

## 1992年 니카라구아 쓰나미의 氾濫 算定 Runup Computation of 1992 Nicaraguan Tsunami

崔秉昊\* · 鄭紅和\*

Byung Ho Choi\* and Hong Hwa Jung\*

**要 旨** : 1992年 니카라구아 서쪽海域에서 海底强震이 發生하여 이 地震에 의한 地震海波(쓰나미)는 太平洋 沿岸을 掩襲하여 적어도 95餘名이 死亡하고 155名이 負傷했으며 3,000餘名의 罹災民이 發生하였다. 前回の 研究(Imamura 等, 1993)에서는 1992年 Nicaragua 쓰나미의 發生과 傳播過程이 報告되었는데 適用된 模型은 球面座標의 遠域模型과 直交座標의 近域 模型으로서 海岸에서 直立壁의 假定하에 算定된 結果는 實際 觀測 結果와 氾濫比에 의해 補正되어야만 했다. 本 研究에서는 沿岸域에 移動 境界를 採擇하는 氾濫 模型을 사용하므로써 El Transito에서 觀測된 6.4-9.9m의 氾濫高가 再現될 수 있는 數值模擬를 수행하였다.

**Abstract** □ Tsunami generated by the 1992 Nicaragua's west coast earthquake caused 95 persons death, 155 persons injury and 3000 persons homelessness. The previous study done by Imamura *et al.* (1993) were on the 1992 Nicaragua tsunami generation and propagation which were simulated by using spherical far-field model and Cartesian near-field model, and the computed results with assumption of vertical wall at coast were adjusted by runup ratio to compare with observations. This study using moving boundary model hindcasts El Transito's runup height which was observed as about 6.4-9.9m.

### 1. 緒 論

1992年 9月 2日 世界時 0時 15分 57.5秒(現地時刻 19時 16分)에 中美 니카라구아의 미나과 西側海岸(11.76°N, 87.42°W)에서 海底地震이 發生하였다. 이 地震에 의한 쓰나미는 太平洋을 횡단하여 日本에까지 傳播되었으며 越波는 内壁으로 影響을 미쳐 Masachapa에서는 1 km까지 氾濫하였으며 El Transito의 境遇 800m까지 氾濫하여 16名이 死亡하고 家屋의 18%가 全破되었다. 太平洋 全域에 걸쳐 沿岸 檢潮所에서 이 쓰나미가 觀測되었는데 Fig. 1(a)는 前回の 遠域 模型(Imamura 등, 1993)에 의해 算定된 Nicaragua 地震海溢의 傳播圖로서 Nicaragua 및 Costa Rica에서는 最高波高 10m, 칠레의 Easter 제도의 Isala de Pascua(27.15°S, 109.44°W)에서는 7時 55분에 73.7 cm, 멕시코의 Cabo San Lucas(23.88°N, 109.90°W)에서는 2時 38분에 27.6 cm, 에콰도르의 La Libertad

(2.21°S, 80.90°W)에서는 2時 53분에 42.1 cm, 칠레의 Valparaiso(33.0°S, 71.6°W)에서는 7時 55분에 9.8 cm, 하와이 諸島의 Kawaihae(20.04°N, 155.83°W)에서는 9時 50분에 5.9 cm, 하와이의 Hilo(19.73°N, 155.05°W)에서는 0時 36분에 11.4 cm, 갈라파고스 群島의 Balta에서는 2時 38분에 112.3 cm, 日本 Sanriku의 Kesenuma灣에서 16時 5분에 13 cm로서 이번 쓰나미의 影響은 太平洋 全域에 걸친 것은 아니었지만 太平洋을 가로질러 日本沿岸까지 tsunami가 傳播되었다. Fig. 1(b)는 遠域 模型에 의한 最大 쓰나미 波高分布를 제시하는데 쓰나미 에너지 波及의 方向성이 잘 提示된다. Photo 1은 中間域 模型의 結果로서 쓰나미가 遠域으로 波及되는 갈라파로스섬에서의 波의 과정에서 反射 및 回折現象이 잘 提示되고 있다.

Fig. 2는 太平洋 沿岸의 검조기록으로서 日本의 境遇 13 cm, 하와이 11.4 cm, 잇터 諸島 83 cm, 갈라파고스 群島 112 cm의 쓰나미 波高를 나타내고 있다.

\*成均館大學校 工科大學 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon Science Campus, Suwon, Korea)

