

1983년 동해 중부 지진해일 전파 수치모의 Numerical Simulation of 1983 Central East Sea Tsunami Propagation

최병호¹, 홍성진²

Byung Ho Choi¹ and Sung Jin Hong²

1. 서 론

한국에 영향을 미치는 지진해일은 동해의 일본 서안을 따라 남북으로 길게 발달된 지진대에서 발생한다. 한국에서 지진해일 기록이 있는 지진해일은 1741년 Kanpo 지진해일, 1940년의 Shankotan 지진해일, 1964년 Niigata 지진해일, 1983년 동해중부 지진해일, 1993년의 북해도 남서외해 지진해일 등 5회이다. 특히 1983년 5월 26일 동해안에 내습한 지진해일은 일본 아키타현 서측 외해역에서 발생한 M7.2 규모의 해저지진에 의해 발생하였다. 이 해저 지진에 의한 지진해일은 동해를 가로질러 강원도에서 경상북도까지 약 70 km에 걸쳐 피해를 주었다. 그 중에서 가장 피해가 심한 임원항에서는 해수가 3.6 ~ 5.0 m 높이까지 침수흔적을 남겼다. 당시의 지진해일(사후) 월파고조사(Post Tsunami Runup Survey)는 일본의 방재연구소가 방한하여 관측을 주도, 수개소에서만 사후조사가 이루어 졌는데 1999년에 국립방재연구소에서는 임원항을 중심으로 추가적인 재조사 월파고 기록을 보고하였다 (국립방재연구소, 1999).

지진해일 수치 시뮬레이션기법 역시 과거 20여 년에 걸쳐 꾸준한 진전을 보이고 있으며 컴퓨터의 발전에 따라 해안역의 세격자모형에 의해 직접 범람 시뮬레이션을 수행하는 형태로 발전되고 있다. 따라서, 연안역의 상세한 수심 및 지형 (Micro-Topography)을 사용한 범람 시뮬레이션 결과로서 지진해일 위험재해도(Tsunami Hazard Map)의 작성과 재해경감에의 활용사업이 미국과 일본에서는 TIME 계획(PMEL, 2005), 지진해일 Hazard

Map 사업으로 전개되고 있다.

본 연구에서는 유한요소모형(Finite Element Model)을 이용하여 1983년 동해중부 지진해일을 동해안의 속초, 묵호, 포항 그리고 울산항에 대하여 수치모의하고, 각 항만에서 측정된 검조기록과 수치모의에 의해 계산된 값을 비교, 분석하여 수치모형의 현장 적용성을 검토해 보고자 한다. 유한요소모형의 장점은 다단계의 등지형 접합모형에 의한 특정대상지역을 고해상도로 시뮬레이션 하는 방법(Choi et al., 2003)에 비해 동해전역에 대해 연안역을 고해상도로 시뮬레이션 시킬 수 있다는 것이다.

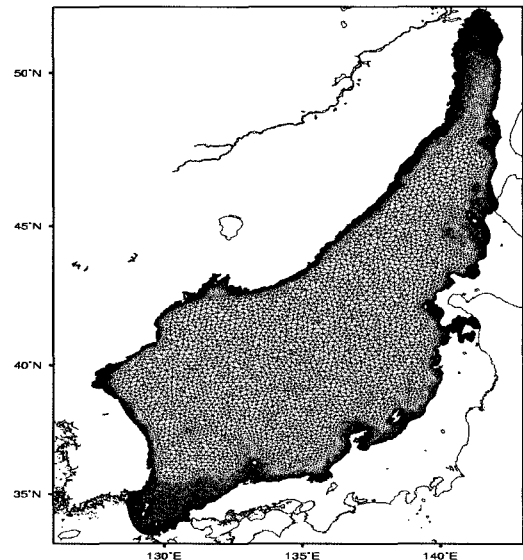


Fig. 1. FEM Mesh of the East Sea for tsunami simulation

1 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

2 발표자: 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사후과정

2. 병렬유한요소모형

2.1 모형격자생성

동해의 지진해일 FEM격자는 동해 전체를 Xmgredit를 이용해서 만들고 지진해일 공백역 지역을 약 1분의 세밀한 격자로 만들어 김경욱(2000)에 의해 개발된 Femeditor을 이용하여 동해 전체의 FEM격자와 병합하는 방법을 사용하였다(Fig. 1).

지진해일은 외해로부터 해안으로 전파해 오면서 수심감소와 복잡한 해안선으로 인하여 수수치오차가 발생하게 되므로, 연안에서는 세밀한 FEM격자를 작성하여 이를 해결토록 하였다. Fig. 2-5는 각각 속초, 묵호, 포항 및 울산항의 FEM 격자체계를 보여준다. 최소격자간격은 약 6m으로 되어 있다.

