

東海 中部地震에 의한 쓰나미 算定

崔 秉昊*, 李 昊俊*

1. 序論

1983年 5月 26日 秋田(Akita), 青森(Aomori)縣 西側의 海底에서 發生했던 東海 中部地震 쓰나미를 자세히 算定하기 위한 시도를 遂行한다. 初期條件으로 Mansinha & Smylie의 斷層模型에 依한 水面上昇을 定義하였고, 2次元 球面座標系 上에서 模型을 構成하였다. 沿岸에서의 쓰나미의 增幅를 再現하기 위하여 格子의 細分化를 遂行하였다. 日本의 沿岸에 대해서는 이미 計算이 자세히 遂行되었으며 새로운 斷層模型에 依한 再算定도 이루어지고 있으나 日本沿岸에 重點을 두고 있으므로 本 研究에서는 韓國과 北韓의 東海岸과 러시아 沿岸에 대하여 細格子 上에서의 計算에 초점을 둔다. 특히 韓國의 最大 被害地域인 臨院港에 대해서는 氾濫模型을 適用시켜 쓰나미에 依한 氾濫을 計算코저 한다. 計算된 結果는 Video Graphic Animation에 依한 可視化를 遂行하였다.

2. 1983年 5月 26日 東海 中部地震 쓰나미

1983年 5月 26日 發生한 東海 中部地震(M=7.7)에 依한 쓰나미는 近來 東海에 發生한 쓰나미 中 그 規模가 가장 크다. 發生한 쓰나미는 東海 全領域에 傳播되어 日本 西海岸을 비롯하여 韓國과 北韓 東海岸 및 러시아의 沿岸에 影響을 주었다. 傳播된 쓰나미가 陸地에 到達하면서 增幅되어 秋田縣 北側 Minehama에서의 波高는 14.93m(TP 基準)로 근래 發生한 쓰나미 記錄으로는 最高值를 記錄하였다. 發生된 쓰나미는 東海를 지나 韓國 東海岸에도 2시간 内外에 到達하여 큰 海溢을 일으켜 6 개 檢潮所에서 觀測된 資料에 依하면 最大全振幅은 墨湖의 境遇 390 Cm에서 Scale out되었고, 速草 156 Cm, 鬱陵島 125 Cm, 浦港 62 Cm 순으로 記錄되었다. 韓國 東海岸의 最大 被害地域은 臨院海岸으로 쓰나미의 最大 全振幅은 4m 以上으로 나타났다. 北韓의 東海岸에 관한 記錄은 詳細하지는 않지만 1990년 新포의 原子力 發電所 建設을 위한 調查에서 新창에서 1.7m 정도의 Run-up이 報告된 바 있다. 러시아 沿岸인 Primorsky Territory에서는 4.5m의 Run-up이 Valentine 灣에서 報告되었다.

被害狀況은 日本의 境遇 102 名의 人名이 死亡하였고, 1,475 隻의 船舶被害, 2,769 棟의 建物被害가 있었다. 韓國에서는 1名이 死亡하고 2名이 失跡되었으며 74 隻의 船舶被害 및 60 餘棟의 建物이 被害를 입었고 臨院에서 235 드림의 油類가 被害를 입었다.

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

3. 쓰나미 數值模型

쓰나미의 暴動을 數值模型化하는 基本 原理은 쓰나미 發生時 地震에 의해 發生한 斷層變位에 따른 初期波形을 決定한 後 이의 支配方程式의 解를 구하는 것이다. 海底 地震에 의해 發生된 쓰나미의 暴動解析을 위한 初期水面波形을 구하기 위해서 Mansinha & Smylie의 斷層理論에 따라 地震 發生時 海底面의 鉛直 變位量을 算定하고 이를 그대로 初期水面波로 使用한다. Mansinha & Smylie는 Volterra 와 Steketee의 理論을 根據로 走向移動斷層과 傾斜移動斷層에 의해 發生되는 海底面의 變位를 計算했다. 이의 計算을 위해서는 移動된 斷層의 距離(Dislocation), 走向移動과 傾斜移動사이의 角, 斷層面의 方向 등의 斷層에 관한 因子들이 必要하다. 因子들을 使用하여 走向移動斷層과 傾斜移動單層의 거리를 算定하고 斷層傾斜方向을 中心으로 座標置換을 한 後 이를 積分하여 變位量을 구한다.

支配方程式은 線形 Boussines 式이 使用되는데, 地球曲率을 考慮한 球面座標系에서의 線形長波理論을 使用한 支配方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \left[\frac{\partial M}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \theta} (N \cos \theta) \right] = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \theta} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = +fN \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \theta} = -fM \quad (3)$$

여기서 θ 는 經度, λ 는 緯度, η 는 水位, M, N 은 θ, λ 方向의 線流量, g 는 重力加速度, h 는 靜止水面에서의 水深, f 는 轉向力係數 ($f = 2\omega \sin \theta$) 이다. 이를 θ 와 λ 가 서로 다른 格子에서 Leap Frog法에 의해 差分하여 그 解를 구한다. 外海 開放境界에서는 Radiating Condition을 적용한다. 上記 境遇는 200m 以上の 水深에 適用하였으며 200 m 以下の 境遇는 淺水方程式의 非線形模型을 適用하였다.