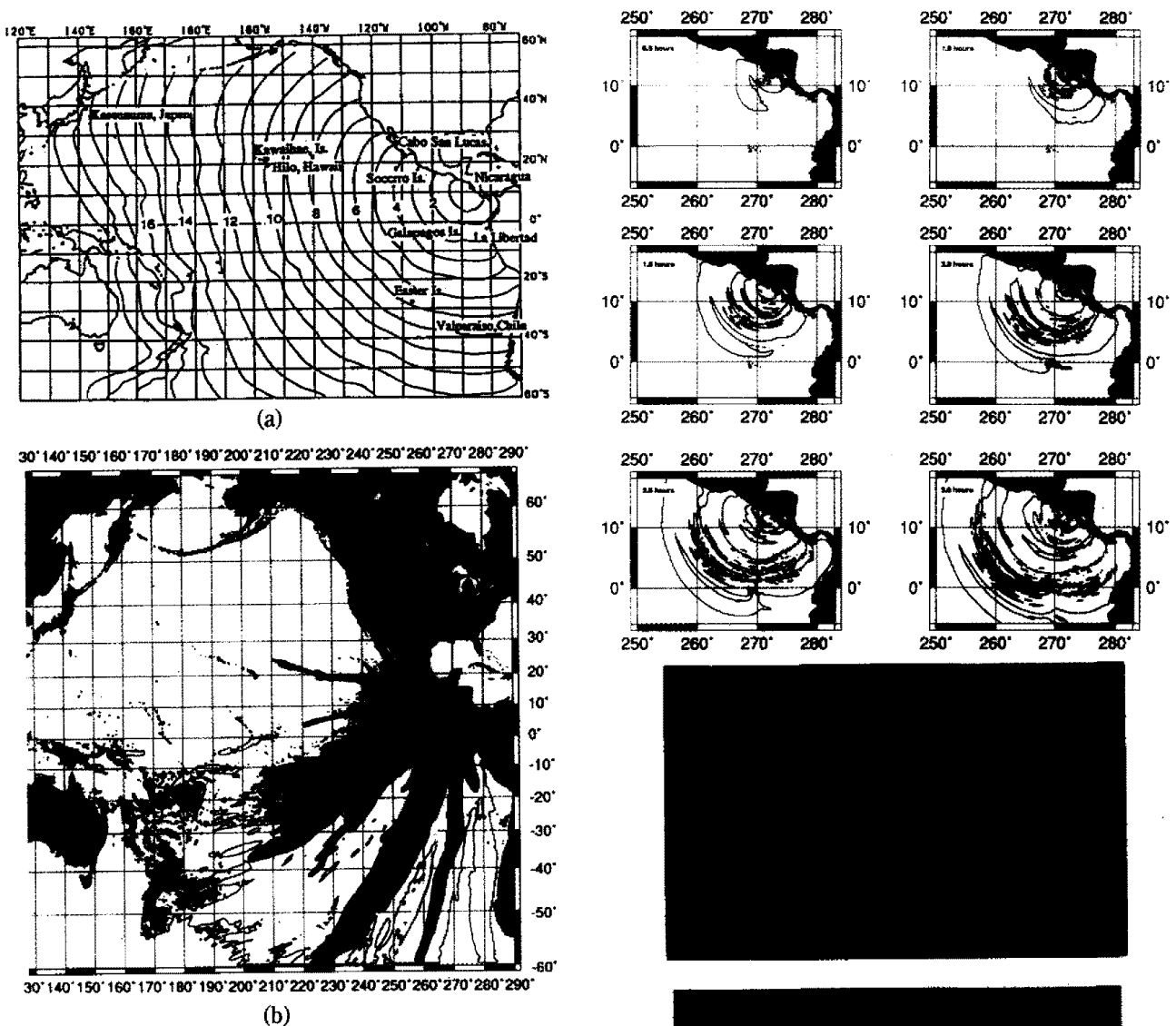


Fig. 1. (a) Propagation map of 1992 Nicaraguan Tsunami (Imamura *et al.*, 1993). (b) Computed maximum water level in the Pacific Ocean.

Fig. 3은 Nicaragua 沿岸을 따라 觀測된 波高로서 El Transito의 경우 最高 9.9m를 記錄하였으며 이곳을 基準으로 北쪽으로는 Jiquilillo까지 6m~2m까지 漸進적으로 減少하며 南쪽으로는 波高가 一定하다는 E1 Ostional에서 急激히 減少하는 傾向을 나타낸다. 本 研究에서는 이번 쓰나미에 의해 被害가 가장 컸고 最高 9.9m의 氾濫高를 記錄한 E1 Transito에서의 氾濫에 초점을 두어 쓰나미 模型에 의한 범람산정을 수행하였다.

2. 쓰나미의 算定

本 研究에서 氾濫을 算定하기 위해 模型을 3個 領

Photo 1. A series of snapshots showing propagation of tsunami due to 1992 Nicaraguan earthquake.