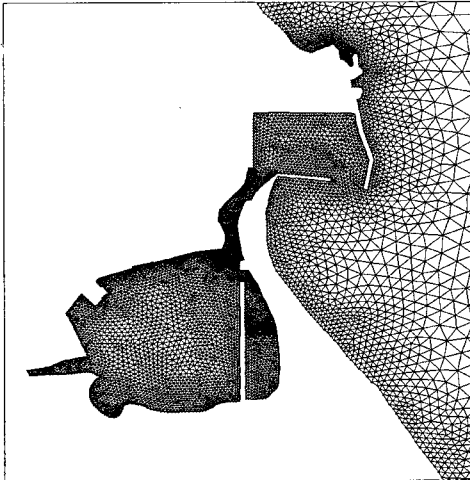


Fig. 2. FEM Mesh of Sokcho Port

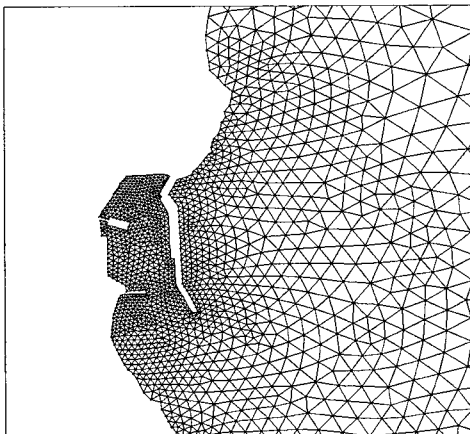


Fig. 3. FEM Mesh of Mukho Port

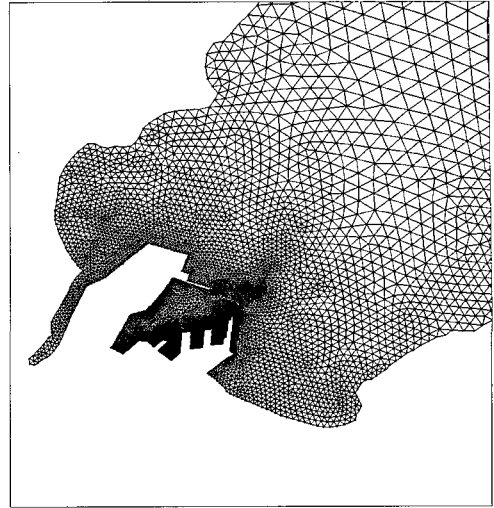


Fig. 4. FEM Mesh of Pohang Port

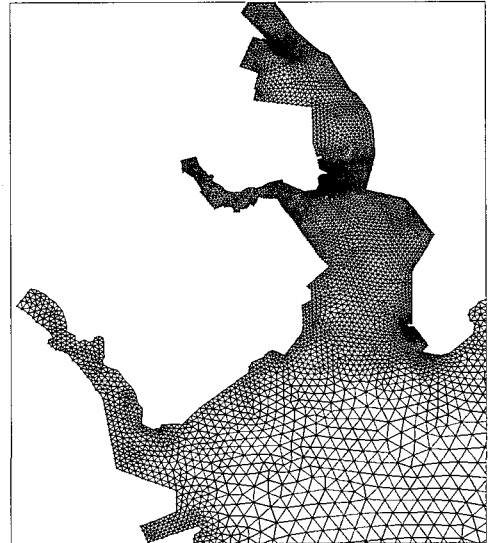


Fig. 5. FEM Mesh of Ulsan Port

2.2 병렬 ADCIRC 모형

본 연구에서 사용된 FEM모형인 ADCIRC모형은 지난 20여년에 걸쳐 개발된 2, 3차원 동수역학적 모형이고, 병렬화는 텍사스대학의 Mary Wheeler교수의 그룹(Chippada et al., 1996)이 만든 코드로서 현재는 수질, 생태모형과도 병렬연계하는 연구가 활발히 진행중에 있다. ADCIRC모형에 관해서는 여러 문헌(Luettich et al., 1991)에 자세히 언급되어 있으므로 본 논문에서는 재언급하지 않기로 한다.

성균관대학교 토목환경공학과와 해안해양공학 연구실의 64개의 CPU로 구성된 Beowulf체계 (Fig. 6)를 사용하였으며, Fig. 7은 동해 전체를 8개의 구역으로

분할(Domain Partition)한 각각의 격자영역을 나타낸다. 실제로 영역분할은 Metis 및 HSFC (Hibert Space Filling Curve) 기법에 의해 수행될 수 있는데 Metis 기법은 spectral partitioning 방법보다 영역분할 및 속도가 빠르며 행렬처리 및 저장에서 우월한 방법으로 알려져 있다 ((Karypis and Kumar, 1998; <http://www-users.cs.umn.edu/~karypis/metis>).