쓰나미 暴動에 관한 數值模型에서 Terminal Effect의 算定을 위한 다른 重要한 要素는 格子의 크기에 있다. 淺海域에서의 짧은 波長을 再現하기 위하여서는 상당히 많은 수의 格子가 必要하고, 格子의 크기 또한 작아져야 한다. 格子의 크기를 決定하는 條件은 다음과 같다.

$$N = L / dx > 20 \sim 30 \quad (4)$$

여기서 dx 는 格子 크기이고, L 은 波長이다. 沿岸에서의 Terminal Effect를 再現하기 위해서 模型內에서 格子의 細分化를 N 값이 滿足될 때까지(格子크기 약 30m) 遂行한다. 細部域은 淺海이므로 非線形 移流項을 考慮하였다. 汎濫模型의 境遇 計算에 있어 非線形 移流項을 包含시키고, 특히 防波堤를 越流하는 흐름에 대해 Homma's formula를 적용한다.

3. 東海 쓰나미 數值模型

東海 쓰나미의 擧動에 대한 數值模型에 使用된 格子는 緯度 33° 16'N ~ 49° 36'N, 經度 127° 15'E ~ 141° 55'E 사이에서 緯度 1/15°, 經度 1/12°의 解像度를 갖는다. 使用된 總 格子數는 43855 개 (179X245) 이다. 東海 中部地震 쓰나미의 擧動에 대한 數值模型에서는 쓰나미의 Terminal Effect를 再現시키기 위해서 模型 內에서 模型의 細分化를 遂行했다. 模型의 細分化는 沿岸地域에서의 쓰나미의 增幅을 再現하기 위해, 沿岸地域의 格子를 細分化하고, 模型計算을 遂行하는 中에 連結이 이루어지는 境界面에 波의 影響이 波及되면 外部格子 (Coarse Mesh)와 內部格子(Fine Mesh)사이에서 水位와 流量을 서로 交換하는 方法이다. 本 研究에서는 外部領域에 대한 內部領域의 格子의 크기를 1:3 으로 하여 韓國 東海岸의 境遇 3 회의 細分化를 遂行한 後 臨院에서의 水位를 一定 時間間隔으로 貯藏하여 格子크기 30 m인 汎濫模型의 外海境界條件으로 使用한다. 束草, 浦港 등지에 대해서는 水位를 檢潮所 記錄과 比較한다. 北韓과 러시아 沿岸의 境遇는 우선 2회의 細分化로 格子의 크기를 1000 m 까지 縮小시킨다. 모형에 使用된 격자체계는 Fig 1 과 같다.

東海 中部地震은 2 개의 斷層面을 가진다. 쓰나미의 初期 水面形 計算을 위해 相田 (Aida)의 斷層 파라미터를 使用하였는데, 相田는 Shimazaki & Mori(1983)의 發津構造를 參照하여 2 개의 斷層面에 대한 12 種類의 模型을 設定하고, 쓰나미의 初期 波形에 대한 數值實驗을 行하였다. 그 結果를 波源으로부터 먼 10 개 潮所記錄에 대해 檢潮所의 特性에 따라 補正한 後 妥當한 몇 개의 模型을 選擇하여 地震發生地域의 形態와 位置에 가장 一致되는 模型에서 斷層 파라미터를 취했다. 模型에서 計算된 初期 水面形의 形態는 Fig 2 와 같다.

4. 結論

東海 中部地震을 2次元 數值模型을 使用하여 우리나라 동해안의 Run-up 산정에 초점을 두어 算定하였다. 초기결과인 쓰나미의 전파過程이 Fig 3에 제시된다. 위의 算定 結果(水位)를 一定時間 間隔으로 貯藏하여 3차원 Animation으로 可視化 하였다. 細部 域에서의 쓰나미의 算定은 現在 進行 中에 있다. 研究의 最終的인 目標은 東海의 西側 沿岸의 쓰나미 災害에 대한 zoning을 數值模型에 의해 調査하는 研究와 tsunami의 最終影響에 대한 자세한 研究를 遂行하는데 있다. 이 課題는 國際 災害輕減 10年の 쓰나미 災害輕減을 위한 IUGG/TC - ICG/ITSU Project가 추천하는 TIME(Tsunami Inundation Modeling Exchange)Project 로서 東北大와 成均館大의 共同研究로서 遂行 되고 있다.