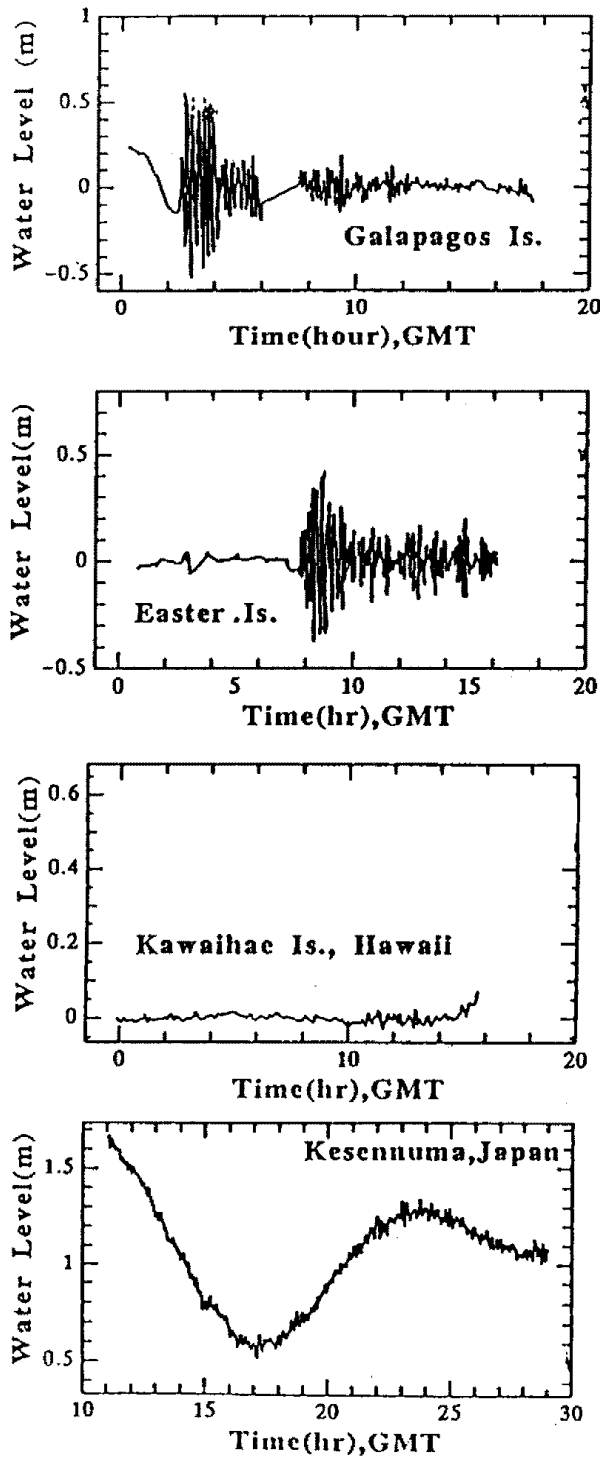


Fig. 2. Tide records of coast of Pacific Ocean.

域으로 構成하였는데, 近域模型, 小域模型, 氾濫模型으로 各各 構成하였다. 氾濫模型을 遂行하기 위해 우선 既存의 近域模型의 經, 緯度를 各各 1/3°로 細分化는 沿岸域에서의 쓰나미의 增幅을 再現하기 위해 沿岸地域의 格子를 細分化하고, 模型의 計算을 修行하는 中에 連結이 이루어지는 境界面에 波의 影響이

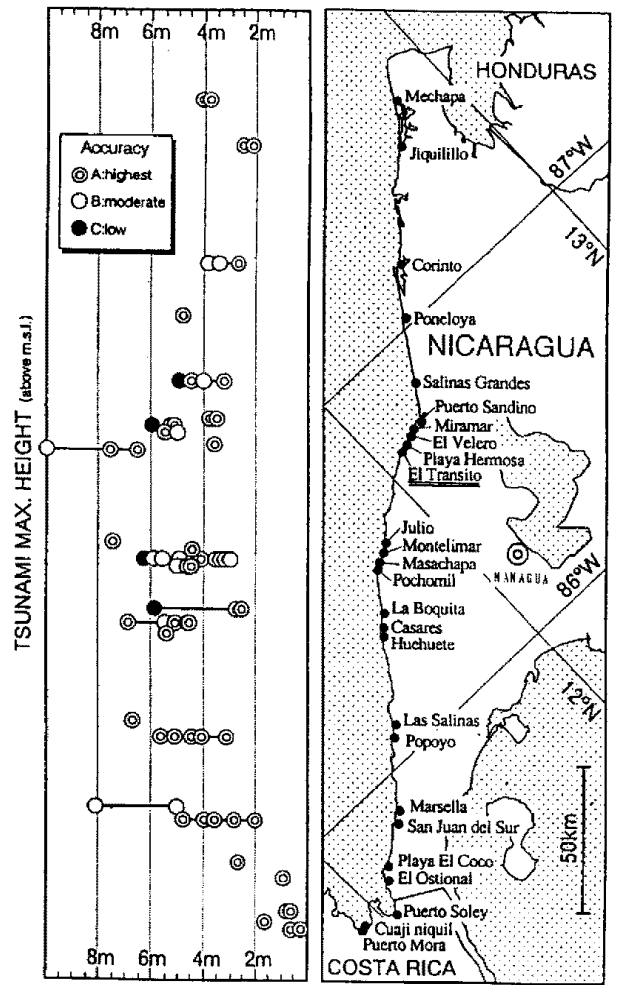


Fig. 3. Observed maximum tsunami height of Nicaraguan coast.

Table 1. Description of tsunami models used for computations

	近域模型	小域模型	氾濫模型
支配方程式	線形 長波理論	線形 長波理論	非線形 長波理論
格子크기	$\Delta x = 1188m,$ $\Delta y = 1308m$	$\Delta x = 396m,$ $\Delta y = 436m$	$\Delta x = \Delta y$ $= 50m$
時間間隔	3秒	3秒	1秒
格子數	400×280	450×405	250×270
座標系	直交座標系	直交座標系	直交座標系

波及되면 外部格子(coarse mesh)와 内部格子(fine mesh) 사이의 水位와 流量을 서로 交換하는 方法이다. 本 研究에서는 連結模型에 의한 内部境界를 따라 首位를 一定 時間間隔으로 貯藏하여 氾濫模型의 境界條件 값으로 入力한다. 이 方法은 서로 다른 格子體系를 動的連結시켜 計算을 遂行하는 方法보다는 從屬의인 方法이지만 比較的 遲運하며 쓰나미 hind-

