

조선동해 수역에서 지진해일의 작용력계산모형

강 대 성

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《수시로 일어나는 해일과 태풍피해를 막을수 있도록 해안들에는 해안방조제를 비롯한 여러가지 보호시설들을 견고하게 건설하고 정상적으로 보수관리하며 바람막이숲을 전 망성있게 조성하여야 합니다.》

조선동해 수역에서 지진해일의 작용력을 정확히 계산하자면 해일의 발생특성에 따르는 초기파라메터결정방법을 개선하고 해일전파 및 연안침수에 의한 설계해일높이를 과학적으로 계산하여야 한다. 특히 이 수역이 일본서쪽에서 발생하는 지진해일의 전파집중 구역의 하나인것만큼 그 영향을 분석평가하기 위한 발생구역화 및 초기발생파라메터결정, 합리적인 설계해일높이계산문제가 무엇보다 중요하게 제기된다.[4, 5]

1. 해일발생구역화 및 초기발생파라메터결정

조선동해 일본서쪽연안에서 역사적으로 있는 해일과 관련한 물밑지진자료 36건을 분석한데 의하면 지진해일이 년대에 따라 빈도가 증대되었으며 지진크기 M 의 최대값은 7.7이고 해일크기 M_m 의 최대값은 3.5였다.[1, 2]

지진해일발생지역을 구역화하기 위하여 먼저 M , M_m , 발생지점, 파원, 진원, 파렬방향과 세기, 단층선 등을 조사분석하였다.

다음으로 M 과 M_m , M 과 E_m (지진해일에너지)사이의 통계적관계를 리용하여 지진해일파의 초기발생파라메터들을 결정하였다.

지진해일의 초기섭동을 얻자면 먼저 M_m 값부터 결정하여야 하는데 이것은 M 과의 통계적관계에 의하여 구할수 있다.

$$M_m = 1.34M - 7.84 \quad (1)$$

해일에너지 E_m 과 초기섭동 ξ_0 (m)와의 관계는 다음과 같다.

$$\xi_0^2 = \frac{2E_m}{\rho g S_e} \quad (2)$$

여기서 ρ 는 바다물의 밀도, S_e 는 파원의 면적이다. 따라서 E_m 만 결정하면 초기섭동을 얻을수 있다. 이 식에서 E_m 은 다음과 같다.

$$\lg E_m = 0.6M_m + 11.4 \quad (3)$$

식 (2)에서 S_e (km²)는 해석기하학의 타원면적계산식을 리용하여 결정하였다.

$$S_e = \pi ab \quad (4)$$

여기서 a, b (km)는 각각 타원의 긴축과 짧은축길이의 절반으로서 M 과 e (타원의 리심률)를 고려하면 다음과 같다.

$$2a = \frac{L}{e}, 2b = \frac{\sqrt{(1-e^2)}}{e} \quad (5)$$

여기서 L (km)은 파원에서 두 초점 P_1 과 P_2 사이의 거리로서 다음 식으로 결정할수 있다.

$$L = 10^{\left(\frac{M-6.27}{0.76}\right)} \quad (6)$$

또한 e 는 다음과 같다.

$$e = \text{th} \left\{ 1.5 \text{th} \left[\left(\frac{\pi}{2.021} \right)^{1/2} L \right]^{2/3} \right\} \quad (7)$$

2. 해일전파 및 침수모형

물밑지진에 의하여 발생하는 해일파는 전파과정에 에너지를 마루선방향과 파의 전파 방향으로 수송하면서 바닥쓸림, 막흐름쓸림, 공기의 저항력 등에 의하여 에너지가 손실된다고 생각할수 있으므로 다음의 에너지바란스방정식을 전파모형으로 리용할수 있다.

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UE + F_x) + \frac{\partial}{\partial y}(VE + F_y) = -P_D - P_V - P_t \quad (8)$$

여기서 U, V 는 평균흐름속도성분, F_x, F_y 는 x, y 방향의 파에너지흐름량이다. 그리고 P_D, P_V, P_t 는 각각 바닥쓸림, 막흐름쓸림, 공기의 저항력에 의하여 손실당하는 에너지량들이다. 또한 바닥마찰항을 고려하는 지진해일의 침수계산모형은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial(uU)}{\partial x} + \frac{\partial(vU)}{\partial y} + gH \frac{\partial \xi}{\partial x} + \tau_x U = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial(uV)}{\partial x} + \frac{\partial(vV)}{\partial y} + gH \frac{\partial \xi}{\partial y} + \tau_y V = 0 \quad (11)$$

3. 설계해일높이 및 작용력계산모형

지난 기간 조선동해에서 있는 역사적인 지진해일현상들을 수치계산모형으로 재현시키면서 지진해일파의 최대극값자료계렬을 만들고 그것을 설계물높이계산을 위한 초기자료로 리용하였다.