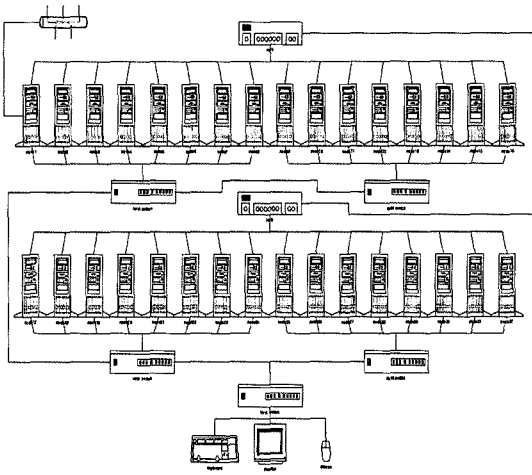


Fig. 6. Beowulf System

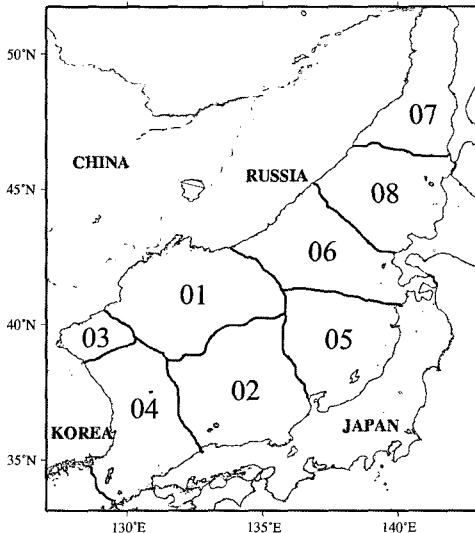


Fig. 7. Domain Decomposition by Metis(Grid Partition Method) for the Modeled Region

2.3 초기파형

지진해일의 초기해수면형상은 파형의 형성이 장파의 유속 보다 빠른 플레이트의 수직변위 속도에 의한

수직변위의 움직임과 같다고 가정하여 지진동에 의한 해저면 파괴를 3차원 공간상에 재현하는 Manshinha and Smylie (1971)에 의해 제시된 방법을 사용하여 결정하였으며, 동해전역에 사용된 수심은 1분 격자 수심체계를 사용하였다. Manshinha and Smylie의 방법에 의해 해저지진의 초기수면 변위를 기존 FDM 모형에서 산정하고 이 격자점 자료 (structured data)를 FEM 모형에서 사용되는 격자자료 (unstructured data)로 변환시켜서 모형시뮬레이션의 초기조건으로 취했으며, Fig. 8는 1983년 지진해일에 대한 초기해수면형상을 나타내는 것으로 초기최대 파고는 약 5 m로 산정된 것을 알 수 있다.

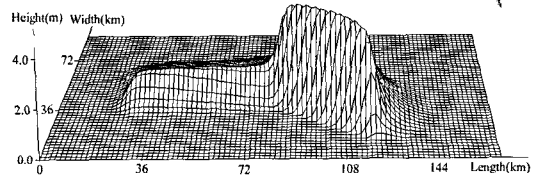
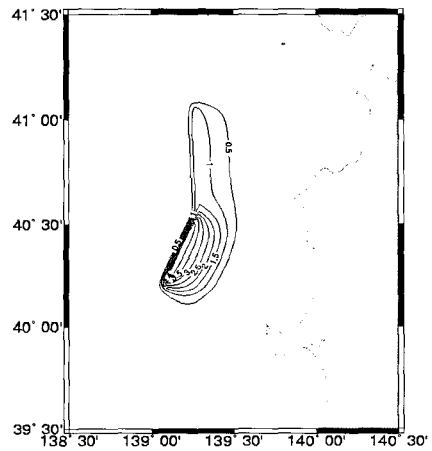


Fig. 8. Initial Free Surface Profile of 1983 Central East Sea Tsunami

3. 결 과

Fig. 9는 동해안에서의 관측치와 계산된 파고의 비교를 보여주고 있다. 최대파고는 임원항에서 2.5 m 이고, 이는 실제 관측치(5.0 m; 국립방재연구소, 1999)와 큰 차이를 보이고 있으나, 전체적인 동해안에서의 파고 분포는 비슷한 경향을 보이고 있다.