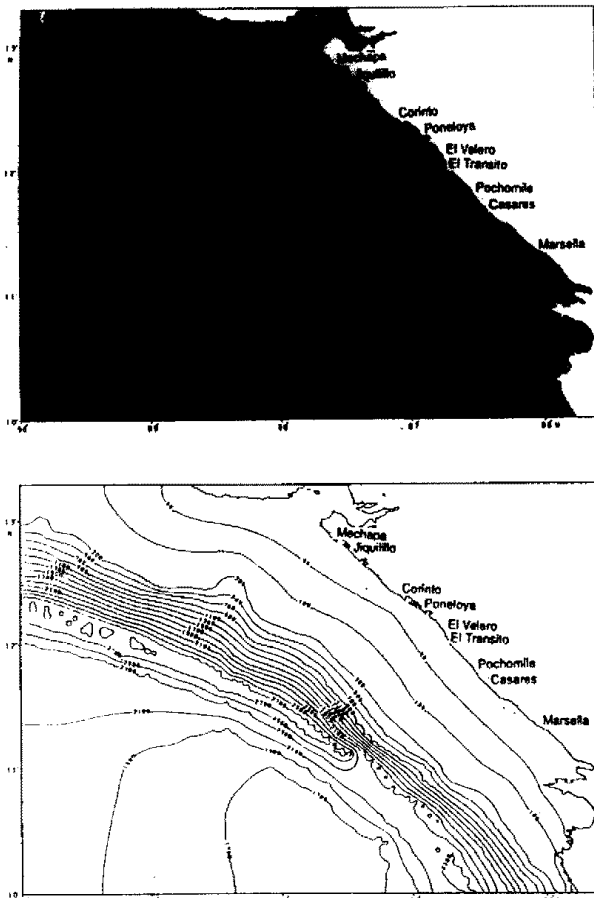


Fig. 4. Grid system of near-field model.

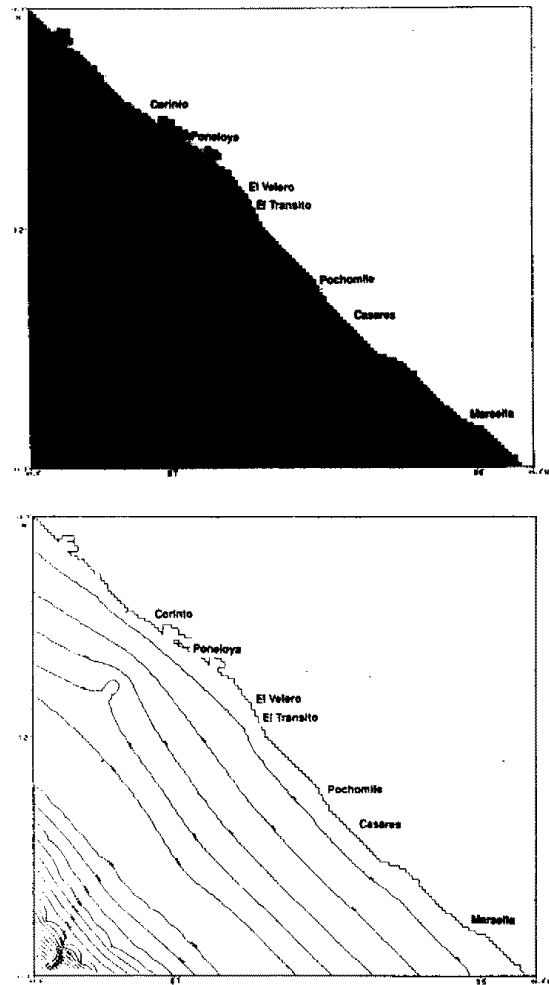


Fig. 5. Grid system of coastal-field model.

cast를 할 수 있는 長點이 있다. 表 1은 채택된 各 模型의 支配方程式과, 格子크기, 時間間隔, 格子數, 座標系를 나타낸다.

近域 및 小域模型에 使用된 數值模型에 使用된 支配方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

여기서  $\eta$ 는 水位,  $g$ 는 重力 加速度,  $M$ 과  $N$ 은  $x, y$  方向의 腺流量이다. 外海 境界에서는 다음과 같은 反射條件을 適用하여 境界內側의 流體運動이 外側으로 波及되게 하였다.

$$\eta = \sqrt{\frac{M^2 + N^2}{gh}} \quad (4)$$

沿岸境界에서는 鉛直壁을 假定하여 氾濫算定은 可能하지 않다. 氾濫模型의 연속방정식은 소역모형과 마찬가지로 식 (1)과 같고, 운동량방정식은 다음과 같은 移流項 및 摩擦項을 考慮한 非線形 방정식을 使用하였다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) \\ + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) \\ + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $D$ 는 총수심( $h + \eta$ )이며 마찰항은 다음과 같이 나타낸다.

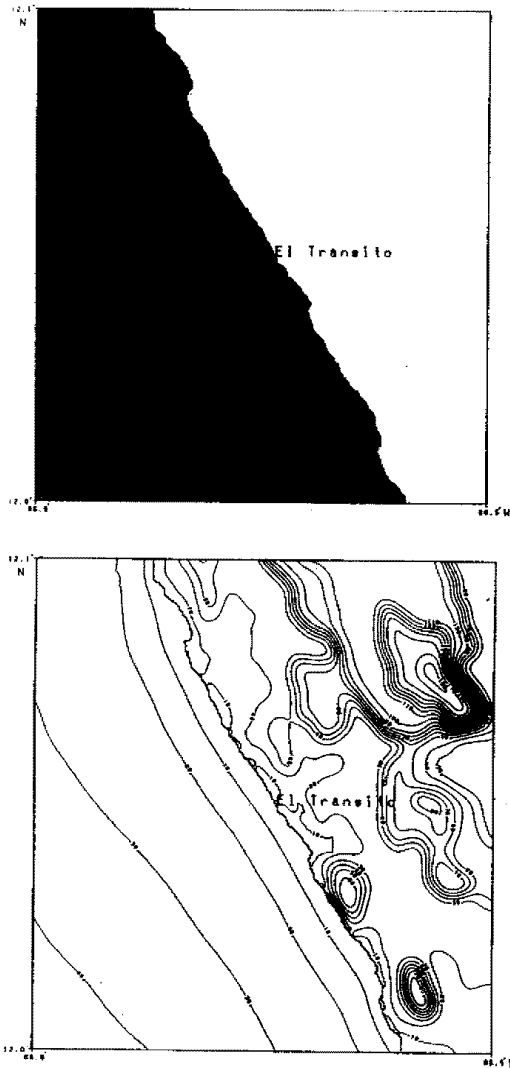


Fig. 6. Grid system of inundation model.