지진해일설계물높이계산은 검사물높이계산방법에 기초하여 진행한다.

먼저 해일물높이최대값을 크기순서로 배열하여 모든 극값의 개수가 N 일 때 m 번째 최대값의 경험보장률은 다음식으로 계산할수 있다.

$$p = \frac{m}{N+1} \cdot 100\% \quad (12)$$

해일높이의 극값분포는 제1형극값분포에 가까우므로 그 보장률함수는 다음과 같다.

$$p = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (13)$$

여기서 $y = \alpha(\xi_p - u_H)$ 인데 α, u_H 는 보조변수, ξ_p 는 보장률이 $p\%$ 일 때 보장년도 $T = 100/p$ (년)기간에 한번 나타나는 물높이로서 다음과 같다.

$$\xi_p = u_H - \frac{1}{\alpha} \ln[1 - \ln(1 - p)] \quad (14)$$

이때 얻어진 자료계렬이 최대극값자료일 때 보장물높이계산식은 다음과 같다.

$$\xi_p = \bar{\xi} + \lambda_{pn} \cdot S_\xi \quad (15)$$

여기서 $\bar{\xi}$ 는 계산지점에서 극값에 대한 평균값, λ_{pn} 는 제1형극값분포에서 보장률 p 와 자료개수 N 에만 관계되는 이론보장률함수인데 표에서 쉽게 얻을수 있는 량이다. 그리고 S_ξ 는 설계해일높이극값들과 그 개수 N 에 관계되는 량인데 다음과 같이 표시된다.

$$S_\xi = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \xi_i^2 - \bar{\xi}^2} \quad (16)$$

연구수역에서 보장년도별설계해일높이를 계산한 결과들은 표와 같다.

표. 연구수역에서 보장년도별설계해일높이(cm)

보장년도/y	20	50	100	200	500	1 000	5 000	10 000
설계해일높이	16	37	55	119	157	194	288	328

표의 계산자료들은 해상구조물에 미치는 지진해일의 작용력계산에 직접 쓸수 있고 연안국토설계에서 초기자료로 리용할수도 있다.

지진해일의 작용력계산에 직접 리용하는 경우 연직방향으로 세운 기둥형구조물에 작용하는 지진해일파의 외력 F_u 는 다음과 같다.[3]

$$F_u = \frac{1}{2} \rho C_{Dx} B H u^2 \quad (17)$$

여기서 ρ 는 바다물의 밀도, C_{Dx} 는 저항력계수인데 구조물의 형태에 따라 다르다. 한편 B 는 구조물의 자름너비, $H = \eta_D + D$ 는 지진해일 때 실제물높이, D 는 정상파도높이, u 는 파의 최대흐름속도이다.

보는바와 같이 지진해일파의 외력 F_u 는 설계물높이 η_D 와 파의 최대흐름속도 u 의 2제곱에 비례한다는것을 알수 있다.

맺는 말

해상구조물에 미치는 지진해일의 작용력계산을 위해서는 설계해일높이와 주기 등 특성값들을 초기자료로 리용할수 있다. 그러자면 우리 나라 해안에 미치는 지진해일의 발생 분포특성을 해명한데 기초하여 초기계산파라메터들을 결정하여야 한다. 그러나 해양자원 개발을 위한 바다구조물설계와 시공, 운영에서는 지진해일뿐아니라 기상해일과 바다얼음 및 흐름의 영향도 더 고려하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 강태성; 기상과 수문, 5, 21, 주체107(2018).
- [2] 박진길 등; 기상과 수문, 2, 17, 주체101(2012).
- [3] 박진길 등; 공정해양학, 김일성종합대학출판사, 24~31, 주체96(2007).
- [4] I. Kilinc, A. Hayir; Coastal Engineering, 56, 982, 2009.
- [5] Liu Huaishan; J. Ocean Univ. China, 12, 3, 319, 2013.

주체107(2018)년 10월 5일 원고접수

Calculating Model of Tsunami Force at “入” Water Area of the East Sea of Korea

Kang Thae Song

In this paper some calculating model of acting force and design height of tsunami according to tsunami propagation and inundation were synthetically presented by reforming the estimating method of basic parameter according to the generating property at “入” Water area for the force calculation of tsunami.

These models of generating classification, basic parameter, design height of tsunami and force calculation can be used in basic data of calculation of structure stability and stress tension.

Key words: tsunami, design height of tsunami, acting force