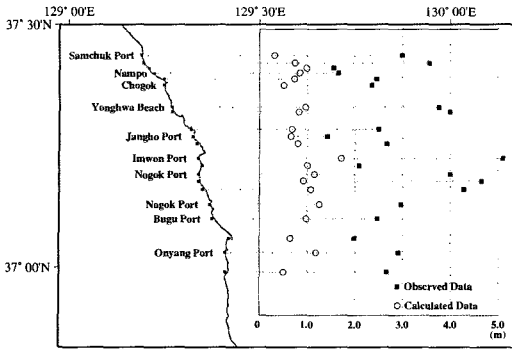


Fig. 9. Comparison between Observed Runup Wave Heights and Computed Wave Heights in the Last Sea Points

1983년 동해 중부지진해일에 대한 우리나라 동해안에서의 관측치의 통계적 분포 또한 대수정규분포를 따른다는 것이 Choi et al. (2003)에 의해 증명되었다. 이에 본 연구에서는 FEM 모형에 의해 산정된 결과값들의 통계적 분포를 산정하였다 (Fig. 10). 산정된 결과값들은 대수정규분포를 잘 따르는 것을 볼 수 있다.

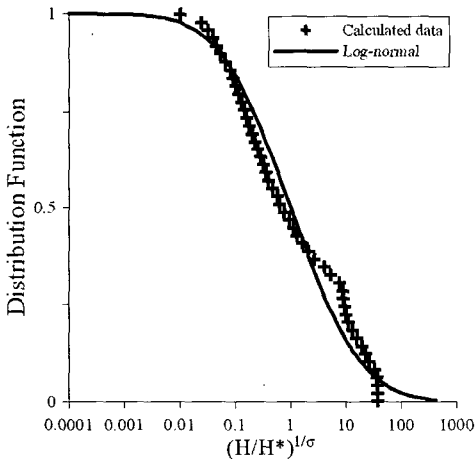


Fig. 10. Distribution of Calculated Tsunami Heights in the East Sea

동해안의 지진해일분포가 대수정규분포를 따른다는 것은 동해안을 따른 지진해일파고변화는 해안역에서의 해저지형의 특수성에 의해 결정된다는 의미를 갖는 것이며, 이는 일본 서해안에서 발생 가능한 지진해일에 대한 우리나라 동해안에서의 지진해일고의 특성이 해안의 해저지형의 특성에 따라 파고분포가 이루어지므로 과거 지진해일고가 높게 관측된 지역에서는 추후 발생가능한 지진해일에 대한 지진해일고 또한 높게 예측될 수 있음을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 병렬FEM모형(ADCIRC)을 이용하여 1983년 동해중부 지진해일에 대한 수치시뮬레이션을 수행함으로써 지진해일에 대한 병렬FEM모형의 적용성에 대한 검증을 하였다. 한편, 지진해일파고의 통계적 분포를 알아보기 위해 지진해일파고의 대수정규분포이론을 이용하여 지진해일 파고분포도를 제시하였고, 이를 통하여 불규칙적인 해저지형에 의해 해안에서의 지진해일고의 밀도분포함수는 대수정규분포를 따른다는 것을 확인 할 수 있었으며, 또한 각 지역별 지진해일 분포도가 대수정규분포를 따르고 있음을 알 수 있었다. 본 연구는 한반도 지진해일 대응연구를 위한 기본모형으로서 현재 수행되고 있으며, 해안역의 정밀수심과 해안선자료의 확보를 통하여 계속적인 개선이 될 수 있다.

참고문헌

- 국립방재연구소 (1999). 동해안에서의 쓰나미 위험도 평가. 국립방재연구소 보고서.
- 김경옥 (2000). 유한요소모형을 이용한 황해 및 동중국해의 조석산정. 석사학위논문, 성균관대학교.
- Chippada, S., Dawson, C.N., Martinez, M. and Wheeler, M.F. (1996). Parallel computing for finite element models of surface water flow. *Computational Methods in Water Resources XI*, Computational Mechanics Publications, Southampton, U. K. 63-70.
- Choi, B.H., Pelinovsky, E., Hong, S.J. and Woo, S.B. (2003). Computation of tsunamis in the East (Japan) Sea using dynamically interfaced nested model. *Pure and Applied Geophysics*, 160(8), 1383-1414.
- Karypis, G. and Kumar, V. (1998). A Fast and High Quality Multilevel Scheme for Partitioning Irregular Graphs. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 20(1), 359-392.
- Luetlich, R.A., Westerink, J.J. and Scheffner, N.W. (1991). ADCIRC: An advanced three-dimensional circulation model for shelves, coasts, and estuaries. Tech. Report 1, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. 20314-1000.
- Mansinha, L. and Smylie, D.E. (1971). The displacement fields of inclined faults. *Bull. of Amer. Seism. Soc.*, 61(5), 1433-1440.
- PMEL (2005) National tsunami hazard mitigation program TIME(Tsunami Inundation Mapping Efforts), <http://www.pmel.noaa.gov/tsunami/time>.