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{1}{2} \frac{f}{D} U \sqrt{U^2 + V^2}, \text{ 여기서 } f(\text{마찰계수})$$

$$n = \sqrt{\frac{fD^{1/3}}{2g}} \text{에서}$$

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{gn^2}{rD^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (7)$$

$$\frac{\tau_y}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (8)$$

여기서  $n$ 은 Manning의 粗度係數로서 0.025를 취하였다.

中間域(近域) 模型(Fig. 4)은 西經  $90^\circ \sim 86.6^\circ$  北緯  $10^\circ \sim 13.2^\circ$ 를 外廓 境界로 하였고 小域(Fig. 5)은 西經  $87.5^\circ \sim 86.8^\circ$ , 北緯  $11.2^\circ \sim 12.7^\circ$ 이며 격자간격은

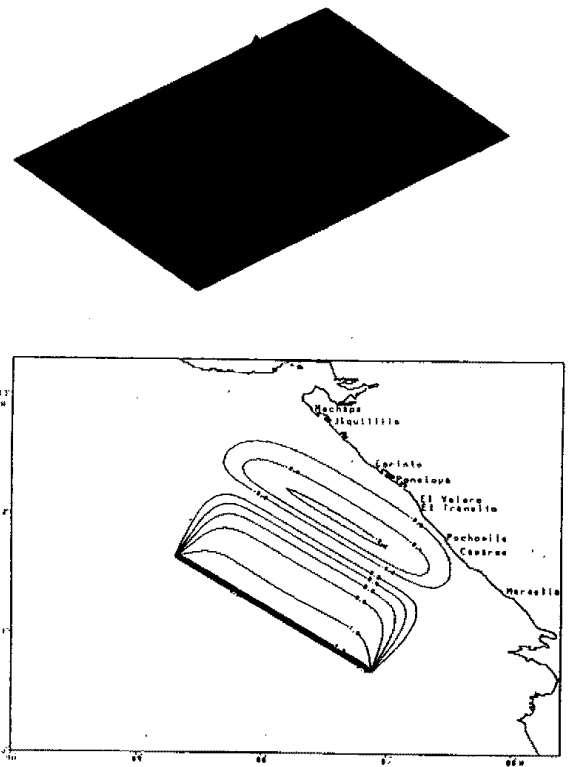


Fig. 7. Initial tsunami profile.

근역의 1/3이다. 氾濫域(Fig. 6)은 西經  $86.5^\circ \sim 86.6^\circ$ , 北緯  $12.0^\circ \sim 12.1^\circ$ 이며 Fig. 6에 역시 水深과 地形이 제시되는데 氾濫域의 水深 45m 未滿의 淺海域이다.

### 3. 計算結果

今回の地震은 地震에 의한 直接的인 陸地에서의 被害는 없고 오직 쓰나미에 의해 海岸에서 深刻한 被害가 發生한 典型的인 쓰나미 地震(tsunami earthquake)으로 使用된 斷層 파라메타는  $M_s=7.0$ ,  $M_w=7.7$ ,  $M_0=5.26 \times 10^{27}$  erg, strike direction( $\Theta$ )= $302^\circ$ , dip angle( $\delta$ )= $16^\circ$ , slip angle( $\lambda$ )= $87^\circ$ , 길이 200 km, 폭 100 km, dislocation 3.75m이다. 쓰나미의 初期 波形은 斷層의 昇降速度가 長波의 傳播 速度 보다 빠를 경우 單層 變形으로 인한 海底의 變位와 같다고 알려져 있다. 上記 파라메타를 根據로 Manshinha와 Smylie(1971)의 理論에 의해 初期 水面 變位를 算定한 것이 Fig. 7로서 Photo 2는 쓰나미 발생후의 초기 波형이 전파되는 양상을 과학적 가시화기법에 의해 제시시킨 것으로 두개의 loop이 형성되어 의해와 육지 쪽으로 파급되는 것을 보인다. 長軸이 200 km, 短軸이