参考文献

秋教昇, 韓國 沿岸에서 發生한 暴風·地震海溢現象에 對하여

Shuto, N. 1986, A Study of Numerical Technique on the Tsunami Propagation and Run-up, The International Journal of The Tsunami Society Vol. 4, No. 3, pp. 111~124

Tsuji, Y. 1986, Comparison of Observed and Numerically Calculates Heights of the 1983 Japan Sea Tsunami, The International Journal of The Tsunami Society Vol. 4, No. 2, pp. 91~110

相田 勇, 1983年 日本中部地震津波の 波源モデル, 月刊 海洋科學 Vol. 16, No. 9, pp. 496~502

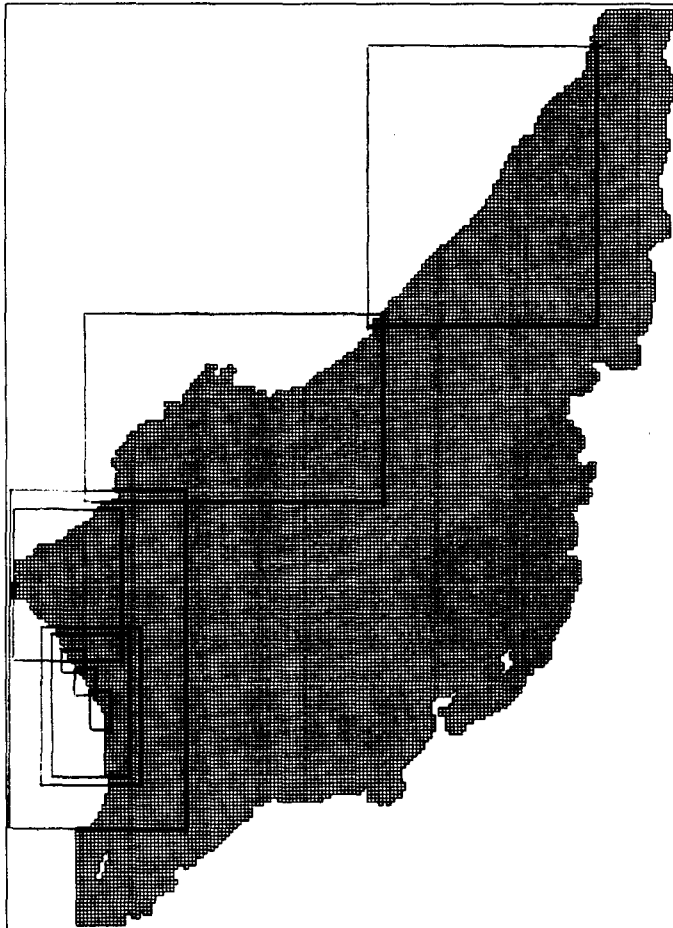


Fig 1 模型의 格子體系

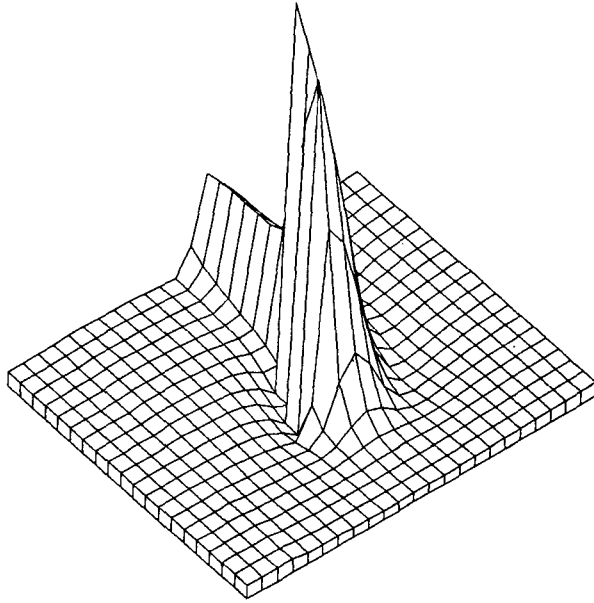


Fig 2 海底地震에 의한 初期 水面上昇

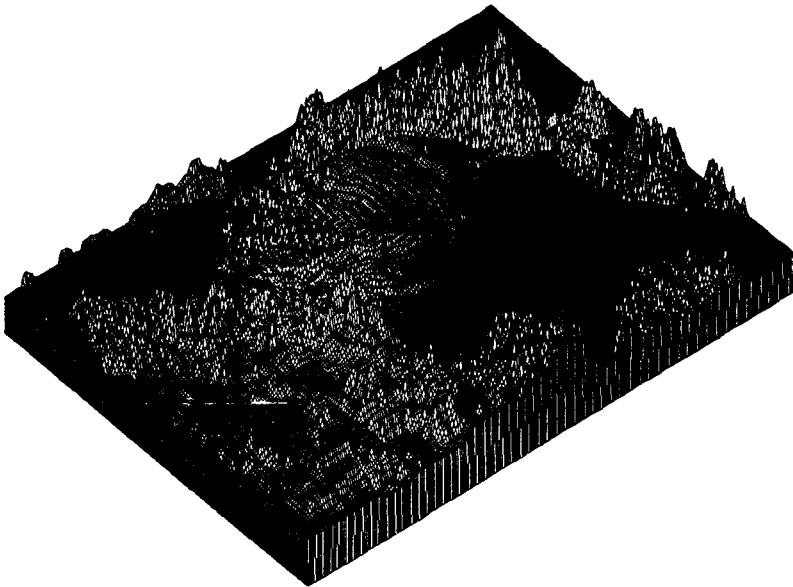


Fig 3 쓰나미 傳播過程