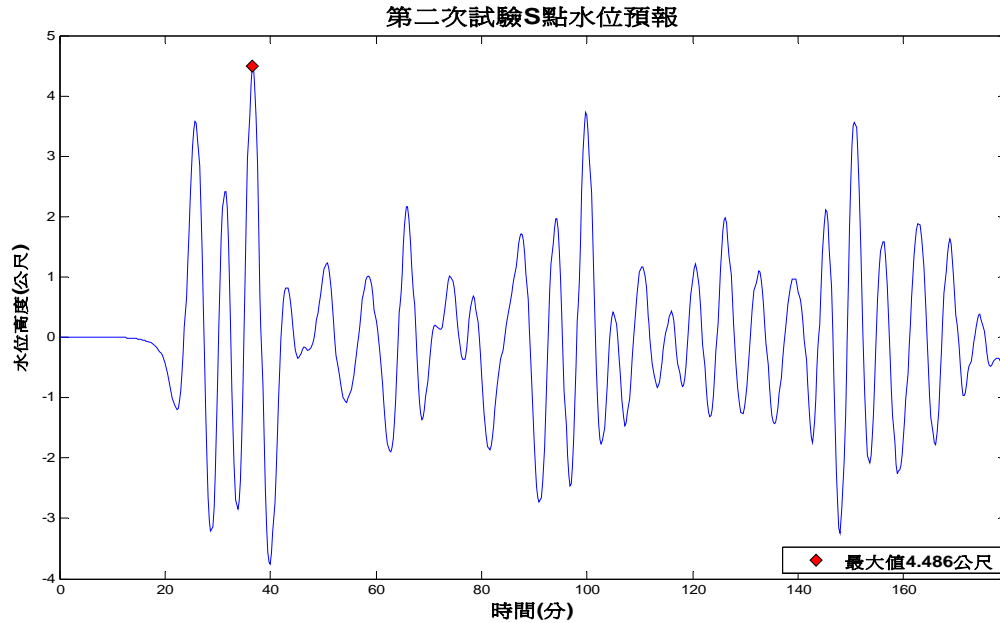


圖 11、第二次試驗在 s 點的海嘯高度預報

#### 四、討論

本文所使用的方法，在斷層參數上沒有限制，只要是在模式區域內發生的地震，皆可透過斷層模式得到海嘯起始波源，再經簡單的運算便可在三十秒內預報定點的水位高度，適合人口密集的近岸地區當作海嘯防災預報系統來使用。期望未來能獲得更多海底地震引發的海嘯資料，透過離岸較遠的水位實測資料來驗證模式預報準確度。

#### 參考文獻

1. 陳韻如(2007),「屏東外海地震引發海嘯的數值模擬探討」,國立中央大學水文科學研究所碩士論文。
2. Mansinha, L. and Smylie, D. E., "The displacement fields of inclined faults", Bulletin of the Seismological Society of America, 61(5), 1433-1440, 1971.
3. Kanamori, H., "The energy release in great earthquakes", Journal of Geophysical Research, 82, 2981-2987, 1977.
4. Loomis, H.G., 1979: "Tsunami prediction using the reciprocal property of Green's functions," Mar. Geod., 2(1), 27 - 39 (1979)
5. Shuto N., 1991: "Numerical Simulation of Tsunamis - Its Present and Near Future," Natural Hazards 4, 171-191.
6. Xu, Z., 2007: "The All-source Green's Function and its Applications to Tsunami," Science of Tsunami Hazards, 26(1), 59-69.
7. Liu, P.L.-F., Woo, S.-B., and Cho, Y.-S., Computer programs for tsunami propagation and inundation., Cornell University, 1998.