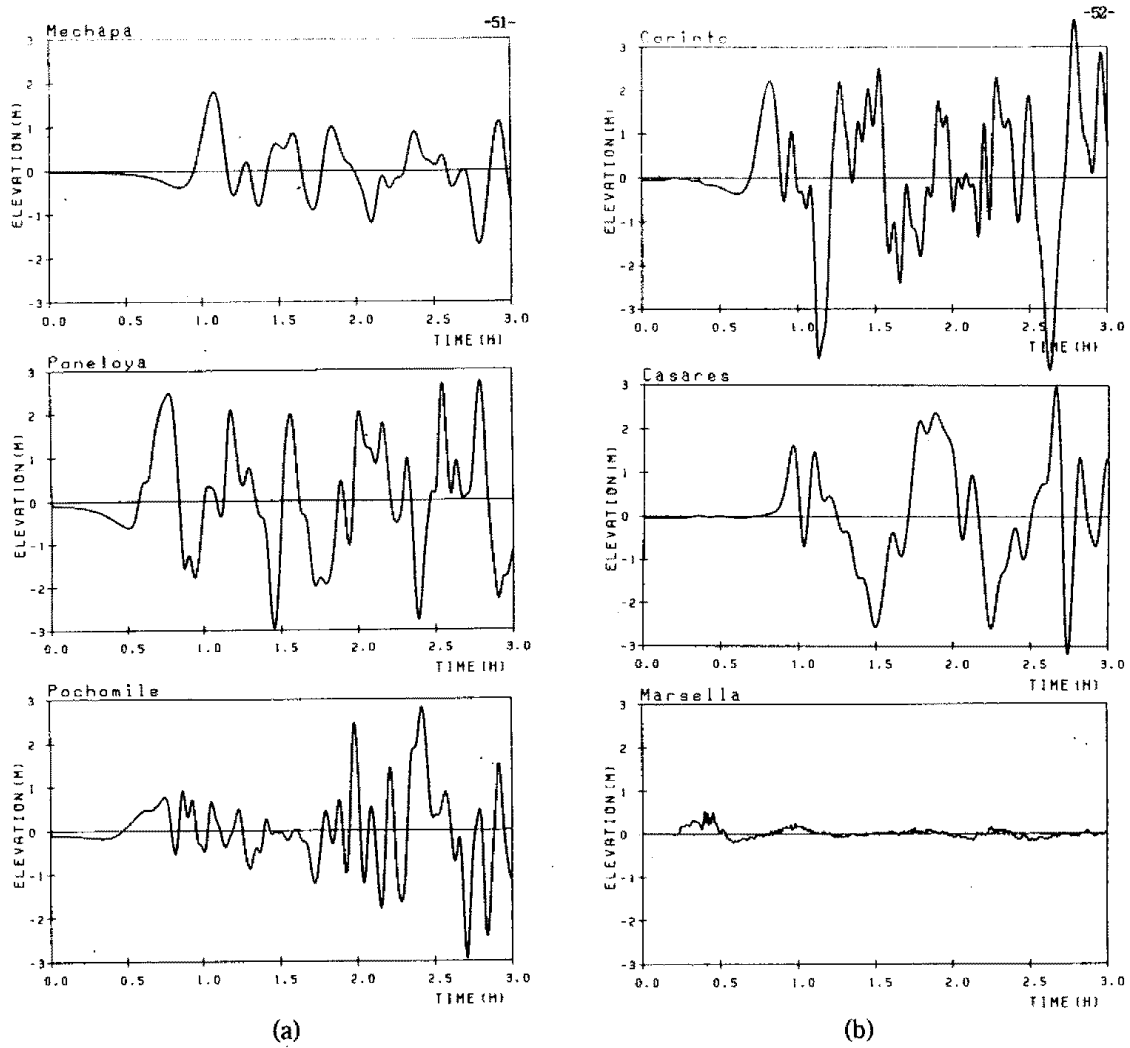


Fig. 8. Computed tsunami elevations from near-field model.

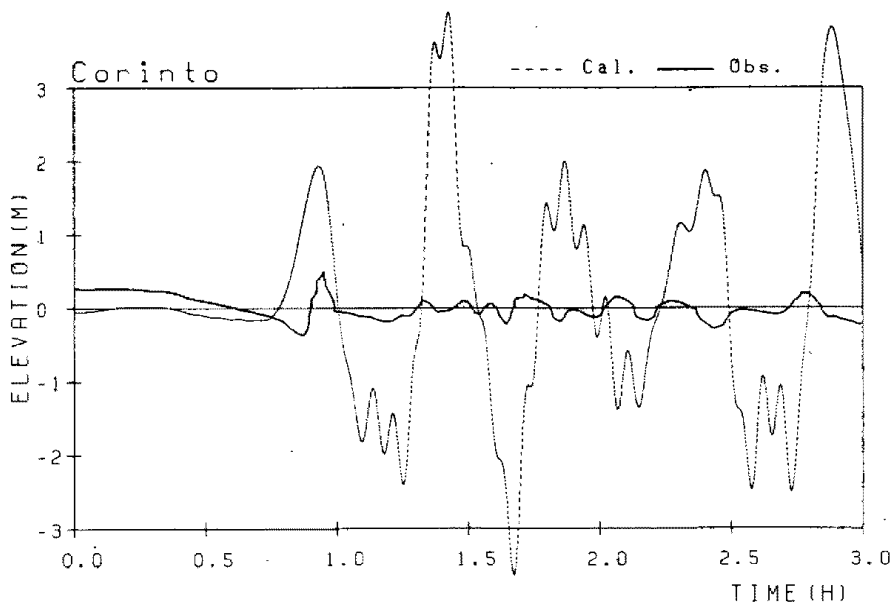


Fig. 9. Comparisons of observation and computed results at Corinto.



Photo 2. A series of surface profile at initial stage of tsunami.

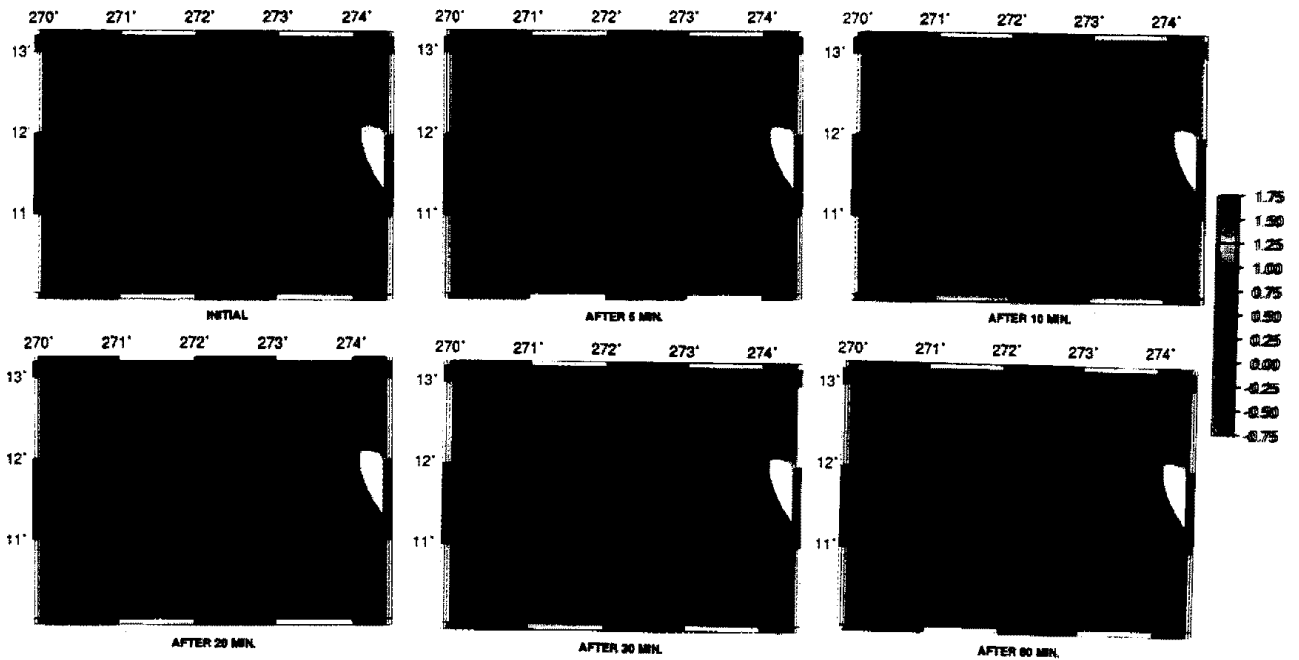


Fig. 10. Computed tsunami propagation from near-field model.

100 km이며 最高 1.2m 最低 -0.6m의 變位를 나타낸다.

Fig. 8은 近域模型의 Mechapa, Poneloya, Pocho-mil 등지에서 計算된 水位 分布로서 모두가 初期 水位 減少후 第1波가 到達하는 樣相을 나타내며 第1波의 到達時間은 30分에서 70分으로서 觀測值와 一致한다.

Nicaragua 海岸에는 검조소가 3個所이었으나 Corinto를 제외하고 모두 記錄範圍를 벗어났는데 Fig. 9는 Corinto에서의 觀測值와 計算值의 比較를 나타낸다. 初期 下降後 急激한 1波가 到達하는 模襲과 약 52分 第1波가 到達하는 樣相은 一致하나 振幅은 상당한 差異를 보인다. 이것은 검조기 位置가 閉鎖된 灣內 側에 位置하여 실제 振幅을 잘 再現하지 못한 것으로 思料된다.

Fig. 10은 時間에 따른 쓰나미의 傳播過程을 GMT로 圖示하였다. 쓰나미 發生 약 5分後 短軸보다는 水深이 깊은 중앙 아메리카 해구를 따라 長軸 方向으로 急速히 傳播하는 모습을 나타내며 10分後 南쪽 開放 境界를 따라 쓰나미가 빠져 나가는 모습을 나타낸다. 약 30分後에는 E1 Transitor 附近에서 水位가 下降하기 始作하며 60分後에는 Nicaragua 全海岸에 쓰나미가 到達하는 모습을 나타낸다. Fig. 11은 近域, 小域 및 氾濫域 模型에서 計算된 쓰나미 最高水位 分포를 나타내는데 近域과 小域의 모형에서 작게 算定된 水位는 氾濫域모형에서는 실제에 가깝게 재현되고 있다. 最高 水位는 약 12m 정도 까지 계산되었으 며 평균 6m 정도 의 水位 分布를 나타내고 있다. Fig. 12는 氾濫地域에서 觀測된 最高 氾濫高이다. E1 Transito의 住居 地域에서의 最大 越波高는 6~9.9m

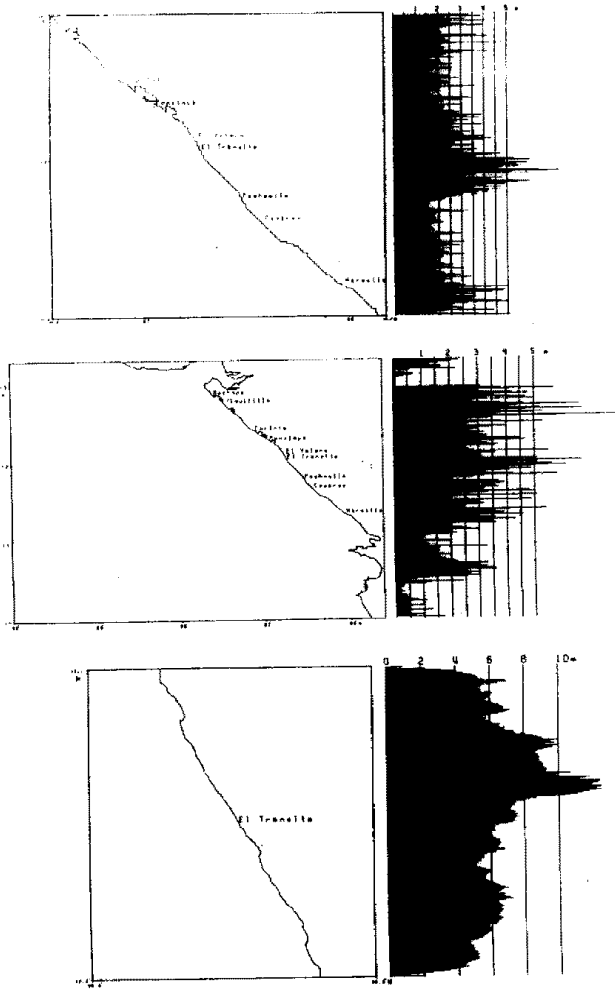


Fig. 11. Maximum tsunami height distribution from the tsunami models.

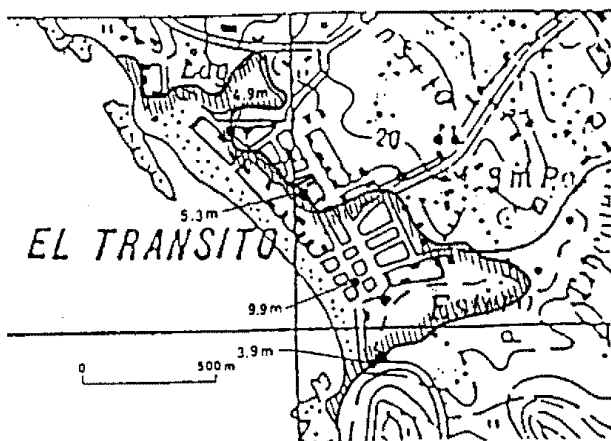


Fig. 12. Schematic map of the submerged area of El Transito (Tsujii 등, 1993).

였다. Fig. 13은 E1 Transito지역에서의 시간에 따른 氾濫 樣相을 나타낸다. 쓰나미는 初期波 到達시간인

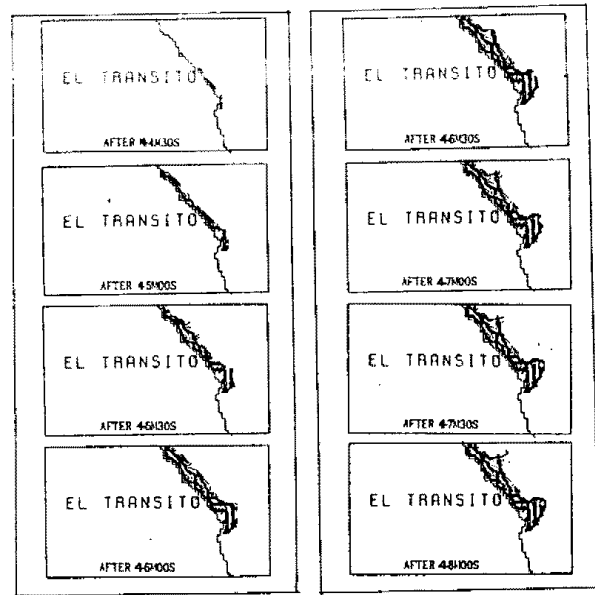


Fig. 13. Computed inundation at El Transito from the inundation model.

發生後 약 44分 30秒만에 氾濫이 始作되는 樣相을 나타내며 全體的인 氾濫 樣相은 觀測値와 거의 一致하는 것으로 보이고 있다.

#### 4. 結 論

1992年 니카라구아 沿岸의 쓰나미를 쓰나미 算定 模型에 의해 hindcast 하였으며 氾濫 模型을 運用하여 E1 Transito에서의 氾濫을 再現하였다. 쓰나미의 第1波到達 時間과 氾濫樣相을 滿足스럽게 再現시켰으며 더 仔細한 水深, 地形資料가 利用 可能한대로 格子의 細分化를 通하여 越波力에 의한 家屋의 被害를 再現하는 등의 模型을 改善시킬 豫定이며 本 研究의 近域, 中間域 模型에 擴充하여 太平洋全域을 包含하는 遠域 쓰나미 算定을 遂行할 計劃이다. 이러한 課業은 Supercomputer에서의 迅速한 算定에 依存하는 數值模型을 基盤으로 한 쓰나미 豫警報體系의 妥當性을 檢討하는 좋은 契機가 된다. 本 研究는 成均館大-日本 東北大間의 TIME Programm의 協力 課題로서 遂行되었다.

#### 參考文獻

Abe, K.K., et al., 1992a. Survey of Nicaraguan earthquake and tsunami of September 2, 1992. *Geophys. Res. Lett.*  
 Abe, K.K., et al., 1992b. Source mechanism of the Nicaraguan tsunami earthquake of September 2, 1992. *Pro-*



- ceedings of IUGG/IOC International Tsunami Symposium*, pp. 637-645.
- Gopalakrishana, T.C. and Tung, C.C., 1983. Numerical analysis of a moving boundary problem in coastal hydrodynamics, *International Journal for Numerical Method in Fluids*, 3, pp. 179-200.
- Imamura, F., Shuto, N., Choi, B.H. and Lee, H.J., 1993. Visualization of Nicaraguan tsunami in September, 1992, *Proceedings of IUGG/IOC International Tsunami Symposium*, pp. 647-656.
- Tongashi, H., 1981. Study on tsunami runup and countermeasure, Doctoral Dissertation, Tohoku University.
- Tsuji, Y., Katao, H., Abe, K., Imanura, F. and Iio, Y., 1993. Human and building damages of the 1992 Nicaraguan earthquake tsunami *Proceedings of IUGG/IOC International Tsunami Symposium*, pp. 657-668.